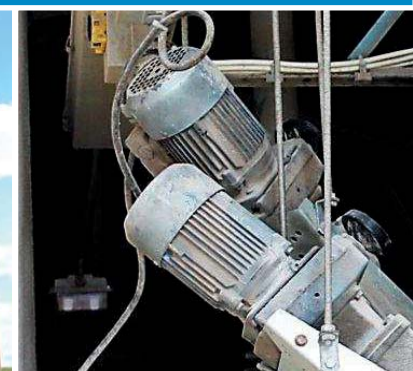


Handbok om energieffektivisering

Energieffektivisering i djurproduktionen



HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 1

Grunderna i energieffektivisering på lantbruk

2013



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Författare till detta avsnitt är **Lars Neuman**, teknikagronom och energirådgivare på LRF Konsult.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Innehåll

Vad är energieffektivisering?	4
Indirekt energianvändning behöver också effektiviseras	4
Omställning från fossilberoende	5
Ökade energikostnader är ett gott skäl	5
Nyckeltal – ett mått på effektiviteten	5
Åtgärder på tre nivåer	8
Första nivån	8
Andra nivån	9
Tredje nivån	10
Ekonomi – att räkna på energieffektivisering	11
Payoff eller återbetalningstid	12
Payoff med ränta	12
Investeringskalkyl	13
Investeringsstak	14
Livscykelkostnad, LCC	16
Att tänka på inför större investeringar	18
Checklista inför investeringar	19
Gör en energikartläggning med åtgärdsplan	20
Subventionerad energikartläggning	21

Vad är energieffektivisering?

Energieffektivisering innebär att man använder mindre energi för att uträtta samma arbete eller producera samma sak. Man ser till att få ut mer av varje insatt kWh.

Det finns program för energieffektivisering både inom Sverige och EU. En handlingsplan från 2009 säger att vi ska energieffektivisera Sverige med 20 procent fram till 2020. Planen följer det europeiska energitjänstedirektivet. Lantbruksnäringen har också krav på sig att effektivisera, men det är inte bara ett tvång. En effektivisering kan sänka kostnaderna och förbättra konkurrenskraften.

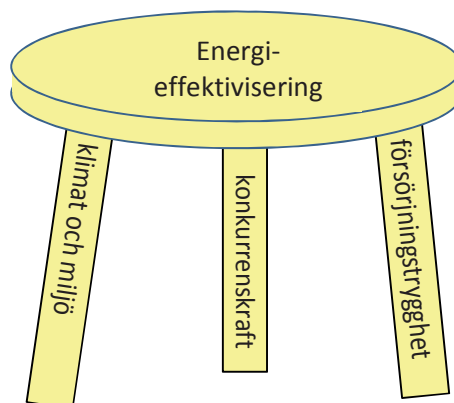


Bild 1.

Man kan säga att inriktningen på energieffektivisering står på tre ben.

Det finns flera skäl att energieffektivisera.

Det finns minst sex goda skäl att energieffektivisera

Energikostnaderna sänks

Sänkta energikostnader ökar konkurrensmöjligheterna

Lägre energibehov gör det lättare att klara stigande energipriser

Lägre energianvändning minskar klimatproblem (fossila bränslen orsakar utsläpp av växthusgaser som påverkar klimatet)

Mindre behov av ny energitillförsel minskar behovet av kärnenergi, av importerad energi och ger tryggare energiförsörjning

Energi är en globalt begränsad resurs som vi alla måste hushålla med

(www.bioenergiportalen.se)

Både direkt och indirekt energianvändning behöver effektiviseras

Med energieffektivisering menar vi i allmänhet att vi ska spara på elenergi, dieselolja, bensin, eldningsolja o.s.v. Vi tänker då på den direkta energin. Det finns också anledning att tänka på hur vi använder den indirekta energin och då menar vi den energi som används för att tillverka och distribuera de insatsvaror som lantbruket behöver. Tydligt exempel är användningen av mineralgödsel. Det behövs 12 kWh för att tillverka 1 kg kväve, mest i form av naturgas. Mineralgödseln är lantbrukets tydligaste exempel på användning av indirekt energi. Viktig är den också, eftersom den är av samma storleksordning som den direkta energianvändningen i dieselolja. Den effektiviseringen har stor betydelse för det globala perspektivet på energiförsörjning och klimat/miljö.

Vad som är direkt energi och indirekt energi behandlas mer i handbokens del 2: Energi, grunder.

Omställning från fossilberoende

Att ställa om uppvärmning till biobränsle från eldningsolja är viktigt av flera skäl och vi ser det som en del i energieffektiviseringen. Vi får då bortse från att eldning med biobränsle egentligen har större förluster än eldning med olja. Mer energi i biobränsle måste tillföras för att man ska få ut samma energimängd som med olja. Oljepannan har bättre verkningsgrad än biobränslepannan, när man ser till definitionen:

$$\text{Verkningsgrad} = \frac{\text{Nyttig energi (arbete, värme)}}{\text{Tillförd energi i bränslet}}$$

Trots det brukar vi se omställning till biobränsle som en effektiviseringsåtgärd. Har man fått beslut om energikartläggningsscheck från Energimyndigheten och ska redovisa en åtgärdsplan så är detta faktiskt en åtgärd som man kan ta upp i planen.

Energieffektivisering på gården – ökade energikostnader är ett gott skäl

För lantbrukaren betyder det mycket att minska gårdens energianvändning. Kostnaderna sjunker och företaget blir inte lika känsligt för kommande energiprishöjningar. En rimlig gissning är att energin blir dyrare framöver, marknadspriserna på fossila bränslen som dieselolja och eldningsolja kommer att stiga. Samtidigt minskar återbetalningen till lantbruket av koldioxidskatten. Riksdagsbeslut påverkar energikostnaderna för dieseloljan på följande sätt:

2011 - 2012	återbetalning av koldioxidskatt 2,10 kr/l	
2013 - 2014	återbetalning av koldioxidskatt 1,70 kr/l ökad energiskatt 0,20 kr/l	förändring 0,40 kr/l förändring 0,20 kr/l
2015	återbetalning av koldioxidskatt 0,90 kr/l	förändring 0,80 kr/l

Från 2012 till 2015 ökar alltså dieselkostnaderna bara genom skatterna med 1,40 kr/l.

En del av skatten på eldningsolja återbetalas också, men återbetalningen trappas ned liksom för dieseloljan. För 2012 och 2013 återbetalas 2670 kr/m³ - att jämföra med 3171 kr/m³ för år 2010.

År 2015 minskar återbetalningen av koldioxidskatten ytterligare. Hela återbetalningen beräknas då bli ca 1770 kr/m³. Alltså blir eldningsoljan ca 900 kr/m³ dyrare år 2015 jämfört med 2012 enbart genom förändrade skatteregler.

Den lantbrukare som energieffektiviserar gör också en betydelsefull insats för klimat och miljö. Det gäller alla energislag, även elenergi. Vi vet också att energi är en globalt begränsad resurs som vi måste hushålla med. Det finns nationella målsättningar och lantbruksnäringen måste göra sin del av läxan liksom andra näringar, hushåll och privatpersoner.

Nyckeltal – ett användbart mått på effektiviteten

Det är bra att mäta energieffektiviteten. Det kan vi göra med nyckeltal, som anger hur mycket energi som används i förhållande till det som produceras. Ju lägre nyckeltal desto energieffektivare är produktionen.

$$\text{nyckeltal} = \frac{\text{produktionsgrenens energianvändning (kWh)}}{\text{produktionsvolym (enheter)}} = \frac{\text{kWh}}{\text{enhet}}$$

Med hjälp av ett nyckeltal för egna gården kan man jämföra sig med andra med samma produktion och liknande förutsättningar. Ännu bättre är det att följa utvecklingen på egna gården. Då gäller det inte bara att "snåla" med energin. Om man kan hålla en hög avkastning och med låga förluster så påverkar ju det också nyckeltalet i positiv riktning. Man ska ju heller inte snåla med energin på ett sådant sätt att det blir negativ påverkan på avkastning och kvalitet.

Man ska också ha i minnet att årsmånsvariation och andra faktorer orsakar att nyckeltalet varierar mellan åren. Yttre faktorer påverkar nyckeltalet.

I mjölkproduktionen används nyckeltalet kWh per kg mjölk och i slaktsvinsproduktionen kan nyckeltalet vara kWh per slaktsvin eller kWh per kg.

Tabell 1. Exempel på nyckeltal i rapporten *Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008*.

Produktionsgren	Nyckeltal, medeltal	Därav elenergi
Mjölkproduktion, 45 gårdar	0,154 kWh per kg mjölk	0,122 kWh/kg
Slaktsvinsproduktion, 14 gårdar	29,4 kWh per slaktsvin	26,4 kWh/slaktsvin
Smågrisproduktion, 6 gårdar	47,9 kWh per slaktsvin	39,7 kWh/slaktsvin

Variationen är stor mellan gårdarna. Det visar följande diagram med nyckeltal från 14 gårdar med mjölkgröp.

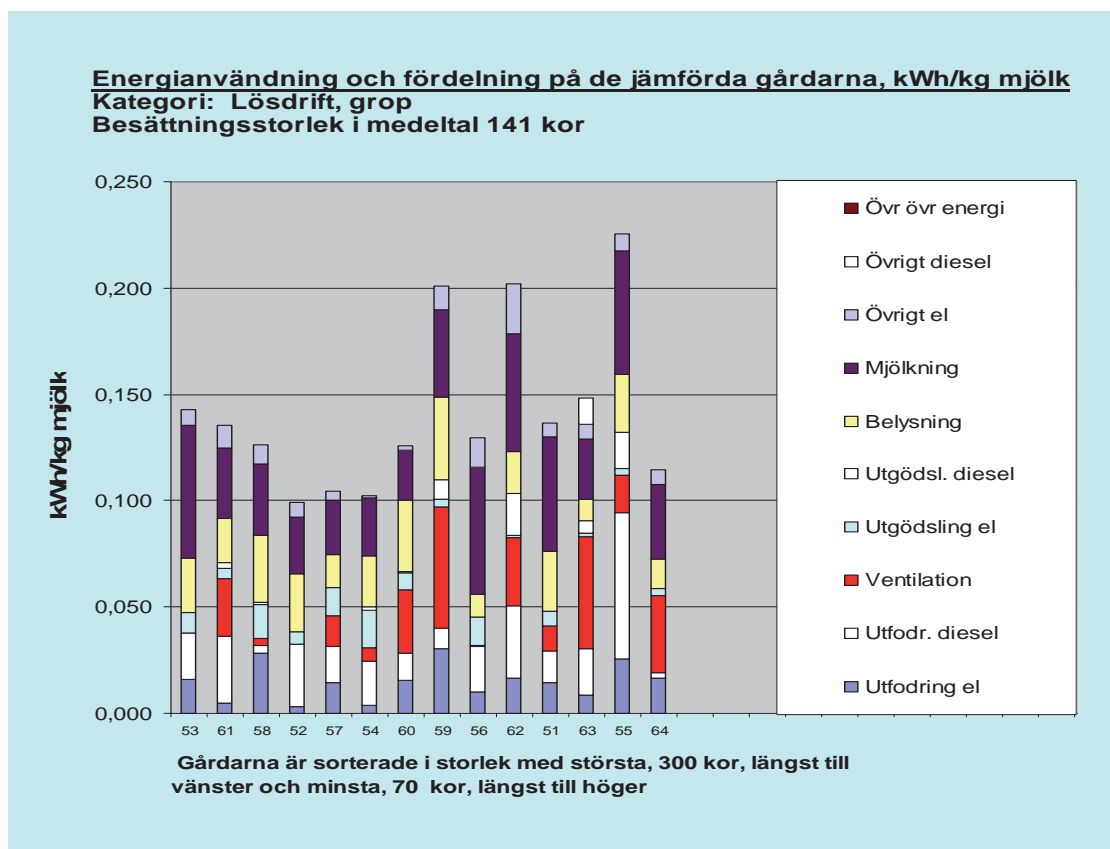


Bild 2. Energianvändning, nyckeltal från 14 gårdar med mjölkgröp. Fördelningen mellan olika moment i produktionen framgår av staplarnas indelning. I värdena ingår även rekryterings energianvändning.

(LRF Konsult. *Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008*)

I följande diagram, bild 3, visas hur energianvändningen fördelas mellan olika moment i produktionen.

Fördelningen på gårdarna (vägt medeltal)

14 gårdar

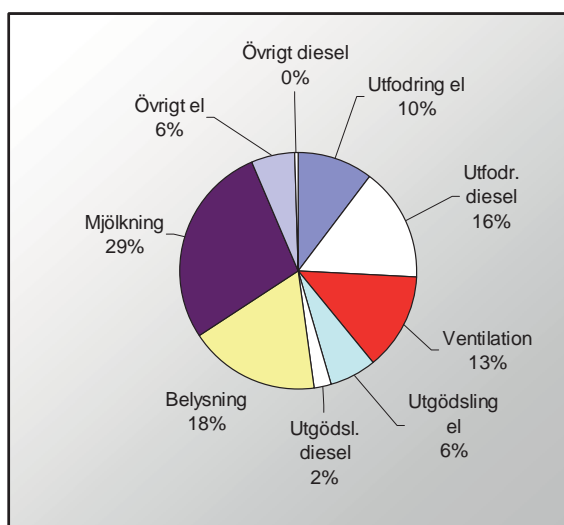


Bild 3. Diagrammet visar hur energianvändningen fördelas mellan olika moment i medeltal. Underlaget är **det-samma som i bild 2. Diagrammet ger en fingervisning om var sparåtgärder bör sättas in.**

(LRF Konsult. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008)

Om man anger nyckeltal, så måste man också bestämma systemgränserna. Man måste till exempel veta var i foderkedjan det går en gräns mellan växtodlingen och mjölkproduktionen. I den undersökning som diagrammen i bilderna 2 och 3 kommer från, började mjölkproduktionens energianvändning att räknas när fodret hämtades från plansilo, rundbalslager, spannmålssilo o.s.v. För utgödsling avslutades den när gödseln hamnat i stora gödsellagret. Det medför att lastning, utkörning och spridning av stallgödsel räknas till växtodlingen. Dit räknas också skörd och inläggning av spannmål, hö, ensilage o.s.v.

Nyckeltal beräknas vid energikartläggningar genom Energikollen (Greppa näringen). KRAV har fastställt regler om obligatorisk energikartläggning (2012) för gårdar med minst 100 djurenheter eller en energianvändning om minst 500 MWh/år. Se tabell 2.

Tabell 2. KRAVs tabell över nyckeltal 2012 (Regler för KRAV-certifierad produktion utgåva 2012)

Produktionsgren	Nyckeltal
Fältarbete i växtodlingen	Liter/hektar
Levererade animalier	kWh/kg mjölk
	kWh/diko och kalv (till 220 dagars ålder)
	kWh/kg nötkött (levandevikt)
	kWh/slaktsvin
	kWh/smågris
	kWh/lamm
	kWh/kg ägg
	kWh/kyckling
Torken	kWh/kg borttorkat vatten

Vid en energikartläggning på gården går lantbrukare och rådgivare tillsammans runt och inventerar elförbrukare och andra energianvändare. Samtidigt finns möjligheter att hitta åtgärder för förbättringar. Energieffektivisering handlar mycket om att stänga av, att låta motorer och utrustningar vara på bara när det behövs. Det är också att planera användningen, att korta transportvägarna, att förbättra verkingsgraden och minska onödiga förluster, att justera, rengöra och ställa in o.s.v.

Åtgärder på tre nivåer

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att prioritera åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra. Många åtgärder kan göras snabbt och enkelt och ofta utan kostnad. Andra åtgärder tar lite tid och medför någon investering, större eller mindre. Här behöver man kanske göra en prioriteringsordning beroende på sparpotential och kostnader. Man brukar indela åtgärder i tre nivåer så att man får en bättre struktur.

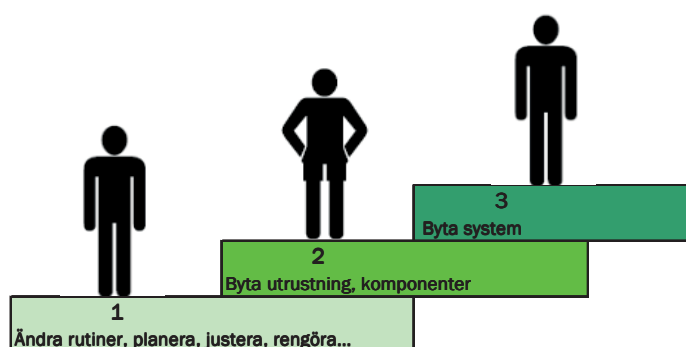
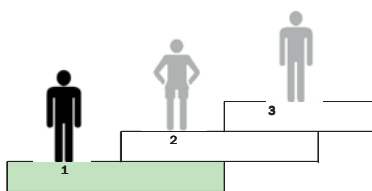


Bild 4. Åtgärder för energieffektivisering kan delas in i tre nivåer eller tre steg. Man börjar med de åtgärder som inte kostar något. Sedan kommer byte av utrustning eller kompletteringar, alltså åtgärder, som medför investeringar. Den tredje nivåns åtgärder är mer långsiktiga.

Första nivåns åtgärder



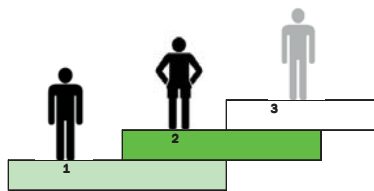
Här handlar det inte om att investera utan om att planera och att ändra rutiner och beteende. Det finns möjligheter att spara energi med enkla medel och utan kostnader. Några exempel:

- Släcka lampor när de inte behövs
- Lära sparsam körning
- Stänga av motorn när traktorn står stilla.
- Planera transporter bättre
- Kolla och justera däcktrycken
- Kalibrera vattenhaltsmätaren
- Justera in och rengöra ventilationen
- Göra rent kondensorn till mjölk tanken
- Bättre koll på när smågrislamporna bör vara tända.
- Spåra och åtgärda läckor i tryckluftssystem

Bild 5.
 Hur man kör sina traktorer betyder mycket för dieselförbrukningen. Det kostar inget att använda ett sparsamt körsätt.
 Sparsam körning – en åtgärd på första nivån.



Andra nivåns åtgärder



Här handlar det om viss investering för att skaffa ny utrustning eller byte till energibesparande maskiner eller utrustningar. Det kan ta lite tid, kräver lite planering och i regel bör man göra kalkyler på lönsamheten, inte minst för att prioritera mellan åtgärder.

Några exempel:

- Byta till bränslesnålare traktor
- Byta glödlampor till lysrör, lågenergilampor eller LED-lampor
- Styra belysning med timer, ljusrelä och rörelsevakter
- Varvtalsstyra vakuumpumparna
- Återvinna värme från mjölken
- Byta lufttransport av foder till mekaniska transportörer
- Isolera varmluftskanalen till torken
- Spårföljare eller autostyrning som minskar överlappning
- Värmelampor med sparknapp i grisningsavdelningen
- Sätta tak på gödselbehållarna
- Isolera varmvattensrör
- Installera förkylare till mjölken

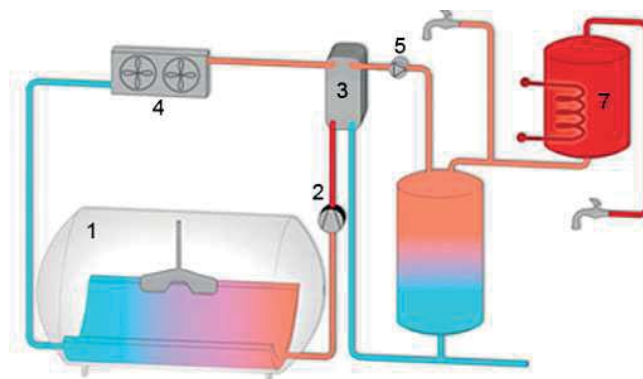
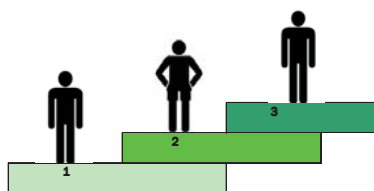


Bild 6. Med värmeåtervinning från mjölken minskar man behovet av elenergi för diskning. Installera värmeåtervinning – en åtgärd på andra nivån.

Tredje nivåns åtgärder



Byte av strategier eller system tar längre tid och medför större kostnader. Det är viktigt att räkna på åtgärden och då finns ofta många fler parametrar än bara energianvändningen (se checklistan sida 19).

Åtgärder i byggnader brukar inte vara aktuella förrän vid om- eller nybyggnad.

Några exempel:

- Byta strategi i jordbearbetning
- Ändra från fläktventilation till självdragsventilation
- Värma gården med biobränsle
- Traktordragen mixervagn byts mot stationär eldriven blandare och rälsvagn eller bandfoderfördelare
- Golvvärme i grisningsavdelning i kombination med värmepump



Bild 7. En stationär eldriven foderblandare använder mycket mindre energi än en traktordriven blandarvagn. Den kombineras då oftast med bandfoderfördelare eller rälsgående utfodringsvagn, så utfodringen är också eldriven.

Men att byta blandare och utfodring och bygga om är ett systemskifte, en tredje nivåns åtgärd.

Det är lätt att konstatera att man bör börja med åtgärderna på den första nivån. När man kommer till nästa nivå, där det krävs investeringar, vill man gärna räkna på ekonomin. Vad blir kostnaden som ska ställas mot nyttan av åtgärden? Ännu viktigare blir det på den tredje nivån att göra kalkyler.

Med kalkyler som grund har man lättare att prioritera och ta åtgärderna i rätt ordning. Mer om det i nästa avsnitt om ekonomi.



Ekonomi – att räkna på energieffektivisering

Man kan räkna ekonomi på flera olika sätt. Hur man väljer att räkna beror på vad man vill uppnå med kalkylen, om man bara vill prioritera mellan åtgärder eller om man vill göra en mer komplett lönsamhetsbedömning. Det gäller för alla kalkyler att de bara är prognoser, kalkylresultatet är inte den absoluta sanningen. Men kalkyleringen blir säkrare ju bättre vi kan sätta in värden som speglar utvecklingen. Den största svårigheten är kanske att bedöma den framtida utvecklingen av priset på energi.

De här kalkylmodellerna kan vara aktuella

Payoff, payback

Enkel beräkning av återbetalningstid – hur lång tid det tar att få tillbaka de pengar som investeringen kostat. Främst vid jämförelse och prioritering mellan åtgärder.

Payoff med ränta

Som ovan men med hänsyn även till räntekostnaden

Investeringskalkyl, lönsamhetskalkyl

Investerings lönsamhet med hänsyn till energibesparingen - och eventuellt ytterligare faktorer.

Investeringstak

Som lönsamhetskalkyl men kalkylen beräknar hur mycket som är möjligt att investera (tak) vid en viss energibesparing - och eventuellt ytterligare faktorer

LCC- livscykelkostnad

Totala kostnaden för investeringen under dess livslängd, omräknat till ett nuvärde.

Payoff

- Grov mätare
- Snabb
- Lämpar sig för snabb jämförelse mellan åtgärder
- Energikartläggningschecken (Energimyndigheten)

Investeringskalkyl, lönsamhetskalkyl

- Bättre än payoff för jämförelse mellan åtgärder
- Bättre prognos på åtgärdens lönsamhet

Investeringstak

- Svarar på frågan: "Hur mycket kan jag som mest investera i åtgärden om jag vet vilken besparing och förbättring som den ger?"

LCC - livscykelkostnad

- Ger intressant jämförelse mellan investering och övriga kostnader, t.ex. energikostnader

Payoff eller återbetalningstid.

I payoff-kalkylen beräknar man hur snabbt investeringskostnaden kan betalas av den årliga energibesparingen. Om en energibesparingsåtgärd kostar 5 000 kr och ger en årlig besparing på 1 000 kr så bör jag ha återvunnit mina pengar på 5 år - i ekonomin talar man om en återbetalningstid (engelska payoff) på 5 år.

Formeln är enkel:

$$\text{Återbetalningstid (år)} = \frac{\text{investering (kr)}}{\text{besparing (kr/år)}}$$

I denna enklaste form bortser man alltså från räntekostnader och andra kostnader och man säger ofta att det är "rak återbetalningstid". Detta är den enklaste och snabbaste kalkylen och den kan vara lämplig när man bara ska jämföra tänkbara investeringar. Den investering som ger den kortaste återbetalningstiden blir den som bör prioriteras högst.

Exempel

Ett byte av en elmotor till en som är effektivare kostar 9 800 kr och den beräknas spara elenergi för 1 400 kr/år. Återbetalningstiden blir $9800/1400 = 7$ år.

Om jag har en annan tänkbar investering som ger en kortare återbetalningstid, så är det ju lämpligt att prioritera den. Man bör göra den först om man bara ser till ekonomin, men andra faktorer kan naturligtvis också spela in.



Bild 8. Vad kan återbetalningstiden bli på denna fliseldade panncentral?

Payoff med ränta

Payoff-kalkylen i den enklare formen ovan tar inte hänsyn till räntekostnaden, det vill säga kostnaden för att binda upp pengar i en investering. Räntekostnaden finns alltid, eftersom kapitalet till investering skulle kunna ge annan avkastning genom bankränta, avkastning på aktier eller amortering av skulder. Därför finns en modifierad form, payoff med ränta:

$$\text{Återbetalningstid (år)} = \frac{\text{investering (kr)}}{\text{besparing - ränta (kr/år)}}$$

Beräkningen av ränta är lite komplicerad. Formeln återges inte här utan vi nöjer oss med att konstatera att återbetalningstiden blir längre.

Exempel

Om vi i exemplet med elmotorn ovan tar hänsyn till företagets räntekrav på 4 procent, så sparar vi inte 1400 kr fullt ut. Vi har en räntekostnad på investeringen, som första året är 4 % av 9800 = 392 kr. Därför blir den egentliga besparingen $1400 - 392 = 1008$ kr. År två sjunker räntekostnaden till 352 kr och besparingen blir $1400 - 352 = 1048$ kr. Så fortsätter det. En noggrann beräkning ger en återbetalningstid på 8,4 år.

När vi bara ska jämföra sparåtgärder så får de samma rangordning oavsett om vi använder den enklare payoff-kalkylen eller payoff-kalkylen med ränta. Valet mellan de två kalkylerna är alltså enkelt, vi använder den enkla payoff-kalkylen.

Investeringskalkyl

Man får ofta anledning att göra en mer fullständig bedömning av lönsamheten med en investeringskalkyl. Här pratar vi om investeringskalkyl och lönsamhetskalkyl som samma sak. Kostnaderna för åtgärden ställs mot intäkterna, energibesparingen samt eventuellt andra plusvärden såsom bättre produktion och minskad arbetsinsats. Får man ett överskott är investeringen lönsam.

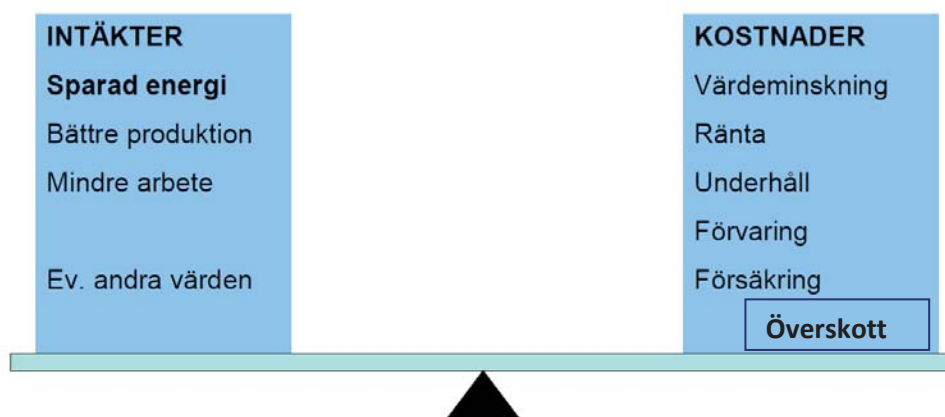


Bild 9. I investeringskalkylen beräknas intäkter minus kostnader. Uppstår överskott är investeringen lönsam.

I en lönsamhetskalkyl för en investering tar man med kostnader för värdeminskning, ränta och underhåll, vid behov även kostnader för förvaring och försäkring. Dessutom kan ju investeringen medföra t.ex. bättre produktion och lägre arbetsinsats, som man då också bör ta hänsyn till.

Investeringskalkylen görs enklast som en real medelårskalkyl. Det innebär att vi beräknar medelkostnaderna för vald kalkylperiod, vi använder fast penningvärde och realränta. Kortfattat kan realräntan förklaras med formeln:

$$\text{Realränta} = \text{nominell ränta} - \text{inflation}$$

Den nominella räntan är den bankränta man betalar på sina lån, alternativt det räntekrav man har ställt på sitt kapital i företaget.

Exempel

En viss energibesparande utrustning kostar i inköp och installation 30 000 kr. Vi antar att den utranteras efter 12 år, utan restvärde. Räntan sätts till 4 procent. Underhållet antas

kosta i medeltal 900 kr/år. Beräknad energibesparing är 6000 kWh/år.

Beräkning av årskostnad

Värdeminskning 30 000 / 12	2 500
Ränta 4 % av medelkapitalet 15 000 kr	600
<u>Underhåll</u>	<u>900</u>
Summa årskostnad	4 000 kr/år

Besparing vid ett energipris på 0,80 kr/kWh: $0,80 * 6000 = 4800$ kr/år

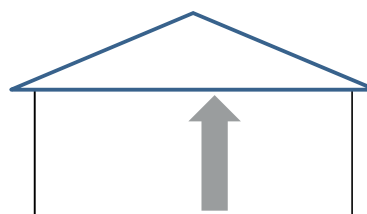
Investeringen är lönsam eftersom den ger ett överskott på $4800 - 4000 = 800$ kr/år.

Om vi tror att energipriset ökar snabbare än inflationen i övrigt, snabbare än andra kostnader, så blir investeringen ännu lönsammare. Antag t.ex. att genomsnittliga elpriset under 12-årsperioden blir 50 procent högre än idag, utöver inflationen, alltså 1,20 kr/kWh. Besparingen är då värd $1,20 * 6000 = 7200$ kr. Överskottet blir alltså istället $7200 - 4000 = 3200$ kr/år.

Det är viktigt att även ta med andra kostnader och intäkter som uppstår tack vare investeringen. Om det är så att den nya utrustningen sparar en kvart i veckan med tillsyn och underhåll, så bör vi kanske ta med det i kalkylen. På ett år blir det 13 timmar. Hur man hanterar det beror på hur arbetstid värderas inom företaget. Om den kvarten inte inkräktar på något annat, så kan den förändrade arbetsinsatsen kanske sättas lika med noll kr/år.

Om man har anställd arbetskraft, som kostar 220 kr/tim, så är det rimligt att ta upp tiden som en kostnad: $220 * 13 = 2860$ kr. I så fall ger investeringen ett underskott vid oförändrat elpris: $4800 - 4000 - 2860 = -2060$ kr/år. Vid det högre elpriset är det fortfarande överskott, men litet: $7200 - 4000 - 2860 = 340$ kr/år.

Bild 10. I beräkningen av investeringstaktar man reda på upp till vilket belopp man kan investera och ändå bibehålla lönsamhet i investeringen.



Investeringstak

Det finns situationer då man behöver ställa frågan: "Hur mycket kan jag investera för att göra en viss besparing?" Beräkning av ett investeringsutrymme eller investeringstak visar hur mycket man kan investera utan att investeringen går med vare sig vinst eller förlust. Det betyder med andra ord att värdet av årliga energibesparingen ska vara lika med summan av de kostnader per år som investeringen för med sig, främst värdeminskning, ränta och underhåll.

$$\text{Värdet av energibesparing (kr/år)} = \text{värdeminskning} + \text{ränta} + \text{underhåll (kr/år)}$$

Värdeminskning kan anges som en viss procent av investeringskostnaden. Om investeringens livslängd är 12 år och den antas sakna restvärde efter de 12 åren så är värdeminskningen $100/12 = 0,083$ eller 8,3 procent räknat på investeringen.

Räntekostnaden i en medelårskalkyl beräknas med realräntan på medelkapitalet. I det här fallet, utan ett restvärde, är det i medeltal 50 procent av kapitalet som är bundet i investeringen. Om realräntan är 4 procent så blir räntekostnaden 2 procent räknat på investeringen.

Underhållet kan som ett överslag också sättas som en viss procent av det investerade kapitalet. Låt oss anta att underhållskostnaden är 3 procent av investeringen.

$$\text{Investeringsstak (kr)} = \frac{100 * \text{värdet av energibesparing (kr/år)}}{\text{värdeminskning (\%)} + \text{ränta/2 (\%)} + \text{underhåll (\%)}}$$

Vi kan införa begreppet årskostnadsprocent, som anger årskostnaden i procent av investeringen. Här blir det alltså $8,3 + 2 + 3 = 13,3$ procent, när vi lagt ihop värdeminskning, ränta och underhåll.

Beräkningen görs så här:

$$\text{Investeringsstak (kr)} = \frac{100 * \text{värdet av energibesparing (kr/år)}}{\text{Årskostnadsprocent (\%)}}$$

Om vi antar att vi i vårt exempel sparar 8000 kWh/år för 0,80 kr/kWh så får vi:

$$\text{Investeringsstak} = \frac{100 * 8000 * 0,80}{13,3} = 48\,120 \text{ kr}$$

Investeringsstaket ger alltså en övre gräns för investeringen. Ju mindre den faktiska investeringen sedan blir, desto större överskott ger den.

Underhållskostnaden är alltid svårt att uppskatta. Det är ofta bättre att försöka bedöma vad den kostar i kronor per år än att sätta en procentsiffra, som man inte har någon känsla för. Vi ska därför ta upp en variant, där vi uppskattar det årliga underhållskostnaden i kr. I nedanstående formel innehåller då årskostnadsprocenten bara värdeminskning och ränta.

$$\text{Investeringsstak (kr)} = \frac{100 * (\text{energibesparing} - \text{underhåll}) \text{ (kr/år)}}{\text{Årskostnadsprocent (\%)}}$$

Vi bedömer att underhållet kommer att kosta 2000 kr/år. Den förändrade årskostnadsprocenten blir $8,3 + 2 = 10,3$ procent.

Beräkning:

$$\text{Investeringsstak} = \frac{100 * (8000 * 0,80 - 2000)}{10,3} = 42\,720 \text{ kr}$$

Man bör också bedöma om investeringen ger en förändring i arbetsinsats, högre avkastning, bättre produktkvalitet etc. och sätta in värdet av det i beräkningen. Låt oss anta att investeringen inte bara sparar energi utan också spar arbetstid, 25 tim/år à 220 kr/tim, som blir 5500 kr/år.

Det höjer naturligtvis investeringstaket som en ny beräkning visar:

$$\text{Investeringsstak} = \frac{100 * (8000 * 0,80 - 2000 + 5500)}{10,3} = 76\,700 \text{ kr}$$

Vi har här antagit att det inte finns något restvärde vid kalkylperiodens slut. Vi kan avstå från att räkna med ett restvärde och om det uppstår, så är det bara att betrakta som en bonus. Om vi ser stor anledning att räkna med ett restvärde så komplicerar det beräkningen något och det visas inte här. Ett restvärde medför dock att investeringstaket höjs något.

Bild 11.
Frekvensstyrning av vakuumpumpen är intressant för att spara energi i mjölkproduktionen. Men först bör man göra en investeringskalkyl.



Livscykelkostnad, LCC

När man jämför olika investeringsalternativ kan det vara praktiskt att jämföra alternativens LCC-värden, deras totala livscykelkostnader. Fördelarna med LCC är att man tar hänsyn till hela kostnaden och att de olika delarna i kostnaden blir lätta att jämföra. Det blir också enkelt att se hur stor den initiala investeringskostnaden är jämfört med energikostnaden och andra kostnader.

De framtida energikostnaderna (och andra kostnader) räknas om till ett nuvärde, till dagens värde. På så sätt utjämnar man skillnaden mellan kostnader som man har vid olika tidpunkter. Man kommer ifrån det faktum att pengar som används vid en viss tidpunkt i framtiden inte har samma värde som motsvarande belopp som används i dag och det beroende på räntan.

I det enklaste fallet, när man bara tar hänsyn till investeringens storlek och de årliga energikostnaderna, så gäller:

$$\text{LCC}_{\text{total}} = \text{investeringskostnad} + \text{LCC}_{\text{energi}}$$

$\text{LCC}_{\text{energi}}$ får man genom att alla kommande energikostnader räknas om till ett nuvärde och summeras. Den årliga energikostnaden multipliceras med en nussummeffaktor som hämtas ur en tabell, se tabell 3.

$$\text{LCC}_{\text{total}} = \text{investeringskostnad} + \text{årlig energikostnad} * \text{nussummeffaktorn}$$

Tabell 3. Nusummeffaktor. Nuvärdet av 1 kr som utfaller i slutet av varje år under n år vid olika räntor

År (n)	Ränta			
	4%	6%	8%	10%
2	1,89	1,83	1,78	1,74
3	2,78	2,67	2,58	2,49
4	3,63	3,47	3,31	3,17
5	4,45	4,21	3,99	3,79
6	5,24	4,92	4,62	4,36
7	6	5,58	5,21	4,87
8	6,73	6,21	5,75	5,33
9	7,44	6,8	6,25	5,76
10	8,11	7,36	6,71	6,14
12	9,39	8,38	7,54	6,81
15	11,12	9,71	8,56	7,61
20	13,59	11,47	8,82	8,51

Exempel på användning av tabell 3

Företagets interna ränta är 6%.
Nuvärdet av 1000 kr som ska betalas i slutet av varje år under 12 år blir 8380 kr.

12 utbetalningar på 1000 kr blir inte 12000 kr sammanlagt utan reduceras till 8380 kr på grund av räntekostnaden.

Exempel

En lantbrukare ska byta ut en 11 kW elmotor i en kvarn. Skillnaden i elförbrukning har stor betydelse, eftersom kvarnen går 7 timmar varje dag, vilket blir 2555 timmar på ett år. Hans val står mellan motor A med en verkningsgrad på 89 procent och motor B som har 93 procents verkningsgrad. Vid ett energipris på 1,00 kr/kWh blir årlig energikostnad:

Motor A: $\text{energikostnad} = 11 \text{ (kW)} / 0,89 * 2555 \text{ (tim/år)} * 0,80 \text{ (kr/kWh)} = 25\ 263 \text{ (kr/år)}$

Motor B: $\text{energikostnad} = 11 \text{ (kW)} / 0,93 * 2555 \text{ (tim/år)} * 0,80 \text{ (kr/kWh)} = 24\ 176 \text{ (kr/år)}$

Motor A kostar 18 000 kr och motor B kostar 21 000 kr i inköp och installation. Vi räknar med en livslängd på 8 år och en ränta på 4 procent, vilket ger nusummeffaktorn 6,73 i tabell 2.



Bild 12. Byta kvarnmotorn till en med bättre verkningsgrad?

Vi gör en livskostnadsberäkning enligt formlerna ovan:

$$LCC_{total} = \text{investeringskostnad} + \text{årlig energikostnad} * \text{nusummeffaktorn}$$

Motor A: $LCC_{total} = 18\ 000 + 25\ 263 * 6,73 = 18\ 000 + 170\ 020 = 188\ 020 \text{ (kr)}$

Motor B: $LCC_{total} = 21\ 000 + 24\ 176 * 6,73 = 21\ 000 + 162\ 704 = 183\ 704 \text{ (kr)}$

Livscykelkostnaden blir alltså 4300 kr lägre för den dyrare och samtidigt effektivare motorn.

I diagrammen i bild 13 ser man att investeringen i exemplet är förhållandevis liten i jämförelse med vad man betalar för energi. Ju längre driftstid (tim/år) desto mer dominerar energikostnaden och desto viktigare blir det att välja energieffektiva utrustningar.

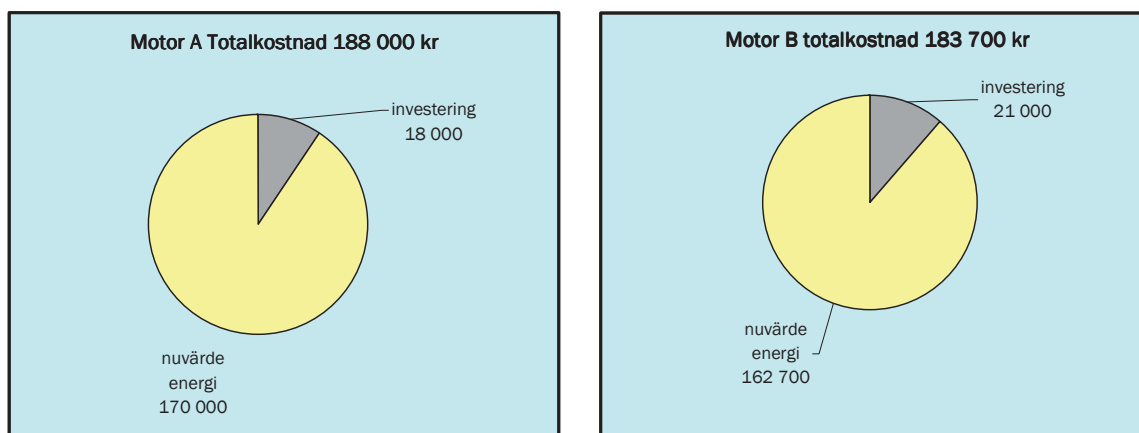


Bild 13. Diagram över exemplets livscykelkostnader

Exemplet visar en enkel LCC-kalkyl. Ofta finns det anledning att ta hänsyn till underhållskostnaderna också. Den årliga underhållskostnaden behandlas på samma sätt som den årliga energikostnaden i den mer fullständiga formeln:

$$LCC_{\text{total}} = \text{investeringskostnad} + (\text{årlig energikostnad} + \text{årlig underhållskostnad}) * \text{nusummeffaktorn}$$

Att tänka på inför större investeringar

Det har de senaste åren gjorts ett antal energikartläggningar på gårdar i olika studier, genom Energikollen och för energikartläggningscheck från Energimyndigheten. Många företag med djurproduktion har då visat upp en hög energianvändning, mätt i de vanliga nyckeltalen såsom kWh/kg mjölk, kWh/smågris, kWh/slaktsvin o.s.v.

En slutsats som man ofta drar är att stallar och produktionssystem har uppförts vid en tid, då energikostnaderna inte betydde så mycket. Elförbrukning och dieselförbrukning togs inte med som viktiga faktorer i planeringen. Energi var i alla fall billigare än nu och billigare än vad den kommer att vara i framtiden. Åtgärder för att ändra system är ofta mer omfattande och långsiktiga, åtgärder på nivå tre.

Den som idag planerar byggnader och system för djurproduktion har all anledning att ta med energianvändningen som en viktig faktor vid sidan av andra viktiga faktorer. Därför är det också viktigt att det kommer fram en bra kunskapsbas och sådana projekt har också kommit igång.

Vid större investeringar har man ofta att välja mellan olika alternativ. Det kan gälla isolerade eller oisolerade byggnader, system för ventilation, energislag för uppvärmning, belysningsteknik, system för foderberedning och utfodring o.s.v. Energianvändningen är en av flera viktiga faktorer att ta hänsyn till. man eftersträvar en ekonomiskt optimal lösning, men det är inte säkert att det även är en energiop-timal lösning. Samma metodik bör användas vid åtgärder på nivå två också, vid mindre investeringar.

Checklista inför större investeringar

Här handlar det alltså om åtgärder på nivå 3.

- Energianvändning, energikostnader.** Finns det skillnader i energianvändning och vad betyder det i så fall med nuvarande och framtida energipriser? Exempel på viktiga frågor:
 - Uppvärmning. Kan bibränslen användas för uppvärmning?
 - Uppvärmning. Kan spillvärme återvinnas och utnyttjas?
 - Uppvärmning. _____
 - Utfodring. Kan utfodring med traktor undvikas? Kan eldrift användas?
 - Utfodring. Kan transport med luft undvikas?
 - Utfodring. _____
 - Utgödsling. Kan självflyt utnyttjas?
 - Utgödsling. Kan utgödsling med traktor undvikas?
 - Utgödsling. _____
 - Belysning. Hur kan dagsljuset utnyttjas?
 - Belysning. Vilka ljuskällor ska väljas och hur ska belysningen styras?
 - Belysning. _____
 - Ventilation. Kan naturlig ventilation ersätta mekanisk?
 - Ventilation m.m. Kan styrautomatik minska energianvändningen?
 - Ventilation. _____
 - Mjölkning. Kan tank och kondensor placeras så att temperaturen där hålls nere?
 - Mjölkning. _____
 - Allmänt, logistik. Planera flöden och lagring av produkter, foder, djur och gödsel
 - Allmänt. Planera för separat energimätning i undercentraler.
 - Allmänt, övrigt. _____

- Klimat och miljö.** Finns det skillnader i användning av fossila bränslen? Finns det andra skillnader i hur klimat och miljö kan påverkas?
- Arbetsmiljö.** Finns det skillnader?
- Arbetsinsats,** Finns det skillnader och vad blir i så fall skillnaden i arbetskostnader?
- Avkastning.** Kommer avkastningen att påverkas av olika val och vad betyder det ekonomiskt?
- Produktkvalitet.** Kommer kvaliteten att påverkas av olika val och vad betyder det ekonomiskt?
- Djurmiljö.** Hur kommer djurmiljön att påverkas av olika val?
- Annat** _____

Gör en energikartläggning med åtgärdsplan

Vi brukar säga att man gör en energikartläggning på gården, men det viktiga är då inte att konstatera hur energin används, utan det viktigaste är att hitta åtgärder för att minska användningen av energi.

Så här brukar det gå till

Lantbrukaren samlar sina uppgifter om energitillförsel (för det senaste året) som en förberedelse för rådgivarbesöket. All tillförd energi tas med: el drivmedel, eldningsolja, biobränsle etc. Rådgivaren har då i förväg försett lantbrukaren med en mall för detta.

När rådgivaren kommer ut till gården börjar man ofta med att kolla och sammanställa hela företagets energianvändning.

Därefter går lantbrukare och rådgivare tillsammans runt gården och tittar på var och hur energin används. Rundvandringen har två syften. Det ena är att analysera läget för att bland annat kunna beräkna nyckeltal. Det andra syftet är att se var och hur man kan spara energi. Elförbrukningen beräknas eller uppskattas med hjälp av märkeffekt, drifttid, belastning och verkningsgrad. Ibland får man inte fram alla uppgifter och då kanske man måste ta till schablonvärden.

Alla data behöver sedan bearbetas och beräknas så att man får fram nyckeltalen för de olika produktionsgrenarna. Gårdens nyckeltal kan man ofta jämföra med andra gårdars, från tidigare kartläggningar. Denna bearbetning kan kanske inte göras färdig under rådgivarens besök på gården utan det är en del av efterarbetet på kontoret.

Rådgivaren sammanställer uppgifterna i en rapport eller ett rådgivningsbrev. Det innehåller bland annat sammanställning av energianvändningen, gårdens nyckeltal som också jämförs med andra gårdar och det viktigaste av allt, en åtgärdsplan med små och stora åtgärder. De viktigaste åtgärderna beskrivs tillsammans med en bedömning av hur mycket energi som kan sparas och vad det betyder ekonomiskt.

Rådgivningen följs upp efter några månader med ett telefonsamtal.



Bild 14. Energikartläggning på gården. Rådgivare och lantbrukare går runt gården, läser av värden, noterar var och hur energin används och tittar på hur energi kan sparas.

Subventionerad energikartläggning

Det finns vissa möjligheter att få ekonomiskt stöd till energikartläggning.

Energimyndigheten, energikartlägningscheck

Genom Energimyndigheten kan man få en så kallad energikartlägningscheck, om man använder minst 500 MWh/år eller har minst 100 djurenheter. Checken betalar halva kartlägningskostnaden, som omfattar konsultkostnader och lantbrukarens egen tid. Lantbrukaren ansöker hos Energimyndigheten på www.energimyndigheten.se/. Det finns regler för hur företagets energianvändning ska sammanställas och inrapporteras. Man ska också rapportera in de viktiga åtgärder för effektivisering som kommit fram genom kartläggningen.



Greppa näringen, Energikollen

Inom Greppa näringen finns en rådgivningsmodul, Energikollen, och i den ingår både gruppträffar och enskild rådgivning på gården. Djurgårdar med mer än 25 djurenheter kan få en energikartläggning som är kostnadsfri förutom en avgift på 1000 kr. Lantbrukaren får vända sig till någon av rådgivningsorganisationerna, som Greppa näringen har upphandlat rådgivningen från. Energirådgivaren ställer samman energianvändningen, beräknar nyckeltal och föreslår åtgärder för att spara energi.

Utöver Greppa näringens centrala resurser för Energikollen kan man få Energikollen genom länsstyrelsen i några län där man avsatt särskilda medel.

Mer information finns på www.greppa.nu



HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 1

Grunderna i energieffektivisering på lantbruk



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 2

Energi, grunder

Grundläggande begrepp och samband inom energi

2013



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Lars Neuman, energi- och teknikerådgivare, LRF Konsult.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet

Innehåll

Inledning	4
Vad är energi och effekt?	4
Enheter för energi och effekt	4
Vad använder vi energi till?	5
Energikällor/energibärare	5
Primärenergi och slutlig energi	6
Direkt och indirekt energi	7
Energi förekommer i olika former	9
Energiprincipen	9
Energikvalitet – varför är det intressant?	9
Omvandlingsförluster och verkningsgrad	11
Exempel på verkningsgrader	12
Värme – vad är värme?	16
Värmeöverföring	16
Värmeöverföring genom ledning	17
Värmeöverföring genom konvektion	17
Värmeöverföring genom strålning	18
Mekanisk energi	20
Rörelseenergi eller kinetisk energi	20
Lägesenergi eller potentiell energi	21
Tryck och tryckenergi	21
Uppvärmning av luft och vatten	23
Fuktig luft, luftens relativa fuktighet och förmåga att ta upp fukt	24
Värmepumpen, något om kylteknik och värmepumpens princip	26
Liten energiordlista	29
Referenser i urval	30

Inledning

Den här delen av handboken skiljer sig lite från de andra delarna. Den innehåller inga konkreta åtgärder för effektivisering, men väl en del grundläggande information om energi och energiomvandling. Den syftar till att ge lantbrukare och rådgivare en god förståelse för grunderna, vilket då ska underlätta arbetet med energieffektivisering i lantbruket.

Här förklaras viktiga begrepp och fysikaliska samband, liksom en del användbara siffervärden.

Vad är energi och effekt?

Energi är en fysikalisk storhet som beskriver något med potential att medföra förändring, rörelse eller utträta någon form av arbete (*Wikipedia*). Energi kan vara lagrad (potentiell energi eller lägesenergi) eller något som överförs.

Effekt är energi per tidsenhet eller utträttat arbete per tidsenhet. Om vi vet den effekt som utvecklats under en viss tid så kan vi beräkna den energi som använts under den tiden.

effekt = energi/tid och energi = effekt x tid

Exempel:

En glödlampa med effekten 100 W lyser i 24 timmar. Under den tiden använder lampan 100 (W) x 24 (timmar) = 2400 Wh = 2,4 kWh.



Enheter för energi och effekt

Det finns flera enheter för energi och effekt, men i denna handbok har vi funnit det mest praktiskt att använda enheterna **kWh** och **kW**. Det har utbildats en praxis bland energirådgivarna att räkna i dessa enheter vid energikartläggning. Därför bör man kunna räkna om från andra enheter, med hjälp av tabell 1 och 2.

Tabell 1. Vanligaste energienheter, omvandlingstal

	kJ	MJ	kWh	kcal	Mcal
1 kJ	-	0,001	0,000278	0,239	0,000239
1 MJ	1000	-	0,278	239	0,239
1 kWh	3600	3,6	-	860	0,860
1 kcal	4,19	0,00419	0,00116	-	0,001
1 Mcal	4 190	4,19	1,16	1 000	-

Exempel på användning av tabell 1:

- 1. För att omvandla 1 kcal till kWh, multiplicera med 0,00116.*
- 2. Omvandling av 10 MJ till kWh: 10 (MJ) * 0,278 = 2,78 (kWh)*

Den grundläggande enheten i SI-systemet för energi är Joule som uttalas "jol" och betecknas med bokstaven J. Motsvarande grundläggande enhet för effekt är J/s. 1 J/s = 1 W (Watt). Ibland använder man även energienheten Ws. 1 Ws = 1 J. Eftersom enheterna J och W är små, så är det mer praktiskt att använda effektenheterna kW och MW samt energienheterna kWh och MWh. Prefixet k (kilo) står för 1000 och M (mega) står för 1 000 000.

1 MW = 1000 kW 1 kW = 1000 W
1 MWh = 1000 kWh 1 kWh = 1000 Wh = 3 600 000 Ws = 3 600 000 J

Historiskt har man också använt energienheten kcal (kilokalori), men det är en enhet som inte hör hemma i SI-systemet. Ursprunget till enheten är att 1 kcal fastställdes till den energimängd som höjer temperaturen i 1 kg vatten med 1 grad. 1 kWh = 860 kcal.

BTU (British Thermal Unit) är en annan enhet, som man kan träffa på internationellt.
1 BTU = 1,055 kJ = 0,000293 kWh

Tabell 2. Vanligaste effektenheter, omvandlingstal

	kJ/h	MJ/h	kW	Kcal/h	Mcal/h
1 kJ/h	-	0,001	0,000278	0,239	0,000239
1 MJ/h	1000	-	0,278	239	0,239
1 kW	3600	3,6	-	860	0,860
1 kcal/h	4,19	0,00419	0,00116	-	0,001
1 Mcal/h	4 190	4,19	1,16	1000	-

Hästkraft (Hk) är en äldre effektenhet, som dock fortfarande används när man pratar motorer.

1 hk = 0,735 kW. Horsepower (Hp) är motsvarande enhet i ex. USA. 1 Hp = 0,746 kW

www.konvertera.nu är en gratisjänst på webben som hjälper dig att konvertera enheter.

Vad använder vi energi till?

Den energi som man köper in till gården används till olika ändamål

ljus, belysning

arbete, att lyfta, flytta, transportera, sönderdela

värme, att värma vatten, luft m.m.

kyla, egentligen arbete i en kylkompressor

Energikällor/energibärare

Vanligaste energikällor i lantbruket är elenergi och dieselolja, men vi använder också en del eldningsolja, bensin och gasol. Exempel på biobränsle finns många. Effektiva värmevärdet är ett mått på energinnehållet i ett bränsle och det är den energi som teoretiskt kan utnyttjas. Tabell 3 ger några exempel.

Tabell 3. Exempel på energislag med bränslevärden, effektiva värmevärden. (Efter LRF och SPI)

Energikälla, bränsleslag	enhet	effektivt värmevärde
Dieselolja, MK1	9800	kWh/m ³
Dieselolja, MK1 med 5 % FAME	9770	kWh/m ³
Eldningsolja 1	9950	kWh/m ³
Gasol	12800	kWh/ton
Brännved travat mått, 30 % fukthalt	1200-1500	kWh/m ³ t
Träflis stjälpt mått, 30 % fukthalt	950	kWh/m ³ s
Träflis stjälpt mått, 50 % fukthalt	850	kWh/m ³ s
Halm	4000	kWh/ton
Spannmålskärna	4200	kWh/ton

Notera att när man räknar på bränslebehov måste man också ta hänsyn till verkningsgraden i exempelvis en panna. Begreppet verkningsgrad förklaras längre fram.

Ett exempel:

Antag att en gårds båda bostäder har ett sammanlagt värmebehov på 60 000 kWh/år och för det ska det byggas en fliseldningsanläggning. Verkningsgraden i den kan uppskattas till 75 procent på årsbasis och med hänsyn taget till förluster i värmekulvertarna. Flisens värmevärde måste totalt för året vara $60000 / 0,75 = 80\,000$ kWh. Med ett värmevärde från tabell 3 på 950 kWh/m³s, så beräknar vi flisbehovet till $80\,000 / 950 = 84$ m³/år.

Primär energi och slutlig energi

När energieffektivisering diskuteras i större politiska sammanhang nämns ofta termerna primärenergi och slutlig energi. När vi pratar om gårdens energianvändning är det slutlig energi som är intressant.

Primärenergi omfattar även den energi som krävs för att få fram en viss mängd slutlig energi till användaren. Den slutliga energin är den energi som används av lantbrukaren och som kan mätas i till exempel en elmätare, om det är elenergi. På vägen från produktion till slutkund försvinner en del energi genom utvinning, förädling, transport, omvandling eller distribution.

Med andra ord, det används energi för att förse lantbruket med energi. Man kan också översätta slutlig energi med inköpt energi. En lantbrukare, som använder biobränsle från den egna gården, har inte inköpt all energi och då kan det vara bättre att säga tillförd energi.

Antag att en lantbrukare beställer hem och fyller 5 m³ dieselolja i sin farmartank. Den innehåller då 50 000 kWh, om vi överslagsmässigt räknar med 10 kWh per liter i bränslevärde. Detta är den energi som slutanvändaren/lantbrukaren har nytta av. 50 000 kWh är den slutliga energianvändningen. Före leveransen har det använts en del energi för att pumpa upp råolja, transportera, raffinera, lagra och sedan köra ut dieseloljan till gården. Detta handlar om ungefär 15 procent av den levererade oljans bränslevärde. Den slutliga energianvändningen om 50 000 kWh förutsätter därför en primär energianvändning på 57 500 kWh.

Att prata om primär energianvändning kan vara intressant när man talar om de globala energiresurserna och om klimatpåverkan. För lantbrukaren och energin på gården är resonemanget om slutlig eller tillförd energi betydligt intressantare, särskilt ur ekonomisk synpunkt.

Slutlig energianvändning är värmevärdet eller energivärdet i det som levereras till lantbrukaren. Det är den energi han har nytta av och därför är den slutliga energianvändningen intressantast för gården. Slutlig energi kan också översättas med inköpt energi eller tillförd energi.

Primär energianvändning innefattar slutlig energi plus den energi som behövs för att framställa, förädla och transportera energi fram till slutanvändaren. Intressantare i ett globalt energiperspektiv än i gårdens perspektiv.

På liknande sätt fungerar det med elenergi. Eftersom transformeringar och överföring i ledningarna ger förluster, så försvinner det en del på vägen mellan kraftverk och gård. Dessutom blir förlusterna stora i ett kraftverk som drivs med kol eller olja. Förlusternas storlek beror delvis på hur kraftverket drivs. Ett riktvärde kan vara att den primära elenergianvändningen är 50 % högre än den slutliga. Om gårdens slutliga elenergianvändning är exempelvis 100 000 kWh, så är alltså den primära elenergianvändningen 150 000 kWh.

Vilken energi ska vi räkna med, primär energi eller slutlig energi? I en energikartläggning på gården faller det sig naturligt att räkna med den slutliga energin, eftersom det är den som det finns ett pris på och den är mera konkret och intressant för lantbrukaren.

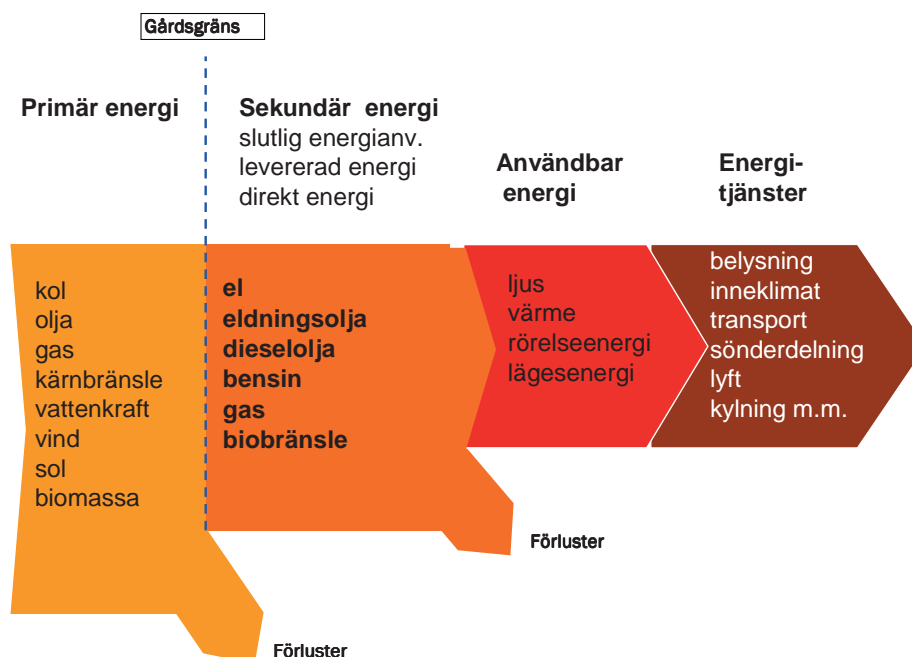


Bild 1. Principbild av flödet från primär energi till energitjänster via sekundär energi eller som det också kallas, slutlig energi eller direkt energi.

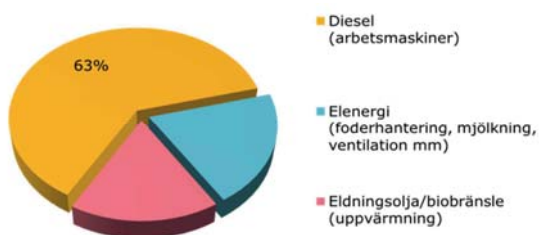
Direkt och indirekt energi

När man pratar om gårdens energianvändning behöver man ofta förtydliga om man menar direkt eller indirekt energi.

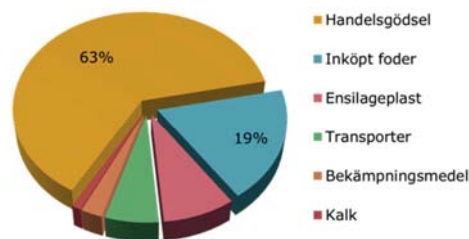
Direkt energi köps in till gården för att man behöver en energikälla. Direkt energi används när man kör traktorn, slår på lyset i taket och värmer upp djurstallarna. Den direkta energin kan vara i form av elenergi. Den kan också vara energin i dieselolja, eldningsolja, biobränsle o.s.v., som då beräknas med hjälp av effektivt värmevärde.

Med indirekt energi menar man den energi som indirekt belastar gården när man använder handelsgödsel, bekämpningsmedel, ensilageplast, kalk, utsäde, köpfoder och transporter samt inte minst byggnader och maskiner. Själva energianvändningen har skett någon annanstans, före gårdsgrunden och vid produktion, förädling och distribution av varan.

Ett lantbruks indirekta energianvändning påverkas av produktionsinriktning och produktionsmetoder. Det tydligaste och viktigaste exemplet är användning av handelsgödsel och då främst N-gödsel. Vi använder oss inte av energin som sådan i gödseln utan vi använder växtnäringen. Processen att tillverka nitrat av luftkvävet är dock mycket energikrävande, ca 12 kWh per kg kväve. Mest används naturgas. Ett lantbruks användning av mineralkvävegödsel medför alltså en stor indirekt energianvändning.



Direkt energi 3,6 TWh/år



Indirekt energi 3,6 TWh/år

(1 TWh = 1000 GWh = 1 000 000 MWh = 1 000 000 000 kWh)

Bild 2. Direkt och indirekt energianvändning i svenskt jordbruk är av samma storleksordning. (Efter LRF)

Bild 2 visar att indirekt energianvändning genom N-gödseln är av samma storlek som dieselanvändningen i det svenska lantbruket. Stora poster är också inköpt foder och ensilageplast. Alla insatsvaror medför en indirekt energianvändning: smörjmedel, hydraulolja, växtskyddsmedel, gödselmedel, kalk, utsäde, emballage o.s.v. Inköp av maskiner, inredning och liknande medför också indirekt energianvändning liksom byggandet av djurstallar, maskinhallar, plansilor och gödselbehållare.

Ibland har man anledning att diskutera energibalansen i svenskt lantbruk. Den energi som tillförs gården jämförs med den energi som lämnar gården i produkter. Den fullständiga bilden får man bara om man räknar in all indirekt energianvändning och om man räknar om slutlig energi i dieselolja, eldningsolja, biobränslen och elenergi till primär energi. Gårdens produkter åsätts energivärden, fastän de även kan ha andra värden, som är syftet med produktionen.

Att göra en fullständig energibalans är inte alldeles enkelt. I bild 3 illustreras sådana energiflöden, om än förenklat. Viktigt är att den tillförda energin är hjälpen energi för att göra det möjligt att omvandla solenergi till livsmedel.

I den samlade växtodlingen på svensk åker bedöms fotosyntesen binda ca 80 TWh i bärgad skörd.

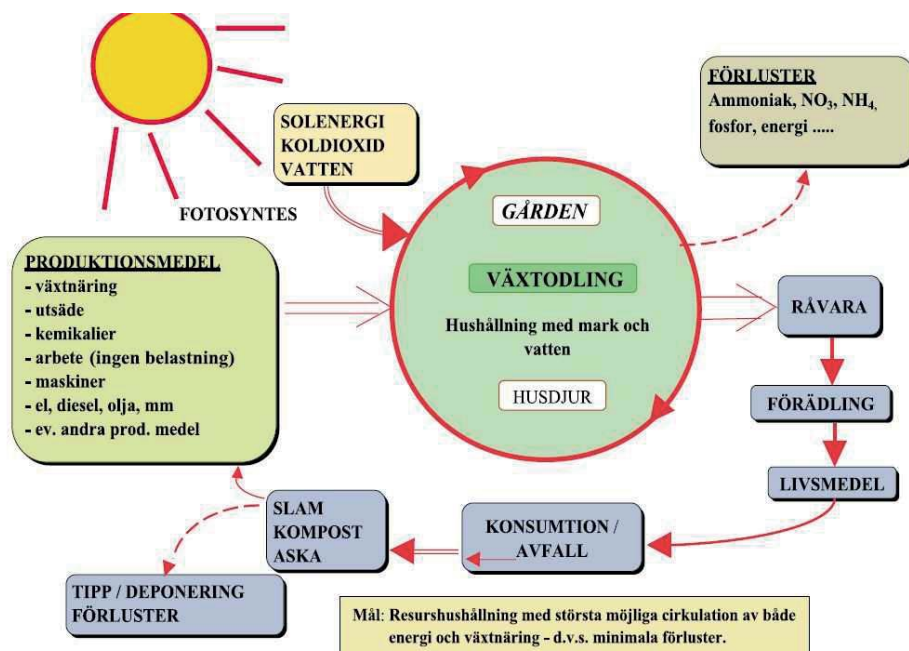


Bild 3. En schematisk bild av lantbrukets energiflöden. (Efter Odling i Balans)

Energi förekommer i olika former

De viktigaste energiformerna är:

- **Mekanisk energi** (rörelseenergi, lägesenergi, tryckenergi)
- **Elektrisk energi**
- **Kärnenergi** (kärnkraft)
- **Strålningsenergi**
- **Kemisk energi** (bränslen, livsmedel)
- **Termisk energi** (värme)

I en kraftverksdamm lagras energi som vattnets lägesenergi. När vattnet strömmar ut omvandlas lägesenergin till rörelseenergi, som i sin tur via en turbin och en generator omvandlas till elektrisk energi. Den elektriska energin kan sedan omvandlas till värme, mekanisk energi (och utträtta arbete) eller till och med till kemisk energi (ex. lagring i ett batteri).

Diesellojla innehåller kemisk energi som kan omvandlas till mekanisk energi i ex. en motor (med vissa förluster som blir värme), elektrisk energi i en generator eller eldas upp och övergå till värme.

Energiprincipen

Energi kan varken skapas eller förintas, bara omvandlas mellan olika former

Energiprincipen är också termodynamikens första huvudsats eller lagen om energins bevarande. I dagligt tal pratar vi om att ”förbruka” energi och att ”producera” energi och det är alltså inte helt korrekt. Det är bättre att säga energianvändning eller energiomsättning än energiförbrukning. Däremot behöver det inte vara fel att säga dieselförbrukning eller elförbrukning, eftersom till exempel själva diesellojlan förbrukas medan dess energi omvandlats till annan energi.

Energiprincipen säger ju att energi inte kan skapas eller förstöras och att den bara kan omvandlas mellan olika energiformer. Detta är sant men gäller med vissa förutsättningar. Det är inte all energi som helt låter sig omvandlas till andra energiformer. Mekanisk energi som rörelseenergi kan omvandlas till elektrisk energi och elektrisk energi kan omvandlas tillbaka till rörelseenergi.

Elektrisk energi kan omvandlas helt till termisk energi (värme). Men värme kan inte helt omvandlas till elektrisk energi. Här ser vi en skillnad i hur energi omvandlas. Kort sagt kan man säga att värme inte fullt ut kan omvandlas till andra energiformer, men ju högre temperatur som värmen har, desto mer kan den omvandlas till andra energiformer. Det finns alltså skillnader i kvalitet mellan energiformer.

Energi kvalitet – varför är det intressant?

Energi former som låter sig omvandlas helt och fullt till andra energiformer sägs ha högsta energikvalitet. Spillvärme, det vill säga termisk energi med låg temperatur, sägs ha låg kvalitet.

Måttet på energikvalitet anger hur mycket av energi av en viss energiform som kan omvandlas till mekanisk energi (arbete). Med kunskapen om energikvalitet och dess betydelse är det lättare att förstå principerna för energiomvandling och dess konsekvenser för energiproduktionen och miljön.

Tabell 4. Några energikällor med faktorer för energikvalitet (Efter Wikipedia)

Energikälla	Kvalitetsfaktor
mekanisk energi	1,00>
elektrisk energi	1,00
kärnbränsle	0,95
solstrålning	0,93
kemiska bränslen	omkring 1
termisk energi och värmestrålning vid 300 °C	0,49
termisk energi och värmestrålning vid 100 °C	0,21
termisk energi och värmestrålning vid 40 °C	0,06
termisk energi och värmestrålning vid 20 °C	0,00

Energikvaliteten bestäms utifrån den temperatur som kan uppnås när en energiform omvandlas till termisk energi, värme. Den bestäms av omgivningens temperatur och värmekällans temperatur.

Ett praktiskt exempel kan illustrera energikvalitet, se även bild 4.

Din lägenhet håller 21 grader i lufttemperatur. Hos grannen mitt emot hämtar du en 10-litershink som är till hälften fylld med 30-gradigt vatten. Kan hinken avge värme till rummet?

Ja det kan den, eftersom den är varmare än luften.

Du hämtar nu 5 liter kallvatten som håller 10 grader och tömmer över i den första hinken. Blandningen får temperaturen 20 grader. Kan nu hinken avge värme till rummet? Nej.

Har den totala energin i 10 liter vatten förändrats genom att volymerna blandas? Nej.

Har du förändrat kvaliteten på energin genom att blanda volymerna? Ja, uppenbarligen eftersom lägenheten inte längre kan få någon värme från hinken.

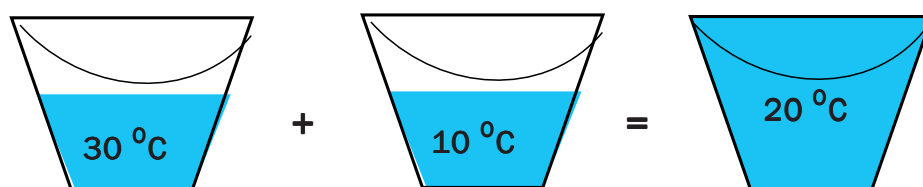


Bild 4. Exempel på förändring av energikvalitet.

Elenergi är energi av mycket hög kvalitet, den kan omvandlas till andra viktiga energiformer som mekanisk energi och värme. Dessutom är den lätt att transportera. Värme är energi av låg kvalitet och ju lägre temperaturen är, desto lägre är energikvaliteten. När konkurrensen om energiresurserna hårdnar blir det allt viktigare att energiresurser av hög kvalitet används till rätt ändamål. För uppvärmning är det god hushållning med energikvalitet att använda värmekällor med låg temperatur. Elenergi bör i första hand användas till mekanisk energi och arbete.

Bensin eller dieselolja i en dunk håller också energi av hög kvalitet. Den är lätt att lagra och transportera och kan omvandlas till arbete och värme. Ett annat begrepp för energikvalitet är exergi, definierat som förmågan att omvandla energi till arbete.

Omvandlingsförluster och verkningsgrad

Vid omvandling från en energiform till en annan kan inte 100 procent av energin återfinnas i den nya energiformen. Det uppstår alltid förluster, vanligen som värme. Förlusten är inte detsamma som att energi försvinner, det kan den ju inte göra enligt energiprincipen. Förlusten är energi som vi inte kan dra nytta av. Undantaget finns, där förlustenergin är av hög kvalitet, temperaturen är tillräckligt hög eller där vi har lämplig teknik.

Om vi vill omvandla elenergi till rörelseenergi i en elektrisk motor och 16 procent av elenergin blir värme och 84 procent kan driva en spannmålsskruv, så betraktar vi de 16 procenten som en förlust. Det är svårt att utnyttja den värme som bildas i motorn.

Verkningsgrad är ett bra begrepp som uttrycker hur mycket av tillförd energi som omvandlas till det som var avsikten med omvandlingen, den energi vi har nytta av.

$$\text{Verkningsgrad} = \frac{\text{Nyttiggjord energi}}{\text{Tillförd energi}}$$

Skillnaden mellan tillförd och nyttiggjord energi utgörs av förluster, i slutändan värme.

$$\text{Nyttiggjord energi} = \text{tillförd energi} - \text{förluster}$$

Verkningsgraden anges oftast i procent men ibland också som decimaltal. En vanlig symbol för verkningsgrad är den grekiska bokstaven η (eta) som används i formler.

Vi kan lika gärna utgå från effekterna som från energierna och då skriver vi:

$$\text{Verkningsgrad} = \frac{\text{Nyttiggjord effekt}}{\text{Tillförd effekt}}$$



Bild 5. En elmotor får illustrera verkningsgrad och förluster.

Exempel på verkningsgrader

I all energiomvandling får vi förluster. Här följer några fall och tillämpningar med typiska verkningsgrader.

Elpatroners och varmvattenberedares verkningsgrader

En elpatron i en varmvattenberedare har verkningsgraden 100 procent. All elektrisk energi blir värme. Det är omöjligt att tänka sig att elpatronen har förluster i form av värme.

$$\text{Elpatronens verkningsgrad} = \frac{\text{Värme}}{\text{Tillförd elenergi}}$$



Bild 6

Elpatron



Elektrisk varmvattenberedare

Även en isolerad beredare kommer att läcka värme. Även om elpatronen har 100 procent verkningsgrad, så har beredaren en verkningsgrad på kanske 95 procent. Så mycket av den tillförda elenergin har nyttiggjorts i varmvattnet, medan resten gått förlorad ut genom isoleringen.

$$\text{Varmvattenberedarens verkningsgrad} = \frac{\text{Värme i uttaget varmvatten}}{\text{Tillförd elenergi}}$$

Elmotorers verkningsgrader



Bild 7.

Elmotor. På nyare motorer ska märkplåten ange verkningsgradklass.

På äldre motorer finns inte den uppgiften, man kanske måste gå till leverantören eller tillverkaren för att få reda på verkningsgraden.

När vi använder en elmotor är vi mest intresserade av vilken effekt vi kan få ut på motoraxeln. Den är alltid lägre än den tillförda elektriska effekten. I motorns lindningar bildas värme på grund av resistansen (elektriskt motstånd). Motorn har en fläkt som ventilerar bort värmen och denna fläkt drar också viss effekt. Det finns också lite friktion i motorn, friktion som för övrigt också ger upphov till värme. Sammantaget gör förlusterna att elmotorn inte kan omvandla all tillförd elektrisk energi till mekanisk energi ut på motoraxeln.

Verkningsgraden kan vara så låg som 60 procent på småmotorer, de med märkeffekt under 1 kW. Ju större motorerna är, desto bättre verkningsgrad får de. I effektområdet 7,5 – 15 kW är verkningsgraderna 86 - 91 procent.

Nya elmotorer med märkeffekt från 0,75 kW måste vara ännu effektivare enligt EU-direktiv. Elmotorer som säljs eller installeras efter 16 juni 2011 ska med några undantag hålla klass IE2. Tabell 5 ger några exempel. Den 1 januari 2015 skärps kraven till IE3.

Tabell 5. Exempel på lägsta verkningsgrad på elmotorer för klassning IE2 och IE3

Effekt kW	Effekt hkr	2-polig motor synkront varvtal 3000 rpm	4-polig motor synkront varvtal 1500 rpm	2-polig motor synkront varvtal 3000 rpm	4-polig motor synkront varvtal 1500 rpm
		Klass IE2 Gäller från 16/6 2011 Även frekvensreglerade fr 2015		Klass IE3. Gäller från 1/1 2015	
0,75	1	72,1	72,1	77,4	79,6
2,2	3	79,7	79,7	83,2	84,3
5,5	7	84,7	84,7	87,0	87,7
7,5	10	86,0	86,0	88,1	88,7
15	20	88,7	88,7	90,3	90,6
22	30	89,9	89,9	91,3	91,6

$$\text{Elmotorns verkningsgrad} = \frac{\text{Rörelseenergi i motoraxeln}}{\text{Tillförd elektrisk energi}} = \frac{\text{Effekt på motoraxeln}}{\text{Tillförd elektrisk effekt}}$$

Läs mer om elmotorer och verkningsgrad handbokens del 3 om el och elmotorer.

Dieselmotorers verkningsgrader



Bild 8. Dieselmotor. Tyvärr har förbränningsmotorer låga verkningsgrader, men dieselmotorer hör till de bättre i klassen. Ungefär 2/3 av energin försvinner som värme och kan därför inte användas till arbete. Kvar är ca 1/3, mätt på svänghjulet.

Dieselmotorer har låga verkningsgrader liksom alla andra värmemotorer, särskilt om man jämför med elmotorer. Dieselmotorn är dock bättre än bensinmotorn, tack vare en högre kompression.

Förluster är främst den värme som måste kylas bort med kylvätskan. Med avgaserna följer också mycket värme och kanske en del outnyttjad kemisk energi av det som tillförts med dieseloljan, alltså i oförbrända kolväteföreningar. Några procent försvinner också som strålningsvärme.

I en motorlärobok från 1967 kunde man läsa att mindre dieselmotorer utan turboladdning hade en verkningsgrad på 28 – 34 procent. Modern teknik med direktinsprutning, turbomatning och laddluftkylning gör det möjligt att nå högre, upp emot 40 procent. Verkningsgraden uttrycker då den nyttiga energin på vevaxeln i förhållande till tillförd kemisk energi i bränslet. I praktisk drift kommer man sällan upp i så höga verkningsgrader. Vid låga belastningar och vid höga motorvarvtal sjunker verkningsgraden. Att belasta motorn på hög växel och lågt varvtal är därför nyckeln till sparsam körning.

$$\text{Dieselmotorns verkningsgrad} = \frac{\text{Avgiven effekt på vevaxeln}}{\text{Tillförd energi i bränslet per tidsenhet}}$$

Ett annat och vanligare uttryck för verkningsgrad hos traktorer och traktormotorer är tillfört bränsle i gram för varje kWh som avges på motorns vevaxel, man mäter i g/kWh. Det kallar vi specifik bränsleförbrukning. Ju lägre värde i g/kWh desto bättre är verkningsgraden. I den gynnsammaste arbetspunkten och när generator, kylfläkt m.m. är bortkopplat, kan en dieselmotor idag komma ner under 200 g/kWh. Det motsvaras av en verkningsgrad på över 40 procent och det är ungefär gränsen för vad man kan uppnå.

Notera att mätningar av en motors effekt kan göras på olika sätt, efter olika standardiserade mätmetoder. En motors effektdata bör alltid kompletteras med uppgift om vilken standard man gjort mätningen efter. Det gör skillnad om motorn exempelvis ska driva en kylfläkt och en kylvätskepump, därför att då blir det lägre effekt ut på motoraxeln, men mätresultatet har större praktisk nytta.

Traktorers verkningsgrader



Bild 9. Traktorn är tyvärr inte så bra på att omvandla kemisk energi till nyttigt arbete som man skulle önska. Motorerna har visserligen blivit bättre, men all tilläggsutrustning gör att nyttig effekt över kraftuttag och drivande hjul minskar. Verkningsgraden varierar med hur man använder traktorn

Traktorns verkningsgrad, vad vi kan få ut i arbete, är mycket intressantare än motorns verkningsgrad.

På en traktor som används till att driva ett redskap med kraftuttaget kan vi mäta den nyttiggjorda energin på kraftuttagstappen. Transmissionen mellan motor och kraftuttagstapp har förluster, kanske 10 -15 procent av den överförda energin går bort som värme. Det sänker traktorns verkningsgrad. Innan vi får ut nyttig effekt via kraftuttaget går det också åt effekt för att driva generator, hydraulpumpar, luftkonditionering och eventuell tryckluftskompressor.

$$\text{Traktorns kraftuttagsverkningsgrad} = \frac{\text{Avgiven effekt på kraftuttaget}}{\text{Tillförd bränsleenergi per tidsenhet}}$$

När vi använder traktorn som dragare är det intressantare med hjulverkningsgrad eller dragkroksverkningsgrad.

$$\text{Traktorns dragkroksverkningsgrad} = \frac{\text{Avgiven effekt via hjulen}}{\text{Tillförd bränsleenergi per tidsenhet}}$$

Dragkroksverkningsgraden är ett begrepp som är svårt att använda. Mycket beror ju på viktbelastning, markunderlag och däck vilken dragkrokseffekt man lyckas överföra.

Ju dyrare bränslet blir, desto intressantare är praktiskt inriktade tester av bränsleförbrukning. Tyska DLG har tagit fram en speciell testmetod kallad PowerMix. Där mäter man specifika bränsleförbrukningen vid olika typarbeten och olika belastningar och skapar ett medeltal. Några av de senaste årens effektiva traktorer har testats och för dem ligger medeltalen i ett intervall på ungefär 240 - 290 g/kWh. Omräknat blir det verkningsgrader mellan 29 och 35 procent. I genomsnitt för dagens traktorbestånd kan vi räkna med flera procentenheter sämre verkningsgrader.

Länk till DLG-tester: http://www.dlg.org/neue_testberichte.html.

Värmepannors verkningsgrader



Bild 10.

En pannas verkningsgrad varierar med bränsle, belastning, skötsel m.m.

Värmepannans verkningsgrad beror på typ av bränsle och på pannans konstruktion, användning och styrning. Det är ofrånkomligt att en del värme försvinner upp i luften med rökgaserna och att en del värme strålar ut till omgivningen från en varm panna. En del förluster uppstår också genom ofullständig förbränning.

$$\text{Värmepannans verkningsgrad} = \frac{\text{Nyttig värme}}{\text{Tillförd kemisk energi i bränslet}}$$

I energieffektivisering är det naturligtvis viktigt att uppnå så höga verkningsgrader som möjligt. Men det kan vara svårt eller mycket svårt att hitta uppgifter om verkningsgrad på motorer, pannor och utrustningar. Ibland finns det data från tester att tillgå och det är i och för sig värdefullt. Man bör tänka på att testerna är gjorda under goda förhållanden och ofta under kort tid.

I den praktiska driften på gården blir verkningsgraden lägre. När vi räknar på energianvändningen behöver vi veta vad verkningsgraden är i medeltal under ett år, i den aktuella driften. Ibland använder man begreppet årsmedelverkningsgrad, till exempel för pannor. Den är alltid lägre än den bästa verk-

ningsgrad som kan uppmätas i tester, vilka ofta görs under goda förhållanden och med jämn och hög belastning.

Vi bör eftersträva en hög verkningsgrad, men detta är inte alltid detsamma som en energioptimal lösning. Ta till exempel ett elektriskt värmeelement med i princip 100 procents verkningsgrad. Det är bästa möjliga, men elen skulle istället kunna användas för att driva en värmepump. Den skulle avge 2-3 gånger mer värme för samma mängd tillförd elenergi, genom att den tillvaratar lågvärdig energi i luft eller vatten och höjer energikvaliteten.

Värme – vad är värme?

Värmeenergi kallas med ett annat namn termisk energi. Värmeenergi i ett ämne svarar mot rörelseenergin i ämnets molekyler eller atomer. Ju snabbare de rör sig, desto mer värmeenergi finns lagrat i ämnet och desto högre är temperaturen. När ämnet är i gas- eller vätskeform är molekylerna i en oordnad rörelse som i bild 11 och när ämnet är i fast form är rörelsen vibrationer hos molekylerna.

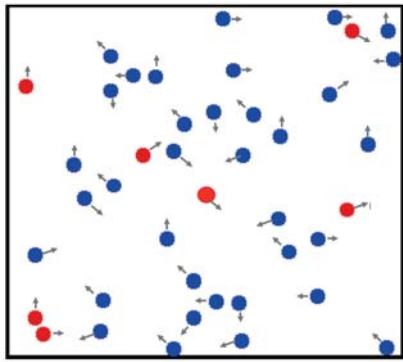


Bild 11.

I en gas eller en vätska motsvaras värmeenergin av molekylernas rörelseenergi, när de rör sig, roterar och vibrerar. Ju snabbare de rör sig, desto högre är temperaturen.

Värmeöverföring

Värmeenergi kan föras över på tre olika sätt: ledning, konvektion och strålning. Värme kan spontant överföras endast från ett varmare till ett kallare medium. Detta är en viktig regel och kallas termodynamikens andra huvudsats:

Värme kan inte av sig själv gå över från en kropp vid lägre temperatur till en annan med högre temperatur.

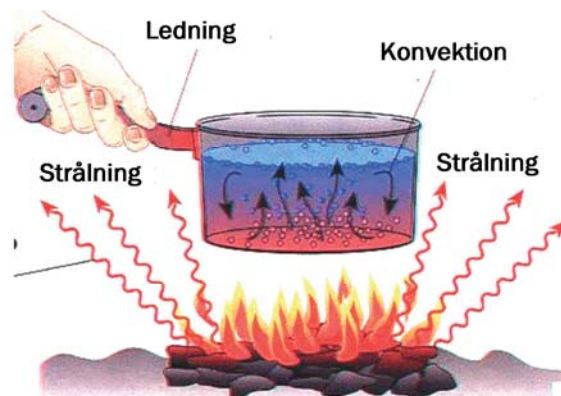


Bild 12. Värme överförs på tre olika sätt: ledning, konvektion och strålning.

Värmeöverföring genom ledning

Värme kan transporteras genom värmeledning i all materia. Värmeledning kallas även värmekonduktion och värmetransmission. Värmen rör sig från högre till lägre temperatur. Drivkraften är temperaturskillnaden. Det sker ingen materialtransport. Hur mycket värme som överförs på en viss tid beror på materialets egenskaper och på temperaturskillnaden. Det skiljer mycket i värmeledningsförmåga mellan olika material. Symbolen för värmeledningsförmåga eller värmekonduktivitet i ett ämne är den grekiska bokstaven lambda (λ). Enheten är $\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ och står för det antal watt som transporteras genom materialet mellan två parallella ytor på 1 m^2 , belägna på 1 m avstånd från varandra när temperaturskillnaden mellan dem är $1 ^\circ\text{C}$. I fråga om byggnader är man inte intresserad av värmekonduktivitet utan motsats, isoleringsförmåga.



Bild 13. Värme kan t.ex. överföras genom ledning, även kallat värmekonduktion eller värmetransmission.

Tabell 6. Exempel på värmekonduktivitet för några material.

Ämne, material	Värmekonduktivitet λ ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$)
Aluminium	200
Koppar	400
Stål	50
Luft	0,025
Vatten	0,56
Trä, parallellt fibrerna	0,30
Träfiberskiva, spånskiva	0,14
Betong	1,8
Mineralull	0,030 - 0,040
Cellplast, polyuretan	0,020 - 0,026

Värmeöverföring genom konvektion – genom luft- eller vätskerörelser

Konvektion innebär att värme överförs genom förflyttning av massa, t.ex. luft rörelser. När varm luft stiger på grund av att den är lättare än kall luft, talar vi om egenkonvektion. Att luften blir lättare när den värms förklaras längre fram i avsnittet om allmänna gaslagen. Den varma luften utvidgas.

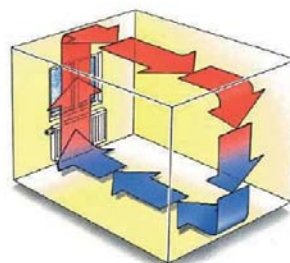
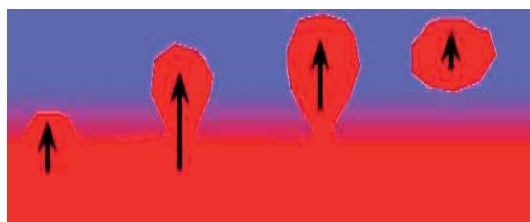


Bild 14. Exempel på egenkonvektion är när varm luft bildar varmluftsblåsor och lyfter upp genom kallare luft samt när ett värmeelement ger uppåtgående strömmar av varm luft.

En form av överföring genom massrörelse är när vinden blåser eller när man flyttar luft med en fläkt eller varmvatten med en pump. Då talar man ibland om advektion.

I varmluftstorkning har vi exempel på advektion eller påtvingad konvektion. En fläkt flyttar uppvärmd luft från pannan till torken. När vi pumpar varmt vatten i en ledning för att transportera värme så är det också en form av påtvingad konvektion.

Värmeöverföring genom strålning – från ett varmt föremål till ett kallare

Alla föremål med en temperatur över absoluta nollpunkten avger värmestrålning. Atomernas värmerörelse ger upphov till en elektromagnetisk strålning som kan passera genom genomskinliga material eller vakuum. Att strålningen kan ske i vakuum det är solens värmestrålning exempel på. Den går med ljusets hastighet genom tomma rymden. Värme strålar från ett varmare föremål till ett kallare. När det kallare föremålet träffas av strålningen så ökar rörelsehastigheten hos molekylerna i föremålet, det värms upp. Temperaturen stiger.

Hur mycket av strålningen som absorberas respektive reflekteras beror på det bestrålade materialets ytegenskaper. Vi har ju alla erfarenheter av att en blank metallyta inte värms upp lika mycket i solskenet som en mörk, matt yta. Den blanka ytan reflekterar mer av strålningen och värms därför inte lika mycket som den mörka.

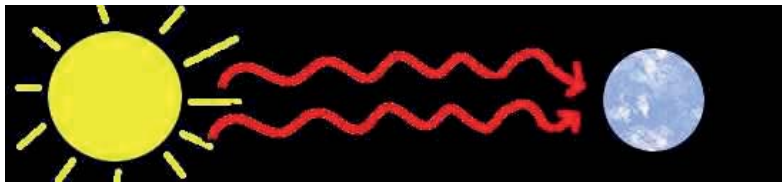


Bild 15. Solens energi överförs genom strålning till jorden, där den omvandlas till andra former.

I de temperaturer vi är vana vid i vardagliga sammanhang är en stor del av värmestrålningen i form av infraröd strålning, ofta förkortat till IR-strålning. Det är dock en vanlig missuppfattning att infraröd strålning och värmestrålning skulle vara samma sak. All elektromagnetisk strålning kan värma en yta, även ljuset från en glödlampa. Den infraröda strålningen ligger nära synligt ljus, utanför den röda delen i det elektromagnetiska spektret.

Vi finner tillämpningar av alla tre formerna för värmeöverföring inom lantbruket. I varmvattenberedare och värmeväxlare utnyttjas ledning. Värmelampor till smågrisar är exempel på hur värmestrålning används.

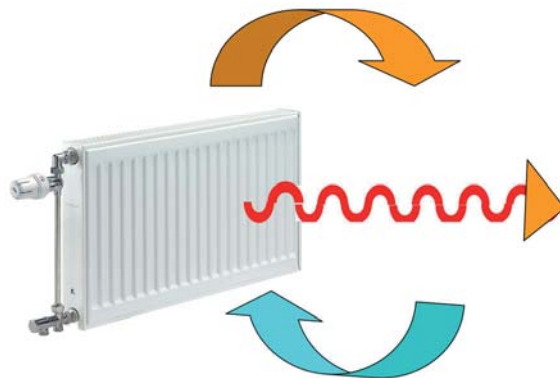


Bild 16. Från ett värmesystems radiator överförs värme till rummet genom både konvektion och strålning.

När vi undersöker möjligheterna att energieffektivisera handlar det ofta om att minska värmeförluster, att minska oönskad värmeöverföring. Förluster av värmeenergi uppträder också i alla tre formerna: ledning, konvektion, strålning.

Värmeförluster uppträder som konvektion vid för stort ventilationsflöde eller i form av värmeledning (transmission), när en byggnad förlorar värme genom dålig isolering. Oisolerade varmvattenrör och varmluftskanaler förlorar värme genom en kombination av alla tre formerna.

Isolering - minskar värmeledningen och förlusterna

Av tabell 6 framgår det tydligt varför mineralull används som isolering. Det inverterade värdet av värmekonduktivitet kallas naturligt nog för värmemotstånd.

Bild 17.

Mineralullsisolering har låg värmekonduktivitet och därmed högt värmeledningsmotstånd (efter Isover AB)



Polyuretanskum har ännu bättre värden än mineralull. Ett viktigt användningsområde är isolering av rör. I bygghandeln finns s.k. rörsålar i olika dimensioner som gör det lätt att isolera rören.

En byggnadsdel är oftast sammansatt av olika material som har olika egenskaper och olika värmekonduktivitet eller λ -värden. Som mått på en byggnadsdels värmeisoleringsförmåga används begreppet värmegenomgångskoefficient, U-värdet. Detta är ett mått på hur mycket värme som försvinner ut genom byggnadsdelen per m^2 och sekund vid temperaturskillnaden $1\text{ }^\circ\text{C}$. Enheten är $\text{W}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$.

Värmemotståndet i byggnadsdelen beräknas utifrån skiktjocklek och värmekonduktivitet i materialen.

Exempel, transmissionsförlust genom en vägg

*En 10 m^2 vägg har ett U-värde på $0,25\text{ W}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$. Vi kan beräkna transmissionsförlusten, värmeledningen, genom väggen vid en temperaturskillnad på $50\text{ }^\circ\text{C}$ (inne $20\text{ }^\circ\text{C}$, ute $-30\text{ }^\circ\text{C}$). Genom väggen leds $0,25 * 10 * 50 = 125\text{ W}$. På ett dygn blir det $125 * 24 = 3000\text{ Wh} = 3\text{ kWh}$.*

Isolering av varmvattenrör är något som ofta försummas, t.ex. i mjölkkrummen. Vad isoleringen betyder visas här med ett exempel.

Exempel, isolering av ett 20 mm varmvattenrör

I ett mjölkkrum löper ett oisolerat rör för 40-gradigt vatten från värmeåtervinningen vid mjölktanken. Det är 5 m långt fram till en bufferttank. Ett sådant rör avger ca 20 W per m eller $0,1\text{ kW}$ på hela längden. Det blir $0,6\text{ kWh}$ på ett dygn om kylaggregatet går $6\text{ tim}/\text{dygn}$. På ett år är förlusten 220 kWh .

10 mm isolering minskar värmeförlusten till ca 5 W per m . Det ger alltså en besparing med 75 procent eller $160\text{ kWh}/\text{år}$.

Man kan hitta beräkningsprogram för isolering och värmetransmission hos tillverkare av isolering såsom Paroc AB (www.paroc.se), Saint-Gobain Isover AB (www.isover.se) och Rockwool AB (www.rockwool.se)

I exemplet ovan får vi en stor effekt av endast 1 cm, 75 procents besparing. För varje ytterligare cm isolering som vi lägger på så avtar effekten av just det skiktet, även om totala isoleringsförmågan förbättras. Det visar ett exempel i tabell 7 från JTI med en 10 m lång varmluftskanal mellan panna och tork. Den har 40 cm diameter. Varmluften håller en temperatur på 70 grader.

Tabell 7.

	effektförlost	energiförlost på 300 tim gångtid	kostnad vid oljepris 9 kr/l
Oisolerad kanal	7,3 kW	2190 kWh	2489 kr
Isolerad med 5 cm mineralull	0,44 kW	132 kWh	150 kr
Isolerad med 10 cm mineralull	0,22 kW	66 kWh	75 kr

Bild 18.

Varmluftskanalen till spannmålstorken ska alltid isoleras.



Mekanisk energi

Mekanisk energi är ett samlingsnamn för lägesenergi (kallas också potentiell energi) och rörelseenergi (kallas också kinetisk energi). Vi drar nytta av mekanisk energi för att utföra arbete som att flytta, lyfta, skära, mala, krossa o.s.v. Den mekaniska energin, som vi använder i lantbruket, får vi genom omvandling av elenergi i en elmotor eller kemisk energi i en förbränningsmotor.

Rörelseenergi eller kinetisk energi

En kropp som rör sig med någon hastighet har kinetisk energi (rörelseenergi). Energins storlek beror av kroppens massa och hastighetens storlek i kvadrat. Hastighetens riktning inverkar inte på energin.

Formeln för rörelseenergi är: $E = m * v^2 / 2$ där m är massan i kg och v är hastigheten i m/s.

Att rörelseenergin är proportionell mot kvadraten på hastigheten har mycket stor betydelse i praktiska tillämpningar. Om man ökar hastigheten vid plöjning så innebär det att plogtiltan förs åt sidan och vänds med större hastighet. Om man kör plogen så mycket fortare att man ökar tiltans hastighet med 50 procent, 1,5 gång, så ger man tiltan 2,25 gånger så hög rörelseenergi. Alltså går det åt mer än dubbelt så mycket dieselolja för att vända jorden när man ökar hastigheten med 50 procent. Vi har vunnit i kapacitet men förlorat i energieffektivitet, ofta också i plöjningskvalitet.

I ett annat exempel tittar vi på ett tungt lass som dras av en traktor. Ekipaget får mer än dubbelt så stor rörelseenergi om hastigheten är 30 km/tim än om den är 20 km/tim. Det kostar dieselolja att bygga upp den rörelseenergin, så det gäller att hushålla med den genom att planera sin körning.



Bild 19.

Det är betydande rörelseenergi i ett fullastat traktorekipage, som rullar med 30 km/tim.

Formeln ovan gäller för linjär rörelse d.v.s. traktorekipagets rörelse framåt. Motsvarande formel vid rotationsrörelse är lite mer komplicerad: $E_{\text{rot}} = I * \omega^2 / 2$ där massan m bytts mot tröghetsmoment I och den linjära hastigheten v bytts mot vinkelhastigheten ω , som har samband med varvtalet. Tröghetsmomentet betecknar motståndet mot att accelerera en kropps rotation på samma sätt som en kropps massa ger motstånd mot linjär acceleration. I ekipaget ovan finns denna energi i roterande hjul och axlar och det har också kostat dieselolja att bygga upp den energin, förutom rörelseenergin i den linjära rörelsen.

Ett ekipage med traktor och 18 m³ gödseltankvagn väger fullastat över 30 ton. När det kommit upp i 30 km/tim har det en rörelseenergi på mer än 1 kWh. Det går åt nästan en halv liter dieselolja bara för att bygga upp den rörelseenergin. Det talar för att man ska planera körningen, utnyttja rörelseenergin till förflyttning och inte bromsar bort den. Det talar också för körning med jämn hastighet.

Lägesenergi eller potentiell energi

Formeln för lägesenergi är: $E = m * g * h$ där m är massan i kg och h är höjden i meter. Konstanten g sätts oftast till värdet 9,81 m/s² och den är ett uttryck för gravitationen, jordens dragningskraft.

Ett praktiskt exempel på tillämpning av lägesenergi är kraftverksdammen. När dammen töms, omvandlas vattnets lägesenergi till rörelseenergi i en vattenström som kan driva en turbin som driver en elektrisk generator. I flera led har lägesenergin omvandlats till elektrisk energi.

En annan form av potentiell energi är den energi som lagras i en spänd fjäder och den tryckenergi som lagras i gasblåsan i en plogs tryckackumulator. I båda fallen har energin lagrats för att senare kunna omvandlas till arbete.

Tryck och tryckenergi

Resonemanget om tryckenergi leder oss till sambandet tryck – volym – temperatur. Detta är ett samband som är grundläggande för många viktiga processer, inte minst i förbränningsmotorer, kompressorer och värmepumpar. Sambandet uttrycks med allmänna gaslagen eller gasernas allmänna tillståndslag. För gas med en viss massa (substansmängd) gäller:

$$\frac{pV}{T} = \text{konstant}$$

där p = gasens absoluta tryck i N/m² (Pa, pascal)

V = gasens volym i m³

T = absoluta temperatur i Kelvin, förkortas oftast K. Kelvinskalan har sin nollpunkt vid -273,15 °C

Det betyder att om vi ändrar en av parametrarna, tryck, volym eller temperatur så måste minst en av de andra parametrarna också ändras. Om index 1 står för tillståndet före förändringen och index 2 för tillståndet efter förändringen så kan vi till exempel för en situation med konstant volym skriva:

$$\frac{p_1 V}{T_1} = \frac{p_2 V}{T_2} \quad \text{eller} \quad \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{eller} \quad p_1 T_2 = p_2 T_1$$

Om gasen ifråga är innesluten i en behållare (konstant volym) och vi värmer behållaren, så stiger givetvis temperaturen. Då ökar trycket och det vet vi ju av erfarenhet. Gaslagen ger oss en möjlighet att beräkna hur mycket trycket stiger.

Observera att gaslagen gäller för **absolut tryck** och **absolut temperatur**. Notera då att lufttrycket i vår omgivning är ungefär 1 bar eller 100 000 Pa (Pascal) = 100 000 N/m² i absolut tryck. Den absoluta temperaturen följer Kelvinskalan med en nollpunkt som är -273 grader Celsius (eg. -273,15).

Exempel

I ett experiment skruvar vi på locket tätt på en plåtdunk vid atmosfärtryck och när luften håller temperaturen 20 °C. Atmosfärtrycket antas vara 1 bar = ca 100 kPa = 100 000 Pa. Temperaturen är 293 K. Vi vill räkna ut vad trycket i dunken blir, om vi värmer den till 80 °C.

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \quad \text{eller} \quad \frac{100000}{273+20} = \frac{p_2}{273+80} \quad \text{Det ger } p_2 = 120\,478 \text{ Pa} = 120 \text{ kPa}$$

Vi ser här att om temperaturen (absoluta) höjs med 20 procent, så ökar också trycket med 20 procent.

Exemplet visar vad som händer vid uppvärmning vid konstant tryck. Det finns också en situation där trycket är konstant och det är när uppvärmd luft stiger till väders, det vi kallar egenkonvektion (se avsnittet om värmeöverföring genom konvektion). Egenkonvektion är det som inträffar när solen värmer luften över ett fält och det bildas termik, varmluftsblåsor som stiger. Att värmen får luften att röra sig uppåt vid värmeelementet i bostaden är ett annat exempel.

Vi har enligt allmänna gaslagen:

$$\frac{pV_1}{T_1} = \frac{pV_2}{T_2} \quad \text{men eftersom trycket } p \text{ är konstant, kan vi skriva} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Trycket är konstant och istället är det volymen som ändras vid uppvärmningen, temperaturhöjningen. När volymen ökar sjunker densiteten och då lättar luften, den stiger.

Sambandet tryck – volym – temperatur kan man lättare förstå, om man betraktar ett antal molekyler av en gas i en sluten behållare. Eftersom värme är rörelseenergi hos molekylerna, vilket visar sig i temperaturen, så inser man att trycket är beroende av temperaturen. Det är helt enkelt fler molekyler per tidsenhet som träffar behållarväggen när de får ökad hastighet. Trycket på behållarväggen ökar.

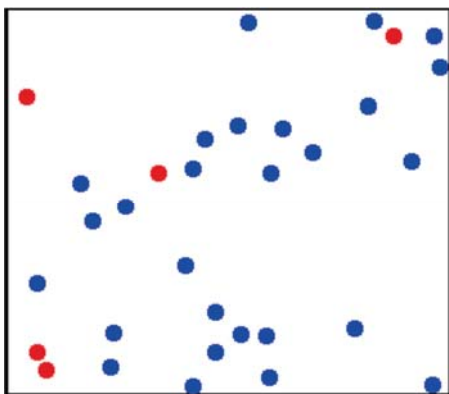


Bild 20.

Gasmolekyler i rörelse. Se även en animering på

http://sv.wikipedia.org/wiki/Fil:Translational_motion.gif

Tryck, övertryck och vakuum

När vi pratar om hur vi kan använda ett visst tryck när det gäller luft och andra gaser, menar vi oftast ett övertryck över atmosfärtrycket. Det finns en tryckskillnad som vi kan använda till arbete på något sätt. När det finns ett vakuum har vi också en tryckskillnad som vi kan använda till arbete. Med vakuum menar vi undertrycket i förhållande till atmosfärtrycket, trycket i luften omkring oss.

Vakuum mäts vanligen i kilopascal (kPa) eller mm Hg. $1 \text{ kPa} = 750 \text{ mm Hg} = 0,102 \text{ kp/cm}^2$. Ett vakuum på t.ex. 48 kPa motsvaras alltså av ett absolut tryck på 52 kPa om atmosfärtrycket är 100 kPa.

Enheten Pa är mycket liten men är ändå grundenheten för tryck i SI-systemet. Den står för 1 N/m^2 och det är bara något mer än trycket från ett vanligt kopieringspapper på ett bord.

En viktig tillämpning är i mjölkning där mjölkning, transport av mjölk och en del andra funktioner omkring mjölkningen sköts med ett vakuumsystem.

Uppvärmning av luft och vatten, värmekapacitet

Det är värdefull kunskap att veta hur mycket energi det går åt att höja temperaturen i ämnen som luft och vatten. Vi använder begreppet specifik värmekapacitet för att beskriva hur mycket energi som används för att öka temperaturen 1 grad i 1 kg av ämnet. Det tidigare använda energimåttet kalori definieras så att den energimängd som behövs för att värma 1 kg vatten 1 grad är 1kcal (kilokalori). $1 \text{ kcal} = 4,18 \text{ kJ} = 1,16 \text{ Wh}$.

Vattens värmekapacitet

Specifik värmekapacitet för vatten är alltså $1 \text{ kcal/kg} = 4,18 \text{ kJ/kg, } ^\circ\text{C}$ eller $1,16 \text{ Wh/kg, } ^\circ\text{C}$. Det är ofta praktiskt att räkna med $1,16 \text{ kWh/m}^3, ^\circ\text{C}$.

Exempel: Hur mycket energi behövs det för en varmvattenberedare på 300 l att värma från kallvattenledningens $10 ^\circ\text{C}$ till $90 ^\circ\text{C}$? Det behövs $1,16 \times 0,3 \times (90-10) = 27,84 \text{ kWh}$. Detta är en strikt fysikalisk beräkning. Utöver det behöver man i praktiken räkna med förluster.

Vattnets ångbildningsvärme är 2260 kJ/kg eller $0,628 \text{ kWh/kg}$ eller 628 kWh/m^3 .

Exempel:

Hur mycket energi behövs för att överföra 1 m^3 vatten med temperaturen $8 ^\circ\text{C}$ till vattenånga?

*Energi till uppvärmning $= 1 * 1,16 * (100-8) = 106 \text{ kWh}$*

*Energi till ångbildning $= 1 * 628 \text{ kWh}$*

Summa energi $= 106 + 628 = 735 \text{ kWh}$

Luftens värmekapacitet

Specifik värmekapacitet för luft är 1 kJ/ kg, °C eller 0,278 Wh/kg, °C eller 0,333 Wh/m³, °C. Dessa siffror kan användas för överslagsberäkningar. Vid riktigt noggranna beräkningar måste man ta hänsyn till lufttemperaturen och luftens relativa fuktighet.

Exempel: Hur mycket energi behövs det för att höja kalluftstorkens temperatur med 6 °C? Fläkten lämnar 18 000 m³/tim. Energiförbehovet per timme är $0,333 \times 18000 \times 6 = 35964$ Wh. Den effekt som behövs är alltså ca 36 kW netto.

Fuktig luft, luftens relativa fuktighet och förmåga att ta upp fukt

Luften i vår omgivning innehåller alltid en del vattenånga. Ånga eller gas är fria molekyler i rörelse. Ju torrare luften är, desto mer vattenånga kan den ta upp innan den blir mättad. Det finns alltså en gräns för hur mycket vattenånga som kan finnas i luften. Den räknas i gram per kg luft eller gram per kubikmeter. Över den gränsen börjar vattenången övergå till vätskeform, vattenången kondenserar. När detta sker beror på en kombination av temperatur, d.v.s. molekylernas rörelsehastighet, och hur tätt med vattenmolekyler det är i luften.

Tillförsel av mera vattenånga till mättad luft leder till kondensation. Avkylning av mättad luft medför också kondensation. Den temperatur, där kondensationen börjar, kallas daggpunkt. Höstkvällens dimma uppstår när luften svalnar och når daggpunkten.

Ju varmare luft, desto mer vatten i form av vattenånga kan den innehålla. Vid en temperatur på exempelvis 0 °C kan 1 m³ luft innehålla högst 4,2 g vattenånga. Om luften värms till 20 °C kan den innehålla 17 g vattenånga, innan den är mättad. Begreppet relativ fuktighet står för hur mycket vattenånga som luften innehåller i förhållande till mättad luft vid den aktuella temperaturen. I mättad luft är alltså relativa fuktigheten 100 procent. Om luften däremot innehåller endast hälften av vad den kan göra som mättad, säger vi att relativa fuktigheten är 50 procent.

Exempel: Den stora kuben på bilden betecknar 1 m³ luft. Den större streckade kuben visar den största mängd vattenånga, som luften kan innehålla vid 17 °C, 10 g. Den blå kuben representerar den mängd vattenånga som luften faktiskt innehåller, 7 g. Relativa fuktigheten är $7/10 = 0,70$ det vill säga 70 %.

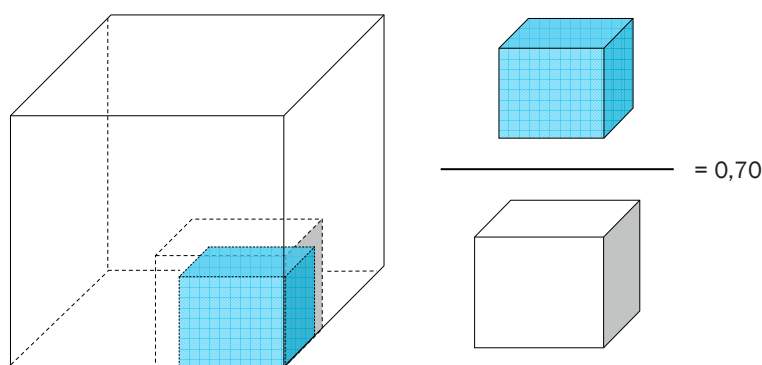


Bild 21. Exempel. Relativa luftfuktigheten är 70 %, när luften innehåller 7 g vattenånga och när den kan hålla 10 g vid den aktuella temperaturen.

Vid ökande temperatur ökar alltså luftens förmåga att hålla vatten i gasform, vattenånga. I lantbruket drar vi nytta av detta till exempel inom torkning och inom ventilation. Om man värmer luften sjunker dess relativa luftfuktighet och den kan då ta upp mer fukt innan den mäts.

Torkning, ett exempel:

Luft med 15 °C temperatur och 80 procent relativ fuktighet kan ta upp ca 1 g vatten per m³ luft, innan den är mättad. Om denna luft värms upp resp. 6 °C, 25 °C och 40 °C, så ändras luftens förmåga att ta upp vatten som i tabell 8.

Tabell 8. Exempel på luftens ökade förmåga att ta upp vatten vid uppvärmning. (Egen sammanställning)

Uppvärmning av luft T=15 °C, RF = 80 %	Ungefärlig upptagning av vattenånga till mättnad
- med 0 grader, ingen uppvärmn.	1 g /m ³
- med 6 grader till 21 °C	2 g /m ³
- med 20 grader till 35 °C	6 g /m ³
- med 40 grader till 55 °C	12 g /m ³

Angivna värden för torkförmåga i exemplet förutsätter alltså att luften blir helt mättad (när den lämnar torken). Detta blir inte fallet i praktiken. Upptagningen blir mindre beroende på jämviktssambandet mellan spannmålets vattenhalt och luftens relativa fuktighet. (Se också handbokens del 4 om spannmålstorkning.)

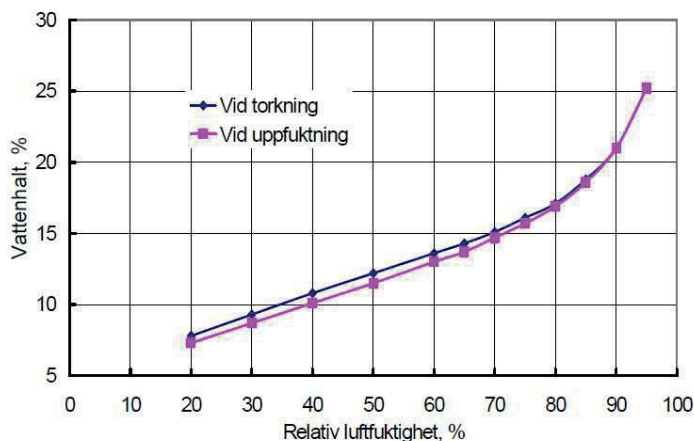


Bild 22. Jämviktsskurva, sambandet mellan relativa fuktigheten i luft och spannmålets vattenhalt. (JTI)

I början av torkningen av en sats spannmål med hög vattenhalt, låt säga 25 %, kan våluften som lämnar torken, vara mättad till 95 procent i bästa fall. När spannmålen i slutet av torkningen har kommit ner till 14 % vattenhalt, så kan luften som lämnar spannmålen inte ha högre relativ fuktighet än 65 %.

