



## Förnybar energi i svensk växthusodling

- Kunskapsunderlag för fortbildning

**Ulla Nilsson, Jonas Möller Nielsen,**  
**Inger Christensen, Sven Nimmermark**  
Biosystem och Teknologi, SLU, Alnarp

Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2015:28**  
ISBN 978-91-576-8918-4  
Alnarp 2015

Landskapsarkitektur, trädgård, växtproduktionsvetenskap

Rapportserie

Rapport 2015:28

Svensk titel:

**Förnybar energi i svensk växthusodling - Kunskapsunderlag för fortbildning inom energisystem**

Engelsk titel:

Renewable energy in Swedish greenhouse production – *Knowledge base for education*

Författare:

Ulla Nilsson, Virgo Grön Konsult

Jonas Möller Nielsen, Cascada AB

Inger Christensen, Grön kompetens AB

Sven Nimmermark, Sveriges lantbruksuniversitet, SLU, Institutionen för Biosystem och Teknologi, Box 103, SE-230 53, Alnarp

ISBN 978-91-576-8918-4

Omslag - Foton: Sven Nimmermark



**LANDSKAPSARKITEKTUR**  
**TRÄDGÅRD VÄXTPRODUKTIONSVETENSKAP**  
Rapportserie

## Förnybar energi i svensk växthusodling

- Kunskapsunderlag för fortbildning

**Ulla Nilsson, Jonas Möller Nielsen,**  
**Inger Christensen, Sven Nimmermark**  
Biosystem och Teknologi, SLU, Alnarp



Europeiska jordbruksfonden för  
landsbygdsutveckling: Europa  
investerar i landsbygdsområden

[http://ec.europa.eu/agriculture/index\\_sv.htm](http://ec.europa.eu/agriculture/index_sv.htm)



Sveriges lantbruksuniversitet  
Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

**Rapport 2015:28**  
ISBN 978-91-576-8918-4  
Alnarp 2015



## FÖRORD

För odling i växthus krävs mycket värmeenergi för att hålla ett lämpligt odlingsklimat. Detta innebär stora kostnader för odlarna och övergång till uppvärmningssystem som kan minska värmekostnaderna i odlingen är av stor vikt för de svenska odlarna. En mycket stor andel av de klimatpåverkande gaser som påverkar det globala klimatet och våra livsbetingelser på jordklotet härrör från vårt energiutnyttjande och från förbränning av fossila bränslen såsom olja och gas. För att minska klimatpåverkan av koldioxid (CO<sub>2</sub>) från förbränning av fossila bränslen har man i Sverige beslutat att införa en koldioxidskatt på bränslen som inte är förnybara. Detta innebär ökade kostnader för växthusodlare som utnyttjar naturgas och olja och ett starkt incitament för övergång från fossila till förnybara bränslen. Under några år har därför en övergång till förnybara bränslen ägt rum i branschen, men fortfarande finns ett stort antal odlare som använder fossila bränslen och kunskapen om hur man på bästa sätt reducerar energiåtgången och utnyttjar förnybara energikällor efterfrågas bland många odlare.

I projektet ”*Kunskapsunderlag för fortbildning inom energisystem med förnybar energi i svensk växthusodling*” har kunskap avseende utnyttjande av förnybar energi i svensk växthusodling sammanställts och en pilotkurs för odlare har genomförts i Linköping. Det framtagna materialet har också utnyttjats vid en kurs för odlare i Alnarp.

Projektet har genomförts i ett samarbete mellan Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) och rådgivare. I projektet fanns en styrgrupp som bestod av Sven Nimmermark, SLU, Ulla Nilsson, Virgo Grön Konsult, Jonas Möller Nielsen, Cascada AB och Inger Cristensen, Grön kompetens AB. Sven Nimmermark och Ulla Nilsson var projektledare och kunskapsunderlaget togs fram i samarbete mellan parterna.

Sven Nimmermark representerade tekniska frågor rörande växthus och energi ur ett SLU-perspektiv, Jonas Möller Nielsen, Cascada AB och Inger Cristensen, Grön kompetens AB stod för god branschkunskap vad gäller växthusbranschens energifrågor.

Projektet har finansierats av Jordbruksverket (SJV) och EU (Europeiska Jordbruksfonden för Landsbygdsutveckling).

Ett stort tack för att möjligheter getts för genomförande av projektet!

Mars 2015

Sven Nimmermark

Docent, Tekn. Dr., Forskare,

SLU, Inst. för Biosystem och Teknologi, Alnarp

# INNEHÅLL

<b>FÖRORD</b> .....	<b>5</b>
<b>SAMMANFATTNING</b> .....	<b>9</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>10</b>
<b>BAKGRUND</b> .....	<b>11</b>
Syfte med projektet.....	11
Projektmål .....	11
Genomförande .....	12
<b>ENERGISYSTEM FÖR VÄXTHUS</b> .....	<b>13</b>
Växthusets värmebalans och effektbehov.....	13
Växtens och växthusets värmebalans och effektbehov .....	13
U-värde.....	15
System för uppvärmning av växthus .....	16
Central värmanläggning .....	16
Varmluftpanna i varje växthus .....	17
Samanfattande jämförelse mellan central och decentral pannanläggning.....	17
Uppvärmningssystem .....	18
Vattenburen värme .....	18
Luftburen värme .....	22
Uppvärmning av jorden .....	23
<b>ENERGI– FOSSILA BRÄNSLEN</b> .....	<b>25</b>
Närheten till bränslet och framtida prisutveckling.....	25
Fossila bränslen .....	25
<b>FÖRNYBAR ENERGI</b> .....	<b>26</b>
Värme och el .....	26
Fasta biobränslen .....	27
Värmevärde vid olika fukthalt .....	30
Värmevärde för olika trädslag.....	34
Stråbränslen .....	35
Fjärr-, när- och spillvärme/restvärme.....	35
Solenergi-solceller .....	35
Vindkraft .....	36
Vattenkraft .....	36
Värmepumpar.....	37
Biogas och kraftvärme.....	37
<b>VÄRMECENTRALEN OCH DESS KOMPONENTER</b> .....	<b>38</b>

Värmesystemets komponenter.....	38
Panna och brännkammare (stoker/förugn) .....	38
FAKTARUTA - förbränning.....	40
Stoftavskiljning .....	41
FAKTARUTA - reningsteknik.....	42
Skorsten .....	43
Askutmatning och askhantering .....	43
Tilluft och ventilation .....	44
Isolering.....	45
Bufferttank.....	45
FAKTARUTA – dimensionering av bufferttank .....	47
Kulvertsystemet.....	48
Cirkulationspump och shunt .....	49
FAKTARUTA - huvudshunt .....	49
Avdelningens shuntgrupp.....	50
Behandling av systemvattnet .....	50
Avhärdning .....	50
FAKTARUTA - huvudcirkulationspump .....	50
pH-höjning.....	51
Filtrering .....	52
pH-höjning och avlägsnande av pannsten i en process .....	52
Eldningskunskap .....	53
Förbränningsteori och förbränning av ved.....	53
FAKTARUTA - temperaturer .....	54
FAKTARUTA - utsläpp .....	55
Verkningsgrad .....	56
Fasta bränslen.....	57
Kontroll av panna med trappstegsroster.....	58
Sintring .....	59
<b>UPPHANDLING .....</b>	<b>60</b>
Råd vid upphandling.....	60
<b>MYNDIGHETSKRAV, BESIKTNINGAR OCH INSPEKTIONER .....</b>	<b>61</b>
Inledning.....	61
Varför finns regelverk? .....	61
Kontakter sparar resurser.....	61
Vilka regelverk styr? .....	62
Miljöhousesyn och IP Sigill - bra hjälpmedel för planering och genomförande av anläggandet .....	62
Allmänna krav.....	62
Anmälnings- och tillståndsplikt .....	63

Förändringar i regelverk .....	64
Egenkontroll av miljöpåverkan .....	64
Kemiska produkter .....	65
Cisterner, rör och slangledningar för hantering av bensen, diesel och olja .....	65
Förvaring och hantering av bränslen .....	65
Avfall, farligt avfall och producentansvar .....	65
Avfallshantering .....	65
Askhantering .....	66
Skydd mot brand och olyckor .....	66
Elinstallationer .....	67
Besiktningar och inspektioner .....	68
Anläggning i känsliga områden .....	68
Arbetsmiljö – systematiskt arbetsmiljöarbete (SAM) .....	68
Trycksatta anordningar .....	68
Arbete i dammiga miljöer .....	68
Referenser om säkerhet och myndighetskrav .....	69
Myndigheter och andra verksamheter att kontakta .....	69
Refererat till i avsnittstexten .....	70
Tips på annan information .....	71
Damm och mögel i miljön: .....	71
<b>EKONOMI OCH BESLUTSMODELL .....</b>	<b>73</b>
Geografisk placering .....	76
Byte av värmesystem .....	78
Effektbehov .....	79
Isolera först .....	80
Ackumulatortank - bra komplement .....	83
Hur stor ackumulatortank behövs? .....	83
Ekonomi. ....	84
Hjälpmedel vid investeringsberäkning .....	85
Några råd och kommentarer från företag som haft fastbränslepannor ett antal år .....	87
.....	87
<b>NY TEKNIK OCH INTERNATIONELL UTBLICK .....</b>	<b>88</b>
<b>LITTERATUR .....</b>	<b>90</b>



## SAMMANFATTNING

För att minska klimatpåverkan av koldioxid (CO<sub>2</sub>) från förbränning av fossila bränslen har man i Sverige infört en koldioxidskatt på bränslen som inte är förnybara. Detta innebär ökade kostnader för växthusodlare som utnyttjar naturgas och olja och ett starkt incitament för övergång från fossila till förnybara bränslen. En del växthusodlare har redan övergått till förnybara bränslen, men fortfarande finns ett stort antal odlare som använder fossila bränslen. Kunskap om hur man på bästa sätt reducerar energiåtgången och utnyttjar förnybara energikällor efterfrågas bland många odlare. I projektet har kunskap om förnybara energikällor och teknisk utformning av värmeanläggningar med förnybara bränslen för att värma växthus samlats tillsammans med ekonomiska beslutsmodeller.

I avsnittet ”Energisystem för växthus” ges en översikt över växthusets värmebalans och olika system för uppvärmning av växthus.

De förnybara energikällor som på senare tid börjat används för att värma svenska växthus är framförallt bark, flis, spån, pellets och briketter. En del ved och halm används också medan biogas används i liten utsträckning liksom torv. Värmepumpar är intressanta för uppvärmning i en del fall och för elförsörjning kan t.ex. solceller eller i speciella fall småskalig vattenkraft vara intressant.

Biobränslen (trädbränslen) såsom flis, pellets etc. är i många fall det intressantaste alternativet till fossila bränslen för uppvärmning av växthus. Värmevärdet, dvs. den mängd energi man får ut vid förbränning, varierar stort med trädbränslets fukthalt och mellan olika typer av flis.

I avsnittet ”Värmecentralen och dess komponenter” behandlas bl.a. system för stoftavskiljning, värmelagring i bufferttankar och eldningskunskap och i avsnittet ”Myndighetskrav, besiktningar och inspektioner” redovisas en sammanställning av olika krav och regelverk.

I avsnittet ”Ekonomi och beslutsmodell” behandlas bl.a. kostnader och investeringsberäkning. Vid planering av en ny eller ombyggnad av en befintlig värmeanläggning är en god regel att i första hand se till att effekt- och energibehovet blir så litet som möjligt genom att t.ex. isolera och att sedan överväga olika alternativ för uppvärmning. Detta leder i de allra flesta fall till en avsevärd minskning av kostnaden för värmeanläggningen.

## SUMMARY

In order to decrease the climatic impact of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions from burning fossil fuels a carbon dioxide tax on fuels that are not renewable has been introduced in Sweden. This means increased costs for greenhouse growers using natural gas or oil and a strong incentive to convert their heating systems from fossil to renewable fuels. Some Swedish greenhouse growers have already converted to renewable energy, but still a large number of growers use fossil fuels. Increased knowledge of how to decrease the energy use and the use of renewable energy are demanded by many growers. In the present project knowledge of renewable energy sources and technical design of heating plants using renewable energy for heating greenhouses are collected together with economic decision models.

In the chapter “Energy systems for greenhouses” a review of the heat balance for a greenhouse and different ways of heating the greenhouse is provided.

The renewable energy sources started to be used later years for heating Swedish greenhouses are primarily bark (cortex), wood chips, splint, pellets and biomass briquettes. Some firewood and straw are also used while only small amounts of biogas and peat are being used. Heat pumps are interesting for heating greenhouses in some cases and for generation of electric power e.g. solar panels, and in special cases also small scale hydro power can be of interest.

For heating greenhouses solid biofuels (wood fuels) like wood chips and wood pellets etc. are in most cases the most interesting alternatives to fossil fuels. The heating value, i.e. the amount of energy released during the combustion, varies largely with the moisture content of the wood fuel and between different types of wood chips.

In the chapter “The central heating plant and its components” systems for removal of particulates, heat storage in buffer tanks, and knowledge of how to operate wood-burning heaters are included, and in the chapter “Authority requirements, examinations and inspections” an overview of different requirements and regulations is provided.

In the chapter “Economy and decision model” costs and investment calculations are discussed. When planning a new or when rebuilding an old heating plant, a good way is to first lower the power- and energy demand as much as possible by e.g. increased insulation and after that look at different alternatives for heating. This leads in far most cases to a significantly lower cost for the heating plant.

## BAKGRUND

Dagens och morgondagens växthusproduktion behöver vara konkurrenskraftig och miljöanpassad för att kunna konkurrera och ge minimal påverkan på klimat och omgivning. Minskad användning av fossil energi leder till en reduktion av utsläppen av klimatgaser och till mindre kostnader och bättre lönsamhet för växthusföretagarna. För miljöanpassning av växthusföretag saknas en uppdaterad heltäckande genomgång av vilka system med förnybar energi som kan vara intressanta samt de olika systemens för- och nackdelar. Odlare är i behov av att få en överblick över vilka alternativa system och lösningar som finns och hur de effektivt kan användas i deras produktion. Sådan kunskap behövs också för företag som redan lagt om till förnybar energi och för företag som bara vill effektivisera sin energianvändning. En kartläggning av förnybar energi i växthusproduktion behövs liksom kunskap om hur systemen fungerar i praktisk produktion. Ekonomin är viktig i sammanhanget och det finns därför också behov av översiktliga beräkningar för lönsamhet för olika investeringar som kan göras avseende energibesparing och förnybar energi. Befintlig kunskap har tagits tillvara i projektet, bl.a. resultat från tidigare Tillväxt Trädgård projekt (Christensen *et al.*, 2010) och ett SLF-finansierat projekt (Lantz *et al.*, 2006).

## SYFTE MED PROJEKTET

Syftet med projektet var att ta fram kunskap och kursunderlag till kurser för växthusodlare, rådgivare m fl. med avseende på övergång till förnybara energikällor eller att effektivisera en befintlig anläggning där det redan introducerats förnybar energi. Kunskapsmaterialet är tänkt att utgöra en kunskapsbas för utbildning inom energilösningar med förnybara energikällor. Kunskap samlas om olika bioenergisystem och system för sol-, vind och vattenbaserade energikällor samt om hur dessa kan uppfylla växthusproduktionens krav på energiförsörjning, god klimatstyrning, ekonomi och tekniska krav. Kunskapsmaterialet är tänkt att ge en bas och översikt över vad som kan tillämpas i växthusodlingen för effektivisering av energisystemen och förändringar till förnybar energi.

## PROJEKTMÅL

Målet med projektet var att ta fram kunskapsunderlag inriktat på att hjälpa växthusodlare som står inför att välja energisystem eller vill förbättra sitt befintliga system. Kunskapsunderlaget är tänkt att bidra till att växthusodlare ska kunna göra välgrundade val och anpassningar av energisystem utifrån ett helhetsperspektiv innefattande miljö, odlingsteknik, teknik och ekonomi. Kunskapsunderlaget ska också bidra till att ge rådgivare en kunskapsgrund att stå på i sin rådgivning avseende energi- och klimatfrågor och till att ge myndighetspersoner ett underlag för beslut i energifrågor rörande växthusodlingen. Ett annat mål var att visa på översiktliga ekonomiska beräkningar för olika system och delsystem för att finna strategier som passar olika verksamheter.

## GENOMFÖRANDE

En styrgrupp bestående av medverkande parter bildades. Sammansättningen i gruppen innebar deltagande av både rådgivare och forskare. Inom projektet fördes en del diskussioner med bl.a. representanter för näringsorganisationer och enskilda växthusföretag. Underlaget för kompetensutvecklingen, dvs. kunskapsbasen skapades genom att samla erfarenhet som redan finns, sammanställa information om olika tekniker och metoder i Sverige och andra länder samt att göra enklare kalkyler på framtagna alternativ. Därefter sammanställdes kunskapsunderlaget. En första målgruppsanpassad kurs har genomförts i Linköping. Det framtagna materialet har också utnyttjats vid en kurs för odlare i Alnarp.

Det huvudsakliga författarskapet till de olika avsnitten har fördelats enligt följande:

- Energisystem för växthus, Energi – fossila bränslen, Jonas Möller Nielsen, Cascada AB
- Förnybar energi, Sven Nimmermark, SLU
- Värmecentralen, Råd vid upphandling, Jonas Möller Nielsen, Cascada AB
- Myndighetskrav, Ulla Nilsson, Virgo Grön Konsult
- Ekonomi och beslutsmodell, Inger Christensen, Grön kompetens AB

Redaktör: Sven Nimmermark, SLU

# ENERGISYSTEM FÖR VÄXTHUS

Jonas Möller Nielsen, Cascada AB

För att kunna utvärdera och ta ställning till den tekniska utrustningen, som står till förfogande i växthuset, kan det vara bra att fundera över några grundläggande fakta om energi och värme. Vi presenterar därför en översikt över växthusets och växtens värmebalanser. Ordet balans, säger precis vad det är, nämligen en jämvikt. När vi pratar om värmebalanser menar vi alltså jämvikten mellan hur mycket värmeenergi som används och hur mycket energi som tillförs. För att ett växthus ska hålla konstant temperatur måste mängden tillförd värmeenergi vara lika stor som mängden värmeenergi som försvinner ut ur växthuset.

Efter det behandlas värmeomgångskoefficienten för en konstruktion som kan bestå av ett enskilt täckmaterial eller ett antal olika material. I dagligt tal kallas detta även för U-värde (tidigare användes benämningen k-värde). Det är U-värdet som beskriver hur bra t.ex. en vägg isolerar mot kyla. En väl isolerad vägg har ett lågt U-värde och kommer därmed att ha en låg värmeomgång och i en byggnad blir energianvändningen låg om alla dess U-värden för olika ytor som gränsar mot det fria är låga.

## VÄXTHUSETS VÄRMEBALANS OCH EFFEKTBEHOV

### *Växtens och växthusets värmebalans och effektbehov*

För att veta hur mycket värme som ska tillföras i, eller tas bort från växthuset, måste vi ställa upp en energibalans. I energibalansen summerar vi all värme som flödar in och ut ur växthuset (Figur 1). Exempel på tillförd värme är värme från solen, från elektrisk utrustning t.ex. assimilationsbelysning, eller från koldioxidproduktion (med Low-NOx brännare) inne i växthuset. Exempel på värme som försvinner är värme via luftläckage, transmissionförluster genom väggarna (värme som flödar ut genom väggarna) och kallt bevattningsvatten som skall värmas upp. Om vi vill hålla en konstant temperatur och summan av den tillförda värmen och den förlorade värmen inte är 0 (noll), innebär det att värme antingen måste tillföras (för kallt) eller att värme måste tas bort (för varmt).

Värmebehovet (Effektbehovet, W) kan översiktligt skrivas som i ekvationen nedan där bara de viktigaste faktorerna är med:

$$\text{Värmebehov} = \sum (\text{Transmission}, \text{Ventilation}, \text{Läckage}) - \text{Sol}$$

där:

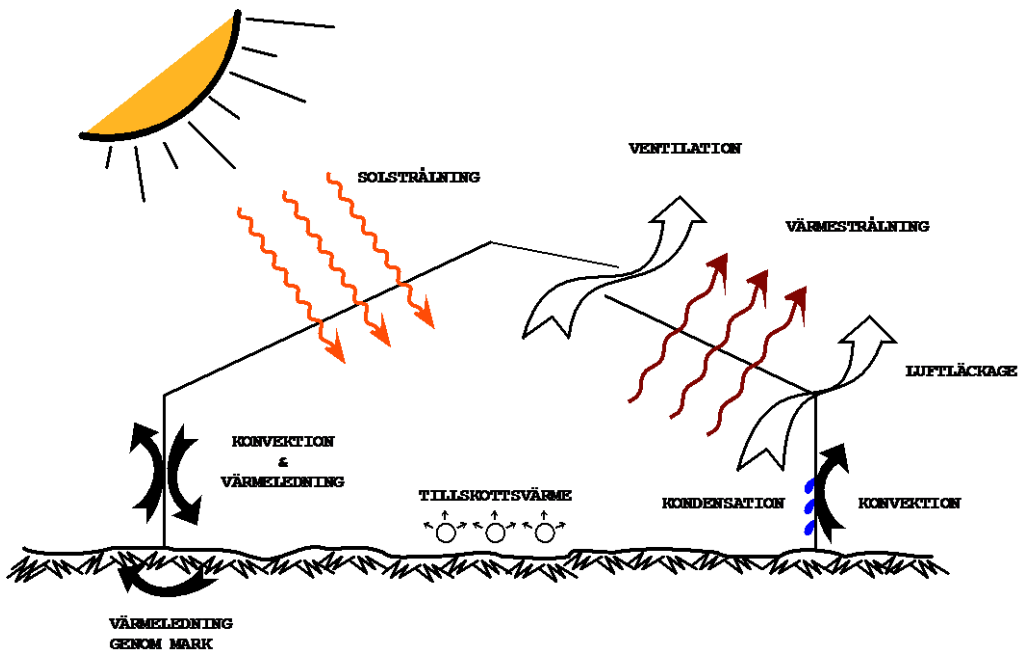
*Värmebehov* = växthusets värmebehov, W

*Transmission* = värmeförluster genom klimatskal och mark p.g.a. värmeledning, strålning, konvektion (luftrörelser) och kondensering etc., W

*Ventilation* = värmeförluster från ventilation, W

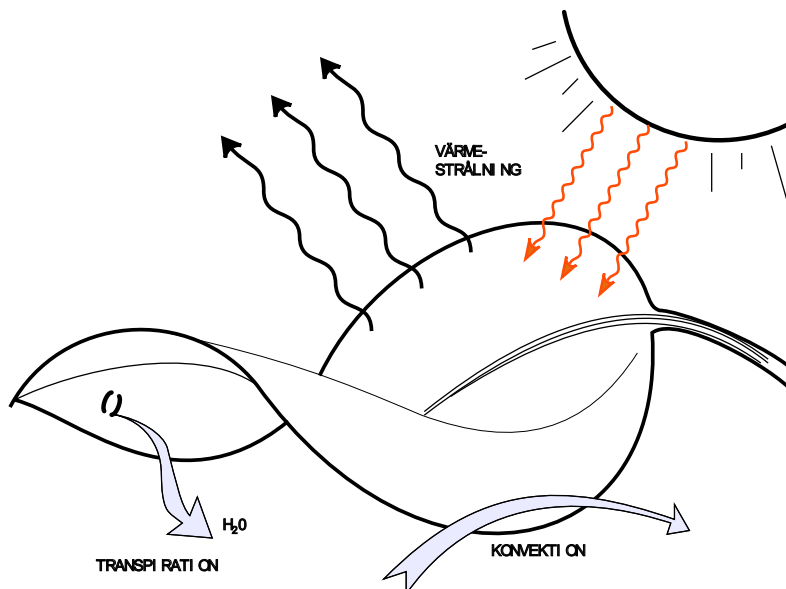
*Läckage* = värmeförluster från luftläckage, W

*Sol* = värmetillskott från solstrålning, W



**Figur 1.** Enkel beskrivning av växthusets värmebalans. Värmetillskottet kommer huvudsakligen från solen och vid behov från tillskottsvärmen (värmesystemet). Förlusterna sker genom strålning mot rymden, värmeledning genom marken, konvektion och värmeledning genom väggar och tak, kondensation mot väggar och tak, luftläckage genom otätheter och ventilation.

Precis som för växthuset kan man sätta upp en värmebalans för växten (se Figur 2). Växtens värmebalans visar på vad som värmer eller koler växten. Till skillnad från växthuset, är det betydligt svårare att räkna på växtens värmeflöden, även om det är möjligt. Men vi vet vad det är som påverkar växtens temperatur.



**Figur 2.** Enkel beskrivning av bladets energibalans. Principen är den samma som för växthuset. Även bladet påverkas av strålningsutbytet med sin omgivning. Det kan vara kalla tak och väggar. Dessutom kyls bladet genom sin transpiration.

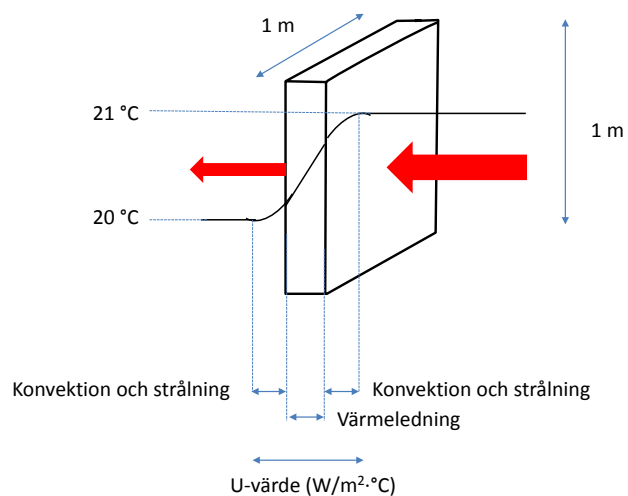
## U-värde

När en vägg är omgiven av varm luft på ena sidan och kall luft på den andra, så kommer värmeenergi från den varma sidan att flöda till den kalla sidan. Värmeflödet är orsakat av tre processer, värmeledning, värmekonvektion och värmestrålning.

Värmekonvektion är den process i vilken värme transporteras p.g.a. rörelser i ett medium såsom i luft eller vatten. Beroende på temperaturförhållande överförs värme från komponenter i ett rum och från luft till vägg via strålning och rörelser i luften, eller från vägg till luft. Hur mycket värme som överförs via konvektionen påverkas av luftrörelserna närmast väggen. Ju kraftigare luftrörelser, desto lättare har värmen att övergå från luft till vägg och tvärtom. Värmeförlusterna är därför större vid blåsig väder (högre U-värde) och det är en god idé att ha vindskydd i den förhärskande vindriktningen i ustatta lägen.

Värmeledning betyder att värme leds inuti ett material. Det kan t.ex. vara när värme leds genom glaset i en glasruta. Värmeledningen genom en vägg är olika stor beroende på väggens egenskaper. En tjock vägg ger ett större motstånd mot värmeledningen än en tunn vägg. Dessutom har olika material olika stort motstånd mot värmeledning. Material med mycket innesluten luft har ett större motstånd än massiva material.

Värmeflödet genom en konstruktion (vägg) är proportionellt mot en faktor som kallas värmegenomgångskoefficient eller U-värde (tidigare benämnt k-värde). U-värdet är det inverterade värdet av summan av motstånd för värmeledning i konstruktionen (en vägg) och värmeövergångsmotstånd på konstruktionens in- och utsida (beroende av övergång av värme via konvektion och strålning). U-värdet anger hur mycket värmeenergi (Joule, J) som per tidsenhet (sekund, s) passerar t.ex. ett väggparti på en kvadratmeter ( $m^2$ ) då temperaturskillnaden är  $1^\circ\text{C}$  mellan de båda sidorna. Då  $1 \text{ Joule/sekund (J/s)} = 1 \text{ watt (W)}$  blir enheten för U-värde därför  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ . Principerna för värmens transport genom ett väggparti visas översiktligt i Figur 3.



**Figur 3.** Värmens transport genom ytterskalet (vägg, tak, fönster och liknande). Ju högre temperaturskillnad mellan de båda sidorna, desto mer energi överförs per kvadratmeter. Ju lägre värmeisoleringsförmåga, desto mer energi transporteras genom materialet.

