

# Växthusteknik

av Jonas Möller Nielsen och Sven Nimmermark



Europeiska jordbruksfonden för  
landsbygdsutveckling: Europa  
investerar i landsbygdsområden

## **Förord**

Växthusteknik skrevs ursprungligen 2008 av Jonas Möller Nielsen på Cascada och har nu arbetats om och uppdaterats av Jonas Möller Nielsen och Sven Nimmermark på SN Miljökonsult. Nya kapitel om avfuktning, assimilationsbelysning och koldioxid har tillkommit.

Häftet ingår som en del i Jordbruksverkets kurspärm Ekologisk odling i växthus.

Linköping, februari 2019  
Sara Furenhed, Jordbruksverket

Foto framsida: Elisabeth Ögren.

## Innehåll

Växthuset.....	6
Växthusets placering .....	6
Grund .....	8
Stomme .....	11
Ytterskal.....	15
Täckmaterial.....	17
Dörrar .....	24
Ventilation .....	25
Uppvärmning .....	28
Uppvärmningssystem .....	28
Teknisk utrustning .....	32
Styrning .....	38
Rökgaskylning.....	38
Vävar .....	38
Energikällor .....	39
Bevattning .....	48
Bevattningssystemets uppbyggnad .....	48
Vattenbehandling .....	54
Avfuktning .....	60
Olika metoder för avfuktning .....	60
Värme och ventilation .....	61
Övrig teknik för avfuktning .....	62
Assimilationsbelysning .....	65
Varför assimilationsbelysning?.....	65
Enheter för ljus.....	66
Olika ljuskällor .....	67
Val av färgspektrum .....	71
Skötsel och underhåll .....	72
Koldioxid .....	74
Fotosyntes och koldioxidens funktion .....	74
Koldioxidkällor .....	74
Koldioxiddistribution.....	75
Arbetsteknik.....	78
Uppbindning och sänkning .....	78
Intern transport .....	80
Arbetsmiljö.....	84

Reglerteknik.....	87
Analog styrutrustning .....	87
Digital styrutrustning .....	87
Givare .....	87
Energiteori .....	93
Sammanfattning .....	93
Grundläggande om energi och värme	
Växthusets och växtens energibalans .....	94
U-värdet – måttet på byggnadens värmeisolering.....	96
Fuktteori .....	100
Relativ fuktighet .....	101
Kondensation .....	103
Ångtryck.....	103
Mollierdiagram.....	104
Principerna för fuktreglering .....	107

# Växthusteknik

Text: Jonas Möller Nielsen, Cascada och Sven Nimmermark,  
SN Miljökonsult.

Foto och illustrationer om inte annat anges: Jonas Möller Nielsen.

Den vanligaste anledningen till att man börjar med växthusodling är passionen för växterna och vad de betyder för oss människor. Det är få som svarar att de fascinerar av tekniken, även om också sådana odlare finns. Det krävs ett samspel mellan biologi och teknik för ett framgångsrikt företagande som växthusodlare. En undermålig teknik riskerar att resultera i mindre tid åt växterna och mer åt det tekniska!

Flera växter är svåra att odla på ett bra sätt utan rätt tekniska förutsättningar.

Om du tycker att teknik är tråkigt och inte något för dig, fundera då över vad tekniken kan göra för att underlätta för dig och dina växter. Det praktiska angreppssättet att **fundera över hur tekniken kan hjälpa växten**, kan göra att teknik känns mer meningsfullt och lättare att ta till sig. Läs först igenom den här skriften översiktligt – Det ger dig en uppfattning om vad det handlar om och en överblick över vilka ämnen som är viktiga att tänka på. Gå därefter tillbaka till de olika kapitlen när du behöver specifik information längre fram.



En ändamålsenlig teknik ökar skörden och hjälper växten att producera.  
Foto: Elisabeth Ögren.

## Växthuset

Växthuset är den komponent som är svårast att byta ut ifall det visar sig att det inte blev bra. Därför är ett väl genomtänkt val av växthus viktigt för lång tid framöver.

Det avgör hur du kan expandera verksamheten längre fram. En dåligt planerad byggnad och dess placering kan resultera i mycket merarbete vid nästa bygge. I sämsta fall blir det omöjligt att få en bra lösning, både med avseende på energianvändning och interna transporter.

### Växthusets placering

Placera växthuset i första hand för att underlätta transporterna, både till- och från växthuset och internt på företaget. Arbetskostnaderna är betydligt högre än den eventuella produktionsvinst som uppnås vid rätt placering med hänsyn till väderstreck.

Ett avlångt växthus kommer att släppa in mer ljus från långsidan än från kortsidan. Det innebär att om husets nock går från norr till söder, kommer det totalt sett att släppa in mindre ljus än om huset hade placerats med nocken i öst-västlig riktning. Det gäller samtliga månader på året. Det innebär att om det är viktigt med så mycket ljus som möjligt bör ett rektangulärt hus placeras i öst-västlig riktning.



Ett avlångt växthus släpper in mest ljus från långsidan och bör placeras med nocken i öst-västlig riktning. Foto: Elisabeth Ögren.



För ett kvadratisk hus spelar orienteringen mindre roll eftersom lika mycket ljus kommer in från alla håll. Foto: Elisabeth Ögren.

För kvadratiska hus och sammanbyggda sadeltakshus spelar orienteringen mindre roll.

Undvik en placering nära skog, eftersom skogen skuggar vid låga solstånd. Låga solstånd gäller främst under vinterhalvåret och skymning/gryning. Det ljuset är för många kulturer, speciellt tomat och gurka, mycket viktigt. Skog i norr är inte lika negativt som i övriga väderstreck eftersom norrväggen ändå bör isoleras och förses med vit insida.

Kraftiga sluttningar fördyrar byggnationen på grund av all schaktning, och de försvårar transportererna internt i företaget om du har flera byggnader. Du bör då överväga en annan placering.

Sänkor kräver fyllningsmassor och dränering av eventuellt vatten i sänkan som kan bli kostsamt. Om sänkan är rätt placerad i terrängen skyddar den mot vindar, vilket sänker energianvändningen. Men samtidigt kommer kall luft att rinna ner i sänkan vilket höjer energianvändningen. Det är därför bättre att du placerar växthuset högre upp och bygger ett vindskydd.

## Grund

Bygg växthuset ordentligt från grunden. Det betyder inte att en kraftig helgjuten grundmur är det bästa. I de flesta fall är en lätt och smidig konstruktion bättre. Välj grund utifrån vilka krav du har. Att driva företag idag innebär att vara flexibel och snabbt anpassa sig till nya omständigheter. Den produktion som gällde när huset byggdes kanske inte är den samma 5 år senare. Det är arbetsamt och dyrt att kapa upp en helgjuten grund med armeringsjärn och inte det första du gör när det bästa egentligen hade varit att flytta huset 50 meter.

### *Geoteknisk undersökning*

Innan du börjar bygga måste du försäkra dig om vilka egenskaper marken har. Dessa avgör hur du utför grundläggningen. Den geotekniska undersökningen ska bland annat svara på:

- om det finns risk för sättningar
- vilken bärförmåga marken har
- hur schaktningen ska gå till
- vilka eventuella fyllningar som krävs för att ge stabilitet
- jordtrycket, och speciellt då det horisontella tryck som jorden utövar vinkelrätt mot gravitationen är viktigt vid till exempel byggnad av källare
- tjälfarligheten, som avgör vilket tjäldjup som finns där man tänkt bygga.

När det gäller växthus har du i många fall redan praktiska erfarenheter som ger svar på ovanstående frågor. Det kanske redan står växthus eller andra byggnader på marken.

### *Helgjuten grundmur*

Den vanligaste grundläggningen tidigare var en helgjuten eller murad grundmur. Den är cirka 250 millimeter bred och kan vara gjuten direkt i jorden i den grävda rännan eller i en form. Formgjut den åtminstone på insidan för att förhindra att du kör på lösa betongklumpar i samband med fräsning i jorden. I dagsläget är det troligtvis bättre att du murar upp en grundmur med lättklinker- eller betonghålblock. Den del av muren som är ovan mark formgjuter och avjämnar du med putsbruk. Det är viktigt att muren sluttar på ovansidan, så att kondensvatten och regnvatten kan rinna bort på insidan respektive utsidan.

Dränering är inte nödvändigt för själva konstruktionen, men en torr mark isolerar bättre än våt eller fuktig mark. Rekommenderad dränering är en 75 millimeter dräneringsslang runt om. Marken inne i växthuset kan du dränera, men det beror på vad du ska odla i växthuset och vilket bevattningssystem du ha.





Helgjuten grundmur där stolparna är nergjutna i grundmuren. Notera att murens ovansida sluttar för att kondensvatten ska rinna av.

### *Plintar*

Den vanligaste grundläggningsformen idag är plintar med isolerade sockelelement. Väggstolparna kan du gjuta fast i plintarna direkt på plats, men vanligast är att avända färdiggjutna plintar med ingjutna fästen för stolparna. Sockelelementen har oftast en utsida av betong och en insida av cellplast. I de enklaste fallen är cellplasten helt oskyddad, i andra fabrikat är insidan försedd med aluminiumplåt för att skydda isoleringen och för att underlätta rengöring. Grundläggningen har den fördelen att den är enkel att riva och flytta till annan plats. Detta ger dig flexibilitet.



Plintgrund med isolerade sockelelement. Plintarna kan antingen vara färdiggjutna på fabrik och grävas ner, eller så gjuts de på plats.

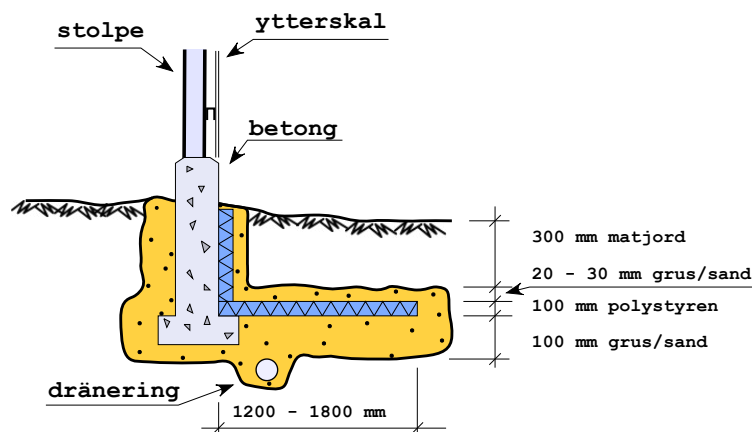
### Platta på mark och andra hårdgjorda golv

Ibland är det nödvändigt med en helt slät och hårdgjord yta även inne i växthuset. Det är framför allt aktuellt i arbetshallar, försäljningslokaler och liknande. En av lösningarna är då att gjuta en platta på mark.

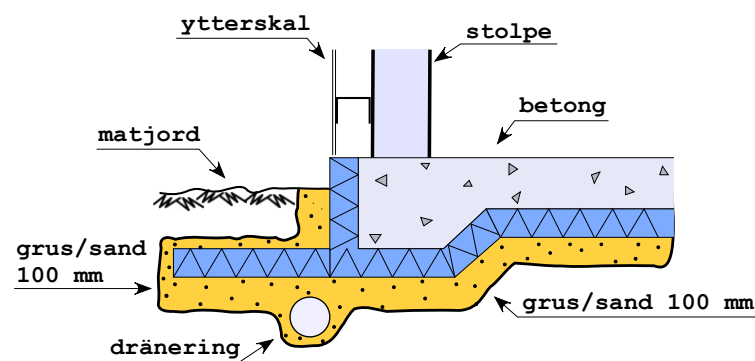
I många fall behöver du inte gjuta en platta, utan det kan räcka med en golvvyta som är belagd med till exempel betongplattor. Betongplattorna ger dig större flexibilitet vid eventuella grävningsarbeten i golvet längre fram, för till exempel dragning av värmekulvertar, vattenslangar och dräneringsrör.

### Isolering

Det normala är att inte isolera växthusgrunden. Med tanke på den förhållandevis låga merkostnaden för att isolera grunden i samband med grundläggningen är det lämpligt att isolera med 100 millimeter isolering, antingen med isodrän, cellplast eller stenull. Förutom minskad energianvändning ger markisolering ett bättre klimat närmast väggen. Det är särskilt viktigt när du odlar i mark. De båda metoderna visas i figur 1 och figur 2.



**Figur 1.** Schematisk skiss över enkel isolering av marken för grundmur eller plintgrund.



**Figur 2.** Schematisk skiss över enkel isolering av marken för platta på mark.

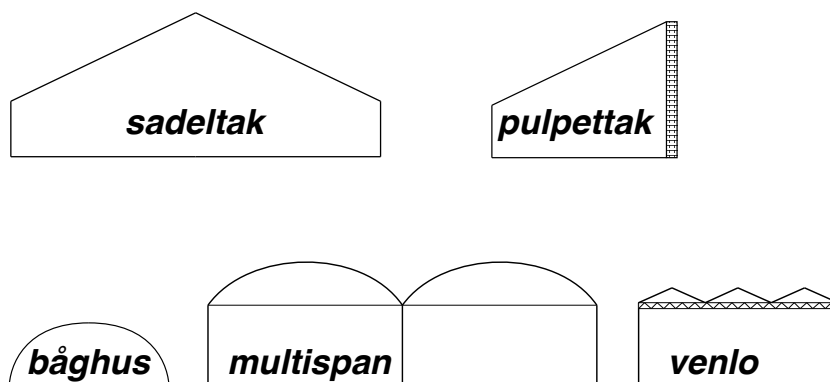
## Stomme

Kulturen och läget avgör växthusstommens utformning. En del stommar är inte lämpliga på platser med mycket snö, som till exempel venlo. Även växthusets storlek kan avgöra utformningen, eftersom vissa konstruktioner av byggnadsekonomiska skäl bättre lämpar sig i större block, som till exempel venlo- och multispanshus. De vanligaste konstruktionerna är:

- sadeltak - fribärande
- venlo
- båghus
- multispans
- pulpet

Båghusens sidor är i de flesta konstruktioner välvda inåt. I vissa fall är lutningen så kraftig att den försvårar odling närmast väggarna. Antingen för att det blir svårt att komma åt jord och växter, eller för att höga växter eller bord inte kan stå nära väggen utan att stöta emot. Det finns konstruktioner där båghusets väggar välver utåt för att sedan, längre upp, gå inåt mot toppen. Detta ger luft för växterna närmast väggen och underlättar arbetet inne i växthuset.

Jordodling fungerar bra i samtliga växthus. Det som avgör är hur övergången mellan mark och hus ser ut. Vid övergången mellan mark och vägg måste det vara tätt och helst ska du ha en isolerad sockel, annars kommer det att bli stora glipor med drag som följd. Vid all jordodling bör du isolera marken som beskrivits tidigare, annars kommer växterna närmast väggen att få för låg temperatur och ge sämre produktion. Placera material i marken som isolering och plintar precis under väggen eller utanför, för att markberedningsmaskiner inte ska köra på dem. Det kan förstöra både maskiner och grundläggningen, särskilt isoleringsmaterialet.



**Figur 3.** Olika växthusstommar som är vanliga i Sverige.



Venloväxthus med små ventilationsluckor. Det går numera att få genomgående ventilationsluckor även till venlohus.



Båghus som används för ekologisk odling av tomat.



Ett mindre multispanhus.

### *Stommens material*

Materialet i stommen, takstolsben, takstol och åsar, utgörs idag nästan uteslutande av galvaniserat (förzinkat) stål med spröjs av aluminium. Stålet ska vara galvaniserat både utvändigt och invändigt, för att förhindra rostangrepp på grund av kondens inne i profilerna. Av och till har det förekommit stommar helt i aluminium, men dessa är oftast dyrare än stålkonstruktionerna och tillverkas inte längre.

Trästommar förekommer i liten omfattning, främst i stora båghus av limträ. Spännvidderna (bredderna) är då typiskt 20–25 m. Limträbågarna ger en stor fri luftvolym inne i växthuset, vilket gör det enkelt att installera vävar, belysning och transportbanor. Det är även möjligt att köra med maskiner inne i växthuset. Hållbarheten är mycket god. Nackdelen med trästommarna är att de skuggar betydligt mer än stålkonstruktioner. Vid sommarodling behöver detta inte vara något problem, men vid odling vintertid med låga solstånd är detta en nackdel.

### *Stommens delar*

Stommens delar består av grund, takstolsben, takstol och ås. På åsen ligger spröjsen som håller fast yttermaterialet (täckmaterialet).

Takstolsbenen kan du antingen gjuta fast direkt i grundmur eller plint, eller skruva fast i fästjärn som du gjutit in i grundmuren eller plinten. I det senare fallet kallas infästningen för rörlig eller ledad, till skillnad mot fast infästning som blir fallet då benet gjutits fast. Det kan vara en fördel med ledad infästning eftersom det medger större rörelse i växthuset, till exempel vid sättningar.

Takstolsbenen kan bestå av I-järn eller av U-järn och är placerade med ett inbördes avstånd på 2,7–3,6 meter, där 3 meter är det vanligaste.

Takstolarna placerar du på takstolsbenen och svetsar fast i benen eller fäster med bultar. I det senare fallet blir även den här infästningen rörlig. Takstolens underram (dragbandet) förhindrar att väggarna faller utåt och används ofta för upphängning av belysning och takvärmerör. Det är bara sadeltaks- och pulpettakshuset som har takstolsben. Båghuset har av naturliga skäl bara en stor takstol som via sin böjda form bildar både väggar och tak. Vissa båghus har en båge som först går ut från växthuset innan den böjer in över huset motnock. Venlo- och multispanshuset har inte takstol.

Spröjsen fäster i åsarna vid stommen. Åsarna är vanligen tillverkade av stål i profilerna U, Z eller L. Nu för tiden finns det bra fästsystem för plastfolie och spikning i trä är inte lämpligt. Det är bättre ur ljus- och underhållssynpunkt att du använder åsar i stål med aluminiumprofiler för infästningen av plastfolien, se figur 5

I tabell 1 visas de vanligaste växthustyperna, lämpliga täckmaterial och deras egenskaper.

**Tabell 1.** Sammanfattning av olika växthusstommarna och deras egenskaper.

Stomme	Lämpliga täckmaterial	Snö- och vindtålighet	Lämplighet för hängande kultur
Små båghus	- plastfolie 1 skikt - plastfolie 2 skikt - 10 mm polykarbonat	medel	dålig
Stora båghus (t.ex. limträbågar eller fackverksbågar)	- plastfolie 1 skikt - plastfolie 2 skikt - 10 mm polykarbonat	god	god
Multispan	TAK: - plastfolie 1 skikt - plastfolie 2 skikt VÄGGAR: - plastfolie 1 skikt - plastfolie 2 skikt - polykarbonat, 10, 16 & 32 mm - akryl 16 & 32 mm - vägghpanel	god (med rätt dimensionering av stommen)	god (med rätt dimensionering av stommen)
Venlo	TAK: - glas (akryl/polykarbonat i ventilationsluckorna) VÄGGAR: - glas 1 skikt - glas 2 skikt - polykarbonat, 10, 16 & 32 mm - akryl 16 & 32 mm - vägghpanel	medel	god (med rätt dimensionering av stommen)
Sadeltak (fribärande)	- glas 1 skikt - glas 2 skikt - polykarbonat, 10, 16 & 32 mm - akryl 16 & 32 mm - vägghpanel	god	god

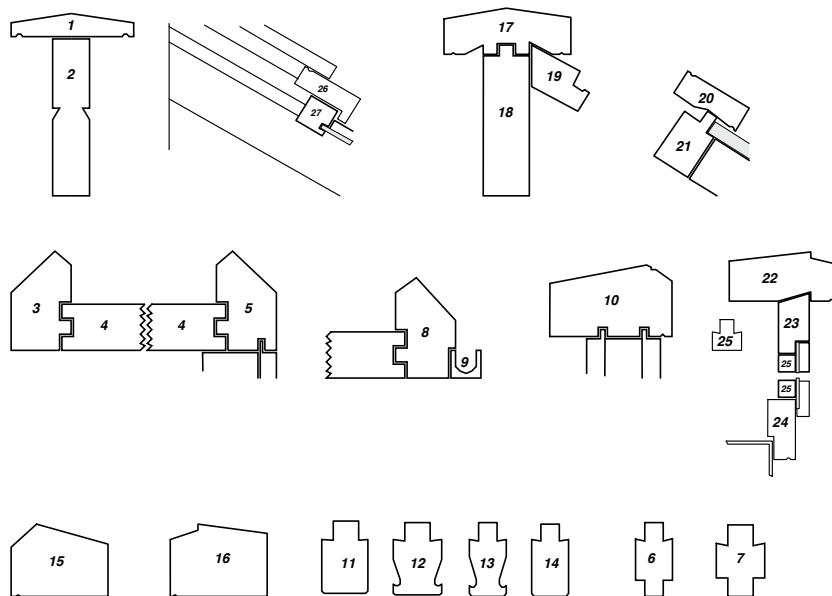
## Ytterskal

Spröjsen tillsammans med yttermaterialet utgör växthusets ytterskal. Precis som vid valet av stomme, ska du lägga stor vikt vid valet av yttermaterial. Det är yttermaterialet som avgör vilken typ av spröjs du kan använda. Yttermaterialet avgör många grundläggande faktorer som:

- ljusförhållande
- energianvändning
- underhåll
- arbetsmiljö
- brandskydd
- investeringskostnad
- driftkostnad
- estetik

### *Spröjs och infästning av plastfolie*

Idag är spröjsen, med få undantag, tillverkade av aluminium. Före 1970-talet var det vanligaste materialet trä och det finns fortfarande en hel del växthus med träspröjs. Allt eftersom träspröjs behöver bytas, ersätts de oftast av aluminiumspröjs.



**Figur 4.** Några vanliga träprofiler som används i Sverige och Danmark, både som spröjs och i rännalarna för att leda bort regnvatten. Notera de små rännorna för att leda bort kondensvatten på takspröjsen i profilerna 12 och 13. På profilerna 1, 10, 15, 16, 17 22 och 24 finns det små ursparingar i nederkant, som gör att vatten släpper från träet istället för att hänga kvar. På så vis minskar fuktbelastningen på träet och hållbarheten ökar.



Aluminiumprofiler har lång livslängd tack vare att aluminiumet bildar aluminiumoxid i kontakt med luft som skyddar mot vidare oxidering. Foto: Elisabeth Ögren.

I vissa fall vill du ersätta de utslitna träspröjsen med nya träspröjs. Du kanske vill bevara de gamla husen av antikvariska skäl, eller du vill ha den speciella atmosfär som träväxthus ger till exempel i publika växthus med kafé eller hemförsäljning. Växthusmiljön är mycket tuff och trä ska vara av bästa kvalitet, helst kärnved, och det ska målas regelbundet för att ge en god ljusmiljö. Det är viktigt att träspröjsen har rätt utformning för att undvika onödiga kondensdropp och röta samt för att få bra fästning av glasrutorna vid kittning. Vid målning av trä använder du oljefärg.

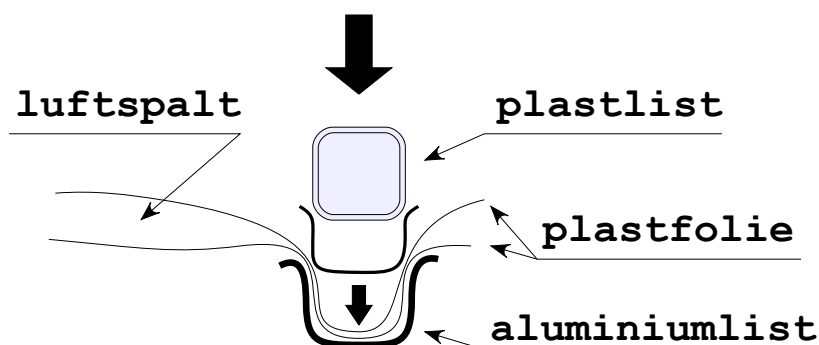
**Aluminiumspröjsen** är sedan 70-talet helt dominerande. Aluminiumet bildar aluminiumoxid i kontakt med luft, vilket skyddar profilen mot vidare oxidering. Aluminiumprofilerna är därmed underhållsfria och har mycket lång livslängd. Dessutom är aluminiumspröjsen betydligt smäckrare än träspröjsen och skuggar därmed mindre. Eftersom aluminiumoxid är mörkare än rent aluminium, kommer aluminiumet att mörkna något den första tiden. Om du vill kan du även måla aluminiumet, men då förlorar du lite av arbetsbesparingen eftersom färgen måste underhållas. Aluminium kan inte målas förrän efter lagret av aluminiumoxid har bildats fullt ut. Vänta 1 år innan du målar.

Eftersom aluminium leder värme bättre än trä, kommer aluminiumspröjs medföra en något högre energianvändning än träspröjs. Den goda värmeledningen innebär dessutom att aluminiumspröjs blir väldigt kalla på insidan, särskilt vintertid, vilket orsakar kondens. För att minska risken för dropp från spröjsen har aluminiumspröjsen därför en kondensränna som leder ner vattnet.

Det finns olika sätt att fästa täckmaterialet i aluminiumspröjsen. Läggs glasrutan i aluminiumspröjsen och fästs därefter med en aluminiumlist. För att få tätt mellan glasruta och aluminium, la man tidigare först en sträng kitt under glaset, men nu för tiden är det vanligare med en gummilist som tätar. Kanalplast fäster du med en täcklist, men denna är normalt gjord i plast eller gummi. Tätningen sker här enbart med en tätningslist i plast eller gummi.

Till plastfolie använder du speciella profiler som inte skadar plasten vid fästning. Infästningen ger en mycket jämn belastning på plastfolien, vilket innebär minimalt med veck och mindre kondensdropp samt god hållfasthet vid blåst och snö.





**Figur 5.** Fastsättningsystem för plastfolie: Fäst en U-formad stålprofil i växthuset. Lägg ner plastfolien i profilen och sträck den något. För ner en U-profil i stålprofilen och för plastfolien mot stålprofilens kanter. Nyp slutligen fast plastfolien mellan de båda U-profilernas väggar genom att banka ner en plastlist i den översta U-profilen. Fördelen är att plastfolien inte skavs sönder vid fastsättningen eftersom det är U-profil nummer 2 som tar upp friktionen vid det sista momentet. Alla dragkrafter sprids dessutom jämnt över plastfolien, vilket inte alltid är fallet om plastfolien spikas fast.

I enklare konstruktioner kan du använda dig av en budgetvariant av ovanstående, som är speciellt vanlig i Spanien, men som borde vara intressant även i Sverige. Du tar en U-profil med rundade kanter. I denna placerar du plasten, som sedan fästs på plats genom att trycka in en PE-slang (polyeten) i U-profilen. Risken för skador på plasten är givetvis större med en sådan fastsättningsmetod.

## Täckmaterial

### *Sammanfattning*

Det finns många olika typer av täckmaterial som du kan välja bland till ditt växthus. Välj material utifrån dina behov nu. Det går i de flesta fall att byta material längre fram, åtminstone i väggarna. För helårsproduktion eller nästan helårsproduktion, har valet under många decennier ofta varit kanalplast. Med lägre priser på belagt glas kan enkelglas med hård lågemissionsbeläggning vara ett intressant alternativ, eftersom det släpper igenom mer ljus och har längre livslängd. Även i väggar kan glas konkurrera ut kanalplast, i form av tvåglaslösningar med glaskassetter med mjuk lågemissionsbeläggning för effektiv hushållning med värmen. För att förhindra skador av glasrutor som går sönder bör du välja härdat glas, även om det är betydligt dyrare. Slutligen kan glas beläggas med smutsavvisande beläggning som även motverkar kondensdroppar, vilket ökar ljusgenomsläppligheten, minskar skador som orsakas av kondensdropp och håller insidan av glaset rent.

## *Glas*

Glas är ett av de vanligaste materialen, särskilt i norra Europa. Glas till växthus får vara behäftat med skönhetsfel. Det viktiga är att glaset inte är för skört, vilket kan vara fallet med vissa glas av låg kvalitet som kommer från gamla fabriker. Det sköra glaset går lätt sönder vilket ökar risken för arbetsplatsolyckor vid uppsättning och för skador i samband med stormar.

För säsongsodling med start i mars eller senare är glas i de flesta fall det bästa alternativet. I normalutförande är det billigt, har hög ljusgenomsläpplighet, är lätt att hålla rent och är tåligt.

Ljusgenomsläppligheten för glas från moderna fabriker är 90 procent eller mer. Observera att vissa glaskvaliteter kan ha en ljusgenomsläpplighet som är betydligt lägre än 90 procent! Det gäller framför allt glas som tillverkats i gamla fabriker med dålig styrning på processen. Du ska därför kräva glas med garanterat hög ljusgenomsläpplighet före köp. Om du vill bevara ett växthus antikvariska värde, ska du välja draget glas istället för flytplanat glas. Draget glas från äldre fabriker har skiftningar som det flytplanade glaset saknar.

Glas tillverkas huvudsakligen av kvartssand med olika tillsatser (flusmedel). Glas åldras inte i någon större omfattning, förutom av repor och kan återvinnas.

## *Glaskvaliteter och -beläggningar*

Tack vare ökade krav på energibesparing respektive hög ljusgenomsläpplighet från bygg- och energisektorn, finns idag betydligt fler olika glaskvaliteter att välja på än tidigare. För helårsproduktion är de i flera fall dessutom lönsamma.

## *Härdat glas*

Av säkerhetsskäl bör du alltid välja härdat glas. Härdat glas tål mer och om det går sönder, går det sönder i många små bitar, som ett regn ungefär. Glas som inte är härdat går sönder i stora bitar, ofta som långa smala spjut, som kan orsaka allvarliga skador om de träffar en människa.

## *Diffusering*

Ungefär hälften av alla moderna glashus för helårsproduktion i norra Europa har diffuserande glas. Diffuseringen innebär att när solen skiner klara dagar sprids ljusets strålar så att de inte träffar plantan parallellt, utan de kommer från olika håll och vinklar. Fördelen är att fotosyntesen ökar när ljusstrålarna kommer ner i bladskiktet istället för att bara träffa de översta och yttersta bladen. En annan fördel är att risken för brännskador minskar och därmed behöver du inte heller skugga i samma omfattning.



Diffuserande glas i en odling med lysdioder. Istället för att du kan se vad som finns på andra sidan blir allt suddigt, eftersom ljusets strålar bryts upp och sprids åt olika håll.

### *Energisparande beläggningar*

Det är idag standard med olika typer av beläggningar på fönsterglas, för att spara energi, men även för att uppnå andra egenskaper. Det gör att priset på energisparande beläggningar har sjunkit och nu är intressant när du bygger ett växthus för åretruntproduktion. Det är främst 3 typer av beläggningar som är aktuella vid växthusproduktion:

- mjuk lågmissionsbeläggning
- hård lågmissionsbeläggning
- smutsavvisande beläggning

Den mjuka lågmissionsbeläggningen är känslig för mekanisk skada och behöver ett skydd. Den kan därför endast användas i dubbelskiktade glaslösningar, så som kassetter. De hårda beläggningarna är tåligare och därför lämpliga på enkelglas i taket. Hårda beläggningar kan vara ett både kostnadseffektivt som ljusmässigt bättre alternativ än kanalplast. De flesta leverantörer känner inte till de hårda beläggningarnas fördel och egenskaper, så det kan vara svårt att hitta en leverantör.

