

Lågemissionsglas och renovering förbättrar äldre fönsters värmeisolering

Bertil Fredlund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag från Teknopol i Lund och Fönster Hantverkarna AB i Bjäresjö, Ystad till institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds tekniska högskola, Lund.

© copyright Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lunds Tekniska Högskola, 1998.
Layout: H Follin, LTH, Lund

Tryckt av KFS AB, Lund 1999

Rapport TABK--99/3055
Lågemissionsglas och renovering förbättrar äldre fönsters värmeisolering
Lunds Tekniska Högskola, Institutionen för Byggnadskonstruktionslära, Lund

ISSN 1103-4467
ISRN LUTADL/TABK--3055--SE

Lunds Tekniska Högskola
Institutionen för Byggnadskonstruktionslära
Box 118
221 00 LUND

Telefon: 046 - 222 73 45
Telefax: 046 - 222 47 19
E-post: bkl@bkl.lth.se
Hemsida: <http://www.bkl.lth.se>

Innehåll

Innehåll	3
Förord	5
1 Bakgrund	7
2 Problem	9
3 Tidigare arbeten	11
4 Målsättning	13
5 Metod	15
6 Provningsstandard	17
7 Provningsanordning	19
8 Beskrivning av provobjekt	23
8.1 Fönster nr 1	24
8.1.1 Ursprungligt skick	24
8.1.2 Renoverat fönster	28
8.1.3 Uppgraderat fönster	31
8.1.4 Renoverat fönster med spröjs	31
8.1.5 Uppgraderat fönster med spröjs	32
8.2 Fönster nr 2	32
8.2.1 Ursprungligt skick	32
8.2.2 Renoverat fönster	34
8.2.3 Uppgraderat fönster	35
8.3 Fönster nr 3	35
9 Resultat av mätningar med varmlåda (Hot-box)	39
9.1 Fönster nr 1, resultat	39
9.2 Fönster nr 2, resultat	40
9.3 Fönster nr 3, resultat	41
9.4 Sammanfattning av provresultat	42
10 Utvärdering av provningar	43
10.1 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade U-värden	43
10.2 Analys av variation i fönsterstorlek	44
10.3 Justerade U-värden	46

11	Sammanfattning	49
	Referenser	51

Förord

Föreliggande rapport utgör slutredovisning av ett forskningsprojekt där äldre fönsters värmetekniska egenskaper och möjligheter till förbättringar studerats. Projektet har genomförts på uppdrag av Fönster Hantverkarna AB i Bjäresjö, Ystad. Finansieringen av projektet har möjliggjorts genom medel från Teknopol i Lund.

Bo-Thomas Nilsson, initiativtagare till Ysta'gruppen Idé och Utveckling har medverkat till att knyta erforderliga kontakter för projektets genomförande.

Det praktiska renoveringsarbetet av fönstren har utförts av Fönster Hantverkarna AB, genom Sonja och Hans Allbäck, enligt deras sedan 16 år utvecklade renoveringsmetod. De provade fönstren har valts ut i samråd med Fönster Hantverkarna AB som även ställt fönstren till förfogande för provningarna.

Pilkington Floatglas AB har genom Tomas Grange bidragit med låg-emissionsglas för uppgradering av fönstren.

Provningar och beräkningar har utförts av Urban Lundh, som har haft värdefullt stöd av Bertil Johnsson från SP i Borås.

Lund i december 1998
Bertil Fredlund

1 Bakgrund

Vid Institutionen för byggnadskonstruktionslära finns sedan en tid en forskargrupp, som bedriver forskning rörande fönster. Gruppens målsättning är att långsiktigt utveckla kunskap och hjälpmedel för utformning av fönsterkonstruktioner, samt driva på utvecklingen av nya praktiska, ekonomiska och acceptabla lösningar. Arbetet skall präglas av en helhetssyn där tekniska aspekter, termisk och visuell komfort, psykisk eller fysiologisk påverkan på människor, samt arkitektoniska synpunkter behandlas.

