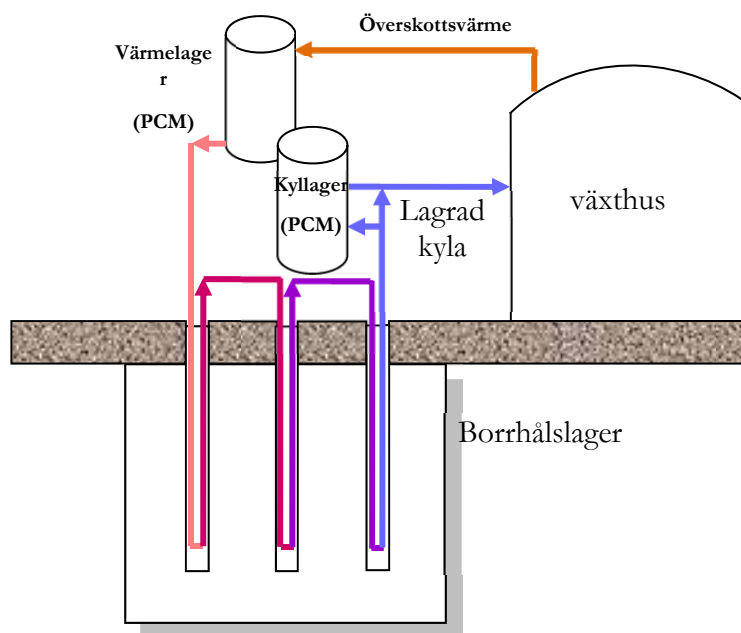


Energibesparing i växthus genom integrerade säsongslager för termisk energi

1 Bakgrund

Uthållig växthusodling kommer sannolikt att få allt större betydelse i framtiden, inte minst för att konsumenter världen över förväntar sig ökad tillgänglighet av grönsaker, frukt, bär och prydnadsväxter. Behovet av uthållig växthusodling kan också tänkas öka i takt med att befolkning, och behov av mat ökar. Med konceptet ”ett slutet växthus” finns en möjlighet att växthus – stora solfångare, om än inte så effektiva – kan bli nettoförsörjare av värme. Särskilt intressant är detta koncept för vårt nordiska klimat.

Det *slutna växthuset* som koncept bygger på att det är teoretiskt möjligt att värma ett växthus med enbart solvärme – växthuset, som solfångare, tar in ett överskott av värme sommartid. För närvarande ventileras denna värme bort, och i stället krävs externt bränsle (naturgas, olja, biobränsle) under vinterhalvåret och till en betydande kostnad (mer än 20% av produkternas kostnad) för verksamheten. Genom att sluta växthuset och ta till vara överskottsvärmen sommartid, lagra den över säsong i s.k. undermarklager (borrhål eller akviferer), kan det externa bränslebehovet elimineras. Ett problem med borrhålslager är att de är tröga vad gäller energieffekt varför man kan behöva jobba med ett energisystem som utnyttjar s.k. korttidslager (se principskiss nedan).



Figur 1. Principskiss för säsongslagring av värme i växthussektorn.

Via integrerade energilager i växthus har ett antal internationella projekt, inom ramen för IEA:s teknikgrupp om energilagring, presenterat förstudier på konceptet som visar på upp till 30% besparing av extern energitillförsel, 40-50% vattenbesparing, samt av väsentlig betydelse omkring

20% ökning i produktivitet^{1, 2, 3, 4}. Ett väl designat slutet växthus skulle därmed ha stor potential att leda till kostnads- och energieffektivisering inom industrin.

1.1 Projekt mål

Projektets mål har varit att:

- kartlägga den svenska kommersiella växthusnäringen med avseende på energiförbrukning och utsläpp av fossilt baserad koldioxid,
- undersöka några typverksamheter inom svensk växthusnäring med avseende på strategier för kostnads- och energieffektivisering
- att, baserat på ett verkligt kommersiellt växthus, undersöka hur ett komplett system för ett slutet växthus bör designas för nordiskt klimat.

1.2 Material och metoder

Arbetet har utförts i nära samarbete med Slottsträdgården Ulriksdal, från vilket verkliga mätvärden rörande klimatet inne i växthusen samt energiförbrukning har erhållits. Projektet har även följts av en referensgrupp bestående av representanter från Svegro, Gustafslunds handelsträdgård och SLU Alnarp.