I ett djurstall avger djuren fukt till luften, som därför måste omsättas genom ventilation. Invid kalla ytor kan luften kylas av så mycket att vattenågan kondenserar ut. Kondens i byggnader ger problem på olika sätt, ex. röta i trä och rost på järn. I felaktigt utförd isolering kan kondens fällas ut och det minskar värmemotståndet. Kondensdropp från oisolerade tak vållar en del besvär.

Den som närmare vill studera förhållanden med temperatur och relativ luftfuktighet kan ha god nytta av ett s.k. mollierdiagram för fuktig luft. Det används för att reda ut luftens förändringar vid uppvärmning, avkylning, uppfuktning och torkning.

Värmepumpen, något om kylteknik och värmepumpens princip

En kylmaskin är detsamma som en värmepump. Tillämpningen kan vara kylning eller uppvärmning, men principerna är desamma. Kapaciteten brukar anges som värmeeffekt när syftet är uppvärmning och kyleffekt när syftet är kylning och de anger hur mycket värme som förflyttas per tidsenhet. Värmepumpen kan jämföras med en vattenpump som pumpar vatten från en nivå till en högre nivå. Båda uträttar ett arbete och vattenpumpen måste tillföras energi för att lyfta vattnet. Ju större nivåskillnad det är, desto mer energi måste tillföras, energi som blir till en större lägesenergi i vattnet.

Värmepumpen uträttar på liknande sätt ett arbete att flytta värmeenergi från en lägre temperatur till en högre. Ju större temperaturskillnaden är, desto mer energi måste tillföras värmepumpen. Enligt termodynamikens lagar går alltid värme spontant från ett område med högre temperatur till ett med lägre temperatur, aldrig i motsatt riktning. Det behövs ett arbete för att flytta värme från en lägre till en högre temperatur.

Värmepumpens princip bygger på några företeelser som vi lärde oss i skolfysiken, där vi gjorde experiment, mest då med vatten.

- Vid en viss temperatur, kokpunkten, och ett visst tryck får man en vätska att koka, förångas, d.v.s övergå från ett flytande tillstånd till gas.
- En kokande vätska håller en konstant temperatur, kokpunkten.
- Det krävs värme för att en vätska ska koka, ångbildningsvärme
- Genom att sänka trycket sänker man kokpunkten – det blir lättare för molekylerna att lämna vätskan.
- Genom att höja trycket höjer man kokpunkten.
- Genom att kyla en gas får man den att kondensera, d.v.s övergå från gas till vätska. Den avger alltså värme vid kondensering.

Genom att variera trycket i ett slutet system med en lämplig vätska kan man alltså få denna att koka och ta upp värme vid en lägre temperatur än den temperatur där den kondenserar och lämnar ifrån sig värme. Detta utnyttjar vi i värmepumpen. Den vätska som används beror på vilka temperaturer som värmepumpen ska arbeta mellan. I kylmaskinen pratar vi om vätskan som ett köldmedium. För den aktuella tillämpningen väljer man ett passande köldmedium utifrån dess kokpunkt, samband tryck – kokpunkt och ångbildningsvärme (som vi räknar i t.ex. kJ/kg). Användningen av köldmedier är hårt reglerad och kontrollerad för att minska skadliga utsläpp i atmosfären.

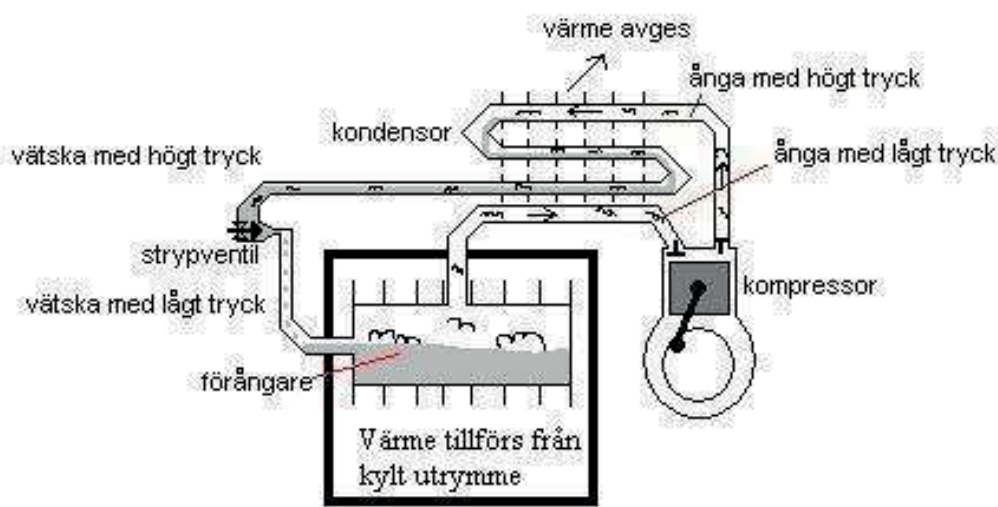


Bild 23. Denna bild från Wikipedia (<http://sv.wikipedia.org>) ger en bra beskrivning av uppbyggnad och förlopp. De viktigaste komponenterna är kompressor, kondensator, strypventil och förångare.

Bilderna 23 från Wikipedia och 24 från "Kylskolan" ger en bra bild av uppbyggnad och arbetssätt hos värmepumpen. Förångaren är delvis fylld med köldmediet i vätskeform. Kompressorn sänker trycket i förångaren så att vätskan får att koka, förångas. Energin till förångningen fås ur värme från omgivningen som kyls. Förångaren fungerar som en värmeväxlare och värmen strömmar över till köldmediet så länge det finns en temperaturskillnad. Kompressorn har också till uppgift att skapa ett flöde av köldmedium och därmed flytta värme i kylkretsen. Kompressorn suger till sig gasen och höjer trycket.

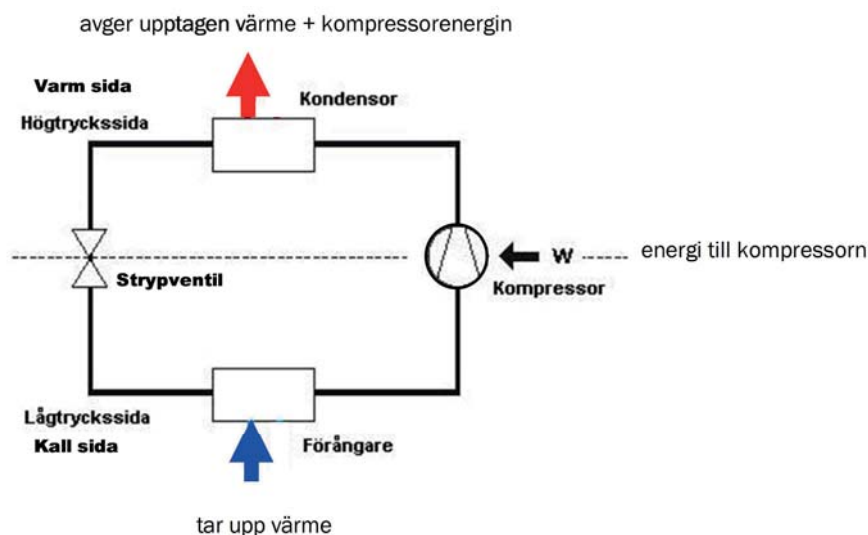


Bild 24. Denna bild, hämtad från *Kylskolan* på Internet belyser förloppet ytterligare.

Tryckenergin tillförs alltså via kompressorn och den är omvandlad från elenergi, den energi som behövs för att driva processen. Tryckökningen medför att temperaturen stiger. Den uppvärmda gasen pumpas nu vidare till kondensorn. Denna är också en värmeväxlare, där värme från den komprimerade gasen växlas över till luft eller annat medium som omger kondensorn och som håller lägre temperatur. Avkylningen leder till att gasen kondenserar till vätska, som fortfarande är utsatt för det höga trycket.

Det skulle inte vara möjligt att hålla ett högt tryck i denna del av kylkretsen, om inte vätskeflödet mötte ett motstånd i form av en strypventil. Utan en strypning skulle inte kompressorn heller kunna skapa ett undertryck i förångaren. Ventilen fungerar samtidigt som flödesregulator. Flödet av det flytande köldmediet ska strypas lagom mycket för att ge rätt undertryck i förångaren och rätt övertryck i kondensorn. Om ventilen öppnas för mycket, kommer flytande köldmedium att anhopas i förångaren och det kan leda till vätskeslag i kompressorn. Om ventilen öppnas för lite, kommer flytande köldmedium att anhopas i kondensorn. Samtidigt sjunker förångningstemperaturen genom det lägre undertrycket. Det medför att kompressorn arbetar mindre effektivt.

Det värme som köldmediet upptagit i förångaren, plus det värme som tillfördes i kompressorn, avges i kondensorn (förutom vissa förluster till omgivningen). Eftersom kompressorn arbetar med en viss verkningsgrad, som är mindre än 100 procent, överförs inte all energi till köldmediet utan en del går förlorad som bl.a. friktionsvärme. Innan dess har en del av den tillförda elenergin gått förlorad i elmotorn. Vi får alltså ta hänsyn till verkningsgraderna i elmotorn, η_{motor} och i kompressorn, η_{komp} .

Då blir den effekt P_{komp} , som tillförs köldmediet via kompressorn:

$$P_{komp} = P_{motor} * \eta_{komp}$$

där P_{motor} är motorns märkeffekt. Vidare gäller

$$P_{motor} = P_{el} * \eta_{motor}$$

där P_{el} får beteckna den tillförda elektriska effekten.

Exempel

Om kompressorn har en verkningsgrad på 85 procent och motorn har en märkeffekt på 2 kW, så kommer då $2 \cdot 0,85 = 1,70$ kW att tillföras köldmediet via kompressorn. Om motorn har en verkningsgrad på 80 procent så blir det $2/0,80 = 2,5$ kW elektrisk effekt som behövs.

Av 2,5 kW elektrisk effekt som tillförs värmepumpen är det alltså 1,7 kW som i detta fall kan fås ut från kondensorn utöver den energi som flyttas från förångaren.

Från effektivitetssynpunkt har det betydelse hur mycket energi som måste tillföras kompressorn för att flytta en viss mängd energi. Man pratar ibland om värmepumpens verkningsgrad, men det är riktigare att säga värmefaktor eller kylfaktor. Ofta används begreppet COP, en förkortning av engelska Coefficient of Performance.

$$\text{COP} = \frac{\text{Avgiven värmeenergi}}{\text{Tillförd elenergi}} = \frac{\text{Avgiven värmeeffekt}}{\text{Tillförd eleffekt}}$$

Om värmepumpen/kylmaskinen drar 1 kW elektrisk effekt och man får ut värmeeffekten 4 kW vid kondensorn, så är $\text{COP} = 4$.

Man ska vara observant på vilka uppgifter som firmorna lämnar om COP på sina produkter. Vi inser att ett visst värde på COP måste ha ett samband med vilka temperaturer systemet arbetar mellan. COP är beroende av skillnaden i temperatur mellan förångare och kondensor. I den teoretiskt idealiska processen gäller:

$$\text{COP} = \frac{T_k}{T_f - T_k}$$

där T_f är förångningstemperaturen (kalla sidan) och T_k är kondensationstemperaturen (varma sidan).

Detta är den s.k. carnot-värmefaktorn, det teoretiskt högsta värdet som kan uppnås. I praktiken får COP ett lägre värde på grund av förluster i motor och kompressor m.m., vilket beskrivits ovan.

Vilken värmefaktor man sedan får i praktiken beror på variationerna i temperaturer. För att göra en totalbedömning innan man t.ex. köper en värmepump skulle man behöva veta årsmedelvärdet på värmefaktorn. Det är på samma sätt som man är intresserad av årsmedelverkningsgraden på en flispanna, inte den bäst uppmätta verkningsgraden vid testkörning med bra flis och hög belastning.

Sambandet visar att temperaturskillnaden mellan den kalla och varma sidan bör vara så liten som möjligt för bästa värmefaktor eller bästa kylfaktor. Därmed behöver alltså inte lika mycket energi tillföras för att transportera samma mängd energi.

Mjölkkylning är en av de viktiga tillämpningarna i lantbruket av värmepumpens princip. Formlerna ovan visar att man inte behöver tillföra lika mycket energi till kompressorn om temperaturskillnaden är liten. Det är en av nycklarna till mjölkproduktionens energieffektivisering. Det behandlas vidare i handbokens del 10 Mjölknings.

Liten energiordlista

Energi. Kan beskrivas som något som kan medföra förändring eller någon form av utträttat arbete.

Effekt. Energi per tidsenhet. Energi = effekt x tid.

Energiprincipen: Enligt energiprincipen, eller lagen om energins bevarande, så kan inte energi förstöras eller skapas, utan endast ändra form, omvandlas.

Energiförbrukning. Detta uttryck bör inte användas, eftersom energi inte kan förstöras, bara omvandlas.

Energi kvalitet. Ett mått på hur lätt det är att omvandla energin till någonting annat. Rörelseenergin är till exempel lätt att omvandla till många andra energiformer, vilket inte värmeenergi är.

Energibärare. Ämne eller material lämpat att transportera energi, till exempel vatten, luft, eller elektriska kablar, battericeller samt bränslen som kol, råolja, ved och liknande.

Primär energi. Energi i naturresurser såsom råolja, brunkol, naturgas, kärnbränsle, vind, vatten, jordvärme och biomassa innan de förädlats till energibärare som till exempel bensin, el och pellets med slutlig energi.

Sekundär energi. Förädlad från primär energi. Kan likställas med slutlig energi, energin i energibärare som olja, bensin, el, pellets o.s.v.

Slutlig energi. Energin enligt värmevärdet i det som levereras till gården. Kan även benämnas inköpt energi, tillförd energi.

Direkt energi. Jämförbar med slutlig energi och sekundär energi. Det är den energi som lantbrukaren direkt kan utnyttja i energibärare som olja och pellets.

Indirekt energi. Energi som indirekt belastar gården genom framställning och transport av insatsvaror som handelsgödsel, bekämpningsmedel, ensilageplast, kalk, utsäde, köpfoder m.m.

Bioenergi. Sådan energi som kan utvinnas från biobränslen.

Förnybar energi. Förnybara energislag kommer från källor som hela tiden förnyas, exempelvis biomassa, jordvärme, sol och vind.

Verkningsgrad. Förhållandet nyttig energi / tillförd energi. Även nyttig effekt / tillförd effekt.

Värmevärde. En term som anger hur stor energi som utvecklas vid förbränning av en viss mängd av ett bränsle.

Effektivt värmevärde. Värmevärde, där energin för att förångas det vid förbränning bildade vattnet har räknats bort.

(Källor: Jordbruksverket, Energimyndigheten, Wikipedia m.fl.)

Referenser i urval

Jernkontorets energihandbok, <http://energihandbok.se/>

Paroc AB, www.paroc.se/

Saint-Gobain Isover AB, www.isover.se

Wikipedia (<http://sv.wikipedia.org>)

Kylskolan länk <http://www.kylteknik.com/viewforum.php?f=50>

Ångpanneföreningen, 2007. Energifaktaboken

Energimyndigheten, <http://energimyndigheten.se/>

Energikvalitet, se :

<http://grenfeldt.com/varfor-glodlampor-inte-ska-varma-upp-hus>

http://www.varmahus.se/energiskola/princip_energiomvandling.php

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 2

Energi, grunder

2013



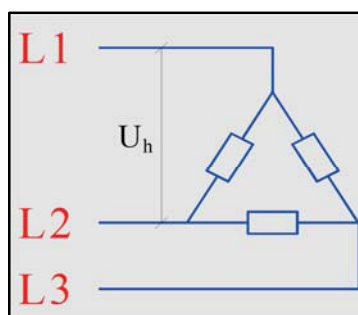
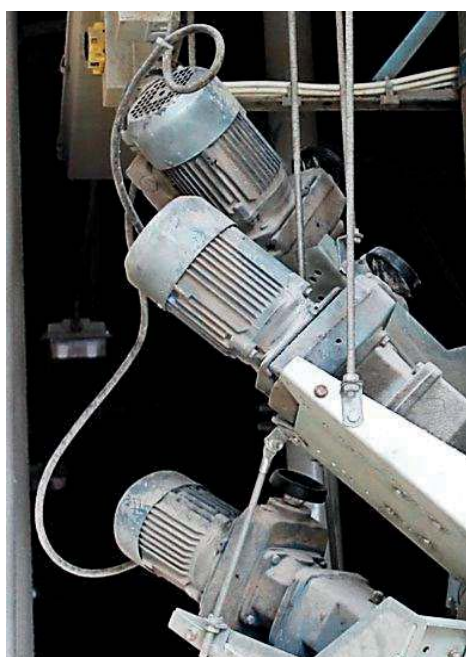
Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling; Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 3

Elmotorer Elektricitet - lite grunder

2013



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Lars Neuman, energi- och teknikerådgivare, LRF Konsult AB, Ulricehamn.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Inledning	4
Tips och råd om elmotorer	4
Elmotorers funktion	5
Så fungerar asynkronmotorn	5
Startströmmar ger problem	7
Motorns märkplåt lämnar viktig information om motorn	7
Motorns poltal, motorns varvtal	9
Elmotorers verkningsgrad	9
Hur vet man motorns verkningsgrad?	10
När ska jag byta ut min gamla elmotor mot en med bättre verkningsgrad?	11
Att beräkna motorns elektriska effekt och energianvändning	12
Varvtalsstyrning som kapacitetsreglering	13
Spänningsreglering	13
Frekvensreglering	13
Elektronisk varvtalsreglering i EC-motorer	16
Elektricitet - lite grunder	16
Elektrisk ström - en analogi med vattenströmning	16
Likström	17
Växelström	17
Beräkning av effekt i växelströmssystemet	19
Aktiv effekt, reaktiv effekt och skenbar effekt	21
Aktiv effekt	21
Reaktiv effekt	22
Skenbar effekt	22
Referenser i urval	23

Inledning

Denna del av handboken är inte så mycket inriktad på åtgärder som att öka kunskapen om elmotorer och elektricitet. I energieffektiviseringen är det bra att förstå mer om elmotorer och en del om elektricitet som ligger till grund för motorernas funktion.

Elmotorer står för cirka 40 procent av elförbrukningen i samhället och runt 70 procent av elförbrukningen i industrin. Eftersom elmotorerna är så många, så finns det mycket att vinna på om de blir ännu effektivare. Ändå är elmotorer effektiva energiomvandlare om man jämför med förbränningsmotorer.

I vårt lantbruk svarar elmotorer för 50 - 75 procent av elanvändningen i animalieproduktionen. Resten går då till belysning och uppvärmning med el. Det är alltså ganska viktigt att vi använder effektiva elmotorer, motorer med hög verkningsgrad. Huvuddelen av motorerna är trefas asynkronmotorer.

Tips och råd om elmotorer

Välj en motor med märkeffekt som stämmer med effektbehovet.

Välj motorer med hög verkningsgrad.

Äldre motorer är inte så energieffektiva. Om en äldre motor går mycket, har många driftstimmar per år, kan det vara lönsamt att byta ut den mot en ny motor med hög verkningsgrad.

Strypreglering med spjäll och ventiler bör bytas mot kapacitetsreglering med varvtalsstyrning. Frekvensstyrning är ett sätt att energieffektivisera pumpar och fläktar som går mycket och då med varierande kapacitetsbehov. Exempel är vakuumpumpar, foderpumpar, större cirkulationspumpar samt fläktar.

Vid remdrift ska axlarna vara parallella. Remskivor och remmar ska ligga i linje. Slirande remmar ger energiförluster så därför ska remmarna ha rätt spänning, ha en profil som stämmer med remskivorna och de ska helst vara tandade.

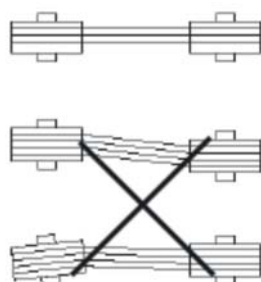


Bild 1.

Ibland behöver man tänka på att inte köra stora motorer samtidigt. Om man kan undvika effekttoppar har man kanske möjlighet att gå ner ett steg i huvudsäkring. Om elabonnemanget bygger på effektuttag kan effekttopparna öka energikostnaderna.

Elmotorers funktion

Alla elmotorer arbetar efter principen att en strömgenomfluten ledare omger sig med ett magnetiskt fält och samverkar med ytterligare ett magnetfält. Om en sådan ledare befinner sig i ett annat yttre magnetfält kommer den att påverkas av en kraft som vill flytta den ut ur magnetfältet. Med den kraft som bildas mellan magnetfälten kan motorn utföra ett arbete.

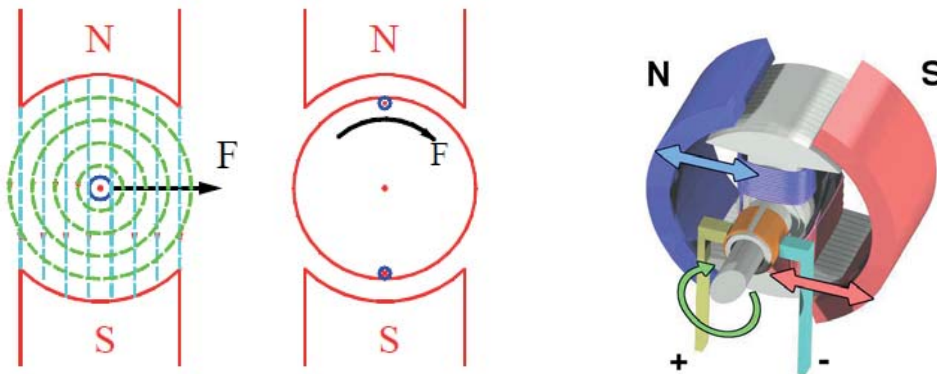


Bild 2. En strömgenomfluten ledare (till vänster) befinner sig i ett magnetfält med en nordpol och en sydpol. Ledaren påverkas av en kraft (F), som vill flytta den ut ur magnetfältet.

I mitten är ledaren en trådslinga som fås att rotera av kraften F . Det uppstår alltså ett vridmoment kring slingans axel.

Till höger ser man principen för likströmsmotorn i sin enklaste form. Statorn är här en permanentmagnet. Ett antal trådslingor kring en järnkärna förstärker rotorns magnetfält. Genom att rotorns lindningar växelvis ansluts till + och - i den delade kollektorn på axeln fås rotorn att snurra. (Bild från Wikipedia)

Den andra principen som är viktig för många motorer är att om en ledare utsätts för ett växlande magnetfält så induceras en ström genom ledaren. Växelström ger ett växlande magnetfält och det utnyttjas i växelströmsmotorn. Den vanligast förekommande motorn i industrin och i lantbruket är trefas-asynkronmotorn och det finns skäl att beskriva den lite närmare.

Så fungerar asynkronmotorn

Asynkronmotorn är enkel till sin konstruktion och i det närmaste underhållsfri. Det finns många olika typer av asynkronmotorer, men alla arbetar enligt samma grundprincip.

De två huvudkomponenterna i motorn är statorn (motorns stillastående del) och rotorn (motorns roterande del). I statorn finns lindningar som är kopplade till elnätet. I en trefas asynkronmotor uppstår ett roterande magnetfält. Det roterar med elnätets frekvens, om statorn är 2-polig, har en lindning för varje fas. Den kallas 2-polig eftersom magnetfältet i varje ögonblick har en nordpol och en sydpol.

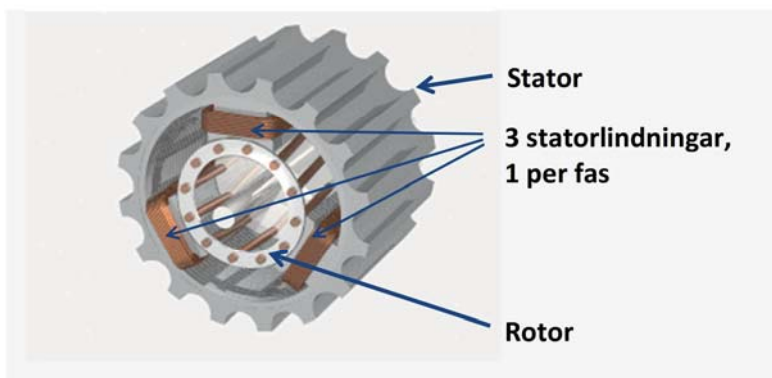


Bild 3. Asynkronmotorns viktigaste komponenter är statorn och rotorn. Statorn har lindningar som är kopplade till elnätet, i detta fall tre stycken, ansluten till varsin fas. Detta är en bild av en 2-polig motor.

Frekvensen är 50 Hz och magnetfältets varvtal blir därför $50 \cdot 60 = 3000$ r/m.

Rotorn påverkas av det roterande magnetfältet så att det uppstår strömmar i rotorn som i sin tur genererar ett magnetfält runt rotorn. I sin allra enklaste form liknar rotorn, som i bild 4, en bur (en engelsk term är squirrel cage, ekorrbur). Strömmen leds i rotorstavarna. Här finns alltså inget behov av rotorlindningar som kopplas till elnätet. Strömmen ger ett magnetfält runt stavarna.

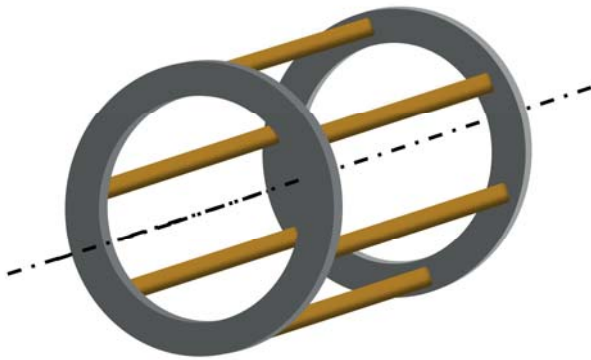


Bild 4. I sin allra enklaste form är rotorn som en bur. Strömmen leds i rotorstavarna och då skapas ett magnetfält runt rotorn.

Statorns roterande magnetfält kommer att driva rotorn med tillhörande magnetfält runt. Om motorn är obelastad, kommer rotorn att snurra med samma varvtal som statorns magnetfält, d.v.s. 3000 r/m för den 2-poliga motorn. Detta kallar vi motorns synkrona varvtal, ett varvtal som är synkront med elnätets.

Så snart motorn belastas, bromsas, sjunker varvtalet så mycket att induktionen ger ett vridande moment lika stort som det bromsande. Man säger att motorn går asynkront eller med en viss eftersläpning. Ju mer motorn belastas, desto större blir eftersläpningen, men när eftersläpningen ökar så ökar också det vridmoment som motorn kan prestera. Driften hittar en ny arbetspunkt, ett nytt läge där motorn utvecklar ett vridmoment lika med belastande moment. Motorns vridmoment ökar alltså med skillnaden i rotationshastighet mellan de båda magnetfälten, statorns och rotorns.

Asynkronmotorn har en vridmomentkurva som i bild 5.

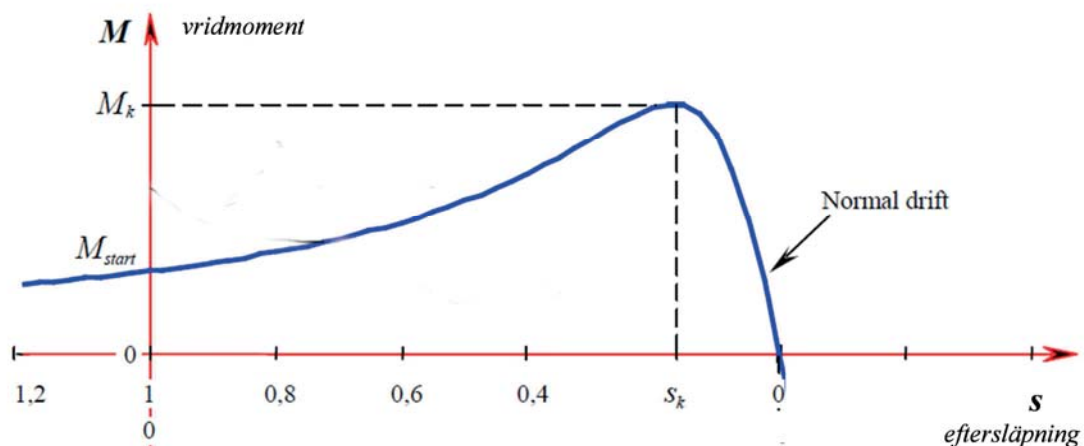


Bild 5. Diagrammet visar sambandet mellan motorns vridmoment och eftersläpningen, d.v.s. skillnaden mellan det synkrona varvtalet och rotorns varvtal, det asynkrona varvtalet. I den delen av kurvan, som markerats med normal drift, är i stort sett momentet proportionellt mot eftersläpningen.

Startströmmar ger problem

Den arbetande motorn skapar ett motstånd i motorkabeln och motorlindningen, vilket då begränsar strömmen i kabeln. När motorn startas och innan den kommit upp i varv så är detta motstånd litet. Det blir då en strömrusning genom kabeln, vilket ger påfrestningar på ledningar och annan utrustning. Under en kort tid kan startströmmen vara upp till 6 - 8 ggr märkströmmen, strömmen till motorn vid normaldrift. Om motorn startas med låg belastning, så kommer den snabbt upp i varvtal, problemet är snabbt övergående och de höga strömmarna hinner inte utveckla så mycket värme.

Det traditionella sättet att minska startströmmen och problemen är att använda stjärntriangelstart (Y/D-start). Normalt är motorns lindningar triangelkopplade (bild 6) och då ligger nätets huvudspänning 400 V på varje lindning. Om man istället stjärnkopplar lindningarna vid starten, så fördelas huvudspänningen så att man får fasspänningen 230 V på varje lindning. Då blir startströmmen mindre och även motorns vridmoment blir lägre. Om motorn då är belastad, får man därför bara köra en kort tid på stjärnkoppling, innan man slår över till triangelkoppling. Mindre motorer kan direktstartas utan sådan omkoppling, de har mindre påverkan på nätet.

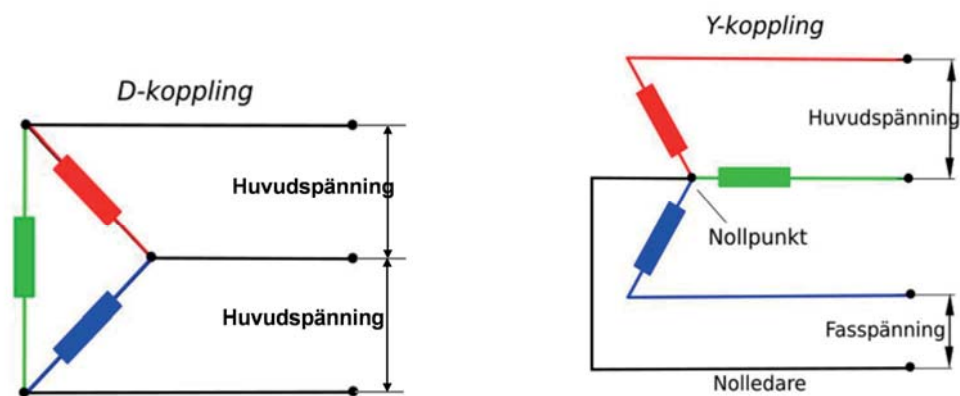


Bild 6. Asynkronmotorn är normalt D-kopplad och då ligger huvudspänningen 400 V på varje lindning. Huvudspänningen är spänningen mellan två fasledare. Vid start kan motorn tillfälligt Y-kopplas och då ligger fasspänningen 230 V på varje lindning. Fasspänning är spänningen mellan en fasledare och nolledare.

Idag ersätts ofta YD-omkopplare med elektroniska apparater. En mjukstartare begränsar startströmmen, samtidigt som den gör att motorn kan ha ett högre vridmoment redan vid lägre varvtal. Samma hjälp har man av frekvensomriktaren.

Motorns märkplåt lämnar viktig information om motorn

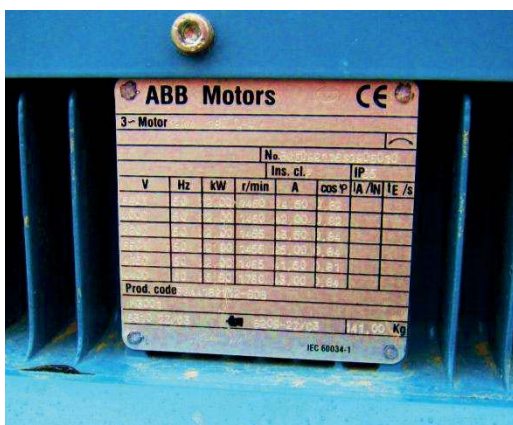


Bild 7. Märkplåt på motorn till en gödselpump.

ABB Motors			
1	Motor 3~	2 50/60 Hz	IEC 34-1
	MBT 112M		2860/3460 r/min 7
3	4/4,6 kW	Cl. F	cos φ = 0,90 8
4	380-420/440-480 VY		8,1/8,1 A 9
5	220-240/250-280 VΔ		14,0/14,0 A 10
6	No.MK 142 031-AS	11 IP55	30 kg

Bild 8. Märklåt exempel. 1 Motortyp. 2. Nätfrekvens. 3 Märkeffekt. 4 Spänningsområde vid Y-koppling. 5 Spänningsområde vid D-koppling. 6 Modellbeteckning. 7 Asynkront varvtal. 8 Effektfaktor. 9 Märkström vid Y-koppling. 10 Märkström vid D-koppling. 11 Kapslingsklass.

Viktiga uppgifter saknas. På denna märklåt finns ingen information om motorns verkningsgrad eller om den elektriska effekten.

Frekvens (2). Märklåten har uppgifter för både det europeiska elnätet med frekvens 50 Hz och det amerikanska med frekvensen 60 Hz. Uppgifterna skiljs åt med ett snedstreck /.

Effekt (3). Motorns märkeffekt är den effekt som motorn kan avge på motoraxeln under längre tid utan att överhettas. Observera att detta är den mekaniska effekten ut på axeln. Den använda elektriska effekten är högre. Se vidare om verkningsgrad.

Spänning (4). Motorn är avsedd för att anslutas till spänningen ca 400 V, när lindningarna i motorn är Y-kopplade.

Spänning (5). Motorn är avsedd för att anslutas till spänningen ca 230 V, när lindningarna i motorn är D-kopplade. Notera att i båda fallen blir spänningen över varje lindning 230 V. Jämför bild 6.

Modellnr (6) eller motsvarande.

Asynkront varvtal (7) är det varvtal som motorn får, när den är belastad till märkeffekten, i detta fall 4 kW. Jämför 2860 r/min med det synkrona varvtalet som är 3000 r/min. Eftersläpningen blir här 140 r/min eller 4,7 procent. Synkrona varvtalet 3000 r/min avslöjar att detta är en 2-polig motor.

Effektfaktorn cos φ (8). Effektfaktorn markeras oftast med **cos φ** (uttalas: kosinus fi) men ibland även med **PF**. Faktorn har att göra med beräkningen av motorns elektriska effekt. Värdet av effektfaktorn på märklåten gäller vid märkeffekt. Man ska inte förväxla effektfaktorn med verkningsgraden!

Märkström (9). Märkströmmen på 8,1 A är den ström som krävs för att ge märkeffekten 4 kW vid Y-koppling och 400 V. Om inte motorn belastas med 4 kW utan avger en lägre effekt, så blir strömmen motsvarande lägre.

Märkström (10). Märkströmmen på 14,0 A är den ström som krävs för att ge märkeffekten 4 kW vid D-koppling och 230 V. Om inte motorn belastas med 4 kW utan avger en lägre effekt, så blir strömmen motsvarande lägre.

Kapslingsklass (11). Klassningen avser känslighet för inträngning av damm och vatten.

Motorns poltal, motorns varvtal.

Om statorn har en enkel lindning talar vi om en 2-polig motor. Detta vill säga att i varje ögonblick har magnetfältet 2 poler, en nordpol och en sydpol. Magnetfältet roterar då med en hastighet av 50 varv per sekund eller 3000 varv/minut. Motorns synkrona varvtal är alltså 3000 r/m. Om motorn har en dubbel lindning har statorns magnetfält i varje ögonblick 4 poler, två nordpoler och två sydpoler. Den är 4-polig och får det synkrona varvtalet halverat.

Poler	Frekvens	Synkront varvtal
p	f	n _s
	Hz	r/min
2	50	3000
4	50	1500
6	50	1000
8	50	750

Bild 9. Sambandet mellan antal poler och det synkrona varvtalet vid nätfrekvensen 50 Hz.

Elmotorns verkningsgrad

Verkningsgraden i en elmotor är ett uttryck för förhållandet mellan den elektriska effekt som tillförs motorn och den effekt motorn avger på motoraxeln. Skillnaden mellan de två är förluster i själva motorn. De består mest av värme som bildas genom resistans i motorlindningarna.

$$\text{Verkningsgrad (procent)} = 100 * \frac{\text{Avgiven effekt på motoraxeln (kW)}}{\text{Tillförd elektrisk effekt (kW)}} = 100 * \frac{\text{Avgiven energi på axeln (kWh)}}{\text{Tillförd elektrisk energi (kWh)}}$$

En vanlig symbol för verkningsgrad är grekiska bokstaven η (eta). Förväxla inte motorns verkningsgrad med motorns effektfaktor, $\cos \varphi$ eller PF , som är något annat. Den förklaras på sida 20.

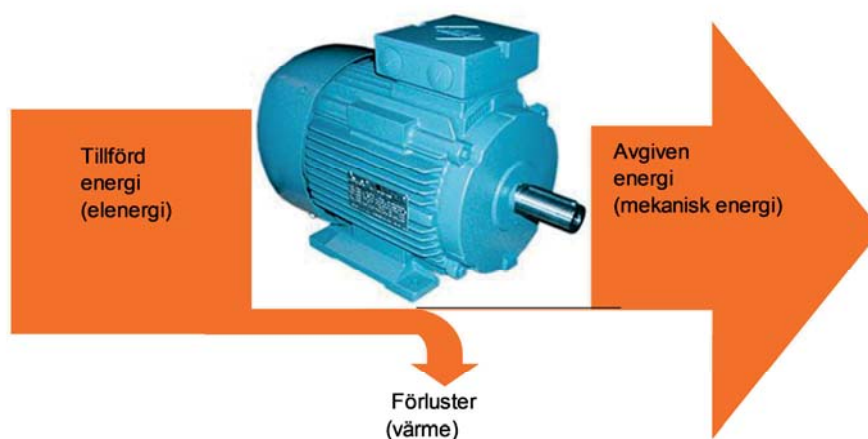


Bild 10. En del av den tillförda elektriska energin går bort i förluster som värme. Ju mindre förlusterna är, desto bättre verkningsgrad har motorn.

Den effekt som står på motorns märkplåt kallar vi för motorns märkeffekt. Det är den effekt som motorn skall kunna tåla att avge på axeln under en viss tid utan att överhettas. Observera att märkeffekten

just är effekten på motoraxeln. Om en 7,5 kW motor vid en viss driftspunkt avger 7,5 kW på axeln vid en verkningsgrad på 90 procent, så drar den alltså en elektrisk effekt på $7,5/0,90 = 8,3$ kW. Detta är viktigt att komma ihåg vid en energikartläggning. Förlusterna i motorn, som vi inte har någon nytta av, är $8,3 - 7,5 = 0,8$ kW. För varje timme som motorn går så har vi alltså en energiförlust på 0,8 kWh, mest i form av värme.

Hur vet man motorns verkningsgrad?

Tyvärr finns det sällan uppgift om verkningsgraden på äldre motorer. Sedan år 2000 ska verkningsgradsklassen vara angivna på märkskylten och specificeras i dokumentationen.

Materialval och små toleranser i konstruktionen bidrar till att minska förlusterna, höja motorns verkningsgrad. För motorer i samma storlek men av olika fabrikat och modellserier kan det skilja flera procentenheter i verkningsgrad. Generellt gäller att mindre motorer har lägre verkningsgrad, se tabell UU. Verkningsgraden varierar även med belastningen.

Det har skapats en ny standard för att klassa enhastighets, trefasiga kortslutna asynkronmotorer. Den delar in motorerna i tre verkningsgradsklasser, IE 1, IE 2 och IE 3, där de effektivaste motorerna är i klass IE 3. Förkortningen IE står för International Efficiency. Bakom standarden står International Electrotechnical Commission, IEC. Den nya standarden innebär en skärpning och den gäller även Sverige, som före 2011 inte haft sådana krav.

Tabell 1. Minimiverkningsgrader enligt ny standard för enhastighets, trefasiga kortslutna asynkronmotorer.

IE-klass		IE1		IE2		IE3	
Poltal		2 poler	4 poler	2 poler	4 poler	2 poler	4 poler
Synkront varvtal		3000 r/m	1500 r/m	3000 r/m	1500 r/m	3000 r/m	1500 r/m
Effekt kW	Effekt hk	Verkningsgrad i procent					
0,75	1	72,1	72,1	77,4	79,6	80,7	82,5
1,1	1,5	75,0	75,0	79,6	81,4	82,7	84,1
1,5	2	77,2	77,2	81,3	82,8	84,2	85,3
2,2	3	79,7	79,7	83,2	84,3	85,9	86,7
3	4	81,5	81,5	84,6	85,5	87,1	87,7
4	5,3	83,1	83,1	85,8	86,6	88,1	88,6
5,5	7,5	84,7	84,7	87,0	87,7	89,2	89,6
7,5	10	86,0	86,0	88,1	88,7	90,1	90,4
11	15	87,6	87,6	89,4	89,8	91,2	91,4
15	20	88,7	88,7	90,3	90,6	91,9	92,1
18,5	25	89,3	89,3	90,9	91,2	92,4	92,6
22	30	89,9	89,9	91,3	91,6	92,7	93,0
30	40	90,7	90,7	92,0	92,3	93,3	93,6
37	50	91,2	91,2	92,5	92,7	93,7	93,9
45	60	91,7	91,7	92,9	93,1	94,0	94,2

(Källa: Energimyndigheten och ABB)

Sedan i juni 2011 har det varit förbjudet inom EU att sälja eller ta i bruk motorer som är sämre än IE2. Det gäller så gott som alla vanliga motorer i effekter från 0,75 till 375 kW. Steg två kommer år 2015. Då ska stora motorer – de över 7,5 kW – klara IE3, medan alla motorer måste nå samma prestanda två år senare. Vissa undantag finns, bland annat för motorer som varvtalsregleras med frekvensomriktare.

När ska jag byta ut min gamla elmotor mot en med bättre verkningsgrad?

Rubrikens fråga har inget enkelt svar. Men man konstatera att den största kostnaden för en elmotor är energikostnaden. Om motorn går många timmar per år så är den totala energikostnaden långt större än investeringen.

Exempel 1

Antag att en motor med märkeffekten 7,5 kW används 5 tim/dag, vilket blir 1825 timmar på ett år. Den har en verkningsgrad på 89 procent (ungefär klass IE 2 i tabellen ovan). Då drar den $7,5/0,88 = 8,5$ kW, när den är belastad till märkeffekten. Om energikostnaden är 0,80 kr/kWh kostar driften $0,80 * 8,5 = 6,80$ kr/tim eller $1825 * 6,80 = 12\ 400$ kr/år.

Om verkningsgraden är 2 procentenheter bättre, 91 procent, så kostar driften $7,5/0,91 * 0,80 = 6,59$ kr/tim eller $1825 * 6,59 = 12\ 020$ kr/år. Den bättre motorn sparar 475 kWh/år och nästan 400 kr/år i energikostnader. Om elpriset stiger mer än inflationen under motorns livslängd så blir den effektivare motorn ännu intressantare.

Det kan löna sig att köpa den bättre motorn till ett högre pris, men vill man ha ett säkert svar bör man göra en kostnadsanalys typ LCC, livscykelkostnadsanalys. Den finns beskriven i handbokens del 1, Grunderna i energieffektivisering på lantbruk.

Det är självklart att den effektivare motorn lönar sig bättre ju fler timmar den går per år och det är viktigt att ta hänsyn till. Exempelvis en mindre elmotor till en transportör i en spannmålstork kanske går mindre än 100 timmar per år och då är verkningsgraden av liten betydelse.

Tabell 2. Tabellen visar i procent hur mycket elenergi som sparas i en motor genom byte från lägre till högre verkningsgrad.

Om man t.ex. väljer en motor med 86 % verkningsgrad istället för en med 82 % verkningsgrad så sparar man 4,7 % energi. Se pilarna.

		Den högre verkningsgraden																						
		75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94			
Den lägre verkningsgraden	72	4,0	5,3	6,5	7,7	8,9	10,0	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	23			
	73	2,7	3,9	5,2	6,4	7,6	8,8	9,9	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	22			
	74	1,3	2,6	3,9	5,1	6,3	7,5	8,6	9,8	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	20	21			
	75		1,3	2,6	3,8	5,1	6,3	7,4	8,5	9,6	11	12	13	14	15	16	17	18	18	19	20			
	76			1,3	2,6	3,8	5,0	6,2	7,3	8,4	9,5	11	12	13	14	15	16	16	17	18	19			
	77				1,3	2,5	3,8	4,9	6,1	7,2	8,3	9,4	10	11	13	13	14	15	16	17	18			
	78					1,3	2,5	3,7	4,9	6,0	7,1	8,2	9,3	10	11	12	13	14	15	16	17			
	79						1,3	2,5	3,7	4,8	6,0	7,1	8,1	9,2	10	11	12	13	14	15	16			
	80							1,2	2,4	3,6	4,8	5,9	7,0	8,0	9,1	10	11	12	13	14	15			
	81								1,2	2,4	3,6	4,7	5,8	6,9	8,0	9,0	10,0	11	12	13	14			
	82									1,2	2,4	3,5	4,7	5,7	6,8	7,9	8,9	9,9	11	12	13			
	83										1,2	2,4	3,5	4,6	5,7	6,7	7,8	8,8	9,8	11	12			
	84											1,2	2,3	3,4	4,5	5,6	6,7	7,7	8,7	9,7	11			
	85												1,2	2,3	3,4	4,5	5,6	6,6	7,6	8,6	9,6			
	86													1,1	2,3	3,4	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5			
	87														1,1	2,2	3,3	4,4	5,4	6,5	7,4			
	88															1,1	2,2	3,3	4,3	5,4	6,4			
	89																1,1	2,2	3,3	4,3	5,3			
	90																	1,1	2,2	3,2	4,3			

(Egen sammanställning)

Sammanfattning

Ju fler driftstimmar motorn har, desto mer befogat är det att investera i bättre verkningsgrad.

Ju mer man tror att elpriset kommer att stiga i framtiden desto mer befogat är det att investera i bättre verkningsgrad.

Att beräkna motorns elektriska effekt och energianvändning

Vid energikartläggning är det intressant att beräkna motorns årliga energianvändning. Det får oftast bli en uppskattning och beräknas som driftstiden i tim/år multiplicerat med den elektriska effekten.

$$\text{energianvändning (kWh/år)} = \text{elektrisk effekt (kW)} * \text{driftstid (tim/år)}$$

Driftstiden brukar kunna uppskattas. Den elektriska effekten kan bestämmas på flera sätt.

1. Utgå från märkeffekten.

I normalfallet är det lämpligt att utgå från att motorn i genomsnitt är belastad till sin märkeffekt, som vi avläser på märkplåten. Därifrån ska den elektriska effekten beräknas enligt:

$$\text{elektrisk effekt (kW)} = 100 * \text{märkeffekt (kW)} / \text{verkningsgrad (\%)}$$

Verkningsgraden framgår inte av märkplåten på äldre motorer utan den måste uppskattas. Viss ledning kan man ha av tabell 1, om man även tar hänsyn till att äldre motorer har sämre verkningsgrad.

2. Utgå från märkeffekten, tag hänsyn till belastningen.

När man har skäl att tro att motorn inte är belastad till sin märkeffekt, bör man justera med belastningsgraden = aktuell effekt / märkeffekt.

$$\text{belastningsgrad} = \text{aktuell effekt} / \text{märkeffekt}$$

Formeln justeras till:

$$\text{elektrisk effekt (kW)} = \text{belastningsgrad (\%)} / 100 * 100 * \text{märkeffekt (kW)} / \text{verkningsgrad (\%)}$$

och reduceras till:

$$\text{elektrisk effekt (kW)} = \text{belastningsgrad (\%)} * \text{märkeffekt (kW)} / \text{verkningsgrad (\%)}$$

3. Mäta ström och spänning.

Om man har utrustning för att mäta ström och spänning kan man använda sig av formeln för trefas-effekt:

$$P_{3\text{-fas}} = \sqrt{3} * U_h * I * \cos \varphi = 1,73 * U_h * I * \cos \varphi$$

där U_h är huvudspänningen (V), oftast 400 V
 I är strömmen i ampere (A)
 $\cos \varphi$ är effektfaktorn enligt märkplåten

Se förklaring till formeln på sidan 20 - 21.

I detta fall kommer man direkt åt den elektriska effekten utan att behöva uppskatta belastningsgrad och verkningsgrad. För att mäta strömmen ska man ha en tångamperemeter och möjlighet att komma åt åtminstone en fasledare för att sätta tången på. Spänningen bör man mäta, vilket är ganska enkelt med en multimeter (försiktighet!). Alternativet är att man sätter den till normala 400 V. Denna mätning ger den effekt som tas ut vid mätögonblicket. Återstår att bedöma om den är representativ för hela året eller om man måste justera med hänsyn till varierande belastning, skiftande effektuttag på motoraxeln.

4. Mäta effektförändring med fjärravläsning

Man kan använda någon av de utrustningar som kan registrera effekttökningar och effektminskningar grundade på ändrad impulsfrekvens i den lysdiod som sitter på elmätaren. Ett exempel på det är EnergyWatch PRO från Vattenfall. Den skickar alla data till Vattenfalls server och där kan man logga in och se alla förändringar. Där finns även en app till mobiltelefonen, så att man se förändringen i effekt direkt när man slår på eller av en apparat.

Varvtalsstyrning som kapacitetsreglering

Styrtreglering av flöde med ventiler är ett förlegat och omodernt sätt att styra. Det är inte energieffektivt att pumpar eller fläktar ska arbeta mot stängda eller delvis stängda ventiler. Ett energieffektivare alternativ är att regler flödet genom att reglera varvtalet.

Spänningsreglering

Vanligen drivs lantbrukets pumpar och fläktar med asynkronmotorer. De har fasta lindningar, som med hjälp av växelströmmens spänningsväxling skapar ett roterande magnetfält. Motorns vridmoment beror på matningsspänningen. Om spänningen minskar blir motorn svagare och rotationshastigheten sjunker, eftersläpningen ökar.

Spänningsreglering med transformator är en äldre teknik. Den är ovanlig numera eftersom transformatorer är dyra och det finns alternativ.

Spänningsreglering med triac. En annan metod är att sänka den effektiva spänningen genom att ”klippa” bort delar av växelspänningen med en halvleder-strömbrytare (triac). Denna metod brukar kallas fasvinkelstyrning eller triacreglering.

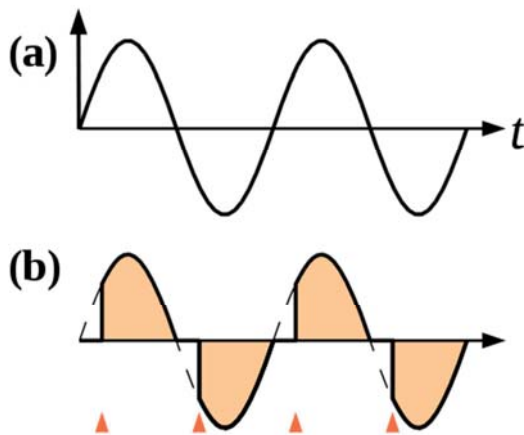


Bild 11. Principen för spänningsreglering med triac.

A. Nätspänningen varierar enligt en sinusformad kurva från negativ till positiv spänning 50 gånger per sekund.

B. Den effektiva spänningen (som en motor påverkas av) är proportionell mot arean mellan spänningskurvan och nollinjen. En triac släpper fram ström bara under en begränsad del av varje period. Det är ställbart var på spänningskurvan som strömmen ska börja släppas fram (småpilar). Strömmen stängs alltid av vid noll-linjen. Då blir den effektiva spänningen lägre, eftersom arean (färgad) är mindre. Motorn är så ”trög”, att den bara reagerar på att den i medeltal får lägre spänning.

Frekvensreglering

Frekvensreglering bygger på att man styr växelströmmens frekvens istället för dess spänning. Det gör att asynkronmotorers verkningsgrad inte försämras när rotationshastigheten minskar, eftersom rotorns eftersläpning i förhållande till växelströmmens frekvens är densamma. Man kan inte påverka nätfrekvensen, utan man driver istället motorn med en konstgjord växelspanning med önskad frekvens.

Den vanligaste metoden, som används i frekvensomriktare, är att göra om nätströmmen till spänningspulser som man med hjälp av elektroniska strömbrytare släpper fram till motorn. Pulserna kommer mycket tätt, ca 2000 ggr per sekund. Pulserna släpps fram i skurar med uppehåll mellan. Motorn reagerar inte på de enskilda pulserna utan på medelvärdet över tid. Genom att fördela pulserna på ett lämpligt sätt kan man få ett medelvärde, som följer en sinuskurva med önskad frekvens.

Tekniken kallas pulsbreddsmodulering (eng. Pulse Width Modulation, PWM).

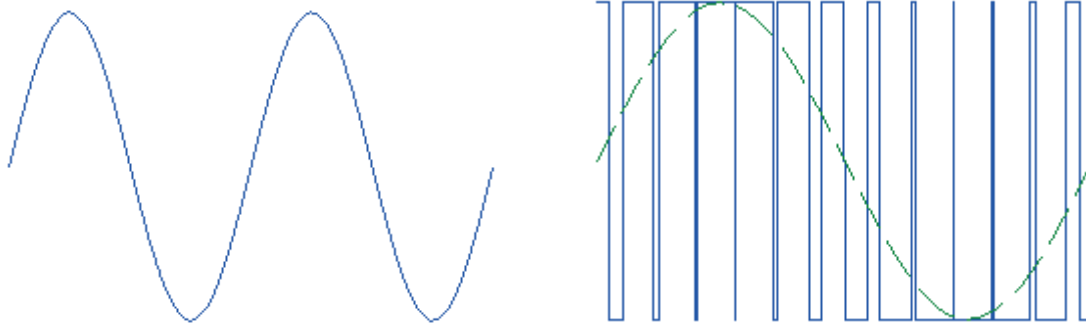


Bild 12. Principen för frekvensomformning med pulsbreddsmodulering. I bildens högra del visas hur pulsbredden moduleras på ett sådant sätt att en serie pulser motsvarar halva den ursprungliga frekvensen hos den sinusformade spänningen till vänster. En motor med synkront varvtal på 3000 r/m (50 varv/s) kommer då att få sitt varvtal reducerat till 1500 r/m (25 varv/s). Moduleringen kan ändras till valfritt varvtal, ofta med automatik och med t.ex. tryck- eller flödesgivare.

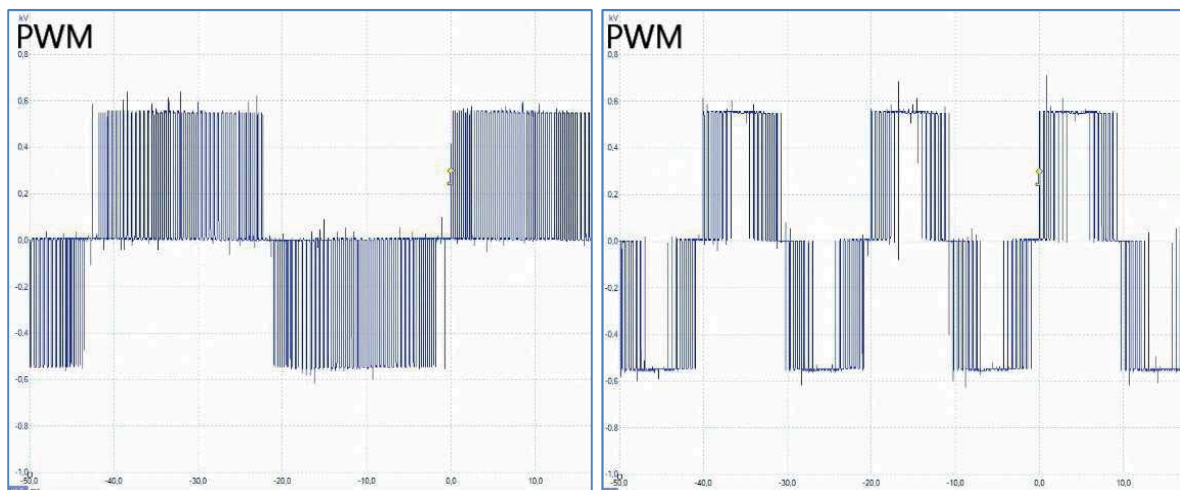


Bild 13. Exempel på uppmätt variation av pulsbredd vid låg frekvens och spänning resp. hög frekvens och spänning. (Källa: NFO Drives)

Tekniken med pulsbreddsmodulering hjälper till att spara energi men pulserna ger nackdelar:

- Pulserna skickar ut så kallade övertoner på nätet, som kan störa annan elektronik. Det kräver oftast elektroniska störningsfilter.
- Om motorn är ansluten till frekvensomriktaren via en oskärmad kabel kommer denna att fungera som en sändarantenn och vi kan få stora störfält som stör bl.a. radiokommunikation. Skärmade kablar krävs alltså.
- Därför bör frekvensomriktaren placeras så nära motorn som möjligt.
- Pulserna ger upphov till lagerströmmar. Dessa uppkommer då ström kopplas kapacitivt från pulsernas flanker till jord via motorns lager. Lagerströmmar förkortar lagrens livslängd och därmed serviceintervallen för drivsystemet.
- Jordfelsbrytare krävs i många applikationer, men de kan sällan användas i samband med PWM- omriktare, då jordfelsbrytaren ofta löser ut på grund av de höga pulsflankerna.
- PWM-frekvensomriktarmatade motorer ger ofta ett vinande/tjutande ljud, som kan upplevas som mycket störande.

Genom en patenterad svensk innovation tillverkas numera även frekvensomriktare som förser motorn med en sinusformad spänning, bild 14. Genom att pulserna elimineras, så försvinner också nackdelarna:

- Utrustning i omgivningen störs inte, inga avstörningsfilter behövs.
- Det behövs inte skärmade kablar som fördyrar installationen och avstånd mellan omriktaren och motorn spelar ingen roll.
- Lagerströmmar som orsakas av frekvensomriktaren undviks.
- Jordfelsbrytare kan användas.
- Ljudmiljön blir bättre.

Själva omriktaren blir dyrare än vid PWM-teknik, men tilläggskostnaderna för PWM elimineras. Som exempel kan nämnas att DeLaval har valt denna teknik för vakuumpumpar i mjölkkningsrobotar.

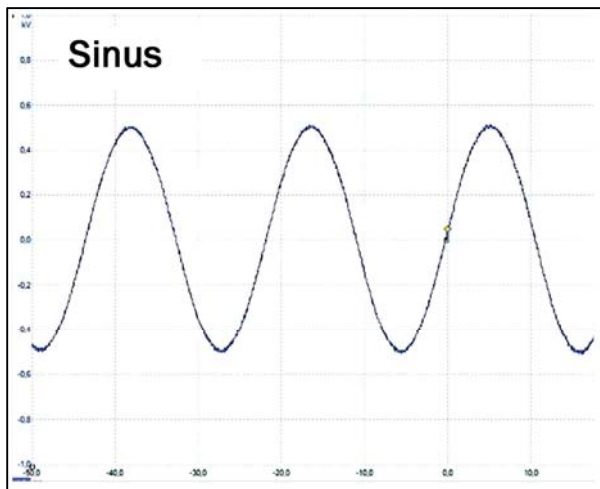


Bild 14. Sinusformad spänning från frekvensomformare med sinusteknik. Bilden är från samma mätillfälle som i bild 13. (Källa: NFO Drives)

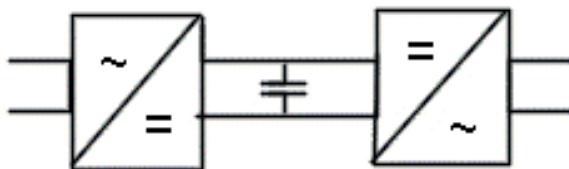


Bild 15. I denna symbol för frekvensomformare ser man att växelspanning, markerad med ~, görs om till likspänning, markerad med =, för att sedan göras om till växelspanning igen.



Bild 16. Frekvensomformare används här till en vakuumpump. På displayen ser man aktuell frekvens och effektuttag.

Elektronisk varvtalsreglering i EC-motorer

EC-motorer är en ny typ av motorer. Förkortningen EC står för Electronically Commutated. Den har permanentmagneter, som skapar det magnetiska fältet och den har en inbyggd styrelektronik, som styr magnetfältets rotationshastighet och därmed motorns varvtal. Den kopplas till växelströmsnätet, men internt arbetar den med likström efter likriktning av växelströmmen. Konstruktionen gör att en större del av den tillförda energin skapar rotation och en mindre del går till förlustvärme. Verkningsgraden blir därmed högre! Även vid lägre varvtal behåller EC-motorn en hög verkningsgrad och ett högt vridmoment.

En sådan motor är dyrare men mycket energieffektiv. I en studie av ventilationsfläktar sparade EC-motorn 70-75 procent jämfört med en triac-styrd fläktmotor och 60 procent jämfört med en frekvensstyrd motor. Vid nybyggnad kan det vara aktuellt att välja motortypen i ventilationen.

Bild 17.
EC- motorn är aktuell för bland annat ventilation.



Elektricitet - lite grunder

För bättre förståelse av hur motorer fungerar och hur vi kan beräkna elförbrukningen ges här en kort genomgång av viktiga samband.

Elektrisk ström - en analogi med vattenströmning

Elektrisk ström kan liknas vid ett vattenflöde i en slang från en vattentank, där spänning motsvarar tryck och strömmen (strömstyrkan) motsvarar vattenflödet. Det elektriska motståndet, resistansen, motsvarar hinder för flödet. Så ger en tunnare ledare ett större motstånd än en grövre, på samma sätt som en klenare slang ger större motstånd mot vattenflödet än en grövre. Flödet beror både av tryck och motstånd.

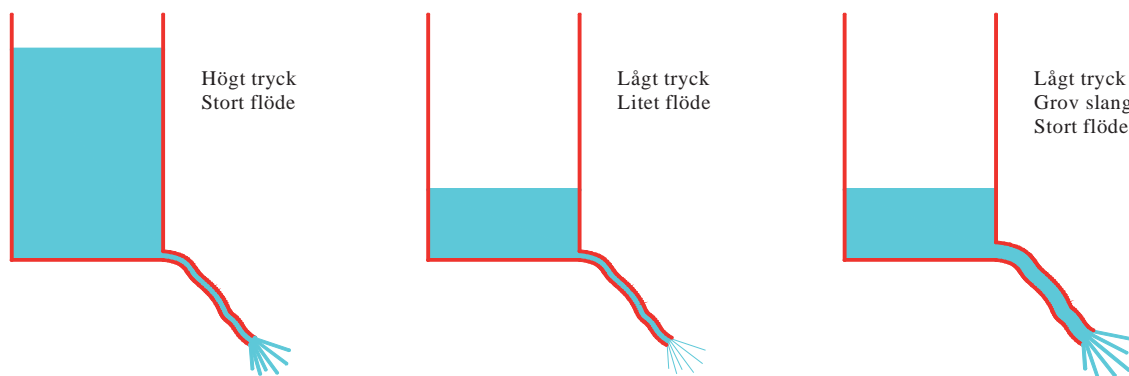


Bild 18. Jämförelse mellan vattenflöde och elektrisk ström.

Högt tryck - hög spänning
Klen slang - stor resistans
Stort flöde - hög ström

Lågt tryck - låg spänning
Klen slang - stor resistans
Litet flöde - låg ström

Lågt tryck - låg spänning
Grov slang - liten resistans
Stort flöde - hög ström

Likström

I en likströmskrets, där spänningen ges av ett batteri, flyter strömmen från batteriets pluspol till dess minuspol. Hur mycket ström som flyter i kretsen bestäms av resistansen, som mäts i ohm (Ω)

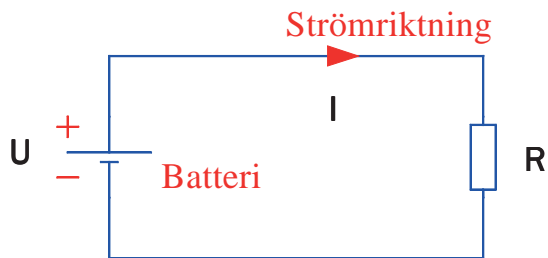


Bild 19. Exempel på en enkel likströmskrets. Likström innebär att strömmen har samma riktning hela tiden, den växlar inte. Som förkortning för likström används DC (Direct Current).

Sambandet kallas Ohms lag: $U = R \cdot I$

där U är spänningen i volt (V), R är resistansen i ohm (Ω) och I är strömmen i ampere (A).

Elektrisk effekt i likströmskretsen är $P \text{ (W)} = U \cdot I$

Den formeln kan skrivas om till $P = R \cdot I^2$, vilket visar strömmens betydelse för effekten.

Växelström

Växelström innebär att strömmen hela tiden ändrar riktning, i vårt elnät med en standardiserad frekvens av 50 gånger per sekund, 50 Hz. Som förkortning för växelström används AC (Alternating Current).

I bild 20 visas en förenkling av växelströmsgenerator.

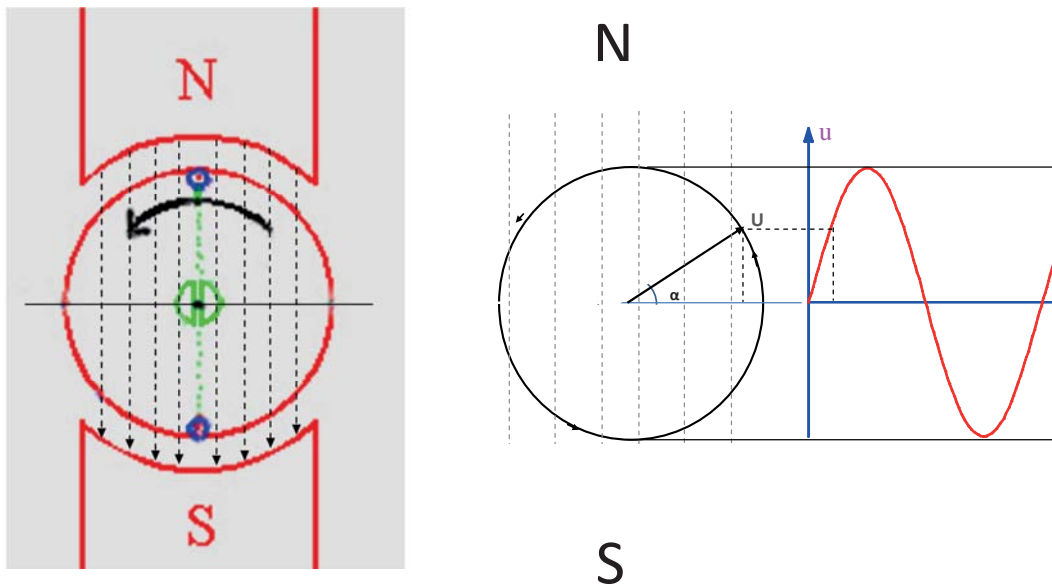


Bild 20. När en tråd i rotorn rör sig parallellt med magnetfältets riktning, induceras ingen ström. Det är när tråden passerar vinkelrätt mot magnetfältets riktning som förändring sker snabbast och den inducerade strömmen blir som starkast. Vi får en spänning som varierar med tiden enligt den högra bilden, en sinusformad spänning.

Strömmen och därmed spänningen blir alltså beroende av rotationsvinkeln eller rättare sagt sinus av vinkeln. Vid en viss rotationshastighet kommer vinkeln att vara helt proportionell mot tiden. Om man då ritar upp spänningen som en funktion av tiden (bilden ovan), så får man det som kallas sinusform på kurvan.

Benämningen sinusform kommer av att spänningen i varje ögonblick är proportionell mot sinus för vinkeln α . Funktionen sinus förklaras nedan i bild 21.

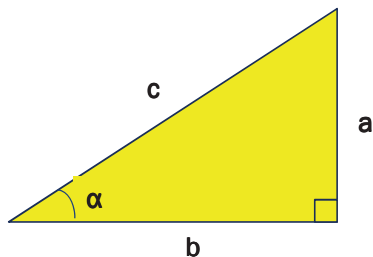


Bild 21. Sinus är en av viktiga funktioner, som hör till rätvinkliga trianglar. Definition: $\text{Sinus } \alpha = a / c$. Då inser man att sinus α och därmed den genererade spänningen är som störst, när vinkeln α är 90° . En annan viktig funktion är cosinus för samma vinkel i den rätvinkliga triangeln, $\text{cosinus } \alpha = b / c$.

Spänningen varierar alltså från positiv till negativ toppspänning, men vi räknar med spänningens effektivvärde, som är lägre än toppspänningen. Vi går inte in på själva beräkningen här. Vårt elsystems huvudspänning 400 V är ett sådant effektivvärde.

Fördelarna med att använda växelström är många. Motorer och generatorer för växelström är ganska enkla konstruktioner. Med transformatorer kan man ändra spänningen till högre eller lägre. Man kan därmed överföra elenergi i ledningar över långa sträckor genom att transformera upp spänningen och därmed minska strömmen. Förlusteffekten bestäms ju av sambandet $P = R \cdot I^2$, där strömmen således har störst inflytande. R står här för ledningens resistans.

Hela vårt elsystem bygger på trefas växelström. I trefasgeneratoren finns tre stycken lindningar förskjutna $1/3$ varv eller 120° i förhållande till varandra. När dessa roterar i magnetfältet alstrar de var sin sinusformad växelspanning, precis som i enfasgeneratoren, men dessa blir nu tidsförskjutna $1/3$ period eller 120° .

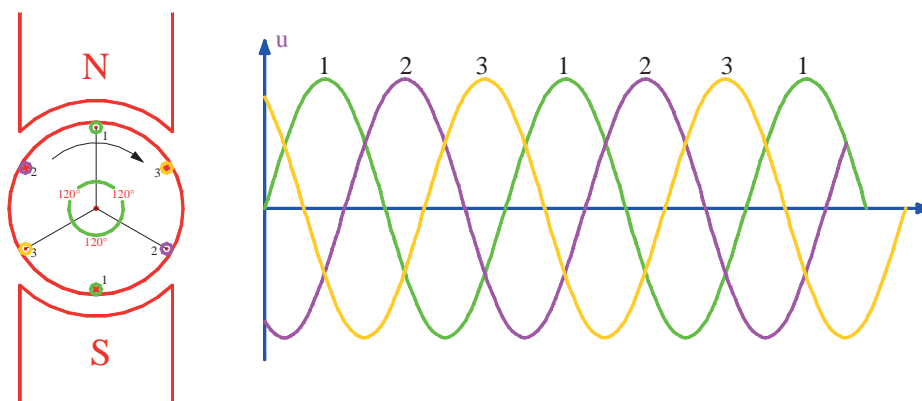


Bild 22. Med trefas växelström kan betydligt mer energi överföras på bara tre ledare. Spänningarna är förskjutna 120° i förhållande till varandra.

Man ser av bild 22 att i varje ögonblick är summan av de tre spänningarna konstant och lika med noll. De utjämnar varandra och därför fungerar de tre ledarna som varandras återledare. I bild 23 visas två möjligheter att ansluta t.ex. en motors lindningar till trefas växelström. Vid D-koppling får varje lindning huvudspänningen U_h , men vid Y-koppling får den fasspänningen U_f .

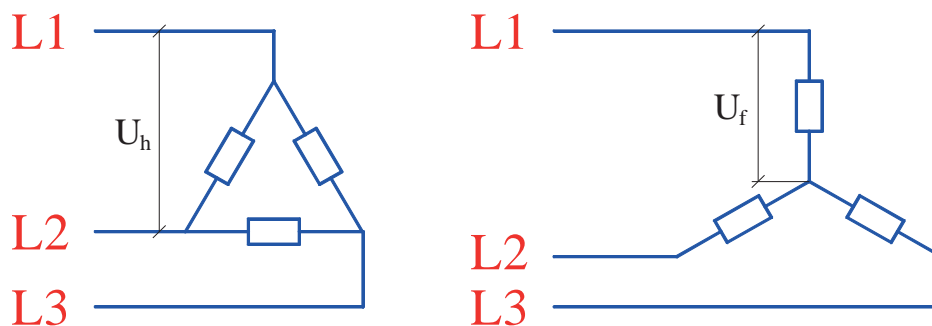


Bild 23. Det finns två möjligheter att ansluta en trefasmotors lindningar till trefas växelström. Till vänster är en triangel- eller D-koppling och till höger är stjärn- eller Y-koppling. U_h står för huvudspänning, som i vårt elnät är 400 V och är spänningens effektivvärde mellan två fasledare. Vid D-koppling ligger huvudspänningen helt på varje lindning. Vid Y-koppling ska två lindningar dela på huvudspänningen och därför får varje lindning en lägre spänning. Denna spänning kallar vi fasspänning, U_f . Den är ungefär 230 V i vårt elnät.

Sambandet mellan huvudspänning och fasspänning är $U_h = \sqrt{3} * U_f$ eller $U_h = 1,73 * U_f$.

Faktorn $\sqrt{3}$ har att göra med vinkelförskjutningen 120° mellan spänningarna.

Nollinjen i bild 21 motsvarar centrum i Y-kopplingen i bild 23, där de tre spänningarna tar ut varandra. Om man har en nolledare ansluten dit, så får man alltså spänningen U_f mellan nolledare och fasledare. Detta utnyttjar vi i våra system så att vi kan få 230 V i vägguttaget till belysning, köksmaskiner m.m., det vi kallar enfasa. Vi kan också använda 400 V trefas till motorer med högre effekt. Bild 24 visar principen för inkoppling.

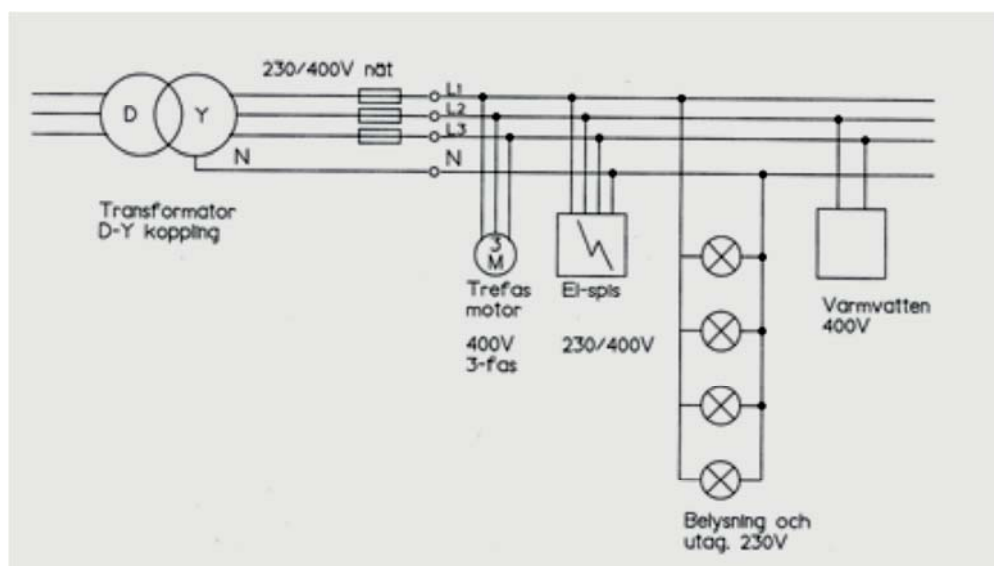


Bild 24. Principen för inkoppling till 400 V eller 230 V. Från transformatorn dras de tre fasledarna samt nolledaren in i byggnaden.

Beräkning av effekt i växelströmssystemet

Under beskrivning av den enkla likströmskretsen såg vi sambandet mellan effekt och spänning och ström. Detta samband gäller också momentanvärdena för växelströmskretsen och vi skriver för momentanvärdena $p = u * i$. Vi är dock mer intresserade av medeltalen, effektivvärdena, på spänning och ström, som vi att så säga har nytta av. För en belastning som bara innebär motstånd, resistans, gäller effektivvärdena för beräkning av effekten: $P = U * I$. Så är det till exempel med en elpatron, som ju

bara innehåller en resistans. I en elmotor blir det mer komplicerat, eftersom induktionen i motorns lindningar påverkar strömmen så att den inte följer spänningen utan blir förskjuten i tid. Vi säger att strömmen är fasförskjuten. Strömmens sinuskurva når sina toppar och nollvärden en viss vinkel efter spänningen. Vinkeln benämns φ som är en grekisk bokstav och den uttalas "fi".

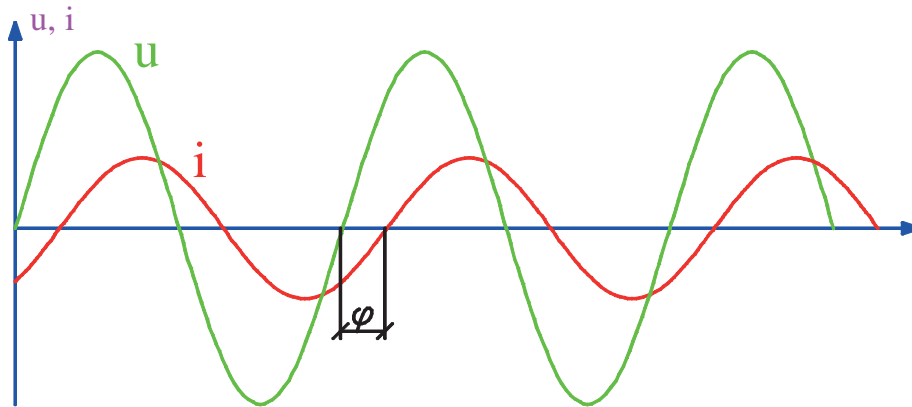


Bild 25. I en motor gör induktion av ström i lindningarna att strömkurvan följer efter spänningskurvan motsvarande en vinkel, benämnd φ .

Fasförskjutningen innebär att det inte är effektivvärdet I av strömmen som samverkar med spänningen. Det är istället ett mindre värde, $I * \cosinus \varphi$.

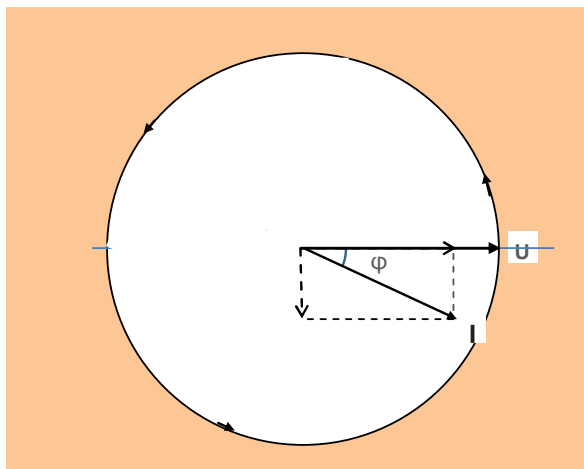


Bild 26. Eftersom strömmen är fasförskjuten, kommer med en vinkel φ efter spänningen, måste den justeras med en faktor $\cosinus \varphi$, när effekten beräknas. Strömmen, som samverkar med spänningen U , är alltså inte I utan det lägre värdet $I * \cosinus \varphi$.

Cosinus φ , förkortat $\cos \varphi$, kallas effektfaktorn, eftersom den är nödvändig vid beräkning av växelströmseffekt. Notera att effektfaktorn inte ska förväxlas med verkningsgraden. Effektfaktorn kan anta värden från under 0,70 till över 0,90. Små motorer har i regel låga värden och stora motorer höga.

Den generella formeln för enfaseffekt skrivs:

$$P = U * I * \cos \varphi$$

Effektfaktorn antar värdet 1, när det inte sker någon fasförskjutning, som i en elpatron med bara resistivt motstånd.

Vid beräkning av trefaseffekt summeras effekten från de tre faserna:

$$P_{\text{trefas}} = 3 * U_f * I * \cos \varphi$$

Men följande samband gäller mellan fasspänningen U_f och huvudspänningen U_h :

$$U_f = U_h / \sqrt{3}$$

Därför skriver vi formeln utgående från huvudspänningen (400 V):

$$P_{\text{trefas}} = \sqrt{3} * U_h * I * \cos \varphi$$



Bild 27. Spänningen kan mätas upp med en multimeter om man vil veta om den avviker från 400 V. Strömmen mäts med en tångamperemeter, tången placeras över den fasledare man vill mäta på. Lämpligen tar man medeltalet från tre fasledare och använder det i formeln för effektberäkning.

Aktiv effekt, reaktiv effekt och skenbar effekt

Det har viss betydelse att kunna förstå de här tre effektbegreppen.

Aktiv effekt

Effektformeln $P_{\text{trefas}} = \sqrt{3} * U_h * I * \cos \varphi$ gäller aktiv effekt, den effekt som vi kan dra nytta av i en motor och uträtta ett arbete med. Den är vi mest intresserade av. I bild 28 är det den positiva delen av kurvan P.

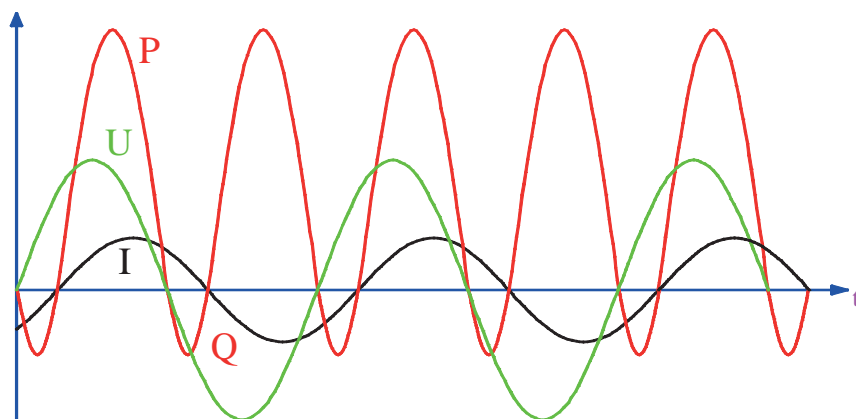


Bild 28. När både spänning och ström är positiva erhålls positiv effekt, kurvan P. När den ena av dem är negativ blir också effekten negativ. När både spänning och ström är negativa blir effekten positiv eftersom minus gånger minus är lika med plus.

Reaktiv effekt

Vi har sett att inte hela strömmen I kan användas till arbete - vi har ju justerat med hjälp av effektfaktorn $\cos \varphi$. Den delen av I som inte kan användas till arbete ger upphov till det som kallas reaktiv effekt eller negativ effekt. I bild 28 ser man att effekten $p = u \cdot i$ momentant antar minusvärden när ström och spänning har motsatta tecken. Det är en följd av fasförskjutningen, att strömmen kommer efter spänningen. Negativ eller reaktiv effekt mäts inte i W utan i enheten *var* (står för volt, ampere, rektiv). Reaktiv effekt betecknas med bokstaven Q . Formeln är:

$$Q_{\text{trefas}} = \sqrt{3} * U_h * I * \sin \varphi$$

Den reaktiva effekten uträttar inget arbete, men den används ändå för magnetisering i motorn. Den ger elnätbolagen problem genom att ledningarna måste ha kapacitet för den överföringen också. Problemen minskas genom faskompensering, där man med hjälp av kondensatorer minskar fasförskjutningen, minskar vinkeln φ .

Skenbar effekt

Om man bara använder effektivvärdena U och I för att beräkna trefassystemets effekt, då får vi det som kallas skenbar effekt, betecknat med bokstaven S :

$$S_{\text{trefas}} = U_h * I$$

Den skenbara effekten mäts i VA, voltampere.

Förhållandet mellan dessa tre effektstorheter är beroende av vinkeln φ och att det finns induktans i kretsen som har orsakat fasförskjutningen. Förhållandet kan ritas upp geometriskt med en triangel, bild 29.

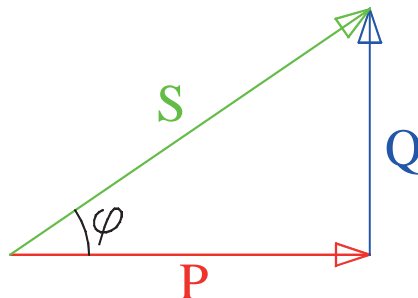


Bild 29. Sambandet mellan skenbar effekt, aktiv effekt och reaktiv effekt kan visas geometriskt med en triangel där en vinkel är rät och en vinkel är φ , vinkeln för fasförskjutningen.

Som vid alla rätvinkliga trianglar kan man här använda Pythagoras' sats för sambandet mellan de tre effekterna:

$$S^2 = P^2 + Q^2$$

Det är den skenbara effekten som ska fram i ledningsnätet. På mindre företag såsom lantbruk, är det energin genom den aktiva effekten som kommer på elräkningen. Samma gäller i hushållens elabonnemang.

En generators prestanda anges i skenbar effekt. Begreppet skenbar effekt blir tydligt när man ska köpa ett reservverk till gården. Elverkens storlek anges alltid i skenbar effekt och mäts i VA. Elverket måste nämligen kunna leverera den skenbara effekten till alla motorer. Därför, när man räknar på driftfall och lägger samman de motorer som ska köras samtidigt, ska man inte addera motoreffekterna i W . Istället ska man för varje motor ta märkströmmen gånger huvudspänningen så att man får den skenbara effekten mätt i VA. Här saknar motorns effektfaktor, $\cos \varphi$, betydelse.



Bild 30. Reservelverkets storlek anges alltid i skenbar effekt, som alltså mäts i VA.

Referenser i urval

Energimyndigheten. 2010. Välj en högeffektiv elmotor. Broschyr ET 2010:10.

Neuman, L. 2013. Användning av Vattenfalls Energywatch PRO på lantbruksföretag. Opubl.

OEM Motor AB. 2010. Ellära från grunden

Svenska Brandskyddsföreningenn/LBK. 2011. Handbok för elinstallationer i lantbruk och hästverksamhet.

Internetlänkar

Energimyndigheten, www.energimyndigheten.se

NFO Drives AB, www.nfodrives.se

Vattenfall AB www.vattenfall.se

Personliga meddelanden

Johan Berggren, NFO Drives.

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 3

Elmotorer Elektricitet - lite grunder

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 4

Spannmålskonservering, spannmålstorkning

2013



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Författare till detta avsnitt är **Lars Neuman**, teknikagronom och energirådgivare på LRF Konsult.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Innehåll

Spannmålskonservering - olika metoder	4
Tips – åtgärder för att energieffektivisera	5
Torkning, grunder och teknik	8
Principer för torkning	8
Luftens förmåga att ta upp fukt	9
Vad krävs för stabil lagring?	10
<u>Varmluftstorkning</u>	13
Luftningsfickor har många fördelar	16
Åtgärder i varmluftstorkning	19
<u>Kallluftstorkning</u>	32
Hjälpmiddel för att sköta kallluftstorkningen	37
Åtgärder i kallluftstorkning	39
Silotork med omrörning	42
Åtgärder i silotorkar	43
Alternativa metoder för att konservera spannmål	44
Spannmålstransporter inomgårds	46
Några referenser i urval	49

Inledningen ger en kort översikt över olika metoder att konservera spannmål. Därefter kommer en kortfattad lista på de tips och åtgärder som får sin beskrivning längre fram, under rubrikerna Åtgärder...

Sedan följer en kort genomgång av torkningens grunder. Denna genomgång tillsammans med beskrivningar av teknik och principer för varmluftstorkning, kallluftstorkning o.s.v. bidrar till förståelsen av åtgärderna. Därefter beskrivs åtgärderna mer utförligt än i den inledande listan.

Spannmålskonservering - olika metoder att förhindra skador och bevara kvaliteten

All konservering går ut på att förhindra att spannmålen ruttnar eller angrips av mögelsvamp eller andra mikroorganismer och skadeinsekter. Spannmålens kvalitet ska bevaras från skörd till förbrukning. Vilken metod man väljer beror mycket på vad spannmålen ska användas till.

Tre faktorer är avgörande för om spannmål, frö, ärter och bönor m.m. kan lagras utan att kvaliteten försämras. För alla tre gäller att en sänkt nivå minskar den mikrobiella aktiviteten - och tvärtom.

1. **Vattenhalt** - vattnet avlägsnas genom torkning
2. **Temperatur** - värme avlägsnas genom luftning/kylning
3. **Syre** - syre avlägsnas genom andning vid lufttät lagring

Därtill kommer möjligheterna till kemisk konservering såsom syrabehandling och ensilering.

Torkning är vanligast, bland annat därför att den inte begränsar vad spannmålen kan användas till. I tillräckligt torr spannmål kan inte svampar och bakterier växa till och det blir mindre gynnsamt för insekter. Hur länge man kan lagra spannmål med viss vattenhalt beror också på temperaturen. Därför kan kylning vara en lämplig metod under vissa förhållanden. Luftning ger också viss kylning och skydd, åtminstone under begränsad tid. Ensilering och syrabehandling ger ett kemiskt skydd mot skadegörare men användningen är begränsad till foder. Samma begränsning har lufttät lagring, som bygger på att luftens syre ersätts med koldioxid genom andningen. Tabell 1 ger en översikt över de olika metoderna.

Tabell 1. Översikt konserveringsmetoder

<u>Konserveringsteknik</u>	<u>Energi- användning</u> 1 =lägst	<u>Investering</u> 1 =lägst	<u>Använd- nings-om- råde</u>	<u>Ingångs- vattenhalt</u>
Varmluftstork	5	6	samtliga	ingen begränsning
Silotork med omrörning	6	5	samtliga	begränsad
Kallluftstork med tillsats- värme	4	4	samtliga	begränsad
Kyllagring	4	4	samtliga	max 17 %
Lufttät lagring	1	3 -6	foder	begränsad
Ensilering (krossad)	2	2	foder	vanl. > 30 %
Syrabehandling	1	1	foder	< ca 25 %

Energianvändningen avser här driften och direkt energi, d.v.s. säga elenergi och bränslen som eldningsolja, gasol eller biobränsle. Indirekt energianvändning ingår alltså inte.

För den som odlar för egen foderproduktion kan det vara intressant ur många synpunkter med alternativ som lufttät lagring, ensilering eller syrabehandling. Det är också de metoder som använder minst energi.

Vilken metod man än använder, så måste man sätta sig in i de villkor och spelregler som gäller för den metoden och för den gröda man hanterar. Det är också viktigt vid högre vattenhalter att veta hur man kan anpassa uttagning, transport och foderberedning.

Vilken metod man än använder är det viktigt att bevara den kvalitet som krävs för den aktuella användningen och att undvika att behöva kassera något parti. Vi vill gärna räkna använd energi per ton spannmål som mått på effektivitet. Alltså gäller det att bevara så många ton som möjligt.

Tips – åtgärder för att energieffektivisera

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att dela in åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra. De lättaste är de som handlar om rutiner och beteende, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Det är åtgärder som inte behöver planeras väl och de behöver inte medföra kostnader, möjligen lite extra tid. Lönsamheten behöver sällan diskuteras. Tillsyn av pannan och kalibrering av vattenhaltsmätaren är sådana åtgärder.

Andra åtgärder kan kräva inköp eller utbyte av utrustning och komponenter. Alltså medför de kostnader och då är det bra att räkna på lönsamheten. Sådana åtgärder kan ta lite längre tid att genomföra. Exempel är att bygga om fickor för luftning och att isolera varmluftskanalen.

Slutligen finns det åtgärder som kräver större investeringar och innebär byte av system. Att konvertera till uppvärmningen till biobränsle är en sådan åtgärd, som behöver planeras väl. En lönsamhetskalkyl bör ligga till grund för investeringen.

Texten tar upp olika åtgärder, från de lättaste till systembyte. Nedan sammanfattas åtgärderna helt kort. Beskrivningar och motiveringar finns längre fram.

Åtgärder i varmluftstorkning

1. Förrensa! Renare är effektivare. I ren spannmål blir luftflödet bättre och det blir mindre mängd att torka. (Se sida 19)
2. Tröska vid rätt vattenhalt. Om möjligt invänta lägre skördevattenhalter. Gör det med omsorg och se upp så att inte det sist tröskade istället blir för fuktigt. (Se sida 19)
3. Undertorka inte. Med egen tork är det bättre att torka till rätt slutvattenhalt för leverans. (Se sida 20)
4. Övertorka inte! Att övertorka kräver energi i onödan och det minskar den vikt man får betalt för vid leverans. (Se sida 20)
5. Torkens styrning är viktig. Det är viktigt att ha bra styrning på torken så man kommer till önskad slutvattenhalt. (Se sida 21)
6. Se till att driftstermostaten på pannan gör rätt jobb. Se till så att driftstermostaten är rätt placerad i varmluftskanalen. (Se sida 21)
7. Kolla och kalibrera vattenhaltsmätaren Detta är viktigt för att kontrollera torkning och lagring. (Se sida 21)
8. Sköt om pannan. En panna som inte är sotad, rengjord och väl underhållen får en lägre verkningsgrad. (Se sida 23)
9. Mätare för tillförseln av olja. (Se sida 23)
10. Isolera varmluftskanalen. Minska förlusterna genom att isolera varmluftskanalen. (Se sida 23)
11. Torka med vattenhaltsutjämning. Metoden passar bäst för majs och andra storfröiga grödor. (Se sida 24)

12. Flytta kylningen till en luftningsficka. Om man inte kyler i torken utan istället i en luftningsficka så kan man öka torkningskapaciteten. (Se sida 24)
13. Använd högre torktemperatur. Om man höjer torkluftstemperaturen så ökar man både kapacitet och effektivitet – det kan särskilt utnyttjas för foderspannmål. (Se sida 25)
14. Foderspannmål behöver inte torkas lika mycket om den lagras med luftning. Under vintersäsongen kan man lagra foderspannmålen vid högre vattenhalt, 16 procent, om man luftar den. (Se sida 25)
15. Torkning med gasol, naturgas eller biogas. Gasbrännare ger tillräckligt rena rökgaser för att kunna användas till torkning, det spar energi. (Se sida 25)
16. Värmeåtervinning vid torkning. Värmen från kylning och i dåligt mättad våtluft kan användas i den otorkade spannmålen. (Se sida 26)
17. Sänk lufthastigheten genom torken. (Se sida 27)
18. Förvärmning med sofångare. (Se sida 28)
19. Uppvärmning med biobränslen undersök möjligheterna att helt eller delvis ersätta olja med biobränsle. (Se sida 28)

Åtgärder i kallluftstorkning

1. Ren spannmål. Luftflöde och torkning försvåras av agnar och boss. (Se sida 39)
2. Fördela spannmålen vid inläggningen så att packning och ojämn torkning undviks. (Se sida 39)
3. Lägg spannmålen i jämna skikt. Ojämnheter i tjocklek ger ojämn torkning. (Se sida 39)
4. Skiktjockleken är viktig. Med för tjocka skikt sänker man luftflödet och riskerar kvaliteten. (Se sida 39)
5. Anpassa skiktjockleken efter vattenhalt. Begränsa höjden vid högre vattenhalter. (Se sida 40)
6. I centralrörssilor bör man blanda om. Eftersom man inte kan variera skiktjockleken måste man flytta och blanda om vid högre vattenhalter. (Se sida 40)
7. Använd uteluften. Fläkten ska ta luften utifrån. Undvik rundgång av torkluft. (Se sida 40)
8. Täta kanalsystemet. Luftläckage innebär energiförluster och fördröjd torkning. (Se sida 40)
9. Fläkta tillräckligt. Det är viktigt att fläkta så att temperaturen hålls nere. (Se sida 40)
10. Använd tillsatsvärme vid behov. Tillsatsvärme, som används rätt, höjer kapaciteten och ökar säkerheten. (Se sida 41)
11. Håll koll på tryck och flöde så att energin till fläkten används på bästa sätt. (Se sida 41)

12. Automatisera kalluftstorken. Styrning efter luftens relativa fuktighet ger bättre utnyttjande av energin till fläktarna. (Se sida 41)
13. Lufta under lagringen. (Se sida 41)

Åtgärder i silotorkar med omrörning

1. Använd tillsatsvärme. (Se sida 43)
2. Använd omrörningen. Tillräcklig omrörning är en förutsättning för att lyckas med systemet. (Se sida 40)
3. Ha koll på vattenhalten. (Se sida 43)
4. Lufta och kyl spannmålen under lagringen. Det är viktigt att lufta för att motverka kondens och för att hålla nere temperaturen. (Se sida 43)



Åtgärder övrigt

Alternativa metoder.

Det finns alternativa metoder till energikrävande torkning såsom lufttät lagring, krossensilering och syrabehandling. (Se vidare sida 44)

Transportörer. Ta hänsyn till energibehovet för olika transportörer, undvik lufttransport. Se över kilremstransmissioner. Välj motorer med hög verkningsgrad om motorerna går många timmar per år. (Se vidare sida 46)



Torkning, grunder och teknik

Metoderna för torkning kan indelas i varmlufts- och kallluftstorkning.

Vid varmluftstorkning torkar spannmålen färdigt inom några timmar. Då används höga lufttemperaturer, oftast mellan 40 °C och 70 °C. Därtill används höga specifika luftmängder (m³/ton,tim). Den största delen av Sveriges spannmål (80 - 90 procent) varmluftstorkas. Det är energikrävande och det finns goda skäl att leta möjligheter att spara energi.

Vid kallluftstorkning används uppvärmd luft eller svagt uppvärmd luft och lägre specifika luftmängder och därför tar torkningen flera dygn. Det krävs mindre energi än vid varmluftstorkning, eftersom man inte värmer luften alls eller mycket lite (höjning med 5 - 7 °C). Det går dock åt mer energi till fläktning i denna metod.

Silotorkning med omrörning kan ses som ett mellanting mellan kalllufts- och varmluftstorkning. Specifika luftmängden är låg, vilket gör att torkningen tar flera dygn, även om luften värms till 35 – 40 °C.

Principer för torkning

Här kommer en kort beskrivning av viktiga principer och samband inom torkning och lagring. De ger ett underlag för en diskussion om energieffektivisering och förslag till åtgärder.

Spannmålskärnor (liksom frö, hö, halm m.m.) är hygroskopiska. Det innebär att de kan avge vatten till torr luft och ta upp vatten ur fuktig luft. Vattenhalten i spannmålen ställer in sig i jämvikt med den omgivande luftens relativa fuktighet. Sambandet, en så kallad jämviktskurva, visas i bilden nedan. Den hjälper oss att förstå torkning och förutsättningar för att lagra spannmål.

Om till exempel spannmål med 16 % vattenhalt genomströmmas av luft med 90 % relativ fuktighet så kommer kärnan att ta upp fukt ur luften. Om vi genom samma parti blåser torrare luft, med ex. 50 % relativ fuktighet, så kommer luften att ta upp fukt från kärnan.

För leverans av vete vill vi torka ner till 14 %, en vattenhalt som ligger till grund för betalningen. Denna vattenhalt står i jämvikt med 65 % rel. fuktighet och det innebär alltså att torkluften måste ha lägre rel. fuktighet än 65 % för att vi ska kunna torka ner till 14 % vattenhalt. Se de orange linjerna i diagrammet! För längre tids lagring rekommenderas 13 % så att man har lite marginal för eventuell uppfuktning. För att bli lagringsstabila bör raps och rybs torkas till 8 % vattenhalt och lagras under 15°C. Jämför jämviktskurvan för raps i bild 3.

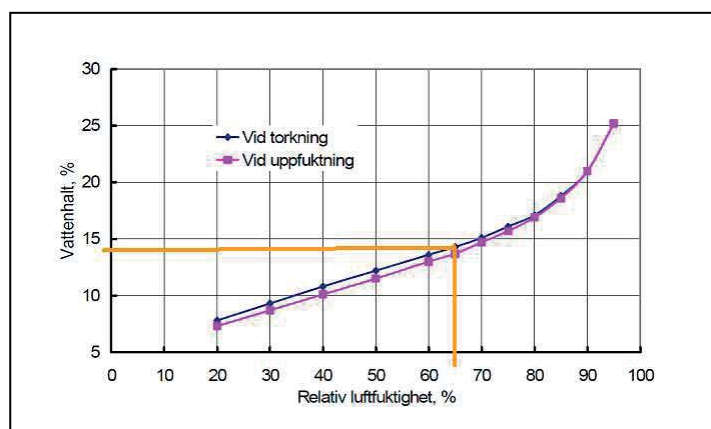


Bild 1. Jämviktskurva för vete. Sambandet mellan luftfuktighet och vattenhalt vid jämvikt för vete vid 25 °C. (Efter JTI)

När torkluften passerar genom torkgodset utbildas en torkfront som rör sig framåt. Torkningen sker i torkfronten. Bakom torkfronten har det skett en torkning och vattenhalten har där kommit i jämvikt med torkluftens relativa fuktighet. Framför fronten har nu luften tagit upp så mycket vattenånga som den kan. "Våtluften", som vi kallar den, passerar bara igenom den otorkade spannmålen utan att kunna ta upp mer vatten.

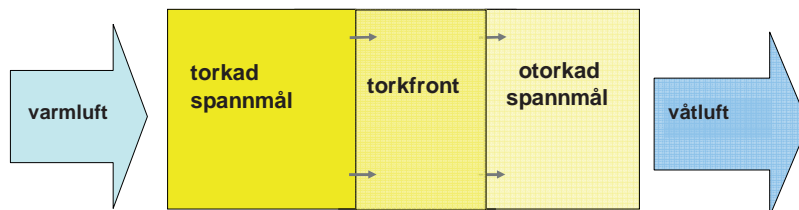


Bild 2. Principbild över hur torkfronten rör sig. I torkfronten ställer spannmålets vattenhalt in sig i jämvikt med den relativa fuktigheten i inkommande torkluft.

All torkning går ut på att blåsa genom luft som är så torr att spannmålen ställer in sig på tillräckligt låg vattenhalt. Uppvärmning av luften sänker luftfuktigheten och tillför den energi som behövs för att förångna vattnet. Ju torrare och varmare luften är, desto mer fukt kan den ta upp och desto snabbare går torkningen. Vid ökad temperatur påskyndas också fuktvandringen från spannmålskärnans inre mot ytan. Torkningen går också snabbare ju högre luftflöde man har. En nackdel med ett för högt luftflöde är att mottrycket i spannmålen blir större. En ännu större nackdel är att luften kanske inte hinner mätas med fukt under passagen genom spannmålen. Därmed drar man inte nytta av all den energi man kostat på sig för uppvärmningen. En konflikt finns alltså mellan önskemål om torkningskapacitet och önskemål om energieffektivitet.

Slutledningen blir att en energieffektiv torkning förutsätter anpassning av fläktar och värmekälla samt bra kontroll och styrning.

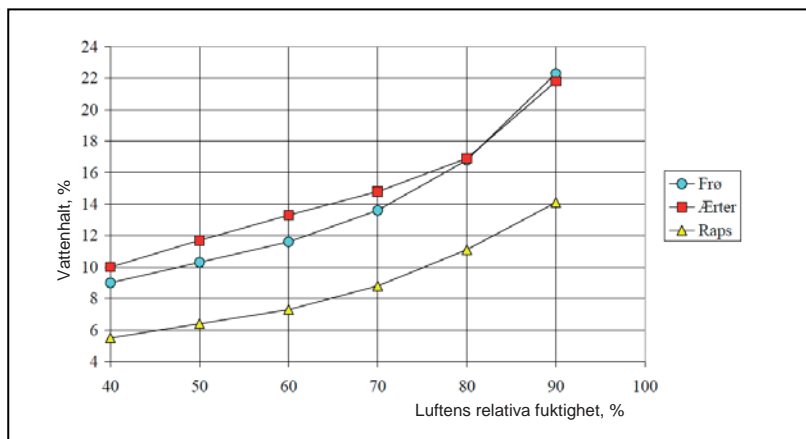


Bild 3. Jämviktskurva för frö, ärter och raps. Sambandet mellan luftfuktighet och vattenhalt vid jämvikt.

(Efter Århus Universitet, Den Jordbruksvidenskabelige Fakultet)

Luftens förmåga att ta upp fukt

Grundläggande för allt resonemang kring torkningskapacitet, torkningens energianvändning och kostnader är torkluftens relativa fuktighet. Den är ju avgörande för hur mycket fukt luften kan ta upp och ta med sig från torkgodset. Luft kan som mest innehålla en viss mängd vattenånga och denna mängd ökar med ökande temperatur. Luften är då mättad med vattenånga - den har 100 procent relativ fuktighet.

Ett exempel belyser detta:

Vid 10 °C är luften mättad om den innehåller 7,5 g vattenånga per kg luft (9 g/m³)

Vid 15 °C temperatur är luften mättad om den innehåller 10,5 g vattenånga per kg luft (12,6 g/m³)

Om den 10-gradiga mättade luften värms till 15 °C utan att vatteninnehållet på 9 g/m³ ändras så sjunker den relativa fuktigheten till 71 procent ($9/12,6 = 0,71$).

Om luften igen kyls till en temperatur under 10 °C så kommer vattenångan att kondensera till vattendroppar.

(Om relativ fuktighet kan du läsa mer i avsnittet Energi, grunder.)

Uppvärmning av luften medför att man sänker dess relativa fuktighet. Det medför också att våtluften som lämnar torken kommer att vara varmare och då kan den innehålla mer vattenånga innan den är mättad. I praktiken kan inte torkluften ta upp så mycket vatten att den blir helt mättad när man torkar spannmål och andra hygroskopiska material.

Det beror på den jämvikt mellan spannmålens vattenhalt och luftens relativa fuktighet som bild 1 visar. En slutsats att dra från jämviktskurvan är att när spannmålen torkas ned till exempelvis 16 % så kan inte våtluften, den luft som lämnar torken, hålla mer än 70 - 75 procent rel. fuktighet. Vid nedtorkning till 14 procent kan den luft som lämnar den torra spannmålen inte hålla högre rel. fuktighet än ca 65 procent.

Om inte våtluften från torken är mättad med vattenånga, håller 100 procent rel. fuktighet, så innebär det att man har använt en del energi för uppvärmning som inte kommer till nytta. I praktiken är det inte möjligt att komma till 100 procent i genomsnitt, men man kan försöka komma så högt som möjligt.

En viktig del i effektiviseringen är alltså att utnyttja så mycket av värmeenergin som möjligt genom att den luft som lämnar torken hålls så mättad med vattenånga som möjligt.

Vad krävs för stabil lagring?

För att vi ska förhindra mögeltillväxt måste luften vara tillräckligt torr. För lagringsstabilitet måste alltså spannmålen ha så låg vattenhalt att luften mellan kärnorna är förr torr för mögelsvamparna. Var den gränsen går bestäms av vattenhalt och temperatur i kombination som bild 4 visar.

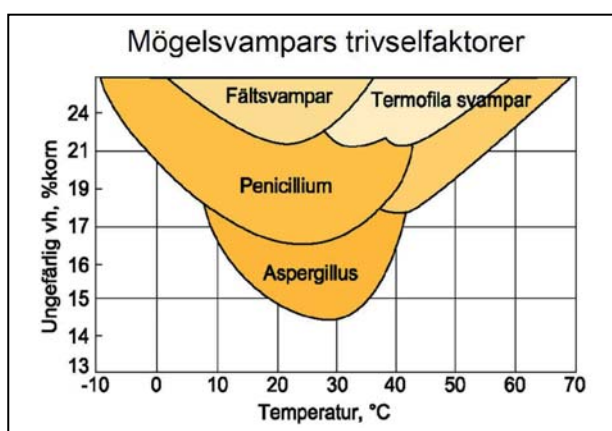


Bild 4. Mögeltillväxtens beroende av vattenhalt och temperatur. (Efter JTI)

Vid sidan av vattenhalt/luftfuktighet och temperatur är tiden en viktig faktor. Den har att göra med att kärnan andas, även om aktiviteten är låg. Vid andning bildas både värme och vattenånga. Med ökad fuktighet och temperatur förbättras förutsättningarna för mögelsvampar och när de växer till ökar också deras andning. Ännu mer fukt och värme bildas. Processen påskyndar sig själv. När spannmålen ”tar värme” är det alltså ett tecken på mögelbildning. Därför är det viktigt att lufta den spannmål som inte är tillräckligt nertorkad eller som lagras i väntan på torkning. Luftningen för då bort värme och fukt så att aktiviteten inte driver på sig själv. Temperaturen hålls nere.

Bild 4 visar att ju torrare och ju kallare spannmålen lagras, desto säkrare är lagringen. Lantmännen och andra företag som köper upp spannmål vill ha den levererad med högst 14 – 15 procents vattenhalt (lite olika gränser beroende på spannmålsslag och -kvalitet). För längre tids lagring rekommenderas ofta 13 procent, vilket ger bättre marginal för eventuell uppfuktning, orsakad av andning.

JTI, Institutet för jordbruks- och miljöteknik har gett ut riktlinjerna i tabell 2 för tillgänglig tid inom vilken buffertlagrad spannmål bör torkas för att undvika mögeltillväxt. Tabellens tider gäller under förutsättning att spannmålen luftas och därmed kyls. Tiden minskar givetvis utan luftning.

Tabell 2. Tillgänglig tid för luftad buffertlagring innan torkning (Efter JTI)

Temperatur i spannmålen °C	Tillgänglig tid i dagar vid skörde- vattenhalt i procent			
	17	18	20	22
25	10	6	2	1
20	18	11	4	1
15	30	17	6	2
10	66	34	12	4

Hur mycket vatten är det som måste torkas bort?

Man kan använda en formel för att beräkna hur mycket vatten som torkas bort per ton torkad spannmål. Vattenhalterna anges som procenttal.

$$1000 \times \frac{\text{ing. vattenhalt} - \text{utg. vattenhalt}}{100 - \text{ing. vattenhalt}} = \text{kg vatten / ton}$$

Exempel: Gårdens spannmålsskörd är 400 ton torkad vara. Ingående vattenhalt är i medeltal 20 procent. Nedtorkning sker till 14 procent. Per ton torkad spannmål ska man då torka bort:

$$1000 \times \frac{20 - 14}{100 - 20} = \frac{6000}{80} = 75 \text{ kg vatten}$$

Det blir totalt så här mycket vatten som torkas bort: **400 x 75 = 30 000 kg vatten.**

Det kan vara enklare att använda en tabell istället för formeln. I tabell 3 a på nästa sida kan man utgå från otorkad spannmål och tabell 3 b från torkad.

Tabell 3 a. Mängd vatten att torka bort, räknad på den otorkade spannmålen

Ingående vattenhalt	Kg vatten per ton <u>otorkad</u> spannmål - vid utgående vattenhalt						
	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	16 %
25 %	167	157	148	138	128	118	107
24 %	156	146	136	126	116	106	95
23 %	144	135	125	115	105	94	83
22 %	133	124	114	103	93	82	71
21 %	122	112	102	92	81	71	60
20 %	111	101	91	80	70	59	48
19 %	100	90	80	69	58	47	36
18 %	89	79	68	57	47	35	24
17 %	78	67	57	46	35	24	12
16 %	67	56	45	34	23	12	--
15 %	56	45	34	23	12	--	--

Exempel

Spannmålen håller vid tröskningen 20 % och den ska torkas ner till 14 % vattenhalt. För varje ton otorkad spannmål som läggs in i torken ska 70 kg vatten torkas bort. 1 ton otorkad spannmål ger 930 kg efter torkning.

Tabell 3 b. Mängd vatten att torka bort, räknad på den torkade spannmålen

Ingående vattenhalt	Kg vatten per ton <u>torkad</u> spannmål - vid utgående vattenhalt						
	10 %	11 %	12 %	13 %	14 %	15 %	16 %
25 %	200	187	173	160	147	133	120
24 %	184	171	158	145	132	118	105
23 %	169	156	143	130	117	104	91
22 %	154	141	128	115	103	90	77
21 %	139	127	114	101	89	76	63
20 %	125	113	100	88	75	63	50
19 %	111	99	86	74	62	49	37
18 %	98	85	73	61	49	37	24
17 %	84	72	60	48	36	24	12
16 %	71	60	48	36	24	12	--
15 %	59	47	35	24	12	--	--

Exempel

Spannmålen håller vid tröskningen 20 % och den ska torkas ner till 14 % vattenhalt. För varje ton torkad spannmål från torken har 75 kg vatten torkats bort. 1075 kg otorkad spannmål ger 1 ton efter torkning.