Som ett led i utvecklingsarbetet har vi intresserat oss för egenskaper hos äldre fönster och metoder för att förbättra värmetekniska prestanda hos dessa.

Utgångspunkt för detta projekt är den av Fönster Hantverkarna AB sedan 16 år etablerade metoden att renovera, restaurera och underhålla fönster från olika tidsepoker, den sk Allbäcksmetoden. Hittills har metoden begränsats till att återställa fönstren i ursprungligt skick med den begränsning i värmetekniska egenskaper detta innebär. I detta projekt har metoden utvecklats ytterligare så att fönstren även kan förbättras värmetekniskt med bibehållande av de estetiska värdena.

2 Problem

Traditionellt har förbättring av fönstrens U-värden inneburit byte av fönster eller användning av olika metoder där förbättringen baseras på att det befintliga fönstret förses med ytterligare en ruta. Båda angreppssätten är både dyrbara och försämrar de estetiska kvaliteterna.

Ett mycket skonsamt alternativ till de etablerade metoderna är att i samband med renoveringen förbättra U-värdet genom att byta ut det inre glaset till ett glas med lågemitterande beläggning. Ett problem för detta tillvägagångssätt är att normalt levereras de belagda glasen med en minsta tjocklek på 4 mm.

Detta leder till två komplikationer. För det första ryms normalt ej ett 4 mm glas i befintlig kittfals som är avsedd för 2-3 mm glas. För det andra blir glaset för tungt för den befintliga bågen.

Vid diskussioner med Pilkington Floatglas AB har det dock framkommit att företaget kan leverera belagda glas med en tjocklek av endast 3 mm utan några extra kostnader eller längre leveranstider (Ref Tomas Grange). Detta öppnar möjligheten att praktiskt klara en enkel och samtidigt estetiskt tilltalande lösning för uppgradering av de värmetekniska egenskaperna.

Vad som måste göras är att man med etablerade vetenskapliga metoder, dvs mätningar och beräkningar, påvisa hur stora effekter vi får med den föreslagna förbättringsåtgärden innan denna kan lanseras som ett fullgott alternativ. Det är även viktigt att man kan visa upp provningsresultat för att metoden skall accepteras på marknaden.

3 Tidigare arbeten

Det finns enligt vår vetenskap inga väldokumenterade arbeten som redovisar effekten av en uppgradering av fönster med belagda glas i innerbågen. Det går visserligen att göra teoretiska uppskattningar men dessa måste för praktiskt bruk valideras genom mätningar. Det kan även anmärkas att det hårdbelagda glas som krävs när lågmissionsskiktet kan utsättas för mekanisk påverkan som i ett kopplat fönster, inte har varit tillgängligt i tillräckligt färgneutrala varianter förrän kring 1990. Detta har varit en begränsning för användning av glaset speciellt i renoveringssammanhang.

Bland tidigare arbeten som har relevans i detta sammanhang kan nämnas (Olsson-Jonsson,1988), (Ribbing,1982) och (Joss, Sixtensson,1980). I (Olsson-Jonsson,1988) har experiment visat, att utbyte av innerrutan i ett 2-glas kopplat fönster till ett glas med lågmissionsskikt, förbättrar U-värdet med 23 %. Förbättringen motsvarar att fönstret uppnår egenskaper motsvarande ett treglasfönster med tre klara glas. Effekten av lågmissionsbeläggningen bekräftas av utredningen i (Ribbing,1982). Åtgärder med befintliga fönster diskuteras i (Joss, Sixtensson,1980). De U-värden som tagits fram i denna sistnämnda studie måste dock användas med stor försiktighet då de baseras på enkla ytemperaturmätningar i fält. I vissa fall har tom fönstren som studerats varit solbelysta under mätningarna.