Värmeförlusterna (transmissionsförlusterna) genom en vägg kan bestämmas med formeln:

$$P = U \cdot A \cdot (t_{inne} - t_{ute})$$

där:

P = värmeförlust (effekt), W

U = värmegenomgångskoefficient, W/(m<sup>2</sup> · °C)

A = totala vägg-/takarean, m<sup>2</sup>

t<sub>inne</sub> = temperaturen inne, °C

t<sub>ute</sub> = temperaturen ute, °C

## SYSTEM FÖR UPPVÄRMNING AV VÄXTHUS

I moderna svenska växthus är ett uppvärmningssystem nästan alltid nödvändigt. Uppvärmningen används dels för att hålla önskad minimumtemperatur men även för att begränsa luftfuktigheten. Moderna hus är oftast täta och de dubbelskiktade täckmaterialen minskar kondenseringen mot ytterskalet vilket leder till mer fukt i växthusluften. En aktiv fuktstyrning är därför oftast nödvändig.

Valet av uppvärmningssystem står ofta mellan vattenburen eller luftburen värme. Oavsett vilket system man väljer, är det viktigt att projekteringen tänks igenom noga. Ett dåligt planerat värmesystem orsakar onödigt stor energianvändning och ger ett ojämnt klimat. System med luftburen värme innebär att temperaturen kan justeras mycket snabbt och en effektiv och tillräckligt exakt och jämn reglering av klimatet kan göras om systemet är väl planerat. System med rörvärme är det traditionella systemet för att värma växthus.

Vilken värmekälla (olja, gas, flis, pellets etc.) som värmeenergin skall komma från är nästa fråga. Det finns mycket att välja på och det är flera olika aspekter som behöver beaktas: miljö, enkelhet, tillförlitlighet och ekonomi. Ingen värmekälla är bäst ur alla aspekter utan det måste bli en kompromiss. Förbränning av oljor och gas är det enklaste, men inte det miljövänligaste med undantag för biogas och bioolja.

### Central värmeanläggning

Med begreppet **central värmeanläggning** menas vanligen en anläggning som levererar värme till samtliga byggnader (växthus) på området. Det finns generellt sett två principer för hur värmeanläggningen kan vara uppbyggd. Det ena sättet är en *central värmeanläggning* som levererar värme till samtliga byggnader m.m. som behöver värme. Det andra är att ha *flera mindre anläggningar*, dvs. typ en mindre panna i varje byggnad.



En central panna innebär följande fördelar:

- ↑ enbart en anläggning skall underhållas (askas ur, smörjas, sotas m.m.), vilket sparar pengar,
- ↑ det är lättare och billigare att i framtiden byta bränsle, eftersom enbart en anläggning skall modifieras,
- ↑ en bufferttank kan installeras vilket minskar den installerade effekten, minskar bränsleförbrukningen och minskar miljöbelastningen genom jämnare drift,
- ↑ effektkapacitet kan flyttas mellan olika byggnader vid extrem kyla, genom att vissa växthus med mindre viktig produktion kan hållas svalare eller stängas ner för att prioritera att värmen kommer till de viktigaste byggnaderna.

En central värmeanläggning har följande nackdelar:

- ↓ den totala installationskostnaden kan bli högre än för ett decentraliserat system,
- ↓ om den centrala värmeanläggningen slås ut, slås värmen ut i hela företaget. Den här risken skall kanske inte överdrivas. Riskerna kan minskas med en bufferttank i systemet och reservdelshållning av de vanligaste slitdelarna. Dessutom kan risken kraftigt minimeras genom att istället för en panna som klarar hela effektbehovet, installera två pannor som har en kapacitet på halva effektbehovet vardera.

### ***Varmluftspanna i varje växthus***

Ett alternativ till en central värmeanläggning, är *en panna i varje byggnad*. Metoden är investeringsmässigt (normalt sett) den billigaste om varmluftspannor och olja eller gas används eftersom en kulvert inte behöver dras mellan husen och det behövs inte heller några shuntar eller cirkulationspumpar. Vid förbränning av fastbränsle är systemet mer kostsamt eftersom det behövs bränslelager, matningsutrustning och säkerhetssystem m.m. vid varje panna.

System med en värmepanna i varje växthus har fördelen att om en panna går sönder drabbas inte hela företaget utan bara den specifika byggnaden,

En värmepanna i varje växthus har följande nackdelar:

- ↓ hög underhållskostnad eftersom flera pannor och brännare måste underhållas och fler skorstenar behöver sotas,
- ↓ dyrt att byta bränsle/energislåg eftersom varje panna måste konverteras eller i värsta fall bytas ut, man blir därför ekonomiskt inlåst i det bränsle man har valt,
- ↓ om en panna går sönder kan värmeenergi inte tas från andra byggnader eftersom värmesystemet inte är ihopbyggt.

### ***Sammanfattande jämförelse mellan central och decentral pannanläggning***

Med en *central värmeanläggning* är värmeproduktionen samlad till ett enda ställe. Detta förklarar underhållet, som även blir billigare för jämförbara bränslen. Värme kan prioriteras till olika byggnader under extrema perioder med högt värmebehov. Säkerheten mot driftsbortfall

kan ökas genom att ha två mindre pannor ihopkopplade med en bufferttank. Bufferttanken utjämnar effektoppar och produktionsbortfall från pannorna. Även rening av rökgaser förenklas. Styrningen av värmealaggnings blir billigare eftersom enbart en värmeanläggning kräver datorsystem för detta. Konvertering till annat bränsle blir enklare eftersom bara en anläggning behöver konverteras.

*En panna i varje byggnad* ger mer arbete med underhåll eftersom skorstenar, pannor m.m. är utspridda. Om en panna går sönder i en byggnad kan värme inte tas från någon annan panna. Metoden blir ganska dyr vid eldning av fastbränsle, eftersom lager, matning, säkerhetssystem m.m. krävs vid varje byggnad istället för vid en enda plats, som är fallet med en central värmeanläggning. Reningen av rökgaser fördyras eftersom en reningsutrustning krävs vid varje panna. Styrningen blir orimligt dyr. Det är även dyrt att i framtiden byta bränsle eftersom varje panna måste konverteras eller bytas ut. Resultatet blir att med en panna i varje byggnad blir ordentlig rökgaskylning, datorstyrning och bufferttank ekonomiska orimligheter, vilket i förlängningen leder till ökad energianvändning, som följd av en därav försämrad verkningsgrad.

### **Uppvärmningssystem**

Tillskottsvärmen kan tillföras växthuset på flera olika sätt. De vanligaste är via vatten som avger värme via rör monterade i växthuset eller varmluft som blåses in i växthuset. En annan metod är infravärme, där värmen strålas mot växterna. I sådana system kan lufttemperaturen hållas lite lägre, eftersom växterna direkt värms av strålningen. Systemet har enligt försök en potential till att minska energianvändningen med c.a 10%.

I denna rapport behandlas enbart vatten- och luftburen värme eftersom system för infravärme i växthus inte marknadsförs i Sverige.

### **Vattenburen värme**

#### **Princip**

Rörburen värme är vanligast. Den fanns redan på början av 1900-talet, men då med själv-cirkulationssystem, ett system utan cirkulationspumpar. Ett väl dimensionerat rörvärmesystem kan ofta ge en acceptabel jämnhet i värmen, men det blir oftast inte lika bra som ett väl dimensionerat luftburet system. Oftast behöver den rörburna värmen kompletteras med cirkulationsfläktar för att jämna ut skillnader i temperatur och luftfuktighet. Principiell uppbyggnad av ett system med vattenburen värme framgår av Figur 4.

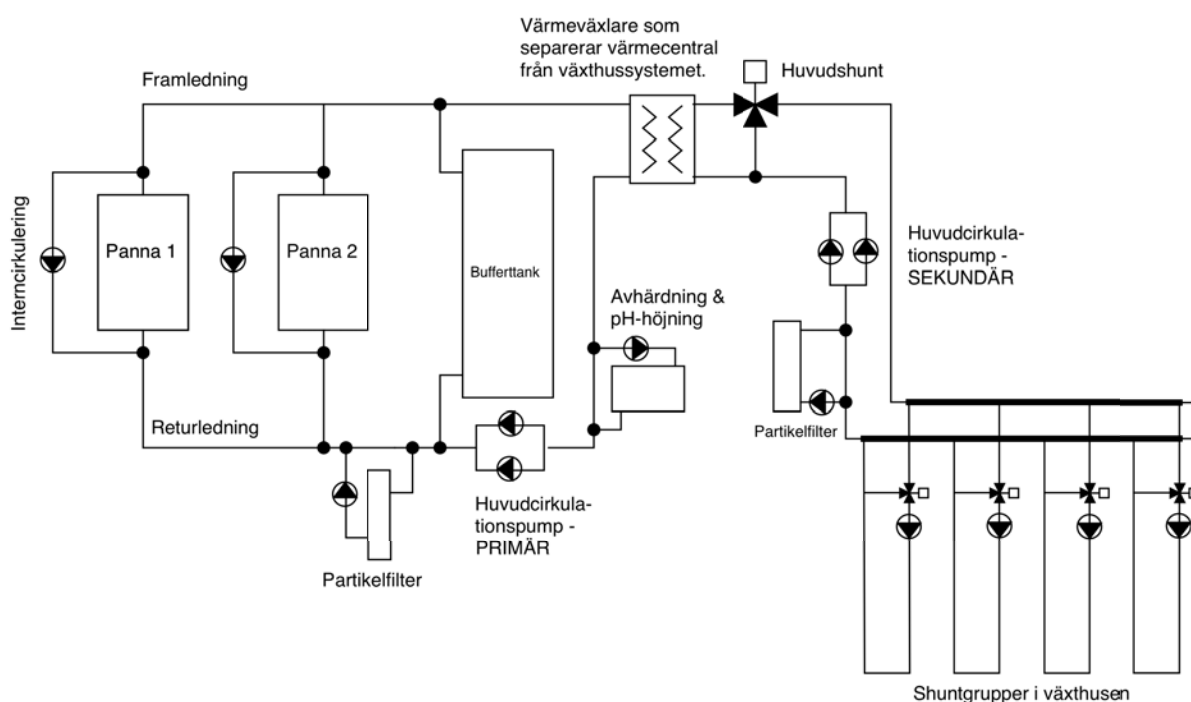
#### **Huvudshunt**

Även om det inte är helt nödvändigt, rekommenderas ändå att huvudmatningen förses med en egen shunt med blandnings- eller fördelningsventil, en s.k. huvudshunt. Huvudshuntens uppgift är att blanda returvattnet med framledningsvattnet, så att rätt vattentemperatur uppnås i huvudmatningen. Eftersom pannan ger en temperatur på minst 65 °C kan man i de flesta fall shunta ner den till betydligt lägre temperaturer i huvudmatningen, då växthusens shuntar sällan behöver så varmt vatten. I de flesta fall efterfrågar slingorna i växthusen en

vattentemperatur på 30 - 50 °C. Att då ha en temperatur i huvudmatningen som ligger betydligt över den, innebär större värmeförluster i huvudmatningen.

### Huvudcirkulationspump

Huvudcirkulationspumpen bör vara varvtalsreglerad. Om systemet består av tio olika slingor, och bara en shunt kallar på värme innebär det onödigt stor elförbrukning att låta huvudcirkulationspumpen, som är dimensionerad för att förse tio slingor med vatten, gå för fullt bara för att leverera vatten till en slinga. Detta sliter på huvudcirkulationspumpen som går sönder i förtid.



Figur 4. Principiell uppbyggnad av ett vattenburet värmesystem.

### Shuntgrupperna i avdelningarna

De små cirkulationspumparna i avdelningarna bör inte varvtalsregleras. För jämn fördelning av värme i växthusen behöver de pumpa runt samma mängd vatten i slingorna, oavsett vattentemperatur. Om dessa varvtalsregleras finns risken att flödes hastigheten i rören blir så låg att temperaturavgivningen i rören blir ojämn med ojämnt klimat i avdelningen som följd. Däremot bör dessa pumpar ha ett pumpstopp, så att de stängs av när det inte finns något värmebehov. I annat fall drar de onödigt mycket energi, pumparna slits och i de flesta fall kommer de att pumpa igenom en liten mängd värmevatten genom den stängda shunten vilket ger betydande energiförluster.

## Vinterhållning av tomma hus

Om produktionen skall stängas av vintertid, finns det alltid risk för att vattnet i värmesystemet fryser och spränger sönder rör, shuntar, panna m.m. Det vanligaste sättet att skydda sig mot detta är att hålla en minimum framledningstemperatur och att ha cirkulationspumpen igång hela tiden även då det inte sker någon produktion. Metoden kostar energi även när värme egentligen inte behövs på grund av mild väderlek och det finns idag alterantiva metoder som sparar energi och i förlängningen också miljön.

### *Minimum rörtemperatur beroende på utetemperatur*

I vissa datorsystem för växthus är det möjligt att styra minimum framledningstemperatur baserat på lufttemperaturen utomhus, så att shunten stänger när det är plusgrader och ingen värme behövs för att hålla frostfritt. Detta kräver ett styrsystem som kan styra cirkulationspumparna efter utetemperaturen, vilket inte alla system kan. Detta kan vara särskilt lönsamt i södra Sverige och längs kusterna där vintrarna ofta är milda.

### *Minimum returtemperatur*

Det går även att montera en rörtemperaturgivare på returledningen istället, och då låta datorn styra framledningstemperaturen efter signal från denna givare. Man måste då på något sätt koppla om mellan den ordinarie framledningsgivaren (som används vid normal drift) och returledningsgivaren när huset skall stå tomt för vintern. På det sättet anpassas framledningstemperaturen automatiskt efter behovet för frysskydd.

### *Frysskydd*

En mer ekonomisk och miljövänligare metod kan vara att blanda in frostskyddsmedel i vattnet i värmesystemet, t.ex. propylenglykol. Propylenglykol är biologiskt nedbrytbart och giftfritt men skall ändå tas om hand som avfall och får inte släppas ut i avloppet. Det har dessutom smörjande egenskaper vilket är bra för pumpar och shuntar. För att det skall fungera väl med propylenglykol skall pannan och eventuell bufferttank vara avskild från växthusen med en *värmeväxlare* (Figur 5), eftersom propylenglykolen bryts ner av de höga temperaturerna i pannans värmeväxlare. Det är inte lönsamt att fylla bufferttanken med propylenglykol då det blir för stora volymer. En lämplig inblandning är 25-30 % propylenglykol i systemet. För att räkna ut vattenvolymer i systemet kan man som schablon räkna 1 L/m<sup>2</sup> växthus, plus volymer i pannorna (står på märkplåtarna), bufferttankens volym och kulverten.



**Figur 5.** Värmeväxlare som separerar pannkretsen från växthusens värmekrets. Höjden på växlaren på bilden är ca 1,5 m och den klarar effekten 3 MW. Värmeväxlaren på bilden var oisolerad när fotot togs och isolerades efteråt.

## Rörisolering

Alla rör som inte används för avgivning av värme i växthusen, så kallade matningsrör eller stammar, skall vara isolerade, även om de är dragna inne i växthusen. Värmen avges annars på fel plats och orsakar ojämnt klimat och onödiga värmeförluster.

## Luftburen värme

Luftburen värme är inte lika vanlig som vattenburen värme trots att fördelningen av värme och jämnheten i luftfuktighet kan styras så att det blir betydligt jämnare med ett luftburet värmesystem. Det är dessutom ett system som är snabbare än det vattenburna då det gäller att motverka snabba klimatväxlingar. En orsak till den luftburna värmens oförtjänt dåliga rykte kan bero dåligt projekterade anläggningar. Det finns en vanlig missuppfattning att varm luft av sig själv sprider sig jämnt och fint i växthuset men så är det inte. Det är viktigt att varmluften fördelas jämnt i växthuset, där den behövs.

Ett enkelt system med luftburen värme består av fläktluftvärmare eller **fläktkonvektorer** utan kanaler för fördelning av luften. En fläktkonvektor är en vatten/luft värmeväxlare som överför värme från värmevattnet och för över det till växthusluften med hjälp av fläktar. Med en central panna behövs det minst en *fläktkonvektor* i varje växthus. Om fläktkonvektorer monterats fristående i växthuset utan anslutande kanaler blir värmefördelningen ojämn.

Grunderna i system med luftburen värme och jämn fördelning av värmen är ett kanalsystem i växthuset som distribuerar den varma luften dit den behövs. Det sker enklast med hjälp av spirokanaler som utgör huvudkanaler. Den vidare fördelningen sker därefter från perforerade plastfolieslangar eller textilieslangar. Plastfolieslangarna är i ena änden anslutna till spirokanalen och går sedan ut under borden, vid odling på bord, eller mellan plantorna vid radodling av t.ex. tomat, gurka, melon och paprika.



**Figur 6.** Foto som visar plastfolieslangar vid bordodling. Längs växthusets långsida, vid bordens kortsida, löper en spirokanal. Vid varje bord finns ett uttag för en plastfolieslang.

För att undvika onödiga värmeförluster och ojämn värmefördelning i växthuset, bör spirokanalerna vara isolerade och skyddade mot väta, med t.ex. plast eller ett fuktavvisande isoleringsmaterial. Spirokanalerna skall inte ligga direkt på marken, utan helst på värmesolierande distanser av t.ex. frigolit eller trä.

När plastfolieslangarna hänger inne bland växterna, som är fallet i radodlingar, skall hålen i plastfolieslangen vara så små som möjligt, en diameter på 2-4 mm är lagom. Ju större hål desto längre kastlängd och den varma luften kastas då ut i gången där den snabbt försvinner upp i taket. Dessutom är det viktigt att luften bromsas upp så snart som möjligt så att det inte blåser direkt på växternas stammar. För att slangen skall vara jämnt utspänd hela vägen från början till slut, skall förhållandet mellan den totala hålarean och slangens tvärsnittsarea (totala hålarea / tvärsnittsarea) vara mellan 0,5 och 1,0. I annat fall kommer luften att försvinna ut genom hålen i början och det kommer ingen luft i slutet. Det går inte att köpa färdigperforerade standardslangar, då de måste tillverkas för varje anläggning.

Slangens diameter ska vara rätt anpassad efter fläktens luftflöde. Vid längre slangavstånd kan det vara önskvärt med högre hastigheter, för att luften inte skall hinna kylas ner för mycket på sin väg genom slangen. I spirokanaler eftersträvar man låga lufthastigheter för att undvika oljud och under 8 m/s är en vanlig gräns. Spirokanalerna ska vara isolerade för att förhindra att värmen avges på sin väg till plastfolieslangarna. Eftersom plastfolieslangarna är mjuka är det möjligt att tillåta högre lufthastigheter utan risk för oljud. Vid långa slangar, t.ex. vid 50 m långa tomatrader, tar det med hastigheten 8 m/s varmluften 7 s att komma till slutet av raden, och mycket värme hinner försvinna ut genom plastfolieslangen på vägen genom slangen. Vid användningen av längre slangar kan det därför vara nödvändigt att låta en viss del vid inloppet i slangen (30% av slangens längd) vara utan hål. Värmeavgivningen från slangen räcker till i denna del av växthuset utan att någon luft behöver blåsas ut. Det bästa är om håltätheten ökar med slanglängden, men detta är normalt svårare att beställa.

### *Uppvärmning av jorden*

Ett problem i de fall man odlar i marken, är att den är för kall på våren. Lösningarna kan vara att börja odlingen senare eller att värma upp marken. Oavsett vilket man gör bör grunden till växthuset alltid vara isolerad, t.ex. med en vanlig tjälisolering. En isolerad grund håller kvar eventuell tillförd värme inne i växthusets jordvolym, så att värmen inte försvinner ut till marken och luften utanför växthuset. Även den värme som tillförs marken via solstrålningen dagtid, kommer då att stanna kvar till större del i växthusets jordvolym.

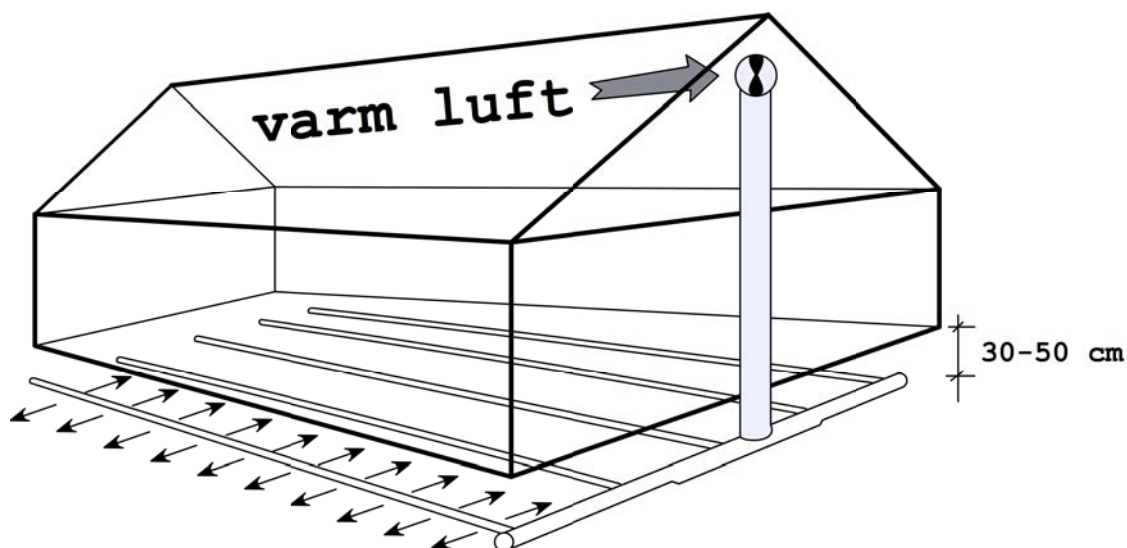
Tre olika alternativ för uppvärmning av marken kan vara:

- elslingor,
- vattenburen värme,
- varmluft.

Av dessa är elslingor den sämsta metoden. Slingorna har en liten area och närmast slingan kommer marken att snabbt torka på grund av den höga temperaturen. Den torra jorden fungerar då som ett isoleringsmaterial och värmen har svårt att nå ut till den omkringliggande jorden.

Vattenburen värme är ett bättre alternativ eftersom slangarna i marken har större area och då värmer upp jorden bättre.

Ett alternativ är att gräva ner perforerade rör i marken, t.ex. perforerade dräneringsrör, och blåsa ner varmluft. Luften kommer att pressas ut i jordvolymen och värmen sprider sig väl. Varmluften kan komma från en varmluftspanna, men det är även möjligt att blåsa ner den varma växthusluften, som samlas upp i nocken under soliga dagar i markslangarna.



**Figur 7.** Principiell uppbyggnad av system för uppvärmning av marken med hjälp av den varma luften från växthusets tak. De perforerade slangarna, t.ex. dräneringsslangar, bör ligga på sådant djup att de inte skadas av markberedningsutrustning.



# ENERGI– FOSSILA BRÄNSLEN

Jonas Möller Nielsen, Cascada AB

## NÄRHETEN TILL BRÄNSLET OCH FRAMTIDA PRISUTVECKLING

Generellt kan man säga att fossila bränslen (naturgas, olja, kol, propan), kommer långt ifrån. Detta medför långa transporter och det kan också innebära en osäkerhet beträffande leveranserna, eftersom både olja och naturgas utvinns på förhållandevis få platser i vår närhet. En rad faktorer gör att priset på olja kan variera kraftigt.

Beträffande biobränslen kan man ha som tumregel, att ju mindre förädlade de är, desto kortare sträcka har de transporterats. Som exempel kan nämnas att skog på rot transporterats minst, medan etanol framställd av skogsråvara, kan transporteras över hela jorden. Ju mer ett bränsle kan transporteras, desto lättare är det att handla med det - det finns många potentiella köpare. Ett förädlat bränsle är dessutom lättare att nyttja; jämför exempelvis ved med t.ex. pellets eller etanol. Förädling ökar antalet potentiella köpare, men ju mer förädlat ett bränsle är desto dyrare blir det. Den pellets som säljs i Sverige idag, kommer dels från Sverige, men även från Polen, Baltikum och Kanada. I sammanhanget kan man också vara medveten om att även om pelletsen är producerad i Sverige, så kan träråvaran komma från ett sågverk som importerar timmer från t.ex. Ryssland.

## FOSSILA BRÄNSLEN

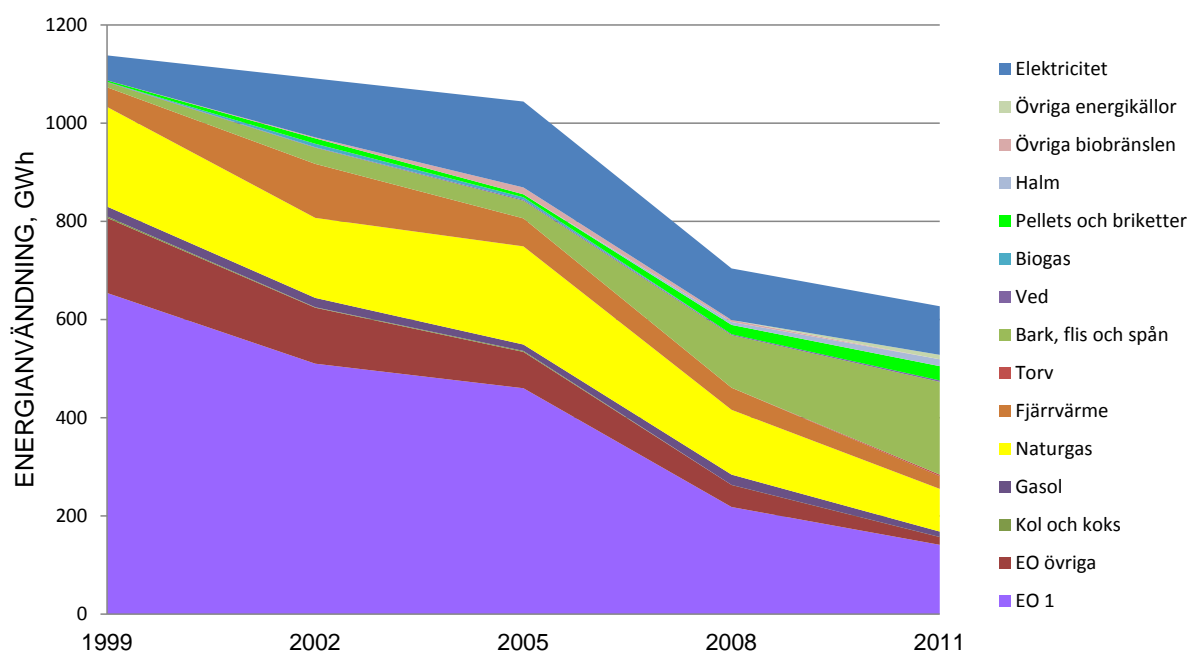
**Fossil olja** - är praktisk och säker. Tekniken är enkel och tar liten plats. Nackdelen är att den fossila oljan har en osäker prisutveckling. Dessutom bidrar den fossila oljan med stora nettoutsläpp av koldioxid, svavel och tungmetaller.

**Naturgas** - finns i Sverige främst längs västkusten och naturligt i liten omfattning i vissa trakter i Östergötland. Naturgas, liksom annan gas, är praktisk och säker att använda och den tar liten plats. Dock gäller samma som för oljan; tillgången i världen främst lokaliserad till några få områden, vilket gör prisutvecklingen osäker på sikt. Naturgasen släpper ut mindre koldioxid än olja där den förbränns, men sett till hela kedjan så är naturgas jämförbar med olja, på grund av läckage av metan vid utvinning och distribution. Däremot släpper naturgasen inte ut några tungmetaller eller svavel.

# FÖRNYBAR ENERGI

Sven Nimmermark, SLU

I det kalla klimat vi har i Sverige åtgår allra största delen energi i en växthusanläggning till uppvärmning i de fall odling sker under större delen av året. El till belysning och drift av pumpar, motorer, etc. står i regel för en betydligt mindre andel av energiåtgången. Förhållandet beror naturligtvis på prisbild och avsättningsmöjligheter och i andra nordiska länder t.ex. Finland förekommer grönsaksodling av t.ex. tomater vintertid med hjälp av en hög belysningsintensitet och elförbrukningen kan i dessa fall vara betydande. I Sverige har det i växthusodlingen på senare år skett en markant ökning av användningen av förnybar energi för uppvärmningsändamål och framförallt har användningen av bark, flis och spån ökat (Figur 8).



