



LUND UNIVERSITY

Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm

Nordquist, Birgitta; Wallentén, Petter

2016

Document Version:
Förlagets slutgiltiga version

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Nordquist, B., & Wallentén, P. (2016). *Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm*. (Rapport TVIT; Nr 16/7105). Avdelningen för installationsteknik & Avdelningen för byggnadsfysisk, LTH, Lunds universitet.

Total number of authors:
2

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm

Birgitta Nordquist & Petter Wallentén

Avdelningen för installationsteknik & Avdelningen för Byggnadsfysik
Institutionen för bygg- och miljöteknologi
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet, 2016
Rapport TVIT-16/7105



Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm

Birgitta Nordquist och Petter Wallentén

Sammanfattning av projektet

I detta delprojekt har följande genomförts:

- Beräkning av effekterna av solinstrålning och förvärmning av luften vid inglasning av befintliga byggnader
- Beräkning av energibesparing vid inglasning
- Beräkning av termisk komfort och studie av effektiva passiva kylåtgärder
- Framtagande av datorverktyg (modeller och moduler för energiberäkningsprogram, Glazing-LTH) för att bättre kunna uppskatta effekterna av solinstrålning och förvärmning av luften vid inglasning
- Mätning och analys för att kunna beskriva klimatet i luftspalter mellan en tung vägg (tegelvägg med kanalmur) och en inglasning
- Mätning under drygt 2,5 år i en fullskalebyggnad
- Möjligheter och risker att beakta vid renovering med inglasning har kunnat identifieras utifrån resultaten

Energibesparingen på studerat fall är i storleksordningen 9-38% beroende på vilka olika energieffektiveringsåtgärder; inglasning, FTX-system, förvärmning av ventilationsluft via inglasning, som kombineras. För den studerade byggnadens utformning är energibesparingen för uppvärmningen i storleksordningen 30%. Årsmedeltemperaturhöjningen i luftutrymmet jämfört med utomhustemperaturen varierar mellan 5,2-11,4°C beroende på exakt utformning. Mätningar av den operativa temperaturen sommartid visar att den termiska komforten är tillfredsställande inomhus. Resultaten visar även att passiva kylåtgärder bör projekteras om inte högre inomhustemperaturer jämfört med före renovering ska uppstå för sommarförhållanden. Effektiva passiva åtgärder vilka inte kräver aktiv kylenergi-tillförsel i driftsskedet har kunnat identifieras.

Projektet har finansierats av Energimyndigheten (projektnummer 37582-1).

Innehåll

Sammanfattning av projektet	3
Innehåll.....	5
1 Inledning.....	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte.....	8
1.3 Genomförande	8
2 Metod.....	9
3 Resultat och slutsatser	11
3.1 Mätningar fullskalebyggnad	11
3.2 Beräkningar av energibesparing	14
3.3 Beräkningar av termiskt inneklimat sommartid	18
3.4 Utveckling av energiberäkningsprogram - Glazing-LTH.....	19
4 Diskussion om generell tillämpning av resultaten	21
4.1 Fortsatt forskning	22
4.2 Spridning av resultat.....	23
Publikationer	25

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Vid renovering av befintliga byggnader finns ett antal tekniska lösningar att tillgå. Vanligt förekommande är bland annat byggnadstekniska lösningar såsom tilläggsisolering av fasaden och installationstekniska lösningar såsom installation av värmeväxling i ventilationssystemet vilka båda har till syfte att minska energianvändningen. Nämnda åtgärder möter ofta bara en teknisk aspekt åt gången; att minska transmissionsförlusterna genom klimatskalet respektive minska värmebehovet för ventilationsluften. En teknisk åtgärd som kan möta både byggnadstekniska och installationstekniska aspekter är inglasning av klimatskalet/fasaden. Om en glasstruktur adderas utanför en befintlig yttervägg kan teoretiskt transmissionsförlusterna minskas och uteluften förvärmas i det utrymme som skapas mellan glasstrukturen och ytterväggen. Om den befintliga ytterväggen består av en tung stomme, exempelvis tegel, vilket är fallet för många byggnader i behov av renovering, kan inglasningen även möjliggöra att den kortvågiga solinstrålning som träffar tegelväggen och omvandlas till långvågig strålning förhindras att reflekteras ut till omgivningen och istället stannar kvar i högre grad. Inglasningen blir som en form av solfångare där värme kan lagras i den tunga stommen. En inglasning kan även utgöra ett arkitektoniskt element som tydliggör att en energirenovering ägt rum. Om fasaden är skadad kan en inglasning även ge ett skyddande lager åt denna. Det är alltså av värde att undersöka denna form av renoveringsåtgärd.

I området Sege park i Malmö, som har ett flertal befintliga tegel och stenbyggnader, genomför Malmö stad renoveringar med hållbarhet som målsättning. En hållbarhetsstrategi har tagits fram. Tanken är att området skall försörjas med så stor del förnyelsebar energi som möjligt och utformas till en ekologiskt hållbar stadsdel. Värme skall produceras med solfångare och bioenergi medan elen skall komma från vind och solceller. Bland annat har stora solfångare och solceller installerats på taken; takintegrerade solcellsanläggningar och solceller ersätter totalt 750 kvm taktegel. En solcellsinstallation var vid uppförandet den största installationen i Sverige, 250 kvm solceller.

I detta område skulle en av byggnaderna renoveras och åtgärder som bidrog till en effektivare energianvändning eftersträvas. Den första ansatsen var att tilläggsisolera byggnaden. Byggnadshistoriska hänsyn innebar dock att utvändigt tilläggsisolering inte var tillåten. Andra tekniska åtgärder eftersöktes därför. Förutom att installera ett mekaniskt till- och frånluftsystem med värmeåtervinning, glasades därför byggnadens tre av fyra fasader in. Begränsningar i yta till angränsande gata ledde till att den fjärde fasaden inte kunde glasas in. Ett markförlagt rör anslutet till inglasningen uppfördes också.

Vid renoveringen installerades ett stort antal givare för bland annat temperatur, relativ luftfuktighet och flöde i ett flertal punkter både i inglasningen; dvs utrymmet mellan den adderade glasstrukturen och den befintliga tegelväggen samt i ventilationssystemet. Dessa skulle kopplas till Malmö stads övergripande övervaknings- och loggningssystem. Genom att detta mät-system har installerats och bekostats av Malmö stad uppstod möjligheten att genomföra en undersökning av en fullskalebyggnad.

