SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET

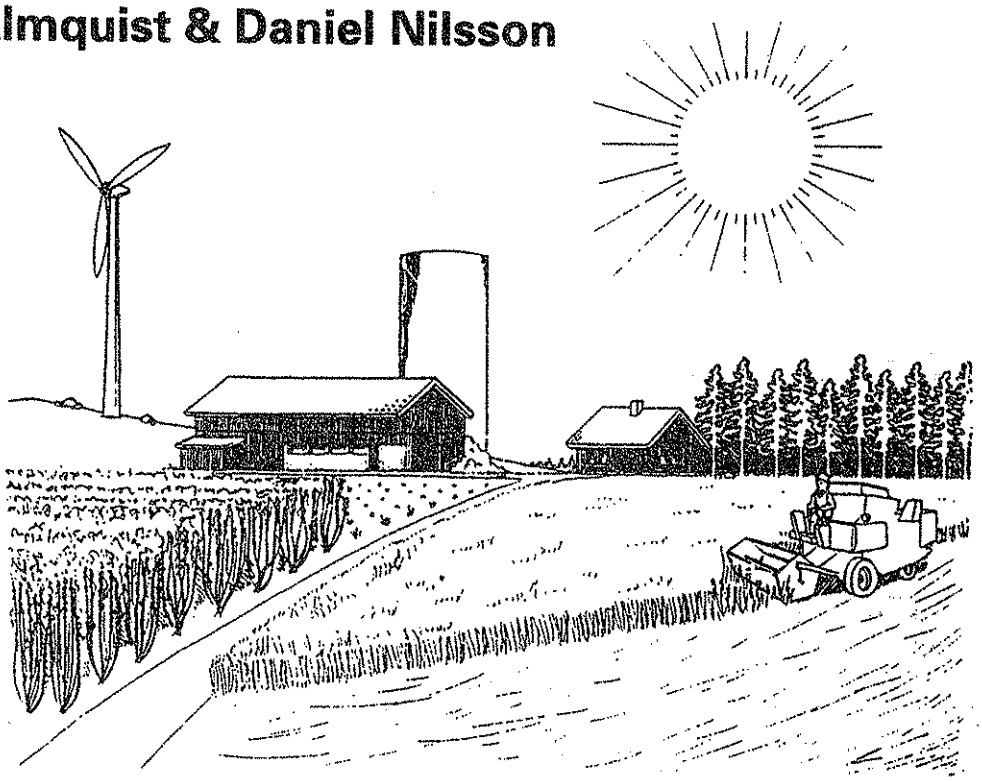
KOMPENDIUM I LANTBRUKETS ENERGITEKNIK

Del 1. Uppvärmning med biobränslen

ENERGY AND AGRICULTURE

Part 1. House Heating from Biofuels

Anders Almquist & Daniel Nilsson



Institutionen för lantbruksteknik

Swedish University of Agricultural Sciences
Department of Agricultural Engineering

Rapport 155
Report
Uppsala 1992
ISSN 0283-0086
ISBN SLU-LT-R-155-SE

DOKUMENTDATABLAD för rapportering till SLU:s lantbruksdatabas LANTDOK, Svensk lantbruksbibliografi och AGRIS (FAO:s lantbruksdatabas)

Institution/motsvarande	Dokumenttyp	
Institutionen för lantbrukstekniK	Rapport	
	Utgivningsår: 1992	Målgrupp: P, R

Författare/upphov

Almquist, Anders
Nilsson, Daniel

Dokumentets titel

Kompendium i lantbrukets energiteknik
Del 1. Uppvärmning med biobränslen

Energy and Agriculture
Part 1. House Heating from Biofuels

Ämnesord (svenska och/eller engelska)

Uppvärmning, energiplanering, värmebehov, energisparande, fastbränsleeldning, värmedistribution, bioenergi, biobränslen, skogsbränsle, energisskog, halm, energigräs, energispannmål, biogas, torv, bränslemarknad

Projektnamn (endast SLU-projekt)

Serie-/tidskriftstitel och volym/nr	ISBN	ISSN
Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbrukstekniK. Rapport 155	SLU-LT-R--155--SE	0283-0086

Språk	Smf-språk	Omfång	Antal ref.
Svenska	Svenska	161 s.	47

Postadress	Besöksadress	Telefonnummer	Telefax
SVERIGES LANTBRUKSUNIVERSITET Ultunabiblioteket Förvärvssektionen/LANTDOK Box 7071 S-750 07 UPPSALA Sweden	Centrala Ultuna 22 Uppsala	018-67 10 00 vx 018-67 10 98 018-67 10 97	018-301006

FÖRORD

Under 1990 användes drygt 64 TWh biobränslen i Sverige. För största delen av användningen svarade skogsindustrin, 42 TWh. El- och värmeverk, huvudsakligen fjärrvärmeverk, svarade för nära 13 TWh, medan 12 TWh ved och andra trädbränslen användes för uppvärmning av småhus.

Biobränslena utgjordes under 1990 av biprodukter från skogsindustrin, ved och flis från skogsbruket, samt torv och avfall. Men även bränslen från jordbruket får nu allt större användning. Årligen anläggs stora arealer energiskog. Intresset för halm som bränsle ökar igen efter att ha avtagit i samband med oljeprisfallet 1986. Försök med energigräs som bränsle pågår. Det finns också intresse för biogas, inte minst genom att man här kombinerar bränsleproduktion med omhändertagande av biologiskt avfall. Sammantaget beräknas bränsleråvaror från jord och skog få en allt större betydelse för den svenska energitillförseln.

Det förefaller ändamålsenligt att använda biobränslen så nära källan som möjligt, d v s för el- och värmeproduktion inom skogsindustrin, och för uppvärmning av lantbruksbyggnader och småhus på landsbygden. Beräkningar gjorda vid bl a Sveriges lantbruksuniversitet visar att användningen av biobränslen kan uppgå till 120 TWh/år i början på nästa sekel. Skogsindustrins användning av biobränsle beräknas ej öka. Det finns alltså utrymme för en betydligt ökad uppvärmning av lantgårdar och småhus på landsbygden med biobränsle. Ändå kommer nära hälften av den totala biobränslemängden att stå till förfogande för värme- och kraftvärmeverk i större och mindre tätorter.

Syftet med detta kompendium är att förmedla grundläggande kunskaper om uppvärmning av lantbruksbyggnader och småhus med hjälp av bränslen från jord och skog. För att kunna utnyttja alla de fördelar som dessa bränslen medför, behövs kunskaper om såväl bränslenas bakgrund och egenskaper, som deras användning.

Kompendiet är främst avsett att användas inom undervisningen vid Sveriges lantbruksuniversitet, men kan även vara av intresse för jord- och skogsbrukets rådgivare, kommunala energirådgivare, lantbrukare, småhusägare m fl.

Kompendiet har utarbetats inom projektet Databank och statistik, som har till syfte att sammanställa och förmedla kunskap om bioenergi. Projektet ingår som delprojekt i det av NUTEK finansierade projektet 146 310-2 Systemstudier ULL.

Uppsala i mars 1992

Anders Almquist
Daniel Nilsson

ABSTRACT

This report is primarily intended to support courses for undergraduates in agricultural engineering, but is also intended for a wider use among advisers in agriculture and forestry, farmers, house owners etc. The report consists of two sections. The first part considers energy management, energy conservation and estimation of energy and power requirements of buildings. In addition, combustion, furnaces and heat distribution are considered. The second part deals with production and utilization of biofuels, for instance wood, forest residues, salix, straw, energy grass, cereals, biogas and peat. Finally, economic and market aspects are discussed.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING 1

INLEDNING 3
Bakgrund 3
Syfte 3

VAD ÄR VÄRMEENERGI? 5

ENERGIPLANERING 7
Vad är energiplanering? 7
Nuvarande energiförsörjning 7
Energiresurser 9
Alternativens begränsningar 11
Lönsamhet och likviditet 12
Val av alternativ 22

VÄRMEBEHOV 23
Värmeöverföring 23
Ventilation 30
Gradtimmemetoden 33
Övriga energibehov 40
Totalt energi- och effektbehov för en bostads uppvärmning 41

ENERGISPARANDE 44
Tätning 44
Tilläggsisolering 46
Trimning av oljepanna 48
Luftvärmeväxlare 52
Andra energispartips 59

ELDNING MED FASTA BRÄNSLEN 60
Förbränningsteori 60
Pannor 67
Skorsten 74
Verkningsgrad 76
Emissioner 78
Normer och bestämmelser 79
Lokala eldstäder 82

DISTRIBUTION AV VÄRME 84
Värmesystem 84
Cirkulation 88
Ackumulatortankar 90
Radiatorer 96
Kulvertar 99
Gårdsvärmesystem 100

SKOGSBRÄNSLE 102
Förutsättningar och tillgångar 102
Drivningssystem 104
Sönderdelning 106
Hantering 108
Ved eller flis? 110
Förbränning 111
Miljöaspekter 112

ENERGISKOG 114
Förutsättningar och tillgångar 114
Produktion 115
Hantering 118
Förbränning 119
Miljöaspekter 119

HALM 121
Förutsättningar och tillgångar 121
Bärgning 121
Hantering 122
Förädling 123
Förbränning 124
Miljöaspekter 128

ENERGIGRÄS 130
Förutsättningar och tillgångar 130
Produktion 130
Hantering och förbränning 131
Miljöaspekter 132
Vass 132

SPANNMÅL 133
Förutsättningar 133
Produktion 133
Användning 134

BIOGAS 135
Förutsättningar och tillgångar 135
Produktion 135
Råvaror och restprodukter 138
Transport och lagring 139
Användning 139
Komposteringsvärme 141
Miljöaspekter 141

TORV 143
Vad är torv? 143
Tillgångar 146
Torvtäkt 147
Produktion 148
Lagring och hantering 151
Egenskaper som bränsle 152
Miljöaspekter 152

EKONOMI OCH MARKNAD 154
Finns det en marknad för biobränslen? 154
Marknaden för de olika bränslena 155
Prisfaktorer 157

LITTERATUR 159

SAMMANFATTNING

Avsikten med denna sammanställning är att visa hur gårdens värmebehov kan tillgodoses med hjälp av biobränslen från jord- och skogsbruket. Användning av de inhemska och förnybara biobränslena innebär positiva effekter för både landsbygden och miljön. Konkurrenskraften gentemot fossila bränslen begränsas dock genom de höga produktionskostnaderna.

Denna skrift är avsedd för kurser i lantbrukets energiteknik, men torde även vara intressant för enskilda lantbrukare, samt villa- och fastighetsägare. Stoffet har delats i två avdelningar, där den första behandlar energiplanering, beräkningar av bostäders energi- och effektbehov, energisparande, eldning av fasta bränslen, samt distribution av värme. Den andra delen ger en utförlig beskrivning av tillvaratagande och utnyttjande av biobränslen; d v s skogsbränslen, energiskog, halm, energigräs, spannmål, biogas och torv. Innehållet lägger tonvikten på småskaliga system.

Energiplaneringen syftar till att ge underlag för beslut om gårdens framtida energiförsörjning. Härvid görs en kartläggning över den nuvarande energisituationen, samt en inventering av lämpliga energikällor för framtida bruk. Genom att väga de olika alternativens begränsningar och ekonomiska förutsättningar mot varandra, kan man bedöma vilken energikälla som är mest lämplig.

För att kunna beräkna bostäders energibehov behöver man känna till de grundläggande begreppen för värmeöverföring. Man kan sedan med hjälp av det s k U-värdet beräkna energiomsättningen i huset. Energi- och effektbehoven uppskattas här med hjälp av gradtimmemetoden.

Värmeförlusterna kan begränsas genom byggnadstekniska, installationstekniska och beteendemässiga åtgärder. Byggnadstekniska åtgärder omfattar t ex tätning och tilläggsisolering av huset, medan trimning av befintlig värmeanläggning, installation av värmeväxlare o s v är exempel på installationstekniska åtgärder. Genom sådana relativt enkla åtgärder kan mycket värmeenergi sparas.

Eldning av fasta bränslen kräver kunskaper i såväl förbränningslära som eldningsteknik. Eldningens verkningsgrad, emissioner m m avslöjar nämligen hur duktig man är som eldare. Här behandlas även olika system för distribution av värme. Dessutom betonas vikten av att installera en ackumulatortank om man ämnar elda med fasta bränslen.

Uttaget av skogsbränslen är idag mindre än tillväxten. Tillgången på dessa bränslen är ansenlig; enligt vissa bedömningar skulle skogsbränslena kunna tillföra energi motsvarande ca 60 TWh per år. Utnyttjandet begränsas dock av ekonomiska skäl. För den enskilde skogsbrukaren är emellertid ved- och flis-eldning ofta det mest tilltalande alternativet.

Det rådande spannmålsöverskottet har ökat intresset för odling av energigrödor. De grödor som kommit ifråga är energiskog, energigräs, odling av spannmål för energiändamål, samt odling av grödor för biogasproduktion. Det pågår en tämligen intensiv forskning för att utveckla odlingssystemen för dessa grödor.

Invändningarna gäller framförallt produktionskostnaderna och energibalanserna. Tillvaratagande av bränslen som betraktas som avfall, och där man t o m kan erhålla ett vederlag för att man utnyttjar dem, kan dock bli konkurrenskraftiga. Detta gäller t ex gödsel, halm, organiska avfall från livsmedelsindustrier m m.

Torv definieras som ett biobränsle, trots att man ibland har betraktat det som ett fossilt bränsle. Torven har lagrats upp under årtusenden och ökar tillförseln av koldioxid till atmosfären om mängden nybildad torv är mindre än mängden förbränd torv. Många lantbrukare är innehavare av torvtäkter, varför även torveldning kan utgöra ett lockande alternativ.

Finns det en marknad för biobränslen? I det sista kapitlet diskuteras bränslena med utgångspunkt från deras ekonomiska och marknadsmässiga konkurrensförmåga. De största användningsområdena torde i framtiden vara för uppvärmning av enskilda småhus på landsbygden, samt användning vid fjärrvärmeverk och i större industrier. Bränslenas konkurrensförmåga betingas främst av bl a gällande skatteregler, transportavstånden, hur man värderar deras miljömässiga och samhällsekonomiska fördelar m m.

INLEDNING

Bakgrund

Vi har i vårt kyliga klimat ett stort behov av uppvärmning i våra bostäder. Den slutliga användningen av energi för uppvärmning av bostäder och lokaler uppgår till ungefär 100 TWh per år (STEV, 1991). Det motsvarar ca 26 % av Sveriges sammanlagda slutliga energianvändning. Efter oljekrisen 1973 har förbrukningen av olja i villapannor minskat kraftigt, medan användningen av el- och fjärrvärme ökat. Användningen av fasta bränslen, d v s framförallt vedeldning i småhus, är i stort sett oförändrad (runt 12 TWh/år).

Diskussionerna om jordbrukets avreglering och omställning till annan odling har väckt intresset för odling av energigrödor. Uppskattningar visar att överskottsarealen uppgår till ungefär en halv miljon hektar. Här finns således en stor produktionspotential. Uttaget av biomassa från skogen motsvarar idag inte tillväxten, och här finns ytterligare möjligheter till ökad användning av biobränslen.

Biobränslen från jord- och skogsbruket är inhemska, förnybara och miljövänliga energikällor. Biobränslen anses ha ringa försurande verkan, eftersom svavelhalten är låg. De bidrar heller inte med något nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Ökad användning av biobränslen minskar vårt oljeberoende, samtidigt som sysselsättningen ökar på landsbygden.

Det finns många problem att lösa, framförallt beträffande hantering och lagring. Den största nackdelen är de höga produktionskostnaderna. Konkurrensförmågan gentemot fossila bränslen bestäms dock i hög grad genom den energipolitik som statsmakterna för.

Biobränslen används vanligen för uppvärmningsändamål. Idag diskuteras även t ex biobränsleeldade kraftvärmeverk och framställning av etanol som fordonsbränsle. För den enskilde lantbrukaren är dock uppvärmning mest aktuellt. För att kunna beräkna byggnaders effekt- och energibehov krävs grundläggande kunskaper om värme som fysiskt fenomen. Likaså behövs insikter om energisparande, eldning av fasta bränslen och om värmedistribution. Slutligen bör man känna till de olika bränslenas bakgrund och egenskaper. Först då kan man till fullo utnyttja de positiva effekter som eldning av fasta bränslen medför.

Syfte

Syftet med denna sammanställning är att presentera hur gårdens värmeförsörjning kan utformas med hjälp av biobränslen. Framställningen är delad i två avdelningar. Den första berör energiplanering och energisparande, samt hur man beräknar värmebehovet. Dessutom behandlas eldning av fasta bränslen och värmedistribution. Den andra delen omfattar en mer ingående presentation av de biobränslen som kan vara aktuella för lantbrukaren. Skriften avslutas med en kortfattad diskussion om de ekonomiska förutsättningarna för biobränslen.

Studien har avgränsats så att den lägger tonvikten på bostadshusets värmeförsörjning, varför den även torde vara intressant för fastighets- och villaägare. Här behandlas ej storskaliga system, varken för eldningsanläggningar eller tillvaratagande av bränslen.

En målsättning för arbetet har varit att presentera stoffet så enkelt och överskådligt, så att rapporten kan läsas även av den som saknar förkunskaper i förbränningS- och värmelära. En målsättning har också varit att ge praktiska synpunkter som kan vara till nytta.

VAD ÄR VÄRMEENERGI?

Termen energi formulerades för omkring 150 år sedan av de berömda fysikerna J P Joule, lord Kelvin och H Helmholz. Ordet kommer ursprungligen från grekiskans "ergon", som på svenska betyder kraft.

Allt som sker innebär att energi omvandlas från en form till en annan. När du t ex läste föregående påstående skedde en energiomsättning i hjärnan som gör att du nu kommer ihåg påståendet. Andra exempel på energiomvandlingar är stjärnexplosioner och galaxers rörelser, eller fågelkvitter och myggbett.

Energi kan inte skapas eller förstöras, bara omvandlas från en form till en annan. Denna viktiga princip kallas termodynamikens första huvudsats och innebär att summan av all energi är konstant i ett slutet system. I ett slutet system kan således varken materia eller information passera dess väggar.

Energi kan uppträda i många olika former; t ex som potentiell energi (lägesenergi), kinetisk energi (rörelseenergi), termisk energi (värmeenergi), elektrisk energi, strålningsenergi och kemisk energi. Betrakta exempelvis en sten som släpps ned på marken. När man håller stenen i handen har den en viss lägesenergi. Låter man stenen falla omvandlas lägesenergin till rörelseenergi, som sedan omvandlas till värme när stenen landar på marken.

Exemplet med stenen visar att energi kan beskrivas i kvalitativa begrepp. Ju mer användbar en energiform är, eller ju mer mekaniskt arbete den kan utföra, desto högre energikvalitet har den. Stenens lägesenergi kan uträtta ett arbete som så småningom blir värme, medan den bildade värmen aldrig kan utföra samma arbete även om man utnyttjar en värmemaskin. En del av den bildade värmen kommer att förbli termisk energi.

Detta leder oss fram till termodynamikens andra huvudsats, som säger att alla energiomvandlingar sker i riktning mot ökande oordning (entropi). En process där värme spontant överförs från en kallare till en varmare kropp är således otänkbar.

Då energi inte kan skapas måste den vid överföring ges i form av ett flöde från en källa. Enligt termodynamikens första huvudsats måste emellertid denna källa erhålla sin energi från en annan källa, som i sin tur... o s v. Detta flöde som överförs per tidsenhet definieras som effekt. Effekt kan även beskrivas som energiomsättningen per tidsenhet. Observera således att energi och effekt är helt skilda begrepp!

Som nämndes ovan kan energi förekomma i form av termisk energi. Fysikaliskt sett är termisk energi ett uttryck för rörelsen hos atomer och molekyler. När denna värmerörelse avstannat helt har temperaturen sjunkit till dess absoluta nollpunkt. Detta inträffar vid - 273,16°C. Ju högre temperaturen sedan är, desto större är atomernas värmerörelse. Temperaturen mäter värmerörelsens kvalitet, och ska inte förväxlas med värmemängden, som uttrycker en kvantitet.

Erfarenheterna säger oss att om två system med olika temperatur kommer i kontakt med varandra, uppstår så småningom en termodynamisk jämvikt. Detta viktiga förhållande beskrivs av termodynamikens nollte huvudsats; två system som befinner sig i jämvikt har samma temperatur.

ENERGIPLANERING

Vad är energiplanering?

Ibland kanske man, t ex av ekonomiska eller arbetsorganisatoriska skäl, överväger att förändra gårdens energiförsörjning. Då uppstår frågan om vilket energisystem som är lämpligast. Energiplaneringen syftar till att ge underlag för beslut om företagets framtida energiförsörjning.

Gårdens energiplanering kan innehålla följande frågeställningar:

- Vad vill jag uppnå genom att ändra energiförsörjningen? Är det minskade kostnader eller mindre arbete?
- Hur ser gårdens energianvändning ut idag? Hur fördelar sig energi- och effektbehov på olika delar inom företaget? Avviker energiförbrukningen från vad som är normalt?
- Vilka resurser (energikällor, arbetskraft och kapital) finns tillgängliga?
- Vilket alternativ är mest miljövänligt?
- Vilka restriktioner och tekniska begränsningar finns på gården?
- Vilket alternativ är mest lönsamt?
- Utifrån vilka kriterier väljer jag alternativ och hur genomförs sedan projektet?

I detta kapitel diskuteras hur man kartlägger den nuvarande energisituationen och sedan väljer passande energikälla. I första hand avses energi för uppvärmning, men resonemanget är även tillämpbart för annan energianvändning.

Nuvarande energiförsörjning

En noggrann kartläggning av gårdens nuvarande energiförsörjning utgör en grundförutsättning för en framgångsrik energiplanering. Energibehovet för olika byggnader och anläggningar undersöks, samt vilka energislag som krävs och när under året som behovet föreligger.

Det kan vara lämpligt att göra en situationsplan över gården. Härvid framgår de olika byggnadernas läge i förhållande till varandra och avstånden mellan förbrukningsställena. Man kan då bedöma om energiförsörjningen kan vara gemensam för vissa byggnader.

Byggnadernas energibehov för uppvärmning, belysning och kraft undersöks. Den tidigare värmeåtgången för bostadshuset är i regel lätt att uppskatta vid oljeeldning. Vid eldning med ved eller annat bränsle kan man göra en grov bedömning av bränsleåtgången. Beträffande eluppvärmning finns det i allmänhet uppgifter att tillgå om elförbrukningen.

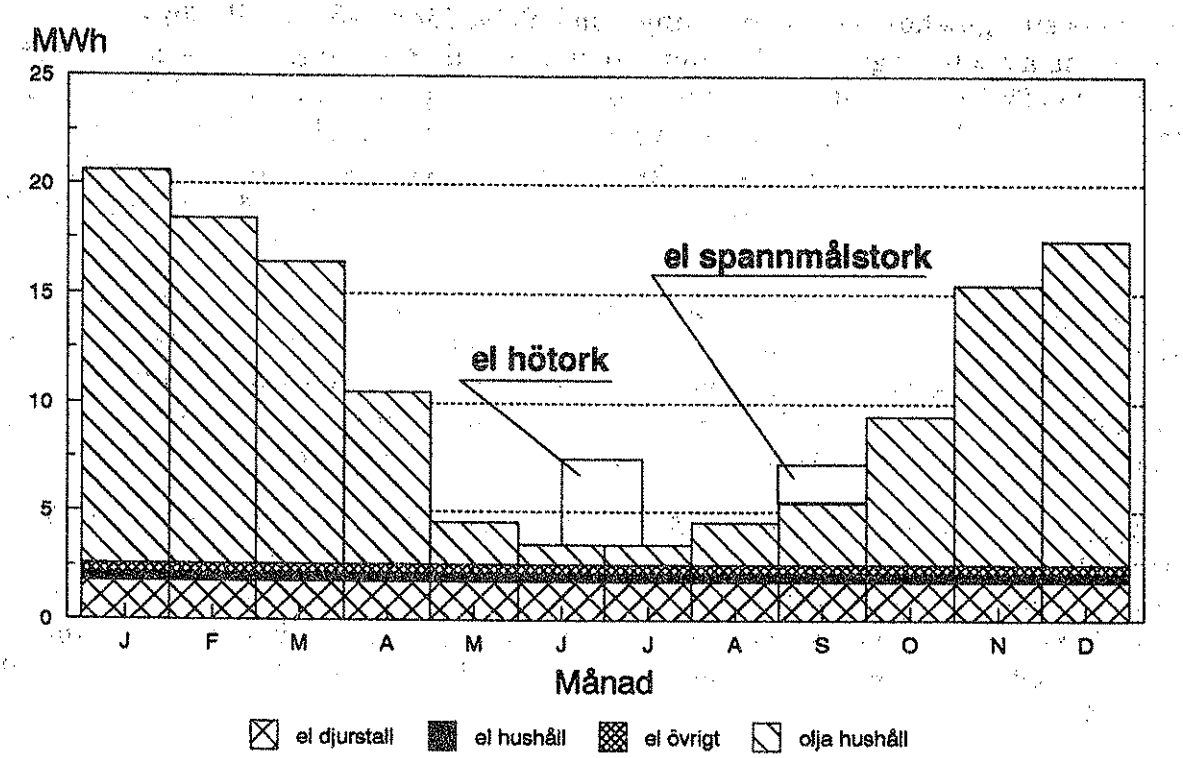
En uppskattning av den återstående livslängden för de befintliga anläggningarna möjliggör ekonomiska jämförelser mellan fortsatt drift och byte av system. Energibehovets variation under året undersöks så att anläggningarnas maximala effektbehov kan bestämmas. Utgångspunkt kan då vara maskinernas maximaleffekt.

När energi- och effektbehoven för de olika förbrukningsställena har framtagits kan de sammanställas i en tabell (se tabell 1). Här kan även gårdens behov av drivmedel upptecknas. Lägg märke till att energiförbrukningen varierar starkt under året.

Tabell 1. Exempel på energiförbrukning för en gård med 50 mjölkkor och rekrytering (Källa: Ehrlemark & Svensson, 1982)

Förbrukningsställe	Nuv. förbrukn. kWh/år	Max effekt kW	Energi-slag	Säsong
Bostad				
uppvärmning	99000	20	olja	höst-vår
hushållet	4800	4	el	
Kostall				
ventilation	9000	1,5	el	mest sommar
varmvatten	4000	2	el	
belysning	3500	2	el	
utgödsling	750	3	el	
mjölkning	2000	2	el	
mjölkkylning	5000	3,5	el	
spannmålstorkning (90 ton)	1800	8	el	höst
hötorkning (45 ton)	4000	11	el	sommar
Övrig el	5000	7	el	

En mer överskådlig bild av gårdens energibehov erhålls om man gör ett stapeldiagram. I detta "månadsdiagram" (figur 1) visas energibehovet för respektive månad, samt hur behovet täcks av olika energikällor.



Figur 1. Energiförbrukning under årets månader (exkl drivmedel) för en gård med 50 mjölkkor inkl rekrytering. Källa: Ehrlemark & Svensson, 1982.

Energiresurser

Vid energiplaneringen prövas vilken eller vilka energikällor som är lämpligast. Denna prövning görs med utgångspunkt från de olika förbrukningsställenas energibehov. Här följer en översikt över de vanligaste energikällorna på ett lantbruk.