4 Målsättning

Målsättningen med projektet är att utreda och dokumentera förbättringen av U-värdet för renoverade fönster där det inre glaset i samband med renoveringen ersätts av ett glas med lågemissionsskikt av hård typ. Provningsmetoden och utvärderingen av mätvärden skall följa den svenska standard som gäller vid nyproduktion av fönster. Resultaten skall dels kunna användas för analys och jämförelse med alternativet att fönstret byts ut mot ett nyttillverkat, dels för att man ska kunna bedöma vilken effekt en renovering och uppgradering av det befintliga fönstret har på energianvändningen jämfört om fönstret ej åtgärdas.

5 Metod

För att uppnå målsättningen har provning genomförts av orenoverade, renoverade och uppgraderade fönster där innerglaset har bytts ut mot ett glas med lågemissionskikt. Provningarna har utförts med den sk hot-box-metoden enligt svensk standard SS 02 42 12, (SIS,1981). Utvärderingen följer de riktlinjer som anges i svensk standard SS 02 42 13, (SIS,1987).

För provningarna har 3 st begagnade fönster valts ut i samråd med Fönster Hantverkarna AB. Fönstren är tidstypiska konstruktioner från tidsperioderna 1880, 1930 och 1980. De provade fönstrens karmyttermått i provserien är ca 1.2×1.2 m. Andra fönsterstorlekars egenskaper har tagits fram genom beräkningar med beräkningsprogrammet Frameplus, (Frameplus Toolkit,1995).

De fönster som uttagits för provning har dokumenterats noggrant vad avser deras kondition före renovering. Även samtliga åtgärder vid renoveringen har dokumenterats i detalj. Fönster Hantverkarna AB har ansvarat för detta arbete.

6 Provningsstandard

Provningsen av fönstren har skett enligt svensk standard SS 02 42 12 Värmeisolering – Bestämning av värmemotstånd med hjälp av varmlåda och SS 02 42 13, Värmeisolering - Dörrar och fönster - Bestämning av värmemotstånd med hjälp av varmlåda. Alternativ 1 enligt avsnitt 7 i standarden har tillämpats.

Följande avsteg har gjorts från standarden:

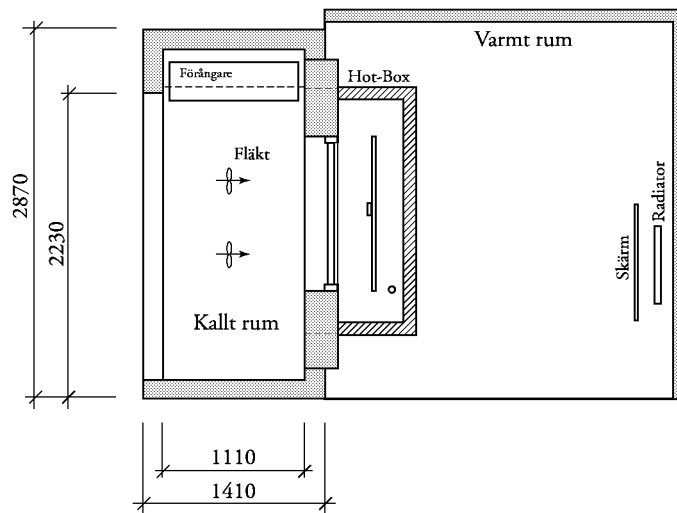
Medeltemperaturen, enligt SS 02 42 13 avsnitt 7.1, var $+8.6^{\circ}\text{C}$ i stället för stipulerade $+10.0^{\circ}\text{C}$.

Mätpunkterna har varit placerade enligt standarden avsnitt 7.2.1. Dock har mätpunkterna på sidostyckena och glasets randzoner utelämnats. Enligt standarden avsnitt 7.4 skall mätningarna utföras under två mätperioder på vardera tre timmar med registrering av effekt och temperatur vid minst tre tillfällen per mätperiod. Vid föreliggande mätningar har endast en mätperiod använts. Denna har dock omfattat drygt 12 timmar med avläsningar var 15:e minut, dvs vid 50 tillfällen.