Varmluftstorkning

Vid varmluftstorkning torkar spannmålen färdigt inom några timmar tack vare höga lufttemperaturer, oftast mellan 40 °C och 70 °C samt höga specifika luftmängder (2000 - 3000 m³/ton,tim). Den största delen av Sveriges spannmål (80 - 90 procent) torkas med varmluft. Uppvärmningen sker mest med olja och det ger som bekant koldioxidutsläpp. Vi har både miljömässiga och ekonomiska skäl att effektivisera torkningen.

Varmluftstorkning - att mäta effektivitet

Ett sätt att kolla energieffektiviteten är att beräkna hur mycket energi som används för varje kg vatten som avlägsnas. Vi använder ofta nyckeltalet l olja/kg vatten eller kWh/kg vatten. Oljans värmevärde sätts grovt räknat till 10 kWh/l.

Om den oljeeldade anläggningen använder mindre än 0,15 l olja per kg vatten i medeltal, så får det betecknas som bra (1,5 kWh per kg vatten). Det kan ändå finnas potential för förbättringar. Om torken använder mer än detta värde, så har man stor anledning att leta efter åtgärder.

Se 0,15 l olja per kg vatten som ett grovt mått och som ett medeltal för ingående vattenhalter på 15 - 18 procent. Av flera skäl går det åt mindre energi per kg vatten om vi börjar torka på högre vattenhalter Motsvarande riktvärde är närmare 0,13 l olja per kg vatten om skördevattenhalten är över 20 procent.

En annan tumregel är att det inte bör gå åt mer än 1,8 - 1,9 l olja per ton och procentenhets nedtorkning, räknat på vikten torkad spannmål. Det motsvarar 18 - 19 kWh per ton och procentenhet.

Torktillverkarna anger vanligen torkarnas kapacitet i måttet torkgodis i ton/tim vid 4 procents nedtorkning. Här ska man vara uppmärksam. Observera att måttet brukar vara 4 procent räknat på ingående vikt och att det inte är detsamma som nedtorkning med 4 procentenheter! Det är istället bara 3,3 - 3,4 procentenheter sänkning av vattenhalten. Detta ska visas i ett exempel.

Exempel

*Antag att en tork har en kapacitet enligt produktbladet på 5 ton/tim vid 4 procents nedtorkning. Under en timme är det alltså $5000 * 0,04 = 200$ kg vatten som ska torkas bort. Är ingående vattenhalt 20 procent så är det 200 kg av ingående $5000 * 0,20 = 1000$ kg vatten som torkas bort. Kvar är då 800 kg vatten i 4800 kg spannmål och vi räknar ut den nya vattenhalten: $800/4800 = 0,167 = 16,7$ procent. Därmed har vi visat att vattenhalten har sänkts 3,3 procentenheter vid uppgiven kapacitet och inte 4.*

Torkning i satstork

Satstorkning innebär att spannmålen ligger still under torkningen. Torkningen avslutas, när satsen i genomsnitt nått önskad vattenhalt. Där den varma luften kommer in i torken blir vattenhalten mycket låg och där våtluften lämnar satsen kanske vattenhalten inte har gått ner särskilt mycket. Efter torkningen ska satsen kylas och då börjar en viss utjämning av vattenhalter. Partiet blandas sedan under transport till lagerfickan och sedan sker ytterligare utjämning av vattenhalter mellan fuktiga och torra kärnor under lagringen.

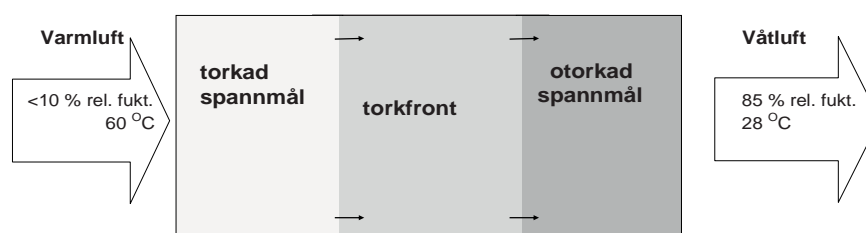


Bild 5. Principbild för satstorkning i en schakttork där luften passerar genom stillaliggande spannmål.

I en schakttork med satstorkning blir spannmålen mycket torr och varm där varmluften kommer in. En balktork är bättre, särskilt om den är utformad så att man kan sänka hela satsen genom att ta ut något hundratal kg och föra till toppen av torken. Då flyttas spannmålskärnorna om och de riskerar inte att bli lika varma och inte lika torra som i schakttorken. Bild 6 visar principen för en balktork.

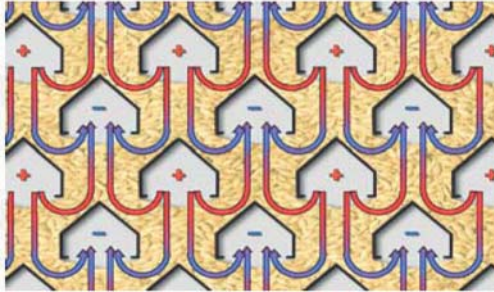
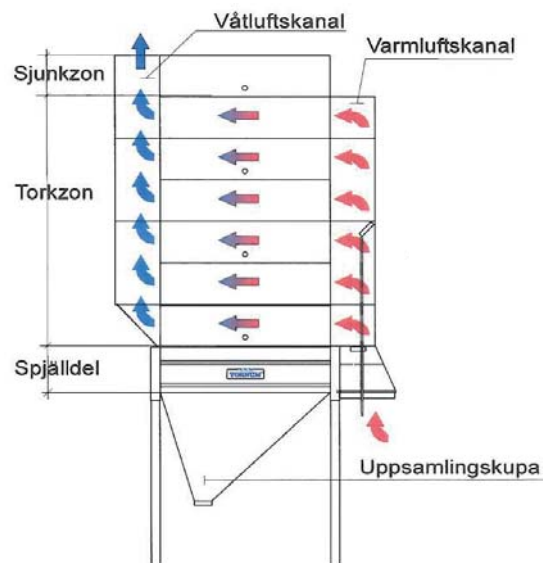


Bild 6. Principbild balktork, sektion. Balkar med inkommande varmluft markeras med + och våtluftsbalkar med -. Det bildas en torkfront som rör sig från varmluftsbalk till våtluftsbalk. Om satsen kan sänkas någon gång under torkningen så omlagras kärnorna och de får en jämnare torkning. (Bild efter Tornum AB.)

Med flyttningen undviker man också att luften lättare tar sig fram på vissa ställen till följd av att kärnorna krympt genom torkningen. Bäst fungerar det om tömningen är utformad så att hela satsen kan röra sig nedåt. Torkfickan töms då genom att roterande valsar eller pendlande vaggor i botten sätts i rörelse. Sämre är det om tömningen bara sker genom ett koniskt uttag. Då är det bara den spannmålspelare som ligger rakt ovanför uttagsöppningen som rör sig medan det övriga ligger still.

Bild 7. Principbild satstork.

(Efter Tornum AB)



En variant är satstork med cirkulerande torkgods. Den kan sägas vara anpassad till torkning på nordliga breddgrader med högre skördevattnenhalter. Cirkulationstorken ger en jämnare torkning men kräver en elevator som arbetar under det att satsen torkas. Den använder mer energi än satstorken.

Torkning i kontinuerlig tork

I den kontinuerliga torken rör sig spannmålen nedåt under torkning och påföljande kylning genom en styrd utmatning. Flödet genom torken beror av rörelsen hos utmatningens roterande valsar eller pendlande vaggor. Rörelsen och flödet är förinställda eller, mer avancerat, styrs av automatik och beror då på hur torkningen förlöper.

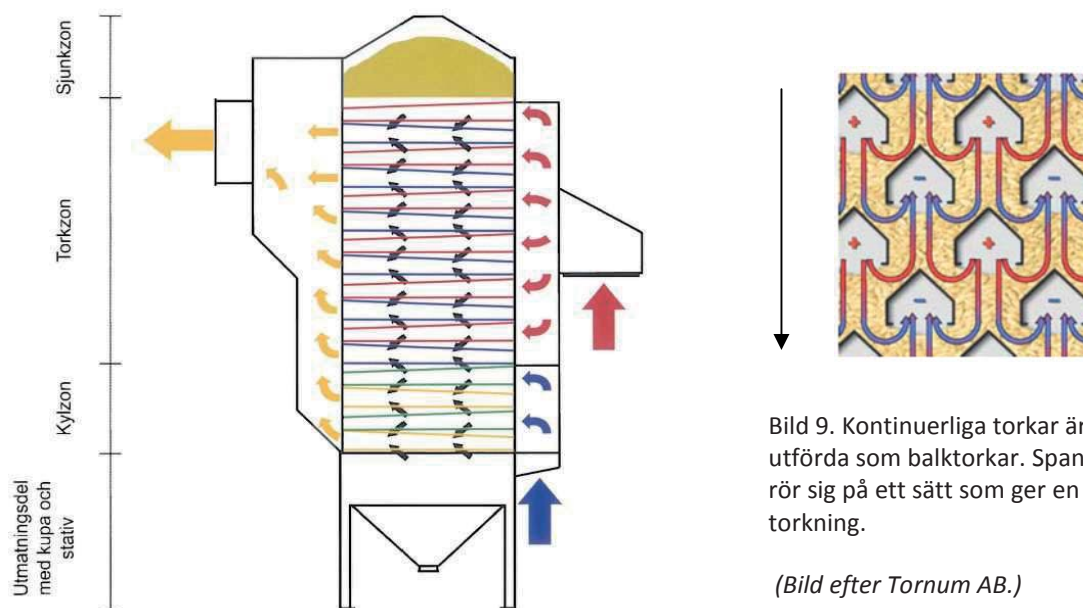


Bild 8. Principbild kontinuerlig tork

Bild 9. Kontinuerliga torkar är oftast utförda som balktorkar. Spannmålen rör sig på ett sätt som ger en jämnare torkning.

(Bild efter Tornum AB.)

I varmluftstorkens övre del med fuktig spannmål kan torkluften mättas väl med vattenånga. Efterhand som torkningen fortlöper och spannmålen rör sig neråt genom torken kommer luftens mätnadsgrad att minska. Det beror alltså på jämviktssambandet. I slutet av torkzonen, där vattenhalten nått neråt 14 procent kan vårluftens fuktighet inte vara högre än 65 - 70 procent. Spannmålens temperatur har närmast sig temperaturen på inkommande varmluft. Efter torkzonen kyls den torkade spannmålen i en kylzon till några grader över uteluftens temperatur.

Torkluftens temperatur

Ju varmare torkluften är, desto högre kapacitet får torken och desto mindre energi behöver användas. Begränsningar finns för vissa grödor och kvaliteter som skadas av höga temperaturer och de skadas lättare ju högre temperaturen är. I tabell 4 ges riktlinjer för brödsäd. För malkorn, utsäde, ärtor och bönor ligger riktvärdena några grader lägre. Det är kärnans eller fröets temperatur som är kritisk. Därför kan varmluftstemperaturen vara högre om inte torkgodset ligger still utan är i rörelse.

Tabell 4. Maximala torkluftstemperaturer som rekommenderas för brödsäd (efter JTI)

Torktyp	Maximal torkluftstemperatur vid skördevattenhalterna		
	20 %	25 %	30 %
Kontinuerlig balktork, cirkulationstork	65 °C	60 °C	55 °C
Kontinuerlig schakttork, satstork	60 °C	55 °C	50 °C

Fodersäden är inte temperaturkänslig och man kan höja temperaturen utan att foderkvaliteten påverkas. Vid torkning av fodersäd kan man alltså dra nytta av att högre temperatur ger energieffektivare torkning.

Om torkluftstemperaturen till exempel höjs från 60 till 80 °C, så behövs det 10 - 15 % mindre energi för torkningen. Samtidigt ökar torkkapaciteten med 40 - 60 procent. Pannans säkerhetstermostat begränsar temperaturen på varmluften till 85 °C, annars skulle man kunna förbättra effektiviteten ytter-

ligare med ännu högre temperatur. Det rekommenderas bara för kontinuerliga torkar och cirkulations-torkar.

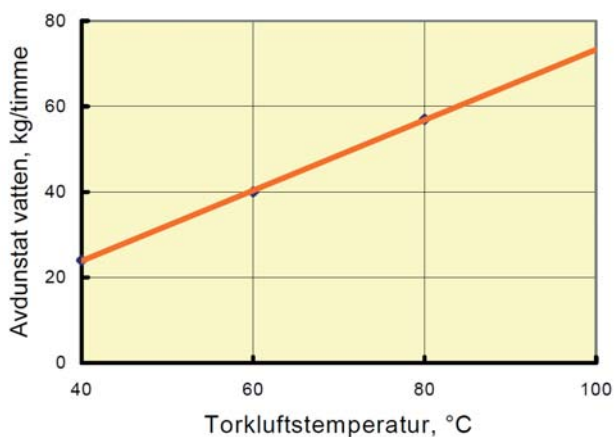


Bild 10. Torkens kapacitet ökar med ökad torkluftstemperatur liksom energieffektiviteten. (Efter JTI)

Ett undantag är när torken är placerad utomhus och avskilt från byggnad enligt nuvarande regler från Lantbrukets Brandskyddskommitté. Då är den maximalt tillåtna torkluftstemperaturen 100 °C. En förutsättning för att högre temperatur än 85°C ska accepteras är att torkanläggningen konstruerats så att brännbart material (damm, agnar mm) inte kan ansamlas på ytor med högre temperatur än 85°C.

Luftningsfickor har många fördelar och de bidrar på olika sätt till att spara energi

Lagringsfickor med luftningsmöjlighet har många fördelar, som påverkar kapacitet, energianvändning och lagringsstabilitet. Att undvika förluster och undvika kassation är en del i att använda energin effektivt.

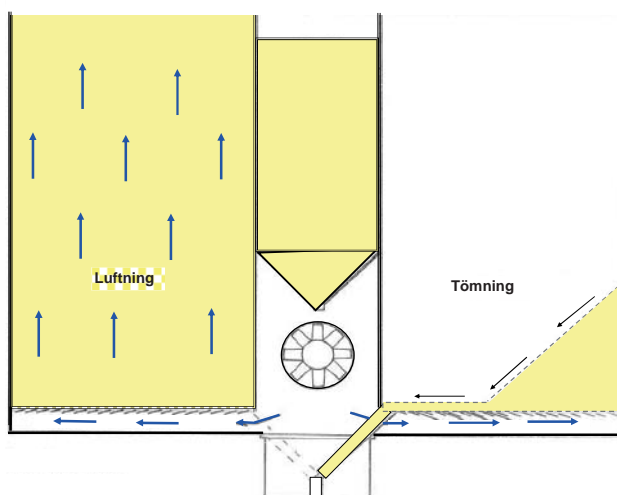


Bild 11. Lagringsfickor med luftningsbar botten i anslutning till en fläktkanal. Med s.k. golvsveperplåt kan fickan tömmas med luft. (Efter AB AKRON-maskiner)

De viktigaste fördelarna med luftningsbara fickor är:

- Luftad buffertlagring av nyskördad spannmål. Det ger bättre mottagningsmöjligheter och minskar risken att tröskningen hindras av begränsad mottagnings- och torkningskapacitet.
- Luftad lagring ger möjlighet att avbryta torkningen av till exempel (egen) fodersäd vid 16 % vattenhalt. Det spar ca 4 l olja per ton jämfört med att torka ner till 14 %. Det blir 25 kg vatten mindre att ta bort per ton. Regelbunden kontroll av temperatur och luftning vid behov bevarar kvaliteten.
- Lagringsfickor med luftning ger möjlighet till tvåstegstorkning. Kapaciteten i mottagningen blir högre tack vare bättre genomströmning i torken. Det kan man även utnyttja för storfröigt torkgods som ärter och bönor, vilka annars lätt kan skadas av snabb nedtorkning.
- Luftningsmöjligheter ger generellt större säkerhet i lagringen.
- Torkens kapacitet kan ökas om man inte kyler den nytorkade spannmålen i själva torken utan i en luftad lagringsficka. Det förutsätter då att pannans effekt är tillräcklig, annars måste den höjas.
- Byggnadsvolymen utnyttjas bättre om man väljer bort fickor med konisk bottendel till förmån för stumfickor med lufttömning.

Precis som det vid torkning uppstår en torkfront så bildas det en kylfront vid luftningen. Spannmålets temperatur börjar sänkas i botten av fickan och sedan rör sig kylfronten uppåt. Frontens hastighet beror på skillnaden mellan lufttemperaturen och spannmålets temperatur samt på luftflödet.

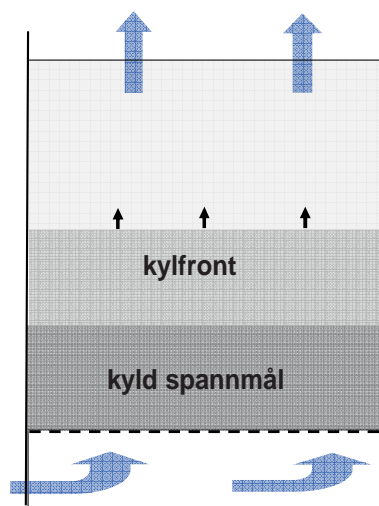


Bild 12. Principbild för kylfront, en parallell till torkfront.

Luftning under lagring är till för att hålla temperaturen nere, att föra bort den fukt och den värme som bildas. Fukt och värme kommer från andning i kärnan och i ännu högre grad i de mikroorganismer som följer med spannmålen. Om man inte luftar så stiger alltså temperatur och vattenhalt, mögelsvamparna växer till och de bildar ännu mer fukt och värme.

Lagringssäkerheten ökar med sjunkande temperatur, den biologiska aktiviteten avtar. Vinterkylan tränger dock inte in så snabbt, eftersom spannmålen fungerar som isolering. Därför bör man passa på att kyla ner den lagrade spannmålen när de kalla torra dagarna kommer på hösten. Man sänker tempe-

raturen tillräckligt långt för att hålla nere aktiviteten. Bäst är att sikta på en temperatur strax över nollpunkten. Annars kan den alltför nedkylda spannmålen ge problem med kondens, när temperaturen stiger på vårkanten.

På grund av jämviktssambandet mellan spannmålets vattenhalt och relativa luftfuktigheten så kan man riskera att fukta upp spannmålen om luften är för fuktig. Tumregeln är att man inte ska lufta spannmålen om den relativa luftfuktigheten överstiger 65 – 70 %. Luften ska självfallet vara kallare än spannmålen.

Riktvärden för specifika luftmängder vid luftning

- | | |
|---|---------------------------------|
| • buffertlagring före torkning | 30 - 60 m ³ /ton,tim |
| • luftning under lagring vid vh 15 - 17 % | 10 - 30 m ³ /ton,tim |
| • luftning under lagring vid vh < 15 % | 6 - 12 m ³ /ton,tim |

Det behövs 1000 – 1400 m³ luft för att kyla varje ton. Elförbrukningen för detta varierar från 0,4 till 1,0 kWh/ton beroende på lagringshöjd och typ av fläkt.

För tömning med luft som i bild 11, då botten består av golvsveperplåt, krävs minst 2 400 m³ luft per timme och per m² plåt. Fläkten ska kunna lämna detta flöde vid 40 mm vp (400 Pa). Detta är särskilt viktigt att man observerar vid självbyggeri. Då är det också viktigt hur man lägger och riktar plåtarna och att man följer anvisningarna. Golvsveperplåt som sluttar i tömningsriktningen underlättar tömning.

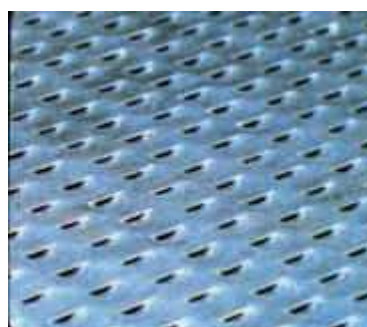
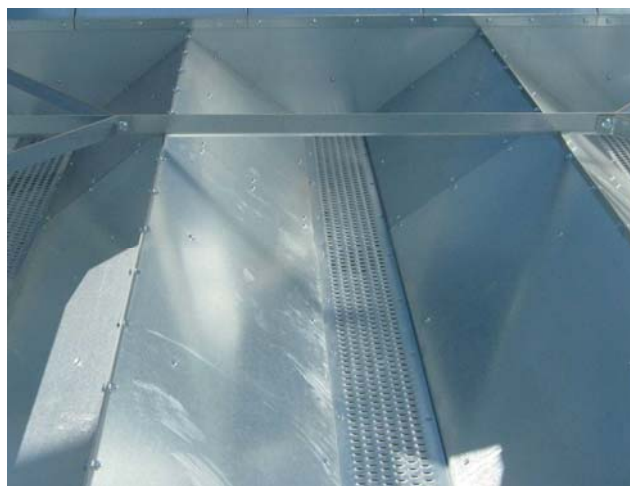


Bild 13. Luftningsbotten i en luftningsbar spannmålsficka. Sluttömning sker med hjälp av luft., när luftflödet riktas mot utloppet av golvsveperplåten.

Åtgärder i varmluftstorkning

Det finns flera olika möjligheter att spara energi och energikostnader i varmluftstorkning. Att byta bränsle kan för många vara ett sätt. Oberoende av värmekälla är det viktigt att undvika värmeförluster och att se till att den värme man sätter in verkligen används för att ta upp vatten. Det är också viktigt att komma till rätt vattenhalt. Vattenhaltsmätning och styrning har betydelse. Mycket kan man energi-effektivisera genom att man ändrar sina rutiner, gör rent och blir bättre på att ställa in och justera. Det kan vara helt gratis och det går snabbt. För att komma längre behöver man kanske göra någon investering och då finns det skäl att räkna på. Det tar lite mer tid, särskilt vid omfattande förändringar.

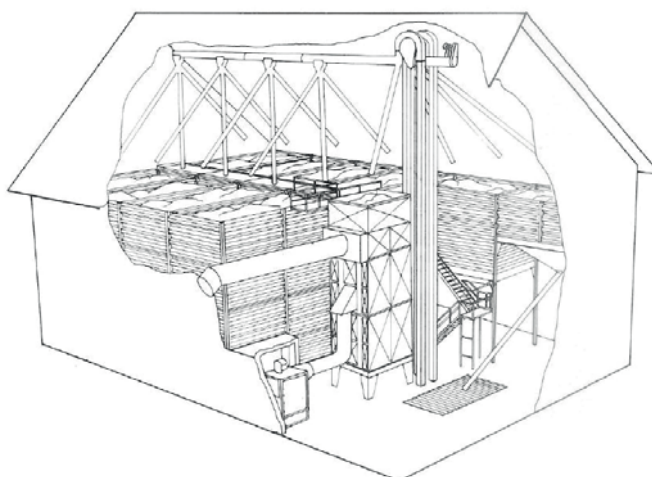


Bild 14. Varmluftstork med lager
(AB AKRON-Maskiner)

1. Förensna

Ju renare spannmålen är desto mindre mängd blir det att torka. Torkluften passerar också lättare och jämnare genom renare spannmål. Det är alltså en fördel om spannmålen får passera en aspiratör eller damm- och bossavskiljare före torkning. Även en grovrensning i en damm- och bossavskiljare är till hjälp.

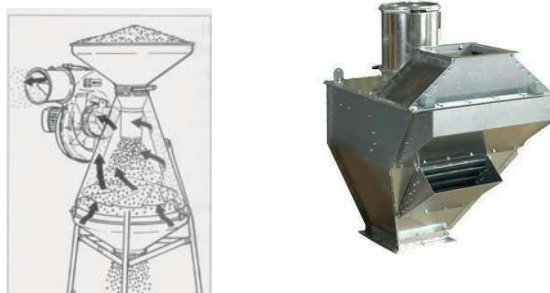


Bild 15. Aspiratör,
damm- och bossavskiljare

2. Tröska vid rätt vattenhalt

Lägre skördevattnenhalt spar naturligtvis olja i torken. Skillnaden mellan att skörda vid 18 procent och 17 procent är mer än 12 kg vatten per ton torkad spannmål. Det är en minskning med 25 %. Därför kan man spara 25 % olja eller ca 1,8 l/ton, om man väntar till dess att kärnans vattenhalt har sjunkit från 18 till 17 procent. Det kan krävas en högre tröskningskapacitet för att man ska kunna passa låga vattenhalter på ett bra sätt. Den högre kapaciteten kostar mer. Det vill också till att utnyttja den potential man har i tröska, när det är gynnsamt att tröska. Då är ofta spillet lägre, så att det är möjligt att köra lite fortare.



Bild 16. Tröskning vid rätt vattenhalt påverkar energibehovet för torkning.

Om man vill passa låga vattenhalter så gäller det här att inte bara se till en enskild gröda eller ett enskilt fält utan till hela tröskarealen så att man inte lurar sig själv. Att vänta med tröskningen på något fält innebär ofta en risk för sämre väder och att andra arealer då måste tröskas vid högre vattenhalter. Det brukar också ge större förluster och sämre kvalitet. Många höstar har det visat sig att den sist skördade arealen blivit väl blöt, tyvärr. Med försenad tröskning följer också ökad risk för drösning och andra förluster eller hygieniska skador.

Vid bra tröskväder är det inte bra ifall man måste ställa tröskan på grund av att torken inte kan ta emot mer spannmål. Titta på olika åtgärder för att höja torkens kapacitet, flera finns beskrivna här.

En luftad buffertficka för nyskördad spannmål är en stor hjälp och den ökar möjligheten att kunna tröska vid lägre vattenhalter och i gynnsammare väder.

3. Undertorka inte

Undertorkningen innebär att man inte torkar ner till den vattenhalt som är basen för prissättning vid leverans, oftast 14 procent. I och för sig sparar man ju olja på gården, när man överlåter sluttorkningen till uppköparen. Men samtidigt betalar man en torkningsavgift som vida överstiger den energikostnad man skulle ha haft vid fullständig nedtorkning i egna torken.

4. Övertorka inte

Övertorka inte spannmålen! Övertorkning kräver onödig energi. Den reducerar också vikten, vilket ger sämre betalt för spannmålen. Man får ju inte betalt efter mängden torrs substans som levereras.

Titta på ett exempel: Ett spannmålsparti med 18 % vattenhalt torkas ner till 13 % istället för avsedda 14 %. Då går det åt ca 2 l olja mer per ton torkad vara, när mer än 12 kg vatten torkas bort i onödan. Vid försäljning av partiet som skulle hålla 14 procent vattenhalt blir inte lantbrukaren kompenserad för övertorkningen. Han förlorar också betalningen för 12 kg spannmål, räknat per ton. Övertorkningen ger därför en onödig kostnad på 25 - 30 kr/ton.

För att slippa torkningsavgifter vid undertorkning kanske man frestas att torka lite extra, men övertorkning ger också ökade kostnader. Normalt är kostnaderna för lantbrukaren högre vid undertorkning (vattenhalt över 14 procent vid leverans) än vid övertorkning (vattenhalt under 14 procent vid leverans) på grund av hur spannmålsföretagen har satt priser och avgifter.

Alltså är det viktigt att man har noggrann vattenhaltsmätning och en bra styrning av torken.

5. Torkens styrning är viktig

Det är alltså viktigt att ha bra styrning på sin varmluftstork så att man kommer så nära önskad vattenhalt som möjligt. Man vill helst varken övertorka eller undertorka. En styrning som baseras på vattenhalt är att föredra. Andra system som arbetar med givare för våtluftens temperatur eller relativa fuktighet kan ha sämre precision.

För satstorkar har det varit vanligt att man ställer pannans gångtid efter en tabell utifrån vattenhalt och satsens vikt. Idag ställs många satstorkar på vågceller. Satsen vägs då in och styrcentralen avbryter torkningen efter en viss uppnådd vikt beroende på den vattenhalt som torkskötaren matat in. Det ger god precision, men bara om vattenhalten mäts med god precision.

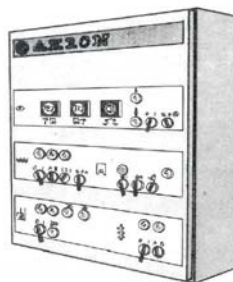


Bild 17. Torkens styrning är viktig.
(AB AKRON-maskiner)

6. Se till att driftstermostaten på pannan gör rätt jobb

Pannan har en säkerhetstermostat som bryter oljetillförseln om varmluftstemperaturen överstiger högsta tillåtna 85 °C. Detta har fastställts av Lantbrukets Brandskyddskommitté, LBK.

Pannan har också en driftstermostat, där man ställer in önskad varmluftstemperatur. Det förekommer att givaren till driftstermostaten sitter för nära pannans utlopp, så nära att luften där är dåligt blandad. Då kan det hända att givaren inte registrerar varmluftens genomsnittliga temperatur utan ett för högt värde. Lantbrukaren kan uppleva det som att pannan har svårt att komma upp i temperatur. För låg temperatur in i torken medför att energin utnyttjas sämre. Lösningen är att flytta ut givaren ett stycke i varmluftskanalen, där luften hunnit blandas bättre. Brandskyddsreglerna enligt LBK tillåter att man flyttar givaren till högst 1,5 m från pannan.

7. Kolla och kalibrera vattenhaltsmätaren

Man måste kunna mäta vattenhalter på ett tillförlitligt sätt för att styra torken så att man varken undertorkar eller övertorkar. Vattenhaltsmätning är också viktig för säker lagring och för en alternativ konserveringsmetod som syrabehandling. De säkraste metoderna såsom våg + torkning i ugn tar tyvärr lite längre tid. De elektroniska snabbmätarna ger snabbt svar och det är deras styrka. Men eftersom de inte mäter vattenhalten direkt utan indirekt via andra egenskaper, så kan de slå fel. Det är därför viktigt att man kontrollerar sin snabbmätare mot en säkrare metod.



Bild 18. Exempel på snabbvattenhaltsmätare

En elektronisk mätare ska vara noggrant kalibrerad och temperaturkompenserad. Jämför den med våg + torkning i ugn eller värmelampa + våg. Detta är de tillförlitligaste metoderna men de tar förstås lite tid. I Danmark testade man år 2002 ett antal apparater. Resultatet för vete visas i bild 19. Vid mätning i korn var felvisningen något större. De bästa mätarna var de som ska ha ett malt prov. Det tar givetvis lite mer tid men ökar säkerheten. Var uppmärksam på att mätarna kan ha förbättrats sedan testet gjordes. Det viktigaste med bilden är att visa att de elektroniska mätarna måste jämföras med säkrare metoder så att man känner felvisningen.

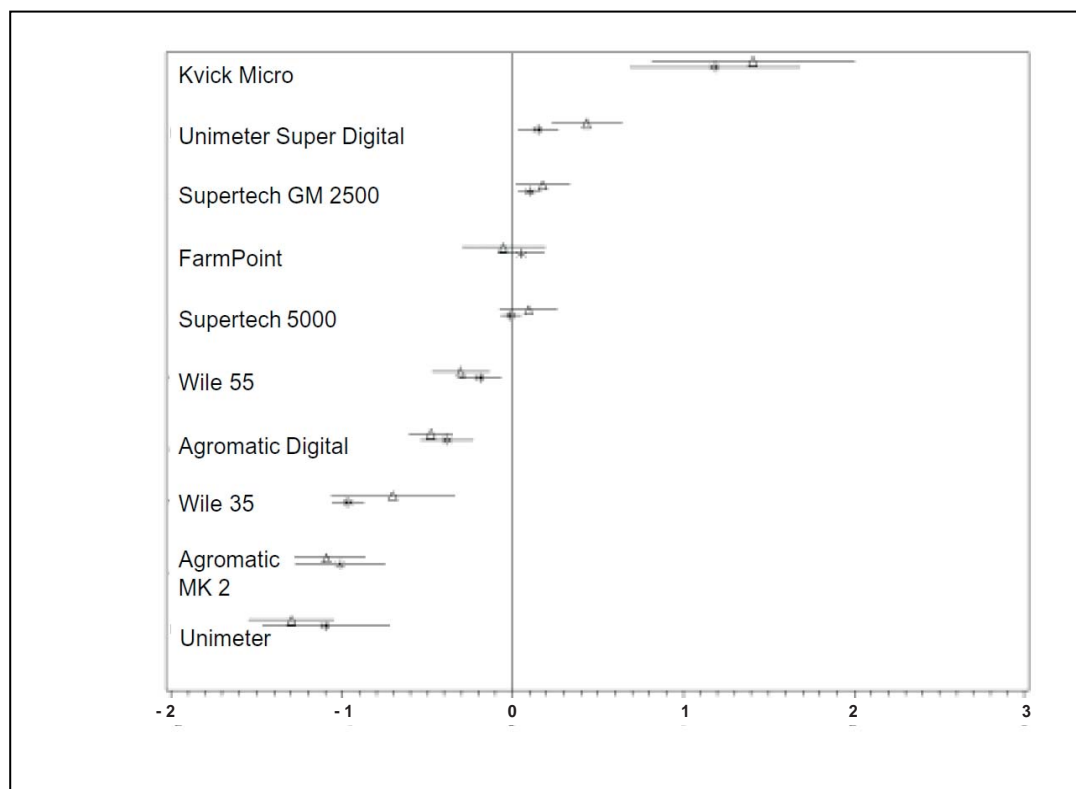


Bild 19. Resultat av ett danskt FarmTest från 2002 av elektroniska vattenhaltsmätare med vete. Den undre skalan visar avvikelse i procentenheter från ett laborierprov. Adressen till denna Farm Test är www.landbrugsinfo.dk/Byggeri/Filer/09_vandbe.pdf. Notera att detta test har några år på nacken och att mätarna kan ha utvecklats sedan dess.

Flera studier visar att det är viktigt att kalibrera snabbmätarna. År 2009 gjorde Lantmännen ett test av fyra snabbmätare. Samtliga fyra underskattade vattenhalten, de visade för låga värden utom i ett fåtal prov. Man kan skilja på två sätt att använda snabbmätare. I den ena typen fyller man mätkammaren med hela kärnor och i den andra typen använder man ett malet prov. I detta test var avvikelsen från den verkliga vattenhalten störst hos mätare för hela kärnor. Det talar för att man ska använda mätare för malet prov. Samma slutsledning gjordes i det danska testet 2002.

Provets temperatur kan påverka mätresultatet. Om inte mätaren har automatisk temperaturkompensering, så får man själv korrigera enligt tabell som följer med mätaren.

Man bör alltså göra en enkel kalibrering, där resultaten från snabbmätaren jämförs med prov vid t.ex. spannmålsmottagning, eller egna prov med våg + torkning i ugn eller värmelampa + våg. Gör upprepade prov med olika spannmålslag och med både torr och fuktig spannmål. Notera och spara alla mätningar till ett underlag för omräkningar.

8. Sköt om pannan

En ny oljepanna kan ha 85 procent verkningsgrad medan en gammal och dåligt underhållen panna kanske har så låg som 60 procent. Om man vill hålla en hög verkningsgrad så ska man underhålla pannan. I en panna som inte är sotad kommer mer energi att följa med rökgaserna ut och det blir mindre energi till torkning. Ett 3 mm sotlager verkar så isolerande att verkningsgraden minskar med 13 procentenheter. Det betyder att torkningen förbrukar 0,3 l mer olja per ton och procentenhets nedtorkning. För ett spannmålsparti på 100 ton som ska torkas från 18 till 14 % gör det 120 l olja. Regelbunden sotning betalar sig. Sota alltid efter avslutad torkning, eftersom sotet tillsammans med eventuellt kondensvatten bildar frätande ämnen och skadar pannan. Därefter bör man täta rökgaskanalen, alternativt koppla loss den för att hindra fuktig luft att strömma fritt genom pannan. Annars finns risk för att det bildas kondens och rost, när pannan inte används.

Otillräcklig lufttillförsel ger en sotande förbränning och sämre verkningsgrad. Sotaren kan kontrollera att pannan arbetar optimalt genom att mäta rökgasernas temperatur, CO₂ -halt och sotalt. En kontroll av panna och brännare före torkningssäsongen är inte fel.

9. Mätare för tillförseln av olja

Att mäta är att veta. Det är lättare att ha kontroll på oljeförbrukningen om man kopplar in en mätare på oljeledningen. Den är också ett uppskattat hjälpmedel när man legotorkar åt andra.

Bild 20.
Håll reda på oljeförbrukningen med en oljemätare.

”Att mäta är att veta.”



10. Isolera varmluftskanalen

Man har mätt upp att det kan försvinna en effekt på 7 - 9 kW från en 10 m oisolerad varmluftskanal med 40 cm diameter och när varmluftens temperatur var 50 °C över omgivningens. Varje timme var energiförlusten alltså 7 - 9 kWh, motsvarande ungefär 1 liter olja.

En isolering med 50 mm mineralull reducerade förlusterna till 0,5 kWh per timme. Ytterligare isolering med 50 mm gav en mer marginell besparing, eller totalt 0,25 kWh per timme.

Tabell 5. Riktvärden för energiförlust, kWh per m kanal och per timme. Varje kWh motsvaras av 0,12 liter olja vid 80 procent pannverkningsgrad.

kanal, diameter	oisolerad	50 mm isol	100 mm isol.
kanal 40 cm	1 kWh/m,tim	0,06 kWh/m,tim	0,03 kWh/m,tim
kanal 60 cm	1,5 kWh/m,tim	0,09 kWh/m,tim	0,13 kWh/m,tim
kanal 80 cm	2 kWh/m,tim	0,12 kWh/m,tim	0,18 kWh/m,tim

Bild 21.
Isolera varmluftskanalen och minska energiförlusterna.



11. Torkning med vattenhaltsutjämning

Metoden att torka med vattenhaltsutjämning, på engelska "dryeration", har utvecklats i USA för torkning av majs. Man hade nämligen problem med att majs kärnornas vattenhalt varierade utefter majs kolven. Dessutom tar det tid för fukten i kärnans inre att vandra till ytan och följden blir sprickor och problem med kvaliteten.

I denna metod avbryter man därför torkningen när vattenhalten är 2 – 3 procentenheter över den önskade slutvattenhalten. Man flyttar över den varma majs eller spannmålen till en luftningsficka, där den får ligga tills vattenhalten utjämnats. Detta tar minst 4 timmar för majs, mindre för spannmål. Därefter startar man fläkten för att lufta, färdigtorka och kyla. Rekommenderat luftflöde är 30-60 m³/ton,tim. Luftningen och värmen gör att det samtidigt sker en sluttorkning till rätt vattenhalt. Därmed sparas energi för torkning.

Torkning med vattenhaltsutjämning på detta sätt används med fördel för majs och andra storfröiga som ärtor och bönor. För spannmål är det inte lika aktuellt. Där sker ändå en sluttorkning vid kylningen i torken med upp till 1 procentenhet.

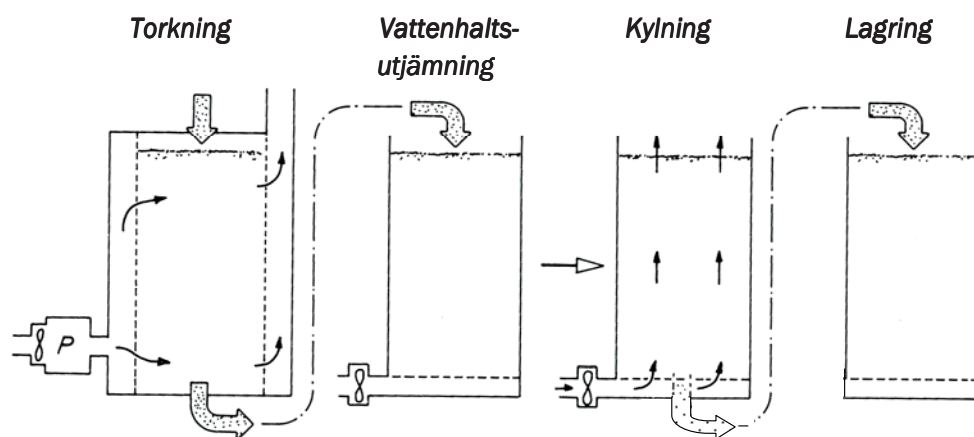


Bild 22. Torkning med vattenhaltsutjämning, engelska "dryeration", sker i tre steg före lagring. (Efter JTI)

12. Flytta kylningen från torkfickan till en luftningsficka

I en kontinuerlig tork kan man slopa kylzonen och utnyttja hela torkfickan till torkning. Den varma spannmålen flyttas för kylning i en luftningsficka, där värmen och luftningen gör att spannmålen torkar ned till slutvattenhalt. Rekommenderat luftflöde är 30-60 m³/ton,tim eller högre så att kylningen inte utgör en flaskhals. Man bör sedan flytta spannmålen efter kylningen, så att utfällning av kondens vid frånluftssidan inte ger problem. Flyttningen jämnar ut vattenhalterna.

Om man på detta vis flyttar kylningen från själva torken kommer det att höja torkningskapaciteten, förutsatt att panneffekten räcker till. Ett annat skäl kan vara att man vill sänka lufthastigheten genom torkfickan när större volym utnyttjas. Det kan då bidra till att våtluften mätts bättre, om det tidigare varit ett problem. Torkningen blir alltså energieffektivare genom det.

Även vid satstorkning kan man höja torkkapaciteten genom att inte kyla i torkfickan utan i en luftningsficka. Det blir ju då mer tid tillgänglig för egentlig torkning, när satstorken inte behöver användas för kylning.

13. Använd högre torktemperatur

Ökad temperatur på torkluften ökar torkens kapacitet och minskar energiåtgången. Det kan man utnyttja för fodersäd eftersom foderkvaliteten inte påverkas av högre temperaturer. Däremot måste som bekant torkluftstemperaturen begränsas vid torkning av utsädes- eller brödspannmål. Se tabell 4 på sida 15.

Om torkluftstemperaturen höjs från exempelvis 60 till 80 °C, så behövs det 10 - 15 % mindre energi för torkningen. Samtidigt ökar torkkapaciteten med 40 - 60 procent. Se diagrammet på sida 16.

Högsta tillåtna varmluftstemperatur är 85 °C, om torken är placerad inne i en byggnad. Beroende på torkens placering är det möjligt med högre varmluftstemperaturer än 85 °C. I tork placerad avskilt från byggnad är den maximalt tillåtna torkluftstemperaturen 100 °C. Detta är positivt för både torkningskapacitet och energianvändning. För att man ska få den möjligheten är det viktigt att kolla upp vad reglerna i LBK (Lantbrukets Brandskyddskommitté) säger om placering och avstånd till andra byggnader. Tänk också på att isolering av varmluftskanalen blir ännu viktigare när temperaturen höjs. Högre temperaturer ökar värmeförlusterna från en dåligt isolerad kanal.



Bild 23. En utomhusplacerad, naturgaseldad tork nära Lahti i Finland.

14. Foderspannmål behöver inte torkas lika mycket om den lagras med luftning

Foderspannmål för eget bruk behöver inte torkas längre än till 16 procents vattenhalt, om fodret kan luftas under lagring för att kyla den. Det sparar olja och ger oftast bättre egenskaper i foderberedningen. Kolla temperaturen under lagringen och lufta vid behov! De första klara frostnätterna på hösten bör man använda till att kyla ner spannmålen.

15. Torkning med gasol, naturgas eller biogas

Uppvärmning med värmeväxling som i oljeeldade pannor har alltid värmeförluster genom rökgaserna. Det hade varit önskvärt att använda rökgaserna direkt i torken. Uppvärmning med olja ger dock inte tillräckligt rena rökgaser för att användas till torkning. Det är därför inte tillåtet i Sverige enligt Livsmedelsverkets regler. Uppvärmning med gas ger däremot så rena rökgaser att man kan köra dem genom spannmålen. Energianvändningen är 10 - 15 procent lägre än vid bästa indirekt uppvärmning. Så mycket som 100 procent verkningsgrad går inte att nå med gaspannan, eftersom en del av värmen binds i det vatten som bildas vid förbränningen.

Bild 24. Gasoltank



Torkarna utformas på annorlunda sätt bland annat med hänsyn till brandsäkerheten. Det kan vara aktuellt att använda naturgas om gården ligger nära en naturgasledning. Gasol är vanligast. Vad kostnaden blir beror på hur gården ligger till i förhållande till distributionsvägarna för gasol.

Det är också fullt möjligt att använda biogas om man har en brännare som är anpassad till det lägre metaninnehållet. Ett praktiskt problem med biogas är att det krävs ett gaslager och det kan vara en alltför stor investering om den bara görs för torkens räkning.

16. Värmeåtervinning vid torkning

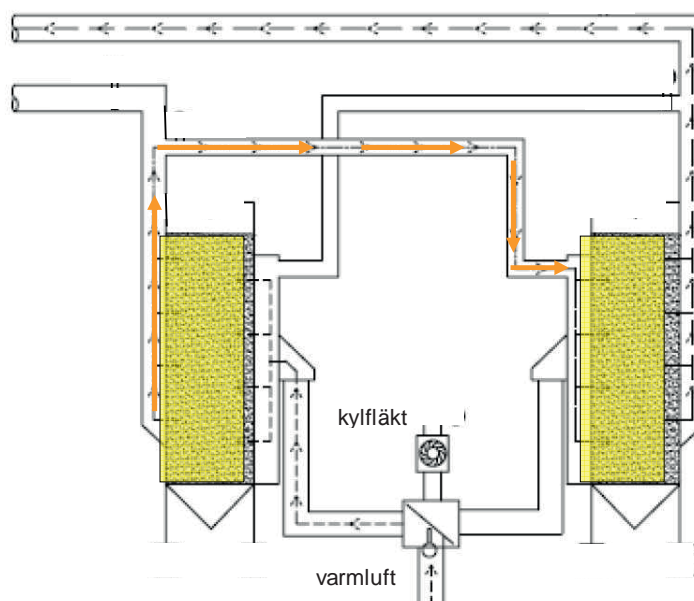
Energin används effektivast när våtluften blir så väl mättad som möjligt med vattenånga. När spannmålen börjar bli färdigtorkad så kan inte luften mättas och det beror på hur jämvikten mellan spannmålen och omgivande luft fungerar. Se jämviktskurvan i bild 1, sida 8. Därför arbetas det på att utnyttja omättad lufts värme och torkförmåga, bland annat med värmeväxlare.

Man kan också utnyttja det faktum att den våtluft som är dåligt mättad ändå kan ta upp fukt från otorkad spannmål. En sådan lösning för kontinuerliga torkar går ut på att luft från nedre delen av torkzonen och kylzonen leds till den otorkade spannmålen upptill.

Till en dubbel satstork finns också en teknik för återvinning, bild 25. Mot slutet av satsens torkning stiger våtluftens temperatur samtidigt som mättnadsgraden sjunker. Då kan den sämre mättade luften ledas över till den andra torkfickan (se orange pilar) och påbörja torkning och uppvärmning där i 20 - 30 minuter. Därefter kan varmluft från pannan kopplas in. Detta innebär både energibesparing och kapacitetshöjning.

Bild 25. Principbild för dubbel satstork med återvinningssystem.

(Efter Tornum AB)



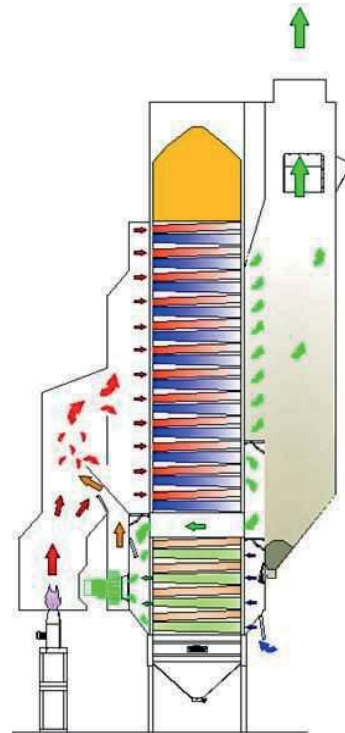
En annan metod går ut på att den omättade luften återförs till brännaren. Först måste då luften re-
nas från damm och skräp som finns i våtluften. Utvecklingsarbete pågår.

I nyare konstruktioner av gasoleldade kontinuerliga torkar tas luft från kylzonen och torkzonens nedre
del och blandas med varmluft och rökgaser efter gasolbrännaren (bild 26). Det ger stora energibespa-
ringar, upp till 30 procent har nämnts. Konstruktionen medför extra investering, men med ökande
energikostnader kommer det att bli intressantare.

Bild 26. Exempel på värmeåtervinning i en gasoleldad
kontinuerlig tork. Här återcirkuleras dåligt mättad luft
från torkzonens nedre del samt använd kylluft och leds
in i varmluftskanalen och blandas med varmluft från
gasolbrännaren.

Uppgiven energibesparing är upp till 30 procent.

(Tornum AB)



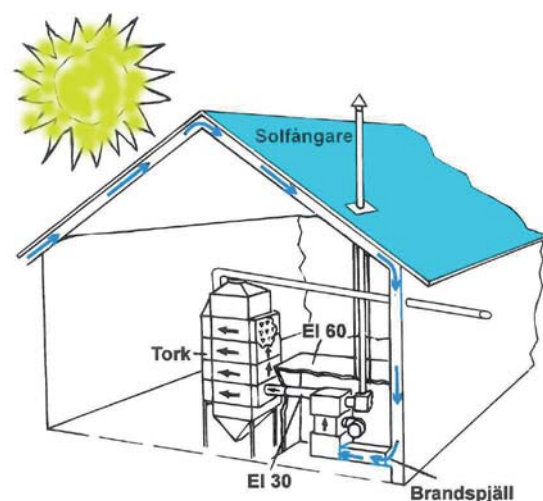
17. Sänk lufthastigheten genom torken

Om våtluften är sämre mättad än den borde vara, kan det vara ett tecken på att torkluften passerar
för snabbt igenom. Dålig mättnad är dålig hushållning med energin.

Om det finns möjlighet och utrymme så kan man bygga på torken med någon sektion. Det sänker
lufthastigheten genom torkgodset, så att effektiviteten förbättras.

Bild 27. Principskiss för förvärm-
ning med solfångare.

(Efter LBK)



18 . Förvärmning med solfångare

Med en luftsolångare kan man åtminstone tidvis förvärma luften till pannan. Man kan tänka på det i samband med torkhusbygget och om möjligt bygga en solångare som är integrerad med taket. Ändå kan kostnaderna bli stora i förhållande till nyttan, om inte den förvärmda luften kan användas till annat också. Det är svårare med en luftsolångare. Denna typ av solångare används med fördel till plantor.

19. Uppvärmning med biobränslen

Om man ersätter den fossila oljan med ett biobränsle så minskar man påverkan på klimat och miljö. Det är mycket angeläget, men om man ska vara riktigt noga så innebär det inte effektivisering i den meningen att man använder mindre energi. Den tillförda energin i biobränslet kan ju oftast inte utnyttjas med samma höga verkningsgrad som vid oljeeldning.

Dessutom kan man få betydande förluster i ledningarna i ett vattenburet system om man väljer det. Effektförlusten i en värmekulvert av dubbelrörstyp kan uppgå till 15 – 20 W per m.

Biobränslen, som kan komma i fråga:

<u>Fasta</u>	Halm, ved, flis, pellets, spannmål
<u>Flytande</u>	Rapsolja, RME/FAME, biooljor
<u>Gasformigt</u>	Biogas (lagringen dock problematisk)

Ekonomiskt och praktiskt kan det vara svårt att ersätta olja med biobränsle, om inte förutsättningarna är de rätta. Den traditionella uppvärmningen med olja innebär en kombination av låg investering och dyrt bränsle. Uppvärmning med biobränsle är det motsatta: hög investering, låga driftskostnader och dessutom mer arbete. Därför blir det oftast enklare att investera för oljeeldning vid den höga effekt som behövs för torkning under en kort period på hösten. Styrningen fungerar dessutom på ett enklare sätt och man kan kyla efter torkning med pannans fläkt, när brännaren slagits av.

Lite förenklat uttryckt kan man säga att skillnaden i energikostnader ska betala skillnaden i investering mellan biobränsle- och oljeeldning. Man ska också tänka på behovet av tid för passning och bränslehantering, alltså arbetskostnaden, som varierar mellan olika lösningar. En generell jämförelse kan se ut så här:

	<u>Olja</u>	<u>Fasta biobränslen</u>
Investering	Låg	Medelhög - hög
Energikostnader	Höga	Låga
Passning	Liten	Oftast mer
Arbetsinsats bränsle	Liten	Högre
Styrning, automatisering	Enklare	Ofta svårare
Krav på torksystem	Låga	Gärna dubbeltork

Självklart blir ekonomin bättre om man kan utnyttja en stor investering till mer än bara torken. Om den fossila oljan ska ersättas helt och det behövs en biobränslepanna med hög effekt är det viktigt att se efter hur den effekten kan utnyttjas efter torksäsong. Det är en fördel om man kan använda den till uppvärmning av djurstallar, bostäder eller försäljning av värme. Då arbetar man med vattenburen värme och torkluften värms via värmeväxlare, ett så kallat varmvattenbatteri. Ett antal sådana anläggningar finns för eldning med främst halm och flis och även med ved.

I oljepannorna för spannmålstorckar värms luft direkt. På marknaden finns sedan en tid även mindre flis- och pellets pannor, som värmer luft utan omvägen över vatten. Det har även utvecklats flis- och pelletseldade varmluftspannor för något större torkar.

Bild 28. Exempel på fliseldad varmlufts-panna, 400 kW nettoeffekt.

(AB AKRON-maskiner)



Valet mellan fastbränslepannor som värmer luften direkt och pannor med vattenburen värme påverkas av hur och hur mycket pannan kan användas utöver torkningssäsongen.

Ett alternativ för oljepannan, om man vill ersätta den fossila oljan, kan vara att elda med FAME, t.ex. RME, rapsmetylester, och använda befintlig oljebrännare. Man kan också elda med ren rapsolja om man skaffar en särskild brännare. Dessa bränslen har andra kemiska egenskaper än den fossila oljan, vilket gör att man troligen behöver byta till tätningar och slangar av andra material. De så kallade alloljebrännarna har nödvändig utrustning för att finfördela tjockare olja såsom förvärmning och tryckluft

Det kan vara möjligt att delvis ersätta oljan med biobränsle, om gården har en panncentral för biobränsle. Från panncentralen drar man en värmekulvert till ett värmväxlarbatteri framför oljepannan. Denna svarar sedan för slutlig uppvärmning och temperaturreglering.

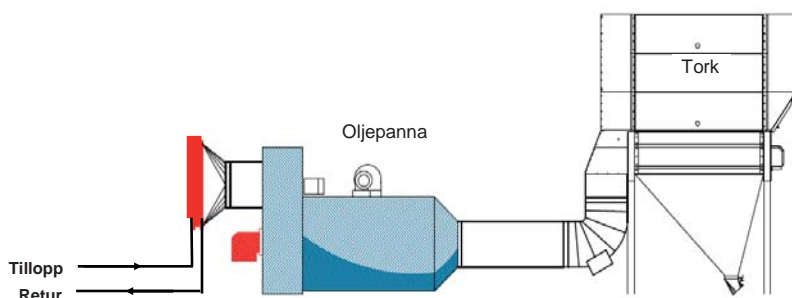


Bild 29. Oljepannan kan tillföras förvärmd luft från gårdens panna. Ett s.k. varmvattenbatteri, placeras i tilluftsöppningen och ansluts via värmekulvert. (Efter Tornum AB)

Pannans fläkt svarar då fortfarande för luftflödet och den är avsedd att ge ett visst antal m^3 luft per timme, viktigt för torkkapaciteten. Genom uppvärmningen minskar luftens densitet. Därför blåser fläkten inte längre lika många kg per timme. Eftersom luftens vattenupptagande förmåga är knuten till luftens massa (kg luft) och inte volym (kubikmeter luft), så medför detta att torkens kapacitet sjunker. Luftmotståndet genom varmvattenbatteriet betyder också en del. Väljer man denna lösning är det klokt att räkna med 10 procents kapacitetsminskning och att försöka kompensera för detta på något sätt. Oljebrännarens kapacitet regleras genom byte av brännarmunstycke.

Gårdens panncentral kanske har tillräckligt hög effekt för att helt ersätta oljepannan. Då ska man inte ha kvar oljepannan med fläkt för lufttransporten och sätta varmvattenbatteriet framför som i bild 30. Pannan ska ersättas med en fläkt och den bör ha en kapacitet i m^3 /tim som är 25 procent högre än den tidigare fläkten i oljepannan. Det fungerar inte med en axialfläkt efter batteriet eftersom motorn inte får tillräcklig kylning i den varma luftströmmen. Axialfläkt placeras före batteriet. Radialfläkt kan placeras efter, eftersom fläktmotorn där får sin kylning med luft från omgivningen.

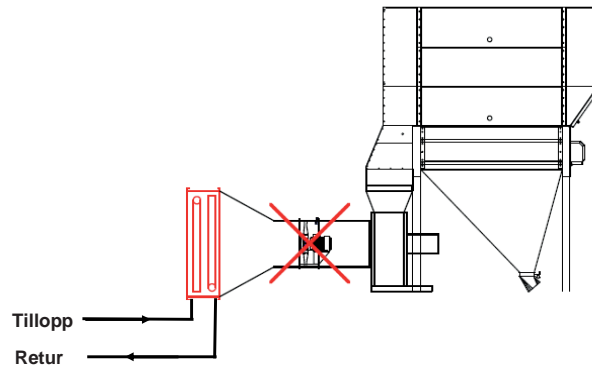


Bild 30. När torkluften värms helt med ett varmvattenbatteri ska radialfläkt användas. Istället för att sätta fläkten i varmluftskanalen kan man ha en sugande fläkt på våluftssidan. (Efter Tornum AB)

En fastbränslepanna stänger man ju inte av lika lätt som brännaren i en olje- eller gasolpanna. Det är alltid bäst om fastbränslepannan får gå i kontinuerlig drift, bäst både för miljön och för energianvändningen.

Torken kan då med fördel vara utformad som dubbel satstork. Där kan man utnyttja ett kontinuerligt värmefflöde, som styrs till ena eller andra torkfickan. I den torkfickan pågår torkning, medan det sker kylning och satsbyte i den andra. Det behövs alltså en särskild kylfläkt och ett spjäll för att rikta luftflödet. Bild 31 visar principen.

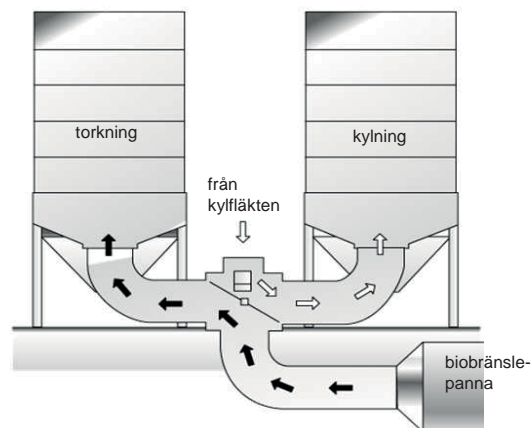


Bild 31. Dubbel satstork passar bra till uppvärmning med fastbränsle, eftersom man då vill ha kontinuerlig eldning. (Efter Tornum AB)

Innan man dimensionerar en värmeanläggning efter torkens effektbehov ska man se om det går att sänka effektbehovet genom de åtgärder som presenterats här. Samtidigt bör man kanske dimensionera för kommande behov. Man bör tänka på att pannorna bör arbeta nära sin topp-effekt. Låg belastning medför sämre verkningsgrad och mer utsläpp.

Det finns inget självklart svar på frågan hur man ska byta ut eldningsolja mot biobränsle. Vilken lösning man ska välja beror på många saker och på gårdens förutsättningar.

Några viktiga frågor man bör fundera på är:

- Torkens effektbehov. (Beräkna inte effektbehovet innan grundläggande energieffektivisering gjorts. Tänk också på framtida behov)
- Ska torken värmas helt eller delvis med bibränsle?
- Om det finns andra värmebehov än torkens, t.ex. om det är möjligt att sälja värme
- Vattenbaserad eller varmluft direkt
- Vilka bränslen som är aktuella, vilka bränslen som finns på gården
- Vad energikostnaden blir i framtiden
- Placering med hänsyn till utrymme, bränslehantering och ev. kulvertdragning.
- Behovet av passning och arbete med bränslehantering. Skördetiden är en bråd tid.
- Kostnader för kulvert och kulvertens energiförluster vid olika alternativ
- Kan man ha en mobil värmeanläggning med annan användning efter torksäsong?

Kallluftstorkning

Vid kallluftstorkning används ouppvärmad luft eller svagt uppvärmd luft. Den specifika luftmängden är lägre än vid varmluftstorkning och därför tar torkningen flera dygn. Torkfronten går långsamt och den har ett tjockt skikt att ta sig igenom på en plantork. Det krävs dock mindre energi än vid varmluftstorkning. Typiska värden är 0,5 - 1,0 kWh per kg borttorkat vatten vid kallluftstorkning medan varmluftstorkningens värden är i storleksordningen 1,4 - 1,7 kWh per kg. Metoden är inte lika säker som varmluftstorkning, därför att det är svårare att hinna torka till rätt vattenhalt.

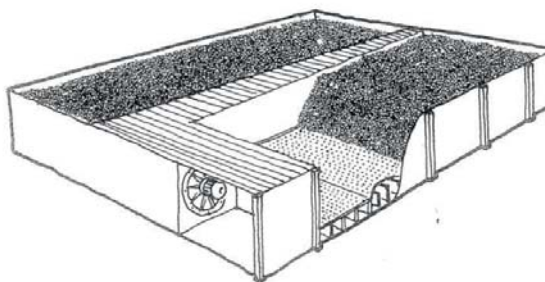


Bild 32.
Planbottentork av traditionell typ

Kallluftstorkarna har traditionellt använts i lite mindre skala på plana, perforerade och luftade golv. Exempel finns också på torkning med kallluft i så kallade centralrörssilor, men den metoden är begränsad till de lägre vattenhalterna. Den maximala skiktjockleken vid torkning är 1 m enligt rekommendationer från JTI, Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Då kan man ha en tillräckligt hög specifik luftmängd, 600 - 1000 m³ luft per ton och timme och det till en rimlig fläktkostnad. Normalt kan man då torka ned spannmål med 20 - 22 procent vattenhalt tillräckligt snabbt innan skador uppstår.

För att metoden ska bli säkrare rekommenderas att kallluftstorken alltid ska ha möjlighet till tillsatsvärme. Det innebär att uteluften ska värmas, men inte mer än högst 5 - 7 grader. Högre uppvärmning ger nämligen en ökad risk för kondensutfällning i övre delen av spannmålen. Denna uppvärmning är ändå tillräcklig för att man ska komma ner i lagringsduglig vattenhalt.

Sedan några år har det blivit vanligare även i Sverige med lite större plantorkar med körbara, luftade golv. I dessa finns möjlighet att hantera spannmålen rationellt med traktorer och lastare. En variant för hemmabygge går under namnet Östgötatorken och den planeras ofta för att man både ska kunna torka annat än spannmål såsom hö i fyrkantsbalar, frö och flis.



Bild 33. Östgötatorken är en körbar plantork, som kan dimensioneras för torkning av spannmål, hö, flis m.m. I vänstra bilden lagras färdigtorkad spannmål (torkning görs med lägre spannmålshöjd). Den högra bilden visar lagring av fyrkantspressade höbalar. Tillsatsvärme brukar användas.

Kallluftstorkningens grunder

När torkningen startas kommer spannmålskärnorna i bottenkiktet, där luften blåses in, att avge fukt till torkluften. Det gör de tills deras vattenhalt kommit i jämvikt med luftens relativa fuktighet (se jämviktskurvan i bild 1, sida 8). Energin till avdunstningen tas från luften som alltså kyls av något. Luften tar upp fukt tills den når jämvikt med vattenhalten i det otorkade. När den fortsätter upp genom spannmålen har den ingen förmåga kvar att torka. I takt med att spannmålen undertill torkar kommer torkzonen eller torkfronten att röra sig uppåt genom lagret. Så fungerar torkning generellt, men det har särskild betydelse vid kallluftstorkning i tjocka skikt.

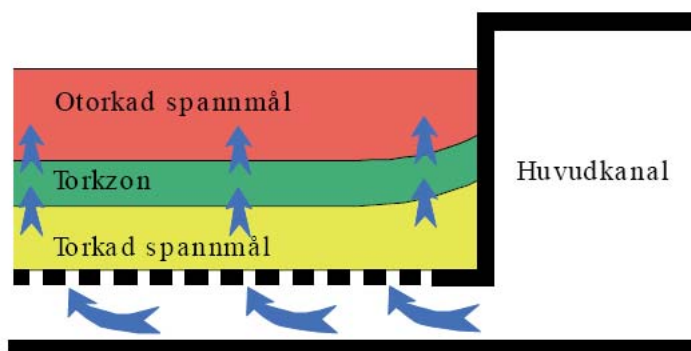


Bild 34. Schematisk bild av torkningsförloppet i en kallluftstork. Torkningen sker i den så kallade torkfronten eller torkzonen. Bakom den har vattenhalten kommit i jämvikt med torkluftens relativa fuktighet. Framför torkfronten kan inte luften ta upp mer fukt. Torkfronten rör sig sakta när man använder uteluften för torkning. (Efter JTI)

Hastigheten beror på vattenhalten, luftflödet och luftens relativa fuktighet. Man kan räkna med att uteluften dagtid inte kan ta upp mer än ca 1 g vatten per m^3 i medeltal. Det beror självfallet mycket på vädret. Det viktiga är att toppskiktet nås av torkfronten innan spannmålen där har legat så länge att mögel börjar växa. Därför finns det också rekommendationer om hur lagringshöjden ska begränsas vid högre vattenhalter, se tabell 6 på sida 35.

Exempel

Från 1 ton spannmål som torkas från 19 till 16 procent ska ungefär 37 kg vatten torkas bort (se tabell 3 b på sida 12). Om torkluften i medeltal kan ta upp 1 g per m^3 luft så krävs det 37000 m^3 luft för torkning av 1 ton. Vid en specifik luftmängd på 600 m^3 /ton,tim så behöver fläktningen därför pågå i ca 60 timmar. Om man kör dagtid och 8 tim/dag så tar torkningen mer än en vecka.

Lagringshöjd och fläktar

JTI, numera JTI, Institutet för jordbruks- och miljöteknik, har tagit fram rekommendationer för dimensionering och användning av kallluftstorkar. Det är vanligt att man bygger torken för maximalt 1 m lagringshöjd (vid torkning). Då kan man ha en tillräckligt hög specifik luftmängd, 600 - 1000 m^3 luft per ton och timme och det till en rimlig fläktkostnad. Normalt kan man då torka ned spannmål med 20 procents vattenhalt tillräckligt snabbt innan skador uppstår.

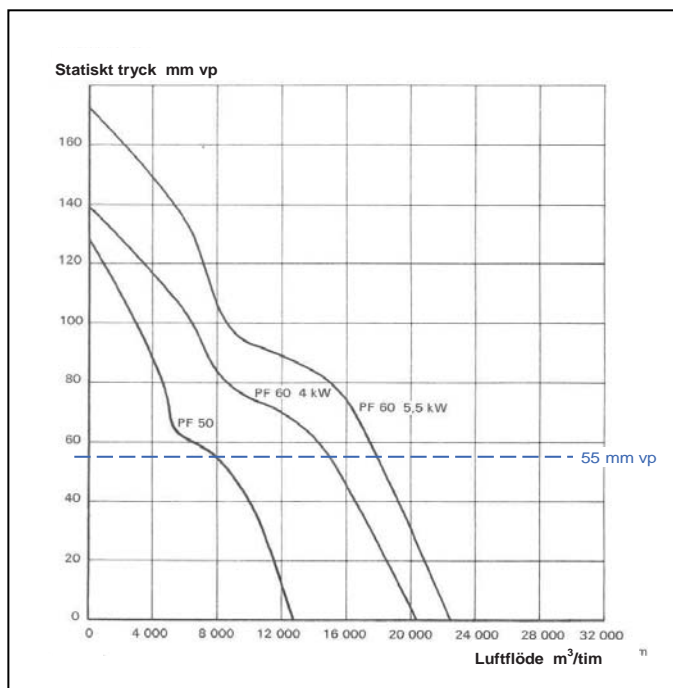
I södra och mellersta Sverige används den specifika luftmängden 600 m^3 /ton,tim vid 1 m höjd. Luftmotståndet eller mottrycket blir i korn ca 55 mm vp (550 Pa). Ett annat sätt att uttrycka det är att det krävs ett tryck på 55 mm vp för att driva luftflödet 600 m^3 /ton,tim genom spannmålen vid 1 m höjd. En förklaring till måttet mm vp, millimeter vattenpelare, ges på sidan 37 i bild 39, som visar en enkel tryckmätare.

En enkel axialfläkt passar bra vid mottryck upp till ca 50 - 60 mm vp, men om trycket ökar så sjunker fläktkapaciteten snabbt. Därför varnas bestämt för att försöka torka tjockare skikt än 1 m. Om man lägger exempelvis 40 procent högre, 1,4 m, och försöker trycka igenom 600 m³/ton,tim, så måste luft-hastigheten genom spannmålen ökas med 40 procent. Då fördubblas faktiskt mottrycket, till ca 110 mm vp (1100 Pa). Det gör att axialfläktens kapacitet sjunker till 30 - 40 procent av kapaciteten vid 1 m höjd. Torkning på den större höjden blir alltså inte energieffektiv och den kostar mer. Samtidigt tar man en stor risk att all spannmål inte hinner bli genomtorkad i tid, ifall vattenhalten ligger högt.

Motsvarande rekommendation för norra Sverige är 1000 m³/ton,tim och då måste höjden begränsas till 0,9 m eller ännu hellre 0,8 m för att inte motståndet ska bli för stort.

Bild 35. Exempel på fläktkurvor för axialfläktar som används till kallluftstorkar. Av kurvornas lutning framgår hur luftflödet sjunker med ökat mottryck. Därmed förändras också fläktens verkningsgrad. Sådana fläktar bör inte användas vid mottryck över 50 – 60 mm vp.

(Statens Maskinprovningar)



Axialfläkten är det bästa valet för en vanlig planbottentork vid normal lagringshöjd. Den har större luftflöde per kW än radialfläkten i det lägre tryckområdet. Den har också ett lägre pris i relation till motoreffekt och luftmängd. Radialfläktens styrka är att kapaciteten inte sjunker lika snabbt vid ökande mottryck och därför används den vid luftning och torkning på större lagringshöjder. Ett alternativ kan vara tvåstegsfläkten med två propellerfläktar i ett rör. Den har bättre förmåga än den enkelläkten att hålla uppe luftflödet vid ökat mottryck.

Viktigt är alltid att kolla fläktdata för att få rätt fläkt för den tillämpning man har.



Bild 36.

A. Axialfläkt, enkel

B. 2-stegs axialfläkt

C. Radialfläkt

Med ansatsen att bioenergispannmål kan torkas i tjockare skikt har JTI gjort en studie, som presenterades 2012. Slutsatsen är att det är möjligt att torka vid högre lagringshöjder än traditionella 1 m. Det gäller framför allt när fläktningen är kontinuerlig i kombination med tillsatsvärme när luftens relativa fuktighet överstiger 75 procent. Luftmängden ska vara 600 m³/ton,tim, vilket kräver en tvåstegs axialfläkt eller en radialfläkt. Detta fördyrar torkningen, vilket också tillsatsvärmens bidrar till. I studien räknade man med ca 4 gånger större energiåtgång än normal kallluftstorkning eller 60 – 80 procent av energin till varmluftstorkning. God kontroll av torkningen lär vara en viktig förutsättning för resultatet.

Att variera höjd efter vattenhalt

Torkfronten rör sig saktare upp genom spannmålen när vattenhalten är hög och mer fukt ska föras bort. För att inte toppskiktet då ska riskera skador genom att det får ligga otorkat för länge, måste man reducera lagringshöjden. Tabell 6 ger rekommendationer för höjder.

Tabell 6. Rekommenderad största lagringshöjd i cm för torkning

Vattenhalt	Tork som är dimensionerad för	
	600 m ³ /ton,tim vid 1,0 m höjd	1000 m ³ /ton,tim vid 0,9 m höjd
22 %	100 cm	90 cm
24 %	75-100 cm	90 cm
26 %	60-75 cm	80-90 cm
28 %	50-60 cm	70-80 cm

Tillsatsvärme

Allmän rekommendation är att kallluftstorken alltid bör ha möjlighet till tillsatsvärme. Man ska dock inte värma mer än 5-7 grader. Detta har stor betydelse för kallluftstorkens spannmål, som ju ligger stilla och torkar långsamt. Större uppvärmning medför en onödig övertorkning av spannmålen i botten, där torkluften kommer in. Det medför också en risk för kondensutfällning i det översta, kallare skiktet. Kondensen i kombination med ganska varm och fuktig luft kan då starta en mögeltillväxt, om inte torkfronten når dit tillräckligt snabbt.

En uppvärmning med 6 grader verkar måttlig, men faktum är att den alltid sänker luftens relativa fuktighet så mycket att spannmålen kan torkas. Det blir möjligt att alltid komma ner till rätt slutvattenhalt för lagring och dessutom fördubblas torkningskapaciteten.

Tabell 7 visar vad en uppvärmning med 6 °C betyder vid olika temperatur och relativ fuktighet.

Tabell 7. Resultande rel. luftfuktighet (RF) vid uppvärmning med 6 °C.

Uteluft Temp	Uteluft, relativ fuktighet							
	70 %		80 %		90 %		100 %	
	Temp	RF	Temp	RF	Temp	RF	Temp	RF
20 °C	26 °C	48 %	26 °C	55 %	26 °C	62 %	26 °C	70 %
12 °C	18 °C	48 %	18 °C	54 %	18 °C	60 %	18 °C	67 %
4 °C	10 °C	47 %	10 °C	53 %	10 °C	59 %	10 °C	65 %

Även om uteluften är så fuktig att det är på gränsen till dimma, så kommer en uppvärmning med 6 grader att sänka rel. fuktigheten till 65 - 70 procent. Det ser man längst till höger i tabellen. Motsvarande jämviktsvattenhalt är då under 15 procent och alltså gör tillsatsvärmens att vattenhalten alltid kommer ner under 15 procent.

Exempel

Jämför exemplet på sidan 31, där torkluften i medeltal kan ta upp 1 g per m³ luft. Om man använder tillsatsvärme för att höja temperaturen med 6 °C, så blir luften så mycket torrare att den istället kan ta upp mer än 2 g per m³ luft. Torktiden förkortas till ca 30 timmar, om tillsatsvärmen körs kontinuerligt. Det ökar säkerheten.

Hur använda tillsatsvärmen?

När ska man använda tillsatsvärmen? Man bör inte köra den kontinuerligt, eftersom det medför risk för övertorkning i botten och kondensutfällning i toppen som ger gynnsam miljö för mögel. Begränsad användning är naturligtvis god hushållning med energin, dessutom. En generell regel säger att man bör använda tillsatsvärme när luftens relativa fuktighet är 75 procent eller högre. Det innebär oftast nattetid, under dagar med fuktigt väder och ofta då vid sen skörd. Torkningen avslutar man genom att kyla med kall uteluft. kylningen tar ca 3 timmar vid 1 m lagringshöjd.

En manuell styrning av tillsatsvärmen efter förutsättningar och behov är inte enkel att hantera. Det är klokt och det är energieffektivt att använda automatisk styrning, förutsatt att typen av värmekälla medger det. En hygrostat startar värmeapparaten, när relativa luftfuktigheten överskrider förinställt värde.

Värmekällor för tillsatsvärme

För varje 1000 m³ som fläkten ger och som man vill värma 1 grad behövs det 0,33 kWh.

Det är vanligast att man värmer med en mobil oljepanna, ofta en så kallad byggtork. Räkna med att det då går åt ca 2,5 l olja för att höja temperaturen 5 grader i 10 000 m³ luft. Olje- och gasolpannor passar bra för automatisk styrning med hygrostat, reglering efter luftfuktighet.

Det finns regler för uppställning och anslutning till fläkten med så kallat dragavbrott. Se sammanställning från Lantbrukets Brandskyddskommitté, LBK:

www.lantbruketsbrandskydd.nu/lbk-parmen/4_uppvarmning_och_torkning

Det är mindre vanligt att man använder el för tillsatsvärme, eftersom man sällan har tillgång till tillräcklig effekt. Till en 60 cm axialfläkt med 5,5 hk motor i en planbottentork behövs det 36 kW värme om man vill att värma torkluften 6 °C. Det ska dock sägas att lägre effekt och mindre uppvärmning också bidrar lite till säkrare torkning.

Man kan även använda bibränsle för tillsatsvärme, om man till exempel har möjlighet att dra en kulvert från en panna till ett varmvattenbatteri framför torkfläkten. Här kan en motorventil på tilloppsledningen styras automatiskt. Det finns också varmluftspannor i aktuell effektklass som eldas med flis, ved och pellets och som kan vara alternativ för tillsatsvärme.



Bild 37. Exempel på pelletseldad varmluftspanna som är tänkbar för tillsatsvärme.

Solfångare är också ett bra alternativ om man har ett lämpligt tak. Den byggs så att torkfläkten får suga luft mellan en genomskinlig skiva och en mörk, helst isolerande skiva (absorbator). Fläktens inbyggda placering ger bra bullerdämpning som extra bonus. Det är viktigt att dimensionera solfångaren rätt, så att lufthastigheten inte blir för stor. Solfångaren ökar på kapaciteten, mest i soligt väder. En nackdel är att den inte värmer när det behövs bäst, det vill säga i fuktigt väder och nattetid. En annan nackdel är risken för onödig övertorkning av bottenskiktet. Efter avslutad torkning ska man kyla med kall luft.

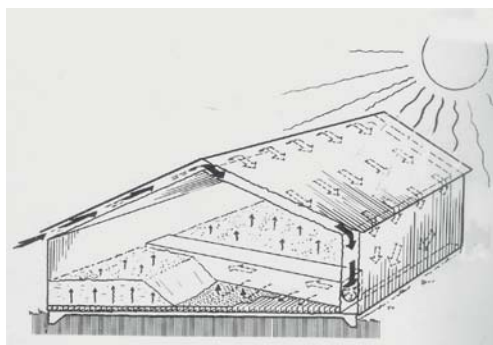


Bild 38. Principskiss för uppvärmning med solfångare.

Hjälpmiddel för att sköta kallluftstorkningen

Vattenhaltsmätare hjälper en att kontrollera när spannmålen är torkad. Var noga med att kalibrera elektroniska vattenhaltsmätare, eftersom de inte mäter så exakt. Se sida 21-22.

Termometrar med god precision visar om torkning pågår. Efter att ha startat fläkten placerar man en termometer i toppen på spannmålen och en i botten. Ser man att torkluften kyls av något, så vet man att den tar upp fukt, torkning pågår.

En enkel tryckmätare tillverkar man lätt enligt bild 39. Har man tillgång till en fläktkurva (som den i bild 35 eller bild 40) så ser man vilket luftflöde fläkten ger vid det aktuella trycket.

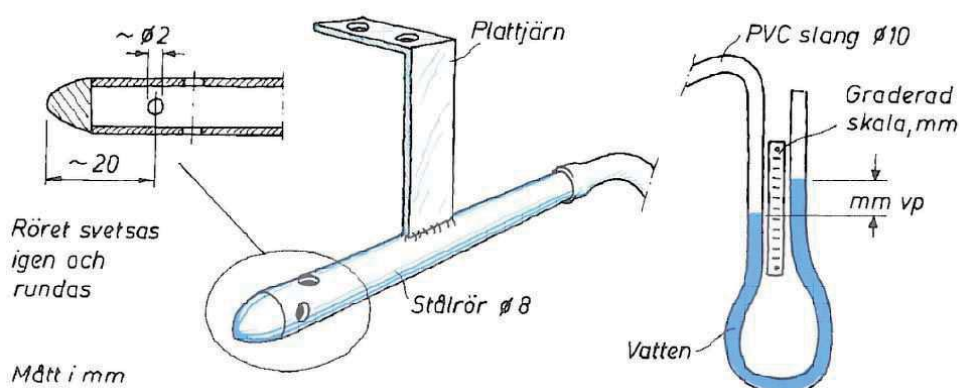


Bild 39. En enkel tryckmätare tillverkar man enkelt själv. Tryckgivaren skruvas fast i kanalväggen minst 2 m från fläkten med spetsen riktad mot luftströmmen. En genomskinlig plastslang dras från tryckgivaren till en synlig plats. Där formar man slangen till ett U och slår i lämplig mängd vatten. Tryck i fläktkanalen balanseras av en vattenpelare, vars höjd mäts i mm. Då får man luftrycket i mm vp, millimeter vattenpelare. (Efter JTI).

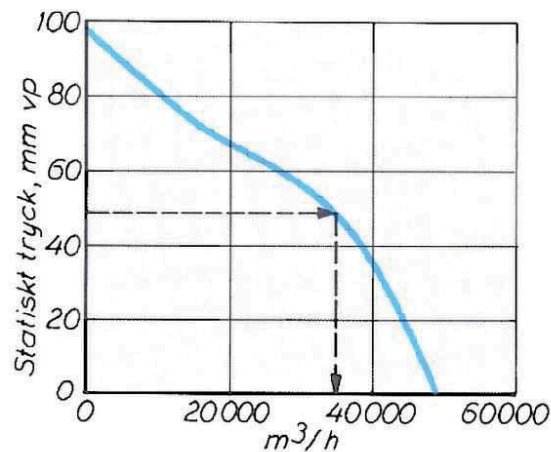


Bild 40. Med det uppmätta trycket kan man i fläktkurvan läsa av hur mycket luft som fläkten ger. Tänk på att kanal och golv ska vara täta så att all luft går genom spannmålsbingen. (Efter JTI).

En hygrometer kan behövas för att kolla luftfuktigheten. Det finns billiga visarinstrument som kan ge en grov uppfattning. Den är ganska enkel att kalibrera, vilket är mycket viktigt.

Mer exakt avläsning får man med en psykrometer som har två precisionstermometrar, en för "torr" temperatur och en för "våt" temperatur". Den "våta" har en fuktig strumpa som avger vatten. Energin för avdunstning tas från vattnet som kyls ner. Ju större temperaturskillnad man läser av, desto torrare är luften. En tabell ger den relativa luftfuktigheten.



Bild 41. Hårhygrometer. I denna mätare finns hår som drar ihop sig när det torkar och förlängs när det blir fuktigt. Hår är hygroskopiskt. Förändringen i längd förs över till ett visarutslag. Ska kalibreras regelbundet, tex. mot en slungpsykrometer, bild 42. Hårhygrometern har inte så hög precision, men den ger ändå en god uppfattning om förändringar i luftfuktigheten.



Bild 42. Slungpsykrometer med en torr och en våt termometer. Relativa luftfuktigheten läses av i en tabell, när man vet "torr" och "våt" temperatur.

Åtgärder i kallluftstorkning

Åtgärderna här handlar inte bara om att spara energi direkt eller att se till att insatt energi verkligen kommer till användning. De handlar också om att få en säker torkning och lagring. Om man undviker mögel och slipper kassera spannmål, så har man också använt energi och resurser effektivt.

1. Ren spannmål

Håll spannmålen ren redan från trösken. Agnar, boss och hela ax försvårar luftflödet och torkningen.

2. Fördela spannmålen vid inläggningen

Under utloppet från en transportör som skruv eller elevator kan man få packning och anhopning av boss eller gröna kärnor. Bäst är om utloppet är försett med en spridare. Annars får man flytta utloppet eller vrida det ofta för att bättre fördela spannmålen.

3. Lägg spannmålen i jämna skikt

Ojämnheter i lagringshöjd ger mycket sämre och ojämnare torkning samtidigt som energin utnyttjas dåligt. Där spannmålen ligger tunnare blir det för mycket luft på bekostnad av områden där spannmålen ligger tjockare. Undvik att gå i spannmålen, särskilt när vattenhalten är hög. Det är bra att använda särskilda landgångar och en långskaftad raka, när man jämnar till spannmålen. På det viset orsakar man inte lokal packning som hämmar luftflödet.

Bild 43.

Undvik att packa spannmålen. Använd landgångar vid arbete på torken. Fördela spannmålen jämnt.

(Efter JTI)



4. Skiktjockleken är viktig

Typiskt dimensioneras kallluftstorkar i Götaland och Svealand för 1 m inläggningshöjd och en specifik luftmängd av 600 m³/ton, tim. Då beräknas de klara torkning från 20 - 22 procent vattenhalt. I Norrland används högre specifik luftmängd och lägre inläggningshöjd.

Lägg inte in högre än vad torken är dimensionerad för, eftersom luftmotståndet då ökar för mycket. Kombinationen av lägre lufthastighet och mera spannmål på samma yta minskar kraftigt hur mycket som blåser genom varje ton. Då sjunker torkens kapacitet, man får högre elförbrukning och ökade kostnader. Dessutom riskerar man skador eftersom torkningen tar längre tid.

Med viss anpassning och tillsatsvärme går det att torka på högre lagringshöjd, men det medför högre energianvändning per kg borttorkat vatten.

5. Anpassa skiktjockleken efter vattenhalt

Om man lägger in med högre vattenhalt så måste man minska inläggningshöjden för att öka specifika luftmängden. Annars riskerar man att det översta skiktet hinner skadas innan torkfronten når dit. Till exempel bör höjden begränsas till 75 cm vid 24 procent vattenhalt.

6. I centralrörssilor bör man blanda om

I silotorkar av typen rundsilor med centralrör får man lätt problem när vattenhalterna stiger över 20 - 22 procent. Skiktjockleken är ju given, så den kan man inte anpassa efter vattenhalt såsom man gör i plantorken. Spannmålen packas tätare nertill i silon på grund av tyngden uppifrån. Det försvårar alltså luftflödet nertill. Ju fuktigare kärnorna är, desto mer packas de.

För att lösa problemen i sådana silor måste man blanda om vart tredje dygn under torkning från de högre vattenhalterna. För att flytta spannmålen från en silo till en annan krävs det alltså att man har ledig volym.

7. Använd uteluften

Se till så att fläkten tar luften utifrån. Om fläkten är placerad inne i byggnaden är risken stor för rundgång av använd torkluft, luft som inte kan ta upp mer fukt.

Det har ingen betydelse från vilken sida av byggnaden som luften sugs in. Om vi själva upplever det som varmare på en byggnads södersida så är det inte lika med att luften där är mycket varmare. Den luft som ska passera där på sin väg till fläkten hinner knappast värmas. Då är det viktigare att placera fläkten med tanke på bullernivån och på torkens funktion.

8. Täta kanalsystemet

All luft som läcker ut innan den når spannmålen innebär energiförluster och onödiga kostnader. Sök reda på läckor och täta dem.



Bild 44. Alla skarvar i luftfördelningsystemet ska tätas. Bild inifrån huvudkanalen till en östgötatork.

9. Fläkta tillräckligt

Fläkten bör vara igång dygnet runt, åtminstone när man använder tillsatsvärme. Den bör också vara igång för att kyla, när man ser risker för ökad andning och begynnande värmebildning. Det är viktigare i det läget att kyla, även om man riskerar att fukta upp redan torkad spannmål något. Den fukten går ändå ur när torkningsförhållandena blir bättre. Om vattenhalten är under 20 procent brukar man kunna stänga av fläkten nattetid.

För att kunna köra fläkten nattetid ska man förse den med bullerdämpare. Man bygger en enkel huv över luftintaget och med en öppning så att ljudet riktas mot marken. Huvu bekläds invändigt med

en mineralullsmatta. Bullerdämparen stryker inte lufttillförseln, om den har ett luftintag med en tvärsnittsarea på minst 1,5 m² för varje 18000 m³/tim som fläkten ska ge. Om fläkten matas via en solfångare så har man redan en bullerdämpning.

10. Använd tillsatsvärme vid behov

Även om det innebär mer energi till torkningen så rekommenderas tillsatsvärme för att öka säkerheten och höja kapaciteten. Tillsatsvärme innebär i detta fall en temperaturhöjning på högst 7 grader. Större uppvärmning ger risk för kondens. Använd tillsatsvärmens särskilt nattetid, vid fuktigt väder och vid sen skörd.

Efter avslutad torkning ska spannmålen kylas med kall uteluft.

11. Håll koll på tryck och flöde

Vi räknar med att ett luftflöde av 600 m³ per ton och timme ger ett mottryck på 55 mm vp (550 Pa). Med hjälp av en enkel U-rörsmanometer och fläktdata kan vi bestämma luftmängden och beräkna den specifika luftmängden som har ett riktvärde på 600 m³/ton,tim. Det förutsätter då att kanalsystemet är tätt så att all luft faktiskt går genom spannmålen. Se bild 40, sida 38.

12. Automatisera kallluftstorken

Det spar energi om man kan köra torkfläkten bara när uteluften är så pass torr att den lämpar sig för torkning. Ett styrsystem med hydrostat känner av luftens relativa fuktighet och reglerar körning av fläkten.



Bild 45. På hygrostaten ställer man in vid vilken relativa luftfuktighet som fläkten ska gå.

13. Lufta under lagringen

Ofta har torkningen avslutats vid 15 - 17 procents vattenhalt, den jämviktsvattenhalt som är möjlig att nå. Därför bör man också sänka temperaturen och kyla ytterligare på hösten när vädret blir kallare. Kyl inte så långt som till nollpunkten, eftersom det ofta ger problem med kondens när vädret börjar bli varmare på våren.

Silotork med omrörning

Silotork med omrörare är en utveckling av kallluftstorken. Denna torktyp som väckt stort intresse som alternativ till den traditionella varmluftstorken. Den har lägre investeringskostnader, hög mottagningskapacitet och är enkel att använda. Torkning sker i tjocka skikt, ända upp till 7 – 8 m, och spannmålen lagras på samma ställe. Torken är en galvaniserad stålsilo med perforerat luftningsgolv och fläkt. Inuti silon hänger skruvar lodrätt ned från en balk, bild 46. Balken hänger i ena änden i silons centrum och vandrar i den andra änden runt på en bana, fäst i silons takfot. Allteftersom balken förflyttar sig runt i silon, förflyttar sig också de roterande skruvarna in och ut från silons centrum, längs med balken. Skruvarna drar upp torrare spannmål och blandar upp den med otorkad.



Bild 46. Vertikala, vandrande, skruvar drar upp torrare spannmål för att blanda upp den otorkade.

Som vid all torkning i tjocka skikt är det nödvändigt att torkfronten når det översta skiktet i tid, det vill säga innan spannmålen där börjar mögla. Genom omblandningen förlängs den tid som man har på sig. Uppvärmning av luften får torkfronten att röra sig fortare uppåt, torkningskapaciteten ökar. Den risk för kondensering, utfällning av fukt i toppen, som följer med tillsatsvärmen, minskar också genom skruvarnas omblandning. De stora lagringshöjderna (upp till 7 m) gör att den specifika luftmängden i kubikmeter per timme och per ton spannmål blir lägre än vid de vanliga kallluftstorkarna i slutet av fyllningen. Då flyttar sig torkfronten också saktare. Man gör därför klokt i att inte fylla silon för fort. Ett riktvärde är att man torkar i skikt på 1,5 – 3 m, inte mer. Man bör alltid ha en möjlighet att värma torkluften för att påskynda torkningen och säkerställa tillräckligt låg slutvattenhalt.

Enligt studier, vid bl.a. JTI, fungerar silotorkarna bra vid medelvattenhalter på upp till 20 procent. Har man högre vattenhalter bör man sänka inläggningstakten för att minska risken för mögel.

Energimässigt är silotorkarna ungefär jämförbara med varmluftstorkar. Enligt amerikansk rådgivning ligger silotorkarna mellan kallluftstork och varmluftstork, men svenska studier har visat exempel på att silotorken använder mer energi än varmluftstorken. Den tillsatta värmeenergin används inte lika effektivt som i en kontinuerlig tork eller i en satstork. Det beror på att omrörningen av spannmålen ger en lägre medelvattenhalt i toppen på silon och därför kan inte den utgående luften bli så väl mättad med fukt som i vanliga varmluftstorkar. Det kostar också energi att blåsa luften genom spannmålen på de stora höjderna och det kräver radialfläktar.

En fördel med detta torksystem är att man har lägre investering än för en anläggning med varmluftstork. Det är mest intressant för foderspannmål till den egna gården, eftersom man har svårare att hålla isär olika partier. Arbetsbehovet blir lägre, bl.a. beroende på att spannmålen torkas och lagras i samma silo. Mottagningskapaciteten kan vara hög men inte nödvändigtvis högre än varmluftstorkar med utbyggd luftad buffertlagring.

Åtgärder i silotorkar

1. Tillsatsvärme bör användas

Att torka tjocka skikt med enbart kalluft kan innebära risk för kvaliteten. Använd tillsatsvärme, gärna då biobränsle om det är möjligt.



Bild 47. Tillsatsvärme till silotorken. Här värms torkluften med ett varmvattenbatteri anslutet till en biobränslepanna.

2. Använd omrörning enligt manualen.

Vid torkning i tjocka skikt och höga vattenhalter finns alltid en risk att torkfronten inte når upp till toppen i tid. Genom att blanda upp den otorkade spannmålen med torkad vinner man tid. Följ noga manualen.

3. Kolla vattenhalten

Ta prov på vattenhalten i toppen för att ta reda på när torkningen kan avslutas. Jämna ut de toppar som skruvarna skapar.



Bild 48. Använd vattenhaltsmätare som är kalibrerade och kontrollerade.

4. Lufta och kyl spannmålen

I alla lagringssilor utomhus finns risk för att uppvärmning och avkylning driver en fuktvandring. Kondensutfällning på kalla ytor eller i kall spannmål ökar risken för värmebildning och mögel. Kondensdropp från silotaket kan också förekomma. Det är viktigt att ventilationen är tillräcklig, att man inspekterar toppen av silon och att man luftar och kyler under lagringen. Kyl dock inte ända ner till noll.

Alternativa metoder för att konservera och lagra spannmål

Som alternativ till energikrävande torkning av foderspannmål kan man välja:

- lufttät (gastät) lagring
- ensilering
- syrabehandling

Även kombinationer av metoderna har testats.

Det är ofta en fördel att man kan påbörja skörden tidigt. Man behöver inte vänta på att vattenhalten sjunker, som man gärna gör när spannmålen ska torkas. Man får på så vis längre tid för tröskning och kan sänka skördekostnaderna. Mottagningskapaciteten är i regel hög, vilket brukar vara en stor fördel.

Lufttät lagring

Lufttät lagring, även kallat gastät lagring, innebär att man har en tillsluten silo. Genom andning i spannmålen och i mikroorganismerna kommer syret att förbrukas och ersättas av koldioxid. I den syrefria miljön kan inte mögelsvampar utvecklas och inte heller insekter. Praktiska vattenhaltsgränser är 17 – 22 procent. Torrare spannmål än 17 - 18 procent har för låg andningsintensitet och fuktigare än 22 procent kan medföra problem i uttagning och i den vidare hanteringen. Enda energin som systemet behöver är för drivning av transportörer vid inläggning (och uttagning). Ibland använder man tillsats i silon av koldioxid i form av gas eller kolsyreis för att förbättra skyddet. En tillverkare av plåtsilor rekommenderar tillsats av ungefär 0,8 kg CO₂ per ton spannmål för att förbättra skyddet. Tillsatsen, om den sker kontinuerligt vid inläggningen, gör också att andningen avbryts tidigare och det minskar den förlust av foder som andningen ger upphov till.

Energien som behövs är för att driva skruvar eller andra transportörer och ev. slangläggare. Koldioxid-tillsatsen medför en mindre indirekt energianvändning. I huvudsak finns tre system för lufttät lagring, bilden nedan.



Bild 49 A. Plåtsilo utomhus
(Efter Assentoft Silo A/S)



B. Mjuk silo i stativ inomhus
(Efter Y-TE AB)



C. Lagring i slang
(Efter Farm Mac AB)

En skillnad mellan silor av plåt och silor av plastad väv är att de senare inte behöver ta in skadlig luft som ersätter den uttagna spannmålsvolymen. Det är av största vikt att lagringen är tät och det kräver regelbunden tillsyn. Silor ska kontrolleras noga och rengöras innan inläggningen börjar. Lagring i slang kan användas som buffert i väntan på torkning. Utomlands är slang ett mycket använt alternativ till silor. I Sverige har också testats att förstärka skyddet med tillsatser såsom propionsyra.

Ensilering

Fermentering och bildning av mjölksyra uppträder när skördevattenhalten kommer upp i ungefär 30 procent. Spannmålen skyddas dels av ett sänkt pH-värde och dels av att luften stängs ute i en silo. Skyddet kan också förbättras med ensileringsmedel. Vanligen använder man slang och slangläggare i kombination med en traktordriven spannmålskross och man talar om systemet som krossensilering.

Krossningen tar en del energi, men det har ingen betydelse, då den energin hamnar under skörd/inläggning istället för under foderberedning/utfodring.



Bild 50. Vid krossensilering används en maskin som både krossar spannmålen och fyller en slang.

Syrabehandling

Sedan 1970-talet är syrabehandling en etablerad metod för konservering av fuktig foderspannmål. Endast propionsyra ska användas, inte myrsyra. Det är viktigt att den doseras rätt efter vattenhalt och man måste vara noga med vattenhaltsmätningen.

Rekommendationen är ex. 6 l syra per ton spannmål vid 15 procents vattenhalt och 12 l/ton vid 29 procents vattenhalt. Högre vattenhalter kan ge svårigheter med fördelning av syran och spannmålen rinner då inte heller så lätt. Den behandlade spannmålen kan lagras i en ficka eller löst på ett golv, dock inte direkt på betongen, eftersom kalken neutraliserar syran. Järn och betong ska skyddas från direktkontakt med syrabehandlad spannmål.

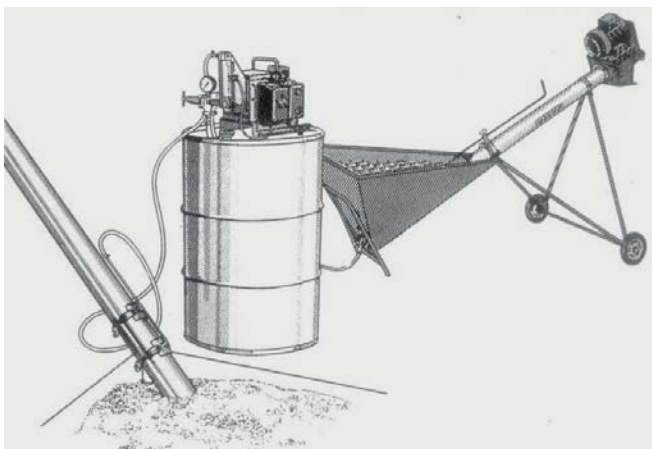


Bild 51. En syrapump doserar inställd mängd i förhållande till skruvens kapacitet. Skruven måste vara minst 3 m lång för att syran ska blandas in ordentligt.

För att lyckas med syrabehandling får man inte underskrida rekommenderad dosering av propionsyra. Därför ska man mäta vattenhalten samt mäta skruvens kapacitet för att få rätt dosering.

Energianvändningen begränsas i denna metod till transportörerna. För att få en helt korrekt energijämförelse kan man behöva titta på den indirekta energianvändningen som tillverkning av propionsyra innebär.

Spannmålstransportörer inomgårds

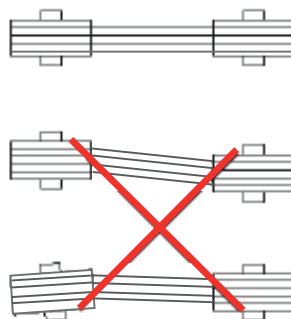
Allmänt

För transport av spannmål finns olika slags transportörer att välja på såsom skruvar, elevatorer, bandtransportörer, kedjetransportörer och fläktar. Olika behov styr valet av transportör: kapacitet, transportriktning, transportlängd, buller, förmåga att gå rent vid tömning, investering, arbetsinsats o.s.v. För de transportörer som går många timmar är det också viktigt att ta hänsyn till hur mycket energi de använder för ett visst transportarbete. I de torkanläggningar, där många transportörer kanske har låga driftstider, spelar det naturligtvis mindre roll om transportörerna är energieffektiva eller inte.

Ett generellt råd är att undvika pneumatisk transport, det vill säga att flytta spannmålen med fläkt.

Som för all annan maskinell utrustning, betyder underhållet mycket för elförbrukningen. Lagren bör vara av en typ som inte kräver smörjning. Var uppmärksam på deformationer och skador som påverkar kapaciteten. Byt slitna lager. Underhåll kilremmarnas kondition, dragning och spänning. Slitna remskivor, dåligt spända remmar och slitna remmar ger sämre verkningsgrad och större elförbrukning

Bild 52. Om inte kilremmar och remskivor ligger i rak linje så blir det större friktion och då förloras energi, i form av värme. Materialet slits också fortare.



När man ska ersätta en motor eller köpa ny motor bör man välja en med hög verkningsgrad, om den ska gå många timmar per år. Många spannmålstransportörer gör inte det. Motorn bör vara märkt med minst klass IE2. Det betyder för ex. en motor med märkeffekt 4 kW att verkningsgraden är minst 86,6 procent vid full belastning. Äldre motorer har sämre verkningsgrad och tyvärr brukar inte märkplåten ha några uppgifter om det.

Pneumatisk spannmålstransport

Att flytta spannmål, foder och annat med luft är ett dyrt sätt att transportera. Är transportbehovet litet och transportvägen krokig och lång kan pneumatisk transport ändå vara en bra och praktisk lösning. Annars bör man i första hand välja mekaniska transportörer.

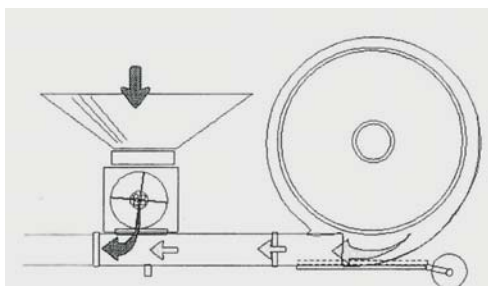
Det kostar alltså extra energi att flytta så mycket luft som man gör för att blåsa spannmål. Elförbrukningen kan faktiskt vara större när anläggningen inte är belastad än när den transporterar spannmål.

Den enklaste inmatningen av spannmål i luftströmmen är med en injektor på fläktens trycksida, men den är inte lika effektiv som det dyrare alternativet, en cellsluss eller cellhjulsmatare.

Använder man en spannmålsfläkt med injektormatning och blåser 10 m så använder man ca 0,8

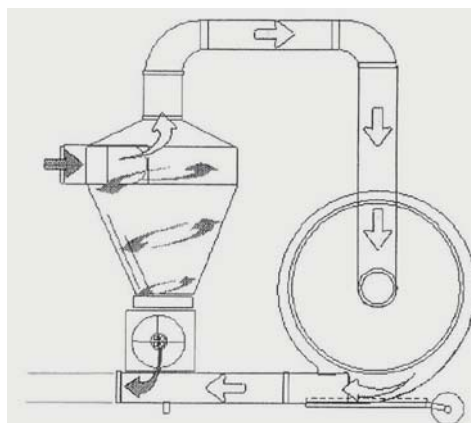
- 1,2 kWh/ton. Byter man ut injektorn mot en cellhjulsmatare så ökas transportkapaciteten betydligt och man sänker elförbrukningen till 0,5 - 0,7 kWh/ton.

Bild 53.
Spannmålsfläkt med cellhjulsmatare



Om fläkten även ska suga till sig spannmålen så används ännu mer energi i förhållande till transporterad mängd, mer än 1 kWh/ton. Långa ledningar med stigare och böjar ökar elförbrukningen, kanske upp till 4 kWh/ton. I en sug- och tryckfläkt finns en cyklon där luft och spannmål separeras på sugsidan. En cellhjulsmatare för sedan in spannmålen i luftströmmen på trycksidan. Det är viktigt att man har ett reglerpjäll för att reglera inmatningen, det spar energi.

Bild 54.
Sug- och tryckfläkt



Skruv, rörskruv

Rörskruven är en mycket använd transportör. För horisontell transport kan man räkna med att den drar ca 0,2 - 0,3 kWh/ton på 10 m transportlängd. Att skruven kan lutas bidrar till flexibiliteten, men kapaciteten minskar med ökande vinkel. Vid 70° lutning är kapaciteten 40 - 50 procent lägre än för en liggande skruv och samtidigt fördubblas elförbrukningen.

Bild 55. Rörskruv

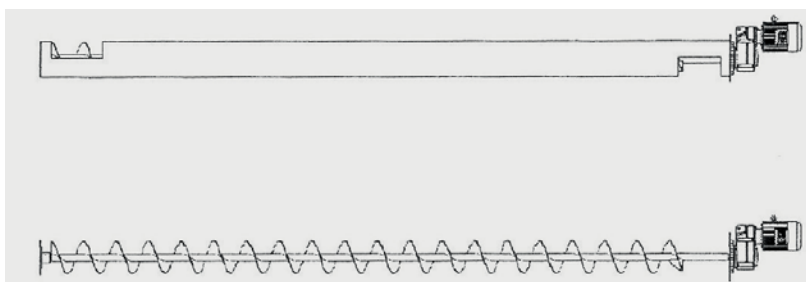


Bild 56
Skopelevator

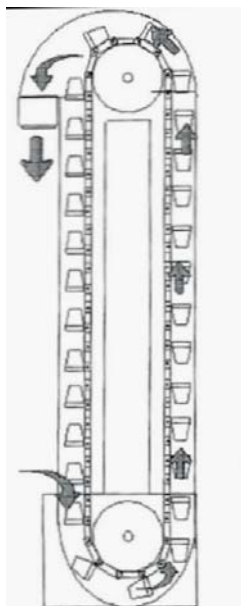
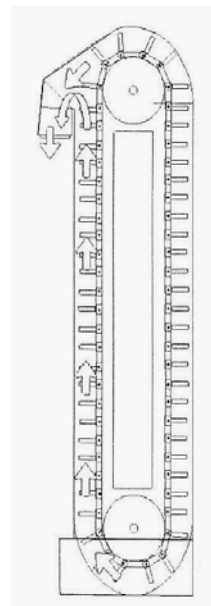


Bild 57.
Kedjeelevator



Elevatorer

Elevatorer är bättre anpassade än skruvar för vertikal transport, men de är samtidigt betydligt dyrare. En skopelevator behöver knappt 0,1 kWh/ton för 10 m vertikal transport medan kedjeelevatoren behöver något mer på grund av högre friktion: 0,15 - 0,2 kWh/ton.

Horisontell transport

För horisontell transport används rörskruv, U-skruv och kedjetransportör, U-skraven arbetar med mindre friktion än rörskruven, eftersom själva skruven är lagrad i skruvträget. Lagringen gör att den inte töms helt. För 10 m transport använder den ca 0,1 - 0,15 kWh/ton.

Kedjetransportören använder 0,15 - 0,2 kWh/ton. De kan även arbeta böjda.
En bandtransportör använder minst, mindre än 0,1 kWh/ton.

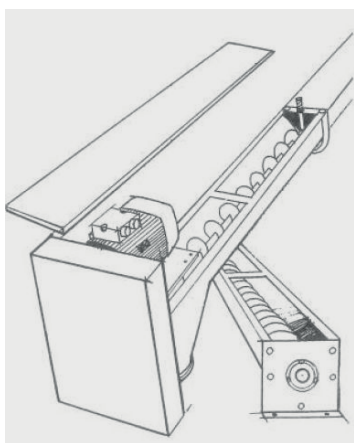


Bild 58. U-skruv

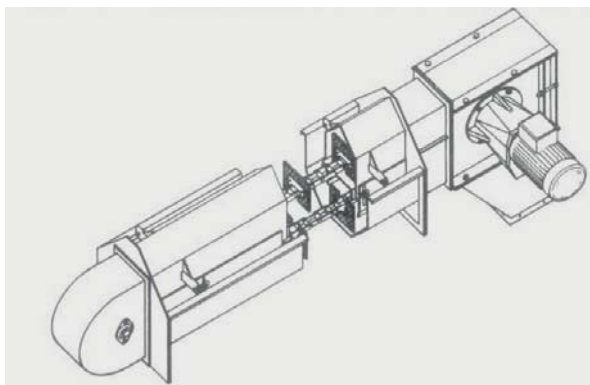


Bild 59. kedjetransportör

Referenser i urval

Bohm, M. m.fl. 1989. Värmeåtervinning i varmluftstorkar. Meddelande nr 424. JTI. Uppsala.

Eliasson, K. m.fl. 2008. Hushålla med krafterna – fakta. Hushållningssällskapen.

Frisch, J. m.fl. 2007. Konservierung und Lagerung von Druschfrüchten. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt.

Hedegård, F. m.fl. 2002. Apparater till vandbestämmelse. Farmtest Planteavl nr 9. 2002. Landbrugets rådgivningscenter. Århus.

Høy, J.J. 1995. Kornbehandling – tørring, lagring og transport. Landskontoret for Bygninger og Maskiner. Skejby.

Jonsson, N. 2006. Kalluftstorkning av spannmål. 1991. Nr 26 i serien Teknik för lantbruket. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Länk: www.jti.se/uploads/jti/T%2026_minskad.pdf

Jonsson, N. 2006. Uppdatering av gårdens spannmålstork. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Länk: www.sla-arbetsgivarna.org/om_sla_1/jti/jti-rapporter/uppdatering_av_gardens_spannmalstork

Jonsson, N. 2012. Utvärdering av ett silotorks-system för spannmål. Rapport af SLF-projekt 0333019. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik

Jonsson, N. 2012. Spannmål avsedd till etanolproduktion och förbränning – anpassning av systemen för kallluftstorkning av spannmål. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Länk: www.lantbruksforskning.se/?id=8746&cid=8941&pid=H0640054&tid=projekt

Lantbrukets brandskyddskommitté/Svenska brandförsvarsföreningen. 2001. LBKs rekommendationer, kap. 4, uppvärmning och torkning. Stockholm.

Länk: www.lantbruketsbrandskydd.nu/lbk-parmen/4_uppvarmning_och_torkning

Kristensen, E.F. 2010. Tørring og lagring af korn og frøavgrøder. DJF Rapport Markbrug 145. Det Jordbrugsvidenskabelige Fakultet, Aarhus Universitet

Pedersen, J. och Hinge, J. 2002. Energisparekatalog i Lantbruget, andra utgåvan. Lantbrugets Rådgivningscenter, Århus.

Svensk Mjök 2003, Kvalitetssäkrad Mjökproduktion. Syrabehandling av spannmål.

Svensk Mjök 2007, Kvalitetssäkrad Mjökproduktion Spannmål och andra råvaror från den egna gården. Länk: www.svenskmjolk.se

Material från tillverkare och leverantörer av torkningsutrustning.

Personliga meddelanden

Rolf Andersson, Tornum AB, Kvänum

Nils Jonsson, JTI – Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala

Sven-Johan Persson, AB AKRON-maskiner, Järpås

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 4

Spannmålskonservering, spannmålstorkning



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 5

Ventilation i djurstallar

2013



Huvudförfattare:

Anders Ehrlemark, Praktek



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Författare till detta avsnitt är i huvudsak **Anders Ehrlemark**, teknikagronom och agr. dr. Han har arbetat med projektering, utbildning och produktutveckling med inriktning på lantbruksventilation sedan 1980. Verksam som konsult i eget företag, Praktek.

För redigering samt vissa tillägg svarar energirådgivare **Lars Neuman**, LRF Konsult.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

INNEHÅLL

Ventilation, värme och energianvändning i djurstallar	4
Åtgärder för energibesparing, kort uppräknig	4
Några viktiga begrepp	5
<u>Bakgrund</u>	6
Ventilationssystemets uppgift	6
Vad är termisk komfort?	6
Vilket stallklimat fungerar bäst?	6
Luftkvalité	6
Två typer av stallar	8
Klimatreglerat stall	8
Väderskyddande stall	9
Sveriges klimat	10
Ventilation och klimatförändringar	10
Möjligheter till energieffektivisering	10
Ventilationsbehov i djurstallar respektive lokaler med människor	10
<u>Värmesystem i djurstallar</u>	12
Värmeförluster via ventilation och transmission	12
Värmebalanstemperatur och uppvärmningsbehov	12
Sammanfattning av energi och uppvärmning av djurstallar	14
Värmeväxlare	15
Litet uppvärmningsbehov i de flesta djurstallar	15
Påfrysning och igensättning i värmeväxlare	15
Beständighet och korrosion	16
Luftfördelningssystem	16
Besparingsmöjligheter med värmeväxlare	16
<u>Ventilationssystem</u>	16
Fläktars verkningsgrad	17
Verkningsgrad och nyttig effekt	18
Fläkthjulets verkningsgrad	18
Fläktmotorns verkningsgrad	19
Fläktens verkningsgrad	19
Driftsegenskaper och energieffektivitet	20
Normalt driftstryck för lantbruksfläktar	20
Mått på energieffektivitet	21
Kapacitetsreglering	22
Spänningsreglering	22
Frekvensreglering	23
Andra typer av elektronisk varvtalsreglering	24
Energisignatur för fläktar med olika typer av varvtalsreglering	24
Energisignatur för fläktar med stryppsjäll	25
Kapacitetsreglering i anläggningar med flera fläktar	25
<u>Energiförluster i anläggningen</u>	28
Exempel på detaljer som ger onödiga energiförluster	29
<u>Åtgärder för energibesparing i ventilation</u>	30

Ventilation, värme och energianvändning i djurstallar

Grundläggande är att skapa ett stallklimat som tillfredsställer djurens och människornas behov av frisk luft och termisk komfort i stallet. Olika djurslag har olika krav på stallklimatet.