Olja är den energikälla som har haft störst betydelse för vår uppvärmning. Oljans prisutveckling och negativa miljöpåverkan har dock lett till att även andra alternativ blivit intressanta. På grund av oljans många positiva egenskaper som energikälla, t ex god reglerbarhet, hög driftssäkerhet och litet arbetsbehov, kommer den även i framtiden att spela en viktig roll för vår uppvärmning.

Användningen av elvärme har ökat under de senaste åren. Elvärme är av speciellt intresse i anläggningar med kort drifttid, t ex i stallar med litet uppvärmningsbehov. Elvärme är också lämplig för varmvattenberedning, vilket medför att pannan kan stängas av sommartid. Fördelarna med elvärme är god reglerbarhet, hög driftssäkerhet, litet arbetsbehov och låg investeringskostnad.

Solen tillför årligen mellan 800 kWh/m^2 (norra Norrland) och 1000 kWh/m^2 (Skåne). Instrålningen är dock ojämnt fördelad över året. Under dygnet varierar instrålningen från 0 kW/m^2 på natten till 0,8 kW/m^2 mitt på dagen. Kunde man tillvarata den inkommande strålningen och lagra denna energi så att den kunde användas när man behöver den, skulle en mycket liten yta räcka för att täcka

gårdens energibehov. Den utrustning som behövs för en sådan allmän användning av solenergi är dock ännu inte utvecklad. Solenergi kan därför endast användas för begränsade uppgifter, t ex för torkning av spannmål och hö, samt för varmvattenberedning under sommaren. Om solenergi ska få någon större betydelse i framtiden, måste tekniska och ekonomiska lösningar för värmelagring (sommar till vinter) tas fram. För direkt omvandling av strålningsenergi till el finns solceller utvecklade, men kostnaderna för dessa är höga.

Vindkraftanläggningar producerar elenergi, mekaniskt arbete eller värme. Kraftverken kan ge 300-1500 kWh per m^2 svept yta och år. Den tillgängliga energimängden bestäms av årets medelvindhastighet på den plats där vindkraftverket placeras. Liksom solenergin är vindenergin ojämnt fördelad över året, och möjligheterna att magasinera den insamlade energin är små.

Vatten kan utnyttjas som energikälla på två sätt: dels för att generera elkraft, och dels som värmekälla för en värmepump. Fallhöjden och vattenflödet bestämmer det möjliga effektuttaget och årsenergiproduktionen. Teoretiskt kan man få 86 000 kWh per år vid 1 meters fallhöjd och 1 m^3/s. Effekten är då ungefär 10 kW. Då man ej alltid har fullt vattenflöde bör man räkna med ca 40 000 kWh/år.

Ett alternativ kan vara att använda vatten som värmekälla. Då värmepumpens värmefaktor är bäst vid hög och jämn temperatur hos värmekällan, har vatten något bättre förutsättningar än jordvärme och uteluft, men sämre än stalluft.

Marken är en viktig energiresurs. Sommarens solvärme lagras i de ytliga jordlagren och kan sedan utvinnas av en värmepump under hela året. Man kan utvinna 3-10 kW per 1000 m^2 markyta.

Ibland används värmepump för att utnyttja grundvattenvärme eller bergvärme från så kallade energibrunnar. Brunnarnas djup kan variera från ca 10 m till 150 m. Går man djupare, ofta 1-3 km, kan man få värme som direkt kan användas för uppvärmning. Detta kallas geotermisk energi. Den kommer dock knappast att utvinnas på gårdsnivå.

Med en värmepump kan uteluftens lågvärdiga värmeenergi utvinnas. Vintertid ger en sådan anläggning dåligt utbyte. Används ventilationsluften från bostäder eller stallar blir energitillförseln jämnare och temperaturnivån högre. Djuren behöver en minimiventilation på 2-10 m^3 per dygn och kg kroppsvikt. Man kan ta tillvara 3-6 kW om ventilationsflödet är 1000 m^3 per timme.

Spillvärme från mjölkkylningen kan tas tillvara. Minst 150 kWh per ko och år kyls bort ur mjölken, vilket motsvarar ett kontinuerligt effektuttag på 15-20 W per mjölkko. Mjölkvärmet är lågvärdigt och utvinns med värmepump. Mjölkvärme används vanligen för uppvärmning av tappvarmvatten i mjölkrummet.

Skogsbränslen, energiskog, halm, energigräs, vass, spannmål, biogas och torv presenteras senare i särskilda kapitel.

Alternativens begränsningar

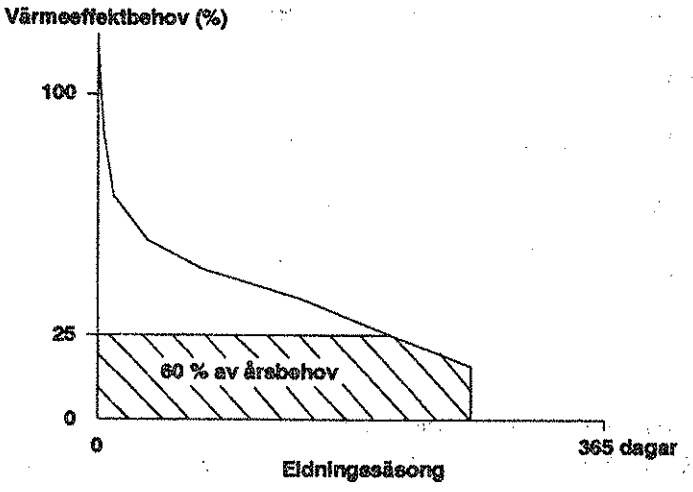
Många av de ovan nämnda energikällorna kan avfärdas av tekniska skäl. Vissa av dem kan t ex inte tillgodose förbrukningsställenas krav på maximal effekt, säsongsvariation, årsenergibehov, energikvalitet etc.

Ett av de största problemen med värme är lagringen. Med dagens teknik är lagring från sommar till vinter knappast genomförbart. Man kan då istället lagra bränslet. Däremot går det ofta utmärkt att lagra värme från dag till natt. Vidare kan distributionssättet utesluta vissa energikällor. Om förbrukningsställena ligger utspridda kanske man skall överväga att använda flera pannor, eftersom ett kulvertsystem alltid medför värmeförluster.

Vissa energikällor har större arbetsbehov än andra. Man bör beakta när under året som arbetstopparna infaller, och undersöka om dessa arbeten konkurrerar med andra sysslor på gården. Det är även viktigt att man värderar arbetet korrekt vid upprättandet av kalkyler.

Anskaffning av maskiner och annan kringutrustning innebär kanske en stor investering. Betänk då möjligheterna till maskinsamverkan om utrustningen har kort användningstid! Obeprövad teknik innebär alltid ett risktagande, varför man alltid bör besöka referensanläggningar och kontakta energirådgivare för ytterligare information. Man bör även fundera på vilka möjligheter som finns beträffande utvidgningar och modifieringar om energibehovet skulle förändras i framtiden.

Den största delen av av årets energiförbrukning härrör från de många dagarna med måttligt effektbehov. Det är relativt få dagar som man närmar sig det maximala effektbehovet. Figur 2 visar effektbehovet för uppvärmning under årets olika dagar. Dagarna har inte ritats in i datumordning, utan ordnats efter deras effektbehov. Exemplet är hämtat från Uppsala, men diagram för andra orter får ett likartat utseende.



Figur 2. Effektbehovet för uppvärmning av en bostad under årets dagar i Uppsala. Källa: Ehrlemark & Svensson, 1982.

Ur figuren framgår att endast 25 % av maxeffekten räcker för att klara över 60 % av årsvärmebehovet. Beträffande val av rätt kombination av värmekällor finns det en tumregel som säger:

- Värmekällor med höga investeringskostnader (stora fasta kostnader) och låga bränsle- och driftskostnader skall användas för att täcka basvärmebehovet.
- Toppbelastningarna klaras med en värmekälla med liten investeringskostnad (låga fasta kostnader) och eventuellt stor arbetsinsats och dyrare bränslen.

Tillämpas denna tumregel får basvärmekällan en lång drifttid, som de höga fasta kostnaderna kan fördelas på. Investeringskostnaden kan hållas nere genom att maxeffekten blir lägre för basvärmekällan.

Det finns även en teknisk fördel med denna kombination. Många värmekällor har dålig verkningsgrad när de arbetar med låg- och dellast. Driftsekonomin blir därför bättre när basvärmekällan utnyttjas så mycket som möjligt. Detta resonemang kan inte tillämpas fullt ut för små anläggningar. Om inte investeringskostnaden ska bli alltför hög, måste man upp till en viss minimistorlek innan det är möjligt att investera i två värmekällor.

Lönsamhet och likviditet

När man gör en energisparåtgärd, t ex tätar och isolerar, eller byter värmepanna, gör man en investering. Man tar på sig en stor utgift idag, vilken man beräknar ska ge minskade utgifter för uppvärmning i framtiden. För att beräkna en investerings lönsamhet gör man en investeringskalkyl. För att ta reda på om man har råd med utgiften bör man också göra en likviditetskalkyl.

Investeringskalkylens syfte

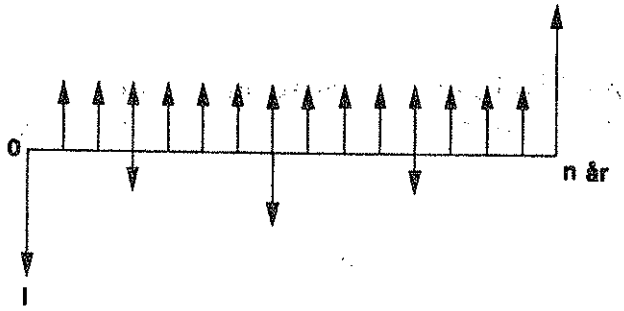
I investeringskalkylen jämförs inkomster och utgifter av olika storlek som infaller vid olika tidpunkter. Investeringskalkyl används bl a då man vill

- beräkna lönsamheten av en investering
- jämföra olika investeringsalternativ med varandra
- beräkna årskostnaden för en viss anläggning
- beräkna utbytestidpunkt för en viss anläggning

Modell

Det finns olika sätt att utföra en investeringskalkyl, men alla utgår från samma grundmodell. Antag att man gör en investering på I kr vid tidpunkten 0. Investeringen har livslängden n år, och orsakar under denna period inkomster och utgifter av olika storlek vid skilda tidpunkter. Detta kan illustreras grafiskt, se figur 3. På en tidsaxel löpande från år 0 till år n avsätts grundinvesteringen nedåt i början av år 0. Alla påföljande utgifter, exempelvis reparationer, avsätts

nedåt i början av de år de görs. Intäkter, exempelvis i form av minskad bränsleåtgång, avsätts uppåt i slutet av det år de erhålls. Investeringen kan även ha ett restvärde år n, vilket då betraktas som en intäkt.



Figur 3. Grafisk illustration av en investering.

Det egentliga problemet är att jämföra intäkter och utgifter som uppträder vid olika tidpunkter. Detta görs med hjälp av räntan och kan ske på olika sätt:

Nuvärdemetoden

Med hjälp av en vald ränta räknas alla inkomster och utgifter om till sitt värde i början av år 0 och adderas. Om summan, nuvärdet, är större än noll är investeringen lönsam.

Om flera investeringar ska jämföras, räknas nuvärdet ut för var och en. Den investering som har högst nuvärde är mest lönsam.

Annuitetsmetoden

Med hjälp av vald ränta räknas alla inkomster och utgifter om till ett för varje år lika stort belopp, annuiteten. Jämför t ex annuitetslån, där man betalar ett lika stort belopp varje förfallodag under lånets löptid. Där sjunker ränteandelen allteftersom lånet betalas tillbaka, men istället ökar amorteringsandelen så att summan av ränta och amortering hålls konstant.

Medelräntemetoden

För kalkylering enligt annuitetsmetoden erfordas formler eller tabeller. Ofta är kalkylsituationen mycket enkel så att man har en investering år 0, och intäkter och utgifter som är lika stora år från år. Man kan då använda medelräntemetoden, där räntan beräknas på ett genomsnittsbelopp. Metoden ger ett något för lågt värde, men den är enkel att använda.

Årskostnadsberäkning

Ofta är kalkylsituationen sådan att man har en investering och sedan årliga kostnader som är lika stora. Genom att räkna om investeringen till ett för varje

år lika stort belopp och sedan addera den årliga kostnaden, kan årskostnaden beräknas. Investeringens årskostnad beräknas med annuitets- eller medelräntemetoden.

Internräntemetoden

Metoden skiljer sig från de tidigare genom att man ej i förväg bestämmer någon ränta. Istället är det förräntningen som beräknas och sedan utgör ett mått på lönsamheten.

Pay-off-metoden (återbetalningsmetoden)

För enkla överslagsberäkningar kan man använda pay-off-metoden. Där beräknas tiden det tar för en investering att betala sig. Pay-off-tiden erhålls genom att grundinvesteringen divideras med det årliga överskottet. Metoden tar ej hänsyn till ränta och passar därför bäst för investeringar som betalar sig snabbt.

EXEMPEL. En villa förbrukar 5 m^3 olja per år. Oljepriset är 3500 kr/m^3. Av oljan åtgår 4,5 m^3 för bostadens uppvärmning och 0,5 m^3 för tappvarmvatten. Villan känns ganska dragig, och husägaren ämnar minska såväl drag som oljeförbrukning genom att sätta in nya tätningslister runt fönster och dörrar. Hur lönsam är tätningen uttryckt i återbetalningstid för investeringen (pay-off-tid), om åtgärden sänker uppvärmningskostnaden med 7%?

Materialåtgången är: fönsterlist 100 m à 4,00 kr/m, dörrlist 30 m à 7,10 kr/m, häftklammer 30 kr. Villaägaren utför själv monteringen.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Kostnaden för investeringen, d v s för lister och häftklammer, är 643 kr. Den årliga vinsten är 7 % av den olja som åtgår för uppvärmning, d v s 0,07 x 4,5 m^3 x 3500 kr/m^3 = 1103 kr.

Pay-off-tid = 643/1103 = 0,6 år.

Åtgärden att täta huset är således mycket lönsam. Den tjänas in redan första året.

Formler för nuvärdes- och annuitetsberäkningar

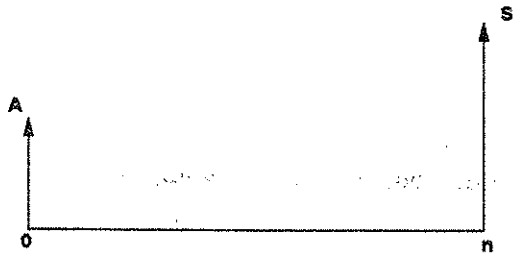
Vid investeringskalkylering använder man i regel formelsamlingar och tabeller. Formlerna kan man dock vid behov lätt härleda själv. Här följer en kortfattad översikt över hur detta kan gå till.

Beteckningar: A = belopp år 0
S = belopp år n
s = årligen återkommande belopp
p = räntefot (exempelvis 0,06)

Slutvärdet av ett belopp

Begynnelsevärdet A växer år från år genom multiplikation med räntefaktorn (1+p) till slutvärdet S (figur 4).

$$S = A \cdot (1+p) \cdot (1+p) \ldots\ldots (1+p) = A(1+p)^n$$



Figur 4. Illustration av slutvärdet för ett belopp.

Nuvärdet av ett belopp

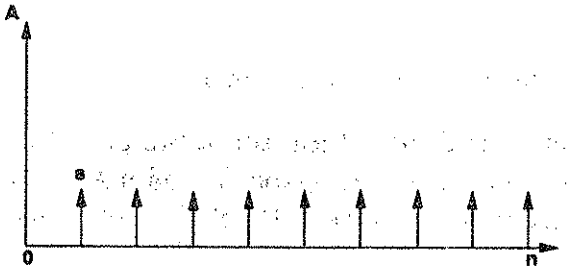
Av ovanstående formel följer att nuvärdet A av ett belopp S som faller ut om n år är

$$A = S(1+p)^{-n}$$

Nuvärdet av årligen återkommande belopp

Genom upprepad tillämpning av formeln för nuvärdet av ett belopp finner man att nuvärdet av under n år årligen återkommande lika stora belopp s är

$$A = s(1+p)^{-1} + s(1+p)^{-2} + \ldots + s(1+p)^{-n}$$



Figur 5. Illustration av nuvärdet för årligen återkommande lika stora belopp.

Detta är en geometrisk serie! Summan av en geometrisk serie är

$$T = t_1 \frac{k^n - 1}{k - 1}$$

där T = seriens summa
t_1 = seriens första term
k = den faktor varje term ska multipliceras med för att man ska få nästa term i serien
n = antal termer

Genom användning av formeln för summan av en geometrisk serie fås

$$A = s\frac{(1+p)^n - 1}{p(1+p)^n}$$

ÖVNING. Genomför härledningen i detalj! Härled också formeln för summan av en geometrisk serie!

Slutvärdet av årligen återkommande belopp

På motsvarande sätt kan man visa att slutvärdet av årligen återkommande belopp är

$$S = s\frac{(1+p)^n - 1}{p}$$

Annuitet

I den ovan nämnda annuitetsmetoden räknar man om belopp som utfaller vid en viss tidpunkt till årligen återkommande lika stora belopp. Formeln för detta får man genom att lösa ut s ur den ovan givna formeln för nuvärdet av årligen återkommande belopp

$$s = A \cdot \frac{p(1+p)^n}{(1+p)^n - 1}$$

där $p(1+p)^n/[(1+p)^n-1]$ kallas annuitetsfaktorn.

EXEMPEL. Antag att man år 0 tar ett annuitetslån på A kr och ska betala ränta och amortering under en återbetalningsperiod på n år. Det årliga belopp som ska betalas får man genom att multiplicera lånebeloppet A med annuitetsfaktorn.

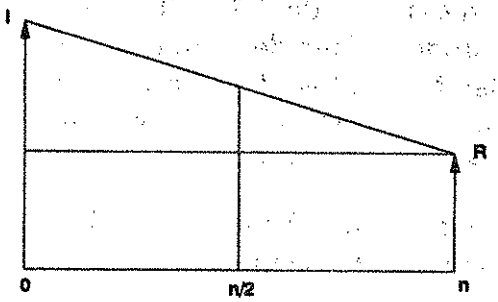
Medelräntemetoden för beräkning av annuitet

I investeringskalkyler används ofta en schablonmetod för att beräkna annuiteten. Genom att dividera det belopp som ska avskrivas med avskrivningstiden får man en amortering som är lika stor år från år. Genom att sedan beräkna räntan på investeringens genomsnittliga värde under avskrivningstiden får man också en årlig ränta som är lika stor år från år. Annuiteten eller årskostnaden blir

Årskostnad = Årlig avskrivning + genomsnittlig årlig ränta.

Med beteckningarna

I = Investering
R = restvärde
n = avskrivningstid
p = ränta



Figur 6. Illustration av genomsnittligt värde under avskrivningstiden.

fås årlig avskrivning = (I-R)/n

och genomsnittlig ränta på det avskrivna beloppet = p(I-R)/2.

Dessutom ska även restvärdet förräntas med p•R, d v s

$$\textit{Årskostnad} = \frac{I-R}{n} + \frac{p(I-R)}{2} + p \cdot R = \frac{I-R}{n} + \frac{p(I+R)}{2}$$

Denna årskostnad blir något lägre än om annuitetsmetoden används, men i investeringskalkyler är denna noggrannhet ofta fullt tillräcklig. Medelräntemetoden kan förbättras något med en korrektionsfaktor, d v s

$$\textit{Årskostnad} = \frac{I-R}{n} + \frac{p(I+R)}{2} \cdot \frac{n+1}{n}$$

ÖVNING. Vad blir årskostnaden om restvärdet är noll?

Kalkylförutsättningar

Avgörande för resultatet av en investeringskalkyl är naturligtvis vilka siffervärden som används. Två förutsättningar som har mycket stor betydelse, men som kan vara svåra att bestämma, är kalkylränta och avskrivningstid.

Kalkylräntan är ett mått på den avkastning man vill ha på det investerade kapitalet. Ett företag som har många lönsamma möjlighetr att investera sina pengar väljer en hög kalkylränta. En privatperson med sparkapital jämför avkastningen av en investering med den ränta han kan få på ett bankkonto eller på att köpa aktier. En person som lånar pengar till en investering kräver att investeringen åtminstone ger en avkastning som överstiger räntan på lånet. Kalkylräntan måste alltså bestämmas från fall till fall.

Oftast räknar man med en s k realränta, d v s man minskar sitt egentliga räntekrav med inflationen. Pengarnas köpkraft minskar ju med inflationen, medan den gjorda investeringen har ett mer bestående värde. Dess nominella värde kan till och med öka med tiden.

EXEMPEL. En person lånar pengar till 17 % ränta. Inflationen är 8 %. Den realränta han bör använda i investeringskalkylen är 9 %.

Avskrivningstid är i det här fallet i regel lika med ekonomisk livslängd, d v s den tidsrymd under vilken det inte lönar sig att byta utrustningen. Den ekonomiska livslängden är ofta betydligt kortare än den tekniska. Tekniskt sett kanske en anläggning skulle hålla i 25 år, men efter 15 år kan den ha blivit så omodern att det lönar sig att byta ut den.

Man ska noga skilja på ekonomisk livslängd och bokföringsmässig avskrivningstid, som är något helt annat.

Räkneexempel

Här följer ett par exempel där olika kalkylmetoder tillämpas. Exemplen gör inte anspråk på att i detalj visa hur investeringskalkyler upprättas, utan visar endast de viktigaste delarna som bör ingå.

Exempel 1

Farbror Blå äger ett enkelglasväxthus som värms med olja. De stigande oljepriserna har gjort växthuset mindre lönsamt, och därför överväger han följande åtgärder:

- helisolering av stora delar av växthusets glasytor
- installation av belysning för att komplettera ljusförlusterna, belysa kulturerna under mörka perioder, samt utnyttja den värme som alstras av belysningen

Bedöm investeringens lönsamhet genom att göra en lönsamhetskalkyl med nuvärdemetoden. Gör för övnings skull också motsvarande kalkyl med annuitetsmetoden.

Kalkyldata:

Pris för belysning inkl installation	150 000	kr
Pris för isolering inkl montering	16 000	kr
Nuvarande oljeförbrukning	54	m^3/år
Bedömd oljeförbrukning efter investering	13	m^3/år
Nattbelysning	2 160	h/år
Dagbelysning	1 440	h/år
Oljepris	4 000	kr/m^3
Elpris dagtaxa	0,70	kr/kWh
Elpris nattaxa	0,35	kr/kWh
Antal lampor	90	st
Effekt per lampa	400	W
Bedömd underhållskostnad	3 000	kr/år
Ekonomisk livslängd	20	år
Kalkylränta	6	%

Nedan redovisas förslag till lösning.

Investering, kr		166 000
Restvärde, kr		0
Årligt bruttoöverskott		
Alternativet är att inte investera. Årskostnaden skulle då ha varit 54*4000 kr, vilket nu räknas som intäkt	216 000	
Driftskostnad efter investering - olja 13*4000 kr - el (0,70*1440 + 0,35*2160) * 90 * 0,400 kr - underhåll 3000 kr Summa, kr	118 504	
Årligt bruttoöverskott, kr		97 496

Nuvärdemetoden

Bruttoöverskottens nuvärde är:

$$97496\frac{(1+0{,}06)^{20}-1}{0{,}06(1+0{,}06)^{20}} = 1118000 \quad kr$$

Grundinvesteringens nuvärde: 166 000 kr.

Investeringens nuvärde blir således: 1 118 000 - 166 000 = 952 000 kr.

Eftersom kapitalvärdet är större än noll, är investeringen lönsam.

Annuitetsmetoden

Årligt bruttoöverskott: 97 496 kr.

Annuiteten för grundinvesteringen är:

$$166000\frac{0{,}06(1+0{,}06)^{20}}{(1+0{,}06)^{20}-1} = 14473 \quad kr$$

Nettoöverskott: 97 496 - 14 473 = 83 023 kr.

Eftersom det årliga nettoöverskottet är större än noll, är investeringen lönsam.

Exempel 2

Förutsättningar: I ett bostadshus är värmepannan utsliten och skall ersättas av en ny. Valet står nu mellan olje- och vedeldning. Kostnaderna är följande:

	Olja	Ved
a) investering, kr	18 000	35 000
b) avskrivningstid, år	15	15
c) restvärde, kr	0	0
d) kalkylränta, %	7	7
e) bränslepris, kr/m^3	4 000	200
f) bränsleåtgång, m^3/år	4	24
g) underhåll, % av investering/år	2	4
h) arbetsbehov, timmar/år	5	90
i) arbetskostnad, kr/timme	80	80

Uppgift: Använd årskostnadsmetoden för att jämföra olje- och vedalternativen. Beräkna kapitalkostnaden enligt medelräntemetoden.

Undersök hur kapitalkostnaden ändras om den istället beräknas enligt annuitetsmetoden eller medelräntemetoden (med korrektionsfaktor).

Gör en känslighetsanalys. Vilka kalkylfaktorer spelar störst roll?

Förslag till lösning

Årskostnaden för de olika alternativen kan beräknas enligt:

	Olja		Ved	
Kapitalkostnader enl medelräntemetoden, kr				
avskrivning (a-c)/b	1 200		2 333	
ränta d/100*(a+c)/2	630		1 225	
summa		1 830		3 558
Driftskostnader, kr				
bränsle e*f	16 000		4 800	
underhåll g/100*a	360		1 400	
arbete h*i	400		7 200	
summa		16 760		13 400
Summa årskostnad, kr		18 590		16 958

Om kapitalkostnaden istället beräknas enligt annuitetsmetoden blir den för olja:

$$18000 \cdot \frac{0{,}07(1+0{,}07)^{15}}{(1+0{,}07)^{15}-1} = 1976 \quad kr/år$$

På motsvarande sätt blir kostnaden för ved 3843 kr (kontrollera gärna!).

Kapitalkostnaden för olja är enligt medelräntemetoden med korrektion:

$$\frac{18000}{15} + 0{,}07 \cdot \frac{18000}{2}\left(\frac{15+1}{15}\right) = 1872 \quad kr/år$$

För ved erhålles 3640 kr/år.

Beräkningarna visar att det inte skiljer så mycket mellan de olika metoderna för att beräkna kapitalkostnaden. Man kan därför välja den metod man tycker är enklast.

Kalkylerna visar att vedeldning är något lönsammare än eldning med olja. Många faktorer är dock osäkra i kalkylen. Vi gör därför en känslighetsanalys för att utröna hur de olika kostnadsposterna påverkar resultatet.

Oljans pris: Sjunker oljepriset till 3600 kr/m^3 blir alternativen likvärdiga. Oljepriset har en avgörande betydelse för hela kalkylen. Det är dock svårt att förutsäga vad priset blir i framtiden; särskilt då skatter och avgifter har en viss betydelse.

Vedens alternativvärde: I kalkylen köps veden kvistad. Har man egen skog kanske man hugger själv. Framtagningskostnaden, som kan beräknas i en särskild kalkyl, anges då som "vedkostnad". Om veden måste tas bort av skogsvårdsskäl, kan alternativvärdet eventuellt sättas till 0 kr. De båda alternativen i kalkylen ovan blir likvärdiga om vedpriset stiger till 270 kr/m^3 f.

Arbetskostnad: Arbetsinsatsen bör värderas efter vad som kan erhållas vid en alternativ sysselsättning. Om arbetet ej utförs av anställd personal, kanske många nöjer sig med en lägre arbetsersättning vintertid. Å andra sidan kanske man kräver 100 kr/timme för att bärga halm under skördeperioden. Vedeldning innebär mycket arbete under vintern.

