

## System för användning av solenergi i lantbrukets driftsbyggnader

Statsagronom Gösta Gustafsson, Lantbrukets Byggnadsteknik (LBT), SLU, Alnarp

### Bakgrund

Lantbrukets driftsbyggnader karakteriseras av stora byggnadsytor som mottar stora energimängder i form av solinstrålning. De tillämpningar som är enklast och naturligtast för att utnyttja solenergi från dessa byggnadsytor är uppvärmning för torkning och för förvärmning av stallars av ventilationsluft.

### Torkning

1976 startade Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik (LBT) forsknings- och utvecklingsarbete om luftsolångare för uppvärmning av torkluft till spannmålstorkar (Gustafsson & Ekström, 1980). LBT:s utvecklingsarbete inriktades i inledningsskedet på uppvärmning av torkluft till planlagertorkar där 5-6 °C uppvärmning av torkluften fördubblar torkningshastigheten jämfört med ouppvärmad uteluft. Vid så låga temperaturhöjningar är förutsättningarna mycket gynnsamma att uppnå hög verkningsgrad med relativt enkla konstruktioner av solångare. Ett antal modeller av grundkonstruktioner utvecklades och testades av LBT. Arbetet utmynnade i fyra grundkonstruktioner som kunde integreras i tak- och väggkonstruktioner på lantbrukets driftsbyggnader (Henriksson & Gustafsson, 1986a; 1986b). Anvisningar för hur solångarna skulle dimensioneras och konstrueras utarbetades (Gustafsson & Ekström, 1980). Konceptet blev framgångsrikt. Ett stort antal solångare byggdes, speciellt vid ny- eller ombyggnad av driftsbyggnader med planlagertorkar.

I ett senare skede utarbetades också konstruktioner för förvärmning av torkluft till varmluftstorkar (Gustafsson & Jonsson, 1983).

Situationen vad avser torkning av spannmål har därefter förändrats avsevärt. Exempelvis har det byggts ett stort antal lagringssilo med hög lagringshöjd som kräver torkningsmöjlighet. Den höga lagringshöjden innebär att luftmängderna blir begränsade jämfört med planlagertorkar. Torkluften måste därför värmas.

### Stallar

Värmebehov till djurstallar föreligger främst i stallar för fjäderfä och grisar. Slaktkycklingstallar är speciellt energikrävande. Temperaturbehovet vid insättning av daggamla kycklingar kan vara så pass hög som 35 °C. Värmebehov finns därför även sommartid. Energiförbehovet för uppvärmning av luften motsvarar 0.15 – 0.3 liter olja per producerad kyckling (Hörndahl 2007).

Underskott i värmebalans är också vanligt i stallar för smågrisar vilket orsakar låg luftväxling och dålig lufthygien.

Generellt gäller att ökad värmeförsel möjliggör ökad ventilation upp till 21 °C utetemperatur då ventilationsflödet skall ha nått upp till sin högsta nivå. Ökad värmeförsel möjliggör därför förbättrad lufthygien under större delen av året.

Djurstallar har stora takytor som träffas av solinstrålning. Med dagens byggnads- och klimatiseringsteknik utnyttjas dock inte denna energi för stallarnas uppvärmning. Det enklaste sättet att utnyttja solenergi för uppvärmning är att förvärma stallarnas ventilationsluft.

**Kommentar [ChN1]:** Man borde kanske tillägga att Svensk Standard anger +32°C

## Material och metoder

### Spannmålstorkar

Avsikten har varit att inventera temperatur- och värmebehov till dagens spannmålstorkar samt att utreda möjligheterna att ersätta olja.