Smutsavvisande beläggningar är beläggningar som hindrar kondensvatten från att bilda droppar. Istället flyter vattnet ut på glasrutan och bildar en tunn film som rinner av och tar smutsen med sig. Detta ökar ljusgenomsläppligheten, minskar problem med kondensdropp på plantorna och minskar behovet av rengöring. Beläggningarna har också katalytiska egenskaper så att de reagerar med ljusets UV-strålning och



Om polykarbonat får ett skyddande skikt av akryl ökar dess motståndskraft mot UV-ljus, vilket medför att polykarbonaten har nästan lika god ljusgenomsläpplighet som akryl.  
Foto: Elisabeth Ögren.

därmed bryter ner viss smuts, så att den lättare rinner av glaset. För att få nytta av den här beläggningens antikondensegenskaper ska du vända rutan med beläggningen på växthusets insida.

#### *Låg järnhalt*

För att få extra hög ljusgenomsläpplighet finns det även glas med lägre järnhalt än vad vanligt fönsterglas har. Ljusgenomsläppligheten ökar några procent, men i de flesta fall motsvarar inte det ökade priset den produktionsökning som du får.

#### *Kassetter och dubbelskiktat glas*

Priset på dubbelglas i kassetter som används i vanliga byggnader har sjunkit, och du kan därför välja denna typ av material för väggar om du odlar under en längre säsong eller inte låter huset frysa. På grund av tyngden är det inte lämpligt att ha en dubbelglaslösning till taket. I vanliga byggnader har kassetterna oftast en speciell ädelgas mellan glasrutorna för att minska energigenomgången ännu mer. Men nyttan med det i förhållande till hur mycket du får betala gör att det inte är värt den merkostnaden. Det räcker gott med vanlig torr luft. Däremot bör du välja kassetglas med en lågemissionsbeläggning för att få ännu bättre energisparande egenskaper.

#### *Polykarbonat*

Kanalplattor av polykarbonat i tjocklekarna 4–16 millimeter är vanliga som täckmaterial på växthus. De tunna plattorna kan du använda i befintliga spröjsar som ersättning för glas vilket ger en energibesparing.

Polykarbonatens ljusgenomsläpplighet är cirka 70 procent, cirka 10 procent lägre än akrylens, även om vissa fabrikat kan ha initieellt bättre värden. Tjockleken påverkar inte nämnvärt materialets ljusgenomsläpplighet, eftersom det oftast är 2 skikt. Ren polykarbonat åldras mycket snabbt i UV-ljus, vilket påverkar ljusgenomsläppligheten och medför att plattan blir gul. De plattor som säljs idag är belagda med ett skyddande skikt, oftast akryl, för att öka plattans motståndskraft mot UV-ljus. Polykarbonatens ljusgenomsläpplighet när den åldras är därför nästan lika god som akrylplastens.

Polykarbonatens fördelar är att den är slagtålig och motståndskraftig mot brand. I områden där risken för stenkastning eller skadegörelse är stor, är det därför lämpligt med polykarbonat. Polykarbonaten självslocknar vilket innebär att när eldslågan försvinner från polykarbonaten slocknar elden av sig själv och omfattande bränder förhindras. Använd därför polykarbonat (alternativt härdat glas) i växthusmiljöer för besökare, till exempel i växthusbutiker samt nära bostadsområden där fyrverkeripjäser förekommer.

## Akryl

Kanalplattor av akryl i tjocklekarna 16–32 millimeter är mycket hållbara material för växthusbeklädning. Akryl har mycket god beständighet mot åldrande och har god ljusgenomsläpplighet och isoleringsförmåga (lågt U-värde). Plattorna finns i två- och tre-skiktsutförande.

Akrylplattor är spröda och bör därför inte användas på ställen där det finns risk för stenkastning eller slag. Ljusgenomsläppligheten är bättre än för polykarbonat men inte lika god som för enkelglas. En annan nackdel är att akryl brinner mycket lätt och snabbt och är därför inte lämplig på platser där det finns risk för nedfallande fyrverkeripjäser eller i växthus för besökare.

## Plastfolie

Plastfolie blir allt vanligare som täckmaterial i växthus, både i enklare säsongshus och båghus, men även i åretrunthus i snörika områden. De plastfolier som finns idag är mycket starka och det som avgör om ett växthus ska klara stora snö- och vindlaster är inte plastfolien utan själva konstruktionen som stolpar och stålbågar. Du kan använda plastfolie i 1 skikt eller i 2 skikt med luftspalt mellan, men det senare isolerar betydligt bättre än enskikts plastfolie. U-värdet är likvärdigt med 16 millimeter akryl eller polykarbonat.

Idag används så gott som uteslutande polyeten med inblandning av etenvinylacetat (EVA). Folien är uppbyggd i 3 skikt, 2 av skikten är polyeten och däremellan finns 1 skikt av EVA. Detta ger en folie med mycket god UV-beständighet, god ljusgenomsläpplighet (normalt 85–90 procent vilken sjunker till 80 procent efter 5 år) och god hållfasthet. Tjockleken är i de flesta fall 0,2 millimeter, men andra tjocklekar kan förekomma. Kontrollera att folien är UV-beständig. Plastfolierna idag har en UV-beständighet på 5–8 år.

Plastfolierna tillverkas normalt av mineralolja och kan inte materialåtervinnas. Däremot kan du skicka plasterna till förbränning för att återvinna energin.

## Helisolerade väggar

De ytor där du inte behöver solljuset som lager- och packlokaler, pannrum, väggpartier upp till bordsöverkanten och norrväggar bör du helisolera och klä med väggpaneler. På sådana ytor är det av flera skäl olämpligt med genomskinliga material. I lagerlokaler kan solljus och värme försämra produkterna och i arbetsytorna blir arbetsmiljön dålig. På sommaren blir det för varmt och störande starkt ljus och på vintern går det åt energi för att hålla värmen.



Enkelt kallväxthus med 1 skikt av plastfolie.  
Foto: Elisabeth Ögren.

I pannrummet vill du dels ha en hög temperatur på förbränningsluften som tas från pannrummet, och små värmeförluster från pannan till pannrummet. Det är därför bra om pannrummet inte får en låg lufttemperatur genom läckage genom väggarna. Pannrummet ska vara väl isolerat med tilluftsspjäll för förbränningsluften.

På väggytorna under bordshöjd är det meningslöst med ljusgenomsläppliga material eftersom produkterna står ovanpå borden. Ljus under borden gynnar bara ogräset och ger upphov till onödiga värmeförluster. Dessutom krävs det mer energiväv om den ska dras hela vägen ner till grunden, jämfört med om den slutar strax ovanför bordsöverkanten. Eftersom solljuset endast i liten omfattning skiner från norr, och då endast med låga solhöjder, så är det i de flesta fall meningslöst att ha genomskinliga material i norrväggarna. Bättre är en helisolerad vägg, förslagsvis upp till höjd med takfoten, i samma utförande som väggpartiet upp till bordsöverkanten.



Exempel på helisolerad norrvägg från Årsløvs forsøksstation utanfor Odense i Danmark. Væggen er isoleret med væggpaneler 50 millimeter tjøkke med vit insida for bedste ljusreflektion.



En arbetshall som är isolerad i väggar med väggelement med 50 millimeter isolering, och i taket med byggelement med 16 millimeter isolering. I väggarna har det lämnats en horisontell fönsterrad för att få in dagsljus, och i taket har ventilationsluckorna glas för att släppa in dagsljus och göra det möjligt att ventileras.

På helisolerade väggar i odlingshusen ska insidan vara vit och så slät som möjligt för enkel rengöring. Vita ytor reflekterar något mer ljus än en aluminiumbelagd yta.

Du kan utforma de helisolerade väggarna på olika sätt. De kan antingen byggas upp som en vanlig regelvägg med valfritt täckmaterial på utsidan (trä, plåt, tegel), mineralull och vitlackerad plåt på insidan. Det är troligtvis billigast men kräver lite mer regler och arbetstimmar än att köpa färdiga väggpaneler. De färdiga väggpanelerna, består oftast av 2 skikt lackerad metall, normalt svagt korrugerad. Mellan metallskivorna är isoleringsmaterialet utan luftspalt. Isoleringsmaterialet fäster an mot metallskivorna och bildar ett så kallad sandwich-element. Konstruktionen är självbärande och några regler behövs inte. Normalt är dessa element cirka 1 meter breda och levereras i önskad längd, normalt cirka 3 meter. Elementen har ursparingar som går i varandra som panel. Det innebär att konstruktionen inte har några köldbryggor, inget läckage och isoleringsförmågan är mycket god. Innerväggen är slät och lätt att hålla ren. Materialkostnaden är normalt den dubbla mot kostnaden för 16 millimeter kanalplast i polykarbonat.

Tabell 2 visar en sammanställning över vanliga täckmaterial och deras egenskaper.



Tvårsnitt av vägghpanel. Både på insida och utsida finns lackerad stålplåt och däremellan ligger ett isoleringsmaterial. Olika material kan användas, så som polyuretanskum, stenull och polystyren.

**Tabell 2.** Data för några vanliga ytterskal. Värdena är ungefärliga och U-värdet tar inte hänsyn till läckage eller förluster genom marken. Dubbelskiktade material minskar kondensationsförlusterna och ökar behovet av fuktventilation vilket du måste ta hänsyn till vid en mer noggrann beräkning.

Ytterskal	U-värde W/(m <sup>2</sup> · °C)	Ljusgenomsläpplighet % NY (% 5 år)	Livs- längd år	Brand- tålighet	Slag- tålighet
Glas 4 mm	7,0	90 (90)	> 20	God	Dålig
Glas 2 x 4 mm	4,0	81 (81)	> 20	God	Dålig
Polykarbonat 10 mm	4,0	72 (72)	> 10	God	God
Polykarbonat 16 mm	3,5	74 (74)	> 10	God	God
Akryl 16 mm	3,5	81 (81)	> 10	Dålig	Dålig
Akryl 32 mm	2,5	74 (74)	> 10	Dålig	Dålig
PE-folie 0,2 mm	8,0	86 (80)	> 5	Dålig	God
PE-folie 2 x 0,2 mm	4,5	74 (64)	> 5	Dålig	God
Vägghpanel 50 mm	0,5	0	> 10	God	God

## Dörrar

En viktig del i växthuset är dörrarna och portarna som ofta får för lite uppmärksamhet i upphandlingsskedet. Det normala är att växthusleverantören levererar dörrar och portar som är byggda av aluminium med transparent material i. Nertill sitter en tunn plåt, för att förhindra att dörren går sönder. Materialet i dessa dörrar är i så gott som samtliga fall



aluminium. Eftersom aluminium är en mjuk metall kommer dörrarna och speciellt portarna att ändra form med tiden. Orsaken är oftast att de blir påkörda av vagnar och maskiner. Detta ger upphov till glipor och springor där värmen läcker ut under vintern, och dörrarna blir svåra att stänga. Själva dörren eller porten är i sig dessutom så dåligt isolerad att den läcker ut mycket värmeenergi.

Det är därför bättre att du redan från början investerar i industridörrar eller -portar tillverkade av galvaniserat stål, som har betydligt bättre styvhet. Industridörrarna eller -portarna är dessutom bättre isolerade och har rejäla gummilister som tätar mot karm och mark eller golv.

## Ventilation

Ventilationen är viktig i växthusen, eftersom den dels ska ventileras bort övertemperaturer, och dels ventileras ut fukt. Den är därmed en viktig del i fuktstyrningen.

Ventilationen sker så gott som uteslutande med hjälp av ventilationsluckor inock. I en del äldre fribärande sadeltakshus, monterades även ventilationsluckor under takfoten. Luften får då fart genom skorstenseffekten (varm luft stiger uppåt och kall luft kommer in nertill). Sidoluckor ger en bra ventilation även under lite blåsigare förhållanden, då nockluckorna inte kan öppna lika mycket på grund av risken för vindskador.



Fribärande hus med nockventilation.



Exempel på industriport.



Skjuddörrar går ofta sönder eller ändrar form vilket leder till värmeförluster, förutom att de i sig läcker värmeenergi. Foto: Elisabeth Ögren.



Fribärande hus med sidoventilationsluckor.

I venloväxthus förekommer enbart ventilationsluckor inockarna. Dessa luckor löper inte längs hela nocken utan är betydligt kortare, men du kan även få venlohus med genomgående ventilation.

Multispanhusen har också ventilationsluckor i taket. Det vanligaste är att luckorna är placerade i nocken. Beroende på fabrikat kan dessa luckor gå hela vägen ner till rännalden, eller enbart gå ner en del på taket, precis som fallet är med de fribärande husen. Fördelen med den lösningen är att snö inte ligger i vägen för luckorna när de ska öppnas vintertid. En del multispanhus har enbart ventilationsluckor åt 1 håll per nock. Rikta luckan om möjligt så att vinden inte får tag i luckan eftersom den annars kan skadas.

#### *Storm- och frotskydd*

Stormskydd är i de flesta fall nödvändigt, för att förhindra att vinden orsakar skador på växthusen. De flesta styrsystem kan idag förse med vindhastighets- och vindriktningsgivare, som tvingar ner ventilationsluckorna som vetter mot vinden. Hus som ligger i lä av skog eller andra hus, liksom luckor på läsidan av nocken, kan ha högre vindhastighetsgräns än höga hus och luckor som vetter mot vinden. Ett riktvärde för luckor i lä, är en gräns på 12 meter per sekund. I vissa fall kan du behöva sätta ner stormskydden lågt, för att förhindra vinden från att slita för mycket i vävarna.

Frostskyddet är till för att skydda luckorna från att gå sönder om de frusit fast. Vid fuktig väderlek, eller då snö har smält på taket, bildas det mycket fukt på ventilationsluckornas kanter och lister under natten. När solen sedan kommer på morgonen, stiger temperaturen i växthuset och du vill ventilera. Om ventilationsluckorna öppnar i det här läget, finns det risk för att de har frusit fast och sliter sönder listerna eller luckorna. Även här har moderna styrsystem utetemperaturgivare som går in och överstyr, så att ventilationsluckorna inte öppnar. Det är inte nödvändigt att sätta frostgränsen till 0 °C. Beroende på lokala förhållanden, kan frostgränsen vara lägre än 0 °C. Detta gäller särskilt vid solsken.

### *Läckage från ventilationsluckor*

Ventilationsluckornas svaga punkter är framför allt luftläckage då de är helt stängda. Orsaken är då oftast att tätninglisterna har gått sönder och fallit av. Luckorna kan bli sneda om något i mekaniken har kärvat och luckan därför dragits sönder. Motorerna som används för att öppna och stänga luckorna är mycket starka och kan lätt dra sönder de mjuka aluminiumprofilerna som ventilationsluckan är gjord av. Minst 1 gång per år bör du se över ventilationsluckorna för att säkerställa att de sluter tätt. Smörj samtidigt kuggstänger och andra rörliga delar i mekaniken. Använd ett smörjmedel som är godkänt för livsmedelsindustrin. Det blir nämligen höga temperaturer uppe i nocken och smörjmedlet kan då droppa ner på växterna.

Energiläcketaget från en otät ventilationslucka har mätts upp vid Sveriges lantbruksuniversitet Alnarp, och då fann man att en springa med arean 0,1 kvadratmeter läcker motsvarande 600 Watt per kvadratmeter och år.



Ett reservsystem för ventilation som består av en fläkt på insidan och ett jalusi på utsidan.  
Foto: Elisabeth Ögren.

# Uppvärmning

I moderna växthus är ett uppvärmningssystem nästan alltid nödvändigt. Uppvärmningen erhåller önskad minimumtemperatur men styr även ner luftfuktigheten. Moderna hus är oftast täta och de dubbelskiktade täckmaterialen minskar kondenseringen mot ytterskalet. Det är därför viktigt med ett väl fungerande och energieffektivt uppvärmningssystem för god produktion, kvalitet och lönsamhet.

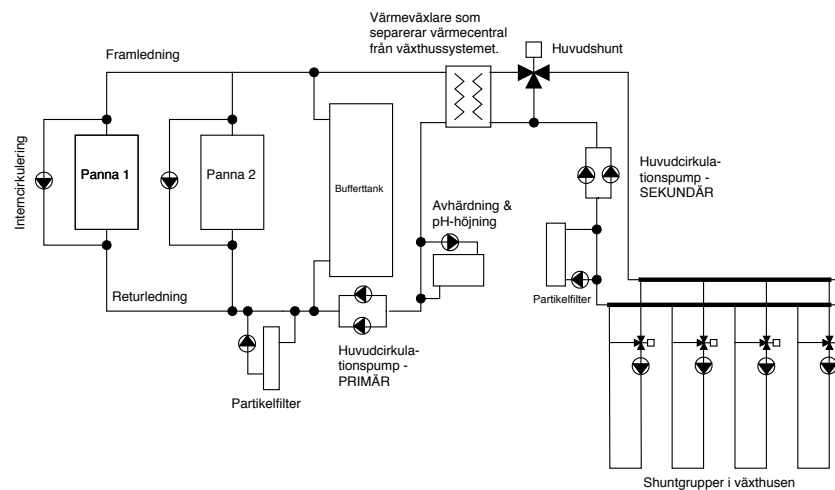
## Uppvärmningssystem

Värmen kan du tillföra växthuset på flera olika sätt. De vanligaste är via vatten som avger värmen genom rör i växthuset och varmluft som blåser in i växthuset. Solstrålningen tillför förutom ljus även värme. En annan metod är att stråla infravärme direkt mot växterna. Därigenom kan du hålla lufttemperaturen lite lägre och minska energianvändningen eftersom värmen kommer dit den ska.

Olika försök visar att infravärme minskar värmeanvändningen med cirka 10 procent. Här kommer vi bara att behandla vatten- och luftburen värme.

### Vattenburen värme

Rörburen värme är vanligast, se hur den är uppbyggd schematiskt i figur 6. Den fanns redan i början av 1900-talet, men då med själv-cirkulationssystem, det vill säga ett system utan cirkulationspumpar. Ett väl dimensionerat själv-cirkulationssystem kan ofta ge en acceptabel jämnhet i värmen, men det blir inte lika bra som med ett väl dimensionerat luftburet system. Komplettera den rörburna värmen med cirkulationsfläktar för att jämna ut skillnader i temperatur och luftfuktighet.



**Figur 6.** Principiell uppbyggnad av ett vattenburet värmesystem.

Förse gärna huvudmatningen med en egen shunt, en så kallad huvudshunt. Huvudshuntens uppgift är att blanda returvattnet med framledningsvattnet, så att det blir rätt vattentemperatur i huvudmatningen. Eftersom pannan ger en temperatur på minst 65 °C kan du i de flesta fall shunta ner den till betydligt lägre temperaturer i huvudmatningen, eftersom 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 värmeförluster i huvudmatningen.

Huvudcirkulationspumpen bör vara varvtalsreglerad. Om systemet består av 10 olika slingor och bara 1 shunt kallar på värme innebär det onödigt stor elförbrukning att låta huvudcirkulationspumpen, som är dimensionerad för att förse 10 slingor med vatten, gå för fullt bara för att leverera vatten till 1 slinga. Dessutom sliter det på huvudcirkulationspumpen som går sönder i förtid.

De små cirkulationspumparna i avdelningarna ska du inte varvtalsreglera. De ska alltid pumpa runt samma mängd vatten i samma slinga, oavsett vattentemperatur. Om du varvtalsreglerar dem 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 shuntens vilket ger betydande energiförluster.

Om produktionen ligger nere vintertid, finns det alltid risk för att vattnet i värmesystemet fryser och spränger sönder rör, shuntar och panna. Det vanligaste sättet att skydda sig mot detta är att hålla vattnet varmt i växthusen även då det inte sker någon produktion. Metoden är dyr och inte särskilt miljövänlig. En mer ekonomisk och miljövänligare metod är att fylla frostskyddsmedel i värmesystemet, till exempel propylenglykol. Propylenglykol är biologiskt nedbrytbart och giftfritt. Det har dessutom smörjande egenskaper vilket är bra för pumpar och shuntar.

Isolera alla matningsrör eller stammar, det vill säga de rör som inte används för fördelningen av värmen i växthusen, 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 värme och fukt kan fördelas betydligt jämnare med luftburen värme. Det är dessutom ett snabbare system än det vattenburna och kan ge snabba klimatväxlingar. En orsak till den luftburna värmens oförtjänt dåliga rykte kan bero på dåligt projekterade lösningar. Det finns en



Fläkt och plastfolieslangar i taket för att sprida värme i en odling med krukor direkt på golvet.  
Foto: Elisabeth Ögren.

vanlig missuppfattning att varm luft sprider sig jämnt och fint i växthuset men så är det inte. Det är därför viktigt att fördela varmluften jämnt i växthuset där den behövs. Varm luft är lättare än kall luft, därför stiger den uppåt. Den varma luften ska spridas inne bland eller under växterna.

Grunderna i den luftburna värmen är ett kanalsystem, så kallade spirokanaler, i växthuset som distribuerar den varma luften. Själva fördelningen sker därefter från perforerade plastfolieslangar. Plastfolieslangarna är i ena änden anslutna till stosar på spirokanalen och går sedan ut under borden, eller mellan plantorna vid radodling av till exempel tomat, gurka, melon och paprika.



Plastfolieslangar under bord. Längs växthusets långsida, vid bordens kortsida, går en spirokanal. Vid varje bord finns ett uttag för en plastfolieslang. Samma princip används även vid radodling av grönsaker eller bär.

För att undvika onödiga värmeförluster och ojämn värmefördelning i växthuset bör spirokanalerna vara isolerade och skyddade mot väta, med till exempel plast eller ett fuktavvisande isoleringsmaterial. Lägg spirokanalerna på värmeisolerande distanser av frigolit eller trä och inte direkt på marken.

När plastfolieslangarna hänger inne bland växterna, som är fallet i radodlingar, ska hålen i plastfolieslangen vara så små som möjligt, diameter på 2–4 millimeter 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 för att inte blåsa direkt på växternas stammar. För att slangen ska vara jämnt utspänd hela vägen från början till slut, ska 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. Du kan inte köpa färdigperforerade standardslangar.

Anpassa slangens diameter efter fläktens luftflöde. För liten diameter ger en hög lufthastighet och stor diameter ger låg lufthastighet. Vid längre slangavstånd kan det vara önskvärt med högre hastigheter, för att luften inte ska hinna kylas ner för mycket på sin väg genom slangerna. Eftersträva låga lufthastigheter i spirokanaler för att undvika oljud, under 8 meter per sekund är en vanlig gräns. Isolera spirokanalerna för att förhindra värmeförlust på väg till plastfolieslangarna. Eftersom plastfolieslangarna är mjuka är det möjligt att tillåta högre lufthastigheter utan risk för oljud. Vid långa slangar, till exempel vid 50 meter långa tomatrader tar det alltså varmluften drygt 6 sekunder att komma till slutet av raden, med hastigheten 8 meter per sekund. Mycket värme hinner försvinna ut genom plastfolieslangarna på sin väg genom slangerna. Vid längre slangar kan det därför vara nödvändigt att låta de första 30 procenten vara utan hål. Det räcker då med värmeavgivningen från slangerna, utan att blåsa ut luft.



Perforerade slangar sprider luftburen värme. Foto: Elisabeth Ögren.

### *Uppvärmning av jorden*

Ett problem när du odlar i marken, är att den är för kall på våren. Lösningarna kan vara att du börjar odlingen senare eller att värma upp marken. Oavsett vilket bör grunden alltid vara isolerad, som det är beskrivet i kapitlet Växthuset - Grund. En isolerad grund håller kvar eventuell tillförd värme inne i växthusets jordvolym, så att värmen inte försvinner ut till marken och luften utanför växthuset. Men även den värme som tillförs marken via solstrålningen dagtid, kommer att stanna kvar i växthusets jordvolym.

De 3 olika alternativen för uppvärmning av marken är:

- elslingor
- vattenburen värme
- varmluft

Elslingor är 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 bra alternativ är att du gräver ner perforerade rör i marken, till exempel perforerade dräneringsrör, och blåser 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 bildas uppe i nocken soliga dagar i markslangarna. Detta beskrivs mer i detalj i kapitlet Solvärme längre fram.

## Teknisk utrustning

Den tekniska utrustningen ska kunna leverera ny värme, styra hela anläggningen på rätt sätt och minst lika viktigt, minska värmeanvändningen genom att minska värmeförlusterna.

### Pannor

Pannans uppgift är att producera värme som kan levereras till vatten eller luft. Då värmen avges till vatten kan du sedan sprida den via värmerör i växthuset, eller till luft via en fläktkonvektor.

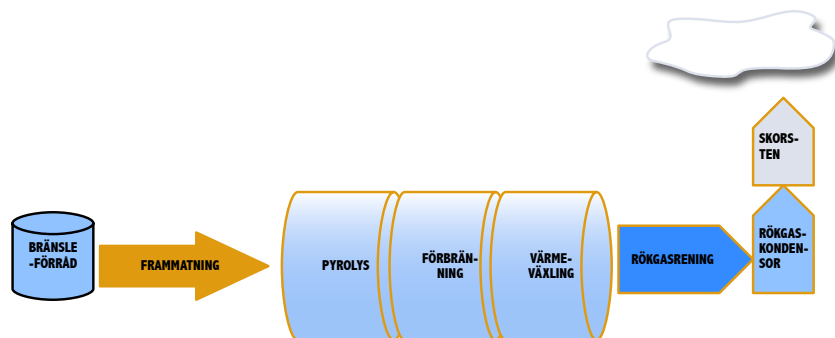
Pannan kan producera värme på olika sätt, oftast genom förbränning av bränslen. Olika typer av bränslen behandlas i avsnittet Solenergi. Det finns även elpannor där värmen kommer från elektricitet. Framöver kommer vi bara att behandla förbränningspannor.

Värmeproducenten består i sitt grundutförande av följande komponenter, se figur 7:

1. Brännare eller förugn – här blandas luft och bränsle och en 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. Rökgascyklon för att avskilja partiklar (syns ej i figuren).
5. Eventuell rökgascondensator för extra värmeåtervinning.
6. Skorsten – där rökgaserna lämnar anläggningen. Oftast ligger rökgas-temperaturen runt 150–200 °C i en normal panna.



En aerotemper (fläktkonvektor) sprider värme från ett vattenburet värmesystem ut i luften.  
Foto: Elisabeth Ögren.



**Figur 7.** En schematisk skiss över en bränslepannas olika delar. I verkligheten är de olika delarna och funktionerna inte så strikt uppdelade utan går oftast in i varandra.

Vilken typ av bränsle du använder styr om du behöver ytterligare komponenter. Den momentana verkningsgraden på en modern panna ligger ofta mellan 90–100 procent, beroende på bränsle. Det är viktigt att inte blanda ihop den momentana verkningsgraden med årspannverkningsgraden, som är betydligt lägre, bara 75–80 procent.



Detta 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.

### *Verkningsgrad*

Verkningsgrad för pannor beskriver hur stor del av bränslets energi som nyttiggörs i pannan. Med nyttiggjord energi menas värmeenergi som tillförs värmesystemet, det vill säga till pannans utgående värmevatten. Den mängd energi som bränslet innehåller kan för träbränslen beräknas som effektivt värmevärde för torrt eller för fuktigt material. Värmevärdet för fuktigt material är lägre och beräknas som värmevärdet för torrt material minskat med avdunstningsvärmens för vattnet som finns i bränslet. Då bränslets värmeinnehåll beräknas utifrån detta lägre värde för fuktigt material, vilket ofta sker, så kan pannans verkningsgrad bli större än 100 procent i fall då vattenånga kondenseras ut och återvinns i en rökgaskondensator.

Med momentan verkningsgrad menas här verkningsgrad vid full drift med hänsyn till förluster i rökgaser, i oförbränt material och värmeavgivning från pannans ytor och förluster till fundament.

Med årspannverkningsgrad avses här verkningsgraden i medeltal under 1 år. Under året kommer pannan att stå varm under långa perioder då bara en liten mängd värme behöver tillföras värmesystemet. Under sådana perioder blir förlusterna stora i förhållande till den nyttiggjorda energin. Förutom förluster från ytor, så kan gemomströmningsförluster på grund av otäta spjäll bli stora. Värme läcker hela tiden vid varmhållning och ifall pannan stängs av så måste hela det avsvalnade systemet värmas upp igen då pannan startas.

För att minska förlusterna ska du 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 du komplettera värmeanläggningen för att ytterligare minska förlusterna, till exempel genom att installera en buffert- eller ackumulatortank (se nedan) eller att installera en rökgaskylare mellan panna och skorsten.

Tänk på detta när du köper en ny fastbränslepanna för träbränsle:

- Pannans verkningsgrad ska vara minst 92 procent.
- Pannan ska reglera syrehalten vid förbränningen med hjälp av mätning av syrehalten i rökgaserna med en lambdagivare.
- Pannan ska ha automatisk tändning och uppstart.
- Pannan ska levereras med integrerad datorstyrning från pannstillverkaren, för att du ska få så hög verkningsgrad som möjligt, och så rena rökgaser som möjligt. Dessutom förenklar det installationen, som då blir billigare.
- Pannan ska klara av att inte släppa ut mer än 20 miligram stoft per normal kubikmeter rökgaser, med enbart rökgascykloner. I annat fall ska du välja en annan modell på pannan.



En modern pelletspanna med integrerad datorstyrning och inbyggda rökgascykloner, med en verkningsgrad på över 92 procent.

### *CHP – Kombinerad el- och värmeproduktion*

De senaste åren har det kommit mindre anläggningar för produktion av både värme och elektricitet. De går under benämningen CHP, vilket står för Combined Heat and Power, alltså kombinerad värme och elektricitet. De här systemen kom först för gas och finns från små villamodeller och uppåt. Numera finns det även tillverkare som tagit fram anläggningar för pellets, som är något större och bättre lämpade för större fastigheter och industri. Verkningsgraden för de här pellets pannorna ökar från normala 92 procent till strax över 110 procent, där elandelen är ungefär 10 procent och värmeandelen 90 procent. De här systemen har blivit möjliga på pelletsidan tack vare bättre förbränningsteknik och rökgaskylare som klarar av de aggressivare rökgaserna som bildas vid förbränning av träbränsle.

## Värmepumpar

Ett alternativ, eller ett komplement, till en panna är att installera en värmepump som värmekälla. Värmepumpen tar värme från ett medium och lämnar över den till ett annat med en högre temperatur, till exempel kan värmepumpen ta värme från uteluft eller grundvatten. Det innebär att värmepumpen pumpar energi från en låg temperatur till en högre temperatur, till exempel från en uteluft på 10 °C till inneluft på 20 °C.