Om arbetsersättningen höjs till 98 kr/timme, blir eldning med olja lika lönsam som eldning med ved. Arbetskostnaden kan påverka lönsamheten mycket starkt, och man bör därför noga överväga vilken arbetsersättning som är lämplig vid varje enskilt fall.

Underhåll: Alternativen i exemplet blir likvärdiga om den årliga underhållskostnaden för vedpannan är 8,7 % av investeringskostnaden. Underhållskostnaden utgör ofta en relativt liten post i kalkylen. Den är dock kraftigt beroende av hur tillförlitlig teknik man använder. Dessutom kan kostnader för driftsavbrott ofta bli höga, och dessa borde egentligen också föras in i kalkylen.

Avskrivningstid: I exemplet blir oljeeldning mest lönsamt om avskrivningstiden sänks till 10 år. Den ekonomiska livslängden kan vara mycket svår att uppskatta, särskilt med dagens snabba tekniska utveckling.

Kalkylränta: De båda alternativen blir likvärdiga om kalkylräntan ökar till 19 %. I detta exemplet har räntan sålunda mindre betydelse för det slutliga resultatet. Man ska dock vara medveten om att räntan spelar stor roll i många lönsamhetsberäkningar. Detta gäller speciellt investeringar med höga kapitalkostnader och låga driftskostnader.

Likviditetskalkyl

Om man på sikt inte ska råka ut för betalningssvårigheter, bör man planera och följa likviditetsutvecklingen för investeringen. Det sker genom att en likviditetskalkyl upprättas. I denna ställs planerade in- och utbetalningar mot varandra. Likviditetskalkylen används bl a för att se om ytterligare kapital måste anskaffas. Kalkylen utgör därför en grund för den finansiella planeringen av projektet.

Likviditeten beräknas för ett eller ett par år. Man väljer då det år då påfrestningarna på likviditeten blir störst, t ex då investeringen görs, eller det år då amorteringarna börjar. Kalkylen kan innehålla följande poster:

+ "Inkomst":	summa utgifter exkl skatt för den nuvarande anläggningen som ska ersättas.
- Utgifter för alternativet:	amorteringar räntor underhåll (exkl eget arbete) utgifter för energi arbetskostnader (för anställd arbetskraft) ± ev skatteutgifter.

Likviditeten påverkas starkt av gällande skatteregler, vilka kommunala och statliga bidrag som finns tillgängliga, samt lånemöjligheterna. Dessa bestämmelser blir emellertid snabbt inaktuella, och de behandlas därför ej här.

Det är viktigt att man försöker skaffa sig så mycket information som möjligt om gällande regler för investeringars finansiering. Denna information kan lämpligen erhållas från energi- och ekonomirådgivarna på länstyrelsens lantbruksenhet.

Val av alternativ

När gårdens energibehov och resurser kartlagts, och lönsamheten för intressanta alternativ beräknats, återstår det att välja alternativ. Energisparande åtgärder bör dock undersökas innan man bestämmer sig. Andra faktorer man bör tänka på är;

- Miljörestriktioner. Man vill kanske t ex utvinna gödselenergi för att därigenom erhålla gödsel som är lukt- och parasitfri.
- Bieffekter om energikällan utnyttjas. Röjningsarbete som ändå måste utföras blir kanske mer meningsfullt om avfallet används som bränsle.
- Arbetsbehov och bekvämlighet. Hur mycket arbete krävs för den dagliga skötseln? Vilken tillsyn krävs? När under året behövs mycket arbetskraft?
- Egna speciella intressen. Man bör satsa på företagsekonomiskt goda alternativ, och sådana som ligger i linje med företagarens målsättning för framtidens driftsinriktning.

VÄRMEBEHOV

Värmeöverföring

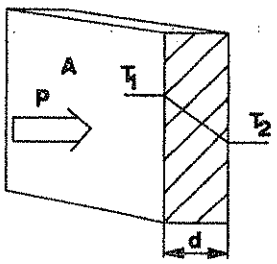
För att kunna beräkna vilket värmebehov som en bostad kräver, är det nödvändigt att känna till de grundläggande begreppen för värmeöverföring. Här presenteras de tre fysikaliska processer enligt vilka värmeenergi kan transporteras; ledning, konvektion och strålning. Dessutom visas hur man med hjälp av det s k U-värdet[1] kan beräkna energiomsättningen i ett hus.

Värmeledning

Genom värmeledning transporteras energi genom ett material från en högre till en lägre temperatur. Det är temperaturskillnaden som driver värmeflödet. I en fast kropp (figur 7) beräknas värmeeffekten, d v s värmemängden (ΔQ) per tidsenhet (Δt), enligt:

$$P = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{\lambda}{d} A (T_1 - T_2)$$

där P = värmeeffekt (W)
λ = värmekonduktivitet (värmeledningsförmåga) (W/mK)
d = kroppens tjocklek (m)
A = area som värmeflödet passerar (m^2)
T_1 och T_2 = temperaturer



Figur 7. Värmeledning i en fast kropp.

Värmekonduktiviteten bestämmer hur stort värmeflödet blir. Metaller har goda egenskaper vad gäller värmeledning (λ=45 W/mK för stål), vilket t ex kan utnyttjas vid en pannas eldyta. Porösa material, t ex mineralull (λ=0,038 W/mK), har liten värmeledningsförmåga och kan därför användas som isoleringsmaterial. I tabell 2 redovisas värmekonduktiviteten för några material.

1 Observera att U-värdet tidigare kallades för k-värdet. För ytterligare information hänvisas till Nybyggnadsregler (1989).

Tabell 2. Värmekonduktivitet för några material (Källa: Beckman et al, 1986)

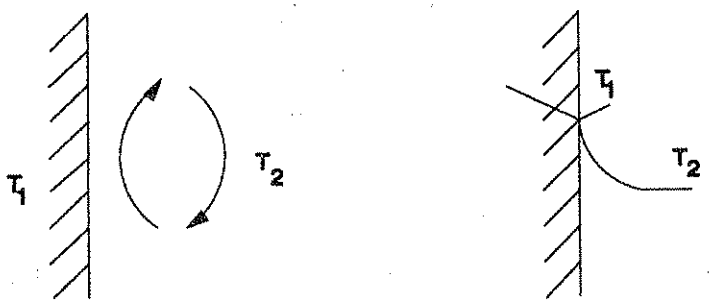
Material	Värmekonduktivitet (W/mK)
Luft	0,024
Vatten	0,60
Järn	75
Koppar	390
Glas	0,9
Granit	3,5
Betong	1,7
Tegel	0,6
Furuträ (tvärs)	0,14
Mineralull	0,038

Konvektion (värmeövergång)

Vid värmetransport genom konvektion strömmar en vätska eller gas förbi ytan hos en fast kropp och bortför värme om ytan är varm, eller tillför värme om ytan är kall. Konvektion kan uppkomma på två sätt; antingen genom fri strömning (egenkonvektion) eller genom påtvingad strömning.

Vid egenkonvektion värms gas- eller vätskepartiklarna närmast den varma ytan, och stiger därmed uppåt eftersom densiteten blir lägre. Utifrån kommande kalla partiklar ersätter de varma, och det har uppstått en cirkulation av gas- eller vätskepartiklar (figur 8).

Påtvingad strömning uppstår då man med fläktar eller dylikt försöker öka partiklarnas hastighet förbi ytan. Detta ger en effektivare värmeövergång än fri strömning.



Figur 8. Gas- eller vätskecirkulation vid fri strömning (t v), samt temperaturfördelningen i skiktet närmast väggen (t h).

Värmeövergången från en kropp till dess omgivning erhålls ur:

$$P = \alpha \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

där α = värmeövergångstalet (W/m^{2}K)

Strålning

Vid strålning transporteras värme mellan två medier utan att dessa är i kontakt med varandra. Strålningens räckvidd är avsevärd; detta bevisar inte minst solstrålningen! En stor del av värmeöverföringen i en pannas eldstad sker genom strålning. Detta gäller även radiatorers värmeavgivning till den omgivande luften i rummet.

Värmetransporten går alltid från en högre temperatur till en lägre. Alla material med en temperatur över 0 K utsänder värmestrålar, vilka för fasta och flytande ämnen utgörs av elektromagnetiska vågor. Strålningseffekten erhålls ur:

$$P = A \cdot \varepsilon \cdot 5{,}67\left(\frac{T}{100}\right)^4$$

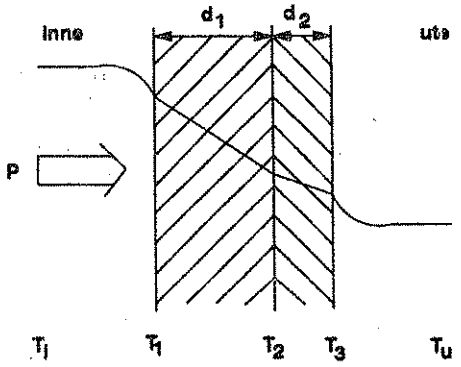
där A=kroppens yta (m^2)
T=ytans temperatur (K)
ε=emissionstalet (eller absorbtionstalet)

Emissionstalet anger hur stor del av den alstrade strålningen som lämnar kroppen (eller mottas av den). En polerad yta av aluminium med ε=0,01 avger således endast 1 % av strålningen till omgivningen, medan resterande 99 % reflekteras vid ytan tillbaka till ämnets inre. Motsvarande gäller om strålningen går i motsatt riktning; d v s 1 % absorberas medan 99 % reflekteras. Detta är anledningen till att t ex termosflaskor förses med ett speglande metallskikt. En kropp som absorberar all infallande strålning kallas absolut svart, och dess emissionstal är då 1.

U-värde (värmegenomgångskoefficient)

För att kunna beräkna värmebehovet för en byggnad behövs ett mått på värmeförlusterna genom väggar och tak. Väggar och tak består oftast av flera skikt med olika material. Värmetransporten genom dessa skikt kan anges genom det s k U-värdet, eller värmegenomgångskoefficienten U. Värdet anger hur mycket värme som kan passera genom en kvadratmeter av en yta då temperaturskillnaden mellan in- och utsidorna är en grad, d v s enheten blir W/m^2K.

Figur 9 visar en vägg bestående av två materialskikt. När stationära förhållanden uppnåtts, d v s då väggen ej längre uppvärms, passerar samma värmeflöde genom alla skikten. Följande ekvationer kan då ställas upp:



Figur 9. Temperaturfördelningen vid värmegenomgång av en vägg med två materialskikt.

$$T_i - T_1 = \frac{P}{\alpha_i A}$$

$$T_1 - T_2 = \frac{P d_1}{\lambda_1 A}$$

$$T_2 - T_3 = \frac{P d_2}{\lambda_2 A}$$

$$T_3 - T_u = \frac{P}{\alpha_u A}$$

Summeras ekvationerna erhålls:

$$T_i - T_u = \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_u} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \right) \frac{P}{A}$$

Om värmeflödet genom väggen definieras enligt:

$$P = U \cdot A(T_i - T_u)$$

d v s

$$T_i - T_u = \frac{P}{U \cdot A}$$

blir:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_u} + \Sigma \frac{d_i}{\lambda_i}$$

Av det ovanstående framgår att U-värdet bör vara så lågt som möjligt vid isolering, medan det bör vara så högt som möjligt då man önskar värmeöverföring.

Värmemotstånd

Värmemotståndet (R) beskriver hur bra ett materialskikt eller en hel byggnadsdel isolerar. Ju högre värmemotståndet är, desto bättre är isoleringen (värmemotståndet är det inverterade värdet av U). Det totala värmemotståndet för en byggnadsdel definieras enligt

$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^{n} R_i = \frac{1}{U} \quad (m^2°C/W)$$

där $R_{si} = \frac{1}{\alpha_i}$

$R_{se} = \frac{1}{\alpha_u}$

$\sum_{i=1}^{n} R_i = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} \ldots \frac{d_n}{\lambda_n}$

Enligt Nybyggnadsregler (1989) används normalt följande värden för övergångsmotstånden:

$R_{si} = 0{,}13 \quad m^2°C/W$

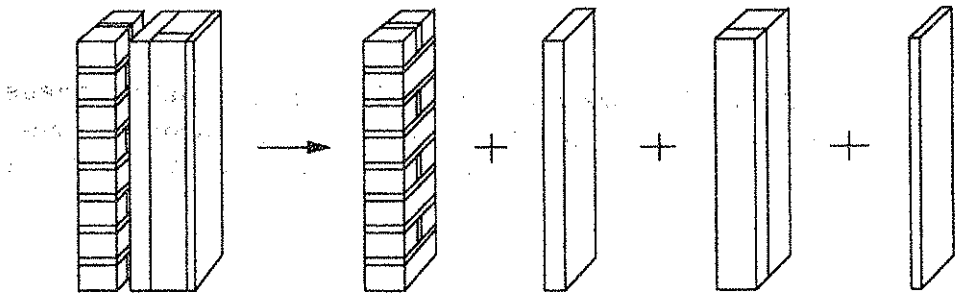
$R_{se} = 0{,}04 \quad m^2°C/W$

Formeln för värmemotståndet ovan används när byggnadsdelen består av flera homogena skikt. Om byggnadsdelen består av flera sammansatta skikt, t ex mineralull mellan träreglar, kan man exempelvis räkna enligt följande.

Byggnadsdelen delas upp i vinkelräta skikt mot värmeflödet (figur 10). Värmekonduktiviteten för de sammansatta skikten beräknas sedan enligt:

$$\lambda_a = p_1\lambda_1 + p_2\lambda_2 + \ldots + p_n\lambda_n = \sum_{i=1}^{n} p_i\lambda_i$$

där p_i betecknar materialets andel i det sammansatta skiktet, och λ_i värmekonduktiviteten för respektive material. Skiktets värmemotstånd bestäms enligt $R = d/\lambda_a$, varefter byggnadsdelens totala värmemotstånd (R_T) beräknas.



Figur 10. Vägg med ett sammansatt skikt.

Transmissionsförluster

Värmeflödet genom en vägg är

$$P = U \cdot A \cdot (T_i - T_u)$$

Om värmeflödet genom byggnadens samtliga delar summeras, erhålls byggnadens totala transmissionsförluster enligt

$$P_t = (T_i - T_u) \sum_{i=1}^{n} (U_i A_i)$$

För mer noggranna beräkningar av byggnaders transmissionsförluster används den praktiskt tillämpbara värmegenomgångskoefficienten U_p (Nybyggnadsregler, 1989). Detta värde har korrigerats med avseende på bl a byggnadens konstruktionslösning, köldbryggor, fukt m m. Dessa justeringar görs för att det beräknade U-värdet inte ska bli för lågt.

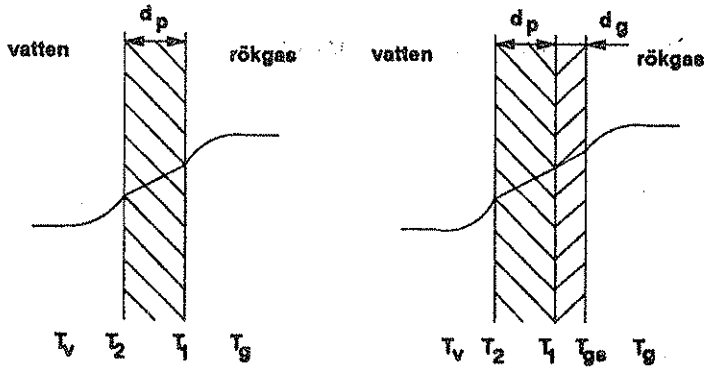
Exempel

Eldstadsplåten i en panna är 18 mm tjock. På ena sidan finns vatten av 160°C, med värmeövergångstalet (α_v) 1500 W/m^2*K. På den andra sidan finns rökgas med temperaturen 950°C, och α_g = 200 W/m^2*K. Hur stor blir plåtens yttemperatur på rökgassidan, och hur stort blir värmeflödet per m^2 plåtyta

a) vid ren plåt?

b) om det bildas ett 3 mm tjockt lager sot på eldstadssidan (med λ_s (amorft kol) = 2,0 W/m*K)?

FöRSLAG På LöSNING:



Figur 11. De två fallen kan illustreras enligt ovan.

a) Värmeövergången från rökgasen till plåten, samt från plåten till vattnet, sker genom konvektion. I plåten transporteras värmen genom ledning. Eftersom värmeövergången från det varma mediet till det kalla är lika stor i varje tvärsnitt, kan effektöverföringen tecknas enligt:

$$P_{konv.gas} = P_{ledn.plåt} = P_{konv.vatten} = P$$

men

$$P = U \cdot A \cdot (T_g - T_v)$$

där:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_v}$$

Värmekonduktiviteten för plåt kan enligt DoD[1] sättas till 45 W/m*K. Insättning i ekvationerna ovan ger:

$$P = \frac{1}{\frac{1}{200} + \frac{0{,}018}{45} + \frac{1}{1500}} \cdot A(950 - 160) = 130 \cdot 10^3 \cdot A$$

Då P = $P_{konv.gas}$ gäller följande samband:

$$\alpha_g \cdot A \cdot (T_g - T_1) = 130 \cdot 10^3 \cdot A$$

Eliminering av A och insättning av värdena ger T_1 = 300°C.

Den värmeeffekt som överförs är således 130 kW/m^2, och plåtens yttemperatur på rökgassidan är 300°C.

b) U-värdet beräknas nu enligt:

1 Mörtstedt, S.E & Hellsten, G. 1985. Data och diagram. Esselte. Stockholm.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{\alpha_g} + \frac{1}{\alpha_v} + \Sigma\frac{d}{\lambda}$$

Detta ger U = 132 W/m^2°C, och P = 104 kW/m^2.

Eftersom P = $P_{konv.gas}$ fås

$$\alpha_g \cdot A(950 - T_{gs}) = 104 \cdot 10^3 \cdot A$$

och T_{gs} = 430°C. Men

$$P = \frac{\lambda_s}{d_s} \cdot A(T_{gs} - T_1) = 104 \cdot 10^3 \cdot A$$

Insatta värden ger T_1 = 274°C.

Effektgenomgången reduceras sålunda till 100 kW/m^2, och plåtens temperatur på rökgassidan blir 270°C.

Ventilation

Ventilationens syfte

Ventilationens huvuduppgifter är att:

* ge god luftkvalitet, d v s trygga tillförseln av syre och hålla CO_2-halten tillräckligt låg. Om koldioxidhalten överstiger 3 % kan man få huvudvärk, yrsel m m. Ventilationsbehovet för att hålla CO_2-halten under 3 % är ungefär 0,7 m^3 luft per person och timme, d v s det krävs en luftomsättning på 0,03 oms/timme i ett rum med volymen 25 m^3. Syretillförseln är då mer än tillräcklig.

* eliminera lukt från människor, rökning och matlagning. En luftomsättning på ca 0,5 oms/timme anses lämplig för att undvika luktproblem. Då hålls även halterna av radon och formaldehyd på en "rimlig" nivå.

* undvika kondens. Risken för kondens är beroende av ventilationsluftens temperatur och fuktinnehåll, samt omgivande ytors temperaturer.

Eftersom det krävs högst luftomsättning för att eliminera luktproblemen, dimensioneras anläggningarna efter detta behov. Hittills har man haft en luftomsättning på 0,5 oms/timme i bostäder. På grund av de mögelproblem som uppstått i nybyggda hus rekommenderas ibland en högre luftomsättning. Andra normer kan gälla för t ex industrilokaler, laboratorier, stallar m m.

Självdragssystem

I många äldre hus används självdragsventilation. Den baseras på "skorstenseffekten", d v s att varm luft är lättare än kall luft och därför stiger uppåt. Den

kalla utomhusluften, tilluften, kommer in i huset genom otätheter, vädringsfönster eller ventiler. Frånluften går ut i det fria via ventiler och kanaler, vanligen placerade i kök och badrum.

En stor nackdel med detta system är att den är helt beroende av väderleken. Vid låga utomhustemperaturer då man ofta vill minska ventilationen, får man den största luftväxlingen, medan man vid höga utomhustemperaturer kanske inte har någon luftväxling alls.

Möjligheterna till energibesparing är små. Luftflödena kan delvis styras genom att frånluftsventilerna stryps vid kall väderlek. Frånluftens temperatur kan endast sänkas genom en allmän sänkning av inomhustemperaturen. Värmeåtervinning ur frånluften är normalt inte möjlig.

Frånluftssystem (undertryckssystem)

Vid frånluftssystemen sugs den varma inomhusluften ut med hjälp av fläktar, och tilluften erhålls genom otätheter, springventiler eller vädringsluckor. Detta system finns i många flerbostadshus.

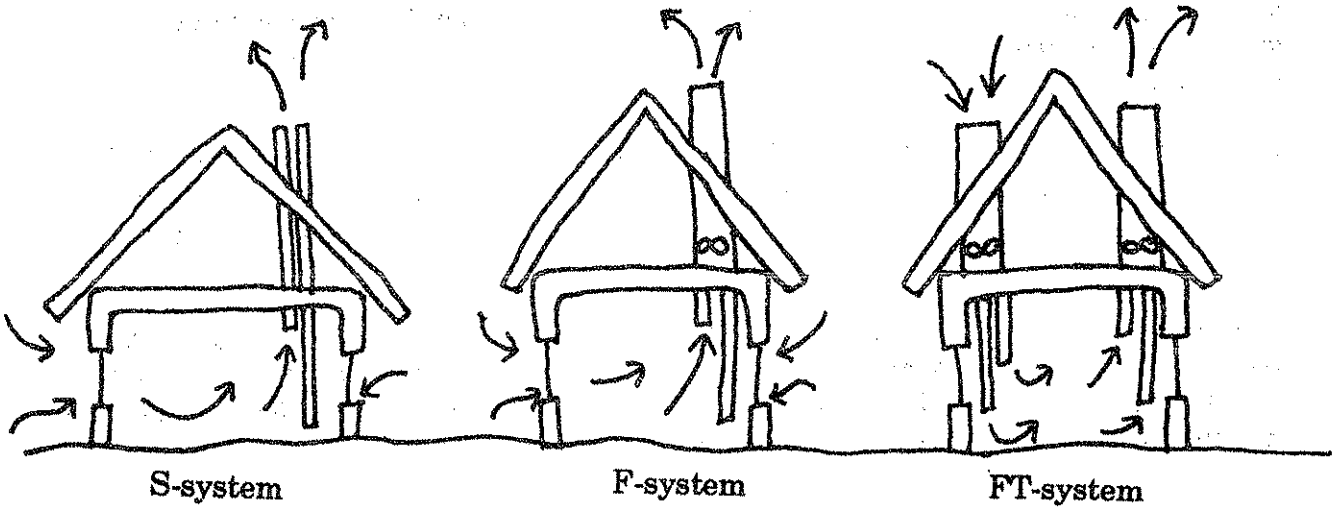
Frånluftssystem möjliggör reglering av såväl luftmängd som driftstid. Luftflödena kan minskas med hjälp av reglerbara fläktar, och driftstiden kan styras av programmerbara tidur. Dessutom finns möjlighet till värmeåtervinning ur frånluften. Frånluftens temperatur sänks då med hjälp av värmeväxlare eller värmepump. Den tillvaratagna värmen kan sedan användas för att t ex värma tappvarmvattnet.

I vissa byggnader används även s k tilluftssystem, d v s man skapar ett övertryck i huset.

Från- och tilluftssystem (FT-system eller neutraltryckssystem)

FT-systemet innebär att såväl till- som frånluften styrs med hjälp av fläktar. Luften tas in genom speciella tilluftsventiler och sugs ut via frånluftsdon. En fördel med detta system är att luften kan förbehandlas, exempelvis genom filtrering, uppvärmning eller kylning. FT-systemen finns ofta installerade i skolor, kontor o dyl, samt i bostadshus.

Ett krav är att husen är väl tätade, samt att systemet är väl injusterat. Metoden erbjuder goda möjligheter till energibesparing då luftmängder, drifttider och lufttemperaturer kan regleras. Vid värmeåtervinning är det möjligt att direkt utnyttja värmen i frånluften genom att förvärma tilluften. Enligt Nybyggnadsregler (1989) ska nybyggda bostadshus, förutom att uppfylla vissa krav på värmeisolering och lufttäthet, även vara försedda med någon form av värmeåtervinning.



Figur 12. Principskisser på olika ventilationssystem.

Exempel

Hur mycket energi åtgår per dygn för att försörja en normal lägenhet med tempererad luft, när utomhustemperaturen ligger 25 grader under rumstemperaturen? Lägenheten antas ha måtten 100 m^2 x 2,4 m, och luftomsättningen 0,5 oms/timme.

LÖSNING. Energiåtgången är:

$$W = m \cdot c \cdot \Delta T$$

där m=luftens massa (kg)
c=luftens specifika värmekapacitet (J/kg*K)
ΔT=temperaturskillnad (K)

Luftens massa under ett dygn erhålls ur:

$$m = V \cdot \rho \cdot n \cdot t$$

där V=lägenhetens volym (m^3)
ρ=luftens densitet (kg/m^3)
n=luftomsättning (oms/h)
t=timmar (h/dygn)

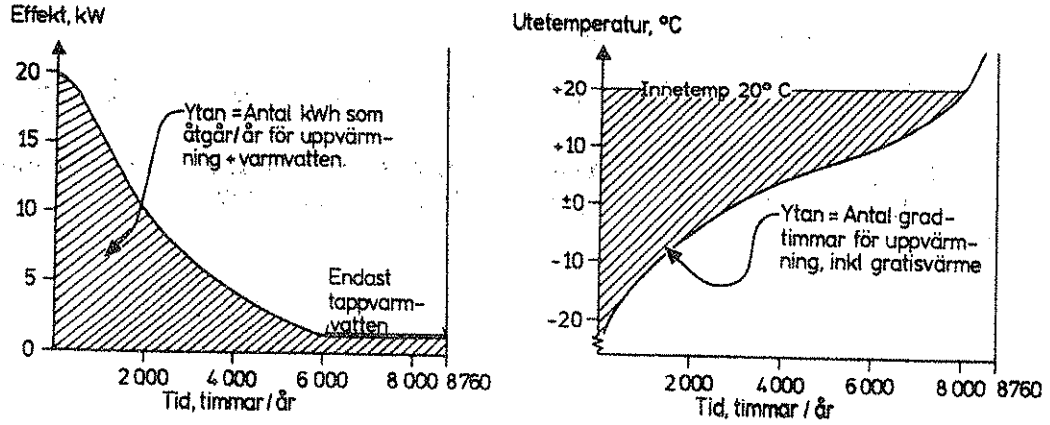
Med insatta värden (V=100*2,4 m^3, ρ=1,20 kg/m^3, n=0,5 oms/h, t=24 timmar per dygn) blir luftmassan 3,46 ton/dygn. Med specifika värmekapaciteten 1,00 kJ/kg*K blir då energibehovet 86,5 MJ (24 kWh). Detta motsvarar en ständig effekt på 1,0 kW. Notera således att det krävs en ansenlig mängd luft (och energi) för husets ventilation. Om huset dessutom är otätt ökar denna energimängd drastiskt.

Gradtimmemetoden

För att bestämma bostäders uppvärmningsbehov kan man utifrån byggnadens skick, ålder, lokalisering m m, uppskatta energi- och effektbehoven med hjälp av tabeller. I detta kapitel presenteras en något utförligare metod som kallas gradtimmemetoden. Metoden bygger på att man schablonmässigt beräknar antalet gradtimmar för en ort. Önskar man mer exakta värmebehovsberäkningar än vad gradtimmemetoden erbjuder, fordras mer omfattande undersökningar av lokalklimat etc.