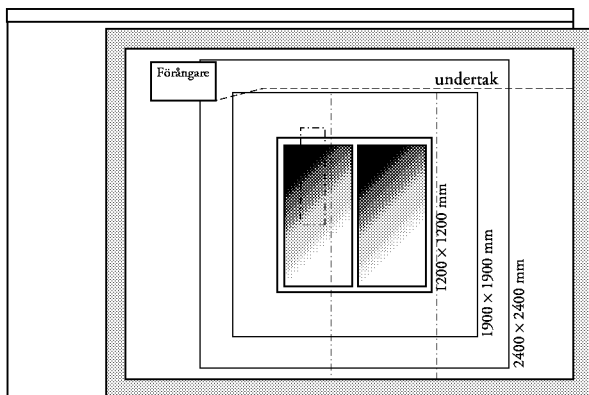
Mätprogrammet väljer sedan ut den period som omfattar minst 20 mättillfällen med den minsta standardavvikelsen. Därefter utökas serien med en mätning i taget, så länge inte standardavvikelsen ökar. Om standardavvikelsen skulle öka vid den senaste mätningen tas mätresultatet bort och U-värdet beräknas på den kvarvarande mätserien. Detta förfarande ger inte sämre noggrannhet än om förfarandet enligt SS 02 42 13 följts.

7 Provningsanordning

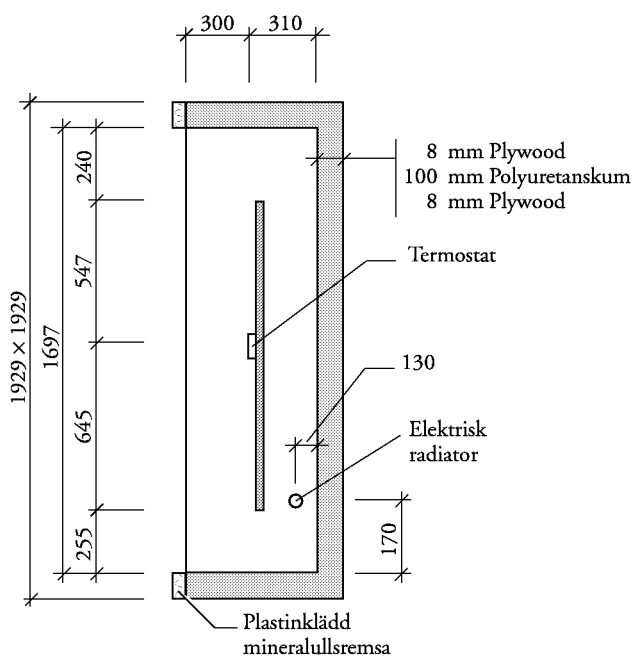
En skiss över provningsanordningen redovisas i figur 7.1a tom 7.1c.



Figur 7.1a Sektion genom kalla och varma rummet.



Figur 7.1b Sektion genom det kalla rummet.



Figur 7.1c Detalj av Hot-Box.

Temperaturmätningen har utförts med 14 termoelement, 7 st på den varma sidan och 7 st på den kalla. Mätpunkterna på den varma respektive den kalla sidan var placerade mitt för varandra. Samtliga mätpunkter var placerade utmed glasrutans vertikala centrallinje. I fallen med två-lufts-fönster var mätpunkterna placerade på den vänstra rutan sett från den kalla sidan.

På karmöverstycke, karmunderstycke, bågöverstycke och bågunderstycke har ytemperaturen på kalla och varma sidan registrerats. Givarna var placerade på träpartiernas respektive mittpunkter.

På glaspartiet har ytemperaturerna mätts på tre olika höjder, dels på ytterrutans utsida dels på innerrutans insida. Glasrutan har i vertikalled delats upp i tre lika stora ytor, där ytemperaturerna mätts i varje ytas mittpunkt. Temperaturmätningen har således skett på höjderna $h/6$, $h/2$ och $5h/6$, där h är glashöjden.