### Varmluftstorkar

Under de sista 40 åren har det skett en stark övergång från planlagertorkar som arbetar med kallluft till olika typer av torkar som arbetar med varmluft. Det finns idag mer än 10 000 varmluftstorkar. Varmluftstorkar arbetar med lufttemperaturer inom intervallet 40 till 70 °C. Torkningen sker i skikt om 0.20 till 0.35 m. Det är stora skillnader i olika varmluftstorkars funktion och hur de används. En indelningsgrund av olika typer av varmluftstorkar kan vara:

- Satstorkar med stillaliggande spannmål
- Satstorkar där spannmålen cirkulerar
- Kontinuerliga torkar

Luftmängderna ligger i intervallet 2000 till 3000 m<sup>3</sup> per ton och timme. Energiförbrukningen vid kontinuerlig drift är i intervallet 5 – 6 MJ per kg borttorkat vatten vid nedtorkning till 14 % . Vid satstorkning är energiförbrukningen ofta högre, i intervallet 6 - 8 MJ per kg borttorkat vatten.

### Silotorkar

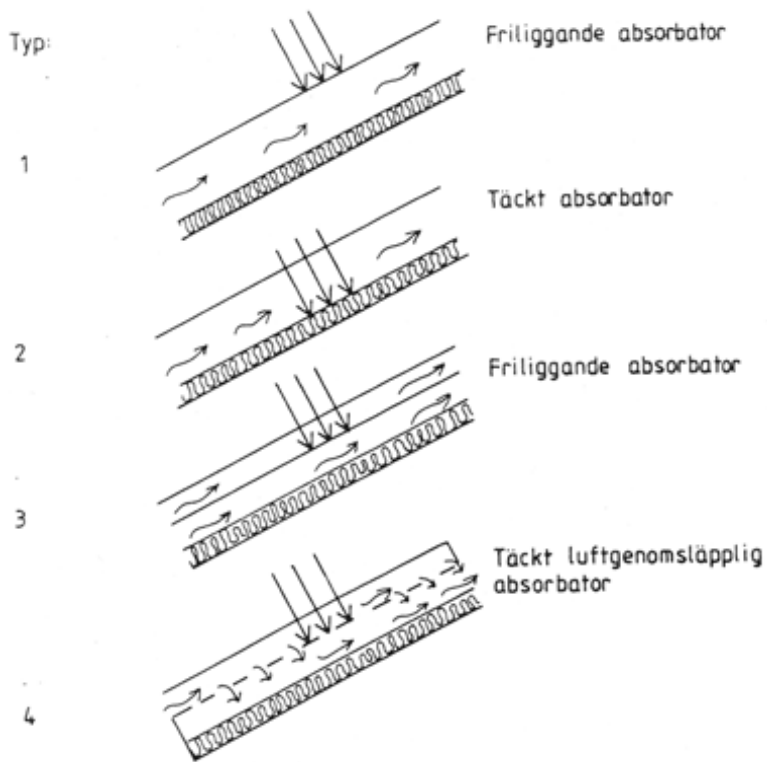
Under senare år har det byggts ett stort antal s.k. silotorkar med omrörare. Spannmålets skiktjocklek kan vara så hög som 7 m. Den höga skiktjockleken begränsar möjligheten att uppnå tillräckligt höga torkluftmängder så att nedtorkning kan ske till lagringsduglig vattenhalt med uteluft. Torkluften värms därför, upp till 50 °C. Torkluftmängderna är så låga som 40 – 60 m<sup>3</sup> per ton och timme, dvs ca 2 % av luftmängderna vid varmluftstorkning. Torkning pågår därför under flera dygn. För att jämna ut vattenhalterna i silona rörs spannmålen om med skruvar under inläggningen och torkningen samt ofta en vecka efter uppnådd slutvattenhalt.

### Djurstallar

Utvärderingarna har begränsats till svin- och fjäderfästallar eftersom man här har störst behov av tillskottsvärme.

### Grundtyper av luftsolångare

En solångares princip är att solstrålning absorberas av en mörk yta, en absorbatör, varvid den värms upp. Om en luftström passerar förbi absorbatören värms luften upp. Beroende på hur absorbatören är placerad i solångaren kan man särskilja fyra olika grundtyper, figur 1.



Figur 1. Grundtyper av luftsolångare.

Typ 1 har en absorbator utan täckskena och är fritt exponerad mot omgivningen. En luftström får passera på undersidan. I och med att absorbatoren är i kontakt med uteluften kommer stora värmemängder att förloras till omgivningen. Hur mycket värme som fångas upp av luftströmmen på undersidan beror i hög grad av luftens hastighet. Ju högre hastighet desto högre värmeövergång från absorbatoren till luften. En viss del förloras också genom den bakre plattan. Hur stor del som förloras bakåt beror av den bakre plattans isoleringsförmåga.