Figur 8. Energianvändning i svensk växthusodling åren 1999 – 2011 fördelat på energikällor. Källdata: SJV (2012).

## VÄRME OCH EL

De förnybara energikällorna (bränslen) som idag används för att värma svenska växthus är framförallt bark, flis, spån, pellets och briketter. En del ved och halm används också medan biogas används i liten utsträckning liksom torv som är ett mellanting mellan en fossil och förnybar energikälla då det tar lång tid att förvandla organiskt material till torv, men dock betyd-

ligt kortare tid än det tar för omvandling till olja eller kol. Fjärrvärme används i viss utsträckning för växthus och då värme från bibränslen (toppar, grenar, träavfall etc.) utgör en betydande del av fjärrvärmens är denna också till stor del en förnybar energikälla. Jämfört med fossila bränslen såsom olja och kol har fasta bibränslen nackdelen att de innehåller betydligt mindre energi per volymsenhet räknat och större lagringsutrymmen krävs. En sammanställning av energiinnehållet för olika bränslen framgår av tabellen nedan (Tabell 1. Källa: Jernkontorets energihandbok, 2014 <http://energihandbok.se> ).

### *Fasta bibränslen*

De fasta bibränslena innefattar *trädbränslen* i olika fraktioner och *stråbränslen*. Trädbränslen utgörs av bibränslen med ursprung i skog eller energiskog och innefattar bränslefraktioner av ved, stubbar, grenar, toppar, etc. Även återvunnet virke från t.ex. spill eller rivning benämns trädbränsle. Stråbränslen utgörs av halm och energigräs. Biomassan i träd- och stråbränslen kan användas som fasta bränslen för uppvärmning, men den kan också utnyttjas för framställning av el i kondenskraftverk eller el och värme i kraftvärmeverk och dessutom för framställning av flytande bibränslen (t.ex. metanol) eller biogas.

Begreppet *skogsbränslen* används som en sammanfattande beteckning på biprodukter från skogsavverkning, virke utan industriell användning och biprodukter och spill från industrin.

Det finns ett antal olika mått på mängden av skogsbränsle och Nilsson (2012) anger följande definition av några vanliga enheter:

m <sup>3</sup> sk	skogskubikmeter, volym stamved och bark från stubbskär till topp
m <sup>3</sup> f	kubikmeter fast mått, dvs. verklig volym exklusive mellanrum
m <sup>3</sup> s	kubikmeter stjälp mått (används t.ex. för flis) - mätt i skäppa eller hög
m <sup>3</sup> t	kubikmeter travat mått - mätt i trave
tTS	ton torrs substans

Förutom ovanstående kan nämnas att begreppet skrymvolym avser volym av materialmängd, inberäknat mellanrum mellan materialets bitar.

**Tabell 1.** Energiinnehåll för bränslen - Riktvärden. Källa: Jernkontorets energihandbok, 2014  
<http://energihandbok.se> ).

		kWh	GJ	kg/m <sup>3</sup>
1 ton	Stenkol <sup>1)</sup>	7560	27,2	800 <sup>4)</sup>
1 ton	Koks <sup>2)</sup>	7800	28,1	450 <sup>4)</sup>
1 m <sup>3</sup>	råolja	10070	36,3	850
1 fat	Råolja <sup>3)</sup>	1600	5,8	845
1 m <sup>3</sup>	Dieselbrännolja (sommar)	10030	36,1	835
1 m <sup>3</sup>	Dieselbrännolja (vinter)	9935	35,7	840
1 m <sup>3</sup>	eldningsolja 1 (Eo1)	9960	35,9	840
	Eldningsolja 1 (W) <sup>5)</sup>	9935	35,7	835
	eldningsolja 3 (Eo3)	10530	37,9	920
	eldningsolja 3 (LS)	10540	38,0	910
	eldningsolja 4 (Eo4)	10620	38,3	935
	eldningsolja 4 (LS)	10700	38,5	930
	eldningsolja 5 (Eo5)	10720	38,6	950
	eldningsolja 5 (LS)	10760	38,7	940
1 m <sup>3</sup>	Rapsolja <sup>6)</sup>	9340	33,6	800
1 m <sup>3</sup>	Tallbecksolja <sup>7)</sup>	10425	37,5	960-990
1 m <sup>3</sup>	WRD (wide range distillate)	10290	37,0	873
1 m <sup>3</sup>	fotogen	9540	34,3	810
1 m <sup>3</sup>	motorbensin	8720	31,4	730
1 m <sup>3</sup>	metanol	4330	15,6	790
1 m <sup>3</sup>	etanol	5900	21,2	790
1 ton	Gasol <sup>8)</sup>	12800	46,1	2,4 <sup>9)</sup>
1000 m <sup>3</sup>	vätgas	3000	10	0,08
1000 m <sup>3</sup>	naturgas	10800	38,9	0,75
1000 m <sup>3</sup>	stadsgas	4640	16,7	0,60
1000 m <sup>3</sup>	masugngas	930	3,3	
1000 m <sup>3</sup>	koksgas	4700	16,9	0,51
1 ton	trädbränslen effektivt värmevärde <sup>10)</sup>	19,2 MJ/kg TS <sup>11)</sup>		
	50 % fukthalt	2330	8,4	
	30 % fukthalt	3530	12,7	- <sup>12)</sup>
	pellets/briketter 11 %	4670	16,8	
	pulver 4,5 % fukthalt	5060	18,2	
1 ton	energiskog effektivt värmevärde <sup>10)</sup>	18,3 MJ/kg TS <sup>13)</sup>		
	50 % fukthalt	2200	7,9	
	30 % fukthalt	3350	12,1	
1 ton	energigräs eff.värmevärde <sup>10)</sup>	17,8 MJ/kg TS <sup>13)</sup>		
	15 % fukthalt	4100	14,8	
1 ton	halm eff.värmevärde <sup>10)</sup>	17,8 MJ/kg TS <sup>13)</sup>		
	15 % fukthalt	4100	14,8	125 <sup>14)</sup>
1 ton	Vass, fukthalt 20 %	4000	14,4	
1 ton	Torv eff.värmevärde <sup>10)</sup>	21 MJ/kg TS <sup>13)</sup>		
	50 % fukthalt	2570	9,3	330
	35 % fukthalt	3550	12,8	400
1 ton	Hushållsavfall	2800	20	200 <sup>15)</sup>
1 ton	RDF-fraktion <sup>20)</sup>	4200	15	75
1 ton	industriavfall	4170	13,0	
1 kg	förpackningsavfall, 75 % TS	3,8	13,5	
1 kg	naturligt uran <sup>17)</sup>	140000	504	18680
1 kg	anrikat uran <sup>18)</sup>	880000	3168	
1 tske	ton stenkolsekivalent <sup>19)</sup>	7780	28,0	
1 toe	ton oljeekivalent <sup>19)</sup>	11630	41,9	

- Angivna fukthalter för biobränslen och torv är riktvärden. Fukthalten varierar inom vissa intervall för respektive bränsle.
- energiinnehållet inom intervallet 6500-8000 kWh (23-29 GJ)
  - energiinnehållet inom intervallet 7000-8000 kWh (25-29 GJ)
  - 1 fat råolja innehåller 0,159 m<sup>3</sup> (= 159 liter, eng barrel förkortas bbl)
  - stjälp mätt (m<sup>3</sup>s)
  - siffror enligt Statoil
  - rapsoljan består av 62 % paraffin, 35-38% rapsmetylester och 0-3 % etanol, densitet vid 15°C. Energiinnehållet inom intervaller 9230-9450 kWh (33,2-34,7 GJ)
  - värdena ungefärliga från Söder Energi, vilka köper oljan från en finsk leverantör.
  - blandning av 50 % propan och 50% butan
  - 2,4 kg/m<sup>3</sup> gäller för gasol i gasform, för flytande gasol gäller 530 kg/m<sup>3</sup>
  - Utifrån det kalorimetriska värmevärdet (korrigerat för vätehalt) för ett bränsle beräknas aktuellt energiinnehåll för respektive fukthalt m h a formel enligt Svensk Standard SS 18 71 82
  - varierar +- 0.5 MJ/kg TS, ungefär 90 % av alla trädbränslen ligger inom detta intervall
  - densiteten hos trädbränslen varierar kraftigt, mellan ca 310-470 kg/m<sup>3</sup>s, detta kan gälla för en och samma fukthalt
  - medelvärde för kalorimetriskt värmevärde
  - gäller för halm i balar
  - 200 kg/m<sup>3</sup> kännetecknar en "lös" sopa, efter kompaktering har sopan en densitet på cirka 400 kg/ m<sup>3</sup>
  - RDF (Brännbar fraktion) bestående av i huvudsak plast och papper. Fukthalt 15 %. RDF = Refuse Derived Fuel
  - naturligt uran med 0.71 % U-235, gäller vid värmeproduktion i lättvattenreaktor
  - uran anrikat till 3.2% (andelen U-235), detta är ett medelvärde för de svenska reaktorerna egentligen gäller för kokvatten reaktor 3.1% resp för tryckvattenreaktor 3.5%, gäller vid värmeproduktion
  - överensstämmer med OECDs definition dvs. s.k. sensibelt värme
  - RDF-fraktion = maskinellt utsorterade fraktioner av hushållsavfall.

Då det gäller bibränslen finns ett antal termer som beskriver fukttinnehåll och densitet och som det kan vara betydelsefullt att känna till och Lehtikangas (1999) anger följande definitioner hämtade från en svensk standard:

Term	Definition	Enhet
Fukthalt	kvot av vattnets massa i fuktigt material och materialets totala massa	
Fuktkvot	kvot av vattnets massa i fuktigt material och torrsubstansens massa	
Torrsubstans (TS)	material exklusive vatten	
Torrhalt	kvot av torrsubstansens massa och det fuktiga materialets totala massa	
Densitet	kvot av massa och volym	kg/m <sup>3</sup>
Rådensitet	kvot av rå massa och rå volym	
Torr-rådensitet	kvot av torr massa och rå volym	kg TS/m <sup>3</sup> f
Bulkdensitet eller Skrymdensitet	kvot av massa och bulkvolym (skrymvolym)	kg/m <sup>3</sup> s eller kg/m <sup>3</sup> t

Trädbränslen delas upp i olika sortiment och Lehtikangas (1999) gör följande uppdelning och karakterisering:

- **Oförädlade trädbränslen**

- Avverkningsrester bestående av grenar och toppar (GROT) och småträd. Trädrester kan komprimeras till cylindriska balar (t.ex. diameter 1,2 m, längd 1,2 m). Avverkningsrester måste oftast sönderdelas och omvandlas då till *flis* eller *kross*. Krossat material har ofta ojämn storlek. Sönderdelat virke har en torr-rådensitet på 380-600 kg/m<sup>3</sup>f.
- Nedklassad massaved som kasseras p.g.a. röta eller små dimensioner. Röta kan vid lagring orsaka en betydande reduktion av torr-rådensiteten.
- Sågverksflis är biprodukter vid sågning. *Råflis* som är fuktigare (fukthalt 50-55%) erhålls från otorkat material och *torrflis* som erhålls från torkat virke är torrare (fukthalt oftast under 20%).
- Sågspån och kutterspån har båda en torr-rådensitet på 400-420 kg/m<sup>3</sup>f och fukthalten för sågspån är ofta ca 55% medan kutterspån kan vara betydligt torrare (fukthalt ca 15%).
- Bark anges ha en fukthalt på ca 55% och torr-rådensiteten från tallbark (275-325 kg/m<sup>3</sup>f) är ofta betydligt lägre än från granbark (300-425 kg/m<sup>3</sup>f).

- Brännved och knubbved används framförallt vid småskalig eldning. (Knubbved är en grövre fraktion än vanlig flis med bitar som är 50-150 mm – kallas även grovflis (Nilsson, 2012)).
- Återvinningsvirke utgörs av byggavfall, rivning, pallar möbler etc. och kan i krossad fraktion kallas RT-flis (returflis). Sortimentet är ojämnt och kan ha ashalter på 10% av TS och producera aska med innehåll av kreosot, arsenik, koppar etc. Problem kan uppstå med damm och lukt.
- **Förädlade trädbränslen**
  - Pellets görs ofta från såg- och kutterspån som torkas och mals. Har en skrymdensitet på 550-650 kg/m<sup>3</sup>s och fukthalten är ofta 8-10%. Kvaliteten bestäms av en klassning efter en svensk standard för bränslepellets.
  - Briketter har ofta en diameter på 50-75 mm (finns även kvadratiska) och en längd upp till ca 200 mm. Har en skrymdensitet på 550-650 kg/m<sup>3</sup>s och fukthalten är ofta 10%.
  - Träpulver har en partikelstorlek som är mindre än 1mm och före malningen är fukthalten oftast <10%. Skrymdensiteten är ca 200 kg/m<sup>3</sup>s. Träpulver kan eldas på samma sätt som olja, men är svårare att hantera och pellets och briketter kan malas till pulver i samband med eldningen.
- **Energiskog**  
kan direktflisas eller skördas som helskottskörd.

### Värmevärde vid olika fukthalt

När man förbränner trädbränslen omvandlas energi som är kemiskt bunden till värmeenergi. För karaktärisering av bränslets energiinnehåll och energin som erhålls som värmeenergi vid förbränning används begreppet *värmevärde*. Vid förbränningen omvandlas den kemiska energin till värmeenergi, men en del av den energi som då avgår går åt för att förångna vatten. Trädbränslet innehåller en större eller mindre mängd vatten redan när det kommer in i brännkammaren och förutom detta vatten bildas också lite mer vatten av syre och väte som finns i träet.

#### Effektivt värmevärde

- Effektivt värmevärde för torrt material ( $W_a$ ) är:  
Kemisk bunden energi i träet (kalorimetriskt värmevärde,  $W_{kal}$ ) minus (-) energi för avdunstning av den mängd vatten som bildas av syre och det väte som finns i träet.
- Effektivt värmevärde för fuktigt material ( $W_{eff}$ ) är:  
Kemisk bunden energi i träet (kalorimetriskt värmevärde,  $W_{kal}$ ) minus (-) energi för avdunstning av den mängd vatten som bildas av syre och det väte som finns i träet minus (-) energi för avdunstning av vatten som finns i materialet.

Effektivt värmevärde för fuktigt material kan om,

- 1) det effektiva värdet för torrt material ( $W_a$ ) är känt, beräknas med formeln:

$$W_{eff} = W_a - \left( 2,45 \cdot \frac{Fukthalt}{100 - Fukthalt} \right) \quad (1)$$

- 2) det kalorimetriska värmevärdet ( $W_{kal}$ ) är känt eller bestäms med hjälp av en s.k. bombkalorimeter beräknas med formeln:

$$W_{eff} = W_{kal} - \left( 2,45 \cdot 9 \cdot \frac{H_2}{100} \right) - \left( 2,45 \cdot \frac{Fukthalt}{100 - Fukthalt} \right) \quad (2)$$

Där

$W_{eff}$  = Effektivt värmevärde för fuktigt material, MJ/kgTS

$W_a$  = Effektivt värmevärde för torrt material, MJ/kg TS - Typvärde för trä ca 19,2 MJ/kg TS (Ringman, 1995)

$W_{kal}$  = Kemisk energi bunden i materialet mätt enligt standard med kalorimeter, MJ/kgTS - Typvärde för trä ca 20,4 MJ/kg TS (Ringman, 1995)

$H_2$  = Bränslets vätehalt per kg TS, % - ca 6 % per kg TS (Ringman, 1995)

$Fukthalt$  = Bränslets fukthalt, %

*Konstanter:* 2,45 är vattnets ångbildningsvärme vid 20 °C, MJ/kg. – ca 9 andelar vatten bildas av 1 andel väte

Exempel på beräknat effektivt värmevärde för fuktigt träbränsle ( $W_{eff}$ ) enligt ekv. (1) framgår av Figur 9.

### **I noggrannare beräkningar kan justeringar göras för askhalt och bränslets temperatur.**

En sammanställning av data för några vanliga biobränslen framgår av Tabell 2. När man värderar olika bränslen kan det vara bra att beräkna energimängden per kg rå massa (se Faktaruta).

### Omvandling av effektivt värmevärde från enheten MJ/kg till enheten kWh/kg

Omvandling från enheten MJ/kgTS till kWh/kg TS görs genom division med 3,6.

Exempel:

$W_{\text{eff}} = 16,2$  MJ/kgTS för flis med fukthalt 55%

Innebär  $16,2/3,6 = 4,5$  kWh/kgTS

### Energimängd per kg rå massa

Omvandling från effektiva värmevärdet för fuktigt material ( $W_{\text{eff}}$ , MJ/kg TS) till energimängd per kg rå massa (MJ/kg rå) görs genom att  $W_{\text{eff}}$  multipliceras med Torrhalten (Torrhalt = 100-fukthalten, %).

Exempel:

$W_{\text{eff}} = 16,2$  MJ/kgTS för flis med fukthalt 55%

Torrhalt =  $100 - 55 = 45\%$

Effektivt värmevärde för rå massa

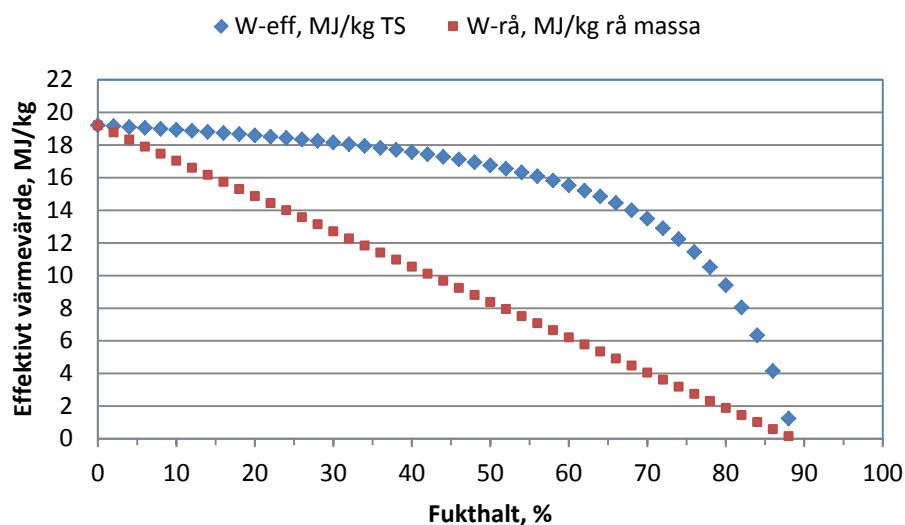
=  $16,2 \cdot 45/100 = 7,3$  MJ/kg rå massa

**Tabell 2.** Data för vanliga bibränslen. Angivna värden är riktvärden och mycket stora variationer kan förekomma. Källdata: Bioenergihandboken ([www.novator.se/bioenergy/facts/fuelinvest.pdf](http://www.novator.se/bioenergy/facts/fuelinvest.pdf))

	Effektivt värmevärde MJ/kgTS	Effektivt värmevärde MJ/kg rå massa	Fukthalt %	Askhalt %	Svavel %	Klor %	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Askans smälttemperatur °C
Grot	19,2	9,5	45	1,5	0,05	-	165	1 100
Torrflis	19,2	16,6	12	0,8	0,02	-	-	1 200
Barkflis	19,2	7,3	55	3	0,05	-	-	1 200
Salixflis	18,3	7,9	50	1	0,02	-	-	1 200
Frästörv	21,5	9,5	50	- <sup>a</sup>	0,24	-	250	1 100
Stycketörv	21,5	12	40	- <sup>a</sup>	0,24	0,05	310	1 100
Pellet	19,2	16,8	11	1,5	0,04	-	650	1 200
Briketter	19,2	16,8	11	1,5	0,04	-	600	1 200
Träpulver	19,2	17,7	7	1	0,04	-	240	1 200
Brännved	19,2	13,8	25	1	0,03	-	330	1 200
Halm	17,4	14,4	15	7	0,15	0,5	- <sup>b</sup>	930
Rörflen (vår)	17,2	14,3	14	6	0,1	0,05	- <sup>b</sup>	1 460
Rörflen (sommar)	17,2	14,3	15	7	0,17	0,6	- <sup>b</sup>	1 080
Spannmål (vete)	17,2	15	11	2,1	0,13	0,08	800	660

a. Vitmosstörv ca 2%, Starrtörv 4-6%; b. Fyrkantbal 130-180 kg/m<sup>3</sup>, Rundbal 90-130 kg/m<sup>3</sup>





**Figur 9.** Beräknat effektivt värmevärde för fuktigt träbränsle ( $W_{\text{eff}}$ ) enligt ekv. (1) ovan då det effektiva värmevärdet för torrt material är 19,2 MJ/kg TS.

I Tabell 3 presenteras värmevärden beräknade per volymenhet ( $\text{m}^3\text{s}$  – stjälpått) och viktsenhet (ton massa). Av tabellen framgår att det är mycket stora skillnader mellan värmevärdet för olika träbränslen både per volymenhet räknat och per viktsenhet räknat.

**Tabell 3.** Densitet och värmevärde för några träbränslen. Källdata: Ringman (1995)

Bränsle	VMR-kod*	Fukthalt, %	Torr-rådensitet $\text{kg TS/m}^3\text{f}$	Rå bulk-densitet $\text{kg/m}^3\text{s}$	Värmevärde		
					$\text{MJ/kg rå massa}$	$\text{kWh/ton rå massa}$	$\text{kWh/m}^3\text{s}$
Sågverksflis, rå barrved	70	54 (51–59)	410–450	300	6,8	1900	550
Sågverksflis, torr barrved	84	23 (18–23)	410–450	200	14,8	4100	780
Sågspån	80	57 (35–64)	400–420	350	6,8	1900	650
Kutterspån	82	12 (10–40)	ca 400	110	16,2	4500	430
Bark från barrved	85	55 (50–60)	300–340	400	5,6	1550	600
Avverkningsrester, flisade	6403	45 (40–49)	300–610	320	9,4	2600	850
Avverkningsrester, krossade	6404	45 (39–46)	300–610	340	9,0	2500	850
Ekflis	-	18 (15–20)	500–625	340	-	-	ca 1000
Pellettar	69	8 (7–8)	ca 1 200	700	16,2	4500	2600
Briketter	68	12 (12–15)	ca 1 200	600	15,5	4300	2600
Träpulver	67	5 (3–5)	-	280	17,6	4900	1200
Energiskog	60	50 (48–55)	380–400	330	8,3	2300	700

\* Virkesmättningsrådets kod för klassificering av träbränslesortiment

DET ÄR MYCKET STORA SKILLNADER MELLAN VÄRMEVÄRDET FÖR OLIKA  
TYPER AV FLIS BÅDE PER VOLYMHET RÄKNAT OCH PER VIKTSENHET RÄKNAT (VÄRDEN ENLIGT TABELL 3)

1 ton  
rå massa

- Sågverksflis, rå barrved: 1900 kWh
- Sågverksflis, torr barrved: 4100 kWh
- Avverkningsrester, flisade: 2600 kWh

1 m<sup>3</sup>  
stjälpt mått

- Sågverksflis, rå barrved: 550 kWh
- Sågverksflis, torr barrved: 780 kWh
- Avverkningsrester, flisade: 850 kWh

### Värmevärde för olika trädslag

Generellt sett har stamved från barrträd högre värmevärde än stamved från lövträd då lignin-innehållet är större och för torrt material anger Lehtikangas (1999) följande värmevärden för helträdsflis: Tall – 19,6 MJ/kgTS, Gran – 19,2 MJ/kgTS, Björk 19,0 MJ/kgTS. Barrträd har m.a.o. högre värmevärde per kg räknat. Dock är densiteten oftast högre för lövträd och räknat per volymenhet (m<sup>3</sup>f) blir då värmevärdet ofta högre för lövträd.

Då det gäller trädbränslen, flisat material och olika fukthalter kan skrymdensiteten (kg/m<sup>3</sup>s) variera avsevärt. Detta innebär förstås svårigheter att uppskatta hur mycket värme man kan erhålla från en viss volym av t.ex. flis.

Genom att väga trädbränslet och ta reda på fukthalten (t.ex. att torka ett representativt prov) kan man på ett bra sätt bedöma hur mycket värme man kan få ut. Beräkningar och bedömning kan göras med hjälp av ovanstående ekvationer, figurer och tabeller.

### **Stråbränslen**

De stråbränslen som används är huvudsakligen *halm* och *rörflen*. Överslagsmässigt motsvarar 3,5 kg halm 1 liter olja, dvs. för att ersätta 30 m<sup>3</sup> olja går det åt ungefär ca 100 ton halm. På gårdsnivå används vanligtvis antingen pannor där hela balar eldas satsvis eller automatiskt matade pannor som eldas med riven halm. Satsvis eldade pannor installeras ofta tillsammans med en ackumulatortank som gör att värmeinnehållet i bränslet utnyttjas bättre. Ofta byggs anläggningen som en fristående byggnad – det minskar risken för bränder. Halm är svårare att elda än träbränslen och föroreningar ställer till problem vid hantering, beredning och eldning. Hög halt av klor och kalium ställer till problem vid eldning. Aska från halm har en asksmältpunkt som är ca 930 °C och sintrar mycket lättare än aska från träbränslen som har högre asksmältpunkt.

### **Fjärr-, när- och spillvärme/restvärme**

I produktionen av fjärrvärme används ofta bibränsle såsom exempelvis avfall av trä, rester från skogen, t.ex. grenar och toppar. I systemen utnyttjas också restvärme från industrier, värme från avfallsförbränning och från kraftvärmeverk. Då det utnyttjade materialet till stor del är av organiskt ursprung kan fjärrvärmens sägas vara en delvis förnybar energikälla.

### **Solenergi-solceller**

Solenergi kan med hjälp av solfångare utnyttjas för värma tappvarmvatten och vatten i värmesystemet. På senare år är det främst elproduktion med hjälp av solceller (solpaneler) som är av intresse då lönsamheten för dessa system kraftigt förbättrats. Att utnyttja solstrålningen och solceller är ett mycket miljövänligt sätt att producera el på. Solinstrålningen i Sverige är ca 1000 kWh/(m<sup>2</sup>·år) vilket är ungefär lika mycket som i Tyskland där det finns många solcellsanläggningar.

Den vanligaste typen av solceller som i dag säljs på marknaden är kristallina solceller och dessa har ofta en verkningsgrad på 15-17%, medan de på marknaden förekommande tunnfilmssolcellerna oftast har en verkningsgrad på upp till ca 14% (Nimmermark, 2014). Solceller som monteras ovanpå ett befintligt tak och ansluts till elnätet är den vanligaste utformningen av solcellsanläggningar också i den gröna näringen. Speciella solcellsmoduler kan också användas till mer än att bara producera el. Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar kan t.ex. ersätta det befintliga takets funktion som väderskydd och solcellsmoduler kan också utnyttjas för t.ex. skuggning.

Solcellsanläggningar med solföljare monterade på stativ som riktar in solpanelen optimalt mot solen under varje tidpunkt och detta kan också vara intressanta i vissa fall. För dessa blir elproduktionen per ytenhet räknat något bättre än för fast monterade solpaneler.

Nätanslutna solcellsanläggningar är den intressantaste och vanligaste tillämpningen. Elen som produceras av solcellerna kan då användas på företagets alla förbrukningsställen och el kan säljas och köpas efter behov.

Livslängden på solceller är lång. Det anges i litteraturen att solceller håller i över 20 år och att tillverkare brukar ge 25 års garanti (Energimyndigheten, 2005). Verkningsgraden sjunker om någon cell i en seriekopplad slinga slutar fungera. I sådana fall kan trasiga celler bytas ut och den ursprungliga verkningsgraden återställas. I lantbrukssammanhang kan luftföroreningar såsom ammoniak orsaka skador på solcellsanläggningen.

Även växthusanläggningar kan förses med solpaneler och forskning avseende avancerade koncentrerande solcellsanläggningar (Sonneveld et al., 2010) för växthus görs i Nederländerna.