1.2 Syfte

Syftet med denna studie var att undersöka vilken energibesparing som kunde erhållas vid addering av en glasstruktur. Det var främst värmeenergibehovet under uppvärmningssäsongen som avsågs minska. Om glas adderas till en byggnad kan detta dock innebära en risk för övertemperaturer under icke uppvärmningssäsong. Det är viktigt att alla renoveringsåtgärder som vidtas inte försämrar inneklimatet. Det termiska inomhusklimatet under sommarförhållanden måste därför också undersökas. De två övergripande målen för studien var därför att ta fram värmeenergi besparing under uppvärmningssäsong och undersöka vilka termiska förhållanden som uppstår under sommartid.

I projektet utvecklades även en modul/skal till energiberäkningsprogrammet Derob-LTH (Glazing-LTH). Målsättningen var att utforma ett enkelt användargränssnitt för förhållandevis snabba beräkningar i ett tidigt projekteringsskede med en noggrann beräkning bakom. Detta för att undvika att starta projekteringen med en tidskrävande detaljerad modellering i t ex IDA eller liknande program.

Beräkning av energitransport i samband med stora glasytor är ett svårt byggnadsfysikaliskt problem som är för komplicerat för de enkla programmen som ofta används (VIP-Energy, Isover Energi, E-norm etc). Det fanns därför behov av ett enkelt användargränssnitt samtidigt som noggrannheten i programmet bakom bibehålls.

1.3 Genomförande

Birgitta Nordquist vid avd. för Installationsteknik och Petter Wallentén vid avd. för Byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola har lett och arbetat i detta projekt. Samarbete har även skett med universitet i Tampere; Kimmo Hilliaho där samma område studerats. Tre examensarbeten har genomförts med anknytning till projektets frågeställningar.

Malmö stad har förutom att bekosta själva renoveringsåtgärderna och det omfattande mätsystemet även deltagit i projektet bland annat genom att samla in, sammanställa, och föra över den mycket omfattande mängden mätdata. Nyckelpersoner vid genomförandet av själva renoveringen har varit Anders Hultgren vid Malmö stad och Anders Bjurup vid SWECO. Utan dessa två personers insatser och visioner hade denna studie inte varit möjlig att genomföra.

Ett antal referensgruppsmöten har genomförts under projektets gång och företrädare för bland annat glasbranschen har varit aktiva och bidragit med synpunkter.

2 Metod

Inglasning av klimatskal har studerats genom fullskalemätningar i en befintlig byggnad, simuleringar i det dynamiska energiberäkningsprogrammet IDA-ICE samt genom programutveckling av ett nytt datorprogram benämnt Glazing – LTH.

Genom detta angreppssätt har vi kunnat studera både energianvändning och förbättrat metoder för beräkningar.

I den studerade fullskale byggnaden, på 251 m², har ett antal energibesparings- och klimatiserande åtgärder vidtagits. Förutom addering av glasstruktur har ett FTX-system för ventilation av byggnaden installerats. Ett separat kanal- och fläktsystem har även installerats för inglasningen där syftet har varit att optimera effekterna för både vinter respektive sommarfall. Styrningen var avancerad med ett flertal olika börvärden för de två ventilationssystemen som styrs oberoende av varandra. Flera driftsfall har definierats och inställningarna som valdes av byggnadsägaren bibehölls vilket möjliggjorde en utvärdering av den befintliga byggnaden och dess funktion.

Då ett uppvärmningsbehov antas föreligga (värmefall) skall uteluften passera inglasningen. När temperaturen i den södra inglasningen överstiger 20°C (kylfall) skall uteluften inte passera inglasningen utan tas direkt in till ventilationsaggregatet och sedan in i byggnaden. Med syfte att kyla inglasningen under sommarförhållanden tas uteluft sommartid (temperatur i inglasningen >20°C) in via en kanalplacerad tilluftsfläkt, passerar ett 7 m långt markförlagt rör, passerar den 0,75 m djupa inglasningen och förs sedan bort via ett separat kanalsystem med frånluftsfläkt samt öppningsbara vädringsfönster, vilka öppnas då utetemperaturen är >23 °C, placerade högst upp på den södra fasaden. Uteluften som passerar markröret passerar inte in i byggnaden. Under sommartid tas uteluften till byggnaden direkt in till aggregatet. Inglasningens area är 28 m³ och har en volym på 107 m².

En mycket detaljerad modell byggdes upp i IDA-ICE. Modellen validerades genom jämförelse med mätningar i befintlig byggnad för olika klimatsituationer. Ett stort antal simuleringar där tekniska data har varierats genomfördes.

Det kan finnas en risk för övertemperaturer i byggnaden då en glasstruktur adderas till en befintlig byggnad. Mätning av lufttemperatur, globtemperatur, lufthastighet samt relativ luftfuktighet har därför mätts i två rum i byggnaden under en sommarperiod. Den operativa temperaturen har också beräknats baserat på dessa mätvärden.

3 Resultat och slutsatser

Resultaten redovisas i vetenskapliga artiklar. Några huvudresultat samt några intressanta resultat redovisas i det följande avsnittet.