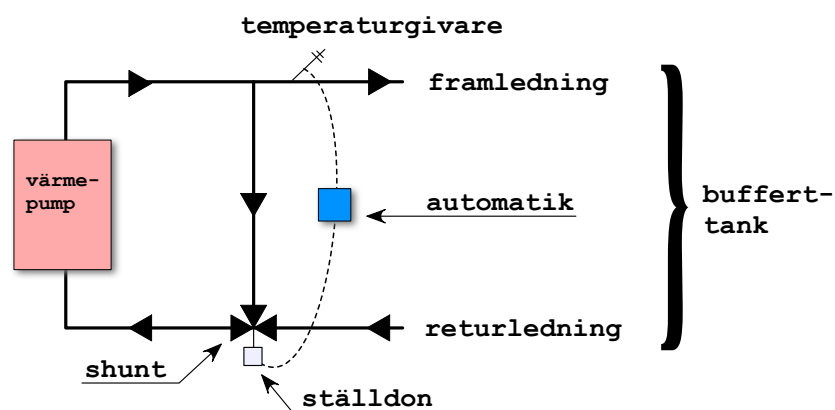
Värmepumpens värmefaktor anger hur mycket energi den levererar i förhållande till hur mycket energi som värmepumpen använder. Värmefaktorn beror på temperaturskillnaden mellan mediet där värmen tas och mediet dit värmen ska lämnas. Om till exempel en värmepump har en värmefaktor på 3, innebär det att om värmepumpen använder 1 Watt elektrisk energi kommer den att leverera 3 Watt värme. Det är viktigt att komma ihåg att tillverkarna anger värmefaktorer vid vissa specifika temperaturer, som gäller under mycket speciella driftförhållanden. Värmefaktorn kan vara både högre och lägre i den slutliga installationen. Till exempel har en luft-till-luft-värmepump mycket bra värmefaktor, oftast över 3,5, på sommaren då det är varmt ute men en mycket låg värmefaktor vintertid, 1–2 då det är kallt ute. Det viktiga är trots allt årsvärmefaktorn, som är den genomsnittliga värmefaktorn



Pellets-panna som står inne i växthuset i en odling med krukor på golvet.  
Foto: Elisabeth Ögren.

för anläggningen. Den kan du normalt inte beräkna utan den måste du mäta upp i efterhand. Grundvattenvärmepumpar har normalt samma värmefaktor året runt, eftersom grundvattnets temperatur inte varierar så mycket.

På grund av värmepumpens konstruktion och köldmediets egenskaper kan en värmepump inte höja temperaturen mer än 10 °C. Om returvattnet från växthuset är 20 °C varmt, kommer temperaturen bara att höjas till 30 °C. Temperaturen kan sällan höjas över cirka 55 °C. Det innebär att vid en normal inkoppling av en värmepump kan du inte styra framledningstemperaturen. För att kunna göra det måste värmepumpen kopplas in på ett speciellt sätt, se figur 8.



**Figur 8.** Exempel på inkoppling av värmepump för reglering av framledningstemperaturen. Eftersom en värmepump normalt sett inte kan höja temperaturen på vattnet med mer än cirka 10 °C, går det inte att bara strypa flödet genom värmepumpen för att höja framledningstemperaturen. Flödet genom värmepumpen måste nämligen vara konstant. Lösningen blir att mäta framledningstemperaturen och om den är lägre än den önskade, shunta (shunta = blanda in) framledningens vatten så att det leds tillbaka till värmepumpens inlopp.

#### Lagra värmen i en tank

I vissa typer av värmesystem är en buffert- eller ackumulatortank nästan nödvändig. Det gäller till exempel fastbränsleeldade pannor, värmepumpar och solvärmesystem, men även pannor som eldas med olja eller gas kan vinna på en bufferttank. Den största vinsten ligger i att du kan minska pannans effekt kraftigt. Vid gaseldning, till exempel med biogas, kan du koldioxidgödsla på dagen samtidigt som du sparar värmen i tanken för användning under natten. Du utnyttjar då koldioxiden, istället för att bara släppa ut den på natten, och pannans effekt kan minskas, vilket är bra ur investeringssynpunkt. Läs mer om koldioxidgödsling under avsnittet Koldioxiddistribution.

Dimensionera buffert- eller ackumulatortanken så att pannan eller värmepumpen kan fylla tanken under de timmar på dygnet då värme normalt sett inte behövs i växthuset, det vill säga maximalt 12 timmar under dagen.

### Beräkning av volymen i en bufferttank

Först räknar du ut hur mycket värme som värmesystemet kan leverera, se ekvation 1.

Pannan/värmepumpen har en effekt på 100 kW.

Tanken ska laddas under 12 timmar.

Det innebär att tanken ska kunna ta om hand 1200 kWh.

Därefter räknar du ut hur mycket energi som 1 kubikmeter vatten kan innehålla

Vattnets energiinnehåll sätter du till 1,14 kWh/(°C x m<sup>3</sup>).

Värmepumpens maximala temperatur är 55 °C.

Du antar att returtemperaturen från växthuset blir 35 °C.

Du får då en temperaturskillnad på 55 - 35 = 20 °C.

Det ger att varje kubikmeter vatten i tanken kan hålla 20 x 1,14 = 22,8 kWh.

Slutligen räknar du ut hur stor volym tanken behöver ha.

Energimängden som maximalt ska lagras är 1200 kWh och varje kubikmeter vatten kan maximalt innehålla 22,8 kWh ger det att tankens volym ska vara 1200/22,8 = 52 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.

$$V_{buffert} = \frac{P_{panna} \times 12}{1,138 \times (t_{full} - t_{tom})}$$

#### Ekvation 1.

Om du inte ska odla under vintern bör du avskilja buffert- eller ackumulatortanken från det övriga värmesystemet med hjälp av en värmeväxlare. Då kan du fylla resten av värmesystemet med propylenglykol och vatten, så att det kan frysa. Pannan är fortfarande i drift 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 regelbundet. Det gör att en stående tank i de flesta fall är att föredra.

## Styrning

Hela värmesystemet bör du styra så att det tar hänsyn till växthusens faktiska energianvändning. Det innebär i praktiken att det blir datorsystemet som styr växthusen som även ska styra pannor, buffert- eller ackumulatortank, huvudshunt och huvudcirkulationspump. Du kan räkna med att energianvändningen minskar med cirka 10 procent då samma datorsystem som styr växthusen, även styr pannorna.

## Rökgaskylning

Ytterligare 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 150–200 °C varma, kyls ytterligare innan de släpps ut genom skorstenen. De bästa rökgaskylarna kyler rökgaserna ner till omkring 20 °C. De flesta pannor, även befintliga som drivs med olja, gas och fastbränslen, kan förses med rökgaskylare. Förutom att öka verkningsgraden i anläggningen, minskar rökgaskylarna utsläppen av bland annat stoft och svavel.

## Vävar

Förutom åtgärderna som effektiviserar energiutbytet från bränslet i pannrummet, är det även möjligt att minska den totala energianvändningen i växthuset. Ett av de mest effektiva åtgärderna är att installera vävar. Det finns olika typer av vävar:

- skugg- och energiväv
- mörklägnings- och energiväv
- fukt- och energiväv
- diffusions- och energiväv

Det gemensamma för samtliga vävtyper är att de minskar effektbehovet och sparar energi. Effektbesparingen ligger mellan 20 och 75 procent beroende på vävtyp. Skuggväven har den lägsta energibesparingen och mörklägningsväven har den högsta. Funktionen är att förhindra den varma luften i växthuset att komma i kontakt med de kalla väggarna, det vill säga att minska värmekonvektionen och genom att reflektera värmestrålningen från växter och inredning tillbaka in i växthuset. Den viktigaste funktionen är att förhindra den varma luften att träffa de kalla ytterväggarna. Därför är det viktigt att installera vävarna korrekt, med kallrasfickor utan glipor och otätheter mot väggarna som förhindrar kall luft från att rinna nerför insidan på tak och ytterväggar in i växthuset vid golvet. Kallrasfickor är plastfolie eller väv som oftast monteras vid nedre delen av väggarna vid grundens överkant och cirka en halv meter upp. Plastfolien tillsammans med väggen bildar en tät ficka som omsluter vävens nedre del. Kallrasfickor kan även monteras vid takfoten.



Alla vävtyper minskar effektbehovet och sparar energi. Här ser du skugg- och energiväv. Foto: Elisabeth Ögren.

Det är viktigt att se över vävarna regelbundet och laga hål och revor med speciell lagningsstejp för vävar. Väven får inte skava mot rör eller ligga an för hårt mot kallrasfickornas kanter. Då är det risk att väven går sönder och du måste byta den i förtid. En korrekt installerad väv av god kvalitet ska hålla i 8 till 10 år. Därför ska eventuella häftklammer som används för att fästa kallrasfickan mot vajern, vändas utåt, bort från väven och vara tillverkade av rostfritt stål.

## Energikällor

Som nämdes i kapitlet för pannor finns det olika källor till värme. De flesta värmekällorna kommer från förbränning, men hit hör även solvärme, vind- och kärnkraft. Värmeenergikällorna kan delas in i olika kategorier:

- fast
- flytande
- gas
- förnybart
- fossilt
- praktiskt
- opraktiskt

Normalt är flytande och gasbränsle mest praktiska även om vissa fasta bränslen i pelletsform även får anses som praktiska med idag tillgänglig teknik.

Användning av förnyelsebar energi finns med som en målsättning inom ekologisk produktion, se Ekologisk växthusodling i Sverige. Kontrollera med ditt kontrollorgan vad som gäller för din produktion.

### *Närheten till bränslet och framtida prisutveckling*

Fossila bränslen som naturgas, olja, kol och propan utvinns på relativt få platser i vår närhet. Importen medför långa transporter och en osäkerhet beträffande leveranserna. Eftersom efterfrågan på olja är stor i förhållande till tillgången kommer priset på olja att variera kraftigt. Raffinaderikapaciteten är idag underdimensionerad och kan inte ta hand om all olja som pumpas upp. Detta pressar upp priserna även om oljeproduktionen ökar.

Beträffande biobränslen kan du ha som tumregel att transportererna ökar med förädlingsgraden, till exempel har skog på rot transporterats minst, medan etanol framställd av spannmål, sockerrör eller majs 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 här ved med till exempel pellets eller etanol, vilket ökar antalet potentiella köpare. 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. Det är viktigt att tänka på att även om pelletsen är producerad i Sverige, kan träråvaran komma från ett sågverk som importerar timmer från till exempel Ryssland.

Elen handlas idag fritt på den nordiska elbörsen. Samtidigt sker det handel med el mellan de nordiska länderna och södra Europa. Priserna i södra Europa och Danmark är betydligt högre än de svenska, vilket leder till att de elproducerande bolagen hellre exporterar sin el. För närvarande är överföringskapaciteten från Sverige till kontinenten begränsad. Gradvis byggs överföringskapaciteten mellan Sverige, Polen och Tyskland ut, vilket innebär att mer elektricitet kan exporteras från Sverige. Det driver på sikt upp elpriserna.

### *Solvärme*

Sol är en gratis energikälla och är faktiskt den största källan till energi i växthus. Problemet är att det kommer för mycket av den på sommaren och på dagarna och för lite på vintern och nätterna. Det är idag fullt möjligt att lagra en del av den här överskottsvärmen i till exempel slingor i marken under växthuset. På vintern använder du då samma slingor i marken för att ta upp värmen igen. Men eftersom temperaturen i marken troligtvis inte är mer än 16–18 °C, måste du låta vattnet passera en värmepump för att komma upp i användbara temperaturer.

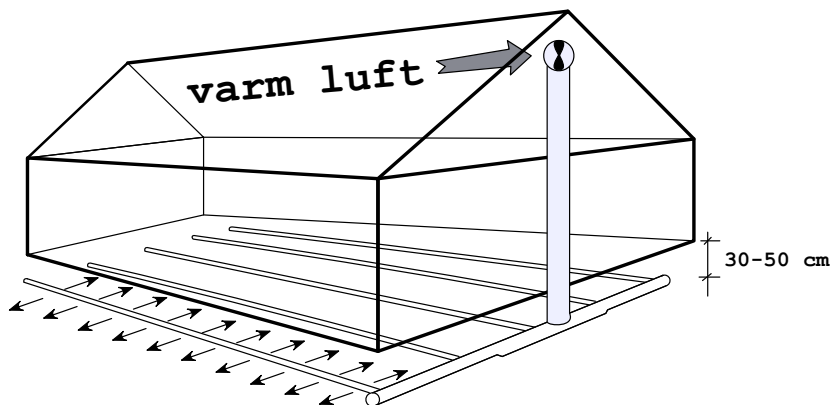
Om du har gott om plats utanför växthuset är en metod att använda ytjordvärme. Det innebär att du gräver ner slangar i marken på 0,8–1,4 meters djup. På sommaren värms marken upp av solen och på vintern tar en värmepump hand om värmen och höjer upp temperaturen till användbara nivåer för växthuset. Oavsett vilken typ av system för att ta tillvara solvärmen som du använder, måste du koppla in en väl tilltagen ackumulatortank, för att kompensera för värmepumpens långsamma reaktion.

Att satsa på speciella solvärmeelement är troligtvis inte ekonomiskt försvarbart. Enda fördelen med dessa är att de i så fall ger en hög vattentemperatur direkt, utan att gå över en värmepump.

Ett enkelt sätt att värma upp marken på våren, är att under taknocken i växthuset montera en fläkt som blåser ner den varma luften i marken, se systemets principiella uppbyggnad i figur 9. Sen vinter och tidig vår kan luften i ett växthus bli ganska varm och lätt komma upp i 15–20 °C. Den varma luften blåser fläkten ner i marken, där den fördelas genom perforerade rör. Marken värms då upp och du kan tidigarelägga din plantering eller sådd. Det du ska tänka på är att fläkten bara ska gå då lufttemperaturen är högre än marktemperaturen. I annat fall kyls marken, vilket du kanske vill värma sommartid.

Systemet kommer att öka markaktiviteten och därmed koldioxidhalten, vilket är bra dagtid. Metoden kommer även att avfukta luften eftersom fukten kondenseras i den svala marken, när luften kyls på sin väg tillbaka upp till ytan.





**Figur 9.** Principiell skiss över system för värmning av marken på våren. En temperaturgivare skickar startsignal till fläkten att börja blåsa luft ner i marken när lufttemperaturen är tillräckligt hög, det vill säga varmare än marken. Kanalerna i marken kan vara dränerings slang på cirka 60 cm djup, så att den går fri för markbearbetningsmaskiner.

### *Elektricitet*

#### *Solel*

Installationen av solceller har ökat stort i Sverige på senare år till följd av ökad lönsamhet. Solceller är ett miljövänligt sätt att producera el på. Solinstrålningen i Sverige är cirka 1 000 kilowattimmar per kvadratmeter och år, vilket är ungefär lika mycket som i Tyskland där det finns många solcellsanläggningar. De vanligaste solcellerna är kristallina solceller och har ofta en verkningsgrad på 15–17 procent, av teoretiskt maximala 26 procent. Tunnsolcellerna är också vanliga och dessa har oftast en verkningsgrad på upp till cirka 14 procent. Det vanligaste vid utformningen av solcellsanläggningar är att montera solceller ovanpå ett befintligt tak och ansluta dem till elnätet.

Det finns också byggnadsintegrerade solceller som till exempel kan ersätta det befintliga takets funktion som väderskydd och solcellsmoduler kan utnyttjas för till exempel skuggning. Dessa typer är än så länge inte så vanliga. Det säljs också solcellsanläggningar med solföljare monterade på stativ som riktar in solpanelen optimalt mot solen under varje tidpunkt. 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. Litteraturen anger att solceller håller i över 20 år och att tillverkare brukar ge 25 års garanti. Verkningsgraden sjunker om någon cell i en seriekopplad slinga slutar fungera. I sådana fall kan du byta ut trasiga celler och återställa den ursprungliga verkningsgraden.

I växthusanläggningar finns takytor på till exempel 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. Forskning avseende avancerade koncentrerande solcellsanläggningar pågår i Nederländerna.



Exempel på transportgång i ett danskt försökshus, som försetts med solceller. Solcellerna skuggar så att klimatet i gången blir behagligt varmt, men släpper ändå igenom så pass mycket ljus att personalen ser att arbeta.

I Italien där solinstrålningen är högre har man studerat semitransparenta solceller placerade på och integrerade med växthustak av glas och dess effekter på några olika grödor. För basilika fann man inga större skillnader. För tomater var planthöjd och skörd likvärdiga i växthus med och utan solceller, men frukterna var större i växthuset med solceller. Dock erhöll man på grund av skuggningen i växthuset med solceller förhållanden som gynnade mjöldagg. I Sverige där solinstrålningen är lägre är det tveksamt om semitransparenta solceller är intressanta för grödor som kräver mycket ljus.

Runt växthus finns det ofta ganska mycket plats, och det är ofördelaktigt med växtlighet i närheten på grund av smittriskan och för att höga växter kan skugga. Här kan solceller vara ett alternativt användningsområde istället för klippt gräsmatta. Gäss eller får kan hålla gräset kort mellan och under solcellernas.



Solceller placerade på marken utanför en byggnad. Istället för betong är det vanligare att förankra stolparna direkt i marken. Betande djur, som gäss och får kan hålla gräset kort.

### *Vindkraft*

Vindkraft har byggts ut mycket på senare år, men i dagsläget har många svårt att räkna fram en lönsamhet. Att vindförhållandena är bra har stor betydelse för lönsamheten. 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. Du kan förbättra investeringskalkylen om du hittar bra begagnade gårdsverk till en rimlig kostnad, särskilt om du inte producerar mer elektricitet än du själv använder på 1 år, eftersom du då även kan räkna in nätavgift och skatter i den kostnadsbesparing du gör.

Vindkraftverken kan producera el, viktet är vanligast, eller varmvatten direkt. Det finns även möjlighet att köpa in sig i vindandelar i olika vindkraftverk.

### *Vattenkraft*

Vattenkraft används i stor utsträckning för produktion av el i Sverige. Även småskalig vattenkraft kan i vissa fall vara en intressant möjlighet för elproduktion.

Elen kan sedan användas för att driva värmepumpar eller som direktverkande elektricitetsvärme.

Att låta elen driva en värmepump gör att elen utnyttjas 2 till 3 gånger effektivare än om den används för värmning direkt. Beroende på värmekällans temperatur och temperaturen som avges till värmesystemet blir värmefaktorn, COP (förhållandet mellan avgiven och tillförd energi), olika bra. Bäst värmefaktor får du om temperaturskillnaden mellan värmesystemets och värmekällans temperatur är låg. Detta innebär att



Vindkraftverk från Vertical Wind. De minsta kraftverken kräver oftast inte bygglov, bygglov för gårdsverk handläggs av kommunerna medan prövningen för större verk är mer omfattande.

en luftvärmepump har betydligt högre värmefaktor sommartid jämfört med vintertid. Då det är  $-10^{\circ}\text{C}$  utomhus får du från en luftvärmepump ofta inte ut mycket mer värme än det som motsvaras av vad du tillför som drivenergi.

Undvik i möjligaste mån att använda el för direktvärme, då det är ett väldigt dåligt utnyttjande av högvärdig energi.

## Bränslen

### Biobränslen

De förnybara energikällorna (bränslen) som är användbara 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. Det tar lång tid att omvandla organiskt material till torv, men dock betydligt kortare tid än det tar för omvandling till olja eller kol. Fjärrvärme används i viss utsträckning för växthus och då värme från biobränslen (toppar, grenar, träavfall med mera) 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 biobränslen nackdelen att de innehåller betydligt mindre energi per volymenhet och större lagringsutrymmen krävs.

### Värmevärde vid olika fukthalt

Vid förbränning av träbränslen omvandlas energi som är kemiskt bunden till värmeenergi. *Värmevärde* karakteriserar bränslets energiinnehåll och energin som erhålls som värmeenergi vid förbränning. Vid förbränningen omvandlas den kemiska energin till värmeenergi, men en del av den energi som då avgår går åt för att förångas vatten. Träbränslet 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. Om träbränslet är blött åtgår stora mängder energi till att avdunsta vattnet. Det finns mycket stora skillnader mellan värmevärdet för olika träbränslen både per volymenhet och per viktenhet räknat. När du köper in bränsle kan det vara idé att få värden på eller mäta vikt och fukthalt. Bäst är om du kan betala för den mängd nyttig värme som du kan få ut från träbränslets, för då ligger det i säljarens intresse att förse dig med ett så torrt bränsle som möjligt.

**Träpellets** är ett mer praktiskt bränsle jämfört med flis. På grund av den högre densiteten tar träpellets bara en femtedel så stor plats som flisen och dubbelt så stor plats som oljan, för samma mängd energi. Pelletsanläggningen tar mindre plats än anläggningen för flisen, eftersom frammatning och panna är mindre. Miljöpåverkan är densamma som för flis.



Den pellets som säljs i Sverige idag, kommer dels från Sverige, men även från Polen, Baltikum och Kanada.  
Foto: Elisabeth Ögren.

**Torr flis** är idag ett av de billigaste bränslena. Flisen kräver mycket plats och en del skötsel. Däremot är en modern flisanläggning driftsäker och bättre än sitt rykte. Fastbränslen kräver ofta cykloner efter pannan och före skorstenen eller rökgaskylaren, för att ta bort stoft. Cyklonen är helt passiv och kräver ingen skötsel, men tar givetvis plats i pannrummet. Eftersom flis är ett förnybart bränsle, ökar det inte på koldioxidnivåerna i atmosfären. Detsamma gäller nettoutsläppen av svavel och tungmetaller. I en anläggning för torr flis kan du inte elda våt flis.

**Våt flis** är i grund och botten ett material med samma skötsel och utrymmeskrav som den torra flisen. Detsamma gäller utsläppen. Däremot kräver den våta flisen en annan typ av panna som inte klarar av torr flis.

**Ved** är ett av de billigaste bränslena och kostar ungefär hälften av vad träflis kostar. Nackdelen med ved är att den är arbetskrävande, både för sågning och klyvning, men även vid själva eldningen. En vedpanna behöver fyllas på ungefär var tredje till var fjärde timme, vilket gör den irrationell för större anläggningar. Men i mindre anläggningar, gärna med ackumulatortankar, kan veden ändå vara ett bra alternativ. Vedpannan kan då eldas under dagen och fylla ackumulatortanken med värme, som sedan används under natten. I större pannanläggningar spelar vedens fukthalt ingen större roll för värmeutbytet, men i mindre anläggningar är vedens fukthalt A och O, för ett gott värmeutbyte. Fukthalten ska vara runt 12–20 procent. Färsk ved har en fukthalt runt 50 procent.

För att snabbt få torr ved ska du tänka på att:

- Randbarka stockarna i trädriktningen redan vid fällningen och klyv veden så snart som möjligt efter fällning.
- Barkad och kluven ved torkar på en fjärdedel av tiden jämfört med okluven och obarkad ved.
- Ett alternativ till randbarkning är att syrfälla veden. Syrfällning innebär att du fäller virket som sedan får ligga så att barr och blad torkar ut veden genom avdunstning. Därför sker syrfällningen lämpligen på våren i samband med, eller strax efter, lövsprickningen. Metoden innebär att veden har en fukthalt på 30 procent redan efter 4–5 veckor.
- Lagra veden fritt luftat under tak med skydd mot regn och fukt. Helst ska den lagras upp tidigt under hösten för torkning under höst och vinter. Allt virke lämpar sig för uppvärmning, alltså inte bara lövträd, utan även barrträd. Ek kräver upp till 3 års lagring innan det kan användas för eldning, på grund av det höga innehållet av syror. Det går att lukta på ekträt för att avgöra när syrorna är borta. Gör ett snitt, eller yxhugg i ekklubben och lukta på snittytan. Luktar det surt måste du lagra eken längre.
- Det går att höra när veden är lagom torr genom att slå 2 vedträn mot varandra. Då ska det höras ett klart klingande, i motsats till fuktiga vedklubbar som då ger en dov dämpad smäll.

**Bioljor** finns idag i en rad olika kvaliteter. Det kan röra sig om rena pressade och processade oljor, så som rapsolja och rapsmetylester (RME), men det kan även röra sig om fett- och oljerester från livsmedelsindustrin. Om du använder biologiska oljor kan du behöva byta pumpar, flödesmätare med mera som inte klarar av biologiska oljor. Numera finns det biooljor av en rad olika kvaliteter som är noga definierade enligt standarder, vilket gör det lätt att köpa en olja som passar en oljepanna som är gjord för fossil eldningsolja typ Eo 1.

**Biogas** är lika enkel och praktisk att använda som naturgas, med den skillnaden att den inte ger något nettotillskott av koldioxid till atmosfären. Utrustningen för biogas är likartad den som används för naturgas. Det är även möjligt att du själv tillverkar biogas på gårdsnivå, vilket kan vara intressant om du har tillgång till lämpligt avfall eller kan odla växtgrödor utanför växthuset, som genom en bakterieprocess rötas till biogas. En fördel med biogas är att du samtidigt kan tillföra växterna koldioxid, genom att förbränna gasen på dagen då växterna behöver koldioxid och då lagra värmen i ackumulatortankar, för användning på natten. Det finns även speciella brännare som du kan placera inne i växthuset primärt för koldioxidproduktion.

En annan fördel med biogas är att du kan använda rötresten som flytande gödselmedel, se häftet Teknik för spridning av flytande organiska gödselmedel.

Att producera biogas själv kräver både plats och lämpligt substrat, till exempel gräs och klöver.

I tabell 3 listas vanliga bränsleslag och några av deras egenskaper.



Biogasanläggning från Belgien.

**Tabell 3.** Sammanfattning över de vanligaste bränslena i växthussammanhang, med energiinnehåll.

Bränsle	Energiinnehåll	Densitet	Koldioxid-netto
Flis, torr	925 kWh/m <sup>3</sup> 3 300–3 700 kWh/ton	–	0
Ved	4 000–4 500 kWh/ton	350–450 kg/m <sup>3</sup>	0
Pellets	4 700–5 000 kWh/ton	550–700 kg/m <sup>3</sup>	0
Briketter	4 600 kWh/ton	–	0
Bränslehavre	4 100 kWh/ton	520 kg/m <sup>3</sup>	0
Rapsolja	9 700 kWh/m <sup>3</sup>	900 kg/m <sup>3</sup>	0
Etanol, ren	7 500 kWh/m <sup>3</sup>	985 kg/m <sup>3</sup>	0
Bioolja (tunn) & Eldningsolja 1 – E10	10 000 kWh/m <sup>3</sup>	820–860 kg/m <sup>3</sup>	2,69 ton/m <sup>3</sup>
Eldningsolja 4	11 580 kWh/m <sup>3</sup>	920–960 kg/m <sup>3</sup>	2,88 ton/m <sup>3</sup>
Naturgas	11,1 kWh/m <sup>3</sup>	–	198 g/kWh
Biogas	5–8 kWh/m <sup>3</sup>	–	0
Gasol	12 800 kWh/ton	2,03 kg/m <sup>3</sup>	uppgift saknas

\* Källor: Preem, Sydgas, JTI – Jordbrukstekniska institutet, Hushållningssällskapet, Jordbruksverket, Lunds tekniska högskola, Energiteknik Formler och tabeller, SI – Chemical Data.

#### *Fossila bränslen*

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

**Naturgas** finns främst längs västkusten och i liten omfattning i vissa trakter i Östergötland. Som med all gas, är den praktisk och säker och tar liten plats. Men som med oljan är tillgången i världen främst lokaliserad till några få områden, vilket gör prisutvecklingen osäker på sikt. Naturgasen släpper ut mindre koldioxid än olja. Dessutom släpper naturgasen inte ut några tungmetaller eller svavel.

## Bevattning

Vatten är i de flesta sammanhang den tillväxtfaktor som snabbast blir avgörande för växtens överlevnad. Därför är det också vattning som människan i alla tider har fokuserat på i första hand när vi odlar växter, oavsett om det är utomhus eller inomhus.

Det är viktigt att bevattningssystemet är utformat så att växten och odlaren får sina behov tillgodosedda. Ett felaktigt bevattningssystem kan resultera i att växterna inte blir optimalt vattnade, vara arbetskrävande och ta mycket tid i anspråk.

### Bevattningssystemets uppbyggnad

Bevattningssystemets uppgift är att fördela ut vattnet till växterna. Beroende på vilken odlingsteknik du valt och vad du ska odla, är det olika typer av bevattningstekniker som är aktuella. När du väljer teknik är det viktigt att tänka på hur bevattningstekniken påverkar arbetssituationen i företaget. Vissa system är mer arbetskrävande än andra. Bevattningssystemet utformar du efter företagets behov, och i de allra flesta fall är det inte lika omfattande som det recirkulerande systemet i figur 10.

#### *Recirkulerande system*

Principen är enkel: Behandla först vattnet, till exempel genom filtrering. Fördela ut det till växterna. Samla upp det, i de fall då det är aktuellt, för att återanvända det till nästa vattning.

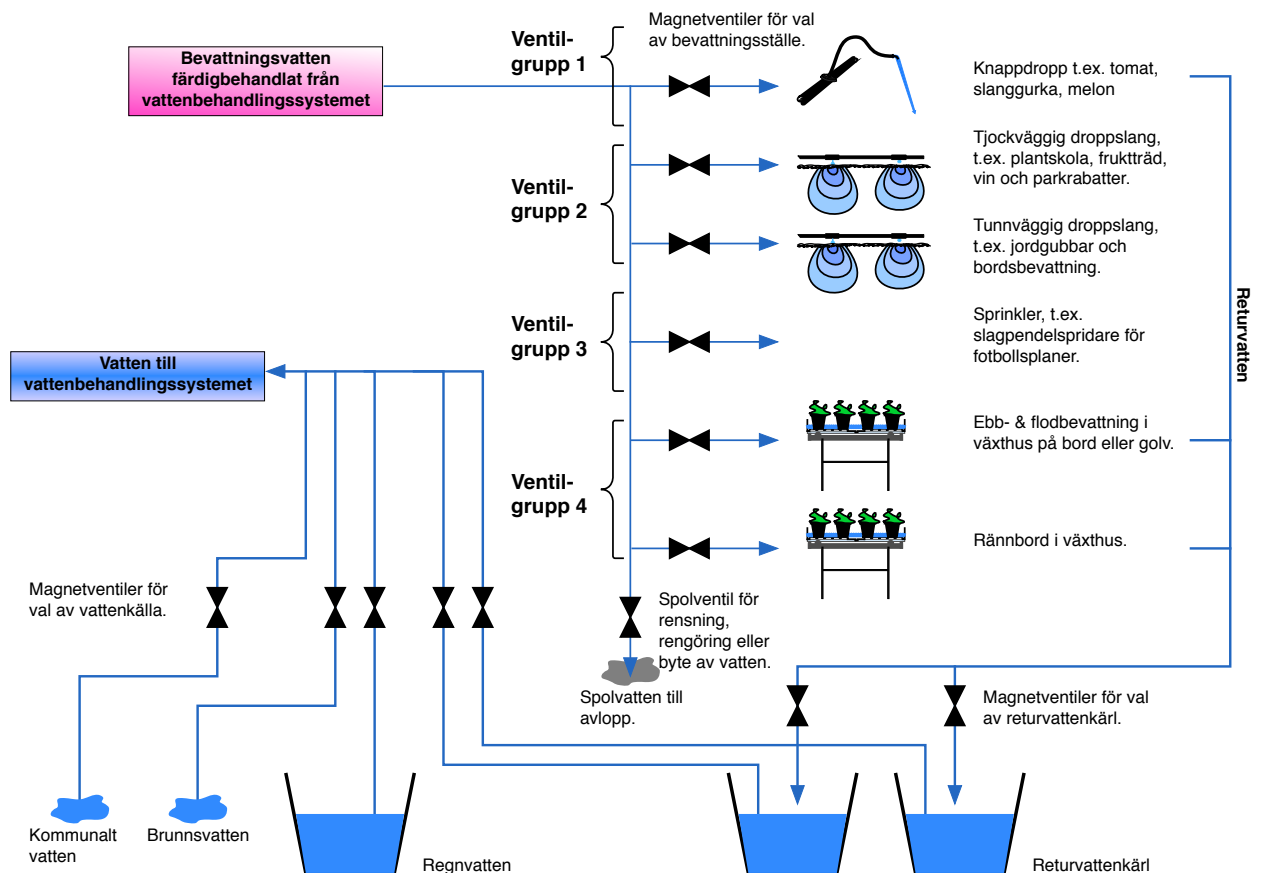
#### *Magnetventiler och ventilgrupper*

Om du vill kunna styra vattentillgången för olika grupper av växter gör du det med ventiler. En annan anledning till att dela upp magnetventilerna i grupper är för att vattenpumparna oftast inte klarar av att bevattna hela odlingen samtidigt. I små odlingar kan ventilerna vara manuella, men så snart odlingen börjar bli lite större, är det betydligt mer arbetseffektivt att ha elektriska magnetventiler som du styr via automatik. En ventilgrupp kan bestå av 1 ventil upp till flera 10-tals ventiler. I moderna datorbaserade styrsystem sätts ventilgrupperna ihop i datorn och de kan därför ändras från vattning till vattning.