I växthusanläggningar finns takytor på t.ex. lager och förbindelsegångar och oftast också ytor vid sidan om växthusen som kan förses med solceller för produktion av el. Möjligen kan det också i vissa fall vara intressant att installera solceller direkt på växthustak eller att med annan teknik använda sig av solinstrålning mot växthuset för produktion av el i solceller.

I Italien där solinstrålningen är högre har det gjorts försök där solceller placerats på och integrerats med växthustak (växthusglas) och man har studerat effekterna på några olika grödor (Minuto, Bruzzone, Tinivella, Delfino, & Minuto, 2009). I studien installerades semitransparenta solceller på växthustak i ett integrerat system.

### **Vindkraft**

I det fall då möjligheter finns för byggande av vindkraft kan detta vara intressant för elproduktion, mycket beroende på ifall medelvinden är hög. Vindens effekt ökar med vindhastigheten i kubik ( $v^3$ ) vilket innebär betydligt bättre lönsamhet ifall medelvinden är hög. Då vindhastigheten ökar med höjden över mark blir förhållandena betydligt bättre för stora höga vindkraftverk jämfört med låga gårdsverk. I det fall man kan hitta bra begagnade gårdsverk till en rimlig kostnad kan investeringskalkylen förbättras.

### **Vattenkraft**

Även småskalig vattenkraft kan i vissa fall vara en intressant möjlighet för elproduktion.

Fördelar med vattenkraft är enligt branschen:

- Lokal, nära användaren
- Förnybar energi utan utsläpp
- Beprövad teknik
- Lokala arbetstillfällen
- El då efterfrågan är som störst
- Minskar behov av fossila bränslen
- Levandegör historiska kulturmiljöer
- Motiverar och möjliggör dammsäkerheten
- Dämpar höga vattenflöden
- Lång livslängd och trygg energiförsörjning
- Bidrar till regionala mål och näringsverksamhet i glesbygd
- Bidrar till teknikutveckling

### *Värmepumpar*

Ett annat alternativ för utnyttjande av förnybar energi är värmepumpar. Värmepumparna kan utnyttjas i system där energin hämtas från luften (luft/luft, luft/vatten), från grundvatten, från sjövattnen etc. eller i system med bergvärme eller jordvärme etc. Beroende på värmekällans temperatur och temperaturen som avges till värmesystemet blir värmefaktorn, COP (förhållandet mellan avgiven och tillförd energi), olika bra. Bäst värmefaktor erhålls om temperaturskillnaden mellan värmesystemets och värmekällans temperatur är låg. Detta innebär att en luftvärmepump har betydligt högre COP sommartid jämfört med vintertid. Då det är  $-10^{\circ}\text{C}$  utomhus får man från en luftvärmepump ofta inte ut mycket mer värme än det som motsvaras av vad man tillför som drivenergi.

### *Biogas och kraftvärme*

Biogas från nedbrytning av gödsel och organiskt material kan utnyttjas dels för förbränning, men också i system med kraftvärme för framställning av både el och värme.

# VÄRMECENTRALEN OCH DESS KOMPONENTER

Jonas Möller Nielsen, Cascada AB

## VÄRMESYSTEMETS KOMPONENTER

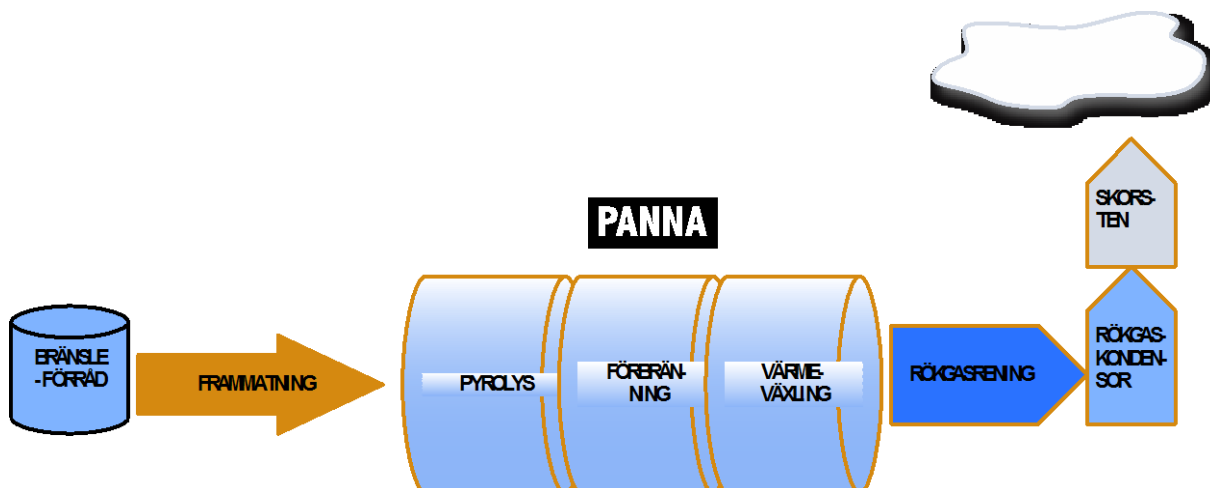
### *Panna och brännkammare (stoker/förugn)*

Pannans uppgift är att producera värme. Värmen kan antingen levereras till vatten eller till luft. Då värmen avges till vatten kan värmen sedan avges i värmerör i växthuset, eller till luft via en fläktkonvektor (en värmeväxlare som överför värme från vattnet till luft).

Pannan kan producera värme på olika sätt, genom förbränning av bränslen eller via elektricitet. Framöver kommer vi bara att behandla förbränningspannor.

Den värmeproducerande anläggningen består i sitt grundutförande av följande komponenter:

1. Brännare eller förugn - här blandas luft och bränsle och en förgasning och viss förbränning sker.
2. Panna - där den slutliga förbränningen av gaserna från brännaren/förugnen, äger rum.
3. Värmeväxlare - där rökgaserna, efter fullständig förbränning, avger sin värme till vatten eller luft.
4. Reningsutrustning – där främst partiklar sorteras från rökgaserna.
5. Skorsten - där rökgaserna lämnar anläggningen. Oftast ligger rökgastemperaturen runt 100-200 °C i en normal panna.



Figur 10. Schematisk översikt över ett fastbränslesystems uppbyggnad.

Beroende på typen av bränsle kan det behövas ytterligare komponenter. Den momentana verkningsgraden på en modern panna ligger ofta mellan 85-95%, beroende på bränsle. Det är viktigt att inte blanda ihop den momentana verkningsgraden med årspannverkningsgraden,

som är betydligt lägre, bara 60 - 85%. Det beror på att pannan alltid förlorar lite värme genom väggarna, genom otäta tilluftsspjäll på brännaren och genom att den står och varmhåller under soliga dagar då det inte behövs någon värme. Start och stopp av pannan resulterar i stora förluster.

För att minska förlusterna ska man tänka på:

- att pannrummet alltid är isolerat för att minska värmeförlusterna och säkerställa att förbränningsluften är varm
- att alla rör i pannrummet är isolerade, så att inte värme avges i onödan där den inte behövs
- att tilluftspjället på brännaren sluter tätt när brännaren är avstängd.

Dessutom kan man, för att ytterligare minska förlusterna, komplettera värmeanläggningen, t.ex. med installation av en buffert-/ackumulatortank (se nedan) eller en rökgaskylare mellan pannan och skorstenen.

### Pyrolyszon

I pyrolyszonen sker förgasningen av träbränslet. Bränslet ligger på ett *roster*. Temperaturen här är något lägre än i förbränningszonen för att förhindra en för snabb förgasning och för att förhindra att för mycket av gaserna förbränns. Det material som inte kan förgasas består till största delen av kol, som förbränns här, resten är *aska*, som faller ner genom rostret där det samlas upp för uraskning och bortförsl. För att kolförbränningen skall kunna ske, måste syre tillföras i form av luft. Luft som tillförs i det här stadiet kallas för *primärluft*.

### Roster

Det finns olika typer av roster, där de vanligaste är gallerroster och trappstegsroster. Gallerroster används främst i små pannor, t.ex. villapannor eller pannor för mindre industrihus, t.ex. flerbostadshus och mindre industrier. Trappstegsroster är som en svagt sluttande trappa där trappstegen rör sig med jämna mellanrum så att bränslet transporteras från toppen ner mot botten. I trappstegen finns det hål för tillförsel av primärluft. I toppen är bränslet oförbränt och längst ner är det bara aska kvar som matas ner i en askbehållare.

Fördelen med trappstegsrostret är flera, bl.a. klarar det av fuktigare bränsle, då det kan torka i toppen av trappan innan förgasningen sker och skulle det komma in stora partiklar, t.ex. stenar som inte brinner, sätter de inte igen



**Figur 11.** Trappstegsroster uttaget ur pannan. Bränslet kommer in högst upp och matas successivt neråt genom att trappstegen rör sig. Längst ner finns bara aska kvar som faller ner i askbehållaren. I trappstegen syns hålen för tillförsel av primärluft.

rostret utan slås sönder och transporteras ner till askbehållaren och matas ut. Ett trappstegsroster är nästan alltid ett måste om man skall elda kross eller flis med framgång.

### Förbränningszon

De heta pyrolysgaserna kommer från pyrolyszonen till förbränningszonen. Förbränningszonens storlek är anpassad efter hur mycket gaser som det använda bränslet skapar. Det innebär att ett bränsle som avger lite pyrolysgaser såsom t.ex. pellets och kol kräver en mindre förbränningszon än ved eller flis. I förbränningszonen är temperaturen högre än i pyrolyszonen, idealt för trädbränsle är 850 – 900 °C. För att klara av att hålla den högre temperaturen är väggarna i den här delen normalt klädda med *keramik*. Keramiken fungerar som ett isoleringsmaterial mot pannans stålväggar och skyddar även stålet mot de aggressiva gaserna som

innehåller svavel- och kväveoxider, som annars fräter på stålet.

#### FAKTARUTA - förbränning

**Primärluften** syresätter pyrolysen och kolförbränningen, då kolet inte kan för-gasas utan måste förbrännas. Summan av primär- och sekundärluft skall alltid vara 100 %.

**Aska** = ej brännbart material

**Roster** = galler eller annan struktur som bränslet ligger på

**Keramik** höjer och jämnar ut förbrän-ningstemperaturen och skyddar för-bränningskammarens väggar. Keramik kan vara antingen hydrofob eller hygro-fil.

**Sekundärluften** syresätter förbrän-ningen av pyrolysgaserna.

Förutom rätt temperatur måste tillräckligt med syre tillföras processen i form av luft. Luften som tillförs i det här stadiet benämns *sekundär-luft*. För mycket luft resulterar i att temperaturen sjunker och förbränningen blir då ofullständig med bl.a. tjärbildning som följd, och att halten PAH stiger. För lite luft ger en ofullständig för-bränning, vilket ökar bränsleförbrukningen för samma mängd nyttig värmeenergi. Detta märks på ökad CO-halt i rökgaserna. För lite luft kan även resultera i för hög temperatur, som ger upphov till NOx i rökgaserna.

#### *Keramik*

Keramiken i brännkammaren jämnar ut tempe-raturen så att det blir en jämnare och mer kon-trollerad förbränningsprocess. Samtidigt skyd-dar keramiken stålet i pannans stålkonstruktion mot frätande syror och temperaturspänningar.

Keramiken kan göras i olika kvalitéer, en som är hydrofil (suger åt sig vatten) och en som är hyd-

rofob (suger ej vatten). Hydrofil keramik är vanligast och har nackdelen att den suger vatten ur luften när pannan svalnar. Vid tändning måste därför keramiken torkas ut innan full effekt och temperatur kan uppnås i pannan. I annat fall kommer keramiken att spricka när vattnet förångas inne i keramiken. I moderna pannor styrs hela uppstarten automatiskt av styrsystem, men i äldre system måste användaren sköta detta vilket är både arbets- och tidskrävande. Modernare keramik är hydrofob och behöver inte torka ut när pannan har varit kall. Uppstarten går därför fortare och keramiken håller längre.



## Värmeväxlingszon

En **värmeväxlare** tar hand om rökgasernas värme. De fullständigt förbrända rökgaserna kommer till *värmeväxlaren* i pannan, där värmeenergin tas om hand och förs över till det värmebärande mediet, normalt vatten eller luft. Eftersom värmeväxlarens uppgift är en så effektiv värmeöverföring som möjligt är den konstruerad i ett material som inte är speciellt motståndskraftigt mot syror m.m. Därför måste all förbränning ha skett före det här steget! Om man eldar ett bränsle som pannan inte är konstruerad för, finns det risk att förbränningszonen är för liten, vilket resulterar i att förbränningen kommer att fortsätta i värmeväxlaren. Detta förkortar pannans livslängd. Även bränslen som dammar mycket, t.ex. torv, kan orsaka förbränning sent i pannan p.g.a. av dammet dras med luften och inte hinner förbrännas i tid.

I värmeväxlaren kyls rökgaserna från ca 1 000 °C till ca 100-200 °C. Anledningen till att de inte kyls ytterligare är att vattenångan då kondenserar ut och bildar frätande syror, vilket skulle skada värmeväxlaren.

## Stoftavskiljning

På mindre värmeanläggningar är *stoftet* det svåraste utsläppet att få bukt med. Inte på grund av att det inte finns teknik tillgänglig, utan på grund av de ekonomiska förhållandena. Beträffande kväveoxider och kolmonoxid nås acceptabla värden med modern förbränningsteknik med bra kontroll på förbränningstemperatur, kolmonoxidhalt och rökgastemperatur. De reningstekniker för stoft, som i första hand är aktuella är:

- multicyklon,
- elektrofilter,
- textila spärrfilter (slangfilter),
- rökgaskondensering.

## Multicyklonrening - alltid

Stoftavskiljning med *multicyklon* är en enkel utrustning i form av flera parallellkopplade cykloner. I varje cyklon skapas en virvel av rökgaserna, vilken genom en centrifugeffekt separerar partiklarna från rökgaserna. Hela processen sker utan rörliga delar och kräver normalt inget underhåll mer än att behållaren under cyklonen, där stoftet samlas, skall tömmas med jämna mellanrum.

## FAKTARUTA - reningsteknik

**Stoftet** är mycket små partiklar i rökgaserna, och är det svåraste utsläppet att komma till rätta med.

**Multicyklonen** är dålig på att rena partiklar  $< 5 \mu\text{m}$  och tungmetaller. Utsläppsnivåerna ligger i intervallet  $50 - 100 \text{ mg/m}^3$ . En multicyklon installeras alltid som standard på moderna pannanläggningar.

**Elektrofilter** är mycket effektivt och utsläppsnivåerna är i intervallet  $0,1 - 20 \text{ mg/m}^3$ . Reningsgraden är mycket hög även för små partiklar. Normala utsläppsnivåer efter ett elektrofilter ligger runt  $0,1 - 20 \text{ mg/m}^3$ . Används enbart vid högre krav på reningen än vad som klaras med en multicyklon.

**Textila filter** är effektiva. Avskiljningen är stor för de flesta partiklarna och utsläppsnivåerna ligger oftast inom intervallet  $< 1 - 10 \text{ mg/m}^3$ .

**BRANDRISK!** Textilfilter skall helst undvikas och bara användas då inga andra alternativ finns.

**Rökgaskylaren och rökgaskondensorn** kyler rökgaserna ytterligare och ökar värmeutbytet med  $10 - 15 \%$  och renar även röken från stoft. Används vid anläggningar på  $10 \text{ MW}$  eller mer och med fuktigare bränslen.

En multicyklonrenare är bra på partiklar  $> 5 \mu\text{m}$ . Mindre partiklar följer med ut genom cyklonen vilket innebär att en multicyklon är dålig på rening av tungmetaller eftersom dessa företrädesvis fäster vid partiklar mindre än  $10 \mu\text{m}$ . Utsläppsnivåerna efter en multicyklon ligger i intervallet  $50 - 100 \text{ mg/m}^3$ . Det innebär att multicyklonrening i de flesta fall räcker som reningsåtgärd.

### Elektrofilter – vid höga krav

Ett *elektrofilter* består av ett antal strömsatta stålspiraler som ger stoftet i röken en negativ laddning. Partiklarna kommer då att i nästa steg i filtret fastna på positivt laddade utfällningsplåtar. Plåtarna rensas automatiskt med hjälp av slagverk. Partiklarna faller ner och transporteras till en behållare. För att minska slitage och dimension på elektrofilter monteras normalt en cyklon före filtret.

### Textila spärrfilter (slangfilter) – används helst inte

De *textila filtren* fungerar ungefär som ett filter, d.v.s. att rökgaserna filtreras genom textilfilter. En nackdel med spärrfilter är risken för brand i filtermaterialet. En multicyklon monteras normalt före textiltfiltret för att minska brandrisken och för att minska dimensionen på det textila filtret.

### Rökgaskylare och rökgaskondensor – för mycket stora anläggningar $> 10 \text{ MW}$

Ett sätt att öka verkningsgraden i värmesystemet, är att installera en rökgaskylare. Tekniken kan variera mycket mellan olika modeller, men principen är densamma. De varma rökgaserna, ofta runt  $100-200 \text{ }^\circ\text{C}$  varma kyls ytterligare innan de släpps ut genom skorstenen. De bästa rökgaskylarna kyler rökgaserna ner till omkring  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Alla typer av pannor - olja, gas och fastbränsle - kan förses med rökgaskylare, men det är oftast orimligt dyrt för fastbränslepannor under  $10 \text{ MW}$ .

Vid en stor kylning sker en kondensering och utrustningen kallas då *rökgaskondensor*. Rökgaskylaren är konstruerad i material som på ett bra sätt står emot de aggressiva ämnen som

kondenserar ut ur rökgaserna. På så sätt kan rökgaskylaren kyla rökgaserna utan att skadas. I en anläggning med rökgaskylare kan normalt mellan 10 och 15 % mer energi utvinnas ur bränslet jämfört med en anläggning utan rökgaskylare. Detta gör att hela förbränningsdelen kan göras mindre från början. För att minska slitage och underhåll monteras alltid en cyklon före rökgaskylaren.

Förutom att öka verkningsgraden i anläggningen, minskar rökgaskylarna utsläppen av bl.a. stoft och svavel. En rökgaskondensator avskiljer mellan 50 och 75% av stoftet. Om en multi-cyklon används som föravskiljare kommer man då ner i utsläppsnivåer under 50 mg/m<sup>3</sup>.

### **Skorsten**

Efter panna och eventuell rökgaskylare, förs rökgaserna till *skorstenen*. Skorstenens uppgifter är att:

- skapa drag i pannan så att primärluft och sekundärluft sugas in och genom de olika zonerna: pyrolys, förbränning och värmeväxling. Nu för tiden styrs lufttillförseln mer exakt med hjälp av fläktar och dessa är anpassade till att skorstenen orsakar ett visst sug i systemet,
- släppa ut rökgaserna på ett säkert sätt, så att eventuellt sot och glödande partiklar inte orsakar skada när de släpps ut.

### **Askutmatning och askhantering**

Askan består av ämnen som inte kan brinna och askhalten varierar därför med bränslet. Pellets av god kvalitet har t.ex. 0,5 % aska, medan flis med mycket bark har betydligt mer aska. Biogas har å andra sidan ingen aska alls. I små pannor upp till omkring 100 kW har man ofta manuell uraskning, vilket innebär att askan faller ner i en askbehållare som pannskötaren får ta ut och tömma med jämna mellanrum. Vet man askinnehållet i sitt bränsle kan man räkna ut när det är dags att tömma askbehållaren beroende på hur mycket bränsle som gått åt.

I större pannor har man normalt automatisk askutmatning av något slag, oftast en skruv som skruvar ut askan i en askbehållare som står utanför pannan. I mindre anläggningar står askbehållaren jämte panna och kan ha formen som en vanlig soptunna. Den är tillverkad i stål för att inte brinna. Då askan i större anläggningar matas askan ut till en askbehållare utanför pannrummet kan den enkelt hämtas med bil. Beroende på vem som skall hämta askan kan denna behållare vara av olika utförande beroende på om askan hämtas våt eller torr, sugas eller matas ut i bilen. Hur askbehållaren skall vara utformad bör man undersöka med den som skall hämta askan. Askbehållare skall alltid vara i brandsäkert utförande, t.ex. plåt eller betong.



**Figur 12.** Utvändigt askbehållare för enkel tömning i lastbil. Från värmecentral i Österrike.



**Figur 13.** Askutmatning med skruv från större flispanna i Österrike. Askan matas ut till behållare på utsidan.

### ***Tilluft och ventilation***

Både för en korrekt förbränning och funktion hos pannan och av personsäkerhetsskäl, måste det komma in tillräckligt med luft i pannrummet. Dels krävs det en grundventilation som i alla byggnader som aldrig får vara tillstängd, men utöver det måste det finnas lufttillförsel till förbränningen. Luftinsläppets diameter får aldrig vara mindre än skorstensareans diameter, men normalt skall det vara större än så. Förutom att rätt mängd luft skall kunna tillföras, får luftinsläppet inte bromsa draget i skorstenen med för stort motstånd. Hör med pannleverantören hur stor tilluftsarea som krävs för aktuell panna och aktuellt bränsle. Tänk på att vid byte från olja eller naturgas till fastbränsle, måste luftinsläppet vara större eftersom fastbränsle kräver mer luft än olja och naturgas.

Tilluften kan komma från en ventil i ytterväggen, som är konstant öppen eller som öppnar vid behov. Hör med den lokala sotarenmästaren vilka krav som ställs på tilluftens utformning. Ett alternativ är en jalousislutare, som öppnar beroende på undertrycket i pannrummet och som stänger när förbränningen inte längre behöver någon tilluft. Ett annat alternativ är att installera ett motordrivet jalousi som öppnar med hjälp av ett ställdon så snart pannan får startsignal. Kontrollera med sotaren och försäkringsbolaget vilka krav de ställer.

## Isolering

Pannrummet skall isoleras precis som andra uppvärmda byggnader eftersom verkningsgraden blir bättre med varmare förbränningsluft. Bland annat därför är det bra med ett så varmt pannrum som möjligt så att förbränningsluften inte är onödigt kall. Pannrummet skall vara välisolerat och så tätt som möjligt, men ha tillräckliga ventilationsöppningar. Ett varmt pannrum minskar värmeförlusterna från panna och rör.

Rören i pannrummet skall isoleras för att undvika energiförluster och även skorstenen skall isoleras från panna till yttervägg/-tak. Att skorstenen skall isoleras beror på att moderna pannor har så låg rökgastemperatur att ytterligare kylning kan resultera i dåligt drag och kondens i skorstenen, med bl.a. rost som följd.

## Bufferttank

I vissa typer av värmesystem är en buffert-/ackumulatortank nästan nödvändig. Det gäller t.ex. fastbränsleeldade pannor, anläggningar med värmepumpar och solvärmesystem, men även anläggningar med pannor som eldas med olja eller gas kan vinna på en bufferttank. Den största vinsten ligger i att pannans effekt kan minskas kraftigt. Vid gaseldning, t.ex. med biogas, kan man koldioxidgödsla på dagen samtidigt som värmen sparas i tanken för användning under natten. Man utnyttjar då koldioxiden, istället för att bara släppa ut den på natten och pannans effekt kan minskas, vilket är bra ur investeringssynpunkt.



**Figur 14.** Bufferttank hos ett prydnadsväxtföretag med värmepump kopplad till ytjordvärme.

Om man inte skall odla under vintern bör man avskilja buffert-/ackumulatortanken från det övriga värmesystemet med hjälp av en värmeväxlare. Då kan man fylla resten av värmesystemet med propylenglykol så att det kan klara frost. Pannan i ett sådant system är fortfarande i drift under vintern för att hålla tanken frostfri.

En liggande bufferttank har normalt sin högsta punkt lägre än resten av värmesystemet, vilket gör att tanken är ett slutet tryckkärl och därmed måste besiktigas regelbundet. En stående tank, som är öppen upptill och där den högsta vattenpunkten befinner sig högre än det övriga värmesystemet, behöver inte besiktigas lika ofta. Detta gör att en stående tank i de flesta fall är att föredra.

Fördelar med användning av en bufferttank:

- minskar pannans effektbehov,
- ger jämnare drift,
- minskar bränsleförbrukningen,
- ger jämnare klimat i växthusen
- minskar utsläppen av miljöfarliga ämnen till luften.

### *Isolering*

Isoleringen av tanken bör vara 40 cm tjock och skyddas mot fukt eller vara vattenavvisande. Under tanken lägger man lämpligen en kombination med 10 cm mineralull närmast tanken och 10 cm cellplast närmast marken. Cellplasten kan vara av sådan typ som används för grundläggning av hus, eftersom den inte suger fukt och klarar tyngder bra. Cellplast tål inte så höga temperaturer och skall därför inte användas på sidor och toppen av tanken. Där skall man istället använda mineralull.

### *Liggande eller stående tank*

En stående tank är alltid att föredra eftersom man får bättre skiktning i tanken, alltså större skillnad mellan temperaturen i botten och toppen. Ju större temperaturskillnad desto större nytta har man av tanken. En stående tank blir oftast den högsta punkten i systemet och tanken kan då vara öppen och fungera som expansionskärl om man vill. Med liggande tankar måste systemet alltid vara slutet och kräver då ett tryckkärl. Hör med räddningstjänsten och försäkringsbolaget vad som gäller för den aktuella verksamheten.

*Bufferttankens* (ackumulatortankens) uppgift är att jämna ut skillnaderna mellan effektbehov och effektproduktion i systemet. Stora skillnader i hur mycket energi som efterfrågas och produceras ger ofta upphov till otillfredsställande temperaturreglering och ryckig drift med ökad bränsleförbrukning och onödigt höga utsläpp av miljöskadliga ämnen som följd. Behovet av en buffert kan enklast beskrivas med följande exempel.

### *Exempel 1 – Bufferten ger jämnare drift och bättre klimatreglering:*

*En fastbränslepanna är långsam i sin reaktion, eftersom det tar en viss tid för bränslet som matats in i pannan att brinna upp. Växthuset däremot är mycket snabbt i sin reaktion på förändrat uteklimat. Det innebär att växthusets effektbehov kan ändras inom loppet av 5 – 15 minuter, medan pannans effekt tar betydligt längre tid att ställa om. Under en solig vardag när det är kallt ute, behöver växthuset normalt sett ingen värme – solen levererar mer värme än vad växthuset behöver. Ett moln går för solen och värmeinstrålningen upphör. På grund av den kalla luften ute, kommer växthuset snabbt att kylas ner och kallar därför på värme. Men fastbränslepannan har varit avstängd och det tar därför tid för nytt bränsle att generera värmeenergi snabbt. När värme pannan väl kommit igång, har molnet passerat solen, som nu ånyo levererar värmeenergi i överskott till växthuset. Pannan producerar nu värmeenergi i onödan och kan inte stängas av förrän bränslet brunnit upp.*

### FAKTARUTA – dimensionering av bufferttank

Buffert-/ackumulatortanken ska dimensioneras så att pannan kan fylla tanken under de timmar på dygnet då värme normalt sett inte behövs i växthuset, d.v.s. maximalt tolv timmar under dagen. Om pannan då har en effekt på 100 kW innebär det att tanken skall kunna ta om hand 1200 kWh. Vid 70 °C har vattnet ett energiinnehåll på 1,14 kWh/(°C · m<sup>3</sup>). Om tankens maximala temperatur är 80 °C (55 °C vid värmepumpsdrift) och dess lägsta temperatur blir 35 °C får vi en temperaturskillnad på 80 - 35 = 45 °C. Det ger att varje kubikmeter vatten i tanken kan hålla 45 · 1,14 = 51,3 kWh. Tanken behöver då ha en volym på 1200/51,3 = 23 m<sup>3</sup>.

Beräkning av volymen i en bufferttank. För enkelhetens skull räknas vattnets energiinnehåll vid 70 °C, eftersom detta är en bra genomsnittlig temperatur för växthussammanhang.

Ekvation 3. Ekvationen för beräkning av bufferttankens volym.

$$V_{buffert} = \frac{P}{1,138 \cdot (t_{full} - t_{tom})}$$

där

$V_{buffert}$  = bufferttankens volym (m<sup>3</sup>)

$P$  = pannans värmeeffekt (kW)

$t_{full}$  = vattnets temperatur när tanken är full (°C)

$t_{tom}$  = vattnets temperatur när tanken är tom (°C)

Det är billigare att bygga en bufferttank än att dimensionera upp pannan.