Varaktighetsdiagram

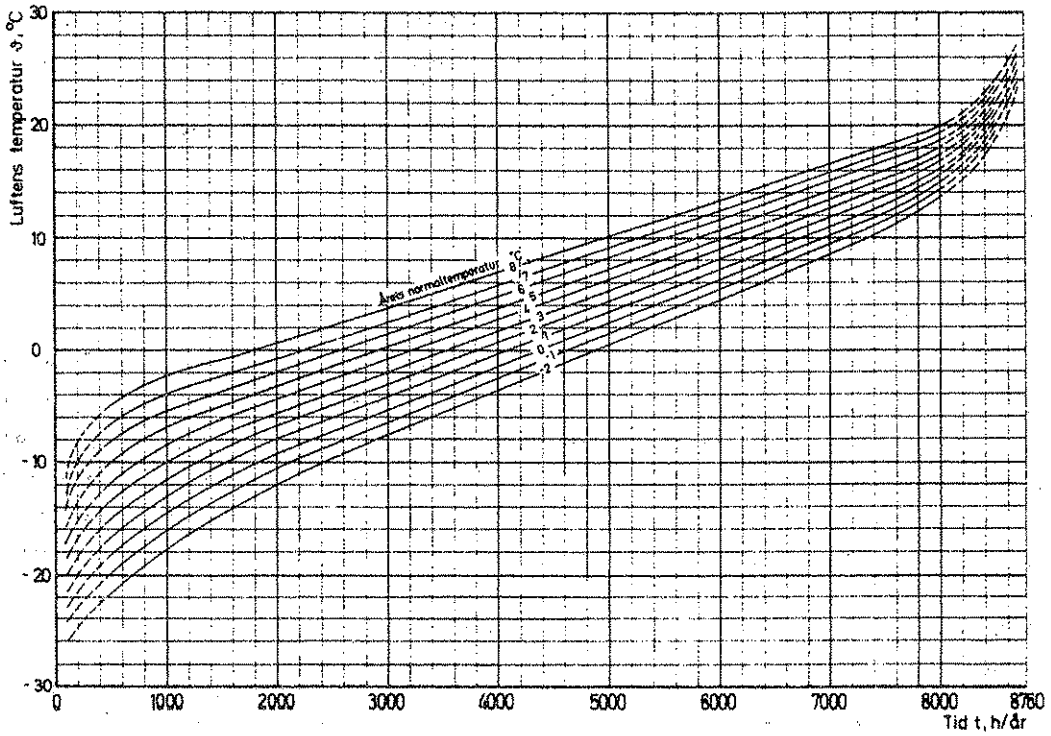
I ett varaktighetsdiagram rangordnas årets timmar (eller dagar), t ex efter deras medeltemperatur, i stigande eller fallande skala. I figur 13 visas exempel på två typer av varaktighetsdiagram. I det första (t v) visas effektbehovet för en bostad under ett år. De timmar under året då effektbehovet är som störst avsätts längst till vänster, och de följande timmarna rangordnas sedan i fallande skala tills årets alla timmar medtagits. Timmarna är således ej ordnade efter kalendern.



Figur 13. Varaktighetsdiagram över effektbehovet till en bostad (t v), och över luftens utetemperatur (t h).

Figuren t h visar ett varaktighetsdiagram över luftens utetemperatur på en ort. Timmarna är rangordnade efter stigande utetemperatur. I diagrammet har även en linje för önskad inomhustemperatur (+20°C) ritats in. Den streckade ytan mellan kurvorna motsvarar det antal gradtimmar som krävs för uppvärmning av bostaden.

Eftersom årets medeltemperatur varierar för olika orter, finns det varaktighetsdiagram framtagna för olika normaltemperaturer (årsmedeltemperaturer). I figur 14 visas varaktigheten för uteluftens temperatur vid olika normaltemperaturer. Lägg märke till att årets allra kallaste timmar inte är utritade i diagrammet. Kylan kan då vara extrem, och man räknar därför inte med att kunna klara uppvärmningsbehovet under dessa timmar. I tabell 3 redovisas normaltemperaturer för olika orter i Sverige.



Figur 14. Varaktighet för uteluftens temperatur som funktion av årets normaltemperatur under tiden 1931-1960. Källa: VVS-handboken, 1974.

Tabell 3. Årets normaltemperatur (°C) för några orter i Sverige (Källa: Leuchovius (red.), 1983)

Ort	Temp.	Ort	Temp.
Kiruna	-1,2	Norrköping	6,9
Pajala	-0,1	Motala	6,4
Stensele	0,7	Linköping	6,8
Luleå	2,0	Karlstad	5,9
Haparanda	1,6	Åmål	6,1
Nordmaling	3,0	Vänersborg	6,6
Umeå	3,4	Skara	5,8
Offer	2,8	Strömstad	6,6
Härnösand	4,4	Göteborg	7,9
Sundsvall	3,9	Halmstad	7,2
Söderhamn	4,7	Kalmar	7,0
Gävle	5,0	Västervik	6,9
Björkedet	1,3	Visby	7,2
Östersund	2,7	Ronneby	7,1
Sveg	2,1	Karlshamn	7,6
Rommehed	4,6	Huskvarna	6,5
Edsbyn	3,9	Jönköping	6,1
Mora	3,5	Borås	6,3
Malung	2,9	Nässjö	5,4
Falun	4,6	Växjö	6,5
Västerås	5,9	Malmö	8,0
Uppsala	5,7	Kristianstad	7,7
Norrtälje	5,9	Lund	8,0
Stockholm	6,6	Alnarp	7,8
Örebro	5,9	Ystad	7,8

Tillämpning av varaktighetsdiagram

Värmeförbrukningstal

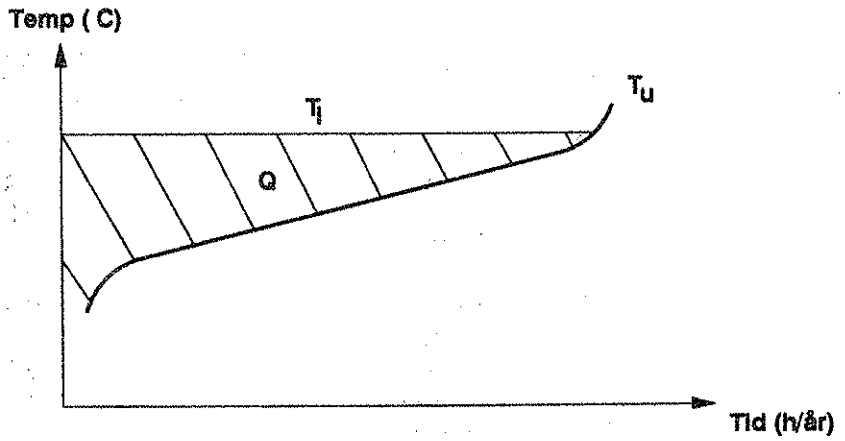
Ytan mellan önskad innetemperatur och varaktighetskurvan för luftens utetemperatur uttrycks som värmeförbrukningstalet (Q) och beräknas enligt (beteckningar enligt figur 15):

$$Q = \int (T_i - T_u) dt$$

Värmeförbrukningstalet anger hur många gradtimmar som behövs för uppvärmning av huset. Ytan **motsvarar** således en energimängd, men observera att den **ej är** storheten energi. Enheten för värmeförbrukningstalet är °C*h (per år).

I praktiken beräknas värmeförbrukningstalet, d v s antalet gradtimmar, genom en grafisk lösning. I exemplet nedan visas hur man kan gå tillväga.

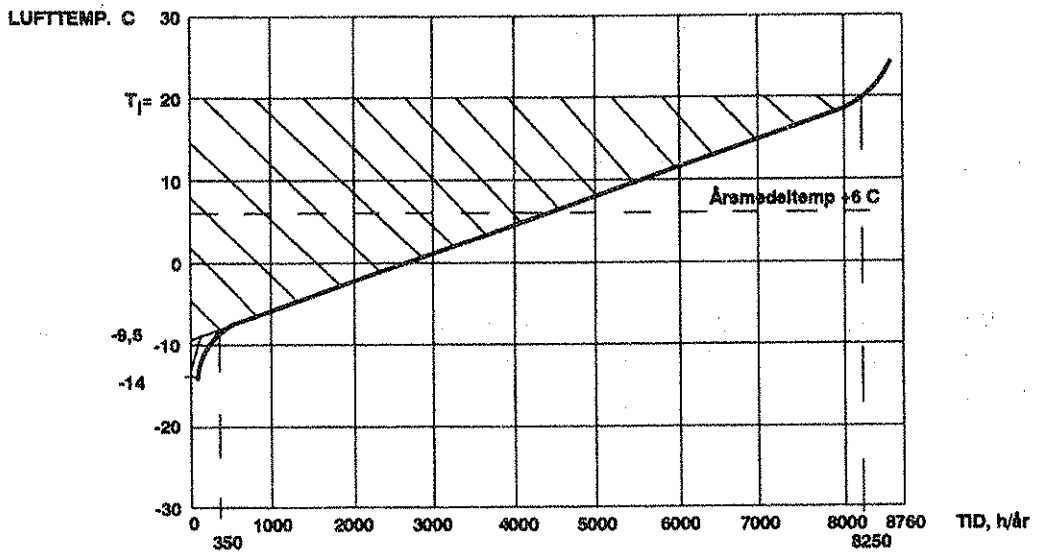
EXEMPEL. Beräkna antalet gradtimmar för en bostad i Uppsala när inomhustemperaturen är 20°C.



Figur 15. Antalet gradtimmar anges av värmeförbrukningstalet Q.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Eftersom bostaden är belägen i Uppsala, använder vi ett varaktighetsdiagram med årsmedeltemperaturen +6°C (se tabell 3). I figur 16 har ytan delats upp i två trianglar. Summeras ytorna för dessa trianglar erhålles med nöjaktig noggrannhet det sökta antalet gradtimmar för bostaden, d v s:

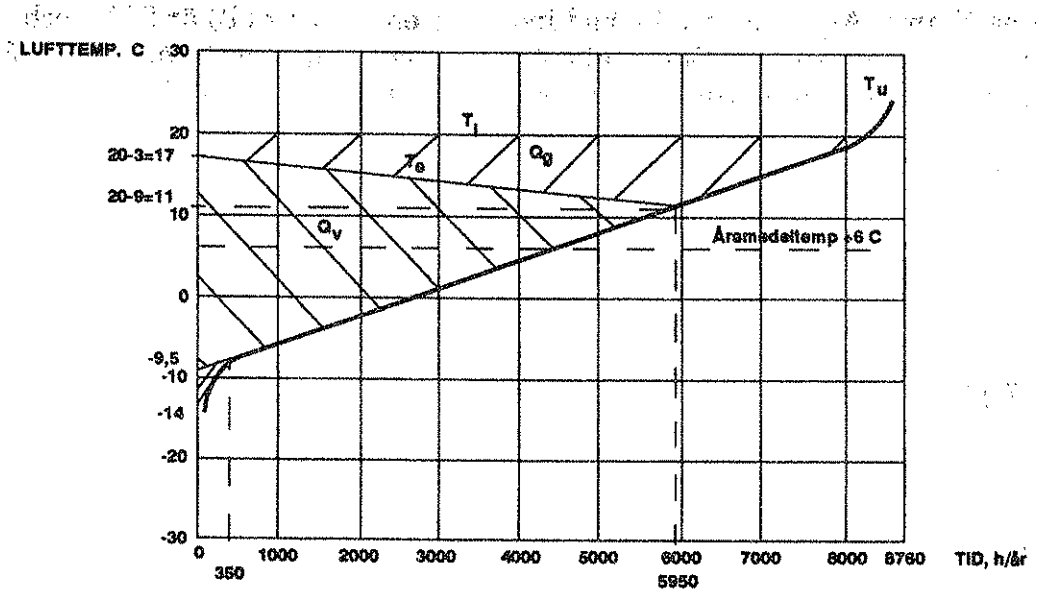
$$Q = \frac{8250 \cdot (20-(-9{,}5))}{2} + \frac{350 \cdot (-9{,}5-(-14))}{2} = 122500 \quad °Ch$$



Figur 16. Den streckade ytan motsvarar antalet gradtimmar för bostaden i exemplet.

Gratisvärme

En del värmeenergi tillförs emellertid huset "gratis", t ex från solstrålning, lampor, hushållsmaskiner, människor etc. Denna gratisvärme bör man ta hänsyn till vid beräkning av uppvärmningsbehovet. I figur 17 har därför antalet gradtimmar för gratisvärmen (Q_g) inritats.



Figur 17. Antalet gradtimmar för gratisvärme.

Under årets kallaste timmar har man gjort bedömningen att gratisvärmen tillför 3°C till den temperatur som krävs dessa timmar. De varmaste timmarna på året behövs ingen uppvärmning alls. Man brukar räkna med att detta inträffar när skillnaden mellan temperaturen inomhus och utomhus uppgår till 9°C. Sammanbindes dessa punkter i varaktighetsdiagrammet erhålles den kurva som betecknas T_e i figur 17. Antal gradtimmar mellan denna kurva och kurvan för uteluftens varaktighet motsvarar således uppvärmningsbehovet. Anledningen till att kurvan lutar, d v s att gratisvärmen ökar efterhand som timmarnas medeltemperatur stiger, är att solens instrålade värmemängd antas öka ju högre temperaturen blir. Följande ekvation gäller:

$$Q = Q_v + Q_g$$

där Q_v = gradtimmar för värmning (°C*h)
Q_g = gradtimmar för gratisvärme (°C*h)

EXEMPEL. Beräkna antalet gradtimmar för bostaden i exemplet ovan om hänsyn tas till gratisvärmen.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Den streckade ytan Q_v i figur 17 motsvarar antalet gradtimmar, d v s:

$$Q = \frac{5950 \cdot (17-(-9{,}5))}{2} + \frac{350 \cdot (-9{,}5-(-14))}{2} = 79620 \quad °Ch$$

Effekt- och energibehov

Även effektbehovet kan uppskattas med hjälp av ett varaktighetsdiagram. Den vertikala sträckan mellan två punkter i diagrammet motsvarar effektbehovet

under denna timme. Anta t ex att önskad inomhustemperatur (T_i) är 20°C, och T_u = -2°C under en viss timme. Det totala effektbehovet (inkl gratisvärme) är då dubbelt så stort under denna timme, jämfört med en timme då T_u = 9°C.

Av ekvation

$$Q_v = \int (T_e - T_u) dt$$

följer att

$$dQ_v = (T_e - T_u) dt$$

d v s

$$\frac{dQ_v}{dt} = T_e - T_u$$

men eftersom

$$\frac{dW}{dt} = P$$

kan följande relation ställas upp om energibehovet för uppvärmning är proportionellt mot värmeförbrukningstalet (d v s $W \propto Q$):

$$\frac{W_{års}}{Q_v} = \frac{P(t)}{T_e(t) - T_u(t)}$$

där $W_{års}$ = årsenergibehovet för uppvärmning (exkl gratisvärme)(kWh)
Q_v = byggnadens värmeförbrukningstal
P(t) = effektbehovet vid tidpunkten t (kW)
$T_e(t)$ = inomhustemperaturen vid tidpunkten t reducerad för gratisvärme (°C)
$T_u(t)$ = utomhustemperaturen vid tidpunkten t (°C)

Den maximala effektförbrukningen kan då analogt beräknas enligt:

$$\frac{P_{max}}{T_e - T_{umin}} = \frac{W_{års}}{Q_v}$$

Av ekvationen ovan framgår att det maximala effektbehovet (P_{max}) föreligger när utomhustemperaturen är som lägst (T_{umin}), vilket inte är svårt att inse. Betraktar man ett varaktighetsdiagram framkommer det att varaktighetskurvan "aldrig" tangerar ordinatan. Detta beror på att det kan ha förekommit någon timme med extrem kyla. Om värmeanläggningen skulle dimensioneras efter denna låga temperatur skulle kostnaden bli oöverkomlig. Genom att bestämma en Lägsta

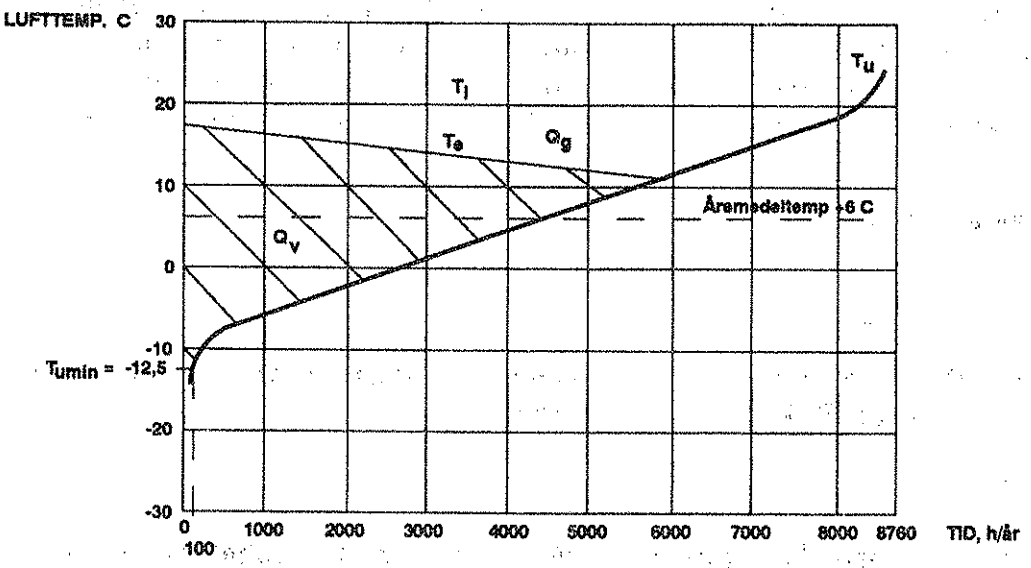
UTetemperatur (LUT) som värmeanläggningen ska klara, uppnås en kompromiss mellan kraven på värme hela året och låga kostnader. Beteckningen LUT 100 innebär att värmeanläggningen dimensioneras för att klara uppvärmningsbehovet under årets alla timmar utom de hundra kallaste.

EXEMPEL. Beräkna maximalt effektbehov för bostaden i exemplet ovan om värmeanläggningen dimensioneras efter LUT 100. Byggnadens årsenergibehov för uppvärmning är 40 000 kWh.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Vid LUT 100 är T_{umin} = -12,5°C (figur 18). I praktiken överenstämmer antalet gradtimmar med vad som framkom i exemplet ovan, d v s Q_v = 79 620 °Ch. Det maximala effektbehovet är således:

$$P_{max} = \frac{W_{års} \cdot (T_e - T_{umin})}{Q_v} = \frac{40000 \cdot (17 - (-12,5))}{79620} = 14,8 \quad kW$$

Bostadens värmeanläggning bör dimensioneras så att den klarar att värma huset med en maximal effekt på ca 15 kW. Observera att vi ej har tagit hänsyn till effektbehovet för varmvatten!



Figur 18. Vid LUT 100 är T_{umin} = - 12,5°C.

Effekt- och energibehov för transmission

I exemplet ovan har vi beräknat bostadens totala uppvärmningsbehov, d v s effektbehovet för både värmeöverföring (transmission) och ventilation. Med hjälp av ett varaktighetsdiagram är det även möjligt att beräkna effektbehovet för enbart transmission, d v s det effektbehov som behövs för att kompensera för värmeförluster genom väggar, golv och tak.

Som nämnts tidigare gäller

$$P_t = (T_e - T_u) \sum_{i=1}^{n} U_i A_i$$

där P_t = effektbehov för transmission (kW)
T_e = erforderlig uppvärmningstemperatur efter reduktion för gratisvärme (°C)
U = U-värdet för respektive byggnadsdel (W/m^2K)
A = värmeöverförande area för varje byggnadsdel (m^2)

Det maximala effektbehovet för transmission ($P_t = P_{tmax}$) erhålles då $T_u = T_{umin}$. Dessutom kan man visa att:

$$W_t = Q_v \sum_{i=1}^{n} U_i A_i$$

EXEMPEL. Beräkna det årliga energibehovet för transmission för bostaden i exemplen ovan. Summeras alla U*A-värden för husets olika byggnadsdelar erhålles $\Sigma(U \cdot A) = 350 \quad W/°C$.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Med det antal gradtimmar vi beräknat tidigare, fås:

$$W_t = 350 \cdot 79620 = 27900 \quad kWh$$

Det ska betonas att gradtimmemetoden är en schablonmetod som passar bäst för äldre hus. Beräkningar för nybyggda väl tätade hus kan ge felaktiga resultat. Dessutom förekommer många varianter vid tillämpning av metoden. Det som framförallt skiljer varianterna åt är hur stor gratisvärmen är, d v s hur kurvan för T_e ska ritas. Här använder vi dock den variant som beskrivits ovan.

Övriga energibehov

Tappvarmvatten

Energiåtgången för att värma en viss mängd vatten (m) från temperaturen T_1 till temperaturen T_2 kan beräknas enligt

$$W = m \cdot c_p \cdot (T_2 - T_1)$$

För mer tillämpade beräkningar används emellertid en schablonmetod. En vuxen person antas förbruka 1500 kWh/år för uppvärmning av varmvatten. Motsvarande siffra för barn är 1000 kWh/år. Effektbehovet erhålls genom division med antalet timmar per år, d v s 8760.

Hushållsel

Årsförbrukningen kan variera starkt mellan olika familjer. För ett "normalhushåll" på fyra personer kan energibehovet vara ungefär 5000 kWh/år. De största posterna utgörs av tvätt (34 %), kyl och frys (30 %) samt matlagning (14 %) (Bostadsstyrelsen, 1982).

Totalt energi- och effektbehov för en bostads uppvärmning

Formler

Det totala energibehovet för uppvärmning kan tecknas

$$W = W_t + W_v + W_{vv}$$

där W_t = energibehovet för transmission
W_v = energibehovet för uppvärmning av ventilationsluften
W_{vv} = energibehovet för uppvärmning av varmvatten

Transmissionsförlusterna beräknas enklast genom

$$W_t = Q_v \sum_{i=1}^{n} (U_i A_i) \quad (Wh)$$

där värdena för U*A hos byggnadens olika delar summeras. Ventilationsförlusterna kan bestämmas enligt

$$W_v = \rho_l \cdot V \cdot n \cdot c_p \cdot Q_v \approx 0.335 \cdot V \cdot n \cdot Q_v \quad (Wh)$$

där V = husets volym (m^3)
n = luftomsättningen (oms/h)

Observera att energibehovet i kapitlen ovan avser nettoförbrukningen. För att beräkna bruttoförbrukningen, d v s den totala energimängd som måste tillföras pannan, måste även värmeanläggningens verkningsgrad beaktas.

Det maximala effektbehovet, d v s effektbehovet vid LUT, kan beräknas enligt:

$$P_{max,tot} = P_{max,t} + P_{max,v} + P_{vv}$$

där

$$P_{max,t} = (T_e - T_u)\Sigma(U \cdot A) \quad (W)$$

$$P_{max,v} \approx 0{,}335 \cdot V \cdot n \cdot (T_e - T_u) \quad (W)$$

då hänsyn tagits till gratiseffekten.

Exempel

En lantbrukare utanför Uppsala ämnar tilläggsisolera en äldre timmerstuga för uthyrning åt en person. Han önskar härvid hjälp med att beräkna byggnadens energi- och effektbehov. För stugan gäller följande:

Tabell 4. Data om timmerstugan

Byggnadsdel	Material	Tjocklek (mm)	λ (W/mK)
Yttervägg	timmer	160	0,14
area: 80 m²	isolering	50	0,04
	gipsskiva	13	1,3
Golv	golvträ	50	0,14
area: 60 m²	isolering + bjälkar	150	0,065
Tak	trä	12	0,14
area: 60 m²	isolering	100	0,04

Dessutom har huset tre fönster med sammanlagda ytan 5,0 m² och U-värdet 3,0 W/m²K, samt en dörr med ytan 2,0 m² och U-värdet 1,5 W/m²K. Husets volym uppmättes till 130 m³, och luftomsättningen uppskattades till 0,7 oms/h. Önskad inomhustemperatur är 20°C. Värmeanläggningen dimensioneras för LUT 100.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING.

Det totala energibehovet ges av

$$W = W_t + W_v + W_{vv} = Q_v \cdot \Sigma(U \cdot A) + 0{,}335 \cdot V \cdot n \cdot Q_v + W_{vv}.$$

Vi börjar med att beräkna värmemotståndet för byggnadens olika delar;

$$R_T = R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^{n} R_i$$

Insatta värden för stugans ytterväggar ger (R_{si} och R_{se} enligt Nybyggnadsregeler (1989))

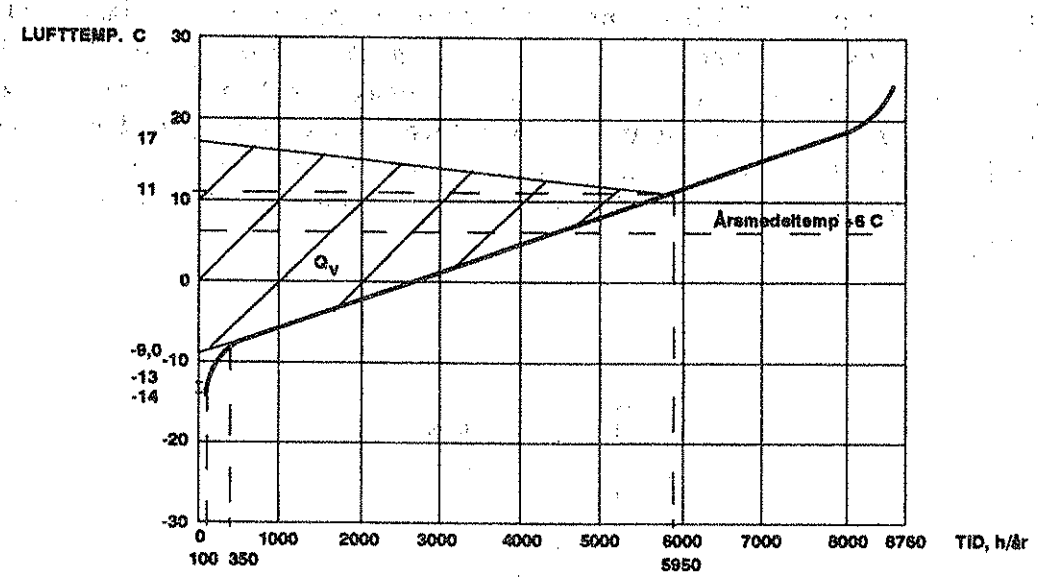
$$R_T = 0{,}13 + 0{,}04 + \frac{0{,}16}{0{,}14} + \frac{0{,}050}{0{,}04} + \frac{0{,}013}{1{,}3}$$

och U = 0,389 W/m²K (för att förenkla beräkningarna antar vi att detta är U_p-värdet). U-värdena för golv och tak beräknas på samma sätt. Summan av U*A visas i tabell 5.