#### *Returvatten*

Tillgången på vatten blir allt mer ojämn över året, så ta för vana att inte låta något vatten gå till spillo. På öppna fält kan det finnas täckdiken eller öppna dräneringsdiken, och runt växthuset är det allt vanligare med dräneringsvatten. Det här vattnet kan du samla upp och återanvända. Tidigt på året har du plantuppdragning av frösådder och sticklingar som du oftast har på bord. För jämn bevattning använder du ebb- och flodbord eller rännbord, som är mindre vanligt. Överskottsvattnet tar du om hand och använder igen till samma kultur, eller om du är rädd för vattenburna smittor för bevattning av andra växter utomhus.





**Figur 10.** Schematisk bild över hur ett bevattningssystem är uppbyggt. Vatten kommer färdigbehandlat från vattenbehandlingssystemet och fördelas därefter till växterna via ventilerna. Indela ventilerna i ventilgrupper för att styra vattenuttaget efter vattenpumpens kapacitet och för att de olika kulturerna har olika behov. Samla upp eventuellt överskottsvatten och återanvänd i odlingen.

### Spolventil

Spolventilens uppgift är att tömma bevattningssystemets ledningsnät på vatten från förra vattningen för att fylla upp det med vatten inför kommande bevattning. Detta gör du omedelbart innan bevattningen börjar. Det kan vara så att du använde ett vatten eller sammansättning på vatten som absolut inte är lämplig för den gröda du nu ska vattna. Kanske har du vattnat ett frilandsfält med ett återvunnet dräneringsvatten med ganska högt ledningstal, och nu står du i beredskap att vattna nysådda plantor som är väldigt känsliga för både fel pH-värde och för starka näringsgivor. Spola därför ur ledningsnätet innan du kan börja vattna frösådderna.

En annan anledning kan vara om vattnet har stått länge i ledningsnätet, vilket kan leda till syrebrist och tillväxt av anaeroba organismer. De organismer som trivs i syrefattiga miljöer kan skapa kemiska föreningar som är skadliga för växterna.

Om delar av rörsystemet ligger ovan jord och har blivit för varmt för att vattna med riskerar du att bränna växterna.

Slutligen är spolventilen bra att ha om du behöver rengöra bevattningssystemet med någon sorts rengöringsmedel, oftast en svag syra, som inte får komma till växterna.

### *Tekniker för spridning av vattnet*

#### *Handvattning med slang*

Handvattning med slang och stril är en gammal metod som fortfarande är vanlig. Metoden är lämplig för små ytor med många olika växter med olika vattenbehov. Handvattning är mycket tidskrävande och bör bara användas i undantagsfall.

#### *Droppbevattning*

Principen för droppbevattningen är att vattnet tillförs långsamt droppvis under lång tid, se figur 11. En logisk följd blir även att vattnet bara tillförs punktvis istället för att hela markytan väts ner. Väl nere i marken kommer vattnet däremot att sprida ut sig över en större volym och täcker på så vis in plantans rotsystem. Fördelarna är flera:

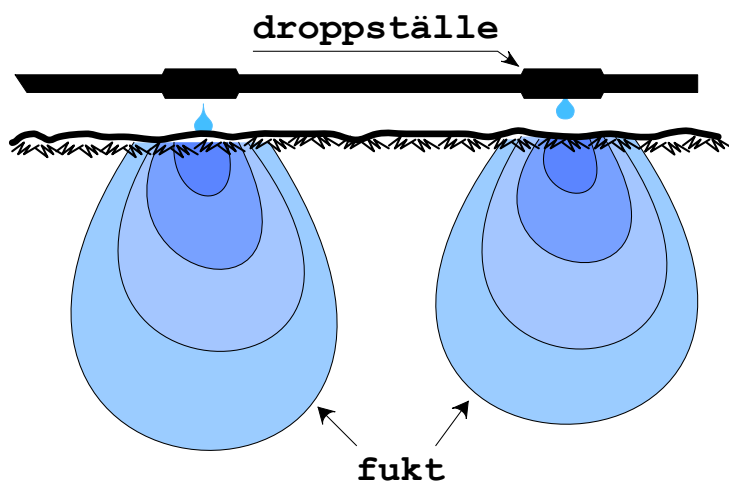
- En torrare markyta minskar ogräset.
- God tillgång till syre i marken.
- Inget vatten på bladen och minskad fukt i markytan minskar risken för svampangrepp.
- Minskad avdunstning, ingen vindavdrift och det faktum att vattnet endast kommer där plantan är, minskar vattenanvändningen och gödselmedelsanvändningen.
- Den låga bevattningsintensiteten och det låga trycket gör det möjligt att använda små pumpar som är energisnåla.

Droppslangar finns i 2 olika utföranden, tjockväggig och tunnväggig droppslang. Den tjockväggiga droppslangen kan användas under flera år. Den är tåligare mot mekanisk skada som kan uppstå till exempel när du luckrar jorden eller rensar mot ogräs. Den går även att hänga upp, vilket är lämpligt vid odling av fruktträd. Slangen ligger då ovanför jorden och är inte i vägen vid markarbeten.

Den tunnväggiga droppslangen använder du oftast bara 1 säsong. Undantag är i odlingar där du täckt slangen med plast eller organiskt material. Då ligger slangen kvar flera år.



Tjockväggig droppslang kan användas under flera år och är mer tålig mot mekanisk skada än den tunnväggiga.  
Foto: Elisabeth Ögren.



**Figur 11.** Skiss över principen för droppbevattning. Vattnet tillförs punktvis, vilket minskar fukt i ytan. Detta ger en torr markyta med lite ogräs. Nere i marken sprider sig vattnet runt droppstället.

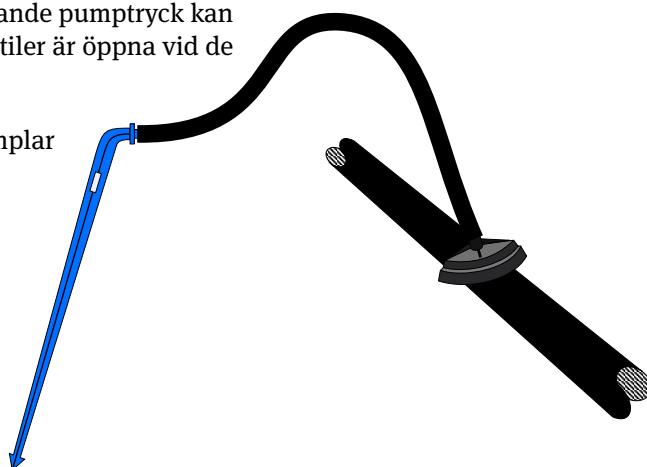
Den tunnväggiga droppslangen kan vara antingen en ihopsvetsad plastfolie eller en formpressad, extruderad slang, vilket har blivit vanligare på senare år.

Dropparna skapas genom att vattnet måste passera en smal kanal på sin väg från slangens insida till hålet på slangens utsida. Kanalen är veckad och kallas därför för labyrint. Labyrinten gör så att vattentrycket sänks så mycket att det bara orkar att droppa ut ur hålet, istället för att spruta ut i en stråle. Labyrinten utformas och tillverkas på olika sätt, beroende på fabrikat och typ av droppslang.

Välj droppknappar istället för droppslang om du önskar en mer exakt reglering av vattenmängden vid varje dropp, eller om du har en ojämn placering av droppställena. Droppknappar är tryckreglerande, vilket innebär att varje droppknapp ger lika mycket vatten även vid långa slangsträckor och vid varierande pumptryck. Varierande pumptryck kan till exempel uppstå om olika många bevattningsventiler är öppna vid de olika bevattningarna, se figur 12.

Droppknappar är väl lämpade för bevattning av amplar och moderplantor för sticklingsproduktion.

**Figur 12.** Droppknapp med kapillärslang och pinne. Placera droppinnen i närheten av växten. Droppbevattning kan du använda för bevattning av till exempel ampelväxter, grönsaker som växer i marken och plantskoleväxter.





Sprinkling höjer luftfuktigheten.  
Foto: Elisabeth Ögren.

### *Droppbevattning och organiska gödselmedel*

Organiska gödselmedel sätter ofta igen modern bevattningsutrustning, och särskilt droppbevattningssystem, se häftet Teknik för spridning av flytande organiska gödselmedel. Det finns olika metoder för att filtrera den färdiga koncentrationen av organiskt gödselmedel för att undvika igensättning av bevattningsutrustning. Ett självrensande lamellfilter eller ett sandfilter med lämplig filterstorlek på 0,1 millimeter är det mest effektiva. Nackdelen är att de näringsrika partiklarna försvinner i samband med rensningen. Eftersom organiska gödselmedel innehåller mycket partiklar kommer ett vanligt nätfilter snabbt att sättas igen, om du inte har en insats, till exempel Torpedo, som samlar skräpet i ena änden av nätfiltret.

Ett annat alternativ är tepåsemetoden. Den går ut på att bereda en stamlösning i en särskild tank: Fyll det organiska gödselmedlet i en filterpåse, motsvarande den som används för filtrering av uppsamlat vatten. Häng påsen i tanken. Fyll på vatten genom filterpåsen med gödselmedlet. Påsen får därefter ligga och dra i vattnet. Mät upp lämplig koncentration med hjälp av en ledningstalsmätare. När ledningstalet har nått lämplig nivå, som beror på valet och mängden av gödselmedel, tar du upp påsen ur vattnet. Teet i tanken är stamlösningen. Beroende på hur mycket näring du önskar vattna ut, späder du sedan stamlösningen i bevattningsvattnet. Montera gärna ett nätfilter på 0,1 millimeter före droppbevattningen.

Du kan även vattna ut stamlösningen direkt och därefter vattna med rent vatten för att undvika för kraftig koncentration precis vid droppställena.

### *Sprinkling och dysbevattning*

I vissa fall vill du sprida vattnet jämnt över en större yta. Det kan vara för att höja luftfuktigheten eller för att främja nedbrytning av gröngödslingsmassa. På grund av att markytan blir fuktad är sprinkling av marken ofta använd i ekologisk odling där gödselmedel tillförs från markytan i form av till exempel gräsklipp.

#### Olika typer av sprinklingsutrustning:

- De kan stå på pinnar en bit ovanför markytan och sprida vattendropparna i en rondell runt omkring centrum.
- De kan vara placerade vid kanten av en bädd och sprida vattnet i en sektor på 90° eller 180° in i bädden.
- De kan vara hängda ovanför växterna och sprida dropparna antingen cirkulärt eller i olika sektorer på 90° eller 180°.

### *Ebb- & flodbevattning*

Ebb- och flodbevattning är aktuell vid förökning i kruka eller lådor, och innebär att krukans nederdel dränks med vatten. Normalt innebär det att vattnet stiger upp 0,5–2 cm från krukans botten, varefter överskotts-

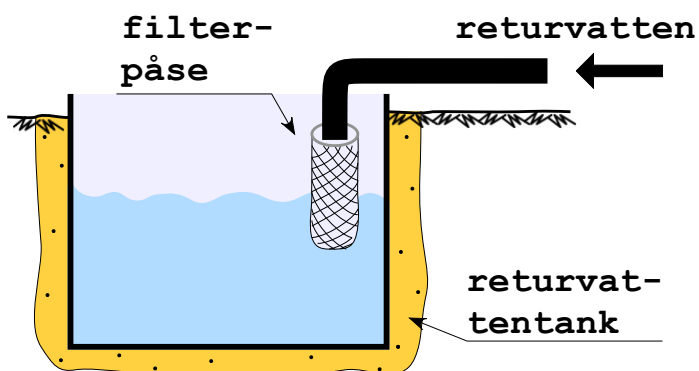
vattnet dräneras bort. I vissa mycket exakta system kan du nöja dig med att enbart tillföra precis så mycket vatten som växterna suger upp, men detta är inte lika vanligt.

Ebb- och flodbevattning kan ske antingen på bord eller direkt på golvet. Oavsett hur du odlar är det viktigt att bord eller golv är helt plana.

För att förhindra att växterna suger för mycket vatten och därmed får syrebrist i rotzonen, är det viktigt att dräneringen av överskottsvattnet sker så fort som möjligt. Det har därför under senare år utvecklats speciella ebb- och flodventiler som är extra snabba på att dränera bort vattnet. Fyllning av bordet sker via en normalt ganska tunn vattenslang och dräneringen sker i en grövre slang för att få så snabb tömning som möjligt.

För att förhindra att för mycket jord och torv följer med dräneringsvattnet, kan du täcka bordsytan med tunn fiberduk och därpå en perforerad bordsplastfolie med vit ovansida och svart undersida. När bordet är tomt kan du enkelt rulla ihop plastfolien för att tömma den på torvresten.

Dessutom bör du alltid ha en filterpåse på returvattenröret vid returtanken. Det räcker inte med en vanlig vävd filterpåse, utan påsen ska helst vara filtad och ta partiklar ner till 100 nanometer (nm). Det bästa är att ha en extra påse i reserv för snabba byten. Den smutsiga filterpåsen kan du skölja och tvätta skonsamt i tvättmaskin. Figur 13 visar ett exempel på hur filterpåsen är monterad i en returvattenbassäng.



**Figur 13.** Skiss över monteringen av filterpåsen i returvattenbassängen. Det är viktigt att filterpåsen inte är vävd utan istället tovad, så att små partiklar fångas upp och filterpåsen inte sätts igen så fort.

#### *Rännbevattning*

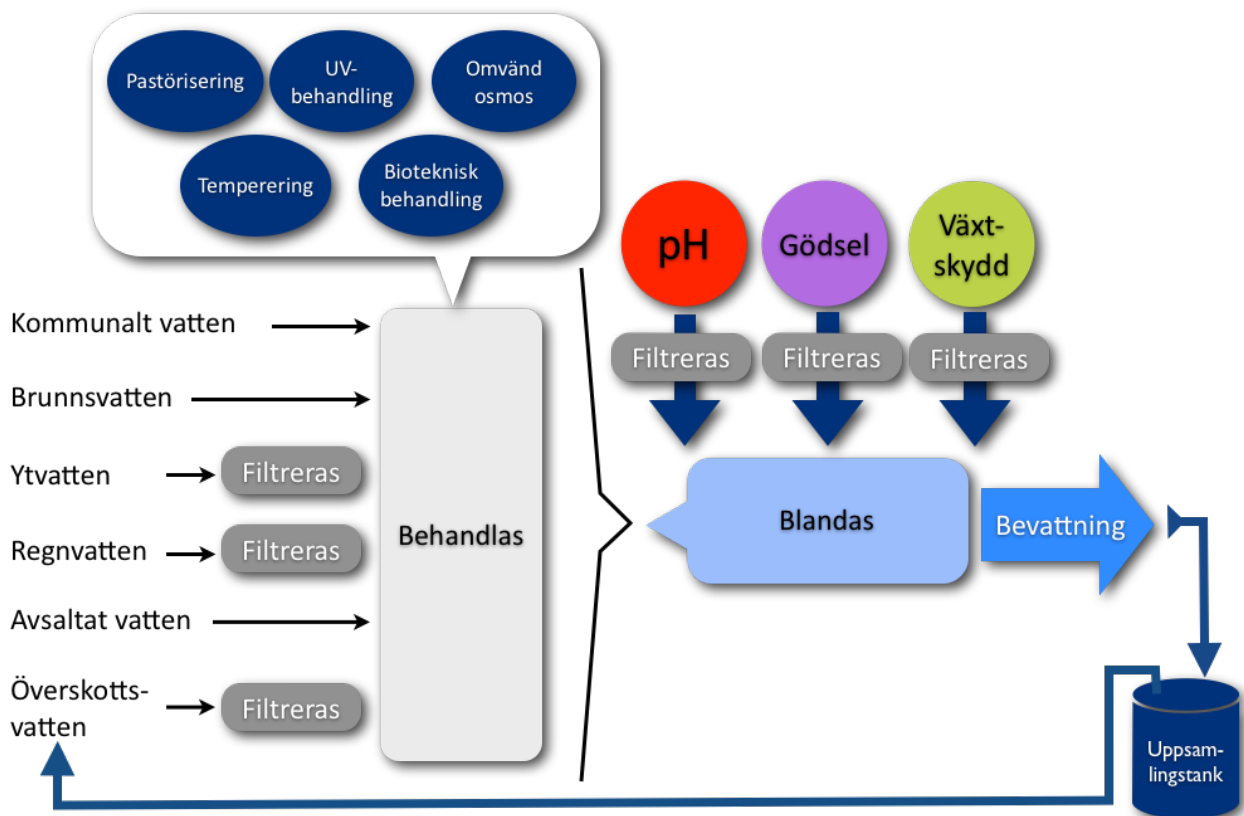
Rännbevattning är också en alternativ vattningsmetod till ebb- och flodbevattning, där krukorna står i en ränna som är något bredare än krukorna. I ena änden, som har ett ändstycke, kommer vatten som därefter rinner till den andra änden som är öppen, där det tas om hand. För bästa flöde bör rännorna ha ett svagt fall. Rännbordens funktion är därför i princip snarlik ebb- och flodsystemets, så till vida att krukans nederdel täcks med vatten som sedan suges upp i substratet via kapillärkrafter.

Rännbordens stora fördel ligger i den mycket goda luftväxlingen runt plantorna. Värmen som normalt tillförs under bordet, kan enkelt stiga upp mellan rännorna och kommer till växterna. Detta medför möjligheter att minska energianvändningen och sänker luftfuktigheten i plantskiktet, vilket ofta är positivt för att minska risken för svampangrepp.

Filtrera vattnet som samlas upp innan du återanvänder det. Precis som med ebb- och flodsysteemet bör du placera en filterpåse vid inloppet till returvattentanken.

## Vattenbehandling

Vattenbehandlingens uppgift är att anpassa vattnets kvalitet efter växternas behov. Eftersom vattnet kan komma från olika källor kommer det av naturliga skäl att ha vitt skilda kvaliteter, och dessa måste du i de flesta fall justera för att bättre passa växternas behov. När du använder flera vattenkällor kan den enklaste vattenbehandlingen vara att du filtrerar vattnet och därefter blandar vatten från de olika källorna i proportioner, så att vattnet blir acceptabelt för växterna, se figur 14 för den principiella ordningen på de olika behandlingssystemen.



**Figur 14.** Vattenbehandlingens olika steg, från råvatten, filtrering, eventuellt sterilisering och bioteknisk behandling, till reglering av pH, näringsinnehåll och eventuella växtskyddsmedel.

### *Dammar och cisterner*

Se till att dammar och cisterner du samlar vatten i är övertäckta för att hindra smuts att komma i vattnet. Blad, pollen och annat organiskt skräp kommer annars att brytas ner i vattnet, förbruka syre och ge upphov till organiska föreningar som kan påverka växterna negativt. En övertäckning minskar även alg tillväxten. Alger är ett problem eftersom de sätter igen filtren och höjer pH-värdet i vattnet. Alla dammar och cisterner ska ha minst en stege eller ännu hellre ett nät som det går att klättra upp på ifall en människa eller ett djur trillar i vattnet.

### *Vattenkällor*

Valet av vattenkälla är viktigt, men ibland är inte valmöjligheterna så stora. I de flesta fall blir det så att ditt bevattningsvatten är en blandning från olika typer av vattenkällor så som regnvatten, dräneringsvatten, brunsvatten och något mer.

### *Regnvatten*

Regnvatten är oftast ett mycket bra vatten. Det innehåller inga ämnen, så som karbonat, järn och mangan, som kan orsaka fällningar i bevattningsanläggningen. Regnvatten samlar du upp på växthustaken och för till en damm eller cistern. En fördel med regnvatten är att pH-värdet oftast är bra, i varje fall inte för högt. Ta alltid ett vattenprov på regnvattnet innan du startar upp odlingen, för att förvissa dig om att det inte innehåller luftföreningar.

### *Brunnsvatten*

Brunnsvattenkvalitéerna varierar mycket från brunn till brunn. Höga pH-värden och innehåll av järn, mangan och karbonat kan orsaka problem i form av utfällningar som stoppar upp vattenflödet i droppslangar med mera. Även höga halter av klorid- och natriumjoner kan vara ett problem. Analysera därför brunnsvattnet, helst varje år.

### *Ytvatten*

Ytvatten är vatten som kommer från vattendrag, sjöar och bäckar. Ofta kan ytvatten innehålla mindre kemikalier än brunnsvatten, men däremot innehåller det humusämnen som förbrukar syre och som dessutom påverkar växterna negativt. pH-värdet är ofta på en acceptabel nivå. I vissa områden kan det vara direkt olämpligt att ta ytvatten. Det gäller i närheten av hagmark där det finns risk för att djurens avföring sprider bakterier till vattnet. Speciellt vid övervattning kan dessa bakterier fastna på bladgrönsaker och sprida sjukdomar till människor.

### *Dräneringsvatten*

Dräneringsvatten är det vattnet som inte fastnar i odlingssubstratet. Det måste du enligt EU:s vattendirektiv ta om hand, och bästa sättet är att återanvända vattnet i odlingen. I samband med återanvändning av vatten uppstår en del nya problem. Det dränerade vattnet innehåller ofta ganska mycket näring, ibland i oönskade koncentrationer, vilket gör att

du måste späda vattnet med till exempel regn- eller brunnsvattnet. Det finns också en risk för att vattenburna skadegörare sprids från planta till planta, i samband med återanvändning av överskottsvattnet.

#### *Kommunalt vatten*

Kommunalt vatten har oftast mycket jämn kvalitet och är fritt från smitta. Men det har alltid ett pH över 7,0, vilket innebär att innan bevattning måste du sänka pH-värdet. Även klorhalten kan ibland variera över tiden och detta kan medföra problem i odlingen.

#### *Filtrering*

Det är troligt att du behöver behandla bevattningsvattnet på något sätt innan du kan använda det. Den vanligaste är mekanisk filtrering för att ta bort partiklar i form av sandkorn, alger, växtfibrer och liknande. Annan behandling kan vara syresättning som är speciellt viktigt om vattnet står stilla i dammar eller cisterner under längre tid. Då kan det samlas organiskt material i vattnet som ger upphov till en bakterieflora som förbrukar syre.

#### *Mekaniska filter*

De mekaniska filtren kan enkelt delas in i:

- silfilter
- nätfilter
- lamellfilter
- sandfilter

**Silfilter** är ett filter som är självrenande, och består av en böjd plåt med små hål i. I överkant släpps vattnet ner, som rinner längs med plåten. Vattnet rinner genom de små hålen, men större partiklar kommer inte igenom. Nedanför plåten finns en uppsamlingsbehållare för smutsen som fastnat i filtret. Filtret är särskilt lämpligt om du har mycket grova partiklar i vattnet, och du använder det då som ett första filter.

**Nätfiltret** är den enklaste formen av filter och används då vattnet i praktiken är rent och fritt från föroreningar. Nätfiltret fungerar då som en extra försiktighetsåtgärd om något skräp skulle följa med vattnet.

**Lamellfiltret** är lämpligt då vattnet är mer förorenat. Lamellfiltret kan samla mer skräp än nätfiltret innan det behöver rengöras. En annan fördel med lamellfiltret är att det kan förses med automatisk rensning när filtret blir för igensatt.

**Sandfiltren** används när vattnet är kraftigt förorenat eller då det som ska filtreras bort är mycket fint, till exempel alger. Sandfiltret kan fås med antingen manuell eller automatisk rening, så kallad backspolning. Efter ett sandfilter bör du alltid sätta ett nätfilter eller en hydrocyklon, för att fånga upp eventuella sandkorn.



Ett silfilter där vatten släpps på i toppen och fördelas ut över filtrets övre del genom den smala spalten. Vattnet rinner genom filterplåtens hål, medan grova partiklar fastnar och med tiden sköljs längre och längre ner, för att till sist hamna i uppsamlingsbehållaren längst ner.



Vid filtrering av återvunnet vatten bör det uppsamlade vattnet först filtreras med ett påsfilter för att minska belastningen på det egentliga filtret. Påsfiltret har beskrivits tidigare i kapitlet Ebb- & flodbevattning, och visas även i figur 13.

### *Övrig vattenbehandling*

Om du behöver syresätta vattnet är det enklast att sätta vattnet i rörelse. Placera en liten pump i dammen eller cisternen, som pumpar runt vattnet så att det kommer i kontakt med vattenytan. Du kan syresätta vattnet i samband med filtrering och mellanlagring i en cistern. Genom att släppa i vattnet ovanifrån och låta det träffa en plan skiva eller tallrik av metall på vägen ner, kommer vattenstrålen att slås sönder och spridas ut åt alla håll. Det kommer då i god kontakt med luften och blir syresatt. Syresättningen har flera positiva effekter: dålig lukt försvinner, överskott av järn och mangan faller ut i kontakt med syre, liksom i viss mån överskott på karbonat. Syret är positivt för rötterna som förbrukar syre vid sin andning. Likaså finns det vissa växtskadegörare som inte trivs så bra i syrerika miljöer. Det finns även kommersiella syresättare som är lämpliga vid större mängder vatten eller för syresättning i dammar.

Om vattnet är förorenat av patogener, kan det vara aktuellt med en biologisk behandling. De olika biologiska behandlingsmetoderna kommer inte att behandlas här, men det som har använts längst tid och med vetenskapligt beprövad god effekt, är långsamfiltret. Ett långsamfilter kan du ganska enkelt bygga själv, men det tar stor plats. Fråga en leverantör av bevattningsutrustning, eller se i boken *Reningsalternativ för näringslösning i slutna odlingsystem* av Alsanius, B. W. & Brand, T (2000).

### *Näringstillförsel via vattnet*

För optimal tillväxt vill du tillföra näringsämnen till växterna under växtperioden. Näringen som finns i odlingssubstratet räcker kanske inte hela odlingsperioden. Du kan tillföra näring med gödsel i olika former, direkt på marken, eller via vattnet. Vid tillförsel av gödselmedel via vattnet är det största problemet partiklar som sätter igen droppslangar och sprinklersystemen, ifall dessa inte är anpassade för partiklar i vattnet. I vissa fall kan du behöva ha 2 olika bevattningsystem, 1 för vatten och 1 för spridning av gödselmedel. Valet av gödselmedel och bevattningsystem är därför A och O. De blandare som bäst klarar av partiklar i vattnet är proportionalitetsblandarna.

### *Proportionalitetsblandare*

Den enklaste och mest robusta metoden för inblandning av gödselmedel i vatten, är proportionalitetsblandaren. Tekniken finns i olika utföranden och fabrikat. Principen för den här typen av blandare är enkel. Vattenflödet avgör hur mycket gödselmedel som går åt och regleras med ett vred. Vid höga flöden blandas mycket in och vid små flöden blandas lite in.

Om du vill blanda in olika medel i samma giva med olika proportioner kan du göra det genom att antingen köpa en blandare som klarar av flera olika gödselmedel eller genom att montera flera blandare i serie.

Vid mycket höga vattenflöden, som är större än vad en blandare klarar av, kan du dela upp det stora flödet i flera mindre och montera flera blandare parallellt istället.



Installation av Dosatron proportionalitetsblandare. Med hjälp av ventiler väljer användaren vilket av de 3 paren som ska användas. I varje par är blandarna monterade parallellt med varandra och suger upp olika gödselmedel.

Det är viktigt att tänka på att blandarens material är anpassat för de medel som ska doseras. Vissa medel kan ha ett pH-värde som är aggressivt mot vissa material i blandaren. Blandaren måste vara anpassad för detta!

Det finns även mobila proportionalitetsblandare som är anpassade för handvattnings med vattenslang.

### *Bevattningsautomatik*

För att minska arbetsbelastningen är det lämpligt att använda någon form av automatik för att styra när, var och hur länge som bevattning ska ske. Det finns en uppsjö av olika typer av system för att automatiskt starta och stoppa bevattningen. Allt från enkla tidur med inbyggd magnetventil till datorsystem som klarar av att styra flera hundra magnetventiler.

Vinsterna med bevattningsautomatik är flera, men är främst att den sparar arbete. En bra bevattningsautomatik ger dessutom jämnare bevattning och vatten i rätt tid, vilket resulterar i bättre produktkvalitet.

### *Uppvärmning av bevattningsvattnet*

De flesta växter som du odlar i växthus föredrar vattentemperatur i närheten av luftens. Låga vattentemperaturer bromsar rötternas biokemiska aktivitet, vilket bromsar vatten- och näringsupptag och därigenom tillväxten.

Att värma bevattningsvattnet innebär egentligen inte någon ökad energianvändning. Om vattnet förs in i växthuset kallt, kommer det att ta sin värme från luften i växthuset, som därmed kyls och måste värmas upp via det vanliga värmesystemet. Däremot vinner växterna på att vattnet är tempererat.

Uppvärmningen kan ske på flera olika sätt:

- eluppvärmning, antingen direkt eller via en värmepump
- uppvärmning via den ordinarie värmepannan (olja, flis, pellets, gas etcetera)
- via solen
- en separat panna för uppvärmning av bevattningsvatten



En doppvärmare värmer upp bevattningsvattnet. Foto: Elisabeth Ögren.



En alltför hög luftfuktighet kan leda till att vatten kondenserar på växterna och på växthusets väggar, tak och golv.  
Foto: Elisabeth Ögren.

## Avfuktning

Växten behöver tillgång till vatten för sin tillväxt. Ser du till omgivningen är det också viktigt att styra den relativa luftfuktigheten (RF) i växthus då luftfuktigheten har stor betydelse för produktionen och ett högt skördeutbyte. Hur luftfuktigheten påverkar olika växthusgrödor har undersökts och lämplig nivå för luftfuktigheten är oftast någonstans mellan 60 och 90 procent relativ fuktighet. Vilket värde som fungerar bäst beror på vilken växt du odlar. En alltför hög luftfuktighet kan leda till att vatten kondenserar på växterna och på växthusets väggar, tak och golv. Kondensering av vatten på växthusets skal kan påverka transmissionen av ljus in i växthuset. Hur stor reduktionen av ljus blir beror på ljusets infallsvinkel och vilket täckmaterial det är. I allra bästa fall leder kondenseringen inte till en reduktion av ljusinstrålningen, men för plastfilmer utan antidroppbeläggningar (beläggningar som stimulerar bildning av en film av vatten i stället för droppar) kan kondensering i sämsta fall leda till en minskning av ljusinstrålningen med upp till 20–23 procent. Vissa typer av glas tappar inte lika mycket i ljustransmission, men ljusreduktion kan ändå vara avsevärd och i storleksordningen 5–15 procent.