Vid mätdatainsamlingen har sedan varje mät punkt viktats efter den delyta som den representerar.

Provföremålen har placerats i den kvadratiske öppningen i väggen mellan det kalla utrymmet och hotboxen. Öppningens mått är 1200×1200 mm. I de fall då provföremålet inte har fyllt öppningen helt, har utrymmet fyllts ut med tillpassade bitar från en EPS-skiva med tjockleken 100 mm. Densiteten för skivan var 18.5 kg/m^3 och λ -värdet var $0.036 \text{ W/m}^\circ\text{C}$. Vid mätningar där passbitar använts korrigeras mätvärdena med hänsyn till värmeledet genom utfyllnadsbitarna.

Efter monteringen av provföremålen har springorna mellan karm och vägg tätats med maskeringstape på såväl den varma som den kalla sidan. Tätningen förhindrar luftläckage mellan det kalla utrymmet och hotboxen.

Med hjälp av fyra fläktar har det på den kalla sidan skapats en horisontell luftström riktad vinkelrätt mot provföremålet. Luftströmmen på den varma sidan alstras genom den konvektion som uppstår på grund av hotboxens interna uppvärmningsanordning. Denna senare luftström är riktad nedåt, eftersom en skärm är placerad mellan värmekällan och provföremålet.

8 Beskrivning av provobjekt

I försöksserien ingår tre stycken fönster från olika tidsepoker vilka kortfattat beskrivs nedan. Provobjekten benämns enligt följande:

Fönster nr 1: tillverkningsår ca 1880

Fönster nr 2: tillverkningsår ca 1930

Fönster nr 3: tillverkningsår 1982

Fönster nr 1 var från början ett fyrluftsfönster från ca 1880, som var för stort för vår provningsutrustning. Efter att de två mindre överlufterna kapats bort, erhöles en lämplig provstorlek. Fönster nr 1 är således vid provning ett "tvåluftsfönster", försett med två enkelglas, ett i ytterbågen och ett i den löstagbara innerbågen. Glasens tjocklek är 2 mm och avståndet mellan dem är 90 mm.

Fönster nr 2 är ett tvåglasfönster från ca 1930. Det är utrustat med kopplade bågar som har ett glasavstånd på 31 mm. Glastjockleken är 3 mm.

Fönster nr 3 är en produkt från företaget SP-fönster. Det är tillverkat 1982. Fönstret är försett med ett isolerglaspaket bestående av 3 st 4 mm glas och med 12 mm luftspalter.

För samtliga fönster gäller att karmar och bågar är tillverkade av furu.

Fönster nr 1 har före första mätningen lagrats i ett år i ett kallförråd hos Fönster Hantverkarna AB i Ystad.

Fönster nr 2 har före första mätningen lagrats i ett år i ett kallförråd i Lomma.

Fönster nr 3 har före mätningen varit monterat i en vägg till ett uppvärmt utrymme hos FönsterHantverkarna AB i Ystad.

Tabell 8.1 Projektionsytorna för de tre fönstren.

	Karmyta (m ²)	Bågyta (m ²)	Glasyta (m ²)
Fönster 1	0.2838	0.2461	0.8981
Fönster 2	0.2298	0.2419	0.8963
Fönster 3	0.2157	0.1867	0.6561

Mätningarna på de båda äldre fönstren, fönster 1 och fönster 2, har utförts på fönstren i originalskick, därefter efter renovering, dvs efter bland annat färgborttagning, justering av passning mellan båge och karm samt montering av nya tätningslister. Slutligen har fönstren uppgraderats vilket innebär att innerrutan ersatts av ett glas med lågemitterande skikt, i detta fall Pilkingtons Kappa Energi Float.

För fönster 1 har dessutom inverkan av två horisontella spröjsar per luft provats.