Typ 2 har en absorbator som är täckt av ett ljusgenomsläppligt material. Absorbatorn är här placerad direkt på solångarens bakre platta som även utgör isolering bakåt. Täckningsmaterialet över absorbatoren minskar värmeförluster från absorbatoren till omgivningen. Det ljusgenomsläppliga materialet skall ha hög ljusgenomsläpplighet för synligt ljus men låg genomsläpplighet för den långvågiga värmestrålningen som utsänds från absorbatoren. Eftersom förlusterna på grund av värmestrålning från absorbatoren minskar stiger temperaturen i solångaren och man har då uppnått den s.k. "drivhuseffekten". Mellanrummet mellan täckningsmaterialet utgör en luftkanal. Även här har lufthastigheten stor betydelse för effektiviteten, speciellt om den bakre plattan är dåligt isolerad. En hög lufthastighet minskar absorbatortemperaturen och därmed värmeförlusterna genom den bakre plattan.

Typ 3 har en friliggande absorbator som är täckt med ett ljusgenomsläppligt material. Absorbatorn är placerad mitt i luftkanalen varvid temperaturen på den bakre plattan kan hållas lägre än i den föregående solångaren varigenom värmeförlusterna genom den bakre plattan

minskar. Eftersom luften får passera på bägge sidor av absorbatoren fördubblas dessutom den värmeavgivande ytan till luften.

Typ 4 har också en friliggande absorlator som är täckt med ljusgenomsläppligt material. Absorbatorn är luftgenomsläpplig så att luft sugas från den övre kanalen ned genom absorbatoren till en undre kanal.

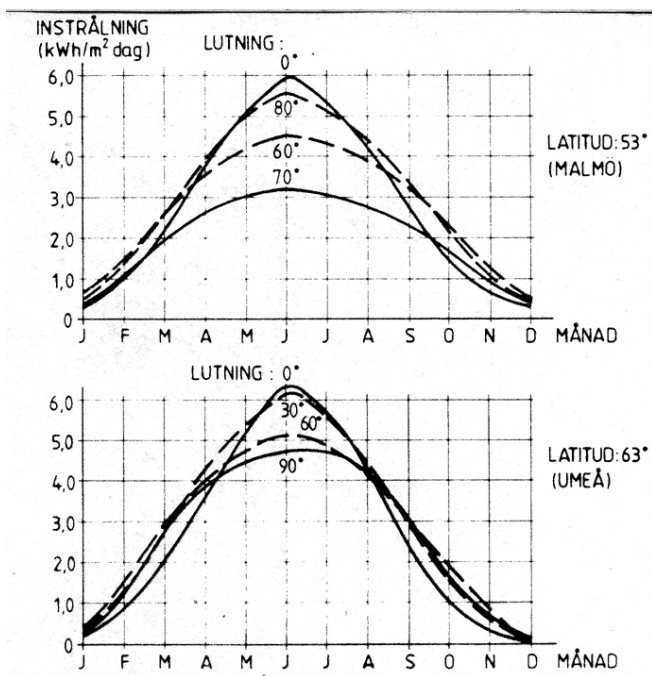
#### Täckningsmaterial

För typerna 2 – 4 används normalt korrugerade skivor av polyesterplats. Skivorna har en ljusgenomsläpplighet av ca 80 % vilket är något lägre än för glas (90 %). Konstruktionsmässigt är materialet jämförbart med plåtmaterial.

### Resultat

#### Solinstrålning

På årsbasis varierar solinstrålningen mellan 900 - 1000 kWh per m<sup>2</sup> horisontell yta och år i Sverige. Solinstrålningen är relativt jämnt fördelad över landet. Hur solinstrålningen varierar på två orter mellan olika månader visas i figur 2. Det framgår att solinstrålningen är hög under perioden för spannmålstorkning i augusti- september, i medeltal 3- 4 kWh/m<sup>2</sup> och dag.