#### Exempel 2 – Bufferten minskar storleken på pannan:

*Under soliga dagar behöver fastbränslepannan inte leverera någon värme till växthuset. Utan bufferttank skulle pannan då stå stilla dagtid. Genom att istället låta pannan gå 24 h per dygn och dagtid lagra värme i en bufferttank får pannan en jämnare belastning och drift. När växthuset sedan ökar sin efterfrågan på värme, kan denna levereras från bufferttanken och*

från pannan. Det innebär att vid stora effektbehov, behov som är större än vad värmepannan kan leverera, kommer bufferttanken att gå in och stötta. Oftast är växthusets toppbehov av värme kortvariga perioder på t.ex. morgonen då vävarna (som sänker energibehovet nattetid), öppnas för att släppa in solen. På så vis kan den installerade panneffekten minskas. 1 kW installerad panneffekt kan kosta mellan 3 000 och 5 000 kr/kW (2014) vilket kan jämföras med bufferttankens kostnad på ca 2 000 kr/kW. Det är alltså billigare att installera en bufferttank än att dimensionera upp pannan.

### Energimätning

Att mäta är inte alltid samma som att veta, men det ger en förutsättning för kontroll och därför bör alla panninstallationer förses med energimätare. Energimätare är idag så billiga att det inte finns någon anledning ens för små anläggningar att inte investera i en energimätare. Energimätaren ger värdefull information om hur mycket energi som går åt och kan även hjälpa till att ta fram systemverkningsgraden, vilket innebär att man kan få veta om systemet fungerar optimalt. Utrustningen för energimätning kan bestå av en flödesgivare, en temperaturgivare på framledningen och en temperaturgivare på returledningen, samt en mät dator som räknar ut energiåtgången. Enklare mätare mäter bara energiåtgången sedan den nollställdes, men mer avancerade mätare kan logga värden så att man kan följa energiåtgången över tiden.

## KULVERTSYSTEMET

**Kulverten** leder ut värmevatten från värmecentralen till de olika byggnaderna. I en värmeanläggning med en centralt belägen pannanläggning krävs det ett distributionssystem för värmen från värmecentralen till byggnaderna. Normalt distribueras värmen med hjälp av värmevatten i ett nedgrävt ledningsnät, så kallade *kulvertar*. Vissa sträckor kan ibland förläggas ovan mark av praktiska skäl.

### Kulvertrör

En kulvert består av ett framledningsrör där det varma vattnet flödar från panncentralen till byggnaderna och ett returledningsrör där det avkylda vattnet återvänder från byggnaderna till panncentralen för att värmas upp på nytt. Kulvertrör köps normalt i längder som är färdigisolerade. I mindre anläggningar kan man köpa kulvertrör på rulle vilket minskar behovet av svetsning, men dessa är något dyrare. Större dimensioner är tillverkade i stål och köps i färdiga längder, vinklar m.m. som svetsas ihop på plats.



### *Cirkulationspump och shunt*

Även om det inte är nödvändigt, så rekommenderas det ändå att huvudmatningen förses med en egen shunt (med blandnings- eller fördelningsventil), en s.k. *huvudshunt*. Huvudshuntens

#### **FAKTARUTA - huvudshunt**

Huvudshuntens sparar energi genom att anpassa vattentemperaturen i kulverten till byggnadernas behov just nu. Temperaturen på vattnet i en fastbränsleanläggning är minimum 65 °C. I ett system med väl fungerande bufferttank är temperaturen kanske mellan 80 och 95 °C. På grund av att värmebehovet i de olika byggnaderna varierar kraftigt över både dygnet och året, är det mer regel än undantag att den högsta vattentemperaturen som efterfrågas ligger under 65 °C. Huvudshuntens uppgift är därför att reglera ner temperaturen på det utgående hetvattnet till den temperatur som efterfrågas av byggnaderna. Detta sker genom att ta hett vatten från värmesystemet och blanda det med det kallare vattnet i kulvertens returledning till önskad temperatur. Detta sparar energi eftersom värmeförlusterna genom kulverten minskar med lägre vattentemperatur och ökar nyttan med bufferttanken eftersom dess temperatur inte sjunker fortare än nödvändigt.

uppgift är att blanda returledningsvattnet med framledningsvattnet, så att rätt vattentemperatur uppnås i huvudmatningen. Eftersom pannan ger en temperatur på minst 65 °C kan man i de flesta fall shunta ner den till betydligt lägre temperaturer i huvudmatningen, då växthusens shuntar sällan behöver så varmt vatten. I de flesta fall efterfrågar slingorna i växthusen en vattentemperatur på 30 - 50 °C. Att då ha en temperatur i huvudmatningen som ligger betydligt över dessa temperaturer innebär onödiga värmeförluster i huvudmatningen och onödig omrörning av vattent i bufferttanken.

Huvudcirkulationspumpen bör vara varv- talsreglerad. Om systemet består av tio olika slingor och bara en shunt kallar på värme innebär det onödigt stor elförbrukning att låta huvudcirkulationspumpen, som är dimensionerad för att förse tio slingor med vatten, gå för fullt bara för att leverera vatten till en slinga. Dessutom sliter det på huvudcirkulationspumpen som går sönder i förtid.

### *Avdelningens shuntgrupp*

De små cirkulationspumparna i avdelningarna skall inte varvtalsregleras. De skall ju alltid pumpa runt samma mängd vatten i samma slinga, oavsett vattentemperatur. Om dessa varvtalsregleras finns risken att flödes hastigheten i rören blir så låg att temperaturavgivningen i rören blir ojämn med ojämnt klimat i avdelningen som följd. Däremot bör dessa pumpar ha ett pumpstopp, så att de stängs av när det inte finns något värmebehov. Annars drar de onödigt mycket energi, pumparna slits och i de flesta fall kommer de att pumpa igenom en liten mängd varmvatten genom den stängda shunten vilket ger betydande energiförluster.

Alla rör som inte används för fördelningen av värmen i växthusen, så kallade matningsrör eller stammar, skall vara isolerade även om de är dragna inne i växthusen. Värmen avges annars på fel plats och orsakar ojämnt klimat och värmeförluster.

## BEHANDLING AV SYSTEMVATTNET

### *Avhärdning*

I samband med om- eller nybyggnad av värmecentralen bör man investera i en avhärtningsutrustning för vattnet i värmesystemet. Ett oavhärdat vatten innehåller större eller mindre mängder av kalcium och magnesium, som gör vattnet hårt och som efter en tid fälls ut och bildar det som i dagligt tal kallas för pannsten. Pannstenen bildar beläggningar på rör och

### *FAKTARUTA - huvudcirkulationspump*

Huvudcirkulationspumpen pumpar vattnet runt i kulverten – från pannan till byggnaderna och tillbaka.

**Pumpstopp** innebär att pumpen slås från när den inte behövs. Huvudcirkulationspumpen kan styras på olika sätt, där det enklaste är ingen styrning utan pumpen är till hela tiden – även då det inte finns något värmebehov i byggnaderna. En alternativ möjlighet är att låta huvudcirkulationspumpen slås från när det inte efterfrågas någon värme – så kallad till/från-styrning eller pumpstopp.

**Varvtalsreglering** innebär att pumpens varvtal anpassas efter pumpbehovet. En bättre lösning är att låta pumpen varvtalsregleras beroende på hur mycket varmvatten som efterfrågas. När mycket vatten efterfrågas har pumpen ett högt varvtal och därmed ett högt flöde. Vid liten efterfrågan på varmvatten sjunker varvtalet på pumpen och pumpen ger ett litet flöde. På så vis förbrukas aldrig mer energi än vad som verkligen behövs för värmetransporten. En annan fördel är att varmvatten inte kyls ner genom onödig transport i en lång kulvert. Även om moderna kulvertar är bra isolerade, kommer energiförlusterna att bli märkbara på grund av de grova dimensionerna och långa avstånden på uppemot 600 till 1 000 m.

väggar och försämrar värmeöverföringen och den sliter även på pumpar. Mängden kalcium och magnesium i vattnet är inte försumbar, t.ex. motsvarar 1 °dH ungefär 10 g kalciumoxid per kubikmeter och i ett system med 100 m<sup>3</sup> vatten och en hårdhet på 5 °dH bildas det då 5 kg pannsten efter första fyllningen av systemet! Varje gång som man därefter fyller vatten på systemet kommer mängden pannsten från kalcium successivt att öka. Att avhärda vatten är som tur är väldigt enkelt och tar liten plats och sker med en jonbytare där kalcium och magnesium byts ut mot natrium istället (Figur 15). Metoden används mycket i Uppland i bl.a. bostadshus. Om pannans värmeväxlare är belagd med 1 mm pannsten minskar pannans verkningsgrad med 15 %, så det finns stora pengar att spara. Helst skall hårdheten vara under 1,0 °dH. Avhärdaaren kopplas på systemets vattenpåfyllning så att det nya vattnet flödar genom avhärdaaren innan det kommer in i systemet.



**Figur 15.** System för avhärddning av värmesystemets vatten för att motverka bildning av pannsten. Anläggningen på bilden är till en anläggning med en vattenvolym på 120 m<sup>3</sup> vatten inklusive tank och kulvert.

### ***pH-höjning***

Vattnet som fylls på systemet innehåller även syre som orsakar rost, som i sin tur också bildar pannsten. Processen påskyndas vid låga pH-värden och pH-värdet i systemvattnet sjunker av sig självt med tiden genom olika processer, vilket ökar på rostangreppen och bildandet av pannsten. Förutom slitage på cirkulationspumpar, shuntar och pannor orsakar rost och pannsten kraftig försämring av värmeöverföringen. Lösningen här är att montera ett system för automatisk pH-höjning av systemvattnet. Anläggningen tar liten plats och är helt automatisk. Lämpligt pH-värde är mellan 9,5 och 10,5, och det kan enkelt kontrolleras med ett handinstrument genom att ett vattenprov tappas ur systemet.



**Figur 16.** Utrustning för pH-höjning av hetvattnet för att motverka rost och pannsten. Anläggningen på bilden är till en anläggning med en vattenvolym på 120 m<sup>3</sup> vatten inklusive tank och kulvert.

### *Filtrering*

Även med pH-justering och avhärdning kommer det med tiden att bildas slam i värmekretsen, som far runt och sliter på pumpar, shuntar m.m. Det kan även lägga sig i rör där flödes hastigheten är låg och försämrar både flöde och värmeavgivning. Ett filter som filtrerar bort slammet bör därför installeras. Förutom filterbehållaren behövs en liten pump som suger ett delflöde från huvudmatningen och pumpar det genom filtret. Beroende på värmesystemets skick och hur ofta man fyller på vatten behöver filtret rengöras olika ofta, men innan man lärt känna sitt system kan man planera med en filtertömning i månaden.

### *pH-höjning och avlägsnande av pannsten i en process*

Det finns nu nyare produkter på marknaden som både tar bort pannsten och samtidigt höjer pH-värdet i en och samma process och dessutom utan kemikalier. En av produkterna är Elysa-torn som med hjälp av en manganstav, suger upp syret och höjer pH-värdet. Skötseln består i att byta manganstav vid behov samt att byta filtret när det blivit fullt av partiklar. Produkten minskar kemikaliehanteringen och kombinerar flera olika produkter i en enhet. Systemvattnet blir därmed renare vilket är en fördel när systemet skall tömmas och släppas till det kommunala nätet för avloppsvatten.



**Figur 17.** Filtrering av systemvattnet. På golvet står filterbehållaren och ovanför syns pumpen som pumpar ett delflöde av systemvattnet genom filtret. Det här filtret används till ett system med ca 120 m<sup>3</sup> vatten.

## ELDNINGSKUNSKAP

### *Förbränningsteori och förbränning av ved*

Här behandlas förbränningens grunder med ved som utgångspunkt eftersom vedförbränning innehåller flest steg i förbränningen.

För att förbränning skall ske, måste följande tre saker finnas till hands:

- brännbart material,
- syre,
- värme.

Om något av ovanstående saknas sker ingen förbränning. Längre fram skall vi gå igenom hur de olika komponenterna i värmeanläggningen påverkar dessa tre förutsättningar.

### **Pyrolys**

När ved upphettas till 300 °C omvandlas materialet till gas, genom *pyrolys* som därefter går vidare till förbränning. Alla ämnen i bränslet kan inte förgasas och hit hör bland annat kolet, som istället ger upphov till kolförbränning och övriga föreningar som bildar aska. Pyrolysprocessen ger alltså upphov till brännbar gas, kol och aska.

## Kolförbränning

Kolförbränningen ger inte upphov till några lågor, vilket kan ses på en kolgrill där kolet glöder utan att det finns några lågor. Kolförbränningen ger i pannan upphov till värme som driver pyrolysen av det nya materialet som matas in. Processen är på så vis självgenererande. Förgasning och förbränning av trä sker med en hastighet av ca 1 mm per timme, vilket innebär att ju större yta materialet har desto snabbare går förbränningen. Jämför hela vedträn, som kan brinna i flera timmar, med t.ex. små kluvna vedträn och flis, som brinner upp på någon minut. Kolförbränning och tjärförbränning sker vid 800-900 °C.

Den heta gasen från pyrolysen kommer nu att antändas och den egentliga förbränningen sker under förbrukning av syre. Det är detta som bildar lågorna vid vedeldning. Vid helt idealiska förhållanden kommer den här förbränningen att resultera i tre produkter: vatten i form av ånga, koldioxid och värme. Förbränningen börjar redan vid 500 °C men eftersom lättflyktiga kolväten (VOC) och polyaromatiska kolväten (PAH) inte förbränns vid temperaturer under 600 °C respektive 800 °C måste förbränningstemperaturen upp över 800 °C.

Eftersom syret inte tillförs i ren form utan genom tillförsel av luft som innehåller kvävgas, kommer en del av denna att omvandlas till kväveoxider ( $NO_x$ ). Även bränslet är orent och innehåller kväve och bl.a. svavel som tillsammans med syret ger upphov till svaveloxider. Eftersom både kväveoxiderna och svaveloxiderna är försurande, vill man hålla nivåerna av dessa så låga som möjligt. Kväveoxider bildas i huvudsak vid temperaturer över 1 050 °C, så förbränningen måste ske vid lägre temperatur än så. Därför är det ideala temperaturintervallet 850 – 950 °C för att så mycket som möjligt av farliga pyrolysgaser skall förbrännas och kväveoxider inte skall bildas.

## Sintring

Askan består av material som inte kan brinna, bl.a. mineraler som finns i bränslet. Beroende på vad askan består av har den olika smältpunkt, men typiskt för trädbränsle är en asksmältpunkt runt 1 200 °C. Vid asksmältpunkten börjar askämnen att förenas i en process som kallas för sintring, och som enklast kan förklaras som att partiklarna klistras ihop sig. Sintring kan vara mycket besvärligt eftersom partiklarna även kan sintra fast på pannans väggar och då måste knackas bort för hand, ett mycket

### FAKTARUTA - temperaturer

100 °C	torkning av bränslet
300 °C	pyrolys (förgasning av flyktiga ämnen)
500 °C	förbränning av pyrolysgaser
600 °C	lättflyktiga kolväten (VOC) brinner
800 °C	polyaromatiska kolväten (PAH), kol och tjära brinner
<b>850-900 °C</b>	<b>idealisk förbränningstemperatur</b>
1 050 °C	bildning av $NO_x$
1 200 °C	sintring av aska, men för vissa bränslen, t.ex. spannmål kan sintring ske redan under 1 000 °C.

tidsödande och ansträngande arbete.

## Syre, koldioxid och lambdasond

### Syre

Syret används för förbränningen och i en perfekt process, som bara kan uppstå i teorin, så är mängden tillförd syre exakt det som behövs för en fullständig förbränning av bränslet, vilket skulle innebära att rökgaserna inte innehåller något syre alls. Tyvärr är verkligheten inte lika bra som teorin, så därför måste det tillföras ett överskott av syre för att vi skall vara säkra på att allt bränsle förbränns fullständigt. I annat fall får vi inte ut all energi som finns i bränslet, vilket ger sämre verkningsgrad och vi får utsläpp av giftiga ämnen i rökgaserna. Ju besvärligare bränslet är desto högre syreöverskott krävs. Detta innebär att flytande och gasformiga bränslen såsom naturgas och olja kräver ett lägre syreöverskott än fasta bränslen såsom kol och trädbränslen.

För att kunna jämföra utsläppen av stoft, NO<sub>x</sub> och andra föroreningar mellan olika pannor, har man enats om en standard över vilka syrehalter som skall gälla när man genomför miljömätningar. De syrehalter som gäller för olika bränslen visas i Tabell 4. Dessa värden skall inte förväxlas med de värden som respektive pannmodell skall ha för att fungera korrekt. Dessa värden kan ibland vara högre än de värden som gäller för provmätningar. Syrehalten är normalt högre när panna går på dellast än när den går på full effekt.

Eftersom syrehalten i rökgaserna varierar från pannmodell till pannmodell måste man för det mesta räkna om mätvärdena av t.ex. stoft från den syrehalt som gällde vid mättillfället till den standardiserade syrehalt som gäller enligt Tabell 4. Detta görs med ekvationen nedan.

$$halt_{\text{önskad}} = \frac{(21 - syre_{\text{önskad}}) \cdot halt_{\text{uppmätt}}}{21 - syre_{\text{uppmätt}}}$$

där

$halt_{\text{önskad}}$  = den nya halten av substansen vid den nya önskade syrehalten  $syre_{\text{önskad}}$ , ppm/mg eller Nm<sup>3</sup>

$syre_{\text{önskad}}$  = syrehalten som man vill räkna om halten av substansen  $halt_{\text{önskad}}$  till, %

$halt_{\text{uppmätt}}$  = den uppmätta halten av substansen, ppm eller mg/Nm<sup>3</sup>

$syre_{\text{uppmätt}}$  = syrehalten då  $halt_{\text{uppmätt}}$  uppmättes, %

Konstanten 21 är den ungefärliga syrehalten i luften, %

### Lambdasond

För att säkerställa att rätt mängd syre, i praktiken luft, tillförs förbränningen har modernare pannor en lambdasond som mäter syrehalten i rökgaserna. Värdet från lambdasonden förs

## FAKTARUTA - utsläpp

Utsläppen av följande föreningar skall hållas på ett minimum:

- stoft (partiklar)
- PAH
- tjära
- kolmonoxid CO
- NO<sub>x</sub>

NO<sub>x</sub> är ett samlingsbegrepp för kväveoxid NO och kvävedioxid NO<sub>2</sub> och bildas vid förbränning där luftens kvävgas deltar.

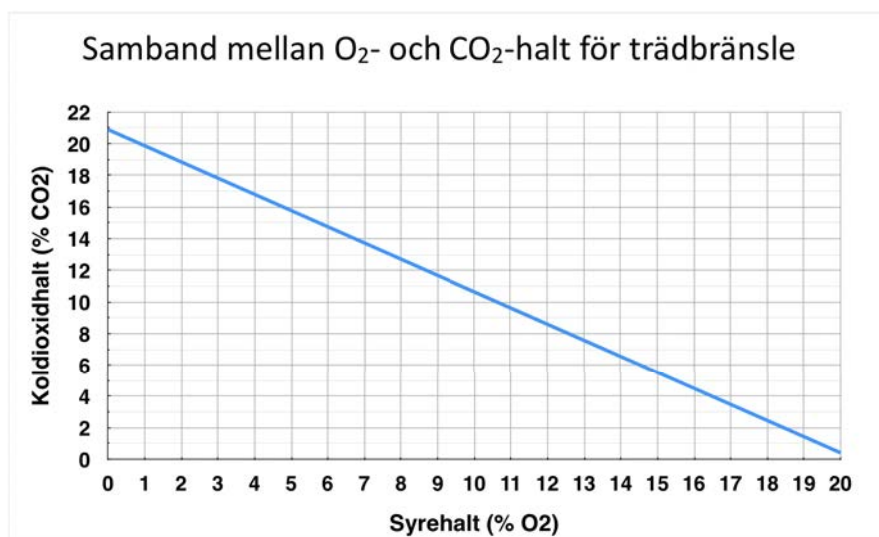
tillbaks till styrsystemet som justerar lufttillförseln. En lambdasond kan normalt förbättra pannans verkningsgrad med så mycket som 5 procentenheter. Man kan lätt förledas att tro att man då lika gärna kan ställa in en lite högre lufttillförsel för att vara på den säkra sidan, men då får man problem med att förbränningen kyls ner av luftöverskottet, vilket ger högre utsläpp av polyaromatiska kolväten (PAH) och lättflyktiga kolväten, samt sämre förbränning och verkningsgrad. Lufttillförseln varierar bland annat med bränslets fukthalt, eftersom mycket syre bara förs bort vid utluftningen av vattenånga och är därför extra viktig vid eldning av kross eller flis. Lambdasonden skall monteras i toppen av rökgasröret så att partiklar inte lägger sig på givaren.

**Tabell 4.** Aktuella syre- och koldioxidhalter vid miljömätning i rökgaser. Dessa halter är inte de samma som gäller för olika pannor för korrekt funktion. De värdena kan avvika något från värdena som står här.

Bränsle	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>
Olja Eo1	3 %	13,5 %
Biobränsle	6 %	14,8 %
Naturgas	3 %	10,5 %
Kol	6 %	13,5 %

#### *Sambandet mellan syre- och koldioxidhalt*

Eftersom luften har ett konstant förhållande mellan syre (21 %) och koldioxid (0,04 %), så finns det även ett förhållande mellan uppmätta halter av syre och koldioxid i rökgaserna.



**Figur 18.** Förhållandet mellan halterna av syre och koldioxid i rökgaserna vid eldning av trädbänsle.

#### **Verkningsgrad**

För god ekonomi och låg påverkan på miljön är det viktigt med så hög verkningsgrad på anläggningen som möjligt. Det finns flera saker i en värmeanläggning, som var och en har sin



verkningsgrad, vilket är viktigt att tänka på när man pratar med försäljare av utrustning. Det som är viktigt i slutändan är den totala verkningsgraden, alltså hur mycket värme som kommer ut i förhållande till hur mycket bränsle som matas in. De olika verkningsgraderna är bl.a. pyrolysverkningsgraden (i t.ex. en separat stoker/förugn), förbränningsverkningsgraden, värmeväxlarens verkningsgrad och hela anläggningens verkningsgrad med förluster från panna till luften i pannrummet. För en bra anläggning skall hela verkningsgraden ligga över 92 %.

Förutom pannanläggningens verkningsgrad så finns även årsverkningsgraden, som alltid är lägre än den momentana verkningsgraden när pannan går optimalt. Årsverkningsgraden är oftast 60-85 % och beror bland annat på hur många starter och stopp som måste göras och om pannan tänds själv eller om man istället pyreldar när det inte finns något värmebehov.

För att få en så bra verkningsgrad som möjligt bör man tänka på att:

- installera lambdagivare för mätning och reglering av syrehalten i rökgaserna,
- ha pannan kopplad till en bufferttank för att minska antalet start och stopp och för att få en jämn förbränning,
- använda ett tort bränsle,
- undvika start och stopp,
- bara elda när värme tas tillvara, t.ex. i en tank,
- undvika pyreldning,
- ha rätt lufttillförsel,
- ha rätt eldningstemperatur,
- ha isolerat pannrum och rör/kanaler,
- ha rätt styrning av panna och
- ha rätt styrning av värmeuttaget till växthusen.

## ***Fasta bränslen***

### **Lager**

Lagring av trädbänslen bör ske med viss försiktighet och för stora mängder skall inte lagras åt gången. Om bränslet lagras felaktigt kan det självantända.

Pellets kan ge upphov till dammexplosioner. Pellets är känsliga för fukt, som snabbt förstör pelletsstrukturen. Pelleten skall därför lagras inomhus på torr plats. En silo är utmärkt för pelletsförvaring och underlättar dessutom hanteringen. Eftersom sågspånet som pelleten är uppbyggd av ger upphov till damm som bl.a. ökar risken för dammexplosioner, bör pelletsförrådet dammsugas minst en gång per år.

Ett lager med kross eller flis kan sprida mögelsporer som skadar luftvägarna och dessa bränslen bör därför lagras utomhus under tak eller i separat byggnad där människor normalt inte vistas.

Allmänt för lagring av trädbänslen gäller följande:

- lagra olika sortiment/kvaliteter i olika stackar. Stackarna bör inte komma i kontakt med varandra,
- minska fukthaltspridningen i stacken,
- packa inte stackarna,
- undvik metallföremål i stacken. Metallen kan hettas upp av värmeproduktionen i stacken och leda till en självantändning av bränslet,
- lagra trädbränslen i en avlång stack med tvärsnittsareans bas lika med dubbla stackhöjden,
- lagra ej bark högre än 7 m och sågspån 6 m för att undvika självantändning,
- tänk på rasvinkeln och fruset spån,
- vid låg omsättning ökar risken för självantändning,
- de första tecknen på upphettning kan vara ångbildning och röklukt. Helst bör lagret kontrollmätas med termometer som sticks in i stacken eller med värmekamera.

### **Matningssystem**

Olika bränslen ställer olika krav på matningssystemet. Det går t.ex. inte att använda samma typ av matningssystem för pellets som för kross. Bränslena ställer helt olika krav på matningssystemen.

Kross kräver ofta en enkel form av matning med löpande band eller skrapband. Detta eftersom flisen/krossen ofta är ojämn i kvaliteten och lätt kan fastna i skrubaserade system.

Pellet skall klara hanteringen utan att falla sönder på sin väg från tillverkning till panna. Man använder därför gärna system där pelleten transporteras i rör eller slangar med hjälp av skruvar eller luft. Här är det viktigt att ha rätt lufthastighet och rätt diameter på böjarna så att pelleten inte slås sönder. En vanlig matningsmetod från förråd till panna är skruvmatning. Skruvmatningen har den fördelen att rören kan göras böjliga vilket förenklar installationen som kan göras mycket kompakt.

### ***Kontroll av panna med trappstegsroster***

Justeringar av pannan skall alltid göras av en tekniker som är utbildad på just din pannmodell, då värden kan variera mellan olika modeller och mellan olika bränslen.

Vid en kontroll om pannan är rätt inställd skall följande undersökas:

- att pannan har kommit upp i rätt temperatur, oftast  $> 75$  °C,
- att rökgaserna har kommit upp i rätt temperatur för den aktuella pannan; för moderna pannor 130-180 °C (hör med leverantören),
- att undertrycket i skorstenen är rätt, normalt 5-15 Pa,
- att total tillförsel av luft, primär- + sekundärluft, är 100 %,
- att toppen på bränslehögen högst upp på trappstegsrostret, är något högre än ovankanten på inmatningen,
- att det längst ner på trappstegsrostret, vid fallkanten för askan, bara finns aska och inget obränt material,

- att ungefär 75 % av trappstegsrostret är fyllt med bränsle.

Först när ovanstående är kontrollerat och korrekt, kan en intrimning av förbränningen ske! För att kunna justera förbränningen måste man ta reda på vilka syrehalter som gäller för aktuell pannmodell och bränsle, vid fullast och dellast, t.ex. 9 % vid 100 % och 12 % vid 30 % last (beror på pannmodell och bränsle).

1. Om panntemperaturen inte kan hållas kan bränslemängden vara för låg och inmatningstakten måste ökas. Observera att om den visuella kontrollen ovan, visar att bränslemängden är korrekt, så är orsaken en annan.
2. Vid för låg syrehalt i rökgaserna kan bränslemängden vara för hög och inmatningstakten måste minskas. Omvänt kan bränslemängden vara för låg om syrehalten är för hög. Justera bara lite åt gången.
3. Är bränslekvaliteten tillräckligt bra? Fuktigt bränsle ger lägre effekt än ett torrt bränsle. Om det är pellets, har tillverkaren verkligen uppgett den verkliga prestandan på bränslet? Har du bytt leverantör/kvalitet sedan pannan togs i drift?
4. Om punkt 1-3 är kontrollerade och felet inte finns där, kan rökgasfläkten behöva justeras. Vid för låg syrehalt behöver fläkten ökas något, och vid för hög syrehalt behöver den minskas något.
5. Som sista utväg kan man behöva justera in primär- och sekundärluft. Hårt trä, t.ex. löv, behöver mer primärluft än mjukt trä. Dammigt material behöver mindre primärluft än normalt.