Tabell 5. U-värdesberäkning för timmerstugan

Husdel	U-värde (W/m²K)	Area (m²)	U*area (W/K)
Ytterväggar	0,389	80	31,1
Golv	0,343	60	20,6
Tak	0,353	60	21,2
Fönster	3,0	5,0	15,0
Dörr	1,5	2,0	3,0
$\Sigma(U \cdot A)$			90,9

Eftersom stugan finns i Uppsala-trakten, väljes ett varaktighetsdiagram med årsmedeltemperaturen +6°C. I figur 19 har kurvorna för temperaturerna ritats in. Grafisk lösning för uppskattning av antalet gradtimmar ger Q_v = 78500 °Ch.



Figur 19. Varaktighetsdiagram för uppskattning av antalet gradtimmar.

Det totala energibehovet är således

$$W = 78500 \cdot 90{,}9 + 0{,}335 \cdot 130 \cdot 0{,}7 \cdot 78500 + 1500 \cdot 10^3 = (7136 + 2393 + 1500) \cdot 10^3 = 11000 \quad kWh$$

Det maximala effektbehovet beräknas enligt

$$P_{max} = P_{max.f} + P_{max.v} + P_{vv}$$

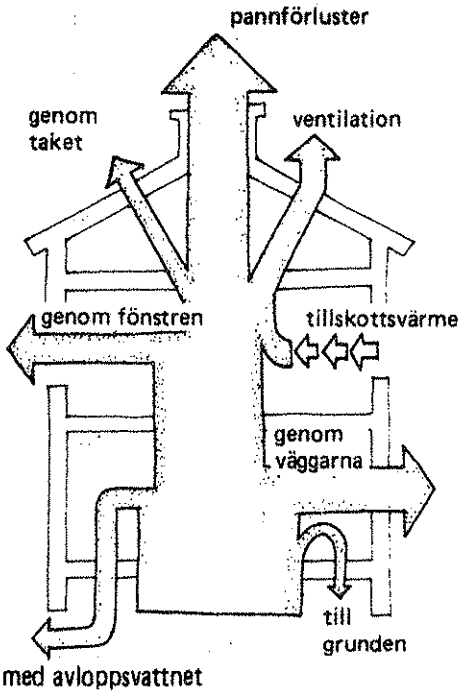
Enligt figur 19 är $T_e - T_u$ = 30°C vid LUT 100. Insatta värden i formeln ovan ger

$$P_{max} = 90{,}9 \cdot 30 + 0{,}335 \cdot 130 \cdot 0{,}7 \cdot 30 + \frac{1500 \cdot 10^3}{8760} = (2727 + 915 + 171)W = 3{,}8 \quad kW$$

Stugans energibehov är knappt 11 000 kWh/år, och den maximalt erforderliga effekten uppgår till 3,8 kW.

ENERGISPARANDE

Den energi som tillförs ett hus lämnar så småningom huset i form av värme. I figur 20 visas vilka förluster man kan räkna med, samt hur stora förlusterna är i förhållande till varandra. Förlusterna kan begränsas genom byggnadstekniska, installationstekniska, samt genom beteendemässiga åtgärder. Byggnadstekniska åtgärder omfattar t ex tätning och tilläggsisolering av huset, medan trimning av värmeanläggningen, installation av värmeväxlare o s v är exempel på installationstekniska åtgärder. I detta kapitel diskuteras olika sätt att spara energi. Alternativa värmesystem, såsom solfångare, värmepumpar, vedeldning etc presenteras ej här.



Figur 20. Exempel på värmeflöden i ett bostadshus. Källa: Byggforskningsrådet, 1982a.

Tätning

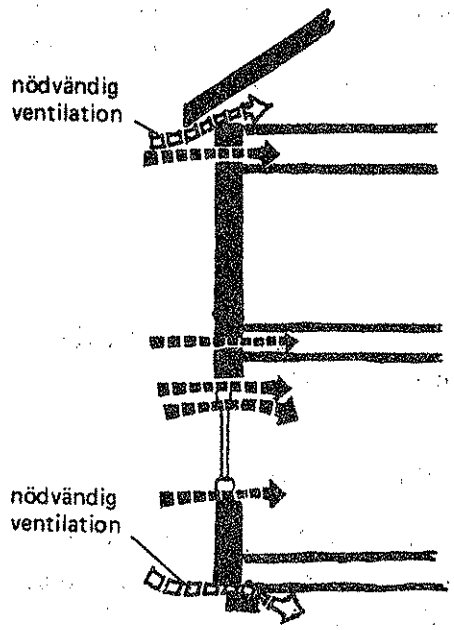
Otätheter i ett bostadshus medför en ofrivillig ventilation. Om den ofrivilliga ventilationen blir alltför stor kan den ge upphov till drag och nedkylning av väggar och golv. Detta medför att värmeenergi går förlorad. Förutom att den inläckande kalla luften måste värmas upp, vill man ofta höja rumstemperaturen så högt att man ej upplever draget. I ett tätat hus kan man därför ofta sänka rumstemperaturen utan alltför stora obehag. Ett otätt hus erbjuder dessutom små möjligheter till reglering av ventilationen.

Tätning i ytterväggar kan ske enligt två olika principer; dels vindtätning och dels luft- och ångtätning.

Om luft kan blåsa in i bjälklag och ytterväggar försämras isoleringsförmågan, eftersom luften i isoleringsmaterialet kommer i rörelse. Vindtätning hindrar luften att tränga in i väggarna. Vindskyddet placeras på utsidan av isoleringen, och kan utgöras av träfiberskivor, papp och gipsskivor.

Lufttätning förhindrar att luft läcker ut eller in i huset. Ångtätning hindrar fuktigheten i den varma luften inomhus att tränga in i t ex ytterväggen, vilken annars kan angripas av röta, mögel etc. Det vanligaste tätningsmaterialet är en plastfolie. Den bör placeras så nära den varma och fuktiga rumsluften som möjligt.

I figur 21 visas ett antal ställen som man bör kontrollera innan man börjar täta sitt hus. Kontrollen kan ske med en rökpistol. Genom att spruta rök mot den punkt man vill undersöka, kan man på rökens rörelse se hur tätt det är. Observera att vissa ställen måste medge en viss ventilation för att röta inte ska uppstå. Detta gäller t ex vid takfoten och vid grundmurar.

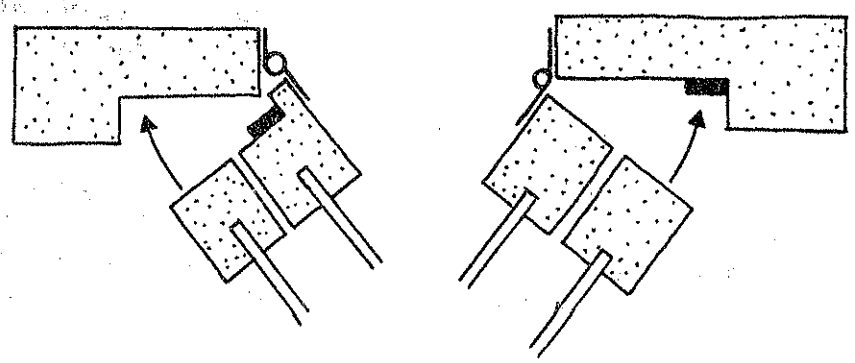


* Ytterväggens anslutning till golvet.
* Fönsterkarmens anslutning till väggen.
* Mellan fönsterbåge och karm.
* Mellan yttervägg och vindsbjälklag.
* Där innerväggar ansluter mot ytterväggen.
* Vid rörgenomföringar.
* Vid eldosor i ytterväggen.

Figur 21. Kritiska punkter i ett hus där tätningen kan vara bristfällig. Källa: Byggforskningsrådet, 1982b.

Vid tätning mellan fönsterbåge och karm är det viktigt att tätningen sker så nära den varma rumsluften som möjligt (figur 22). Monteras tätningslisterna felaktigt uppstår lätt fuktskador i fönsterbågarna. Lister av EPDM-gummi eller silikongummi har god tätningsförmåga och bör användas. Skumplastlister och liknande typer saknar däremot nästan helt tätningsförmåga.

I ett hus finns det ett stort antal fogar. Dessa kan tätas med fogmassor, foglister, fogskum eller mineralull i remsor. Vilket man väljer beror bl a på fogens bredd och var fogen är belägen. Fogens luft- och ångtäta skikt ska finnas närmast inomhusluften.



Figur 22. Placering av tätningslister i fönster. Till vänster inåtgående, till höger utåtgående fönster.

Är huset tätat på rätt sätt behöver luften inte bli dålig. Det kan dock behövas en ordentlig vädring ibland. Det är då mer energisparande att vädra en kort stund med fönstren på vid gavel, än att låta ett fönster stå på glänt hela dagen.

Tätning av hus tillhör en av de mest lönsammaste åtgärderna för att spara energi. Med enkla åtgärder kan man ofta spara 5-10 % av bostadens energiförbrukning. Montering av t ex tätningslister betalar sig vanligen på mindre än ett år.

Tilläggsisolering

Allmänt

Tilläggsisolering minskar uppvärmningsbehovet. Det behövs dock alltid en värmekälla. Vilka delar som ska isoleras och hur mycket beror bl a på:

* husets skick och ålder
* hur mycket energi som sparas i förhållande till kostnaden.

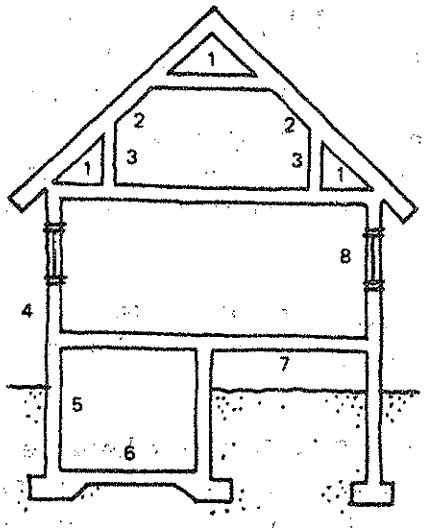
En tilläggsisolering kan förändra utseendet på huset, och vissa utrymmen kan bli dåligt ventilerade eftersom huset blir tätare. Tänk även på att uppvärmningssystemet måste injusteras och anpassas till ett mindre energibehov.

Vid bedömning av hur lönsamt det är att isolera, kan man skilja på:

* optimal isolering
* ekonomisk isolering.

Optimal isolering föreligger då förhållandet mellan energisparvinsten och kostnaden för isoleringen är störst, d v s då avkastningen på det investerade kapitalet är störst. Men man kan fortfarande spara om man isolerar mer. Ekonomisk isolering föreligger då kostnaden för isoleringen är lika med värdet av den inbesparade uppvärmningsenergin.

Figur 23 visar exempel på var i ett hus det kan vara lönsamt att tilläggsisolera.



1. Förbättring av vindsbjälklagets isolering är en av de enklaste åtgärderna.
2. Tilläggsisolering av snedtaket kan vara besvärligt.
3. Stödbensväggen kan lätt åtgärdas om man kommer in på vinden.
4. Tilläggsisolering av ytterväggen kan göras på olika sätt.
5. Även källarväggen kan vara lämplig att isolera.
6. Golv på mark kan tilläggsisoleras ovanpå betongen.
7. Andra golv kan åtgärdas från kryputrymmet under golvet.
8. Även fönster kan tilläggsisoleras genom att det förses med ytterligare ett fönsterglas.

Figur 23. Några isoleringsmöjligheter i byggnader. Källa: Byggforskningsrådet, 1982c.

Material

Mineralull, sten och glasull finns i form av skivor, mattor och lösull. Lösull kan med fördel användas vid isolering av vindsbjälklag. Det kan här vara svårt att få en god passform på skivorna. Genom att lösullen sprutas via en tryckluftsslang erhålles en god anslutning till ojämnheterna.

Cellplast tillverkas antingen i form av skivor eller kulor. Dess isoleringsförmåga är jämförbar med mineralull, medan dess förmåga att släppa igenom vattenånga är mindre.

Karbamidskum sprutas vanligen in i hålrum i väggar och bjälklag. Det kan vara svårt att få ett lyckat resultat, och man bör därför låta en fackman utföra arbetet.

Byggnadsdelar lämpliga för tilläggsisolering

Utvändig tilläggsisolering av ytterväggar är en relativt omfattande åtgärd. Eftersom väggtjockleken ökar, förändras husets utseende. Bl a blir fönstersmygarna djupare, takfoten kortare och språnget mellan sockeln och väggen större. Dessutom måste hängrännor, stuprör, ventiler etc anpassas till den nya väggtjockleken. Vid utvändig tilläggsisolering kan man även välja ett annat fasadskikt än det ursprungliga; t ex plåt- eller plastskivor, puts, tegel o s v.

Invändig tilläggsisolering av ytterväggar påverkar ej byggnadens utseende. Däremot minskar bostadsytan något, och värmetransporten via köldbryggor finns fortfarande kvar. Eldosor, elkontakter och andra vägginstallationer måste även flyttas.

Om bostadens fönster är i god kondition kan man tilläggsisolera genom att komplettera med ett enkelglas. Rutan monteras då på den befintliga fönsterbågen. Andra alternativ är att byta ett enkelglas mot en förseglad 2-glas isolerruta, eller byta befintliga glas mot 3- eller 4-glas isolerrutor. Möjligheterna till rengöring, utrymme för persienner, gångjärnens skick m m, är faktorer som bestämmer vilket alternativ som är lämpligast för bostaden. Energibesparingen vid förbättrad fönsterisolering erhålls dels genom att fönstrets U-värde sänks, och dels genom att temperaturen på innerglaset höjs, vilket medför att inomhustemperaturen kan sänkas.

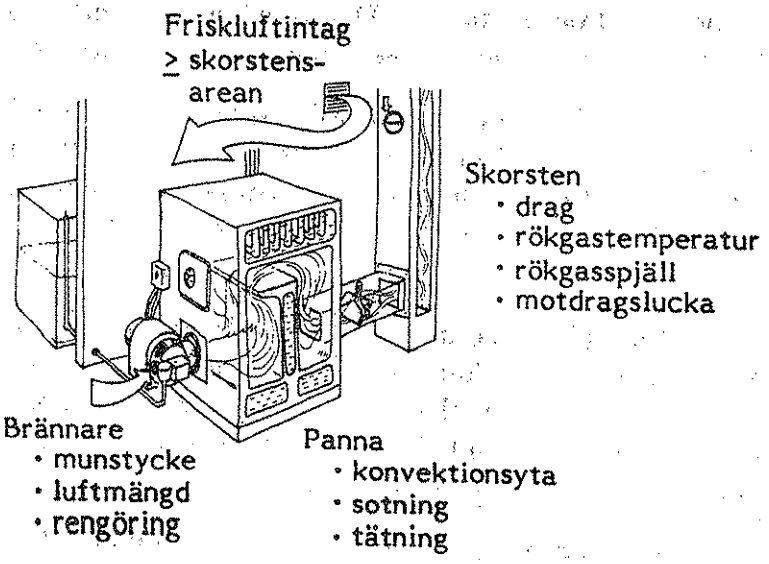
Källarväggar kan tilläggsisoleras både in- och utvändigt. Utvändig isolering är emellertid ett besvärligt och dyrt arbete, och bör därför göras i samband med reparation av källarväggens fuktisolering.

Tilläggsisolering av vindsbjälklaget är ofta enkelt att utföra. Isolering kan ske med skivor av mineralull eller cellplast, med lösfyllnadsmaterial såsom mineralull och cellulosafibrer, samt med kutterspån. Det är viktigt att lufttätningen blir tillfredsställande, så att varm inomhusluft inte läcker ut och kondenserar på den kalla vinden. Snedtak och stödbensväggar kan vara svåråtkomliga och besvärliga att isolera. Isoleringen utförs antingen på in- eller utsidan, och här används vanligen skivor av mineralull.

Syftet med isolering av golvbjälklaget är att höja golvets yttemperatur. Betonggolv direkt på marken, källargolv och kryprumsbjälklag är lämpliga objekt. Vid isolering av betonggolv krävs att man lägger ut en fuktspärr; annars föreligger stor risk för röt- och mögelskador. Kryprumsbjälklag kan isoleras underifrån. Observera att ventilationen i kryputrymmet måste vara tillfredsställande, eftersom fukt hela tiden avgår från marken till luften. Isoleringen får således inte kräva för stort utrymme. Om man inte vill bryta upp golvet kan lösull eller polystyrenkulor sprutas in i borrade hål.

Trimning av oljepanna

Trimning av eventuell befintlig oljepanna är ett mycket billigt sätt att spara energi. I figur 24 visas vilka delar i pannanläggningen som bör undersökas vid trimningen.



Figur 24. Viktiga kontrollpunkter vid trimning av oljeeldade anläggningar.

Oljepannans funktion

De viktigaste delarna i en värmeanläggning utgörs av brännare, panna och skorsten (figur 24).

I brännaren sprutas olja under tryck in i pannan genom ett munstycke. Oljan blandas sedan med luft i sådana proportioner att oljan förbränns väl. Det krävs mer än 10 000 liter luft för att förbränna en liter olja, och det är därför viktigt att lufttillförseln regleras korrekt. Detta sker med ett reglage på brännaren.

De heta rökgaserna som bildas vid förbränningen passerar via pannan ut genom skorstenen. Vid passagen genom pannan ska rökgaserna avge så mycket värme som möjligt till pannvattnet, som sedan nyttjas för uppvärmning av radiatorer och varmvatten. Rökgasernas hastighet genom pannan påverkar värmeavgivningen, d v s ju längre tid rökgaserna finns i pannan, desto mer värme hinner de avge. Rökgashastigheten regleras med hjälp av rökgasspjället.

Rökgaserna bör således ha så låg temperatur som möjligt då de lämnar pannan. Alltför svala rökgaser kan emellertid kondensera, vilket medför risk för frätskador i skorstenen. Rökgasernas lägsta temperatur bestäms bl a av skorstenens utformning. Det är sålunda viktigt att anläggningens brännare, panna och skorsten är väl anpassade till varandra.

Verkningsgrad

De värmeförluster som hänförs till pannan kan indelas i:

* Rökgasförluster. Värmeförluster via rökgasen beror bl a på ofullständig förbränning och för hög rökgashastighet genom pannan. Dessutom medför sotbeläggningar att eldstadsytans värmeupptagningsförmåga nedsätts.

* Strålningsförluster. Om pannans isolering är bristfällig, kan den avge stora mängder värmeenergi till pannrummet. Denna värme kan oftast inte under kontrollerade former tillgodogöras för fastighetens uppvärmning.

* Stilleståndsförluster. När brännaren står stilla strömmar kall luft genom pannan och kyler pannvattnet. Denna uppvärmda luft fortsätter sedan ut genom skorstenen. Stilleståndsförlusterna kan minskas genom att pannan helt stängs av när värmebehovet är lågt. Man kan då istället använda t ex elvärme.

En oljepannas eldningstekniska verkningsgrad (ofta används benämningen "förbränningsverkningsgrad", se f ö kapitlet "Eldning av fasta bränslen") anger hur stor andel av bränslets energiinnehåll som ej avgår med rökgaserna. Här har man således endast tagit hänsyn till rökgasförlusterna. En bra oljepanna bör ha en eldningsteknisk verkningsgrad på omkring 90 %.

Pannverkningsgraden (eller pannans "totala verkningsgrad") tar hänsyn till såväl rökgasförluster som strålningsförluster. Totalverkningsgraden bör vara ca 85 %.

Om även stilleståndsförlusterna beaktas, erhålles årsmedelverkningsgraden. Denna bör vara omkring 70-80 % hos en modern och väl intrimmad oljepanna.

Rökgasanalys

Med hjälp av en rökgasanalys kan rökgasförlusterna, d v s pannans eldningstekniska verkningsgrad, uppskattas. Vid analysen undersöks följande punkter:

* sottalet, som anger hur väl oljan förbränns. Om tillflödet av luft är otillräckligt eller då proportionen olja-luft är felaktig, bildas sot. Sottalet är ett mått på hur mycket sot rökgaserna innehåller. Sottalet bör vara högst 1.

* CO_2-halten, som är ett mått på luftöverskottet vid förbränningen. CO_2-halten blir låg om förbränningen sker med ett stort luftöverskott, eftersom all luft inte deltar i förbränningen. CO_2-halten bör vara minst 10 %.

* rökgastemperaturen, vilken visar hur väl värmen upptas av pannan. Rökgastemperaturen stiger om rökgaserna passerar för snabbt genom pannan, om pannan är sotig, samt om de värmeupptagande ytorna är för små. Rökgastemperaturen bör vara lägre än 220 °C; dock ej så låg att rökgaserna kondenserar i skorstenen.

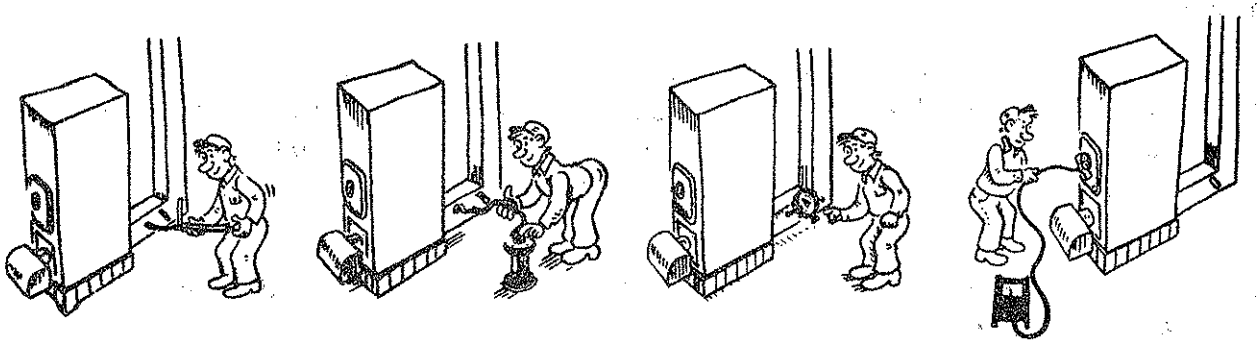
* draget, d v s undertrycket i pannan. Draget ska vara så stort att rökgaserna förs ut genom skorstenen utan att tränga ut i pannrummet. Ett alltför högt drag ger emellertid större stilleståndsförluster, eftersom mängden kall luft som passerar pannan ökar. Draget bör vara 1-2 mm vp, och justeras med rökgasspjället.

Sottalet och CO_2-halten visar hur bra förbränningen är. Om dessa värden är felaktiga, justeras lufttillförseln i brännaren tills sottalet blir så lågt som möjligt och CO_2-halten så hög som möjligt (denna kan dock högst bli 15,5 %). Låg CO_2-halt kan även bero på att pannan är otät så att det uppstår tjuvdrag, t ex vid eldningsluckorna. Genom tätning av pannan tillförs all luft via brännarfläkten, och det blir då lättare att ställa in lämpligt drag.

Med automatisk dragreglering erhålles ett lågt och jämnt drag i eldstaden, samtidigt som stilleståndsförlusterna minskas. Undertrycket i eldstaden påverkar då en givare som styr en reglermotor för rökgasspjället. Det måste emellertid finnas en anordning som garanterar att spjället är öppet när brännaren startas.

Rökgastemperaturen visar hur effektivt värmen överförs till pannvattnet. Höga rökgastemperaturer beror oftast på att pannan är sotig. En sotbeläggning på 1 mm höjer rökgastemperaturen ca 50 °C (jfr exempel i tidigare kapitel), vilket medför att verkningsgraden sjunker ungefär 3 %. Enligt brandstadgan skall pannor sotas regelbundet av skorstensfejarmästaren. Ur energisparsynpunkt är det dock ofta lönsamt att ekonomisota pannan en eller flera gånger dessemellan.

Mätningarna görs med instrument som finns att tillgå i handeln eller hos kommunens energirådgivare. Figur 25 visar hur mätningarna kan gå till. Hur mätningarna och trimningen tillgår rent praktiskt redovisas inte här. Den intresserade bör kontakta sin energirådgivare för ytterligare information.



Figur 25. Mätning av sottal, CO_2-halt, rökgastemperatur samt drag.

Det kan vara svårt att trimma vissa äldre brännare så att de uppnår de verkningsgrader som krävs idag. Det är då mycket lönsamt att byta ut den gamla brännaren mot en modernare typ.

Brännarens munstycke är en förbrukningsartikel och bör därför bytas en gång per eldningssäsong. Munstyckets storlek måste vara anpassat till pannans storlek. På varmvattenpannor krävs 1 m^2 värmeöverföringsyta för varje kg olja munstycket ger per timme.

Komplettering med el

Oljepannan fungerar bäst om den får gå oavbrutet. Varje stillestånd medför att årsverkningsgraden sänks. På sommaren när endast varmvatten behövs, kan det därför vara klokt att installera elpatroner eller en elkassett.

I elpatroner bildas värme genom att en elektrisk ström passerar ett motståndselement. Elpatroner som används enbart för uppvärmning av tappvarmvatten bör ha relativt låg effekt (2-6 kW). Om man avser att använda pannan som elpanna bör elpatronerna ge minst 2-3 ggr högre effekt.

En elkassett består av ett paket elpatroner. Elpatronerna är inneslutna i en separat behållare som förbindes med pannvattnet i den befintliga pannan. Vid montage av elkassett måste ofta en extra cirkulationspump monteras in för att vattnet i kassetten ska blandas ordentligt.

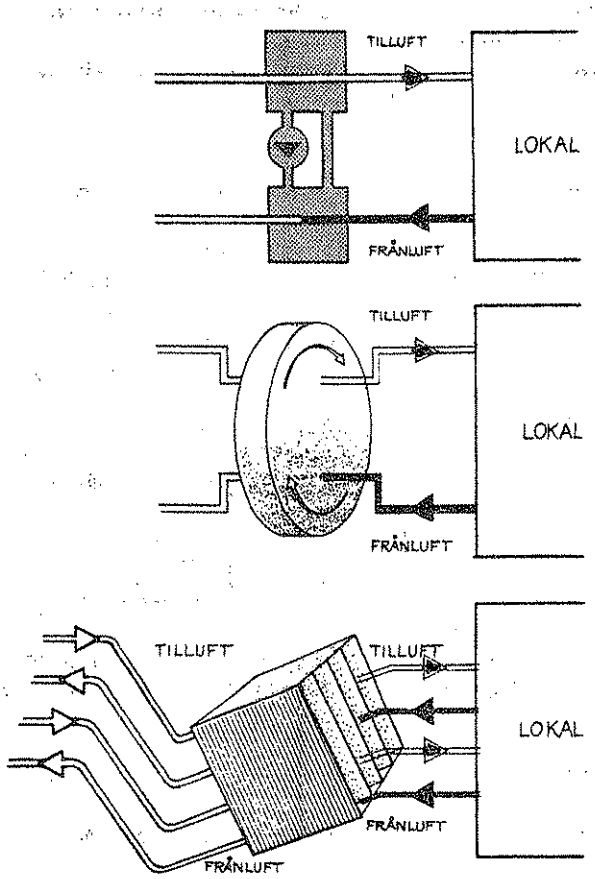
Luftvärmeväxlare

Funktion

Vid ventilation av stallar och bostäder avgår stora värmemängder med frånluften. Med hjälp av värmeväxlare kan en del av denna värme återföras med tilluften tillbaka till byggnaden. De vanligaste typerna av värmeväxlare är cykliska (regenerativa), statiska (rekuperativa) eller indirekta (figur 26). Dessutom förekommer värmeväxlare som arbetar med förångning och kondensation av en värmebärare.