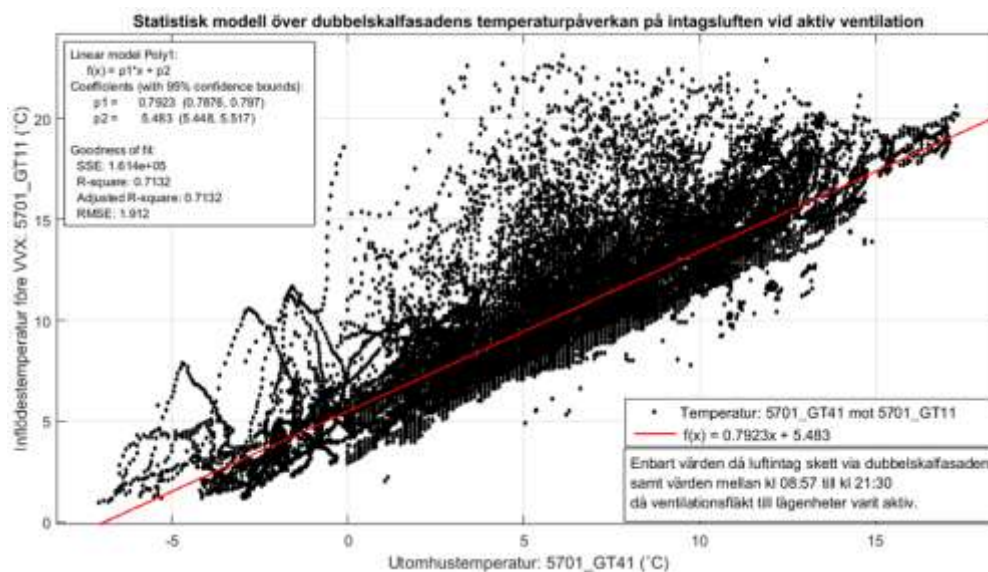
3.1 Mätningar fullskalebyggnad

Genom att ett fast omfattande mätsystem har installerats av Malmö stad har en unikt lång mätperiod, vilken täcker många olika uteklimatfall, kunnat genomföras. Mätperioden omfattar från 28 oktober 2013 – 29 juni 2016, dvs drygt 2,5 år. Under denna tid har vissa perioder fallit bort då kommunikationen mellan mätsystemet och stadens centrala övervakningssystem avbrutits. Totalt har dock 829 av 973 möjliga dygn samlats in. Mätsystemet registrerar varje minut. Data som plockats ut från loggningen av Malmö stad har haft upplösningen var 10:e minut de första 1,5 åren och var 6:e minut det sista året.

Mätperioden är mycket lång, 2,5 år och detta projekt bidrar därför med mätdata för de flesta förekommande uteklimat. Detta utgör ett bidrag till kunskapen om förhållandena i verkliga byggnader med inglasning.

Temperaturmätningar med avseende på energibesparing

Det är intressant att studera hur mycket uteluftens temperatur höjs när den har passerat inglasningen/dubbelskalfasaden. I figur 1 presenteras den uppmätta lufttemperaturen i tilluftskanalen före den passerar in i ventilationsaggregatet, dvs temperaturen efter passage i dubbelskalfasaden. Ventilationssystemets fläktar har stängts av nattetid. De redovisade temperaturerna är enbart för de relevanta perioderna; då uteluften passerat inglasningen (temperatur i inglasningen $<20^{\circ}\text{C}$) och då fläktarna har varit igång.

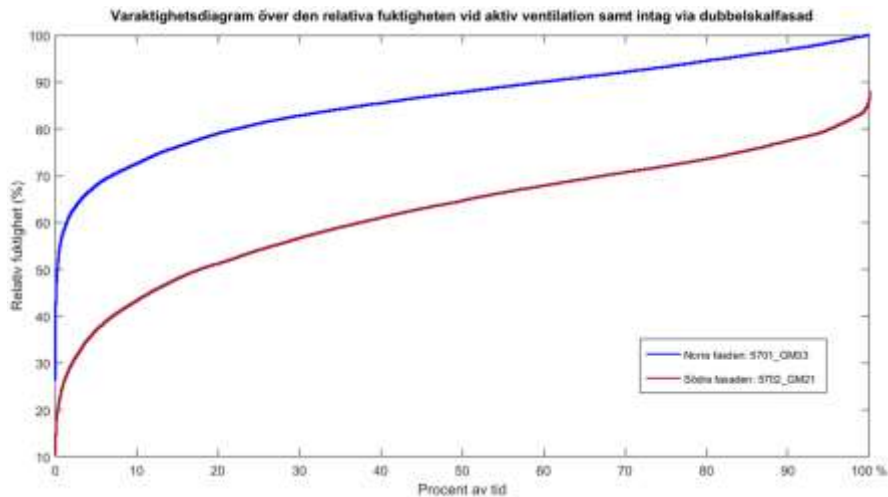


Figur 1. Uppmätt lufttemperatur efter passage genom inglasning/dubbelskalfasad mätt 131028-160629 (Avgenakis, 2017).

I Figur 1 kan man se den uppmätta temperaturen i inglasningen som en funktion av utetemperaturen. Temperaturen i dubbelskalfasaderna är högre än i uteluften. Detta innebär bland annat att den befintliga tegelfasaderna hamnar i ett varmare klimat. Mätningarna visar att för alla utetemperaturer under 0°C höjs alltid temperaturen i inglasningen till över 0°C. En linjär regressionskvation har tagits fram. Eftersom två effekter: sol och transmission inverkar kan regressionen inte ens teoretiskt få R värdet 1 men linjen ger ändå en uppfattning om temperaturförloppet i inglasningen och ett mått på temperaturhöjningen jämfört med ute. Den undre gränsen av de uppmätta temperaturerna är när det inte är någon sol och de högsta värdena när solen ger maximalt bidrag. Temperaturerna hade varit ännu högre om inte tilluften tagits via inglasningen (vinterfallet). Dvs temperaturen i inglasningen sänks både av värmeläckage ut genom glaspartiet och genom att kallare uteluft tas in för att användas som tilluft. Samtidigt höjs temperaturen på tilluften/uteluften genom denna förvärmning vilket ger positiva effekter rörande energibehovet för ventilationsdelen. Behovet av förvärmning av luften inne i byggnaden minskar vare sig det tillförs från ett värmebatteri i ventilationsluften eller värme från vattenburna radiatorer direkt i rummen.

Relativ luftfuktighet

Den relativa luftfuktigheten i uteluften respektive i luften som finns i inglasningen och som tas in till ventilationsaggregatet visas i Figur 2 sorterat i ett varaktighetsdiagram.

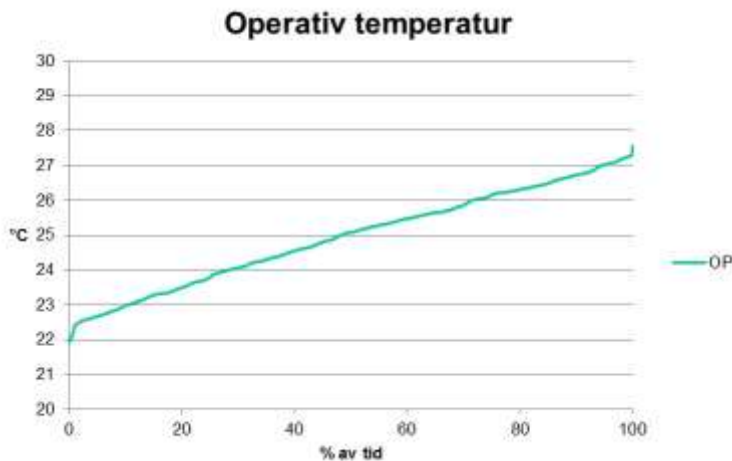


Figur 2. Uppmätt relativ luftfuktighet utomhus; övre kurvan samt i dubbelskalfasaden; undre kurvan.