En annan följd av hög luftfuktighet är en reduktion av växtens transpiration och därmed också på upptagningen av näringsämnen. Vid hög relativ luftfuktighet i växthuset är skillnaden i ångtryck mellan växtens omgivande luft och vattnet som exponeras i bladens klyvöppningar låg. Den lilla skillnaden i vattenångtryck som då finns mellan omgivningen och växten leder till mindre transpiration. Den minskade transpirationen bromsar upptagningen av vatten med näringsämnen som är väsentliga för tillväxten och processerna i växten saktas då ner. Upptaget av näring för olika transpiration hos växterna kan du korrigera genom en justering av koncentrationen av näringsämnen i bevattningsvattnet.

För att undvika att luftfuktigheten i växthuset blir för hög behöver du ha ett system för avfuktning.

### Olika metoder för avfuktning

Det finns ett antal olika metoder som du kan använda dig av för att avfukta, det vill säga minska luftfuktigheten. Beroende på vilken metod du väljer varierar energianvändningen och kostnadseffektiviteten. I datorsimuleringar med olika strategier för fuktstyrning av klimatet i ett växthus med tomater beläget i Quebec, Kanada beräknade man skillnaderna i energiåtgång mellan:

1. att inte avfukta
2. att ventilerar till-från (on/off) med ventilationsmängden 1 (en) luftomsättning per timme
3. att avfukta genom att reglera ventilationsbehovet proportionellt mot avfuktningens behovet, så att ju högre luftfuktigheten är desto mer öppnar ventilationsluckorna.

*Luftomsättning* – är ett mått på hur många gånger som hela luftvolymen byts ut under en viss tid. Normalt mäts luftomsättningen per timme. En luftomsättning på 2 innebär att hela rummets eller husets volym byts ut under 1 timme. En luftomsättning på 0,5 innebär att halva luftvolymen byts ut på 1 timme. Att ha en ventilationshastighet motsvarande en luftomsättning på 2 behöver inte betyda att hela luften byts ut under tidsperioden 1 timme, det kan lika gärna betyda att luften byts ut 2 gånger under 10 minuter, men att man sedan under de resterande 50 minuterna inte ventilerar något alls.

*Proportionellt* – anger hur 2 storheter förhåller sig till varandra. Det kan till exempel vara hur mycket ventilationsluckorna ska öppna i förhållande till temperaturen. Vi kanske vill ha en temperatur på 20 °C, och anger då att för varje grad över den önskade temperaturen ska ventilationsluckorna öppna 10 procent. Man säger att ventilationsluckans öppningsgrad står i proportion till temperaturen över den önskade. Om temperaturen istället är 23 °C kommer därför ventilationsluckan att öppna 3 gånger 10 procent och ventilationsluckan kommer alltså att vara öppen 30 procent. Proportionerlig styrning är väldigt vanlig inom styr- och reglertekniken.

Slutsatserna som gjordes var att den effektivaste metoden att hålla luftfuktighet på en acceptabel nivå var att reglera ventilationen proportionellt mot avfuktningens behov.

I slutna eller halvslutna växthuskoncept finns möjlighet att bibehålla höga koldioxidhalter under längre tidsperioder än i konventionella växthus. Om du öppnar vädringsluckorna för att ventilerar ut fukt är det inte möjligt att ha förhöjda halter av koldioxid i växthuset även om detta skulle vara önskvärt.

## **Värme och ventilation**

Ett vanligt sätt att minska luftfuktigheten i ett växthus är att ventilerar, till exempel genom att öppna växthusets takluckor. Du byter då ut fuktig växthusluft mot torrare uteluft. Om värmen från solen och andra källor med gratisvärme inte räcker till för att värma till önskad temperatur när fukten ventileras ut, behövs värme från värmesystemet. Mitt på dagen när solinstrålningen är hög räcker oftast solvärmens till, men på morgnar och kvällar behövs ofta tillsatsvärme.

För avfuktningen kan det gå åt en avsevärd mängd tillsatsvärme. I en studie av ett större tomatväxthus i södra Sverige fann man att avfuktningen konsumerade 23–29 procent av värmeenergin i det fall växthuset avfuktades med uppvärmning och ventilation.



Öppna ventilationsluckorna först, innan du drar ifrån vävarna för att avfukta.  
Foto: Elisabeth Ögren.

## Övrig teknik för avfuktning

### *Kondensering på ytterskalet i växthus med vävar*

En vanlig metod att avfukta luften i växthus med energivävar är att öppna vävarna så att en liten springa uppstår. Luft strömmar då upp i utrymmet över vävarna och fukt kondenserar ut på det kalla täckmaterialet (ytterskalet). Samtidigt strömmar torrare luft från utrymmet över väven ner i växthuset. Risker med denna metod är att det kan vara svårt att reglera systemet på grund av temperaturskillnader.

Det är bättre att du öppnar ventilationsluckorna först och låter en eller flera vävar vara fördragna. Moderna stickade vävar är så pass luftgenomsläppliga, att den fuktiga luften kan stiga upp genom väven. Den svala och torra utomhusluften ovanför väven, sipprar ner genom väven och sprids jämnt över kulturen utan att det blir kallras på enskilda platser. Metoden fungerar inte så bra med mörkläggningsvävar, eftersom de är för tät. Inte heller vävda vävar där foliebanden går om lott är lämpliga för den här typen av fuktreglering av samma anledning.

### *Mekanisk ventilation – tilluft*

För att undvika olägenheter med temperaturskillnader som kan uppträda med öppna vävar har studier i Nederländerna testat att mekaniskt trycka uteluft in i växthuset nära golv och tvinga avluften i växthuset att passerera genom väven och läcka ut genom otätheter i växthusets skal. Studierna omfattade modellering och validering av modellen i praktiska fall. Studien visade att det var mer energieffektivt att använda sig av systemet med påtvingad tilluft och att klimatet i växthuset blev mer homogent i jämförelse med att öppna vävarna.

### *Fläktar för att trycka in luft hämtad ovan vävarna – Hinova-systemet*

I en variant på systemet med att trycka in luft nära golvet med hjälp av fläktar, Hinova-systemet, finns fläktar monterade under vävarna i taket. Stosar är monterade genom vävarna så att fläktarna kan suga luft ovan takvävarna. Fläktarna suger också in luft underifrån och vid drift blandas luft från utrymmet ovan vävarna med luft från utrymmet under vävarna. Den blandade luften slungas ut horisontellt under vävarna och avfuktningen sker med stängda vävar. I växthuset monteras ett antal sådana fläktenheter. Systemet finns numera kommersiellt tillgängligt och man menar att systemet kan ge en avsevärd besparing av energi.

### *Ventilation med värmeväxling*

I Nederländerna har man menat att system med mekanisk ventilation och värmeväxling mellan till- och frånluft kan vara ett ekonomiskt konkurrenskraftigt sätt att avfukta växthuset. System med plattvärmeväxlare har studerats i Nederländerna och ett system med en roterande värmeväxlare har undersökts i en svensk studie. I den svenska studien studerades ett växthus med tomater där energiåtgången mättes upp. Växthuset avfuktades med hjälp av värme och ventilation. Temperatur- och fuktverkningsgraderna för en värmeväxlare mättes upp.

Värmeväxlarens verkningsgrad var cirka 85 procent. Vidare beräknades användningen av värmeenergi för det aktuella systemet där avfuktningen görs genom att värma och ventileras med hjälp av en avancerad simuleringsmodell. Därefter beräknades användningen av värmeenergi för systemet med värmeväxlaren. Beräkningarna indikerade att 15–17 procent av värmeenergin kan sparas vid användning av ett system med en värmeväxlare med hög verkningsgrad.

Temperaturverkningsgrad för värmeväxlaren =  $(\text{temperatur tilluft} - \text{temperatur uteluft}) / (\text{temperatur inneluft} - \text{temperatur uteluft}) \times 100$  procent, med temperatur uttryckt i °C.

Fuktverkningsgrad för värmeväxlaren =  $(\text{fukttinnehåll tilluft} - \text{fukttinnehåll uteluft}) / (\text{fukttinnehåll inneluft} - \text{fukttinnehåll uteluft}) \times 100$  procent, med fukttinnehåll uttryckt i enheten kg vatten per kg luft.

#### *Droppgardiner – Novarbo-systemet*

I Finland har Biolan Oy utvecklat systemet Novarbo. I detta system håller du växthuset så stängt som möjligt. Systemet bygger på kylning av växthuset med hjälp av vattendroppar som bildar droppgardiner. Inuti växthuset placerar du en öppen droppgardin där vattendroppar sprutas ut med speciellt utformade dysor. Den varma luften i växthuset kyls av vattnet som sprutas ut och beroende av vattnets och luftens temperatur kan vattenånga i växthuset bortföras genom att det kondenseras ut på de kalla vattendropparna (avfuktning) eller tillföras om vattnet som sprutas ut och vattendropparna är varmare (befuktning). Vattnet som strömmar ner från droppgardinen hamnar i en kallvattenbassäng. Med hjälp av en värmepump eller kylmaskin kyls vatten från bassängen för att tillföras i droppgardinen och värmen som utvinns överförs till växthusets värm tank för att användas vid behov.

Eftersom växthuset hålls stängt är det möjligt att hålla en högre koldioxidhalt i växthuset.

#### *Avfuktning med värmepump*

Ett sätt att avfukta växthuset är att installera en luft-till-luftvärmepump. I ett sådant system cirkulerar växthusluft först förbi värmepumpens förångare där luften kyls och vatten fälls ut. Sedan passerar samma luft förbi värmepumpens kondensator där den värms igen för att sedan föras tillbaka till växthuset. Värmepumpar för avfuktning studerades i äldre undersökningar och de användes också i kommersiella växthus. Systemet innebär en ganska stor investering för värmepump och systemet är gynnsammare om priset på el är lågt och lufttemperaturen över 20 °C.



Båghus luftar du genom att dra upp plasten på sidorna.  
Foto: Elisabeth Ögren.

### *Avfuktning med flänsade rör kylda med kylvatten*

I Nederländerna har man i en studie av ett Venlo-växthus med gurkor kondenserat ut fukt i växthusluften med hjälp av kamflänsrör. Kamflänsrören var monterade vid takfoten och kylvattnet inuti rören kylde med en kylmaskin till olika temperaturer beroende på vilken luftfuktighet man ville ha. Temperaturen på rör och flänsar var med andra ord lägre än daggpunkten för växthusluften då avfuktning skedde. Ju större behovet av avfuktning var, desto lägre temperatur hade vattnet i kylrören. Man kom fram till att avfuktningsskapaciteten för systemet som valts var tillräcklig för perioder då värme behövde tillföras i växthuset. Av kylan som tillfördes i kamflänsrören användes en tredjedel till att kondensera ut vatten och två tredjedelar till att ta bort värme som sänkte temperaturen i växthuset. Förutom avfuktningen erhöles en betydande kylning av växthuset.

Ett motsvarande system med avfuktning med hjälp av kamflänsrör finns i ett försöksväxthus i Berlin, Tyskland. Växthuset avfuktas och kyls med hjälp av kamflänsrör monterade under nocken. Kylningen av vattnet i kamflänsrören sker med en värmepump och energin som återvinns lagras för att användas i värmesystemet under perioder då värme behövs i växthuset. Även här resulterade en stor del av kylningen i bortförande av värme från växthuset.

### *Avfuktning med en hygroskopisk lösning*

Vattenånga kan bindas till salter och möjlighet finns att utnyttja detta för avfuktning av växthus. I italienska försök användes en hygroskopisk lösning av vatten och litiumklorid ( $H_2O$  och  $LiCl$ ). I ett system för luftkonditionering avfuktades luften i avfuktningssdelen med hjälp av saltlösningen. I rekonditioneringsdelen avdunstades det upptagna vattnet från saltlösningen med värme. Vattnet kondenseras därefter ut och värmen som då frigjordes kunde värma växthusluften. Jämfört med värmning och öppning av luckor fann man för snittblomsodling cirka 10 procent lägre energiförbrukning för systemet med saltlösningen.

I försök med avfuktning i Grekland användes den hygroskopiska föreningen kalciumklorid,  $CaCl_2$  tillsammans med en värmepump. Försök gjordes i tunnelväxthus med gurkor och man menade att systemet fungerade tillfredsställande.



## Assimilationsbelysning

Under stora delar av året, samt i speciella odlingsrum, räcker ljuset inte till för att få en god tillväxt, eller tillräcklig kvalitet på växterna, och du måste då tillföra konstljus i form av assimilationsbelysning.

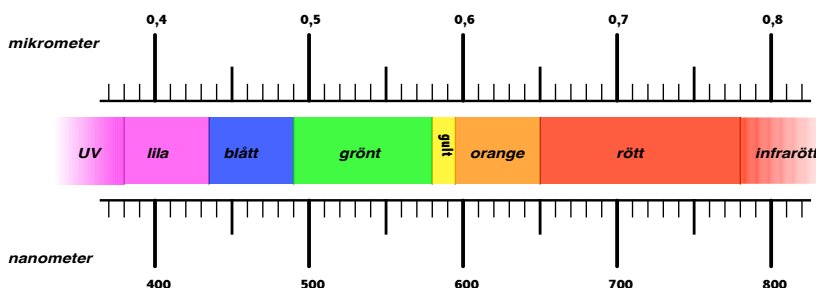
Många olika enheter för ljus har använts genom åren, men det är mikromol per kvadratmeter och sekund som du ska använda dig av när du talar och köper ljus för assimilering. En lämplig nivå för att komplettera dagsljus vintertid är 100 till 150 mikromol per kvadratmeter och sekund.

### Varför assimilationsbelysning?

Växten får sitt kol från luftens koldioxid, och använder det för att bygga upp det kolskelett som alla delar i växten består av. Växten tar upp koldioxid genom klyvöppningarna, och omvandlar det med hjälp av ljus och vatten till socker under fotosyntesen, som växten sedan använder för sin tillväxt. Upptaget av koldioxid kallas för koldioxidassimilation eller bara assimilering, och är helt avgörande för att växten ska kunna växa. De växter som vi odlar i Sverige kan inte lagra koldioxid i växten utan det tas upp samtidigt som fotosyntesen sker. Under perioden första oktober till sista februari är det för mörkt för att få bra tillväxt och stödljus måste till. I odling av slanggurka, tomat, melon och flera säsong produkter innebär det att du måste ha stödljus för plantupptragning, för att få tillräckligt bra kvalitet på småplantorna för att de ska orka med en hel säsong av hög produktion.

Växten fångar upp ljuset med ett komplex av olika föreningar, som fungerar som en antenn, där klorofyll sitter i centrum och är den slutliga uppsamlaren av ljusets energi. De olika föreningarna i den här antennen är känsliga för olika färger, och tillsammans täcker de därför in samtliga våglängder inom det färgspektrum som växten kan använda sig av för koldioxidupptaget. För varje ljuspartikel kan växten assimilera en koldioxidmolekyl. Detta innebär att ju fler ljuspartiklar som växten får på sig, alltså desto högre ljusintensitet, desto fler ljuspartiklar kan växten fånga upp och bilda socker av.

Trots att det färgspektrum, våglängdsområde, som växten kan utnyttja för sin assimilering sammanfaller med det synliga ljuset uppfattar du och växten ljuset helt annorlunda, helt enkelt för att du använder ljuset för att se med och växten för att få energi till tillväxt. I figur 15 visas färgspektrat och våglängderna för det fotosyntetiskt aktiva ljuset, PAR.



**Figur 15.** Våglängdsområdet för det synliga ljuset, vilket sammanfaller med de våglängder som växterna använder för sin fotosyntes, fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR).

## Enheter för ljus

Det finns flera olika enheter och begrepp för ljus, och de vanligaste som är aktuella för växtodling visas i tabell 4.

**Tabell 4.** Olika begrepp och enheter som förekommer i växtodlings-sammanhang, deras förkortningar, betydelse och användbarhet i växtsammanhang.

Enhet eller begrepp	Förkortning	Användningsområde
Färgspektrum	-	Ljusets partiklar har olika mycket energi, vilket gör att de rör sig i vågor med olika våglängd. Dina ögon uppfattar varje enskild våglängd som en specifik färg, men växter ser inte färger. De uppfattar energiinnehållet i ljuspartikeln.
Nanometer	nm	Den våglängd som ljuset har i det färgområde som är aktuellt för växtens fotosyntes. Ju mer energi en ljuspartikel har desto kortare våglängd. Ultraviolett ljus har kort våglängd, < 380 nm och nära infrarött ljus har lång våglängd > 800 nm.
Fotosyntetiskt aktiv strålning (= Photosynthetic Active Radiation)	PAR	Våglängdsområdet som växten kan använda sig av för sin fotosyntes. Våglängdsområdet är inte helt standardiserat, ibland avses våglängdsområdet 380–800 nanometer och ibland 400–780 nanometer.
Mikromol per (kvadratmeter & sekund)	μmol/(m <sup>2</sup> × s)	För att mäta ljusstrålningen inom det våglängdsområde som växten kan tillgodogöra sig för tillväxt, PAR.  Mikromol är lämplig att använda när du mäter ljus för växter.
Watt per kvadratmeter	W/m <sup>2</sup>	Mäter ljusets energiinnehåll. Enheten är inte standardiserad, och olika mätare mäter inom olika våglängdsområden, så det går inte att jämföra mätvärden mellan olika fabrikat på mätutrustning.  Mätenheten används av en del tillverkare av styrdatorer för att mäta mängden värmeenergi som strålar in i växthuset, för att kunna styra värmesystemet bättre.
Lumen	lm	Mäter det totala ljusflödet inom det synliga våglängdsområdet, men anpassat för ögats känslighet. Mätenheten är standardiserad och används för att mäta ljusförhållanden där människor vistas och är direkt olämplig att använda för växtodling.
Lux	lx	Mäter mängden lumen per kvadratmeter.  Mätenheten är standardiserad och används för att mäta ljusförhållanden där människor vistas och är direkt olämplig att använda för växtodling.

## Olika ljuskällor

Det finns flera olika ljuskällor som är aktuella för assimilationsbelysning, där de vanligaste är:

- högtrycksnatrium
- metallhalogen
- lysdioder
- lysrör

### Högtrycksnatriumbelysning

Den förhärskande belysningstypen är högtrycksnatriumbelysning. Det är samma typ av belysning som är vanlig vid vägar i tätorter, och det ger ett gul-orange ljus. Det är viktigt att du har i åtanke att den färg som du som människa uppfattar inte är det som växten uppfattar. Högtrycksnatriumens fördel är det höga ljusutbytet per Watt elektricitet, samt låg investeringskostnad. Det ger den lägsta kostnaden per mikromol ljus av alla ljuskällor på marknaden idag.



Belysning med högtrycksnatrium ger ett gul-orange ljus. Foto: Elisabeth Ögren.

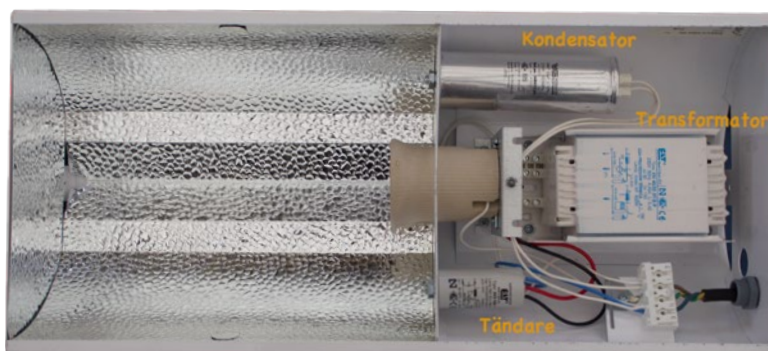
### Elektromagnetisk drivning

Fram till millennieskiftet var högtrycksnatriumarmaturer med elektromagnetisk drivning den förhärskande tekniken. Den ska inte användas idag på grund av det sämre ljusutbytet, ökad brandrisk och mer underhåll. Trots det säljs fortfarande den här typen av armaturer. Armaturerna innehåller, förutom själva ljuskällan, en transformator i koppar, tändare och kondensator. Kondensatorn är en ren förbrukningsvara och brukar normalt inte hålla mer än 10 000–20 000 timmar, och måste därefter bytas. En ljuskälla håller idag ungefär 15 000



En elektromagnetisk högtrycksnatriumarmatur från HGW, med fast monterad reflektor, vilket försvårar rengöring.

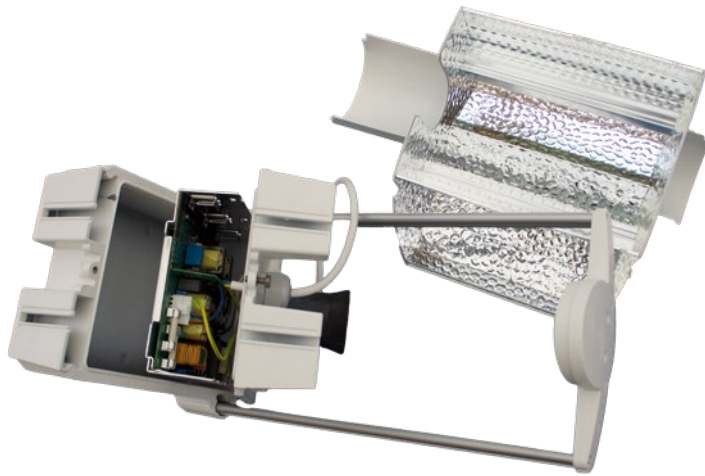
timmar, lite beroende på hur många gånger den tänds och släcks. Om kondensatorn inte byts i en anläggning med många armaturer, kommer det att resultera i att elkablarna och elskåpen blir varma och i värsta fall kan det leda till brand. Elektromagnetiska armaturer är enfas, vilket innebär att ljuskällan är kopplad fas till nolla, det vill säga precis som vilken lampa som helst som du har i hemmet.



En öppen elektromagnetisk högtrycksnatriumarmatur. Där syns transformatorn som omvandlar spänningen från 230 Volt till 100–110 Volt, tändaren som används i tändögonblicket, samt kondensatorn vars syfte är att förhindra fasförskjutningen. Notera att på den här armaturen sitter reflektorn fast, vilket försvårar rengöring.

#### *Elektronisk drivning*

Den teknik du ska använda idag är elektronisk drivning, vilket innebär att det är ett kretskort som styr spänningen över ljuskällan, tändning och andra säkerhetsaspekter. Förutom att du inte behöver byta någon kondensator, har kretskortet en rad andra inbyggda säkerhetsfunktioner. Till exempel försöker den inte att tända en utsliten eller trasig ljuskälla, vilket annars kan leda till att ljuskällan exploderar och orsakar brand. Att armaturen saknar transformator gör den flera kg lättare, vilket underlättar hantering både vid uppsättning och eventuellt underhåll senare. Kretskortet är mindre och därmed tar hela armaturen mindre plats, vilket innebär mindre skuggning och att mer av det naturliga ljuset kommer växterna till godo. Alla armaturer med elektronisk drivning är tvåfas, det vill säga att ljuskällan är kopplad fas till fas, och den drivs med en högre spänning än för de elektromagnetiska ljuskällorna. Detta ger något högre ljusutbyte per Watt elektricitet. Sammantaget behövs det färre armaturer när du väljer en elektronisk högtrycksnatriumarmatur än en elektromagnetisk, vilket ger lägre installationskostnad, lägre underhållskostnad och mer naturligt ljus till växterna. Eftersom elektroniska armaturer drivs med 2 faser kräver de speciella ljuskällor som är gjorda för elektronisk drivning, vilket står markerat på ljuskällan. I en installation med 600 Watt elektroniska armaturer kommer energiåtgången att vara 27 procent lägre, jämfört med en installation med 400 Watt elektromagnetiska armaturer.



Elektronisk armatur på 600 Watt, som är öppnad så att kretskortet syns. Armaturen har en löstagbar reflektor, som här ligger vid sidan om armaturen, och som underlättar rengöring och skuggar mindre under sommaren om reflektorerna tas ned.



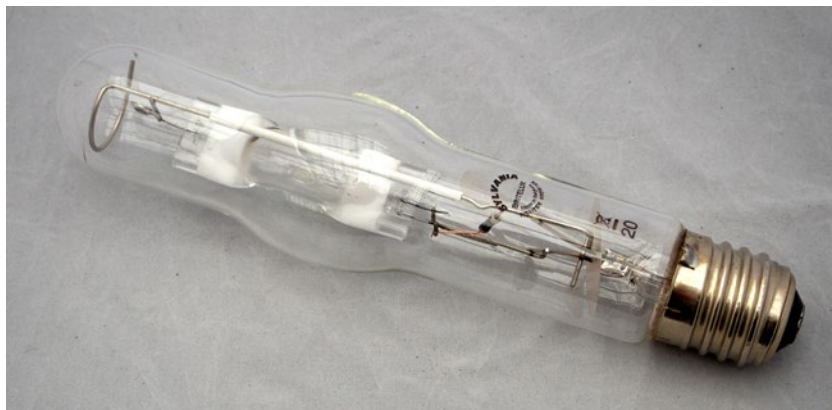
Kretskortet i en elektronisk armatur. Kretskortet driver hela armaturen och ersätter transformator, tändare och kondensator som finns i den elektromagnetiska armaturen.



Ljuskällor för elektronisk drivning och tvåfas-koppling är märkta för detta.

### *Metallhalogen*

Metallhalogen användes tidigare i mycket liten omfattning för växtodling, på grund av sitt låga ljusutbyte. Idag väljer du vita lysdioder istället för metallhalogen när du vill ha ett vitt ljus till exempel i försäljningslokaler.



En metallhalogenljuskälla på 400 Watt. Den här ljuskällan kan monteras både i en metallhalogen- och i en högtrycksnatriumarmatur.

### *Lysdioder LED*

Tekniken med lysdioder är i de allra flesta fall inte tillräckligt lönsam för att du ska använda den för kommersiell växtodling. Visserligen är effektiviteten god, alltså hur många fotoner som du får per Watt elektricitet, och likvärdig med elektronisk högtrycksnatriumbelysning, men investeringskostnaden är för hög. En annan nackdel är att bristen på värmestrålning gör att din totala energiåtgång i de flesta fall blir högre med lysdioder än med elektronisk högtrycksnatriumbelysning. Vissa orkidéer är ett undantag och ett exempel på en kultur där kvaliteten faktiskt blir bättre med lysdioder.

Lysdioder är en helt ny teknik för att framställa ljus, som inte bygger på att ett ämne värms upp till en hög temperatur runt 2 000 till 5 000 Kelvin, som glödljusstekniken som vi i vanliga fall använder. Lysdioder bygger istället på halvledarteknik av den typ som används i digitala datorer och mobiltelefoner. Det gör att lysdioder fungerar bäst och får längre hållbarhet, om de har det svalt, och kylning är en viktig komponent i alla bra armaturer med lysdioder. Eftersom lysdiodernas kretskort avger värme på motsatt sida av där ljuset genereras, finns kylflänsar på armaturernas ovansida. På grund av detta ger lysdioder inte upphov till någon värmestrålning, som annars hade kommit växterna till godo, utan det värmestillskottet måste komma från det ordinarie värmesystemet. Detta resulterar i att den totala energiåtgången ökar med lysdioder, samtidigt som vissa kulturer kan få problem med svampsjukdomar på bladen, eftersom de inte får någon värmestrålning som verkar uttorkande.

Lysdioder är däremot ett utmärkt val när du vill belysa utrymmen för människor som arbetsbelysning, nödutgångsljus, utebelysning och belysning i kylar och frysar eftersom lysdioder fungerar väldigt bra i kall miljö. Lysdioder kan du även i vissa fall använda för växtodling som kompletterande belysning till högtrycksnatriumbelysning, till exempel inne i plantskiktet.

### *Lysrör*

Lysrör har använts i många år i växtodlingssammanhang, oftast i förökningsrum, försöksrum och liknande utrymmen där det inte finns något, eller väldigt lite dagsljus. Du kan även använda dem i försäljningsutrymmen. För växtodling ska du ha en färgtemperatur som ligger nära solens, alltså 5 000–5 500 Kelvin. Välj armaturer med elektronisk drivning, så kallade högfrekvensdon (HF-don), vilka är energieffektivare än äldre lysrör med elektromagnetisk drivning som har transformator, glimtändare och kondensator

### **Val av färgspektrum**

För växten är ljus mer än bara värmeenergi och energi för att driva fotosyntesen, det är även information som styr växtens utveckling. Olika växter använder ljusets information olika, det vanligaste är:

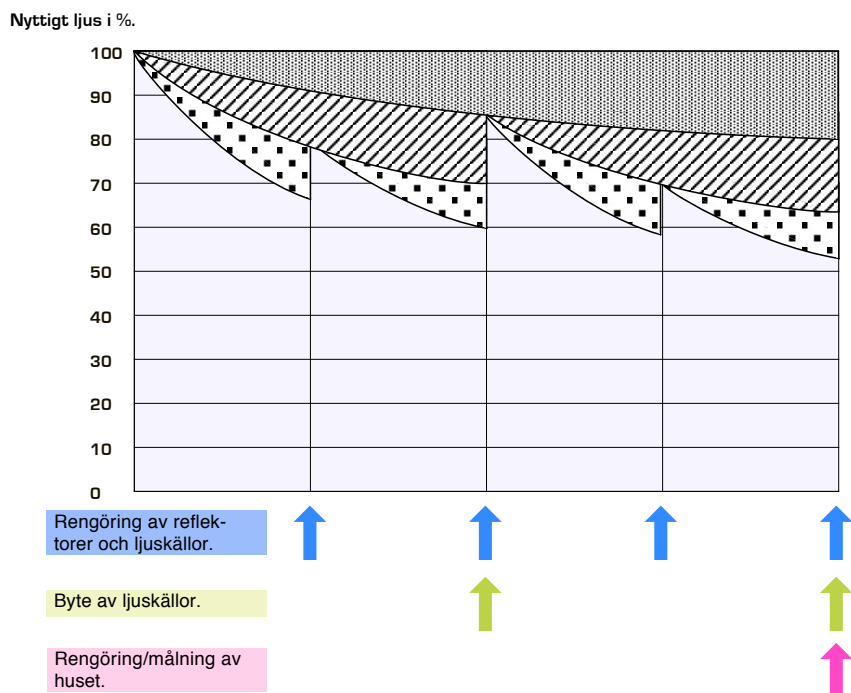
- Dagslängden och indirekt årstiden som styr blombildningen (blominducering) hos vissa växtslag. Kortdagsväxter kräver korta dagar för att blomma och långdagsväxter kräver långa dagar för att blomma.
- Tid på dygnet, alltså om det är natt eller dag, och gryning eller skymning.
- Om fröet ligger på lagom djup för att börja gro, vilket gäller för ljusgroende arter.
- Om växten skuggas av andra växter eller inte, vilket särskilt ljusälskande växter är känsliga för och därför sträcker på sig.