När man arbetar med att förbättra energieffektiviteten är det viktigt att se till helheten och inte förledas att fokusera på en enskild detalj eller produkt. I de flesta fall är de mest kostnadseffektiva åtgärderna att underhålla och justera den befintliga anläggningen. Det handlar alltså om skötsel och rutiner, åtgärder som inte kostar mer än kanske lite extra arbetstid. Rubriken är **Inställningar, skötsel och underhåll** och det brukar vi beskriva som åtgärder på den första nivån.

På den andra nivån får vi kostnader i samband med **Ombyggnad och komplettering**. På 1990-talet började det komma fram riktigt energieffektiva fläktar. Frekvensreglering och smartstyrning har kommit lite senare i utvecklingen. Olika system och tekniker har sina för- och nackdelar. Som vanligt är det bästa alternativet inte en viss produkt utan ett helt system med väl avvägda egenskaper.

Den tredje nivån är byte av system, större investeringar, som oftast bara är aktuella vid nybyggnad, Rubriken är **Val av system i nya stallar**.

Det är angeläget att minska energianvändningen, men viktigare än det är djurkomfort och djurmiljö och att produktionen blir lönsam.

Åtgärder för energibesparing

Här följer en kortfattad uppräknig av viktigare åtgärder. De beskrivs lite utförligare på sida 30 - 31.

Inställningar, skötsel och underhåll

1. Regelbunden rengöring
2. Kontrollera spjäll och luftintag
3. Kontrollera styrning och givare
4. Punktera inte undertrycksventilationen

Ombyggnad och komplettering

5. Samreglera ventilation och värme
6. Förbättra systemet för kapacitetsreglering
7. Bygg om för att minska strömningsförlusterna
8. Byt ut gamla fläktar

Val av system i nya stallar

9. Försök välja naturlig ventilation
10. Välj undertrycksventilation framför neutraltrycksventilation
11. Använd frekvensreglerade fläktar för kapacitetsstyrning
12. Titta på fläktens energivärden, men glöm inte övriga egenskaper

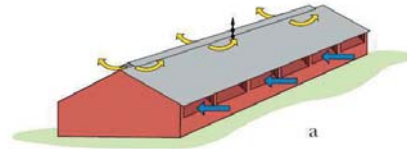
Några viktiga begrepp

Minimiventilation är det ventilationsflöde i m^3/h , som behövs kalla dagar för att inte tillåtna värden på relativ fuktighet (80 procent) och koldioxidhalt i stalluften ska överskridas.

Maximiventilation är definierat som det ventilationsflöde i m^3/h , som under varma dagar ska begränsa temperaturhöjningen till $4\text{ }^\circ\text{C}$, när det är $21\text{ }^\circ\text{C}$ ute. Minimi- och maximi ventilationsflöden finns angivna för de olika djurslagen i en svensk standard, SS 95 10 51.

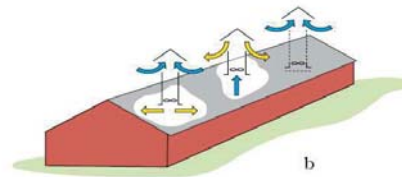
Naturlig ventilation

Ventilationen drivs av vinddrag eller skorstenseffekten.



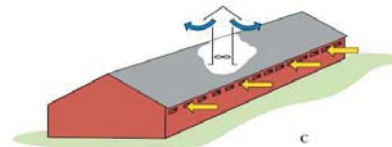
Neutraltrycksventilation

Fläktar används för både tilluft och frånluft.

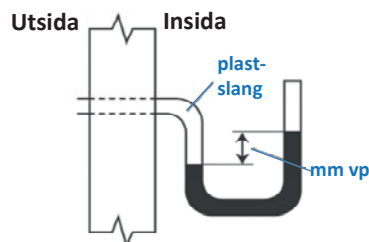


Undertrycksventilation

Frånluftsfläktar skapar ett undertryck så att luft förs in via luftintagen.



Tryck. Grundenheten för tryck är Pa, en förkortning av Pascal. ($1\text{ Pa} = 1\text{ N}/\text{m}^2$). Detta är en mycket liten enhet och därför använder man i praktiken ofta kPa, kiloPascal. $1\text{ kPa} = 1000\text{ Pa}$. Vanligt atmosfärtryck är ungefär 100 kPa . En annan enhet, som meteorologerna oftast använder, är bar. 1 bar är ungefär lika med 100 kPa . Inom ventilation arbetar man ofta med små tryckskillnader och då är Pa en lämplig enhet. En tidigare använd enhet är mm vp, millimeter vattenpelare. 1 mm vp är det tryck som utövas av en vattenpelare, som är 1 mm hög. Det visar också på ett enkelt sätt att mäta, se figuren. Omräkning: $1\text{ mm vp} = 10\text{ Pa}$.



Relativ luftfuktighet räknas i procent. Den står för hur mycket vattenånga luften innehåller i förhållande till när luften är mättad. Luft som till exempel är $18\text{ }^\circ\text{C}$ varm och är mättad, innehåller 13 g vattenånga per kg luft. Om 18-gradig luft bar innehåller 9 g vattenånga per kg, så är relativa luftfuktigheten $100 \times 9/13 = 69$ procent. Ju lägre luftfuktigheten är, desto mer vatten kan luften ta upp och föra bort vid ventilation eller torkning.

Verkningsgrad anger hur mycket av tillförd energi som nyttiggörs. Låg verkningsgrad betyder stora förluster.

$$\text{Verkningsgrad} = \frac{\text{Nyttig energi}}{\text{Tillförd energi}} = \frac{\text{Nyttig effekt}}{\text{Tillförd effekt}} \quad (\text{Läs vidare i avsnittet } \textit{Energi grunder})$$

Värmebalanstemperatur är den utomhustemperatur som är gränsen för när det behövs tillskottsvärme.

Gradtimmar är ett jämförelsemått för uppvärmningsbehovet. Gradtimmar får man genom att multiplicera temperaturskillnaden med det antal timmar som det är en viss utomhustemperatur.

Bakgrund

Ventilationssystemets uppgift

Utgångspunkten för en jämförelse av olika system för ventilation och värme ur energisynpunkt är att funktionskraven är specificerade. Grundläggande är att systemet skall skapa ett stallklimat som tillfredsställer djurens och människornas behov av frisk luft och termisk komfort i stallet. Olika djurslag har olika krav på stallklimatet. De grundläggande kraven finns angivna i djurskyddsbestämmelserna, Statens jordbruksverks föreskrifter och allmänna råd om djurhållningen i lantbruket (L100 och L101). Dimensioneringsförutsättningar och rekommenderat klimat för olika djurslag finns i Svensk standard SS 951050.

Vad är termisk komfort?

Termisk komfort för en människa eller ett djur är frånvaron av köld- eller värmestress. Det är helt enkelt behagligt varmt. Termisk komfort är i första hand fråga om balansen mellan kroppens värmeproduktion och värmeförlusterna till omgivningen. Vilket klimat som är komfortabelt är olika för olika djurslag och individer. Balansen kan dessutom variera över tiden.

Värmeproduktionen är relaterad till kroppsmassa och kroppens produktion av till exempel mjölk eller muskler. Muskelarbete genererar också värme. En tävlingshäst äter mer foder och har avsevärt högre värmeproduktion per kg kroppsvikt än en sällskapshäst som mest promenerar runt i en hage.

Värmeförlusterna är kopplade till hur stor area djuret exponerar mot omgivningen – och vad som kännetecknar den omgivningen: omgivningstemperatur, vind, typ av liggunderlag och värmestrålning.

Inom rimliga gränser kan kroppens värmeregleringssystem styra både värmeproduktion och värmeavgivning. En mjölkko på toppen av sin laktationskurva har samma värmeförluster som en sinko, men högmjolkarens kropp producerar dubbelt så mycket värme. Högmjolkarens komfortzon är därför förskjutet mot ett kallare omgivningsklimat, jämfört med sinkon.

Vilket stallklimat fungerar bäst?

När man skall bestämma vilket stallklimat som är bäst måste man naturligtvis utgå från vilket temperaturintervall, som ger termisk komfort för de djur som skall vistas i stallet. Oftast finns det olika djurkategorier i ett stall och de har olika komfortkrav.

Förutom till djuren måste man ta hänsyn till den utrustning som skall användas i stallet. Man vill till exempel inte att utgödsling eller vatten fryser. När det gäller elektrisk utrustning kan man få funktionsstörningar både vid låga och höga temperaturer. Man måste också ta hänsyn till de människor som skall jobba i stallet. Vilken temperatur som ger bäst arbetsmiljö beror på vilken typ av arbetsuppgifter som skall utföras. För arbete som innebär finmotoriska rörelser med fuktiga händer passar ett varmare klimat bäst. För tyngre kroppsarbete är det tvärtom.

Den bästa stalltemperaturen blir därför en kompromiss mellan flera olika krav. Som tur är har de flesta djurslag ett ganska brett komfortintervall.

Luftkvalité

Luftkvalité är dels stallluftens innehåll av damm och skadliga gaser, dels luftens relativa luftfuktighet. Damm kommer från foder, strö och djuren själva. Damm försvinner från stallluften genom att en del sedimenterar på olika ytor och genom att ventileras ut. Det damm som sedimenterar är huvudsakligen större partiklar som inte är så skadliga.

Djuren själva samt gödsel, urin och foderrester avger många olika mer eller mindre hälsovådliga ämnen i gasform. I djurskyddsbestämmelserna finns gränsvärden för koldioxid, ammoniak, svavelväte och organiskt damm.

Koldioxid kommer huvudsakligen från djurens utandningsluft och nivåerna i stallluften bestäms av djurbeläggning i relation till luftomsättningen.

Ammoniak frigörs vid nedbrytning av kväveföreningar i urin, gödsel och foder. Ammoniak är lättlösligt i vatten. Det råder en balans mellan halten i stallluften och den ammoniak som är löst i vätskesamlingar. Om luftomsättningen ökar, ventileras mera gasformig ammoniak bort, men samtidigt ökar avdunstningen. Det är därför svårt att påverka ammoniakhalterna i stallluften med hjälp ökad ventilation. Ammoniaknivåerna begränsas därför effektivast genom åtgärder som minskar nedbrytning och avdunstning, till exempel genom att arealen blöta ytor minimeras.

Svavelväte är en mycket giftig gas som bildas vid nedbrytning av flytgödsel i syrefri miljö (nere i stillastående gödsel). Gasen finns löst i vätskan och kan snabbt frigöras vid omröring av gödseln.

Halten gödselgaser i stallet kan begränsas genom att den luft, som står i direkt kontakt med gödsel och urin, hindras att komma upp i djurens uppehållszon med hjälp av vattenlås och punktutsug.

Urvalet av gränsvärden i djurskyddsbestämmelserna baseras inte i första hand på vilka ämnen som är skadligast utan man har valt ämnen som är väl undersökta och lätta att mäta. Om nivåerna av dessa gaser är låga kan man anta att halterna av andra liknande ämnen också är låga.

Luftens relativa fuktighet har stor betydelse för djurmiljön i stallet. Hög luftfuktighet gynnar många luftburna smittämnen och orsakar dessutom kondens, vilket i sin tur medför hygienproblem. För låg luftfuktighet är inte heller bra. Effekten av hög luftfuktighet påverkas också av lufttemperaturen.

Baserat på erfarenhet och forskning är rekommendationen att summan av den relativa fuktigheten och lufttemperaturen inte bör överstiga 90. Det betyder till exempel att vid $+15^{\circ}\text{C}$ i stallet skall den relativa fuktigheten inte överstiga 75 procent ($15 + 75 = 90$).

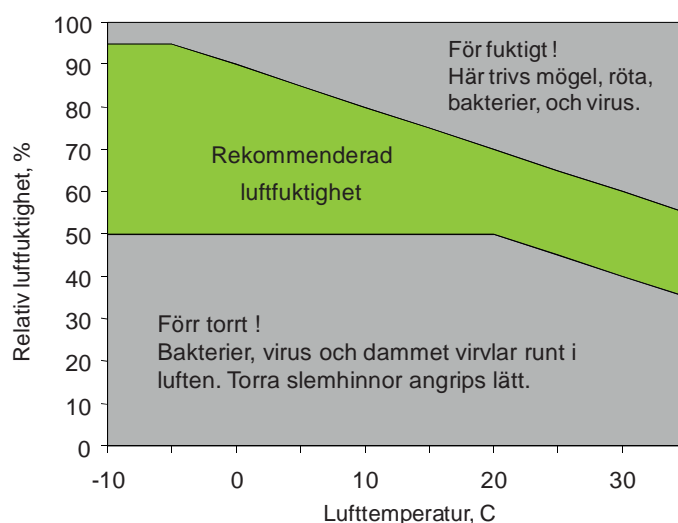


Bild 1. Rekommenderad luftfuktighet i djurstallar varierar, beroende på stalltemperaturen.

Luftfuktighet styr man genom att reglera ventilationsflödet. Eftersom ventilationsluften inte bara transporterar ut fukt utan också värme så krävs ofta tilläggsvärme, för att man skall kunna ventileras tillräckligt när det är kallt ute. Om man inte säkerställer tillräcklig ventilation och värmeförsel, kan man snabbt få allvarliga fuktskador även i relativt nybyggda stallar.

I ett klimatreglerat stall säkerställer man kravet på luftkvalité genom att se till att ventilationsflödet aldrig underskrider det minimiflöde som behövs för att föra bort fukt och gaser från stallet. Den uteluft som tillförs måste vara jämnt fördelad över stallet i förhållande till djurbeläggningen, så att alla djur får tillräckligt bra luftkvalité.



Bild 2. Mögel, rost och röta i taket på 6 år gammalt stall orsakat av otillräcklig ventilation och värmeförlust.

Två typer av stallar

Det finns två helt skilda principer för hur ventilations- och värmesystem utformas med tanke på djurens miljö. Vi skiljer mellan klimatreglerade byggnader och väderskyddande byggnader. De två principerna kan inte blandas, eftersom det oundvikligen leder till problem, bland annat med hög luftfuktighet.

Klimatreglerat stall

Detta är ett värmeisolerat och slutet stall där man kan styra lufttemperatur och luftfuktighet genom att styra flödet av uteluft och genom att ibland tillföra värme. I ett klimatreglerat stall strävar man efter att skapa termisk komfort för djuren genom att hålla lufttemperaturen på en jämn nivå oberoende av om det är kallt ute.

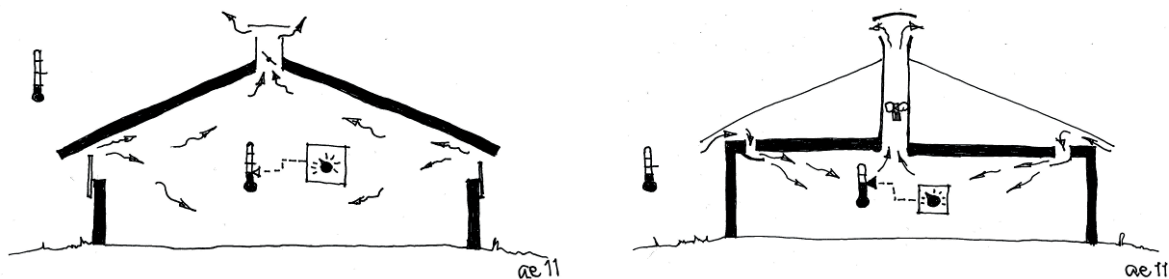


Bild 3. Exempel på klimatreglerade stallar med reglerad naturlig ventilation (till vänster) respektive reglerad fläktventilation (till höger)

I de flesta stallar är djurens fria värmeavgivning så stor att det under större delen av året finns ett värmeöverskott. Värmeöverskottet tas om hand genom att kyla stallet med sval uteluft. Beroende på den aktuella utetemperaturer så behövs det olika stort ventilationsflöde för att uppnå den önskade stalltemperaturen. Vintertid kan det ibland behövas tillskottsvärme för att undvika att stalltemperaturen blir för låg eller luftfuktigheten för hög i stallet.

Stallet skall vara utrustat med en ventilationsanläggning, vars kapacitet kan regleras med hänsyn till lufttemperatur och luftkvalité inomhus. Funktionen kan antingen baseras på mekaniska fläktar eller naturlig ventilation eller en kombination av dessa system. Stallet skall vara försett med tillräckligt antal tilluftsdon som är så placerade att de fördelar uteluft till alla djur i stallet.

Minimikravet är att stallet är så väl värmeisolerat, att kondens på väggar och i tak undviks. Med hänsyn till energianvändning för tilläggsvärme kan det vara bra att ha bättre isolering än minimikravet.

Väderskyddande stall

Detta är ett enkelt stall med fri luftväxling som ger skydd mot vind, nederbörd, solinstrålning och värmeutstrålning nattetid. Stallets väggar är luftgenomsläppliga eller försedda med stora ventilationsöppningar. Eftersom stallet är öppet och luftväxlingen är fri, så följer lufttemperatur och luftfuktighet utomhustemperaturen. Detta system är avsett för lösgående köldtåliga djur, som själva kan välja vilo- och uppehållsplats med hänsyn till klimatförhållandena.

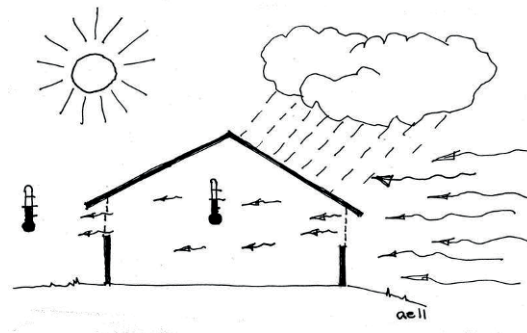


Bild 4. Exempel på väderskyddande stall med fri luftväxling. Stallet ger skydd mot vind, nederbörd och solinstrålning, men inomhustemperaturen följer utomhustemperaturen.

Ett väderskyddande stall skall utformas så att luftomsättningen blir tillräcklig för att transportera bort den fukt som avges inne i stallet. Luftväxling sker huvudsakligen genom vindpåverkan.

Eftersom man inte använder tilläggsvärme eller frånluftsfläktar för att skapa luftväxling, är energianvändningen för klimatisering minimal. Särskilt i mjölkstallar förekommer det dock att man installerar cirkulationsfläktar inne i stallet för att få en kylande luftström över djur sommartid. Sådana fläktar använder en hel del energi, eftersom varje cirkulationsfläktmotor brukar ha 2-3 gånger högre effekt än en vanligt frånluftsfläkt. Å andra sidan behöver cirkulationsfläktarna bara användas under en mindre del av året.

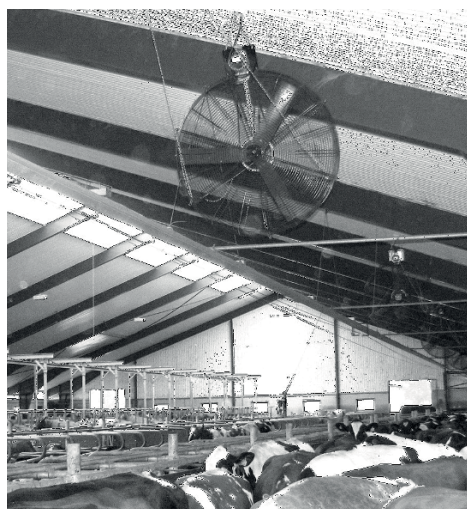


Bild 5. Ibland används cirkulationsfläktar för att skapa en svalkande luftström över djuren när det är varmt.

Sveriges klimat

När man väljer mellan olika byggnadstyper och ventilationslösningar, är det viktigt att tänka på i vilket klimat som byggnaden skall användas. I Sverige är det normalt vintern, som ställer de högsta kraven på ventilationen. När utomhustemperaturen närmar sig fryspunkten, riskerar man till exempel att få problem med kondens och påfrysning.

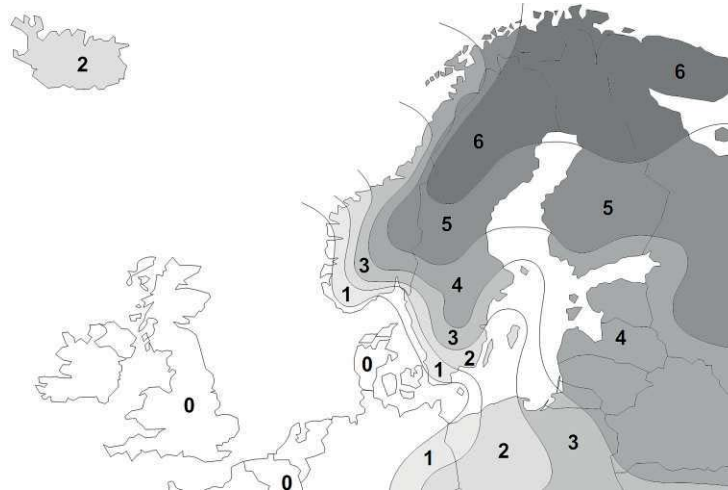


Bild 6. Antal månader med medeltemperatur under noll grader i olika delar av norra Europa.

Ju längre perioderna med vinterväder är, desto viktigare blir det att man väljer byggnadstyper och utrustning som passar för kallt klimat. Kartan visar hur många månader per år som månadsmedeltemperaturen är noll grader eller lägre.

Man kan se att större delen av de stora jordbruksregionerna i Europa har en mycket kortare vinterperiod än vad vi har på de flesta ställen i Sverige. Det betyder att ventilationslösningar, som fungerar bra nere i Europa, kanske inte är anpassade till våra förhållanden.

Ventilation och klimatförändringar

Det talas mycket om kommande klimatförändringar, men för den som skall bygga stall finns det nog andra förändringar som kommer att ha större betydelse i ett kortare perspektiv. Under de senaste 25 åren har till exempel mjölkavkastningen per ko i kokontrollen ökat med nästan 50 procent och elpriset med 400 procent.

Möjligheter till energieffektivisering

För att kunna göra kloka val när det gäller att spara energi, så behöver man ha en uppfattning om besparingspotential och kostnader för olika åtgärder. När det gäller kostnader, så måste man ta hänsyn till både investeringskostnader, driftskostnader och användningstid.

Besparingsåtgärder, som kräver omfattande byggnadsåtgärder eller dyrbara fasta installationer med hög effekt, kan bara bli lönsamma om den årliga driftstiden är lång. Det hjälper inte om den potentiella besparingseffekten är stor, om utrustningen bara används en liten del av året.

Ventilationsbehov i djurstallar respektive lokaler med människor

När man värderar vilka besparingsmöjligheter som finns, så är det viktigt att veta att förutsättningarna i djurstallar skiljer sig mycket från hur det fungerar i till exempel bostäder och kontor. Ventilationsanläggningens viktigaste uppgifter är att säkerställa god luftkvalité genom att transportera bort fukt, koldioxid och andra gaser som avges inne i stallet eller rummet. I djurstallar är beläggningen (kg djur per rumsvolym) hög och det krävs stora ventilationsflöden för att föra bort den värme, fukt och gaser som

djuren avger. Ur ventilationssynpunkt motsvarar en häst 6 till 8 människor och en mjölkko 10 till 15 människor. Detta får naturligtvis stor betydelse för hur ventilations- och värmeanläggningen utformas i djurstall jämfört med bostäder och kontor.

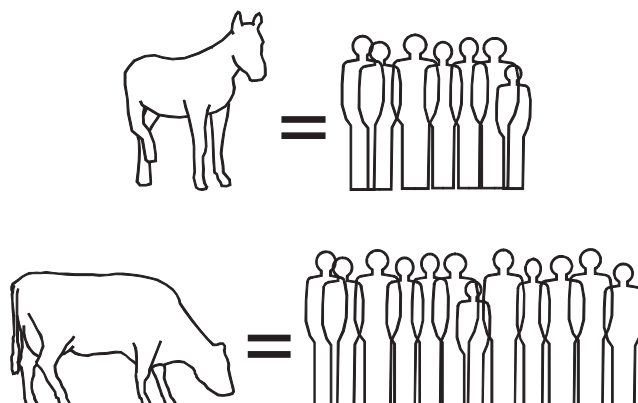


Bild 7. Ur ventilationssynpunkt motsvarar en häst 6 till 8 människor och en mjölkko 10 till 15 människor.

I byggnader för människor är värmeavgivningen från människor och apparater liten jämfört med djurens värmeavgivning i stallar. För att hålla ett komfortabelt inomhusklimat i människobyggnader behövs därför värmeförsel en stor del av året (typisk när dygnsmedeltemperaturen ute är lägre än +15 till +17°C). I stallar är djurens samlade värmeproduktion så stor att det är först när utomhustemperaturen sjunker under -5°C till -10°C som det behövs tilläggsvärme. Under resten av året finns det ett värmeöverskott som måste kylas bort med sval uteluft.

I bostäder och likande lokaler har man därför en ganska litet fast ventilationsflöde som är anpassat för att säkerställa luftkvaliteten och rumstemperaturen genom att styra värmeförseln. I djurstallar finns det oftast ett värmeöverskott och det behövs då ingen tilläggsvärme alls. Lufttemperaturen regleras istället genom att kyla stallet med sval uteluft. Denna skillnad har betydelse för vilka energibesparingsåtgärder som är mest effektiva.

Tabell 1. Skillnader mellan olika byggnaders ventilationsanläggningar

Typ av lokal	Temperaturreglering	Förhållande mellan min- och maxventilation	Ventilationsintensitet, m ³ /h per m ² golv	Luftomsättning vid maxvent, antal luftbyten per timme
Häststall	Styrd ventilation som kyla med uteluft	1:7	15	5
Mjölkkor i lösdrift	Styrd ventilation som kyla med uteluft	1:4	20	15
Slaktgrisstall	Styrd ventilation som kyla med uteluft + styrd värme vid insättning av smågrisar	1:14	90	30
Slaktkycklingsstall	Styrd ventilation som kyla med uteluft + styrd värme när kycklingarna är små	1:50	150	50
Småhus och liknande	Reglerad värme	1:2	2	0,5-1

Värmesystem i djurstallar

För att kunna hålla ett bra inomhusklimat behövs alltid ventilation och ibland också värmertilförsel. För att förstå vilka möjligheter det finns att spara energi i djurstallar, måste man ta hänsyn till både värme- och ventilationssystem.

Värmeförluster via ventilation och transmission

I bostäder och liknande lokaler kan man spara mycket energi genom att minska värmeförlusterna till omgivningen. Dessa värmeförluster sker dels genom transmission genom väggar, golv och tak, dels genom att den ventilationsluft som tas utifrån värms upp till rumstemperatur när den ersätter förorenad rumstempererad luft.

Transmissionsförlusterna beror på den sammanlagda arean mot uteluft och mark samt på hur väl isolerat huset är. Ju större luftomsättning (antal luftbyten inne per timme) desto större ventilationsförluster. Eftersom luftomsättningen i ett djurstall generellt är mycket större än i bostäder så utgör förlusterna genom ventilation en mycket stor andel av den totala värmeförlusten i djurstallar. Ventilationsförlusten vintertid i en normal villa är ca 15 procent (enligt exempel på Energimyndighetens hemsida) medan den för djurstallar varierar mellan 50 procent och 75 procent.

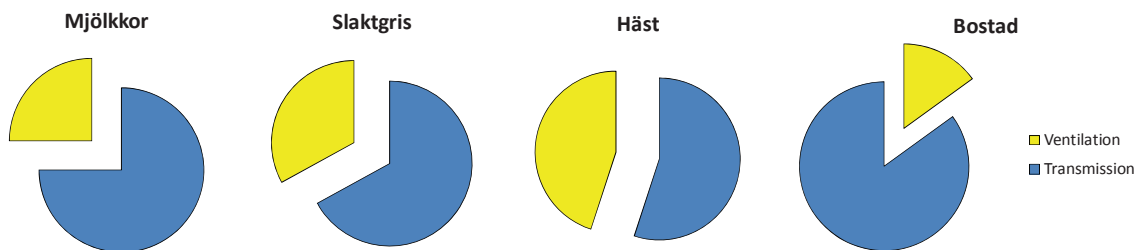


Bild 8. Ventilationsförlustens andel av de totala värmeförlusterna från bostäder och djurstallar vintertid.

Värmebalanstemperatur och uppvärmningsbehov

Först och främst finns det bara behov av uppvärmning under den del av året som temperaturen ute är lägre än den temperatur som man önskar hålla inomhus. I både humanutrymmen och djurstallar finns det dock "naturliga" värmekällor inomhus, som ytterligare minskar behovet av tillskottsvärme. I bostäder kommer värme främst från belysning, apparater och solinstrålning genom fönster. Det medför att i normala hus kan man hålla normal inomhustemperatur utan att slå på värmen, när det är 3-5 grader kallare ute än inne. I djurstallar är önskad inomhustemperatur nästan alltid lägre än i bostäder. Dessutom är djurens värmeavgivning så stor att det kan vara 15-25 grader kallare ute innan det behövs tillskottsvärme.

Den utomhustemperatur, som är gränsen för när det behövs tillskottsvärme, kallas värmebalanstemperatur. Ju lägre värmebalanstemperatur desto mindre del av året behöver man tillskottsvärme. Kurvan i bild 4 visar hur stor del av ett normalår, som det är kallare än en given utomhustemperatur i Uppsala. Om värmebalanstemperaturen för en bostad är $+15^{\circ}\text{C}$, så behövs det tillskottsvärme under ca 85 procent av året. Värmebalanstemperaturen för djurstallar är ofta -5°C eller lägre. Det betyder att man behöver tillskottsvärme under bara ca 10 procent av året.

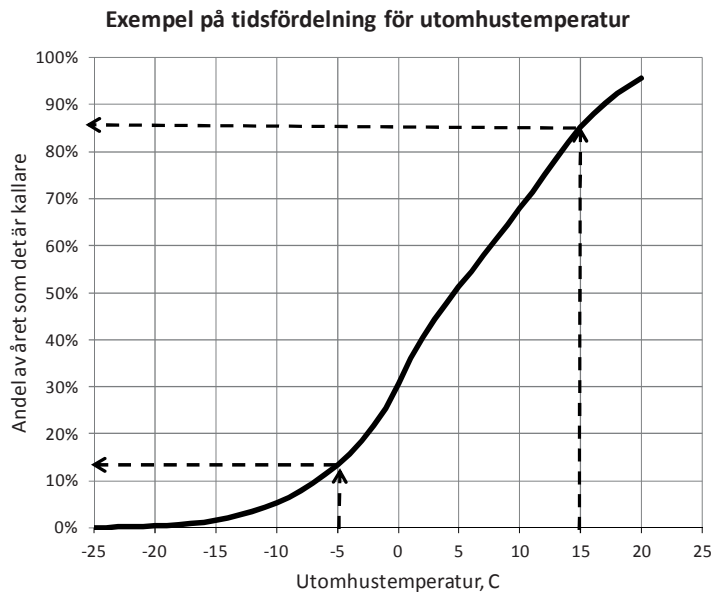


Bild 9. Exempel på tidsfördelning för utomhustemperatur. Data från Uppsala. Pilarna är exempel som visar att det är +15 °C eller kallare under ca 85 procent ett normalår och -5 °C eller kallare under ca 13 procent av året.

Den värmeeffekt som behövs vid ett visst tillfälle är proportionell mot temperaturskillnaden mellan inne- och uteluft. Genom att multiplicera temperaturskillnaden med det antal timmar som det är en viss utomhustemperatur så får man ett jämförelsemått på energianvändningen, som kallas gradtimmar. Summerar man gradtimmarna för alla utomhustemperaturtimmar med behov av tillskottsvärme får man antalet gradtimmar per år. Detta värde kan användas för att jämföra uppvärmningsbehovet i byggnader med olika värmebalanstemperatur (bild 10).

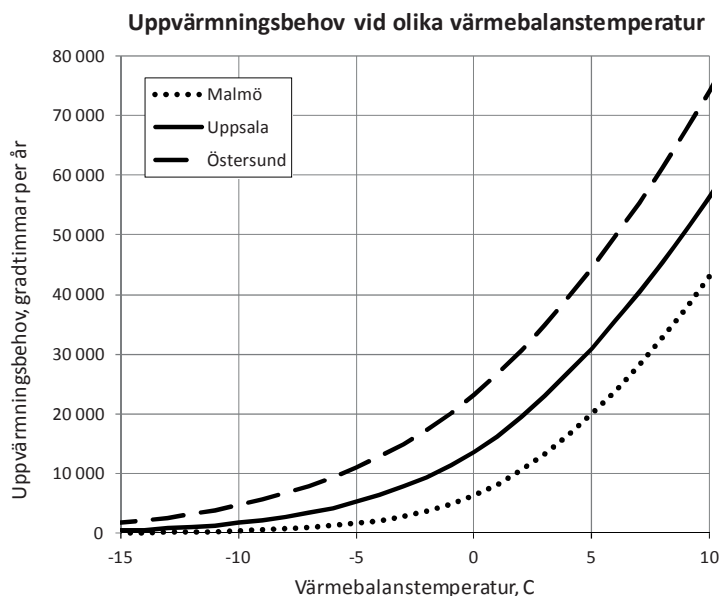


Bild 10. Exempel på uppvärmningsbehov i gradtimmar för byggnader med olika värmebalanstemperatur och på några olika orter (baserat på timmedelvärden).

Antalet gradtimmar beror naturligtvis inte bara på värmebalanstemperaturen utan också på klimatet på orten där byggnaden ligger. Vid de låga värmebalanstemperaturer, som är vanliga för stallbyggnader,

blir skillnaden i energianvändning för uppvärmning mycket stor för byggnader av samma typ, men som ligger i olika delar av Sverige (se exempel i bild 10).

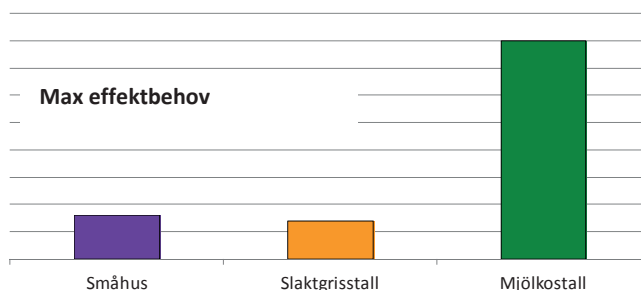


Bild 11. Jämförelse mellan hur stora värmekällor (maxeffekt i kW) som behövs i några typiska byggnader. Byggnaderna antas ligga i Mellansverige.

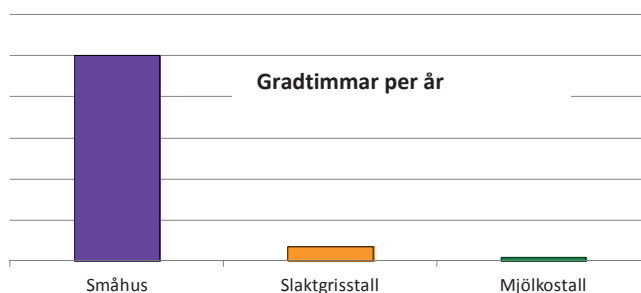


Bild 12. Jämförelse mellan typiska uppvärmningsbehov (gradtimmor/år) för samma byggnader som i bild 11.

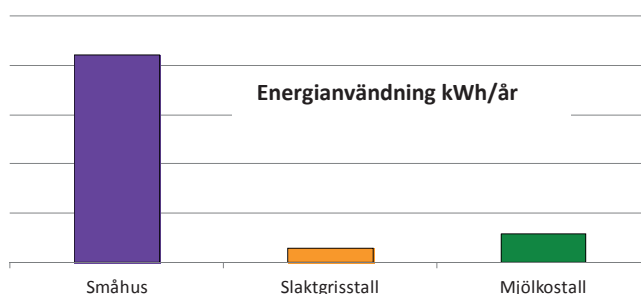


Bild 13. Jämförelse mellan energianvändning för uppvärmning (kWh / år) för samma byggnader som i bild 11.

Sammanfattning av energi och uppvärmning av djurstallar

Man kan sammanfatta det som är typiskt för uppvärmning av stallbyggnader i några punkter:

- Djurens värmeavgivning är stor i förhållande till värmeförlusterna från byggnaden. Det medför att värmebalanstemperaturen är mycket lägre än i vanliga småhus.
- I djurstallar behövs kraftig ventilation för att transportera bort den fukt och de gaser som avges i stallet. Det medför att värmeförlusterna genom byggnadsskalet är små i förhållande till värmeförlusterna genom ventilationen. Man kan därför oftast inte spara så mycket energi genom extra isolering av huset.
- Eftersom värmebalanstemperaturen i de flesta djurstallar är låg, så blir uppvärmningsbehovet (räknat i gradtimmor) mycket lägre än i bostäder.
- Kapaciteten (maxeffekten) för värmekällor i djurstallar är oftast hög, men eftersom driftstiden är kort och värmebehovet (gradtimmor) är litet blir den årliga energianvändningen ganska låg.
- Kombinationen av hög effekt och låg årsenergianvändning gör att det inte blir ekonomiskt lönsamt att välja avancerade värmekällor som kräver kostsamma investeringar.

Värmeväxlare

Eftersom en stor del av värmeförlusterna från ett djurstall sker via ventilationen (bild 8) så skulle teoretiskt en stor mängd energi kunna sparas med hjälp av värmeväxlare som tar energi från den varma frånluften som används för att förvärma den kalla tilluften. Man har gjort försök med olika sådana system åtminstone sedan 1960-talet, men tekniken har inte kommit till allmän användning. I bostadshus är det däremot mycket vanligt med värmeväxlare.

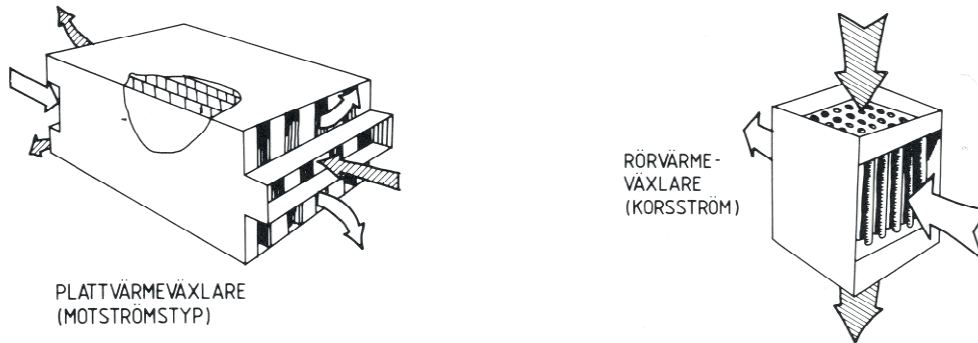


Bild 14. Principexempel på olika typer av luftvärmeväxlare. (Källa: *Aktuellt från lantbruksuniversitetet 308*)

Litet uppvärmningsbehov i de flesta djurstallar

I avsnittet ovan om uppvärmning visades att uppvärmningsbehovet (gradtimmar) i de flesta djurstallar är litet beroende på låg värmebalanstemperatur och låg inomhustemperatur. Det medför att även om det finns mycket stora energimängder i frånluften så är det bara under en kort period, när det är som kallast, som en värmeväxlare kan göra nytta.

Undantag är slaktkycklingstallar under uppfödningens periodens början när kycklingarnas värmeavgivning är liten i förhållande till byggnadens värmeförluster, samtidigt som stalltemperaturen skall vara hög (upp till ca 35°C).

Påfrysning och igensättning i värmeväxlare

I en luftvärmeväxlare möter varm fuktig stallluft kall uteluft med bara en tunn värmeöverförande skiva emellan. Denna skiva är oftast av plåt eller tunn plast. För att värmeväxlaren skall bli så effektiv som möjligt, skall materialet ha hög värmeledningsförmåga. Det medför att stalluften på väg genom värmeväxlaren kyls ned till en temperatur nära uteluftens temperatur. Eftersom stalluft håller en hög relativ fuktighet, medför detta kraftig kondensbildning. Om uteluften är kallare än noll grader (det är då värmeväxlaren behövs som mest), så kommer kondensvattnet på den varma sidan att frysa och blockera luftflödet.

Detta fenomen uppträder också i värmeväxlare som används i bostadshus, men där är rumsluften varmare och håller inte lika hög luftfuktighet. Dessutom förses sådan värmeväxlare med värmeelement för förvärmning av uteluften.

Ytterligare ett problem är att stalluft innehåller mycket damm. När luften passerar genom värmeväxlaren fastnar dammet på de kondensfuktiga ytorna. Dessa blir snabbt belagda med en kletig sörja, som minskar värmeledningsförmågan och försämrar effektiviteten. Av kostnads- och effektivitetsskäl vill man göra luftkanalerna så smala som möjligt vilket medför att luftkanalerna lätt sätts igen av dammbeläggningar.

För att motverka detta problem har man försökt använda filter och automatiskt renspolning. Det är fråga om stora luftmängder och mycket damm. Det har visat sig att filter behöver rengöras eller bytas flera gånger i veckan, vilket blir arbetskrävande och dyrbart. Automatisk spolning har inte heller fungerat, eftersom dammsörjan liknar ett fett klister och vattenspolning har därför bara begränsad effekt.

Beständighet och korrosion

Vanliga luftvärmare tillverkas av aluminium, eftersom detta material har bra värmeledningsegenskaper. Aluminium korroderar dock snabbt, när det utsätts för kondensvatten och gödselgaser. Koppars eller förzinkning fungerar inte heller. Vissa typer av rostfritt stål klarar miljön, men blir mycket dyrt. Plastmaterial korroderar inte, men har dålig värmeledningsförmåga vilket försämrar effektiviteten.

Luftfördelningssystem

Förvärmning av tilluft med hjälp av värmare förutsätter att tilluften fördelas över stallet med hjälp av ett kanalsystem. Detta medför en mycket högre investerings- och driftskostnad (på grund av extra strömningsmotstånd) jämfört med konventionella system, där luften tas in direkt från vind eller genom yttervägg.

Det har också förekommit system, där man förvärmat luften genom att låta den passera genom trummor under jord innan luften kommer in i stallet. Dessa system blir också dyra, eftersom det behövs långa och stora trummor för att värmeupptagningen skall bli tillräcklig.

Besparingsmöjligheter med värmare

Det finns mycket energi att återvinna i frånluften från djurstallar, men årsvärmebehovet är litet i relation till de ökade investeringskostnaderna. Detta gör det väldigt svårt att uppnå lönsamhet för sådana investeringar. Man har också använt frånluftsvärmare för att hämta energi till värmepumpar avsedda för bostadshus och liknande lokaler. Det har installerats en del sådana anläggningar, men damm- och korrosionsproblem har medfört höga driftskostnader och kort livslängd. Denna lösning har inte varit konkurrenskraftig jämfört med konventionella system, som hämtar värme ur mark eller uteluft.

Ventilationssystem

Ett ventilationssystem kan antingen vara mekaniskt eller bygga på naturlig ventilation. I ett mekaniskt system skapar elektriska fläktar det tryck som driver luften genom stallet. I ett system med naturlig ventilation skapas drivtrycket istället av självdragseffekten och yttre vindtryck. Självdragseffekt eller skorstenseffekt kallas det förhållande att varm luft stiger upp och ut, samtidigt som kall uteluft kommer in i stallet. Den beror på att varm luft har lägre densitet än kall luft. Ju större temperaturskillnad och ju större höjdskillnad mellan utlopp och intagsöppning desto större luftflöde.

Ur ventilationssynpunkt har det ingen betydelse om drivtrycket skapas av fläktar eller av naturlig ventilation. Den praktiska skillnaden är att det drivtryck som skapas genom naturlig ventilation är mycket svagare (vanligtvis 10-20 gånger mindre) än det som man kan få från fläktar. Konsekvensen blir att det, för samma luftflöde, behövs mycket större ventilationsöppningar i ett stall med naturlig ventilation. Om man har naturlig ventilation så kommer dessutom funktionen i hög grad att påverkas av utomhusklimatet.

Energianvändningen för att driva ett system med naturlig ventilation är minimal och det följande avsnittet kommer därför att inriktas på system som bygger på fläktventilation. Ett ventilationssystem som arbetar enligt undertrycksprincipen består av flera delar:

- Frånluft – fläktar som transporterar ut varm användad luft ur stallet och skapar det undertryck som gör att kall frisk luft sugas in.
- Tilluft – tilluftsdon/luftintag där frisk luft kommer in. Det är viktigt att donen är rätt utformade och placerade så att luften skall fördelas jämn över hela stallet och utan att djuren utsätts för drag.
- Reglersystem – reglercentral och styrutrustning som gör att ventilationssystemets kapacitet anpassas så att man kan hålla en jämn temperatur i stallet.

Det är fläktarna som använder elenergi, men alla delar i anläggningen har betydelse för den totala energianvändningen. Om man vill spara energi räcker det inte att fokusera bara på en del, till exempel typ av fläktmotor. Man måste se över helheten. Den billigaste och enklaste åtgärden är vanligtvis att minska strömningsförlusterna och förbättra fläkthjulets verkningsgrad genom regelbunden rengöring och injustering.

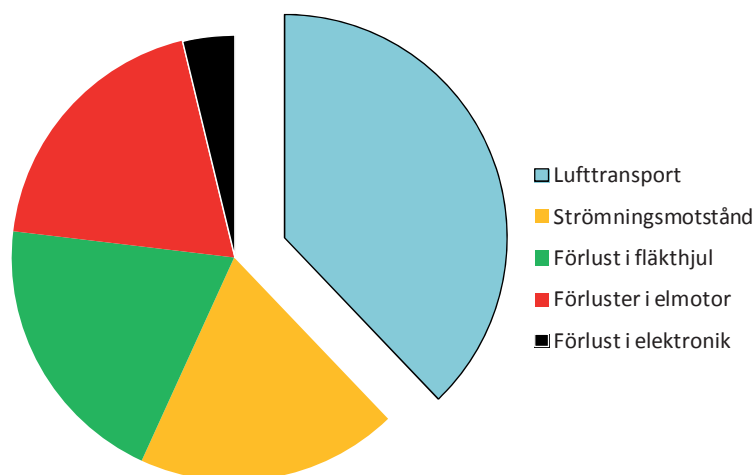


Bild 15. Fördelningen av den elektriska energi som användas i en ventilationsanläggning. Lufttransport är det nyttiga arbete som fläktarna utför. De övriga delarna utgörs av olika förluster.

Fläktars verkningsgrad

Den effekt som en fläkt avger skapar en tryckskillnad mellan dess inloppssida och utloppssida. Detta totaltryck fördelas på statiskt tryck (motsvarar lägesenergi) och dynamiskt tryck, som är rörelseenergin hos den luft som strömmar genom fläkten.

Totaltryck, statiskt tryck och dynamiskt tryck

$$p_t = p_s + (\rho \times v^2)/2$$

där

p_t = totaltryck [Pa]

p_s = statiskt tryck [Pa]

ρ = luftens densitet [kg/m³] (grekiska bokstaven ρ uttalas "rå")

v = lufthastighet [m/s]

Det statiska trycket, som fläkten skall övervinna, motsvarar det strömningsmotstånd, som uppstår när luften strömmar genom ventilationssystemet. I ett stall brukar det statiska trycket vara ca 20-60 Pa. Det dynamiska trycket ökar snabbt, när lufthastigheten ökar (se diagram och formelruta nedan).

Typisk lufthastighet i en frånluftstrumma är 8-12 m/s. Det motsvarar ett dynamiskt tryck på ca 40-90 Pa. Det betyder att normalt så går ca hälften av energin åt till att övervinna strömningsmotstånden i ventilationssystemet och den andra hälften används för att sätta fart på luften genom frånluftstrumman. Ur energisynpunkt bör man därför sträva efter att hålla låg lufthastighet genom att använda flätkanaler och trummor med så stor tvärsnittsarea som möjligt.

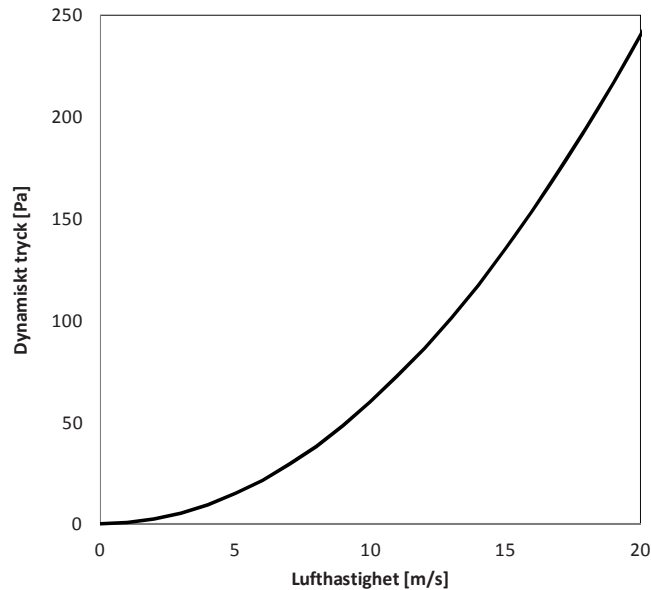


Bild 16. Dynamiskt tryck vid olika lufthastigheter.

Verkningsgrad och nyttig effekt

Den nyttiga effekten (lufteffekten) eller det nyttiga arbete som en fläkt utför är lika med det totaltryck som fläkten skapar multiplicerat med luftflödet genom fläkten.

Nyttig effekt $N_f = p_{tot} \times q$

där N_f = Fläktens nyttiga effekt [W]
 p_{tot} = totaltryck [Pa]
 q = luftflöde [m^3/s]

Den funktionalitet som krävs är att fläkten skall transportera den mängd luft som behövs med hänsyn till ventilationsbehovet. Luftflödet är därför givet, men ur energisynpunkt är det viktigt att fläkten arbetar med ett så lågt totaltryck som möjligt.

Som alltid, när det gäller att spara energi, så strävar man efter att använda utrustning med så bra verkningsgrad som möjligt. En fläkts verkningsgrad (η) är lika med förhållandet mellan nyttig lufteffekt (N_f) och upptagen effekt (N_{tot}):

Fläktens verkningsgrad

$$\eta = N_f / N_{tot} \quad (\text{grekiska bokstaven } \eta \text{ uttalas "äta"})$$

Fläkthjulets verkningsgrad

Det är fläkthjulet (propellern), som omvandlar fläktmotorns arbete till att transportera luft. Hur stor effekt (axeffect), som behövs för att driva fläkthjulet, beror på fläkthjulets verkningsgrad. Verkningsgraden beror på hur väl utformat hjulet är ur aerodynamisk synpunkt. Allmänt gäller att fläktar med lågt varvtal är energieffektivare än de med högt varvtal. Å andra sidan har lågvarviga fläktar dålig tryckstabilitet och passar därför inte för till exempel lågevakering eller i anläggningar med kanalsystem.

Men det är också så att hjulets verkningsgrad påverkas av vid vilket tryck och flöde som det arbetar. Bild 17 visar uppmätt verkningsgrad för några olika fläkthjul med samma diameter och rotationshastighet. Man ser att de olika hjulen har optimal verkningsgrad inom olika arbetsområden. Fläkthjulet måste också matchas noga mot den motor som används. Olika elmotorer har vitt skilda egenskaper när det gäller effekt, vridmoment och varvtal.

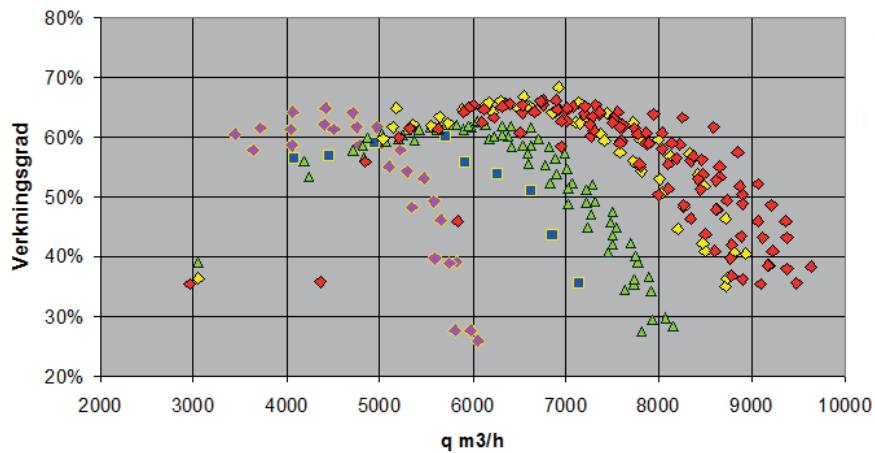


Bild 17. Exempel på mätning av några olika fläkthjuls verkningsgrad inom olika arbetsområden.

Som användare kan man inte se på ett fläkthjul hur effektivt det är. Det kan bara fastställas genom provning. Det betyder också att man skall undvika att själv kombinera fläkthjul och motor, åtminstone om man vill ha en energieffektiv fläkt.

Fläktmotorers verkningsgrad

De elmotorer som används för ventilationsfläktar är i allmänhet asynkronmotorer för växelström, eftersom de innehåller få komponenter och har lång livslängd. Det finns både en-fas och tre-fas asynkronmotorer. Principen som bygger på tre faser är i princip effektivare. Likaså är en större motor effektivare än en liten. I praktiken är det lika viktigt hur bra motorn är konstruerad och tillverkad. Det finns massor med genvägar som ger lägre tillverkningskostnad, men sämre verkningsgrad och kortare livslängd. Som användare har man knappast någon möjlighet att se hur bra en motor är. Det är sällan en riktigt billig fläkt är bra, men man kan å andra sidan inte vara säker på att den dyraste är bäst. Det man kan göra är att handla av välrenommerade tillverkare, som kan visa provningsdata för sina fläktar och som är angelägna om att kunderna kommer igen.

Fläktens verkningsgrad

Fläktens totalverkningsgrad beror på fläkthjulets utformning och elmotorns verkningsgrad. Typiska verkningsgrader för bra axialfläktar och motorer för stallventilation är:

Fläkthjul i bästa arbetsområde	50-75 procent verkningsgrad
Enfas asynkronmotor	60-70 procent
Trefas asynkronmotor	65-75 procent

Det betyder att normala lantbruksfläktar har en verkningsgrad

från $50 \% \times 60 \% = 30 \%$

till $75 \% \times 70 \% = 53 \%$

Detta gäller vid fullfartsdrift utan strypspjäll eller hastighetsreglering. Skillnaden i verkningsgrad innebär att de effektivaste fläktarna transporterar nästan dubbelt så mycket luft per kWh som de minst effektiva.

Driftsegenskaper och energieffektivitet

Det finns andra egenskaper än energieffektivitet som är viktiga för en ventilationsanläggning. De viktigaste driftsegenskaperna är:

- **Tryckstabilitet** – det betyder att fläktens kapacitet skall påverkas så lite som möjligt av yttre driftsförhållanden som till exempel vindpåverkan eller nedsmutsning.
- **Reglerbarhet** – detta gäller fläktar med reglerbar kapacitet och innebär att fläktens flöde skall kunna styras över ett stort intervall med bibehållen tryckstabilitet.
- **Buller** – med hänsyn till djur- och arbetsmiljö skall en fläkt avge så lite buller som möjligt.
- **Hållbarhet** – ur driftsekonomisk synpunkt är det viktigt att en fläkt har lång hållbarhet. Förutom kvalitén på lager och isoleringsmaterial har driftstemperaturen stor betydelse för fläktmotorns livslängd.

En fläktkurva är ett diagram, som visar sambandet mellan fläktens kapacitet och arbetstryck. Exempel på fläktkurvor för några olika fläktar visas i bilden nedan. Om en fläkt är tryckstabil, betyder det att dess kapacitet bara ändras lite, när trycket ökar. I diagrammet motsvaras det av att fläktkurvan är så nära vertikal som möjligt. I bilden finns både fläktar med branta vertikala kurvor och flacka lutande fläktkurvor. Fläktarna med flacka kurvor har dålig tryckstabilitet och därmed instabil drift. En sådan fläkt har ett fläkthjul, som enbart är optimerat för att ge mycket luft som friblåsande eller vid små tryck. Genom att fläkten får hög kapacitet har den på papperet hög energieffektivitet, men i verkligheten kommer den att arbeta vid högre tryck och sjunker både kapacitet och energieffektivitet snabbt.

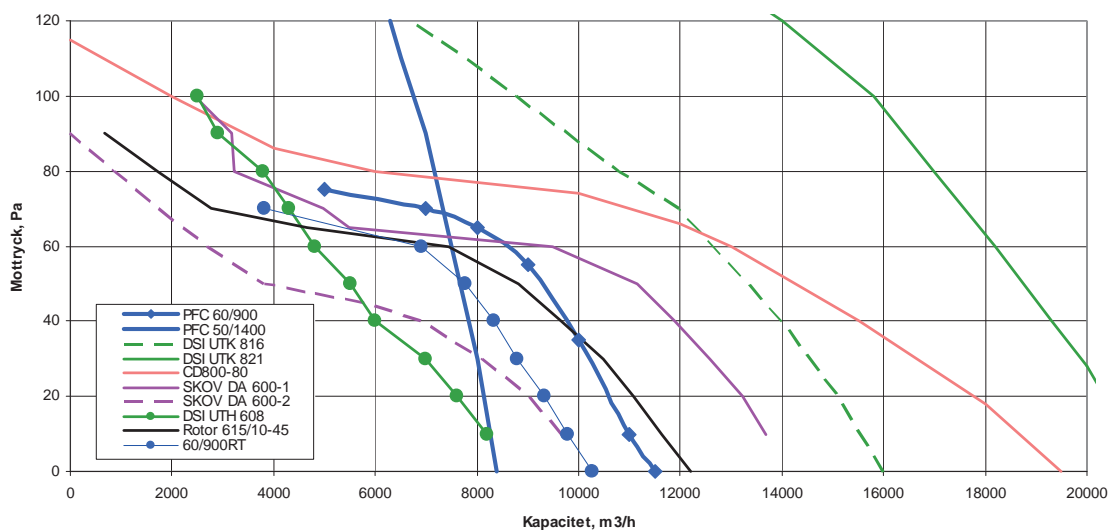


Bild 18. Exempel på fläktkurvor för några olika typer av fläktar som provats av Statens Jordbrugssteniske Forsøg i Danmark.

Många av kurvorna har ett tydligt ”knä”. I ett intervall med låga tryck är kapacitetskurvan ganska brant för att vid högre tryck bli mycket flack. Fläkten har då kommit utanför sitt arbetsområde och är egentligen ganska oanvändbar i detta område.

Normalt driftstryck för lantbruksfläktar

Lantbruksfläktar sitter normalt monterade i en fabriksstillverkad strömlinjeformad fläkttrumma. Normalt provkörs fläkten i trumman eftersom man då får mer realistiska värden än om fläkten bara skulle

sitta monterad i ett runt hål i en plan skiva. En välkonstruerad fläkttrumma förbättrar fläktens kapacitet och driftsegenskaper.

I anläggningar med fabriksstillverkade trummor och luftintag är normalt driftstryck för fläktarna ca 20 Pa. I anläggningar med platsbyggda trummor och kanaler krävs mycket högre tryck. Beroende på hur väl kanalerna är utformade ur strömningssynpunkt är det realistiskt att räkna med tryck på 60 till 120 Pa. Många av de fläktar, som är energieffektiva och optimerade för låga tryck, fungerar inte i en sådan anläggning.

Mått på energieffektivitet

Man kan inte jämföra fläktars energianvändning genom att titta på motorns märkplåt. Ofta anger den bara den effekt som går ut på drivaxeln. Strömförbrukning brukar också anges, men denna uppgift är bara ett maxvärde som skall användas för att dimensionera matningsledningar och säkringar. Värdet säger inte så mycket om elförbrukningen vid normal drift. För att på ett rättvisande sätt kunna jämföra olika fläktars energieffektivitet måste man ha tillgång till resultat från provningar, där man kört fläkten i en speciell provningsanläggning, där man kan mäta flöde och energianvändning vid olika tryck.

Som mått på energieffektivitet brukar man använda:

1. antal m³/tim luftflöde per watt inmatad eleffekt (ju högre värde desto bättre)
2. watt inmatad eleffekt per 1000 m³/tim kapacitet (ju lägre värde desto bättre)

När man jämför olika fläktar är det viktigt att energieffektiviteten mätts vid samma tryck. Bild 19 nedan visar energieffektiviteten för några olika fläktar (data från Sveaverken AB) vid olika tryck. Som synes får man ganska olika värden beroende på vid vilket tryck man jämför. Som jämförelsevärde bör man välja ett tryck som är realistiskt i en verklig anläggning. Man bör jämföra vid 20 Pa, men det förekommer både 10 Pa och friblåsande (0 Pa) i datablad för fläktar från olika fabrikanter.

I bild 19 syns några kurvor som viker brant uppåt vid höga tryck. Det betyder att fläkthjulet arbetar utanför sitt arbetsområde och då försämras energieffektiviteten drastiskt eftersom kapaciteten snabbt sjunker (jfr knäet på fläktkurvorna ovan).

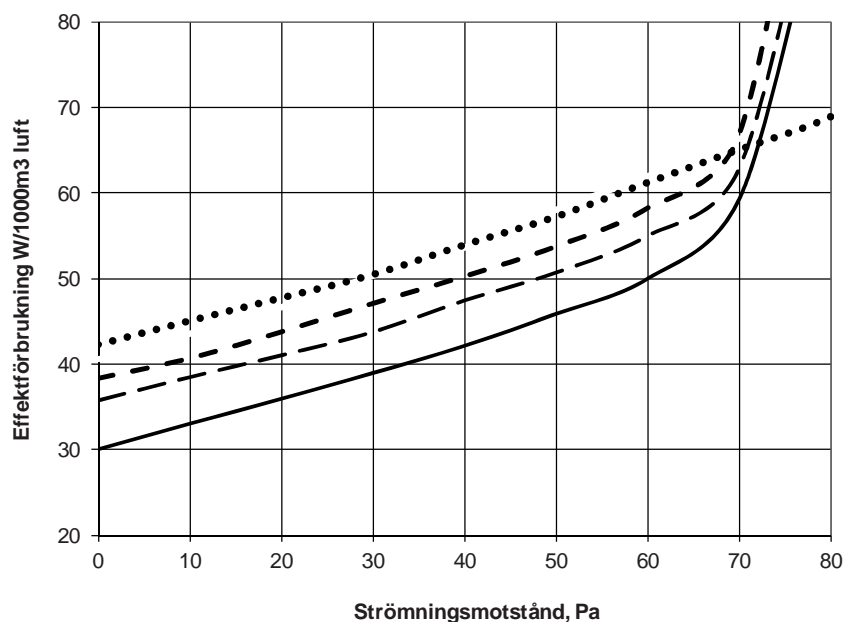


Bild 19. Exempel på energieffektivitetsdata för några olika fläktar vid olika tryck.

Kapacitetsreglering

Redogörelsen så här långt har gällt fläktar som går med full kapacitet. I en verklig anläggning behöver man kunna reglera kapaciteten med hänsyn till det aktuella ventilationsbehovet. En fläkts kapacitet kan styras genom att ändra dess varvtal eller med hjälp av ett reglerbart strypspjäll. Eftersom en normal ventilationsanläggning består av flera fläktar, kan man dessutom styra dess kapacitet genom att stänga av eller sätta på vissa fläktar. Det finns olika metoder för varvtalsreglering och olika principer för hur man bäst styr inkopplingen av fläktar.

För ett givet fläkthjul gäller att dess kapacitet är proportionell mot varvtalet. Det tryck fläkten levererar är dock proportionellt mot kvadraten på varvtal. Det betyder att om man halverar varvtalet så halveras flödet, men totaltrycket som fläkten skapar sjunker till en fjärdedel. När man reglerar ner en fläkt genom att minska varvtalet så minskar också dess tryckstabilitet snabbt. Ganska snart så är det inte fläktens varvtal utan andra faktorer som till exempel vindtryck och självdragseffekt som bestämmer flödet. Detta gäller oberoende av vilken metod för hastighetsreglering som används.

Det finns en tumregel som säger att man inte ska räkna med att använda mindre än 1/3 av maxkapaciteten för en varvtalsreglerad fläkt utan spjäll. Som tabell 1 med exempel från stallar med olika djurslag visar, är behovet av reglering mycket större än så. Lösningen är istället att använda strypspjäll och/eller olika kombinationer av fläktar för att uppnå ett tillräckligt stort reglerområde.

Spänningsreglering

Vanligen är lantbruksfläktar försedda med asynkronmotorer. De är försedda med fasta lindningar som med hjälp av växelströmmens spänningsväxling skapar ett roterande magnetfält. Genom induktion uppstår en ström i rotorn och därmed också ett magnetfält kring denna. Rotorn dras runt med en hastighet som är lite lägre (5 - 15 procent lägre) jämfört med magnetfältets rotationshastighet i statorn (bestäms av nätfrekvens och antal lindningar). Motorernas vridmoment beror på matningsspänningen. Om spänningen minskar blir motorn svagare och rotationshastigheten sjunker. Ju större skillnad i rotationshastighet mellan magnetfältet i statorn och rotorn, desto högre ström induceras i rotorn. Till slut blir strömmen så hög att en vanlig asynkronmotor överhettas och förstörs. Man kan dock göra reglerbara asynkronmotorer, som har en rotorkonstruktion som begränsar strömstegringen. Dessa motorer kan användas i spänningsreglerade fläktar, eftersom det moment som behövs för att driva runt fläkthjulet också minskar när varvtalet går ner.

Man kan reglera matningsspänningen till fläkten på olika sätt. Traditionellt har man använt transformatorer, som sänkt nätspänningen till en lägre nivå. Vanligast är stegtransformatorer med upp till tre eller fyra fasta spänningsnivåer. Det har också funnits mekaniskt styrda vridtransformatorer med steglöst reglerbar utspänning. Det går åt mycket koppartråd och järnplåt i en transformator och sådana transformatorer har därför blivit en allt dyrare och ovanligare lösning. De används dock fortfarande för en del små fläktar.

En annan metod är att sänka den effektiva spänningen genom att ”klippa” bort delar av växelspänningen med en halvleder-strömbrytare (triac). Denna metod brukar kallas fasvinkelstyrning eller triacreglering.

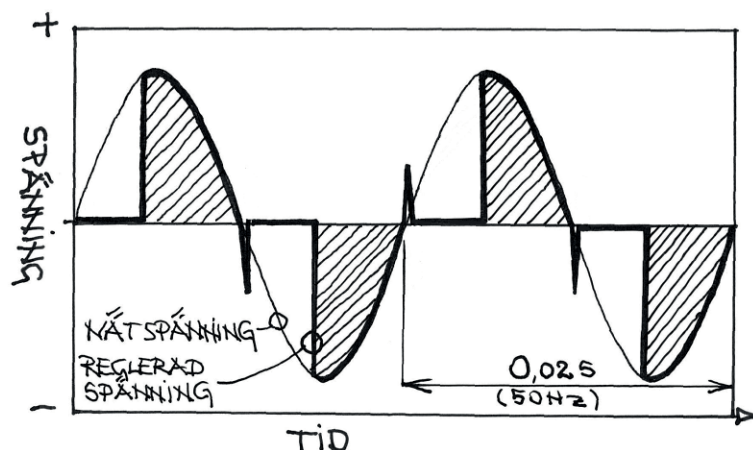


Bild 20. Principen för spänningsreglering med triac. Nätspänningen varierar enligt en sinusformad kurva från negativ till positiv spänning 50 gånger per sekund. Den effektiva spänningen (som en motor påverkas av) är proportionell mot arean mellan spänningskurvan och nollinjen. Genom att med hjälp av en triac bara släppa fram ström under en begränsad del av varje period blir den effektiva spänningen lägre, eftersom arean (streckad) är mindre. Motorn är så "trög" att den inte reagerar på de korta avbrotten utan bara på att den i medeltal får lägre spänning.

Ju mer man reglerar ner spänningen till en asynkronmotor desto långsammare roterar den. Det betyder att rotorns eftersläpning i relation till nätfrekvensen ökar och därmed ökar också effektförlusterna i rotorn. Vid varje spänningstillslag uppstår dessutom ett kort elektrisk störning, som inte kan utnyttjas av motorn utan måste filtreras bort. Ju lägre hastighet blir desto sämre blir därför verkningsgraden.

Frekvensreglering

Frekvensreglering bygger på att man styr växelströmmens frekvens istället för dess spänning. Det gör att asynkronmotorns verkningsgrad inte försämras när rotationshastigheten minskar, eftersom rotorns eftersläpning i förhållande till växelströmmens frekvens är den samma. Man kan inte påverka nätfrekvensen, utan man driver istället motorn med en konstgjord växelspanning med önskad frekvens.

Den vanligaste metoden som används i frekvensomriktare är att göra om nätströmmen till spänningspulser som man med hjälp av elektroniska strömbrytare släpper fram till motorn. Pulserna kommer mycket tätt, ca 2000 ggr per sekund. Pulserna släpps fram i skurar med uppehåll mellan. Motorn reagerar inte på de enskilda pulserna utan på medelvärdet över tid. Genom att fördela pulserna på ett lämpligt sätt kan man få ett medelvärde, som följer en sinuskurva med önskad frekvens. Fördelen med detta system är att motorn arbetar med normal eftersläpning i förhållande till matningsspänningens frekvens. Nackdelen är att varje snabb puls ger upphov till en högfrekvent elektrisk störning, som fortplantar sig ut i elanläggningen där den till exempel kan störa datorer, mätgivare och ge upphov till vagabonderande strömmar. För att minimera dessa problem är det mycket viktigt att utrustningen installeras på rätt sätt med störningsfilter och skärmade kablar mellan frekvensomriktare och motor.

För att det hela skall fungera bra, måste styrutrustningen trimmas in mot varje motor. Det är inte alla asynkronmotorer som kan frekvensregleras. De högfrekventa spänningspulserna ställer bland annat särskilda krav på isoleringen i motorns lindningar, för att man inte skall få problem med överslag och kortslutning.

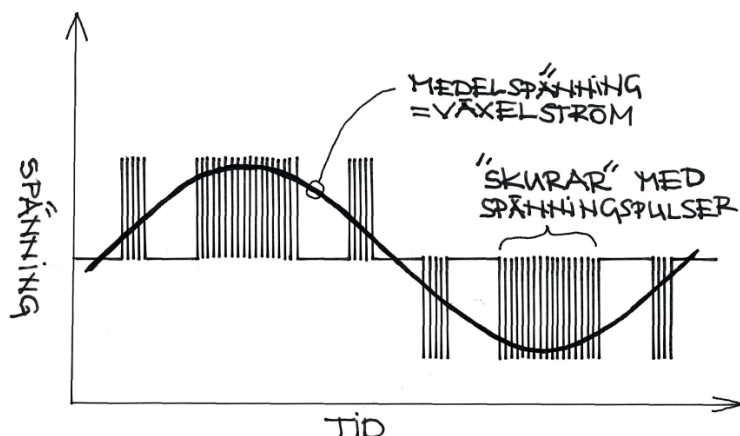


Bild 21. Frekvensreglering bygger på att man skapar en konstgjord växelspanning med hjälp av skurar av spänningspulser.

Andra typer av elektronisk varvtalsreglering

Det finns ett fabrikat av frekvensomriktare som inte använder spänningspulser utan istället skapar en kontinuerlig sinusspanning av samma karaktär som den vanliga nätspänningen. Denna typ är något dyrare, men man slipper problemet med störningar och behöver inte använda skärmade kablar.

Det finns också fläktmotorer med inbyggd styrelektronik, som skapar ett elektroniskt styrt roterande magnetfält i motorn. Eftersom man kan styra magnetfältets rotationshastighet, kan man också styra motorns varvtal. En sådan motor är dyrare än en vanlig men mycket energieffektiv.

Energisignatur för fläktar med olika typer av varvtalsreglering

En så kallad energisignatur ger en översiktlig bild av en reglerbar fläkts energieffektivitet, när den körs med olika kapaciteter. Den horisontella axeln visar ventilationsflödet från noll upp till 100 procent av maxflödet. Den vertikala axeln visar fläktmotorns effektförbrukning i procent av förbrukningen vid 100 procent flöde. Det teoretiskt optimala sambandet mellan dessa två storheter är inte en rät linje utan en konkav. Det beror på att när luftflödet ökar, ökar också lufthastigheten genom fläkten. Det medför i sin tur att det dynamiska tryck, som fläkten måste skapa, ökar med kvadraten på hastigheten.

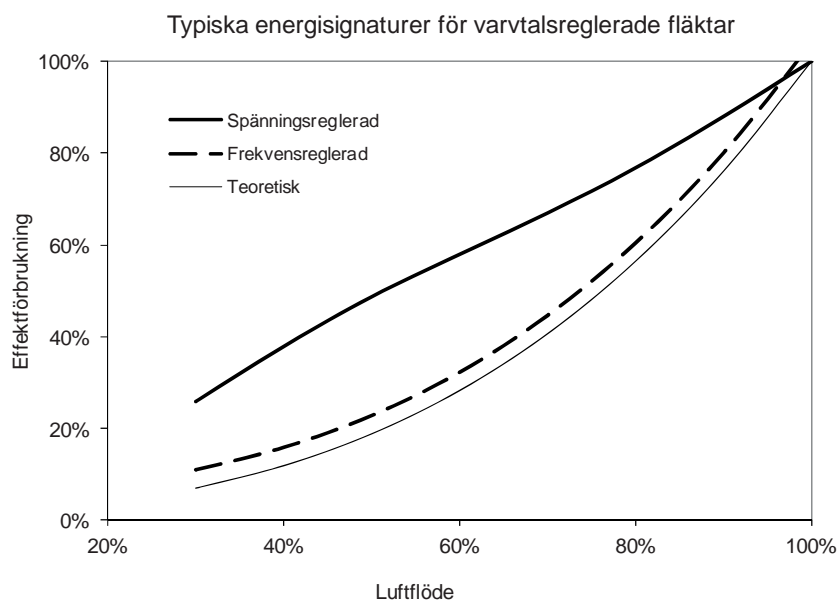


Bild 22. Energisignaturen visar fläktens effektbehov i förhållande till luftflödet. Med frekvensreglering ligger effektförbrukningen något högre än den teoretiska på grund av förluster i elektronik och filter. För en spänningsreglerad asynkronmotor ökar energiförlusterna i motorn, när varvtalet sjunker.

För en frekvensreglerad asynkronmotor påverkas inte motorns verkningsgrad av varvtalet, däremot förbrukar frekvensomriktaren hela tiden lite energi, ca 3-5 procent av märkeffekten. Kurvan för en frekvensreglerad fläkt ligger därför strax över den teoretiska kurvan för en fläkt utan reglerförluster. När det gäller en spänningsreglerad asynkronmotor så ökar förlusterna i motorn ju lägre rotationshastigheten blir i förhållande till det synkrona varvtalet (bestäms av nätfrekvensen). Vid låga flöden ligger därför kurvan högt och effektbehovet är 2-3 gånger större än den teoretiska.

Eftersom frekvensreglering ger en mycket energieffektivare varvtalsreglering, så kan detta alternativ framstå som det självklara valet. Det finns dock andra faktorer som komplicerar det hela. En sådan är att det inte räcker med enbart varvtalsreglering för att reglera ner kapaciteten tillräckligt mycket i stallventilationsanläggningar. Eftersom fläktarna arbetar med så låga tryck (vilket är bra ur energisynpunkt) så blir de känsliga för störningar i form av självdragseffekt och yttre vindtryck. En erfarenhetsregel säger att man inte kan räkna med att reglera ner kapaciteten till mindre än 1/3 av maxkapaciteten, vilket inte är tillräckligt i relation till det reglerintervall som behövs. Lösningen är antingen att utöka reglerintervallet för den enskilda fläkten med hjälp av strypspjäll eller att använda en kombination av flera fläktar som stängs av eller sätts på allt efter behovet.

Energisignatur för fläktar med strypspjäll

Med hjälp av strypspjäll som ökar strömmingsmotståndet kan luftflödet nästan regleras ned till noll. Det behövs dock ett visst flöde för att kyla fläktmotorn så den inte överhettas. Minsta användbara flöde är 5-10 procent av maxflödet.

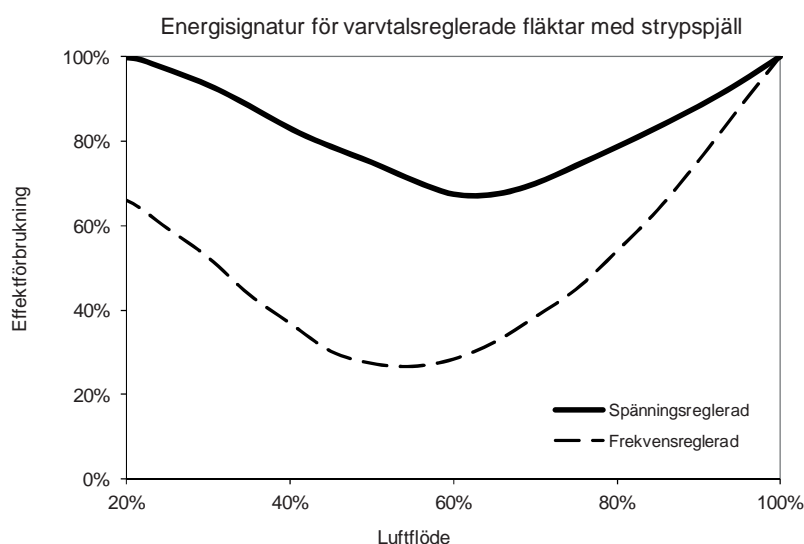


Bild 23. Energisignaturer för olika typer av varvtalsreglerade fläktar med strypspjäll.

Nackdelen med strypspjäll är att de ger mycket stora energiförluster. Det är som om man skulle reglera hastigheten på en bil med hjälp av bromsen istället för med gasen. Energisignaturerna i bild 23 visar att strypspjäll kraftigt försämrar energieffektiviteten för både spänningsreglerade och frekvensreglerade fläktar.

Kapacitetsreglering i anläggningar med flera fläktar

Om ventilationsanläggningen består av flera fläktar, kan man också reglera kapaciteten genom att stänga av och sätta på fläktar. Fördelen är att avstängd fläkt inte drar någon ström alls. Nackdelen är de snabba luftflödesändringar som uppstår när en fläkt stängs av eller sätts på. Dessa svängningar kan medföra drag och kallras i samband med omställningen. Dessa nackdelar är mest uttalade vintertid, när flödet skall vara litet och den luft som kommer in är mycket kallare än stalluften. Det finns några olika principer för hur man kan reglera luftflödet i stallet genom att kombinera varvtalsreglerade fläktar och stegfläktar.

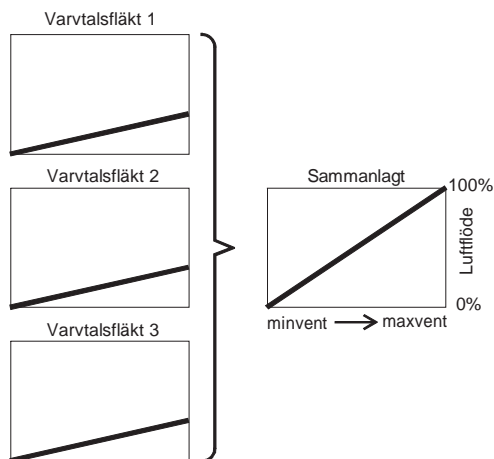


Bild 24. Alla fläktar går samtidigt

En princip är att enbart använda varvtalsreglerade fläktar och att låta alla fläktar gå hela tiden.

Fördelen är att man får en mycket jämn flödesreglering från minimiventilation till maxventilation.

Precis som med en enstaka varvtalsreglerad fläkt så måste man använda strypspjäll för att komma ner i tillräckligt låg minimiventilation. Strypspjäll medför dock stora energiförluster och energieffektiviteten för denna typ av anläggning är dålig - särskilt när fläktarna är spänningsreglerade. Om istället frekvensreglerade fläktar används kan energiförbrukning ofta halveras jämfört med det sämsta alternativet.

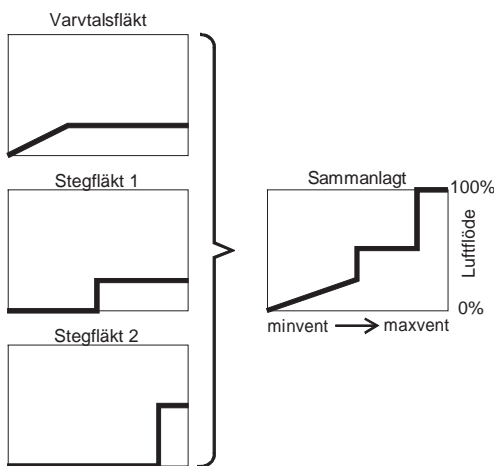


Bild 25. Fast kombination av varvtalsreglerad och fasta fläktsteg.

I detta alternativ använder man enbart en (ibland flera) varvtalsreglerade fläktar när ventilationsbehovet är litet. När denna fläkts kapacitet inte längre räcker till kopplar man in stegfläktar enligt ett fast schema.

Fördelen är att man får en energieffektiv ventilationsanläggning eftersom stegfläktarna inte drar någon ström alls när de står stilla och den ineffektiva varvtalsfläkten bara står för en mindre del av den totala kapaciteten.

Vid låga flöden är kapacitetsreglering jämn och fin, men när det blir varmare och det behövs större flöde uppstår störningar i samband med att fläktsteg stängs av och sätts på.

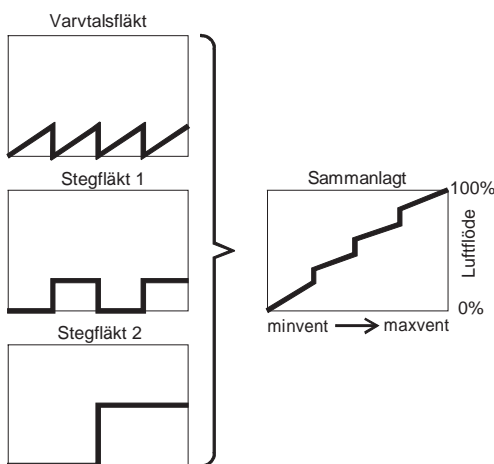


Bild 26. Smartstyrning med en kombination av varvtals- och stegfläktar

I detta alternativ kombinerar man en (ibland flera) varvtalsreglerad fläkt med stegfläktar. Datorn i reglercentralen väljer den optimala kombinationen av stegfläktar och styr den steglösa fläkten så att det sammanlagda luftflödet svarar mot det aktuella ventilationsbehovet.

Fördelen är att man får en energieffektiv ventilationsanläggning eftersom stegfläktarna inte drar någon ström alls när de står stilla och den ineffektiva varvtalsfläkten bara står för en mindre del av den totala kapaciteten.

Man får en nästan lika jämn kapacitetsreglering som i det system där alla fläktar går kontinuerligt, men energiförbrukningen blir mycket lägre.

På samma sätt som för en enskild fläkt, kan man få en energisignatur för en hel anläggning genom att ta hänsyn till hur de olika fläktarna arbetar och sedan summera deras effektbehov.

När man tittar på energisignaturer för hela anläggningar, så visar sig att även om frekvensreglering är mycket energieffektivare än spänningsreglering, så medför strypspjällen så stora energiförluster att alternativen med enbart kontinuerligt gående fläktar fortfarande är ogynnsamt ur energisynpunkt. Man bör därför alltid sträva att använda fläktar med strypspjäll i så liten utsträckning som möjligt.

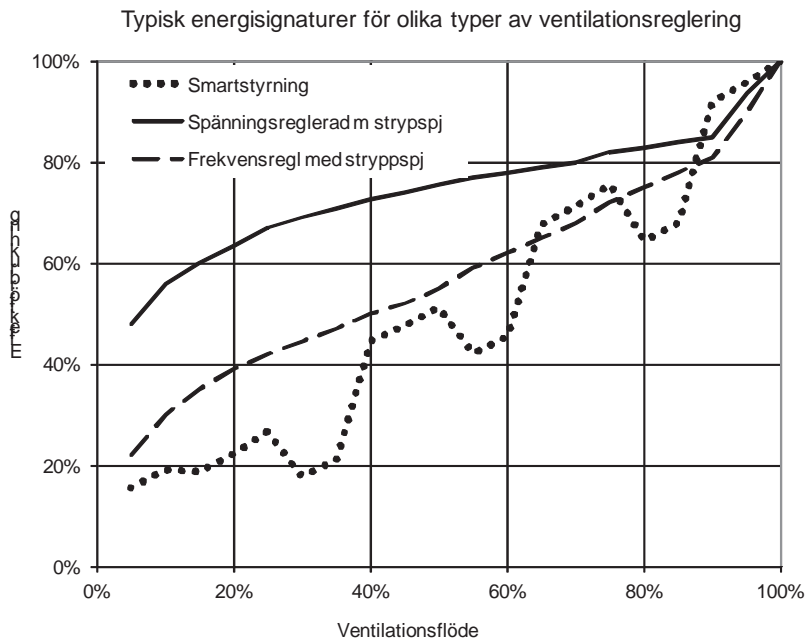


Bild 27. Exempel på energisignaturer för olika principer att styra kapaciteten i ventilationsanläggningar med flera fläktar. Energisignaturen för anläggningar med smartstyrning kommer att se lite olika ut beroende på hur många fläktar som används och stor andel som den steglösa delen utgör.

Energiförluster i anläggningen

Efter att ha redogjort för energiförlusterna vid fläkthjulet och fläktmotorn, är det nu dags för ytterligare en förlustpost, nämligen strömningsförlusterna. Dessa är av samma storleksordning som för fläkthul och fläktmotor (se bild 15), men glöms ofta bort. Vissa strömningsförluster är oundvikliga, medan många andra kan undvikas genom projektering, byggande, installation och regelbundet underhåll.

Grundprinciperna att uppnå ett lågt strömningsmotstånd är:

- Lägsta möjliga lufthastighet. 2-3 m/s är att föredra, men ibland måste man gå upp till ca 10 m/s, till exempel i fläktrummor.
- Rejält avrundade kanter vid inlopp till exempel i fläktrummor eller luftintag
- Undvik riktningförändringar och om de är oundvikliga – se framför allt till att innerhörnen är avrundade
- Undvik nät och galler i luftströmmens väg
- Stag, spjäll och dylikt skall vara så tunna som möjligt och vara vända med den tunna sidan mot luftströmmen.
- Insidan på trummor och kanaler där luften strömmar fram, skall vara så slät som möjligt.
- Fläktblad skall vara släta och rena.
- Man bör inte ha tak eller huvar framför fläktrumornas utlopp. Om det inte går att undvika är det viktigt att kanterna är rundade och att det finns gott om plats för luften, när den skall byta riktning för att komma ut förbi taket eller huven.

Lufthastigheten från luftintagen bör vara så hög att kallras undviks. Det medför att intagen alltid ger upphov till en viss strypning och därmed ett visst strömningsmotstånd. Luftintag som hämtar luft från vind eller liknande bör vara dimensionerade för att ge full kapacitet vid ca 10 Pa. Luftintag i yttervägg kan behöva större undertryck, ca 20 Pa, för att minska störningar orsakade av yttre vindpåverkan.

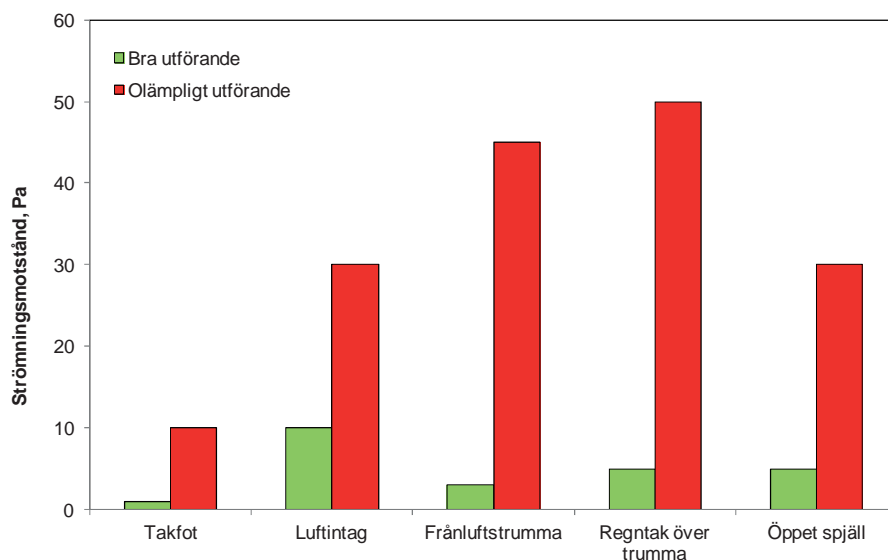


Bild 28. Exempel på strömningsförluster i olika delar av en ventilationsanläggning. I allmänhet medför platsbyggda lösningar större strömningsförluster jämfört med fabriktillverkad strömlinjeformad utrustning.

Exempel på detaljer som ger onödiga energiförluster



Bild 29. Kraftigt ökade strömningsförluster p.g.a. nedsmutsade galler och skräp framför öppning.



Bild 30. Nedsmutsade skyddsgaller som stryper luftflödet och ökar energiförbrukningen.



Bild 31. Trång huv framför utblås ger onödig strypning.



Bild 32. Vippspjäll på stegfläkt skall antingen vara helt stängt eller helt öppet. Detta spjäll har fastnat i ett mellanläge och ger onödigt motstånd.



Bild 32. Platsbyggd takhuv med vassa kanter och trångt utlopp som stryper luftströmmen.



Bild 33. Fastrostat och trasigt jalousispjäll ger onödiga strömningsförluster.

Åtgärder för energibesparing i ventilation - en sammanställning

Inställningar, skötsel och underhåll

1. Regelbunden rengöring

Regelbunden rengöring minskar strömningsförluster.

Minst en gång per år bör man gå igenom ventilationsanläggningen och rengöra fläktarna och kanaler. Rör och kanaler som används för lågevaktering brukar snabbt (6-12 månader) få tjocka beläggningar, som med tiden täpper igen dem helt. Om luften tas in via vinden brukar det finnas ett nät i takfoten. Se till att detta nät inte blir igensatt med maskrosfrön, tistelfrön och annat skräp.

Rengöring är också viktig för den typ av diffus ventilation där tilluften passerar genom en textilduk eller filt-matta. Duken eller mattorna behöver rengöras eller bytas ut årligen.

2. Kontrollera spjäll och luftintag

Se till att alla spjäll rör sig som de ska och kan öppna helt. Man bör också kontrollera och justera alla luftintag så att de kan öppnas i takt med att ventilationsflödet ökar. Kontrollen görs samtidigt med rengöringen.

3. Kontrollera styrning och givare

Temperaturgivare ska placeras så att den mäter en representativ temperatur nära djuren. Kontrollera temperaturgivaren genom att värma den med handen och lyssna på fläktarna om ventilationsflödet ökar.

4. Punktera inte undertrycksventilationen

För att säkra en jämn lufttillförsel så är det viktigt att det finns ett lagom undertryck som gör att avsett luftflöde finns i alla luftintag. Låt inte foderintag, dörrar och andra öppningar stå öppna, eftersom det gör att undertrycket minskar eller helt upphör. Då slutar luften att komma in genom luftintagen. En dörr på glänt kan också orsaka drag på djuren.

Ombyggnad och komplettering

5. Samreglera ventilation och värme

Om man använder tilläggsvärme i stallen, så är det viktigt att den samregleras med ventilationen så att värmen bara är på när ventilationen går på minimikapacitet. Annars leder ett för stort ventilationsflöde till onödig värmeförlust. Om det till exempel är +15 °C inne och -15 °C ute, så medför 1000 m³/tim onödig ventilation att man måste tillföra 10 kW extra värme för att hålla samma stalltemperatur. Riktvärde: Det åtgår 0,33 kWh för att höja temperaturen 1 grad i 1000 m³ luft.

Om man har en fuktsensor kan värmen i stallet sättas på när det blir för fuktigt i stallet.

6. Förbättra systemet för kapacitetsreglering

I system, där alla fläktar är spänningsreglerade och går samtidigt samt är försedda med strypspjäll, blir energianvändningen hög. Den kan man minska genom att sätta in frekvensreglerade fläktar eller genom att använda en reglercentral som kan smartstyra fläktarna. I allmänhet är det mindre kostsamt att byta till smartstyrning jämfört med att förse alla fläktar med frekvensreglering, eftersom denna typ av reglering ofta också kräver utbyte av fläktarna.

7. Bygg om för att minska strömningsförlusterna

Om befintliga kanaler eller trummor inte är strömlinjeformade utan har vassa inlopp, skarpa hörn och strömningshinder kan man minska förlusterna genom att sätta in moderna trummor.

I gamla system där man fördelar tilluften med vävkanaler och som är försedda med tilluftsfläktar blir strömningssmotståndet stort. Beroende på hur stallet är utformat kan man ibland spara energi genom att byta till en annan typ av tilluftsdon med lägre motstånd. Ibland kan man även minska förlusterna genom att byta eller ta bort trånga ventilationshuvar och tak ovanför ventilationstrummor.

Gamla spjäll har ofta dålig funktion och öppnar inte som de ska. Ett utbyte ger både bättre funktion och mindre strömningsförluster.

8. Byt ut gamla fläktar

Om man har fläktar som är äldre än 20-25 år är det värt att undersöka hur mycket energieffektiviteten förbättras genom byte till moderna fläktar. Högvarviga, extra tryckstarka fläktar (1400 r/m) kan behövas för lågevakuering eller i anläggningar med kanalsystem, men i andra fall kan man spara energi genom att ersätta dem med lågvarviga fläktar (900 r/m eller lägre). Små fläktar är inte lika energieffektiva som stora. Ta reda på fläktdata och jämför.

Val av system i nya stallar

9. Försök välja naturlig ventilation

Om man skall bygga nytt kan man ibland minska energibehovet genom att välja ett system som bygger på naturlig ventilation. För djurslag som har höga krav på jämt stallklimat och hög stalltemperatur passar dock inte naturlig ventilation eftersom det är mycket svårare att hålla en jämn stalltemperatur och undvika överventilation, vilket medför onödig användning av tilläggsvärme.

10. Välj undertrycksventilation framför neutraltrycksventilation

Om det krävs fläktventilation, bör man om möjligt välja undertrycksventilation. Neutraltrycksventilation använder mer energi, eftersom det används fläktar för både tilluft och frånluft.

11. Använd frekvensreglerade och/eller smartstyrda fläktar för kapacitetsreglering.

När det gäller system för kapacitetsreglering så är frekvensreglerade fläktar bättre än spänningsreglerade, men framför allt skall man minimera antalet fläktar med strypspjäll.

12. Titta på fläktens energivärden, men glöm inte övriga egenskaper

När det gäller att välja fläktar skall man inte bara titta på värdena för energianvändning utan också ta hänsyn till andra egenskaper som tryckstabilitet och buller.

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 5

Ventilation i djurstallar

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 6

Belysning

2013



David Hårsmar, Rådgivarna i Sjuhärad



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Författare till detta avsnitt är **David Hårsmar**, teknikagronom och energirådgivare hos Rådgivarna i Sjuhärad.

För redigering och en del kompletteringar svarar **Lars Neuman**, energi- och teknikerådgivare, LRF Konsult.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölknings
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet

Innehåll	sida
Inledning	4
Belysningens andel av energianvändningen	4
Sparåtgärder för belysning	5
Bakgrundsfakta om belysning	6
Grundbegrepp för ljus och deras enheter	6
Begreppet armatur	9
Andra viktiga begrepp	10
Behov av ljus	11
Människans behov av ljus	11
Djurens behov av ljus	12
Ljuskällor	14
Indelning	14
Viktiga egenskaper hos en ljuskälla	15
EU-direktiv - utfasning av lamptyper	16
Glödljus	16
Urladdningsljus - lysrörslampa och kompaktlysrör	16
Urladdningsljus - lysrör	17
Urladdningslampor, högtrycksljus	20
LED-belysning	20
Induktionslampor	22
Styrning av belysning	22
Att välja belysning	24
Rengöring och service	25
Kort om ljusberäkning i stallar	25
Tips och råd vid energikartläggning	27
Åtgärder för energibesparing inom belysning	28
Referenser i urval	30
Internetlänkar	30

Inledning

Någon typ av belysning är i de allra flesta byggnader ofrånkomligt. Ljuset behövs för att kunna vistas och arbeta i byggnaden även under dygnets och årets mörkare stunder. Dagsljusinsläpp minskar behovet av belysning men kan inte helt ersätta. Alternativet till belysning skulle kunna vara att förse alla som behöver kunna se – djur som människor – med pannlampa att använda vid behov.

Ljus behövs dock inte bara för att vi skall kunna se vad vi för ögonblicket håller på med utan spelar även en viktig roll för det allmänna välbefinnandet och för fertiliteten. Det är här som idén med pannlampa slutligen faller...

Det tydligaste exemplet på ljusets påverkan på biologin är hönans äggproduktion. Produktionen sker endast då dagslängden är den rätta, vilket innebär att det i stallbyggnader för höns ständigt måste vara "vår" för att det skall bli några ägg. Eftersom ljuset spelar en viktig roll för produktionen (i olika hög grad för olika djurslag) så måste åtgärder inom belysning i stallar ske med kännedom om djurens behov.

Forskning om hur ljuset påverkar djuren pågår ständigt och det finns inte alltid entydiga besked om vilket typ av ljus som är bäst. Även den mängd ljus som behövs för att uppnå resultat samt hur dygnsrytm skall regleras finns det olika bud om. I detta kapitel finns fakta med reservation för ny kommande kunskap och skilda åsikter i frågan.

Tekniken för att alstra ljus är även den i ständig utveckling. Nu läggs mycket resurser på utveckling och marknadsföring av olika lösningar baserade på LED-tekniken. LED ses som den självklara ljuskällan inom några år men det är i nuläget brist på erfarenhet och kunskap. Dagens prisnivåer kommer troligen pressas ner samtidigt som helt nya idéer om hur belysning kan utformas kommer uppträda.

Belysningens andel av energianvändningen

Av den energikartläggning som LRF genomförde 2008 kan man utläsa att belysningen kräver i medeltal 0,028 kWh el per kg mjölk men att variationen mellan olika mjölkföretag är stor. Andelen el som går till belysning ligger i detta material (omfattar 23 mjölkföretag med lösdrift) på mellan 7 – 41 procent av den totala energianvändningen i och omkring stallarna. Som medel ligger andelen på 19 procent

På liknande sätt kan man i materialet se att belysningen står för i medeltal 1,7 kWh per slaktsvin. Belysningens andel av den totala energin varierar mellan 2 – 17 procent men som medel 6 procent (vägt medelvärde).

Per producerad smågris utgör belysning i medeltal 8,3 kWh. Belysningens andel är här 4 – 29 procent med ett (vägt) medel på 18 procent.

För äggproduktion och kycklinguppfödning är underlaget begränsat och belysningens andel av energianvändningen per ägg spänner mellan 4 – 54 procent.

För kyckling ligger belysning på 11 procent av den totala energianvändningen, men av elförbrukarna är energiandelen hela 73 procent. Dessa siffror baseras dock på endast en mätning.

Sparåtgärder för belysning

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att dela in åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra. De lättaste är de som handlar om rutiner och beteende, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Det är åtgärder som inte behöver planeras väl och de behöver inte medföra kostnader, möjligen lite extra tid. Lönsamheten behöver sällan diskuteras. Att släcka belysningen som inte behövs är en sådan åtgärd. Vi kallar det åtgärder på den första nivån.

Andra åtgärder kan kräva inköp eller utbyte av utrustning och komponenter. Alltså medför de kostnader och då är det bra att räkna på lönsamheten. Exempel på det är att byta ljuskällor, t.ex. att byta glödlampor mot lågenergilampor eller LED-lampor. Ett annat exempel är att installera ljusrelä och tidur för att automatiskt styra belysningen. Vi kallar det åtgärder på den andra nivån.

Slutligen finns det åtgärder på en tredje nivå, som kräver större investeringar och innebär byte av system och som behöver planeras väl. En lönsamhetskalkyl bör ligga till grund för investeringen.

Nedan sammanfattas de vanligaste åtgärderna som kan ge energieffektivare belysning helt kort. En sammanställning av åtgärderna finns på sida 26. Beskrivningar och motiveringar finns i texten.

Inställningar, skötsel och underhåll

1. Ta reda på behovet av ljus i olika delar av byggnaden
2. Rengör fönster för att dra nytta av naturligt ljus.
3. Rengör armaturer
4. Rengör väggar och tak så att ljuset reflekteras
5. Släck belysning som inte behöver vara tänd!

Ombyggnad och komplettering

6. Styr belysning (automatisera)
 - a) Tid
 - b) Närvaro
 - c) Ljus
7. Gruppera (dela upp i armaturer i mindre grupper för att kunna tända bara där det behövs)
8. Dimmer-system
9. Byt ljuskälla eller armatur
10. Använd ledbelysning där det går

Val av system i nya stallar

11. Välj belysning utifrån livscykelkostnaden (LCC)
12. Begär ljusberäkning och garanti på uppnådd ljusnivå
13. Planera för naturligt ljus
14. Val av färger och ytor

Bild 1.

Åtgärd på nivå ett bör sättas in.



Bakgrundsfakta om belysning

Vad är ljus?

Synligt ljus (eller helt enkelt ljus) är elektromagnetisk strålning, som är synlig för det mänskliga ögat. Ljus har en våglängd mellan cirka 390 och ca 700 nanometer. 1 nanometer (nm) är en miljondel av 1 mm. Tack vare ljus kan vi se vår omgivning där ljuset reflekteras och upptas av ögat. Strålning närmast under 390 nm och närmast det violetta i det synliga ljuset, kallas ultraviolett ljus, UV-ljus. På andra sidan det synliga spektret finns den infraröda strålningen, IR-strålning, som vi människor inte ser men kan uppfatta som värmestrålning.

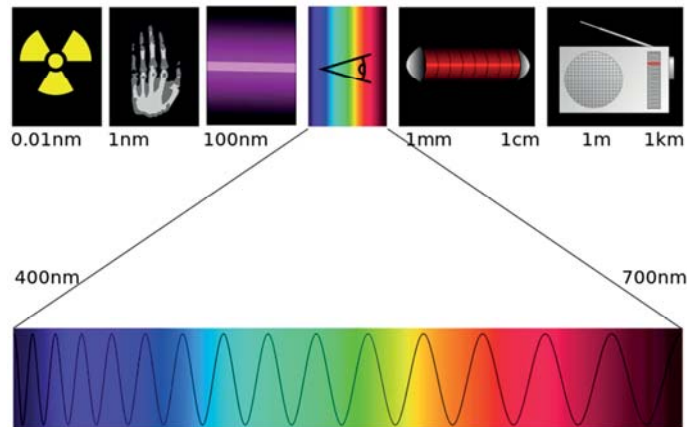


Bild 2. Det synliga ljuset är det spektrum av elektromagnetisk strålning som har en våglängd av ca 390 - 700 nm.

Grundbegrepp för ljus och deras enheter

Effekt, watt (W)

Själva ljuskällan är i sig märkt med ett visst antal watt (W), vilket anger hur mycket energi som den använder per tidsenhet. För de flesta moderna ljuskällor tillkommer även egenförbrukning (effektför-lust) i den elektronik som behövs för att ljuskällan skall fungera. Den sammanlagda effekten brukar kallas *systemeffekt*. För en hel belysningsanläggning i till exempel en avdelning i stallen brukar man istället använda begreppet *installerad effekt*, vilket är samma sak.

Ljusflöde, lumen (lm)

Lumen är ett mått på den totala mängden (för människan) synligt ljus som strålar ut från en ljuskälla. Lumen grundar sig alltså på det mänskliga ögats känslighet för ljusets olika våglängder. Eftersom fåglar har ett synsinne som avviker på flera punkter från människans så säger inte lumen hela sanningen om vilket ljus som t.ex. hönan uppfattar. För växters fotosyntes är "vanliga" lumen ännu mindre relevant utan istället handlar det här om hur mycket "PAR" (Photosynthetically Active Radiation) som en ljuskälla kan ge.

Att enbart jämföra lumen mellan olika ljuskällor kan vara missvisande eftersom ljuskällan i de flesta fall placeras i en armatur som ljuset måste ta sig ut ur. *Armaturlumen* är ett därför ett bättre begrepp som anger hur mycket ljus som kommer ut. Denna uppgift är dock svårare att få tag i och kommer naturligtvis att bero både på armaturens design och på materialval samt på själva ljuskällan.

Ljusutbyte, lumen per watt (lm/W)

Ljusutbytet anger hur mycket ljus man får per watt elektrisk effekt. Det är därför ett mått på energieffektivitet. Normalt finns denna uppgift endast för själva ljuskällan. Ett vanligt förekommande lysrör

ger till exempel 5 200 lumen och är märkt 58 W. Ljusutbytet är därmed 90 lm/W. Om man istället använder ljusflöde som når ut ur armaturen (armaturlumen) samt även räknar med den totala elektriska effekt som krävs för att driva lysröret, blir istället ljusutbytet ca 60 lm/W.

Belysning/ belysningsstyrka, lux (lx)

Belysningsstyrka definieras som ljusflöde per ytenhet. 1 lux (lx) är detsamma som 1 lumen per kvadratmeter (1 lm/m²). En sommardag ligger belysningen kring 20 000 lux och i direkt solljus ända upp emot 80 000 lux. Rekommendationen för arbete i stallar är en belysningsstyrka på 150 – 500 lux.

Eftersom belysningen (lux-talet) beror av ljusflödet (som mäts i lumen) och detta är definierat för det mänskliga ögats känslighet för olika frekvenser, så uppstår även här behovet av en särskild benämning på belysningsstyrkan för bland annat fjäderfä – som då benämns ”gallilux”.

Bild 3. Belysningen mäts med en ljusmätare (lux-meter).

I detta fall är det en mätare som är framtagen för att mäta gallilux – belysningen så som den upplevs av fjäderfä.



Färgtemperatur, Kelvin (K)

Ljuskällans färgtemperatur anges i Kelvin och är ett objektiva begrepp, som ger en uppfattning av hur olika ljus upplevs. En färgtemperatur under 3300 K brukar kallas ”varmvit” och ligger värdet över 5300 K kallas det för ”kallvit” (ofta även benämnt ”dagsljus”). Däremellan heter det ”vit”. Istället för benämningen färgtemperatur ses i tabeller även ”CCT” (Correlated Color Temperature).

Tabell 1. Exempel på färgtemperatur och färgåtergivning för olika ljuskällor.

(Källa: Annell ljuskompedium 2011 och wikipedia.org)

Ljuskälla	Färgtemperatur, Kelvin (K)	Färgåtergivning, Ra-index
Solljus	> 5 500 K	100
Glödlampor	2 700 K	100
Halogenlampor	3 000 K	100
Lysrör – Dagsljus/Kallvit	> 5 300 K	80 – 95
Lysrör – Varmvit	< 3 300 K	80 – 95
Kviksilverlampor	3 000 – 6 500 K	50 – 60
Metallhalogenlampor	3 000 – 4 200 K	> 85
Högtrycksnatriumlampor	2 000 – 2 800 K	20 – 70
LED-belysning	3 000 – 5 300 K	70 – 90
Induktionsbelysning	2 700 – 6 500 K	> 80

Färgåtergivning. "Ra-index" eller "CRI" (enhetslös)

Ett Ra-index med värdet 100 är per definition "perfekt" färgåtergivning och detta gäller bland annat för en vanlig glödlampa. Detta beror på att lampor med glödtråd, liksom solen, ger upphov till ett ljus med kontinuerligt spektrum. Ra står för "Rendering Average" och CRI för "Colour Rendering Index".

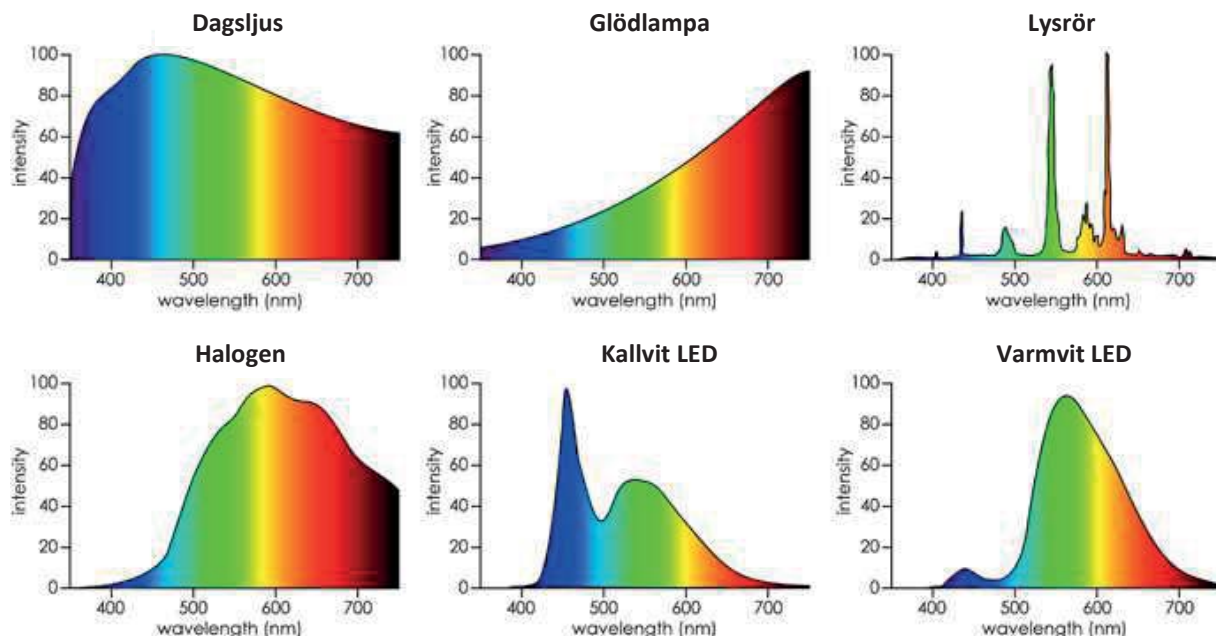


Bild 4. Exempel på ljusspektrum för några olika ljuskällor. En ljuskällas ljusspektrum (spektralfördelning) avgör hur ljuset sedan beskrivs avseende färgtemperatur och färgåtergivning. Det för människan synliga ljuset finns i våglängdsområdet från ca 400 till ca 700 nm. (Källa: <http://housecraft.ca/>)

Livslängd

Livslängden är olika för belysningens olika komponenter. Eftersom själva ljuskällan är den som oftast har kortast livslängd är det denna man normalt syftar på. Värt att tänka på är dock att för LED-belysning är ljuskällan inte sällan fast monterad i armaturen, vilket kan innebära att hela armaturen måste bytas, när själva dioderna har slocknat.

En vanlig definition på livslängd är det antal drifttimmar man kan förvänta sig innan hälften av alla lampor har slocknat. Om man skall jämföra olika ljuskällor och typer av ljus mot varandra är det såklart viktigt att uppgift om livslängd är definierad på samma sätt.

Den mest användbara definitionen av livslängd i dessa sammanhang brukar kallas "L70" vilket är det antal drifttimmar efter vilka normalt 70 % av det totala initiala ljusflödet återstår. Då tar man hänsyn både till lampbortfall och också det faktum att ljusflödet från varje ljuskälla minskar något med tiden.

"Service Life" eller på svenska *servicelivslängd* bygger på samma tankesätt men med den skillnaden att tiden anges då 80 % av det initiala ljusflödet återstår.

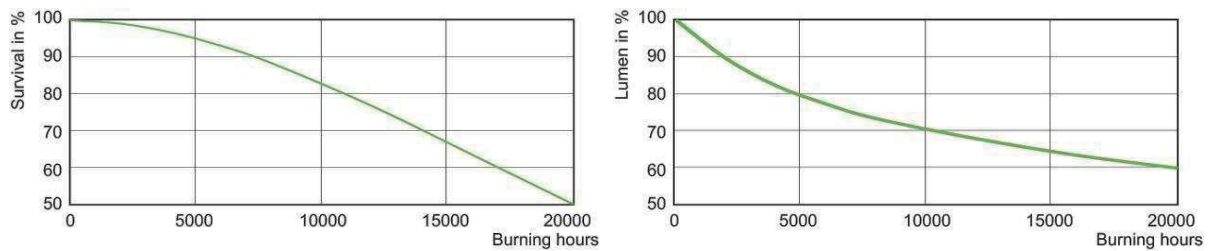


Bild 5. Dessa två diagram finns ofta i ljuskällans datablad. Om inte, så återfinns uppgifter i någon typ av enklare tabell. Till vänster andelen lampor som är kvar efter viss tid och till höger ljusflödets minskning med tiden.