I figur 2 kan ses att den relativa luftfuktigheten i luften sänks i inglasningen jämfört med i uteluften på grund av temperaturhöjningen i inglasningen. Beroende på var mätningen sker så sjunker den relativa fuktigheten olika mycket som en direkt följd av den lokala temperaturen. Ånghalten kommer däremot naturligtvis vara mer konstant och väsentligen samma som utomhus. Ett visst tillskott från marken i inglasningen kan ske med detta bedöms vara negligerbart. Detta innebär att tegelfasaden förutom att hamna i ett varmare klimat som Figur 1 visar även hamnar i ett torrare klimat (lägre relativ fuktighet) jämfört med ute. Ett intressant resultat är att 75% relativ fuktighet som ofta används som ett gränsvärde vad gäller fukt för byggnadsrelaterade tillämpningar och som eftersträvas att understigas under längre perioder ur fukt och mögelsynpunkt, överstigs en stor del av tiden i uteluften men överstigs endast mindre än 20% av tiden i inglasningen. Denna sänkta relativa luftfuktighet är gynnsam både för tegelfasaden och för den ventilationsluft som tas från inglasningen och når filter och värmeväxlare i ventilationsaggregatet. Det kan även tilläggas att tegelfasaden aldrig kommer att utsättas för slagregn; dvs RF över 100%.

Termiskt klimat under sommarförhållanden

Den operativa temperaturen inomhus under mätperioden, beräknad utifrån uppmätt lufttemperatur, globtemperatur, lufthastighet samt relativ luftfuktighet, redovisas i ett varaktighetsdiagram Figur 3. Medelvärdet för utetemperaturen var under mätperioden 20,2°C. Sommaren 2014 var en förhållandevis varm sommar i Malmö.



Figur 3. Uppmätt operativ temperatur inomhus under sommaren 2014; 140704-140825.

Under 72% av tiden är den operativa temperaturen under 26°C och 28% av tiden är den operativa temperaturen över 26°C. Den högsta temperaturen är 27,6°C vilket innebär att 28°C aldrig överstigs. Detta kan jämföras med Folkhälsomyndighetens värden för bedömning av olägenhet för människors hälsa (FoHMFS 2014:17). För sommarförhållanden bedöms olägenhet för människors hälsa föreligga om den operativa temperaturen varaktigt överstiger 26°C respektive kortvarigt överstiger 28°C. De termiska förhållandena i byggnaden är tillfredsställande vid jämförelse med dessa värden. Slutsatsen dras att det inte förekommer några övertemperaturer vid de studerade sommarförhållandena och att det termiska klimatet är tillfredsställande. Detta innebär att byggnaden med dess passiva kylåtgärder kan bedömas klara av att skapa ett tillräckligt svalt inneklimat på sommaren.

3.2 Beräkningar av energibesparing

Utveckling av energimodell för ventilerad inglasning i IDA-ICE

IDA-ICE ger möjlighet att simulera kombinationen av solenergitransport och ventilation i ett rum. Men denna typ av utformning med inglasning och möjlighet till förvärmning av ventilationsluft i inglasningen och ett FTX system var ett inte enkelt fall att modellera. Den valda ventilationsstrategin i den studerade byggnaden var att vid värmebehov först låta uteluften passera inglasningen, sedan FTX aggregatet och slutligen in i byggnaden. Vid kylbehov ska ett annat ventilationssystem passera uteluften via ett markrör, inglasningen och sedan ut via ett frånluftskanalssystem. För att modellera detta krävdes ett mycket komplicerat modellbyggande i IDA där flera personer var inblandade med sin respektive expertis. Det betydde att även om projektet byggde på huvudsakligen känd teori så blev implementeringen av modellen i IDA en mycket stor del av projektet i kombination med felsökning och analys av modellen. På grund

av begränsningar i IDA kunde t ex inte den mest kompletta modellen för långvågig strålning användas i alla zoner i inglasningen.

Eftersom valideringen av modellen fokuserade på uppmätta och beräknade temperaturer så var bl a mätning av lufttemperaturgivare utsatta för solstrålning ett problem som hanterades. Det mätsystem som installerades från början var känsligt för solstrålning och fick därför justeras. I valideringsskedet valdes att inte fullständigt parametrera byggnaden utan nöja sig med ett rimligt beteende. Detta eftersom slutmålet inte vara att modellera just denna byggnad extremt bra utan att dra generella slutsatser av inglasningar i allmänhet.

Beräkningsresultat

Olika kombinationer av tre tekniska lösningar kan genomföras vid en renovering; inglasning som enbart en form av tilläggsisolering där ventilationsluften inte passerar inglasningen, FTX-system med 82% värmeåtervinning samt inglasning som även används för förvärmning av tilluften i inglasningen. Beräkningarna i IDA-ICE baserades på utformningen av den befintliga byggnaden som inglasats på tre av fyra fasader; söder, öster och väster. Enkel-glas med U-värdet 5,7 W/m²K och g-värde 0,82 i de vertikala elementen samt dubbelglas med U=2,6 W/m²K i de horisontella elementen har använts. Sedan har även glasstrukturer med lägre U-värde respektive g-värde undersökts.

Först har effekten av inglasningen undersökts då inga passiva eller aktiva kylåtgärder under sommartid tillämpas.

De olika kombinationerna visas i Tabell 1, 2 och 3. I Tabell 1 studeras fallet med inglasning då ingen FTX-ventilation används. Detta kan motsvara ett fall med frånluftsventilation utan värmeåtervinning både före och efter renovering.

Tabell 1 Årligt köpt uppvärmningsenergibehov utan FTX-ventilation, energibesparing jämfört med före renovering och operativ temperatur i lägenhet 1 i juli.

Fall	Inglasning U-värde (W/m ² K)	Årligt uppvärmningsenergibehov (kWh)	Energi-besparing	Årlig temperaturskillnad mellan inglasning och ute	Operativ temp. lgh 1, medel juli månad
Före renovering		20 558	-	-	25,4°C
Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	enkelglas U=5,7	18 709	9%	5,7°C	26,6°C
Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	enkelglas U=5,7	17 850	13%	5,6°C	26,6°C
Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	dubbelglas U=2,6	17 310	16%	8,9°C	28,3°C
Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	dubbelglas U=2,6	16 125	22%	8,8°C	28,3°C
Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	trippelglas U=1,7	16 642	19%	11,4°C	29,1°C
Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	trippelglas U=1,7	15 364	25%	11,2°C	29,1°C

Energibesparingen ökar om uteluften förvärms i inglasningen jämfört med om uteluften inte leds via den. Besparingen blir procentuellt större desto lägre U-värde glasstrukturen har. Resultaten tyder på att det är gynnsamt att förvärma uteluften då ett frånluftssystem används. Energibesparingen vid frånluftsventilation kan bli 25% om glas med U-värdet 1,7 W/m²K används.