### *Sintring*

Sintring är när askan mjuknar och klumpar ihop sig, alltså stadiet precis före att den smälter. Sintring sker olika lätt hos olika bränsle, där aska från halm och spannmål sintrar mycket lättare än aska från träbränsle, då deras asksmältpunkt kan vara under 1 000 °C.

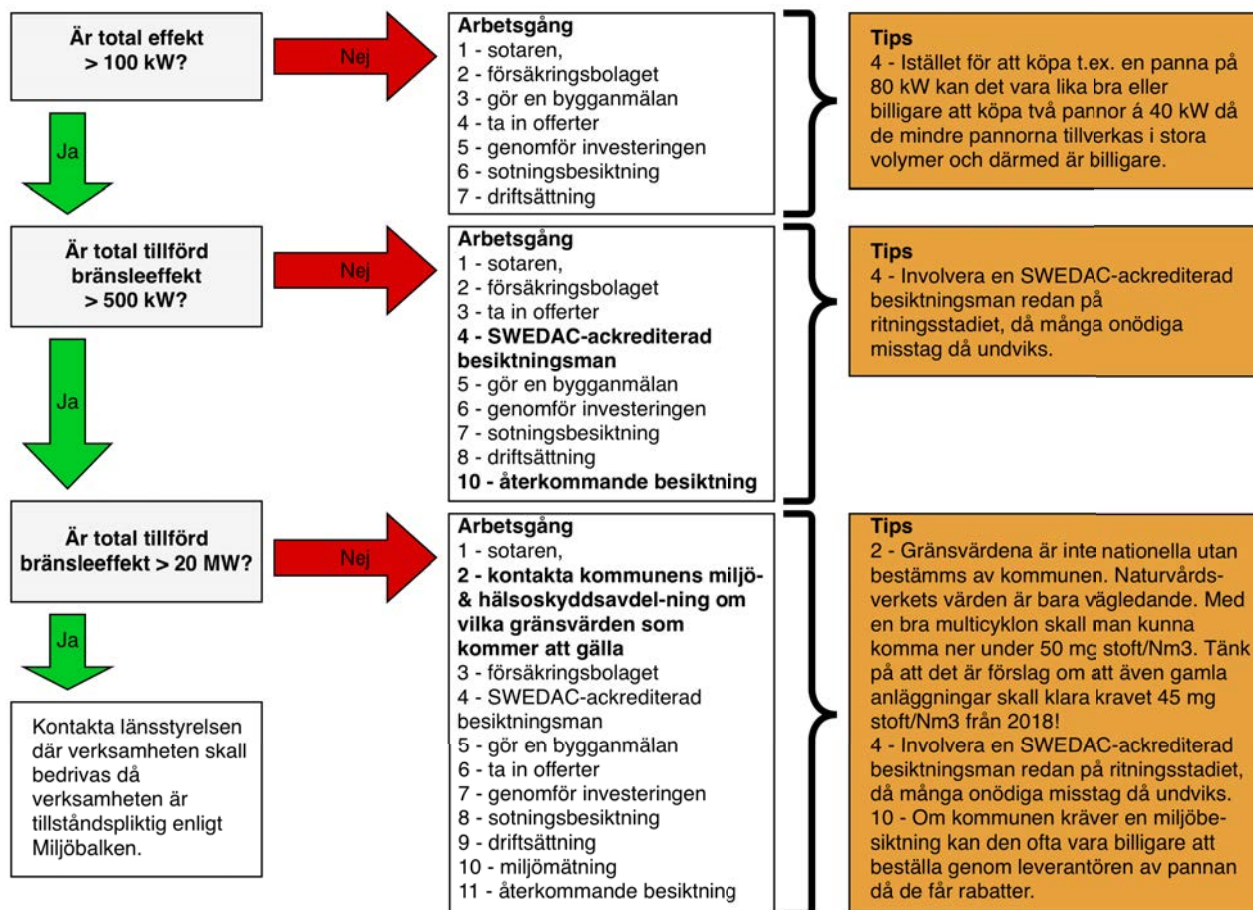
Vid problem med sintring orsakad av föroreningar i bränslet, såsom sand och smuts, skall trappstegsrostrets rörelseintervall ökas något för att slå sönder det sintrade materialet. Beror sintringen istället på att askan smälter, skall primärluften minskas något och sekundärluften ökas motsvarande.

# UPPHANDLING

Jonas Möller Nielsen, Cascada AB

## RÅD VID UPPHANDLING

I Figur 19 visas en lathund över vad man skall tänka på i processen att investera i en ny värmeanläggning.



Figur 19. Diagram över olika gränser för olika tillstånd, besiktningar och inspektioner, samt hur det kan påverka processen att investera i ny fastbränsleanläggning.

# MYNDIGHETSKRAV, BESIKTNINGAR OCH INSPEKTIONER

Ulla Nilsson, Virgo Grön Konsult

## INLEDNING

### *Varför finns regelverk?*

Det finns olika myndighetskrav och regler för hur anläggningar får utformas. Reglerna är till för att säkerställa att en verksamhet inte orsakar miljöproblem eller har brister i arbetsmiljön som gör att de som vistas där utsätts för onödiga risker. Kraven minskar dessutom risken för skada på egendom.

### *Kontakter sparar resurser*

Utgå från verksamhetens behov och formulera mål med den nya anläggningen. Viktigast är sedan att ta reda på vilka krav som ställs på ny en anläggning eller ombyggnad av värmeanläggningen. Ta ***kontakt med berörda myndigheter i ett tidigt stadium***, dvs. redan när anläggningen planeras så att den anläggs på ett sätt som motsvarar kraven redan från början. Det sparar mycket tid och kraft längre fram och kan spara onödiga utgifter om anläggningen inte skulle uppfylla regelverken. Den som anlägger är enligt lagen skyldig att hålla sig informerad om och följa de lagar, förordningar och föreskrifter som gäller och kan bli ersättningsskyldig om t.ex. anläggningen eller handhavandet av den orsakar problem för miljön pga. fel utformning eller handhavanderutiner (dvs. brott mot Miljöbalken) eller hälsorisker.

De myndigheter som främst är involverade i inspektion och besiktningar inom växthusverksamhet är Länsstyrelserna, Jordbruksverket och Livsmedelsverket. Ett bra första steg är att kontakta de handläggare som finns på Länsstyrelsen eller i kommunen. De brukar ha en god uppfattning om vad man behöver tänka på vid planeringen. Det är också en god idé att kontakta försäkringsbolaget så att anläggningen uppfyller deras krav på säkerhet och förebyggande av t.ex. brandrisker. Försäkringsbolaget har även god kunskap om vad som brukar kunna vara problem när det gäller t.ex. brandsäkerhet för biobränsleanläggningar. Skorstensfejarmästare ska alltid kontaktas vid byte av värmekälla och kan vara en bra källa till information om vad som är viktigt att tänka på.

### ***Vilka kontakter behövs under planeringen?***

Länsstyrelsen  
Handläggare i kommunen  
Försäkringsbolaget  
Skorstensfejarmästare

### *Vilka regelverk styr?*

Olika lagar som är aktuella vid byggnation och anläggning vid ny/ombyggnad av uppvärmningssystem är i första hand de som förtecknade nedan:

Miljöbalken, SFS 1998:808  
Lagen om skydd mot olyckor, LSO  
Arbetsmiljölagen, AML  
Lagen om brandfarliga och explosiva varor, SFS 2010:1011  
Plan och Bygglagen, PBL

Förutom Miljöbalken finns EU-förordningar som ska följas. För värme- och energianläggningar finns regler som gäller förbränningsanläggningar. Naturvårdsverket har vägledningar när det gäller vilka regler som gäller vid förbränning som finns på deras webbsida. De regelverk som refereras till i detta material är aktuella november 2014.

En länksamling med olika myndigheters och organisationers sidor om regelverk mm ligger sist i avsnittet.

### *Miljöhousesyn och IP Sigill - bra hjälpmedel för planering och genomförande av anläggandet*

Exempel på bra hjälpmedel för att genomföra byggnationen på lagenligt sätt är att studera den faktadel som finns i Miljöhousesyn och använda de checklistor som finns där. Miljöhousesyn ges ut av LRF och webbsidan om Miljöhousesyn heter [www.miljohusesyn.nu](http://www.miljohusesyn.nu) vilken innehåller aktuella länkar till författningar och regler som gäller. För att få ett bra grepp på vad som behöver göras kan man använda den Åtgärdsplan för Miljöhousesyn som finns i miljöhousesynsmaterialet som finns att ladda ner från aktuell webbsida.

I IP Sigill ingår Miljöhousesynens krav samt ytterligare krav för att säkerställa produktionen och högre krav på miljöåtgärder än lagen kräver. För den som vill göra sin produktion Sigill-certifierad finns handböcker för Prydnadsväxter och Plantskola respektive Frukt och Grönt med checklistor där frågor som rör energi, arbetsmiljö, avfall mm ingår. Information finns på [www.svensksigill.se](http://www.svensksigill.se). Där finns även stödmaterial för olika delar av genomgången, t.ex. för energikartläggning.

#### ***Bra hjälpmedel under processen***

Miljöhousesyn  
IP Sigill  
Personliga kontakter med handläggare kommun, försäkringsbolag, sotare/skorstensfejarmästare och leverantörer  
Regelverk och vägledning (se förteckning sist i avsnittet)

### **ALLMÄNNA KRAV**

Enligt Miljöbalken ska verksamhet begränsas i sin miljöpåverkan. Det ska göras med vad som anses vara *rimliga* insatser. Ett antal allmänna hänsynsregler hjälper till att tala om hur verk-

samheten ska ske. Hänsynsreglerna görs sedan konkreta genom t.ex. förelägganden, förbud och villkor vid tillståndsprövning. När det gäller ombyggnad eller nybyggnation av värmeanläggningar är det framförallt det som gäller förbränningsanläggningar som är aktuellt, se nästa rubrik Anmälnings- och tillståndsplikt.

## ANMÄLNINGS- OCH TILLSTÅNDSPLIKT

När valet av anläggning är gjort är det dags att anmäla och eventuellt söka tillstånd för att uppföra anläggningen. För mindre anläggningar räcker det att anmäla till tillsynsmyndigheten. Myndigheten kan sedan förelägga dig som verksamhetsutövare att genomföra olika skyddsåtgärder eller vidta försiktighetsmått för att minska eller förebygga påverkan på hälsa och/eller miljö. Vad som föreläggs framgår av det beslut som skickas från myndigheten.

Om den totala anläggningsstorleken (total tillförd effekt) är mindre än 500 kW behövs ingen anmälan. Däremot krävs en anmälan om förbränningsanläggningen är avsedd för en total tillförd effekt på 0,5- 20 megawatt. För anläggningar större än 20 megawatt krävs dessutom tillstånd enligt miljöbalken. Samma krav på tillstånd gäller för anläggningar som eldas med mer än 50 ton avfall per år eller förbränner farligt avfall. I det tillståndsbeslut som utfärdas står vilka villkor som gäller när det gäller påverkan på miljön, t.ex. hur mycket föroreningar som får släppas ut från anläggningen. För anläggning som är tillståndspliktig ska miljörapport lämnas. (Naturvårdsverket, Vägledning förbränningsanläggningar mindre än 20 megawatt, 2014)

När det gäller total tillförd effekt är det viktigt att tänka på att om anläggningen har t.ex. två pannor som *tillsammans* uppnår gränsvärdet 500 kW är anläggningen anmälningspliktig (Statens Energimyndighet, 2005). En panna med en värmeeffekt som ligger under gränsvärdet och har t.ex. 90 % verkningsgrad kan mycket väl nå över gränsen när det gäller bränsleeffekt (Möller-Nielsen, odaterad).

Idag krävs t.ex. att stoftnivåerna utanför tätort ska vara högst 100 mg/Nm<sup>3</sup> och torr gas (tg) både inom och utom tätbebyggt område. Beroende på bränsle och vilken reningsteknik som används finns olika stora möjligheter att klara de målen. Biobränslen ger generellt mer stoftutveckling och kräver därför mer rening för att klara gränserna än t.ex. eldningsolja EO1 eller diesel. Halter som mäts upp räknas för biobränslen om till motsvarande 6 % syre, O<sub>2</sub> (motsvarande 13% CO<sub>2</sub>) . Det görs alltid en rimlighetsbedömning av hur stor rening som kan krävas med hänsyn till den insats som krävs.

Lättast att rena ner till nivåer på under 100 mg/Nm<sup>3</sup> är det med förhållandevis torra biobränslen som briketter och pellets. Där räcker det oftast att använda multicyklonrening. För större anläggningar i växthussammanhang är det vanligare att blötare bränslen används, t.ex. flis. För att nå ner till nivågränsen behövs då ofta att multicyklonreningen kombineras med någon annan form av rening. (Naturvårdsverket, Vägledning förbränningsanläggningar mindre än 20 megawatt, 2014)

El- eller textilfilter kan användas för att komma ner i stoftnivåer på 1-50 mg/m<sup>3</sup> tg men kostar mer än multicyklonrening.

Rökgaskondensering används i första hand för våta biobränslen då man vill ta tillvara värme ur rökgasen men är också ett sätt att rena gaserna som kan kombinera med t.ex. elfilter av salttyp och nå ända ner till stofthalter på 15 mg/m<sup>3</sup> tg.

## FÖRÄNDRINGAR I REGELVERK

NV:s allmänna råd 87:2 Fastbränsleledning (NFS 2014:20) och Allmänna råd 90:3 Skorstenshöjd, beräkningsmetod även betecknad NFS 2014:21, är upphävda. Råden har ersatts av Vägledning förbränningsanläggning mindre än 20MW. (MSB, 2014)

I plan och bygglagen (PBL, 2010:900) finns också bestämmelser om hur byggnader och skorstenar ska utformas för att undvika negativa effekter på människors hälsa. Till exempel ska skorstenen vara tillräckligt hög för att inte ge olägenheter kring byggnaden och i dess omgivning. När det gäller medelstora anläggningar på 1-50 MW finns ett förslag som innehåller strängare krav än för de mindre anläggningarna och som kommer att gälla även äldre anläggningar på sikt. I förslaget ställs förutom krav på rening av stoft även krav på rening av kväveoxider.

När det gäller skorstenshöjd ska den vara tillräckligt hög för att förebygga olägenhet i omgivningen enligt allmänna hänsynsregler i Miljöbalken, kapitel 2, om skäligen åtgärder. Eftersom spridningen påverkas av olika faktorer som omgivande terräng, byggnadshöjd och meteorologiska processer så behöver en s.k. *spridningsmeteorologisk* studie göras för anläggningsplatsen. Vägverket tillhandahåller en handbok för beräkningar, se Trafikverkets webbplats [www.trafikverket.se](http://www.trafikverket.se). Vad som är skäligen åtgärder för utformning avgörs i varje fall. Vägledningen innehåller riktlinjer för vilka reningsåtgärder som kan behövas för biobränslen.

Observera också att förändringar är på gång (2014 när sammanställningen görs) när det gäller direktiv för vad som krävs för förbränningsanläggningar kring utsläppsgränser. Bästa sättet att hålla sig uppdaterad är att ta kontakt med myndigheter som bevakar regelverket – Naturvårdsverket, kommunen m fl. Förslag till direktiv finns i skrivande stund på Naturvårdsverkets webb ([www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se)).

## EGENKONTROLL AV MILJÖPÅVERKAN

Den egenkontroll som ska göras i verksamheten är en viktig del för de kontrollerande myndigheterna när ska kontrollera om verksamheten uppfyller kraven. Vid en kontroll går de rutiner och arbetsinstruktioner som finns igenom för att se om de uppfyller kraven. En bedömning görs även av hur rutinerna och instruktionerna följs, dvs. att dokumentationen överensstämmer med vad som görs/gjorts och att personalen har den kunskap som behövs för att kunna arbeta enligt rutiner och instruktioner.



Vid nybyggnad och ombyggnad av värmesystem och anläggning behövs en genomgång av rutiner och instruktioner i verksamheten så att de överensstämmer med de nya förhållandena och med de regler som finns.

## **KEMISKA PRODUKTER**

Vid ombyggnad eller nybyggnad kan det bli aktuellt att använda andra kemikalier, ändra rutiner och flytta kemikalieförrådet.

## **CISTERNER, RÖR OCH SLANGLEDNINGAR FÖR HANTERING AV BENSIN, DIESEL OCH OLJA**

Brandfarliga ämnen som hanteras i verksamheten ska behandlas med respekt för att undvika olyckor. Cisternen behöver t.ex. stå säkert uppställd, ha överfyllningsskydd, ha anordning för att avläsa nivå, ha avluftningsanordning, ha en fast anslutning för påfyllning, vara märkt enligt krav, godkänd och besiktad enligt gällande bestämmelser. Ledningar som inte används ska ha gjorts obrukbara så de inte av misstag fylls.

Särskilt för nya cisterner och ledningar utomhus (eller för gamla ledningar som åter tas i bruk) krävs att en skriftlig anmälan kommit in till miljö- och hälsoskydds nämnden i kommunen. Beroende på cisternens storlek ställs olika krav.

En bra genomgång av vad man behöver tänka på och mer detaljerat om krav vid nyanläggning finns i Miljöhousesyn, Checklista G4 och motsvarande G4-avsnitt i faktadelen.

Nya regler för cisterner och rörledningar gäller från och med 1 november 2014. De tekniska kraven har ökat vilket innebär att rörledningar ska vara korrosionsskyddade, att vid anslutning för fyllning krävs skydd mot flamma som kan gå ner i tank/cistern finns och att avluftnings- och gasåterföringsledningar ska ha flamskydd (MFBFS 2014:5). Mer om regelverk gällande cisterner och ledningar finns under Systematiskt Arbetsmiljöarbete, under rubriken om Trycksatta anordningar.

## **FÖRVARING OCH HANTERING AV BRÄNSLEN**

När det gäller brandvarningsutrustning ska detektorer installeras som är anpassade för användning i produktionsbyggnader. Godkännanderegler för brandvarningsanläggningar finns på [www.lantbruketsbrandskydd.nu](http://www.lantbruketsbrandskydd.nu).

## **AVFALL, FARLIGT AVFALL OCH PRODUCENTANSVAR**

### ***Avfallshantering***

Avfall (checklista i avsnitt G7 och G8 i Miljöhousesyn samt i IP Sigill avsnitt 5) ska hanteras så att ämnen som kan hota hälsa och biologisk mångfald inte kommer ut i miljön. Större mängder avfall som behöver transporteras ska anmälas och tillstånd från länsstyrelsen krävs. Farligt avfall ska hanteras på ett särskilt sätt så att det går att spåra. Större mängder avfall ska alltid transporteras av en transportör som är godkänd av länsstyrelsen att göra det.

Förpackningsmaterial ska återvinnas eller på annat sätt uppfylla producentansvaret. Detta kan t.ex. gälla förpackningar av pellets.

### Askhantering

Askan från förbränning ska förvaras fem dagar efter förbränning i slutna behållare eftersom det föreligger brandrisk de första dagarna efter förbränningen. Det ska finnas minst 2 stålbehållare som vardera rymmer 5 dygns askmängd för att säkerställa att lagringen sker tillräckligt länge. (Källa LBK-pärm 2014, flik 4)



bildinfo.se

**Figur 20.** Förvaring av aska i stålplåtsbehållare gör förvaringen säker (Figur från LBK-pärm 2014, flik 4, med tillstånd från Lantbrukets arbetsmiljökommitté)

Behållarna ska vara placerade på obrännbart underlag på minst 25 cm avstånd från brännbar byggnadsdel.

Efter fem dygn kan askan läggas på deponi som täckmaterial för att hindra läckage av miljöfarligt avfall eller återföras till skogsmark som gödsling och för att motverka försurning av skogsmark. Aska från bibränslen kan återföras till den mark bränslet kommer från, t.ex. skogsmark eller åkermark förutsatt att det är den egna marken och askan inte blandats med aska från andra källor. I andra fall ska askan från förbränningen transporteras till deponi, antingen att man själv transporterar bort askan eller att hämtning av askan sker. I tillståndet för anläggningen framgår om någon särskild metod föreskrivs eller rekommenderas.

### SKYDD MOT BRAND OCH OLYCKOR

Enligt lagen om skydd mot olyckor, LSO (SFS 2003:778), har verksamhetsägaren huvudansvar för brandskyddet. Byggnader ska ha utrustning för släckning, livräddning vid brand eller olycka och vidta de åtgärder som behövs för att förebygga, hindra och begränsa brandorsakade olyckor. Det ska finnas brandsläckare enligt LBK:s rekommendationer (flik 10 "Brandvarningssystem och släckutrustning" i gällande rekommendation). Under flik 4 i LBK-pärmen

finns rekommendationerna för Uppvärmning och torkning. Under flik 11 finns rekommendationer för bränsleförvaring (Lantbrukets byggnadskommitté, 2014).

Biobränsleledning arbetar med höga rökgastemperaturer och stora rökgasvolymmer. Har uppvärmningen tidigare bestått av olja eller annat värmesystem med lägre temperatur och rökgasutväxling kan det bli aktuellt att byta eller bygga om skorstenen så att den klarar de högre kraven på t.ex. isolering. Skorstensfejarmästaren, som ändå bör kontaktas inför byte av värmekälla, kan hjälpa till att bedöma vad som krävs av det nya system du planerar.

Vid eldning med biobränslen är risken för tillbakabrand stor, dvs. att gnistor från pannan kan leta sig tillbaks till förrådsbehållaren och orsaka brand. I nya LBK-pärmen finns därför regler för hur skydd för tillbakabrand ska utformas. Ur säkerhetssynpunkt ska automatiska system för fastbränslematning vara försedd med anordningar som hindrar tillbakabrand mot bränsleförråd. Anläggningen ska vara P-märkt och kontrollerad av SP (Sveriges Tekniska Institut).

Äldre anläggningar bör istället förses med ett släcksystem. I LBK-handboken nämns systemet Fireguard vilken består av två säkerhetsanordningar kompletterat med tätt elektriskt övervakat lock på bränsleförrådet. Släckningssystemet kompletterar det redan befintliga systemet i äldre anläggningar. Försäkringsbolag eller skorstensfejarmästaren kan svara på frågor om hur detta kan utföras.

Flis och halm innebär stora brandrisker, särskilt vid egen lagring av bränslet. Självantändningsrisken ökar med mängd bark och fukt samt av att flisen trycks ihop under lagringen. Bäst är att lagra i förråd på säkerhetsavstånd från själva värmeanläggningen. Försäkringsbolagen ställer krav på minsta godkända säkerhetsavstånd och ersättningen sjunker med större risk om det är kortare avstånd mellan förråd och värmeanläggning.

Den panna som ingår i anläggningen ska vara godkänd, något som är viktigt att kontrollera vid planering av inköp så att det inte blir problem senare.

Myndigheten för samhällsskydd och beredskap (MSB) beslutar om brandförebyggande åtgärder som kommunen ska se till blir gjorda. Kommunen ansvarar därför för att sotning sker av eldstad och röckanal och för att brandskyddskontroll utförs av godkända företag och personer. Vid brandskyddskontroll kontrolleras sotning och beläggningar, skador eller förändringar av det tekniska utförandet, temperaturförhållanden, tryckförhållanden och täthet samt drift och skötsel. Hur brandskyddsarbetet utförs i den aktuella kommunen kan skilja sig från grannkommunen.

### ***Elinstallationer***

Den behöriga installatör som anlitas bör ha erfarenhet av att arbeta med den typ av installationer som ska göras. I LBK-pärmen finns en Elhandbok i kapitel 5, med riktlinjer för hur elarbeten i samband med anläggningen ska utföras. Försäkringsbolaget har även information när det gäller hur man förebygga elbränder.

## BESIKTNINGAR OCH INSPEKTIONER

Kontakta den besiktningsman som ska utföra installationsbesiktningen redan under planeringsstadiet för att diskutera anläggningsplanen! Alla nya anläggningar ska besiktigas, installationsbesiktigas. Anläggningar på 100 kW eller mer ska besiktigas av en av SWEDAC krediterad besiktningsman för trycksatta anordningar. Besiktningen ska göras innan anläggningen tas i bruk. Efter installationsbesiktning ska sedan besiktning göras vartannat år för slutna system.

## ANLÄGGNING I KÄNSLIGA OMRÅDEN

Många växthusverksamheter ligger i områden som klassas som känsliga områden enligt förordning om miljöhänsyn i jordbruket (1998:915, 5§) vilket innebär att särskilda miljöhänsyn ska tas t.ex. inom vattenskyddsområden. Förteckning över känsliga områden finns t.ex. i Miljöhusens bilaga 4 (version 2013-09-03) eller senare upplagor.

## ARBETSMILJÖ – SYSTEMATISKT ARBETSMILJÖARBETE (SAM)

Systematiskt arbetsmiljöarbete, dvs. att undersöka, planera, genomföra och följa upp verksamheten så att ohälsa och olycksfall förebyggs och en god arbetsmiljö skapas, ingår i Miljöhusens synen. Genom projektet Säkert Bondförnuft ([www.sakartbondförnuft.se](http://www.sakartbondförnuft.se)) finns möjlighet för den som planerar en anläggning att få råd och information om hur arbetet praktiskt kan utföras och hur rehabilitering kan ske om olyckan varit framme.

### *Trycksatta anordningar*

Trycksatta anordningar som pannsystem ska besiktas om de överstiger en viss storlek och har ett visst tryck. Regelbundna kontroller av anläggningen ska ske för att säkerställa funktionen. Gränsen för besiktningskrav går när arbetstrycket i bar multiplicerat med volymen i liter är större än 1000. Nyanläggning ska alltid besiktigas i en s.k. installationsbesiktning. De företag som har rätt att besiktiga är de som är krediterade av Swedac ([www.swedac.se](http://www.swedac.se)). Information om regler för trycksatta anordningar finns på Arbetsmiljöverkets sida [www.av.se](http://www.av.se) bl.a. AFS 2005:3 Besiktning av trycksatta kärl och Frågor och Svar, Tryckkärl. Det är höga sanktionsavgifter om pannan inte är besiktigad enligt regelverket, upp till 100 000 kr. (Miljöhusens syn, 2013).

### *Arbete i dammiga miljöer*

I samband med hantering av t.ex. flis och halm sker arbetet i en dammig miljö om hanteringen inte är sluten. Det kan också finnas mögel i en miljö med organiskt material som biobränslen (flis, halm, pellets) som kan ge upphov både till akuta influensaliknande besvär och kroniska sjukdomar som allergisk alveolit (lantbrukarlunga) vid exponering under längre tid. (Trämögel, [www.av.se](http://www.av.se) )

Anläggningen bör utformas så att det är lätt att hålla rent och torrt. På det sättet minskas risken för t.ex. allergiska besvär från damm och höga mögelhalter, förutom att brandrisken minskas. Om möjligt välj en sluten hantering av flisen för att slippa dammiga och ohälsosamt höga mögelhalter i arbetsmiljön. Särskilt fukt i kombination med värme gör att möglet förökar

sig snabbt. Fuktig flis bör därför undvikas, flisen bör lagras torrt och inte under längre tider, särskilt inte under sommartid. Informationsmaterial om förslag på åtgärder för minskning av damm finns t.ex. på Arbetsmiljöverkets sida, se tips nedan.

## REFERENSER OM SÄKERHET OCH MYNDIGHETSKRAV

Nedan följer referenser till myndigheter och organisationer som kan bidra med information kring regelverk och säkerhet samt de referenser som anges i avsnittet.