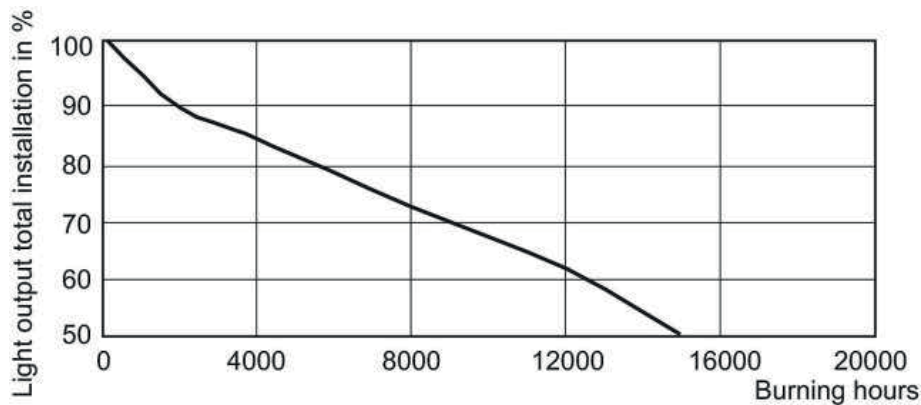


Bild 6. Om man väger samman lampbortfall och nedgång i ljusflöde blir resultatet så här. Genom att titta var grafen korsar 70-strecket så kan man ur diagrammet utläsa att "L70" för just denna ljuskälla är ca 9 000 timmar.

Begreppet armatur

En armatur är en hållare för ljuskällan och har ofta även komponenter för att rikta ljuset åt ett visst håll. Armaturen måste vara anpassad för respektive ljuskälla så att den fördelar ljuset på ett bra sätt. I armaturen finns även driftdon och kopplingsplintar för anslutning av el. En del armaturer är utrustade med ytterligare styrelektronik som t.ex. närvarosensor.

Flertalet ljuskällor blir varma och de kan därför utgöra en brandrisk. I de fall det finns risk för att damm samlas på armaturen är brandrisken extra stor. De armaturer som används i stallar skall därför vara D-märkta (garanterar en ytemperatur på max 90°C - ersätter det tidigare "T"-märket) och ha kapslingsklass som lägst IP54. Kupan skall vara i akrylplast för att stå emot ammoniak. Vanligaste plasten i glaset är annars polykarbonat, vilket riskerar att snabbt spricka i en stallmiljö. Metalldetaljer skall vara korrosionsbeständiga.

Om armaturen monteras på brännbart underlag måste den även vara godkänd för denna montering. Det är också viktigt att armaturen är CE-märkt.

En viktig egenskap hos en armatur i stallmiljö är att den är lätt att rengöra. Högtryckstvätt av armaturer är dock inte att rekommendera, om inte armaturen uttryckligen skall klara detta.

Tabell 2. Kapslingsklassning (IP-klassning) av elektronisk utrustning (Källa: Nokalux.se)

Utförande enligt första siffran		Utförande enligt andra siffran	
IP 0[x]	Inget skydd	IP [x]0	Inget skydd
IP 1[x]	Skydd mot fasta föremål större än 50 mm	IP [x]1	Droppskyddad
IP 2[x]	Skydd mot fasta föremål större än 12 mm ("Provfinger")	IP [x]2	Skydd mot droppande vatten vid 15° lutning
IP 3[x]	Skydd mot fasta föremål större än 2,5 mm	IP [x]3	Strilsäker
IP 4[x]	Skydd mot fasta föremål större än 1,0 mm	IP [x]4	Sköljtät
IP 5[x]	Dammsäker	IP [x]5	Spolsäker
IP 6[x]	Dammtät	IP [x]6	Spoltätt (skydd mot kraftiga vattenstrålar)
		IP [x]7	Vattentät (nedsänkt i vatten)
		IP [x]8	Tryckvattentät (nedsänkt i vatten)

Andra viktiga begrepp

Driftdon (eng. Ballast)

De flesta vanliga ljuskällor förutom glödlampor och halogenlampor kräver någon form av driftdon. Driftdonet omvandlar den ström och spänning som finns i elnätet till de rätta förutsättningarna för den aktuella ljuskällan. Exempelvis matas lysdioder med likspänning och driftdonet måste alltså omforma växelspänningen i ledningen.

Driftdon kan antingen vara magnetiska (även kallat "drossel") eller elektroniska (även kallat "HF-don")

HF-don

Högfrekvens-don – annat namn för elektroniskt driftdon, som skapar en spänning med hög frekvens.

Ljuskälla

Den komponent som alstrar ljuset kallas ljuskälla. Genomgång av vanligt förekommande ljuskällor i separat avsnitt nedan.

Glimtändare

En komponent som möjliggör tändning av lysrör med magnetiska driftdon (T8). Med elektroniska driftdon behövs inte denna komponent.

Armatuverkningsgrad

Förhållandet mellan hur mycket ljus som totalt lämnar armaturen och hur mycket ljus som skapas i ljuskällan. Observera att detta inte säger något om hur mycket el som armaturen kräver.

Förkopplingsdon

Detsamma som driftdon (se ovan).

Pupill-lumen

En del tillverkare och säljare lyfter gärna fram en ljuskälla som kan ge ett ljusflöde med ganska lite lumen men desto mer ”pupill”-lumen. Det handlar här om ett annat sätt att räkna på hur det mänskliga ögat uppfattar ljus och där fokus läggs mer på ögats känslighet vid låga ljusnivåer (scotopic vision).

Bibehållningsfaktor (Maintenance Factor, MF)

Anger vilken nivå av belysning som kan bibehållas över tid för ett visst utrymme och viss armatur. Se under avsnitt ”Att välja belysning”.

Spektralfördelning

En ljuskällas spektralfördelning anger vilka våglängder (färger) av det synliga ljuset som ljuskällan avger och med vilken intensitet de olika färgerna avges. Se bild 4.

Behov av ljus

Människans behov av ljus

En jämn belysning utan mörkare zoner i lokalen är att föredra. Om det behövs mer ljus i någon del av utrymmet bör det ändå inte vara för stor skillnad mot omgivningens belysning. Exempelvis bör en arbetsyta med 500 lux ha minst 300 lux i omgivningen. För en god arbetsmiljö krävs också att det inte uppstår bländning. Utöver ett visst krav på ljusflöde så behövs även god färgåtergivning (anges med Ra-index) vid många arbeten.

Tabell 3. Belysningsstyrka, utdrag av rekommendationer för ekonomibyggnader inom jord- och skogsbruk. (SIS-TS 37:2012)

Utrymme	Belysningsstyrka, lux
Behandlingsavdelning	200
Mjölkningsavdelning (lösdrift)	400 – 500
Passager, gångar, stegar, korridorer	100
Verkstad	100
Arbetsbänk (borrning, slipning etc)	500
Loge, skulle, silo, garage, maskinhall	75
Skriv-, läs- och matplats, arbetsbänk	300
Utomhus, vid ingång	50
Utomhus, arbetsplats	100

Bild 7. Belysningen ska tillgodose både människans och djurens behov.



Djurens behov av ljus

Husdjurens behov av ljus är inte samma som människans. Olika djurslag har olika utvecklade synsinnen och uppfattar ljus på olika sätt. Skillnader finns i behov av belysningsstyrka, vilka våglängder i ljusspektrat de uppfattar och är känsliga för, hur de påverkas av skarpt ljus eller skugga. Känslighet för och behov av belysning under dygnets timmar är också olika.

Detta är viktiga frågor när man byter ljuskällor och styrning för att energieffektivisera. Samtidigt saknas i dagsläget en hel del kunskap så att man kan ange bra riktlinjer. För att råda bot på det har man vid SLU gjort en genomgång av kunskapsläget när det gäller fysiologi m.m. Rapporten heter "Belysning i stallbyggnader" (Hörndahl, mfl. 2012). Här följer det viktigaste för några djurslag.

Nöt

Enligt Jordbruksverkets Föreskrifter (SJVFS 2010:15) ska nötkreatur ha tillgång till ljus från fönster eller annat inläpp av dagsljus. Belysningen ska vara fast monterad som inte förorsakar djuren obehag och som medger att tillsyn kan utövas utan svårigheter.

En dagslängd på 16 timmar för mjölkande kor med belysning på minst 100 lux ger enligt en amerikansk studie uppemot 2,5 kg extra mjölk per ko och dag. I Teknisk specifikation (SIS- TS 37:2012) rekommenderas 100-150 lux dagtid till mjölkkor och ungdjur. Vid nybyggen i dag är dock rekommendationen snarare >200 lux.

För att få den produktionshöjande effekten som man sett av en artificiellt utökad dagslängd finns flera uppgifter om att nattljuset bör begränsas till max 10 lux. De sista två månaderna av kons dräktighetsperiod bör dessutom dagslängden minskas till 8 timmar. För att detta skall fungera krävs i praktiken separat stall för sinkorna.

Ljuset påverkar även fertilitet, brunstsignal och ungdjurens tillväxt.

Den fysiologiska bakgrunden till hur ljuset påverkar mjölkproduktionen är känd, men praktiska försök ger delvis olika bud om i vilken grad korna påverkas och vilka rekommendationer man skall ge utifrån detta. Särskilt i besättningar med robotmjölkning och därmed mjölkning och utfodring under hela dygnet är det svårt att finna riktlinjer baserat på studier.

Tabell 4. Rekommendationer gällande dagslängd och belysningsstyrka för mjölkkor (källa: Hörndahl m.fl. 2012 / www.agrilight.nl)

Djurslag	Rekommenderad dagslängd	Rekommenderad belysningsstyrka - dag	Maximal belysningsstyrka - natt	Notering
Ungdjur	16 tim.	(data saknas)	(data saknas)	
Dräktiga kvigor	(data saknas)	(data saknas)	(data saknas)	
-dito sista 42 dygn	8 tim.	(data saknas)	(data saknas)	
Lakterande kor	16 tim.	150- 200 lux	5-10 lux	kan vara värt att sträva efter 300 - 500 lux dagtid (motsvarar "dimmig dag")
Sinkor	8 tim.	150 - 200 lux	5-10 lux	
Kalvningsboxar	(data saknas)	(data saknas)		Vid arbete i boxarna rekommenderas 200 lux

Gris

Ett stall för grisar måste ha fönster eller andra inläpp för dagsljus (SJVFS 2012:15). Stallet ska också vara försett med artificiellt ljus som inte förorsakar djuren obehag och som gör det möjligt att se till djuren. I EU direktiv (2001/88) anges att grisar ska ha minst 40 lux 8 timmar per dag. I Teknisk specifikation (SIS- TS 37:2012) rekommenderas 75-150 lux i grisstallar dagtid.

Enligt Svenska Pigs Stalltips nr 2011-06-01 – ”Ljus till suggor och gyltor” – behövs ljusprogram i grisproduktionen för att undvika att tallkottkörteln uppfattar att det börjar gå mot höst och mörker. Studier visar att dagslängden är av störst betydelse medan belysningsstyrkan inte är lika avgörande. Rekommendation på en bra belysningsstyrka till suggor och gyltor är enligt detta dokument 200-300 lux.

Danska rekommendationer ligger på 14-16 timmar ljus per dag med minimum 100 lux i betäckningsavdelningen och 10-12 timmars ljus per dag med minimum 100 lux i dräktighetsavdelningen (Jensen, 2011). Grisar behöver inte ha nattbelysning.

Enligt Hörndahl (2012) är grisen mycket anpassningsbar till olika typer av ljus och belysningsstyrka. Det finns dock inte tillräckligt med information för att kunna specificera vad som är optimal ljusmiljö för grisar (spektralfördelning, dagslängd, belysningsstyrka).

Tabell 5. Rekommendationerna för ljusprogram som håller gyltorernas och suggornas hormonsystem i vår- och sommartrim. (Källa: Svenska Pig - 2011-06-01. Ljus till suggor och gyltor)

Avdelning	Rekommenderad dagslängd	Rekommenderad belysningsstyrka - dag	Maximal belysningsstyrka - natt
Gyltor	8 - 10 tim	200 - 300 lux	(data saknas)
Betäckningsavdelning	16 tim		
Dräktighetsavdelning	16 tim		
Grisningsavdelning	12 tim		
Tillväxtavdelning	(data saknas)		

Fjäderfä

Fåglarnas seende skiljer sig markant från människan vad gäller både känslighet för ljusets våglängder (spektralfördelning) och påverkan av ljusets flimmer. De har även receptorer för UV-ljus och kan dessutom registrera ljusstrålning som går genom kraniet med hjälp av extra nähinnereceptorer i hjärnan. Mot bakgrund av ovanstående bör man använda ljuskällor med brett färgspektrum och med viss del UV-ljus. Det är dock inte klarlagt vilken den bästa fördelningen är mellan dessa våglängder.

De vanligaste ljusmätarna (som mäter belysningen i enheten lux) är avsedda att återspegla hur människans uppfattar ljuset, vilket inte ger en rättvis bild av fjäderfäns synintryck. Vissa forskare anser därför att man bör använda andra metoder eller mätutrustning för att mäta belysningsstyrkan hos fjäderfä. Man har utvecklat mätare som mäter i den modifierade enheten gallilux. Se bild 3.

Värphöns

Jordbruksverkets föreskrifter (SJVFS 2010:15) anger att fjäderfästallar skall ha fönster eller andra ljusinsläpp för dagsljus. Stallar ska vara försedda med artificiell belysning, som inte förorsakar djuren obehag och som gör det möjligt att se djuren utan svårigheter. I stallar för mer än 350 värphöns ska belysningen tändas och släckas genom dimring.

Enligt svensk djurskyddslagstiftning skall värphöns ha 8 timmars sammanhängande mörker vilket gör att ljusprogrammen oftast utgörs av maximalt 16 timmar ljus och 8 timmars mörker. Till varje värphöns hybrid tar avelsföretagen fram ett ljusprogram för att nå maximal produktion, vilket bör beaktas.

Vanliga ljusnivåer i stallar för värphöns är mellan 0,5 och 20 lux och där variationen kan bero dels på lamptyp och dels på huruvida det finns problem med fjäderplockning i gruppen. En orolig hönsgrupp med fjäderplockning har ges en lägre belysningsstyrka. Armaturer med glödlampor i befintliga fjäderfästallar ersätts nu ofta av dimningsbara LED lampor. I nybyggda stallar installeras vanligen lysrör av HF-typ, men även alternativ med olika typer av LED-armaturer håller på att testas.

Slaktkyckling

Enligt Svensk Fågels omsorgsprogram ska slaktkycklingar ha minst 40 lux över hela stallytan och det skall även finnas möjlighet att öka belysningen till 100 lux. Vanligen rekommenderar avelsföretagen ljusprogram med ljus 20-24 timmar per dygn. Perioden med mörker ökas sedan något med ökande ålder. Rekommendationer för belysningsstyrka och reglering av ljuset under uppfödningssomgången kan variera beroende på om stallarna har dagsljusinsläpp eller inte.

I nyare stallar används ofta lysrör med dimbara HF-don.

Ljuskällor

Indelning

De vanligast förekommande teknikerna för ljus inom lantbruket är urladdningslampor, lysrör och LED (Light Emitting Diode, på svenska "lysdiod").

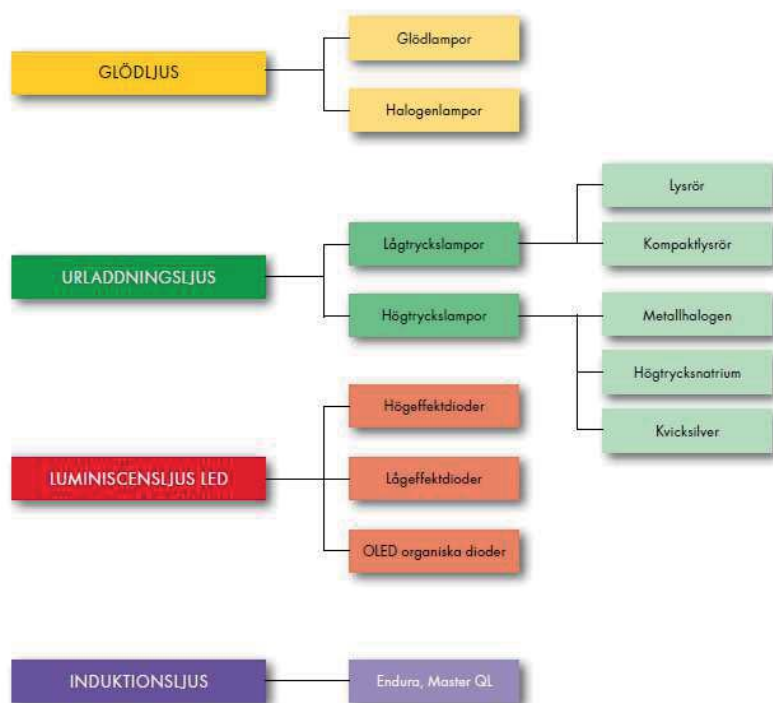


Bild 8. Ljuskällor delas vanligen in enligt denna bild (Källa: Annell Ljuskompedium 2011)

Viktiga egenskaper hos en ljuskälla

- Brinntid och ljusutbyte över tid – ljuskällans ”livslängd”
- Ljusutbyte vid olika omgivningstemperatur
- Verkningsgrad – lm/W (OBS! man bör även räkna med förluster i driftdon)
- Färgåtergivning (Ra-index) och Färgtemperatur (Kelvin)
- Tändtid och återtändningstid (hur påverkas den av omgivningstemperaturen?)
- Möjlighet att ljusreglera/”dimra” och lämpligheten att använda närvarostyrning (många kortare tider med ljus)
- Spridningsvinkel - avgör hur mycket av ljuset som hamnar på den önskade belysta ytan
- Innehåll av kvicksilver

Tabell 6. I tabellen nedan finns exempel på vanliga typer av ljuskällor i lantbruket. Uppgifter om verkningsgrad och livslängd måste anges med intervall eftersom dessa värden varierar med storlek på ljuskälla, fabrikat och modell. Livslängden påverkas dessutom av antalet tändningar och andra faktorer.

Lamptyp	Vanliga benämningar	Verkningsgrad*, lm/W	Livslängd** tim	Återstart	Särskilda egenskaper
Glödlampa		5 – 30	750 – 4 000	Direkt	Alltid dimbar
Halogenlampa		12 – 25	2 000 – 6 000	Direkt	Alltid dimbar
Lysrörslampa (”Lågenergilampa”)	CFL	50 – 80	6 000 – 12 000	Direkt	Generellt dåligt anpassad till låga omgivningstemperaturer
T5 lysrör	T16	88 – 108	17 000	Direkt	Främst anpassad till inomhus-temperaturer (>20 °C).
T8 lysrör	T26	75 – 98	7 500 – 20 000	Direkt	
Metallhalogen	MH	60 – 80	5 000 – 20 000	1 - 3 min.	
Keramisk metallhalogen	CDM	60 – 80	20 000	1 - 3 min.	
Högtrycksnatrium	HPS, SON	50 – 140	15 000 – 24 000	3 - 5 min.	Hög effektivitet men dålig färgåtergivning. Finns även varianter med ett vitare ljus som dock även innebär något sämre ljusutbyte.
Kvicksilverlampa	HG	25 – 60	16 000 – 24 000	1 - 15 min.	
LED		4 – 150	35 000 – 60 000	Direkt	
Induktionsbelysning	LVD	50 – 90	60 000 – 100 000	Direkt	

* för ljuskällan, ej inräknat eventuellt driftdon

** då 50 % av lamporna fortfarande lyser.

EU-direktiv – utfasning av lamptyper

För konsumentmarknaden kommer kraven på effektivitet successivt att höjas. De matta glödlamporna fasades ut först och sedan 2012 tas heller inte klara glödlampor in till EU. Utfasningen innebär inget stopp för användning utan endast att vissa lamptyper inte längre finns till försäljning.

Tabell 7. Utfasning av urladdningslampor, däribland kvicksilverlampan. (Källa: Philips)

Milestones	April 2010	April 2012	April 2015	April 2017
Ineffektiva högttrycksnatriumlampor (HPS Standard)	Tillåtna	Utfasning av alla ineffektiva HPS standardlampor: SON E > 70W* & SON-T : 70 - 400W		
Högttrycksnatriumlampor (SON H) som drivs på HPL-driftdon	Tillåtna		Utfasning av alla Högttrycksnatriumlampor som drivs på HPL-driftdon: SON H: 68/110/220 och 350W	
Kvicksilverlampor HPL	Tillåtna		Utfasning av alla Kvicksilverlampor: ML, HPL & HPL4	
Metallhalogenlampor (MHL)	Tillåtna			Möjlig utfasning av alla ineffektiva lampor och lågspecifierade MHL-lampor: HPL 250 och 400W Kan komma att ändras av EC under 2014

* Innefattar ej: SON E : 50/70W & SON I : 50/70 W med opaliserad ytterkolv

■ Tillåtna ■ Utfasas ■ Kan komma att utfasas

Glödljus

I denna grupp ingår förutom vanliga glödlampor även halogenlampor, vilket är en vidareutveckling av glödlampan där glödtråden placerats i en gas som både förbättrar ljusutbytet och livslängden. De traditionella glödlamporna har fasats ut inom EU och finns inte kvar annat än i specialvarianter.

Glödljus har mycket god färgåtergivning ($R_a = 100$), kräver inget driftdon och är dimbara. Energieffektiviteten är dock låg och livslängden förhållandevis kort.

Urladdningsljus – Lysrörslampa och kompaktlysör

För dessa typer av (lågtrycks-)urladdningsljus gäller att ljuset alstras genom en urladdning mellan två elektroder inuti en metallånga bestående av kvicksilver. Urladdningen ger UV-ljus som sedan omvandlas till synligt ljus då det passerar det lysrörspulver som finns på rörets insida.



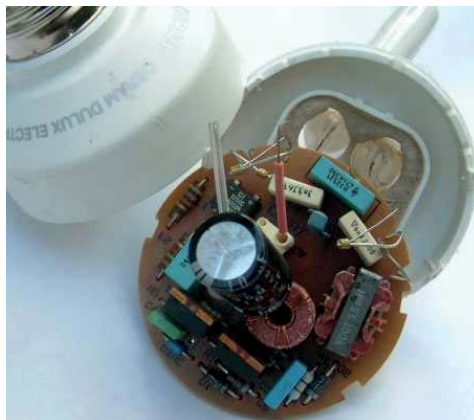
Bild 9. Två varianter av kompaktlysör till vänster och två lysrörslampor till höger (Källa: osram.com)

Lysrörslampan kallas populärt även för "lågenergilampa" och är jämfört med glödlampan ca 4 ggr så effektiv. Lysrörslampor finns i en stor mängd utföranden och är tänkta som ersättare till glödlampor i enkla armaturer. För att tända och driva själva lysröret som lampan är bestyckad med krävs dock ett driftdon vilket är inbyggt.

Bild 10.

Lysrörslampor ("lågenergilampor") har inbyggt elektroniskt driftdon (HF-don) för att direkt kunna ersätta glödlampor i vanliga glödlamps-armaturer (t.ex. skruvsocklar E14 respektive E27).

(Källa: wikipedia.org)



Kompaktlysrör har stift istället för skruvsockel och är vanliga i kommersiella tillämpningar. Dessa kräver att ett driftdon finns i armaturen.

För lysrörstekniken gäller generellt att det dröjer en stund (från någon till några minuter) innan fullt ljusflöde uppnås. Vid kall omgivningstemperatur så minskar generellt ljusflödet och uppstartstiden ökar. Med ökande ålder minskar normalt ljusflödet från urladdningslampor. Lysrörslampor och kompaktlysrör innehåller kvicksilver och räknas därför till "Farligt avfall".

Urladdningsljus - lysrör

Det vanligaste lysröret i äldre anläggningar kallas T8 eller T26 (vilket syftar på diametern 8/8 tum vilket är detsamma som 26 millimeter). De kan drivas antingen med konventionella (magnetiska) don eller också HF-don. Det magnetiska driftdonet med en järnspole utvecklar en hel del värme, det uppstår förluster. Märkningen på lysröret avser effekten i själva röret, men en del har försvunnit på vägen. Därför får vi räkna med att ett lysrör märkt 36 W faktiskt använder ca 45 W i elektrisk effekt och att ett 58 W lysrör använder ca 70 W elektrisk effekt (se tabell 10).

Bild 11.

Vanliga lysrör, typ T8. Denna armatur har glimtändare och ett magnetiskt driftdon, som ger förluster i form av värme.



Den senaste generationen lysrör heter T5 eller T16. (T5 syftar på diametern 5/8 tum, och T16 på diametern 16 millimeter). De är alltså smalare än de äldre T8-rören (8/8 tum). T5 lysrör kan bara drivas med hjälp av elektroniska driftdon, vilket gör ljuset helt flimmerfritt. T5-röret i sig har ett högre ljusutbyte än motsvarande T8-rör. Det elektroniska driftdonet har inte så höga förluster som det magnetiska och ett byte innebär därför en energibesparing. T5-rören finns i två varianter, High Efficiency och High Output:

High Efficiency (HE) är mest energieffektiv och finns med effekter från 14 W till 35 W. De har det högsta ljusutbytet i lumen per watt (lm/W).

High Output (HO) finns med effekter från 24 till 80 W och ger upp till 60 procent mer ljus än motsvarande High Efficiency-rör.

Tabell 8. Översikt över vanliga lysrör av modell T8 och T5. Längd och ljusflöde för olika effekter.

(Källa: www.proton.se)

T8 lysrör		
Längd	Märkeffekt	Max ljusflöde
590 mm	18 W	1350 lm
895 mm	30 W	2450 lm
1200 mm	36 W	3350 lm
1500 mm	58 W	5200 lm

T5 lysrör	HE, High Efficiency		HO, High Output	
Längd	Märkeffekt	Max ljusflöde	Märkeffekt	Max ljusflöde
549 mm	14 W	1350 lm	24 W	2000 lm
849 mm	21 W	2100 lm	39 W	3500 lm
1149 mm	28 W	2900 lm	54 W	5000 lm
1449 mm	35 W	3650 lm	49 W / 80 W	5000 lm / 7000 lm

Lysrörens färgåtergivning (Ra-index) och färgtemperatur (K) går vanligtvis att utläsa av beteckningen. Till exempel har ett lysrör som märkts med "830" ett Ra-index på 80-89 (första siffran) och färgtemperatur 3000 K (andra och tredje siffran).

T5 kontra T8

Vanliga T5 är anpassade för en varmare omgivningstemperatur än T8, vilket får till följd att det maximala ljusflödet alstras vid en högre temperatur och att ljusflödet minskar då det blir kallt. Detta framgår av diagram nedan. Det finns dock även speciella modeller av både T8 och T5 som är anpassade till kalla miljöer.

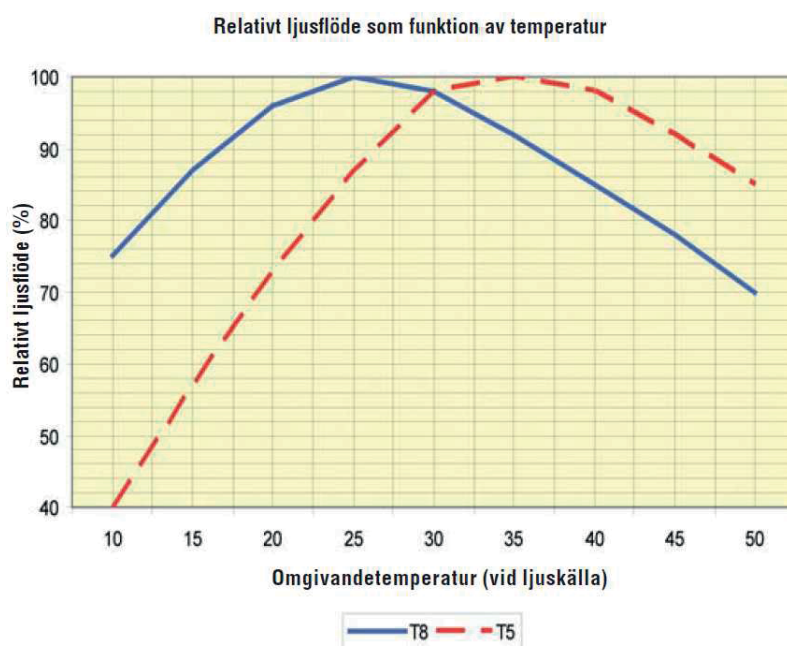


Bild 12: Ljusflödets påverkan av omgivningstemperatur. (Källa: Exaktor)

Glimtändare

Glimtändare finns i den traditionella lysrörsarmaturen med elektromagnetiskt driftdon. Skapar under en kortare tid en hög spänning som gör att lysröret kan tända. Rekommendationen är att de traditionella glimtändarna skall bytas samtidigt som lysrören. Gamla glimtändare utgör i sig en brandrisk då de kan överhettas.

En så kallad ”säkerhetsglimtändare” har en inbyggd säkring som slår ifrån och förhindrar att lysrör som är förbrukade står och blinkar. Säkerhetsglimtändare rekommenderas, eftersom blinkande lysrör riskerar att ge brand. Dessutom har en säkerhetsglimtändare längre livslängd. Säkerhetsglimtändare finns även i en elektronisk variant.



Bild 13. Tre varianter av glimtändare för lysrör. Till vänster en vanlig glimtändare (höljet avtaget och placerat bakom), i mitten en elektronisk säkerhetsglimtändare, till höger en traditionell säkerhetsglimtändare med röd återställningsknapp (isärmoterad).

Drift med HF-don (högfrekvens-don, ”High Frequency”)

Vid drift av ett lysrör med HF-don finns varken glimtändare, separat kondensator eller elektromagnetiskt don (som även brukar kallas ”drossel”) i armaturen. Istället är allt som krävs för att driva lysröret samlat i ett *elektroniskt* driftdon – vilket alltså är detsamma som HF-don – och detta omformar strömmen från 50 Hz i elnätet till över 30 000 Hz i själva ljuskällan, därav namnet högfrekvens-don.

Egenförbrukningen hos HF-donet är lägre än motsvarande elektromagnetiska don. Väljer man dimbara HF-don (”HF dim”) går det att dimra lysröret. HF-don finns även med ”varmstart”, vilket förlänger livslängden hos rör som tänds och släcks ofta.

HF-drift har flera dessutom fördelar såsom flimmerfritt ljus, högre ljusutbyte, högre säkerhet (uttjänta rör står inte och blinkar), minskade elektriska fält, inget ”brum” samt tändning utan blink. Livslängden på lysrören sägs även öka med ca 15 procent tack vare HF-drift.

En nackdel med HF-don är att elektroniken är känslig för värme samt för strömspikar och andra störningar på elnätet. Om omgivningstemperaturen inte överstiger 25°C så gäller vanligen att minst 90 procent av donen är i funktion efter 50 000 drifttimmar. En tumregel är att en ökning med 10°C halverar livslängden.

Urladdningslampor, högtrycksljus (HID = High Intensity Discharge)

På samma sätt som för lågtrycksurladdningslampor så alstras ljuset vid den urladdning som sker mellan två elektroder. Skillnaden är dock att i en högtryckslampa behövs inget lyspulver utan det synliga ljuset uppstår här direkt i den gas som finns i lampan. Ljusets karaktär beror av sammansättningen hos dessa gaser. Det finns i huvudsak tre varianter inom denna grupp, vilka beskrivs kort nedan.

Kvicksilverlampor, HG

Kvicksilverlampan är vanlig som gårdsbelysning. Den har något lägre ljusutbyte jämfört med lysröret och sämre färgåtergivning. En nackdel med denna lampa är att det tar lång tid innan lampan lyser med full effekt. Utfasning sker senast 2015 enligt EU-beslut. Som alternativ vid gårdsbelysning finns armaturer med LED- och induktionslampor.

Högtrycksnatriumlampor, HPS – High pressure sodium

Högtrycksnatriumlampan ger i det vanligaste utförandet ett gulaktigt ljus med relativt dålig färgåtergivning, vilket kan upplevas som en nackdel i djurstallar. Ljusutbytet är dock ofta mycket högt, särskilt för lampor med de högre effekterna. Denna lampa finns också i varianter med bättre färgåtergivning, men man måste då göra avkall på effektiviteten. En vanlig beteckning på denna lampa är SON.

Metallhalogenlampor, MH

Metallhalogenlampan är en vidareutveckling av kvicksilverlampan, men den har betydligt bättre färgåtergivning. En nackdel är att det tar lång tid (4-5 minuter), innan lampan lyser med full effekt.

Moderna metallhalogenlampor kan även dimmas utan att ljusfärgen ändras.



Bild 14. Från vänster till höger: Kvicksilver-, högtrycksnatrium- och metallhalogenlampor. Observera att även de två till höger finns med en lampform som mer liknar kvicksilverlampan. (Källa: <http://lighting.philips.com>)

LED-belysning (Light Emitting Diode, på svenska lysdiod)

Färgtemperaturen kan variera mycket, från 2700 K och uppåt. Ra-index är minst 80, ofta mycket högre. Energieffektiviteten är i nivå med de bästa lysrören (40-100 lm/W) och förbättras hela tiden. LED avger varken IR- eller UV-ljus.

LED ger maximalt ljusflöde omedelbart, vilket gör dem till goda ersättare för glödlampan. De blir i likhet med andra ljuskällor varma och måste få god kylning, men de är mindre känsliga för omgivande temperatur än övriga ljuskällor oavsett om temperaturen är hög eller låg.

Ljuskällor som använder LED-teknik finns i en mängd utföranden. Idag finns lampor som ser ut som glödlampor och som passar i de vanligaste socklarna. LED-tekniken utvecklas snabbt och det är troligt att LED-lampor mer och mer kommer att ersätta lysrörlampor, de som vi idag kallar lågenergilampor.



Bild 15. LED-lampor finns i många utföranden. Själva lysdioden ser ofta ut som bilden längst till höger. Dessa kan placeras en och en eller tillsammans. Underst visas exempel på LED-lysrör.
 (Källor: www.elkedjan.se, www.sharpsma.com och www.valtavallo.se)

Det finns även ljuskällor med LED-teknik, s.k. LED-lysrör, som liknar de konventionella lysrören. De har ett antal lysdioder monterade på rad och utanpå det ett klart eller matt hölje. Man kan välja att byta till ny LED-armatur eller att sätta LED-lysrör i befintliga T8-armaturer. Det senare kan eventuellt strida mot reglerna för CE-märkning, vilket alltså bör undersökas före ett utbyte.

Det är normalt att LED-rören ger en ljusspridning i 120 graders vinkel eller något mer. Därmed utnyttjas det alstrade ljuset och energin bättre än i urladdningslysrören. I bästa fall har armaturen en reflektor som riktar ljuset, men om denna inte hålls ren, så utnyttjas ändå ljuset dåligt. Dessa förhållanden gör att ljuset från LED-rör upplevs som tillräckligt, trots att det totala ljusflödet (lumen) är mindre än för motsvarande lysrör.

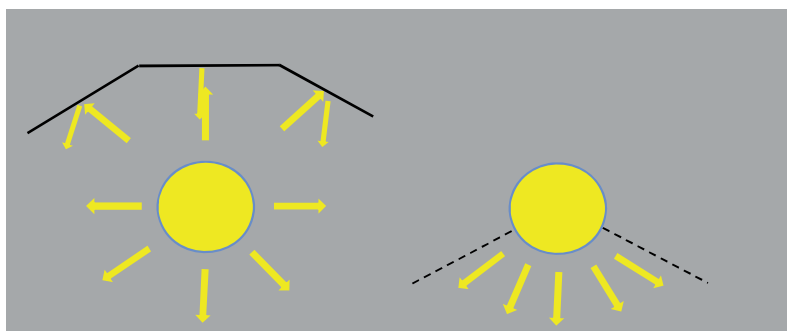


Bild 16. Urladdningslysröret till vänster sprider ljusflödet runt om. Med en bra och ren reflektor kan det mesta ljuset ändå utnyttjas. Men utan reflektor blir det dåligt utnyttjande. LED-röret till höger samlar ljusflödet i en vinkel neråt, vilket gör att ljusflödet utnyttjas bättre. Många fabrikat har en spridningsvinkel på 120 - 140 grader.

Induktionslampor, LVD

Induktionslampan är snarlik lysröret till sin konstruktion och har liknande ljuskvalitet och energiprestanda. Istället för urladdningar är det här ett högfrekvent växlande magnetfält kring en spole som påverkar en gas som är innesluten i ett rör. Gasen avger UV-strålning som får beläggningen på rörets insida att avge ljus.

En stor skillnad mot lysrör är att induktionslampan har betydligt längre livslängd, upp till 100 000 timmar. Kostnaden för själva lampan är hög, men sett ur ett livscykelperspektiv står sig denna teknik bra i de fall där brinntiderna är långa och lampbyten är komplicerade med svåråtkomliga armaturer. En god idé kan vara att byta ut ytterbelysningens kvicksilverlampor mot LVD-lampor.



Bild 17. Olika typer av induktionslampor. De två till vänster har lite högre effekt och de har separata driftdon. Den högra lampan har driftdonet integrerat och den kan skruvas i en vanlig sockel E 27. På bilderna ser man också magnetspolarna som små cylindrar. (Källa: siwinlamps.com och www.duxlite.com)

Styrning av belysning

Någon form av automatisk styrning är att föredra framför manuell tändning och släckning, om man vill minska drifttiderna och spara energi i belysningen.

Olika sätt att styra drifttiden

Närvarostyrning

Närvarodetektering kan antingen vara rörelsedetektor baserad på t.ex. IR-strålning eller en akustisk detektor som reagerar på ljud. Det senare kan vara lämpligt i en korridor eller trapphus då det räcker att någon tar i ett dörrhandtag för att lyset skall tändas. Närvarodetektorn kan vara kombinerad med en timer som låter ljuset vara tänt en viss tid efter tändning

Tidsstyrning

En vanlig tillämpning av tidsstyrning är att ljuset tänds och/eller släcks av ett tidur vid givna klockslag.

En variant av tidsstyrning är även att ljuset tänds av en tryckknapp och sedan lyser under en förinställd tid, styrt av en timer.

Ljusstyrning

En ljussensor placeras på lämpligt ställe och ger impuls att tända upp då den uppmätta belysningen (lux) går under en viss nivå och tvärtom då det ljusnar ute. Ett alternativ till ljussensor är att använda

ett *astronomiskt ur* vilket är en klocka med inbyggd information om solens upp- och nedgång vid en viss (inställningsbar) latitud. På detta sätt slipper man fundera på placering av ljussensor.

Att ljusreglera/"dimra"

Genom att dimra ljuset kan man minska belysningen i ett utrymme utan att behöva släcka ner lampor och på så sätt skapa stora skillnader i ljusflöde, dvs med hjälp av dimring kan man bibehålla en jämnt fördelad belysning. Normalt är effektförlusten i en modern dimmer endast någon procent.

En vanlig dimmer för hemmabruk sänker spänningen fram till lampan genom att klippa sinuskurvan antingen i fram- eller bakkant (se även handbokens del 3 om el och elmotorer). I nyare armaturer finns funktionaliteten inbyggd i driftdonet och ljusnivån kan styras på olika sätt (DALI, Dsi m.fl. tekniker).

Det är driftdonet som i första hand avgör hurvida en armatur är dimbar eller ej. Hur långt ner man kan dimra och om det är lämpligt att dimra överhuvudtaget beror dock på ljuskällan.

Gruppera / sektionera

I många fall har man nytta av en genomtänkt indelning av ljuskällorna. På så sätt kan man välja att endast tända upp delar av en byggnad eller att tända exempelvis var tredje armatur för en lägre total ljusnivå. Ändamålsenlig sektionering/gruppering är värdefullt både vid manuell tändning och vid automatisk reglering.

Tabell 9. Översikt över tänkbara möjligheter till styrning av belysning för olika utrymmen på en mjölkgård.
(Egen sammanställning)

Utrymme	Tid		Ljus		Närvaro		Dimmer
	Timer*	Tidur	Ljusrelä	Astronomiskt ur	Rörelse	Akustisk	
Mjölkrum					X		
Mjölkningsavdelning							
Mjölkröbot	X						
Lösdrift			X				
Lösdrift (nattbelysning)		X					X
Uppbundna djur		X					
Kalvningsboxar							X
Sinkor på djupströbädd		X	X	X			
Loge / Skulle	X						
Ensilagelager	X						
Spannmåslager	X						
Foderkök / Mixervagn	X						
Korridor / Biutrymme	X				X	X	X
Personalutrymmen					X		
Kontor					X		
Maskinhall	X						
Verkstad					X	X	
Arbetsbänk							
Ytterbelysning			X	X			

Att välja belysning

Att välja belysning bör främst handla om att välja en lösning som upprätthåller produktionsförmåga (både djur och människor), säkerhet och trivsel. Men om man har flera alternativ som svarar upp mot de krav som ställts inom dessa områden, så väljer man lämpligen den billigaste lösningen utifrån en livscykelkalkyl (LCC). För belysning är det särskilt tydligt att energianvändningen slår igenom i en sådan beräkning och att investeringens storlek är av underordnad betydelse. Cirkeldiagrammet i figuren nedan illustrerar detta (se även handbokens del 1 om ”Energieffektivisering, grunder”).

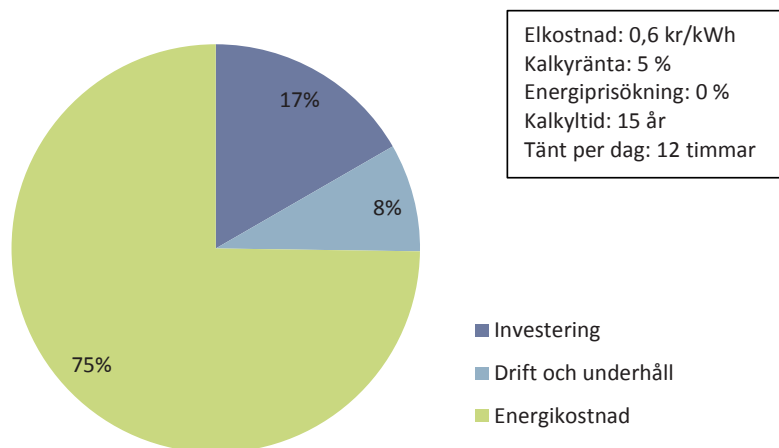


Bild 18. Livscykelkostnad (fördelat på ”Investering”, ”Drift” och ”Energi”) i ett exempel med vanliga lysrör och rimliga antaganden om byteskostnad (kostnad för rengöring har inte vägts in). Om ett antagande om stigande energipriser läggs till LCC-beräkningen blir såklart energikostnaderna ännu mer dominerande.

Dagsljus

Möjligheterna att utnyttja dagsljus varierar mellan olika djurslag och byggnader. Dagsljusinsläpp i stallet gör det möjligt att spara el för belysning under de dagar och timmar då dagsljuset är tillräckligt starkt. För mycket dagsljusinsläpp kan dock orsaka problem genom att stallet blir alltför varmt sommartid med följderna att sommarventilation med fläktar eventuellt krävs.

Inom äggproduktionen är det allmänt känt att solljusfläckar och stora skillnader i belysningsstyrka, som kan orsakas av koncentrerat dagsljusinsläpp från fönster, kan medföra negativa konsekvenser för djurvälståndet. De allvarligaste konsekvenserna av ljusfläckar är fjäderplockning, kannibalism och hopklumpning av djuren med kvävning som följd. Riskerna med för mycket dagsljus eller alltför koncentrerat ljus gör att det i vissa stallar finns behov av avskärmning.

Nattbelysning

Nattbelysning bör utformas så att punktbelysning och skuggor undviks. För att få till detta kan antingen de armaturer som används dagtid dimmas ned eller så kan separat nattbelysning användas.

Val av ljuskälla

I dagsläget är lysrör och s.k. lågenergilampor förstahandsvalet för en energieffektiv belysning med brett ljusspektrum. Metallhalogen och varianter av högtrycksnatrium är strålkastarlösningar som passar i vissa stallar och som har lika bra eller till och med bättre ljusutbyte än lysrör. Det kan vara viktigt att fördela ut strålkastarna i t.ex. ligghallar för att få en jämn belysning

Mer forskning krävs för att ta reda på vad som är lämplig ljusintensitet, ljusfärg och dagslängd för olika djurkategorier så att de kan utföra sina naturliga beteenden. Lysdioder (LED) är här ett intressant alternativ i den mån tillräckligt ljusflöde kan erhållas och spektralfördelningen är lämplig för djurslaget. Med LED finns möjligheten att styra spektralfördelningen.

I jämförelse mellan ljuskällor och olika teknik tittar man gärna på energieffektiviteten, ljusflöde i lumen satt i förhållande till tillförd elektrisk effekt (inklusive driftdon). I stora drag kan man ange energieffektiviteten för olika ljuskällor med intervall enligt tabell 10. Utvecklingen av LED fortgår och det är möjligt att energieffektiviteten kommer att bli ännu bättre.

Tabell 10. Ljusutbyte (lumen per Watt, lm/W) för olika lampor medberäknat förluster i driftdon.

Lamptyp	Ljusutbyte
glödlampor	10 - 15 lm/W
kvicksilverlampor	20 - 50 lm/W
metallhalogenlampor	50 - 65 lm/W
högtrycksnatriumlampor	50 - 100 lm/W
lysrörslampor	50 - 80 lm/W
T8-lysrör	60 - 80 lm/W
T5-lysrör	80 - 95 lm/W
LED-lampor, LED-lysrör	80 -110 lm/W

Ljusutbytet (lm/W) kan variera inom respektive typ av ljuskälla. Jämför flera tillverkare och varianter för att få den ljuskälla som presterar bäst i just ditt system. Beroende på armaturens utformning kan ljusflödet reduceras en del och därmed ljusutbytet från armaturen, som är en viktigare uppgift än ljusutbytet från ljuskällan.

Inom EU finns nu ett regelverk och en standard för energimärkning ut mot konsumenterna.

Val av armaturer och placering

För att få bra belysning med låg energiinsats bör man använda moderna projekteringsverktyg som tar hänsyn till ljuskälla, armatur och dess placering samt reflektionen från väggar, golv, tak och djur.

Grundläggande är att den påtänkta belysningen måste klara krav på elsäkerhet och hålla rätt klassning avseende damm och fukt (IP-klass). Detta måste garanteras av leverantören (se avsnitt om armaturer).

Belysningen bör placeras så att den är lätt åtkomlig för rengöring och byte av ljuskälla. I ett lösdriftstall placeras armaturer i möjligaste mån ovanför skrapgångar, där de blir lätt åtkomliga med hjälp av skylift. I stallar med mekanisk ventilation placeras armaturer på ett sätt som inte hindrar luftströmmarna.

Rengöring och service

En korrekt beräkning av belysningens livscykelkostnad måste vid val av olika lösningar även inkludera omkostnader för underhåll i form av rengöring och annan service. Med få ljuskällor och armaturer som är lätta att rengöra minimeras kostnaden. Livslängden för olika komponenter är väsentlig att ha med och de uppgifter som finns om respektive ljuskälla och armatur måste kontrolleras och definieras nog. (se tidigare avsnitt).

Kort om ljusberäkning i stallar

De flesta tillverkare och leverantörer har tillgång till ljusberäkningsfiler som kan användas exempelvis i gratisverktyget DiaLUX. Ofta finns dessa att ladda ner från en företagets hemsida. Ljusfilen beskriver hur armaturen, med en viss konfigurering och ljuskälla, påverkar ljuset i en lokal. Lokalen ritas antingen i DiaLUX eller importeras från annat CAD-program.

En del tillverkare och leverantörer levererar ljusberäkning med offert som standard och de flesta bör kunna göra det vid förfrågan. Stallbyggnader är ofta relativt okomplicerade ljus tekniskt och behovet av design med t.ex. DiaLUX är inte uppenbart.

Om en ljusberäkning finns så är det viktigt att nagelfara de ingående värden som använts. Det finns många sätt att få beräkningen att se bättre ut än vad som kommer bli i praktiken. Vid mer omfattande upphandlingar är det rekommenderat att ställa skriftliga krav på resultat med mätningar.

Bibehållningsfaktor (Maintenance Factor, MF)

En bibehållningsfaktor används vid projektering för att räkna ut vilken nivå av belysning som kan bibehållas för ett visst utrymme och viss armatur. Faktorn utgörs av Armaturbibehållningsfaktor, Rumsbibehållningsfaktor, ljuskällans Ljusflödesbibehållningsfaktor samt Lamplivslängdsfaktorn. I stallmiljö är denna siffra ofta mellan 0,5 och 0,8. Bibehållningsfaktor 0,5 innebär att den *bibehållna* belysningen är hälften av vad den var då allt var nytt. Och omvänt – om man eftersträvar 200 lux bibehållen belysning så skall det direkt efter installationen av armaturerna vara 400 lux i lokalen.

Bibehållningsfaktorn för ett stall kan sättas till 0,67. Praktiskt innebär detta att installationen ska ge en belysningsstyrka som är 50 procent högre än de rekommendationer som finns i tabell 6. Om rekommendationen för en behandlingsavdelning är 200 lux, så behöver man vid nybyggnad installera för $200/0,67 = 300$ lux.

Reflektion från golv, väggar och tak

Olika typer av material reflekterar ljuset olika bra. Då man gör en ljusberäkning kan man välja att ta hänsyn till detta. Vill man vara alldeles säker på att inte överskatta belysningen i stallet kan man sätta reflektionen till 0 %. En rimlig nivå illustreras i nedanstående bild.

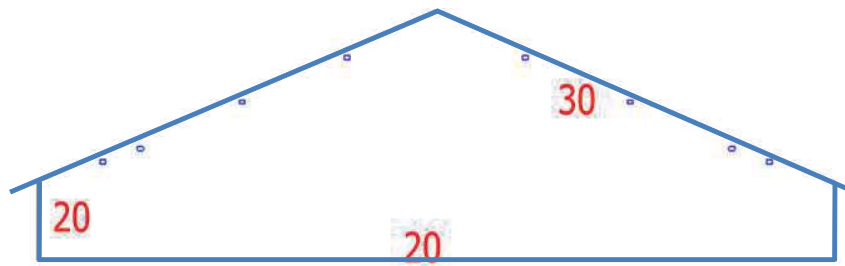


Bild 19. Enkel skiss av stallbyggnad (sektion) där lämpliga värden för reflektion från golv, väggar och tak är angivna. I ett ljusberäkningsprogram bestämmer material och färg hur pass stor reflektionen blir. Slät grå betong har ca 25 % reflektionsgrad.

Tips och råd vid energikartläggning

För att beräkna belysningens elförbrukning behöver man ta reda på den installerade effekten och drifttiden. Märkeffekt är oftast angiven på själva ljuskällan. Ev. finns ljuskällor i reserv att titta närmare på. För att erhålla den installerade effekten ("systemeffekten") måste man ta hänsyn till effektförluster i driftdon. I tabell 11 finns lämpliga omräkningsfaktorer för olika ljuskällor och den resulterande systemeffekten.

Tabell 11. Exempel på omräkningsfaktorer för olika ljuskällor monterade i en armatur. Resultande systemeffekt i kolumn längst till höger. Verklig systemeffekt skiljer sig förutom mellan olika ljuskällor även mellan modeller, tillverkare och driftdon.

Ljuskälla	Märkeffekt (W)	Omräkningsfaktor	Systemeffekt (W)*
Glödlampa	60	1,00	60
Kvicksilverlampa	125	0,90	139
Lågenergilampa (CFL)	18	0,90	20
Metallhalogen/Metallhalid (MH)	400	0,90	444
Keramisk Metallhalogen (CDM / CPO)	70	0,90	78
Högtrycksnatrium (HPS / SON)	400	0,90	444
T5 lysrör	35	0,90	39
T8	36	0,80	45
T8 med HF-don	36	0,90	40
LED**		(saknas)	

* systemeffekten erhålls genom att dividera märkeffekt med omräkningsfaktor – exempel för metallhalogen 400 W/0,90 = 444 W

** För LED finns standarder som anger hur effekten anges. Själva lysdioden är ofta integrerad i armaturen.

Exempel på användning av tabell 11.

Om man vid en energikartläggning läser av märkeffekten 36 W så ska man räkna med att den elektriska effekten är 45 W. Utifrån det beräknar man hur mycket elenergi som lysröret använder. Lyser det 10 timmar per dag så använder det 0,45 kWh/dag.



Bild 20. Armatur typ strålkastare med metallhalogenlampa är ett alternativ i lösdriftshallar.

Åtgärder för energibesparing inom belysning - en sammanställning

Inställningar, skötsel och underhåll

1. Ta reda på behovet av ljus i olika delar av byggnaden.

Vad behöver personalen och vad behöver djuren? Kan man välja en annan belysning nattetid?

2. Rengör fönster för att dra nytta av naturligt ljus.

Det billigaste ljuset är dagsljuset, men smutsiga fönster släpper inte in det.

3. Rengör armaturerna.

Smutsiga globber, kåpor och reflektorer gör att man drar mindre nytta av den energi som tillförs armaturerna.

4. Rengör väggar och tak så att ljuset reflekteras och verkligen kommer till nytta.

5. Släck!

Släck lampor som inte behöver vara tända. Skaffa bra rutiner och vanor för släckning. Alternativet är att ordna med automatisk styrning.

Ombyggnad och komplettering

6. Styr belysningen (automatisera).

Automatik är ofta bättre än manuell tändning och släckning, som man kanske missar att sköta. Låt utrymmen och förutsättningar bestämma om automatiken ska bygga på tid, närvaro eller hur mycket dagsljus som kommer in.

7. Gruppera/sektionera armaturer.

Gruppera, det vill säga dela upp armaturer i mindre grupper. Då kan man tända bara de grupper som behövs, antingen manuellt eller med hjälp av automatik.

8. Dimmer-system.

Med dimmer kan man reglera belysningsstyrkan efter behov och då gärna med automatik.

9. Byt ljuskälla eller armatur.

Det finns inga standardlösningar för byte i befintliga byggnader. Om man enbart siktar på energieffektivaste lampa då har man god ledning av uppgifterna på sida 15, det vill säga hur mycket ljus man får ut för varje W som tillförs lampan. Tabellerna ger vissa riktvärden, men viktigaste data får man ändå från produktblad och förpackningar.

Behov och förutsättningar varierar och man behöver ta hänsyn till fler faktorer såsom färgåtergivning och tid för upptändning och återstart. Ljuskällans spridningsvinkel är också viktig

Det är vanligt att ersätta glödlampor med lysrörslampor eller kanske ännu bättre, LED-lampor.

Att byta ut T8-lysrör mot de elektroniskt styrda T5-rören kan spara en del energi, men inte i kalla lokaler. LED-rör kan vara ett betydligt bättre alternativ.

I en strålkastare för ytterbelysning kan man med fördel byta ut kvicksilverlampan mot en LED-lampa eller en LVD-lampa. Som bonus får man mycket kortare tändtid.

De nya ljuskällorna kostar oftast mer initialt, men man får lägre energikostnader och oftast lägre underhållskostnader. Ju längre brinntider, desto mer betyder energikostnaden och desto mindre betyder investeringen.

10. Använd ledbelysning där det går.

i korridorer och förbindelsegångar, där man bara passerar, är det ofta onödigt med full belysning och det är onödigt att den är tänd för jämnan. Man kan ha lite svagare belysning med ex. LED-lampor, tillräckligt för att kunna passera och med möjlighet att tända upp mer vid behov. Närvarodetektor med tidur kan vara ett annat alternativ i sådana utrymmen.

Val av system i nya stallar

11. Välj belysning utifrån livscykelkostnaden (LCC).

Det finns heller inga standardlösningar för belysning i nya byggnader, men lm/W och LCC ger bra ledning. Dessutom bör man titta på färgåtergivning och hur man kan fördela ljuspunkterna över ett givet utrymme. När man väljer t.ex. metallhalogenlampor framför lysrör och därmed färre ljuspunkter blir det mer noga med placeringen så att man fördelar ljuset väl och inte skapar mörka utrymmen.

12. Begär ljusberäkning och garanti på uppnådd ljusnivå.

13. Planera för naturligt ljus.

Dagsljus är det billigaste ljuset och dagsljusinsläpp kan med fördel kompletteras med styrning som känner av belysningsstyrkan, "skymningsreläer". Hänsyn måste naturligtvis tas till djuren. Man måste bland annat titta på om ljusinsläppen orsakar för mycket uppvärmning på sommaren eller om djuren påverkas av kontrasten mellan ljus och skugga.

14. Val av färger och ytor.

Använd färger och ytor med sådana egenskaper att de reflekterar ljuset istället för att "äta upp" det.



Bild 21. Med mycket naturligt ljus bör man kunna dra ner på energin till belysningen och inte ha lysrören tända i onödan.

Referenser i urval

Hörndahl, T., von Wachenfelt, E. och von Wachenfelt, H. 2012. Belysning i stallbyggnader. Lantbrukets byggnadsteknik, SLU, Alnarp.

Internetlänk: http://pub.epsilon.slu.se/9487/11/horndahl_et_al_130308.pdf

Hörndahl, T och Neuman, L. (2012). Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader. Rapport 2012:19. Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, SLU Alnarp.

Internetlänk: http://pub.epsilon.slu.se/9105/11/horndahl_et_al_121001.pdf

Neuman, L. mfl. 2009. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008. LRF Konsult.

Internetlänk: <http://www.bioenergiportalen.se/attachments/42/451.pdf>

Ljuskompedium 2011. Våra Vanligaste ljuskällor. Annell Ljus+Form AB, Stockholm.

Internetlänk: <http://www.annell.se/kataloger/vara-vanligaste-ljuskallor/default.html>

Internetlänkar

Liten ordbok för belysningsbergrepp: <http://www.annell.se/bibliotek/liten-ordbok>

Kostallplan – Belysning: http://www.kostallplan.se/?page_id=794

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 6

Belysning

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 7

Utgödsling

2013



David Hårsmar, Rådgivarna i Sjuhärad



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Huvudförfattare till denna del är **David Hårsmar**, teknikagronom och energirådgivare vid Rådgivarna i Sjuhärad.

För redigering och komplettering svarar teknik- och energirådgivare **Lars Neuman**, LRF Konsult i Ulricehamn.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölknings
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

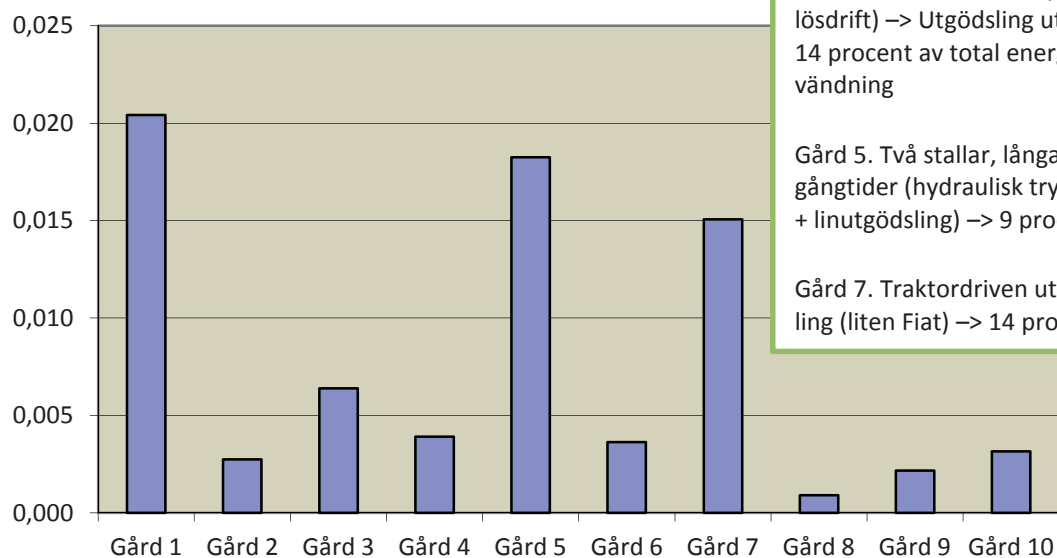
<u>Innehåll</u>	<u>Sida</u>
Inledning - utgödslingen använder relativt lite energi	4
Sparåtgärder för utgödsling	5
Krav på utgödslingens funktion	5
Gödselns egenskaper	6
Hur stallgödsel hanteras påverkar även indirekt energianvändning	7
Flytgödsel	7
Fastgödsel	8
Ströbädd	9
Pumpning av gödsel	9
Värmekabel	10
Kollektorslang i gödselkylvert	10
Robotskrapa	10
Möjligheter att styra utgödsling	11
Referenser i urval	11

Inledning - utgödslingen använder relativt lite energi

Utgödslingssystemens uppgift är att transportera gödsel ut ur stallet till ett lager. Kraven på utgödslingsanläggningen är hårda. Den ska stå emot en fuktig och korrosiv miljö, klara av en heterogen gödsel med främmande föremål samt klara den svenska vintern. Dessutom ska den fordra lite underhåll och göra ett snabbt och bra arbete. Driftsavbrott är dyra, irriterande och försvårar arbetet i ladugården betydligt.

Utgödslingen står vanligen för en ganska liten del av energianvändningen inom lantbruket, oftast mindre än 5 procent. Det finns dock gårdar där energianvändningen sticker iväg vilket illustreras (för mjölkproduktion) i bild 1. Flitigt använd värmekabel, långa drifttider samt i hög grad traktordriven utgödsling ligger ofta bakom en hög energianvändning för just utgödsling.

Utgödsling, energianvändning (kWh/kg mjölk)



Gård 1. Värmekabel i gödselrännor och tvärkulvert (kall lösdrift) → Utgödsling utgör 14 procent av total energianvändning

Gård 5. Två stallar, långa gångtider (hydraulisk tryckare + linutgödsling) → 9 procent

Gård 7. Traktordriven utgödsling (liten Fiat) → 14 procent

Bild 1. Energianvändning i kWh per kg mjölk för 10 olika mjölkgårdar. Utgödsling står generellt för en liten del (< 5 procent) av den totala energianvändningen, men det finns undantag som lyfts fram i diagrammet ovan och med en kort kommentar.

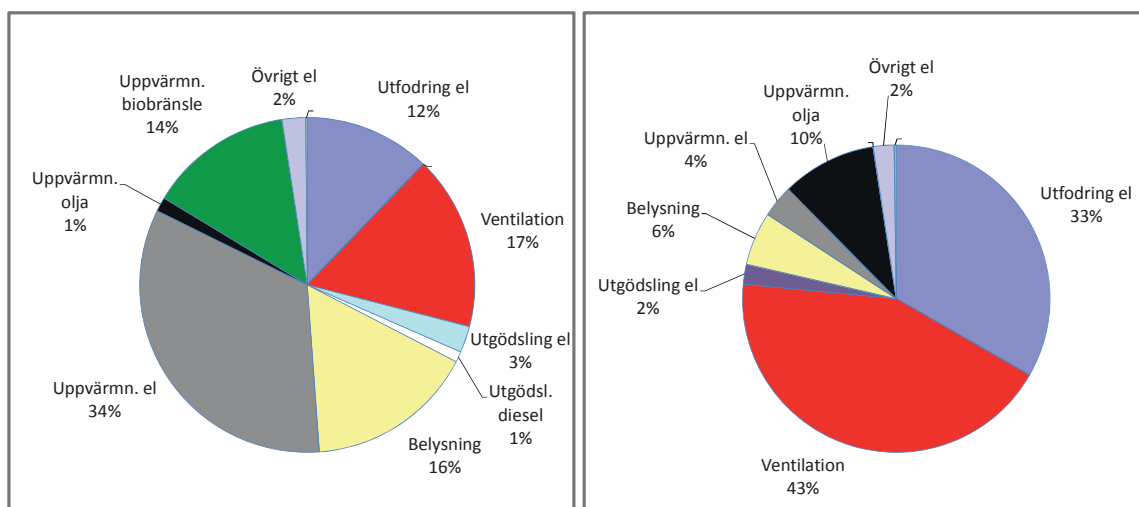


Bild 2. Utgödslingens andel av energianvändningen är låg också i grisproduktionen. I smågrisproduktionen (vänstra diagrammet) är den mindre än 4 procent och i slaktvinsproduktionen ca 2 procent.

Sparåtgärder för utgödsling

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att dela in åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra.

De lättaste är de som handlar om rutiner och beteende, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Det är åtgärder som inte behöver planeras väl och de behöver inte medföra kostnader, möjligen lite extra tid. Lönsamheten behöver sällan diskuteras. Att se till så att utgödsling och pumpar inte "går i tomme" är en sådan åtgärd. Vi kallar det åtgärder på den första nivån med inställningar, skötsel och underhåll.

Andra åtgärder kan kräva inköp eller utbyte av utrustning och komponenter. Alltså medför de kostnader och då är det bra att räkna på lönsamheten. Exempel på det är att byta till en skärande pump. Vi kallar det åtgärder på den andra nivån med ombyggnad och komplettering

Slutligen finns det åtgärder på en tredje nivå, som kräver större investeringar och innebär byte av system och som behöver planeras väl. En lönsamhetskalkyl bör ligga till grund för investeringen.

Inställningar, skötsel och underhåll

1. Låt skraporna gå tillräckligt för att hålla en bra djurmiljö men inte mer.
2. Undvik tomkörning
3. Underhåll utgödslingsanläggningen inklusive eventuella pumpar regelbundet
4. Stäng av värmekablar då de inte behövs

Ombyggnad och komplettering

5. Automatisera driften av pumpar, skrapor och värmekablar
6. Lindrift har som regel lägre energiförbrukning än hydrauldrivna skrapor.
7. Byt till skärande pump där det finns problem med pumpbarhet och homogenitet.

Val av system i nya stallar

8. Vid planering av nya byggnader för djur gör så få och raka skrapgångar som möjligt för att minska ner på antalet motorer för utgödslingen.
9. Planera för självflyt i kulvertar om förutsättningar finns.
10. Planera för självflyt till gödselbehållaren om förutsättningar finns.
11. Anpassa rörens dimensioner till pumpens kapacitet, för kläna dimensioner innebär större energibehov.
12. Undvik traktor-baserade system för att skrapa rent gångar i stall.
13. Tänk på att flytgödselhantering är bättre än fastgödselhantering med avseende på både direkt och indirekt energianvändning. Sämst för indirekt energianvändning är djupströbädden.

Krav på utgödslingens funktion

Ett system för utgödsling måste uppfylla en rad krav med avseende på både djurmiljö, arbetsmiljö, yttre miljö och ekonomi.

Djurmiljö

Utgödslingen har till uppgift att transportera ut gödsel på ett effektivt sätt och som ger så rena djur och en så ren stallmiljö som möjligt. Djuren ska inte skadas och de ska störas i så liten grad som möjligt. Utgödslingen måste tillåta användning av önskvärd mängd strömedel - som krävs för komfort, närklimat, sysselsättning och eventuellt fodertillskott.

Systemet får inte ge upphov till drag i stallet och det ska fungera även i perioder av kall väderlek med frost och skall minimera mängden gödselgaser som uppstår i stallet.

Arbetsmiljö

Ett bra utgödslingssystem skall fungera även i kyla eller åtminstone inte hindra utgödsling med andra metoder då det är alltför kallt. Underhåll och service skall kunna utföras på ett säkert sätt och vid normal drift skall systemet bidra till en god arbetsmiljö.

Yttre miljö

För effekter på yttre miljö handlar det främst om att ordna utgödslingen på ett sådant sätt så att avgång av ammoniak och andra gaser minimeras både i stall och vid lagring. Urindränning, att minimera ytor täckta med gödsel, frekvent borttransport av gödsel samt kylning av gödsel är här positivt.

Ekonomi

Den totala kostnaden för utgödslingen består av investeringens värdeminskning och ränta, underhållskostnad, arbetskostnad samt energikostnad. Investeringen i ett stationärt utgödslingssystem ligger inte bara i den mekaniska utrustningen utan även i den byggnadskonstruktion som krävs (schaktning, grävning, gjutning). För att göra ett välgrundat val utifrån ekonomin måste man väga in samtliga dessa delar. Energi, underhåll och arbetstid dominerar stort den totala kostnaden ur ett livscykelperspektiv, varför dessa aspekter måste ges stort utrymme. Nyckelord är här energieffektivitet, driftsäkerhet och automatisering.

Gödselns egenskaper

Gödselns konsistens påverkar direkt valet av utgödslingsanläggning och omvänt. Varje typ av utgödslingsanläggning är anpassad till en viss gödselkonsistens och fungerar ofta sämre eller inte alls då konsistensen ändras. Har man en utgödslingsanläggning anpassad till flytgödsel så har man begränsade möjligheter att öka strömängder eller byta strömedel.

En vanlig indelning av gödsel visas i tabell 1.

Tabell 1. Indelning av gödsel efter konsistens och hantering

Gödseltyp	Beskrivning	Torrsubstanshalt, ungefärlig
Urin	Flytande	< 2 %
Flytgödsel	Pumpbar gödsel	4 – 12 %
Kletgödsel	Ett mellanting, varken pumpbar eller staplingsbar	12 – 20 %.
Fastgödsel	Staplingsbar gödsel	> 20 %

En förutsättning för att gödseln ska kunna staplas, lagras på höjden är att urinen har skilts ifrån eller att stora mängder strö tillsatts. Fastgödselhantering kräver mer insats av tid, arbete och energi än flytgödselhantering. Dessutom krävs oftast dubbla lagringssystem, en platta för gödseln och en behållare för urinen. Nya anläggningar byggs så långt som möjligt för flytgödselhantering, d.v.s. att träck och urin hanteras och lagras tillsammans. Det råder ingen tvekan om att den hanteringen är rationellare och effektivare. En annan mycket viktig orsak är bättre kvävehushållning genom den aeroba lagringen av flytgödsel. Om man därmed kan minska inköp av mineralkvävegödsel så har man även minskat den indirekta energianvändningen.

Torrsubstanshalten är inte ett entydigt mått för indelning i gödselslag. Gränserna kan i många fall vara diffusa. Konsistensen och pumpbarheten påverkas av djurslag, utfodring, typ av strö och eventuell tillsättning av vatten.

Hur stallgödsel hanteras påverkar även indirekt energianvändning

Denna handbok behandlar direkt energianvändning (energi genom el, drivmedel, eldningsolja o.s.v.). Men det finns anledning att framhålla att valet av stallgödselsystem även påverkar den indirekta energianvändningen. Bättre kvävehushållning i stallgödseln minskar ju behovet av mineralkvävegödsel. I svenskt lantbruk är det mineralkvävegödsel som svarar för största delen av den indirekta energianvändningen, då framställningen använder mycket energi.

Kvävehushållningen är sämst i den torra och porösa fastgödsel som kommer från ströbäddar och den är bäst i flytgödselsystemet. Det förutsätter då en hantering och ett system som hindrar ammoniakavgång från stall, lager och spridning.



Bild 3. Skrapor på gångar och under spalt kan drivas med linspel eller hydrauliskt. Linspelen är mindre effektkrävande än den hydrauliska drivningen.

Flytgödsel

Urin och träck hanteras och lagras tillsammans. De tidigaste systemen tömdes genom gravitationen, När man drog upp luckan för gödselkanalen kunde flyta ut av sig själv. Så småningom infördes regler för att gödseln skulle skrapas ut och inte bli stående under spaltgolvet.

Skrapor

Man använder idag oftast skrapade gödselgångar eller skrapor under spaltgolv. Skraporna drivs ofta med linspel, ibland med hydraulik. Den hydrauliska drivningen har låg verkningsgrad, den använder mer energi än linspelet. Tvärkulverten, där de skrapade gödselgångarna mynnar, töms oftast med hydraulisk tryckare. Tryckaren mynnar i en pumpbrunn, varifrån gödseln pumpas till lagerbehållaren, eller direkt i lagerbehållaren.



Bild 4. Utgödslingen i mjölklagårdar görs med skrapade gångar eller med skrapor under spalt. Med rätt förutsättningar kan man under spalten ha självflyt, gödseln flyter ut till tvärkulvert av sig själv.

Självflyt, flytutgödsling

Oavsett djurslag är naturligtvis det mest energieffektiva sättet att flytta lättflytande gödsel genom att den flyter dit den ska med tyngdlagen som enda kraft. Det finns idag ett intresse för att bygga mjölkklagårdar med självflytande gödsel. Då slipper man den mekaniska utgödslingen och den energi som behövs för drivningen. Detta kan fungera om gödselkulverten avslutas med en tröskel mot tvärkulverten. Denna ska hålla kvar tillräckligt med vätska, så att gödseln kan flyta ovanpå och rinna ut efterhand. Därför bör tröskeln vara minst 15-20 cm, kanske högre. Botten på kulverten ska vara helt plan och den får alltså inte slutta mot tröskeln. Djupet under spalt bör vara minst 80 cm, att jämföra med normala 60 cm vid mekanisk utgödsling.

Man ska planera för raka flöden så att inte gödseln behöver flyta i svängar. Det ska inte finnas inga kanter eller utskjutande hörn där gödseln kan "hänga sig" och inga förträngningar. Risken ökar med långt strö och när djuren drar ner stråfoder i gödseln. Argument mot systemet är att man måste schakta och gjuta lite djupare, att kulverten så småningom kan grundas upp av en bottensats med framför allt sand samt att en eventuell blockering blir besvärlig och tidsödande att åtgärda. Då upplever man den mekaniska utgödslingen som säkrare och den drar ändå förhållandevis lite energi. Det är möjligt att ha självflyt även i tvärkulvert om den utformas rätt.

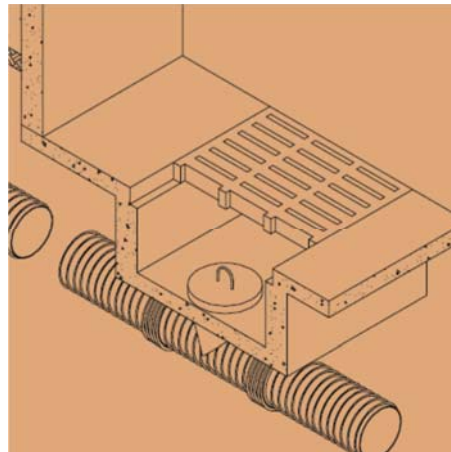
Man har inte sett att luftkvaliteten blivit sämre med självflytande gödsel.

Vakuumutgödsling

I slaktsvinsstallar och tillväxtstallar förekommer en energibesparande variant utan mekanik och med utnyttjande av gravitationen, den så kallade vakuumutgödslingen. Det har blivit en allt vanligare lösning i stallar med lättflytande gödsel, t.ex. i tillväxtstallar och slaktsvinsstallar. Fördelen är att det inte finns rörliga delar som kräver underhåll och inte använder energi. Under spalten lagras gödseln i rännorna för att sedan tömmas genom att man öppnar till de rör som ligger nedgjutna i betongen. Rören leder via ett vattenlås till en pumpbrunn. Utgödsling sker med högst två veckors intervall och det tar endast ett par minuter att lyfta varje tömningspropp. Vakuumutgödslingen fungerar bäst när inget strö alls används, men de svenska reglerna föreskriver strö. Det kan ge problem i vakuumutgödslingen, särskilt om halmen inte är tillräckligt finhackad.

Bild 5.

Princip vakuumutgödsling.



Fastgödsel

En bra fastgödselhantering, som gör att gödseln kan lagras på höjden på en platta, förutsätter en fungerande urindränning inne i stallen. Man använder någon form av skraputgödsling, ofta kombinerad med hydraulisk tryckare i tvärkulverten. När man har byggt isolerade stallar, t.ex. för nötköttsproduktion, har man valt att skrapa gödselgångarna med hjälp av traktor eller kanske kompaklastare. Det är mer energikrävande än eldrivning. Fastgödselsystemet är generellt mer energikrävande än flytgödselsystemet, när man ser på hela kedjan till spridning på fältet.

Ströbädd

Det finns många fördelar med att ha djur på ströbädd och det är särskilt intressant i sinsugg- och kött-djursstallar. En nackdel är att man ska ta vara på tillräckligt med halm till strö och det kräver också energi. Utgödslingen, som görs med traktor eller lastmaskin, drar också en del bränsle. En betydande nackdel, i det stora sammanhanget, är att ströbäddens gödselvärdet är begränsat, om ens något. Kvävehushållningen är sämre än i den normala fastgödselhanteringen.

Pumpning av gödsel

I många anläggningar förs gödseln med utgödslingen till en pumpbrunn som första anhalt. Pumpen, som pumpar vidare till lagerbehållaren, är vanligen en centrifugalpump och generellt sett är det den energieffektivaste pumptypen för ändamålet. Den behöver ofta ha en skärande funktion, vilket sänker energibehovet. Pumphjulets drivning kan ske direkt med elmotor, men det förekommer också hydrauldrift. Detta förutsätter givetvis en eldriven hydraulpump och detta är ett system som är mer energikrävande än direktdrift med el.

Ibland krävs en särskild omrörare som rör om och homogeniserar gödseln före överpumpning till lagerbehållaren. Svämtäcke och bottensats ska röras in. Omröraren är eldriven och den bör inte köras mer än nödvändigt för att säkerställa pumpningen.

Har man en traktordriven pump i pumpbrunnen bör man överväga att byta till eldrift. Orsaken är den stora skillnaden i verkningsgrad mellan en elmotor och en dieselmotor. Det är ett generellt effektiviseringsråd att byta traktordrift mot eldrift. En elmotor i storleken 11-18 kW har en verkningsgrad på över 90 procent, d.v.s. mer än 90 procent av tillförd energi används för att driva pumpen. För en traktor gäller att inte mer än 30 - 35 procent av energin i dieseloljan blir kvar till kraftuttaget som driver pumpen.



Bild 6. Pumpen i pumpbrunnen bör vara eldriven. Att pumpa med traktor innebär högre energianvändning. Det kan också behövas en eldriven omrörare som kompletterar pumpen.

Flytgödselns konsistens och torrsubstanshalt påverkar energiåtgången vid pumpning. Är torrsubstanshalten högre än 10 procent kan man behöva tillsätta vätska för att underlätta pumpning. Gödsel med en torrsubstanshalt högre än 12 procent är normalt inte pumpbar. Vattentillsats är också en fråga om hur mycket vatten man ska lagra och sedan köra ut och sprida i fält. Det kräver energi att köra vatten.

Vilken pump man bör välja beror helt på pumphöjd och gödselns konsistens. Det är viktigt att rör och ledningar i systemet är anpassade till gödselpumpen. För klen dimensionerade rör eller slangar skapar flaskhalsar som gör processen långsammare och medför att mer energi används i onödan. Förskruvningar och munstycken får inte heller vara för små. En flaskhals kan också uppstå på grund av stopp eller av luftfickor i en ledning som är fellagd.

Energiåtgången hos en gödselpump kan vara betydande. En av gårdarna i en studie inom SLF:s Köttprogram (Ohlsson m.fl., 2011) angav att de hade en pump på 40 kW, som fick gå 6 timmar per dag årets alla dagar. Detta innebär en årlig elförbrukning på 87 600 kWh. Det fanns förmodligen sparåtgärder att sätta in.

Det finns ett ökande intresse för pumpning av gödsel till fält som alternativ till transport med gödseltankvagn. Ett starkt skäl är en lägre energiåtgång per ton eller per tonkm. Uttransport till fält behandlas dock inte i denna handbok.

Värmekabel

I oisolerade byggnader brukar man skydda mot fastfrysning i skrapade gångar med en värmekabel, som gjuts ner i botten på gödselgången. Vanlig effekt är omkring 16 - 18 W per m kabel. Exempel på energianvändning i en 80-kors besättning är 1000 kWh/år. Det är viktigt att man har termostatstyrning av värmekabeln, så att den inte förbrukar el i onödan eller helt blir bortglömd på våren.

Kollektorslang i gödselkulvert

Man kan gärna överväga att lägga ned PEX-slang vid gjutning av gödselkulvert. Det ger en framtida möjlighet att använda den som kollektorslang till en värmepump. När man på så sätt utnyttjar värme från gödseln och kyler den så minskar ammoniakavgången. Det ger fördelar för stallmiljön och för kvävehushållningen. Vanligast är detta i svinstallar.

Robotskrapa

På marknaden börjar finnas batteridrivna robotar som vandrar runt och skrapar ner gödsel från spalten. Det är ytterligare en utrustning som behöver energi. Från en energikartläggning rapporteras ett uppmätt energibehov på 1,25 kWh/dygn, så det blir ganska måttliga 450 kWh på ett år.

Bild 5.

Robotskrapa. (Källa: DeLaval)



Möjligheter att styra utgödsling

Drifttider

Det är bra från energisynpunkt att kolla upp hur ofta gödselskraporna behöver köras. En tidsstyrning på utgödslingen kan minska energianvändningen, men det handlar förstås om djurmiljö. Kan drifttiden minskas utan att djuren blir smutsigare och stalluften sämre?

Underhåll

Det är viktigt att underhålla utgödslingsanläggningen. Byt ut dåliga lager, deformerade delar och nedslitna skrapor. I hydrauliska system är det viktigt att kontrollera oljenivåer och att byta filter regelbundet. Tänk på att kontrollera att anläggningen arbetar effektivt med hänsyn till vändlågen med mera. Det bästa är i regel att ha ett serviceavtal med leverantören.

För alla pumpar gäller att de ska underhållas regelbundet. En sliten eller delvis igensatt pump minskar kapaciteten och ökar energianvändningen. Kontrollera kanalerna i löphjulet som ofta sätts igen.

Ett pumpsystem till flytgödsel bör vara tätt, eftersom energiförbrukningen ökar om mycket flytgödsel kommer tillbaka till pumpgruppen. Var särskilt uppmärksam på rörkopplingar, packningar och lagertätningar, där otätheter kan uppstå.

Referenser i urval

Ohlsson mfl., 2011. Praktiska lösningar för att få utgödslingen att fungera med riklig halmmängd vid grisning. Ett pilotprojekt finansierat av Köttprogrammet (SLF)

Mickelåker, HS Kristianstad 2013. Artikel om självflyt. Skånska lantbruk, nr 4/2013

Jordbruksverket. 2013. Gödsel och miljö 2014.

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 7

Utgödning

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 8

Foderberedning och utfodring

2013



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Lars Neuman, energi- och teknikerådgivare, LRF Konsult AB, Ulricehamn.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. Elmotorer. elektricitet - lite grunder
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Foderberedning och utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölknings
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Innehåll	sida
Inledning, energianvändning i foderberedning och utfodring	4
Tips – åtgärder för att energieffektivisera, i sammanfattning	5
Transport av spannmål och foder	7
Åtgärder transportörer	9
Sönderdelning, malning	9
Hammarkvarn eller slagkvarn	10
Skivkvarn	10
Kross	11
Vad påverkar elförbrukningen vid malning?	12
Malfinhetens inverkan	12
Vattenhaltens inverkan	13
Underhåll	13
Åtgärder vid malning	14
Utfodring till grisar	14
Torrutfodring	14
Blötutfodring	15
Åtgärder utfodring grisar	16
Nötkreatur och vallfoder	17
Uttagning och intransport av ensilage	17
Utfodring av ensilage	19
Åtgärder vid utfodring av vallfoder	20
Referenser i urval foderberedning och utfodring	22

Inledning, energianvändning i foderberedning och utfodring

Foderberedning och utfodring svarar för mellan 25 och 30 procent av energianvändningen i mjölkproduktionen. Det visar studien *Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008 (Neuman m.fl.)*. Där ingick 45 mjölkgårdar med sammanlagt 4500 kor. Både el och diesel ingår i beräkningen.

För jämförelse beräknades nyckeltal, kWh per kg mjölk. Beräkningen började med uttag av ensilage och spannmål till foder. Den avslutades med att mjölken kylts och gödseln flyttats till lagret. Av ett genomsnittligt nyckeltal på 0,154 kWh/kg användes ca 0,04 kWh/kg till att ta fram råvaror, mala, krossa, ta in vallfoder, blanda och utfodra.

För slaktsvinen på 14 gårdar i samma studie användes 1/3 av energin till foderberedning och utfodring eller 9 - 10 kWh/gris av nyckeltalets medeltal på 29 kWh per producerad gris.

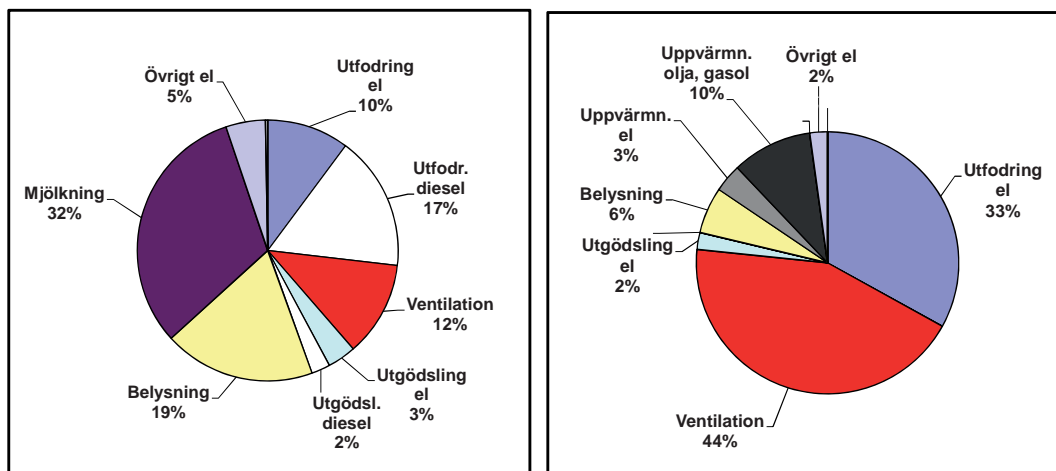


Bild 1. Foderberedning och utfodring.

1A. I medeltal på 23 kogårdar med lösdrift användes 27 procent av energin i mjölkproduktionen till foderberedning och utfodring.

(Neuman m.fl. 2008)

1B. I medeltal på 14 gårdar med slaktsvin användes 33 procent av energin i slaktsvins - produktionen till foderberedning och utfodring.

I undersökningen var det stora skillnader mellan olika företag. På gårdar med mjölkproduktion kan utfodringen ske på många olika sätt och variationen i energianvändning kan därför bli stor. De olika systemen är mer eller mindre energikrävande. Variationen visar att det finns möjligheter till energibesparing.

Det skiljer inte lika mycket mellan slaktsvinsgårdarna. man har antingen torr- eller blötutfodring. Det varierar en del i foderberedning, kedjan fram till utfodring. Den största skillnaden är om man har egen eller inköpt spannmål att mala eller om man köper färdigt foder. I det senare fallet har man flyttat kvarnens elförbrukning från gården till foderfabriken. Samma förhållande gäller naturligtvis kraftfoderet på mjölkgårdarna.



Bild 2.

Vid inköp av färdigt foder flyttas kvarnens elförbrukning till foderfabriken. Det bör man tänka på när gårdars nyckeltal jämförs med varandra.

Tips – åtgärder för att energieffektivisera

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att dela in åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra. Lättast är de som handlar om rutiner och beteende, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Det är åtgärder som inte behöver planeras väl och de behöver inte medföra kostnader, möjligen lite extra tid. Lönsamheten behöver sällan diskuteras. Kontroll av tryckluftsläckage och sparsam körning är sådana åtgärder. Vi kallar det åtgärder på den första nivån.

Andra åtgärder kan kräva inköp eller utbyte av utrustning och komponenter. Alltså medför de kostnader och då är det bra att räkna på lönsamheten. Sådana åtgärder kan ta lite längre tid att genomföra. Exempel på det är att sätta frekvensstyrning på foderpumpen eller att byta till en energisnålare transportör. Vi kallar det åtgärder på den andra nivån.

Slutligen finns det åtgärder på en tredje nivå, som kräver större investeringar och innebär byte av system och som behöver planeras väl. En lönsamhetskalkyl bör ligga till grund för investeringen.

Texten tar upp olika åtgärder, i huvudsak på de båda första nivåerna. Nedan sammanfattas åtgärderna helt kort. Beskrivningar och motiveringar följer längre fram.

Åtgärder transportörer (sida 7)

1. Undvik lufttransport
2. Använd cellhjulsmatare vid fläkttransport
3. Undvik många böjar på flex-skruven

Åtgärder malning (sida 14)

4. Underhåll kvarnen
5. Malfinheten påverkar energianvändningen vid malning
6. Vattenhalten påverkar energianvändningen vid malning
7. Använd skivkvarn istället för hammarkvarn
8. Använd mekaniska transportörer till hammarkvarnen
9. Använd kross till nötkreatursfoder

Åtgärder utfodring grisar (sida 16)

10. Fyll satsblandare till hela volymen
11. Minimera blandningstiden
12. Fyll foderröret lagom
13. Rätt blandningsförhållande mellan foder och vatten
14. Välj rätt pump
15. Frekvensstyrning på foderpumpen.
16. Kolla för tryckluftsläckage

Åtgärder utfodring av vallfoder (sida 20)

17. Planera logistiken för uttagning och intransport av ensilage.

18. Använd ett sparsamt körsätt.

19. Använd elektrisk motorvärmare med tidur.

20. Ersätt traktorbaserad utfodring

21. Ersätt traktordrift med eldrift

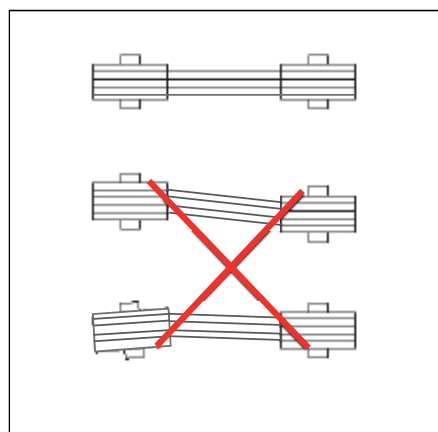
Åtgärder övrigt

För transportörer och för andra maskiner med remdrift gäller att underhållet betyder mycket för elförbrukningen. Lagren bör vara av en typ som inte kräver smörjning. Var uppmärksam på deformationer och skador som påverkar kapaciteten. Byt slitna lager. Underhåll kilremmarnas kondition, dragning och spänning. Slitna remskivor, dåligt spända remmar och slitna remmar ger sämre verkningsgrad och större elförbrukning. Skydda remmarna mot beläggning av foder som minskar friktionen.

Kedjedrift ska också underhållas, gör ren och smörja vid behov.

Bild 3.

Om inte kilremmar och remskivor ligger i rak linje så blir det större friktion och då förloras energi, i form av värme. Materialet slits också fortare.



Transport av spannmål och foder

Allmänt gäller att det går åt mer energi om man ska blåsa spannmål än att flytta den med mekaniska transportörer som bör väljas i första hand. Ändå kan lufttransport vara den bästa lösningen på många gårdar beroende på transportvägen med krökar och vinklar.

Är man hänvisad till transport med luft så kan man vara noga med metod för hur spannmålen matas in i luftströmmen. Det har betydelse för såväl kapacitet som elförbrukning. Matning kan ske med injektor eller cellhjulsmatnare och framtransporten dit sker med en transportör eller självrinning. Injektor är en billig lösning men inte så energieffektiv och den har inte den bästa kapaciteten. En cellhjulsmatnare istället för injektor ökar transportkapaciteten och den gör transporten energieffektivare. Om fläkten även ska suga till sig spannmålen i en så kallad sug- och tryckfläkt, så används ännu mer energi i förhållande till transporterad mängd.

Tabell 1. Riktvärden för energibehov vid transport med luft, 10 m transportsträcka.

Matningsmetod	kWh/ton
Fläkt med injektormatning	0,8 - 1,2
Fläkt med cellhjulsmatning	0,5 - 0,7
Sug- och tryckfläkt	1,5 - 4,0

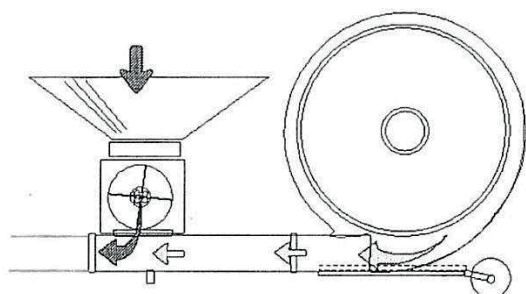


Bild 4 A. Fläkt med cellhjulsmatnare, som hindrar onödigt insug av luft. Injektor däremot förutsätter insug för att fungera och det sänker kapaciteten.

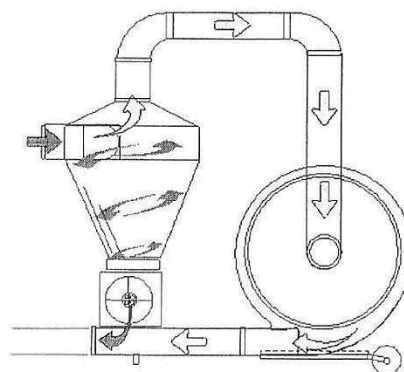


Bild 4 B. Sug- och tryckfläkt. En cyklon separerar luft från spannmålen, som förs in i luftströmmen igen med cellhjulsmatning

Rörskruven är en mycket använd transportör. För horisontell transport kan man räkna med att den drar ca 0,2 - 0,3 kWh/ton på 10 m transportlängd. Att skruven kan lutats bidrar till flexibiliteten, men kapaciteten minskar med ökande vinkel. Vid 70° lutning är kapaciteten 40 - 50 procent lägre än för en lig-gande skruv och samtidigt fördubblas elförbrukningen.

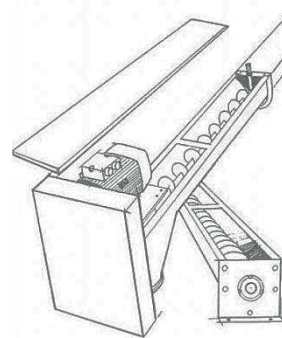
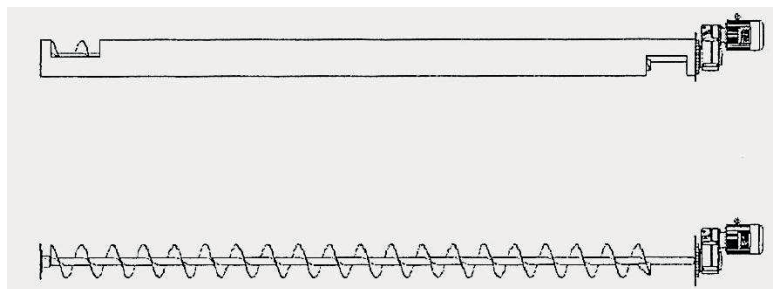


Bild 5. Skruven kan vara en rörskruv eller en U-skruv.

U-skruvan arbetar med mindre friktion än rörskruven, eftersom själva skruven är lagrad i skruvträget. Lagringen gör att den inte töms helt, vilket kan vara en nackdel. För 10 m transport använder den ca 0,1 - 0,15 kWh/ton.

Flex-skruvan är en centrumlös variant av rörskruven. Den är böjlig och därför kan man skruva foder i böjar och stigningar, vilket underlättar anpassning till byggnaden. En rak centrumlös skruv har en energianvändning som motsvarande skruv med centrumaxel. Flex-skruvan används mest till malet och pelleterat foder. Man ska undvika många och skarpa böjar, eftersom det ökar friktionen, vilket i sin tur ökar både slitage och elförbrukning.



Bild 6. Den centrumlösa böjbara skruven har en böjlig skruvspiral och kallas därför ofta för flex-skruv

Vid uttagningen från spannmålstorken har man också ofta elevatorer för transport. Elevatorer är bättre anpassade än skruvar för vertikal transport, men de är samtidigt betydligt dyrare i inköp. En skopelevator behöver knappt 0,1 kWh/ton för 10 m vertikal transport, medan kedjeelevatoren behöver något mer på grund av högre friktion: 0,15 - 0,2 kWh/ton. Kedjeelevatoren kan även klara en viss lutning.

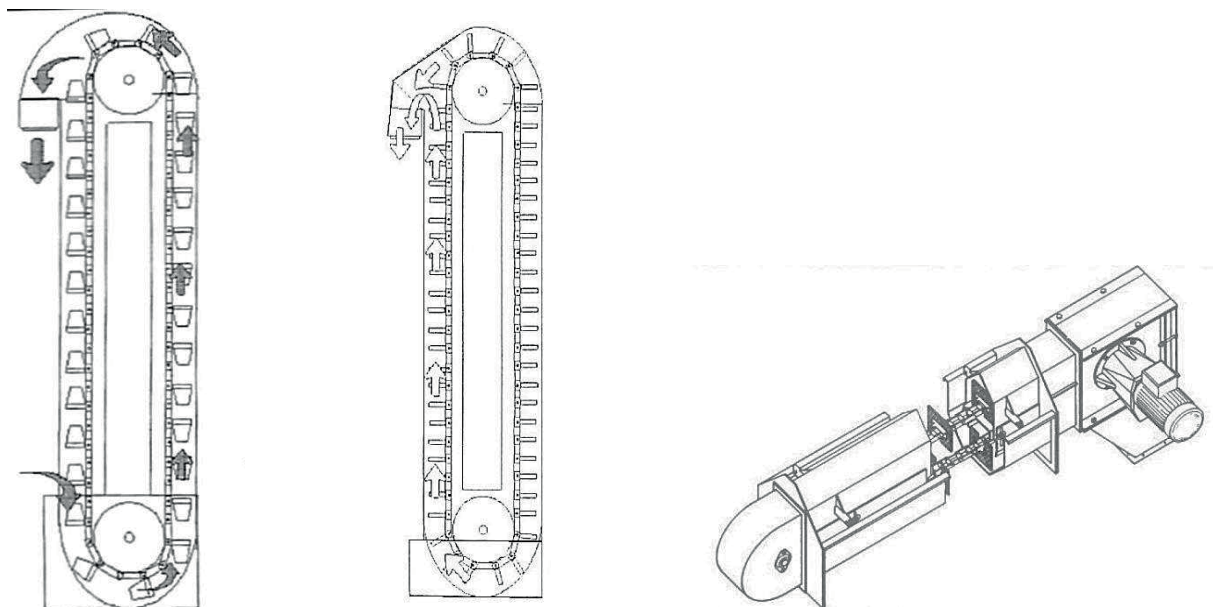


Bild 7. Skopelevator, kedjeelevator och kedjetransportör.

För horisontell transport är bandtransportören den som använder minst energi, mindre än 0,1 kWh/ton.

Ofta sker uttagning från spannmålsfickor med hjälp av luft och golvsveperplåt. Då krävs ofta ett visst tillskott av fläktenergi mot slutet, när det mesta tömts genom självrinning.

Tabell 2. Riktvärden för energibehov mekaniska transportörer, ca 10 m transportsträcka.

Transportör	kWh/ton	anmärkning
Rörskruv	0,2 – 0,3	horisontell
Rörskruv	0,4 – 0,6	70 ° lutning
U-skruv	0,1 – 0,2	endast horisontellt
Flex-skruv (centrumlös skruv)	0,4 – 1,0	beroende på antal böjar och stigning
Elevator, skop-	< 0,1	10 m vertikalt
Elevator, kedje-	ca 0,2	10 m vertikalt
Kedjetransportör	0,15 – 0,2	horisontellt och viss lutning
Bandtransportör	< 0,1	endast horisontellt

Åtgärder transportörer

1. Undvik lufttransport

Använd mekaniska transportörer för spannmål och foder. Undvik lufttransport som använder 3 - 6 gånger så mycket energi per ton eller mer som vid mekaniska transportörer.

2. Använd cellhjulsmatare vid fläkttransport

Om man ändå ska använda fläkt för att flytta spannmål bör man ha cellhjulsmatare och inte injektor för matningen. Då minskas energibehovet och kapaciteten höjs.

3. Undvik många böjar på flex-skruven

Används flex-skruv ska man tänka på att många och skarpa böjar ökar friktionen och energibehovet.

Sönderdelning, malning

Kraven på sönderdelning är olika för olika djurslag. Helt logiskt ökar energibehovet med ökad sönderdelning och från energisynpunkt bör man då inte sönderdela mer än vad produktionen kräver. Energi-användningen brukar anges i kWh/ton. Valet av teknik står främst mellan hammarkvarnar, skivkvarnar och krossar.

Grisars behov

Sönderdelning med rätt fördelning av partikelstorlek är viktig för grisarna. Stora partiklar ger sämre foderutbyte medan alltför mycket små partiklar ökar risken för magsår.

Tabell 3. Rekommenderad optimal struktur för grisfoder (Efter Svenska Pig)

<0,2 mm	max 20 % av partiklarna
0,2-1 mm	minst 60 % av partiklarna
>1 mm	max 20 % av partiklarna
Dessutom ska inga hela eller halva kärnor finnas	

För grisfoder är det hammarkvarn eller skivkvarn som kan komma ifråga.

Nötkreaturs behov

Nötkreaturens matsmältning fungerar på ett annat sätt än grisarnas. Mikroorganismerna i våmmen ska kunna komma åt innehållet under skalet. Det räcker att spannmålskärnor liksom ärtor och bönor krossas för att djuren ska kunna tillgodogöra sig fodret. Det ska inte finnas hela kärnor utan allt ska krossas. I övrigt finns inga speciella krav på sönderdelning annat än att strukturen inte ska vara för fin. För nötkreatursfoder är det kross eller skivkvarn som kan komma ifråga. Skivkvarn används ofta när man har ärtor och bönor.



Bild 8. Hammarkvarn eller slagkvarn

Hammarkvarn eller slagkvarn

Denna är vanligast som kvarn på grisgårdarna. Hammarkvarnen sönderdelar materialet med hjälp av roterande slagor och ett såll. Partiklarna trycks av kvarnen genom sållet. Slagorna ger fläktverkan så att kvarnen även kan suga till sig råvaran och blåsa iväg det malda fodret. De vanligaste hammarkvarnarna har en särskild fläkt för transporten. Energimässigt är detta dock ingen fördel. Transport med luft är inte energieffektivt och bör undvikas.

Partikelfördelningen liksom till en del energibehovet styrs av:

- Sållets hålstorlek
- Slagornas hastighet
- Råvarans fysikaliska egenskaper
- Råvarans vattenhalt
- Förslitning av såll och slagor

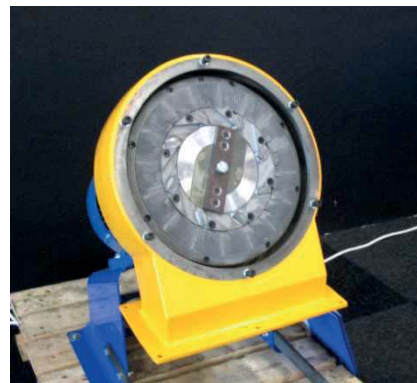


Bild 9. Skivkvarn

Skivkvarn

Skivkvarnen river och trycker sönder materialet mellan räfflade stålskivor, vilket ger en jämnare fördelning av partiklarnas storlek i jämförelse med hammarkvarnen. Graden av sönderdelning justerar man enkelt genom att ändra avståndet mellan skivorna.

Partikelfördelningen liksom till en del energibehovet styrs av:

- Trycket mellan skivorna
- Råvarornas fysikaliska egenskaper
- Råvarans vattenhalt
- Förslitning av skivorna

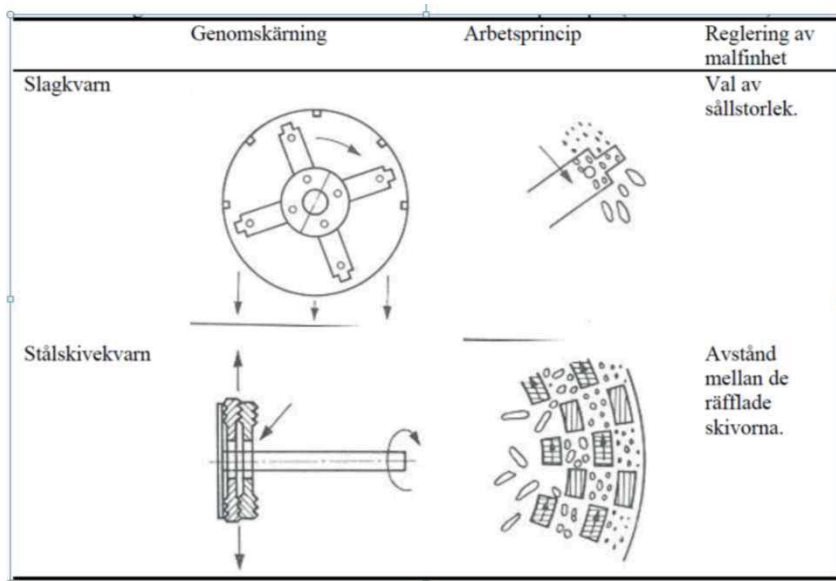


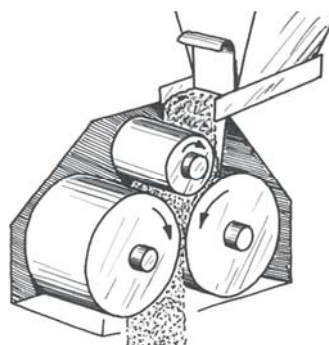
Bild 10. Arbetsprinciper och reglering för slagkvarn och skivkvarn.

Kross

I en kross valsas kärnan mellan två metallrullar, som är fjäderbelastade så att rullarna trycks mot varandra. Avståndet mellan rullarna liksom fjäderbelastningen kan justeras beroende på vilken vattenhalt och typ av kärna som ska bearbetas. Enklaste varianten har bara drivning på en av valsarna och kan därför endast användas till spannmål. För bästa funktion bör krossen ha räfflade valsar, där båda är drivna med rem eller kedja från motorn. Tre valsar brukar användas till stora frön som ärtor och bönor, så att krossningen sker i två steg. Med bara två valsar är risken stor att ärtorna och bönorna trycker isär valsarna så mycket att mindre frön och spannmålskärnor kan passera igenom utan att krossas.



Bild 11 A. Kross med två valsar, drivning på båda.



11 B. Principbild på trevalskross. Krossning i två steg.

Krossning medför inte någon större uppvärmning (5-8 grader) oavsett vattenhalt. Elförbrukningen ökar inte med stigande vattenhalt som hos kvarnar, snarare minskar den.

Skivkvarnen använder betydligt mindre energi än hammarkvarnen. En del av denna skillnad beror på att skivkvarnen endast maler, medan hammarkvarnen både maler och transporterar. Det finns även hammarkvarnar som är byggda för att endast mala och som förses med mekaniska transportörer.

Följande tabell anges ofta som jämförelse mellan olika malsystem. Tabellens elförbrukning i kWh/ton ska ses som grova riktvärden eftersom den påverkas av flera faktorer.

Tabell 4. Energibehov vid sönderdelning, riktvärden, hämtade från Energisparkatalog i landbruget. Energibehovet varierar med olika faktorer som vattenhalt m.m.

Malsystem	Elförbrukning, kWh per ton
Skivkvarn	9
Hammarkvarn utan lufttransport	10
Hammarkvarn med sug	15
Hammarkvarn med sug/tryck	15 -30
Kross	3-9

(Källa: Pedersen, J. och Hinge, J.)

Energibehoven i tabell 4 kan vara något underskattade. Det visar en dansk undersökning, där man gjorde noggranna mätningar på elförbrukning och kapacitet (Holm och Mortensen, 2012). Man mätte på fem hammarkvarnar och en skivkvarn, samtliga med 22 kW motor. Transport till och från kvarnarna skedde med skruvar och därmed var det bara själva malningen som man mätt kapacitet och elförbrukning på. Tabell 5 sammanfattar jämförelsen mellan hammarkvarnar (medeltal för fem kvarnar) och skivkvarn. Proven skedde under väl kontrollerade förhållanden i laboratorium och med fullt belastad motor. Därför menar man att i praktiken kommer elförbrukningen att vara lite högre än i tabell 5.

Tabell 5. Elförbrukning vid malning av vete och korn, jämförelse mellan hammarkvarn och skivkvarn. Transport till och från kvarnarna ingår inte.

Typ av kvarn	vetete 14 % vattenhalt	korn 14 % vattenhalt
Hammarkvarnar medeltal	10,3 kWh/ton	16,7 kWh/ton
Skivkvarn	8,2 kWh/ton	12,0 kWh/ton

(Källa: Holm, M. Mortensen, K. 2012)

Vad påverkar elförbrukningen vid malning?

Att det skiljer mellan spannmålsslagen vete och korn framgår av tabell 5. Ju finare en kvarn mal fodret, desto mer energi använder den, vilket är ganska självklart. Råvarans vattenhalt påverkar också hur mycket energi som används för att mala ett ton foder. Underhållet har också betydelse.

I den danska undersökningen fick man följande resultat och erfarenheter.

Malfinhetens inverkan

Inverkan av malfinheten på elförbrukningen provades. Medeltalet för alla kvarnarna framgår av tabell 5. Malfinheten anges här med procentandel av fodrets vikt som har partikelstorlek under 1 mm vid en siktanalys.

Tabell 5. Elförbrukningens samband med malfinheten vid malning av vete och korn med 14 % vattenhalt. Medeltal för sex kvarnar.

Malfinhet		Elförbrukning
vetete	80 % mindre än 1mm	10 kWh/ton
korn	80 % mindre än 1mm	15 kWh/ton
korn	65 % mindre än 1mm	10 kWh/ton
korn	50 % mindre än 1mm	9 kWh/ton

(Källa: Holm, M. Mortensen, K. 2012)

Om man ökade malfinheten så att andelen partiklar mindre än 1 mm ökade med 10 procentenheter, så krävdes 2,4 kWh mer per ton (snitt) och kapaciteten minskade med 400 kg/tim. En kommentar man gör till detta i rapporten är att den ökade malfinheten visserligen kräver mer energi, men att det bättre foderutnyttjandet ändå försvarar den ekonomiskt.

Vattenhaltens inverkan

Jämfört med torr spannmål (14 %) steg energibehovet i genomsnitt med 2 kWh/ton för varje procentenhets höjning av vattenhalten. En stor del av den tillförda energin blir till värme i fodret. Den till kvarnmotorn tillförda elektriska energin fördelas på:

- Förluster i lager och motor (antas till 25 procent)
- Uppvärmning av luft som passerar genom kvarnen
- Uppvärmning av fodret (den specifika värmekapaciteten har man satt till 1,6 kJ/kg,grad eller 0,444 kWh/ton,grad)
- Förångning av vatten i godset (som blir högre vid högre vattenhalter - urluftning är viktig)

Man har räknat med att fodrets specifika värmekapacitet är 1,6 kJ/kg,grad eller 0,444 kWh/ton,grad. Mellan 30 och 60 procent av den till motorn tillförda elenergin ledde till uppvärmning av fodret.

En högre vattenhalt för med sig att mer vatten förångas vid malningen. Därför stiger inte malgodsets temperatur så mycket som man kunde förvänta sig av den ökade energianvändningen. Både högre temperatur och fuktigare luft kan ge problem med kondens och beläggningar och sedan i förlängningen mögelproblem. Därför blir urluftning viktigare vid stor uppvärmning och vid högre vattenhalter.

Lufttät lagring är ett sätt att minska energin för att konservera foderspannmål. Men det brukar betyda högre vattenhalt i spannmålen, vilket alltså för med sig att malning till svinfoder använder mer energi än om spannmålen torkats. Därmed försvinner en liten del av energivinsten med den lufttäta lagringen. Det kan vara viktigt om man ska se till helheten, men besparingen i torkningsenergi betyder mer.

En jämförelse:

Varmluftstorkning: 1 procentenhet högre slutvattenhalt minskar energibehovet med 18 - 19 kWh/ton.

Malning: 1 procentenhets ökad vattenhalt ökar kvarnens energibehov med 2 kWh/ton.

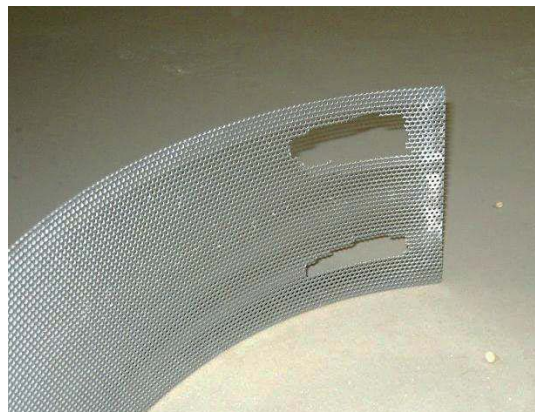
Krossning: ökad vattenhalt ökar inte krossens energibehov, snarare tvärtom.

Underhåll

Viktigt också för effektiviteten är att kvarnen är väl underhållen. Det ökar elförbrukningen om slagor, såll och skivor är slitna, samtidigt som finmalningen minskar. En siktanalys ger fingervisning om både malfinhet och elförbrukning. Igensatta luftfilter ökar luftmotståndet och därför bör man regelbundet rensa dem för att hålla elförbrukningen nere.

Bild 12.

Slitna såll ökar energianvändningen och ger sämre malning. Detta såll borde nog ha bytts ut långt tidigare.