I tabell 2 adderas FTX-system vilket kan motsvara ett fall där både FTX och inglasning installeras vid en renovering.

Tabell 2 Årligt köpt uppvärmningsenergiebehov med FTX-ventilation och inglasning, energibesparing jämfört med före renovering och operativ temperatur i lägenhet 1 i juli.

Fall	Inglasning U-värde (W/m ² K)	Årligt uppvärmningsenergiebehov (kWh)	Energi-besparing	Årlig temperaturskillnad mellan inglasning och ute	Operativ temp. lgh 1, medel juli månad
Före renovering		20 558	-	-	25,4°C
Bara FTX	-	16 384	20%	-	25,7°C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	U=5,7 g=0,82	14 672	29%	5,7°C	26,9°C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft – <i>studerad fullskale byggnad</i>	U=5,7 g=0,82	14 686	29%	5,6°C	26,9°C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	U=2,6 g=0,73	13 367	35%	8,9°C	28,7°C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	U=2,6 g=0,73	13 376	35%	8,8°C	28,7°C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	U=1,7 g=0,63	12 766	38%	11,4°C	29,5°C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	U=1,7 g=0,63	12 728	38%	11,2°C	29,5°C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	U=0,7* g=0,24	13 313	35%	9,8°C	26,2°C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	U=0,7* g=0,24	13 429	35%	9,5°C	26,2°C

*trippelglas

Studierna visar på en energibesparing på 29% för den genomförda renoveringen av fullskalebyggnaden, i vilken alla tre åtgärder har genomförts. Om glas med lägre U-värde uppförs kan besparingen bli i storleksordningen 35-38%.

Den årliga medeltemperaturskillnaden i inglasningen jämfört med ute blir 5,6-11,4°C.

Några intressanta resultat har framkommit. Att förvärma och leda uteluften via inglasningen då FTX också används ger inte alltid en tydlig gynnsam effekt ur ett energiperspektiv. Energiebehovet ökar till och med marginellt; 14 kWh jämfört med då uteluften inte förvärms för enkelglas och 9 kWh för fallet med dubbelglas. För fallen med trippelglas divergerar resultaten. Trippelglas med ett lågt g-värde (0,24) ger ett något ökat energiebehov 116 kWh då uteluften leds via inglasningen. Trippelglas med ett högre g-värde (0,63) ger ett minskat energiebehov; 38 kWh. Skillnaderna i energiebehov är förhållandevis små. Resultaten tyder på att kombinationen mellan U-värde, g-värde och eventuell förvärmning har betydelse för det resulterande

totala energibehovet. Eftersom inget tydligt mönster kan identifieras hur ventilationssystemet ska drivas på mest optimalt sätt; förvärmning eller inte, är detta ett ämne för fortsatt forskning. Vid låga g-värden släpps mindre mängd solenergi igenom vilket är negativt under uppvärmningssäsongen. Det är alltså flera effekter som påverkar och hur det resulterande energibehovet totalt blir, är svårt att förutsäga. En fördjupad undersökning av varierande U-värden, g-värden, verkningsgrad på ventilationsvärmeåtervinning samt eventuell förvärmning och kombinationer av detta är lämpligt att studera. Resultaten indikerar även, att kombinationen av U-värde, g-värde samt ventilationslösning bör undersökas noga genom simuleringar i projekteringsstadiet.

Om bara renovering med FTX genomförs blir energibesparingen 20% på den studerade byggnaden. Om bara inglasning genomförs blir besparingen 13%. FTX ger alltså störst energibesparing av dessa två åtgärder om dessa två studeras separat. Om båda genomförs blir besparingen 29%.

Energibesparingen som fås vid inglasning av en byggnad som redan har FTX-ventilation redovisas i Tabell 3.

Tabell 3 Årligt köpt uppvärmningsenergiebehov för en byggnad med FTX-ventilation, energibesparing jämfört med före inglasning och operativ temperatur i lägenhet 1 i juli.

Fall	Inglasning U-värde (W/m ² K)	Årligt uppvärmningsenergiebehov (kWh)	Energi-besparing	Operativ temp. lgh 1, medel juli månad
Bara FTX	-	16 384	-	25,7 °C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	Enkelglas U=5,7	14 672	10%	26,9 °C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	Enkelglas U=5,7	14 686	10%	26,9 °C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	dubbelglas U=2,6 g=0,73	13 367	18%	28,7 °C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	dubbelglas U=2,6 g=0,73	13 376	18%	28,7 °C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	trippelglas U=1,7 g=0,63	12 766	22%	29,5 °C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	trippelglas U=1,7 g=0,63	12 728	22%	29,5 °C
FTX+ Inglasning + ingen förvärmning av ventilationsluft	trippelglas U=0,7 g=0,24	13 313	19%	26,2 °C
FTX+ Inglasning + förvärmning av ventilationsluft	trippelglas U=0,7 g=0,24	13 429	18%	26,2 °C

Om inglasning adderas på en byggnad som redan har FTX ventilation blir energibesparingen för inglasningen 10% för den studerade byggnaden och 18-22% om glas med ett lägre U-värde används.

3.3 Beräkningar av termiskt inneklimat sommartid

Studierna visar även att passiva kylåtgärder bör projekteras vid renovering om inte högre inomhustemperaturer jämfört med före renovering ska uppstå för sommarförhållanden. Studier av olika åtgärder sommartid har genomförts. Effektiva åtgärder vilka inte kräver aktiv kylenergi-tillförsel i drifts-skedet har kunnat identifieras.

I tabell 1 kan ses att de termiska förhållandena under sommartid försämras; den av människan upplevda operativa temperaturen stiger under juli månad, om enbart en glasstruktur adderas till en befintlig tegelbyggnad. Detta resultat är viktigt att beakta. Man ser också att det blir varmare inomhus ju lägre U-värdet är dvs, ju mer glas desto viktigare är det att beakta detta. Någon form av åtgärd som reducerar inomhustemperaturerna bör alltså inkluderas i utformningen. Studie av ett antal kylåtgärder har därför genomförts.