Figur 2. Medelsolinstrålning i Malmö och Umeå.

### Djurstallars värmebehov

I djurstallar står djuren själva för huvudelen av uppvärmningen. Undantag är slaktkycklingstallar och stallar med smågrisar.

En grundprincip vid uppvärmning av djurstallar med inköpt energi är att värmeförsel bara skall kunna ske då stallarnas ventilationsflöde reglerats ned till sin lägsta nivå. Detta inträffar då stallarna inte längre är självförsörjande på värme från djuren. Ifall uppvärmning sker med solenergi är den gratis (kostnader gäller bara konstruktionen). Det kan därför vara intressant att tillföra solvärme även då stallarna är självförsörjande på värme från djuren själva. Orsaken är att tillförsel av gratis solvärme möjliggör att ventileras mera vilket kan sänka halterna av gödselgaser och luktämnen i stallarna.

Vid undersökningar vid LBT (Hörndahl 2007) i enhetsboxsystem för grisar användes 689 kWh värme per år för en sugga i produktion.

Mätningar i ett slaktkycklingsstall (Hörndahl 2007) har visat att det i medeltal åtgår 0.76 kWh värme för att producera en slaktkyckling.

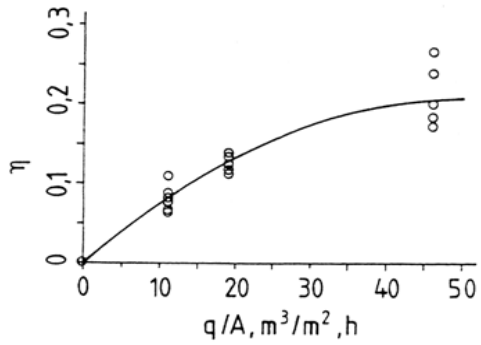
### Effektivitet hos olika typer av luftsolångare

Effektiviteten hos en solångare kan karakteriseras med en verkningsgrad  $\eta$  som anger hur stor andel av solinstrålningen som träffar solångaren som omvandlas till värme i luften som passerar igenom den.

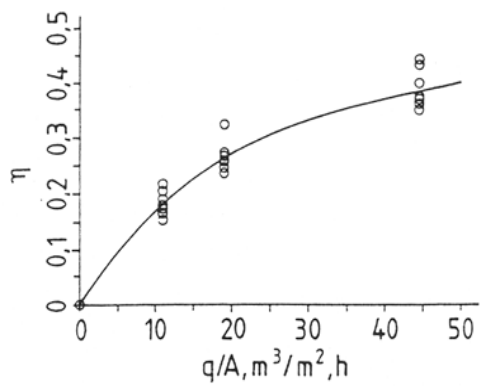
Generellt gäller att luftsolångares luftflöde  $q$  i förhållande till den totala arean  $A$  påverkar en solångares verkningsgrad. Detta förhållande kallas specifikt luftflöde  $q/A$ . En ökning av det specifika luftflödet innebär lägre temperaturhöjning på luften igenom en solångare. Värmeförlusterna från konstruktionen minskar därför vilket medför ökad verkningsgrad.

En annan faktor som påverkar verkningsgraden är lufthastigheten i luftkanalerna. En ökad lufthastighet ökar värmeöverföringen från den absorberande ytan och ökar därmed verkningsgraden. Samtidigt ökar dock luftmotståndet (tryckfallet) igenom konstruktionen vilket kostar fläktarbete. Tryckfallet igenom konstruktionen bör inte vara högre än 100 Pa. Detta innebär att lufthastigheten inte bör vara högre än 3 - 5 m/s.

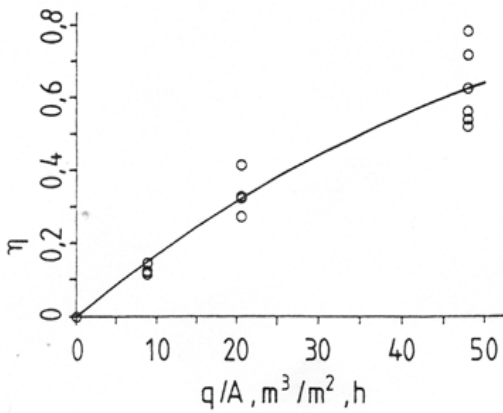
Hur verkningsgraden hos de fyra grundtyperna varierar med specifika luftflöden ( $q/A$ ) genom konstruktionerna visas i figurerna 3 – 6.