Som ett första steg har kunskapsläget vad gäller teknik för slutet växthus undersökts via litteraturstudier, samt diskussion med internationella experter och besök i Nederländerna. Kunskapsläget har först beskrivits i en teknisk rapport, men även sänts in för publikation i en internationell tidsskrift *Journal of Renewable & Sustainable Energy Reviews*.

Parallellt med detta har även en undersökning av Sveriges växthusnäring och energiförbrukning utförts, genom litteraturstudie, bearbetning av statistik, och enkätundersökning.

En särskild fallstudie har utförts för att ta fram ny kunskap om design av ett slutet växthus genom integrering av värmelager. Denna fallstudie är baserad på Slottsträdgården Ulriksdal där växthusen är väl utrustade med mätinstrument för övervakning av inomhusklimat och kontroll av luftkonditionering, samt även uteklimatet (temperatur och solinstrålning). Värme- och kylbehov timme för timme har beräknats genom detta befintliga system för datainsamling. Ett verktyg för teoretisk modellering av energisystem, TRNSYS (Transient System Simulation programmet), har därefter använts för att tekniskt bedöma olika systemkonfigurationer samt inverkan av flera designparametrar. En preliminär ekonomisk potentialbedömning har också utförts baserad på teoretiska beräkningar som utgår från fallet Slottsträdgården.

¹ Snijder, A., 2007, "TES Applications in Greenhouses in the Netherlands", presented at the IEA/ECES kick-off workshop on Thermal Energy Storage in Closed Greenhouses, November 26, 2007, Ankara, Turkey.

² Cruickshanks, F., 2007, "Thermal Energy Storage for Greenhouse Applications – a Canadian Perspective", presented at the IEA/ECES kick-off workshop on Thermal Energy Storage in Closed Greenhouses, November 26, 2007, Ankara, Turkey.

³ Hoes, H., Goen, K., and Wittemans, L., 2007, "The Geskas Project, Closed Greenhouse as Energy Source and Optimal Growing Environment", presented at the IEA/ECES kick-off workshop on Thermal Energy Storage in Closed Greenhouses, November 26, 2007, Ankara, Turkey.

⁴ Turgut, B., Evliya, H., Abak, K., "Aquifer Thermal Energy Storage Application in Greenhouse Climatization"; presented at the IEA/ECES kick-off workshop on Thermal Energy Storage in Closed Greenhouses, November 26, 2007, Ankara, Turkey.

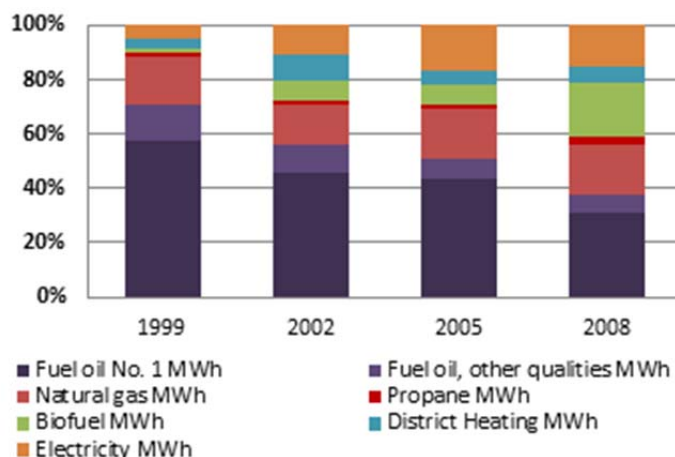
2 Resultat

I detta avsnitt ges en kort summering av nyckelresultat. För mer detaljer hänvisas till den licentiatavhandling som publicerats inom ramen för projektet, se avsnitt

2.1 Svensk växthusnäring – en summering

I Sverige upptar växthus för kommersiell odling av blommor och grönsaker en yta på cirka 300 hektar. Den årliga energiförbrukningen för uppvärmning av växthus är ca 55 000 m³ fossil olja som resulterar i ett utsläpp av mer än 150 000 ton koldioxid. Extern energitillförsel, t ex olja, står för mellan 20 och 50% av produktens värde beroende på läge och produkter i växthuset. En minskning av det externa energibehovet i växthus kommer därför inte bara att leda till minskat koldioxidutsläpp, utan även till förbättrad konkurrenskraft för svenska odlare jämfört med andra producenter i Europa och runt om i världen. Med ökad konkurrenskraft kan mer grönsaker och blommor produceras i Sverige nära konsumenterna så att CO₂-utsläppen i samband med långa transporter av grönsaker och blommor kan minska.