Tabell 4 Operativa temperaturer i lägenhet 1 i juli månad, lufttemperaturer i inomhus och i inglasningen.

Fall	Operativ temperatur i lgh 1, medel juli månad	Lufttemperatur i i lgh 1, medel juli månad	Lufttemperatur i inglasningen Medel juli månad	Lufttemperatur i inglasningen Max juli månad
Före inglasning	25,7°C	25,8°C	Ute	Ute
Bara inglasning, inga kylåtgärder	26,9°C	27,1°C	28,7°C	47,4°C
Inglasning, kylåtgärder <i>fullskale-byggnad</i> ; fläktar före och efter inglasningen (q=150 l/s), markrör, vädringsfönster	26,1°C	26,3°C	26,4°C	42,3°C
Inglasning, kylåtgärder; fläktar före och efter inglasningen (q=450 l/s), markrör, vädringsfönster 3 ggr större	25,5°C	25,7°C	24,4°C	37,6°C

Inglasning, kylåtgärder: Bara tilluftsfläkt och markrör (q=450 l/s)	25,5°C	25,7°C	24,9°C	40,1°C
Inglasning, kylåtgärder: Bara frånluftsfläkt (q=450 l/s)	25,7°C	25,9°C	26,0°C	41,8°C
Inglasning, kylåtgärder; Bara vädringsfönster, 3 ggr större	26,7°C	26,8°C	27,8°C	44,9°C
Inglasning, kylåtgärder befintlig byggnad; fläktar före och efter inglasningen (q=150 l/s), markrör, vädringsfönster + invändigt solskydd (screen)	23,9 °C	24,2 °C	27,0	42,8
Inglasning, kylåtgärder befintlig byggnad; fläktar före och efter inglasningen (q=150 l/s), markrör, vädringsfönster + utvändigt solskydd	22,1 °C	22,2 °C	21,1	28,8
Inglasning, invändigt solskydd hela året	24,7 °C	24,9 °C	28,5	51,0
Inglasning, utvändigt solskydd hela året	22,9 °C	23,2 °C	22,7	32,6

I tabell 4 kan bl a utläsas att om inga kylåtgärder vidtas stiger den av människan upplevda operativa temperaturen inomhus. Om de kylåtgärder som installerats i den befintliga byggnaden används med projekterade flöden sänks temperaturen inomhus jämfört med om inga kylåtgärder vidtas. Dock blir temperaturen något högre än före inglasningen. Då flödena genom inglasningen tredubblats från 150 l/s till 450 l/s och arean på vädringsfönstren i inglasningen,

som öppnas då utetemperaturen överstiger 23 °C, också tredubblas erhålls ett bättre termiskt klimat sommartid, med lägre inomhustemperaturer än före renoveringen. Detta visar dels att det går att uppnå ett bättre termiskt klimat i byggnaden med de installerade systemen jämfört med före renoveringen. Det krävs dock att luftflödena ökas över sina dimensionerade värden för att erhålla en lägre temperatur sommartid än före renoveringen. Detta visar även att det är lämpligt att modellera denna typ av lösning i projekteringsstadiet för att använda de installerade systemen på bästa sätt.

I den befintliga byggnaden är tilluftsfläkten före markröret och frånluftsfläkten efter inglasningen tänkta att samverka; lika stort luftflöde ska tillföras inglasningen som föras bort. Dessa har även studerats separat och tilluftsfläkten och markröret verkar ha störst kyleffekt av de två. Det kan upprepas att luften som passerar markröret inte tas in i byggnaden utan passerar bara inglasningen. Enbart vädring via takplacerade fönster i inglasningen ger inte lika reducerade temperaturer som övriga två kylåtgärder.

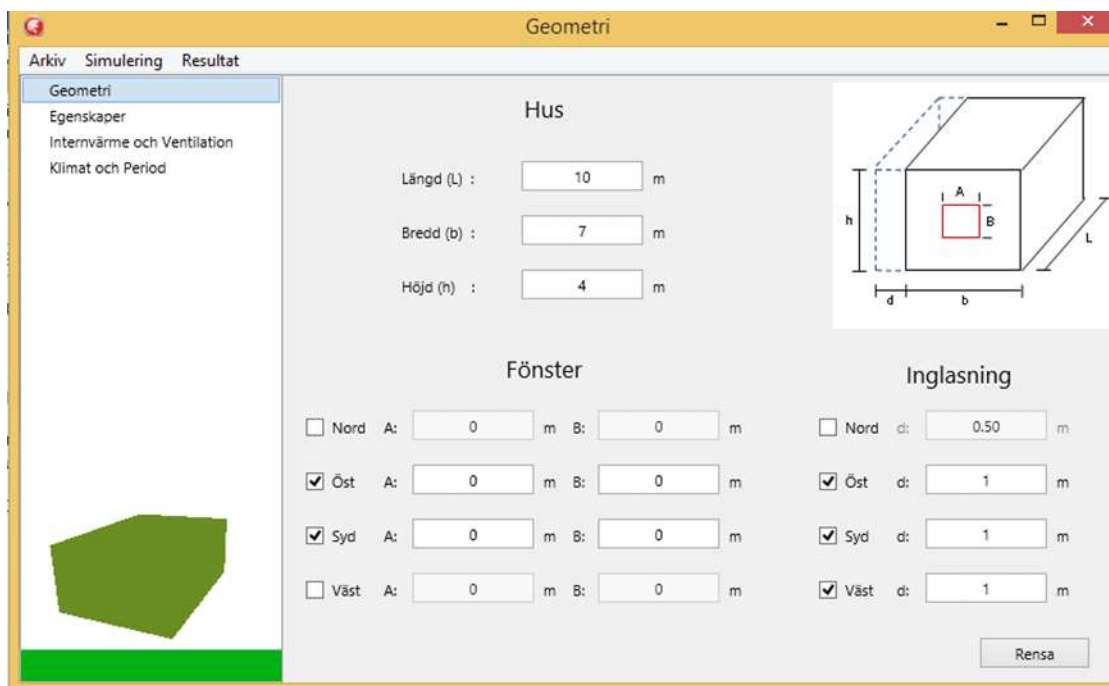
Om invändiga respektive utvändiga solskydd adderas fås en ytterligare sänkning av temperaturen inomhus. Ett teoretiskt fall med enbart solskydd, som täcker hela fasaden, året om, har också studerats. Resultaten visar också att solskydd är en effektiv passiv åtgärd om den är möjlig att använda på grund av exempelvis byggnadshistoriska hänsyn.