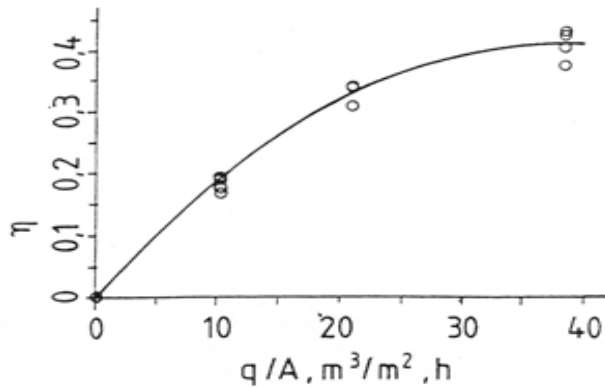
Figur 3. Verkningsgrad hos solfångare av typ 1 vid olika specifika luftflöden  $q/A$ .



Figur 4. Verkningsgrad hos solfångare av typ 2 vid olika specifika luftflöden  $q/A$ .



Figur 5. Verkningsgrad hos solfångare av typ 3 vid olika specifika luftflöden  $q/A$ .



Figur 6. Verkningsgrad hos solfångare av typ 4 vid olika specifika luftflöden  $q/A$ .

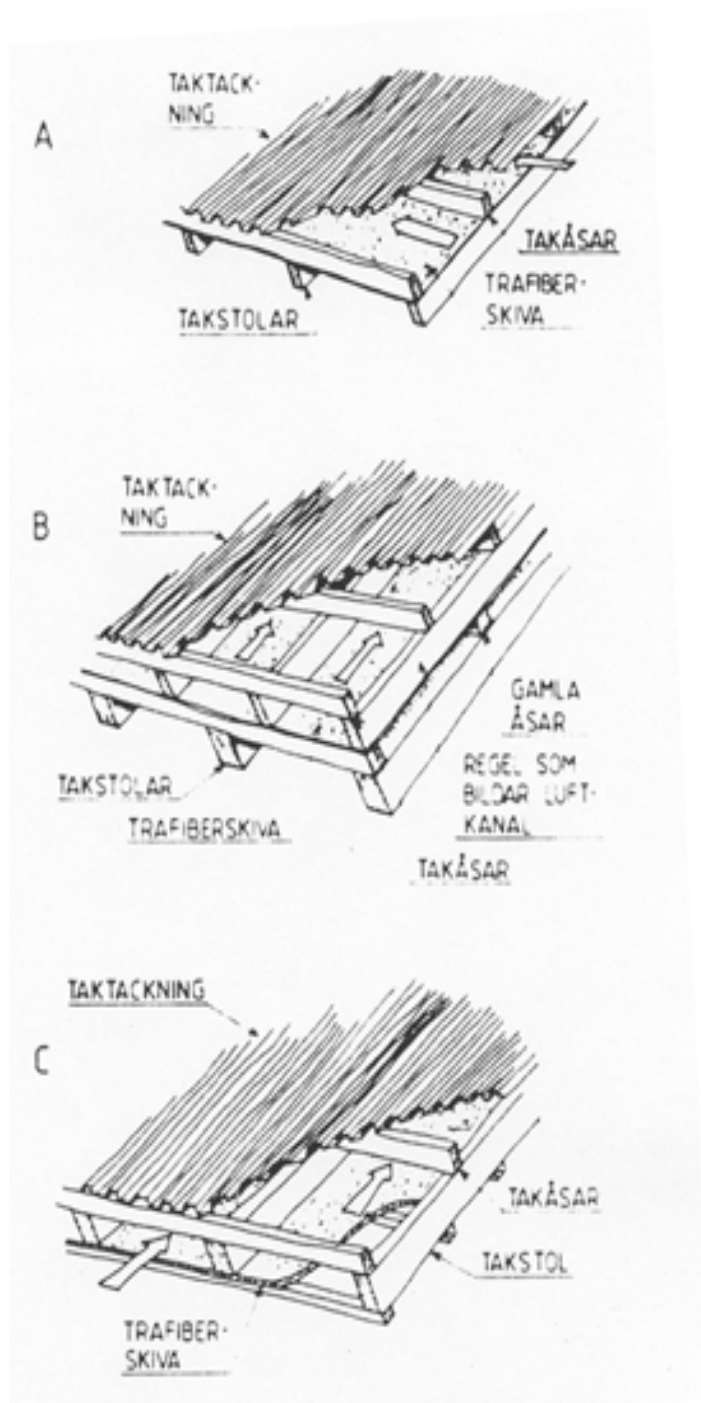
#### Soluppvärmning i ventilerade vindsutrymmen