Vi går här inte in mer i detalj på hur olika växtslag reagerar på olika våglängder. Ta reda på lämplig information för vad som gäller för din kultur, till exempel från din odlingsrådgivare eller leverantör av plantor eller frön. För grönsaksproduktion spelar det normalt ingen roll, så länge du odlar i ett växthus där solljuset kommer in dagtid. Grönsaker har inte samma estetiska krav på sig som prydnadsväxter. Om du behöver göra justeringar av färgspektra, så är lysdioder oftast det bästa alternativet för att komplettera din anläggning med rätt ljussammansättning. Lysdioder kan i de flesta fall nästan skräddarsys för olika våglängder, vilket gör dem idealiska för detta ändamål.

## Skötsel och underhåll

Ljusflödet från belysningsinstallationen beror inte bara på tekniken, utan lika mycket på underhållet. Först och främst ska du ha rutiner för rengöring av armatur, ljuskälla och växthus, för att maximera ljusutbytet. Du kan basera rutinerna på fasta tidpunkter på året då du rengör utrustningen, eller när du påbörjar vissa kulturer, eller på att du mäter ljusflödet med ljusmätare. Bestäm i förväg att om ljusintensiteten går under ett visst värde när du mäter ljusflödet, då ska du rengöra.

Att använda ljusmätare är också bra när du ska avgöra när ljuskällorna behöver bytas ut, eftersom du inte kan uppfatta detta med ögat. Alla ljuskällor, även lysdioder, tappar ljus med tiden. Kom ihåg att du och växterna uppfattar ljuset helt olika, för ni använder ljuset till olika saker. Ett riktvärde för när du ska överväga att byta ljuskälla är när ljusflödet för en tvättad reflektor och ljuskälla går under 20 procent från då installationen var ny. I figur 16 visas ett schema för kontroll och underhåll av assimilationsbelysningsarmaturer.



**Figur 16.** I diagrammet visas hur du kan lägga upp ett schema för regelbundet underhåll av din assimilationsbelysningsinstallation. De olika punkterna för när du rengör, kan vara fasta tider på året eller baseras på mätningar som du gör med ljusmätare. För att avgöra när ljuskällorna behöver bytas ska du som regel alltid använda ljusmätare.



### Exempel på hur du gör en underhållsplan för assimilationsbelysningen

1. När installationen är ny mäter du ljusintensiteten på 5 till 10 olika platser och noterar dessa i ett dokument. Använd gärna ett datorbaserat verktyg, där du i ett kalkylark kan ha alla assimilationsbelysningsinstallationer i en flik, med uppgifter om installationsår, fabrikat, effekter, ljusintensitet vid nyinstallation, senaste rengöring, etcetera.
2. I dokumentationen har du även skrivit in vid vilka tidpunkter, antingen fasta tider på året, eller i relation till produktionen, som du ska utföra ljusmätningar, alternativt rengöra utrustningen. Om du mäter för du in mätresultaten i din dokumentation, så att du kan följa hur ljusintensiteten utvecklas med tiden, och därifrån få beslutsunderlag om när du behöver rengöra respektive byta ljuskällor.
3. I en ny installation eller en gammal installation med helt nya ljuskällor, är det normalt att några slöcknar inom de första 5 000 brinntimmarna, vilket täcks av garantin. Ha därför några procent extra ljuskällor eller lysdiodsarmaturer i reserv, för snabbt utbyte på plats, under tiden som du får nya på garantin.
4. När din ljusmätning visar att det är dags att byta ut samtliga ljuskällor i din installation, räcker det i fallet med högtrycksnatrium att du bara byter ljuskällan. Har du lysdioder får du räkna med att göra om hela installationen och skaffa nya armaturer.
5. När du byter i en högtrycksnatriuminstallation, går du över ljuskällorna och sparar de som ser ut att vara i bra skick. En ljuskälla i bra skick har inga skador inuti ljuskällan och har heller ingen brun eller svart beläggning på insidan av skyddsglasat. En bra ljuskälla ser nästan ut som en ny. Dessa ljuskällor kan du sedan spara och ha som utbytesljuskällor. Ljuskällorna innehåller kvicksilver och dessa ska du därför lämna till återvinning.

Det är lättare att rengöra en reflektor som är löstagbar än en som sitter fast. All hantering av ljuskällorna ska du göra med bomullshandskar, så att det inte kommer fett och smuts från fingrarna på dem. Fettet bränner annars fast i ljuskällan så att ljusflödet blir mindre, och livslängden på ljuskällan minskar. Fettet kan även förångas och istället fastna på reflektorn och minskar då reflektionen.

Vid rengöring av ljuskälla och reflektor använder du träsprit (metanol) och en mjuk trasa som inte luddar. Det går även att tvätta reflektorerna i en svag lösning av diskmedel och avjoniserat vatten, men det är då väldigt viktigt att du sköljer noga efteråt så att det inte finns kvar rester av diskmedel.



En uttjänt högtrycksnatriumljuskälla. Notera att det finns bruna natriumbeläggningar på insidan av ytterhöljet. Keramikcyindern inne i ljuskällan har svartnat i ändarna, vilket också visar att den är uttjänt och behöver bytas.

## Koldioxid

Kolet har en avgörande betydelse för växten, och är det grundämne som växten består mest av efter det att vatten tagits bort. Det är därför viktigt att känna till hur koldioxid kan tillföras och när.

Kontrollera med ditt kontrollorgan vad som gäller för din odling vid tillförsel av koldioxid.

### Fotosyntes och koldioxidens funktion

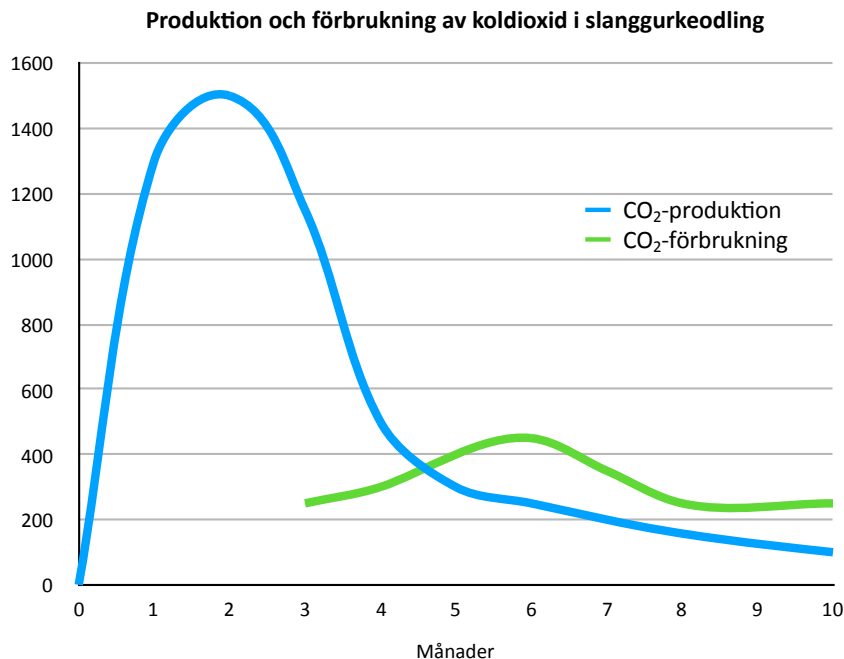
Växtens torrsbstans, det vill säga allt som är kvar när vattnet har tagits bort, består till ungefär 50 procent av kol som växten tar från luften genom upptag av koldioxid. Upptaget av koldioxid kallas för koldioxid-assimilation, eller i dagligt tal för assimilering. Hela processen därefter där koldioxiden med hjälp av ljus omvandlas till socker inne i plantan kallas för fotosyntes. Kol är därför det grundämne som växten behöver allra mest av för sin uppbyggnad, och det får växten från koldioxid. I ett begränsat utrymme som ett växthus, blir koldioxiden oftast en begränsande tillväxtfaktor under soliga dagar. Du måste därför ha koll på koldioxidkoncentrationen i växthuset och tillföra mer vid behov. Normal koldioxidkoncentration i luften är ungefär 400 miljondelar, men den nivån kan lätt sjunka under 100 miljondelar en solig dag. I en fullt utvecklad grönsakskultur med stor bladmassa och god tillväxt, kan koldioxidkoncentrationer på 800 miljondelar behövas för att inte tillväxten ska begränsas.

### Koldioxidkällor

Koldioxid kommer naturligt från marken vid nedbrytning av organiskt material, men även från växternas tillväxt. Ju mer organiskt material som du blandar ner i marken, desto mer koldioxid kommer du att få i luften. Problemet med den koldioxiden är att den inte går att styra, och därmed ofta kommer för tidigt på säsongen innan bladmassan har blivit tillräckligt stor. Se figur 17 som förenklat visar koldioxidproduktionen från mark med riklig inblandning av halm, och slanggurkans upptag under en odlingssäsong.

Förutom tillskott från mark och uteluft kan du tillföra koldioxid i mer kontrollerad form från:

- ren koldioxid som du köper på tank eller flaska, och som oftast kommer från en industriprocess där den är en restprodukt
- rökgaser från en central gaspanna
- rökgaser från en eller flera gasbrännare placerade inne i växthuset
- nedbrytning av halm.



**Figur 17.** Förenklad bild över koldioxidproduktion från mark med riklig inblandning av halm, jämfört med gurkkulturens upptag. Markens tillskott av koldioxid kommer tidigt på säsongen innan plantornas bladmassa har hunnit utvecklas fullt ut, och mot slutet av säsongen kommer gurkkulturens behov av koldioxid att vara ungefär dubbelt så stor som tillskottet från marken (fritt efter Klougart 1973).

### Koldioxiddistribution

Koldioxid är en gas som sprider sig lätt i växthuset, vilket gör att det normalt har ansetts fullt tillräckligt att bara släppa ut den i växthuset på en plats. Koldioxid är dock något tyngre än luften i övrigt, samtidigt som växternas blad fungerar som koldioxidsänkor under de ljusa timmarna i och med fotosyntesen. Det har därför visat sig i försök att koldioxidåtgången inte bara minskar något, utan tillväxten ökar dessutom lite, om koldioxiden istället sprids jämt i växthuset i växternas bladskikt. Beroende på vilken koldioxidkälla du har finns det olika sätt att sprida den.

#### *Koncentrerad koldioxid på flaska eller tank*

Om du behöver koldioxid i större volymer kan du köpa den i ren och koncentrerad form under tryck, på flaska eller i tank. I det senare fallet levereras den med tankbil. För odlingar på upp till några tusen kvadratmeter är detta för kostsamt, och du får i så fall överväga andra lösningar för att få koldioxid till plantorna.



Perforerad plastfolieslang för fördelning av koldioxidrik rökgas från en gaspanna.

Koldioxiden förvaras flytande under högt tryck i flaska eller tank, och när den ska ut i växthuset måste den först förångas. Vid förångningen måste den flytande koldioxiden ta upp värme för att bli tillräckligt varm för att kunna övergå till gas. Värmen får den från luften utanför växthuset. För att vätskan ska kunna få tillräckligt mycket värme, passerar den därför genom ett antal aluminiumrör med flänsar på. Flänsarna tar upp värme från luften och för den till vätskan som övergår till gas. Vid hög luftfuktighet och stora uttag av koldioxid kommer värmeflänssarna att kylas så mycket att det bildas is av kondensen på dem, vilket är normalt. Efter det att koldioxiden övergått i gasform, ska den nu regleras ner i lämpligt tryck med en gasregulator, för att sedan passera en magnetventil och föras över till sekundärsidan för vidare distribution i växthuset. Allt som är före magnetventilen står i direkt förbindelse med tanken och är därför under högt tryck och kallas för primärsidan. All ledningsdragnings på sekundärsidan ska vara utan magnetventil, vilket innebär att fördelningsventilerna måste placeras utanför växthus och övriga byggnader. I själva växthuset ska du helst använda en speciell, mycket fint perforerad slang för distribution av koldioxiden inne i plantskiktet. Detta ökar tillgängligheten för växterna, leder till ökad produktion och minskad koldioxidåtgång.

Eftersom koldioxiden i det här fallet lagras under högt tryck, finns vissa säkerhetsdirektiv att förhålla sig till. För fullständiga direktiv ska du kontakta gasleverantören.

#### *Koldioxid från rökgaser från central panna*

Om du har en värmepanna som eldas med bio- eller naturgas, kan du med rätt brännare, rökgaskylare och ett distributionssystem, använda rökgaserna för koldioxidgödsling. Det viktiga är att du har en brännare som ger låga nivåer av kväveoxider, som annars kan inverka negativt på plantornas tillväxt. Rökgaserna fördelas därefter i ett rörsystem ut till växthuset för att slutligen fördelas bland växterna i små perforerade plastfolieslangar. Vänd dig till en leverantör som kan dimensionera rökgasfläkt, rökgaskylare och rörsystem för en korrekt funktion.

#### *Koldioxid i rökgaser från gasbrännare i växthuset*

Du kan även använda dig av mindre gasbrännare som placeras ute i växthuset. Gasen som eldas kan vara naturgas, biogas eller propangas som du köper antingen på tank eller på flaska. Brännarna måste vara speciella brännare som ger extra ren förbränning för att förhindra skadliga nivåer av kväveoxider och kolmonoxid.



Gasbrännare för koldioxidgödning och värmeproduktion som är monterad direkt i växthuset. Beroende på storlek på växthuset används 1 eller flera brännare.

### *Koldioxid från halm*

I figur 17 ser du att markens tillskott av koldioxid kommer för tidigt på odlingsäsongen, innan kulturen är fullt utvecklad och kan dra nytta av den. Du måste därför tillföra koldioxid på ett annat sätt när produktionen har kommit i full gång, ungefär 2–4 månader efter kulturstart. Halm har länge varit en känd källa till koldioxid. Det är när mikroorganismerna bryter ner halmen som koldioxid bildas, och den processen kan du själv starta genom att sprida ut halm i växthuset, till exempel genom att placera ut halmbalar eller löst bland raderna, och därefter vattna den med kväverik lösning. Urealösning (urin) är en källa, men du kan även använda en normalt koncentrerad näringslösning av hönsgödsel. Halmbalar varar i upp till 4 månader och håller fukten bättre, vilket gynnar nedbrytningen. Hackad lös halm ger något snabbare nedbrytning men varar inte så länge, bara 1–2 månader. Skaffa en koldioxidmätare och följ koldioxidkoncentrationen i växthuset och anpassa mängden och intervallet som du vattnar halmen med urealösningen. Styrkan på urealösningen är den samma som när du ska gödsla med den, och utifrån det kan du prova dig fram till lämplig mängd. Koldioxidkoncentrationen ska under soliga dagar ligga på 800–1 200 miljondelar för de flesta kulturer.

Normalförbrukningen av koldioxid för en gurkplanta är 3 gram koldioxid per ljustimme och kvadratmeter växthus, vilket blir 3 kg koldioxid per ljustimme och 1 000 kvadratmeter växthus. 10 kg halm ger totalt 6 kg koldioxid. Halmen blir ett utmärkt jordförbättringsmedel vid odlingsäsongens slut.

I Finland har det gjorts försök med att ha halmen som kuber och rundbalar eller hackad, i en separat byggnad i anslutning till växthuset, och därefter styra tillförseln genom att blåsa in koldioxidrik luft i växthuset. Om du använder balar, särskilt rundbalar, så blir det mycket enkelt att byta halmbalar under odlingsäsongen.

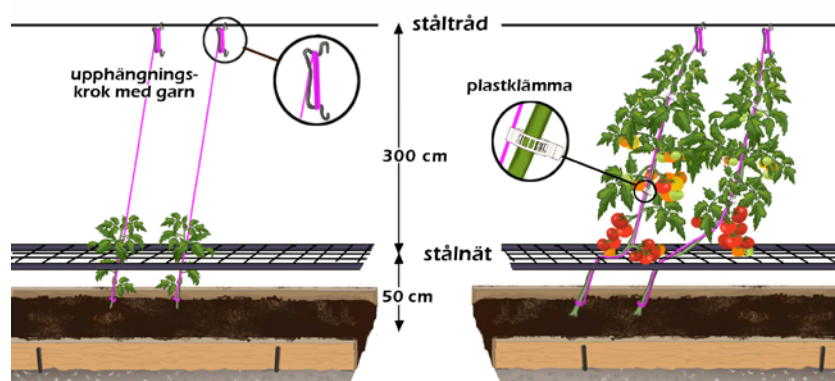
## Arbetsteknik

Att utföra arbetet med så liten arbetsinsats som möjligt är några av de områden där du kan spara allra mest i ditt företag. Även små arbetsinsatser som är återkommande, kan visa sig vara några av de allra största tidtjuvarna. Därför bör du genomföra tidstudier på olika arbetsmoment med jämna mellanrum, för att se var du ska rationalisera och förbättra. Ett av de arbetsmoment som tar den allra mesta tiden är de interna transporter.

En korrekt arbetsteknik förbättrar dessutom arbetsmiljön och minskar risken för skador och sjukskrivningar. I det här kapitlet kommer vi främst att ägna oss åt tomatodlingens problem, men mycket av tanke sättet är även tillämpligt på andra radkulturer så som gurka, paprika och krukväxter.

### Uppbindning och sänkning

Det normala vid tomatodling är att plantorna växer från marken upp längs ett garn. Garnet är fäst i en ståltråd som löper horisontellt 2–4 meter ovanför golvet. Höjden beror på växthusets ståndsidehöjd och kulturens längd. En höjd på 2 meter räcker bara vid korta sommarkulturer, annars räcker avståndet från nät till ståltråd inte till för att plantan ska kunna utveckla blommor och klasar. När plantan växt upp till tråden, flyttar du trådens infästningspunkt i sidled, samtidigt som du förlänger den. På så vis sänker du ner plantan och tomatplantans nederdel kommer att lägga sig på marken alternativt på ett nät. Detta är nödvändigt eftersom en tomatplanta kan bli 10–15 meter lång under en växtsäsong. Det finns flera saker att tänka på i samband med uppbindning och de arbetsmoment som är förknippade med nedsänkningen. Figur 18 visar en odling där tomatplantorna läggs ner allt eftersom de växer.



**Figur 18.** Tomatodling där tomatplantorna växer upp till tråden och läggs ner allteftersom de blir för höga. Vid nedläggningen lägger du plantorna på ett nät. Före nedläggningen bladlar du av plantornas nedersta del.

### *Den horisontella ståltrådens kvalitet*

Det är viktigt att ståltråden är ordentligt fäst och spänd. Eftersom tomatplantorna är tunga, och nedsänkningen och förflyttningen i sidled därför är ett tungt arbetsmoment, är det viktigt att tråden är så slät som möjligt. Var därför försiktig vid uppsättning av ståltråden så att den inte får veck.

### *Garnhållaren*

Garnet som plantan växer längs är oftast syntetiskt och finns i olika kvaliteter. En del leverantörer har garn som är biologiskt nedbrytbart, vilket innebär att det kan kastas med plantorna på komposten när växtsäsongen är över. Annat garn är tåligare och bör därför separeras från grönmassan innan kompostering. Eftersom plantorna ska sänkas ner allt eftersom de växer, måste mer garn kunna släppas till under odlingssäsongen. Garnet är därför upplindat på kroken som samtidigt fungerar som hållare och är fasthakad på den horisontella ståltråden.

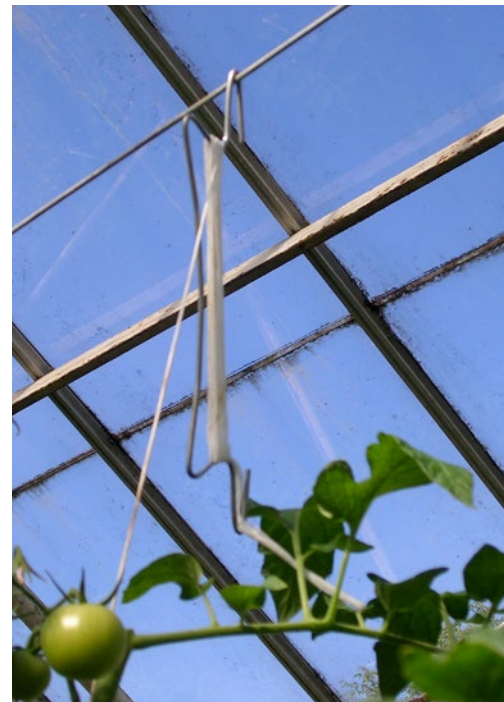
### *Fästning av plantan mot tråden*

Du kan fästa tomatplantan mot garnet på olika sätt. Det vanligaste är olika typer av plastklämmor. Trots att klämmorna ser snarlika ut, skiljer de sig åt i hur de känns att arbeta med. Det är därför viktigt att testa olika leverantörer innan du väljer den slutliga.

Till paprika använder du ståltråd som snurras runt plantans stam och garnet med hjälp av en pistol. Maskinen är elektrisk och drivs med batteri.



Enkel typ av plastklämma för fäste av planta mot garn.



Klassisk tomatkrok med garn upplindat från leverantören.



Tomatkrok med upplindat garn.  
Foto: Elisabeth Ögren.

## Intern transport

Den interna transporten är ett av de mest tidskrävande arbetsmomenten. Det är därför av stor vikt att växthusens inbördes placering och placering i förhållande till lager och arbetsytor är väl genomtänkt. Tänk på att även promenader mellan olika byggnader är att betrakta som en intern transport.

Den interna transporten ska beaktas redan då du bygger det första växthuset. Föreställ dig hur företaget ser ut när det är 2 till 3 gånger större än det är idag. Då blir de interna transportererna bra även längre fram när du bygger ut.

Det är även viktigt att du inte drar dig för att, om det är nödvändigt, riva ner och flytta gamla växthus för att få en bättre transport inom företaget. En god intern transport innebär inte bara en lägre arbetsbelastning, utan medför också i många fall en bättre kvalitet på grund av bättre temperaturhållning samt en bättre arbetsmiljö med mindre förslitningsskador och arbetsolyckor.

### Placering av byggnader

Det första du ska tänka på rörande interna transporter är placeringen av byggnaderna. Det är viktigt att avstånden mellan växthus, arbetshallar, lager och personalutrymmen är så korta som möjligt. Det är inte bara varor som ska förflyttas mellan byggnaderna utan även människor i samband med ändrade arbetsmoment, för att hämta saker med mera. Tänk även på att det ska vara lätt att ta sig till toaletterna!

Tabell 5 visar ett exempel med 2 växthus/byggnader vägg i vägg kontra ett avstånd på 50 meter. Exemplet bygger på att det endast är personal som förflyttar sig mellan byggnaderna, till exempel för att utföra olika arbetsmoment i de olika husen.

**Tabell 5.** Exempel intern transport vid placering av byggnader.

Exempel förflyttning		Enhet	
Avstånd mellan husen	50	m	
Gånghastighet	80	m/min	= 5 km/h
Antal personer	2	st	
Antal förflyttningar per dag	4	st/dag	Per person och dag
Sträcka per dag T/R	800	m/dag	
Antal arbetsdagar per år	200	dagar	
Årlig sträcka	160 000	m	
Tidåtgång per år	2 000	min	
Timpris	250	kr/h	
Kostnad per år	8 333	kr/år	

Om däremot den ena byggnaden är ett växthus och den andra en packhall eller lager blir antalet förflyttningar varje dag betydligt större. Redan vid 20 förflyttningar tur och retur per person och dag blir tidsåtgången 167 timmar per år.



### *Plock- och arbetsvagnar*

I grönsaksraderna använder du speciella arbetsvagnar. Vagnarna gör att du kommer upp i lämplig arbetshöjd i samband med till exempel nedsänkning av tomatplantorna. Under skörden använder du vagnarna som plockvagnar. Tomma lådor, antingen det slutliga emballaget, eller plastlådor för den interna hanteringen, placerar du på plockvagnarna. På så sätt kan du i de flesta fall plocka en hel rad klart åt gången innan plockvagnen är full. Oftast har dessa vagnar någon form av elektrisk framdrivning du kan styra upp från vagnens plattform. Vissa vagnar är elektriskt höj- och sänkbara.

Det finns olika typer av vagnar, de som går på järnrör och de som går på gummihjul. De vanligaste är vagnarna som går på stålrör. Om du har vattenburen värme använder du värmerören som räls för vagnarna. Har du luftburen värme kan du använda vagnar med gummihjul. Vagnar som går direkt på marken har en stor tendens att välta, med arbetsskador som följd. Vagnar på räls är mer rationella, eftersom dessa kan köras fortare och inte behöver styras.



Arbetsvagn som går på räls behöver inte styras. Här används den för att rensa ogräs i bäddarna. Foto: Elisabeth Ögren.



Arbetsvagn för en tomatodling, som drivs av ett 12 Volts bil-batteri och en liten elmotor. Elmotorn kan i vissa fall vara en begagnad vindrutetorkar-motor. Uppe på plattformen finns det 2 brytare i golvet, 1 för att du ska kunna köra vagnen framåt och 1 för att köra vagnen bakåt.

### *Vagnar i tak*

Ett annat viktigt transportområde är transporten av produkter inne i växthuset och mellan byggnaderna. Även om du minskar avstånden genom en korrekt och genomtänkt placering av byggnaderna inbördes, förekommer ändå många och långa transporter. Framför allt på grund av att växthusen i sig är ganska stora och i många fall långa.

Vid val av transporthjälpmiddel är det inte i första hand sträckan som produkten transporteras som är av intresse, utan vilken arbetstid som åtgår vid transporten. Olika transporthjälpmiddel kräver olika mycket arbetstid även om de kan lasta lika mycket varor. En vagn som till exempel går på jord går kanske trögare att förflytta än en vagn som hänger på räls i taket, även om de lastar lika mycket produkter. Vagnen som går på räls i taket är då ett bättre alternativ eftersom den tar mindre tid i anspråk.

I mindre företag är vagnar i någon form ett mycket flexibelt och kostnads-effektivt hjälpmedel. Vagnarna kan gå antingen på golvet eller gå på räls eller rör i taket. Vagnarna kan vara antingen handdragna eller motordrivna. De handdragna vagnarna är billigast och är du händig med svetsen kan du enkelt svetsa ihop dessa själv. Med böjda rör kan du även klara av krökar för vidare transport in till packhallar, kylar med mera. Vagnar är speciellt lämpliga för radodlade växter som till exempel tomat, gurka, melon och paprika.



Hemmabyggt vagn som rullar på rör i taket. Vagnen kan användas i alla typer av odling, både grönsaker och prydnadsväxter.

## Rullbanor

Ett annat system som också är flexibelt är rullbanor. Rullbanorna är i sin enklaste form utan drivning. Rullbanor är mycket lämpliga för krukodlade växter, eftersom du kan montera en rullbana som en travers över borden. Traversen löper i bordets längdriktning och du kan skjuta traversen över borden och placera den vid det bord du arbetar vid för tillfället. Placera produkterna i lådor som tack vare traversens svaga lutning rullar ut mot gången. Vid gången finns ett stopp så att lådorna inte åker av. Allt eftersom lådorna lossas av vid gången, kommer de återstående lådorna att rulla tillbaka till bordens bortre kant. Systemet minskar bärandet mellan borden och minskar risken för skador på plantorna.

I en större grönsaksodling kan du montera rullbanan i huvudgången på tvären mot kulturens rader. Lådorna med produkter placeras på rullbanan och skjuts därefter ut ur huset till sortering och packning. Metoden gör att det blir trängre i huvudgången, vilket innebär att du får göra en avvägning av hur mycket du vinner på att slippa bära eller köra lådor med produkter, jämfört med den begränsade rörligheten.



En motoriserad rullbanetravers underlättar packning och förflyttning av lådor i växthuset.

### *Löpande band*

I större anläggningar där det är viktigt att minimera arbetstiden för transporter, kan ett löpande band vara en ekonomisk och flexibel lösning. Löpande band kan användas både i krukväxtodlingar och i grönsaksodlingar. De löpande banden är motordrivna och kan förflytta produkter från i princip vilken punkt som helst i företaget till vilken som helst annan punkt. Till löpande band finns system för stopp vid ändarna, så att bandet stoppas när en produkt kommer till änden. Det finns 90-graders vinklar och system för att transportera produkterna både upp mot taket och ner mot golvet. Det finns även bardisköppningar där en del av transportbandet lyfts upp vid passage och därefter fälls ner igen.

### **Arbetsmiljö**

Arbetsmiljön är en viktig faktor att tänka på. Det är flera olika aspekter som kommer ifråga:

- golvet/markens hårdhet
- buller
- temperatur
- drag
- halkolyckor
- tunga och/eller repetitiva lyft
- förflyttning i ömsom kalla och ömsom varma miljöer

### *Hårt underlag*

När det gäller golvet, ska det å ena sidan vara lätt att köra vagnar på och hålla rent, och å andra sidan vara lagom mjukt att gå på. Lösningarna är flera. Om du har speciella arbetsstationer kan du lägga på sviktande plast- eller trägolv just där du står och arbetar. Då får du samtidigt ett glidskydd. På ytor som är hårda och som används för transporter, kan det vara en idé att satsa på bra och sviktande arbetsskor.

### *Buller*

I växthus är det sällan frågan om buller i sådan omfattning att det är skadligt för hörseln. Däremot kan det förekomma buller som i längden verkar tröttande. De vanligaste bullerkällorna är cirkulationsfläktar och luftburna värmesystem.

Det viktigaste du kan göra är att redan från början välja utrustning som bullrar lite. Jämför olika fläktars ljudnivåer med varandra innan inköp. Även placeringen av fläktarna är viktig. Om du arbetar det mesta av tiden i ena gaveln av växthuset, ska cirkulationsfläktarna givetvis placeras så att de flesta fläktarna är i den motsatta gaveln. Om cirkulationsfläktarna är monterade i serie kan dessa med fördel varvtalsregleras. Detta sänker ljudnivån avsevärt.

Om du har ett luftburet värmesystem ska fläkt- och brännardelen placeras så långt bort som möjligt från den delen av växthuset där du arbetar. Helst ska utrustningen placeras utanför växthuset. Då kan den lättare byggas in i ett ljudisolerat rum. Spirokanaler ska du isolera med till exempel mineralull och vit plastfolie eller aluminium. Detta minskar resonansen som uppstår i kanalerna samtidigt som det minskar värmeförlusterna genom spirokanalerna.

### *Temperatur*

I de flesta fall arbetar du ute i kulturen och temperaturen måste anpassas efter den. I de fall det är väldigt varmt eller väldigt kallt, kan du fundera över om den interna transporten kan förbättras så att arbetstiden med obekväma temperaturer minimeras. I bästa fall kan du ordna den interna transporten på så vis att du kan inrätta arbetsstationer i en avskild del av avdelningen eller i ett separat rum, där temperaturen kan anpassas efter personalen.

Det är även viktigt att tänka på att undvika att gå mellan varma och kalla utrymmen, till exempel mellan växthus där du måste gå utomhus. Det är då bättre att bygga en förbindelsehall mellan växthusen. Då undviker du temperaturväxlingar, minskar energiförlusterna, minskar drag från dörrar och får en bra arbets- och lageryta.