Statistik över energiförbrukning i svensk växthusnäring kan ge en bra bild av energimixen, vilket här har sammanställts grafiskt, figur 2.



Figur 2. Energimix, tillförsel till kommersiella växthus i Sverige (baserad på statistik från SCB).

Figuren visar att andelen olja har minskat under en tioårsperiod, och ersatts av framförallt biobränsle. Så länge externt bränsle krävs erhålls endast en marginell kostnadsänkning.

Växthusnäring är väl beskriven i litteraturen, t ex Christensen och Larsen (2010)⁵, men en förbättrad bild av läget fås vid direkt kontakt med enskilda odlare. Därför har det i detta projekt utförts en enkätundersökning med fem svenska odlare, och enkätsvaren följdes upp med personlig intervju vid behov. Syftet med denna enkät var att få insikt i de designkriterier för effektiv odling. Enkäten visar att olja fortfarande dominerar som bränsle, men att elförbrukningen också är betydande för belysning och då värmepump installeras. Avfuktning och ”kyla” hanteras främst genom ventilation. Baserat på denna information ser vi att potentialen till förbättringar vad gäller förbrukning av externt tillförda resurser är stor om denna typ av växthus ”sluts” och sommarens överskottsvärme kan användas vintertid.

⁵ Christensen I. & Larsson G. (2010), Energianvändning i Trädgårdsnäringen. Grön Kompetens AB, Alnarp, Sverige

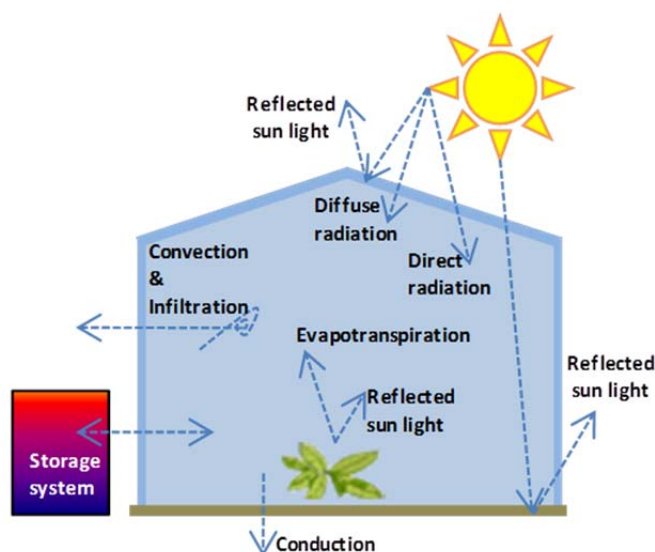
Fördelarna med det slutna växthuset presenterades därmed (minskad energianvändning (extern), vattenförbrukning etc) och odlarna fick ranka de fördelar som skulle betyda mest för dem för att eventuellt prova konceptet (ranka 1-5, 1 är den viktigaste). Resultaten visar entydigt att den viktigaste fördelen skulle vara det minskade behovet av extern energitillförsel, tabell 1.

Tabell 1 Rankning av påstådda fördelar med ett slutet växthus

Kriterium	Svegro	Slottsträdgården Ulriksdal	Gustafslunds Handelsträdgården	Rydells odling	Alskog
Minskad vattenförbrukning	3	4	4	3	4
Ökad produktion	2	3	2	2	3
Förbättrad kontroll av inomhusklimat	4	2	3	4	2
Minskad (extern) energianvändning	1	1	1	1	1

2.2 Teoretisk energianalys av ett kommersiellt växthus

I projektet har litteraturen studerats noggrant för att utvärdera teoretiska simuleringsmodeller och verktyg som med tillräcklig noggrannhet kan användas för ”timme-för-timme”-analys av energianvändningen i ett växthus. Med utgångspunkt från denna litteratursammanställning har en simuleringsmodell i verktyget TRNSYS tagits fram – en modell som tar hänsyn till de viktigaste mekanismerna för värmetransport till/från ett växthus, se figur 3 nedan. Till skillnad från ”enklare” modeller har växternas termiska massa och deras inverkan på temperaturen via transpiration inkluderats i modellen.