### *Myndigheter och andra verksamheter att kontakta*

*Arbetsmiljöverket.* Omfattar tidigare Yrkesinspektionen och tio av de distrikt som ingick i YI. Har som mål att minska risker för ohälsa och olycksfall i arbetslivet och förbättra arbetsmiljön. De ansvarar också för att bevaka att lagstiftningen kring arbetsmiljö och arbetstider följs. De kan också ge råd och upplysningar kring arbetsmiljö. Ger ut föreskrifter kring bl.a. tryckkärl, cisterner och rörledningar [www.arbetsmiljoverket.se](http://www.arbetsmiljoverket.se)

*Boverket* – myndigheten för samhällsplanering, stadsutveckling, byggande och boende. Boverket utfärdar Plan- och bygglagens detaljbestämmelser (Byggverkets Byggregler) och regler och föreskrifter för brandskydd. [www.boverket.se](http://www.boverket.se)

*Brandforsk* – är statens, kommunernas, försäkringsbranschens och näringslivets gemensamma organisation för att främja brandforskning. Olika projekt utförs i samarbeten mellan högskolor, universitet, forskningsinstitut, myndigheter och företag. [www.brandforsk.se](http://www.brandforsk.se)

*Brandskyddsföreningen i Sverige, SBF* – organisation som främjar och stödjer brandsäkerheten nationellt. De erbjuder utbildnings- och informationsmaterial, utbildningar, tidningen Brandsäkert, gör informationskampanjer och utarbetar regler för t.ex. brandlarm och släckanläggningar. [www.brandskyddsforeningen.se](http://www.brandskyddsforeningen.se)

*Byggnadsnämnden* i aktuell kommun handlägger tillståndsärenden och kan ge information om vad som gäller även under planeringsfasen.

*Elektriska Nämnden, EN* – försäkringsbolagens centrala organ i elsäkerhet som administreras av SBF (Brandskyddsföreningen i Sverige). Den arbetar med att förebygga skador som kan uppstå genom elanläggningar (brand, maskin och personskador) och driftavbrott i anläggningarna. EN har besiktningsingenjörer som utför revisionsbesiktningar på försäkrade anläggningar. [www.elektriskanamnden.nu](http://www.elektriskanamnden.nu)

*Elsäkerhetsverket.* Bevakar elsäkerhetsnivån i Sverige och arbetar med att förebygga person- och egendomsskador orsakade av el. [www.elsakerhetsverket.se](http://www.elsakerhetsverket.se)

*Försäkringsbolag.* Har ofta bra information som stöd för försäkringskrav gällande t.ex. brandrisker.

Lantbrukets Brandskyddskommitté, LBK – är samarbetsorgan för lantbruket, myndigheter, försäkringsbolag och organisationer. LBK tar fram rekommendationer för brandförsvaret och brandförsäkringsbestämmelser inom just lantbruket. Kommittén utfärdar även typgodkännande för säkerhetsutrustning och brandfarliga anordningar och informerar om brandsäkerhet inom lantbruket. [www.lantbruketsbrandskydd.nu](http://www.lantbruketsbrandskydd.nu)

MSB - Myndigheten för samhällsskydd och beredskap innefattar det som tidigare var Räddningsverket, Krisberedskapsmyndigheten och Styrelsen för psykologiskt försvar. Sprängämnesinspektionen är en del av Räddningsverket som ingår i MSB och arbetar med frågor kring brandfarliga och explosiva varor. De har hand om tillstånd och tillsynsfrågor och föreskrifter kring brandfarliga och explosiva varor. [www.msb.se](http://www.msb.se)

Skorstensfejarmästaren/sotaren

SWEDAC. Kontrollorgan för besiktning som ackrediterar besiktningsmän t.ex. för att besiktiga trycksatta anordningar. [www.swedac.se](http://www.swedac.se)

### **Refererat till i avsnittstexten**

#### **Regelverk och vägledningar**

Statens Energimyndighet, 2005. Närvärme med biobränslen. Vägledning från idé till färdig anläggning, Tabergs tryckeri, Eskilstuna [www.energimyndigheten.se](http://www.energimyndigheten.se)

Förordning om miljöhänsyn i jordbruket 1998:915. Landsbygdsdepartementet, Riksdagen. Uppdaterad 2013. Tillgänglig på: [http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-1998915-om-miljo\\_sfs-1998-915/](http://www.riksdagen.se/sv/Dokument-Lagar/Lagar/Svenskforfattningssamling/Forordning-1998915-om-miljo_sfs-1998-915/)

Lagen om brandfarliga och explosiva varor (LBE). 2010:1011, [www.notisum.se](http://www.notisum.se)

Lagen om skydd mot olyckor (LSO), 2003:778, [www.notisum.se](http://www.notisum.se)

LRF. 2013. Miljöhousesyn. Egen tillsyn för lantbruk och trädgård. [www.miljohusesyn.nu](http://www.miljohusesyn.nu)

Lantbrukets Brandskyddskommitté. 2013. LBK.-pärm. Aktuell version finns på [www.lantbruketsbrandskydd.nu](http://www.lantbruketsbrandskydd.nu)

MSB. 2014. Vägledning förbränningsanläggningar mindre än 20 megawatt. Tillgänglig på: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Industri-och-forbranning/Forbranningsanlaggningar/Forbranningsanlaggningar-mindre-an-20-megawatt/> (20141201)

MSBFS 2014:5 Föreskrifter och allmänna råd om cisterner och rörledningar för brandfarliga vätskor (gäller från 1 november 2014) [www.msb.se](http://www.msb.se)

Miljöbalken. 2013. SFS. Miljödepartementet, 1998:808, uppdaterad tom SFS 2013:758. Tillgänglig på: <https://lagen.nu/1998:808>

Naturvårdsverket. 2014. Vägledning Förbränningsanläggningar mindre än 20 megawatt. Tillgänglig på: [www.naturvardsverket.se](http://www.naturvardsverket.se) under flik för Vägledning-Industri- och förbränningsanläggningar

Naturvårdsverket. 2014. Vägledning i tillämpningen av miljöbalken.  
<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/> (20140829)

Plan- och bygglagen, 2010:900, [www.notisum.se](http://www.notisum.se)

Sigill kvalitetssystem AB. 2011. IP Sigill för frukt och grönsaker. Standard för kvalitetssäkrad produktion av bär, frukt, potatis, frilands- och växthusgrönsaker med tillval för klimatcertifiering. (2011:1), <http://www.svensksigill.se>

Sigill kvalitetssystem AB. 2012. IP Sigill prydnadsväxter och plantskola. Standard för kvalitetssäkrad produktion av prydnadsväxter och plantskoleväxter med tillval för klimatcertifiering. [www.svensksigill.se](http://www.svensksigill.se)

## Övriga referenser

Möller Nielsen, Jonas. odaterad. Ny pannanläggning – mycket att tänka på. 4 s.  
<http://www.lansstyrelsen.se/skane/SiteCollectionDocuments/Sv/lantbruk-och-landsbygd/landsbygdsutveckling/stod-till-landsbygden/kompetensutveckling/Omradessidor/Klimat/Energikonvertering.pdf> (20140829)

## TIPS PÅ ANNAN INFORMATION

### *Damm och mögel i miljön:*

Arbetsmiljöverket. Trämögel. ADI 573. [www.av.se](http://www.av.se) (broschyr 12 sidor)

Arbetsmiljöverket. Undvik det farliga dammet i lantbruket. ADI 460. [www.av.se](http://www.av.se) (broschyr 8 sidor)

### *Bränslen:*

Biobränsleportalen, <http://www.biogasportalen.se/>

Energigas Sverige <http://www.energigas.se/>

Pelletspärmen. 2002. JTI (Institutet för jordbruks- och miljöteknik), författare Gunnar Hadders. <http://www.jti.se/uploads/jti/pelletsparmen.pdf>

### *Arbetsmiljö:*

AFS 2002:1 Användning av trycksatta anordningar, [www.av.se](http://www.av.se)

AFS 2005:23 Besiktning av trycksatta anordningar, [www.av.se](http://www.av.se)

Vägledning förbränningsanläggningar, [www.msb.se](http://www.msb.se) (<http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledning/Industri-och-forbranning/Forbranningsanlaggningar/>)



# EKONOMI OCH BESLUTSMODELL

Inger Christensen, Grön kompetens AB

## *Energianvändning i växthusföretag*

Det enskilda växthusföretagets energianvändning beror av en lång rad faktorer. Det yttre klimatet såsom instrålning, temperatur, vind och nederbörd har direkt påverkan på värmebehovet och energianvändningen. Stor betydelse har också typen av växthus och täckmaterial i tak och väggar. Även växthusens allmänna kondition såsom täthet kring luckor, spröjs och dörrar har betydelse för förlusternas storlek liksom användning av isolerande material, vävar, folier och status på system för värmeproduktion och värmedistribution. Samlade block av växthus kräver mindre energi än motsvarande yta med friliggande växthus. Stor betydelse har kulturval och när under året odlingen sker. Behov av fuktreglering kan innebära att det behöver tillföras energi utöver vad som behövs för att få önskad tempertur i växthuset. Alla dessa parametrar gör att variationen i energiförbrukning även mellan företag med samma inriktning kan vara stor. En uppskattning av årlig energianvändning för krukväxtodling respektive tomat eller gurkodling placerade i södra Sverige ges i Tabell 5.

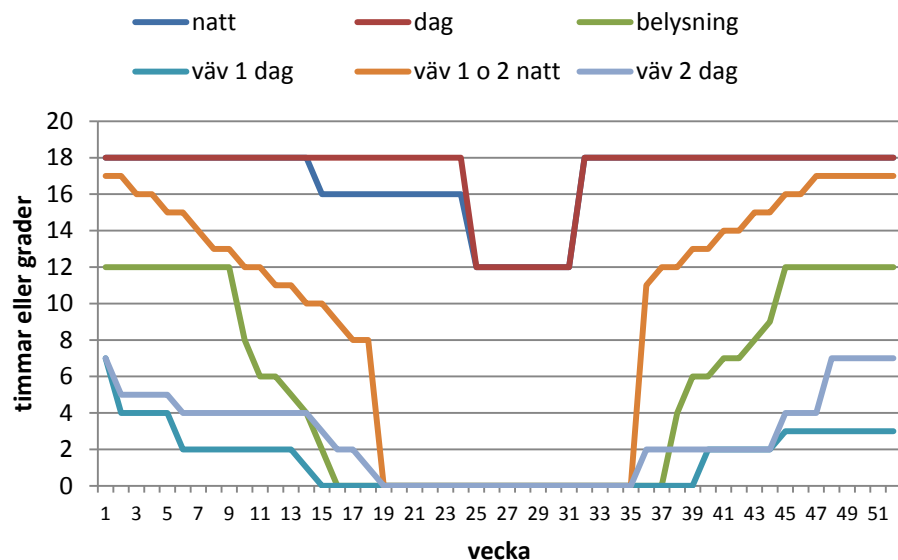
**Tabell 5.** Årlig energiförbrukning mätt i kWh/m<sup>2</sup> (egna uppgifter, Grön kompetens)

<b>Produktionsinriktning</b>	<b>Energiförbrukning, inkl. el</b> kWh/m <sup>2</sup>	<b>Variation</b> kWh/m <sup>2</sup>
Krukväxtodling (helår)	380	220 – 450
Tomat- eller gurkodling (jan/feb–okt)	400	300 – 450

Hur energibehovet varierar över året har stor betydelse för hur olika energilösningar bör utformas. Odling under perioden november till mitten av mars kan innebära perioder med mycket låga utetemperaturer. Det kan också vara dagar med så låg instrålning så att man inte kan räkna med nämnvärt energitillskott vilket medför att värmesystemet behöver gå på högsta effekt både dag och natt för att hålla önskad temperatur i växthuset.

Hur fördelningen av energianvändningen kan se ut under ett helt år i ett par olika typer av växthus visar följande exempel. Först tänker vi oss ett växthus med måtten 3 x 12 x 50 m (Exempel 1) med 16 mm polykarbonat i sidor och gavlar samt glas i taket. Det finns två vävar, belysning och man odlar hela året. Val av temperaturer, timmar för användning av belysning och vävar visas i Figur 21. Resultaten från beräkningen, Tabell 5 anger den beräknade energimängd som behövs för att erhålla önskad temperatur och den redovisas här i 4-veckorsperioder. I kolumn 1 anges värdena som nettovärden. Det innebär att hänsyn till verk-

ningsgraden på pannor och förlusterna i värmesystemet inte tagits med. I kolumn 2 är värden uppräknade och illustrerar en verkningsgrad för värmesystemet på 85 %.

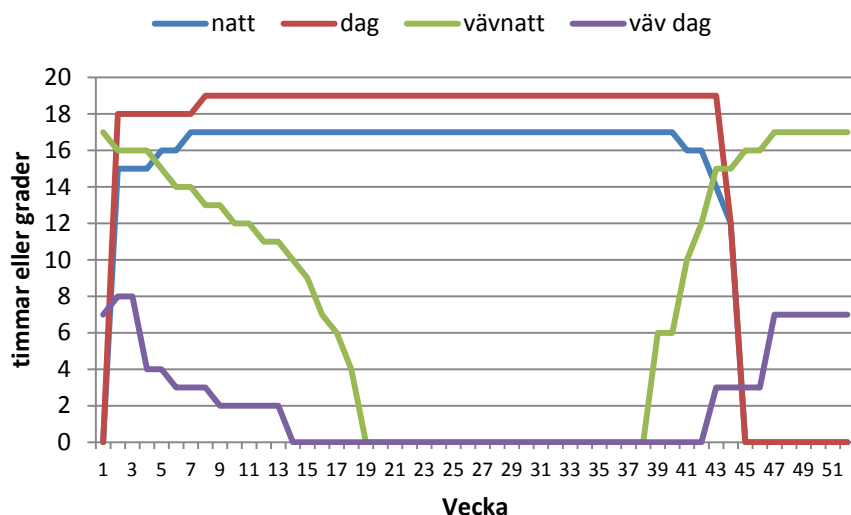


**Figur 21.** Underlag för temperaturer och timmar för användning av belysning och vävar för energiberäkning i Exempel 1 redovisad i Tabell 5.

**Tabell 5.** Exempel 1 - beräknat energibehov för ett växthus med måtten 3 x 12 x 50 m med 16 mm polykarbonat i sidor och gavlar samt glas i taket redovisat i 4-veckorsperioder (Grön kompetens).

Vecka	Netto kWh/m <sup>2</sup>	Brutto kWh/m <sup>2</sup>
1-4	50	57
5-8	56	65
9-12	44	50
13-16	20	23
17-20	9	10
21-24	10	11
25-28	2	2
29-32	1	2
33-36	6	7
37-40	11	12
41-44	20	23
45-48	37	43
49-52	48	55
Summa	314	360

Det andra exemplet (Exempel 2) visar en typisk tomatodling med ett venloblock med måtten 90 x 112 m utrustat med en grönsaksväv. Val av temperaturer och hur många timmar som väven antas vara fördragen visas i Figur 22.



**Figur 22.** Underlag för temperaturer och hur många timmar som vävar antas vara fördragna för energiberäkning i Exempel 2 redovisad i Tabell 6.

Resultatet från energiberäkningen visas i Tabell 6. Här har en tredje kolumn lagts till med värden som inkluderar förväntad energianvändning för fuktstyrning. I tabellen kan man se att med 85 % verkningsgrad på värmesystemet behövs 271 kWh/m<sup>2</sup> för att få önskad temperatur i växthuset och ytterligare nästan 100 kWh/m<sup>2</sup> för att få önskat klimat.

Tabell 6. Exempel 2 - beräknat energibehov för tomatodling i venloblock redovisat i 4-veckorsperioder (Grön kompetens).

Vecka	Netto kWh/m <sup>2</sup>	Brutto kWh/m <sup>2</sup>	Brutto med RF styrning kWh/m <sup>2</sup>
1-4	38	44	44
5-8	56	65	65
9-12	45	52	58
13-16	22	25	39
17-20	11	12	26
21-24	6	7	20
25-28	5	6	16
29-32	5	6	17
33-36	7	8	20
37-40	11	12	24
41-44	20	23	27
45-48	4	5	5
49-52	4	6	6
<b>Summa</b>	<b>234</b>	<b>271</b>	<b>367</b>

## GEOGRAFISK PLACERING

Det har stor betydelse för energibehovet i vilken del av landet som odlingen är placerad. Skillnaden mellan önskad temperatur i växthuset och utomhustemperatur är avgörande för energianvändningen och vilken effekt som behövs på värmesystemet. En sammanställning över normaltemperaturer för några olika städer redovisas i Tabell 7. Variationen mellan olika år och inom olika dygn är mycket stor. Som exempel kan nämnas att lägsta temperatur i februari sedan 1901 i Umeå, uppmättes 1978 till -38,2 grader. I Kristianstad samma år hamnade termometern på -23,4 grader.

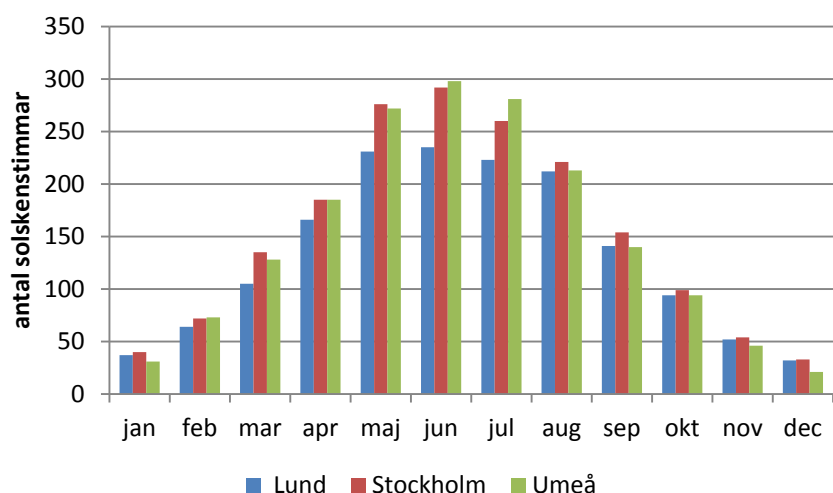
**Tabell 7.** Normaltemperatur enligt SMHI - medeltemperatur under perioden 1962-1992

	Lund	Kristianstad	Karls-hamn	Göteborg	Kalmar	Norr-köping	Västerås	Stock-holm	Umeå
Jan	-0,6	-1,3	-0,9	-1,1	-1,9	-3	-4	-2,9	-9,1
feb	-0,5	-1,3	-1	-1,2	-1,9	-3,2	-4,1	-3,1	-8,6
Mar	2	1,3	1,4	1,6	0,7	0	-0,5	0	-4,3
Apr	6	5,2	5,4	5,8	4,3	4,5	4,1	4,6	1,2
Maj	11,5	10,5	10,6	11,6	9,8	10,4	10,6	10,5	7,3
Jun	15,4	14,8	14,9	15,6	14,7	15,1	15,4	15,4	13
Jul	16,8	16,1	16,3	17	16,4	16,6	16,7	17,2	15,2
Aug	16,5	15,4	15,7	16,2	15,7	15,5	15,6	16,3	13,5
Sep	13,1	11,9	12,2	12,7	12	11,3	11,4	12	8,7
Okt	9,1	8	8,3	8,9	8	7,2	7	7,3	3,8
Nov	4,5	3,5	4	4,2	3,3	2,2	1,6	2,6	-2,4
Dec	1,1	0,3	0,7	0,8	-0,1	-1,4	-2,3	-1,1	-6,6

Förutom temperatur har vind, nederbörd och instrålning stor betydelse. Ett blåsigt läge ställer betydligt högre krav på växthus och värmesystem än ett lugnt läge. Man kan räkna med att en ökning av medelvinden med 0,5 m/s ökar energiförbrukningen med 4-5 %.

Solens strålning ökar snabbt temperaturen i ett växthus och gör att tillskottsvärme för att hålla temperaturen under dagtid inte behövs eller är låg under en stor del av året. I ett växthus börjar man märka en minskning av energibehovet när instrålningen är  $> 150 \text{ W/m}^2$ , mätt med en utomhusgivare. SMHI har i sina mätningar definierat solskenstid som den tid då den direkta solstrålningen överstiger  $120 \text{ W/m}^2$  (mätt med en Campell-Stokes heliograf).

I Figur 23 kan man se hur dessa mätningar utfallit under ett normalår.

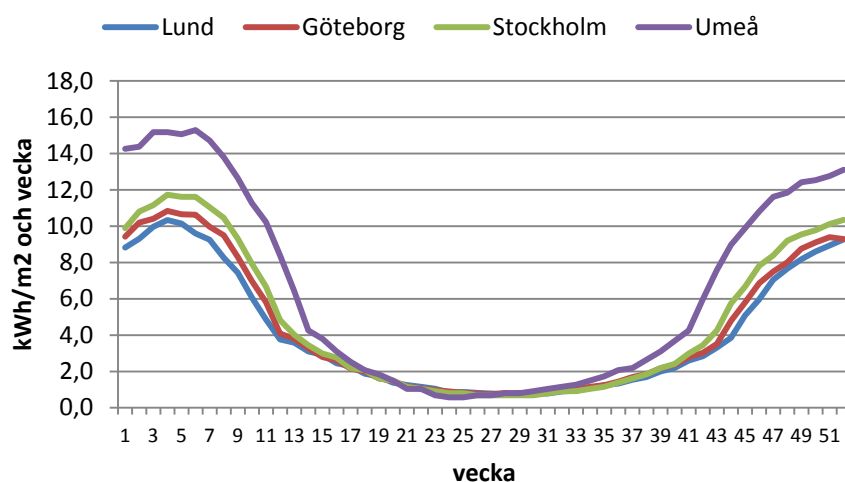


Figur 23. Antal solskenstimmar på olika orter (SMHI)

För att illustrera hur stor skillnad det är mellan att ha växthus i Lund, Göteborg, Stockholm eller Umeå har beräkningar gjorts (se nedan) för två olika typer av växthus. Värdena i beräkningarna är nettovärden vilket innebär att hänsyn till verkningsgraden på pannor och förlusterna i värmesystemen inte tagits med. Resultaten anger den energimängd som behövs för att erhålla önskad temperatur. Energi för eventuell fuktighetsreglering är inte medtagen. Beroende på värmesystem blir den verkliga energianvändningen 10-20% högre. Energiberäkningar visar att från vecka 37 på hösten till vecka 16 på våren ökar energibehovet när man flyttar sig från söder till norr. Veckorna däremellan är skillnaderna mycket små.

#### Exempel 1

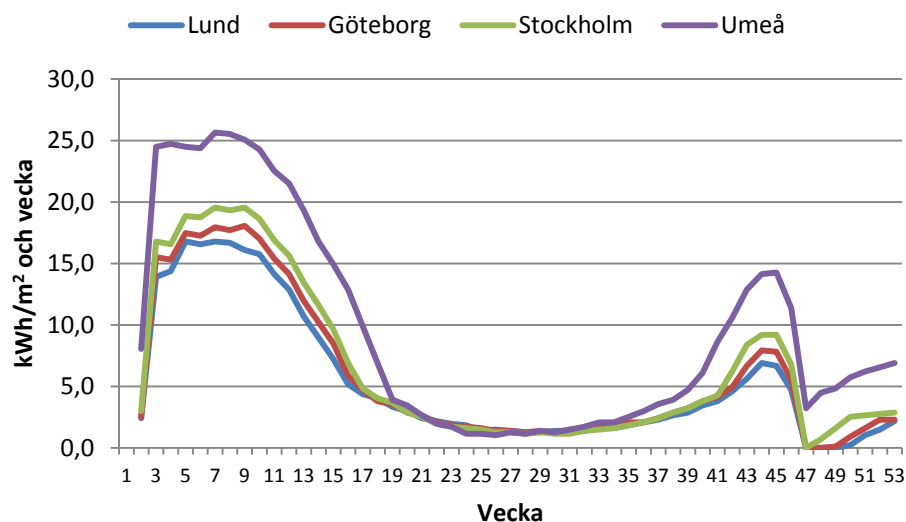
Första växthuset (Exempel 1) är ett 3x12 x50 m, 16 mm polykarbonathus utrustat med energiväv som används alla nätter och en uppvärmningstemperatur på 18 grader dag och natt. Resultatet för beräkningarna för de olika klimatzonerna redovisas i Figur 24.



Figur 24. Beräknad energiåtgång för ett 3x12 x50 m stort växthus vid samma förutsättningar i olika klimatzoner, Exempel 1 (Grön kompetens).

### Exempel 2

Det andra växthuset (Exempel 2) illustrerar en tänkt tomatodling i ett venloblock utrustat med en grönsaksväv taket t.ex. LS10. I beräkningarna är val av temperaturer och vävanvändning densamma som i avsnitt 4 tabell 17. Resultatet av beräkningen visas i Figur 25



**Figur 25.** Beräknad energiåtgång för tomatodling i ett venloblock vid samma förutsättningar i olika klimatzoner, Exempel 2 (Grön kompetens).

## BYTE AV VÄRMESYSTEM

Det är många faktorer att ta hänsyn till vid byte eller förändring av en växthusodlings uppvärmningssystem. Den geografiska placeringen spelar ofta en stor roll. I växthus som ligger i eller nära tätorter kan värmepumpar eller fjärrvärme vara ett alternativ. Av trädbränslen är pellets då oftast det valda alternativet. Det kräver mindre utrymmen och har lättare att klara krav på låga stoftnivåer än vid eldning med skogsflis.

Eldning med flis är det mest förekommande bränsleslaget. Flisläggningar är mer skrymmande och arbetskrävande jämfört med pellets, olja och naturgas. Priset per kWh är dock betydligt lägre vid fliseldning jämfört med utnyttjande av andra bränsleslag. En uppskattning av prisnivån 2014 för de olika bränsleslagen ger värden enligt nedan. För olja, naturgas och gasol är skatten beräknad enligt de regler som gäller från 2015.

Energislag	kr/kWh
El	0,7-0,8
Olja MK1	0,9
Naturgas	0,47-0,55
Gasol	0,9
Skogsflis	0,18-0,20
Pellets	0,35-0,40
Fjärrvärme	0,5-0,55

## EFFEKTBEHOV

För att kunna göra en korrekt dimensionering av ett växthusföretags uppvärmningssystem är det viktigt att känna till företagets effektbehov och hur det varierar över tiden. Skillnaden i effektbehov mellan vinter och sommar är mycket stor. Dessutom är det ofta stora skillnader inom ett och samma dygn. En överdimensionering av värmesystemet leder till onödigt höga investeringskostnader samtidigt som underdimensionering kan få negativa effekter i form av längre utvecklingstider, lägre produktion och sämre kvalitet på produkterna. Ett säkert odlingsresultat ställer också krav på temperaturstyrningen i växthuset. Eftersläpningar eller oönskade temperaturdippar kan bland annat ge växtskyddsproblem. Under sommarhalvåret behövs värmesystemet ofta bara några timmar per dygn. Verkningsgraden på en panna sjunker vid låg last vilket kan leda till onödigt stor energiförbrukning på de tidpunkter då effektbehovet är lågt.

Sammanfattningsvis kan man säga att det ideala värmesystemet ska klara:

- Perioder med stort effektbehov
- Snabba variationer i effektbehov
- Perioder med lågt effektbehov

Förändringar av uppvärmningssystem innebär oftast stora investeringar. Det är dyrbart att installera för att klara toppbelastning och ofta är det lämpligt att behålla den gamla värmekällan som spetsvärme och säkerhet vid eventuella driftstopp. Vid byggande av nytt växthusföretag blir frågeställningen mera satt på sin spets. Första valet är ofta en fastbränslepanna kombinerad med ackumulatortank. Vid odling under perioden november–februari är antalet soltimmar lågt och det kan vara svårt att skapa överskottsvärme som går till en ackumulatortank om man odlar/har t.ex. en grönsaksodling utan växtbelysning. Vill man säkert kunna hålla värmen i växthuset under kalla perioder är valet att antingen investera i en större panna eller skaffa ett tredje ben att stå på. Att ha två mindre pannor är ofta att fördra både ur säkerhetsskäl och för effektiv energianvändning på sommaren då man har möjlighet att släcka en panna. I odlingar med växtbelysning är situationen en annan då lamporna avger mycket värme vilket gör att man även vintertid kan ha stor nytta av en ackumulatortank.