### *Drag*

Drag kan uppstå i ett växthus på grund av fläktsystem, öppna ventilationsluckor, otäta eller öppna dörrar eller helt enkelt genom kallras från en kall vägg eller kallt tak. Vid stillastående arbete kan detta vara besvärande.

Dörrar och portar ska du givetvis täta ifall de är otäta. Det bästa är att du monterar industridörrar och -portar redan vid byggnationen av



Energi- och skuggväv i taket jämnar ut temperaturer och bubbelplasten vid tidig plant-uppdragning minskar energibehovet. Foto: Elisabeth Ögren.



Rullbord utnyttjar odlingsytan mer effektivt. Foto: Elisabeth Ögren.

växthuset. De dörrar och portar som levereras med växthusen är med få undantag av för dålig kvalitet.

I gångar och arbetsytor kan du montera en fast väv. En fast väv kommer inte bara att minska kallraset från taket, utan skuggar även mot värmestrålningen vid kraftigt solsken. Detta är bra, inte bara ur arbetsmiljösynpunkt, utan även för produkterna som står i gångarna i väntan på vidare transport. Men helst ska du montera någon form av isolerande material i hela eller delar av taket, då det minskar kraftig solstrålning och höga temperaturer, men även minskar den kyla som uppstår på vintern med ett kallt tak.

### *Tunga och/eller repetitiva lyft*

En av de största arbetsmiljöproblemen i växthus är lyften. Lyften är framför allt av repetitiv natur.

När det gäller bordodling är det viktigt att borden inte är för breda. Maximal bordbredd bör inte vara mer än 160 cm om du arbetar från båda sidorna och maximalt 80 cm om du bara arbetar från en sida.

När det gäller transporter bör du välja vagnar som är väl avpassade för underlaget och i möjligaste mån bör du ha hårdgjorda ytor där vagnarna ska köra. Vagnar som kör fast i löst underlag är inte bara ansträngande utan kostar även dyrbar arbetstid.

På platser där du arbetar ofta ska det vara möjlighet för personal att kunna variera arbetshöjden. En varierad arbetshöjd kan åstadkommas på flera olika sätt. Du kan välja att ha en arbetsyta som är höj- och sänkbar, eller så kan du ha olika klossar att stå på.



När det gäller bordodling är det viktigt att borden inte är för breda. Foto: Christina Winter.

## Reglerteknik

Oavsett hur bra utrustning du har i övrigt, blir resultatet inte bra utan automatiserad klimatreglering. Beroende på vad du odlar och vilken typ av växthus och täckmaterial du har, behöver klimatregleringen vara mer eller mindre avancerad. Reglerutrustningen har flera uppgifter, bland annat ska den:

- minska arbetet med klimatreglering
- förbättra produkternas kvalitet
- minska angrepp av växtsjukdomar
- minska energianvändningen
- och i vissa fall övervaka anläggningen.

Det finns 2 olika typer av reglerutrustning, analog respektive digital styrutrustning. Den analoga utrustningen blir mer och mer ovanlig, eftersom den digitala, även i sin enklaste utformning, har bättre prestanda och oftast lägre pris.

### Analog styrutrustning

Den analoga styrutrustningen är nästan alltid sämre i sin noggrannhet än digital reglering. Den är också väldigt begränsad i sin funktion. I de flesta fall är en digital styrutrustning att föredra.

### Digital styrutrustning

Digital reglering har betydligt fler möjligheter och en mycket bättre noggrannhet än den analoga styrutrustningen. De utökade möjligheterna har tyvärr i de flesta fall lett till att den blivit mer svåränvänd än den analoga, även om undantag finns. Digital utrustning kan vara allt från enkla regulatorer som reglerar temperaturen, till fullfjädrade datorsystem som styr och övervakar allt i företaget.

Du ska tänka på att den här typen av utrustning är betydligt känsligare för störningar i form av åska och spänningsvariationer på elnätet än den analoga utrustningen. Du bör därför se över skydden i anläggningen. En dator som styr 1 eller flera växthus bör du skydda med avbrottsfri kraft även kallat UPS (Uninterruptable Power System). Avbrottsfri kraft skyddar mot kortare strömavbrott, spänningsvariationer och till viss del mot åska.

### Givare

Till reglerutrustningen, oavsett om den är analog eller digital, måste du koppla givare. Det är givarna som skickar information till reglerutrustningen om hur omgivningen är.

Eftersom det är givarna som ger information om omgivningen, blir styrningen inte bättre än vad givarna är, och därför ska du regelbundet kontrollera och underhålla givarna. Felaktiga givarsignaler ger felaktig styrning. Beroende på vad som ska styras och typen av reglerutrustning, kan du ha olika typer av givare inkopplade. Här nedan kommer vi att gå igenom de vanligaste förekommande givarna.

### *Temperatur*

Temperaturgivaren är den vanligaste typen av givare och den ska finnas på flera olika platser i anläggningen. Först och främst placerar du den inne i växthuset på minst 1 plats, för att mäta lufttemperaturen i växthuset. Dessutom kan den förekomma efter shunten om du har vattenburen värme. Där mäter den framledningstemperaturen så att den är rätt. Om datorn styr pannan har även pannan 1 eller flera temperaturgivare, så som framledning (stigare) och returledning. Det finns ofta även utetemperaturgivare som tillsammans med innetemperaturgivaren används för att beräkna växthuset värmeenergi behov.

Lufttemperaturgivarnas noggrannhet varierar med fabrikat och givartyp, men ligger normalt mellan +/- 0,1 och +/- 0,5 °C. Vissa givare måste kalibreras regelbundet och andra givare är kalibreringsfria. Vilken du föredrar är en smaksak och det påverkar inte kvaliteten i styrningen.

Även om temperaturgivare är väldigt stabila och långlivade, bör du kontrollera dem regelbundet enligt leverantörens anvisningar. En grov kontroll bör ändå göras åtminstone 1 gång per månad, oavsett om den är kalibreringsfri eller inte.

Det är viktigt att du placerar temperaturgivaren korrekt. Mät temperaturen där du vill veta temperaturen, och undvik därför att placera temperaturgivaren ovanför eller i närheten av värmerör eller andra värmekällor. Placera givaren i skugga, till exempel i en låda som är ventilerad, för att värmestrålning från framför allt solen inte ska påverka mätningen. Placera givaren där växterna är, eftersom det är deras klimat som ska regleras.

### *Luftfuktighet*

Luftfuktigheten kan du mäta på olika sätt. Det vanligaste sättet är att mäta den våta temperaturen. Jämför sedan med lufttemperaturen och räkna ut luftfuktigheten. Det andra sättet är att ha en givare som mäter luftfuktigheten direkt, utan att mäta den våta och den torra temperaturen.

Att mäta luftfuktigheten med en våt och en torr temperatur innebär att den våta temperaturgivaren ständigt är våt. Vätan åstadkommer du genom att trä en textilstrumpa över givaren. Textilstrumpans andra ände hänger ner i ett vattenbad och fungerar som en veke. Noggrannheten beror på temperaturgivarnas noggrannhet och på att veken fungerar som den ska. Därför är det viktigt att använda så rent vatten som möjligt. Helst ska du använda destillerat vatten. Eftersom luften är full av damm,



Temperatur- och luft-fuktighetsgivare från DGT-Volmatic. Själva givarkropparna sitter inne i lådan, vilket är viktigt för att förhindra att solstrålningen ska påverka mätningen. Inne i lådan sitter en fläkt för att byta ut luften.



kommer detta att fastna på vecken, och på sikt kommer detta att försvåra vekens förmåga att suga vatten. Veken måste därför bytas regelbundet, till exempel varje månad. Det här sättet att mäta luftfuktigheten på är säkert och tillförlitligt så länge du har ett schema för kontroll av temperaturer, påfyllning av vatten och byte av strumpa. Fördelen är framför allt att du själv kan kontrollera givarna. Som bomulsstrumpa kan du använda skosnören till idrottsskor som du först tvättar i 60 °C så att de krymper.

Att mäta luftfuktigheten direkt har blivit vanligare de senaste åren, i och med att priset har sjunkit. Mätmetoden behöver inte samma underhåll som när du mäter med en våt och en torr givare, men har den nackdelen att du inte själv kan kontrollera givarens funktion. Den kontrollen kräver speciell utrustning. De elektroniska givarna har normalt heller inte samma noggrannhet som en väl fungerande mätning med våt och torr temperatur.

Liksom för temperaturgivarna är det viktigt att placera mätutrustningen där du vill mäta fuktigheten, det vill säga där växterna är.

### *Vindhastighet*

Vindhastighetsgivarens uppgift är att mäta vindhastigheten vid växthuset. Vid höga vindhastigheter stängs ventilationsluckorna så att de inte blåser sönder. Detsamma gäller om väven är fördragen, då begränsas ventilationsluckornas öppning för att väven inte ska blåsa sönder. Vindhastigheten används av vissa datorsystem även för att beräkna den ökade användningen av värmeenergi som behövs vid höga vindhastigheter. Vindhastighetsgivarna är robusta och behöver normalt ingen skötsel.

### *Vindriktning*

Beroende på varifrån det blåser öppnas ventilationsluckor mer på läsidan, för att förhindra att vinden blåser rakt in i växthuset. Vinden kan annars blåsa sönder vävar, skada växter och orsaka skador på växthusets ventilationssystem. Vinden kan dessutom föra med sig växtskadegörare som riskerar att dras in via vindsidan. Därför ska du som regel alltid börja med att ventileras på läsidan och bara när det inte räcker till, ventileras på vindsidan.

Vindriktningsgivarna är robusta och behöver normalt ingen skötsel. Kontrollera 1 gång per år att givaren inte sitter löst och då visar fel vindriktning. Detta kan du göra visuellt. Kontrollera vilken vindriktning som datorn visar och se om det stämmer med den faktiska vindriktningen.

### *Ljus och strålning*

Ljusgivaren har många viktiga funktioner. För att bättre förstå vad vi pratar om måste vi först reda ut några viktiga begrepp – ljus respektive synligt ljus.

Ljus är all strålning inom våglängdsområdet 1 nanometer till 1 millimeter (1 millimeter = 1 000 000 nanometer).

Synligt ljus är inom våglängdsområdet 380–780 nanometer. Det är bara det synliga ljuset som växterna kan använda till sin fotosyntes och det kallas för PAR eller Photosyntetic Active Radiation.

När du mäter ljus dyker det upp ytterligare 2 viktiga begrepp – radiometrisk strålning respektive fotometrisk strålning. Den radiometriska strålningen mäter energin i ljuset Watt per kvadratmeter ( $W/m^2$ ). Den fotometriska strålningen mäter det synliga ljuset, och tar hänsyn till ögats känslighet för olika våglängder och mäts i lumen och lux. Det innebär att beroende på vad du vill styra så bör du mäta ljusstrålningen på olika sätt och inom olika våglängdsområden.

I växthus vill du veta hur mycket ljus som växterna får till sin fotosyntes. Den ideala mätmetoden för detta är att mäta antalet fotoner av det synliga ljuset, eftersom det är fotonerna som gör det möjligt för växten att binda koldioxid. För att göra detta bör du därför mäta ljuset i mikromol per sekund och kvadratmeter inom PAR. Tyvärr är detta mycket sällsynt i växthussammanhang. En mätmetod är då att mäta i lux, vilket som nämnts tidigare, tar hänsyn till ögats känslighet. Eftersom en växts känslighet för synligt ljus skiljer sig från ögats, är lux-mätning vilseledande, men tyvärr alltför vanlig.

Du vill även veta hur mycket energi som tillförs växthuset från solen och därmed mäta strålningens värme i form av Watt per kvadratmeter. Radiometriska ljusgivare är idag ganska vanliga och är ett bättre alternativ än luxgivare.

Oavsett typen av ljusgivare används den till en mängd olika funktioner i styrningen av klimatet. Den används för att avgöra när solen skiner och hur mycket, för att styra vävar och assimilationsbelysning. I datorsystem som styr bevattningen används ljusgivaren även för att avgöra när det är dags att starta en bevattning. Ljuset kan även användas för att påverka temperaturens börvärde (den önskade temperaturen), både beträffande uppvärmning och ventilation.

I tabell 6 visas ungefärliga omvandlingsfaktorer mellan olika fabrikat på ljusgivare och ljusenheter, för solljus, högtrycksnatrium och metallhalogen.

**Tabell 6.** Ungefärliga omvandlingsfaktorer mellan olika ljusenheter. Notera att eftersom ljusets sammansättning och energiinnehåll varierar mellan olika ljuskällor (sol, glödlampa, högtrycksnatrium med mera ) så är omvandlingen mycket ungefärlig.

	Sol			Konstljus	
Radiometriskt värde	Fotometriskt värde				
	Priva mulet	Priva soligt	DGT-Vol-matic	Högtrycks-natrium	Metall-halogen
lux	W/m <sup>2</sup>				
Faktor (•)	0,020*	0,010*	0,0068**	0,0023***	0,0028***
1 000	20	10	7	2	3
2 000	40	20	14	5	6
3 000	60	30	20	7	8
4 000	80	40	27	9	11
5 000	100	50	34	12	14
6 000	120	60	41	14	17
7 000	140	70	48	16	20
8 000	160	80	54	18	22
9 000	180	90	61	21	25
10 000	200	100	68	23	28
15 000	300	150	102	35	42
20 000	400	200	136	46	56
25 000	500	250	170	58	70
30 000	600	300	204	69	84
50 000	1 000	500	340	115	140
100 000	2 000	1 000	680	230	280

Faktor: Multiplicera luxvärdet med faktorn för respektive fabrikat och/eller ljuskälla för att få lux-värdet omräknat till Watt per kvadratmeter.

Källor: \* uppgifter från Priva B.V., 2006, \*\* uppgifter från CMT AB, 2003, \*\*\* uppgifter från Poot Lichtenergie "Application Of Growlight In Greenhouses", 1984

Skillnaden mellan till exempel Privas och DGTs mätare ligger i att DGTs mätare mäter över ett mindre strålningsintervall, det vill säga att den mäter mindre av den strålning som växterna inte kan tillgodogöra sig för sin fotosyntes. Det är viktigt att påpeka att detta inte innebär någon kvalitetsskillnad mellan de olika givarna. Däremot visar det vikten av att känna sin egen givare och att det inte går att ta kollegors ljusvärden rakt upp och ner och använda själv, såvida man inte har samma typ av givare. Värdena för högtrycksnatrium och metallhalogen gäller för den typen av givare som används för att ta fram värdena. Se dem som en fingervisning om hur ljuset från olika ljuskällor ska värderas, snarare än som exakta värden.

## Regn

Regngivarens funktion är att tala om när det regnar, så att ventilationsluckorna kan stänga för att förhindra att det regnar in. Regngivaren kan tillsammans med vindriktningsgivaren, skicka signaler så att ventilationsluckan som är vindutsatt stänger helt och ventilationsluckan på läsidan tillåts att öppna något.

Regngivaren är enkel i sin uppbyggnad, 2 gaffelformade kopparplattor ligger nära varandra men inte så att de får kontakt. En elektrisk spänning läggs över de båda koppargafflarna. Vid regn kommer vattendropparna att landa på koppargafflarna och tillsammans med salter i vattnet, kommer en ström att ledas genom gafflarna. När det slutar regna kommer givaren att torka upp och förbindelsen mellan gafflarna försvinner och strömmen upphör. För att det inte ska ta för lång tid från det att det slutat regna tills dess att givaren torkar, innehåller regngivaren ett värmelement för att påskynda upptorkningen. Denna kan med tiden gå sönder och då byts hela givaren ut.



Privat väderstation, med givare för ljus och regn (nederst) och vindriktning, vindhastighet och temperatur (överst).

# Energiteori

Då temperaturerna utomhus är låga hos oss under en stor del av året krävs att du tillför värme och energi för att växterna ska kunna få ett lämpligt klimat i växthuset. För att kritiskt kunna utvärdera och ta ställning till den tekniska utrustning som står till förfogande för växthus så är det bra om du känner till några grundläggande fakta om energi och värme.

## Grundläggande om energi och värme

När du beskriver och diskuterar energi kan det vara lämpligt att fundera över vad energi egentligen är. Det finns faktiskt ingen exakt definition av vad energi är. Ofta beskrivs energi som ett fysiskt fenomen som kan utnyttjas för att utföra arbete. Energi uppträder i ett antal olika former och kan omvandlas mellan dessa. Man brukar anse att det finns 7 olika energiformer:

1. lägesenergi (potentionell energi)
2. rörelseenergi (dynamisk energi)
3. elektrisk energi
4. värmeenergi (termisk energi)
5. strålningsenergi
6. kemiskt bunden energi
7. kärnenergi (som utnyttjas i kärnkraftverk)

Termodynamiken beskriver grundläggande samband för energi och värme. Termodynamiken handlar om förhållandet eller sambandet mellan värme och andra energiformer, till exempel den kemiskt bundna energin som finns i eldningsoljan. Termodynamikens grundläggande regler har sammanfattats i några huvudsatser.

Termodynamikens **huvudsatser** är:

1. Energin är oförstörbar – den kan omvandlas men kan varken skapas eller förstöras.
2. Värme kan inte av sig själv flöda från en kallare till en varmare kropp – energins kvalitet kommer att förbrukas i varje energiomvandling (vi går mot ett kontrastfritt tillstånd). Satsen har formulerats på olika sätt av olika personer. Den formulerades av Rudolf Clausius och lyder: "Värme kan inte av sig själv övergå från materia av lägre temperatur till materia av högre temperatur." (Rudolf Clausius (1822–1868)).
3. Alla processer upphör vid absoluta nollpunkten, 0 kelvin eller -273 °C. 2 system som kommer i kontakt utbyter energi (eller materia) tills de kommer i jämvikt. Då satsen kan härledas med hjälp av de andra satserna har den fått namnet o.

Olika energiformer kan utnyttjas för att skapa arbete eller mekanisk energi (rörelse- och lägesenergi) och hur bra detta kan göras beskrivs av begreppet exergi. Rörelse-, läges- och elektrisk energi anses ha exergin 1,0 då praktiskt taget all energi kan omvandlas till mekanisk energi, medan kemisk energi har lägre exergi 0,85–0,9 (85 till 90 procent av energin kan omvandlas till mekanisk energi). Värmeenergi anses ha exergin 0,13 vid temperaturen 70 °C då bara en liten del av värmeenergin kan bli mekanisk energi.

Den **första huvudsatsen** säger att energin är oförstörbar och att den bara omvandlas mellan olika energiformer. Kemiskt bunden energi till exempel i värmekällorna flis, gas eller olja omvandlas till värmeenergi i uppvärmningssystem. I processen minskar exergin – mindre andel av systemets energi kan användas till att skapa mekanisk energi.

För att lättare förstå den **andra huvudsatsen** ska vi tillämpa den på bergvärme. Vi kan ur andra huvudsatsen inse att värmen inte automatiskt kan komma upp ur marken och värma huset. Berget har en låg temperatur på cirka 10 °C och huset kräver 20 °C. Tappvarmvattnet till huset kräver en temperatur av storleksordningen 65 °C. För att komma förbi detta problem använder du dig av värmepumpar. I värmepumparna tillsätts drivenergi (oftast el) och med hjälp av denna extra energi och värmepumpsprocessen kan högre temperaturer än den som finns i berget åstadkommas.

Hur väl stämmer då bergvärmens överens med första huvudsatsen? Ja, av första huvudsatsen framgår att energi inte kan nyskapas. Det innebär att berget kan betraktas som ett värmeförråd som innehåller en begränsad mängd värmeenergi. Varje dag som värme pumpas ur berget minskar värmeförrådet i berget. Till sist tar värmen slut. För att systemet med bergvärme ska fungera under en längre tid, måste den del av berget som värmen hämtas ifrån fyllas på någonstans ifrån till exempel via grundvattenströmmar eller överskottsvärme på sommaren.

## Växthusets och växtens energibalans

För att veta hur mycket värme som behöver tillföras, eller tas bort i växthuset, måste vi ställa upp en energibalans. Växthusets energibalans visas i figur 19. I energibalansen summerar vi all värme som flödar in och ut ur växthuset (ekvation 2). Exempel på tillförd värme är värme från solen, från elektrisk utrustning till exempel assimilationsbelysning, eller från koldioxidproduktion (med gasbrännare) inne i växthuset. Exempel på bortförd värme är värme som försvinner via luftläckage, transmissionsförluster genom väggarna (värme som flödar ut genom väggarna) och kallt bevattningsvatten som ska värmas upp. Om summan av den tillförda värmen och den förlorade värmen inte är 0, innebär det att värme antingen måste tillföras (för kallt) eller att värme måste tas bort (för varmt).

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

$$\text{Värmebehov} = \sum(\text{transmission, ventilation, läckage, strålning}) - \text{sol}$$

**Ekvation 2.** Växthusets värmebalans

där:

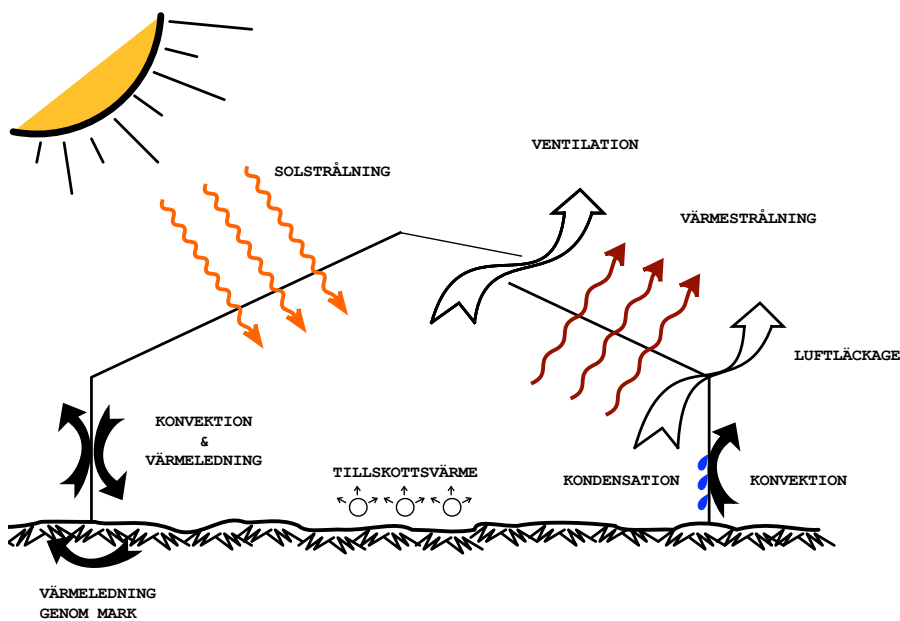
*Värmebehov* = växthusets värmebehov, Watt [W]

*Transmission* = värmeförluster genom klimatskal och mark på grund av värmeledning, strålning, konvektion (luftrörelser) och kondensering etcetera, Watt [W]

*Ventilation* = värmeförluster från ventilation, Watt [W]

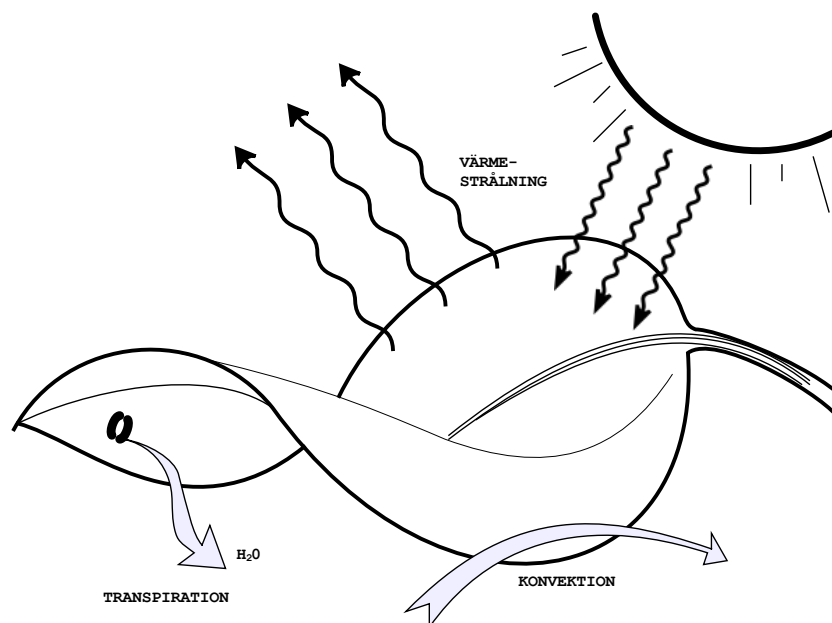
*Läckage* = värmeförluster från luftläckage, Watt [W]

*Sol* = värmetillskott från solstrålning, Watt [W]



**Figur 19.** Enkel beskrivning av växthusets energibalans. Värmetskottet kommer huvudsakligen från solen och vid behov från tillskottsvärmen (värmesystemet). Förlusterna sker genom att värme flödar genom väggar, tak och golv (transmissionsförluster) och genom luftutbyte med omgivningen, det vill säga luftläckage genom otätheter och ventilation. Hur mycket värme som flödar ut genom växthusets skal (transmission) beror bland annat på strålning mot rymden, värmeledning genom marken, konvektion och värmeledning genom väggar och tak, samt kondensering mot väggar och tak.

Precis som för växthuset kan du sätta upp en energibalans för växten, se figur 20. I växtens värmebalans ingår faktorer som värmer och 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 20.** 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-värdet – måttet på byggnadens värmeisolering

När det finns varm luft på ena sidan av en vägg och kall luft på den andra, så kommer värmeenergi från den varma sidan att flöda till den kalla sidan. Värmeflödet sker med hjälp av 3 olika processer:

- värmestrålning
- värmeledning
- värmekonvektion

**Värmestrålning** innebär att värme strålar ut från en yta beroende på dess temperatur. Vid höga temperaturer strålar mer värme ut än vid låga temperaturer. Värmestrålningen är en elektromagnetisk långvågig strålning (infraröd strålning). Vi liksom växterna utbyter energi genom strålning med alla komponenter i omgivningen till exempel **väggar, tak, golv och fönster**. Bland annat kyls kalla fönsterytor och varma radiatorer värmer beroende på strålningsutbytet.



**Värmekonvektion** är den process i vilken värme transporteras genom rörelser i ett medium såsom luft eller vatten. Värme överförs från komponenter i ett rum till luften i rummet ifall komponenterna är varmare än luften och från luft till exempelvis en vägg via strålning och rörelser i luften ifall luften är varmare än väggen. 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 utsatta lägen.

**Värmeledning** är när värme leds inuti ett material. Det kan till exempel 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, till exempel en vägg, är proportionellt mot en faktor som kallas värmegenomgångskoefficient eller U-värde (tidigare benämnt k-värde). U-värdet anger hur mycket värmeenergi (Joule, J) som per tidsenhet (sekund, s) passerar till exempel ett väggparti på en kvadratmeter ( $m^2$ ) då temperaturskillnaden är  $1\text{ }^\circ\text{C}$  mellan de båda sidorna. Då  $1\text{ Joule per sekund (J/s)} = 1\text{ watt (W)}$  blir enheten för U-värde därför Watt per kvadratmeter och grad Celsius ( $\text{W}/(\text{m}^2 \times ^\circ\text{C})$ ).

U-värdet är det inverterade värdet av summan av motstånd för värmeledning i väggen och värmeövergångsmotstånd på väggens in- och utsida (beroende av övergång av värme via konvektion och strålning).

För att beräkna U-värdet för exempelvis en vägg behöver du veta vilka materialskikt som finns i väggen och hur tjocka skikten är. För varje materialskikt som finns i väggen slår du upp materialets värmekonduktivitet,  $\lambda$  (värmeledningsförmåga) i tabeller. Därefter beräknar du materialskiktets värmemotstånd  $R$  med formeln:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

**Ekvation 3.** Värmemotståndet

där:

$R$  = skiktets värmemotstånd, (kvadratmeter och grad Celsius) per Watt [ $\text{m}^2 \times ^\circ\text{C}/\text{W}$ ]

$d$  = skiktets tjocklek, meter [m]

$\lambda$  = materialets värmekonduktivitet, Watt per meter och grad Celsius [ $\text{W}/(\text{m} \times ^\circ\text{C})$ ]

Väggens totala värmemotstånd beräknar du genom att summera värmemotstånden ( $R$ ) för alla skikten i väggen och lägga till värmemotståndet mot att värme övergår från luften inne till väggen inne ( $R_{si}$ ) och värmemotståndet mot att värme övergår från väggen ute till luften ute ( $R_{se}$ ). Formeln blir då för en vägg som innehåller  $n$  styck olika skikt:

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n + R_{si} + R_{se}$$

**Ekvation 4.** Beräkning av  $R_{tot}$ .

Värden på  $R_{si}$  och  $R_{se}$  som brukar användas till U-värdesberäkningar hittar du i tabellsamlingar.

U-värdet beräknas nu med formeln:

$$U = \frac{1}{R_{tot}}$$

**Ekvation 5.** U-värde

Där:

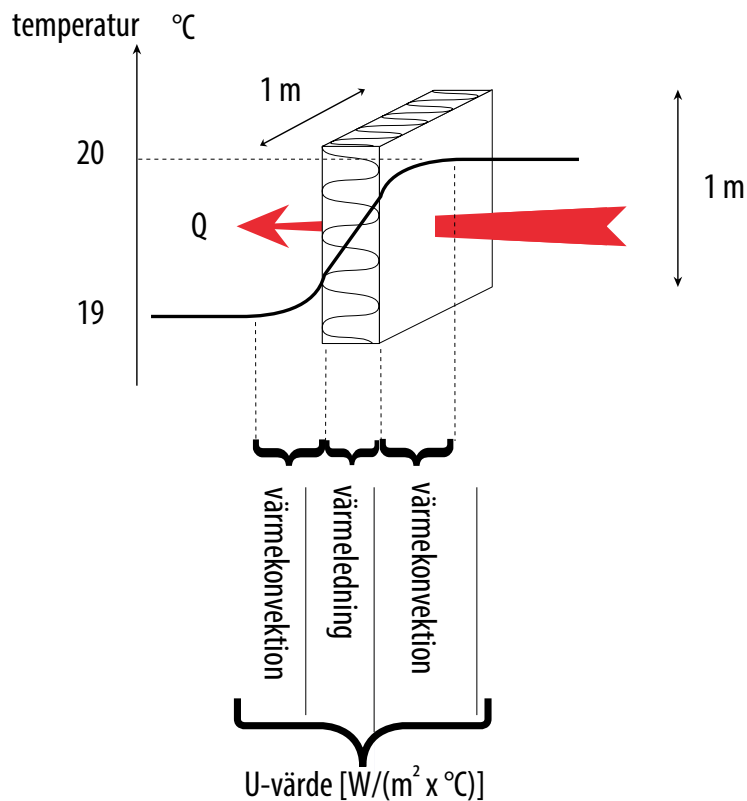
$U =$  värmegenomgångskoefficient, Watt per kvadratmeter och grad Celsius [ $W/(m^2 \times ^\circ C)$ ]

$R_{tot} =$  väggens totala värmemotstånd, kvadratmeter och grad Celsius per Watt [ $(m^2 \times ^\circ C)/W$ ]

Ovanstående beräkningsmetod för att beräkna U-värde fungerar bra för vanliga väggar och tak. Då det gäller exempelvis fönster anger fabrikanterna ofta ett U-värde som de själv tagit fram.