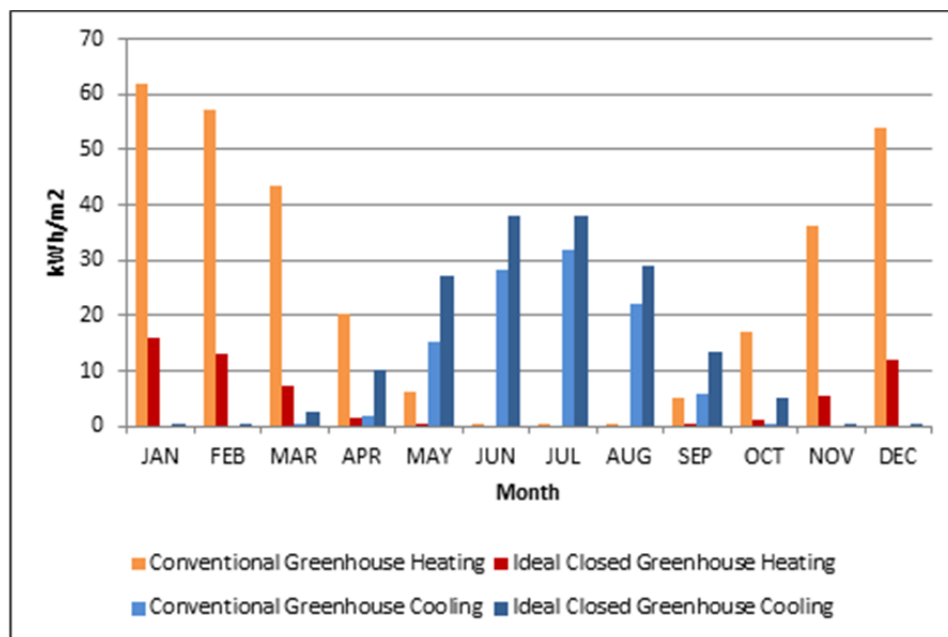


Figur 3. Mekanismer för värmeutbyte mellan ett växthus och dess omgivning: solinstrålning, reflekterad strålning, konvektion, konduktion och förångning i samband med växternas transpiration.

Med hjälp av modellen har konventionellt växthus med ventilation, ett helt slutet växthus, samt olika konfigurationer av delvis slutna växthus undersökts med avseende på årligt värme- och kylbehov. Resultaten presenteras i mer detalj nedan

2.2.1 Jämförelse av värme-/kylbehov mellan konventionellt och idealt slutet växthus

Figur 4 visar en jämförelse av resultat för värme- och kylbehov per månad, för dels konventionell, öppen utformning av fallstudien Slottsträdgården Ulriksdal, och dels en idealt slutna utformning av växthuset.