I stallar med vindsutrymmen tas ofta stallarnas tilluft från vindsutrymmet. Luften i vindsutrymmet får dagtid viss uppvärmning på grund av solbestrålning. Mätningar (Gustafsson 1988) har visat att denna uppvärmning motsvarar en solfångareverkningsgrad av 15 % för ett mörkt plåttak och 11 % för ett mörkt tak med skivor av fibercement. Trots relativt låg verkningsgrad finns det möjligheter att erhålla en billig förvärmning av luft som tas från vindsutrymmen.

#### Integrering i konstruktioner

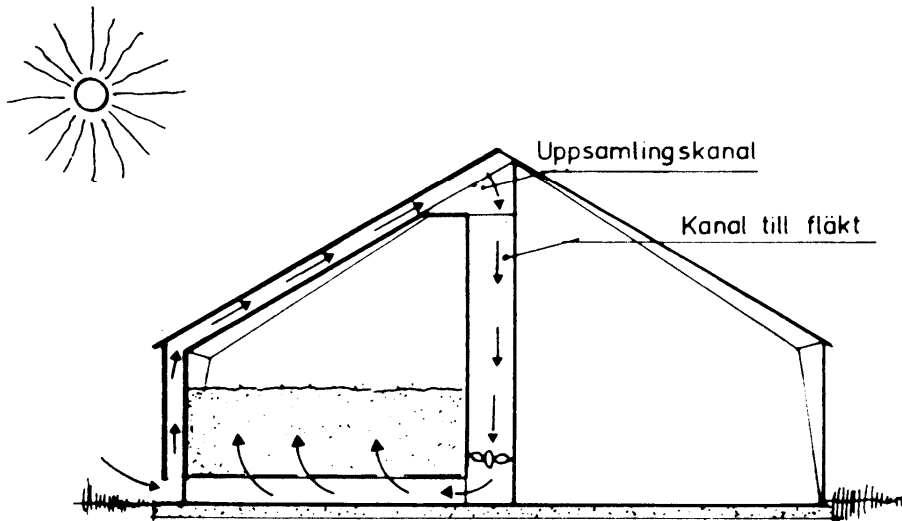
För samtliga grundtyper av luftsolfångare gäller att luftkanaler bör byggas in i en konstruktion (byggnad eller silo). I figur 7 visas tre exempel på hur luftkanaler kan integreras i takkonstruktioner. Inkommande luft leds genom kanaler i taket till en uppsamlingskanal och sedan till en luftkanal till en torks luftintag. Ett exempel visas i figur 8.

Ifall ett stalls ventilationsluft skall förvärmas måste luften ledas till tilluftskanaler i stallet.



Figur 7. Olika sätt att bygga in solfångares luftkanaler i takkonstruktioner.





Figur 8. Tak- och väggsolfångare med uppsamlingskanal i nocken.