Täckmaterial till växthus är också speciella och värmegenomgången påverkas av exempelvis kondensering och vind i stor utsträckning. För dessa material är uppmätta U-värden som kan hittas i tabeller att föredra.

Principerna för värmens transport genom ett väggparti visas översiktligt i figur 21.



**Figur 21.** 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:

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

**Ekvation 6.** Värmeförlusterna genom en vägg

där:

- $P =$  värmeförlust (effekt), Watt [W]
- $U =$  värmegenomgångskoefficient, Watt per kvadratmeter och grad Celsius [ $W/(m^2 \times ^\circ C)$ ]
- $A =$  totala vägg-/takarean, kvadratmeter [ $m^2$ ]
- $t_{inne} =$  temperaturen inne,  $^\circ C$
- $t_{ute} =$  temperaturen ute,  $^\circ C$

## Fuktteori

Luftfuktigheten är en av de kritiska klimatparametrarna i modern växthusodling, eftersom den påverkar många olika saker. Luftfuktigheten påverkar plantans transpiration och därmed dess förmåga att ta upp näringsämnen. Eftersom transpirationen är viktig för växtens temperaturreglering så påverkar luftfuktigheten även växtens förmåga att reglera temperaturen. För låg luftfuktighet kan orsaka vattenstress om växten inte klarar av att suga upp lika mycket vatten som den transpirerar. Växten kommer då att stänga sina klyvöppningar vilket leder till högre planttemperaturer. Det leder i sin tur till att växten inte längre kan ta upp koldioxid och tillväxten stannar av. Slutligen påverkar luftfuktigheten många av de skadegörare som angriper växterna.

I moderna växthus med moderna och tätare täckmaterial och tätare plantering, har fuktstyrning blivit allt viktigare. Det är svårt att få en hög och kvalitativt bra produktion utan att ha en bra fuktreglering. För att kunna styra fuktigheten framgångsrikt är det viktigt att känna till de olika begrepp som finns.

### Definitioner

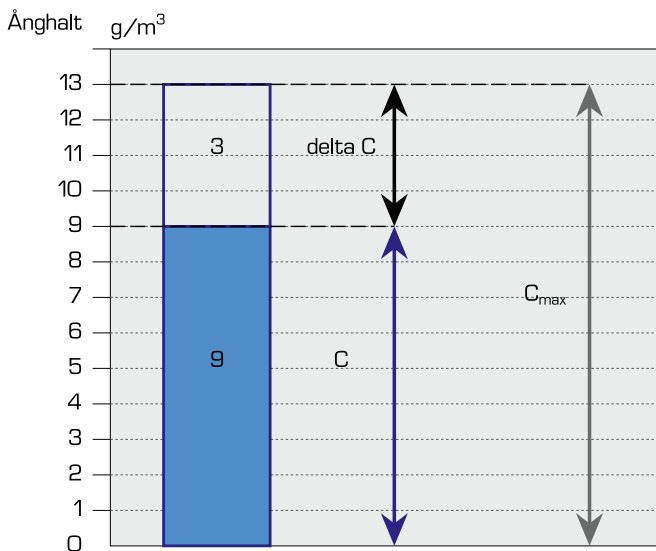
Begrepp	Ånghalt	Vatteninnehåll
Beskrivning	Används inom byggnadstekniken och kallas även för luftens absoluta ånghalt och anger hur mycket vatten, i form av vattenånga, som luften innehåller.	Inom luftbehandlingstekniken används begreppet vatteninnehåll istället för ånghalt.
Beteckning	C	x
Enhet	$\text{g/m}^3$	kg vatten/kg torr luft
Exempel	$9 \text{ g/m}^3$	0,0105 kg/kg (vid 75 procent relativ fuktighet och 20 °C)

Begrepp	Maximal ånghalt	Maximalt vatteninnehåll
Beskrivning	Anger hur mycket vattenånga som luften kan innehålla maximalt. Luften kan hålla mer vattenånga ju varmare den är. Därför ökar också den maximala ånghalten med lufttemperaturen.	Anger hur mycket vatten som luften kan innehålla maximalt. Luften kan hålla mer vatten ju varmare den är. Därför ökar också det maximala vatteninnehållet med lufttemperaturen.
Beteckning	$C_{\text{max}}$	$x_{\text{max}}$
Enhet	$\text{g/m}^3$	kg vatten/kg torr luft
Exempel	$12 \text{ g/m}^3$	0,0145 kg/kg (vid 20 °C)

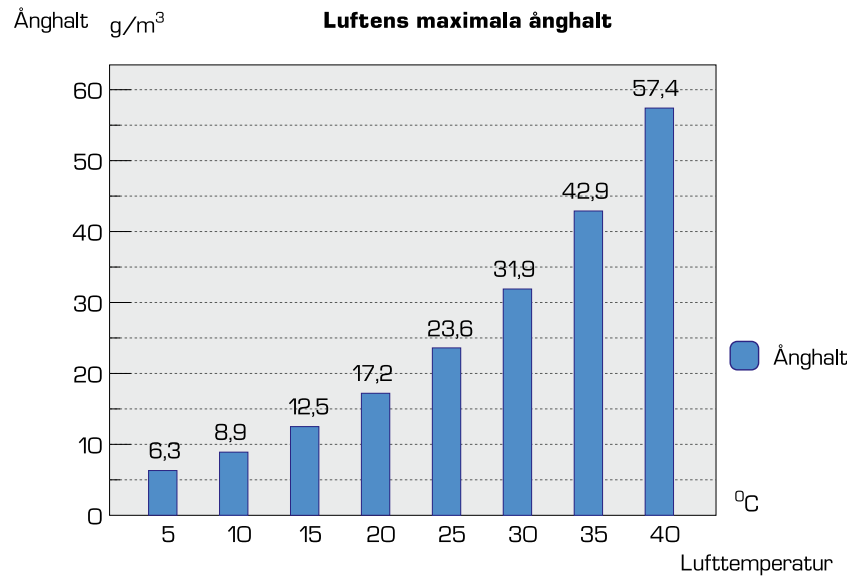
Begrepp	Ånghaltsdeficit	Vatteninnehållsdeficit
Beskrivning	Anger skillnaden mellan luftens maximala ånghalt och den absoluta ånghalten. Det betyder att ånghaltsdeficiten anger hur mycket mer vattenånga som luften kan hålla innan den blir mättad. Vid samma relativa fuktighet, kommer ånghaltsdeficiten att öka med ökande lufttemperatur.	Anger skillnaden mellan luftens maximala vatteninnehåll och det absoluta vatteninnehållet. Det betyder att vatteninnehållsdeficiten anger hur mycket mer vattenånga som luften kan hålla innan den blir mättad. Vid samma relativa fuktighet, kommer vatteninnehållsdeficiten att öka med ökande lufttemperatur.
Beteckning	delta C  I växthussammanhang används ofta begreppet delta x istället för delta C.	delta x
Ekvation	$\text{delta C} = C_{\text{max}} - C$	$\text{delta x} = x_{\text{max}} - x$
Enhet	$\text{g/m}^3$	kg vatten/kg torr luft
Exempel	$3 \text{ g/m}^3$	0,004 kg/kg (vid 20 °C och 75 % RF)

## Relativ fuktighet

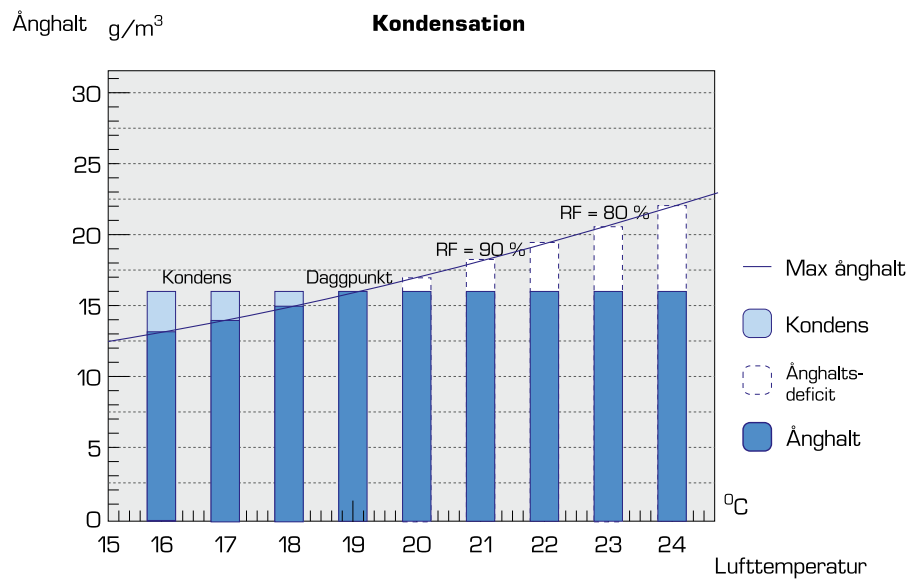
Relativ fuktighet (RF) uttryckt med begreppet ånghalt är förhållandet mellan luftens aktuella ånghalt och dess maximala ånghalt vid aktuell temperatur ( $C/C_{\text{max}}$ ). Relativ luftfuktighet uttrycks oftast i procent. Den maximala ånghalten som luften kan innehålla ökar med stigande temperatur och minskar med sjunkande temperatur. Om ånghalten hålls oförändrad kommer luftens relativa luftfuktighet att minska då temperaturen ökar och öka då temperaturen minskar, se figurerna 22–24.



**Figur 22.** Illustration av ånghalt ( $C$ ), maximal ånghalt ( $C_{\text{max}}$ ), ånghaltsdeficit (delta C). Relativ luftfuktighet kan beräknas som  $C/C_{\text{max}} \times 100$  procent.



**Figur 23.** Luftens maximala ånghalt vid olika temperaturer, det vill säga när luften är vattenmättad och inte kan hålla mer vattenånga.



**Figur 24.** Diagram som visar kondensationsprocessen då luftens temperatur sänks under kondensationstemperaturen.

## Kondensation

När luften är mättad på vattenånga kan den inte längre hålla mer vatten och försöker du tillföra mer vattenånga går inte det. Ju varmare luften är desto mer vattenånga kan den hålla. Om temperaturen i en mättad luft sjunker, så kommer dess förmåga att hålla vattenånga därför att minska. När gränsen är nådd för vad luften kan hålla vid en viss temperatur, kommer överskottsvattnet att kondensera. Det är vad som händer då molnen släpper sitt regn. Luften har tagit upp vattenånga från vattenytor och växter, temperaturen sjunker och det bildas moln, där luften är mättad på vattenånga. Temperaturen sjunker ytterligare, till exempel för att molnen stiger när de passerar en höjning i marken, luften kan inte längre hålla mer vatten och det börjar regna. Kondensationstemperaturen är nådd.

Men kondensering kan även ske utan att det regnar. När luften kommer i kontakt med en yta med en lägre temperatur än luftens, kan kondenseringstemperaturen nås lokalt precis vid ytan. Det bildas kondensdroppar. Detta sker på nätterna när luften har värmts upp under dagen och tagit åt sig mycket vattenånga. På natten kyls växter och mark och luften kyls mot dessa ytor och kondensering sker i form av dagg. Kondensering i form av dagg kan ske vid odling av växter med stora frukter, som tomat, gurka och melon, och i samband med snabba temperaturhöjningar. Det är därför viktigt att du undviker snabba temperaturhöjningar för att undvika svampangrepp i daggen.

## Ångtryck

Vår omgivande luft består av ett antal gaser, till exempel kväve, syre och argon. Vattenånga finns i varierande mängd. Var och en av gaserna bidrar till det totala atmosfärstrycket med sitt partialtryck (deltryck). Vattenångan i luften har ett partialtryck (enhet Pascal [Pa]) som varierar med temperatur och grad av mättnad. Relativ luftfuktighet kan utifrån aktuellt ångtryck ( $p$ ) och ångtryck vid mättnad ( $p_m$ ) uttryckas som kvoten  $p/p_m$  uttryckt i procent.

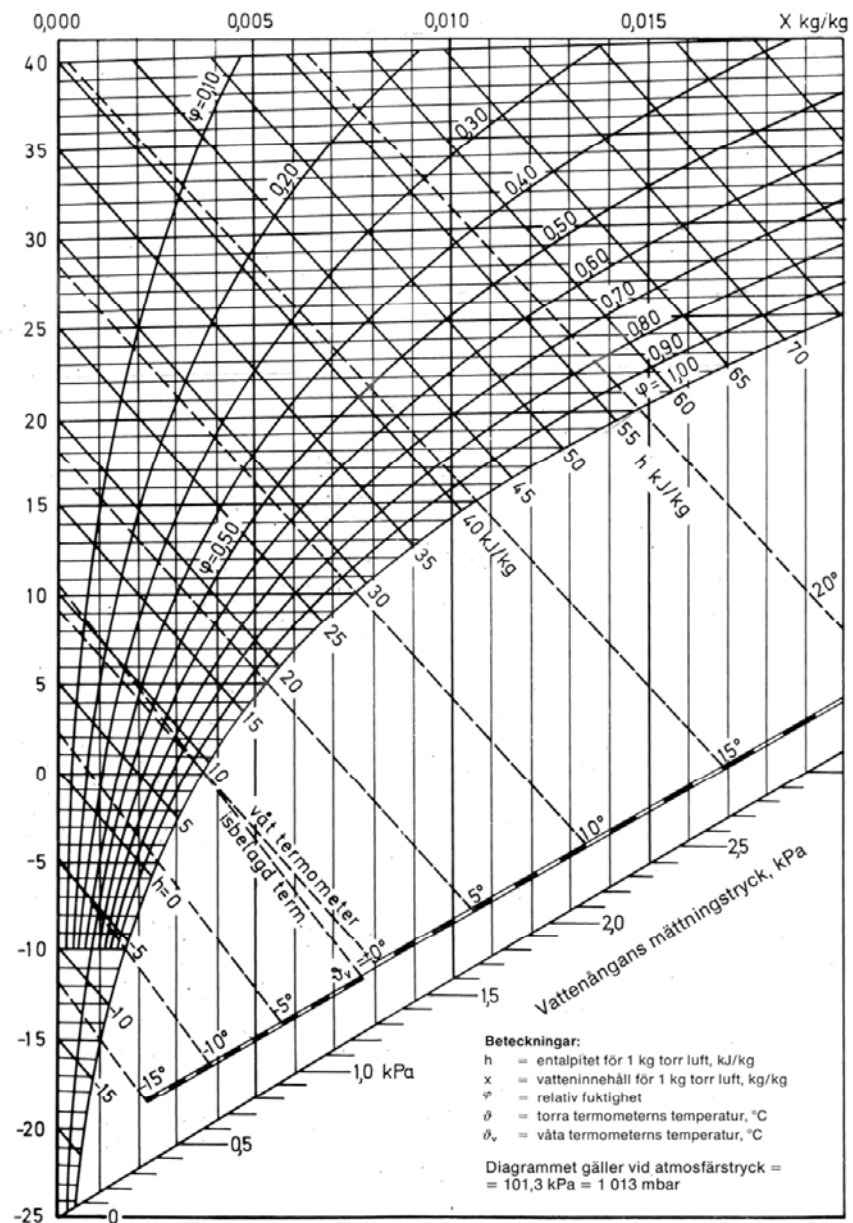
I gasfas transporteras fukt, till exempel genom en vägg, genom diffusion på grund av skillnad i ångtryck. Fukt transporteras också med konvektion, det vill säga luftströmmar, precis som värme.



När luften kommer i kontakt med en yta med en lägre temperatur än luftens bildas kondensdroppar. Hög därför temperaturen långsamt för att undvika kondens. Foto: Elisabeth Ögren.

## Mollierdiagram

En egenhet hos luft är att densiteten ändrar sig kraftigt med temperaturen. Dessutom ändrar sig densiteten även med luftfuktigheten. Detta gör det komplicerat att räkna med ånghalter baserat på volymen luft. I luftbehandlingsteknik räknar du istället med kg luft och vatteninnehållet ( $x$ ) uttrycks i kg vatten per kg torr luft. Om du ventilerar ut 1 kg luft, så kommer det in 1 kg luft. Mollierdiagram är användbara för att på ett enkelt sätt göra enklare beräkningar avseende fuktig luft. Nedan följer en kort beskrivning av diagrammet och hur det kan utnyttjas. Se diagrammet i figur 25 när du följer beskrivningen.



**Figur 25.** Mollierdiagram används för att fastställa den fuktiga luftens egenskaper.



### Diagrammets uppbyggnad

Det finns många axlar och mycket information i diagrammet i figur 25. På den vertikala skalan anges luftens torra temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ), det vill säga den temperatur som du mäter med en vanlig termometer. På den horisontella skalan längst upp anges luftens vatteninnehåll (kg vatten/kg torr luft). De bågformade linjerna med beteckningarna  $\varphi = 0,1$  till  $1,0$  representerar relativ luftfuktighet, där  $\varphi = 0,1$  är 10 procent relativ fuktighet och  $\varphi = 1,0$  är 100 procent relativ fuktighet, det vill säga fuktmättad luft. Sedan finns snedställda linjer med en skala angiven strax under linjen för 100 procent relativ fuktighet. Dessa linjer representerar entalpiteten (energiinnehållet i relation till torr luft med temperaturen  $0^{\circ}\text{C}$ ) och anges som till exempel  $h = 40$  kilojoule per kg. Det finns även sneda linjer som på en skala längre ner anger den våta temperaturen, det vill säga den temperatur du erhåller om maximal mängd vatten avdunstar från till exempel en termometer med en blöt strumpa. Längst ner finns en skala för vattenångans mättningsstryck (kilopascal).

Då luftens temperatur (säg  $20^{\circ}\text{C}$ ) relativa luftfuktighet (säg 60 procent) är känd kan till exempel vatteninnehållet avläsas i diagrammet. Du följer den horisontella linjen som representerar  $20^{\circ}\text{C}$  tills du kommer till den bågformade linjen som representerar 60 procent relativ fuktighet. Sedan följer du den lodräta linjen upp till skalan för vatteninnehåll ( $x$ ) och avläser (cirka  $0,086$  kg vatten per kg torr luft).

### Värmning av luft

Då vi värmer luft ökar temperaturen, men vatteninnehållet (kg vatten per kg torr luft) förblir detsamma. Säg att vi har luft med temperaturen  $20^{\circ}\text{C}$  och 60 procent relativ fuktighet. I exemplet ovan avläste vi då cirka  $0,086$  kg vatten per kg torr luft. Om vi värmer luften till  $25^{\circ}\text{C}$  har vi fortfarande  $0,086$  kg vatten per kg torr luft. Däremot så ändrar sig den relativa luftfuktigheten. Från  $20^{\circ}\text{C}$  och 60 procent relativ fuktighet går vi rakt upp i diagrammet (vatteninnehåll  $0,086$ ) tills vi stöter på den horisontella linjen som representerar  $25^{\circ}\text{C}$ . Här läser vi av den nya relativa luftfuktigheten (cirka 45 procent). Om vi avläser entalpin ( $h$ ) på de sneda linjerna kan vi ta reda på hur mycket energi som behöver tillsättas för värmningen. Från  $20^{\circ}\text{C}$  och 60 procent relativ fuktighet följer vi entalpinlinjen och avläser cirka  $41$  kJ/kg luft. Vi gör likadant för  $25^{\circ}\text{C}$  och 45 procent relativ fuktighet och får då cirka  $47$  kJ/kg. För att värma 1 kg av den aktuella luften behöver vi alltså tillföra cirka  $47-41 = 6$  kJ energi.

### Ångtrycksdeficit

Ångtrycksdeficiten är drivkraften för växternas transpiration. Ångtrycksdeficiten kan beräknas som skillnaden mellan mättnadsångtrycket vid aktuell lufttemperatur ( $p_m$ , luft) och luftens aktuella ångtryck ( $p$ ). Den kan också, ifall du har kännedom om bladmassans temperatur, beräknas som skillnaden mellan bladmassans ångtryck ( $p_m$ , bladmassa = bladmassans mättade ångtryck) och luftens aktuella ångtryck ( $p$ ).

Säg att vi har luft som håller temperaturen 20 °C och har 60 procent relativ fuktighet. För att få reda på luftens aktuella ångtryck följer vi den horisontella linjen som representerar 20 °C tills du kommer till den bågformade linjen som representerar 60 procent relativ fuktighet. Sedan följer du den lodräta linjen rakt ner till skalan för vattenångans mättningsstryck och avläser (cirka 1,4 kilopascal). För att få reda på mättnadsångtrycket vid 20 °C följer du den horisontella linjen som representerar 20 °C tills du kommer till den bågformade linjen som representerar 100 procent relativ fuktighet. Sedan går du rakt ner till skalan för vattenångans mättnadsångtryck och avläser (cirka 2,3 kilopascal). I det aktuella exemplet blir då ångtrycksdeficiten  $2,3 - 1,4 = 0,9$  kilopascal.

Vad händer med ångtrycksdeficiten om du höjer temperaturen? Säg att du har luft som är 20 °C och 60 procent relativ fuktighet och höjer temperaturen till 25 °C. När du höjer temperaturen går du rakt upp i diagrammet ovan och konstaterar att relativ fuktighet då blir cirka 45 procent. Aktuellt ångtryck blir oförändrat (cirka 1,4 kilopascal) då vatteninnehållet är detsamma även efter temperaturhöjningen. Däremot ändrar sig mättnadsångtrycket. För att få reda på mättnadsångtrycket vid 25 °C följer du den horisontella linjen som representerar 25 °C tills du kommer till den bågformade linjen som representerar 100 procent relativ fuktighet. Sedan går du rakt ner till skalan för vattenångans mättnadsångtryck och avläser (cirka 3,1 kilopascal). Ångtrycksdeficiten blir då  $3,1 - 1,4 = 1,7$  kilopascal. Genom att höja temperaturen har du ökat ångtrycksdeficiten kraftigt och därmed också kraftigt ökat drivkraften för transpirationen.

### *Mätning av relativa luftfuktigheten*

Du kan ta reda på den relativa luftfuktigheten med enklare instrument som mäter torr och våt temperatur: slungpsykrometer respektive Assmanpsykrometer. Mollierdiagrammet kan användas för att avläsa relativ fuktighet då den torra och den våta temperaturen är uppmätt. Du följer den horisontella linjen för torr temperatur tills den korsar den sneda linjen för våt temperatur och avläser relativ fuktighet i korsningen.

### *Kylning av luft*

Då luft kyls går du rakt ner i diagrammet. Om du kyler luft som är 20 °C och 60 procent relativ fuktighet till 15 °C går du nedåt i diagrammet (från punkten 20 °C och 60 procent relativ fuktighet) tills du träffar på den horisontella linjen 15 °C och avläser då cirka 80 procent relativ fuktighet. Fortsätter du att kyla hamnar du snart vid linjen som representerar 100 procent relativ fuktighet. Du har då nått daggpunkten, den temperatur vid vilken vattenånga fälls ut (cirka 12 °C i aktuellt exempel). Kyler du ytterligare till lägre temperaturer (till exempel till 5 °C) följer du linjen för

100 procent relativ fuktighet tills den korsar linjen för 5 °C. För luft som är 5 °C och 100 procent relativ fuktighet kan du avläsa att vatteninnehållet är cirka 0,0052 kg vatten per kg torr luft. Från början hade du då 0,0086 kg vatten per kg luft (se ovan) och efter kylningen har du 0,0052. Du har fällt ut  $0,0086 - 0,0052 = 0,0034$  kg vatten per kg torr luft. Precis som vid värmning kan du följa de sneda linjerna för entalpi (före och efter kylning) för att räkna ut hur mycket värmeenergi som frigörs vid kylningen.

#### *Befuktning av luften – evaporativ kyla*

Om du sprutar in små vattendroppar som håller samma temperatur som luften i ett växthus övergår dropparna till vattenånga och vatteninnehållet ökar. För fasövergången från vatten till vattenånga krävs energi och denna energi tas från luften. Energiinnehållet bibehålls, luften kyls och vatteninnehållet ökar. För att se vad som sker följer du linjerna för entalpi. Du har luft med temperaturen 20 °C och 60 procent relativ fuktighet (0,0086 kg vatten per kg torr luft) och tillför vattendroppar så att vatteninnehållet blir 0,010. Du följer linjen för entalpi i diagrammet och avläser cirka 16,5 °C och cirka 85 procent relativ fuktighet.

#### *Blandning av luft*

Mollierdiagrammet kan också användas för att studera blandning av luft.

### **Principerna för fuktreglering**

Du ska tillämpa de teoretiska kunskaperna ovan och gå igenom hur du styr för hög luftfuktighet och varför. Då måste du förstå att transpirationen beror på ånghalten i 2 olika luftsystem – växthusluften och luften innanför växtens klyvöppningar.

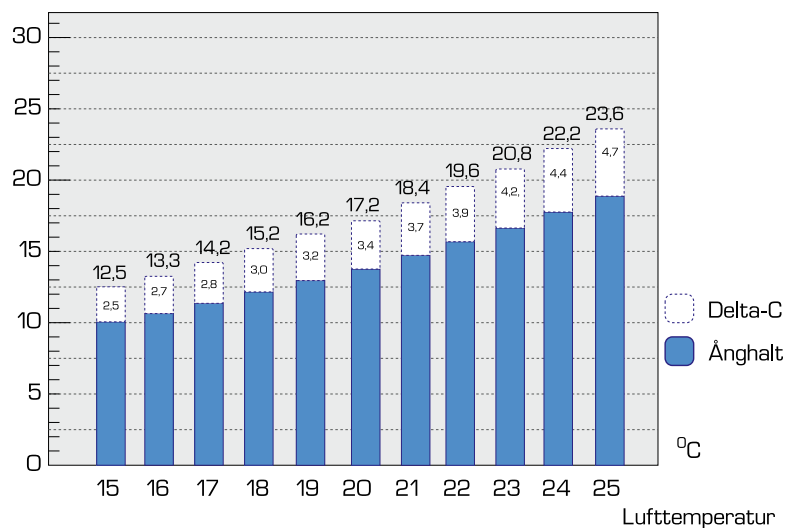
#### *Växtens ånghalt*

Luften innanför klyvöppningarna håller samma temperatur som växten. Dessutom är luften innanför klyvöppningen alltid mättad med vattenånga, annars skulle växten ha brist på vatten och vissna. Om du vet bladtemperaturen kan du med god exakthet räkna ut ångtrycket, eller ånghalten, innanför klyvöppningarna, se figur 26. Bladtemperaturen är lika eller nästan lika med lufttemperaturen eftersom bladen ofta är tunna. Du vet då med tillräckligt god noggrannhet vilket ångtryck som råder innanför klyvöppningarna.



Om du vet bladtemperaturen kan du med god exakthet räkna ut ångtrycket eller ånghalten innanför klyvöppningarna. Foto: Elisabeth Ögren.

Ånghalt  $\text{g}/\text{m}^3$       **Luftens ånghalt och delta-C vid 80 % RF**



**Figur 26.** Diagram som visar luftens ånghalt och delta C vid 80 procent relativ fuktighet. Lagg även märke till att vid högre temperaturer kommer delta C att öka trots att den relativa luftfuktigheten är oförändrad, och därmed även transpirationen (transpirationspotentialen).

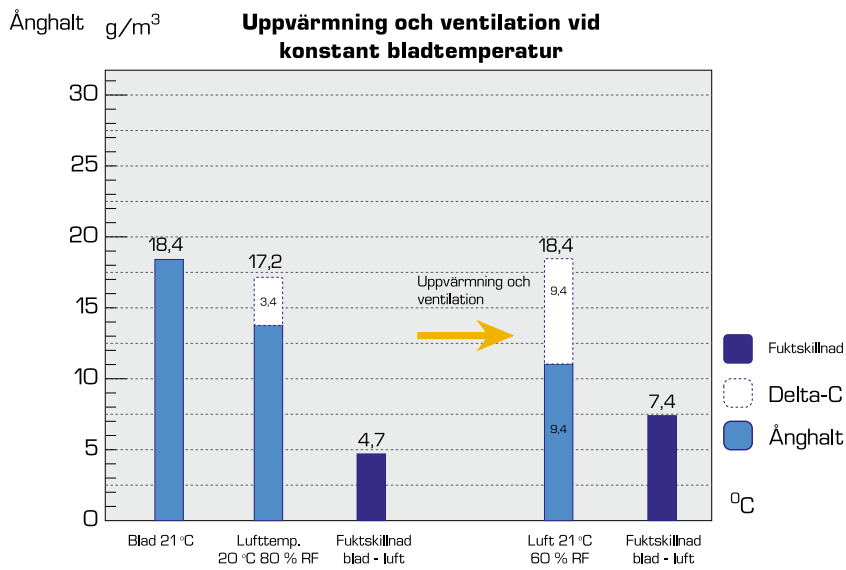
### Luftens ånghalt

Luftens ångtryck, eller ånghalt, kan variera. Normalt inne i en bostad ligger den relativa fuktigheten runt 60 procent. Luften är alltså långt ifrån mättad på vattenånga. Detsamma gäller i växthus, där den relativa luftfuktigheten ligger mellan 70 och 85 procent. Luftens ångtryck är då lägre än det ångtryck som råder innanför klyvöppningarna, under förutsättning att växtens temperatur är lika med luftens.

### Relationen mellan växtens och luftens ånghalt

Drivkraften i växternas transpiration är skillnaden mellan växtens ångtryck och luftens ångtryck. I normala fall är växtens ångtryck alltid högre än luftens, så länge de bådas temperaturer är lika och luften inte är mättad med vattenånga. Ju mindre den här skillnaden är desto lägre blir transpirationen, därför ska luftfuktigheten inte vara för hög. Hög luftfuktighet ökar också risken för svampangrepp.

För att sänka luftens ånghalt, måste du föra bort vatten. Det kan du göra på 2 sätt. Den ena metoden är att du byter ut en del av den fuktiga luften och ersätter den med torrare luft utifrån. Den andra metoden är att du använder en luftavfuktare. Den fungerar så att den tar bort vattnet ur luften utan att byta ut luften. Fördelen är att värmen som finns i luften stannar kvar i växthuset. Metoden är enkel och fungerar väl, men investeringskostnaden är hög. Metoden betalar sig och du kan räkna med en återbetalningstid inom 5 år. Däremot kan en avfuktare aldrig klara av hela avfuktningens behovet, investeringskostnaden skulle då bli orimligt hög, se figur 27.



**Figur 27.** Diagram som visar vad som händer då fuktig luft ersätts med uteluft med lägre ånghalt. Växthusluften med hög ånghalt ventileras ut genom ventilationsluckorna och ersätts med uteluft med lägre ånghalt. Uteluften är kall och måste värmas upp samtidigt. Eftersom vattenmängden i växthusluften minskar kommer både ånghalten och den relativa luftfuktigheten att sjunka. Växtens transpiration ökar.







# Jordbruks verket

Jordbruksverket  
551 82 Jönköping  
Tfn 036-15 50 00 (vx)  
E-post: [jordbruksverket@jordbruksverket.se](mailto:jordbruksverket@jordbruksverket.se)  
[www.jordbruksverket.se](http://www.jordbruksverket.se)