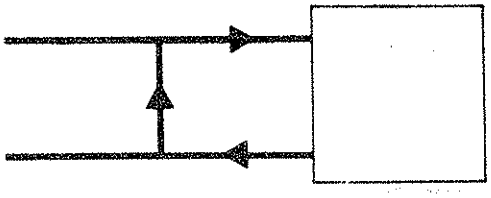
Hos de cykliska värmeväxlarna står de värmeöverförande delarna omväxlande i kontakt med från- och tilluften. I de statiska utgör däremot de värmeöverförande delarna en skiljevägg mellan från- och tilluften. Indirekta värmeväxlare arbetar med en värmebärare, t ex vatten, som cirkulerar mellan från- och tilluftskanalerna.

I figur 27 samt i den efterföljande texten beskrivs hur några marknadsförda värmeväxlarsystem kan konstrueras.



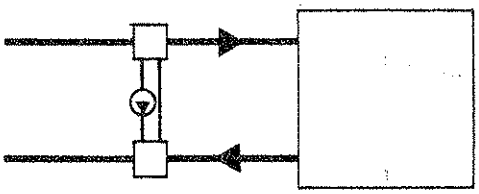
Figur 26. Olika typer av värmeväxlare; överst indirekt (vätskekopplad), i mitten cyklisk (roterande) och nederst en statisk (platt-) värmeväxlare.

1. Återluft – cirkulationsluft



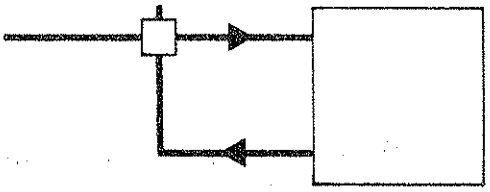
Andel återluft 0–100%.
Entalpi- och temperaturverkningsgrad 0–100%.
Reglering: med spjäll.

2. Vätskekopplade värmeväxlare



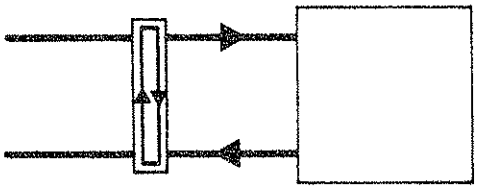
Temperaturverkningsgrad 50–70%.
Reglering: strypning (shuntning) av vätskeflödet.

3. Platt- och rörvärmeväxlare



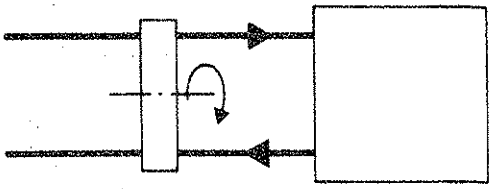
Temperaturverkningsgrad 50–70%.
Reglering: förbigång med spjäll.

4. Värmerörsvärmeväxlare



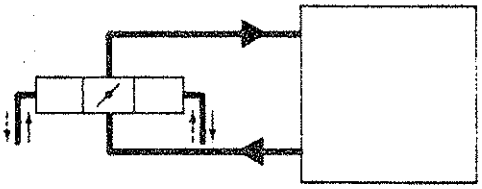
Temperaturverkningsgrad 50–70%.
Reglering: förbigång med spjäll.

5. Roterande värmeväxlare



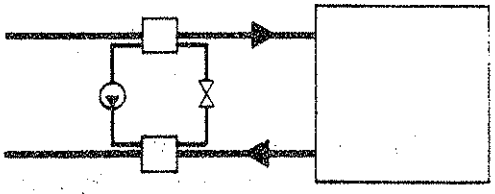
Hygroskopisk rotor: fukt- och temperaturverkningsgrad ca 80%.
Icke hygroskopisk rotor: temperaturverkningsgrad ca 80%.
Reglering: reducering av varvtal.

6. Kammarvärmeväxlare



Temperaturverkningsgrad ca 80%.
Reglering: ökning av arbetscykelns längd.

7. Värmeväxlare med värmepump



Temperaturverkningsgrad ca 70%.
(Energitillförsel till kompressor gör att verkningsgrader ej kan jämföras.)
Reglering: effektreglering av kompressor.

Figur 27. Schematisk funktion hos några marknadsförda värmeväxlarsystem. Källa: Svennberg, 1983.

1. I den enklaste formen av värmeåtervinning återföres frånluften helt eller delvis till lokalen. Detta system är billigt, och det är även möjligt att utnyttja frånluftens energiinnehåll till fullo. Nackdelar är att frånluftens föroreningar återförs till lokalen, samt att det finns risk för spridning av brand och rök.

2. I den vätskekopplade värmeväxlaren cirkulerar en blandning av vatten och glykol mellan två batterier, ett i frånluftskanalen och ett i tilluftskanalen. Värmen transporteras från frånluften via vätskan till tilluften. Här behöver ej från- och tilluftskanalerna ligga intill varandra. Verkningsgraden hos denna metod blir dock relativt låg.

3. Platt- och rörvärmeväxlaren är uppbyggd av kanaler som korsar varandra, där det i varannan kanal går tilluft och i varannan frånluft. Värmen överförs direkt genom de gemensamma kanalväggarna. Från- och tilluften måste sammanföras till två intilliggande kanaler om värmeväxlaren ska kunna fungera.

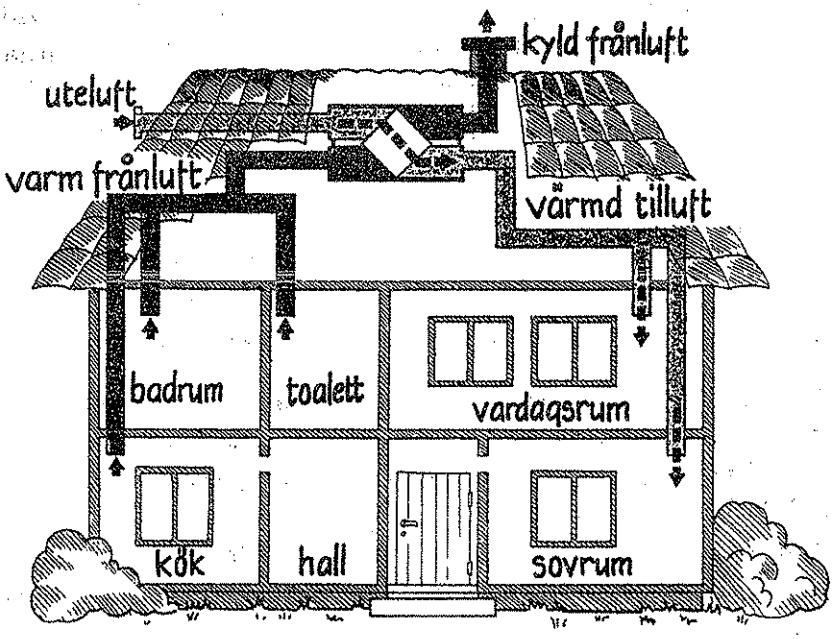
4. Värmerörsvärmeväxlaren arbetar enligt principen med indirekt värmeöverföring, där mediet är ett förångande och kondenserande ämne. Det lättkokande mediet finns i vertikala tuber, och förångas när den varma frånluften passerar tubernas nedre del. Ångan stiger uppåt och kyls av den kalla tilluften som passerar förbi tubernas övre del. Kondensatet återförs sedan till förångardelen genom tyngdkraften. Det finns även en typ med horisontella tuber som arbetar på ett likartat sätt.

5. I den roterande värmeväxlaren är från- och tilluften i kontakt med varsin halva av värmeväxlaren. Värmeöverföringen sker genom att frånluften på ena sidan värmer upp lameller (eller kanaler) i värmeväxlaren. Dessa lameller roterar, och ett halvt varv senare kyls de av tilluften på värmeväxlarens andra sida. Värmeväxlarens rotor kan göras av ett hygroskopiskt material så att även frånluftens fukt kan överföras. Verkningsgraden blir då hög. Från- och tilluftskanalerna måste här sammanföras, och det föreligger även en viss risk för överföring av föroreningar från frånluft till tilluft.

6. Kammarvärmeväxlaren består av två kanaler fyllda med ett värmelagrande medium, t ex plåtlameller. Frånluften passerar genom den ena kanalen och värmer upp dess medium, samtidigt som tilluften strömmar genom den andra kanalen. Efter en viss förinställd tid växlar ett spjäll om strömmarna av från- och tilluft, så att tilluften nu passerar den uppvärmda kanalen. Denna typ av värmeväxlare är driftssäker eftersom den har få rörliga delar. Dessutom har den en relativt hög verkningsgrad. Nackdelar är att från- och tilluftskanalerna måste sammanföras, samt risken för luftöverföring.

7. En värmeväxlare med värmepump är en form av indirekt värmeväxlare med en förångande värmebärare. Förångningen sker i värmeväxlarens frånluftsdel där trycket är lågt. En kompressor höjer trycket och temperaturen på ångan innan ångan avger sin värme till tilluften genom kondensation. Värmeväxlaren kan kombineras med samtidig drift av kylsystem i t ex livsmedelsbutiker. Den kan även ges omvänd funktion och används då för kylning sommartid. Kostnaderna är emellertid avsevärt högre än för andra värmeväxlare.

Värmeväxlare kan användas vid ventilation med frånluftssystem (F-system) eller vid ventilation med från- och tilluftssystem (FT-system). Det är dock bara vid FT-systemet som den återvunna värmen används för uppvärmning av tilluften (s k FTX-system, figur 28).



Figur 28. Ett s k FTX-system, där värmeenergi överförs från frånluften till tilluften via värmeväxlare. Källa: Bygginfo, 1981.

Det krävs självfallet att husen är någorlunda täta. Otäta bostadshus medför att en alltför liten del av den ventilerade luften passerar värmeväxlaren. Vid vädring av ett hus sätts värmeväxlaren mer eller mindre ur funktion. Man kan givetvis inte återvinna värme under de perioder då gratisvärme (solbelysning, människor m m) helt klarar husets värmebehov.

Effekt och verkningsgrad

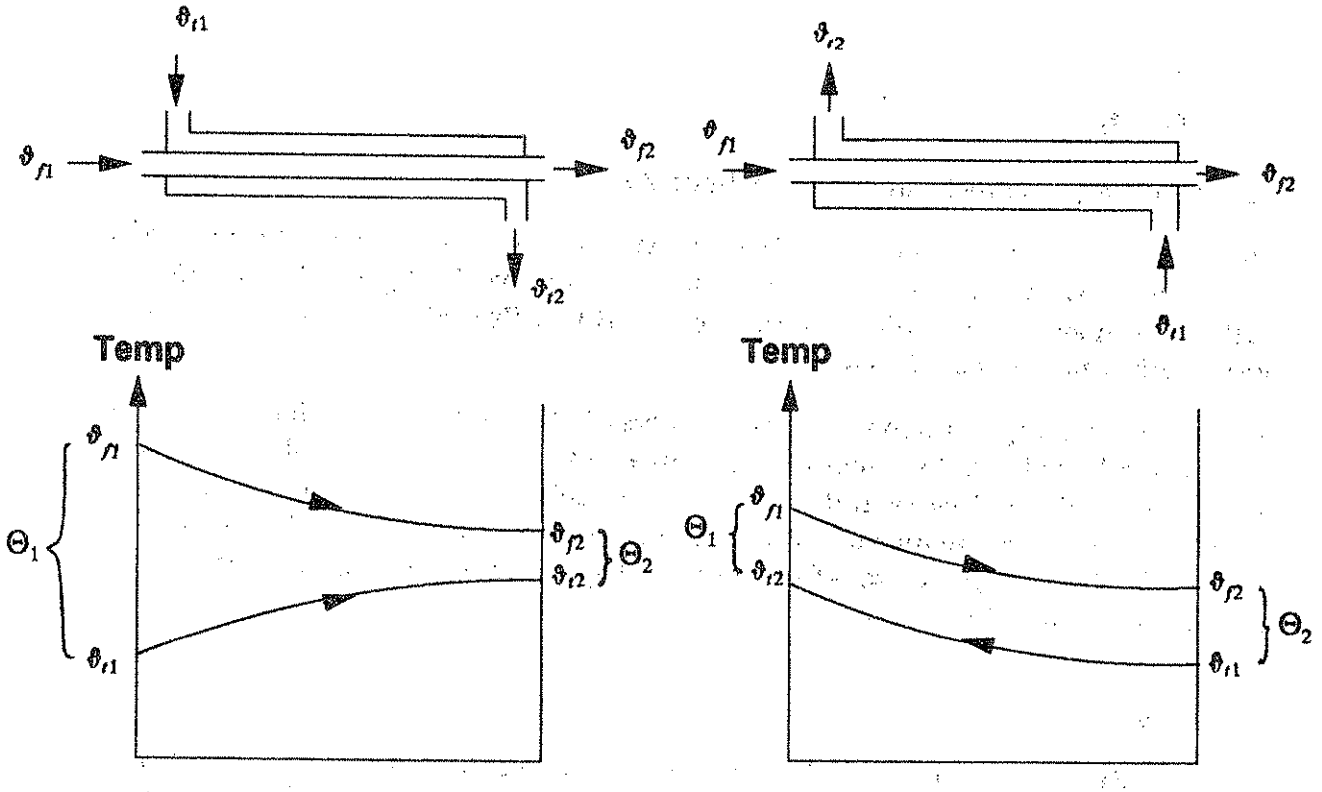
Den i en värmeväxlare överförda effekten kan tecknas enligt:

$$P = U \cdot A \cdot \Theta_m$$

där U = värmegenomgångskoefficienten (W/m^2*K)
A = den värmeöverförande ytan (m^2)
Θ_m = medeltemperaturdifferensen, som beräknas enligt:

$$\Theta_m = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\ln \frac{\Theta_1}{\Theta_2}}$$

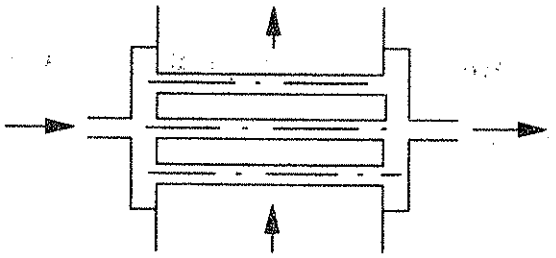
Θ_1 och Θ_2 betecknar här temperaturdifferenserna enligt figur 29.



Figur 29. Temperaturfördelningen i en medströmsvärmeväxlare (t v), och en motströmsvärmeväxlare (t h). Index t betecknar tilluft och index f frånluft.

I praktiken är dock kors- eller tvärströmsvärmeväxlaren vanligast, eftersom den är både effektiv och relativt enkel att konstruera. För tvärströmsvärmeväxlaren (figur 30), gäller approximativt

$$\Theta_{mtvär} = \frac{1}{2}(\Theta_{mmedström} + \Theta_{mmotström})$$



Figur 30. Principen för en tvärströmsvärmeväxlare.

En värmeväxlares effektivitet kan anges med antingen temperaturverkningsgraden eller årsmedelverkningsgraden.

Temperaturverkningsgraden anger hur stor del av den totala temperaturskillnaden mellan till- och frånluft som värmeväxlaren klarar av att återvinna. Temperaturverkningsgraden beräknas enligt:

$$\eta_{temp} = \frac{\vartheta_{t2} - \vartheta_{t1}}{\vartheta_{f1} - \vartheta_{t1}}$$

med vedertagna beteckningar enligt figur 29.

Om frånluften i en bostad håller 21°C och tilluften är -15°C blir temperaturskillnaden 36°C. En värmeväxlare med 50 % temperaturverkningsgrad höjer då tilluftens temperatur med 50 % av 36°C, d v s 18°C. Efter värmeväxlaren har den kalla luften nu värmts till +3°C.

Årsmedelverkningsgraden utgör ett medelvärde för verkningsgraden under året. Den anger hur stor del av energin för uppvärmning av ventilationsluften som sparas med värmeväxlare under ett år. Årsmedelverkningsgraden används vid bedömning av hur lönsamt det är att installera en värmeväxlare. Den är emellertid svårare att uppskatta, eftersom även byggnadens och ventilationssystemets täthet har betydelse.

Exempel

I en tvärströmsapparat med 10 m^2 värmeöverföringsyta värms luft från 0°C till 40°C av cirkulerande varmvatten. Vattnet kyls därvid från 80°C till 60°C. Den överförda effekten är 20 kW. Beräkna apparatens U-värde.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. U-värdet ges av

$$U = \frac{P}{A \cdot \Theta_{mtvär}}$$

där

$$\Theta_{mtvär} = \frac{1}{2}(\Theta_{mmed} + \Theta_{mmot})$$

Insatta värden i ekvationerna för medeltemperaturdifferenserna ger

$$\Theta_{mmed} = \frac{(80-0)-(60-40)}{\ln\frac{(80-0)}{(60-40)}} = 43{,}3°C$$

$$\Theta_{mmot} = \frac{(80-40)-(60-0)}{\ln\frac{(80-40)}{(60-0)}} = 49{,}3°C$$

$$\Theta_{mtvär} = \frac{1}{2}(43{,}3 + 49{,}3) = 46{,}3°C$$

Notera att medeltemperaturdifferensen (och därmed effektöverföringen) är högre för motströmsapparater än för medströmsapparater. Insatta värden i formeln ovan ger U-värdet;

$$U = \frac{20000}{10 \cdot 46,3} = 43,2 \quad W/m^{2\circ}C$$

Det sökta U-värdet är följaktligen 43 W/m$^{2\circ}$C.

Andra energispartips

Här följer ytterligare några energispartips. Observera att energisparande åtgärder påverkar varandra inbördes. Det är även viktigt att de olika åtgärderna utförs i rätt turordning. Genomförs flera åtgärder samtidigt, kan den procentuella besparingen inte summeras. Två åtgärder som sparar 10 resp 5 % medför en total besparing på 14 % (ej 15 %, ty 0,90 x 0,95 = 0,86).

Installationstekniska åtgärder

Förutom de ovan nämnda installationstekniska åtgärderna (trimning av panna och installation av värmeväxlare), kan följande åtgärder vara tillrådliga;

* installation av central temperaturreglering med motorshunt, vilken styrs av temperaturgivare. Regleringen ger jämnare inomhustemperatur och minskar risken för övertemperaturer.
* injustering av värmesystemet. Vattenflödet till olika våningar och deras radiatorer justeras så att lämplig temperatur erhålles i rummen.
* installation av termostatventiler. Dessa påverkar temperaturen i det enskilda rummet. Det är viktigt att termostatventilerna placeras korrekt.
* sänkning av tappvarmvattentemperaturen.
* minskning och drifttidsstyrning av luftflödena, vilket minskar ventilationsförlusterna. Dessutom bör ventilationskanalerna rengöras och ses över. Efter eventuell tätning av huset bör ventilationssystemet injusteras. En förutsättning för att kunna styra ventilationsfläktarnas drifttid är självfallet att man vet hur och när lokalen används.

Beteendemässiga åtgärder

Genom ändrade vanor i hemmet kan mycket energi sparas. Här följer några tips;

* sänkning av inomhustemperaturen
* minskad varmvattenförbrukning genom att duscha istället för att bada, skölja disken i balja istället för under rinnande vatten o s v
* minskad elförbrukning genom bättre utnyttjande av hushållsmaskiner, minskad belysning etc
* vädra genom snabb och effektiv korsvädring.

ELDNING MED FASTA BRÄNSLEN

Förbränningsteori

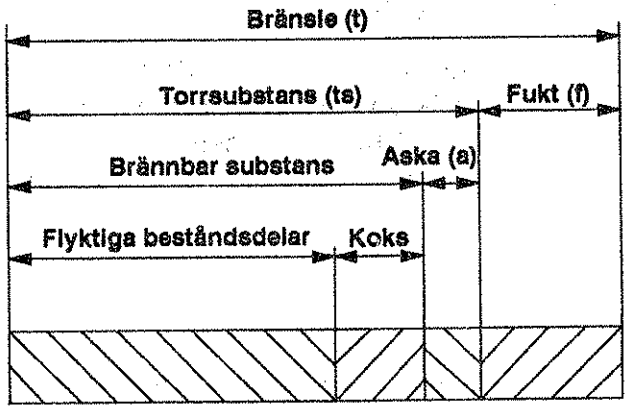
Bränslen

Med termen "fasta bränslen" avses främst:

* Trädbränslen (ved, flis)
* Halm (löshalm, balar)
* Torv (frästorv, stycketorv)
* Kol

Även andra brännbara material såsom vass, gräs, pappersavfall och liknande är fasta bränslen. Genom förädling kan bränslena komprimeras till briketter eller pelletter, eller malas till pulver. De fasta bränslenas ojämna egenskaper ställer ökade krav på såväl pannan som eldaren. I dessa avseenden har förädlade bränslen en viktig fördel gentemot oförädlade.

Fasta bränslen består i rått tillstånd av fukt, brännbar substans samt aska (figur 31). Fukten deltar inte i förbränningen, men har däremot stor betydelse för bränslets effektiva värmevärde. Ju fuktigare ett bränsle är, desto mer energi behövs för att förånga vattnet. Den brännbara substansen består dels av rent kol (koks), och dels av flyktiga beståndsdelar. De flyktiga beståndsdelarna utgörs av olika kolväteföreningar som frigörs vid bränslets upphettning. Askan består av mineralämnen. Om temperaturen blir för hög i förbränningszonen kan askan smälta och bilda slagg.



Figur 31. Fasta bränslens beståndsdelar.

Fukthalten hos ett bränsle är f/t (beteckningar enligt figur 31). Fuktkvoten är ett begrepp som nämns ibland. Denna kan beräknas enligt f/(t-f). Slutligen är askhalten lika med a/(t-f). I tabell 6 redovisas vissa bränsletekniska egenskaper för fasta bränslen. Lägg märke till de höga askhalterna hos halm och torv, samt halmaskans låga smältpunkt.

Tabell 6. Bränsletekniska egenskaper hos fasta bränslen (Källa: Leuchovius (red.), 1983; Dahlvig, 1981)

Bränsle	Fukthalt (%)	Andel flykt. beståndsdelar (% av ts)	Askhalt (%)	Askans smältpunkt (°C)
Ved		65-80	0,1-2	1250-1450
färsk	40-60			
lagrad	20-35			
Halm	15-22	75-85	3-5	900-1400
Torv		60-70	2-5	1000-1300
frästorv	50			
stycketorv	35			
briketter	15			
Stenkol	3-11		4-10	

Värmevärde

Fasta bränslens kalorimetriska värmevärde (=övre värmevärde) bestäms i en s k bombkalorimeter och betecknas H_s (s=superior). Värdet anger den energimängd som frigörs då bränslet förbrinner fullständigt under konstant tryck. Vattnet från bränslet och det vatten som bildas vid förbränningen är i vätskefas.

Det effektiva värmevärdet (H_i) definieras som det kalorimetriska värmevärdet, men med den skillnaden att vattnet från bränslet och förbränningen nu befinner sig i ångfas. Det effektiva värmevärdet kallas ibland även det undre värmevärdet (i=inferior).

För fasta och flytande bränslen gäller approximativt (Mörtstedt & Hellsten, 1985):

$$H_i = H_s - 2{,}5(8{,}9 \cdot h + f) \quad MJ/kg$$

där h = vikthalt väte i bränslet (kg/kg bränsle)
f = fukthalt (kg/kg bränsle)

För ved gäller enligt Widell (Mörtstedt & Hellsten, 1985):

$$H_i = 18{,}73 - 21{,}23 \cdot f \quad MJ/kg$$

Vid praktiska beräkningar av t ex pannverkningsgrader används det effektiva värmevärdet. I tabell 7 visas värmevärden för olika bränslen.

Tabell 7. Värmevärden för olika bränslen (Källa: Nilsson et al, 1988)

Bränsle	H_v (kWh/kg ts)	Fukthalt (%)	H_i (kWh/kg)
Halm	5,2		
		10	4,3
		15	4,0
		20	3,7
Ved	5,7		
		20	4,1
		40	2,9
		60	1,7
Torv			
stycke		50	2,5 (1,9-3,1)
fräs		35	3,5
Kol		5-20	8,2 (6,4-10)
Olja			11,4

Förbränningsförloppet

För att en förbränning ska kunna ske, måste det i lämpliga proportioner finnas tillgång på

* ett brännbart ämne
* luft (syre)
* en tillräckligt hög temperatur för antändning.

Förbränning av fasta bränslen sker i fyra faser beroende på temperaturen (figur 32);

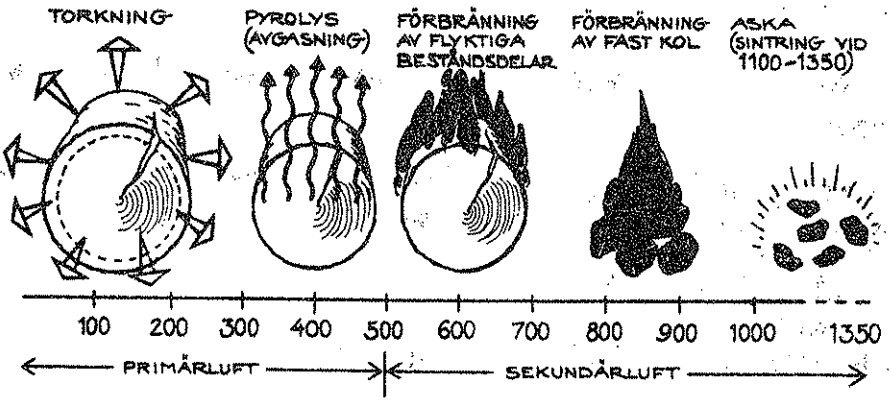
1 Torkning. När temperaturen uppgår till ca 100°C börjar vattnet förångas och bränslet torka.

2 Pyrolys. Vid temperaturer över 300°C börjar de flyktiga beståndsdelarna att förgasas. Bränslet ändrar under denna fas struktur och får en porös yta.

3 Förbränning av de flyktiga beståndsdelarna. Vid 500-600°C börjar de flyktiga beståndsdelarna (som nu är i gasform) att förbrännas ovanför bränslebädden. De flyktiga beståndsdelarna utgör ca 75 % av den brännbara substansen, och förbränning av fasta bränslen innebär således huvudsakligen förbränning av gaser.

4. Restförbränning. Vid temperaturer mellan 800-900°C förbränns det fasta kolet och vissa tjäror i bränslebädden.

För att erhålla en effektiv förbränning måste alla faserna vara tillstädes samtidigt. Detta är möjligt om bränslet tillförs eldstaden kontinuerligt. Om nytt bränsle tillförs intermittent i stora portioner kommer temperaturen i fyren att sjunka eftersom det åtgår mycket energi för att torka bränslet. Temperaturen stiger sedan efterhand som de olika faserna genomlöps, och förutsättningarna för en stabil och effektiv förbränning försämras sålunda.



Figur 32. De fyra faser enligt vilka förbränning av fasta bränslen sker. Källa: Leuchovius (red.), 1983.

Fullständig (stökiometrisk) förbränning

Ett bränsle innehåller följande beståndsdelar (kg/kg bränsle): kol (c), väte (h), syre (o), kväve (n), svavel (s), vatten (f) samt aska (a). Följaktligen gäller:

$$c + h + o + n + s + f + a = 1 \quad (kg/kg \quad bränsle)$$

I tabell 8 visas elementarsammansättningen för ved, halm och torv. Notera att svavelhalten i halm och torv är högre än svavelhalten i ved. Svavelhalten i tunn eldningsolja är högst 0,2 %, och högst 0,8 % i tjock eldningsolja.