## Diskussion

### Torkning

Hur luftsolångare ställer sig ekonomiskt gentemot andra energikällor och andra värmeanläggningar vid spannmålstorkning beror av följande faktorer:

- Investeringskostnaden för solångaren.
- Solångarens avgivna värme under torkningsperioden.
- Solångarens livslängd.
- Den kalkylränta som solångaren skall betala.
- Inflationen och framtida energiprisökningar.
- Priset för andra energislag t.ex. olja eller biobränslen.
- Huruvida solångaren ersätter en anläggningskostnad för en annan typ av värmeanläggning.

Även med den enklaste typen av konstruktion (typ 1) bör en verkningsgrad av åtminstone 50 % kunna uppnås. Energiupptagningen under torkningsperioden augusti – september skulle då i medeltal uppgå till 1.5 -2 kWh per m<sup>2</sup> solångare yta och dygn. Vid ett oljepris av 12 000 kr/m<sup>3</sup> och 80 % verkningsgrad hos en oljeeldad panna motsvarar detta ett värde av 2.3 – 3 kr per m<sup>2</sup> solångaryta och dygn. Detta värmeupptag skall betala solångarens investeringskostnad.

## Djurstallar

Det är främst stallar för slaktkycklingar och grisar det kan vara intressant att förvärma ventilationsluft med solenergi. Ett enkelt sätt att ta tillvara solenergi är att i stallar med vindsutrymmen ta stallarnas tilluft från vindsutrymmen.

### Relevanta publikationer från LBT

- Gustafsson, G. & Ekström, N. 1980. Solfångare för torkning. Sveriges Lantbruksuniversitet. Konsulentavdelningen. Aktuelltmeddelande nr 282. Uppsala.
- Gustafsson, G. & Jonsson, P. 1983. Hot air drying with incremental heat from solar collectors. In: Energy Technology, No 1: 83, pp 11- 13. Stockholm.
- Gustafsson, G. 1988. Luft- och värmebalanser i djurstallar. Dissertation. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst. för lantbrukets byggnadsteknik. Rapport nr 59. Lund.
- Gustafsson, G., Wigström, P. & Jilar, T 1996. Luftkylda solfångare för integrering i byggnadsskal. Sveriges Lantbruksuniversitet. Inst. för jordbrukets biosystem och teknologi. Rapport nr 108. Lund.
- Henriksson, R. & Gustafsson, G. 1986a. Use of solar collectors for drying agricultural crops and for heating farm buildings. In: Energy in Agriculture, pp 139 - 150. Elsevier Science Publishers. Amsterdam.
- Henriksson, R. & Gustafsson, G. 1986b. Practical applications of using solar collectors for drying purposes in agriculture. In: Drying Technology No 4: 86, pp 513 - 533. Marcel Dekker Inc.
- Hörndahl, T. 2007. Energiförbrukning i jordbrukets driftsbyggnader. Sveriges Lantbruksuniversitet, Jordbrukets biosystem och teknologi. Rapport 145. Alnarp.
- Nilsson, C. 1979. Fövärmning av ventilationsluft till djurstallar med hjälp av solfångare. Sveriges lantbruksuniversitet, Inst för lantbrukets byggnadsteknik. Spec medd nr 93. Lund

**Kommentar [ChN2]:** Denna publ innehåller också simuleringar av energiförbrukning i smågris- och fjäderfästallar

### Övrig resultatförmedling till näringen

Publicering av projektets resultat kommer att ske i LBT:s elektroniska rapportserie som är tillgänglig via LBT:s hemsida.

Populärvetenskaplig resultatförmedling kommer också att ske genom:

- \* Faktablad kommer att läggas ut elektroniskt både på LBT:s och SLF:s hemsidor
- \* LBT:s rapportserie
- \* Förmedling till tidningarna Lantmannen, Land, ATL, Fjäderfä, Gris, Svinskötsel m.m.
- \* Föredrag för rådgivare vid kurser och konferenser inom näringen
- \* Redovisning till byggnadsrådgivare vid hushållningssällskap och länsstyrelser
- \* Presentationer vid jordbrukskonferensen i Uppsala, Alnarpsdagen samt Borgebydagarna
- \* Publicering i SLF:s och SLU:s faktablad, intresseorganisationers tidskrifter
- \* Medverkan vid utställningarna Elmia och Mila
- \* Undervisning för agronomer och lantmästare.