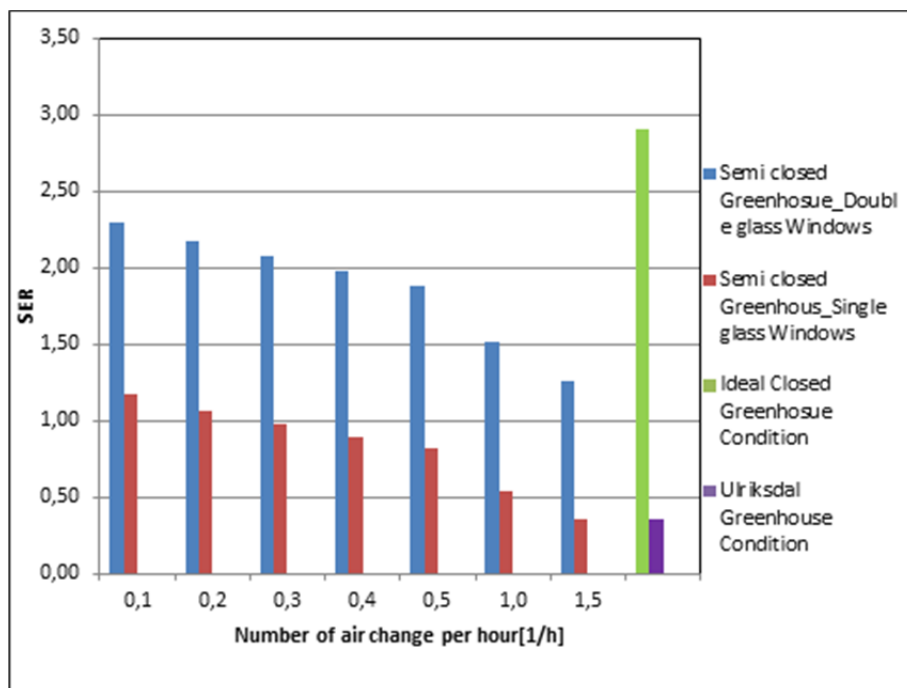


Figur 4. Månatligt värme-/kylbehov för konventionellt växthus (orange/ljusblå) och idealt slutet växthus (rött/mörkeblå).

Här är det tydligt att genom att sluta växthuset minskar värmebehovet vintertid, medan kylbehovet (överskottet) sommartid ökar. Resultaten visar att för det slutna växthuset är värmeöverskottet sommartid ca tre gånger så stort som växthuset hela värmebehov över året. För att använda överskottet krävs alltså en säsongslagring, och gärna kompletterad med ett dygnslager för lastutjämning och lagring från dag till natt, vår och höst.

2.2.2 Analys av ett delvis slutet växthus

Under projektets första fas med kunskapssammanställning identifierades en kritisk parameter för klimativering av växthus i kombination med energieffektivisering till möjligheten för god kontroll av fuktigheten i växthuset. Ventilation är en bra metod för avfuktning, varför delvis slutna växthus konfigurationer också har undersökts och jämförts med ett 100% idealt slutet växthus. För ändamålet identifierades en faktor ”Surplus Energy Ratio” (SER) som kvoten mellan en viss designs värmeöverskott från sommarhalvåret och vinterhalvårets värmebehov. För det idealt slutna växthuset är SER tre, vilket innebär att överskottet är mer än tillräckligt för värmebehovet. Därmed kan man tänka sig att tillåta en viss kontrollerad ventilation för avfuktning och ändå ha ett värmeöverskott från sommaren till att värma vintertid. Resultaten visas i figur 5.



Figur 5. SER-fraction (Surplus Energy Ratio) för delvis slutet växthus.

Genom att i modellen införa ett kontrollerat luftombyte på omkring 0,1 per timme sjunker SER från tre till närmare ett. På årsbasis finns dock ändå tillräckligt med värme att täcka växthuset eget behov, och det är troligt att klimatiseringen underlättas genom att tillåta en del kontrollerad ventilation.

2.3 Ekonomisk potentialbedömning av slutning av växthus

Fallstudien Slottsträdgården Ulriksdal har slutligen, tillsammans med resultaten från energianalysen summerad ovan, använts för att bedöma den ekonomiska potentialen hos konceptet presenterat i figur 1. Här har antagits att växthuset sluts och att överskottsvärme sommartid lagras över säsong i ett s.k. undermarkslager baserat på borrhål. Utöver ett säsongslager kräver lösningen en rad andra investeringar där de viktigaste är s.k. FiWiHex-värmeväxlare för att med låg temperaturskillnad (drivande kraft för värmeöverföring) ”skörda” och leverera värme i det slutna växthuset; samt värmepump för att säkerställa tillräckligt hög temperatur tillförd till växthuset.

Tabell 2 Summering av beräknad ekonomisk potential av ett slutet växthus

Designlast	Investeringskostnad, värmepump {k€/ha}	El värmepump {k€/ha}	Antal borrhål	Kostnad borrhål {k€/ha}	Total investeringskostnad {k€/ha}	Total årlig kostnad {k€/ha}	PBP {år}
Bas	340	7.6	64	346	846.0	44.0	4
Topp	681	15.2	128	691	1532.0	40.0	6

Återbetalningstiden, PBP⁶, som erhålls från denna första uppskattning av den ekonomiska blir mellan 4 och 6 år beroende på om borrhållslagret designas för topp- eller baslast (mest praktiskt). Mer detaljerade beräkningar behövs för verklig design, inklusive optimering av förhållandena.