Tabell 8. Innehåll av kol, väte, syre, kväve och svavel hos fasta bränslen (%) (Källa: Leuchovius (red.), 1983)

Bränsle	Kol (C)	Väte (H)	Syre (O)	Kväve (N)	Svavel (S)
Ved	48-55	6-7	38-43	0-0,6	0,02-0,06
Halm	45-50	6	40-45	0,5-3,0	0,1-0,2
Torv	50-60	5-7	30-45	0,5-2	0,1-0,5

Vid stökiometrisk förbränning antas de brännbara delarna (c+h+s) förbrännas (oxideras) fullständigt. Kolet omvandlas i två etapper till koldioxid,

$$C + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO + värme$$

$$CO + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow CO_2 + värme$$

vätet blir vatten,

$$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O + värme$$

och allt svavel oxideras till svaveldioxid

$S + O_2 \rightarrow SO_2 + värme$

Bränslets kväve frigörs till kvävgas (N_2). Vattnet förångas, och askan deltar inte i förbränningen.

En elementaranalys med utgångspunkt från ovanstående resonemang gör det möjligt att genom relativt enkla formler beräkna

* erforderlig luftmängd för förbränning
* erhållen rökgasmängd
* rökgasens beståndsdelar (CO_2-halt, O_2-halt etc).

Den erforderliga luftmängden vid stökiometrisk förbränning av fasta bränslen visas i tabell 9 (enheten nm^3 utläses normalkubikmeter, och avser gasvolymen vid temperaturen 0 °C och trycket 1 bar). Dessutom visas rökgasens halt av koldioxid vid stökiometrisk förbränning.

Tabell 9. Luftbehov och koldioxidhalt vid stökiometrisk förbränning av fasta bränslen (Källa: Leuchovius (red.), 1983)

Bränsle	Luftbehov nm^3 luft/kg bränsle	Koldioxidhalt %
Ved (f=25 %)	4,0	20,4
(f=50 %)	3,2	
Halm (f=20 %)	4,6	19,9
Torv (f=35 %)	3,5	19,6

Rökgaserna innehåller den fukt som avgår från bränslet, den mängd kväve som tillförts via förbränningsluften, samt de gaser som bildas vid förbränningen.

Vid stökiometrisk förbränning av 1 kg ved (25 % fukthalt) bildas 0,85 nm^3 vattenånga och 3,5 nm^3 andra gaser.

Det är mycket svårt att tillämpa stökiometrisk förbränning i praktiken, emedan det krävs en ypperligt god inblandning av luften i bränslet. I verkligheten måste man elda med ett visst luftöverskott för att få en någorlunda god förbränning.

Fullständig förbränning med luftöverskott

För att vid praktisk eldning få en god förbränning behövs mer luft än det som teoretiskt krävs. Förhållandet mellan den verkliga luftmängden och den teoretiska (stökiometriska) kallas luftfaktorn (m). Vid luftöverskott sjunker CO_2-halten eftersom koldioxiden späds ut av den oförbrukade luften. Förhållandet mellan teoretisk och verklig koldioxidhalt motsvarar med god approximation luftfaktorn. Man kan därför ställa upp följande relation

$$m = \frac{l_v}{l_o} \approx \frac{(CO_2)_{ot}}{(CO_2)_{vt}}$$

där m = luftfaktorn
l_v = verklig luftmängd (nm^3/kg bränsle)
l_o = teoretisk luftmängd (nm^3/kg bränsle)
$(CO_2)_{ot}$ = teoretisk koldioxidhalt i torra rökgaser
$(CO_2)_{vt}$ = verklig koldioxidhalt i torra rökgaser

Överskottsluften återfinns i rökgaserna. Vid passagen genom pannan upptar den värme, och ökar därmed rökgasförlusterna. Denna kylande effekt medför att det blir risk för ofullständig förbränning. Luftfaktorns storlek blir således en kompromiss mellan kraven på god förbränning och små förluster. I tabell 10 anges några värden för luftfaktorn vid förbränning av ved. Värdena, som endast visar luftfaktorns storleksordning, ger även upplysning om pannornas effektivitet.

Tabell 10. Ungefärlig luftfaktor för olika pannstorlekar (Källa: e-gruppen, 1987)

panna	luftfaktor
små värmepannor	2,5
fastighetspannor	2,0
industripannor	1,75

Det är dock svårt att generellt ange luftfaktorns storlek, eftersom luftfaktorn är avhängig av bl a eldningsmetod, eldstadens utformning och typ av bränsle.

Luftöverskottet kan bestämmas genom analys av rökgasens koldioxid- eller syrehalt. Det är även möjligt att beräkna om förbränningen är fullständig eller ej, förbränningstemperaturer, rökgasmängder, värmevärden etc. Dessa beräkningar redovisas ej här; den intresserade hänvisas istället till speciallitteratur i ämnet.

EXEMPEL. Bestäm luftöverskott och verklig luftmängd vid förbränning av halm med luftfaktorn 1,7 då den teoretiska luftmängden uppgår till 3,8 nm^3/kg halm.

FÖRSLAG PÅ LÖSNING. Luftöverskottet ges av

$$l_v - l_o = l_o \cdot m - l_o = l_o(m-1) = 3{,}8(1{,}7-1) = 2{,}7 \quad nm^3/kg \quad halm$$

Luftöverskottet är 2,7 nm^3/kg halm och den verkliga luftmängden 2,7 + 3,8 = 6,5 nm^3/kg halm.

Ofullständig förbränning

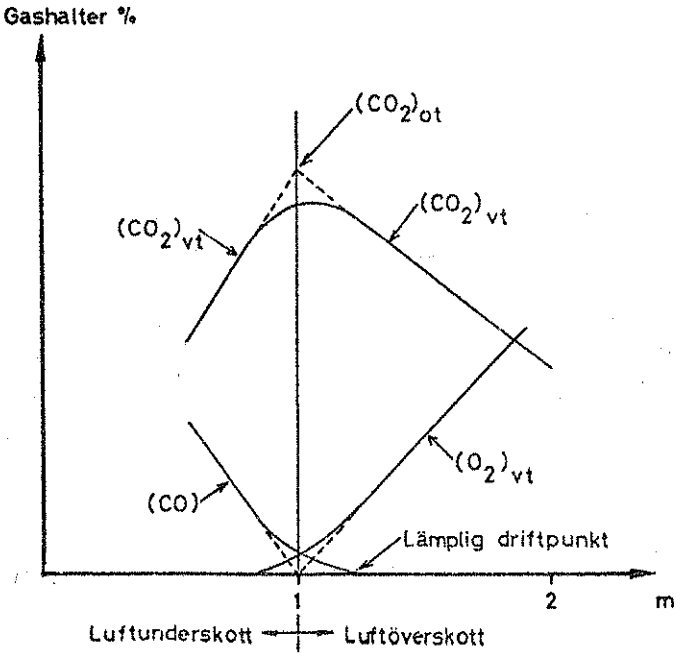
Orsaker till ofullständig förbränning är:

* syrebrist, d v s luftunderskott
* bristande luftfördelning i eldstaden
* bristande gasblandning vid förbränning
* för tidig avkylning av ej fullständigt förbrända gaser
* otillräckligt effektuttag

En konsekvens av ofullständig förbränning är att koloxid (CO), vätgas (H_2) eller metan (CH_4) uppträder i rökgaserna.

Luftunderskott

Vid ofullständig förbränning av kol bildas koloxid. I figur 33 framgår rökgasernas halter av koloxid, syrgas och koldioxid som funktion av luftfaktorn. Streckade linjer anger fullständig, d v s teoretisk, förbränning. Vid ofullständig förbränning med luftöverskott minskar rökgasernas halt av koldioxid, samtidigt som halten syrgas och koloxid ökar. Det framgår även att vid fullständig förbränning är luftfaktorn 1, emedan koldioxidhalten är maximal och koloxid- och syrgashalterna är noll. I praktiken föreligger emellertid den lämpligaste driftpunkten vid en högre luftfaktor. Observera att figuren gäller för ett visst bränsle vid idealiserade förhållanden.



Figur 33. Koldioxid-, syre- och koloxidhalten som funktion av luftfaktorn. Källa: Solbräcke, 1976.

Bristande luftfördelning

Om luftfördelningen i eldstaden är undermålig blir förbränningen ofullständig. För att åstadkomma en lämplig inblandning tillförs luften såsom primär- och sekundärluft.

Primärluften används för bränslets torkning och pyrolys. Den nyttjas även i hög grad för att förbränna det fasta kolet, vilket sker vid 800-900°C. Primärluften tillförs i bränslebädden. Behovet av primärluft beror bl a på fyrhöjden, och en konstant fyrhöjd medverkar därför till en bättre förbränning. För mycket primärluft kan ge för hög temperatur i bränslebädden med risk för asksmältning (detta gäller speciellt halm) och oförbrända gaser i rökgaserna.

Sekundärluften tillsätts strax ovanför bränslebädden. Den används för förbränning av de flyktiga beståndsdelarna, samt till slutförbränning av vissa tjäror och kolpartiklar. Om sekundärluften tillförs där temperaturen är lägre än antändningstemperaturen för de flyktiga beståndsdelarna och tjärångorna, kyls dessa och strömmar sedan oförbrända ut genom skorstenen.

Fördelningen mellan primär- och sekundärluft varierar beroende på panntyp, slag av bränsle, fukthalt m m. För halm anser man t ex att andelen sekundärluft bör uppgå till 75-80 % (Nilsson et al, 1988).

Bristande gasblandning

Trots att luften tillförs pannan på rätt ställe, kan luftinblandningen vara otillfredsställande. Detta gäller speciellt sekundärluften, som ibland kan passera oanvänd genom pannan. För att erhålla fullständig förbränning ska sekundärluften tillsättas så att kraftig turbulens uppstår. Detta kan ske genom att luften tillförs via en s k gashals, eller via en ventil som är utformad som en rosett, vilken sätter luften i rörelse.

För tidig avkylning

Om eldstaden är för liten i förhållande till uttagen effekt, kyls förbränningsgaserna för tidigt. Detta beror på att eldflammorna når pannans konvektionsdel och släcks innan förbränningen är avslutad. Observera att det fordras större eldstadsvolym per effektenhet vid förbränning av fasta bränslen än med olja!

Otillräckligt effektuttag

När värmebehovet är lågt (eller pannan överdimensionerad) blir effektbelastningen låg. Om bränsle tillförs kontinuerligt vid detta låga effektbehov kyls flammorna alltför tidigt. Förbränningen blir ofullständig. Samma förhållande gäller vid eldning med pausfyr. Under pausintervallet blir förbränningen ofullständig, främst p g a syrebrist. Det är svårt att få en bra förbränning vid effektuttag under 30 % (Nilsson et al, 1988).

Pannor

Indelning

Värmepannor indelas i regel efter:

* material och tillverkningssätt
* typ av bränsle
* dragförhållanden.

Smidda pannor (egentligen svetsade) tillverkas och svetsas samman på fabrik, och levereras därför i färdiga enheter. Gjutna pannor tillverkas i sektioner, vilket möjliggör installation i pannrum med små dörröppningar. Risken för läckage är dock större eftersom den består av hopfogade delar.

Kombinationspannor har samma eldstadsutrymme för olika bränslen. Dubbelpannan däremot har separata eldstäder för olje- resp fastbränsleeldning. Fastbränslepannor har t ex ved som bränsle, och i elpannor alstras värmen av elpatroner.

I självdragspannor uppkommer draget genom temperaturskillnaden mellan rökgaserna och utomhusluften. Denna panntyp är enkel att sköta och har låg elenergiförbrukning. Den används mest i mindre anläggningar. Fläktdragspannor har en rökgasfläkt, och eldas ofta med tjockolja. I övertryckspannor alstras ett övertryck i eldstaden med brännarfläkten. Denna panntyp används i större anläggningar.

I det följande presenteras pannor för eldning med fasta bränslen.

Allmän konstruktion

En värmepanna avsedd för fasta bränslen består bl a av:

* ett förbränningsrum (eldstad), där förbränning av bränslet sker,
* en konvektionsdel, samt
* ett vattenrum.

Vid förbränning överförs värme dels genom strålning från fyren till eldstadens väggar, dels genom värmeavgivning från förbränningsgaserna i konvektionsdelen. För att man ska uppnå förbränningstemperaturen 850-900°C bör huvuddelen av värmet överföras i konvektionsdelen.

Förbränningsresultatet förbättras om gaserna okylda tillåts brinna färdigt i en s k efterförbränningseldstad. Om denna eldstad fodras med keramik blir förbränningstemperaturen hög och jämn.

Fasta bränslen kan även eldas i s k eldningsapparater. Dessa anordningar matar och/eller förbränner bränslet, men är inte försedda med egen konvektionsdel.

Förbränningsrum

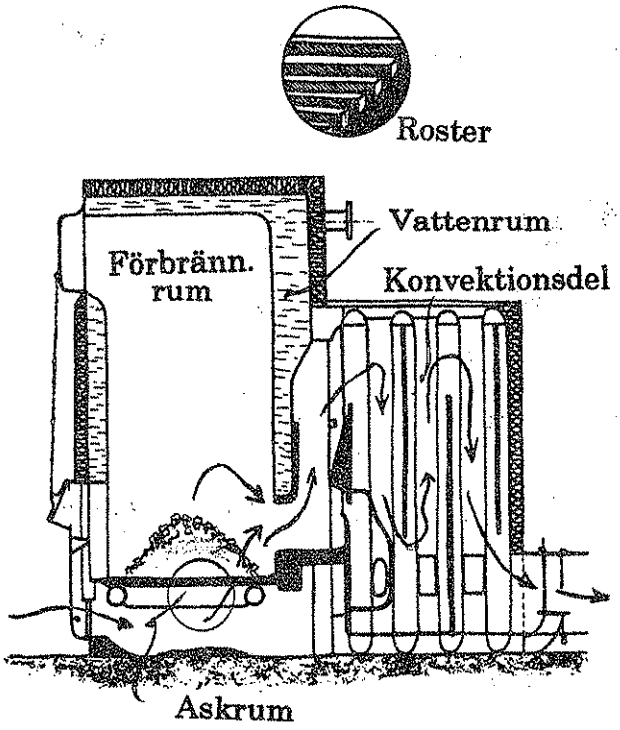
Eldning i förbränningsrummet sker vanligen med någon av följande tekniker:

* rosteldning
* eldning i retort
* eldning i brännare

Vid rosteldning (figur 34) placeras bränslet över en rörlig eller fast rost. Rosten består av ett galler med stavar eller tuber, och kan vara plan eller lutande.

Rostpannor finns i många olika modeller, där man skiljer på eldningssätt, bränsletillförsel och matning;

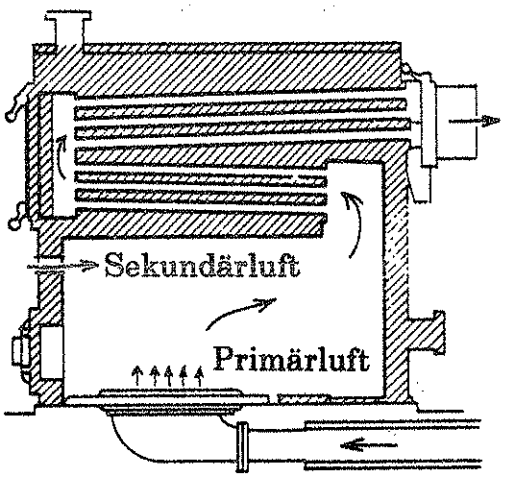
Eldningssätt:	överförbränning underförbränning omvänd förbränning
Bränsletillförsel:	satsvis kontinuerlig
Matning:	övermatning sidomatning undermatning



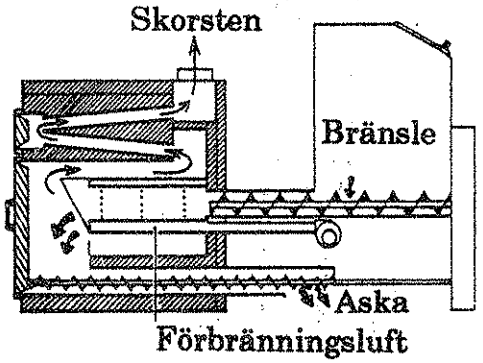
Figur 34. Exempel på uppbyggnad av en fastbränslepanna med roster. Källa: e-gruppen, 1987.

I en retortpanna matas det hackade eller komprimerade bränslet upp underifrån i en s k retort (figur 35). Retorten består av en skål eller ränna, och placeras lågt i pannans icke vattenfyllda del. Primärluften tillförs i retortens övre del, och sekundärluften högre upp i eldstaden. Det kan vara svårt att erhålla en fullgod inblandning av sekundärluften med denna panntyp.

Vid eldning i brännare sker förbränningen i ett särskilt brännarrör (figur 36). Denna panna är främst avsedd för ett ganska finfördelat bränsle såsom t ex pelletter. En fördel med detta system är att både inmatning av bränsle och utmatning av aska lätt kan automatiseras.



Figur 35. Exempel på en retorteldad panna. Källa: Nilsson et al, 1988.



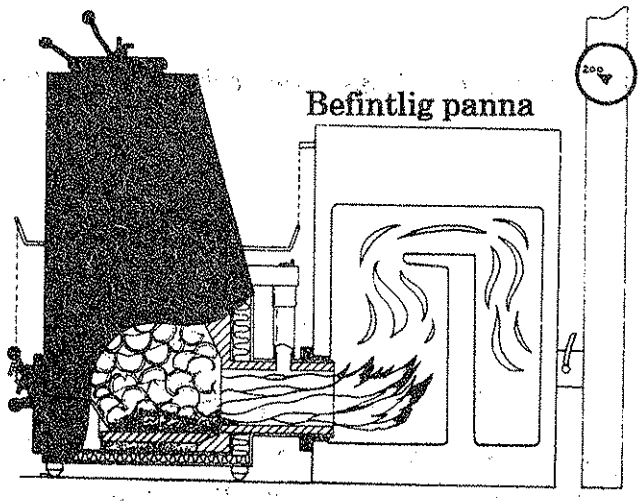
Figur 36. Exempel på panna med brännarrör. Källa: Nilsson et al, 1988.

Eldningsapparater

Till eldningsapparater hänförs bl a förugnar för fuktig flis och ved m m, samt stokrar för flis och halm.

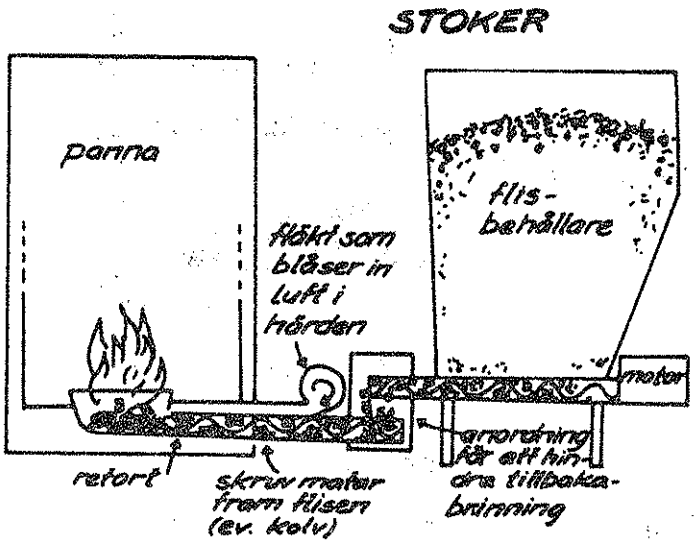
För att få en god förbränning av t ex flis med hög fukthalt är det viktigt att eldstadstemperaturen är hög. Detta kan åstadkommas med hjälp av en förugn (figur 37). Förgasningen av bränslet flyttas utanför den befintliga pannan, varvid hela pannan utnyttjas för konvektion. Eldstaden blir därmed större, vilket ger bättre förutsättningar för en god förbränning. Påfrestningarna på förbindelsekanalen kan bli stora p g a hettan. Dessutom förloras mycket värme om isoleringen är dålig.

Stokern är en eldningsapparat för finfördelade bränslen (figur 38). Den är sammansatt av en matningsdel och en eldstadsdel. Matningsdelen består av en skruv eller kolv, som förbinder ett bränslemagasin med en retort i botten på pannans eldstad. Förbränningsluften tillförs i retorten med hjälp av en fläkt. Stokern är försedd med termostat som reglerar matningen efter värmebehovet. Vi-



Figur 37. Exempel på förugn vid eldning av ved. Källa: Länsförsäkringar.

dare ska den vara utrustad med en sluss eller sprinkler för att förhindra "bakeld" in i bränsleförrådet. Dessutom bör ett motorskydd eller en brytpinne tillse att driften stoppas om en sten eller dylikt i bränslet kilar fast i matningen.



Figur 38. Eldning med stoker. Källa: Leuchovius (red.), 1983.

Stokerns automatik och reglering av bränsletillförseln kan kombineras med en förugn för förbränning av fuktiga bränslen. Stokern matar då en förugn i vilken förbränningen sedan sker.

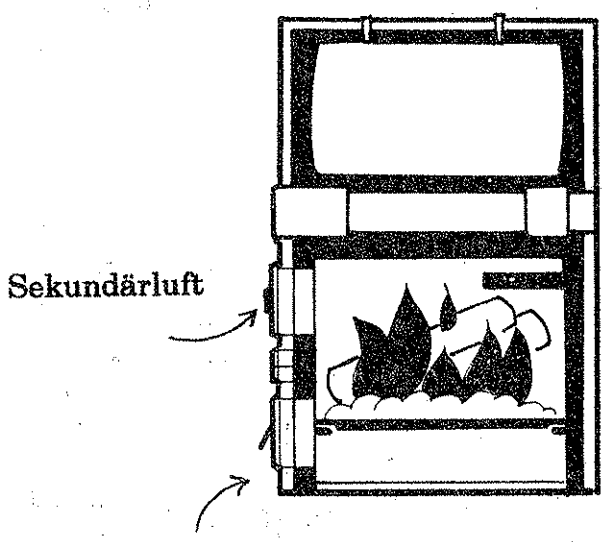
Förbränningssätt

Fastbränsleeldade rostpannor kan indelas efter förbränningssättet. Eldningen kan ske med

* överförbränning
* underförbränning
* inverterad förbränning.

Överförbränning

I en panna med överförbränning (figur 39) tillförs primärluften via dragluckan till askrummet. Luften strömmar sedan genom rosten och upp till bränslet. Här reagerar den med frigjorda gaser, vilket medför att bl a koldioxid och vattenånga bildas. Dessutom torkas bränslet av de heta gaserna. Sekundärluften tillsätts ovanför fyren, varvid slutförbränning av t ex tjärångor sker. Rökgaserna förs sedan till konvektionsdelen där de avger värmeenergi.



Figur 39. Exempel på överförbränning. Källa: e-gruppen.

Hela eldstadens bränsleinnehåll antänds på en gång, varför förbränningen blir mest intensiv i början och sedan alltmer avtagande. Det är därför svårt att anpassa luftmängden efterhand som eldningscykeln framskrider, och förbränningen blir således ojämn. Hela eldstaden bör inte fyllas med bränsle, eftersom gasförbränningen kräver ett visst utrymme. Om gasbranden tvingas ut i konvektionsdelen sker en kraftig nedkylning av lågan.

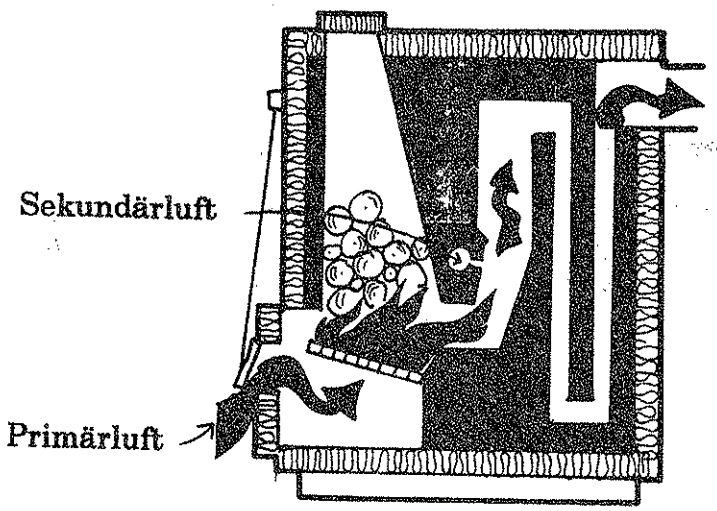
Pannverkningsgraden är låg med denna eldningsprincip; typiska värden är 40-60 % (Länsförsäkringar). När förbränningen är som mest intensiv blir effekten hög, vilket vid otillräckliga konvektionsytor ger höga rökgastemperaturer (370-600°C). Detta förbränningssätt är ett alternativ om miljöhänsyn och verkningsgrad inte tillskrivs alltför stor betydelse.

Underförbränning

Vid underförbränning leds luft och förbränningsgaser endast genom en mindre del av eldstadens bränsleinnehåll. Fyrhöjden kan då hållas konstant, och primärluften utnyttjas bättre. Behovet av sekundärluft är mindre med denna eldningsmetod.

Primärluften förs via dragluckan till askrummet (figur 40), och strömmar sedan genom rosten upp till bränslet. Luften passerar härvid en viss del av eldstadens bränsle, där torkning, pyrolys och förbränning sker. Sekundärluften tillsätts ovanför fyren. Ibland behöver man emellertid ej tillföra någon sekundärluft.

En del av bränslet fungerar som ett "mellanlager" och deltar inte i förbränningen förrän under ett senare skede. En förutsättning för störningsfri eldning är att bränslet - om det är ved - staplas noggrant.

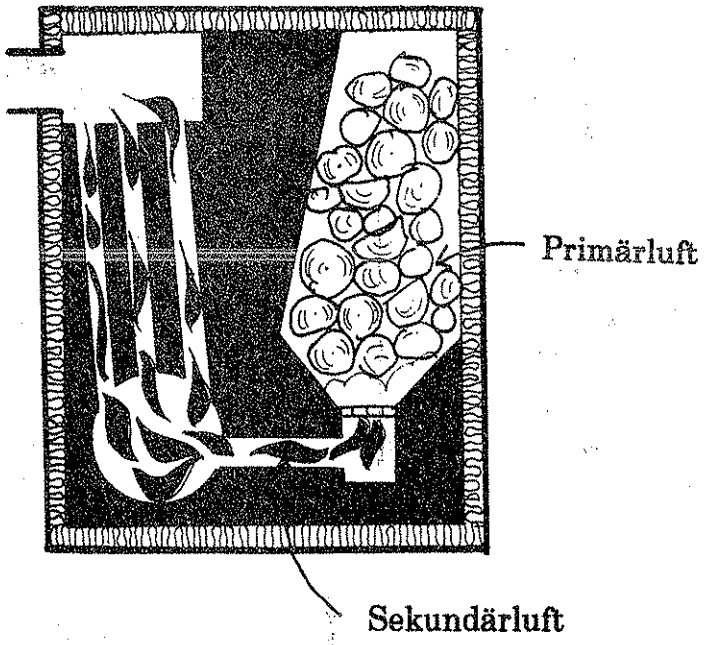


Figur 40. Exempel på underförbräning. Källa: e-gruppen.

Numera har många pannor med underförbränning en eldstad där gaserna brinner färdigt (efterförbränning) innan de når konvektionsytorna. Pannor med underförbränning har ofta stora bränslemagasin och avger relativt hög effekt under lång tid. De bör därför alltid anslutas till ackumulatortankar. Vid eldning av ved är verkningsgraden 68-76 % och rökgastemperaturen ungefär 250°C (Länsförsäkringar).