Det kan nämnas att alla studerade kylåtgärder är i stor utsträckning passiva vilket är positivt ur ett hållbarhetsperspektiv. Marksystem och frånluftssystem är inte helt passiva då el måste tillföras till fläktarna. Men ingen aktiv kylenergi måste tillföras i motsats till konventionella luftkonditioneringsystem.

3.4 Utveckling av energiberäkningsprogram - Glazing-LTH

Det finns ett stort antal dynamiska energiberäkningsprogram som används i Sverige: IDA-ICE, VIP-energy, Design Builder, Transys, Derob-LTH etc. Om en inglasning ska studeras är det viktigt att solen behandlas på ett noggrannare sätt än om man räknar på en ”vanlig” byggnad med mindre mängd fönster. Detta gör de olika beräkningsprogrammen i varierande grad. Samtidigt är det så att en noggrannare beräkning kräver mer detaljerad geometrisk och byggnadsfysisk indata. I ett första projekteringsstadium kan därför det finnas behov av ett program med ett förhållandevis enkelt användargränssnitt men som samtidigt räknar tillräckligt noggrant i bakgrunden. I detta projekt har därför programmet Glazing-LTH utvecklats. Det använder sig av datorprogrammet Derob-LTH, ursprungligen utvecklat på University of Texas (Austin, USA) som var ett av de tidigaste programmen som använde sig av sk ray tracing för att beräkna solenergitransporten genom fönster.

För att dra nytta av beräkningskapaciteten men samtidigt göra det möjligt att göra en dimensionerande räkning gjordes ett skal i form av ett enklare användargränssnitt som gör det möjligt att undersöka påverkan av olika val av glas, geometri etc. Skalet skrevs i Deplhi-Pascal i samarbete med Datorgruppen på LTH. Metoden att använda ett enklare skal men ha en mer komplicerad beräkningsmodell som inte direkt visas för användaren har använts framgångsrikt inom området energiberäkningar tidigare: IDA-Room (IDA-ICE), Parasol-LTH (Derob-LTH), Insight 360 (Energy+).



Programmet gör det möjligt att enkelt undersöka betydelsen av olika designval.

4 Diskussion om generell tillämpning av resultaten

Resultaten visar att en energibesparing kan fås om en glasstruktur adderas till en befintlig byggnad vid renovering.

Man kan välja att låta inglasningen enbart utgöra en form av tilläggsisolering och inte förvärma uteluften i den eller använda den både för att reducera transmissionsförlusterna och förvärma uteluften. För F-ventilation är det tydligt att förvärmning lönar sig energimässigt jämfört med om ingen förvärmning tillämpas. Resultaten visar inte någon tydlig energibesparing för kombinationen FTX och förvärmning i inglasning för alla fall och kombinationer av parametrar. Vid en förestående renovering av byggnader som ventileras med självdrag eller F-system kan möjligen dessa resultat tillämpas vid val av energitekniska åtgärder enligt nedan. Att både förvärma uteluften i en inglasning och använda FTX-system är som tidigare nämnts inte ett självklart val för alla kombinationer. Så om FTX ska installeras så lönar det sig energimässigt att uppföra en inglasning men det är inte säkert det är lönar sig att använda den för förvärmning av uteluften ur energimässig synpunkt. Om däremot självdrags/F-systemet ska bibehållas kan en inglasning och förvärmning av uteluften i denna ge ett positivt tillskott ur energimässig synpunkt och vara en möjlig åtgärd.

Även andra aspekter får naturligtvis vägas in för varje enskilt fall såsom exempelvis krav på om de boende ska kunna bo kvar under renoveringen eller inte. Om de ska kunna bo kvar kan inglasning möjligen vara ett mer genomförbart och skonsamt alternativ jämfört med installation av FTX-system i varje lägenhet. Eventuella utrymmessvårigheter vid installation av tilluftskanaler kan också vara en faktor som kan påverka valet av lösning.

Hittills har inglasningen diskuterats ur enbart energimässiga termer. Dock kan en inglasning även ge andra positiva effekter ur både beständighetsperspektiv för tegelfasaden samt ur ventilationsperspektiv. Fasaden skyddas på flera sätt. Den befintliga tegelfasaden blir inte längre vind och regnutsatt vilket kan vara gynnsamt, speciellt om den är skadad, ur bland annat vatteninträngnings- och frostsprängningssynpunkt. Den hamnar även i ett varmare klimat vilket kan betraktas som att byggnaden flyttas till något varmare breddgrader. Detta höjer dels temperaturen i tegelstommen, dels sänks den relativa luftfuktigheten vilket också kan vara gynnsamt ur ett beständighetsperspektiv.

Beroende på i vilket skick den befintliga fasaden är, kan en inglasning möjligen, för vissa fall, vara ett alternativ till att laga fasaden. Om en fasad är mer vind- och regnutsatt än de andra kan denna exempelvis glisas in, medan övriga inte påförs någon glasstruktur. Vilket renoveringsalternativ man väljer i slutändan får bli baserat på beräkningar för de olika fallen och med beaktande av fasadens skick och övriga effekter som fås.

Resultaten har som nämnts ej gett tydliga utfall för kombinationen FTX-system och användning av förvärmning i inglasningen. Om uteluften förvärms i inglasningen då ett FTX-system används kan dock andra gynnsamma effekter uppnås. I ett ventilationsaggregat kan risk för påfrysning både i filter och värmeväxlare uppstå vid låga utetemperaturer. Olika värmeväxlare hanterar detta på olika sätt men energiverkningsgraden sänks för dessa perioder. Höga relativa fuktigheter i tilluftsfilter kan även uppstå. Resultaten visar att årsmedeltemperaturen i inglasningen är 5-11°C högre än i uteluften, inga temperaturer under 0°C erhålls, och att den relativa

luftfuktigheten på tilluften som tas in till ventilationsaggregatet sänks. Detta innebär att luften kommer att vara både varmare och torrare (lägre relativ luftfuktighet) när den når aggregatet vilket är gynnsamt för verkningsgraden på värmeväxlaren, som då inte behöver reduceras. Det är även gynnsamt ur ett luftkvalitetsperspektiv då riktigt höga relativa luftfuktigheter undviks i tilluftsfiltern och det fukt- och mögelrelaterade riktvärdet 75% understigs under den allra största delen av tiden.