3 Diskussion

Projektet har fastställt kunskapsläget vad gäller konceptet *slutet växthus*, dvs att utnyttja växthus som solfångare (om än solfångare med låg effektivitet). En rad fördelar med konceptet har identifierats från tidigare studier: besparing externt bränslebehov, minskad vattenförbrukning och förbrukning av pesticider, samt ökad produktion (till följd av bättre kontroll av klimatet i ett slutet växthus). Här har en undersökning bland svenska odlare visat att den viktigaste ”fördelen” för att dessa skulle vara intresserad av ett försöksprojekt är potentialen för energieffektivisering. Tillsammans med detta, samt en genomgång av statistik för svensk växthusnäring, blir vår uppfattning att konceptet har stor potential att minska behovet av externt bränsle vilket dels sparar CO₂-emissioner (om olja ersätts) och dels kan minska driftkostnaden för växthus väsentligt. Konkurrenskraften för svenska odlare kan förbättras och från ett vidare perspektiv kan konkurrenskraftiga, ”närodlade” grödor framställa växthusnäringen som ett naturligt inslag i ett uthålligt samhälle.

En teoretisk energianalys, baserad på ett verkligt fall Slottsträdgården Ulriksdal, visar att ett idealt slutet växthus tar upp ett värmeöverskott sommartid som är ca tre (3) gånger värmebehovet under vinterhalvåret. För att kunna ta till vara denna värme krävs effektiv integrering av ett säsongslager. Dock har den inledande kunskapssammanställningen visat att en utmaning i slutna växthus är hur fuktigheten i växthuset kan regleras utan den ventilation (öppna fönster) som vanligen används. Därför har delvis slutna växthuskoncept också undersökts i energianalysen. Kontrollerad ventilation (ej öppna fönster) motsvarande 0,2 luftombyten per timme innebär att det fortfarande uppstår ett värmeöverskott sommartid som kan täcka hela växthusets värmebehov. Vid ytterligare behov av t ex avfuktning måste andra metoder än ventilation användas. Dessa har inte vidare berörts här, men är beskrivna i kunskapssammanställningen, samt bör inkluderas i framtida energianalys och design av slutna växthus i förprojekteringsfas.

Det modelleringsverktyg för energianalys av växthus på årsbasis (timme för timme) som framtagits finns nu beskrivet och förväntas få användning på bredare front hos konsulter och andra.

Slutligen har det i projektet undersökts om konceptet ”*slutet växthus*” har potential att implementeras ekonomiskt. En första ”payback”-analys, där uppvärmning med olja ersätts av ett slutet växthus med säsongslager i borrhål och eldriven värmepump visar på en rimlig nivå för investeringen. I takt med stigande bränslepriser blir konceptet än mer ekonomiskt intressant, utöver att det är intressant miljömässigt.

För utveckling av konceptet till en nivå att det praktiskt kan implementeras behövs fortsatta projekt och studier, som helst dokumenteras och sprider resultat i branschen. Dels behövs en mer detaljerad design av klimatisering inne i växthuset då det sluts. Vilken typ av värmväxlare behövs? Hur ska värme/kyla bäst distribueras (Luft? Vatten?)? Vilken är den optimala

⁶ Pay Back Period = (total investment)/(annual savings)

utformningen av lagerfunktionen vad gäller dygns- och säsongslagring – kanske kan överskottsvärme dagtid användas till uppvärmning nattetid vår och höst, och då minskar säsongslagret betydelse? Efter teoretiska studier är det därefter önskvärt med praktiska försök i mindre skala, för att dels dokumentera det slutna växthusets funktion (hur trivs grödorna) men också för att kvantifiera de teoretiskt påstådda fördelarna: minskat behov av externt bränsle, vatten och pesticider, samt ökad produktivitet.

4 Publikationer

Vadiee, A., 2011, Energy Analysis of the Closed Greenhouse Concept: Towards a Sustainable Energy Pathway, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, ISBN: 978-91-7501-146-2.

Vadiee, A., and Martin, V., “Energy management in horticultural applications through closed greenhouse concept, state of the art”, submitted to Journal of renewable & sustainable energy reviews.

Vadiee, A., and Martin, V., “Energy analysis and thermoeconomic assessment of the closed greenhouse: the largest commercial solar building”, submitted to Applied Energy.

Vadiee, A., Martin, V., and Setterwall, F., “Solar energy utilization in closed greenhouse environment”, presented at the Eurosun 2010 conference, Graz, Austria.

5 Övrig resultatförmedling till näringen

Enbart via de diskussioner och studiebesök som utförts inom ramen för projektet och via nära samarbete med referensgruppen.