Åtgärder vid malning

4. Underhåll kvarnen

Underhåll kvarnen och byt slagor och såll eller skivor, innan de blir alltför slitna. Det är bra både för foderkvalitet och för energieffektivitet. Glöm inte att tömma magnetfällan.

5. Malfinheten påverkar energianvändningen vid malning

Med ökad malfinhet ökar energianvändningen, logiskt nog. Det gör ca 2,4 kWh/ton om andelen partiklar under 1 mm ökar med 10 procentenheter. I en dansk undersökning drar man den slutsatsen att detta inte är skäl nog att mala grövre. Det kan inte försvaras ekonomiskt eftersom foderutnyttjandet blir så mycket sämre.

6. Vattenhalten påverkar energianvändningen vid malning

Ökad vattenhalt ökar kvarnens elförbrukning med i genomsnitt 2 kWh/ton för varje procentenhets höjning av vattenhalten. Det kan påverka valet av lagringsmetod och vattenhalt som foderspanmålen ska lagras vid.

7. Använd skivkvarn istället för hammarkvarn

Skivkvarnen använder genom sitt arbetssätt mindre energi per ton än en hammarkvarn och därför kan det finnas skäl att byta från hammarkvarn till skivkvarn.

8. Använd mekaniska transportörer till hammarkvarnen

Hammarkvarnen kan både suga till sig råvaran och blåsa iväg det malda fodret. Eftersom lufttransport inte är energieffektiv bör man komplettera hammarkvarnen med mekaniska transportörer, t.ex. skruvar.

9. Använd kross till nötkreatursfoder

En kross till spannmålen använder mindre energi än kvarnar och det är fullt tillräckligt för nötkreatur att kärnorna kläms sönder.

Utfodring till grisar

Foder till grisar förekommer antingen i torr eller flytande form. Det har blivit allt vanligare med blötutfodring av många olika skäl. Det är bland annat lättare att från ett centralt foderkök få ut foder till olika byggnader och olika avdelningar. Man blir mer flexibel och man kan använda flytande fodermedel såsom vassle. Det är viktiga argument som gör att det spelar mindre roll att blötutfodringen använder mer energi än torrutfodringen.

Torrutfodring

Generellt har alltså torrutfodring ett mindre energibehov än blötutfodringen. Fodret transporteras ut med skruvar eller med vajer/kedja och medbringare i rör.

Om man blandar fodret med satsblandare bör den fyllas till hela volymen. Håll ner blandningstiden till ett minimum för att spara energi. Om komponenterna till foderblandningen är torra och homogena så minskar blandningstiden. Ökad malfinhet gör att elförbrukningen ökar och kapaciteten faller. Ett riktvärde för blandning av torrfoder är 2 - 3 kWh/ton.

För att en torrfostringsanläggning ska vara så energieffektiv som möjligt är det viktigt att mekaniska delar går lätt så som att kedjor och lager går lätt. Kedjor och drivhjul ska inte vara slitna. Kontrollera spänningen på eventuella kilremmar. Det rekommenderas att foderledningen inte fylls till mer än 75 procent. Högre fyllnadsgrad ökar friktionen och därmed energianvändningen.

Blötutfodring

Blandartank och foderpump är viktiga delar i anläggningen. Omrörningen i blandningstanken använder mycket energi, nära hälften av energin till foderköket.

Både pumpar och omrörare går lättare och drar mindre energi om fodret inte innehåller stor andel små partiklar och om det är lättflytande. Å andra sidan gör en låg torrsubstanshalt att grisarna får i sig mindre foder. Man vill ha ut mycket foderenergi per liter foder. Det får alltså bli en avvägning och det har ofta rekommenderats ett blandningsförhållande mellan foder och vatten på 1:3, vilket ger kortast blandningstid. Torrsubstanshalten bör hamna i området 25 - 30 procent.

Centrifugal- eller skrupvpump?

Foderpumpen som pumpar foderblandningen i foderslingan ut till grisavdelningarna kan vara en centrifugalpump eller en skrupvpump. I dansk rådgivning har man tidigare rekommenderat centrifugalpumpen som ett energieffektivare alternativ än skrupvpumpen. (Pedersen, J. och Hinge, J.) Detta gäller i första hand när man pumpar vatten eller lättflytande blandningar. Det blir skillnad när man har en tjock blandning. Den ger ett stort motstånd, ett högt mottryck. Det är allmänt välbekant att flödet från en centrifugalpump sjunker med stigande mottryck, medan en deplacementpump som skrupvpumpen inte är så tryckkänslig. Flödet minskar inte nämnvärt med ökat tryck, vilket illustreras i bild 13. Vid höga mottryck blir därför skrupvpumpen energieffektivare. I ett rundpumpningssystem, som är vanligast i vårt land, blir en stor mängd foder stående i ledningen mellan utfodringarna. Det uppstår ett högt tryck, när fodersoppan ska sättas i rörelse och då krävs en skrupvpump.

Det finns exempel på att centrifugalpumpar används för att pumpa foder från en tank till en annan och där man inte har problem med mottryck. I de fallen kan centrifugalpumpen vara en billigare och energieffektivare lösning. Man bör alltså vara noga med att välja en pump som är avpassad till anläggningen med avseende på rörlängd och fodrets torrsubstanshalt.

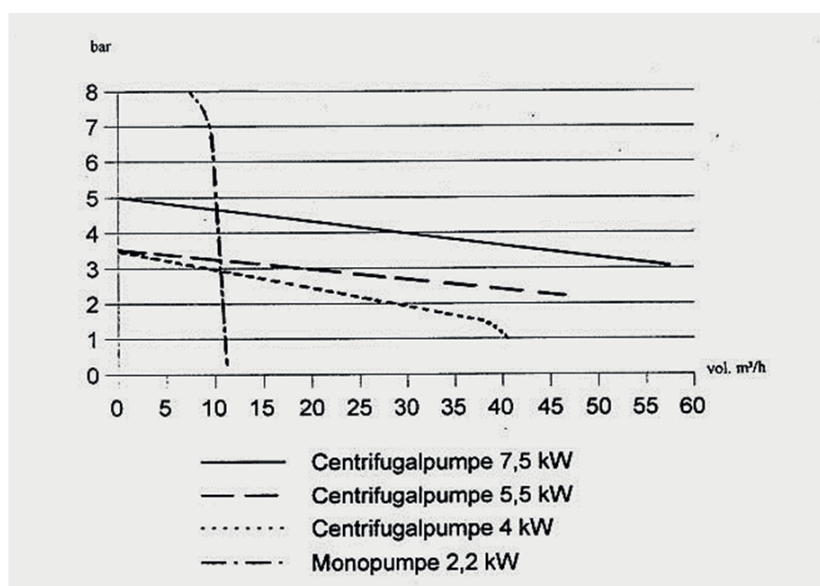


Bild 13. Diagrammet visar att skrupvpumpen (monopumpen), inte är lika känslig för ett ökat mottryck som centrifugalpumpen och därför blir den energieffektivare vid stort motstånd. Vid 5 bar kan en skrupvpump med 2,2 kW motor ge ca 10 m³/tim (170 l/tim). Motsvarande kapacitet för en centrifugalpump kräver en motor på minst 7,5 kW. (Källa: Big Dutchman A/S)

Det är en fördel om pumpen är varvtalsstyrd genom frekvensomvandling. Det ger bra kapacitetsreglering, som dessutom är energieffektiv. Rent allmänt bör så mycket som möjligt av äldre reglering med ventiler ersättas med varvtalsstyrning. Frekvensstyrningen gör även att starter vid ett högt mottryck sker skonsammare och det gäller både skruv- och centrifugalpumpar.

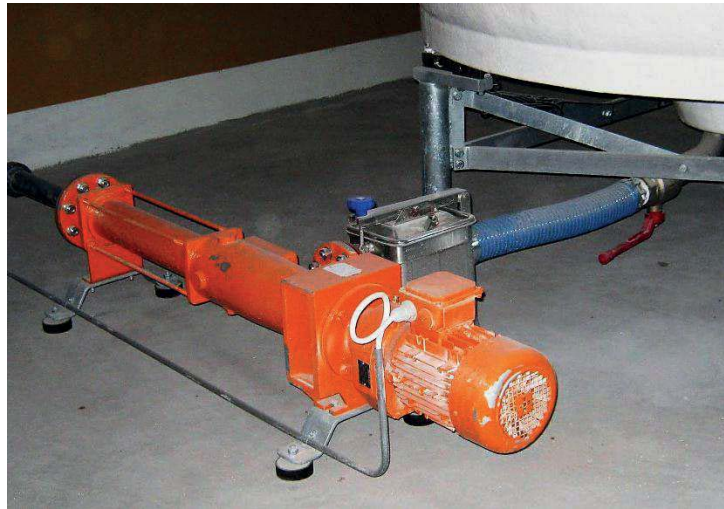


Bild 14. En Skrupumpen är en typ av displacementpump. Den håller flödet bättre och är energieffektivare än centrifugalpumpen vid höga mottryck.

Foderventiler och tryckluft

Blöfoderventiler öppnar och stänger med hjälp av gummimembran, som aktiveras av tryckluft. Som i alla tryckluftssystem är det viktigt att kolla för läckage. Ju större hålet är, desto större blir effektförlusten. Om systemtrycket är 7 bar så får man en förlusteffekt på 0,4 kW för varje hål med 1 mm diameter. Ett sådant hål ger därmed en energiförlust på 730 kWh/år, om tryckluften är igång 5 timmar per dygn.

Åtgärder utfodring grisar

10. Fyll satsblandare till hela volymen

11. Minimera blandningstiden

Håll ner blandningstiden genom att använda torra och homogena komponenter

12. Fyll foderröret lagom

Foderröret bör inte fyllas mer än till 75 procent, annars ökar motståndet och elförbrukningen.

13. Rätt blandningsförhållande mellan foder och vatten

Blandningsförhållandet mellan foder och vatten är en avvägning mellan energiinnehållet i fodersoppan och energibehovet för att pumpa den. Det anses optimalt med ett blandningsförhållande mellan foder och vatten på 1:3, vilket ger kortast blandningstid.

14. Kolla för tryckluftsläckage

Varje läckage i tryckluftssystemet ger en effekt- och energiförlust, som kan bli stora eftersom kompressorn är igång många timmar.

15. Välj rätt pump

I dansk rådgivning har man tidigare rekommenderat centrifugalpumpen som ett energieffektivare alternativ än skruvpumpen. Det kan vara rätt när vätskan är lätt att pumpa, motståndet är litet och ledningarna korta. Vid höga mottryck blir dock skruvpumpen energieffektivare och den behövs i ett rundpumpningssystem. Man bör alltså vara noga med att välja en pump som är avpassad till anläggningen med avseende på rörlängd och fodrets torrsubstanshalt.

16. Frekvensstyrning på foderpumpen.

Det är en fördel om foderpumpen är varvtalsstyrd genom frekvensomvandling. Det ger bra kapacitetsreglering, som dessutom är energieffektiv.

Nötkreatur och vallfoder

Uttagning och intransport av ensilage

I nyckeltal för djurproduktionen räknas energianvändningen från det att man hämtar foder i lagret för foderberedning och utfodring.

Det mesta ensilaget idag lagras i plansilor och rundbalar eller stora fyrkantsbalar. En del ensilage lagras också i tub. Lagring i tornsilor har under ett par årtionden minskat starkt. Det beror mycket på att växande kogårdar valt plansilor för att få tillräcklig inläggningskapacitet.

Energibehovet för att ta ut och transportera in vallfoder är bland annat en fråga om logistik. Vid planering av nya anläggningar bör man försöka lägga silor och ballager så nära lagård eller foderkök som möjligt. Det minskar den dagliga körningen med traktorer och lastmaskiner.



Bild 15. Plansilorna på gården Torp har placerats så nära foderblandaren som möjligt, ensilaget tas in till foderköket i den öppna porten i bakgrunden.

Plansilor ligger nästan alltid hemma på gården. Lagren med ensilagebalar brukar däremot hamna längre bort. Tidigare, när man körde med separata pressar och inplastare, gavs det bättre möjlighet att köra balarna till gården, plasta där och lägga upp i lager. Skördetekniken med kombinerade pressar och plastare, som är rationell och dominerande idag, brukar medföra att man lagrar balarna på åkern där man skördar. Då är det rationellast och energieffektivast att lasta balar på en vagn, så att man kan köra hem till gården med ett större lass. Man ser dock ofta att lantbrukare åker till fältet för att bara hämta en eller möjligen två balar i taget.



Bild 16. Vid balensilering är det inte ovanligt att lagret läggs ute på fältet, därför att det är rationellt just vid skörden. Transporten hem bör effektiviseras så att man lastar balar på en vagn och inte kör hem dem en och en med lastaren.

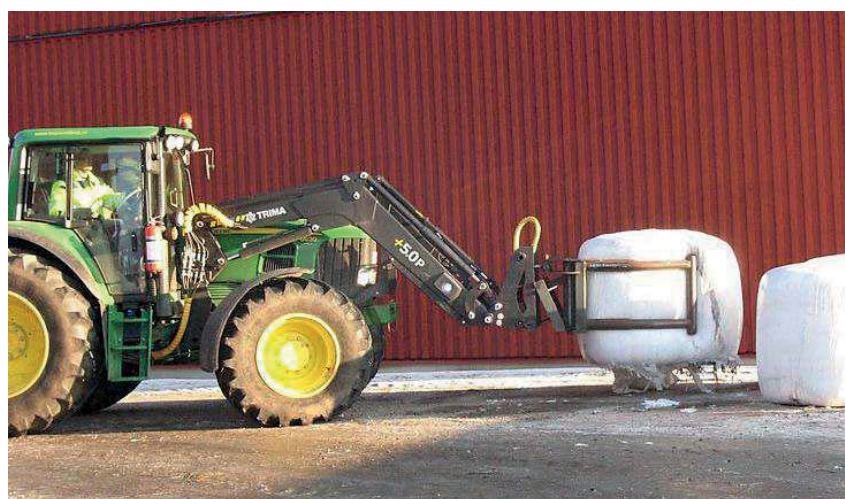


Bild 17. Med traktorer kan man spara energi genom ett sparsamt körsätt. Det gäller inte minst när man lastar och flyttar foder. Man spar diesel genom att hålla ett jämnt varvtal och att belasta motorn på ett lägre varvtal. Moderna traktorer har så hög hydraulkapacitet att det är onödigt att gasa när man lyfter en bal.

Utfodring av ensilage

Det finns många varianter av utfodringssystem. Det har blivit tydligt att utfodring med en traktordragen mixervagn använder mycket energi. Det konstaterades av Hörndahl (*Hörndahl och Neuman, 2012*) och det var också en erfarenhet från LRFs och LRF Konsults studie från 2008 (*Neuman mfl. 2009*). Orsaken är traktorns dåliga verkningsgrad och det blir tydligt, om man jämför med system som baseras på eldrift. Traktorns verkningsgrad kan i bästa fall vara 25 - 30 procent. Det vill säga att av den energi som tillförs i dieseloljan är det bara 25 - 30 procent som faktiskt används till nyttigt arbete via kraftuttaget. Inte sällan sätter man in en äldre, sliten och bränsletörstigare traktor för att driva mixervagnen. Då blir verkningsgraden ännu sämre, förstås.

Traktorns låga verkningsgrad kan jämföras med stora elmotorers, som ligger på 85 - 90 procent. Där är det betydligt mindre andel av den tillförda energin som förloras i spillvärme än hos traktorn.



Bild 18. Utfodring med traktordragen mixervagn använder mycket energi. Om det finns förutsättningar väljer man gärna andra system, särskilt vid nybyggnad då man kan spara in på byggnadsytan.

Idag frångår man ofta systemet med traktordragen mixervagn vid nybygge, därför att man då slipper bredda byggnaden för det körbara foderbordet och för att man vill lägga friskt foder på foderbordet oftare. Man vill också gärna ha automatiserade system. Traktordragen mixervagn kan ändå vara befordrad i en del fall. Det är bland annat där man utfodrar i flera stallar, då kan mixervagnen vara rationell. Ett annat fall är där man behöver hämta råvaran till blandningen på flera olika ställen.

Alternativet, när man vill ha mixat foder, är att sätta upp en eldriven, stationär mixer. Utfodringen kan göras på olika sätt, med bandfoderfordelare eller med en automatisk, rälsgående vagn. Det finns många olika lösningar som har det gemensamt att de är energieffektivare än traktorbaserad utfodring.

För utfodring används en bandfoderfordelare, en fodertruck eller en rälsgående vagn som fylls från en eldriven rivarficka eller en eldriven stationär blandare.



Bild 19. Denna gård har valt en stationär eldriven blandare och en bandfoderfördelare. Som alternativ i utfodring kan man också välja en rälsgående vagn eller en fodertruck.

Åtgärder vid utfodring av vallfoder

17. Planera logistiken för uttagning och intransport av ensilage.

Mycket drivmedel används till uttagning och intransport av ensilage. Planera lagret, ex. plansilor så att körsträckorna till lagård eller foderkök blir korta. Ofta lagras och staplas ensilagebalarna på fältet i samband med skörden, därför att det är rationellt så. Rationalisera hemtransporten från fältet med att lasta balarna på vagn. Att köra balarna en och en är inte rationellt eller bränsleekonomiskt.

18. Använd ett sparsamt körsätt.

Använd ett sparsamt körsätt vid uttagning och intransport av ensilage samt vid utfodring, om den sker med traktor. Erfarenheten visar att det går att minska drivmedelsanvändningen med 10 - 15 procent genom ett sparsamt körsätt och det utan att förlora i kapacitet. Det innebär främst jämnt varvtal och att motorn belastas på en hög växel. Moderna traktorer och lastmaskiner har så hög hydraulkapacitet att det är onödigt med gaspådrag när man lyfter.

19. Använd elektrisk motorvärmare med tidur.

Det är en stor fördel att använda elektrisk motorvärmare med tidur på traktor och lastmaskin som ska arbeta dagligen med foderhantering. De utsätts för många kallstarter och de kanske inte ens hinner komma upp i arbetstemperatur. En elektrisk motorvärmare minskar kallstartslitaget och minskar den ökade dieselförbrukningen som kallstarten medför.

20. Ersätt traktorbaserad utfodring

Det går att spara mycket energi om utfodringen drivs med el istället för traktor och dieselolja. Det kan vara befogat att byta, även om man en gång byggt med körbart foderbord. Om man använder traktor, kan det betyda mycket att det inte är en äldre och kanske bränsletörstigare traktor. Det är bra om kraftuttaget har ett växelläge så att man inte tvingas köra motorn med högt varvtal. I övrigt bör man tänka sparsam körning.

21. Ersätt traktordrift med eldrift

Det kan finnas andra områden där man kan ersätta traktordrivning med eldrivning. Bild 20 visar ett exempel. Denna gård skaffade en stor spannmålskross för traktordrift för att få hög kapacitet. Tillkoppling av en elmotor med lämplig utväxling har minskat krossens energianvändning. Elmotorn har en verkningsgrad på ca 90 procent, medan traktorns verkningsgrad ut på kraftuttaget i bästa fall är 30 - 35 procent.

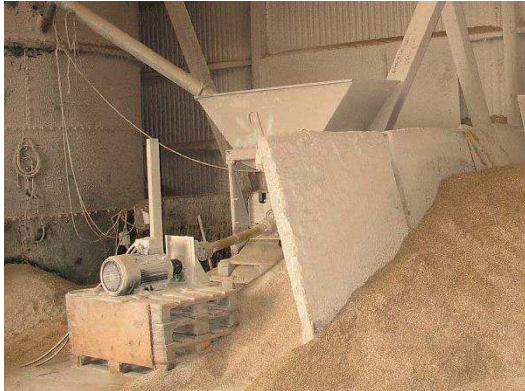


Bild 20. En större spannmålskross avsedd för traktordrift har här försetts med en elmotor med lämpligt varvtal. Energi sparas genom att elmotorn har betydligt bättre verkningsgrad än traktorn.

Referenser i urval, foderberedning och utfodring

Göransson, L, 2009. Fodertillverkning på gården. Faktablad /rapport, Svenska Pig.

Holm, M. Mortensen, K. 2012. Formaling av korn. Erfaring nr 12 från Videntcenter for svineproduktion.

Hörndahl, T och Neuman, L. (2012). Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader. Rapport 2012:19. Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, SLU Alnarp.
Internetlänk: http://pub.epsilon.slu.se/9105/11/horndahl_et_al_121001.pdf

Hörndahl, T. 2008. Jordbruksinformation nr 4. Hantering av kraftfoder på gården. Jordbruksverket.

Johansson, M. Hörndahl, T. 2005. Mekanisk utfodring i mjölk- och svinproduktion. Undervisningskompendium, lantmästarprogrammet, SLU Alnarp.

Mortensen, K. 2012. Energiforbrug til formaling. Hyologisk Tidsskrift, Danmark.

Neuman, L. 2013. Användning av Vattenfalls EnergyWatch PRO på lantbruksföretag. LRF. Opublicerat.

Neuman, L. mfl. 2009. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008. LRF Konsult.

Pedersen, J. Hinge, J. 2002. Energisparekatalog i Landbruget, andra utgåvan. Landbrugets Rådgivningscenter, Århus.

Spara energi. Praktiska tips för gården. 2009. LRF.

Svenska Pig. Stalltips: FÖRMALNINGSGRAD OCH FODERSTRUKTUR. Faktablad.

Personliga meddelanden

Mads Bendixen, salgskonsulent, Big Dutchman, Danmark

Torsten Hörndahl, SLU.

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 8

Foderberedning och utfodring

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 9

Grisproduktion

2013



Nils Helmersson, HIR Malmöhus

Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Huvudförfattare till denna del är **Nils Helmersson**, ekoingenjör och energirådgivare vid HIR Malmöhus.

Medförfattare, som också redigerat arbetet, är teknik- och energirådgivare **Lars Neuman**, LRF Konsult i Ulricehamn.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölknings
11. Uppvärmning

I denna del, del 9, har samlats en del som handlar om smågris- och slaktsvinsproduktion och som även kan återfinnas i andra delar av handboken.

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Innehåll	Sida
Inledning - svinproduktionens användning av energi	4
Tips – åtgärder för energibesparing i grisproduktion	6
Smågrisproduktion, teknik och energi	7
Värme till smågrisproduktion	7
Uppvärmningssystem	8
Klimatskal	8
Värme till smågrisarna	8
Belysning	11
Slaktsvinsproduktion, teknik och energi	13
Foder - malning, blandning och utfodring	13
Kvarnanläggning	15
Ventilation	17
Kapacitetsreglering	17
Effektiva varvtalsreglerande fläktar	17
Inställningar skötsel och underhåll	17
Värmeväxlare	17
Åtgärder för energibesparing i grisproduktion	19
Referenser	22

Inledning - svinproduktionens användning av energi

I begreppet gris- eller svinproduktion ryms produktion av både smågrisar och slaktsvin. Dagens svinproduktion skiljer sig från den tidigare så vanliga uppdelningen med en smågrisproducent, smågrisorförmäring och en slaktsvinsproducent samt en kontinuerlig drift. Idag ser vi mer integrerade system, vilket innebär att grisen föds och når slaktmogen ålder inom samma besättning (helintegrerat system).

Energianvändningen vid smågrisproduktion har inventerats på 17 gårdar (Neuman m.fl, 2009) och man fann att energianvändningen varierade mellan 15,3 och 77,8 med ett medeltal på 47,9 kWh/smågris vilket framgår i tabell 1.

Energianvändningen vid slaktsvinsproduktion undersöktes också i samma studie. 14 företag inventerades och man fann att energianvändningen varierade mellan 12,4 och 52,6 med ett medeltal på 29,4 kWh/slaktsvin.

Nyckeltalen kWh/smågris och kWh/slaktsvin omfattar energi från el och drivmedel såsom diesel samt eldningsolja och bibränslen för uppvärmning. Energianvändningen i nyckeltalen har räknats från det att spannmål tas fram för malning och till och med att gödseln flyttats till lagerbehållare. Dessa systemgränser är viktiga för definition av nyckeltal.

Av de företag som ingick i undersökningen hade några kombinerad smågris- och slaktsvinsproduktion, men alla var inte helintegrerade. Några hade enbart smågrisproduktion och några hade enbart slaktsvinsproduktion.

Tabell 1. Energianvändning i svinproduktion, nyckeltal enligt Neuman m.fl. (2009) och Hörndahl & Neuman (2012).

Produktion		Antal besättningar (djurplatser/bes)	Medelvärde kWh/gris	Variation kWh/gris	Av medelvärdet utgör elenergi kWh/gris
Smågris	Enbart smågris	6 (72-600 SIP ⁽¹⁾)	47,9 kWh/smågris	27,5 - 63,8	39,6
Smågris	Helintegrerat ⁽²⁾	8 (60-600 SIP ⁽¹⁾)	45,7 kWh/smågris	36,7 - 77,8	43,7
Smågris	Satellitbesättning	3 (136-300 SIP ⁽¹⁾)	26,5 kWh/smågris	15,3 - 32,7	13,4
Slaktgris	Enbart slaktgris	3 (1300-5800)	23,1 kWh/slaktgris	22,5 - 27,2	23,1
Slaktgris	Integrerat ⁽³⁾	14 (4540-8000)	31,3 kWh/slaktgris	12,4 - 52,6	27,4

⁽¹⁾ SIP = Sugga I Produktion

⁽²⁾ Slaktgrisproduktionen ingår ej

⁽³⁾ Smågrisproduktionen ingår ej

Det låga värdet i satellitbesättningen beror på att betäcknings- och dräktighetsavdelningar finns på en annan gård, sugnavet.

Energianvändningen varierar alltså stort från gård till gård. Variationen har många orsaker, bl.a. teknik och ålder men även rutiner för skötsel m.m. Variationen visar att det kan finnas mycket att göra för att effektivisera.

Smågrisproduktion

I smågrisproduktionen svarar uppvärmningen för ungefär hälften av hela energianvändningen. En stor del av den uppvärmningen sker med hjälp av värmelampor. Värmelamporna använde 8,4 kWh/smågris med en variation på 4,7 - 23,2. I egen sammanställning från 12 gårdar använde värmelampor 9,5 kWh/smågris med en variation på 1,0 - 23,4.

Ventilationens energianvändning är svårbedömd, men enligt Neuman mfl (2009) svarar den för mellan 15 och 20 procent. Belysningen svarar för ungefär lika mycket. Utfodringen använder 12 procent.

Energianvändningen till utgödslingen är liten och en del av det är drivmedel för utgödsling av ströbädd. Det åtgår en del energi till omrörning av gödsel före utkörning, men det räknas inte till grisproduktionen utan till växtodlingen.

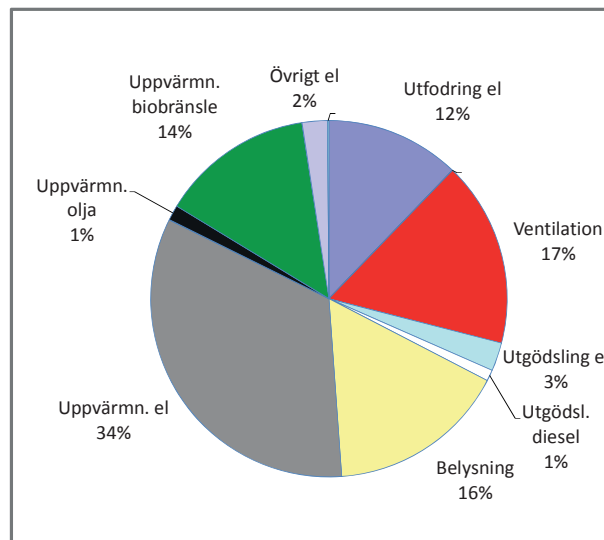


Bild 1. Energianvändning i smågrisproduktion. Vägda medeltal från 17 gårdar (inkl. tre satellitgårdar), som sammanlagt producerade nästan 100 000 smågrisar per år. (Efter Neuman m.fl., 2009)

Slaktvinsproduktion

I slaktvinsproduktionen har grisarna vuxit och blivit stora. Det innebär att det går åt mycket foder samt att det är mycket värme och gaser som måste ventileras ut. Det används mycket energi till foderberedning och hantering. Mest energi används till ventilationen. Mindre mängder energi används till belysning, uppvärmning och utgödsling. Det åtgår en del energi till omrörning av gödsel före utkörning, men det räknas inte till grisproduktionen utan till växtodlingen.

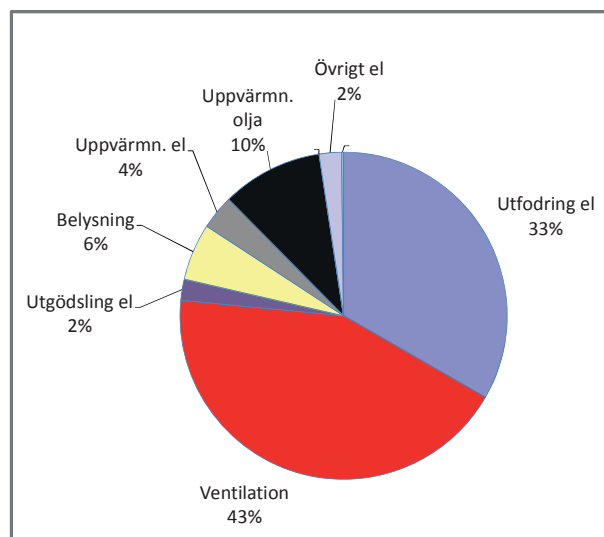


Bild 2. Energianvändning i slaktvinsproduktion. Vägda medeltal från 14 gårdar som sammanlagt producerade nästan 50 000 slaktgrisar per år. (Efter Neuman m.fl., 2009)

Tips – åtgärder för energibesparing i grisproduktion

Se sida 19 - 21 för lite utförligare beskrivning.

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att dela in åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra.

De lättaste är de som handlar om rutiner och beteende, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Det är åtgärder som inte behöver planeras väl och de behöver inte medföra kostnader, möjligen lite extra tid. Vi kallar det åtgärder på den första nivån med Inställningar, skötsel och underhåll,

1. Regelbunden rengöring av belysning och ljusinsläpp
2. Släck lampor
3. Regelbundet underhåll av torrutfodring
4. Utnyttja satsblandarens volym
5. Mal inte för fint
6. Optimal foderblandning
7. Regelbunden rengöring av ventilationen
8. Regelbunden kontroll av styrning och givare
9. Kolla tryckluftssystemet för läckage.

Andra åtgärder kan kräva inköp eller utbyte av utrustning och komponenter. Alltså medför de kostnader och då är det bra att räkna på lönsamheten. Sådana åtgärder kan ta lite längre tid att genomföra. Exempel på det är att använda värmelampa med sparknapp. Vi kallar det åtgärder på den andra nivån, Ombyggnad och kompletteringar.

10. Tak över smågrishörnan
11. Använd värmelampsarmatur med sparknapp
12. Temperaturreglering i smågrishörnan
13. Byt ljuskälla där ni har många brinntimmar
14. Energieffektiv kvarnanläggning
15. Undvik lufttransport
16. Frekvensstyrd blötutfodring
17. Samreglera värme och ventilation
18. Bygg bort strypspjäll

Slutligen finns det åtgärder på en tredje nivå, som kräver större investeringar och innebär byte av system och som behöver planeras väl. En lönsamhetskalkyl bör ligga till grund för investeringen. Att ändra uppvärmningen kan vara en sådan åtgärd. Hit hör Val av system i nya stallar.

19. Isolera lite extra
20. Uppvärmning med biobränslepanna eller värmepump
21. Dubbla golvvärmslingor i grisningsavdelning
22. Använd EC-fläktar till kapacitetsreglering

Smågrisproduktion, teknik och energi

Det finns olika typer av boxsystem för smågrisproduktion. Användandet av Födsel Till Slakt (FTS) boxsystem är inte längre så vanligt i Sverige men det förekommer. FTS innebär att grisarna föds i och föds upp i samma system från födelse till slakt.

Inhysning i *enhetsboxar* var tidigare, och är väl i viss mån fortfarande en vanlig inhysningsform. Enhetsboxen innebär att smågrisarna stannar kvar i boxen efter avvänjning medan suggan flyttas bort.

Att grisningsboxen enbart används till grisning och digivning och inte under tillväxtperioden är det vanligaste systemet numera. I ett så kallat *tillväxtboxsystem* flyttas smågrisarna till en separat stallavdelning och en särskild tillväxtbox vid avvänjning, medan suggan flyttas till betäckningsavdelningen. Grisningsboxen även kallad "BB-avdelning" är därför inte utrustad med tråg eller automat för utfodring till skillnad från enhetsboxen.

Det finns inte någon studie som visar på att det ena systemet är mer energieffektivt än det andra. Både enhetsboxsystem och FTS-system är dock mer utrymmeskrävande än tillväxtboxsystemet.

Vad gäller boxsystem för sugsugor kan de inhysas på många olika sätt. Stallarna kan vara isolerade eller oisolerade, med djupströbädd eller med olika utformningar av en ströad liggyta och gödselytan kan vara med fast golv eller spaltgolv. Dessutom blir det allt vanligare med kombinationer av boxsystem under sinperioden, eftersom sugsugornas krav är något olika i början jämfört med i slutet av perioden. Sugsughållningen fördelas allt oftare mellan en betäckningsavdelning och en dräktighetsavdelning.

Värme till smågrisproduktion

Grisar i olika åldrar har olika behov av temperatur vilket beskrivs i Svenska Pigs Stalltips (110601) om termisk komfort i grisstallar. Behovet av värme är också starkt kopplat till foderintaget.

I isolerade dräktighetsavdelningar rekommenderas en temperatur på 15-20 °C. Som nämns ovan finns många olika boxsystem för sugsugor. I oisolerade stallar måste det ges tillgång till rikligt med strö under den kalla årstiden för att kompensera den låga temperaturen i omgivningen. Per varje 5 grad under +15 °C måste mängden foder öka med 1 MJ/dag. I ett oisolerat stall använder man inte värmee energi, men man använder en större mängd foder, vilket använder direkt och indirekt energi.

Tabell 2. Rekommenderad temperatur för grisar (Efter Stalltips. 110601. Termisk komfort i grisstallar.)

Kategori med olika temperaturbehov	Temperatur, °C
Digivande sugsugor	18 - 20
Dräktiga sugsugor i isolerat stall	15 - 20
Spädgrisar	32 - 33
Nyavvanda tillväxtgrisar	24 (när energiintaget nått 100%)
Slaktgrisar	22 - 24 vid insättning, ca 16 vid full fodergiva

Några dagar före grisning flyttas dräktiga sugsugor till grisningsboxen. Rekommenderad temperatur både vid grisningen och sedan för den digivande suggan är 18 - 20 °C. De nyfödda smågrisarna/spädgrisarna bör ha en temperatur runt 32 - 33 °C. Därför krävs tillskottsvärme med värmelampa, värmetak el. dyl. När grisarna efter 4 - 5 veckor avvänjs är foderintaget lågt och den fysiska aktiviteten hög vilket gör att smågrisarna lätt hamnar i en negativ energibalans (Stalltips, 110601, Värme till avvänjnings- och tillväxtgrisar). Alltså behövs någon form av tillskottsvärme. Rekommendationen är att

vid ett foderintag som motsvarar underhållsbehovet är den lägsta kritiska temperaturen 24 °C för en nyavvand gris som väger 10 kg. I takt med att grisarna kommer igång med att äta och lägger på hullet kan temperaturen sänkas något. När grisarna väger 15 - 20 kg ska stalltemperaturen vara 22 - 24 °C enligt danska rekommendationer.

Uppvärmningssystem

Det är vanligt idag att uppvärmningen sker med värmepump eller med en fastbränslepanna på gården. Värmepumpen utviner värmen från en kollektorslang som ligger nedgjuten i gödselkulvert, alternativt nedgrävd i marken. Om kollektorslangen ligger i gödselkulvert minskar man påverkan på klimat och miljö genom minskad avgång av gödselgaser, när gödseln kyls.

Om det finns ytterligare värmebehov på gården till andra fastigheter eller till en tork blir det mer intressant med en fastbränslepanna. Viktigt att poängtera är att om ett fossilt bränsle ersätts med ett biobränsle så minskar man påverkan på klimat och miljö. Det är förstås angeläget, men det innebär egentligen inte någon energieffektivisering. Ofta innebär det att energitillförseln måste öka i och med effektförluster i värmekulvert. Dessutom har biobränslepannorna lägre verkningsgrad. Ytterligare information om uppvärmning med biobränslen finns i del 11 av handboken, Uppvärmning.

Klimatskal

Eftersom luftomsättningen i ett djurstall är mycket större än i bostäder, så utgör värmeförlusterna genom ventilation en mycket stor andel av den totala värmeförlusten i ett djurstall. Detta medför att värmeförlusterna genom byggnadsskalet är små i förhållande till värmeförlusterna genom ventilation.

Isoleringen måste dock vara tillräcklig för att undvika problem med ytkondens. Isoleringen fyller också en viktig funktion när det gäller ett bra skydd mot värmestrålning från solen under den varma årstiden. Minimikravet är att stallet är så väl isolerat att kondens på väggar och i tak undviks. Med hänsyn till energianvändning kan det vara bra att ha bättre isolering än minimikravet.

Värme till smågrisarna

I stallarna är det halm, golvvärme, värmerör, värmelampor, annan infravärme eller en kombination av dessa som värmer grisarna. Vilken teknik som används beror på typ av stallsystem och när stallarna är byggda. Även i äldre stallar är det vanligare med golvvärme i de stallar som hyser grisarna vid grisning. I äldre tillväxtavdelningar är det vanligare med enbart värmerör på väggarna.

I de flesta nya stallar som byggs idag läggs golvvärme. I grisningsavdelningen kan man lägga dubbla slingor. Man lägger en slinga där suggan ligger och en slinga i smågrishörnan där smågrisarna ligger. Med dubbla slingor med egna shuntar och egen styrning kan man få ett varmare golv till smågrisarna och svalare till suggan. Syftet med dubbla slingor är att skapa ett tvåklimatsystem i samma avdelning. Det blir ett klimat anpassat för suggan och ett mikroklimat för smågrisarna.

Bild 3.

Tillskottsvärme med värmelampa ger den temperatur som smågrisarna behöver.



Det finns olika sätt att skapa ett varmare mikroklimat i smågrishörnan. Öppna hörnor med värmelampa och/eller golvvärme är inte helt ovanligt men inte det mest energieffektiva.

Värmelampor

Som tidigare nämnts skiljer det mycket mellan gårdar i sättet att använda värmelamporna. Dessa svarar ju för en stor del av energianvändningen hos smågrisarna på många gårdar, kanske mer än en tredjedel. Därför finns det stor anledning att se över valet av teknik och hur den används. Samtidigt måste man naturligtvis ha smågrisarnas bästa för ögonen.

I smågrishörnan används värmelampor på 100 - 250 W, som ger värmestrålning över spädgrisarna i kanske upp till 5 veckor. Man tänds ofta lampan före grisning, så att det är varmt i smågrishörnan när grisningen sker. Värmelamporna används sedan under hela digivningsperioden på minst 28 dagar.

Valet av lampa och lampeffekt betyder förstås mycket. Därför bör 250 W undvikas. Den lampan kan också ge för stark värme för grisarna och om man löser det med att höja upp den, så är det inte särskilt energieffektivt. Ofta använder man 150 W lampor. På marknaden finns sedan en tid så kallade lågenergilampor och tillverkarna anger att dessa ger mer värme i förhållande till märkeffekten. Man måste observera att de inte är lågenergilampor i samma bemärkelse som belysningens lysrörlampor, som ju har fördelen att de avger lite värme i förhållande till ljus. Med värmelampor vill man ju istället ha så mycket värme som möjligt. Förbättringen ligger i den inbyggda reflektorn, som då riktar mer av värmestrålningen åt rätt håll. Dessa lampor har beteckningen PAR, Parabolic Aluminized Reflector.

Bild 4.

Värmelampa typ PAR har en inbyggd reflektor. Tillverkaren uppger att 90 procent av den tillförda energin blir till värme på den bestrålade ytan.

(Philips)



Tyvärr är det svårt att hitta uppgifter om värmelampornas effektivitet. Man skulle ju gärna vilja veta hur mycket värme som avges till liggytan i förhållande till den tillförda effekten. Hur värmen fördelas är också en intressant fråga. Egna och andras studier visar på att värmespridningen kan vara ganska ojämn. Det behövs mer studier och provningar på detta område.

För att effektivisera kan man pröva värmelampor på 100 W istället för 150 W och då gärna typ PAR. En aspekt att väga in är att värmelampor inte bara värmer lokalt utan även bidrar till hela avdelningens uppvärmning. Möjligheten att minska värmelampornas energianvändning hänger alltså ihop med hur avdelningen i övrigt värms.

Bild 5.

Med tak och väggar skapas ett mikroklimat till smågrisarna.



Temperaturreglering och alternativ till värmelampa

En rumsomslutande konstruktion med tre väggar och tak samt eventuell gardin är mer energieffektiv än en värmelampa. Konstruktionen kan behöva kombineras med en extra värmekälla som golvvärme eller värmelampa. En del producenter föredrar att ha en värmelampa med motivering att grisarna drar sig till ljuset från värmelampan, medan andra menar att grisarna vill ha en plats att krypa in till där det finns värme. Det viktiga är att smågrisarna tar sig från suggan och till värmen. Det verkar dock inte vara någon skillnad i det avseendet mellan röda och klara lampor enligt en amerikansk studie (H. Zhou och H. Xin, 1999).

Energimässigt är det viktigt att ha en bra temperaturstrategi. I ett smågrisstall är det en skillnad med faktor två om man håller 32 grader eller bara 26 grader (Anderssen, H). Det finns många lösningar på hur man kan reglera temperaturen i smågrishörnan. Skillnaden mellan de olika lösningarna ligger i huvudsak i investeringsstorleken och om regleringen ska ske av djurskötaren eller med hjälp av tekniska hjälpmedel.

Bild 6.

Att ha en sparknapp på värmelampan medför en obetydlig merinvestering. Sparknappen kopplar in en diod så att bara hälften av strömmen passerar. Det halverar effekten.



Man kan öka eller minska avståndet mellan grisar och värmelampa eller stänga av lampan emellanåt. Det blir en självklar skillnad i energianvändning om värmelamporna används alla 28 dagar eller enbart 14 dagar per kull och år. Det finns också armaturer med en sparfunktion till en obetydlig merkostnad. Sparknappen kopplar in en diod, som stänger av strömmen till hälften och därmed halveras effekten. Efter grisens första, känsligare, dagar kan man slå på sparknappen. Det är inte alltid nödvändigt med full effekt under 28 dagar.

Exempel, användning av sparknapp

1. En 150 W värmelampa används i 28 dygn. Elförbrukning $0,150 \times 28 \times 24 = 100 \text{ kWh}$.
2. Sparknappen slås till efter 14 dygn. Elförbrukning $0,150 \times 14 \times 24 + 0,075 \times 14 \times 24 = 75 \text{ kWh}$.
Besparingen med sparknapp blir alltså 25 kWh per kull eller ca 2 kWh per smågris.

Det finns styrutrustning som dels har ett förprogrammerat temperaturprogram och styrning av värmelamporna i hela avdelningen genom mätning av temperaturen i en box. Sedan finns styrutrustning som reglerar temperaturen i varje enskild box med hjälp av en IR-termometer (mäter värmestrålning från ett föremål som termometern riktas mot).

Bild 7.

En IR-termometer ger bra uppfattning om temperaturen till smågrisarna



Med en handhållen IR-termometer för några 100-lappar får grisskötaren ett bra hjälpmedel att kontrollera värmen i smågrishörnan. Viktigaste indikationen på rätt temperatur är dock smågrisarnas ligg beteende. Förutom sparknapp på armaturen skulle man kunna reglera effekt och strålning steglöst med en s.k. sladd-dimmer. Den intresserade grisskötaren kan ha koll på både djurmiljö och elförbrukning.

Bild 8.

En sladd-dimmer som kopplas in före värmelampen bör vara ett bra sätt att ställa in rätt temperatur i varje smågrishörna.



Det finns även infravärmare som används istället för värmelampor. Det finns infravärmare med liknande styrning som värmelampornas. Infravärmarna är inte nämnvärt mer energieffektiva men har längre hållbarhet. Möjligheten att vinna i energieffektivitet ligger i automatiken.

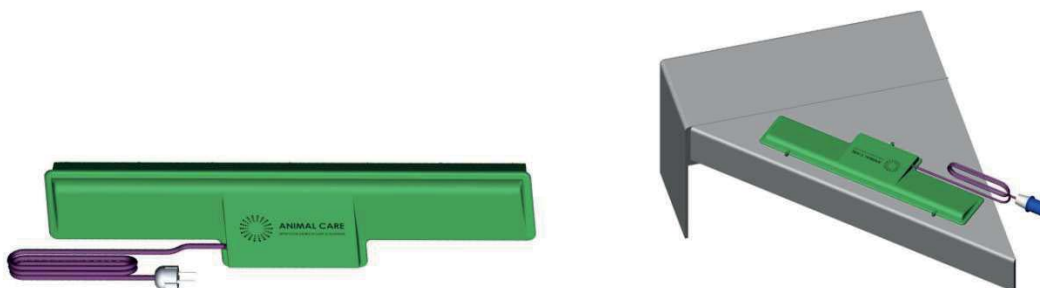


Bild 9. Exempel på infraröd värmare, som placeras under taket i smågrishörnan. Den har automatisk temperaturreglering och trådlös förbindelse via internet. (Animal Care ApS)

Temperaturen kan också styras genom att man fäller upp taket i smågrishörnan om ett sådant finns monterat. Viktigt att poängtera är att oavsett installerad teknik är den bästa temperaturmätaren grisarnas ligg beteende. Grisar som trivs ligger sida vid sida på liggytan i smågrishörnan.

Belysning

Ett stall för grisar måste ha fönster eller andra inläpp för dagsljus (SJVFS 2012:15). Stallet ska också vara försett med artificiellt ljus som inte förorsakar djuren obehag och som gör det möjligt att se till djuren. I EU-direktiv 2001/88 anges att grisar ska ha minst 40 lux 8 timmar per dag. I Teknisk specifikation SIS- TS 37:2012 rekommenderas 75 - 150 lux i grisstallar dagtid.

En lux är definierad som en lumen per kvadratmeter. $1 \text{ lux} = 1 \text{ lm/m}^2$. Lumen anger ljusflödet från en lampa och idag är det normalt att ha ett lumenvärde angivet på lampförpackningen. Se vidare handbokens del 6 om belysning.

Enligt Hörndahl (2012) är grisen mycket anpassningsbar och det finns inte tillräckligt med information för att kunna specificera vad som är optimal ljusmiljö för grisar. Optimalt är då med avseende på spektralfördelning, tid med ljus per dag eller belysningsstyrka. Grisen har likartad syn som människan och om människan känner obehag av flimrande ljus så gör grisen det också.

Grisen väljer att vila i utrymmen med mycket låg belysningsnivå och påverkas negativt om de inte får mörker med minst 6 timmar per dygn. Grisar gödslar helst på mörka platser i boxen. Därför är det inte att rekommendera att ha starkt ljus över spalt och gödselyta.

Grisen är i likhet med nötkreatur och hästar dikromata, d.v.s. ser bara två färger. Det finns mycket som tyder på att grisar uppfattar ljuset från en vit LED-lampa eller ett lysrör som ljusstarkare än samma ljusintensitet från en glödlampa. Mot bakgrund av att grisen i huvudsak ser ljus med våglängder mellan 400 och 600 nm skulle man med modern LED-teknik kunna välja ljuskälla som ger mycket strålning i detta intervall. Då får grisen en bra belysning med en låg energiinsats.

I Svenska Pigs stalltips (20110601. Ljus till suggor och gyltor) beskrivs vikten av ljus till suggor och gyltor. För att undvika att tallkottkörteln uppfattar att det börjar gå mot höst och mörker behövs ett ljusprogram året runt i alla avdelningar. Studier visar att det är viktigare med en lång dagslängd jämfört med ljusstyrkan. Rekommendation på en bra ljusstyrka till suggor och gyltor är 200 - 300 lux.

Tabell 3. Rekommendationerna för ljusprogram som håller gyltornas och suggornas hormonsystem i vår- och sommartrim. (Svenska Pig 20110601. Ljus till suggor och gyltor)

Avdelning	Ljusa timmar	Mörka timmar
Gyltavdelning	8-10	14-16
Betäckningsavdelning	16	8
Dräktighetsavdelning	16	8
Grisningsavdelning	12	12

Danska rekommendationer är enligt Jensen (2011) 14-16 timmar ljus per dag med minimum 100 lux i betäckningsavdelningen och 10-12 timmars ljus per dag med minimum 100 lux i dräktighetsavdelningen. I tabell 4 nedan presenteras antalet brinntimmar hos nio gårdar som genomfört energikartläggning.

Tabell 4. Antal brinntimmar i olika avdelningar för 9 gårdar. (Sammanställning N. Helmersson)

Avdelning	Ljusa timmar	Medel (timmar)
Betäckningsavdelning	10-18	16
Dräktighetsavdelning	12-18	15
Grisningsavdelning	10-18	12
Tillväxtavdelning	5-14	11
Slaktsvinstall	3-12	7

Den vanligaste tekniken i dagens stallar är T8-lysrör på 1,2 m (36 W) eller 1,5 m (58 W). Eftersom de flesta stallar inte har så högt i tak har det varit lämpligast med lysrör. Det finns några stallar/avdelningar som har högt i tak och där är det installerat urladdningslampor som metallhalogenlampor.

De flesta har ljusprogram som är timerstyrt. Ljusprogrammet är i vissa styrningar ihopkopplat med styrningen för utfodringen. Det finns de som har dubbla brytare. Istället för att belysning går för fullt i 13 tim/dygn kan man installera dubbla brytare, vilket innebär att belysning går på 50 procent under 10 tim/dygn och för fullt enbart 3 tim/dygn. Belysningen går för fullt när man är inne och sköter djuren.

Det är ovanligt men det förekommer att man styr med ljussensor i betäckning- och dräktighetsavdelningar. Detta är aktuellt i stallar som har en stor del naturligt ljus, bra insläpp av dagsljus.

Det finns idag LED-teknik som utan ombyggnad kan sättas i konventionella lysrörsarmaturer.



Bild 10. LED-lampor finns i många utföranden

Att minska belysningens energianvändning handlar om

- att släcka lampor som inte behövs
- att ersätta manuell tändning och släckning med styrning i form av timer, närvarodetektor eller ljusrelä.
- att byta ut ineffektiva lampor, särskilt de med lång brinntid, Glödlampor kan bytas mot s.k. lågenergilampor eller LED-lampor. Gamla T8-lysrör kan bytas ut mot effektivare T5-lysrör eller mot LED-belysning.

Slaktsvinsproduktion, teknik och energi

Foder - malning, blandning och utfodring

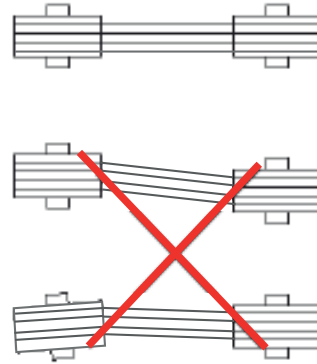
Detta stycke behandlar vad en utfodring gör, olika utfodringstekniker och hur man får en anläggning energieffektiv. Det ligger under slaktsvinsproduktion, eftersom det är där som man använder mest energi till utfodringsmomentet. Det som står här gäller också för företag med integrerad grisproduktion. Mer information finns i handbokens del 8, Foderberedning och utfodring.

Det finns två huvudsakliga utfodringstekniker idag. Det är blötutfodring, som blivit vanligare på senare tid, och torrutfodring som var vanligare förr. Bruket av blötutfodring för slaktsvin har ökat på senare år till uppemot 70 procent. Av smågrisbesättningarna är det dock bara 10 procent som har blötutfodring (Svenska Pig, 2012-01-09). Torrutfodring är mer energieffektivt jämfört med blötutfodring. Fördelarna med blötutfodring är att man blir mer flexibel och lätt kan använda alternativa fodermedel (även blöta) som är prismässigt intressanta.

Med torrutfodring transporteras fodret med hjälp av kedja, vajer eller skruvar ut till djuren. Utfodringen styrs ofta med dosering efter volym eller vikt. Utfodringen sker oftast i tråg. För att en torrutfodringsanläggning ska vara så energieffektiv som möjligt är det viktigt att mekaniska delar såsom kedjor och lager går lätt. Kontrollera spänningen på eventuella kilremmar. En rem slits snabbare och ökar energianvändandet om den är dåligt spänd eller inte löper i rak linje med remskivorna. Ingredienserna bör vara homogena, då kan man minska blandningstiden.

Bild 11.

Om inte kilremmar och remskivor ligger i rak linje så blir det större friktion och då förloras energi, i form av värme. Materialet slits också fortare.



En satsblandare bör fyllas till hela volymen. Genom att använda torra och homogena komponenter håller man nere blandningstiden och det spar energi.

I ett blötfodersystem pumpas fodret i ett rörsystem ut till djuren. Utfodringen styrs från foderköket, där fodret blandas. Med hjälp av tankar, vågceller, pumpar och flödesmätare och datorteknik får man ett utfodringssystem med hög doseringsnoggrannhet och stora variationsmöjligheter. Det finns olika system för att transportera blötfodret inom stallarna. I Sverige är det vanligast med ”rundpumpnings-system”, där rören i foderslingan alltid är fyllda med foder. Här står alltså foder i slingan mellan utfodringarna, vilket leder till fermentering av fodret. I så kallade ”restlösa system” används vatten till att trycka ut fodersoppan i slingan. Efter varje utfodring finns alltså vatten plus en del fodersoppa kvar i slingan (Svendsen m.fl. 2012).

Bild 12.

**Skruvpump är bästa val vid höga mottryck.
Den kan med fördel vara frekvensstyrd.**



Det finns två olika typer av foderpumpar, centrifugalpump och skruvpump med sina fördelar och nackdelar. Skruvpumpen har en högre elförbrukning och i äldre danska rekommendationer (Pedersen & Hinge 2002) har man därför förordat centrifugalpumpen. Det kan fortfarande gälla när man pumpar lättflytande blandningar och vid lågt motstånd. Skruvpumpen, som är en deplacementpump, har den fördelen att kapaciteten inte sjunker nämnvärt med ökat motstånd. Särskilt stillastående foder i ett rundpumpningsystem ger ett stort motstånd när pumpningen startar. I sådana system kan därför skruvpumpen vara energieffektivare än centrifugalpumpen (Bendixen, 2013)

Valet mellan de båda pumptyperna beror alltså på hur foderköket är placerat, om det är långa avstånd som fodret ska transporteras, på behov av noggrannhet vid utfodring och på förekommande arbetstryck (Olsson, 2012). För att få en bra kapacitetsreglering kan motorn till pumpen med fördel vara frekvensstyrd och det medför också en energibesparing.

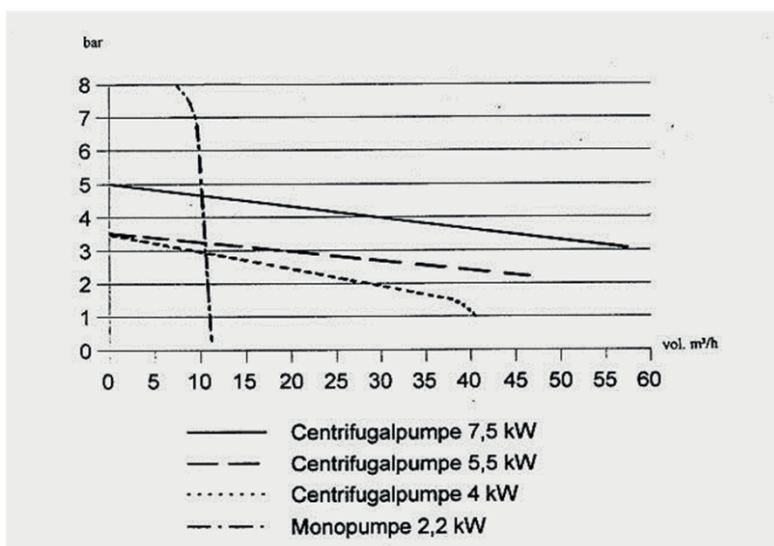


Bild 13. Diagrammet visar att skrupumpen (monopumpen), inte är lika känslig för ett ökat mottryck som centrifugalpumpen och därför blir den energieffektivare vid stort motstånd. Vid 5 bar kan en skrupump med 2,2 kW motor ge ca 10 m³/tim (170 l/tim). Motsvarande kapacitet för en centrifugalpump kräver en motor på minst 7,5 kW. (Källa: Big Dutchman A/S)

Nära hälften av energin i ett foderkök går till omröringen i en blötutfodring. Det är därför viktigt att minska blandningstiden. För att få kortast blandningstid bör blandningen mellan torrfoder och vatten vara 1:3. En torrsbstanshalt på 25 procent kan användas som riktvärde vid foderblandning. Mer vatten ger en mer lättblandad och lättflytande blandning men sänker energi- och näringskoncentrationen i fodret.

Kvarnanläggning

Vid malning av spannmål i svinproduktion står valet mellan hammarkvarn och skivkvarn. Hammarkvarnen är vanligast. Hammarkvarnen kan suga åt sig materialet, eftersom de roterande slagorna ger fläktverkan. Partiklarna trycks av kvarnen genom ett såll som kan ha olika stora hål, där hålstorleken är bestämmande för partikelstorleken.

Tabell 5. Olika kvarntyper och dess energianvändning, riktvärden enligt danska Energisparekatalog i Landbruget, (Pedersen & Hinge, 2002)

Malsystem	Energianvändning (kWh/ton)
Skivkvarn	9
Hammarkvarn utan lufttransport (3 mm såll)	10
Hammarkvarn med sug (3 mm såll)	15
Hammarkvarn med sug /tryck (3 mm såll)	15-30

Skivkvarnen river och trycker sönder materialet mellan räfflade skivor och ger en jämnare fördelning av partiklarnas storlek jämfört med hammarkvarnen. Skivkvarnen kan vara betydligt energieffektivare jämfört med hammarkvarnen (tabell ovan). Skivkvarnen är också enklare att ställa om mellan olika råvaror och ger en jämn struktur. Valet mellan skivkvarn och hammarkvarn beror på varje enskild situation. Rätt använda ger båda kvarntyperna foder som utnyttjas optimalt av grisarna.

En del av hammarkvarnens högre energianvändning beror på dess fläktverkan. Därför undviker man gärna lufttransporten och kompletterar hammarkvarnen med skruvar för matning och skruvar eller andra transportörer för att föra mjölet vidare. Skruvtransport använder mindre energi per ton än lufttransport. Det gäller generellt för transport av spannmål och foder att lufttransport ska undvikas. En spannmålsfläkt med cellhjulsmatning använder 0,5 - 0,7 kWh/ton, medan skruven klarar sig med ca hälften.

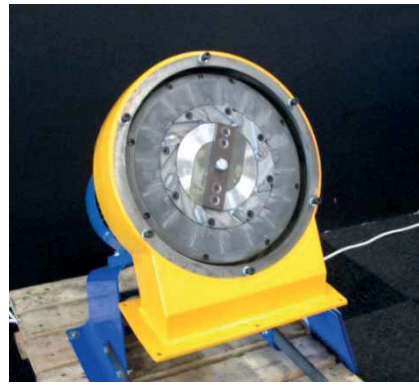


Bild 14. Hammarkvarn och skivkvarn.

Det finns en studie (Holm & Mortensen, 2012), där man bland annat jämfört hammarkvarn med skivkvarn utan att ta med transportarbetet i mätningarna. Det framgår av tabell 6 att för enbart malning använder skivkvarnen 20 procent mindre energi vid torrt vete och nära 30 procent mindre energi vid torrt korn.

Tabell 6. Elförbrukning vid malning av vete och korn, jämförelse mellan hammarkvarn och skivkvarn. Transport till och från kvarnarna ingår inte. (Holm, M. Mortensen, K. 2012)

Typ av kvarn	vet 14 % vattenhalt	korn 14 % vattenhalt
Hammarkvarnar medeltal	10,3 kWh/ton	16,7 kWh/ton
Skivkvarn	8,2 kWh/ton	12,0kWh/ton

Ökad vattenhalt ökar elförbrukningen med ungefär 2 kWh/ton för varje procentenhets ökning.

Optimal foderstruktur är en balans mellan maximalt näringsutbyte och magsår. Alltför stor andel av små partiklar orsakar eller ökar risken för magsår. En större andel av små partiklar ger också att kvarnen får en högre energianvändning, lägre kapacitet och ett större slitage. Med mindre partiklar ökar den vattenhållande förmågan vilket ger en sämre pumpbarhet och ett mer trögpumpat foder.

Tabell 7. Optimal struktur i grisfoder. (Göransson, L. 2009).

< 0,2 mm	Max 20 % av partiklarna
0,2 - 1 mm	Min 60 % av partiklarna
> 1 mm	Max 20 % av partiklarna
-och inga hela kärnor	

Observera att det som presenteras i tabell 7 ovan är en vägledande tumregel. Slaktsvin och suggor klarar större partiklar än smågrisar. Tabell 8 visar hur ökad malfinhet ökar energianvändningen. Det är visserligen intressant, men det är inget argument för ett mer grovmalet foder, eftersom man då förlorar mer i foderupptagning.

Tabell 8. Elförbrukningens samband med malfinheten vid malning av korn med 14 % vattenhalt. Medeltal för sex kvarnar. (Holm, M. Mortensen, K. 2012)

Malfinhet	Elförbrukning
korn 80 % mindre än 1mm	15 kWh/ton
korn 65 % mindre än 1mm	10 kWh/ton
korn 50 % mindre än 1mm	9 kWh/ton

Tryckluft fyller en viktig funktion i blötutfodringen. För att systemet ska vara energieffektivt bör man kolla så att systemtrycket inte är högre än rekommendationen samt att det inte läcker i ledningar,

kopplingar och ventiler. Det är onödigt att kompressorn startar för att hålla trycket uppe på grund av läckage. Ett hål med 1 mm diameter motsvarar en effekt på 0,4 kW om systemtrycket är 7 bar. Det blir en energiförlust på 3500 kWh på ett år, om tryckluften alltid är igång.

Ventilation

Grundläggande är att ventilationssystemet skall skapa ett stallklimat som tillfredsställer djurens behov av frisk luft och termiska komfort i stallet. Beroende på ålder så har grisarna olika krav på stallklimatet, vilket finns angivet i djurskyddsbestämmelserna (L100 och L101). Rekommenderat klimat och dimensioneringar finns i Svensk standard SS 951050.

Eftersom luftomsättningen i ett grisstall är mycket större jämfört med bostäder så utgör värmeförlusterna genom ventilation en mycket stor andel av den totala värmeförlusten i ett djurstall. Detta medför att värmeförlusterna genom ventilation är stora i förhållande till värmeförlusterna genom byggnads skalet. Ventilationsförlusterna vintertid i en normal villa är ca 15 procent medan den för ett slaktgrisstall varierar mellan 50-75 procent.

I grisstallar och speciellt slaktgrisstallar behövs kraftig ventilation för att transportera bort den fukt och de gaser som avges i stallet.

Kapacitetsreglering

Man kan reglera kapaciteten genom att ändra en fläkts varvtal eller med hjälp av ett reglerbart strypspjäll. Dessutom kan man styra dess kapacitet genom att stänga av eller sätta på vissa fläktar.

Strypspjäll är inget energieffektivt sätt att reglera kapaciteten. Det är som att man skulle reglera hastigheten på en cykel med hjälp av bromsen istället för med trampning.

Effektiva varvtalsreglerade fläktar

Det finns olika tekniker för att ändra en fläkts varvtal. Det finns spänningsreglerade, t.ex. triacreglerade fläktmotorer. En svaghet hos de spänningsreglerade fläktmotorerna är att ju lägre hastigheten är desto sämre blir verkningsgraden. De tappar också vridmoment med sjunkande varvtal och får då svårare att stå emot vindpåverkan.

Frekvensreglering bygger på att man styr växelströmmens frekvens istället för spänning. Det gör att fläktmotorns verkningsgrad inte försämras när rotationshastigheten minskar.

Det finns också en relativt ny typ av varvtalsreglerad fläktmotor. Den nya LPC- eller EC-motorn har en inbyggd styrelektronik som styr magnetfältets rotationshastighet och därmed motorns varvtal. En sådan motor är dyrare men mycket energieffektiv. Med en EC-motor sparar man Enligt Lone, J (2011) 70-75 procent jämfört med en triacstyrd fläktmotor och 60 procent jämfört med en frekvensstyrd motor. Enligt Andersen, M (2010) sparar en EC-motor 45-53 procent jämfört med en frekvensstyrd motor.

Inställningar skötsel och underhåll

Regelbunden rengöring minskar strömningsförlusterna. Rengjorda fläktar förbrukar cirka 10 procent mindre energi jämfört med icke rengjorda fläktar (Svenska Pig, 20110601). Minst en gång per år helst vid varje ny omgång i slaktgrisstallet bör man gå igenom och rengöra fläktar och kanaler.



Bild 15. Oj, strypspjället hade fastnat och ja, det kanske är dags att rengöra!

Temperaturgivare ska helst placeras i den varmaste delen av stallet eller ännu bättre så att den mäter en representativ temperatur nära djuren. Kontrollera temperaturgivaren genom att värma den och lyssna på fläktarna om ventilationsflödet ökar.

Om man använder tilläggsvärme i stallet är det viktigt att den samregleras med ventilationen så att värmen bara är på när ventilationen går på minimikapacitet. Annars kan värmen ”jaga” ventilation som blåser ut uppvärmd luft till ingen nytta. Det kan skapa stora energiförluster.

Summan av den relativa fuktigheten och lufttemperaturen bör inte överstiga 90. Härmed uppnår man det lämpligaste inomhusklimatet med lägsta möjliga energiåtgång. Det betyder att vid en temperatur av 20 grader bör inte luftfuktigheten överstiga 70 procent. Om det avviker i ditt stall bör ni kolla ventilationen.

Läs mer om ventilation i handbokens del 5, Ventilation.

Värmeväxlare

Det finns mycket energi att återvinna i frånluften från grisstallar och speciellt i slaktgrisstallar. Teoretiskt skulle en stor mängd energi kunna sparas med hjälp av värmeväxlare som tar energi från den varma frånluften som används för att förvärma den kalla tilluften. Man har gjort försök sedan 60-talet men tekniken har inte kommit till allmän användning.

Problemet är den stora mängd fukt och damm som stall luften innehåller. Kondensvattnet i sig fryser och blockerar luftflödet när det är kallt. Damm- och kondensvattnet bildar en kletig sörja som minskar värmeledningsförmågan och försämrar effektiviteten. För att motverka detta problem har man försökt att använda filter och renspolning men det har visat sig blivit mycket dyrt och arbetskrävande.

Det har också använts luft/vatten-värmeväxlare för att hämta energi till värmepumpar avsedda till att värma bostadshus eller andra lokaler. Det har installerats en del sådana anläggningar men damm- och korrosionsproblem har medfört höga driftskostnader jämfört med konventionella system som hämtar värme från mark eller gödselkylvert.

Åtgärder för energibesparing i grisproduktion

Inställningar, skötsel och underhåll, nivå 1.

1. Regelbunden rengöring av belysning och ljusinsläpp

Minst en gång per år bör man gå igenom belysningen och rengöra armaturer och andra ljusinsläpp.

2. Släck lampor

Släck belysning som inte behöver vara tänd. Överväg att ersätta manuell tändning med automatik.

3. Regelbundet underhåll av torrutfodring

Kontrollera att mekaniska delar går lätt som kedjor, lager och kilremmar. Kilremmar och remskivor ska ligga i rak linje så att det inte blir onödigt friktion.

4. Utnyttja satsblandarens volym

En satsblandare bör fyllas till hela volymen för att spara energi. Genom att använda torra och homogena komponenter håller man nere blandningstiden och det spar energi

5. Mal inte för fint

En större andel av små partiklar gör också att kvarnen får en högre energianvändning, lägre kapacitet och ett större slitage. Med mindre partiklar ökar den vattenhållande förmågan vilket ger en sämre pumpbarhet och ett mer trögpumpat foder.

6. Optimal foderblandning

För att få en kort blandningstid i en blötutfodringsanläggning bör blandningen mellan torrfoder och vatten vara 1 på 3.

7. Regelbunden rengöring av ventilationen

Regelbunden rengöring minskar strömningsförlusterna. Rengjorda fläktar förbrukar cirka 10 procent mindre energi jämfört med icke rengjorda fläktar. Minst en gång per år, helst vid varje ny omgång i slaktgrisstallet, bör man gå igenom och rengöra fläktar och kanaler.

8. Regelbunden kontroll av styrning och givare

Kontrollera temperaturgivaren som styr stallets ventilation regelbundet. Om man blåser ut alltför torr och varm luft får man stora energiförluster.

9. Kolla tryckluftssystemet för läckage.

Kolla tryckluftssystemet för läckage. Det är onödigt att kompressorn startar för att hålla trycket uppe på grund av läckage. Ett hål med 1 mm diameter motsvarar en effekt på 0,4 kW om systemtrycket är 7 bar. Det blir en energiförlust på 3500 kWh på ett år, om tryckluften alltid är igång.

Ombyggnad och kompletteringar, nivå 2.

10. Tak över smågrishörnan

Skapa ett mikroklimat till smågrisarna genom en rumsomslutande konstruktion med tre väggar och tak.

11. Använd värmelampsarmatur med sparknapp

Med sparknapp halverar man lampans effekt när grisen vuxit till sig och inte behöver lika mycket värme. Ett alternativ kan vara en sladd-dimmer som kopplas in på sladden till värmelampan. Att reglera värmen med lampans höjd över golvet är ett mycket sämre alternativ.

12. Temperaturreglering i smågrishörnan

Styr manuellt med halveringsknapp eller med automatisk värmereglering. Det finns styrutrustning som reglerar värmen i varje enskild box eller i hela avdelningar. Det finns även infravärmare istället för värmelampor. Temperaturen kan även regleras genom att fälla upp taket.

13. Byt ljuskälla där ni har många brinntimmar

Med LED-teknik kan man få en ljuskälla med strålning inom rätt våglängdsintervall och som är energieffektiv.

14. Energieffektiv kvarnanläggning

I svinproduktionen står valet mellan hammarkvarn eller skivkvarn. Skivkvarnen är energieffektivare och är enklare att ställa om mellan olika råvaror. Hammarkvarnen blir energieffektivare om man kompletterar den med mekaniska transportörer istället för att den ska suga och trycka.

15. Undvik lufttransport

Transport av spannmål och foder med fläkt är inte energieffektivt. Försök att välja mekaniska transportörer som skruvar. Om fläkt måste användas för transport, ska man inte använda injektor för inmatning i tryckledningen utan cellhjulsmatare

16. Frekvensstyrd blötutfodring

För att få en bra kapacitetsreglering är det energieffektivt med en frekvensstyrning på foderpumpen.

17. Samreglera värme och ventilation

Om man använder tilläggsvärme i stallet är det viktigt att den samregleras med ventilationen så att värmen bara är på när ventilationen går på minimikapacitet. Annars kan värmen "jaga" ventilation som blåser ut uppvärmd luft till ingen nytta.

18. Bygg bort strypspjäll

I ventilationssystem, där alla fläktar är spänningsreglerade och försedda med strypspjäll, blir energianvändningen hög. Byt till EC-fläktar och/eller installera en reglercentral som kan smartstyra fläktarna.

Val av system i nya stallar, nivå 3.

19. Isolera lite extra

Minimikravet är att stallet är så väl isolerat att kondens på väggar och i tak undviks. Med hänsyn till energianvändning kan det vara bra att ha bättre isolering än minimikravet.

20. Uppvärmning med bibränslepanna eller värmepump

Byt ut oljepanna eller direktverkande elvärme mot värmepump eller bibränslepanna. Värmepumpen kan utvinna värme från gödselkulvert. Om man har ytterligare värmebehov är det mer intressant med en bibränslepanna.

21. Dubbla golvvärmeslingor i grisningsavdelning

Med dubbla värmeslingor med egna shuntar och egen styrning kan man få ett varmare golv till smågrisarna och svalare till suggan.

22. Använd EC-fläktar till kapacitetsreglering

Byt den varvtalsreglerade fläkten till en EC-fläkt, som använder mindre energi än både triac- och frekvensstyrda fläktar. Enligt vissa studier använder den 60 procent mindre energi jämfört med en frekvensstyrd fläkt.



Referenser

Andersen M. 2010. EC-ventilation fra SKIOLD, Udvikling og demonstration at energibesparende teknologi til landbruget. Agrotech. Institut for Jordbrugs- og Fodevareinnovation.

Andersen, H. Pederssen, J. Energibevindst projektering i landbruget, Varmeanaelag til stalde. www.landbrugsinfo.dk.

EU-direktiv 2001/88/EG, 2001. Om andring av direktiv 91/630/EEG om faststallande av lagsta djur-skyddskrav vid svinhallning. Europeiska unionen, Bryssel.

Göransson, L. 2009. Söderdelning. Svenska Pig

Holm, M. Mortensen, K. 2012. Formaling av korn. Erfaring 12 från Videntcenter for svineproduktion.

Hörndahl, T. Wachenfelt, E. Wachenfelt, H. 2012. Belysning I stallbyggnader. SLU.

Hörndahl, T. Neuman, L. 2012. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader, En kartläggning av 16 gårdar 2005-2006 kompletterat på 2 gårdar 2010-2012. SLU rapport 2012:19.

Jensen, Lone. 2011. Belysningspjece, Spar energi Belysning. Bornholms Landbrug.

Jensen, Lone. 2011. Energieffektive ventilatorer, Spar energi. Bornholms Landbrug.

Jordbruksverket, SJVFS 2010:15. Jordbruksverkets föreskrifter och allmänna råd om djurhallning inom lantbruket mm. L100. Jönköping.

LRF. Spara energi. Praktiska tips för gården. 2009.

Neuman, L., m.fl.. 2009. Kartläggning av energianvändning på Lantbruk 2008. LRF Konsult på uppdrag av LRF.

Olsson, P. 2012. Energieffektivisering på grisgårdar. Biologiska yrkeshögskolan i Skara (BYS).

Pedersen, J. Hinge, J. 2002. Energisparekatalog i Landbruget, andra utgåvan. Landbrugets Rådgivningscenter, Århus.

Pedersen, J m.fl. 2002. Energisparekatalog i landbruget. Landbrugets Rådgivningscenter.

Svenska Pig. 2011-06-01. Termisk komfort i grisstallar. Stalltips.

Svenska Pig. 2011-06-01. Värme till avvänjnings- och tillväxtgrisar. Stalltips.

Svenska Pig. 2011-06-01. Ljus till suggor och gyltor. Stalltips

Svenska Pig. 2011-06-01. Energiåtgång för ventilation i slaktsvinstall. Stalltips.

Svenska Pig. 2012-01-09. Blötutfodring eller torrutfodring. Pigrapport 11.

Svendsen J, m.fl. 2012. Inhysning och boxsystem i grisproduktion. Lantbrukets byggnadsteknik, SLU.

Svensk standard, SS 951050. Dimensionsförutsättningar och rekommenderat klimat för olika djurslag.

SIS-TS 37:2012 Ekonomibygnader. SIS förlag

Zhou, H., Xin, H. 1999. Effects of Heat Lamp Output And Color on Piglets at Cool and Warm Ents.. Applied Engineering in Agriculture.

Personliga meddelanden

Mads Bendixen, salgskonsulent, Big Dutchman, Danmark

Torsten Hörndahl, SLU.

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 9

Svinproduktion

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 10

Mjölkning

2013



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare:

Lars Neuman, energi- och teknikrådgivare, LRF Konsult AB, Ulricehamn.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Innehåll	Sida
Inledning Mjölkning, energianvändning	4
Tips – åtgärder för att energieffektivisera, i sammanfattning	5
Vakuumsystemet	7
Åtgärder i vakuumsystemet	10
Mjölkkylning	11
Kylning och mjölkkvalitet	11
Teknik för kylning	11
Två huvudprinciper för mjölkkyltankar, direkt och indirekt kylning	13
Hur mycket energi behövs det för att kyla mjölk?	13
Förkylning av mjölken	15
Åtgärder i mjölkkylning	18
Värmeåtervinning från mjölken	19
Hur mycket värme kan återvinnas?	21
Hur använda värme från värmeåtervinning?	22
Förkylning med vatten minskar potentialen för värmeåtervinning	23
Hur utnyttjar man bäst all värme från värmeåtervinningen?	24
Åtgärder i värmeåtervinning	26
Diskning	27
Teknik för diskning	27
Uppvärmning av vatten	28
Hur mycket energi använder mjölklagården för diskning?	28
Kan diskvattnet förvärmas?	31
Isolering av mjölkkrör	32
Åtgärder i diskning	34
Robotmjölkning	35
Åtgärder vid robotmjölkning	37
Referenser i urval	38

Mjölkning, energianvändning

Nära 1/3 av energin i mjölkproduktion används till mjölkning, mjölkkyllning och diskning. Det visar den studie av energianvändning på som gjordes 2008 (*LRF Konsult*). Där ingick 45 mjölk-gårdar med sammanlagt 4500 kor. För jämförelse beräknades nyckeltal, kWh per kg mjölk. Beräkningen började med uttag av ensilage och spannmål före foderberedning och utfodring. Den avslutades med att mjölken var kyld och gödseln flyttad till lagret. Så definierades nyckeltalets systemgränser.

I medeltal använde gårdarna 0,154 kWh per kg mjölk. Då ingick även rekryteringens energianvändning på flertalet gårdar, ungefär 0,02 kWh/kg mjölk. I senare nyckeltalsberäkningar, som i Energikollen, tas inte rekryteringen med. Lägsta värdet i studien var 0,10 och det högsta 0,33 kWh/kg.

Av medeltalet på 0,154 kWh/kg användes 0,04-0,05 kWh/kg till själva mjölkningen, mjölkkyllning och diskning. I dessa siffror ingår även rekryteringens energianvändning, ca 0,02 kWh/kg.

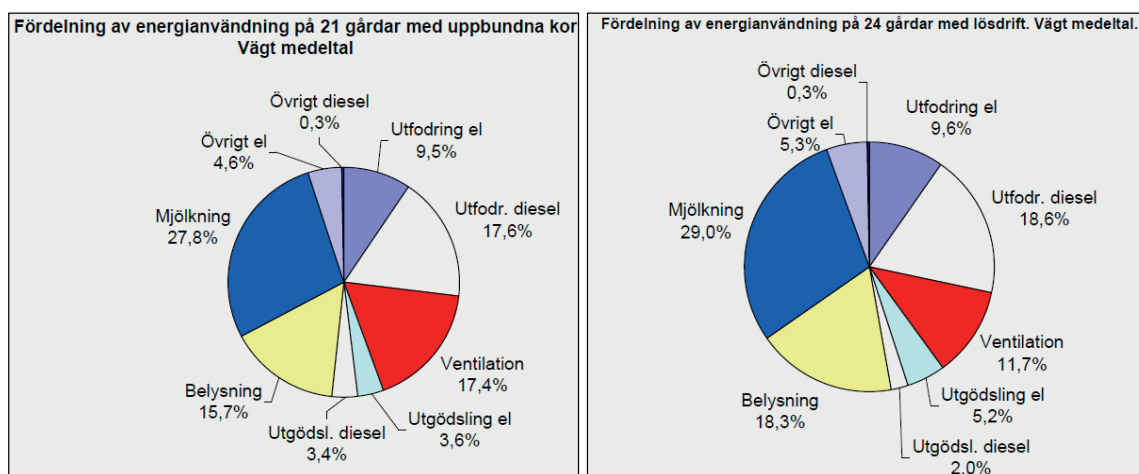


Bild 00. Energin användningen räknades från foderberedning och utfodring fram till att mjölken var kyld i tanken och gödseln flyttad till lagret. Mjölkingen med mjölkkyllning och diskning svarar för närmare 30 procent av energianvändningen i nyckeltalet kWh/kg mjölk.

(Källa: Neuman, L m.fl.)

Variationen var stor mellan gårdarna, varav en del redan hade gjort åtgärder för att spara energi. Andra gårdar med sämre teknik och sämre rutiner hade stor potential till förbättringar. Nedan listas kortfattat de viktigare åtgärderna för att minska energianvändningen i mjölkning. De finns beskrivna längre fram i häftet.

Att notera!

I det följande behandlas kylning och värmeåtervinning och då utgår vi från den mängd mjölk som ska kylas och som också ger potential för värmeåtervinning. Normalt när vi gör energikartläggning brukar vi basera nyckeltalet på mängden ECM. Vi räknar med producerad mjölk, kalvmjölken ingår alltså.

Beroende på halterna av fett och protein kan det skilja en del mellan den volym mjölk som hanteras i systemet och mängd ECM. Det kan ha betydelse för beräkningarna, om skillnaden är stor.

Tips – åtgärder för att energieffektivisera

När man pratar om hur man ska effektivisera energianvändningen är det bra att dela in åtgärderna efter hur lätta de är att genomföra. De lättaste är de som handlar om rutiner och beteende, inställning, kalibrering, rengöring, planering etc. Det är åtgärder som inte behöver planeras väl och de behöver inte medföra kostnader, möjligen lite extra tid. Lönsamheten behöver sällan diskuteras. Rengöring av kondensorn är en sådan åtgärd. Vi kallar det åtgärder på den första nivån.

Andra åtgärder kan kräva inköp eller utbyte av utrustning och komponenter. Alltså medför de kostnader och då är det bra att räkna på lönsamheten. Sådana åtgärder kan ta lite längre tid att genomföra. Exempel på det är att sätta frekvensstyrning på vakuumpumpen, installera förkylning och att flytta kylaggregatet till ett särskilt, svalare, utrymme. Vi kallar det åtgärder på den andra nivån.

Slutligen finns det åtgärder på en tredje nivå, som kräver större investeringar och innebär byte av system och som behöver planeras väl. En lönsamhetskalkyl bör ligga till grund för investeringen.

Texten tar upp olika åtgärder, i huvudsak på de båda första nivåerna. Nedan sammanfattas åtgärderna helt kort. Beskrivningar och motiveringar finns längre fram.

Åtgärder i vakuumsystemet (Se sida 10.)

1. Undersök om vakuumpumpen kan frekvensstyras. Med frekvensstyrning anpassas pumpens kapacitet och därmed effektuttag efter behovet, som är lägre under mjölkning än under diskning.
2. Rengör vakuumregulatorn. Felaktigt vakuum ger längre mjölkningstider och sämre urmjölkning.
3. Kontrollera luftläckage i mjölkningsanläggningen. Luftläckage medför att vakuumpumpen får arbeta lite mer.
4. Låt inte vakuumpumpen värma tankrummet. Om den höjer temperaturen kring kondensorn, så får kylkompressorn arbeta mer.
5. Ta vara på energin från vakuumpumpen. Det är intressant att ta vara på den värmen för t.ex. personalrum. Eventuellt behöver brandskyddsreglerna för detta kollas upp.

Åtgärder i mjölkkyllning (Se sida 18.)

1. Serva och justera kylaggregatet. Kylaggregatet ska servas och injusteras så att kompressorn arbetar optimalt, med rätt tryck, rätt vätskemängd och en bra funktion i övrigt.
2. Håll kondensorn ren. Smuts och damm hindrar värmen att passera från köldmediet till omgivningen.
3. Håll nere temperaturen kring kondensorn. Se till att ventilationen är tillräcklig, så att temperaturen kring kondensorn hålls nere.
4. Tankrummet ventileras. Det är viktigt att tankrummet inte blir för varmt.
5. Mät elförbrukningen och följ resultatet av insatta åtgärder.
6. Förkyl mjölken med kallvatten. Då behöver kylkompressorn arbeta mindre och det spar energi. Uppvärmvatten kan t.ex. ges till korna.

Åtgärder i värmeåtervinning (se sida 26)

1. Installera värmeåtervinning från mjölkkyltanken. Normalt kan man få ut 25 - 30 kWh per ton mjölk, en nästan fri resurs. Behåll grundinställningen. Ändra inte trycket, Det kan påverka funktionen och det kan öka elförbrukningen. (Se sida 26.)
2. Isolera värmeväxlare och varmvattenrör. För att verkligen utnyttja värmeåtervinningen, isolera rör och värmeväxlaren. (Se sida 26.)
3. Sätt termometrar på rören. Följ upp värmeåtervinningen. (Se sida 26.)
4. Utnyttja mjölkvärmnen. Räkna på och ta reda på hur värme från mjölken kan utnyttjas på bästa sätt. (Se sida 26.)

Åtgärder i diskning (se sida 34)

1. Förvärm vattnet. Förvärm vattnet före varmvattenberedare med mjölkvärme eller annan källa. Det minskar beredarens elförbrukning.
2. Ha koll på temperaturen. Med en termometer i slutet på mjölkledningen vet man om man kan minska uppvärmningen av diskvattnet.
3. Kör inte effektkrävande apparater samtidigt med diskautomaten. Denna kan ha ett högt effektuttag, som bidrar till onödiga effektoppar.
4. Ta inte ut för mycket varmvatten till annat under diskningen. Det kan få disktemperaturen att sjunka, om inte beredaren har hög kapacitet.
5. Kan värmen i diskvattnet återanvändas? Det skulle vara intressant om det finns bra tekniska lösningar och om det kan göras utan hygienproblem.
6. Isolera mjölkledningen - för att mjölken inte ska kylas av på väg till tanken, för att diskvattnet ska uppfylla sina temperaturkrav, för att det ger en möjlighet att spara energi vid uppvärmningen av vatten och för att det ökar potentialen i värmeåtervinningen.
7. Isolera vattenrören till tanken. Isolera vattenrören så att det blir lättare att hålla temperaturen på diskvattnet och minska energiförlusterna.

Åtgärder vid robotmjölkning (se sida 37)

1. Frekvensstyrning av vakuumpumpen. Installera det om det inte finns. Pumpen behöver full kapacitet bara en del av tiden.
2. Förvärmning av vatten. Utnyttja vatten, som förvärmats i återvinning från mjölkkyllningen.
3. Kolla tryckluftssystemet. Det är onödigt att kompressorn startar för att hålla trycket uppe på grund av läckage.
4. Minska värmeförluster. Om området vid roboten är uppvärmt är det viktigt att hålla kvar värmen.
5. Sätt elmätare på roboten. Det är bra att veta var och hur energin används.

Vakuumsystemet

Mjölkning, transport av mjölk och en del andra funktioner omkring mjölkingen sköts med ett vakuumsystem. Vakuum är ett undertryck i förhållande till omgivande atmosfärtryck och det mäts vanligen i kilopascal (kPa). Anläggningens hjärta är vakuumpumpen, som suger ut luft och skapar undertryck, i systemet. Det är viktigt att undertrycket ligger på rätt nivå för att allt ska fungera på bästa sätt. Anläggningsvakuum kan, beroende på typ av anläggning, ligga mellan 40 och 48 kPa.

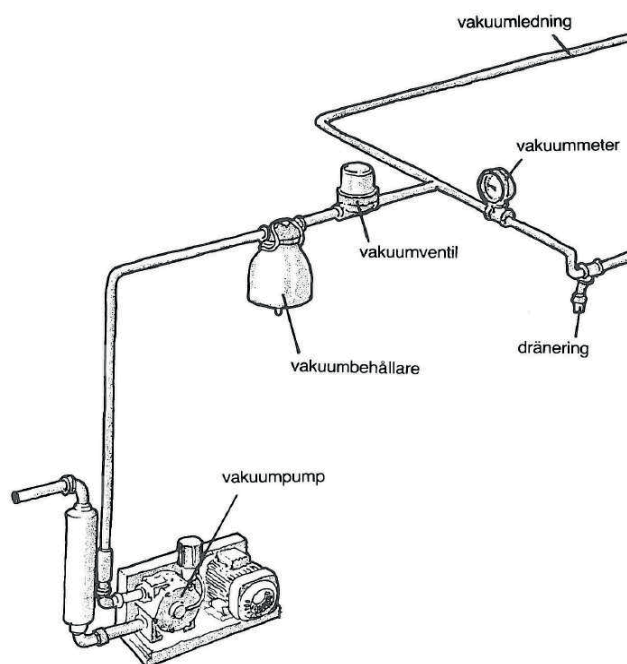
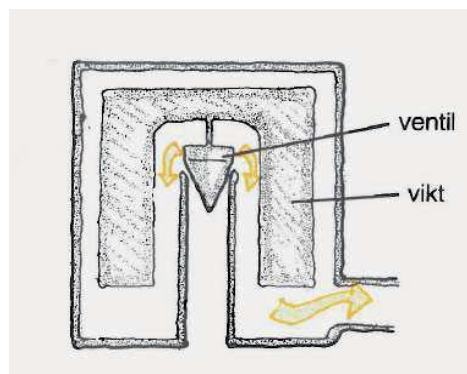


Bild 1 A. Principiellt viktiga delar i vakuumanläggningen. Principbild från 1982. (Källa: Inomgårdsmekanisering, LTs förlag)



1 B. Vakuumentil eller vakuumregulator.

I det traditionella vakuumsystemet arbetar pumpen med konstant och fullt varvtal. Därför måste det också finnas en reglering i form av en vakuumregulator. Den ska hålla vakuum på rätt nivå genom att kontrollera hur mycket luft som släpps in i systemet. Om vakuomet stiger över en viss nivå, om undertrycket blir för stort, kommer regulatören släppa in luft tills vakuomet återgår till rätt nivå. Vikten sugs uppåt så att luft kommer in. Förutom regulatören finns en vakuumbehållare, som hjälper till att motverka vakuumsvängningar.

Regleringen av undertrycket kan liknas vid reglering av tryck i ett hydraulsystem, där hydraulpumpen skapar ett övertryck. Önskat systemtryck ställer man med en tryckreglerventil. Om detta tryck överskrider, öppnar en fjäderbelastad ventil. Den släpper då ut olja, som får strömma tillbaka till tanken. Detta är ett föråldrat och ineffektivt sätt att reglera, eftersom hydraulpumpen hela tiden arbetar mot samma mottryck, det uppstår ett flöde genom tryckreglerventilen som inte används för att uträtta arbete. Flöde multiplicerat med tryck betyder effekt och vi får alltså en effektförlust i tryckregleringsventilen när den arbetar. Ju längre tid det pågår, desto mer energi använder hydraulpumpen till ingen nytta. Det är väl känt från praktiken att den energiförlusten omsätts i värme i oljan. På liknande sätt får man energiförluster i ett vakuumsystem, där man reglerar vakuumnivån med en vakuumregulator som i bild 1.

Strypning som flödesreglering av fläktar och pumpar ersätts allt mer med en varvtalsreglering i form av frekvensomvandling. Med elektronik omvandlas nätfrekvensen 50 Hz till en lägre frekvens och motsvarande lägre varvtal, allt efter behov.

Under själva mjölkningen krävs inte lika hög kapacitet som under diskning av mjölkningsanläggningen. Det brukar sägas att diskning kräver dubbelt så hög kapacitet som mjölkning. Då kan varvtalet och därmed effekten regleras ner under själva mjölkningen och därmed sparas energi.

En tillverkare uppger att frekvensstyrning kan minska vakuumpumpens elförbrukning med ända upp till 70 procent vid robotmjölkning. Hur mycket energi varje mjölkproducent sparar i praktiken beror givetvis på utgångsläget och hur stor andel av den totala tiden som utgörs av mjölkning, diskning och väntetid. Normalfallet ligger nog i intervallet 30 – 50 % besparing.

Mätningar har bl.a. gjorts av tyska DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft). I en besättning med 120 kor och ett fiskbensstall 2x8 uppmättes att frekvensstyrning minskade vakuumpumpens energianvändning med 30,5 procent. På en annan gård med 150 kor och ett 2x10 fiskbensstall var besparingen 41 procent. Någon fördelning av tiden mellan diskning och mjölkning angavs dock inte.

Ett exempel på besparing är från en mjölkgård i Marks kommun med 100 kor i lösdrift och mjölkning i grop. Här har man mätt upp en tydlig besparing genom installation av frekvensstyrning, 50 procent. Före installation av frekvensstyrning användes 24,9 kWh/dag och efter användes 12,5 kWh/dag. Tiden fördelades med 3,5 tim/dag för mjölkning och 0,8 tim/dag för diskning.



Bild 2.
På frekvensomformarens display ser man aktuell frekvens och effektuttag

Man kan själv göra ett överslag på förväntad energibesparing. Vi antar att diskningen har dubbelt så stort kapacitetsbehov som mjölkning, men det kan variera. Ta tiden för mjölkning och diskning. Räkna så här:

$$\text{Besparing (\%)} = 50 * \frac{\text{mjölkningstid}}{\text{mjölkningstid} + \text{diskningstid}}$$

Exempel På en gård med 120 kor går vakuumpumpen 6 tim/dag. Diskningen tar 1,5 tim/dag och mjölkningen 4,5 tim/dag. Besparing = $50 * 4,5/6,0 = 37,5$ (%)

Sambandet visar att ju mindre andel av vakuumpumpens gångtid som är diskning, desto större är fördelen med frekvensstyrning. Dessutom kanske en del av tiden bara är väntan, t.ex. när man ska fösa in kor till mjölkningsstallet. Då är det ytterligare en fördel att pumpen kan gå ner i varv och ner i effekt.

I mjölkkningsrobotarna är det ganska nödvändigt med frekvensstyrning av vakuumpumparna, som ju får gå många timmar och med varierande belastning. Tidigare mätningar på robotar visar på betydande energibesparing med frekvensstyrd vakuumpump.

Varvtalsreglering i den frekvensstyrda vakuumpumpen sker med hjälp av en frekvensomriktare. I den omvandlas normal sinusformade växelspänningen av 50 Hz till en spänning som varierar med lägre frekvens efter behov. Det sker på elektronisk väg och den utgående spänningen är normalt inte vågformad utan består av olika pulser med olika bredd. Detta kan ge problem med så kallade övertoner på elnätet och störa viktiga elektroniska funktioner. Så kallade lagerströmmar ger också problem. Viktigt är att man installerar en skärmd kabel mellan frekvensomriktare och motor.

Det finns emellertid teknik som ger en rent sinusformad spänning och då slipper man de elektroniska problemen och man slipper ha skärmd motorkabel. Man kan läsa mer om tekniken i handbokens del 3 om elektricitet och motorer.

Fördelar med frekvensstyrd vakuumpump

- Energibesparing
- Längre livslängd på grund av reducerat varvtal
- Mindre slitage och lägre underhållskostnader
- Mindre buller

Nackdelar jämfört med traditionellt system

- Större investeringskostnad
- Risk för störningar i elektronik. Beror på vilken teknik som används för frekvensomvandling.

Övrigt om vakuumanläggningen

Vakuumnivån bör kontrolleras regelbundet. För lågt vakuum försenar mjölkningen och då ökar naturligtvis vakuumpumpens energianvändning. Det är också viktigt att kolla för läckage, ett tecken är luftbubblor i vattnet vid diskning – syns i glasrör. Luftläckage kan leda till att mjölkfettet skadas med smakfel som följd.

Vakuumpumpen producerar en hel del värme. Det mesta av den tillförda elenergin omvandlas till värme och oftast blåser man bara ut den i det fria. Den bör tas tillvara för uppvärmning i ex. personalutrymmen eller på annat sätt. Vakuumpumpen ska inte placeras i samma rum som mjölk tanken eller kylaggregatets kondensor, det bidrar till ökad elförbrukning för kylning. Se även under mjölk kylning.

Pumpar och kompressorer är konstruerade efter olika principer. Det brukar framhållas i utländska energihandböcker att scrollpumpen eller scrollkompressorn är både energieffektivare och tystare än andra konstruktioner.

Bild 3.

Robotarnas vakuumpumpar går hela tiden men med växlande behov. Därför är det viktigt med frekvensstyrning.





Bild 4.

Rör från vakuumpumpar i fyra robotar släpper ut energi i det fria. Kan den tas till vara på något sätt?

Åtgärder i vakuumsystemet

1. Undersök om vakuumpumpen kan frekvensstyras.

Med frekvensstyrning anpassas pumpens kapacitet och därmed effektuttag efter behovet. Det är inte mjölkningen som kräver högst effekt utan diskningen. Ju mindre andel av den totala gångtiden som är diskning, desto mer energi sparas på frekvensstyrning. Det är särskilt viktigt för mjölkroboten, där vakuumpumpen får gå kontinuerligt. Frekvensstyrning minskar slitaget på vakuumpumpen men kan ge förslitning på motorns lager genom s.k. lagerströmmar, om den arbetar med pulsviddsmodulering. Den kan också orsaka störningar på annan elektronik i stallet. Därför bör man hellre välja den typ av frekvensomformare som ger en sinusformad spänning.

I vissa fall kan man även komplettera befintliga vakuumpumpar med frekvensstyrning.

2. Rengör vakuumregulatorn.

Finns det en vakuumregulator i systemet måste den rengöras regelbundet, varje kvartal. Felaktigt vakuum ger längre mjölkningstider och sämre urmjölkning.

3. Kontrollera luftläckage i mjölkningsanläggningen.

Om det sugas in luft i vakuumsystemet där luft inte ska komma in, så medför det att vakuumpumpen får arbeta lite mer.

4. Låt inte vakuumpumpen värma tankrummet.

Vakuumpumpen kan gärna stå i ett särskilt maskinrum. Det är inte bra från energisynpunkt att den står i ett tankrum så att den höjer temperaturen kring kondensorn. Mer om det under kapitel kylning.

5. Ta vara på energin från vakuumpumpen.

Det mesta av energin som tillförs vakuumpumpen blir värme, varav en del får passera ut i det fria med den luft som pumpen avger. Det är intressant att ta vara på den värmen för t.ex. personalrum.

Mjölkkylning

Kylning och mjölk kvalitet

Effektiv kylning av mjölken är mycket viktig för den hygieniska kvaliteten, det gäller att hindra tillväxt av bakterier. Ju lägre temperatur, desto mindre aktiva är bakterierna. Ju snabbare det blir kallt, desto färre bakterier hinner det bli. För tankar anges kylklasser i en europeisk standard (EN 13732). Den klass som tillämpas mest säger att mjölken inom 3 timmar efter mjölkning ska kylas till en temperatur på 4 °C eller lägre. Den temperaturen stoppar mikrobernas aktivitet men tar inte död på dem. Ursprungstemperaturen när mjölken lämnar juvret är ca 37 °C. Mjölken bör alltså så snabbt som möjligt kylas ner till 4 °C för att lagras vid denna temperatur. De svenska rekommendationerna för kylning följer den europeiska standarden.

EU-standarden anger också en arbetstemperatur SOT (Safe Operating Temperature) mellan 5°C och 32°C. Praktiskt betyder det att utrymmet där kylsystemets kondensator är placerad ska ha en temperatur mellan dessa gränsvärden oavsett väderlek. SOT avser utrustningens hållbarhet, inte kravet på kyltid.

Mjölakens kylning svarar för en stor del av energianvändningen i mjölkproduktionen. Andelen kan variera från 10 till 20 procent, beroende på förutsättningarna. För varje ton mjölk som kyls till 4 °C kan det gå åt från 14-15 kWh upp till det dubbla. Det finns ofta möjligheter att minska kylningens elförbrukning utan att göra avkall på kvalitetskraven. Mjölakens kvaliteten måste alltid gå före. Mer om det under rubriken åtgärder.

Bild 5.
Mycket kan göras för energieffektivisering i det som rör mjölakens kylning.



Teknik för kylning

Sveriges mjölgårdar använder nästan uteslutande kylkompressor teknik för kylning av mjölken. Som komplement till kylkompressor anläggningen kan man förkyla med kallvatten (se särskilt avsnitt längre fram). Energibesparing och andra fördelar gör den tekniken intressant.

Principerna för kylkompressor tekniken, värmepumpstekniken, behandlas mer ingående i handbokens del 2, *Energi grunder*. Bilden nedan visar kylmaskinens uppbyggnad i princip.

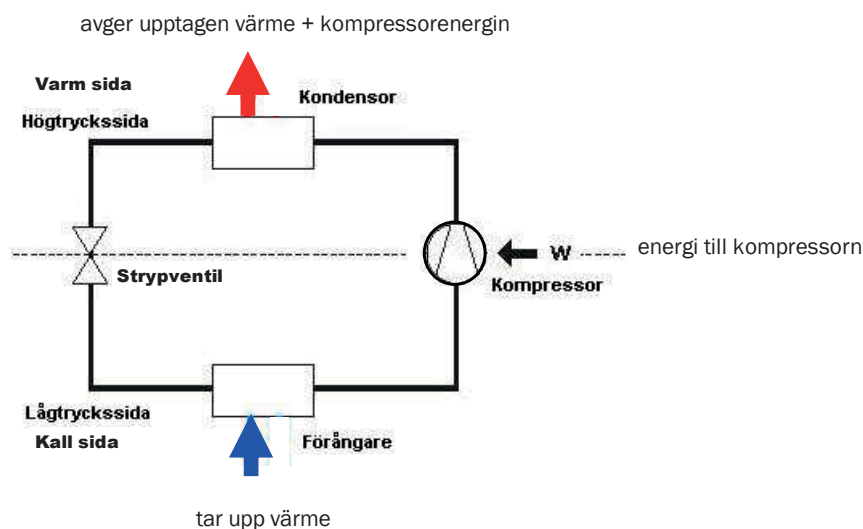


Bild 6. Principen för kylmaskin och värmepump.

I kylkretsen cirkulerar ett köldmedium som växlar mellan gasform och vätskeform beroende på övertryck och undertryck. Kompressorn sänker trycket i förångaren, där vätskan kommer i kokning, förångas. Övergången från vätskefas till gas kräver energi och denna hämtas från omgivningen, i detta fall mjölken, som alltså kyls. Förångaren fungerar som en värmväxlare. Kompressorn suger till sig gasen och komprimerar den. Gasen får inte bara ett högre tryck utan också en högre temperatur. Kompressorn pumpar den varma gasen till nästa värmväxlare, kondensorn. Här kyls gasen av en kallare omgivning tills den kondenserar, övergår till vätskeform. Vätskan, som fortfarande är under tryck, pumpas vidare genom en stryppventil, varvid trycket sänks. Ventilen utgör ett motstånd mot vätskeflödet så att det bildas undertryck och övertryck. Med den kan man reglera tryck och flöde, men detta ska överlåtas till servicepersonal!



Bild 7. Del av kylaggregat med dubbla kompressorer (inneslutna i blå höljen). Tanken skymtar till höger och till vänster finns kondensorpaketet med tre kylfläktar. I detta fall har kondensorpaketet placerats i direkt anslutning till tanken och man ser inget som tyder på att det är särskilt välventilerat.

Kylkompressorns konstruktion har betydelse för verkningsgraden, hur väl kompressorn kan omsätta elenergin till rörelseenergi, tryckenergi och värme i köldmediet utan stora förluster. Kolvkompressorn har på senare år ersatts av scrollkompressorn i många applikationer, bland annat i värmepumpar för uppvärmning. Scrollkompressorn har många fördelar. Den går tystare, den har färre rörliga delar och den har bättre verkningsgrad. Uppgifter finns om att den använder 15 - 25 procent mindre energi än en kolvkompressor vid samma tryck och flöde.

Det är flera faktorer som påverkar hur länge och hårt kylkompressorn måste arbeta och därmed hur mycket energi den använder:

- Mjölakens ingångstemperatur. Temperaturen sjunker något från 37 °C i juvret fram till tanken, kanske till 35 °C eller ännu lägre om mjölkledningen är lång och oisolerad.
- Förkylning av mjölken före tanken betyder mycket, se det avsnittet.
- Rätt injustering av kylaggregatet med tryck och temperatur
- Tankens placering och dess omgivningstemperatur
- Kondensorns placering och dess omgivningstemperatur
- Kondensorns skick

Erfarenheter från utförda energikartläggningar visar att det ofta är onödigt varmt vid kondensorn. När temperaturen stiger där, så måste kylkompressorn arbeta mer och använda mer energi för att transportera bort mjölkvärmnen.

Två huvudprinciper för mjölkkyltankar, direkt och indirekt kylning

Det finns två grundkonstruktioner av mjölkkyltankar. Den ena arbetar med direkt kylning av mjölken. Den andra arbetar med indirekt kylning och lagrar kyla i en isbank.

Direkt kylning. Här är förångarens yta i nära (termisk) kontakt med mjölken. Viktigt att tänka på är att kylningen kan vara så effektiv att mjölken fryser, om den kylda ytan i tanken inte är täckt med mjölk som samtidigt kan cirkuleras/omröras i tanken. Vanligen har moderna kyltankar en möjlighet till fördröjd start eller en reducerad kyleffekt under 0 - 60 min efter tankdisk.

Indirekt kylning. Mjölken kyls inte direkt utan via ett mellansteg med isvatten. Kylan byggs upp i lagret med isvatten, isbanken, mellan mjölkningarna. Isvattnet kan ha en inblandning med glykol för att man ska kunna hålla en låg temperatur utan frysning. Kylan pumpas som kylmediet isvatten till kylplattorna. Genom att kylan kan byggas upp över en längre tid mellan mjölkningarna krävs en mindre kylanläggning med lägre topp effekt. Därför kan den indirekta kylningen vara ett av flera sätt att minska gårdens effekttoppar. Vid mjölkningen har man sedan en mycket stor kylkapacitet, eftersom kylan redan är producerad och lagrad.

En nackdel med indirekt kylning är att den använder mer energi. En tysk källa anger 20 procent högre elförbrukning med isbankstank och indirekt kylning i jämförelse med direkt kylning. Detta beror på en extra pump för isvattnet och att isvattnet ska underhållskylas. Dessutom sker förångningen vid en lägre temperatur. En annan nackdel är den större investeringen initialt och den anses inte så intressant förrän tankstorleken är uppe kring 10 m³. Om man betalar mindre för elenergin på natten, kan det ändå vara ett ekonomiskt alternativ, eftersom man då kan bygga upp lager av kyla nattetid.

Det är också intressant att pumpa isvatten till en förkylare, som sänker mjölktemperaturen före tanken.

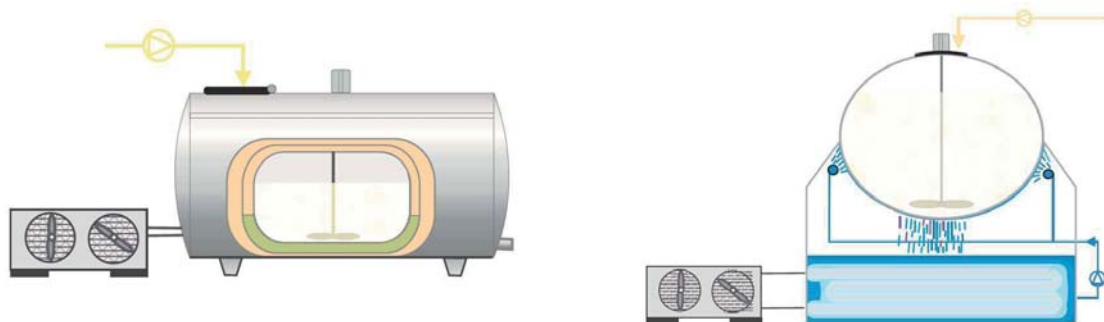


Bild 8. Principbilder för de två grundkonstruktionerna. Till vänster tank med direkt kylning. Till höger tank med indirekt kylning, isbanksanläggning. (Källa: DeLaval)

Hur mycket energi behövs det för att kyla mjölk?

Förutom själva kylningen, kompressorns arbete tillkommer en mindre mängd elenergi för omröraren och för fläktar på kondensorn. Efter att mjölken är nedkyld måste maskineriet starta ibland för underhållskylning, det vill säga hålla mjölkens temperatur på stabil låg nivå. Tanken är visserligen isolerad, men det sker ändå ett litet värmeutbyte mellan omgivning och mjölk. Drivkraften står i proportion till temperaturskillnaden, så det är alltså en fördel om inte tankrummet blir varmt.

Det förekommer olika uppgifter om energibehov för mjölkens kylning, mer eller mindre schablonartade. Exempelvis anger en tysk källa att tanken har en elförbrukning på 20 kWh per ton vid direkt kylning och 24 kWh/ton vid indirekt kylning. Det kan tjäna som riktvärde, men egentligen varierar energibehovet för kylning från gård till gård beroende på förutsättningar och skötsel. Det visar erfarenheterna från utförda energikartläggningar. En annan tysk källa anger 15 – 22 kWh/ton för direktkyld tank

och 18 – 26 kWh/ton för indirekt kylning. Detta visar också på ett högre energibehov för den indirekta kylningen.

Energibehovet för kylning beror främst på temperaturskillnaden mellan förångare och kondensor. Kompressorn får jobba hårdare om värmen ska lämnas av vid en högre temperatur. Detta belyses av olika studier som då tydligt visar på betydelsen av att hålla låg temperatur vid kondensorn. Studierna ligger till grund för tabell 1. Man kan se dessa värden som riktvärden. Intervallens lägsta värden är förslag till årsmedeltal vid gynnsamma förhållanden. Vid dålig funktion och dålig rengöring blir förbrukningen högre.

Tabell 1. Riktvärden för energibehov vid kylning av mjölk, kWh/ton - gäller vid god funktion och rengjord kondensor, fyra mål per dag. (Egen sammanställning)

Tankar vid robotmjölkning kräver lite mer energi, eftersom den genomsnittliga temperaturskillnaden mellan förångning och kondensering blir högre (Källa: Wedholms AB)

Kylteknik	Temperatur i tankens (kondensorns) omgivning, °C				
	5	12	22	25	32
- direkt kylning	12-14	15-17	19-21	20-22	23-25
- indirekt kylning	14-16	18-20	23-25	24-26	28-30

För att få lägre temperatur vid kondensorn är det vanligt att hela aggregatet frigörs från själva tanken och placeras i ett särskilt rum med lägre temperatur eller till och med utomhus. Det är inte tillrådligt att hålla lägre temperatur än 5 °C, EU-standarden anger ju en arbetstemperatur mellan 5 och 32 °C. Man ska vara uppmärksam på att för låg temperatur gör att det samlas för mycket vätska i kondensorn, det blir då för lite till förångaren, om det inte finns en buffertmängd i en s.k. receiver. För lite köldmedium i förångaren gör att kompressorn måste arbeta mer och då ökar alltså elförbrukningen istället. Dessutom tar nedkylningen längre tid. Det ger ett sämre flöde och då måste kompressorn arbeta längre tills all mjölk är kyld. I så fall har man istället ökat energibehovet. Om man väger samman olika aspekter anses den optimala temperaturen vid kondensorn vara 15 grader, enligt en tillverkare.

I riktlinjerna från Svensk Mjölk heter det:

Om mjölk tanken och kylanläggningen icke är integrerat kan kylutrustningen placeras i ett separat rum avskilt från mjölk tankrummet. Kondensorn placeras på frostfri plats och bör endast placeras utomhus om konstruktion och klimatet i området möjliggör detta och att installationen följer leverantörens anvisningar för att uppfylla den europeiska normen EN 13732.

Ett annat skäl till att koppla loss kylaggregatet och placera det i ett annat utrymme är att man vill samla bullrande maskiner i ett särskilt maskinrum. Det är i så fall högst olämpligt att ställa det tillsammans med en vakuumpump och en kompressor, som båda alstrar värme. Maskinrummet måste i så fall vara mycket välventilerat.

Ventilationen i mjölkrummen kan ofta förbättras. Det kanske finns ett friskluftsintag några dm över marknivå, men det är inte tillräckligt för ventilation. Det är inte ovanligt att lantbrukare som byggt ut sin mjölkproduktion har ställt den nya större tanken i befintligt mjölkrum och att då kondensorn hamnar inne i ett trångt hörn. Där är det svårt att få till bra ventilation, kondensorn värmer utrymmet och temperaturen blir då ännu ogynnsammare. I ett sådant fall är den enklaste åtgärden att ta upp en ventilationslucka vid golvet nära kondensorn för tilluft och så gör man motsvarande öppning uppe vid taket, så att det blir cirkulation på luften. Riktvärde för luckans storlek är storleken på kondensorn. Säkrast är att använda fläkt för cirkulationen.

Det är egentligen inte omgivningstemperaturen utan temperaturen i själva kondensorn som bestämmer effektiviteten. Värmen ska lätt kunna avges från kondensorn, men det hindras av damm- och smutsbeläggning. Därför får man se till att hålla kondensorn ren.

Förkylning av mjölken

Förkylning av mjölken innan den kommer till tanken medför flera fördelar. Om redan kyld eller delvis kyld mjölk kommer till lagringstanken, så blir det lättare att hålla rätt temperatur där. Det gäller särskilt robotgårdarna, där ju flödet av varm mjölk är nästan kontinuerligt.

Man kan skilja på i princip två olika system, förkylning med hjälp av kylaggregat och förkylning med kallvatten. I båda fallen finns då en extra värmeväxlare inkopplad på mjölkledningen före tanken.