En annan aspekt som också bör beaktas är hur de boende upplever att få ett glasskal utanför sina fönster. Arkitekten bör beakta detta vid utformningen av inglasningen och eventuellt möjliggöra att de boende kan öppna något eller några fönster direkt till uteluften för vädring. En inglasning kan också ge en bullerdämpande effekt om byggnaden är utsatt för buller utifrån från exempelvis trafik. Generellt är inglasningen ett tydligt arkitektoniskt element som arkitekten även kan använda på ett positivt sätt för att skapa ett tillskott i den arkitektoniska utformningen, kanske genom att variera och inte täcka hela fasaden. En inglasning kan därför bidra vid en renovering både genom att möjliggöra en mer varierad och intressant fasad och även visa på ett mycket påtagligt sätt för omvärlden hur man har arbetat för att minska energi-användningen för byggnaden.

Hur stor area och volym inglasningen har i förhållanden till värmebehovet har också betydelse. Det finns en nedre gräns för när den blir alltför liten för att ha en signifikant påverkan. Förhållanden mellan varierande area och volym för inglasningen och byggnadsarea och luftflöde är också viktiga att beakta. Detta är dock något som huvudsakligen får hanteras i projekteringen av varje objekt eftersom det är så kopplat till den övriga utformningen.

Denna studie kan förhoppningsvis genom beräkningarna, mätningarna och framtagandet av energiberäkningsprogrammet för inglasningar bidra till underlag vid val av åtgärd i projekteringskedet.

4.1 Fortsatt forskning

Några intressanta resultat har framkommit vilket motiverar fortsatta studier av detta. Resultaten indikerar att *kombinationen* av *byggnadsteknisk prestanda*; inglasningens U-värde och g-värde samt *installationstekniska aspekter*; förvärmning av ventilationsluft eller inte, samt typ av system; med eller utan värmeåtervinning verkar ha betydelse för utfallet av den totala energibesparingen. Detta visar att det är viktigt av genomföra beräkningar i projekteringskedet för varje specifikt fall.

En fördjupad studie där både glasets och ventilationssystemets tekniska prestanda varierar och kombinerar är relevant att genomföra med syfte att identifiera vilka kombinationer som ger bäst utfall vad gäller energibesparing av uppvärmningsbehovet i kombination med t ex bevarande av kulturvärden, ekonomi etc.

Den teoretiska temperaturverkningsgrad som anges för ett ventilationssystemets värmeväxlare uppfylls inte alltid beroende på flera orsaker. Det kan som nämnts uppstå risk för påfrysning vid låga utetemperaturer vilket sänker energiverkningsgraden. I en studie av värmeväxlare där den teoretiska verkningsgraden angavs till 0,77-0,87 sänktes den verkliga till 0,50-0,55 (Ejlertsson et al, 2013) vid lägre utetemperaturer, obalanserade flöden förekom också. Vilken

energiverkningsgrad som kan erhållas och effekterna då risk för påfrysning förekommer är ett område som bör studeras även i kombination med inglasning. Bland annat för att undersöka hur stor effekt en förvärmning kan ha på olika höga verkningsgrader.

4.2 Spridning av resultat

Publikationer som presenterar resultaten omfattar en publicerad vetenskaplig artikel på engelska, en konferensartikel, en sammanfattande rapport på svenska samt två examensarbetsrapporter. Pågående publikationer omfattar en tidskriftsartikel på engelska som kommer att skickas in i början på 2017 och en konferensartikel som skickas in i januari 2017 samt en examensarbetsrapport.

Resultaten har presenterats på en konferens i Finland och kommer att presenteras på NSB konferensen i Trondheim 2017. Eftersom projektets deltagare undervisar civilingenjörstudenter och högskoleingenjörer inom husbyggnad i ett stort antal kurser har getts tillfällen att diskutera resultaten i undervisningen. Båda håller i den avslutande kursen för Väg och vattenbyggnadsingenjörer; Hållbart byggande och avser även att föra ut resultaten i denna kurs. Ett nära samarbete har som nämnts skett med Tampere universitet i Finland där utbyte av kunskap och framförallt gemensamma insatser gett flera resultat. Företrädare för branschföreningar har även visat intresse och efterfrågat den beräkningsmodul som utvecklats. Spridning har därför skett både nationellt och internationellt både till forskarsamhället och byggbranschen.

Publikationer inom Sege park

K. Hilliaho, B. Nordquist, P. Wallentén, A. Abdul-Hamid, J. Lahdensivu - Energy saving and in-door climate effects of an added glazed façade to a brick wall building: Case study. *Journal of Building Engineering*, Vol. 7 (2016) pp 246-262.

K. Hilliaho, B. Nordquist, P. Wallentén - The impact of the added façade glazing on the building energy consumption in the southern Sweden. In: *Proceedings of the Building physics 2015* - seminar, Tampere, October 2015. (In Finnish)

B. Nordquist, P. Wallentén. 2016. *Sammanfattande resultat av projekt kring Inglasning som ny klimatskärm*. Rapport TVIT-7105, Avd. för Installationsteknik, avd. för Byggnadsfysik, Lunds tekniska högskola, 25 sid.

J. Andersson, A. Bränd - *Glasklar tilläggsisolering- möjligheter med förvärmning av tilluft*. Examensarbete, rapport TVIT-5048, Lunds tekniska högskola, 2014.

Elfborg S, Vrbanjac A. 2012. Inglasad tegelfasad - en energianalys. TVIT-5037, Lunds tekniska högskola, Examensarbete.

Horn, S.K och Sak, M. 2014. *Utveckling av energisimuleringsprogrammet Glazing-LTH*, Avdelningen för Byggnadsfysik, Lunds Universitet (TVBH-5079), Examensarbete.

Pågående publikationer

Nordquist B, Hilliaho K, Wallentén P, Lahdensivu J. 2017. Effective passive cooling measures and thermal conditions in glazed brick buildings during summertime: study of various building envelope, to be submitted to *Building and Environment*

Nordquist B, Hilliaho K, Wallentén P, Lahdensivu J. 2017. Thermal conditions in glazed brick buildings during summertime: Evaluation through measurement and simulations, abstract accepterat till *NSB 2017* i Trondheim

G Avgenakis. 2017. Inglasning av tegelfasad - Energianalys samt fallstudie på ett flerbostadshus och på byggnad 22. TVIT-5059, Examensarbete, Lunds tekniska högskola, under publicering.



LUNDS UNIVERSITET
Lunds Tekniska Högskola

ISRN LUTVDG/TVIT--16/7105--SE(25)