Inverterad förbränning

Principen påminner om underförbränning med den skillnaden att luften tillförs ovanifrån (figur 41). Förbränningsgaserna förs sedan ut till konvektionsdelen genom rostret i pannans botten. Denna panntyp är nästan alltid försedd med en eldstad för efterförbränning. För att erhålla en stabil förbränning krävs att draget är tillfredsställande. Det kan då ibland vara nödvändigt att använda en rökgasfläkt.



Figur 41. Exempel på inverterad förbränning. Källa: e-gruppen.

Vid förbränning av ved är pannverkningsgraden 72-79 % och rökgastemperaturen ca 200 °C. Denna panntyp ger således något bättre förbränningsresultat än pannor med underförbränning. Dessutom är den mer miljövänlig. En nackdel är att den är aningen svårare att sköta (Länsförsäkringar).

Skorsten

Funktion

Skorstenen har flera uppgifter. De viktigaste är att:

* transportera förbränningsgaserna till en plats där de med tanke på hygieniska aspekter kan släppas ut i det fria
* alstra det nödvändiga draget hos självdragspannor

Undertrycket är beroende av skorstenshöjden och skillnaden i densitet (d v s temperatur) mellan rökgaserna i rökkanalen och luften utanför. Draget ökar sålunda med skorstenshöjden och rökgastemperaturen, men är även beroende av vädret.

Skorstenar genom byggnader måste vara täta för att undvika läckage av de giftiga ämnena i rökgaserna. Även skorstenar som placeras utomhus måste vara täta, emedan inläckning av luft sänker rökgasernas temperatur, varvid kondens kan uppträda. Kondens sker vid temperaturer omkring 160°C om förbränningsgaserna innehåller svaveltrioxid, och vid omkring 50-60°C vid eldning av bränslen med låg svavelhalt, t ex ved. Förutom korrosion kan kondensatet leda till frysskador på skorstenen.

Ingen rökkanal bör belastas med högre temperatur än 350°C, trots att vissa skorstenar får ha 450°C enligt bestämmelserna. Skorstenens utsida ska maximalt ha en temperatur på 70°C (80°C enl Nybyggnadsregler). Om denna temperatur överskrides är risken för brand mycket stor. Tänk på att överhettade rökkanaler är en mycket vanlig brandorsak!

Sidokanaler och böjar ska undvikas eftersom de försämrar dragförhållandena och samlar sot. Kalla oisolerade ytor bromsar rökgaserna och ökar risken för kondensering. Rökkanaler ska därför alltid placeras i skorstenens mitt. Vidare ska kanalen vara av ett sådant material att den kan motstå yttre och inre belastningar såsom väder, nötning av sotningsredskap och soteld.

En rökkanal som är avsedd för vedeldning kräver avsevärt större area än vad som är fallet vid förbränning av olja/gas. Dessutom är rökgastemperaturen högre. Om man övergår från oljeeldning till vedeldning utan att en skorstensfejarmästare godkänner rökkanalen, är brandrisken MYCKET stor.

Konstruktion

Skorstenar av murverk och betong är mest lämpade vid eldning av fasta bränslen. Denna skorstenstyp ska kunna motstå en soteld utan att branden sprider sig till omkringliggande byggnadsdelar. På skorstenens utsida blir temperaturen relativt låg eftersom murverket värms upp långsamt. En nackdel är att den tunga konstruktionen kräver ett bärande underlag, och skorstenen måste därför placeras bredvid eldstaden.

Schaktskorstenar av stål eller gjutjärn kom till flitig användning vid eldning av olja. Fördelarna med dessa skorstenar är att de är lätta att montera, har låg vikt och tål upprepade längdutvidgningar utan att spricka. Röret värms upp snabbt och ger då maximalt drag. Dessutom medger den låga vikten placering direkt ovanpå eldstaden. Nackdelar är lågt motstånd mot sotbränder och höga rökgastemperaturer, samt en viss känslighet för frätskador orsakade av kondensat. Stålrörskanaler är inte att rekommendera vid eldning i kaminer och dubbelpannor, där rökgastemperaturen kan uppgå till 500-700°C (Konsulentavdelningen, 1990).

Sot

Teoretiskt sett ska det inte bildas sot vid fullständig förbränning. Dessa perfekta förhållanden är dock omöjliga att uppnå i praktiken. Om sotbildningen är liten och rökgastemperaturen låg är verkningsgraden mycket hög. Sotbildningen visar alltså hur duktig du är som eldare!

Beroende på hur förbränningen sker och vilket bränsle man använder, bildas olika sorters sot:

Flygsot är ett flyktigt pulver som följer med rökgaserna ut i atmosfären. En ljus färg innebär att andelen oförbrända ämnen är låg. Mycket flygsot ger en antydan om alltför hög rökgashastighet eller för små konvektionsytor. Flygsot som avsätter sig i skorstenen medför inte någon större brandrisk.

Svartsot och sottrådar visar att andelen oförbrända ämnen är hög. Sotet innehåller bl a oförbränt kol och innebär därför en viss risk för sotbrand. Svartsot och sottrådar är ofta ett resultat av dåligt drag eller en alltför snabb kylning av gaslågan.

Blanksot och tjära är mycket brandfarliga och svåra att avlägsna. De är mycket energirika och medför att vedmängden kan fördubblas om man ska erhålla samma mängd nyttig energi. Beläggningarna orsakas av luftunderskott och låg förbränningstemperatur. Dessa förhållanden uppkommer t ex vid pyreldning.

Verkningsgrad

Förlusterna från en panna är i form av

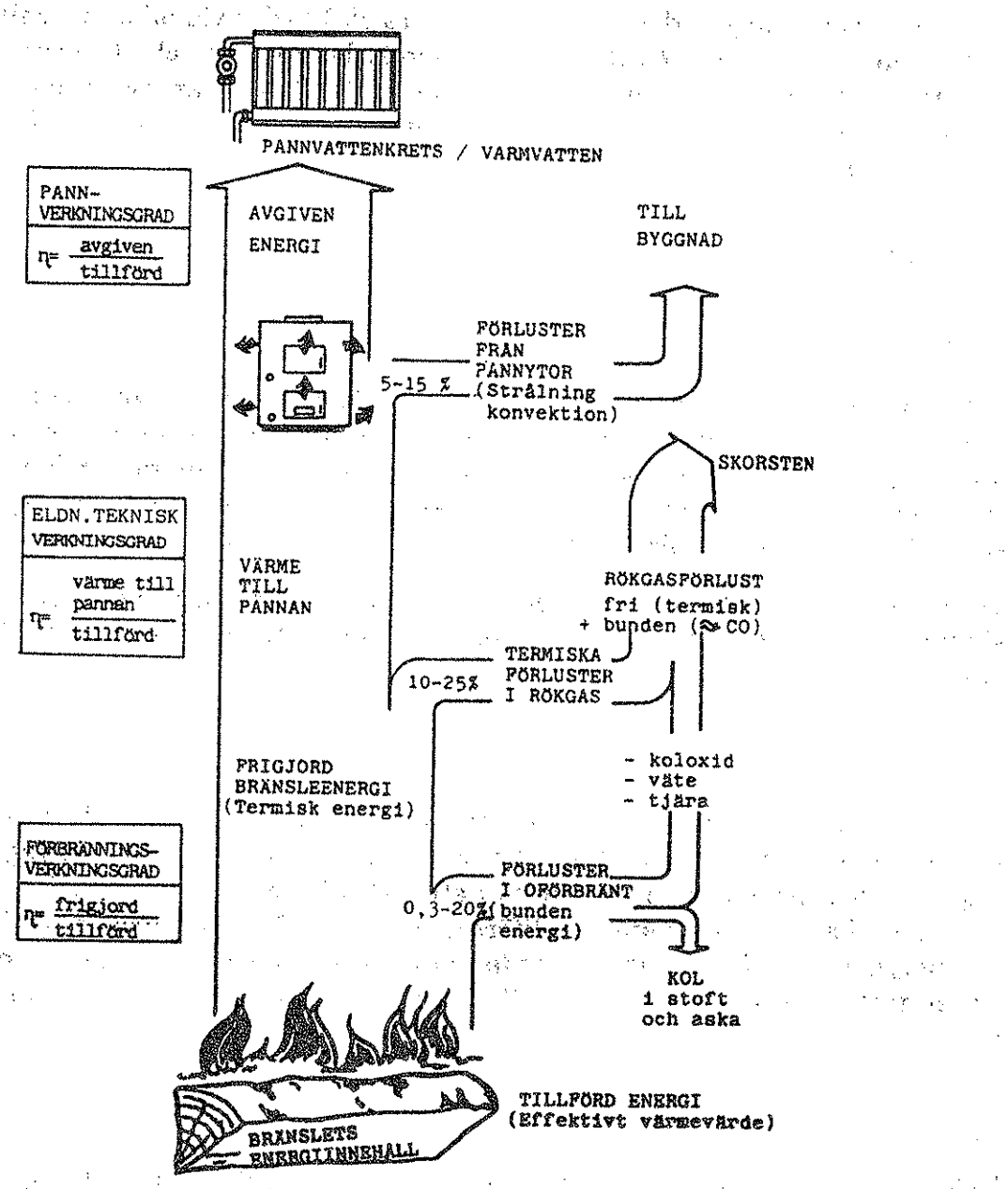
* bundet värme
* fritt värme
* "strålning"

Förluster i form av bundet värme beror på oförbrända ämnen som följer med rökgaserna (främst koloxid, väte och tjärångor), samt oförbränt kol i askan. Förlusterna via oförbrända ämnen i rökgaserna uppskattas enklast genom uppmätning av koloxidhalten. De övriga ämnena ger ganska små bidrag till förlusterna, och är dessutom betydligt svårare att mäta. En CO-halt på 2 % i rökgaserna medför förluster på 5-20 %, beroende på luftöverskottets storlek (Konsulentavdelningen, 1990).

En väl utbränd aska är ljusgrå eller brunaktig. Är askan svart innehåller den kol, vars energiinnehåll således går förlorat.

En bra panna överför huvuddelen av rökgasernas värmeinnehåll till pannvattnet. Rökgaserna måste emellertid av flera skäl ha en viss minimitemperatur. Om rökgastemperaturen är för låg kondenserar vattnet i skorstenen. I självdragssystem behövs värmen för att ge rökgaserna lyftkraft och ge drag i skorstenen. Dessa termiska förluster, som uppstår då de uppvärmda rökgaserna försvinner ut genom skorstenen, sker i form av fritt värme.

Därutöver uppkommer förluster genom att pannan avger värme till omgivningen. Dessa förluster kallas ibland "strålningsförluster". Denna benämning är egentligen något oegentlig, eftersom värmen även går förlorad genom konvektion och ledning. Dessa förluster kommer oftast huset tillgodo. Pannans placering i huset är dock ofta sådan att denna värmeenergi sällan är användbar.



Figur 42. Energiflöden vid förbränning i panna. Källa: Konsulentavdelningen, 1990.

I figur 42 framgår vilka verkningsgrader som används för pannor. Förbränningsverkningsgraden tar endast hänsyn till förluster i form av bundet värme. Hos en mycket bra panna kan förbränningsverkningsgraden vara 99 %. Den eldningstekniska verkningsgraden kan vara upp emot 88 %. Pannverkningsgraden anger hur stor del av bränslets effektiva värmeinnehåll som tillförs husets värmeledningssystem. Detta är den verkningsgrad som är mest intressant vid köp av panna. En bra panna har vid full effekt en pannverkningsgrad på ca 70-80 %. Vid lägre effektuttag är verkningsgraden betydligt lägre.

Ibland förekommer även beteckningen årsmedelverkningsgrad. Den tar bl a hänsyn till att värmebehovet varierar under året. Årsmedelverkningsgraden kan vara 60-70 %.

Uppmätta verkningsgrader kan uppvisa stora skillnader vid olika provningar. Detta beror framförallt på att fasta bränslen är heterogena och att förutsättningarna varierar mellan provningstillfällena. De höga verkningsgrader som många tillverkare uppger har förmodligen uppnåtts under perfekta förhållanden med torr och prima ved.

Emissioner

Stoft

Stoft kallas de fasta partiklar som avgår med rökgaserna. Stoftet består av sot, som är resultatet av ofullständig förbränning, samt aska. De mindre stoftpartiklarna utgörs främst av sot och förgasade icke brännbara ämnen som kondenserat. De större stoftpartiklarna, främst aska och oförbränt material, följer med gasströmmen när bränslebädden faller ihop eller rörs om.

För fastbränsleeldade pannor utanför tätort med automatisk bränsletillförsel skall utsläppet av stoft uppgå till högst 350 mg/m^3 normal torr gas vid 13 % CO_2-halt.

Tjära

Som framgått tidigare beror förbränningsresultatet, och därmed utsläppen, av hur bra panna, bränsle och eldare "arbetar" tillsammans. I den nya byggnormen anges att mängden utsläpp av tjära är ett mått på emissionerna vid fastbränsleeldning. Pannor med manuell tillförsel av bränsle får i tätorter högst släppa ut 30 mg tjära/MJ tillfört bränsle. För fastbränsleeldade kaminer, kakelugnar o dyl gäller dock högst 40 mg tjära/MJ tillfört bränsle. Bestämmelserna gäller inte utanför tätort.

Koloxid

Koloxidhalten är starkt beroende av förbränningens effektivitet. Det uppmätta utsläppet av CO får som medelvärde uppgå till högst 500 mg/m^3 normal torr gas vid 13 % CO_2-halt.

Svaveloxider

Biobränslen innehåller mycket små mängder svavel, varför bidraget av svaveloxider till omgivningen bli litet. Enligt Naturvårdsverket behövs ingen rening eller andra åtgärder vid småskalig eldning.

Utsläpp av svaveloxider bidrar till försurning av mark och vatten. Dessutom föreligger in viss hälsorisk. Vid epidemiologiska undersökningar har det krävts årsmedelvärden på 100 µg/m^3 för att få en ökad förekomst av symptom från luftvägarna. Bidraget från vedeldning skulle endast utgöra några procent av detta värde (Olsson, 1991).

Kväveoxider

Vid vedeldning är utsläppen av kväveoxider av samma storlek som vid oljeeldning. Även vid en mycket omfattande vedeldning skulle dess bidrag vara mycket liten jämfört med utsläppen från biltrafiken.

Kväveoxider verkar försurande på miljön genom bildning av salpetersyra. Höga halter av NO_2 (som är mest toxisk) i den omgivande luften påverkar luftvägarnas slemhinnor och lungblåsorna (Olsson, 1991).

Kolväten

Emissioner av kolväten utgör en av de mest allvarliga invändningarna mot eldning av fasta bränslen. Det råder ett klart samband mellan utsläppen av kolväten och anläggningarnas storlek. Fjärrvärmeanläggningar och gruppcentraler släpper ofta ut mindre mängder än villapannor. De höga utsläppen från villapannor beror främst på omodern eldningsteknik och sämre skötsel. Vid användning av modern förbränningsutrustning blir utsläppen "acceptabla".

Ur miljösynpunkt är de cykliska kolvätena (t ex polyaromatiska kolväten och bensen) av störst intresse, eftersom de är mutagena och cancerogena. Det finns risk för att polyaromatiska kolväten och andra svårnedbrytbara ämnen ackumuleras i mark och i vissa levande organismer.

Aska

Askan från fasta bränslen är starkt basisk. Lakvatten från vedaska håller ofta ett pH > 10. Askan innehåller varierande mängder tungmetaller. Dessa ämnen kan utlakas eller tas upp av växter då askan deponeras eller utnyttjas som t ex jordförbättringsmedel.

Det råder osäkerhet om vilken miljöpåverkan askan har vid gödsling eller för att neutralisera markens surhet. En omfattande spridning av aska på jordbruksmark kan ge en tillförsel av kadmium som är jämförbar med de mängder som tillförs med handelsgödsel.

Normer och bestämmelser

Eldstäder och rökkanaler tillhör de byggnadsdelar som kräver noggrann projektering och skötsel för att man ska uppnå hög verkningsgrad och minimera brandrisken. Dessutom kan utsläppet av rökgaser medföra sanitära olägenheter för omgivningen.

Bestämmelser för värmeanläggningar finns angivna i bl a Nybyggnadsregler (NR). Lantbrukets Brandskyddskommittè (LBK) har utarbetat speciella rekommendationer för lantbrukets byggnader. Här följer ett kort sammandrag av dessa föreskrifter.

Panna

Varmvattenpannor med tillhörande rörledningar skall vara utformade enligt varmvattennormerna (som t ex kan erhållas från Statens Anläggningsprovningar AB). Pannor för fasta bränslen kan ställas upp i pannrum, i fristående pannhus minst 6 m från byggnad och minst 15 m från brännbart upplag, samt under bar himmel minst 15 m från byggnad eller brännbart upplag.

Pannrum i byggnad eller pannhus inom 6 m från byggnad skall utföras i lägst brandteknisk klass B 60. Golvet ska bestå av obrännbart material. Eventuella öppningar till lokal med lättantändliga ämnen förses med sluss. Pannhus belägna minst 6 m från byggnad skall utföras med väggar och tak av obrännbart material, eller i lägst brandteknisk klass B 30.

Pannan får inte placeras närmare brännbar byggnadsdel än 0,5 m. Om byggnadsdelen är skyddad med t ex tegel räcker det dock med ett luftat utrymme på minst 50 mm mellan vägg och panna. Utrymmet framför pannan ska vara minst 1 m om den tillförda effekten är högst 60 kW. Avståndet blir längre om effekten är högre.

Rökkanal

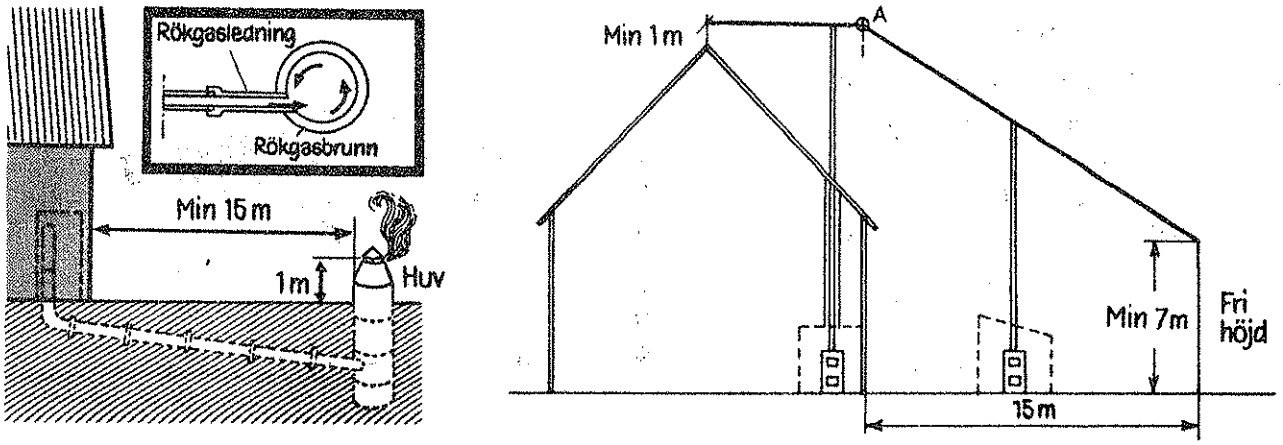
För rökkanaler gäller allmänt att lättantändliga tak (d v s tak av halm, spån eller tegel på spån) ej får finnas inom 15 m från rökgasledningen. Rökgasavledning får annars ske med rökgasbrunn eller annan godkänd teknisk anordning.

Rökgastemperaturen får högst vara 350°C. Dessutom ska varje eldstad ha egen rökkanal. När eldstaden drivs med full effekt får temperaturen på isolerade rökkanalers utsida ej överstiga 80°C. Lättantändliga ämnen, t ex hö och halm, måste placeras minst 1 m från skorsten utan schakt.

Ett luftat utrymme på minst 10 cm ska finnas mellan rökkanal av tegel och brännbart material. Golvbeläggning eller lister får dock placeras närmare om de endast täcker en obetydlig del av skorstensväggens yta. Materialet får dock inte vidröra skorstenen.

Isolerade rökkanaler av stål eller gjutjärn måste ha en isoleringstjocklek på minst 60 mm när pannans tillförda effekt är högst 60 kW, och minst 80 mm då värmeeffekten är högre. Kanalen ska vara isolerad i hela sin längd med godkänt isoleringsmaterial. Vidare ska den placeras i ett schakt, där utrymmet mellan isolerbeklädnaden och schaktet minst ska vara 50 mm. Oisolerade rökkanaler av stål eller gjutjärn är tillåtna i fristående pannhus och till värmeapparater under bar himmel, samt i vissa utrymmen som ej är avsedda för förvaring av stora mängder brännbara material, t ex gårdsverkstad. Oisolerad rökkanal får ej placeras närmare oskyddat brännbart material än 0,5 m.

Rökgasledning med rökgasbrunn får anslutas till eldstäder belägna i alla typer av byggnader. Rökgaserna avleds här med rökgasfläkt. Rökgasbrunnen placeras minst 15 m från byggnad (figur 43). Rökgasbrunn kan vara lämplig om pannan är placerad i en mycket hög byggnad (t ex torkanläggning för spannmål).



Figur 43. Rökgasbrunn (t v) och rökkanal (t h) med minsta tillåtna mått. Källa: LBK, 1990.

I figur 43 visas lämplig höjd på rökgaskanalen. Lägg märke till att höjden bör vara minst 7 m, samt att mynningen ska vara 1 m ovanför takets högsta punkt. Arean för cirkulära rökkanaler visas i tabell 11. Arean dimensioneras med utgångspunkt från erforderligt undertryck för varje panntyp och med hänsyn till rökkanalens höjd. Om tvärsnittet ej är cirkulärt ökas arean med 25 %. Vid eldning med halm görs ytterligare ett påslag med 20 %.

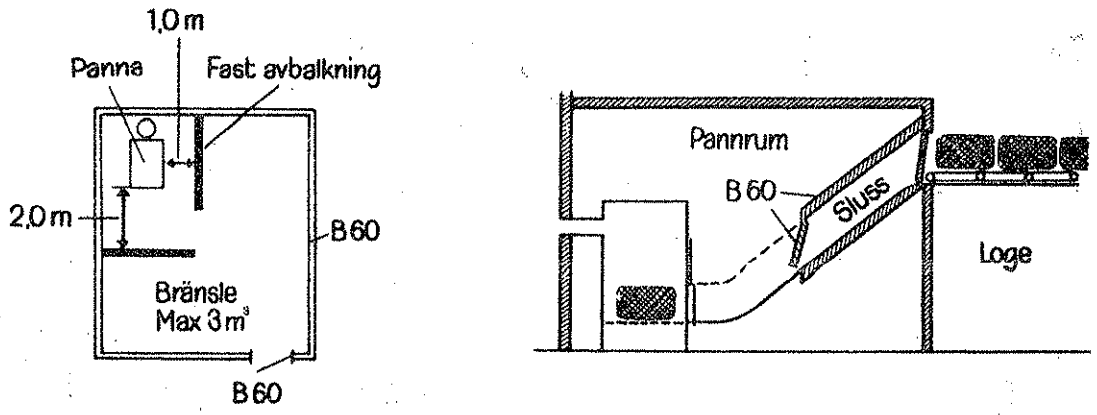
Tabell 11. Rekommenderade dimensioner för rökkanaler vid eldning med ved (Källa: LBK, 1990)

Panneffekt (kW)	Höjd (m)	Diameter (mm)	Area (cm^2)
15	7-10	150	180
30	7-10	180	250
60	7-10	200	300
75	7-10	250	500
100	8-12	300	700
125	8-12	300	700
150	8-12	350	950

Förvaring av bränsle och aska

I pannrum får högst 3 m^3 bränsle förvaras. Bränslet får ej placeras närmare eldstaden än 1 m i sidled och 2 m framför. Om bränslet förvaras i utrymme som har direkt förbindelse med pannrummet, skall utrymmet ha lägst samma brandtekniska klass som pannrummet. Om förvaringsutrymmet har lägre brandteknisk klass, skall förbindelsen mellan förråd och panna utformas som en sluss (figur 44).

Nyuttagen aska ska förvaras i behållare av stålplåt med lock under minst fem dygn. Praktiskt kan detta lösas genom att man använder två behållare som vardera rymmer minst fem dygns askmängd. Avståndet från askbehållare till brännbar byggnadsdel skall vara minst 0,25 m.



Figur 44. Förvaring av fast bränsle (t v), samt skiss på hur en sluss kan utformas (t h). Källa: LBK, 1990.

Sotning

Brandstadgan anger hur ofta en eldstad ska sotas. Tiden mellan sotningarna bestäms med hänsyn till risken för soteld. Efterhand som sotbeläggningarnas tjocklek ökar, stiger även rökgastemperaturen. Risken för brand blir då stor.

S k ekonomisotning syftar till att höja pannans verkningsgrad. Man rengör då de värmeupptagande ytorna oftare än vad som krävs med hänsyn till brandrisken. Detta arbete kan man utföra själv.

Lokala eldstäder

Allmänt

Kakelugnar, öppna spisar, kaminer, järnspisar etc är exempel på lokala eldstäder. Dessa eldas vanligen med ved. Om man ämnar skaffa sig en lokal eldstad som komplement till t ex elvärme, kan det vara bra att känna till följande punkter:

* De lokala eldstäderna innebär mycket arbete. Bränsle ska anskaffas, elden passas och sot och aska föras bort från eldstäderna.

* Brandfaran kan vara stor, eftersom anordningarna finns i bostadsrum och antändbara ämnen av obetänksamhet kan placeras nära eldstaden. Man ska alltid kontakta skorstensfejarmästaren vid installation av lokala eldstäder.

* De lokala eldstäderna kan i vissa fall ge sämre klimat. I de rum där eldstaden är belägen kan temperaturen bli alltför hög, medan angränsande rum utan annan värmekälla blir kalla, särskilt vid fönster och ytterväggar. Om man har en köksspis och önskar att dess värme ska spridas till andra rum, får man räkna med att även lukt från matlagning o dyl följer med.

* Vissa typer av lokala eldstäder, t ex järnspis och plåtkamin, har hög men kortvarig värmeavgivning, vilket inverkar på verkningsgraden.

Verkningsgrad

Eftersom eldstäderna är placerade i de rum som ska värmas, blir verkningsgraden relativt hög. I en kakelugn avger fyren en stor mängd värme under kort tid till kakelugnsgodset. Denna värme avges sedan till rummet under en betydligt längre period, och kakelugnar kan därför ha höga verkningsgrader (upp till 80 %).

Öppna spisar avger sin värme huvudsakligen genom strålning. Detta medför att verkningsgraden blir låg; 5-20 %. Med olika former av luftkanaler i eldstäderna blir värmeavgivningen större, eftersom även konvektiv värmeöverföring blir möjlig. Det ska betonas att eldningsteknik och skötsel har stor betydelse för verkningsgraden.

S k pellettkaminer ger en enklare bränslehantering. Verkningsgraden kan bli relativt hög, samtidigt som kaminernas effektuttag är reglerbart.

Förlusterna via fritt värme i rökgaserna kan minskas genom att lufttillförseln anpassas efter behovet. Detta kan ske med luckor på kaminen/kakelugnen. Förbränningsluften hämtas antingen från rummet eller utomhus. Används rumsluften behöver husets ventilation sällan öka, eftersom den erforderliga luftmängden oftast erhålls vid normal ventilation (0,5 oms/h).