När kylan för förkylning produceras genom tankens kylsystem, ingår förkylaren som en extra förångare i kylkretsen. Vid indirekt kylning är det isvatten som pumpas genom värmeväxlaren. Några studier som visar att denna förkylning är positiv för energieffektiviteten har inte påträffats. För mjölkens kvalitet är det mycket positivt att mjölken har så låg temperatur som möjligt när den kommer till tanken.

I det andra systemet sker förkylning med kallvatten i en värmeväxlare. Eftersom denna metod för förkylning har stor inverkan på energianvändningen kommer den att behandlas här.

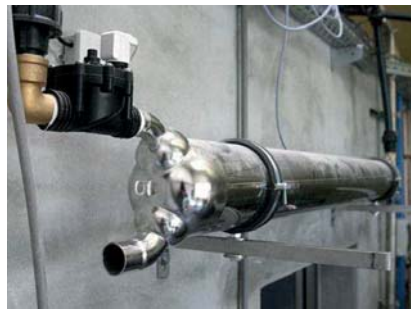
Förkylning med vatten

Än så länge är det mindre vanligt i Sverige att förkyla mjölken med kallvatten före mjölkkyltanken. I andra länder är tekniken utbredd och accepterad och det kan bero på att man betalat mer för elenergin. Ändå har man inte i alla länder så låga temperaturer på vattnet från brunnar och borrhål eller tillräckligt med vatten som i vårt land. Tekniken för denna förkylning är ganska enkel och fördelarna är stora. En värmeväxlare kopplas in på mjölkledningen före tanken och ansluts till kallvattenledningen. Värmeväxlas då över från den varma mjölken till det kalla vattnet. Värmeväxlaren är i regel av motströmstyp, vilket innebär att vattenflödet är motriktat mjölkflödet. Det medför att kyld mjölk möter kallt vatten och det medför en bättre kylning. Temperaturen kan sänkas till 2-5 grader över det inkommande vattnets, beroende på konstruktion och flöde.

Värmeväxlarens kapacitet i värmeutbytet beror på hur flödena löper i den och framförallt i storleken på ytorna som skiljer mjölk och vatten åt. Det finns några olika konstruktioner på värmeväxlare.



Bild nr 9.
A. Plattvärmeväxlare
Tillverkare ex. DeLaval



B. Rörvärmeväxlare, typ rör i tub.
Tillverkare ex. Wijsman



C. Rörvärmeväxlare, typ rörspiral i behållare. Tillverkare ex. Packo

Plattvärmeväxlaren är en mycket vanlig konstruktion. Den består av ett antal tunna plattor som är hopskruvade till ett paket. Plattornas utformning bestämmer flödesvägarna i växlaren. Exempel på fabrikat av plattvärmeväxlare är DeLaval, men flera finns.

Rörvärmeväxlaren är en annan konstruktion som används till förkylning. Mjölken passerar här i tunna rör omgivna av flödande vatten. Det kan vara raka rör inneslutna i en tub som i bild 9 B. Bild 9 C visar en typ med s.k. koaxialrör i spiral. I det inre röret rinner mjölken och i det omgivande vatten.

Plattvärmväxlaren kan lätt dimensioneras efter behov genom val av antal plattor. Antal plattor bestäms ju övergångsytans storlek. Vanligen förekommer rörvärmväxlare i några standardstorlekar som man inte kan variera på motsvarande sätt som med plattvärmväxlaren. Om man vill utöka får man göra det i steg genom att koppla till ytterligare växlare. Rörvärmväxlarna är hopsvetsade och de kan inte tas isär för rengöring, men i gengäld är det inte lika trånga kanaler som i plattvärmväxlaren och de har därför större utsikt att hållas rena genom normal diskning. Från olika håll sägs det också att mjölken behandlas skonsammare i rörvärmväxlaren. Det är viktigt att plattväxlaren servas regelbundet och diskas ordentligt så att inte problem med bakterier uppstår. Det är också viktigt med filter före plattväxlaren så att den inte sätts igen.

Styrningen av vattenflödet kan ske manuellt eller automatiskt med elektriskt manövrerade ventiler. Vid diskning av mjölkledningen stänger man av vattnet, därför att det är viktigt att hålla temperaturen på diskvattnet uppe.

Beräkning på förkylning

Hur många grader som mjölktemperaturen sänks beror på det ingående vattnets temperatur och hur stort vattenflödet är i jämförelse med mjölkflödet. Det anses enligt flertalet källor optimalt med ett vattenflöde som är ungefär 2 - 2,5 gånger mjölkflödet. Vid en mjölkning om t.ex. 1 000 l så vill man ha ett flöde på 2 000 - 2 500 l vatten under tiden som mjölkningen pågår. I en effektiv motströmsväxlare kan man på så vis förkyla mjölken till 2-3 grader över inkommande vattentemperatur.

Med en enkel formel kan man beräkna hur mycket mjölk tankens elförbrukning kan komma att minska eller hur stor del av kylbehovet som förkylaren svarar för. Vi tar för givet att mjölken tidigare har kylts ner till 4 grader i tanken. Ingående mjölktemperatur är T_M och utgående mjölktemperatur T_U .

$$\text{Förkylningens andel av totala kylbehovet} = 100 * \frac{T_M - T_U}{T_M - 4}$$

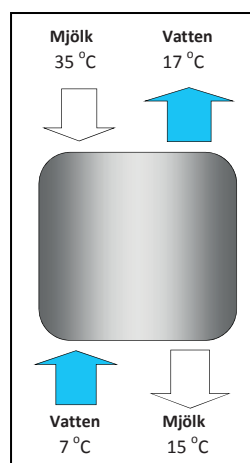
Erfarenhet finns bland annat från en gård i Marks kommun i Västra Götaland, där man installerat en nederländsk förkylare typ rörvärmväxlare (bild 9 b). Brunnsvattnet som leddes in i förkylaren hade en temperatur på 7 °C och det lämnade förkylaren med 17 °C. Mjölken kylades då från 35 till 15 °C. Använder vi formeln ovan får vi:

$$\text{Förkylningens andel av totala kylbehovet} = 100 * \frac{35 - 15}{35 - 4} = 65 \text{ (procent)}$$

Mjölktankens elförbrukning hade inte mätts upp, men om vi antar det rimliga värdet 20 kWh/ton, så kan vi konstatera att förkylningen minskar elförbrukningen med $20 * 0,65 = 13$ kWh per ton mjölk. Med gårdens produktion på genomsnittliga 2,47 ton/dag eller 900 ton/år så sparar förkylningen nästan 12 000 kWh/år och nyckeltalet förbättras med 0,013 kWh per kg mjölk.

Bild 10.

I exemplets gård förkyls mjölken till 15 °C och samtidigt värms vattnet från 7 till 17 °C. Förkylaren reducerar kylkompressorns gångtid så att man sparar nästan 12 000 kWh/år.



Vattenflöde och mjölkflöde

I exemplet är temperatursänkningen hos mjölken 20 grader. Den energimängd som lämnar mjölken är lika med den energimängd som upptas av vattnet, om man kan bortse från förluster till omgivningen. Vattnets specifika värmekapacitet är 1,16 Wh/l,grad. Mjölakens specifika värmekapacitet brukar anges till 1,08 Wh/l,grad. Man kan då skriva följande ekvation:

$$Q_{\text{vatten}} * 1,16 * \Delta T_{\text{vatten}} = Q_{\text{mjölk}} * 1,08 * \Delta T_{\text{mjölk}}$$

där Q står för flöde i l/min och där ΔT står för temperaturändring i grader.

För överslagsberäkning kan man utgå från att vatten och mjölk har samma specifika värmekapacitet. Då får vi den enklare formeln:

$$Q_{\text{vatten}} = Q_{\text{mjölk}} * \Delta T_{\text{mjölk}} / \Delta T_{\text{vatten}} \text{ (m}^3\text{/dag)}$$

Vattenbehovet på exempelns gård blir då: $Q_{\text{vatten}} = 2,47 * (35 - 15) / (17 - 7) = 4,94 \text{ m}^3\text{/dag}$. Det visar att vattenflödet i detta fall är 2 ggr mjölkflödet och att det behövs nästan 5 m³ vatten per dag. Tydligt har vi en hög effektivitet i denna värmeväxlare i denna tillämpning, eftersom skillnaden mellan utgående mjölktemperatur och vattentemperatur blev så liten som 2 grader.

Det förvärmade vattnet kan ges till korna

Gården i vårt exempel har under det första året bara släppt ut vattnet (dock inte till gödselbehållaren). Om man har god tillgång på vatten så innebär det ingen stor kostnad att göra så, men det finns kostnader och energibehov för att pumpa upp vattnet.

Nästa steg på den här gården blir att använda det uppvärmda vattnet till korna. Det vatten som korna dricker ska ju på något sätt värmas till kroppstemperatur och det brukar ju ske med hjälp av värdefull foderenergi. Svenska undersökningar på 1980-talet har visat att mjölkproduktionen förbättrades med storleksordningen 1 kg per dag, då dricksvattnets temperatur höjdes från 3 till 17 °C. Andra forskare har kommit fram till att vattentemperaturen inte bör överstiga 17 °C. Varmare vatten kan nämligen minska kornas vattenkonsumtion. Uppvärmning till 15 °C – 17 °C kan vara ett riktmärke.

Riktigt låga vattentemperaturer kan minska vattenkonsumtionen, till nackdel för avkastningen. Denna minskning är påtaglig för nötkreatur då vattentemperaturen underskrider 6 °C. Om vattnet från brunnen är så kallt, så drar man ännu mer nytta av att förvärma vattnet i en förkylare. Längre norrut i landet är det inte ovanligt att kornas dricksvatten måste förvärmas med elenergi, till stora kostnader. Antag att brunnsvattnet håller 3 °C och att det ska förvärmas till exempelvis 10 °C. För en ko som dricker 100 liter vatten per dag går det åt 0,8 kWh per dag bara för att värma vatten. Om besättningen är 75 kor och vattnet ska värmas hela året, så går det åt 22 000 kWh/år.

Även i södra delarna av landet händer det att man värmer dricksvattnet i kalla lösdrifter och under den kallare årstiden. Hämtar man då värmen från förkylning av mjölk, så spar man in energi för att värma vatten.

Om man mjölkar två gånger per dag, så ska man ha en lagringsbehållare för vattnet. På robotgårdarna är det gynnsammare. Man kan slippa lagra det uppvärmda vattnet, eftersom både mjölkflöde och vattenflöde är kontinuerligt, mer eller mindre. Ändå används förkylningen effektivare med en mellanbehållare och en styrning som gör att vatten passerar endast när mjölkpumpen går. Annars kan det inträffa att man har ett mjölkflöde när ingen ko dricker och då uteblir den värdefulla förkylningen. Det är viktigt att vattenbehållaren rengörs.

Att förkylningen minskar tankens energianvändning är det viktigaste ur energisynpunkt, men det finns alltså fler fördelar, som bidrar till att motivera investering i en förkylare.

Åtgärder i mjölkkyllning

1. Serva och justera kylaggregatet.

Kylaggregatet ska servas och justeras så att kompressorn arbetar optimalt, med rätt tryck, rätt vätskemängd och en bra funktion i övrigt. Anlita en auktoriserad kylfirma. Felaktig inställning kan medföra längre gångtid för kompressorn innan mjölken är färdigkyld. Det ger onödig elförbrukning. Det bör finnas ett sikttglas så att man själv kan kontrollera att det finns köldmedium till rätt nivå. Mellan servicetillfällena bör man då och då rengöra kondensorn.

2. Håll kondensorn ren.

Smuts och damm hindrar värmen att passera från köldmediet till omgivningen, medan den rena metallen är en god värmeledare. Här följer tips för rengöring. När tanken är tom eller mjölken är färdigkyld, stänger man av tanken. Avlägsna damm och skräp med mjuk borste. Var försiktig så inte damm kommer längre in i flänsarna och så att flänsarna inte skadas. Täck kondensorn med fuktig duk så att damm binds effektivt. Använd tryckluft och blås kondensorn ren motströms, mot fläktens blåsriktning. Ta bort duken, där dammet fastnat, och slå på kylningen igen.

3. Håll nere temperaturen kring kondensorn.

Se till att ventilationen är god, så att temperaturen kring kondensorn hålls nere. Skillnaden i temperatur mellan den kalla och varma sidan i kylkretsen har stor betydelse för energianvändningen. En för hög temperatur vid kondensorn gör att kompressorn får arbeta hårdare och längre. Värmen ska ventileras bort effektivt från kondensorn. 10 graders temperatursänkning sparar ca 20 procent av den energi som behövs för att kyla mjölken. Det gör ca 4 – 5 kWh per ton mjölk eller ca 3000 kWh/år i en 75-korsbesättning. Kyltiden reduceras också, ca 1 procent för varje grads temperatursänkning.

För ventilation räcker det inte med en öppning nära golvet utan man ska ta upp en öppning uppe vid taket också, så att det blir cirkulation. Det kan dessutom behövas en extra fläkt. Ventilationen av tankrummet blir ännu viktigare, om där finns andra maskiner som alstrar värme, såsom vakuumpump och kompressor. Om man har skilt ifrån kylaggregatet från tanken och placerat det i ett särskilt maskinrum, så ska det heller inte stå tillsammans med vakuumpump och kompressor, om inte ventilationen är mycket god. Använd termometer och kolla upp temperaturen vid kondensorn.

4. Tankrummet ska ventileras.

Även om man har flyttat ut kondensorn till ett kallare utrymme är det viktigt att tankrummet inte blir för varmt. Ett svalt utrymme minskar behovet av underhållskylning, därför att mjölkens temperatur inte stiger lika snabbt när värme passerar genom tankens väggar och isolering in till mjölken. Kylaggregatet behöver då inte arbeta så mycket för att hålla ner mjölktemperaturen.

5. Mät elförbrukningen.

Sätt en extra elmätare på mjölktanken för att kunna veta hur mycket energi som används för mjölkkyllningen och vid olika förhållanden. Med en mätare blir det lättare att följa resultatet av åtgärder som förkyllning, rengöring av kondensorn och bättre ventilation av kondensorn. Om man håller koll på kylkompressorns gångtider kan man också få en uppfattning om resultatet av åtgärderna.

6. Förkyl mjölken med kallvatten.

En värmväxlare kopplas in på mjölkledningen före tanken och ansluts till kallvattenledningen. Värme växlas då över från den varma mjölken till vattnet. Därmed reduceras kylbehovet för mjölken i tanken och genom att kylkompressorn då behöver arbeta mindre, så sparas energi. Då ökar även kompressorns livslängd, när slitaget minskar. Förkyllning är också till fördel för mjölk kvaliteten, eftersom mjölken kyls snabbare. Detta har särskild betydelse på robotgårdarna.

Förkylningen ger uppvärmt vatten som kan ges till korna och det spar foderenergi för att värma vatten. Förvärmningen av vatten kan också ersätta en del av den elenergi som annars används för att värma dricksvatten på en del gårdar. Om man har god tillgång på vatten utan större kostnad kan man ju också släppa ut det. En annan lösning är att lägga ner en cirkulationsledning i marken, som då kyler vattnet.

Driftskostnaderna för sådan förkylning är noll om man ändå ger det förvärmda vattnet till korna. Om man pumpar upp vatten särskilt för förkylning och bara släpper ut det, så tillkommer driftskostnad och energi för pumpning. Beroende på vilket djup man hämtar vatten ifrån, så kan man räkna med ca 0,5 - 1,0 kWh/m³.

Förkylning med vatten är en viktig sparåtgärd, liksom att hålla det svalt vid kondensorn. Båda dessa åtgärder påverkar hur mycket man kan få ut av värmeåtervinning. Därför ska man räkna på behov och tillgång och det behandlas i avsnittet om värmeåtervinning.

Värmeåtervinning från mjölken

Den enklaste tekniken för att ta vara på värmen i mjölken är att använda en förkylare med vatten, men det finns mer potential. Det återstår mjölkvärme att ta vara på och den kan tas ut vid högre temperatur än i förkylaren, via kylaggregatet.

När mjölken kyls ner till 4 °C så är det ca 30 – 35 kWh, som vi kyler bort från varje ton mjölk i tanken. Det finns en viss variation. Det sker viss nedkylning mellan spenkopp och tank. Hur många grader det blir beror på mjölkledningens längd och om ledningen är isolerad eller inte.

Energien från mjölken i tanken ska avges vid kylaggregatets kondensor. Förutom mjölkvärme ska kondensorn också ta hand om och ventilerar bort den energi som tillförs systemet via kylkompressorn. Hur mycket som tillförs den vägen beror på hur mycket kompressorn måste arbeta. Som visas i tabell 1 gör skillnader i temperaturer m.m. att elförbrukningen kan variera mellan 12 och 25 kWh per ton mjölk, vid direktkylning. En liten del av denna energi används av omrörare och kondensorfläktar. Ungefär 1/3 av kompressorns tillförda energi försvinner som förluster i motor och kompressor. Resten, mellan 7 och 15 kWh/ton, avges vid kondensorn tillsammans med värmen från mjölken.

Man kan räkna med att det sammanlagt blir mellan 37 och 48 kWh per ton, som transporteras efter kompressorn. All denna energi är en viktig resurs, alltför viktig för att bara fläktas bort. En stor del av den kan ju återvinnas genom uppvärmning av vatten i en värmeväxlare, som kopplas in på kylkretsen.

Bild 11.

Plattvärmeväxlare är den vanligaste typen av värmeväxlare vid värmeåtervinning.



Av kyltekniska skäl bör man dock fläktas bort en del av energin i kondensorn, åtminstone i de system som är vanliga idag. Orsaken är att gasen inte helt bör kondensera i växlaren, eftersom det hindrar flödet. Man brukar räkna med att 2/3 kan återvinnas i värmeväxlaren (Karlsson, m.fl., 2012). Det är visserligen tekniskt möjligt att bygga ett system som utesluter den fläktkylda kondensorn och växlar över all tillgänglig värme till vatten, men sådana system är mindre vanliga. Värme mellan 25 och 37 kWh/ton kan man återvinna av de 38 - 53 kWh/ton som är tillgängliga efter kompressorn. Det finns en variation, beroende på förutsättningarna. Se bild 12.

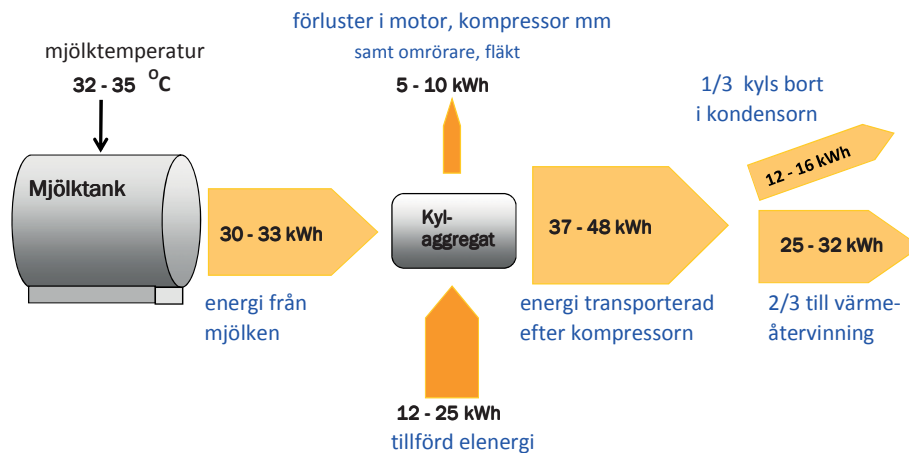


Bild 12. Principbild över energiflöde vid kylning och värmeåtervinning (utan förkylning). Värdena i kWh per ton mjölk är ungefärliga och de anges som intervaller för att visa på variationen.

En plattvärmväxlare kopplas in på kylkretsen mellan kompressor och kondensorn. I värmväxlaren avges en del värme från den komprimerade heta köldmediegasen till vatten och det som återstår ska sedan fläktas bort från kondensorn. Från värmväxlaren leds vattnet till en lagringstank. Installation och inkoppling kan skilja mellan olika fabrikat.

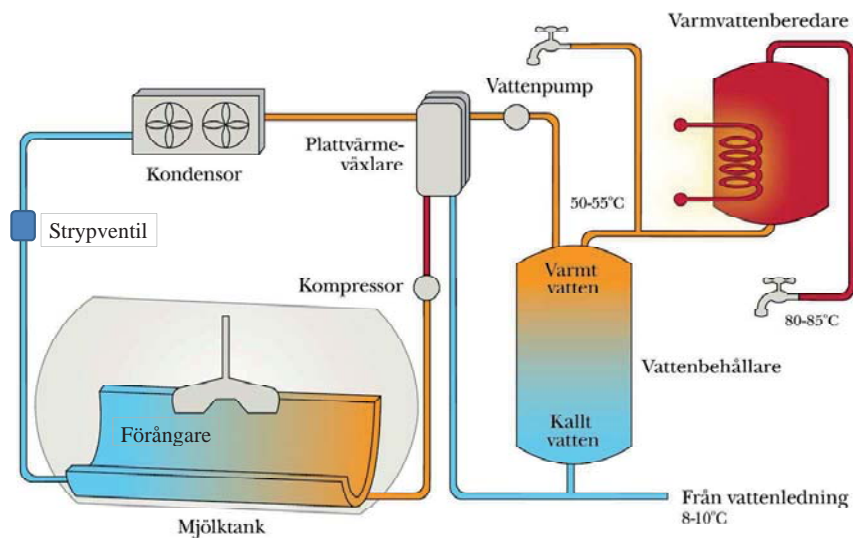


Bild 13. Plattvärmväxlaren kopplas in på kylkretsen efter kompressorn och före kondensorn. Efter kondensorn sitter en strypventil. I detta system värms vatten till 50 - 55 grader som pumpas till en förvaringstank. Varmvattenberedaren kommer sedan att förbruka mindre elenergi, när den matas med förvämt vatten istället för med brunsvatten. (Källa: DeLaval)

Vilken temperatur som kan tas ut beror på kylanläggningens systemtryck. Bild 13 visar uppvärmning till 50-55 °C. Det finns andra tillverkare som anger 40 °C för sina system. Skillnaderna beror på val av köldmedium och på trycket efter kompressorn. Ett sätt att få högre temperatur till värmeåtervinning är att öka trycket genom strypning av flödet i strypventilen. Men det betyder att kompressorn får arbeta hårdare, energibehovet ökar. Man bör inte själv ändra grundinställningen eller inställningen som gjordes vid senaste service, som ju är till för att anläggningen ska fungera så bra som möjligt. Att kyla mjölken kommer alltid i första hand.

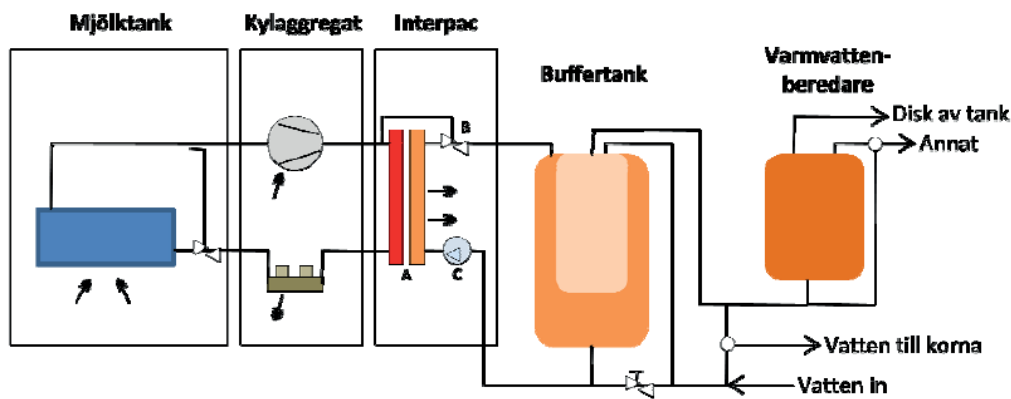


Bild 14 Principschema från en av kyltillverkningsanläggningarna. Interpac är ett märkesnamn för enheten med värmepump och cirkulationspump. (Källa: Wedholms AB)

I praktiken bör man alltså kunna räkna med att återvinna ungefär mellan 24 och 30 kWh per ton mjölk, värme som kan utnyttjas för andra behov, främst till att värma vatten. Den enskilda gårdens förhållanden påverkar vad som kan utnyttjas.

Hur mycket värme kan återvinnas?

Potentialen att ta ut värme beror dels på vilken temperatur mjölken har när den kommer till tanken, dels på om kylmaskinen arbetar effektivt eller inte. Vi har sett att kylmaskinen använder mer energi per ton mjölk om den är dåligt skött och om det är varmt kring kondensorn, dåligt ventilerat. I ett riktigt gynnsamt fall, när kylning bara behöver 12 kWh per ton mjölk, blir energiflödena som i bild 15.

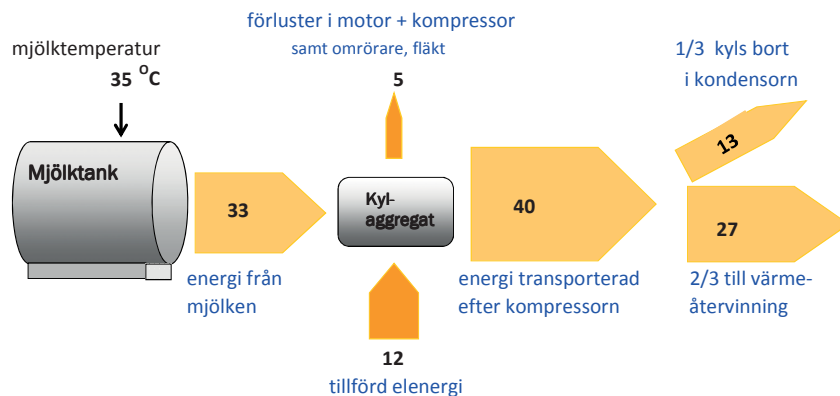


Bild 15. Energiflöden angivna i kWh/ton mjölk. Här är det gynnsamt för kylmaskinen, elförbrukningen för kylning är så låg som 12 kWh per ton mjölk. Ca 27 kWh/ton kan utnyttjas till värmeåtervinning. Om vi räknar på "nettoenergi" blir det $27 - 12 = 15$ kWh/ton.

Erfarenheter från tester och energikartläggningar säger att elförbrukningen för kylning oftast är högre än så, beroende på dålig ventilation och dålig rengöring av kondensorn. Nästa bild visar flödena när det går lite mer el, 20 kWh, för att kyla varje ton mjölk.

Systemet i bild 16 förbrukar mer elenergi än det i bild 15, 8 kWh mer per ton. En del av detta ökar potentialen för värmeåtervinning, eftersom kylkompressorn tillför mer energi. Men värdet av detta beror naturligtvis på hur man kan ta tillvara värmen. Skillnad i "nettoenergi" är 5 kWh/ton.

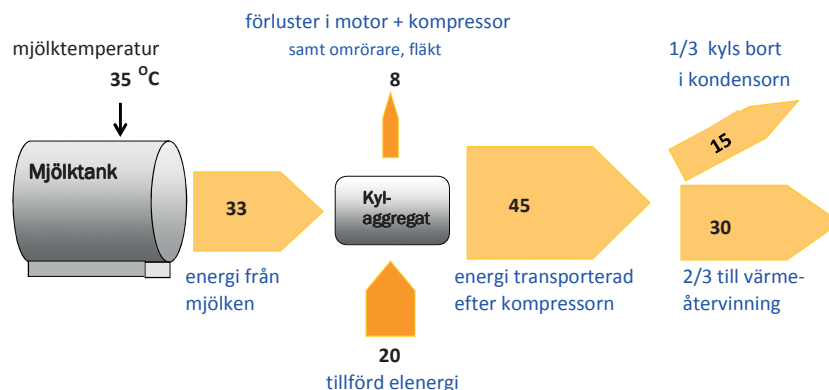


Bild 16. Energiflöden angivna i kWh/ton mjölk. Förhållandena är mindre gynnsamma än i föregående bild, kylningen förbrukar här 20 kWh/ton, som nog är mera normalt. Ca 30 kWh/ton kan här utnyttjas till värmeåtervinning. Det är alltså mer än i bild 15, men det beror helt på att mer elenergi används för kylning. Om vi räknar på "nettoenergi" blir det 30 - 20 = 10 kWh/ton.

Hur använda värme från värmeåtervinning?

Närmast till hands ligger att värma vatten för diskning m.m. och att då ersätta en del av den elenergi som annars används. Värmeåtervinningen ger ungefär den temperatur som behövs för försköljning (40 °C). Den reducerar också energibehov i varmvattenberedaren, som istället för att värma från kallvattnets temperatur till 80 °C nu bara behöver värma från 40 till 80 °C. Med hjälp av exempel från tabell 8 från Svensk Mjölk i kapitlet om diskning räknar vi på ett exempel på värmebehov för diskning och hur värmeåtervinningen kan användas.

Exempel

En gård som mjölkar 60 kor med robot beräknas där använda 169 l/dag av vatten med 40 °C och 188 l/dag av vatten med 80 °C. Detta är för diskning av både tank och robot + mjölkledning. Kallvattnet håller 6 °C. Värmeåtervinningen ger en vattentemperatur på 40 °C. Inklusivt värmeförluster får vi:

Fas	utan värmeåterv.	med värmeåterv.	differens, sparas
Försköljning 40 °C, 169 l	7,4 kWh	0 kWh	7,4 kWh
Diskning 80 °C, 188 l	17,9 kWh	9,7 kWh	8,2 kWh
Summa, per dag	25,3 kWh	9,7 kWh	15,6 kWh
Summa, per år	9200 kWh	3500 kWh	5700 kWh

Energibehovet för diskning reduceras med 15,6 kWh/dag, som fås "gratis" från värmeåtervinningen. Det gör 5700 kWh/år, bara för diskningen. Utöver det finns behov av varmt vatten till annan rengöring, diskning av kalvhinkar m.m. Låt säga att det totala behovet, som då värmeåtervinningen svarar för, är 20 kWh/dag. På ett år blir det 7300 kWh.

Mjölmängd 1,8 ton /dag enligt tabell 8. Antag att värmeåtervinningen ger 30 kWh per ton mjölk.

$$\begin{aligned} \text{Värmeåtervinning } 1,8 \text{ ton/dag} * 30 \text{ kWh/ton} &= 54 \text{ kWh/dag} \\ \text{Utnyttjas till varmvatten enligt ovan} &= \underline{20 \text{ kWh/dag}} \\ \text{Återstår att utnyttja} &= 34 \text{ kWh/dag} \end{aligned}$$

Här finns alltså möjlighet att använda mer än 30 kWh/dag för annan uppvärmning.

Återvinningen levererar varmvatten som håller 40 - 55 °C. Av hygienskal bör man inte använda detta vatten direkt. Bättre är att höja temperaturen i varmvattenberedaren till minst 60 °C och sedan blanda med kallvatten till önskad temperatur.

Förkylning med vatten minskar potentialen för värmeåtervinning

Självklart finns inte potential att återvinna lika mycket värme om man har installerat förkylning med vatten. Dels minskar den energi som ska kylas bort från mjölken och dels bidrar kompressorn med mindre energi, eftersom den arbetar mindre. Det kan alltså bli en konflikt mellan förkylning med vatten med de fördelar som det innebär å ena sidan och å andra sidan önskan att kunna utnyttja så mycket värme som möjligt från mjölken genom värmeåtervinning. Bild 17 visar energiflödena när anläggningen i bild 16 kompletteras med en förkylare som sänker mjölktemperaturen med 16 °C.

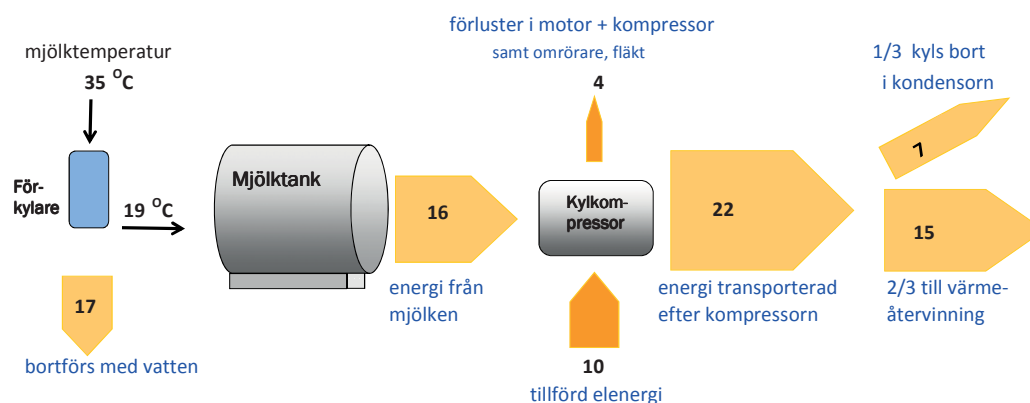


Bild 17. Energiflöden när mjölken förkyls 16 grader. Potentialen för värmeåtervinning halveras och det gör också energibehovet för kylning. Därför bör man räkna på hur en förkylare påverkar potentialen för värmeåtervinning.

Potentialen för värmeåtervinning har nu minskat från 31 till 15 kWh per ton mjölk genom förkylningen i bild 17. Samtidigt har energibehovet för kylning minskat från 20 till 10 kWh/ton.

Det är klokt att göra en beräkning av behov och potentialer, innan man installerar förkylning och värmeåtervinning. I tabell 2 ges ett förslag till riktvärden. Här förutsätts att kylmaskinen före installationen använder 20 kWh för att kyla varje ton mjölk samt att kallvattnet håller 6 °C.

Tabell 2. Möjlig värmeåtervinning från mjölkkyllning med hänsyn till förkylning med vatten. Utan sådan förkylning beräknas det vara möjligt att ta ut 30 kWh per ton mjölk. Potentialen minskar med ökande förkylning. Beräkningen har gjorts för 2 resp. 4 ton mjölk per dygn.

Temperatur i mjölken		Vatten-temp. höjning (*)	Utnyttjat i förkylaren	Energi från mjölken	Potential i värmeåtervinning				
förkylning med	till tanken				per ton mjölk	2 ton mjölk/dag		4 ton mjölk/dag	
°C	°C	°C	kWh/ton	kWh/ton	kWh/ton	kWh/dag	kWh/år	kWh/dag	kWh/år
ingen förkylning	35			33	30	60	21 900	120	43 800
10	25	5	11	23	21	42	15 300	84	30 700
12	23	6	13	21	19	38	13 900	76	27 700
14	21	7	15	18	17	34	12 400	68	24 800
16	19	8	17	16	15	30	11 000	60	21 900
18	17	9	19	14	13	26	9 500	52	19 000
20	15	10	22	12	11	22	8 000	44	16 100

* vattenflödet är lika med dubbla mjölkflödet

Hur kan vi då kombinera förkylning och värmeåtervinning? Nästa tabell är en komplettering av tabell 2 ovan för att visa hur mycket värme som återstår, när man använt det som behövs för förvärmning av varmvatten.

Tabell 3. Möjlig värmeåtervinning från mjölkkyllning med hänsyn till förkylning med vatten. Tabellen visar hur mycket energi det är möjligt att använda av återvinningen till annan uppvärmning efter att 20 kWh/dag använts till att förvärma varmvattnet, se kolumn "återstår".

Temperatur i mjölk		Vatten-temp. höjning (*)	Utnyttjat i förkylaren	Energi från mjölken	Potential i värmeåtervinning										
förkyln. med	till tank				2 ton mjölk/dag					4 ton mjölk/dag					
°C	°C	°C	kWh/ton	kWh/ton	per ton mjölk	per dag	per år	till varmv.	återstår	per dag	per år	till varmv.	återstår	per dag	per år
ingen förkyln.	35	5	11	33	30	60	21 900	20	40	14 600	120	43 800	42	78	28 470
10	25	5	11	23	21	42	15 300	20	22	8 000	84	30 700	42	42	15 370
12	23	6	13	21	19	38	13 900	20	18	6 600	76	27 700	42	34	12 370
14	21	7	15	18	17	34	12 400	20	14	5 100	68	24 800	42	26	9 470
16	19	8	17	16	15	30	11 000	20	10	3 700	60	21 900	42	18	6 570
18	17	9	19	14	13	26	9 500	20	6	2 200	52	19 000	42	10	3 670
20	15	10	22	12	11	22	8 000	20	2	700	44	16 100	42	2	770

* vattenflödet är lika med dubbla mjölkflödet

Liknande beräkningar har gjorts i JTI-rapporten Energiåtervinning från mjölkkyllning, men med lite andra indata (Karlsson, m.fl. 2012).

Tabellerna här ovan förutsätter att inte värme går förlorad till omgivningen. Självklart ska de varma rören isoleras, liksom värmexlaren, om man vill utnyttja den potential som värmeåtervinningen ger. Det är vanligt att man har försummat att isolera varmvattenröret från värmexlaren. Detta är en erfarenhet från ett stort antal energikartläggningar. Isolering ger två fördelar. Dels tas värmen bättre tillvara med mindre förluster och dels minskar uppvärmningen kring kondensorn.

Bild 18.

Plattvärmexlaren har här levererats isolerad. Nästa steg är att isolera varmvattenrören.



Hur utnyttjar man bäst all värme från värmeåtervinningen?

Man kan fundera på hur långt den värme räcker, som återstår efter att en del utnyttjats till varmvatten.

Effektbehovet för ett personalutrymme kan vara 70 - 100 W/m². Ett 20 m² stort utrymme behöver då som mest 34 - 48 kWh/dygn. En 3 minuters dusch med 30 liter vatten använder 1,2 - 1,5 kWh.

En normalstor villa av god standard använder ungefär 20 000 kWh/år, varav 15 000 för uppvärmning och 5 000 för varmvatten. Ett äldre, större hus kan använda det dubbla eller mer för uppvärmningen.

En tumregel för den normalstora villan säger att medeleffektbehov över 9 månader är 20 000 kWh / 6600 tim = 3 kW. Vinterperiodens medeleffektbehov är dubbelt så stort, 6 kW. Maximalt effektbehov för de kallaste dagarna är 9 kW. Tabell 4 ger motsvarande energianvändning.

Tabell 4. Effektbehov och energianvändning enligt tumregel för en normalstor villa av god standard.

	Enhet	Medel för året	Medel för vintern	Max
Effekt	kW	3	6	9
Energi	kWh/dygn	72	144	216
Energi	kWh/tim	3	6	9

Om mjölkvärme kan användas till bostaden beror först och främst på bostadens behov, ställt mot vad som finns tillgängligt. Tabellerna 3 och 4 kan ge underlag för en bedömning. Avståndet är naturligtvis viktigt. Ju mer energi man har att föra över i en kulvert, desto mer kan man investera i kulvert och grävning. Alternativa lösningar för uppvärmning ska ju också in i bilden.

I övrigt är det värt att notera:

Från lagården får man en låg temperatur, begränsad till 40 - 50 °C, beroende på anläggningen. Den temperatur, som kan överföras till bostaden, kan bli lite lägre än det genom förluster. Temperaturen kan passa bra för golvvärme, som brukar dimensioneras för en temperatur på 38 - 45 °C.

Tilläggsuppvärmning behövs ofta och kanske mest för att nå max effektbehov, för att klara vinterns kallaste dagar. Då får man ta ställning till hur den kan ordnas.

En radiatorkrets är dimensionerad för högre temperaturer än golvvärme och då behövs tilläggsvärme utöver mjölkvärmens i någon form.

Det krävs också tilläggsuppvärmning av tappvarmvatten för att nå upp till den temperatur som ger skydd mot legionella. Risken är störst i temperaturintervallet 25 - 45 °C. Cirkulerande varmvatten får inte understiga 50 °C. Temperaturen där tappvarmvatten är stillastående, ex. i beredare eller ackumulatortankar, får inte understiga 60 °C.

En värmekulvert har förluster ut i marken. För den minsta dimensionen 2x25 mm, som kan överföra en effekt på 10 ± 3 kW, är förlusterna ungefär 7 W/m under uppvärmningssäsongen. På en 100 m ledning blir effektförlusten totalt 0,7 kW och energiförlusten blir då 17 kWh/dygn, om flödet sker dygnet runt. Det kan man jämföra med tillgänglig energi i kWh/dag som visas under "återstår" i tabellerna 2 och 3.

Förlusten innebär en temperatursänkning. På 100 m kulvert med effektförlust 0,7 kW minskar temperaturen i framledningen med 1 - 2 °C, beroende på hur stor effekt som förs över.

Det har viss betydelse för planeringen om man mjölkar med robot eller inte. Med robot sker mjölkkyllning och värmeproduktion till bostaden kontinuerligt. Annars sker det vid två, möjligen tre perioder på dygnet. Om överföringen i kulverten kan minskas till två 4-timmarsperioder, så reduceras ju kulvertförlusterna betydligt. Sådan satsvis överföring ställer större krav på lagring och på styrning. Den kan även ordnas vid robotmjölkning.

Hur ska nu lantbrukaren tackla de här sammansatta problemen med energieffektivisering? I vilken ordning ska man göra olika åtgärder? Här är ett förslag till tankegång:

- 1 Förbättra förutsättningarna för mjölkkyllning med bättre ventilation av kondensorn och håll den ren.
- 2 Räkna på tillgång på mjölkvärme och behov i olika situationer.
- 3 Förkyl mjölken med kallvatten.
- 4 Installera värmeåtervinning och förvärm varmvatten.
- 5 Isolera plattvärmeväxlaren och vattenrören.
- 6 Om det blir värme över efter disk och övrigt varmvatten, fundera på hur och var den värmen bäst kan utnyttjas. Glöm inte att ta hänsyn till förluster i ledningarna.

Åtgärder i värmeåtervinning

1. Installera värmeåtervinning.

Om mjölkkyltanken inte är försedd med värmeåtervinning så är det en viktig åtgärd att installera det. Normalt kan man få ut 25 - 30 kWh per ton mjölk, en nästan fri resurs. Mjölkvärmen används till att förvärma vatten före varmvattenberedaren, som då inte behöver använda lika mycket energi för att nå den inställda temperaturen. Om det behövs 80 grader för diskning och värmeåtervinningen förvärmer till 40 grader så har behovet av elenergi för att värma diskvatten reducerats med nästan hälften. Behovet av 40-gradigt vatten till försköljning m.m. klaras nästan helt av värmeåtervinningen.

Det är vanligt idag att mjölkkyltankarna levereras med värmeväxlare för värmeåtervinning som standard. Det händer också att de aldrig blir inkopplade. Detta har setts vid energikartläggningar och det är ett dåligt utnyttjande av en bra resurs.

För att få all den värme man vill återvinna, så ska man ha tillräckligt stor vattentank för att mellanlagra återvunnen värme.

2. Behåll grundinställningen.

Man bör inte laborera med trycket i kylkretsen för att få ut högre temperatur i växlaren. Det kan ge problem med kylningens funktion och kan göra att kylkompressorn får arbeta mer - och förbruka mer elenergi.

3. Isolera värmeväxlare och varmvattenrör.

Om man verkligen vill utnyttja värmeåtervinningen ska man se till att isolera värmeväxlaren samt rören till och från värmeväxlaren.

4. Sätt termometrar på rören.

Rören till och från värmeväxlaren bör förses med termometrar så att man bättre kan följa upp värmeåtervinningen.



Bild 19. Rören till och från värmeväxlaren bör ha termometrar - en billig investering. Det hade sett bättre ut om rören dessutom var isolerade.

5. Utnyttja mjölkvärmen.

Räkna på och ta reda på hur värme från mjölken kan användas utöver behoven att värma vatten. Andra sätt kan vara värme i personalutrymmen, värme vid roboten, värma dricksvatten (som ett sätt att minska frysrisken) och om förutsättningarna är rätt, skicka värme till gårdsverkstad eller bostad.

I beräkningarna tag hänsyn till förkylningens påverkan på energibehov och på potential i värmeåtervinning.

Diskning

Det ställs höga krav på renhet i mjölkningsanläggningen, så att inte mjölkrester ger bakterier en möjlighet att växa till. Faktorer som påverkar rengöringsresultatet är rätt diskmedelsdosering, tillräckligt hög disktemperatur, tillräcklig vattenmängd och rätt proppflöde och disktid.

Teknik för diskning

Diskningen ska alltid följa de rutiner och metoder som branschen tagit fram. I Sverige används mest ett diskprogram uppdelat i tre faser, försköljning, diskning och eftersköljning, enligt branschorganisationen Svensk Mjölks rekommendationer.

Fas 1, försköljningsfasen

Starta med att förskölja med rent vatten av 35 – 40 °C temperatur för att få bort mjölkrester. Detta bidrar också till att förvärma anläggningen, så att diskvattenet i fas 2 inte kyls av för snabbt. Detta har visat sig särskilt viktigt i de större mjölk tankarna, där stora plåtytor tar upp värme.

Fas 2, diskfasen, huvuddisken

För bästa diskresultat skall temperaturen hålla minst 60 – 70 °C med vanligen förekommande diskmedel. Denna fas i diskningen bör pågå i 8 – 10 minuter. För att rätt temperatur ska kunna hållas bör diskautomaten matas med vatten av minst 85 – 90 °C. (Rekommendationen utgår från oisolerade ledningar). Vid avslutningen får inte disklösningens temperatur understiga 42 - 45 °C vid utloppet. Helst ska den vara ännu högre, en tanktillverkare anger över 55 °C för bästa diskresultat. Under rikttemperaturen 42 - 45 °C finns risk för att mjölkrester ska fastna igen. Man får då problem med feta beläggningar och bakterier.

Fas 3, eftersköljningsfasen

Sköljning med kallt, rent vatten efter disk och desinfektion eliminerar risken för kemikalier i mjölken.

Cirkulationsdisk är en benämning som ibland används för diskfasen. Diskvattenet får cirkulera i ledningen som löper i en slinga som vid rörmjolkning och mjölkningsstall. Vid mjölkning med robot förekommer dels dubbelrör och dels enkelrör för transport av mjölken från robot och tank. Vid enkelrör, där vattnet alltså inte kan cirkulera, måste tryckluft användas för att tömma ledningen. Den tekniken används även vid dubbelrör.

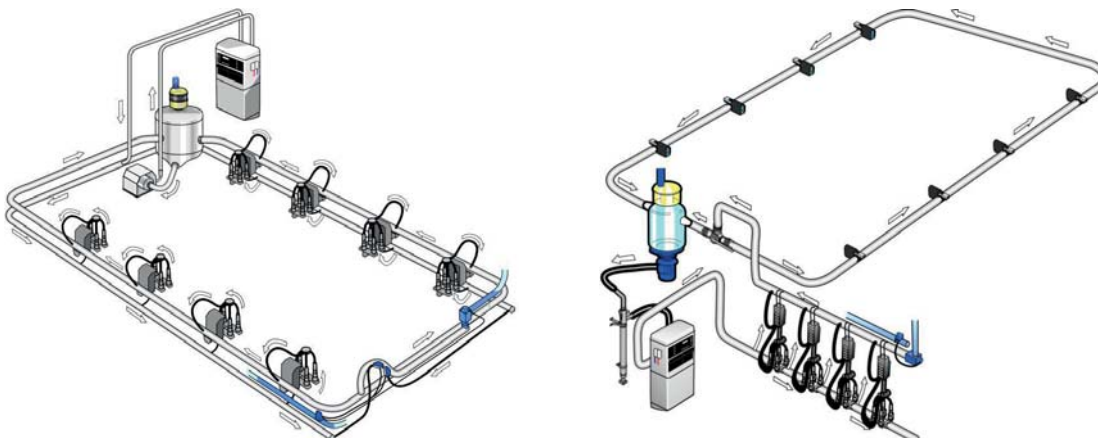


Bild 20. Principen för cirkulationsdisk i mjölkningsstall resp. i ett uppbundet stall med rörmjolkning.
(Källa: DeLaval)

Värme, kemikalier och mekanisk bearbetning samverkar i rengöringen och dessutom spelar disktiden roll. Den mekaniska bearbetningen beror av flödes hastigheten och hur flödet ser ut. Så kallade slugflöden eller vattenproppar ger effektivare bearbetning och rengöring av mjölkledningar, vilket bidrar till att hålla nere vattenförbrukningen och därmed även energianvändningen.



Bild 21. Principbild för proppflöde eller slugflöde (engelska: slug flow), flöde med vattenproppar. Sådant flöde bearbetar röryrtorna bättre. (Källa: DeLaval)

Uppvärmning av vatten

Att värma vatten svarar för en hel del av mjölkproduktionens energianvändning. Faktorer som påverkar energianvändningen är vattenmängder, temperaturer på använt vatten, temperatur på kallvattnet, värmeförluster i beredning, hantering och lagring samt möjligheter att använda spillvärme.

Hur mycket energi behövs för att värma vatten?

Vi använder begreppet specifik värmekapacitet för ett ämne, när vi beskriver hur mycket energi som behövs för att öka temperaturen 1 grad i 1 kg av ämnet. Specifik värmekapacitet för vatten är 1,16 Wh/kg, °C eller 1,16 kWh/m³, °C.

*Exempel. Antag att man vill värma 300 l vatten i en varmvattenberedare till 90 °C för diskning. Kallvattnet från brunnen håller 10 °C. Då drar beredaren $0,3 * (90 - 10) * 1,16 = 27,8$ kWh i elenergi. I praktiken får man räkna med att det också sker värmeförluster till omgivningen. Den egentliga elförbrukningen blir nog närmare 30 kWh.*

Hur mycket energi använder mjölklagården för diskning?

Det är helt klart att vattenvolymer varierar med typ av anläggning, med rutiner och med det skick som ledningar och utrustning befinner sig i. I våra lagårdar kan vi sällan mäta hur mycket vatten och energi som går åt till diskning. Ibland behövs en bedömning för att vi ska få en helhetsbild av energianvändningen, exempelvis vid en energikartläggning. Vattentemperatur och vattenmängd är förstas avgörande faktorer. Vattenmängden i varje diskcykel beror av ledningars längd och diameter, antal organ och tillbehör och för tankdisken tankens storlek. I tabell 5 visas några exempel på uppmätta och beräknade värden.

Tabell 5. Riktvärden för behov av vatten och elenergi vid diskning av rörmjolkning. (Källa: DeLaval)

Mjölkleddning		Vatten		Energibehov			
Diameter	Längd	Volym	Volym	Försköljning 40 °C	Hetvattensdisk 80 °C	Summa	Summa
mm	m	liter/fas	l/dag	kWh/dag	kWh/dag	kWh/dag	kWh/år
52	50	47	282	4,1	9,0	13,1	4 800
52	100	58	348	5,1	11,1	16,1	5 900
52	150	71	426	6,2	13,5	19,8	7 200
63	50	54	324	4,7	10,3	15,0	5 500
63	100	66	396	5,8	12,6	18,4	6 700
63	150	82	492	7,2	15,6	22,8	8 300

Beräkningen i tabell 5 utgår från att lika stora vattenvolymer används i alla tre faserna. Försköljning sker med 40 °C och starttemperatur i hetvattensdisken är 80 °C. Kallvattnet håller 6 °C. Diskning sker 2 gånger per dag. Elförbrukningen är större än det egentliga värmebehovet på grund av värmeförluster till omgivningen. Här antas förlusterna till 10 procent.

Tabell 6. Riktvärden för behov av vatten och elenergi vid diskning i mjölkningsstall. (Källa: DeLaval)

Storlek mjölkkn.- stall	Pump- ledning	Diameter	Vatten		Energibehov				
			mjök- ledning	volym	volym	Förskölj- ning 40 °C	Hetvatten- disk 80 °C	Summa	Summa
			mm	l/fas	l/dag	kWh/dag	kWh/dag	kWh/dag	kWh/år
2x6	15 m	52	60	360	5,3	11,4	16,7	6 100	
2x6	25 mm diam.	63	69	414	6,0	13,2	19,2	7 000	
2x10	25 m 40 mm diam.	63	107	642	9,4	20,4	29,8	10 900	
2x10		76	125	750	11,0	23,8	34,8	12 700	
2x14		63	129	774	11,3	24,6	35,9	13 100	
2x14		76	160	960	14,0	30,5	44,5	16 300	

Beräkningen i tabell 6 utgår från att lika stora vattenvolymer används i alla tre faserna. Försköljning sker med 40 °C och starttemperatur i hetvattensdisken är 80 °C. Kallvattnet håller 6 °C. Diskning 2 gånger per dag. Elförbrukningen är större än det egentliga värmebehovet på grund av värmeförluster till omgivningen. Här antas förlusterna till 10 procent.

Tabell 7. Riktvärden för behov av vatten och elenergi vid diskning av tank. (Källa: DeLaval)

Tankstorlek m ³	försköljning 40 °C		hetvattendisk 80 °C		eftersköljning kallt		summa		
	volym	energi	volym	energi	volym	energi	volym	energi	energi
	l/gång	kWh/gång	l/gång	kWh/gång	l/gång	kWh/gång	l/gång	kWh/gång	kWh/år
4	24 l	1,1 kWh	43 l	4,1 kWh	24 l	0	91	5,2	940
6	24 l	1,1 kWh	57 l	5,4 kWh	24 l	0	105	6,5	1 180
10	30 l	1,3 kWh	89 l	8,5 kWh	30 l	0	149	9,8	1 790
14	40 l	1,8 kWh	123 l	11,7 kWh	40 l	0	203	13,5	2 460
20	50 l	2,2 kWh	150 l	14,3 kWh	50 l	0	250	16,5	3 010
25	50 l	2,2 kWh	200 l	19,1 kWh	50 l	0	300	21,3	3 880

Beräkningen i tabell 7 har tagit hänsyn till att elförbrukningen är större än det egentliga värmebehovet på grund av värmeförluster till omgivningen. Här antas förlusterna till 10 procent. Uträkningen i kWh/år förutsätter varannandagshämtning.

Svensk Mjök har i rapporten Systemanalys disk gjort beräkningar, som legat till underlag för följande tabell över vattenförbrukningen och temperaturerna vid diskning av mjölkningsanläggning och tank på åtta olika typgårdar.

Tabell 8. Beräkning av vatten- och elförbrukning på åtta typmjölgårdar. (Underlag från Svensk Mjölk)

Typ av anläggning	Enhet	Uppbundet		Grop			Robot		
							1 st	2 st	4 st
Antal kor		30	60	60	120	240	60	120	240
Total produktion	ton/år	330	660	660	1 320	2 640	660	1 320	2 640
Tank	m ³	2	5	5	9	18	5	9	18
Mjölkleddning total längd	m	54	103	37	50	64			
Mjölkleddning inre diam.	mm	50	60	60	60	70			
Antal organ		4	8	12	18	24			
Antal diskningar	gångar/dag	2	2	2	2	2	3	3	3
Mängd vatten totalt	l/dag	323	713	389	601	980	525	1238	2340
Fas 1, försköljning	l/dag	105	231	123	208	342	169	420	795
temperatur	°C	40	40	40	40	40	40	40	40
energi	kWh/dag	4,6	10,1	5,4	9,1	15,0	7,4	18,4	34,8
Fas 2, disk	l/dag	113	250	142	208	342	188	420	795
temperatur	°C	80	80	80	80	80	80	80	80
energi	kWh/dag	10,8	23,8	13,5	19,8	32,6	17,9	40,1	75,8
Fas 3, eftersköljning	l/dag	105	231	123	185	297	169	398	750
temperatur	°C	6	6	6	6	6	6	6	6
energi	kWh/dag	0	0	0	0	0	0	0	0
Summa energi	kWh/dag	15,4	34,0	18,9	29,0	47,6	25,3	58,5	110,7
	kWh/år	5 600	12 400	6 900	10 600	17 400	9 200	21 300	40 400
	kWh/kg mjölk	0,017	0,019	0,010	0,008	0,007	0,014	0,016	0,015

Kommentar till tabell 8, förutsättningar.

I förutsättningarna för tabellen ingår att brunnsvattnet håller en temperatur i medeltal på 6 °C. Beräkningen innefattar disk av mjölkkningsanläggningen och mjölk tanken men inte övriga behov av varmt vatten, det tillkommer.

Man har tagit hänsyn till att elförbrukningen är större än det egentliga värmebehovet på grund av värmeförluster till omgivningen. Här antas förlusterna till 10 procent.

Man har tydligen utgått från mycket kort mjölkledning mellan robot och tank på de tre robotgårdarna. På många gårdar, särskilt där man använt äldre byggnader i kombination med ett nybygge, ligger tankrummet långt från roboten eller robotarna och det kan förkomma 50 m mjölkledning eller mer. Då krävs mer vatten och mer energi i de fallen, tabell 9 ger vägledning.

Tabell 9. Ungefärligt behov av vatten för ledningar vid diskning, volym i respektive fas (Källa: DeLaval).

diameter	liter/m	liter/10 m
D25	0,4	4,0
D40	1,0	10
D63	2,5	25

Energibehovet för att värma diskvatten varierar i tabell 8 från 0,007 kWh/kg mjölk till 0,019 kWh/kg mjölk. Lägst är behovet vid mjölkning i grop och högst i uppbundna system. Robotmjölkning intar en mellanställning trots tre diskningar per dygn, kortdiskningar och sköljningar..

Om priset för elenergi är 1,00 kr/kWh, så är energikostnaden för uppvärmning mellan 0,7 och 1,9 öre per kg mjölk, beroende på system. För att minska energibehovet kan man tänka sig att sänka temperaturen på hetvattnet. En sänkning av tabellens 80 °C till 70 °C minskar energibehovet resp. energikostnaden med 9 - 10 procent. Det kan vara möjligt att göra om temperaturen under diskningsfasens 8-10 minuter ändå håller sig inom rekommenderade 60 – 70°C. Man bör dock alltid ställa den besparingen mot risken att temperaturen blir för låg och att mjölk kvaliteten äventyras. En sänkning av diskvattnets temperatur med 10 grader sparar 0,1 - 0,2 öre per kg mjölk, medan en förlorad kvalitetsbonus kan kosta 3 öre per kg mjölk.

Man bör ha rutiner och utrustning för att mäta temperaturen på vattnet under diskningen så att den inte understiger rekommenderade nivåer.

För att förhindra avkylningen av diskvattnet bör man isolera ledningarna, särskilt viktigt vid långa ledningar. Rostfritt stål leder värme bra och därför är diskvattnet mer utsatt för avkylning i mjölkledningar av rostfritt stål. Se diskussion om isolering av mjölkledningar i kommande avsnitt .

Kan diskvattnet förvärmas?

Kan man förvärma vattnet till varmvattenberedaren med energi som inte kostar lika mycket som elenergi? Den frågan är värd att fundera på. För varje grad man kan förvärma vattnet minskar man varmvattenberedarens elförbrukning med ungefär 1,4 procent. Då utgår vi från att vattnet i brunnen håller 8 grader och att vattnet ska värmas till 80 °C.

Tänkbara alternativ kan vara:

Förvärmning i solfångare. Inte särskilt vanligt, men möjligt.

Varmvatten från en panncentral, gärna eldad med biobränsle. Det förekommer. Avståndet mellan panncentral och mjölktrum har stor betydelse för investeringens storlek och därmed lönsamheten. I de norra delarna av landet kan det vara mer aktuellt i samband med att man även förvärmer vatten till djuren.

Värmeåtervinning från mjölkkyllningen. Detta alternativ ligger väl närmast till hands, eftersom värmen finns tillgänglig och i överskott, oftast. Driftskostnaderna är låga eller inga. Förvärmning kan göras upp till 40 - 50 °C, vilket kan reducera elförbrukningen för försköljningsfasen till noll och för diskningsfasen till hälften. Sammantaget reduceras elförbrukningen med två tredjedelar. Se vidare kapitlet om värmeåtervinning.

Varmvattenberedaren är också utsatt för värmeförluster, även om den är isolerad. I en studie på en äldre beredare med volym på 100 liter behållare har man kunnat följa den elförbrukning som var nödvändig för att hålla temperaturen uppe mellan diskstillfällena. Här kunde beredarens värmeförluster beräknas till 570 kWh/år, motsvarande en effektförlust på 65 W i genomsnitt. Faktorer som har betydelse för dessa förluster är isoleringens tjocklek och beredarens yttre yta i förhållande till volymen. En större beredare är energisnålare än en mindre, vid lika tjock isolering. Det förutsätter då att de båda har ungefär samma form.

Man kan föreställa sig som en sparåtgärd att stänga av beredaren efter diskning och att den startas av ett tidur i rätt tid före nästa pass. Det skulle inte minska effektförlusten med mer än 4 - 5 procent, det visar en överslagsberäkning. Här gör det inte mer än 25 kWh per år.

Isolering av mjölkkrör

Mjölkkledningar brukar vara oisolerade, men det finns stor anledning att titta närmare på att isolera ledningen, särskilt om den är lång. Det kan förekomma riktigt långa ledningar, där man har byggt nytt men behållit ett gammalt tankrum. Erfarenheten visar att mjölkens temperatur sjunker i långa mjölkkledningar. Detta har förvisso en positiv inverkan på mjölkens energianvändning genom viss förkylning. Denna inverkan kan man helt klart bortse från, om det är så att man ändå har förkylning med kallvatten och/eller om man har värmeåtervinning med hög grad av utnyttjande.

Att isolera mjölkkledningen är en enkel och ganska billig åtgärd med stora fördelar och många sakkunniga menar att det skulle vara standard.



Bild 22. Mjölkkledningen från roboten till tankrummet har isolerats.

En dansk studie om mjölkkvalitet behandlar isolering av mjölkkrör (www.landbrugsinfo.dk/kvaeg/). Bakgrunden var att man hade noterat ett samband mellan oisolerade rör och förekomsten av termoresistenta bakterier i mjölken. Termoresistens innebär här att bakterierna överlever pastörisering av mjölken, som är en upphettning till 72 °C under 15 sekunder. Det är en heterogen grupp av bakterier med bland annat de sporbildande smörsyrebakterierna. De flesta har ingen tillväxt under 19 °C. I det danska provet transporterades vatten med 80 °C i en ledning med diametern 38 mm. Om ledningen var oisolerad sjönk temperaturen till 54 °C på 100 m men bara till 76 °C om den var isolerad. Den isoleringen var 30 mm tjock.

Det finns åtminstone fyra bra motiv till att isolera mjölkkledningen: mjölken ska inte kylas av på vägen till tanken, diskvattnet ska inte kylas av och det finns möjlighet att spara energi.

1. Mjölken bör inte kylas av på sin väg till tanken, eftersom mjölkens fettkulor lättare skadas, med påföljande smakfel, vid en lätt kylning av mjölken. I danska studien rekommenderas att mjölken inte bör pumpas annat än om dess temperatur ligger på 35 – 37 °C eller 5 – 10 °C. Det är speciellt mellan 20 och 30 °C som fett skadas och under 20 °C avtar processen. Den startar redan när mjölken lämnat juvret.
2. Ett annat gott skäl är att diskvattnet inte ska kylas av. Dels får inte temperaturen understiga 42 - 45 °C och dels bör diskningen med kemikalier ske med minst 60 – 70 °C under 8 - 10 minuter (undantag för vissa diskmedel kan komma ifråga vad gäller temperaturen).
3. Det finns möjlighet att spara energi genom isolering. När inte diskvattnet kyls så mycket kan det vara möjligt att ha en lägre ingångstemperatur på vattnet i diskningens fas 2 och ändå hålla temperaturgränserna.
4. Isoleringen ökar potentialen i värmeåtervinningen.

Exempel. En gård med 120 kor använder ca 100 l vatten med en temperatur på 80 °C per gång för diskning. För varje grad man kan sänka ingångstemperaturen så minskar man energin med $100 * 1,16 = 116 \text{ Wh}$ per mjölkning.

På ett år blir det $365 * 2 * 116 = 84\,700 \text{ Wh/grad}$.

Varje grads sänkning sparar då in 85 kWh/år.



Bild 23. Det är lätt att isolera med färdiga rörsålar av mineralull eller cellplast

Det finns beräkningsprogram som visar energiförluster från oisolerade rör och från rör med olika tjocklek på isoleringen. Ett sådant är TekniBer från Paroc (www.paroc.se). Det visar att en oisolerad ledning med 50 mm diameter har en effektförlust på ca 130 W/m, medan 30 mm stenullsisolering minskar förlusten till 16 W/m, en besparing ca 115 W/m. 20 mm isolering minskar förlusten till 20 W/m, en besparing med ca 110 W/m.

Detta visar också att det första skiktet isolering har stor betydelse och att en ökning av tjockleken verkar marginellt. Tabell 10 visar också det. Det finns kanske ingen anledning att använda ett tjockare skikt än 20 mm, man kan då hålla nere kostnaden.

Tabell 10. Exempel på effektförlust vid isolering av rör med olika tjocklek på isolering, W/m. Isoleringen har i detta fall stenull med λ -värde 35 W/m, °C. Omgivningen har temperatur är 15 °C och är utan drag.

Isolering		Rördiam 35 mm		Rördiam. 50 mm	
		Temp. 35 °C (mjölk)	Temp. 80 °C (disk)	Temp. 35 °C (mjölk)	Temp. 80 °C (disk)
Oisolerat	förlust	23,1 W/m	98,6 W/m	30,4 W/m	129,4 W/m
10 mm isol.	förlust	5,9 W/m	22,5 W/m	7,7 W/m	29,4 W/m
			Spar 77 %		Spar 77 %
20 mm isol.	förlust	4,2 W/m	15,5 W/m	5,4 W/m	19,7 W/m
			Spar 84 %		Spar 85 %
30 mm isol.	förlust	3,5 W/m	12,5 W/m	4,3 W/m	15,6 W/m
			Spar 87 %		Spar 88 %

(Källa: TekniBer, Paroc AB)

Notera att värdena i tabell 10 gäller utan luftdrag kring ledningen. Om det finns ett drag, och det gör det oftast, ökar förlusterna betydligt vid oisolerad ledning.

Rörisolering brukar göras med färdiga rörsålar av mineralull eller cellplast, material som har jämförbara λ -värden, jämförbara isoleringsvärden.

Åtgärder i diskning

1. Förvärm vattnet

Förvärm vattnet före varmvattenberedare och diskautomat med mjölkvärme, varmvatten från en panncentral eller solfångare. Då minskar varmvattenberedarens elförbrukning och även kostnaderna om förvärmning kan göras med lägre energipris. Det ligger nära till hands att utnyttja mjölkvärmerna.



Bild 24. Förvärmning av vattnet minskar elförbrukningen i varmvattenberedaren.

2. Ha koll på temperaturen.

Sätt en termometer i slutet på mjölkledningen. En anläggningstermometer, som spänns fast på ledningen med en fjäder, kostar bara några tior. Med koll på temperaturen så har man möjlighet att sänka ingångstemperaturen och därmed spara energi.

3. Kör inte effektkrävande apparater samtidigt med diskautomaten.

Diskautomaten kan ha ett högt effektuttag, så högt som 13 kW är inte ovanligt. I en del fall bör man undvika att köra andra apparater med högt effektbehov samtidigt. Det gäller om man behöver minska sina effekttoppar, t.ex. om man kan få ner huvudsäkringens eller om höga effektuttag styr energipriset. Robotar brukar dock ha integrerad diskautomat.

4. Ta inte ut för mycket varmvatten till annat under diskningen.

Precis som man inte skall köra effektkrävande elektriska maskiner samtidigt, så skall man undvika att använda varmvatten till flera olika saker samtidigt. Om man spolar varmvatten från samma beredare som tankdisken använder strax innan eller under disken, kan disktemperaturen komma att sjunka. Många varmvattenberedare har otillräcklig kapacitet.

5. Kan värmen i diskvattnet återanvändas?

Det skulle vara intressant att även återvinna värmen i diskvattnet efter disk, om det finns bra tekniska lösningar och om det kan göras utan hygienproblem.

6. Isolera mjölkledningen.

Isolera mjölkkrören för att mjölken inte ska kylas av på väg till tanken, för att diskvattnet ska uppfylla sina temperaturkrav och för att det ger en möjlighet att spara energi vid uppvärmningen av vatten.

7. Isolera vattenrören till tanken.

Isolera vattenrören så att det blir lättare att hålla temperaturen på diskvattnet och minska energiförlusterna. I många fall förekommer långa kopparledningar genom uppvärmda utrymmen

Robotmjölkning

Allmänt sett verkar robotmjölkning medföra en högre elförbrukning än mjölkning i grop. Undersökningen som gjordes 2008 tyder på det (Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008, LRF Konsult). 9 robotgårdar använde i medeltal ca 20 kWh mer per ton mjölk för själva mjölkningen, mjölkkyllning och diskning än de 14 gårdarna med mjölkningsgrop.

Bild 25
Robotmjölkning



Orsakerna är större användning av uppvärmt vatten för diskning, att vakuumpumpen går för jämnare samt användning av tryckluft. Dessutom har man ofta ökat belysningen vid övergången till robotmjölkning, åtminstone vid roboten. Många har ordnat med extra värme vid roboten, framförallt i kalla stallar, där frysrisk och halkrisk måste minskas.

Sedan de första mjölkningsrobotarna introducerades har robotarna utvecklats och energianvändningen minskat. Exempel på det är hydraulisk manövrering av robotarmen istället för pneumatisk, frekvensstyrning av vakuumpumpen samt matning med förvärt vatten från värmeåtervinning.

El- och vattenförbrukningen i åtta mjölkningsrobotar har undersökts av Dansk Landbruksrådgivning i en så kallad FarmTest. En FarmTest innebär att man undersöker utrustningen i praktiskt arbete och med de förutsättningar som finns på gården där utrustningen används. De studerade robotarna från fem olika tillverkare arbetar alltså inte under samma förutsättningar och det ska man tänka på när man jämför resultaten. Robotarnas förbrukning varierade från 0,019 till 0,058 kWh per kg mjölk eller från 204 till 456 kWh per ko och år. I detta ingår uppvärmning av disk- och sköljvatten, men i samtliga fall fick varmvattenberedaren förvärt vatten från återvinning på mjölk tanken. Det gör skillnad om beredaren matas med 10-gradig eller 35-gradigt vatten. En beräkning på detta presenteras i FarmTest nr 61 (Lindgaard Jensen, M. 2009) och därifrån är underlaget till nedanstående tabell hämtad.

Tabell 11. Exempel på energibehov för disk och sköljning när varmvattenberedaren matas med brunsvatten (10 °C) respektive förvärt vatten (35 °C). Man bör räkna med att den verkliga elförbrukningen är några procent högre än tabellens värden, beroende på värmeförluster från beredaren. Siffran 23,3 kWh/dygn är jämförbar med tabell 8 i avsnittet om diskning. (Källa: Lindgaard Jensen, M. 2009)

Moment	Förutsättningar				Energi per dygn	
	temperatur	antal gånger	volym vatten		brunsvatten med 10 °C	förvärt till 35 °C
	°C	ggr/dygn	liter/gång	liter/dygn	kWh/dygn	kWh/dygn
Försköljning	40	3	10	30	1,0	0,2
Huvuddisk	95	3	40	120	11,8	8,4
Eftersköljning	40	3	10	30	1,0	0,2
Kortdisk	40	6	15	90	3,1	0,5
Skölj efter mjölk	40	180	1	180	6,3	1,0
			SUMMA	450	23,3	10,3

Differensen i värmebehov mellan inte förvämt och förvämt vatten är alltså 13 kWh/dygn. Elbehovet kan då uppskattas till 14 kWh/dygn inklusive värmeförluster. På ett år blir det 5100 kWh.

Förbrukningen av vatten i tabell 11 ska ses som ett exempel. Det skiljer mellan olika robotfabrikat, vilket man kan se i Farmtest nr 61. Varje kubikmeter vatten kostar energi att pumpa upp, man kan för överslag räkna med 0,5 - 0,9 kWh/m³. Det tillkommer också energi och kostnader för lagring och utkörning. I FarmTest nr 61 uppskattas kostnaden till ca 25 kr/ m³, omräknat till svenska kr.

Vakuumpumpen

Moderna robotar har frekvensstyrning på vakuumpumpen, vilket är viktigt för energieffektiviteten. Pumpvarvtalet och därmed effektuttaget styrs av behovet, som varierar kraftigt. Vakuumpumpen går konstant i motsats till andra mjölkningssystem, där den körs några timmar varje dygn. Om robotens vakuumpump skulle ha gammaldags vakuumreglering, skulle den använda stora mängder energi.

Värme vid roboten

I många stallar har man uppvärmt vid roboten med ex. golvvärme, särskilt i kalla stallar. Uppvärmningen skyddar korna mot halkskador. Värme kan också behövas som frostskydd i roboten och det förbättrar driftssäkerheten och livslängden. Robotutrymmet bör då vara kringbyggt med tre väggar och ha ett extra tak för att hålla tillräcklig temperatur utan alltför stora värmeförluster. Luftrörelserna kan också hindras av s.k. köldridåer av plastremсор.

Bild 26.
Robotrum. En överbyggnad till roboten minskar behovet av energi för uppvärmning.

Här kommer den dessutom att kompletteras med en s. k. köldridå av plastremсор. Värme hämtas delvis från mjölkrummet, se nästa bild.

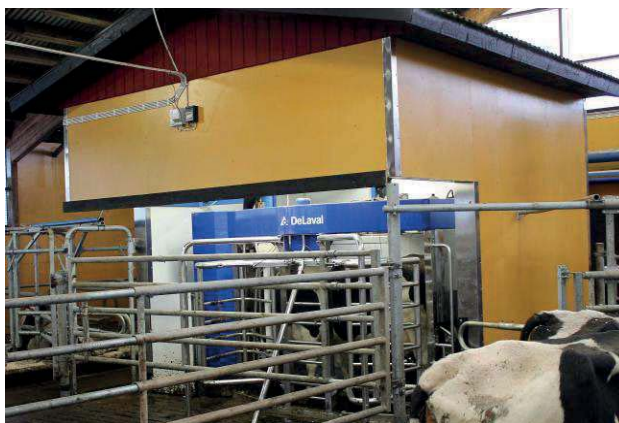


Bild 27. På försök har man på samma gård satt in en fläkt i mjölkrummet som ventilerar det och skickar luften till robotrummet. Till vänster fläkten och till höger utloppet i robotrummet. Det bör även finnas ett spjäll, som hindrar luften att gå åt fel håll.

Belysning vid roboten

Man har nästan alltid belysning på dygnet runt vid roboten. Då bör man välja en energieffektiv belysning. Den kan få kosta lite mer, eftersom den används så många timmar. Vanliga lysrör av typ T8 kan ersättas med lysrör av typ T5. De använder ungefär 20 procent mindre energi, men skillnaden är mindre i kalla stallar.

LED-belysning kan vara ett bättre alternativ.



Bild 28. Så kallade LED-lysrören kan ersätta de vanliga lysrören

Åtgärder vid robotmjölkning

1. Frekvensstyrning av vakuumpumpen.

Om vakuumpumpen mot förmodan inte har varvtalsreglering, så bör man se till att installera det. Vakuumpumpen går kontinuerligt men behöver full kapacitet bara en del av tiden. Besparingen per robot kan troligen uppgå till mer än 10 000 kWh/år.

2. Förvärmning av vatten.

Om man kan utnyttja vatten, som förvärmats i återvinning från mjölkkyllningen, sparas mycket energi. Matas varmvattenberedaren med vatten av 35 °C istället för 10 °C, kan man spara ca 5000 kWh per robot och år.

3. Kolla tryckluftssystemet för läckage.

Kolla tryckluftssystemet för läckage. Det är onödigt att kompressorn startar för att hålla trycket uppe på grund av läckage. Ett hål med 1 mm diameter motsvarar en effekt på 0,4 kW om systemtrycket är 7 bar. Det blir en energiförlust på 3500 kWh på ett år, om tryckluften alltid är igång.

4. Minska värmeförluster.

Om området vid roboten är uppvärmt är det viktigt att hålla kvar värmen där genom att minska luftförlusterna. Sätt upp väggar och gör ett tak över roboten. Så kallade köldridåer av plastremor, 30 cm breda, är ett annat sätt att hindra luftförluster.

5. Sätt elmätare på roboten.

Det är bra att veta var och hur energin används. Begagnade elmätare brukar gå att få tag i.

Referenser i urval

Christiansson, A. m.fl. 2011. Systemanalys disk. Rapport nr 7092. Svensk Mjölk.

DeLaval. Effektiv diskning. opublicerat
<http://viewer.zmags.com/publication/7c433327#/7c433327/1>

DLG, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft.2006. Frequenzgesteuerte Vakuumpumpe LactiVac 2000. DLG-Prüfbericht 5621.

DLG, Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft.2000. DeLaval Milchkühlanlage DX/Oc 1000 I. DLG-Prüfbericht 4885.

Hörndahl, T och Neuman, L. 2012. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader. Rapport 2012:19. Fakulteten för landskapsplanering, trädgårds- och jordbruksvetenskap, SLU Alnarp.
http://pub.epsilon.slu.se/9105/11/horndahl_et_al_121001.pdf

Karlsson, E. m.fl. 2012. Energiåtervinning från mjölkkyllning. JTI-rapport Lantbruk & Industri nr 401. JTI- Institutet för jordbruks- och miljöteknik.

Karlsson, L. 2012. Disktemperatur - en het fråga. Tidningen Husdjur nr 2 2012.

Kaurich, J. 2010. Energy Efficiency Recommendations for Robotic Milking Systems. American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE). St Josph, Michigan, USA.

Kromann, H. Isolering av mælkerør. Landbrugsinfo/Videncentret for landbrug.
www.landbrugsinfo.dk/kvaeg/

Lindgaard Jensen, M. 2009. El- og vandforbrug ved malkning med AMS. FarmTest nr 61 2009. Dansk landbrugsrådgivning.
www.landbrugsinfo.dk/Tvaerfaglige-emner/FarmTest/Filer/FT61-AMS-web.pdf

Neuman, L. m.fl. 2009. Kartläggning av energianvändning på lantbruk 2008.

Paroc AB. www.paroc.se

Pedersen, J. mfl. 2002. Energisparekatalog i landbruget. Landbrugets Rådgivningscenter, Århus.

Petersen, J.B. 2012. Isolering af mælkerør. Landbrugsinfo, Danmark.
www.landbrugsinfo.dk/Kvaeg/Maelke kvalitet/Sider/Isolering-af-maelkeroer.aspx

Svensk Innemiljö 2009. Energihandboken. www.svenskinnemiljo.se

Svensk Mjölk 2003. Kvalitetssäkrad mjölkproduktion/Mjölknings.

Wisconsin Department of Agriculture. 2010. Dairy Farm Energy Management Handbook, Madison, Wisconsin. http://datcp.wi.gov/Farms/Dairy_Farming/Energy_Management/

Svensk Mjölk 2003. Kvalitetssäkrad mjölkproduktion/Mjölkavhämtningsrum, vägledning för planering och utformning.

Produktkataloger, diverse

Personliga referenser

Bengt Johansson, Wedholms AB
Anders Herolf, Wedholms AB
Anders Thylén, DeLaval AB
Olof Arkelöv, KanEnergi AB
Anders Christiansson, LRF Mjök
Björn Johansson, DeLaval AB

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 10

Mjölkning

2013



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 11

Uppvärmning

Förplanering av gårdsvärmeanläggning

2015



Lars Neuman, LRF Konsult



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

Författare

Lars Neuman, energi- och teknikrådgivare, LRF Konsult AB, Ulricehamn.

Om handboken

Denna handbok är ämnad att ge vägledning till lantbrukare och rådgivare som arbetar med att minska energianvändningen.

Medarbetarna har på bästa sätt använt sig av uppgifter från forskning, provningar och praktiska erfarenheter. Man beskriver möjligheter till effektivisering, dock utan några garantier.

När produkter och märkesnamn anges så är det endast för information och som exempel. Det gäller också bilderna. Meningen är inte att framhålla vissa produkter och tillverkare och att därmed utesluta andra.

Handboken är indelad i olika avsnitt:

1. Energieffektivisering grunder
2. Energi, grunder
3. El och elmotorer
4. Spannmålskonservering, spannmålstorkning
5. Ventilation
6. Belysning
7. Utgödsling
8. Utfodring
9. Grisproduktion
10. Mjölkning
11. Uppvärmning

Handboken har tagits fram inom LRFs projekt *Underlag energieffektivisering* med finansiering från landsbygdsprogrammet.

Innehåll	Sida
Inledning	4
Frågor att ställa i planeringen	5
Energitillförseln ska balansera energiförlusterna	6
Isolera först - konvertera sedan	6
Energi, effekt och verkningsgrad är viktiga begrepp	7
Förplanering av gårdsvärme	9
Kartlägg och beräkna effektbehoven. Var på gården används värme?	9
Olika sätt att bestämma max-effekt	9
Bostadshusets effektbehov	10
Vilken effekt ska pannan ha?	15
Ackumulatortank för värmelagring	16
Djurstallars effektbehov	18
Gårdsverkstadens effektbehov	18
Spannmålstorkens effektbehov	19
Värma bostaden med mjölkvärme?	22
Värmeöverföring - kulvertssystemet	24
Kulvertens anslutning till byggnader	26
Dimensionering av kulvertssystem	27
Panncentralens placering	31
Översikt bränslen	32
Ved	32
Flis	33
Pellets	34
Halm	35
Spannmål	36
Hur mycket bränsle går det åt för att ersätta eldningsolja?	38
Referenser i urval	40
BILAGA 1. Ordlista - begrepp och förklaringar	
BILAGA 2 Tabell gradtimmar för orter från norr till söder	
BILAGA 3 Ett gårdsexempel med planering / förprojektering av kulvert.	

Inledning

Syftet med denna del av Handbok i energieffektivisering är att vara ett hjälpmedel i förplanering av gårdsvärme. Den kan då ge underlag för en gårdsvärmeanläggning med en panncentral, som förser gårdens olika byggnader med värme efter deras behov. Med ett sådant underlag kan man staka ut riktningen i den fortsatta planeringen. Därför har materialet begränsats till förplanering. I nästa steg går man vidare med val av teknik, miljöskyddsregler, brandskyddsregler m.m. som ofta kräver särskild expertis.

Meningen är att bibränslen ska användas, även om det kan finnas fall där t.ex. eldningsolja behövs till viss del för att klara spetsbelastning.

Lantbrukets användning av energi

År 2013 använde svenskt lantbruk 47 000 m³ eldningsolja för uppvärmning (byggnader och torkar, inte bostäder och växthus). Det är ungefär 20 - 25 procent av lantbrukets uppvärmningsbehov. Energimängd från oljan är 470 000 MWh/år, medan bibränslen svarade för 1 370 000 MWh/år. (*Energimyndigheten och SCB 2014.*)

Det har alltså skett en stor omställning till bibränslen, något som är positivt för klimat och miljö. Det återstår en del att göra, inte minst med torkarnas behov. År 2013 fanns det varmluftstorkar för spannmål på lite över 7300 företag, enligt SCB, statistiska Centralbyrån.

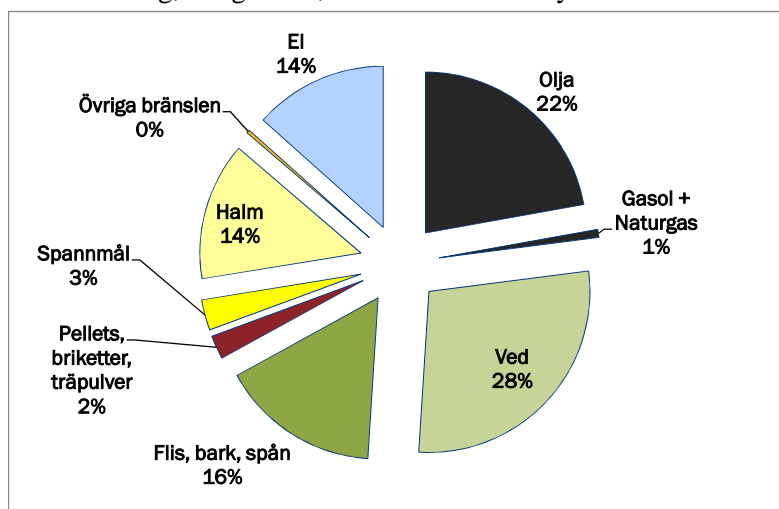


Bild 1. Ungefärlig fördelning på energislag för lantbrukets uppvärmning av byggnader och torkar (bostäder och växthus ingår inte). Andelen elenergi har uppskattats, eftersom el för uppvärmning inte särredovisats i rapporten *Energianvändning inom jordbruket 2013*. (*Energimyndigheten och SCB 2014.*)

Den bibränsleeldade panncentralen kan producera värme för:

- uppvärmning
- varmvatten
- torkning
- eventuellt annan processvärme
- försäljning av värme till närliggande fastigheter

Vid planeringen ställs man inför ett antal frågor. Planeringen vinner på att behandla dem i en viss ordning. Dock hänger flera av frågorna ihop och måste därför behandlas samtidigt.

Frågor att ställa i planeringen

Dimensionering. De första frågorna gäller dimensionering av anläggningen:

- Vilka byggnader ska förses med värme?
- Hur stort energibehov har jag?
- Hur varierar behoven under året?
- Vilken maxeffekt behöver jag dimensionera för?
- Finns andra aktörer nära gården som kan leverera värme?
- Finns andra aktörer nära gården som kan köpa värme?

Bränsle. Det finns flera frågor kring bränsle och aska:

- Vilka bränsleresurser har jag?
- Vilket bränsle ger bästa ekonomi och vilket är mest praktiskt?
- Skall jag producera bränslet på gården eller köpa in?
- Hur ska bränslet lagras och transporteras?
- Betyder egen bränsleproduktion omläggning av växtodling eller skogsbruk?
- Hur ska askan tas om hand?

Kulvert. Värmeöverföringen finns givetvis med i förplaneringen. Senare bör man kontakta en fackman för den slutliga projekteringen.

- Hur ska kulverten för värmeöverföring dras?
- Vilken typ av värmekulvert ska väljas?
- Hur ska kulverten för värmeöverföring dimensioneras?
- Ska verkligen alla byggnader anslutas eller finns det bättre alternativ?

Fler faktorer att tänka på: miljökrav, inomgårdslogistik, markförhållanden, disponibel yta.

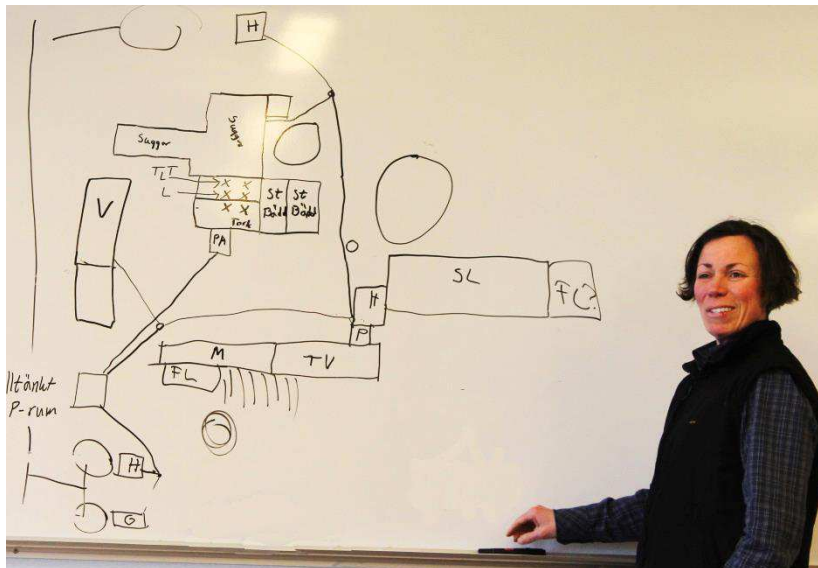


Bild 2. Kursdag i Agrovästs regi. Förplanering av gårdsvärme innehåller många frågor som hänger samman. "Vilka byggnader ska anslutas? Var läggs panncentral och bränsleförråd? Hur ska kulverten dras?"

Energitillförseln ska balansera energiförlusterna

Nästan all energi som tillförs en byggnad försvinner till omgivningen som förluster. Inomhustemperaturen bestäms av en balans mellan värmeförluster och värmertilförsel. Förändringar sker inte omedelbart utan med viss tröghet eftersom värme (liksom kyla) tas upp och lagras i byggnadens delar. Bilden nedan visar i princip hur tillförsel och förluster sker i ett bostadshus.

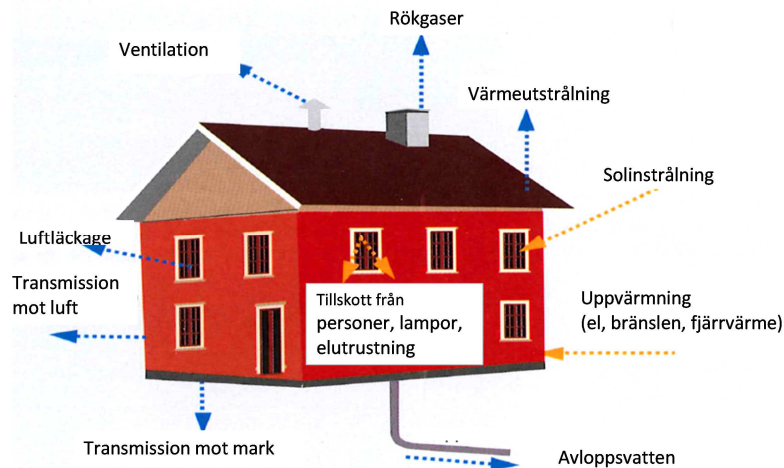


Bild 3. Principer för energitillförsel och energiförluster i ett bostadshus (Svensk Innemiljö, 2009)

Isolera först - konvertera sedan

Innan man ändrar uppvärmningssystemet bör man se till att minska förlusterna genom bättre isolering och bättre styrning. Då finns möjligheten att minska effektbehovet och därmed investeringen. Det minskar det årliga energibehovet och sänker driftskostnaderna.

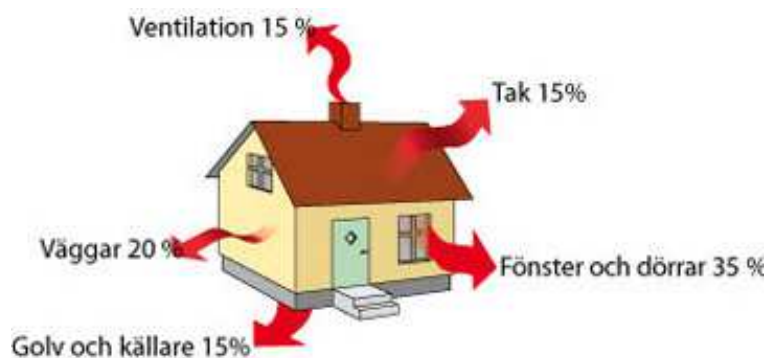


Bild 4. Ungefärlig fördelning av bostadshusets värmeförluster. Fönster och dörrar står för en stor andel. Den kostnadseffektivaste åtgärden är nästan alltid att bättra på isoleringen på vinden. (Energimyndigheten)

Fönster och dörrar läcker mycket värme. Ju högre U-värde fönstren har, desto större del av pannans värmeeffekt är det som passerar ut genom fönstren. U-värde är ett mått på värmeledningsförmåga med enheten $W/m^2,grad$. Gamla tvåglasfönster kan ha ett U-värde på $3,0 W/m^2,grad$, medan moderna energieffektiva treglasfönster bör ha ett U-värde på $1,0 W/m^2,grad$ eller bättre.

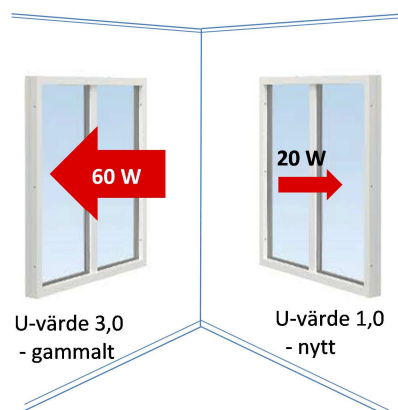


Bild 5. Jämför ett äldre fönster som har U-värde på 3,0 W/m²,grad med ett nytt fönster, U-värde 1,0 W/m²,grad. Är det 20 °C kallare ute än inne, så försvinner det 60 W genom varje m² gammalt fönster men bara 20 W i det nya. Skillnaden är alltså 40 W. För varje dygn blir det 40 x 24 = 960 Wh, nästan 1 kWh, som kan sparas in för varje m² nytt fönster.

Om man har 100 m² vindsbjälklag, isolerat med 15 cm sågspån och tilläggsisolerar detta med 30 cm mineralull, så kan man spara från 4000 kWh/år längst i söder till 7000 kWh/år långt uppe i norr. Att tilläggsisolera vindsbjälklaget brukar vara den kostnadseffektivaste åtgärden.

Man säger ofta att 1 grads sänkning av innetemperaturen spar 5 procent av energin för uppvärmning - gäller inom vissa gränser. Jämför diagrammet i bild 11. Om man har förbättrat isoleringen i tak, väggar och fönster och gjort huset tätare så är det dessutom lättare att dra ner på temperaturen och ändå behålla ett behagligt inneklimat.

På webben kan man hitta tips om isolering, uppvärmning och spartips för hushållen. Några länkar:

www.energimyndigheten.se/energieffektivisering/hemmet/10-snabba-energipartips/

<http://www.eon.se/upload/eon.se/dokument/privatkund/energiradgivning/2/Energisparboken.pdf>

<http://www.energiost.se/energiradgivarna>

Energi, effekt och verkningsgrad är viktiga begrepp att känna till

Energi kan mätas med olika mått, olika enheter såsom kcal (kilokalori), MJ (megajoule) och kWh (kilowattimmar). I det följande användes enheten kWh.

Effekt är energi per tidsenhet och anges ofta i kW.

Skilj noga på begreppen effekt i kW, och energi i kWh! Om energimängden 1 kWh avges under 1 timme, så är effekten 1 kW. Sambanden är:

$$\text{Effekt (kW)} = \frac{\text{Energi (kWh)}}{\text{Tid (tim)}}$$

$$\text{Energi (kWh)} = \text{Effekt (kW)} \times \text{Tid (tim)}$$

Verkningsgrad är ett viktigt begrepp i energisammanhang. I all energiomvandling uppstår förluster. Verkningsgrad anger den andel av tillförd energi som blir till nyttig energi vid omvandlingen.

$$\text{Verkningsgrad (\%)} = \frac{\text{Nyttig energi (kWh)} * 100}{\text{Tillförd energi i bränsle (kWh)}} = \frac{\text{Nyttig effekt (kW)} * 100}{\text{Tillförd effekt genom bränsle (kW)}}$$

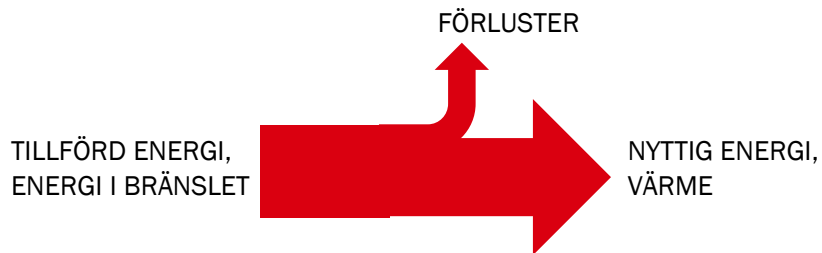


Bild 6. Vid all energiomvandling sker förluster - i pannor, motorer, lampor o.s.v. Förluster i pannan uppstår genom strålning, ledning och konvektion samt genom värme i rökgaser och energi i oförbränt bränsle.

Begreppet verkningsgrad kan ha olika betydelse, exempelvis kan verkningsgrad avse

<u>Pannverkningsgrad</u>	Av tillverkare eller testanstalt uppmätt verkningsgrad vid full nominell effekt och under gynnsamma förhållanden.
<u>Systemverkningsgrad</u>	Verkningsgrad för ett värmesystem som förutom panna kan bestå av värmeledningar och ackumulatortankar, vilka också har förluster.
<u>Årsmedelverkningsgrad</u>	Verkningsgrad i medeltal över året för en anläggning eller panna. För en panna är den alltid lägre än uppgiven pannverkningsgrad, mycket beroende på sämre verkningsgrad vid låg belastning. samt vid uppeldning och nedeldning.

Se även Ordlista - begrepp, förklaringar i bilaga 1.

Verkningsgraden i anläggningen betyder mycket för uppvärmningens ekonomi.

Exempel.

Antag att en fliseldning har en verkningsgrad som i medeltal över året är 70 procent och att man förbrukar 600 m³ flis per år. Om verkningsgraden istället skulle vara 65 procent, så skulle man behöva ytterligare 50 m³ flis per år för samma mängd värme.

Förplanering av gårdsvärme

Förplanering eller grovplanering är första steget på vägen mot en gårdsvärmeanläggning. Nästa steg är att gå vidare med detaljfrågor som rör eldningsteknik, värmeöverföring, bränsleförsörjning, bränslehantering, miljökrav m.m. och inte minst ekonomi.

Förplaneringen kan följa schemat i bild 7. Man börjar med att utreda vilka byggnader på gården som ska värmas och hur stort effektbehov de har. Sedan skissar man på dragning av värmekulvert och beräknar kulvertdimensioner. Samtidigt vill man hitta bästa läge för panncentralen med hänsyn till kulvertsträckningar och till bränslehantering och bränslelagring. Valet av bränsle kanske är givet från början, men annars finns det anledning att jämföra bränslealternativ med för- och nackdelar. Utredningen av effektbehov ger också underlag för behov av bränslekvantiteter. Övrigt som kan ha betydelse i förplaneringen är påverkan på omgivningen, gårdsbildens utseende, behov av tillsyn, transporter, samarbete med andra aktörer, arbetsbehov, lagringsbehov m.m.

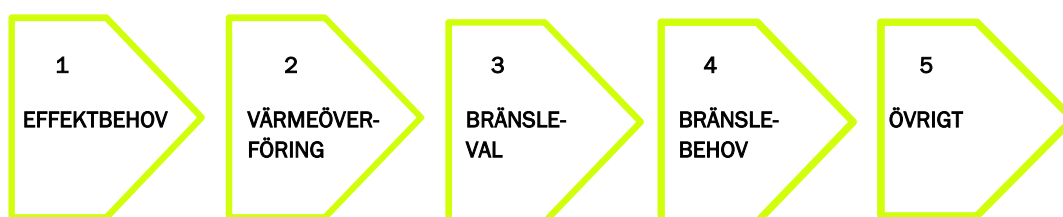


Bild 7. Gången i förplaneringen, skissad i stora drag. Det ger en viss struktur i planeringen, men alla delar hänger ihop och man har ofta anledning att gå tillbaka och ändra sin bedömning eller göra en ny beräkning.

Kartlägg och beräkna effektbehoven - var på gården används värme?

För att komma fram till nödvändig effekt på pannan i panncentralen får man först kartlägga effektbehov i de olika byggnader som ska anslutas. Pannan behöver ha minst den effekt man får när man summerar effekten för de byggnader som samtidigt ska förses med värme. Här kan då finnas olika driftsfall med olika effektbehov. Så till exempel behöver en spannmålstork hög effekt under en tid när bostäder inte behöver mycket värme. Till de samlade behoven i byggnader och torkar ska även läggas effektförluster i kulverten, vilket behandlas på sidan 30. Se också exemplet i bilaga 3.

Olika sätt att bestämma max-effekt

För varje byggnad vill vi alltså bestämma den maxeffekt som i nuläget behövs i byggnaden. Det kan göras på flera sätt:

1. Värmebalansberäkning. Den är oftast för tidsödande i en förplanering.
2. Utgå från nuvarande effektbehov.
3. Utgå från nuvarande förbrukning av bränsle och räkna om till maxeffekt.
4. Använda schablonvärden.

Det nuvarande effektbehovet justeras för tilläggsisolering, fönsterbyte, bättre styrning m.m., som man behöver göra innan man bygger värmeanläggningen. Klokt är att också ta till marginaler för framtida till- eller ombyggnader.

Bostadshusets effektbehov

1. Värmebalansberäkning. Tidsödande i en förplanering och tas inte upp här.

2. Utgå från nuvarande effektbehov

Det är enklast att använda sig av känd effekt i nuvarande uppvärmning. Den bedöms utifrån märkeffekt för befintlig uppvärmning såsom panna, värmepump eller något annat. Märkeffekt är den nytta effekt, som kan avges. Uppgift om märkeffekten finns att hämta från en märkplåt eller i utrustningens dokumentation. Man får bedöma utifrån driftserfarenheterna om man ska ta upp märkeffekten till sitt fulla värde eller justera den.

Pannor kan ofta vara överdimensionerade så att de aldrig går på max och då är alltså det egentliga effektbehovet lägre än märkeffekten. Vedpannan, som ju inte går kontinuerligt, har en högre märkeffekt än husets effektbehov, särskilt om den dimensionerats för att ladda en ackumulatortank.

Observera att för värmepumpar ska man använda den avgivna värmeeffekten, inte driveffekten.

3. Utgå från nuvarande förbrukning

När man känner den nuvarande förbrukningen av bränsle kan man med en schablonmetod (ÄFAB) beräkna effektbehovet. Det görs i tre steg, I - III.

Tabell 9 på sida 38 ger riktvärden för värmevärde och verkningsgrader.

I. Tillförd energi. Först beräknas hur mycket energi som tillförs i bränslet:

$$\text{Tillförd energi (kWh/år)} = \text{Bränslemängd (m}^3/\text{år)} \times \text{Värmevärde (kWh/m}^3\text{)}$$

$$\text{Tillförd energi (kWh/år)} = \text{Bränslemängd (ton/år)} \times \text{Värmevärde (kWh/ton)}$$

II. Medeleffekt. Sedan beräknas värmebehov, inkl. varmvatten, med hjälp av aktuell verkningsgrad:

$$\text{Värmebehov (kWh/år)} = \text{Tillförd energi (kWh/år)} \times \text{Verkningsgrad}$$

Medeleffekten för uppvärmningssäsongen är:

$$\text{Medeleffekt (kW)} = \frac{\text{Värmebehov (kWh/år)}}{\text{Uppvärmningssäsong (tim/år)}}$$

III. Maxeffekt. Schablonmässigt antas att maxeffekten är tre gånger så stor som medeleffekten.

$$\text{Maxeffekt} = 3 \times \text{Medeleffekt} = 3 \times \frac{\text{Värmebehov (kWh/år)}}{\text{Uppvärmningssäsong (tim/år)}}$$

Uppvärmningssäsongen kan vara 9 månader, vilket omräknat blir 6600 tim/år.

Exempel, beräkning av maxeffekt utifrån nuvarande förbrukning

Maxeffekten ska beräknas för ett hus på 160 m², där en vedpanna använder 20 m³ travad ved per år. Först beräknas tillförd energi. Värmevärdet för ved antas vara 1500 kWh/m³t (jämför tabell 9 på sidan 38). Verkningsgraden bedöms till 60 procent.

$$\text{Tillförd energi} = 20 \times 1500 = 30\,000 \text{ kWh/år}$$

$$\text{Värmebehov} = 30\,000 \times 0,60 = 18\,000 \text{ kWh/år}$$

$$\text{Maxeffekt} = 3 \times \frac{18\,000}{6600} = 8,2 \text{ kW}$$

4. Använda schablonvärden

I en förplanering kan det vara bra att ha tillgång till schablonvärden på de specifika behoven kW/m^2 respektive $\text{kWh/m}^2, \text{år}$ och det finns förslag från olika studier på dessa värden. Man ska vara uppmärksam på om man då har mätt den totala energianvändningen (tillförd energi) eller om man mätt nettovärmebehov i byggnaden. Skillnaden mellan dem kan bäst beskrivas så här, uttryckt som effekt:

$$\text{Nettovärmebehov (kW)} = \text{Total energianvändning (kW)} - \text{Förluster (kW)}$$

eller, uttryckt som energi:

$$\text{Nettovärmebehov (kWh/m}^2, \text{år)} = \text{Total energianvändning (kWh/m}^2, \text{år)} - \text{Förluster (kWh/m}^2, \text{år)}$$

Jämför med sambandet på föregående sida:

$$\text{Värmebehov (netto) (kWh/år)} = \text{Tillförd energi (kWh/år)} \times \text{Verkningsgrad}$$

Schablonvärde total energianvändning

Energimyndigheten har statistik på genomsnittlig energianvändning i småhus år 2006 - 2014 (*Energimyndigheten 2015*). Tabell 1 visar ett tvärsnitt av svenska småhus, oavsett ålder och läge.

Tabell 1. Energianvändning för värme och varmvatten i småhus, genomsnitt. Boytan var i medeltal ca 150 m².

År	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	MEDEL
kWh per småhus	18 900	18 000	18 000	18 700	18 600	17 300	16 800	16 700	15 900	17 700
kWh/m ²	128,4	121,7	120,9	125,8	126,5	116,9	113,0	109,9	106,4	119,0

I medeltal använde alltså det svenska småhuset 17700 kWh per år, varav ca 4500 kWh utgör varmvattenbehovet. Hushållsel tillkommer sedan med ca 6000 kWh/år.

Ett problem med denna statistik på energianvändning är att den inte direkt säger något om nettovärmebehovet. Det är en stor andel hus med värmepumpar och de behöver ju bara tillföras 40 - 50 procent av den energi som utgör nettovärmebehovet. Vidare har pannor en verkningsgrad som gör att tillförd energi överstiger nettovärmebehovet. Direktverkande elvärme och fjärrvärme har en verkningsgrad som ligger nära 100 procent.

Schablonvärde nettovärmebehov

Med hänsyn till detta kan man uppskatta nettovärmebehovet till något högre än medeltalet i tabell 1 och då kan 20000 kWh vara ett schablonvärde, ett medeltal för samtliga småhus med boyta 150 m².

Specifikt nettovärmebehov blir $20000 / 150 = 133 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$.

Effektbehovet netto blir $3 \times 20000 / 6600 = 9 \text{ kW}$.

Det specifika effektbehovet netto blir $9000 / 150 = 60 \text{ W/m}^2$.

För snabba men mycket grova överslag räknar man ofta med effektbehov på 50 - 100 W/m².

Observera att detta handlar om just ett genomsnitt av svenska småhus. Det finns hus med lägre energianvändning och med betydligt högre. Det skiljer i läge, ålder, standard, apparater, boendes vanor m.m.

Om man behöver korrigera för avvikelser från genomsnittshuset kan man få ledning av en modell, presenterad i en handbok från SLU, *Energi för lantbrukets byggnader (Ehrlemark och Svensson, 1982)*. I bild 8 visas grundvärden på värmebehov för några typer av hus byggda på 1980-talet enligt Svensk Byggnorm 1975. Tyvärr finns inget senare, liknande, material.

Bild 8.

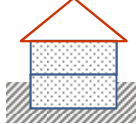
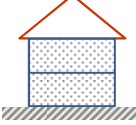
Grundvärden på specifikt värmebehov enligt Svensk Byggnorm, beräknade för några hus-typer, hus byggda på 1980-talet.

Mellansverige.

Bostadsytan är ca 135 m².

Värmebehovet inkluderar varmvatten.

(Ehrlemark och Svensson, 1982)

Hustyp	Värmebehov 80-talet
 <p>En våning Utan källare Utan inredd vind</p>	125 kWh/m ² , år
 <p>En våning Med källare Utan inredd vind</p>	145 kWh/m ² , år
 <p>En våning Utan källare Med inredd vind</p>	120 kWh/m ² , år
 <p>Två våningar Utan källare Utan inredd vind</p>	105 kWh/m ² , år
 <p>Två våningar Utan källare Med inredd vind</p>	100 kWh/m ² , år

För annat läge, annan storlek och annat typiskt byggnadsår kan man räkna om med hjälp av tabell 2, hämtad från samma källa.

Tabell 2. För hus som avviker från förutsättningarna i bild 8 kan man korrigera med en faktor ur tabellen.

Läge i landet	Boyta m ²	Hus med typiskt byggnadsår				
		1940	1950	1960	1970	1980
S. Götaland och Västkusten	200	2,33	2,16	1,73	1,21	0,86
	135	2,43	2,25	1,80	1,26	0,90
	100	2,50	2,32	1,85	1,30	0,93
Mellersta Sverige	200	2,59	2,40	1,92	1,34	0,96
	135	2,70	2,50	2,00	1,40	1,00
	100	2,78	2,58	2,06	1,44	1,03
S. Norrlands kustland och Dalarna	200	2,98	2,52	2,02	1,41	1,01
	135	3,11	2,63	2,10	1,47	1,05
	100	3,20	2,70	2,16	1,51	1,08
S. Norrlands inland och N. Norrlands kustland	200	3,50	2,76	2,21	1,55	1,10
	135	3,65	2,88	2,30	1,61	1,15
	100	3,75	2,96	2,37	1,66	1,18
N. Norrlands inland	200	3,89	3,00	2,40	1,68	1,20
	135	4,05	3,13	2,50	1,75	1,25
	100	4,17	3,22	2,58	1,80	1,29

Observera att tabellen avser vad man kallar det typiska byggnadsåret, inte husets ålder, och det visar hur byggnads- och isoleringsteknik utvecklats med tiden. Korrektionerna för byggnadsår förutsätter att inga förbättringar gjorts, men ofta har man gjort tilläggsisolering och andra åtgärder. Tilläggsisolering kan minska energibehovet med 5 - 10 procent och byte av fönster 5 - 15 procent, beroende på utgångsläge. Tabellen ska användas med viss försiktighet, men den kan ge viss vägledning.

Exempel på användning av grundvärde värmebehov och korrektionsfaktorer

Gör ett överslag på energibehov (värme och varmvatten) för ett tvåvåningshus från 1973 i södra Norrlands inland. Det har 220 m² boyta utan källare och utan inredd vind.

Värmebehov grundvärde enligt bild 8 är 105 kWh/m²,år

Korrektionsfaktor för boyta, typiskt byggnadsår och läge är 1,55

Det korrigerade specifika värmebehovet blir $105 \times 1,55 = 162 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$

Totalt värmebehov blir då: $220 \times 162 = 35\,640 \text{ kWh/år}$.

Vid 9 månaders uppvärmningsperiod beräknas maxeffekten som $3 \times 35640/6600 = 16,2 \text{ kW}$.

Husets skick har också stor betydelse. Många stora hus på landsbygden läcker mycket värme, därför att de är dåligt isolerade och dragiga. Man kanske använder mer än 4 m^3 olja per år till ett 200 m^2 bostadshus. Det betyder i så fall ett specifikt energibehov på mer än $200 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$.

Energi till varmvatten kan variera från 4000 till över 8000 kWh/år, en variation som beror mycket på antalet boende och deras vanor.

Bild 9.

Man kan jämföra med dagens krav från boverket på högsta energianvändning för nybyggda småhus i klimatzon I - IV.

Småhus med annan värme än elvärme.

klimatzon kWh/m²,år

I	130
II	110
III	90
IV	80



Graddagar och gradtimmar för olika orter visar på variationen i landet

Graddagar är ett mått på hur lång tid och hur mycket utetemperatur avviker från en given referens-temperatur. Man brukar då använda 17°C som referenstemperatur, därför att man räknar med att solinstrålning och internvärme (apparater, människor) höjer temperaturen från 17°C till önskvärd innetemperatur. Referenstemperatur kallas även balanstemperatur.

Ett dygn med ex. medeldygnstemperaturen $+10^\circ\text{C}$ ger $17 - 10 = 7$ graddagar och ett dygn med ex. medeltemperatur -5°C ger $17 + 5 = 22$ graddagar. Man summerar alla graddagar (dagar med en medeltemperatur under 17°C) och man får då ett graddagtal för orten. Detta är direkt proportionellt mot energibehovet för uppvärmning. Ofta är det praktiskt att räkna om graddagar till gradtimmar genom att multiplicera med 24. De standardiserade graddagtalerna för olika orter grundas på statistik för temperatur och vind. Se bilaga 2.

Tabell 3. Exempel på klimatdata i form av gradtimmar för några orter. DUT står för dimensionerande utetemperatur på orten. Data för fler orter från norr till söder finns i Bilaga 2. (Frico AB, Teknisk handbok).

Ort	DUT $^\circ\text{C}$	Årsmedel- temperatur $^\circ\text{C}$	Antal gradtimmar för uppvärmning till 17°C
Luleå	-28	2,0	140 000
Östersund	-24	2,7	132 000
Edsbyn	-22	3,9	118 000
Västerås	-18	5,9	98 000
Jönköping	-18	6,1	96 000
Kristianstad	-16	7,7	81 000

Värmebehovet är proportionellt mot antalet gradtimmar. I Östersund är exempelvis behovet 38 procent högre än för samma hus om det låg i Jönköping. Beräkning: $(132000/96000 - 1) = 0,38$.

Variationen i utetemperatur över året följer i medeltal en kurva som i bild 8. Temperaturdata som i diagrammet ger då underlag för beräkning av antal graddagar.