### **Vad kräver kulturen och hur ser den framtida användningen av växthusen ut?**

Ett riktvärde som ofta används vid beräkning av effektbehov är att det ska gå att hålla en temperaturdifferens på 30-35 grader C mellan ute- och innetemperatur. Man har då utgått ifrån en önskad temperatur i växthuset på 18-20 grader C. Det kan dock vara klokt att göra en mer genomtänkt analys av vad man kan behöva. En fråga att ställa sig inför investering i nytt värmesystem är vilken temperatur man behöver klara av att hålla i växthuset. Finns det en temperaturnivå som är acceptabel under en kortare period t.ex. 18 grader är önskad temperatur, 16 grader under ett dygn är inget större problem, 14 grader kan jag tolerera i 10 timmar. Vilken

kritisk nivå finns, vid vilken temperatur tar kulturen tydlig skada? Man behöver ha ett säkert värmesystem som klarar den kritiska nivån även vid extremt väder. Med hjälp av kompletterande utrustning bör man kunna öka temperaturen i växthuset till en för odlingen lämplig nivå. Kompletterande utrustning kan vara möjligheten att dra för väv och på så vis öka isoleringen vid en tidpunkt då man normalt inte utnyttjat väv. En annan möjlighet kan vara att tända belysning för att få tillskottsvärme och naturligtvis kan möjlighet finnas att använda reservpanna, t.ex. tidigare använd olja eller gaspanna. Kortare perioder med större värmebehov än vad pannan kan leverera kan ofta en ackumulatortank kompensera för.

## ISOLERA FÖRST

Typ av växthus och val av täckmaterial har stor betydelse för energibehovet i en växthusanläggning och vilken effekt som behövs för att hålla värmen. Hur god isolering en hel byggnadsdel har anges ofta som dess U-värde, *värmegenomgångskoefficient*, med enheten W/(m<sup>2</sup> °C) (watt per kvadratmeter och grad). Ju bättre isolering desto lägre U-värde. Effektbehovet för ett helt växthus får man fram om man räknar efter formeln:

*Area x U-värde x temperaturskillnaden inne-ute. Där arean står för den totala ytan av tak, gavlar och sidor.*

Hur stor glasytan är av tak, sidor och gavlar i relation till bottenyta varierar något beroende på typ av växthus. Blockhus och friliggande hus har större glasyta i förhållande till botten yta än ett venlohus. I ett blockhus med måtten 12x3x50 m med ståndsida på 2,2 m blir glasytan ca 1,39 gånger större än bottenytan och i ett "20-metershus" med 1 block får man räkna upp botten ytan med ca 1,44. I ett venloblock på 10 000 m<sup>2</sup> med ståndsida på 4 meter blir relationen för ytan av tak+sidor+gavlar/bottenyta ofta ca 1,2 vilket ger 12 000 m<sup>2</sup> glasyta. I ett block med samma bottenyta men med 6 m ståndsida ökar glasytan till ca 13 700 m<sup>2</sup> d.v.s. bottenyta gånger 1,37.

En stor del av dagens växthus har enkelskikt i taket och någon form av flerskiktmaterial i gavlar och sidor. U-värdena för en växthusanläggning varierar över dygnet och över året beroende av hur vävar kan användas. Tabell 8 ger exempel på ofta förekommande täckmaterial och vävar för växthus och vilka ungefärliga U-värden växthusen har utan respektive med vävfördragen.

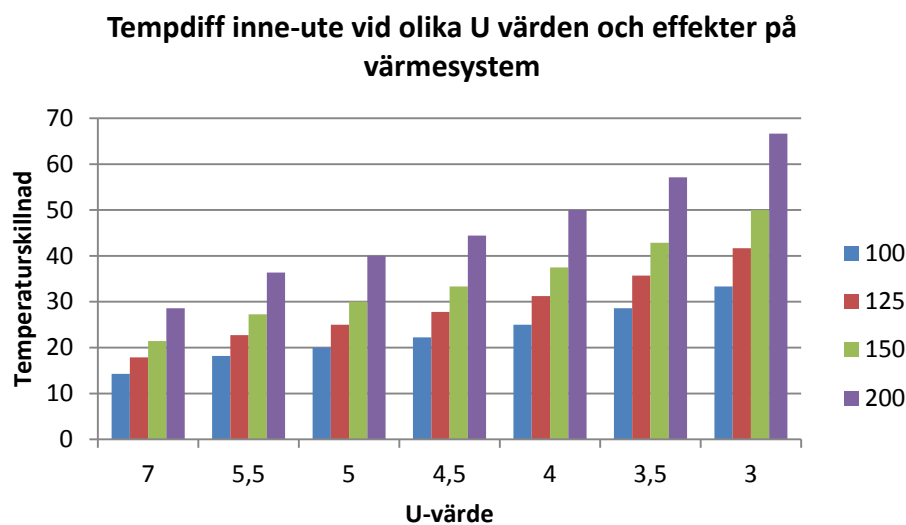
**Tabell 8.** U-värden för olika täckmaterial och kombination av vävar (Grön kompetens)

Typ av material	U-värde utan väv	U-värde fördragen väv med 43% energibesparing. Vävfördrag endast i tak	U-värde fördragen mörkläggningsväv med 70% energibesparing
Polykarbonat 16 m.m.	3,5	2,3	1,1
Pollykarbonat 10 m.m.	4,2	2,7	1,3
Glas-enkel	6,9	4,4	2,1
Dubbelfolie	4,5	2,8	
Enkelplast	10		



En gyllene regel är att isolera, sänka U-värdet på anläggningen, först och dimensionera värmeanläggning efter att detta gjorts. Ett enkelt räkneexempel visar att för en glasyta på 12 000 m<sup>2</sup> behövs en effekt på ca 1700 kW om temperaturskillnaden mellan ute och inne är 20 grader C och U-värdet är 7 W/(m<sup>2</sup> °C) medan man klarar sig med 1100 kW om U-värdet är 4,5 W/(m<sup>2</sup> °C). Det kan röra sig om ett par miljoner kronors skillnad i investeringskostnad.

I Figur 26 ges exempel på vilken temperaturdifferens en installerad effekt på 100, 125, 150 och 200 W/m<sup>2</sup> klarar vid olika U-värden.

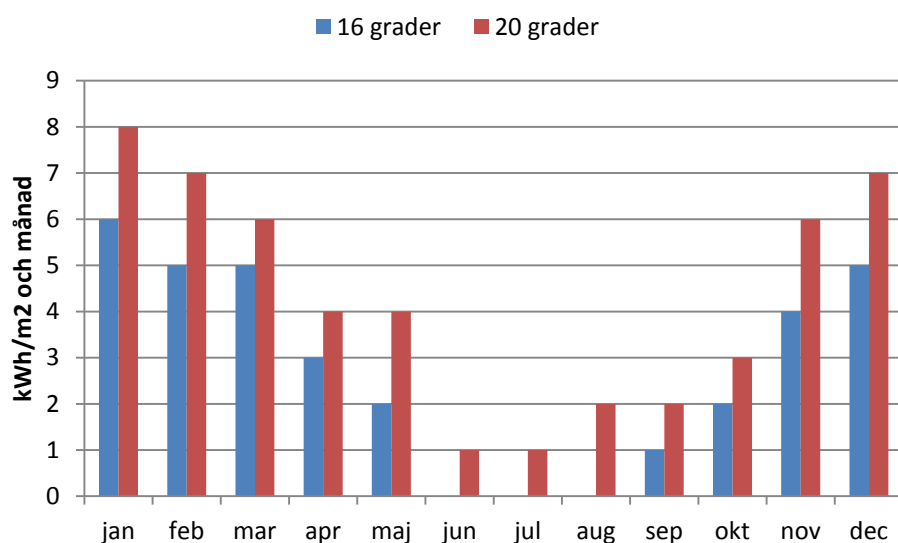


**Figur 26.** Beräknad temperaturdifferens mellan inne- och utetemperaturen som en viss installerad panneffekt kan beräknas klara av vid olika stora U-värden (W/(m<sup>2</sup> °C))

Ur digrammet (Figur 26) kan man utläsa att om man har en panneffekt på 100 W/m<sup>2</sup> så klarar man 14 graders temperaturdifferens mellan ute och inne om U-värdet är 7 och 23 graders differens vid ett U-värde på 4,4. Dessa U-värden motsvarar ett växthus med enkelglas i taket med U-värde 7 W/(m<sup>2</sup> °C) och en energiväv som fördragen på natten ger växthuset ett U-värde på 4,4 W/(m<sup>2</sup> °C). Detta innebär att dagar med låg instrålning, då man inte får hjälp av ljuset för uppvärmning, kommer man att ha svårt att hålla temperaturen om det är kallare än 4 grader ute om man samtidigt önskar hålla en temperatur på 18 grader i växthuset medan man under natten med fördragen väv kan klara ner till -5 grader. Erfarenhet från odlingar visar att instrålningen mätt med utomhusgivare behöver vara >150 W för att det ska ge ett märkbart värmetillskott och kompensera för låg effekt på värmeanläggning. Exemplet visar att i ett växthus med väv som behöver dras av på dagen är det dagen som under årets ljusfattiga månader kan behöva högst effekt. Bra isolering av gavlar, socklar och sidor så att U-värdet blir så lågt som möjligt vid från dragen väv kan göra att man klarar sig med en mindre panna.

I dessa siffror avseende effektbehov är inte den kylande effekt som vind och nederbörd medför medtaget i beräkningen.

Ett lägre U-värde minskar naturligtvis även det totala energibehovet. Redan en minskning på  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$  gör stor skillnad. Hur energibehovet förändras vid en sådan ändring av U-värdet kan man utläsa i Figur 27. Staplarna i figuren visar med hur många kWh/m<sup>2</sup> energibehovet kan förväntas minska om U-värdet minskar med 0,5 enheter om man har en inställd temperatur i växthuset på 16 respektive 18 grader C. Värdena gäller för södra Sverige och anges för varje månad.



Figur 27. Beräknad minskning i energibehovet vid minskning av U-värdet med  $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$

### Energi för att smälta snö

I ett växthus som under vintermånaderna står tomma kan man behöva en strategi för snösmältning. Det är mycket energikrävande att smälta snö. Smälta snö består av två steg, först att värma snön till smältpunkten, därefter att smälta snön. För att räkna ut hur mycket energi (Q) som går åt kan man använda följande formel:

1. värma snö till smältpunkten  
 $Q = \text{massan} \cdot C_p \cdot dT$ ,  
 Specifik värmekapacitet,  $C_p$  för is är  $2,22 \text{ kJ}/\text{kg } ^\circ\text{K}$
2. smälta snön  
 $Q = \text{massan} \cdot dH_{is}$ ,  
 $dH_{is}$ , smältvärmens för is är  $334 \text{ kJ}/\text{kg}$

Exempelvis, för att smälta 2 kg snö, vilket motsvarar 20 mm nederbörd som snö per  $1 \text{ m}^2$ , vid  $-7$  grader ute behövs:

$$Q = 2 \cdot (2,22 \cdot 7 + 334) = 699,1 \text{ kJ}$$

Ska denna värmemängd tillföras på 1 timme behövs  $0,2 \text{ kWh/m}^2$ , vilket innebär en effekt på  $200 \text{ W/m}^2$ .

### ACKUMULATOR TANK - BRA KOMPLEMENT

Det finns många fördelar med att ha en ackumulatortank. Fastbränslepannor är långsammare i reaktion än gas och oljepannor. Genom att utnyttja "reservvärme" från en bufferttank kan man undvika oönskade temperaturdippar eller eftersläpningar vid temperaturstyrning.

Ett jämnt effektuttag, på en för pannan optimal nivå, ökar verkningsgraden på värmesystemet vilket minskar energianvändningen.

Med hjälp av en ackumulatortank kan man stora delar av året klara av behovet vid effekttoppar. Det innebär att en bufferttank kan bidra till att man kan investera i en mindre panna. Man behöver dock räkna med att under årets mörkaste månader kan det bli många dagar då effektbehovet kan vara stort hela dygnet och en mindre panna kan ha svårt att räcka till för att skapa överskott till bufferttanken. I de situationerna är många gånger tillgång till spetsvärme nödvändig. Vid odling med växtbelysning är situationen en annan då lamporna kan hjälpa till att skapa överskott när de är tända.

### Hur stor ackumulatortank behövs?

Det är bättre med en "liten" tank än ingen tank. Investeringskostnaden för en ackumulatortank ökar nästan linjärt med storleken på tanken men är lägre per kW räknat jämfört med om man ska investera i en större panna

Ett riktvärde kan vara att man till varje kW som panna eller värmepumpen kan ge har 120-140 liter i ackumulatortankvolym. Det innebär att till en panna på 500 kW kan en ackumulatortank motsvarande  $60-70 \text{ m}^3$  vara en lämplig storlek.

Vill man räkna på hur mycket energi som kan sparas i tanken kan man använda följande siffror:

För att värma  $1 \text{ m}^3$  vatten  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  behövs 4180 kJ vilket motsvarar 1,16 kWh. Räknar man med att man i ackumulatortanken kan höja temperaturen med 50 grader innebär det att varje  $\text{m}^3$  i tanken kan avge  $1,16 \cdot 50 = 58 \text{ kWh}$ . En tank på  $60 \text{ m}^3$  kan vid fylld tank hålla 3280 kWh att använda vid behov

Har man en pannkapacitet på 500 kW och den inte behövs en solig dag kan man fylla en bufferttank på  $60 \text{ m}^3$  på ca 6,5 timmar.

*Den teoretiska vattenvolymen som krävs för att lagra en viss mängd energi kan beräknas enligt formeln:*

$$Q = \rho \cdot C_p \cdot V \cdot \Delta T$$

$$Q = \text{mängden energi som ska lagras, J}$$

$$\rho = \text{vattnets densitet, kg/m}^3$$

$$C_p = \text{vattnets värmekapacitet, J/(kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C)} = 4,18 \text{ kJ/kg} \cdot \text{ }^\circ\text{C}$$

$$V = \text{volym, m}^3$$

$$\Delta T = \text{tillgänglig temperaturdifferens, }^\circ\text{C}$$

## Bränslelager

Frågor att ställa sig inför dimensionering av bränslelager kan vara: hur ska bränslet transporteras, tippas och hur ofta vill man ha leverans? Utgångspunkt kan vara att man vill ha leverans 1-2 gånger i veckan när åtgången är som störst. Det brukar innebära ett behov av 16-18 kWh/m<sup>2</sup> växthusyta vilket motsvarar 20-25 m<sup>3</sup> flis i veckan för 1000 m<sup>2</sup> växthus. Lagret för en effektiv bränslehantering av flis bör vara ungefär dubbelt så stort som den transportvolym man vill hantera. Vill man kunna använda stora sidotippade flisbilar krävs det att flisfickan är 12 m lång alternativt att man kan tippa flisen på marken. Dessa bilar används normalt för leverans från terminal. Skogsflis som inte går från terminal lastas normalt i containrar på ca 40 m<sup>3</sup> eller 120 m<sup>3</sup> per bil. Vill man ha tak över flisfickan behöver det vara drygt 7 m högt och minst 6 m brett för att containrar obehindrat ska kunna tippas.

Det finns risker med alltför lång lagringstid av framförallt fuktig flis. En rötangripen flis får sämre värmevärde och tillväxt av mögel och rötsvampar kan ge upphov till hälsofarliga sporer

Motsvarande mängd pellets för att klara de mest energikrävande veckorna är ca 3,6 ton/1000 m<sup>2</sup> och vecka. Bulkbilar för pellets lastar 13 ton på bilen och kan ta ytterligare 25 ton på släp. Pellets har en densitet på 650 kg/m<sup>3</sup> vilket innebär att 13 ton motsvarar 20 m<sup>3</sup>. Med samma resonemang som för flis blir minsta lagringskapacitet ca 40 m<sup>3</sup> om man ska kunna utnyttja hel bil.

## EKONOMI.

Byte eller förändringar i värmesystem medför ofta stora investeringar. De ekonomiska parametrarna att ta ställning till vid beslut om förändring är:

- Investeringsbehov
- Kapitalkostnad
- Rörliga energikostnader
- Drifts- och underhållskostnader

## Investeringsbehov

Det är många beslut att fatta vid byte eller förändring av värmesystem. Efter att man har fastställt hur stor effekt man önskar finns det många praktiska frågor att ta ställning till. I befintliga företag har man ofta en historia med ett antal olika energilösningar. Frågan är ofta vad som går att använda, kan man bygga vidare på det som finns eller är det en helt ny anläggning som är aktuell. Har man redan ett väl tilltaget pannrum eller behöver man bygga nytt. Hur mycket eget arbete kan man sätta in eller önskar man en ”nyckelfärdig anläggning”. En ny värmecentral kan innebära att det behövs ny kulvert. Hur är det med plats för bränslelager och möjlighet för bilar att lätt komma till. Var kan man ställa en ny ackumulatortank?

### *Pannor*

Till själva pannan räknas här matningssystem för bränsle, askhantering, system för sotning, filter för rökgasrening, skorsten, styrautomatik samt installationskostnad. Kostnaden för fastbränslepannor ökar nästan linjärt med effekten. Schablonmässigt kan man räkna med en kostnad på 2500 – 3000 kr/kW. Till detta kommer eventuella kostnader för pannrum.

### *Akkumulatortank*

Kostnaden för en akkumulatortank kan schablonmässigt sättas till 4 kr/l. Variationen i investeringskostnad är stor. Många köper begagnade tankar och kan på så vis komma ner till halva kostnaden. Tillkommer gör platta/fundament att sätta tanken på. För en tank på 100 m<sup>3</sup> bör man kalkylera med ca 100 000 kr för fundament och inkoppling av tank i värmesystemet.

### *Bränslelager*

Enklaste modell för flislager bör ha hård platta med minst en vägg. En flisficka med väggar men utan tak tycker många fungerar bra. Andra har satsat på flisfickor med tak och därmed säkrat att man inte får problem med nederbörd. Kostnaderna varierar naturligtvis med storlek och utförande. För ett flislager för ca 100 m<sup>3</sup> och med takhöjd på 7,5 m får man räkna ca 150 000 kr för material plus arbetskostnad.

Silos för pellets ska vara konstruerade så att det inte bildas kondens som kan göra pelletsen fuktig. Kostnaden för 40 m<sup>3</sup> är ca 100 000 kr.

### *Ny kulvert*

En ny panncentral innebär ofta att man behöver dra ny kulvert. Kostnaderna för material kan hamna på ca 1500 kr/m. Till detta kommer grävning och arbetskostnader vilket innebär en kostnad per meter på 1800-2000 kr.

### *Driftskostnader*

Kostnaden för drift och underhåll kan variera avsevärt mellan olika anläggningar men när frågan ställdes till sex företag med fliseldning blev ett genomsnitt 25 – 30 000 kr/år räknat på 5 år för pannor med effekt på 500 -1000 kW och levererad energi på 1700-4000 MWh. Byte av rooster och ommurning eller förbättring av förugn var de vanligaste åtgärderna. Arbetstiden uppskattades till 2-3 timmar i veckan och det innefattade tillsyn, att köra fram flis och arbete med sotning och askhantering.

## **HJÄLPMEDEL VID INVESTERINGSBERÄKNING**

Ett användbart webbaserat hjälpmedel vid investeringsberäkning är Kalkyllådan, som finns på [www.gronkompetens.se](http://www.gronkompetens.se) . Där finns det möjlighet att enkelt jämföra vad olika räntenivåer, avskrivningstider m.m. ger för resultat vid en investering.

Man kan också göra en enkel snabbkoll om en investering betalar sig, genom att använda följande ekvation, där förutsättning är ett hypotekslån på 10 år med 5 % ränta, vilket ger en annuitetsfaktor på 0,1295:

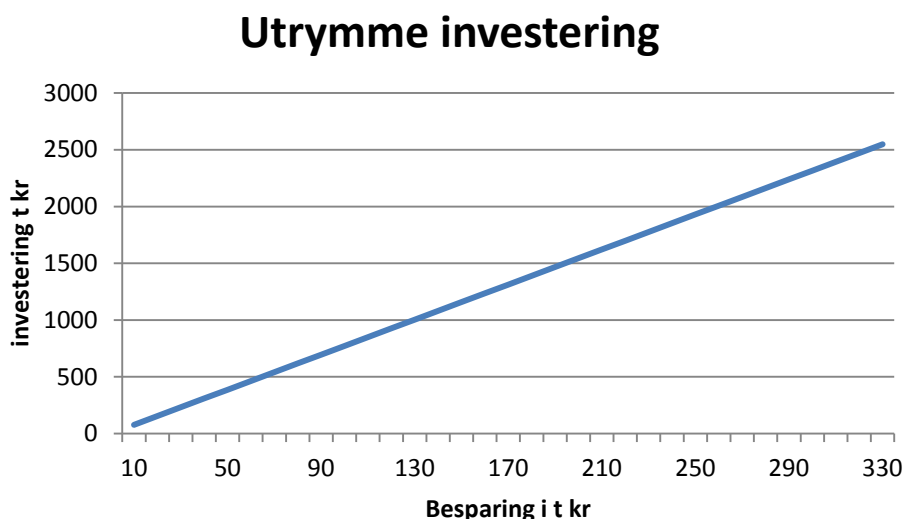
- dividera besparingen som investeringen ska ge med annuitetsfaktorn och man får beloppet på investeringen som besparingen motsvarar
- eller
- multiplicera investeringen med annuitetsfaktorn och man får den årliga kostnaden för avskrivning och ränta för investeringen

### Exempel

I ett företag använder man 1000 MWh i form av olja. Med ett pris på 900 kr/MWh blir kostnaden 900 000 kr. Byte till pellets halverar kostnaden. Det ger ett investeringsutrymme på:  $450000 \text{ kr} / 0,1295 = 3\,474\,903 \text{ kr}$ .

Vänder man på frågeställningen gäller att med samma förutsättningar kommer ett lån på 3 474 903 kr att i ränta och amortering kosta  $3\,474\,903 \times 0,1295 \text{ kr} = 450\,000 \text{ kr}$ .

I Figur 28 kan man på motsvarande sätt gå in och ”läsa av” investeringsutrymmet resp. årlig kostnad för en given investering (samma förutsättningar som ovan).



**Figur 28.** Investeringsutrymmet resp. årlig kostnad för en given investering (samma förutsättningar som ovan)

## NÅGRA RÅD OCH KOMMENTARER FRÅN FÖRETAG SOM HAFT FASTBRÄNSLEPANNOR ETT ANTAL ÅR

Välj ett bra system från början, ta  
en välrenommerad leverantör

Är nöjd med fliseldningen, man  
får bra betalt för jobbet

Börja med energieffektivisering,  
det är ett värmesystem som krä-  
ver kunskap, skaffa kunskap

Kontrollera noga så att man får  
bra grejor, satsa på en komplett  
anläggning

Sätt in energimätare så att du kan  
följa vad pannan levererar, köp  
inte för litet. Tänk till på flishan-  
teingen

Hör med fler och kolla upp offer-  
ter. Köp bästa kvalitet på kolvar  
och hydraulik

## NY TEKNIK OCH INTERNATIONELL UTBLICK

Sven Nimmermark, SLU

I projektet gjordes 2 stycken studiebesök. Ett till Hannover där man byggt ett forskningsväxthus för att studera hur man med energisnålaste teknik kan reducera energiåtgången i ett växthus. Växthuset är ett av dem som byggt i ett stort Zineg-projekt i Tyskland.

Forskningen i Hannover är inriktad främst på isoleringslösningar och integrerade lösningar för prydsväxter. Man studerar ljusstrålning och energilösningar för att effektivisera energianvändningen. När det gäller kulturval söker man kombinera olika kulturer för effektiv användning av energi och anpassning till kulturernas behov. Studien omfattar därför dels åtgärder för att sänka energiåtgången och dels integration av växtproduktionen med de energisparande metoderna/åtgärderna. I systemet lagrades värme från växthuset i en tank med hjälp och en värmepump och värme från växthuset. För tillförsel och bortförande av värme användes fläktar anslutna till värme-/kylelement som monterats längs växthusets långsida.

I taket används antireflexbehandlade dubbelglas med Argon mellan glaset och i väggarna fyralagers akrylplattor. Dubbelglaset har högre ljusgenomsläpplighet än normalt glas. Tre olika vävar används för att isolera: 1) Ljust material för användning dagtid som tar bort ca 20% av ljuset som kommer utifrån, 2) material med aluminiumremsor som tar bort ca 50% av ljuset och 3) mörkläggningsväv. Den totala energibesparingen i systemet vid odling av julstjärna angavs vara som lägst 50% räknat på olika perioder.

Systemet i det tyska Zineg-växthuset är fortfarande i utvecklingsstadiet, med så småningom kan delar av systemet säkert även anpassas till den praktiska odlingen.

Det andra studiebesöket gjordes till Holland där projektet Kas als Energiebron, som drivs av Nederländska staten i samarbete med odlarorganisationerna Produktschap Tuinbouw och LTO Glaskracht genomförs. Projektet syftar till att nya växthus som byggs efter år 2020 ska vara fria från användning av fossil energi, samt att energiförbrukningen i befintligt växthusbestånd ska minska till 50% av 2010 års nivå.

Man har arbetat med att minska energiåtgången i sju steg:

1. torr luft i huset
2. energivävar
3. dynamisk temperaturstyrning
4. ökade luftrörelser vertikalt
5. befuktning
6. aktiv kylning och
7. akvifer i kombination med värmepump

Olika studiebesök i forskningsväxthus och kommersiella växthusföretag gjordes. Diffuserande glas har nu börjat användas i stor omfattning också i kommersiella odlingar. Intressant var



försök och forskning avseende LED-belysning. En annat intressant ny teknik som studerades var rundblåsande fläktar som fördelar och trycker ut luften som en horisontell skärm under vävarna och som utbyter luft med utrymmet ovanför vävarna för att på så sätt avfukta växthusluften.

## LITTERATUR

Då referenserna till avsnittet ”Myndighetskrav, besiktningar och inspektioner” till stor del är tänkta som ett uppslagsverk redovisas dessa sist i det avsnittet

- Bioenergihandboken. Bränsleutredning. [www.novator.se/bioenergy/facts/fuelinvest.pdf](http://www.novator.se/bioenergy/facts/fuelinvest.pdf) , accessed aug 2014
- Christensen, I., Hansson, T. & Svensson, S. E. 2010. Energi i växthusodling, energianalys och energieffektiv odlingsteknik. Rapport 2010:36, Tillväxt Trädgård, Fakulteten för Landskapsplanering, Trädgårds och Jordbruksvetenskap, SLU Alnarp
- Jernkontorets energihandbok, 2014 <http://energihandbok.se>
- Lantz, M., Larsson, G. & Hansson, T. 2006. Förutsättningar för förnybar energi i svensk växthusodling. Rapport, Lunds Tekniska Högskola, 57, 54s.
- Lehtikangas, P. 1999. Lagringshandbok för trädbränslen, 2:a upplagan (pp. 116): SLU, Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. för virkeslära,Uppsala.
- Möller-Nielsen, J. 2011. Energibesparing i växthus–tekniska möjligheter.
- Nilsson, D. 2012. Småskalig uppvärmning med biobränslen. Rev. L. Bengtsson av utgåva 2001. Undervisningskompendium: Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för lantbruksteknik, LT Ultuna.
- Ringman, M. 1995. Trädbränslesortiment – definitioner och egenskaper *Fakta Skog Nr 5*. Umeå/Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- SJV 2012. *Trädgårdsproduktion 2011*. Sveriges officiella statistik, Statistiska meddelanden JO 33 SM 1201, korrigerad version 2012-09-03. Jordbruksverket, Jönköping.
- Nimmermark, S. (2014). Solceller i lantbruket och de gröna näringarna - Möjligheter och intressanta tillämpningar. *LTV Rapport 2014:23* (pp. 38). Alnarp: SLU, Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap, Institutionen för Biosystem och teknologi.
- Energimyndigheten. (2005). Solceller i byggnader - nya möjligheter. OH-presentation.
- Sonneveld, P., Zahn, H., & Swinkels, G.-J. (2010). A CPV System with Static Linear Fresnel Lenses in a Greenhouse. In A. W. Betts, F. Dimroth, R. D. McConnell & G. Sala (Eds.), *6th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems* (Vol. 1277, pp. 264-267).
- Minuto, G., Bruzzone, C., Tinivella, F., Delfino, G., & Minuto, A. (2009). Photovoltaics on greenhouse roofs to produce more energy. [Fotovoltaico sui tetti delle serre per produrre anche energia.]. *Informatore Agrario Supplemento*, 65(10,Supplemento), 16-19.