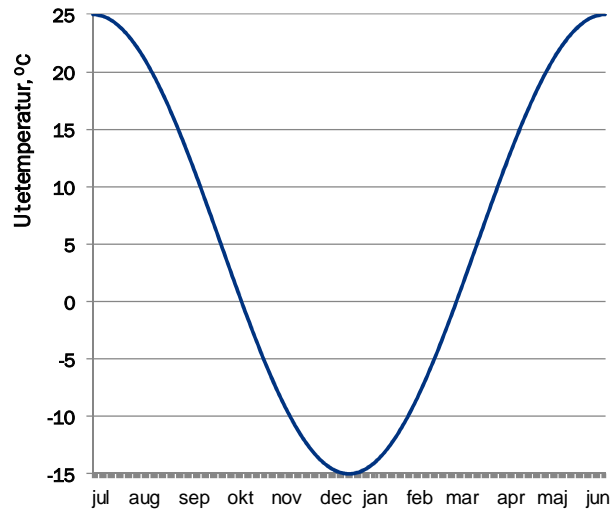


Bild 10. Principdiagram över utetemperaturens variation över året för en ort.

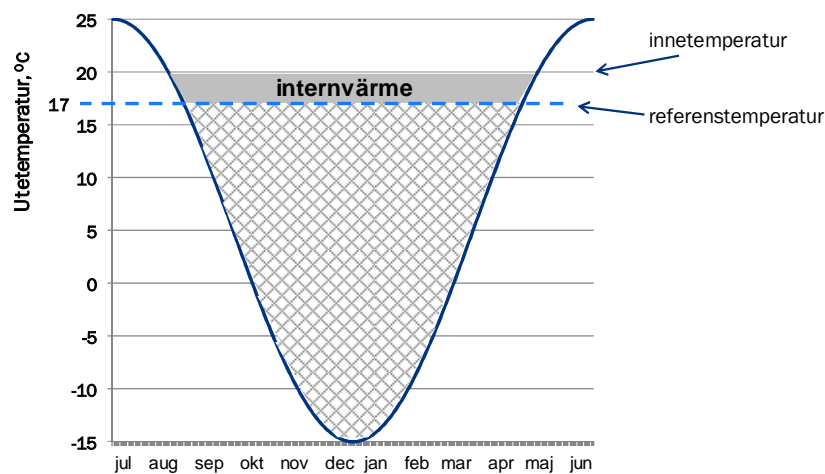


Bild 11. Principdiagram över energibehovets variation över året för en ort. Den streckmarkerade ytan motsvarar antalet graddagar för orten. 17 °C är referenstemperatur, den temperatur som värmeanläggningen ska svara för. Internvärme höjer rumstemperaturen från 17 till önskad 20 °C.

Man har bra användning för graddagar och gradtimmar, när man vill räkna ut hur mycket värme som försvinner ut genom t.ex. ett fönster. U-värdet multipliceras då med antal gradtimmar för orten.

Exempel på användning av gradtimmar

Ett äldre fönster har U-värde 3,0 W/m²,grad. Om antalet gradtimmar på orten är 98000, som i ex. Västerås, då släpper 1 m² fönster igenom $3 \times 98\ 000 = 294\ 000\ Wh = 294\ kWh$ varje år.

Vilken effekt ska pannan ha?

Beräkningarna ovan anger effektbehovet. Nästa fråga är val av effekt på pannan. Ska den verkligen vara dimensionerad för en maxeffekt, som egentligen behövs bara några få dagar på året? Frågan kan belysas med ett så kallat varaktighetsdiagram, grundat på behov som i bild 10 och 11. Utifrån ett diagram som i bild 12 har årets dagar ordnats efter effektbehov, från högsta till lägsta effekt.

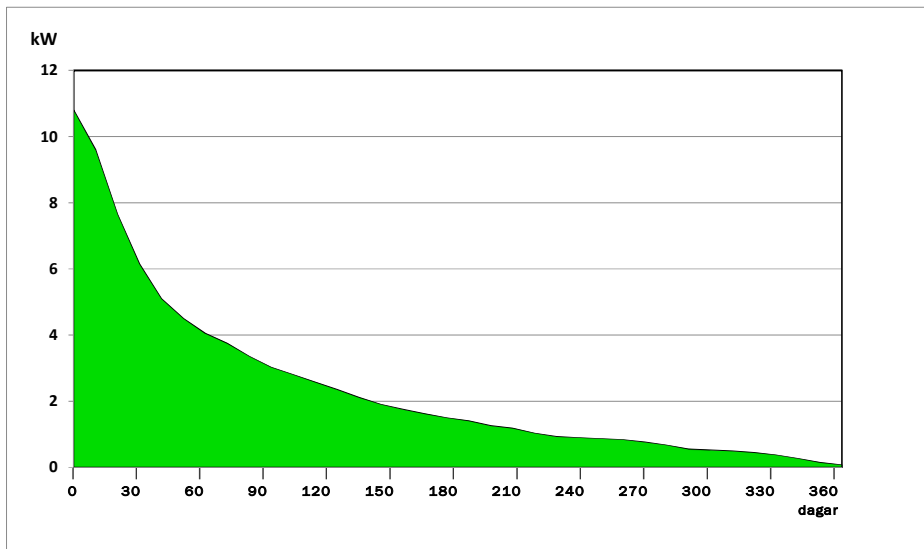


Bild 12. Exempel på varaktighetsdiagram som visar antal dagar med olika effektbehov. Effekten inkluderar här både värme och tappvarmvatten, vilket alltså innebär ett energibehov även sommartid.

Ett sådant diagram ger en ledning för att bestämma en pannas effekt. Det är få dagar på året som pannan verkligen utnyttjas till max och en panna med den högsta effekten kan då innebära en onödigt stor investering. Istället kanske man kan välja en panna med lägre effekt som täcker en baslast, under förutsättning att man kan täcka upp spetslasten på annat sätt, med en annan energikälla. Detta kan ge en bättre totalekonomi och bättre genomsnittlig verkningsgrad.

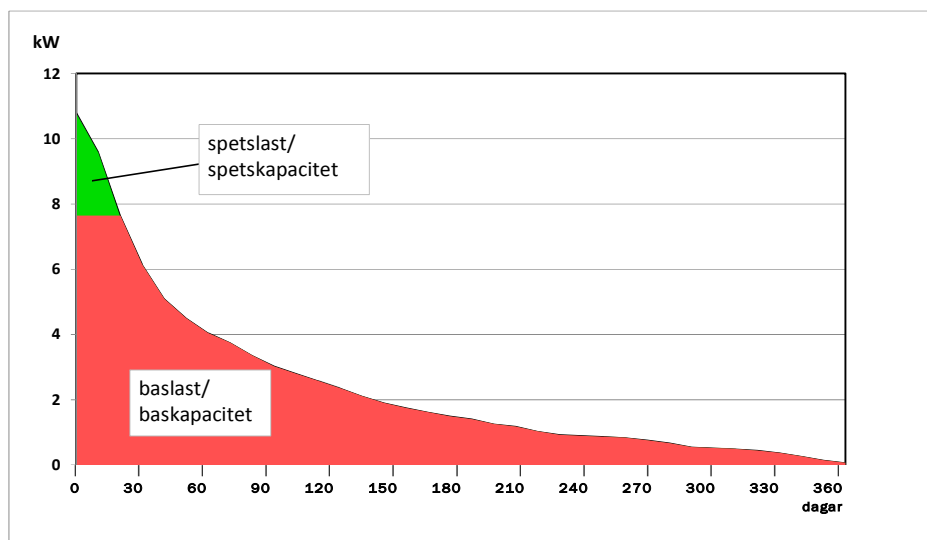


Bild 13. Varaktighetsdiagram. Den planerade pannan kan ha en baskapacitet som inte når upp till max effektbehov. I detta fall är den effekt som svarar för baslasten ungefär 70 procent av maxeffektbehov, men den effekten räcker ändå till för 96 procent av hela årets värmebehov. Om möjlighet finns, skulle en annan energikälla på 3 kW kunna svara för spetskapaciteten och 4 procent av energibehovet.

Ett exempel på kompletterande spetskapacitet kan vara en pelletskamin, särskilt om huset har en öppen planlösning. För baskapaciteten i bostadshuset kan en flispanna eller en vedpanna svara. När en gårdsvärmecentral planeras, bör man tänka i samma banor. Värmekulverten till huset kan svara för baskapaciteten och så ordnar man med spetskapacitet i huset. Det bör beaktas i kulvertplaneringen och kan påverka dimensioneringen.

Diagrammet i bild 13 visar också att pannan en stor del av året kan få gå med reducerad effekt. I de flesta pannor innebär en låg last att verkningsgraden blir sämre. Ett alternativ i värmecentralen kan vara att ha två pannor. Ett annat alternativ är en panna med automatisk tändning och ackumulatortank.

Förutsättningarna i det enskilda fallet får avgöra vilken lösning som är bäst. Det beror på investeringarnas storlek, bränslepriser m.m.

Akkumulatortank för värmelagring

En ackumulatortank är ett nödvändigt komplement till en vedpanna för att öka bekvämligheten, öka verkningsgraden och minska utsläppen. Vid rätt storlek på pannan och rätt dimensionerad tank kan man elda en gång per dygn och då lagra den värme som behövs under dygnet. Därför kan man elda med full effekt, bättre än att köra med låg belastning som medför låg verkningsgrad och ökade utsläpp.

Om man utnyttjar solvärme från en solfångare lagar man värmen i en tank. Det är också ett sätt att använda solceller för den egna värmen, om tanken har en elpatron.

I en gårdsvärmeanläggning kan en ackumulatortank ha en plats. Det gäller särskilt satseldade pannor som halmpannor, där en tank används som buffert och värmelager. Pannan kanske ska förse en tork med värme under några veckor då effektbehovet är mycket högt. Därefter kan man elda med full effekt för att ladda tanken. Pannan startas bara när temperaturen i tanken gått ner.

Även vid fliseldning och stor variation i effektbehov har man sådana fördelar med en tank och tändningsautomatik i pannan.

Så mycket kan lagras i tanken

1m³ vatten lagrar 1,16 kWh för varje grads temperaturhöjning. Tankens kapacitet beror alltså av vattenvolymen och skillnaden i temperatur (ΔT) mellan laddningens start och laddningens slut. Sambandet som används för beräkningar skrivs så här:

$$E \text{ (kWh)} = V \text{ (m}^3\text{)} \times 1,16 \times \Delta T \text{ (}^\circ\text{C)}$$

Principen för hur man dimensionerar en ackumulatortank visas med ett exempel.

Exempel med vedpanna och ackumulatortank - beräkna tankens volym

Pannans effekt är 25 kW. Ett normalkallt vinterdygn behöver huset en värmeeffekt på 6 kW. Värmebehovet för ett dygn blir då $6 \times 24 = 144$ kWh. Tanken ska dimensioneras så att man klarar sig med att elda en gång per dygn. En eldning ska alltså ge 144 kWh och då pannans effekt är 25 kW kommer det att ta $144/25 = 5,8$ tim, alltså ca 6 tim. Efter dessa 6 timmar ska alltså tanken under $24 - 6 = 18$ timmar avge 6 kW. Tanken måste kunna lagra $18 \times 6 = 108$ kWh. Vi antar att $\Delta T = 50^\circ\text{C}$. Sambandet ovan ger:

$$108 = V \times 1,16 \times 50$$

$$\text{Då är volymen } V = \frac{108}{1,16 \times 50} = 1,86 \text{ m}^3$$

Här förutsätts naturligtvis att pannan rymmer ett inlägg ved som ger 144 kWh värme.

I exemplet ska 1,86 m³ vatten kunna värmas. I praktiken kan man behöva lite marginal och väljer då en tank som rymmer minst 2 m³. Varje beräkning beror på förutsättningarna, bl.a. vilka temperaturer man vill arbeta med och hur ofta pannan ska eldas. För att den beräknade volymen ska kunna användas som planerat, är det viktigt att koppla in tanken på rätt sätt och ladda den på rätt sätt med ett så kallat laddkoppel. Skiktning av varmt och kallt vatten är en nödvändighet.

Tabell 4. Exempel på hur mycket värme som kan lagras vid 30 respektive 50 °C temperaturintervall, teoretisk beräkning utan hänsyn till förluster från tanken till omgivningen.

Volym	Teoretisk lagringskapacitet värme	
	vid ΔT=30 °C	vid ΔT=50 °C
m ³	kWh	kWh
2	70	116
4	140	230
6	210	350
8	280	460
10	350	580
20	700	1 160
40	1 390	2 320
60	2 090	3 480

Tabell 4 visar exempel på tankvolymerna och hur mycket värme man teoretiskt kan lagra. I praktiken bör man ta till lite större volymer, bl.a. för att kompensera för förluster.

Isolering av tanken

Energimyndigheten har testat och mätt stilleståndsförluster hos fem ackumulatortankar i storlek 500 - 600 liter. De var isolerade med upp till 10 cm skumplast. Högsta förlusteffekten var 170 W och den lägsta 96 W. Det finns en del att vinna på förbättring av isoleringen.

En tank på 2 m³ som har 10 cm isolering förlorar ca 4-5 kWh/dygn. Om man tilläggsisolerar med ytterligare 20 cm minskar förlusterna till 1 - 1,5 kWh/dygn. På 9 månader sparas 800 - 900 kWh.

En tank på 20 m³ som är försedd med 20 cm isolering förlorar ca 10-15 kWh/dygn. Om man tilläggsisolerar med ytterligare 20 cm minskar förlusterna till 6 - 8 kWh/dygn. På 9 månader sparas 1400 - 1500 kWh.

Bild 14.

Akkumulatortankar, bufferttankar och varmvattenberedare bör vara välisolerade.

Man kan vinna på att komplettera isoleringen, särskilt om ytan känns onödigt varm.



Djurstallars effektbehov

Det är svårt att ange riktlinjer för beräkning av djurstallars effektbehov och energibehov. Bäst är att vända sig till lantbrukets byggnadsrådgivning. Särskilt vid nybyggnad är värmebalansberäkning ett bra verktyg.

I jämförelse med bostäder har många djurstallar en större andel av värmeförlusterna genom ventilationen.

I djurstallar har man betydande värmeavgivning från djuren, vilket gör att energibehovet under ett år inte är så stort. Däremot kan stallets maximala effektbehov vara stort, särskilt i djurstallar med omgångsuppfödning. Vid insättning av ny omgång är värmeavgivningen från djuren låg samtidigt som temperaturkravet är högre. Kombinationen låg energianvändning och hög maxeffekt gör att det sällan blir ekonomiskt försvarbart att välja avancerade värmekällor som kräver stora investeringar.

Bedömning av effektbehov för befintliga byggnader kan ofta utgå från installerad effekt för befintlig uppvärmning och anpassa värdet efter erfarenhet. Först bör man se om man kan minska effektbehovet genom att isolera, täta, förbättra styrning o.s.v. Det är en viktig åtgärd att se över ventilationen och hur den samregleras med värmen, så att man samtidigt har bra temperatur och bra luftfuktighet. Om stall-luften hålls onödigt torr, så är det många kWh extra som blåses ut. Det går åt 0,33 kWh för att höja temperaturen 1 °C i 1000 m³ luft.

Exempel: Vid en temperaturskillnad på 30 °C mellan inne och ute kommer uppvärmningen av ett luftflöde på 1000 m³/h att kosta 10 kW effekt.

I s.k. klimatstallar har man som tumregel att summan av temperaturen och relativa luftfuktigheten i procent bör vara lika med 90, till exempel 20 °C och 70 procent relativ fuktighet. I en dansk handbok (*Poulsen och Pedersen, 2007*) har man räknat på effektbehov vid olika kombinationer av temperatur och relativ luftfuktighet. Vid -10 °C som dimensionerande utetemperatur ökar effektbehovet med 10 - 20 procent om man vid 20 °C går in för att sänka luftfuktigheten från 70 till 65 procent.

Gårdsverkstadens effektbehov

Kraven på värme i gårdsverkstaden är mycket skiftande. Det beror på hur verkstaden används, vilken temperatur man vill ha ständigt eller hur snabbt utrymmet måste värmas upp vid behov och till vilken temperatur. Några generella riktlinjer kan därför inte ges.

Om man bara behöver värma verkstaden när det behövs kan man räkna på uppvärmning av verkstadens luftvolym till viss temperatur på viss tid. För att höja temperaturen 1 grad på 1000 m³ luft går det åt 0,33 kWh.

Exempel: En verkstad har måtten 12 x 12 x 6 m = 864 m³. Höjning av lufttemperaturen från -10°C till +10°C kräver då 20 x 0,33 x 0,864 = 5,7 kWh. Om uppvärmningen sker med ex. en eldriven arotemper med effekten 9 kW så tar det 5,7/9 = 0,63 tim.

I praktiken tar det längre tid än i exemplet, därför att inredning och maskiner också varit nerkylda och därför att man får värmeförluster genom byggnadsskalet, när temperaturen stiger. Dessutom förloras värme genom ventilation. Givetvis ska man undvika att ha stora portar öppna under uppvärmningen.

I en normalisolerad verkstad av denna storlek räcker en effekt på 2 - 3 kW för att hålla temperaturen några grader över nollpunkten. Det är inte alltid självklart att värma gårdsverkstaden med kulvert från gårdens värmecentral, när energibehovet inte är så stort och effektbehovet är måttligt. Det kan i vissa fall bli billigare och enklare med en elarotemper och/eller elradiatorer. Ett bra tips är att ha en infrarålvärmare över en arbetsbänk för tillfälliga arbeten där.

Spannmålstorkens effektbehov

Spannmålstorkens stora effektbehov kan ge problem i planeringen. Man har kanske att ta ställning till vad det är värt att investera i stor panna för kanske bara 4 - 5 veckors torkning. I grunden har man tre alternativ att pröva mot gårdens förutsättningar:

1. Värmeanläggningen ska klara torkens hela effektbehov.
2. Värmeanläggningen ska klara en del av torkens effektbehov.
3. Värmeanläggningen ska inte värma torken utan den får ha en separat panna.

1. Värmeanläggningen klarar torkens hela effektbehov

Idealet är om värmeanläggningen klarar hela torkens behov. Efter att torkningen avslutats så behövs kanske den höga effekten för ex. uppvärmning av djurstallar eller försäljning av färdig värme. Finns inte den möjligheten, så har man några olika alternativ:

- a) Pannan får gå med låg belastning utanför torkningssäsong. Det är inte alla pannor som fungerar bra vid låg belastning och verkningsgraden blir sämre.
- b) Pannan kombineras med en ackumulatortank, vilket gör att pannan inte behöver gå kontinuerligt med låg belastning. Denna lösning är vanlig vid satseldade pannor, halmpannor.
- c) Tvåpannelösning. Med dubbla pannor kan man köra båda under torkning, när effektbehovet är stort, och efter torkningssäsong behöver bara en av pannorna gå. Pannorna får på detta vis gå med gynnsammare belastning och man får en bättre verkningsgrad.

Torkens gamla panna ersätts med en fläkt plus ett så kallat varmvattenbatteri, en värmeväxlare, där värme växlas över från kulvertledning till torkluft. Det rekommenderas att fläkten har 25 procent högre kapacitet än gamla pannans fläkt. Fläkten kan placeras före varmvattenbatteriet eller mellan batteriet och torken. Om man väljer en axialfläkt, så ska den placeras före batteriet. Axialfläktens motor får nämligen inte tillräcklig kylning i en uppvärmd luftström. Rekommendationen är en radialfläkt. Istället för att sätta fläkten före torken kan man ha en sugande fläkt på torkens våtluftssida.

Varmvattenbatteriet ska dimensioneras utifrån torkens och kulvertens parametrar.

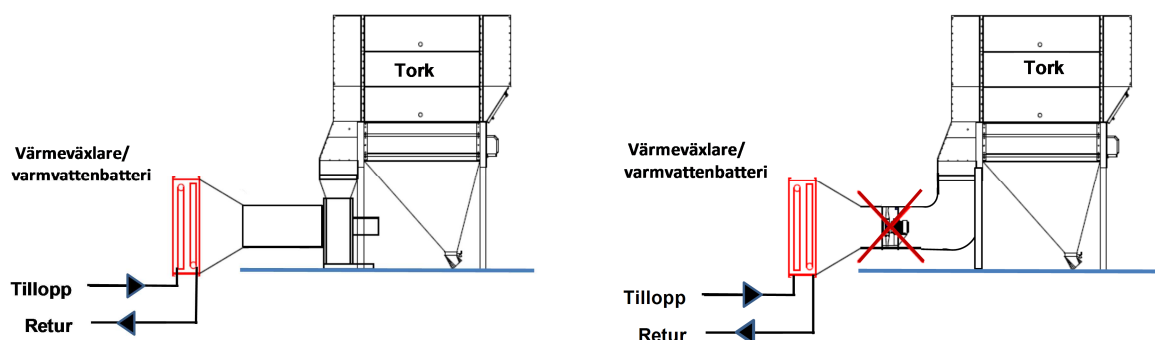


Bild 15. En fläkt som placeras mellan varmvattenbatteri och tork ska vara en radialfläkt som i vänstra bilden. En axialfläktmotor i en varm luftström får inte tillräcklig kylning, högra bilden. (Efter Tornum AB.)

2. Värmeanläggningen klarar del av torkens effektbehov

I detta alternativ blir det övriga byggnaders effektbehov, som bestämmer värmeanläggningens effekt. Denna effekt får räcka till en del av torkluftens uppvärmning. Man får acceptera att oljan inte kan er-

sättas helt, men å andra sidan får man en lägre investering. Den befintliga pannans ålder och skick är faktorer som också påverkar valet.

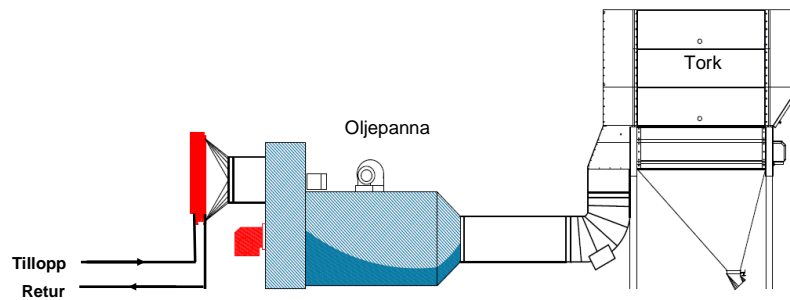


Bild 16. I en värmeväxlare, så kallat varmvattenbatteri, förvärms luften så mycket som tillgänglig effekt medger. Den befintliga oljepannan värmer sedan upp till önskad torkluftstemperatur. En förutsättning är en konstruktion där pannans fläktmotor inte utsätts för en varm luftström och därmed får otillräcklig kylning. (Efter Tornum AB.)

Anordningen i bild 16 sänker dock torkens kapacitet. Orsaken är inte bara ett ökat luftmotstånd. Den förvärmade luften får lägre densitet, med påföljd att pannfläkten inte längre trycker lika många kilo luft per timme till torken. Torkluftens vattenupptagande förmåga är knuten till hur många kilo luft som blåses genom torken, inte till antalet kubikmeter. Därför sänks kapaciteten jämfört med tidigare. Detta kan kompenseras med andra åtgärder för att energieffektivisera torken.

3. Separat panna används till torken

I detta alternativ behöver man inte ta hänsyn till torken när värmeanläggningen förplaneras och i många fall underlättar det. Ett viktigt hänsyn är dock val av bränsle. Det kan vara rationellt och praktiskt att använda samma bränsle och samma bränslelager till båda, t.ex. flis. På senare år har biobränsleeldade varmluftspannor blivit intressanta alternativ och det finns olika lösningar. Se även rapporten Alternativ till spannmålstorkning med fossil energi (Jonasson och Neuman, 2014).

Bestämning av effektbehov för torken

Precis som med bostäder och andra byggnader bör man först minska förlusterna, energieffektivisera torken, innan man bestämmer effekten. En sådan åtgärd kan vara högre torktemperatur till fodersäd. Bättre styrning av torken, bättre vattenhaltskontroll, isolering av varmluftskanal och fler luftningsbara fickor är andra åtgärder. Se vidare i del 4 av Handbok i energieffektivisering (Neuman m.fl. 2013).

Utgå från nuvarande effekt

Det är naturligtvis enklast när man vet den befintliga pannans effekt. Denna siffra kan behöva justeras, beroende på om pannan är rätt dimensionerad för torken eller om en konvertering medför en förändring av torkluftstemperaturen. Effekten kanske också behöver ökas för framtida torkningsbehov.

Beräkna effektbehov, kanske även framtida behov.

Energibehovet beror på hur mycket vatten som ska torkas bort. Effektbehovet beror dessutom på den tid som torkningen får ta. Mängd spannmål, in- och utgående vattenhalter samt tid är avgörande.

När 1 ton spannmål med 13 procent vattenhalt har torkats ner från 16 procent så har 36 kg vatten torkats bort. Om ingående vattenhalt istället är 19 procent, så är det dubbelt så mycket, 74 kg vatten, som ska torkas bort för varje ton torkad spannmål. Som riktvärde går det åt ca 0,15 l olja för att torka bort 1 kg vatten, motsvarande 1,5 kWh. Detta är bruttotillförseln. Om man antar en verkningsgrad på 80 procent blir det 1,2 kWh att tillföra torken med torkluften för varje kg vatten. Den siffran används i underlaget för diagrammet i bild 14. Det visar effektens samband med ingående vattenhalt, torkad

kvantitet och tiden för torkning. Man räknar ofta med 20 dagar för torkning och om pannan utnyttjas 20 timmar per dygn så blir det alltså 400 torktimmar per år.

Ovanstående är en schablonmässig överslagsberäkning. Typ av tork och luftningsmöjligheter påverkar både antal torkdagar och antal torktimmar per dygn. I den enkla satstorken, där man både torkar och kyler i torkfickan, står ju torkningen stilla en del vid kylning och satsbyte. Stilleståndet kan minskas, om man flyttar kylningen till en luftad ficka. Med en dubbel satstork eller en kontinuerlig tork kan man torka i stort sett hela dygnet, så länge man inte behöver stoppa på grund av spannmåls- eller sortbyte.

Har man möjlighet att lagra otorkad spannmål i luftade fickor, så kan man utöka torkens gångtid.

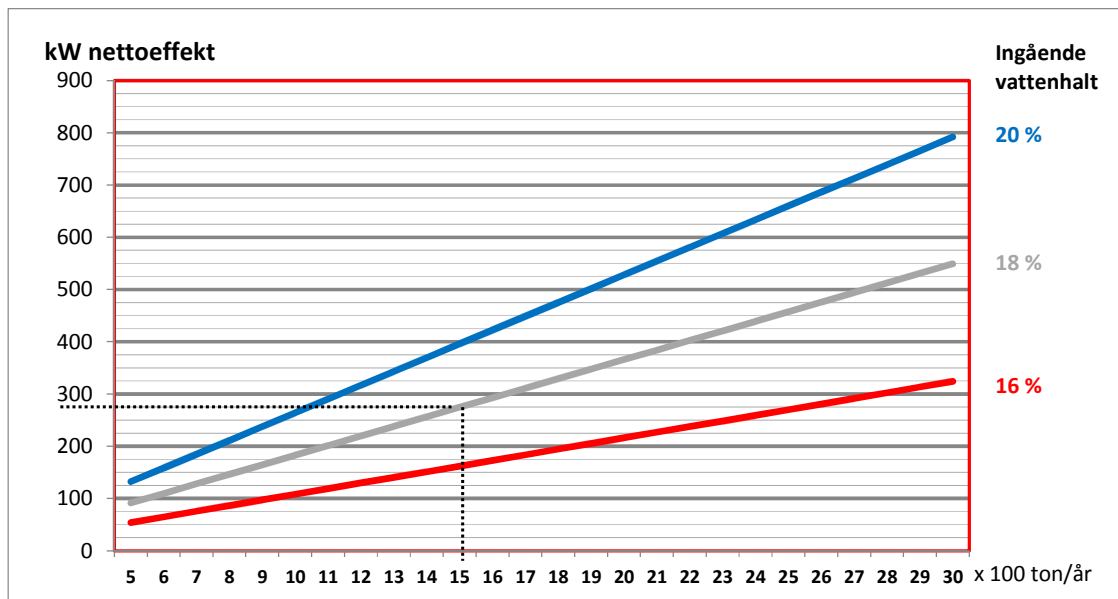


Bild 17. Samband mellan nettoeffektbehov, torkad kvantitet och ingående vattenhalter vid nedtorkning till 13 procent vattenhalt. Effektbehovet har beräknats för 400 torktimmar per år. Se exemplet nedan som också visas med en prickad linje i diagrammet.

Diagrammet ger pannans utgående effekt. Pannans märkeffekt ska alltså ha minst detta värde. Om man har en kulvert från panna till tork, så ska pannans effekt även täcka in kulvertens värmeförluster (se sida 30, tabell 7).

Med ledning av diagrammet kan man uppskatta en torks effektbehov som i följande exempel, den prickade linjen i diagrammet.

Exempel torkens effektbehov

Lantbrukare A har en satstork, som brukar gå ungefär 400 timmar varje år. Det är ungefär 20 dygn, där satsbyte och kylning i torkfickan tar ca 4 timmar per dygn. A vill kunna tröska 1500 ton spannmål per år, med 16 procent medelvattenhalt. Han vill dock ha en marginal för blötare år effektbehovet för torkning från 18 procent. Diagrammet ger då en nettoeffekt på 275 kW - punktlinjen i diagrammet.

A planerar för en flispanna och en kulvert till torken. Han bedömer verkningsgraden till 70 procent. Bruttoeffekten, tillförsel av bränsle, blir då $275/0,70 = 393$ kW. Med flis som har ett värmevärde av 950 kW/m^3 kommer han att behöva $393/950 = 0,41 \text{ m}^3$ flis per timme.

Värma bostaden med mjölkvärme?

Mjölkkylning är en tänkbar energikälla, men den kan knappast utnyttjas som en del i en gårdsvärmeanläggning. Det förekommer situationer, där mjölkvärme kan användas separat till någon bostad, förutom den vanligaste användningen till diskvatten och varmvatten. Idag har de flesta mjölkgårdar tillgång till värmeåtervinning, men utnyttjandegraden växlar. En värmeväxlare, inkopplad på kylkretsen, avger en del av värmen till vatten i en särskild krets.



Bild 18. I värmeväxlaren, här isolerad med svart skumplast, växlas värme över från kylkretsen till vatten. Även ledningarna ska isoleras.

Mjölken som kommer till tanken innehåller drygt 30 kWh mer värme per ton än den 4-gradiga mjölken i tanken. Värmen, som överförs till vatten i värmeväxlaren, kommer dels från mjölken och dels från den el som driver kylkompressorn. Temperaturen på vattnet blir i närheten av 40 - 50 °C, beroende på teknik och skötsel.

Energiflödet visas i princip i bild 19.

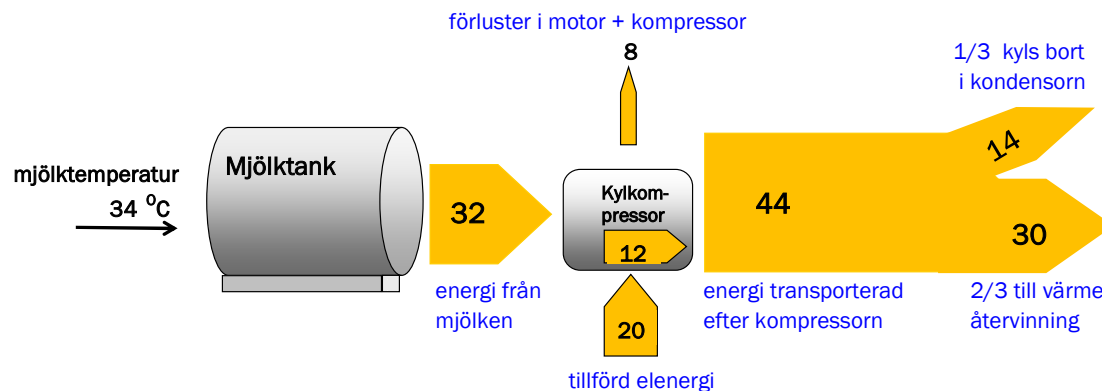


Bild 19. Exempel på energiflöde, räknat som kWh per ton mjölk. I detta exempel har mjölken kylts något i ledningen fram till tanken, till 34 °C. Kylaggregatet behöver här 20 kWh elenergi per ton mjölk.

I detta fall tas 32 kWh per ton mjölk upp av kylkretsens förångare. Kylkretsen tillförs även ca 12 kWh per ton mjölk via kompressorn, ca 60 procent av den tillförda elenergin. Efter kompressorn transporteras alltså 32 + 12 = 44 kWh per ton mjölk med köldmediet. Av detta kan 30 kWh/ton utnyttjas till att värma vatten i en plattvärmeväxlare. Resten kyls bort i kondensorn, ca 1/3 för att kylkretsen ska fungera bra.

Frågan om värmeåtervinningen kan utnyttjas till bostadsvärme måste utredas i varje särskilt fall och med gårdens förutsättningar såsom mjölmängd, avstånd och byggnadernas behov.

Om gården i bild 18 producerar 2 ton mjölk per dag (antas vara ungefär normalt för en mjölkrobot), så finns alltså en potential i värmeåtervinningen på $2 \times 30 = 60$ kWh/dag. Denna energi bör först användas till varmvatten och diskvatten och det behovet är ca 30 kWh/dag, varav 20 - 24 kWh kan komma från värmeåtervinningen. Därefter finns en reserv på $60 - 24 = 36$ kWh/dag. Utslaget på dygnets 24 timmar ger det en medeleffekt på $36/24 = 1,5$ kW.

Detta är en låg effekt för att vara intressant. En normal villa av hygglig standard har ett medeleffektbehov på ca 3 kW och ett maxbehov på ca 9 kW. Många bostadshus ute på gårdarna, som är större och äldre, behöver högre medeleffekt än 3 kW. En kulvert från lagården till bostaden blir dyr om den effekt som överförs är låg i förhållande till kulvertens kapacitet. Då bör man välja andra alternativ för bostaden. Överskottsvärme från värmeåtervinningen bör istället användas till t.ex. personalutrymmen.

Det måste till större besättningar för att värma bostäder. Om gården har ex. två robotar och levererar 4 ton mjölk per dag så kan energireserven efter varmvatten ge en medeleffekt på 3 kW. Det är knappast tillräckligt med tanke på det större behovet när det är kallt ute.

Man bör också tänka på följande:

- För att värmen ska tas tillvara fordras att man håller värmeväxlare, vattenledningar, förrådskärl och varmvattenberedare väl isolerade.
- Potentialen i värmeåtervinningen beror till en del på underhåll och ventilation av kondensorn. Hög temperatur vid kondensorn gör att kylkompressorn använder mer energi och därför levererar mer energi till värmeåtervinningen. Fördel eller nackdel?
- Effektförlusten i fabriksstillverkad kulvert är 12 - 16 W/m (se tabell 7, sida 30). Om man får lägga en kulvert på 50 m till bostaden, så bör man räkna med en effektförlust på $0,015 \times 50 = 0,75$ kW, alltså en stor del av den effekt som ska överföras.
- Värmeåtervinningen ger vatten med temperatur mellan 40 och 55 °C, nivån beror på fabrikat och inställt tryck. Det temperaturområdet kan passa till ett system med golvvärme.
- Bostadshusets maximala effektbehov under vintern är ungefär tre gånger så stort som medeleffekten, d.v.s. från 9 kW och uppåt. I regel behövs därför ytterligare en värmekälla. Den värmekällan eller annat tillskott behövs också för att höja temperaturen på tappvarmvatten över de 60 °C, som krävs för att förhindra legionella. Kostnaden för dubbla värmekällor bör också beaktas.

Tekniken med förkylning av mjölken före tanken med hjälp av kallvatten i en särskild förkylare är värd ett större intresse. Genom förkylningen minskar kylkompressorns energibehov, ges möjlighet att förvärma kornas dricksvatten och dessutom minskar risken för höga bakterietal i mjölken. Förkylningen minskar givetvis hur mycket värme man kan få ut i värmeåtervinningen. Det måste man också ta hänsyn till och då räkna på energiflöde och energibehov.

Några slutsatser om möjligheten att använda mjölkvärme till bostaden:

- Varje fall måste bedömas utifrån sina förutsättningar. Anlita expertis.
- Börja med åtgärder i mjölkkyllningen som att ventilera kondensorn och installera förkylning. Därefter räkna på vad värmeåtervinning kan ge.
- I regel bör värmeåtervinningen i första hand användas till varmvatten och eventuell uppvärmning i personalutrymmen.
- Det krävs lite större besättningar för att ge en energireserv som räcker till ett bostadshus.
- Oftast behövs ytterligare värmekälla i bostaden för spetslasterna.
- Ju längre kulvert desto intressantare är det att använda en annan värmekälla i bostaden.

Värmeöverföring - kulvertsystemet

För värmeöverföring mellan byggnader används en värmekulvert som grävs ned i marken. Man bör ställa följande krav på kulvertledningen:

- Kulverten ska vara så isolerad att värmeförlusterna hålls på rimlig nivå.
- Materialet i ledningsrör och isolering ska tåla systemets temperaturer.
- Vatten ska inte kunna tränga in i isoleringen, eftersom det i så fall påtagligt minskar isoleringsförmågan.
- Materialet ska vara tätt mot syrediffusion, så att man inte får in syre i ledningen.
- Det är önskvärt att kulverten är lätt att lägga, både rakt och i böjar samt med så få skarvar som möjligt.

Kulverten kan ha lite olika konstruktion och utseende. Huvudkomponenterna är ledningsrör, även kallat mediarör, och isolering. Fabrikstillverkade kulvertar har ett mantelrör som yttre skydd, men andra konstruktioner finns. Mantelröret kan vara korrugerat som i bild 20 eller slätt. Det korrugerade röret är lättare att böja.

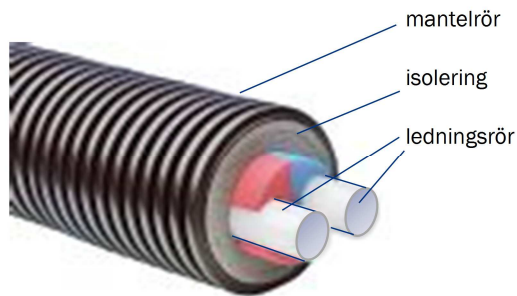


Bild 20.
Kulvert, färdig för läggning. Bilden visar en kulvert med framledning och returledning, dubbelrör.
(Källa: Uponor)



Bild 21.
Kulvert i byggsystem med ledningsrör och isolerblock (Källa: ElgoCell)

Båda bilderna visar konstruktion för enbart värmeöverföring. En kulvertledning kan ha ytterligare ett eller två mediarör (ledningsrör) för varmvatten.

Mediaröret kan vara av PEX, stål eller koppar. I gårdsanläggningar används oftast kulvert med PEX, som är en extra tät typ av polyeten. En fördel med PEX-kulvert är att den kan böjas och man köper den i färdiga längder på rulle. Då slipper man skarvning. Ett korrugerat mantelrör (bild 20) är flexibla än ett slätt och därför lättare att lägga.

Med PEX-rör slipper man ta hänsyn till längdutvidgning vid uppvärmning, vilket man måste med stål och koppar. PEX tål inte lika höga temperaturer som stål och koppar men fullt tillräckligt för en gårdsanläggning. Högsta temperatur i PEX-ledningen är en fråga om teknisk livslängd, som alltså har ett samband med temperaturen. 70 °C är vad som anges för kontinuerlig drift och då räknar man med en livslängd upp emot 50 år. 80 °C är inte ovanligt och det bedöms ändå ge fullt acceptabel livslängd i gårdsanläggningar. 90 - 95 °C anges som maximum under kortare perioder. Därför är det möjligt att höja temperaturen till spannmålstorcken under en torkningsssäsong på 4 - 5 veckor. När man torkar fodersäd vill man ofta höja temperaturen i torkluften för att öka kapaciteten och förbättra bränsleeffektiviteten.

Har man kontinuerlig drift med temperaturer över 80 °C bör man välja mediarör av stål eller koppar.

Rördimensionen kan anges som mediarörets ytterdiameter/innerdiameter. I exempelvis en PEX-kulvert 50/40,8 har mediaröret en yttre diameter på 50 mm och en inre på 40,8 mm. Beteckningen 50/4,6 för samma rör betyder att ytterdiametern är 50 mm och godstjockleken 4,6 mm.

Vanliga dimensioner för ytterdiameter i gårdsanläggningar är 25, 32, 40, 50, 63, 75 och 90 mm, men även större diametrar finns. Tabell 6 på sida 30 visar vilka effekter som kan överföras med olika dimensioner.

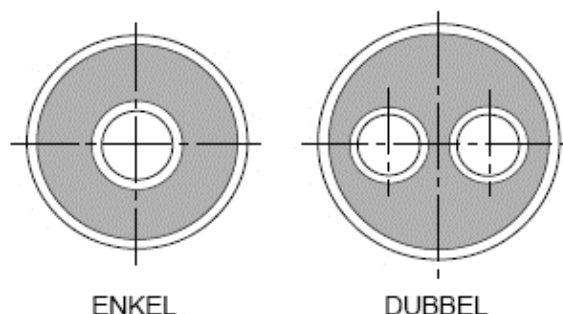
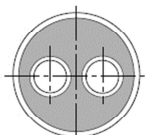
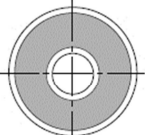


Bild 22. Kulvertrör för värme finns som enkelrör och dubbelrör. Det finns också kulvert med fyra mediarör, där två rör då används för cirkulerande tappvarmvatten.

Värmekulvert finns som enkelrör och dubbelrör. Dubbelrör, med framledning och retur tillsammans, förekommer upp till 63 mm ytterdiameter. Valet mellan enkelrör och dubbelrör beror bland annat på hur lätt det är att lägga kulverten och då spelar vikt och bockradie en viss roll. Oftast används dubbelrör upp till 50 mm och från 63 mm lägger man enkelrör.

Tabell 5. Exempel på tillverkares kulvertdimensioner med vikt och bockradie. (Uponor AB)

Kulverttyp	Mediarör, dimension i mm		Mantelrör diameter mm	Vikt kg/m	Bockradie mm
	ytterdiameter/ innerdiameter	ytterdiameter x godstjocklek			
 Dubbelrör	2x 25/20,4	2 x 25 x 2,3	175	1,9	500
	2x 32/26,0	2 x 32 x 3,0	175	2,1	600
	2x 40/32,6	2 x 40 x 3,7	175	2,4	800
	2x 50/40,8	2 x 50 x 4,6	200	3,7	1000
	2x 63/51,6	2 x 63 x 5,8	200	4,0	1000
 Enkelrör	40/32,6	40 x 3,7	175	2,0	400
	50/40,8	50 x 4,6	175	2,2	500
	63/51,6	63 x 5,8	175	2,5	600
	75/61,4	75 x 6,9	200	3,8	800
	90/73,6	90 x 8,2	200	4,4	1200
	110/90	110 x 10	200	5,0	1200

Det framgår t.ex. av tabellen att om man behöver lägga en kulvert med 63 mm diameter, så går det lättare att lägga enkelrör i böjar än dubbelrör. Valet av enkelrör eller dubbelrör blir också en fråga om kostnader och värmeförluster till marken. Ett dubbelrör har mindre förluster än två enkelrör. Se tabell 5 på sida 25 om förluster.

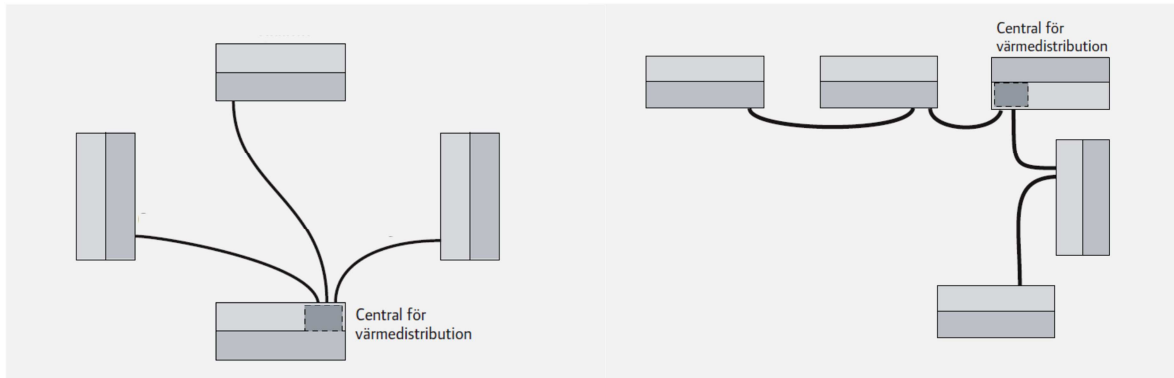


Bild 23. Läggnig av kulverten kan göras på olika sätt, direkt förläggning (till vänster), "kammetoden" eller en kombination av båda. Vad man väljer beror markförhållanden, på byggnadernas läge och effektbehov och den dimension som krävs. En variant är med nedgrävda kopplingsbrunnar, varifrån ledningen grenas ut. Förgreningen görs ofta inne i byggnaderna, men det tar stor plats, speciellt vid grova dimensioner.

Kulverten ska förläggas i sand på ett djup av minst 0,6 m eller om det är en trafikerad yta 0,8 m. Man ska undvika att lägga kulvert när det är tjäle eller mycket väta i marken.

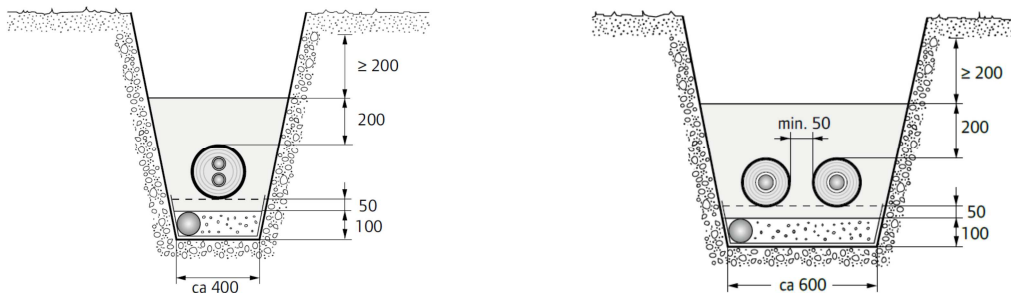


Bild 24. Schaktning och fyllning ska följa anvisningar i referensverket Anläggnings-AMA. De båda bilderna visar även hur rörgravarna dräneras, om det behövs. (Källa: Uponor)

Kulvertens anslutning till byggnader

Kulverten kan anslutas till en byggnad på flera olika sätt och utifrån olika behov. Det enklaste sättet att ansluta kulverten till en byggnads värmesystem är med en shuntkoppling, så som bild 25 visar. I detta fall finns bara behov av värme i byggnaden. Om man dessutom har behov av varmvatten, får man ta till andra lösningar.

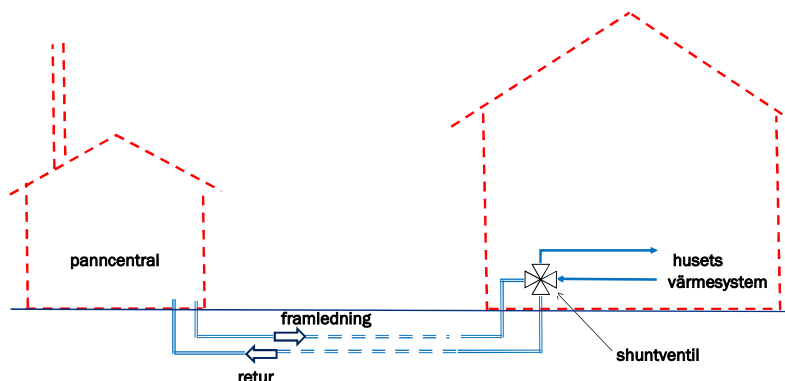


Bild 25. Kulverten kan anslutas med en shuntkoppling till husets värmesystem. I detta fall finns inget behov av tappvarmvatten i huset. Detta är det enklaste sättet, ifall man inte behöver hålla husets värmekrets åtskild från kulvertkretsen. Principbild utan pumpar, ventiler och styrsystem.

Om man har behov av både värme och varmvatten, får man ta till andra lösningar. Man kan t.ex. använda en kulvert som har ett tredje mediarör för varmvatten. Nackdelen vid långa kulvertar är att man får vänta på tillräckligt varmt vatten i kranen. Istället kan man välja en kulvert med två rör för värme och två för cirkulerande varmvatten. Det medför att det alltid är varmt vatten framme vid kranen, men å andra sidan krävs det ytterligare en cirkulationspump och systemet använder mer energi för driften.

Därför väljer man vanligen en lösning med en 2-rörskulvert och där tappvarmvattnet värms i en separat värmeväxlare som i bild 26. Detta är en vanlig anslutning i städernas fjärrvärmenät.

Värmeväxlingen kan också med fördel ske i en så kallad slavtank. I bild 26 är kulvertkretsen gemensam med husets värmesystem. Kretsarna kan med fördel skiljas åt med en värmeväxlare, ofta en rörspiral, inne i tanken.

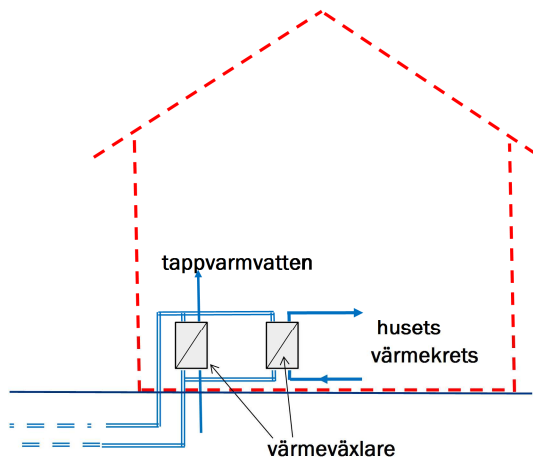


Bild 26. Från kulverten värms hus och tappvarmvatten via plattvärmväxlare. Dessa kan sitta färdigmonterade i ett skåp med pump och reglering, s.k. undercentral.
Principbilder utan pumpar, ventiler och styrsystem.

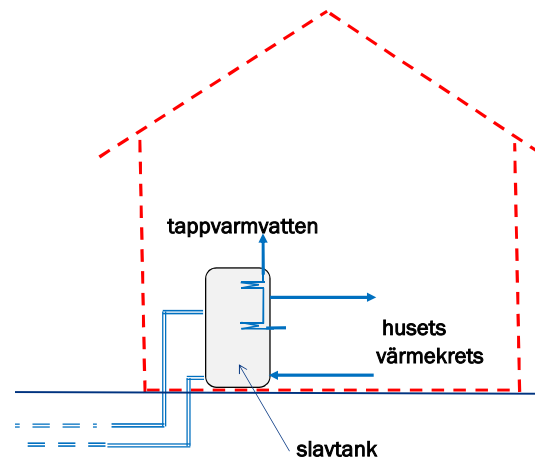


Bild 27. En slavtank kan vara ett alternativ. Med en elpatron i tanken får man en reserv och ett bekvämt sätt att få varmvatten sommartid utan att elda.

Det finns flera skäl att hålla värmekretsen i en byggnad separerad från kulvertkretsen. Ett skäl är att otätheter i husets värmeledningssystem orsakar att syre läcker in i hela kretsen, något man vill undvika. Stora nivå- och tryckskillnader kan vara ett annat skäl.

Dimensionering av kulvertsystem

Kulvertsystem bör alltid till slut dimensioneras av en fackman. Det följande är ett vägledande underlag för en grovplanering, en förstudie för att titta på möjligheter och begränsningar.

När man dimensionerar ett kulvertsystem följer man denna tågorning:

1. Effektbehov. Bestäm effektbehov i de olika delarna av kulvertsystemet.
2. Temperaturdifferens. Bestäm vilken differens som behövs mellan temperatur i framledning och retur.
3. Flöde. Beräkna behov av vattenflöde vid maxeffekt och bestämd temperaturdifferens.
4. Rördimension. Bestäm lämplig rördimension med hänsyn till flödes hastighet och rimligt mottryck.
5. Mottryck. Kontrollera mottrycket / tryckfallet vid den valda rördimensionen.

Med detta som underlag kan man sedan skaffa sig en uppfattning av investeringens storlek. Flera faktorer ska vägas mot varandra. Investeringen har stor betydelse för anläggningens ekonomi. Därför går man kanske tillbaka och gör någon omdimensionering eller utesluter någon uppvärmning som ingick i det ursprungliga förslaget.

1. Effektbehov

Effektbehovet i de olika byggnaderna bör man vid det här laget redan ha beräknat. Den maxeffekt som en viss kulvertsträcka ska klara är summan av maxeffekterna på de ställen som servas av kulvertsträckan. Detta gäller om behoven av maxeffekt sammanfaller i tiden. Kulverten dimensioneras efter det högsta effektbehov som inträffar samtidigt. Ett typiskt exempel är när en kulvert ska serva både en varmluftstork och ett bostadshus. Deras största effektbehov inträffar ju inte samtidigt.

2. Temperaturdifferens

Ju större temperaturdifferens man har mellan tillopp och retur, desto mer värme tar man ut från kulverten och desto större är överförd effekt. För överslagsberäkningar kan man välja att sätta temperaturdifferensen, ΔT , till 20°C . Det betyder till exempel vid en tilloppstemperatur på 80°C att returtemperaturen är 60°C .

Den temperaturdifferens man får i praktiken beror på förutsättningarna i den byggnad som ska värmas, hur värmesystemet är uppbyggt och hur värmen växlas över till byggnaden.

3. Flöde

Den effekt, som en kulvert kan överföra, beror av flöde och temperaturdifferens. Det behövs 1,16 kWh för att höja temperaturen med 1 grad i 1 m^3 vatten. Detta ger ett samband mellan effekt och flöde och temperaturdifferens:

$$P \text{ (kW)} = q \text{ (m}^3/\text{tim)} \times 1,16 \times \Delta T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Branschen använder oftare enheten l/s för flödet och då blir istället sambandet så här:

$$P \text{ (kW)} = q \text{ (l/s)} \times 4,18 \times \Delta T \text{ (}^{\circ}\text{C)}$$

Om t.ex. skillnaden i temperatur är 16 grader mellan framledning till en byggnad och returen därifrån och flödet är 0,3 l/s så är överförd värmeeffekt till byggnaden $0,3 \times 4,18 \times 16 = 20\text{ kW}$.

4. Rördimension

Ju större tvärsnittsytan röret har, desto lägre blir hastigheten i röret vid önskat flöde. Man vill hålla hastigheten inom rimliga gränser, riktvärde 0,5 - 1,5 m/s. En grövre rördimension kostar mer att anlägga och en klenare dimension ökar hastigheten och därmed motståndet i ledningen, mottrycket.

5. Mottryck, tryckfall

Motståndet eller mottrycket per meter av en ledning beror av flödes hastigheten och rördimensionen. Diagrammet i bild 23 visar att motståndet ökar snabbare än hastigheten ökar. Särskilt i långa ledningar kan det bli höga mottryck totalt i ledningen, som då ska övervinnas av cirkulationspumpen. Högre mottryck betyder att pumpen använder mer energi för att överföra den dimensionerande effekten. Mottrycket blir ofta det som sätter gräns för överförd effekt. Riktvärde är 0,1 kPa/m (100 Pa/m), men för kortare sträckor eller korta användningstider kan man acceptera högre.

Diagram för dimensionering

Vi har alltså flera parametrar att ta hänsyn till. Den effekt som ska överföras är en funktion av flöde och temperaturdifferens. Flödes hastigheten och därmed också mottrycket är beroende av rördimensionen. För att man ska slippa göra ett antal beräkningar använder sig tillverkarna av diagram, som visar sambanden och som ger hjälp vid dimensionering (bild 28).

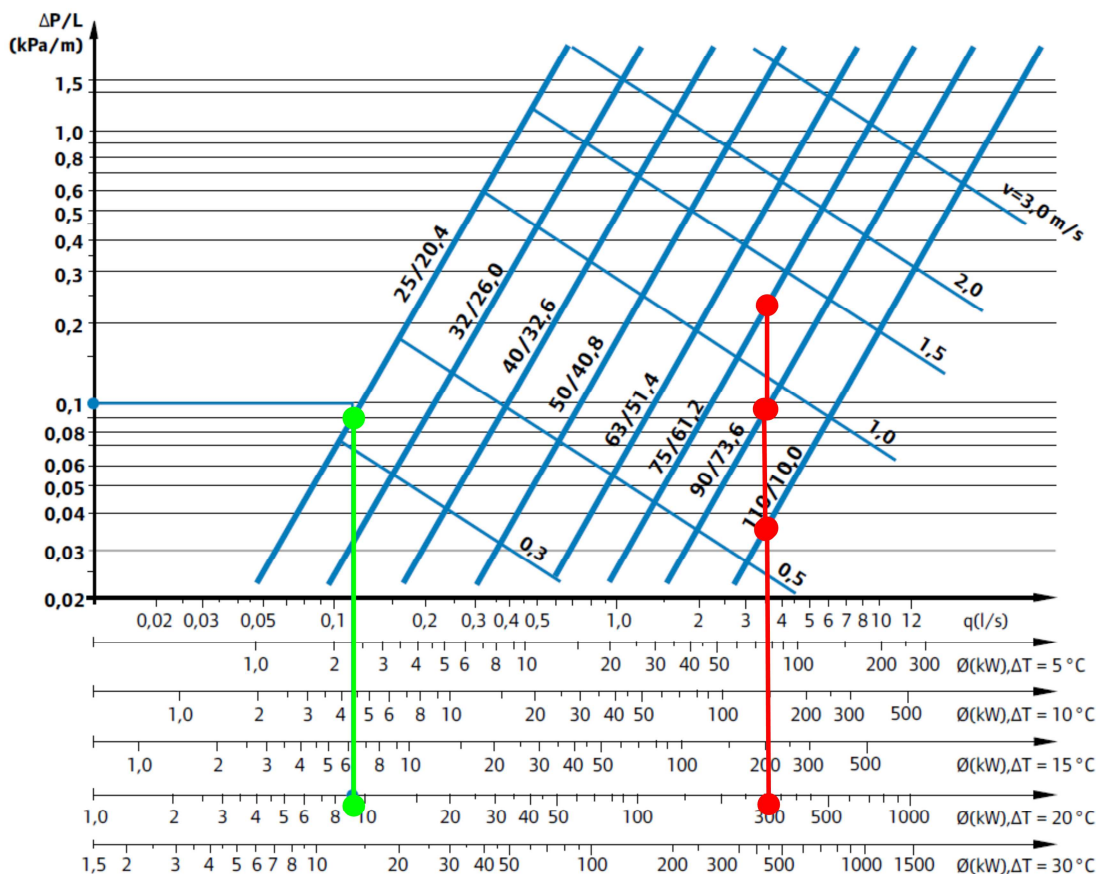


Bild 28. Diagrammet ersätter beräkningar när man söker lämpliga rördimensioner. Det visar samband mellan effekt, temperaturdifferens, flöde, mottryck och rördimension. Användningen

visas av exemplen nedan. (Uponor AB.)

Exempel på användning av diagrammet i bild 28.

Exempel 1, dimensionering. Markeras med grön linje. ●————●

Effekten 9 kW ska överföras vid $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$. På skalan för $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ letar man upp 9 kW och drar därifrån en lodrät linje. Där denna skär linjen för kulvertdimensionen 25/20,4 läser man av ett tryckfall på ca 0,09 kPa/m. Hastigheten blir då ca 0,35 m/s. Valet faller på 25/20,4 eftersom tryckfallet inte överstiger 0,1 kPa/m.

Exempel 2, dimensionering. Markeras med röd linje. ●————●

Man ska välja dimension på en 60 m lång kulvert som ska föra över 300 kW till en spannmåls-tork. Temperaturdifferensen bedöms bli 20°C mellan tillopps- och returledning. Från 300 kW på skalan för $\Delta T = 20^{\circ}\text{C}$ dras en lodrät linje. Flödet som behövs är 3,4 l/s. Vid skärningarna med tre linjer för rördimensioner läses mottrycket per meter av. När det multipliceras med 120 (hela rörlängden är 60 + 60), får vi det totala tryckfallet i ledningen.

Dim	Tryckfall	Tryckfall totalt	Hastighet
110 mm	0,035 kPa/m	$0,035 \times 60 = 4,2 \text{ kPa}$	ca 0,6 m/s
90 mm	0,095 kPa/m	$0,095 \times 60 = 11,4 \text{ kPa}$	ca 0,9 m/s
75 mm	0,23 kPa/m	$0,23 \times 60 = 28 \text{ kPa}$	ca 1,3 m/s

Det tillkommer mottryck som uppstår i kopplingar, ventiler, böjar, värmväxlare o.s.v.

Exempel 2 visar att tryckfallet ökar fortare än flödes hastigheten. Ett riktvärde vid förplanering är ett tryckfall på 0,1 kPa/m vid kontinuerlig drift. I detta fall med en spannmålstork kan man dock välja en dimension som ger ett större tryckfall, eftersom denna ledning ska användas under begränsad tid. Valet av ledningsdimension blir i många fall en avvägning mellan å ena sidan kostnader för pump och pumpning och å andra sidan kostnaden för kulverten. Därför är det inte orimligt att man väljer en kulvertdimension som ger tryckfall på 0,3 - 0,4 kPa/m i denna del av systemet istället för normala 0,1 - 0,15 kPa/m. Konsekvensen blir att cirkulationspumpen drar mer energi, men under en kort tid.

I en förplanering kan det vara enklare att använda tabell 6 istället för diagrammet i bild 28. Vilken temperaturdifferens som man ska räkna med beror på det mottagande värmesystemet i byggnaden och hur mycket värme detta kan ta ut. Normalt är att man i förplanering av ett kulvertsystem räknar med ΔT på 20 °C.

Tabell 6. Riktvärden för möjlig effektöverföring (kW) i olika rördimensioner vid temperaturdifferenserna 20 resp. 30 °C, när mottrycket begränsas till 0,10 respektive 0,15 kPa/m.

Temperaturdifferens		$\Delta T = 20^\circ\text{C}$ ex. framledningstemp. 80 °C och returtemp. 60 °C		$\Delta T = 30^\circ\text{C}$ ex. framledningstemp. 80 °C och returtemp. 50 °C	
Dimension, mm		Mottryck		Mottryck	
ytterdiameter/ innerdiameter	ytterdiameter/ godstjocklek	0,10 kPa/m	0,15 kPa/m	0,10 kPa/m	0,15 kPa/m
25/20,4	25 x 2,3	10 kW	13 kW	15 kW	20 kW
32/26,0	32 x 3,0	20 kW	25 kW	30 kW	37 kW
40/32,6	40 x 3,7	38 kW	46 kW	57 kW	70 kW
50/40,8	50 x 4,6	66 kW	80 kW	100 kW	120 kW
63/51,6	63 x 5,8	120 kW	150 kW	180 kW	225 kW
75/61,4	75 x 6,9	200 kW	250 kW	300 kW	375 kW
90/73,6	90 x 8,2	310 kW	400 kW	465 kW	600 kW
110/90	110 x 10,0	520 kW	670 kW	780 kW	1 000 kW

Värmeförluster, effektförluster

Det avgår alltid värme från mediärören genom isoleringen och till omgivande mark. Det innebär alltså en förlust av överförd effekt och att det förloras energi på vägen från panncentralen. Isolering och temperaturskillnad mot omgivningen bestämmer hur mycket som går bort. I tillverkarnas produktblad redovisas effektförlusten i W/m och sambandet med temperaturen. För ett överslag på fabriksstillverkade kulvertar (som i bild 20) kan man räkna med riktvärden i tabell 5. Kulvert i byggsystem (bild 21) har mer isolering och lägre förluster.

Tabell 7. Riktvärden för effektförluster för några dimensioner av fabriksstillverkad kulvert samt beräknade energiförluster per år. Tabellen baseras på tillverkares mätningar.

Dimension	Effektförlust W per m kulvert	Effektförlust % per 100 m kulvert, ca	Energiförlust kWh/m,år (9 mån.)
dubbelrör 2 x 25/20,4	12 - 14	12	80 - 95
dubbelrör 2 x 32/26,0	12 - 16	7	80 - 105
dubbelrör 2 x 40/32,6	14 - 20	4,5	95 - 135
dubbelrör 2 x 50/40,8	13 - 20	2,5	95 - 135
dubbelrör 2 x 63/51,6	15 - 22	1,5	100 - 145
2 enkelrör 50/40,8	20 - 29	3,5	130 - 200
2 enkelrör 63/51,6	23 - 34	2,5	150 - 225
2 enkelrör 75/61,4	25 - 35	1,5	165 - 230
2 enkelrör 90/73,6	27 - 40	1,0	180 - 260
2 enkelrör 110/90	38 - 52	<1	250 - 340

Två enkelrör ger lite större förluster än dubbelrör av samma dimension - jämför dimensionerna 50 och 63 mm. I praktiken väljer man sällan större dimension för dubbelrör än 50 mm, eftersom de blir svårare att lägga.

Värmeförlusterna kan minskas genom att man förlägger kulverten i en rörgrav som delvis fylls med lättklinkerkulor (leca-kulor). Först lägger man då en markväv, som hindrar att lättklinkerkulor och markmaterial blandas.

Exempel 1, förluster

En spannmålstork har effektbehovet 400 kW och till det behövs en kulvertledning med dimensionen 90/73,6. Ledningens längd är 40 m. Enligt tabell 7 är effektförlusten ca 40 W/m och totalt i ledningen blir det då $0,040 \times 40 = 1,6$ kW. Under en torkningssäsong på 400 timmar blir energiförlusten $1,6 \times 400 = 640$ kWh.

Exempel 2, förluster

En bostad är ansluten till värmecentralen med 70 m kulvert i dimensionen 32/26,0. Enligt tabell 7 kan man räkna med en förlust av 80 - 105 kWh/m under 9 månaders uppvärmning. Som riktvärde används 100 kW/m och då blir kulvertdelens energiförlust $70 \times 100 = 7000$ kWh/år.

När man ska avgöra vilka byggnader som ska anslutas till gårdens värmecentral, kan förlusterna vara en viktig faktor tillsammans med kostnaderna för själva kulverten och grävningen.

Förlusternas värde beror på bränsle och vilka bränslekostnader man har. Vid eldning med flis kan man därför tåla lite högre förluster än vid eldning med pellets.

Panncentralens placering

När man bestämmer panncentralens placering är det flera faktorer att tänka på:

- Kulvertdimensioner och investeringen i kulvert med olika dragningar
- Hinder för grävning och förläggning
- Tillgänglighet med bränsletillförsel, bränsletransporter
- Gårdsbildens utseende
- Vindriktning, rök
- Störande transporter, transportvägar

I samband med detta ska man ta ställning till vilka byggnader som ska anslutas och kostnader för olika lösningar. Faktorer att ta hänsyn till:

- Kulvertsträckans längd
- Kulvertförluster
- Byggnadens energibehov
- Behov av varmvatten förutom värme
- Sättet att ansluta

Gör en skiss över gården, på de byggnader som ska värmas och testa tänkbara placeringar av panncentralen. Sätt ut effektbehov i byggnaderna och effekter som ska fram i ledningen. I bilaga 3 finns ett exempel på förplanering av kulverten med en kartsbild. Faktorerna ovan har beaktats i exemplet.

Översikt förnybara bränslen, biobränslen

Viktiga egenskaper hos bränslet är värmevärde, energipris och lagringsvolym.

- **Fukthalt.** Påverkar energiinnehåll, lagringssäkerhet bl.a.
- **Hanterbarhet.**
- **Hållbarhet.** Är bränslet stabilt eller bryts det ner biologiskt? Hur ska det lagras?
- **Lagring och brandsäkerhet.**
- **Arbetsmiljörisker**, t.ex. med mögel och med dammexplosioner.
- **Askhantering.** Volym, smälttemperatur.
- **Klimatpåverkan.** Biobränslen i sig ingår i biologiska kretsloppet, men produktionen av dem kan medföra påverkan, då oftast räknad som koldioxidekvivalenter.
- **Utsläpp** som påverkar miljön: stoft, oförbrända kolväten m.m.
- **Tillgång och leveranssäkerhet.** Egenproducerat eller inköpt.

Aktuella biobränslen vid en omställning kan vara fastbränsle som ved, flis, halm, spannmål, pellets. I vissa situationer, t.ex. om man ska använda en befintlig oljepanna, kan det vara aktuellt med flytande bränslen som RME, rapsolja och bioolja. Om biogas produceras på gården, kan den utnyttjas. I det följande behandlas fasta bränslen översiktligt. Mer information om bränslen kan bland annat sökas på www.bioenergiportalen.se och www.novator.se/bioenergy/wood/A4.pdf.

Ved

Eldning med helved och kluven ved är inte något som man bygger mer omfattande uppvärmning på. Det beror på att man är hänvisad till satsvis eldning. Kontinuerlig och automatisk eldning är svårare.

Vedeldning i lite större skala förekommer i pannor för storbalar. Många lantbrukare med sådana pannor för spannmålatorkning väljer ved framför halmbalar under torkningssäsongen för att spara tid. Man laddar då pannan med mer energi varje gång och det går att rationalisera genom att lägga veden på en speciell vagn, som skjuts in i pannan.

Energiinnehåll, värmevärde. Torrsubstansen i trä, d.v.s. trä med 0 procents fukthalt, har ett värmevärde på ca 5,3 MWh/ton. Med ökande fukthalt minskar det värmevärde som kan utnyttjas, eftersom mer och mer vatten ska torkas bort. Ett kg ”normaltorr” ved håller 4,2 kWh brutto. Skillnader i värmevärde per kubikmeter ved beror främst på skillnader i vedens densitet och i viss mån på innehåll av lignin och andra kolväteföreningar. Tabell 8 ger några riktvärden.

Tabell 8. Värmevärde i ved från några trädslag, riktvärden (Liss, 2005)

Trädslag	kWh/m ³ f 15 - 20 % fukt	kWh/m ³ t fastvolym 65 %	kWh/m ³ t fastvolym 50 %
Gran	2100 - 2400	1370 - 1560	1050 - 1200
Tall	2000 - 2450	1300 - 1590	1000 - 1230
Björk	2800 - 2900	1820 - 1890	1400 - 1450
Ek	3600 - 3700	2340 - 2410	1800 - 1850
Asp	2100 - 2200	1370 - 1430	1050 - 1100
Sälg	2500 - 2600	1630 - 1690	1250 - 1300

m³f är kubikmeter fastmått

m³t är kubikmeter travat mått. 65 % fastvolym är normalt i travad ved med 60 cm längder och 50 % fastvolym kan vara riktvärde för stjälpt mått eller travar med krokiga stammar och grenar.

För att ersätta 1 m³ eldningsolja med lufttorkad granved går det åt ca 9 m³t, travad ved, när man räknar med skillnader i verkningsgrad. Motsvarande fastmått är ca 6 m³f. Se även tabell 9.

Volym. Utifrån tabellen ovan kan man beräkna att energin i 1 m³ fossil olja motsvaras av ca 7 m³ travad granved vid 65 procent fastvolym. Med hänsyn till den lägre verkningsgraden vid vedeldning kommer det att behövas minst 8 m³t för att ersätta 1 m³ fossil olja.

För omräkning mellan de olika volymmåtten är det bra att känna till att:

1 m³fpb (fastkubikmeter på bark) motsvarar	ca 1,54 m³tpb (travad ved på bark)
	ca 2,0 m³s (ved i stjälp-t mått)
	ca 2,5 m³s flis (flis i stjälp-t mått)

Prisläge. Priset eller kostnaden för veden varierar. Ved från egna röjningar kan åsättas ett lågt pris.

Övrigt. Av olika skäl är det viktigt att elda med torr ved. Askhalten är ungefär 1viktsprocent, ibland mer.

Flis

Flis är ett väl beprövat bränsle för uppvärmning, men flis är inte ett enhetligt material. Flisens kvalitet beror mycket på ursprungsmaterialet och hur den har flisats och lagrats. I kvaliteten räknar vi då in värmevärde, fukthalt, flisstorlek, hur homogen flisen är och att den inte innehåller mögel. Baseras uppvärmningen på inköpt flis är det viktigt att ställa rätt kvalitetskrav. Flisens egenskaper har betydelse för val av utrustning, men skillnader i teknik tas inte upp i denna studie.

För gårdsanläggningar bör man satsa på torr flis. Ett skäl är att risken för mögel minskas. Ett annat skäl är att torr flis har ett bättre värmevärde. Då går det åt mindre energi för att torka flisen i pannan.

Skrubar, omrörare, slussmatare och pannor fungerar bäst om flisen har ganska enhetlig storlek och inte innehåller längre stickor och pinnar. Driftssäkerheten kan vara särskilt viktig under spannmålstorkning och kanske allra mest i de varmluftspannor som är fliseldade. Att lägga upp stamved till torkning och sedan använda flishugg med såll är ett gott tips från många lantbrukare med fliseldning.

Flis är ett ganska billigt bränsle, men hantering av flisen kräver mer av utrustningen, eftersom flisen inte "rinner" och den rasar inte av sig själv. Dessutom krävs stora lagervolymer. I jämförelse med ett förädlad träbränsle som bränslepellets, med helt andra egenskaper fast dyrare, blir fliseldning intressantare vid större volymer.

Flis från salix liknar skogsflis med avseende på värmevärde, volymvikt, rasvinklar och andra egenskaper. Askhalten är dock något högre.



Bild 29. Torr flis av bra kvalitet



Bild 30. Torkning av stamved för flisning

Energiinnehåll, värmevärde. Värmevärdet beror på fukthalt och vilket träslag som flisats, se tabell 5. Överslagsmässigt räknar man med att flis av 30 procent fukthalt innehåller ca 950 kWh per m³ (stjälp-t mått) och att träflis med 50 procent fukthalt innehåller ca 850 kWh per m³s brutto.

För att ersätta 1 m³ eldningsolja går det åt ca 13 m³s flis av 30 procents fukthalt, när man räknar med skillnader i verkningsgrad. För att ersätta 1 m³ eldningsolja går det åt ca 14,5 m³s flis av 50 procents fukthalt, när man räknar med skillnader i verkningsgrad. Se även tabell 9.

Volym. Volymvikten kan variera mellan 240 och 350 kg/m³. Flisning av 1 m³ fpb ved (kubikmeter fastmätt på bark) ger ungefär 2,5 m³s flis (kubikmeter stjälp mätt). Man brukar räkna med att travad ved innehåller ungefär 65 procent fastved. Då kan man räkna fram att flisning av 1 m³ av en vedtrave ger ca 1,6 m³s flis.

Volym. 1 m³ fpb (fastkubikmeter på bark) motsvarar ca 2,5 m³s flis (flis i stjälp mätt). 1 m³s torrflis väger ungefär 200 kg.

Prisläge. I prisjämförelser är det mest relevant att ange pris per kWh, inte pris per m³s. Vid inköp är priset kring 22- 25 öre/kWh (eller omkring 180 - 210 kr/m³s). Exempel från en gård som framställt flis av egen, förtorkad, stamved: 18 - 20 öre/kWh eller 150 - 170 kr/m³s.

Vid flisning av egen ved från gallringar och röjningar värderar inte alla lantbrukare sin egen arbetstid eller låter kostnaderna belasta bränslet. Det leder då till att man räknar med lägre kostnader för flisen.

Övrigt. Askhalten kan vara mindre än 1 viktsprocent för skogsflis utan föroreningar. Salixflis ger något mer aska.

Pellets

Bränslepellets är ett s.k. förädlad träbränsle. Stegen i förädlingen är malning - torkning - pressning. Malningen kan föregås av förtorkning och flisning, om råvaran är energigivande och liknande. I begynnelsen användes uteslutande sågspån, som då var en billig restprodukt från sågverken. Med ökande produktion har mer och mer av råvaran kommit från skogen. Det tillverkas även pellets från halm och från rörflen, men i mindre omfattning. Halmpellets har fått ett annat användningsområde också, som strö i hästboxar. En vanlig diameter på bränslepellets är idag 8 mm, men både 10 och 6 mm förekommer.

Pelletsen har fördelen att den är torr (ofta 8 - 10 procents vattenhalt), den är homogen, den rinner och transporteras lätt med skruvar och andra transportörer. Det ställer då lägre krav på utrustning för lagring, hantering och eldning än vad flisen gör. Pelletsen blir därför ett bra och lättskött alternativ i mindre värmeanläggningar, där investeringen för fliseldning blir för dyr.



Bild 31.

Pellets tillverkad av träråvara.

Energiinnehåll, värmevärde. Energiinnehållet är oftast 4,7 - 4,9 kWh/kg, 4,7 - 4,9 MWh/ton. Innehållsdeklarationen skiljer sig något mellan tillverkarna, men bara marginellt.

För att ersätta 1 m³ eldningsolja går det åt ca 2,2 ton eller 3,1 m³ bränslepellets, när man räknar med skillnader i verkningsgrad. Se även tabell 9.

Volym. Pellets har en volymvikt på ca 650 - 680 kg/m³. Då lagras man ca 3200 kWh per kubikmeter. För att lagra pellets motsvarande 1 m³ eldningsolja krävs drygt 3 m³.

Prisläge. Priset för pellets i lösvara (bulk) är i området 1900 - 2 100 kr/ton eller 40 - 43 öre/kWh, fraktfritt. Det är alltså ungefär dubbelt mot flisens energipris. Under de senaste tre åren har pelletspriserna legat ganska stabilt.

Övrigt. Askhalten är oftast mindre än 0,5 procent av vikten om pelletsen är av bra kvalitet. Man bör använda pellets med bra kvalitet, svensk standardkvalitet. Pellets av sämre kvalitet kan ge mer aska. Med bra pelletskvalitet riskerar man inte att pelletsen faller sönder och försämrar förbränningen. Pelletsen får inte utsättas för fukt, eftersom den då lätt faller sönder.

Halm

Halmen har ofta setts som en restprodukt och kostnaderna för halmen har då egentligen bara varit bärgnings- och lagringskostnader. När halmeldningen introducerades på 1980-talet började man också diskutera halmens betydelse för mullhalten. Idag ges rådet att om mullhalten är under 3,4 procent så ska halmen helst brukas ner. Förbättrade halmhackare och -spridare har bidragit till att man hellre brukar ner halmen. Vädret kan också medföra svårigheter att bärga tillräckligt torr halm. Därför kan det vara osäkert att bygga gårdens värmeförsörjning på halm.

Halm eldas satsvis i storbalspannor eller kontinuerligt, där balar sönderdelas i en rivare. Den satsvisa eldningen i en storbalspanna är en mycket enkel teknik, men den kräver en komplettering med en stor ackumulatortank. Den satsvisa eldningen mot en tank medger att pannan kan gå högt belastad, vilket i sig minskar utsläppen, men antändning och uppeldning medför större utsläpp.

Energiinnehåll, värmevärde för torr halm är ungefär 4 MWh/ton brutto. Vid en densitet av 150 kg/m³ i en fyrkantsbal lagrar man 600 kWh per m³ bal.

För att ersätta 1 m³ eldningsolja går det åt ca 3,3 ton halm, när man räknar med skillnader i verkningsgrad. Se även tabell 9.



Bild 32. Halmpanna för stora balar.



Bild 33. Halm lager. Halm är ett skrymmande bränsle. Rundbalar utnyttjar utrymmet sämre än fyrkantsbalar.

Volym. Halm lagras mest i stora balar - rundbalar eller fyrkantsbalar. Den rundbalspressade halmen kan ha en volymvikt i balen som varierar mellan 100 och 140 kg/m³. Variationen beror på pressteknik och körteknik. Fyrkantspressarna pressar hårdare och man når vanligen volymvikter på 130 - 160

kg/m³. Upp till 200 kg/m³ kan vara möjligt att nå med vissa pressmodeller. Fyrkantsbalarna kräver betydligt mindre lagringsvolym än rundbalarna tack vare sin form och högre densitet.

Prisläge. Pris bestäms av tillgång och efterfrågan och varierar med bärgningsvärdet från år till år. Marknaden för halm utgörs främst av djurgårdar utan egen spannmålsodling och i viss mån de värmeverk som eldar med halm. För den egna gården kan priset bestämmas av kostnader för bärgning och lagring eller alternativvärdet vid försäljning.

Övrigt. En nackdel med halmeldning är stor volym av aska. Vissa år kan det vara svårt att bärga tillräckligt med halm av bra kvalitet. Halm har en hög askhalt, ca 6 - 7 viktsprocent. Askan efter halm ger en stor volym. Den har en låg smälttemperatur, vilket kan ge problem med sintring. Sådana problem är mindre med halm som fått ligga ute en tid. ”Grå halm är bättre att elda med än gul halm.”

Halmeldning ger rökgaser med ämnen som är korrosiva om de tillåts kondensera i panna och skorsten. Det är viktigt att temperaturen i pannan och i rökgasen är tillräckligt hög.

Rörflen kan vara ett alternativ till halm. Den har ungefär samma egenskaper vid hantering och eldning.

Spannmål

Att elda spannmål är nästan lika bekvämt som att elda pellets - om man bortser från en större askvolym. Bränslet är så att säga färdigpelletterat och det kan hanteras med skruvar m.m., som redan finns på gården.

Eldning kan ske i speciellt anpassade spannmålspannor. Med fördel väljer man en eldningsutrustning som kan hantera flera bränslen som flis, spannmål och pellets. En s.k. multistoker är då en av lösningarna.

Energiinnehåll, värmevärde. Värmevärdet hos torkad spannmål är ca 4,2 kWh/kg, 4,2 MWh/ton brutto. För att ersätta 1 m³ eldningsolja går det åt ca 2,7 ton spannmålskärna, när man räknar med skillnader i verkningsgrad. Se även tabell 9.

Bild 34.
Eldning med havre ger stor volym aska som ska tas om hand.



Volym. Havre, som är vanligast som energispannmål, har en volymvikt som varierar mellan 400 och 600 kg/m³. Man kan räkna med ett snitt på 500 kg/m³ för bränslehavre.

Prisläge. Havre är det spannmålsslag som vanligen har det lägsta marknadspriset. Priset och andra egenskaper gör att havre är intressantast som bränsle. Priset kan dock variera mycket. Gårdens egna skörde- eller lagringsskadade spannmål har förmodligen inget alternativpris alls. För övrigt sätter

marknaden priset. Om man som exempel ger energispannmålen ett pris på 1,00 kr/kg så blir energipriset 24 öre/kWh.

Övrigt. Lätt att hantera med standardutrustning på gården. Eldning är ett bra alternativ för skadad spannmål, som av någon anledning inte kan säljas. Spannmålseldning ger sura förbränningsprodukter, risk för korrosionsskador, vilket man måste ta hänsyn till.

Askhalt över 2 viktsprocent - 1 ton spannmål ger mer än 20 kg aska. Askan efter spannmål ger en stor volym, den tar 6 - 10 gånger så stor plats som askan efter samma kvantitet träpellets. Askan har låg smältemperatur, vilket medför risk för sintring. Sådana problem minskar med rörligt roster eller roterande anordning i bädden. Automatisk askutmatning är nödvändig.

Hur mycket bränsle går det åt för att ersätta eldningsolja?

I tabell 9 nedan ges exempel på beräkning av bränslevolymer. Tabellen tar hänsyn till bränslets värmevärde och riktvärde för verkningsgrad vid eldning med respektive bränsle.

I en panna uppstår alltid förluster. Den energi som finns i bränslet kan inte utnyttjas till 100 procent för uppvärmning utan det uppstår alltid förluster. En del värme följer med rökgaserna ut och en del värme försvinner som strålningsvärme. Det uppstår också förluster genom ofullständig förbränning.

Förlusternas storlek beror på många faktorer. Vi talar om en verkningsgrad och den definieras generellt som den andel av tillförd energi som blir nyttig energi:

$$\text{Verkningsgrad (\%)} = \frac{\text{Nyttig energi (kWh)}}{\text{Tillförd energi i bränsle (kWh)}} = \frac{\text{Tillförd energi i bränsle - Förluster}}{\text{Tillförd energi i bränsle}}$$

Förlusterna här ovan kan mätas upp och vid en provning och proveldning fastställs en pannverkningsgrad. När tillverkarna lämnar uppgifter om verkningsgrad så anger man oftast pannverkningsgraden vid ett provningstillfälle och kanske under optimala förhållanden. Den uppgiften kan vi använda för att jämföra olika pannor. Men den är otillräcklig för beräkning av effekter och energibehov på gården. Där har vi mer nytta av uppgift om årsmedelverkningsgrad, som alltid är lägre. Under året går pannan olika belastad och därför varierar verkningsgraden. En lågt belastad panna har sämre verkningsgrad. Vidare så utnyttjar man inte all energi i bränslet vid uppedning och nedeldning. En svalnande panna ger ifrån sig värme som utnyttjas dåligt. Pannor för biobränsle får vanligen sämre årsmedelverkningsgrad än oljepannor.

Beräkning av bränslebehov ska alltså ta hänsyn till en antagen årsmedelverkningsgrad.

Tabell 9. Vanligaste fastbränslen och beräkning av den bränslemängd som behövs för att ersätta 1 m³ eldningsolja med hänsyn till verkningsgrad. För enkelhets skull har oljans värmevärde avrundats till 10 000 kWh/m².

Bränsle	Enhet	Värmevärde brutto	Verkningsgrad, årsmedel-	Värmevärde justerat för verkningsgrad	Mängd som ersätter 1 m ³ olja		
					--- (med hänsyn till verkningsgrad) ---		
					kWh/enhet	procent	kWh/enhet
Fossil olja E01	m ³	10 000	85	8 500			
Granved 15 - 20 % fukt	m ³ f	2 200	65	1 430	5,9 m ³ f	480	5,9 m ³ f
Granved 15 - 20 % fukt, 65 % fastvolym	m ³ t	1 450	65	943	9 m ³ t	315	9 m ³ t
Flis ca 50 % fukt	m ³ s	850	70	595	14,3 m ³ s	350	14,3 m ³ s
Flis ca 30 % fukt	m ³ s	950	70	665	12,8 m ³ s	250	12,8 m ³ s
Träpellets	ton	4 800	80	3 840	2,2 ton	700	3,1 m ³
Halm volymvikt 100 kg/m ³	ton	4 000	65	2 600	3,3 ton	100	33 m ³
Halm volymvikt 150 kg/m ³	ton	4 000	65	2 600	3,3 ton	150	22 m ³
Spannmål volymvikt 500 kg/m ³	ton	4 200	75	3 150	2,7 ton	500	5,4 m ³
Spannmål volymvikt 700 kg/m ³	ton	4 200	75	3 150	2,7 ton	700	3,9 m ³

m³s är kubikmeter stjälpått (flis)

m³f är kubikmeter fastmått

m³t är kubikmeter travat mått. 65 % fastvolym är normalt i travad ved med 60 cm längder och 50 % fastvolym kan vara riktvärde för stjälpått mått eller travar med krokiga stammar och grenar.

Räkna med att björkved kan ha 20 - 30 procent högre värmevärde än granved, se vidare tabell 6.

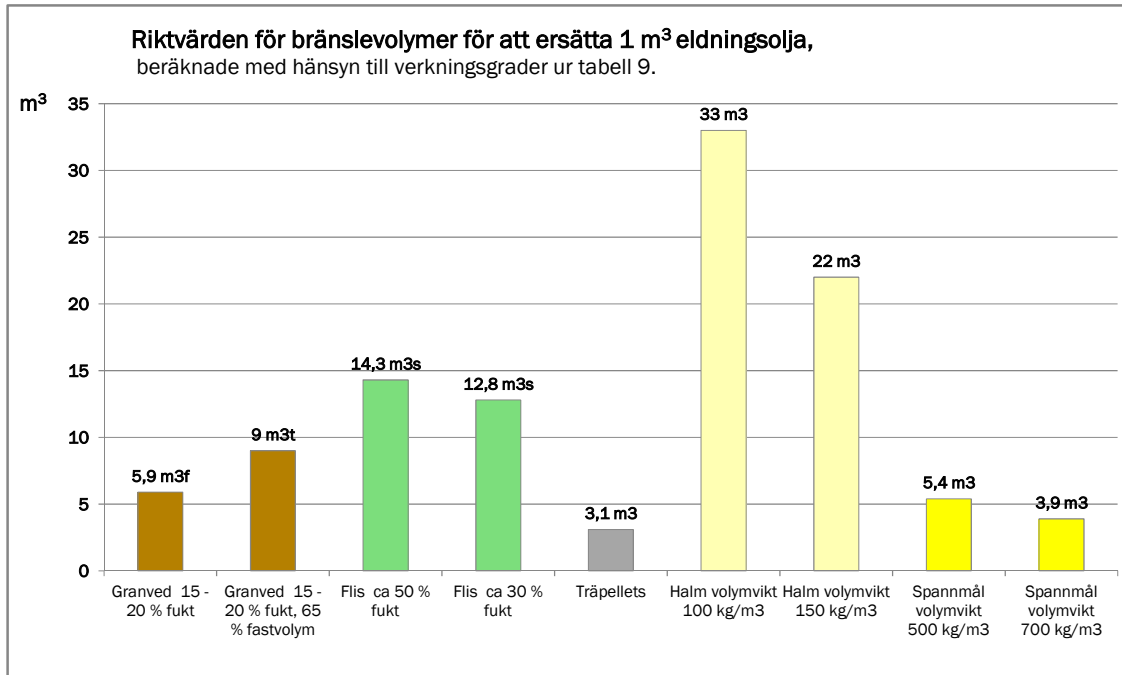


Bild 35. Bränslevolymer som motsvarar 1 m³ eldningsolja, beräknade med hänsyn till verkningsgrader som i tabell 9.

Exempel 1. Bränsleberäkning då olja ersätts med flis.

En oljepanna ska ersättas med en flispanna. Om förbrukningen tidigare varit 3,5 m³ olja per år, så blir behovet av flis med 30 procent fukthalt $3,5 \times 12,8 = 44,8$ m³ flis per år.

Exempel 2. Bränsleberäkning då flis ersätts med pellets.

Man kan också jämföra volymer biobränslen. En flispanna ska ersättas med en pelletspanna. Om förbrukningen tidigare varit 50 m³ flis per år, så blir behovet av pellets $50 / 12,8 \times 2,2 = 8,6$ ton träpellets per år. Volymen pellets blir $8,6 / 0,700 = 12,3$ m³.

Referenser i urval

Bioenergiportalen. Länk: www.bioenergiportalen.se

Boverket. 2014. Boverkets byggregler, avsnitt 9, energihushållning. Länk: www.boverket.se/globalassets/publikationer/dokument/2012/handbok-for-energi-hushallning-enligt-boverkets-byggregler.pdf

Ehrlemark, A. och Svensson, L. 1982. Energi för jordbrukets byggnader. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 308.

Ehrlemark, A. 2013. Handbok i energieffektivisering. Del 5, Ventilation. Lantbrukarnas Riksförbund. Länk: www.lrf.se/globalassets/dokument/foretagande/vektyg/mallar/handbok-om-energieffektivisering/del-5-ventilation.pdf

Elgocell AB. Länk: www.elgocell.se

Energimyndigheten. 2009. Att tilläggsisolera hus. Broschyr. Länk till Energimyndighetens webbshop: <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc>

Energimyndigheten. 2007. Värme i villan. Broschyr nr 2079

Energimyndigheten. 2014. Energianvändning inom jordbruket 2013. Rapport ES 2014:07. Länk: www.energimyndigheten.se/globalassets/nyheter/2014/energianvandning-inom-jordbruket.pdf

Energimyndigheten. 2015. Energistatistik för småhus 2014. rapport ES 2015:06. Länk: www.energimyndigheten.se/contentassets/032ae48379024b0e8434a350fb308bcf/energistatistik-for-smahusflerbostadshus-och-lokaler-2014.pdf

Frico AB. Teknisk handbok.

Hadders, G. 2001. Små system för värmekulvertar på gårdsnivå. teknik för lantbruket 92. JTI - institutet för jordbruks- och miljöteknik. Uppsala.

Jonasson, S., Neuman, L. 2014. Alternativ till spannmålstorkning med fossil energi. Rapport från Lantbrukarnas Riksförbund. Länk: www.bioenergiportalen.se/attachments/42/814.pdf

Lantmännen, LRF. 2005. Värm gården med spannmål.

Leuchovius, T. (red). 1983. Gårdsvärme. LTs förlag

Liss, J-E. 2005. Brännved - energiinnehåll i några olika trädslag. Institutionen för Matematik, naturvetenskap och teknik, Högskolan Dalarna, Garpenberg.

Neuman, L. 2013. Handbok i energieffektivisering, Lantbrukarnas Riksförbund.

Del 2, Energi, grunder.

Del 4, Spannmålstorkning, spannmålskonservering.

Länk: www.lrf.se/foretagande/affarsmannaskap/resurseffektivisering1/spara-energi/handbok-om-energieffektivisering/

Maxitherm AB. Länk: www.maxitherm.se

Mytting, L. 2012. Ved. Allt om huggning, stapling och torkning - och vedeldningens själ. Natur och kultur.

Novator Media. 1996. Vedpärmen. Länk: www.novator.se/bioenergy/wood/

Poulsen, H., Pedersen, S. 2007. Klimateknik. Landbrugsforlaget, dansk landbrugsrådgivning.

Rockwool AB. 2015. ROCKWOOL GUIDE - tilläggsisolering.

Länk: <http://download.rockwool.se/media/23450445/rockwool%20guide%20a4.pdf>

Svensk innemiljö. 2009. Energihandboken.

Uponor AB. Kulvertsystem, länk: www.vvshandboken.se/

ÄFAB. Länk: www.afabinfo.com/

Personliga meddelanden

Göran West, Uponor AB

Christer Johansson, LRF Konsult AB

Ordlista - begrepp, förklaringar

Effekt. Energi per tidsenhet. Mäts oftast i kW.

Effektivt värmevärde. Den energi som utvecklas vid förbränning av en viss mängd av ett bränsle minskat med den energi som åtgår för att förångna vattnet i bränslet. Det är därför det värmevärdemått som används i praktiskt bruk.

Energi. Mäts oftast i kWh i samband med uppvärmning.

Energiinnehåll. Se värmevärde och effektivt värmevärde.

Fukthalt. Detsamma som vattenhalt. Andel vatten i procent av (det fuktiga) materialets vikt.

Graddagar. Ett mått på hur lång tid och hur mycket utetemperaturen avviker från en given referens-temperatur. Begreppet förklaras mer ingående på sida 13. Antalet graddagar för en ort är direkt proportionellt mot energibehovet för uppvärmning.

Gradtimmar. Graddagar x 24. Måttet graddagar fyller liknande funktion som graddagar.

Nominell effekt. Den effekt som tillverkaren uppger att pannan kan avge, detsamma som märkeffekt.

Verkningsgrad. Den andel av den tillförda energin som kan utnyttjas för ändamålet.

$$\text{Verkningsgrad} = \text{nyttig energi} / \text{tillförd energi} = \text{nyttig effekt} / \text{tillförd effekt}$$

Man behöver hålla isär olika verkningsgradsbegrepp:

Förbränningsverkningsgrad. Ett mått på hur fullständigt förbränningen av bränslet sker. Den säger inget om hur mycket värme man kan ta ut från pannan och därför har man mindre användning för förbränningsverkningsgrad än för pannverkningsgrad.

Pannverkningsgrad. Uppmätt verkningsgrad för pannan vid full nominell effekt och oftast under optimala förhållanden. Denna uppgift, som kanske återfinns i en produktbroschyr, är bättre än den som fås i praktiken och under en säsong.

Systemverkningsgrad. Verkningsgrad för ett system som förutom panna kan inkludera ackumulatortank, ledningar, radiatorer o.s.v.

Årsmedelverkningsgrad. Medeltal över året för ett system en eller panna. Årsmedelverkningsgraden för en panna blir av olika skäl sämre än uppgiven pannverkningsgrad.

Referenstemperatur eller balanstemperatur. Kan avse den temperatur i en byggnad som värmeanläggningen ska svara för, oftast 17 °C. Sedan svarar solinstrålning och internvärme (från människor, apparater etc.) för höjning till önskad temperatur, oftast 20 °C.

Specifik energianvändning. Exempelvis kWh per m² och år, som skrivs: kWh/m²,år

Tryckfall, mottryck i en ledning. Mäts oftast i Pa per m ledning. Pa är en förkortning av tryckenheten Pascal. Pa är en liten enhet och därför används oftast kiloPascal, kPa. 100 kPa är ungefär lika med 1 atmosfärs tryck eller ungefär 1 bar.

U-värde. U-värde är ett mått på en byggnadsdels förmåga att leda värme, ett mått på värmekonduktivitet. U-värde mäts i W/m^2 , grad, det vill säga Watt per kvadratmeter och grad temperaturskillnad mellan ute och inne. Ett lågt värde betyder alltså lägre förluster.

Värmebehov. Avser den mängd energi som ett bostadshus eller annan byggnad behöver för värme och oftast även varmvatten. Ska inte förväxlas med Energianvändning, som brukar avse tillförd energi, före förluster. Det blir tydligare om man skriver nettovärmebehov.

Värmevärde. Den energi som utvecklas vid förbränning av en viss mängd av ett bränsle. Oftast avses det effektiva värmevärdet. Se effektivt värmevärde ovan.

Värmeväxlare. En värmeväxlare används för att överföra värmeenergi från ett medium till ett annat utan att de blandas, t.ex. plattvärmeväxlare

Gradtimmor för 39 orter från norr till söder

Oftast användes 17 °C som referenstemperatur eller balanstemperatur, den temperatur som man behöver värma till för att få 20°C innetemperatur. Se sida 13.

Klimatdata för 39 orter (Frico AB, Teknisk handbok).

Ort	Dimensioner. utetemperatur DUT, °C	Årsmedel- temperatur °C	Antal gradtimmar för uppvärmning till 17 °C	Antal gradtimmar för uppvärmning till 20 °C
Malmberget	-28	0,2	160 000	175 000
Kiruna	-28	-1,2	165 000	190 000
Luleå	-28	2,0	140 000	159 000
Umeå	-22	3,4	123 000	148 000
Härnösand	-22	4,4	112 000	137 000
Sundsvall	-20	3,9	118 000	142 000
Söderhamn	-18	4,7	109 000	134 000
Östersund	-24	2,7	132 000	156 000
Sveg	-26	2,1	139 000	163 000
Gävle	-18	5,0	106 000	131 000
Edsbyn	-22	3,9	118 000	142 000
Borlänge	-24	4,6	110 000	135 000
Falun	-24	4,6	110 000	135 000
Västerås	-18	5,9	98 000	123 000
Uppsala	-18	5,7	100 000	124 000
Norrtälje	-16	5,9	98 000	123 000
Stockholm	-16	6,5	92 000	117 000
Örebro	-18	5,9	98 000	122 000
Nyköping	-16	6,2	95 000	120 000
Norrköping	-16	6,9	89 000	114 000
Motala	-18	6,4	93 000	118 000
Linköping	-18	6,8	89 000	114 000
Karlstad	-18	5,9	98 000	122 000
Åmål	-18	6,1	96 000	121 000
Vänersborg	-18	6,6	91 000	116 000
Skara	-18	5,8	98 000	123 000
Strömstad	-18	6,6	91 000	116 000
Göteborg	-16	7,9	81 000	105 000
Halmstad	-16	7,2	80 000	111 000
Kalmar	-16	7,0	88 000	113 000
Västervik	-16	6,9	89 000	113 000
Visby	-12	7,2	86 000	111 000
Ronneby	-14	7,1	87 000	112 000
Jönköping	-18	6,1	96 000	121 000
Borås	-18	6,3	94 000	119 000
Växjö	-18	6,5	92 000	117 000
Malmö	-14	8,0	80 000	105 000
Kristianstad	-16	7,7	81 000	107 000
Ystad	-12	7,8	81 000	106 000

Gårdsexempel med planering / förprojektering av värmecentral och kulvert.

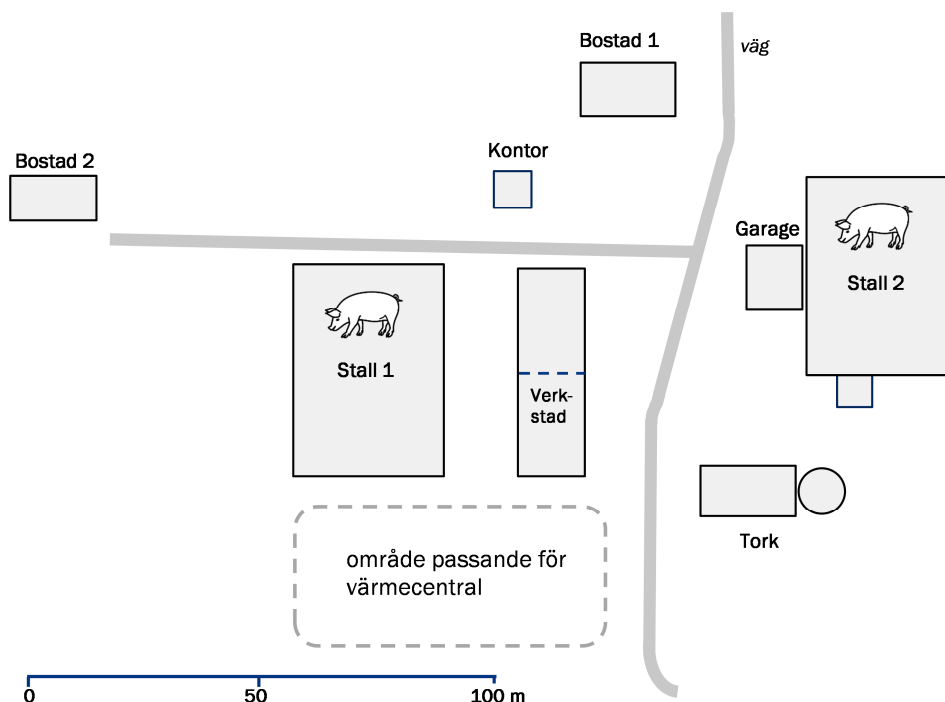
Lantbrukare A planerar att bygga en värmecentral med fliseldning på gården och att dra kulvert till de byggnader som behöver värmas. Innan han tar kontakt med expertis för att konstruera kulvertnätet vill han göra en förplanering med hjälp av sin energirådgivare.

Man fastställer några viktiga förutsättningar:

- Bränslet ska vara flis
- Alla byggnader ska inte anslutas om det finns andra och bättre alternativ.
- Torken och torkningskapaciteten kan komma att ökas i framtiden med 20 procent.
- Man köper fabriksstillverkad kulvert.

Utredning av effektbehovet

Första steget är att utreda högsta effektbehov i de byggnader på gården som kan komma att värmas. Man gör en plan över gården som senare kan ligga till grund för förplanering av värmekulverten.



Bostad 1, mangårdsbyggnaden

Gårdens huvudbyggnad har stor boyta. Den har idag en oljeeldning som sett sina bästa dagar. Under de kallare åren har det förbrukats ungefär 6 m^3 eldningsolja per år. Med ledning av sambanden på sida 10 beräknas först värmebehovet. Man utgår från att 1 m^3 olja har ett effektivt värmevärde på $10\,000 \text{ kWh}$ och att verkningsgraden i snitt under året är 80 procent. Det ger ett värmebehov av $6 \times 10\,000 \times 0,80 = 48\,000 \text{ kWh/år}$. Efter en planerad tilläggsisolering bedömer man det kommande behovet till $40\,000 \text{ kWh/år}$.

Schablonmässigt beräknas maxeffekten enligt samband på sida 10 för en uppvärmningssäsong på 9 månader (6600 tim/år): Maxeffekt = $3 \times 40\,000 / 6600 = 18,2 \text{ kW}$.

Bostad 2

Detta är ett mindre och äldre bostadshus som eldas med ved. Åtgången har varit som mest ca 25 m³ travad ved per år i en blandning av gran- och björkved. Utifrån tabell 8 kan man anta att den blandade veden håller ca 1600 kWh per m³ i traven. Eldningen sker nu utan ackumulatortank och därför antas att verkningsgraden är högst 60 procent. Husets värmebehov under ett år är 25 x 1600 x 0,60 = 24000 kWh/år.

Schablonmässigt beräknas maxeffekten för en uppvärmningssäsong på 9 månader (6600 tim/år):

Maxeffekt = 3 x 24000 / 6600 = 10,9 kW.

Kontor

Liten byggnad med kontor som värms med elradiatorer. Kontoret används inte varje dag. Effektbehovet överstiger inte 3 kW.

Garage

I ett garage för tre bilar är det viktigast att hålla temperaturen över nollstrecket. Man använder dessutom gärna elektriska motorvärmare som kopplas in med timer. Utöver motorvärmarna behövs högst 2 kW för uppvärmning under ca 2 månader.

Verkstad

Uppvärmningen sker med en el-aerotemper på 9 kW. Den effekten gör att det blir dräglig arbetsmiljö i verkstaden tillräckligt snabbt.

Stall 1

Suggstallet har idag en elpanna och värmerör längs väggarna. Pannans märkeffekt är 35 kW. Värmelampor bidrar till stallets uppvärmning och kommer att göra så i fortsättningen också. Det framtida behovet sätts till 35 kW maxeffekt.

Stall2

Slaktsvinsstallet behöver mest värme under kortare perioder, främst vid upptorkning efter tvätt samt vid insättning av nya grisar. Idag finns en elpanna med märkeffekt 50 kW men som är överdimensionerad enligt lantbrukarens bedömning. Det framtida behovet sätts till 45 kW maxeffekt.

Spannmålstork.

Torken värms nu av en oljeeldad varmluftspanna med märkeffekten 250 kW. Pannan är i ganska dåligt skick. Huvudalternativet är att koppla torken till gårdsvärmeanläggningen och byta den gamla pannan till ett varmvattenbatteri och fläkt. En sådan övergång kan leda till lägre torkluftstemperatur och därmed minskad torkningskapacitet, vilket man måste ta med i beräkningen. På denna gård odlas mest utsäde och brödsäd och därför kommer det inte att bli någon betydande förändring av torkluftstemperaturen. För eventuell framtida expansion ökas effektbehovet till 300 kW.

Försäljning närvärme

Det kunde vara intressant att även kunna sälja värme, eftersom kapacitet kommer att finnas. Det finns dock ingen tänkbar värmekund tillräckligt nära gården.

Efter denna utredning står det klart att inte alla byggnader bör anslutas till värmecentralen. Om effektbehovet är lågt eller om kulvertsträckan blir lång så blir överföringen för dyr i förhållande till effekt- och energibehov. Genomgången ledde fram till ett förslag, där man väljer att inte ansluta tre av byggnaderna, nämligen:

Bostad 2. Det blir förhållandevis dyrt att dra kulvert dit, minst 80 m. Det är möjligt och det blir billigare att sätta in en luftvärmepump, kompletterad med en pelletskamin, samt en elektrisk varmvattenberedare.

Garage. Behov av energi och effekt är små i förhållande till kostnaden för en särskild kulvertanslutning. Ett gott alternativ är att ansluta en radiator med ledning från stall 2, som praktiskt taget ligger vägg i vägg. Ett annat alternativ är en enkel eluppvärmning. Fortsatt används också elektriska motorvärmare på bilarna.

Kontor. Att ansluta kontoret medför nedläggning av ca 30 m kulvert extra. Med hänsyn till kulvertkostnaden och ingreppen i trädgårdstomten samt att kontoret inte används varje dag väljer man att behålla elvärmen i kontoret.

Sammanställning av samtidiga effektbehov.

Tabell 1. Effektbehov i sammanställning.

Byggnad	Maxeffekt	Kommentar	Utanför torkningsperioden	Under torkningsperioden
	kW		kW	kW
Bostad 1, mangårdsbyggnad	18		18	
Bostad 2	11	Ansluts inte		
Kontor	3	Ansluts inte		
Garage	2	Ansluts inte		
Verkstad	9		9	
Stall 1, suggstall	35		35	
Stall 2, slaktsvinsstall	45		45	
Spannmålstork	300	Nuvarande behov 250 kW Framtida behov >300 kW		300
Summa			107	300

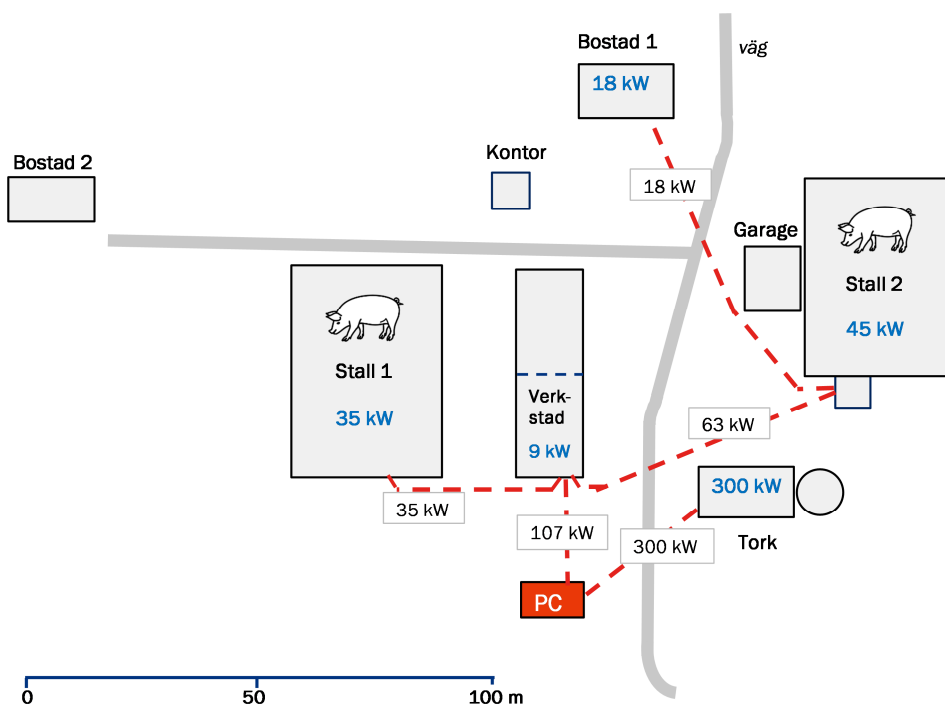
Tabellen visar på den stora skillnaden i effektbehov mellan torkningsperioden och tiden efter denna. Det påverkar pannan med hänsyn till dimensionering samt val av teknik och bränsle. (Se Spannmålstorkens effektbehov på sida 19.)

Här kommer man fram till att en 2-pannelösning är bäst. Utgångspunkten är att pannan/pannorna ska eldas med hög belastning för att ha tillräckligt bra verkningsgrad. Panna nr 1 på ca 120 kW ska klara maxbehovet, när inte spannmålstorken används. Den effekten täcker in värmebehov och utöver det även kulvertförluster, som kan uppgå till ca 8 kW om valet faller på fabrikstillverkad kulvert (tabell 7).

Under torkningsperioden behövs i nuläget 250 kW och i framtiden 300 kW. Panna nr 2 ska då ha en maxeffekt på minst 180 kW för att tillsammans med panna nr 1 ge 300 kW. Inriktningen är en panna på 200 kW, eftersom det kan inträffa under torkningsperioden att värme även behövs på annat håll, t.ex. i slaktsvinsstallet i samband med tvättning och insättning. Det finns god marginal för detta så länge torkkapaciteten inte byggts ut, men viss marginal behövs även senare.

Förprojektering av kulvert

Man skissar upp panncentralens placering och kulvertsträckningen samt beräknar överförd effekt i varje delsträcka. Panncentralen får en gynnsam placering med kort avstånd till torken och lägre kostnad för dyraste kulvertdimensionen. Max effektbehov antecknas på respektive byggnad och då kan man addera överförd effekt i kulvertsträckorna.



Lämpliga dimensioner för överförda effekter hämtas från tabell 6 på sida 30.

Tabell 2. Kulvertdimensioner.

Sträcka	Överförd effekt	Kulvert vid 0,10 kPa/m, $\Delta T = 20^\circ C$			Kommentar	Kulvertval
		Dimension	Kapacitet	Längd, ca		
PC - tork	300 kW	90/73,6 enkelrör	310 kW	35 m	Alternativt väljs dimension 75/61,2. Tryckfall beräknas öka till 0,25 kPa/m, vilket kan godtas under 20 dagars torkning.	75/61,2 enkelrör
PC-verksstad	107 kW	63/51,6 enkelrör	120 kW	25 m	Rak linje, även dubbelrör vara ett alternativ.	63/51,4 dubbelrör
Verksstad - Stall 1	35 kW	40/32,6 dubbelrör	38 kW	45 m		40/32,6 dubbelrör
Verksstad - Stall 2	63 kW	50/40,8 dubbelrör	66 kW	65 m	Få tillfällen då maxbehov inträffar samtidigt i stall 2 och bostad. Då godtas högre tryck.	50/40,8 dubbelrör
Stall 2 - Bostad 1	18 kW	32/26,0 dubbelrör	20 kW	80 m	40/32,6 ger god marginal.	32/26,0 dubbelrör

Anslutning sker i Bostad 1 med en slantank. Den fungerar både som värmexchångare och förrådsbehållare. Den förses också med elpatron som extra reserv och för att eventuellt klara spetslast. I spannmålstorken ansluts ett varmvattenbatteri och stallarna ansluts med shuntkopplingar.

HANDBOK I ENERGIEFFEKTIVISERING

Del 11

Uppvärmning

2015



Europeiska jordbruksfonden för
landsbygdsutveckling: Europa
investerar i landsbygdsområden