Mätningarna på det nyare fönstret har endast skett med fönstret i originalskick eftersom det var försett med ett odelbart glaspaket.

8.1 Fönster nr 1

8.1.1 Ursprungligt skick

Fönster nr 1 är ett 4-lufts-fönster med krysspost och enkla ytter- och innerbågar, se figur 8.1. Fönstret är verkstadstillverkat med frästa profiler. Tillverkningsår är ca 1880 och det byttes ut i en fastighet i södra Skåne 1995. Tillverkaren är okänd.

Innerbågarna är inåtgående, överfalsade och saknar gångjärn. Innerbågarna är fästade i karmen med propellerbeslag. Ytterbågarna är sidohängda på gångjärn och låses med haspar. Bågarna är glasade med både blåst och valsat 2 mm glas. Avståndet mellan ytter- och innerglasen är 90 mm, se figur 8.2.

Ytterbågarna är sammanfogade med tapp och slits och låsta med träpluggar och utanpåliggande hörnjärn, se figur 8.3.

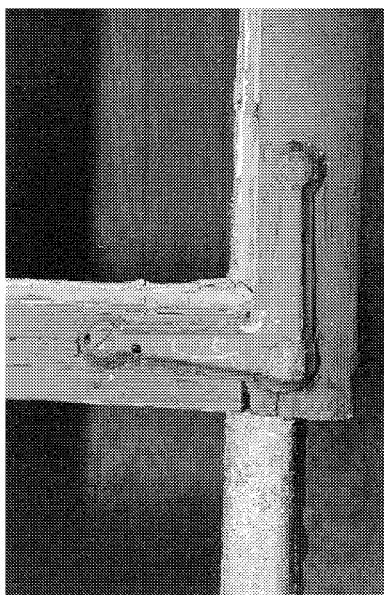
Ursprunglig ytbehandling har varit linoljefärg med glasen lagda i linoljekitt.



Figur 8.1 Fönster nr 1 är ett 4-lufts-fönster med krysspöst och enkla ytter- och innerbågar. Tillverkningsår ca 1880.



Figur 8.2 Överfalsade innerbågar utan gångjärn.



Figur 8.3 Detalj av sammanfogning.

Fönstrets konstruktion och kvalitet är mycket god. Materialet i karm och bågar består av noga utvalt furuvirke med hög halt av kåda och pinosylvin. Fönstret representerar en god hantverkstradition med avseende på virkesval, sammanfogningsteknik, dimensionering och ytbehandling. Beslagen är enkelt utformade med en god funktion. Glasningen är av god kvalitet med väl tillskurna glas lagda i linoljekitt och fästa med trådstift. Glasen är även fixerade med tråklossar vilka ytterligare förstärker konstruktionen.

På grund av bristande och felaktigt underhåll de senaste 20 åren har fönstrets skick försämrats väsentligt. Följande observationer gjordes:

- läckande kittfalsar
- torrsprickor
- slitage i sammanfogningar
- rostiga skruvar och beslag
- bristande tätning mellan karm och båge

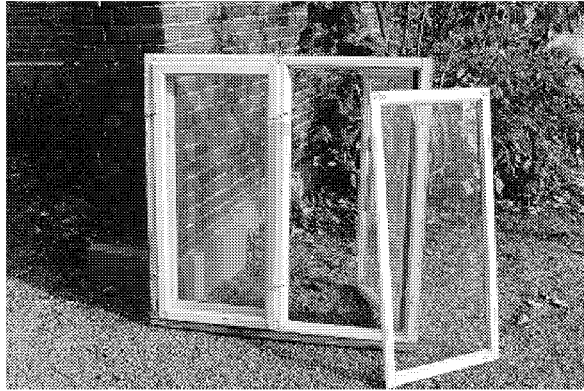
Trots bristerna i underhåll har skadorna ännu inte förorsakat några rötangrepp, se figur 8.4.



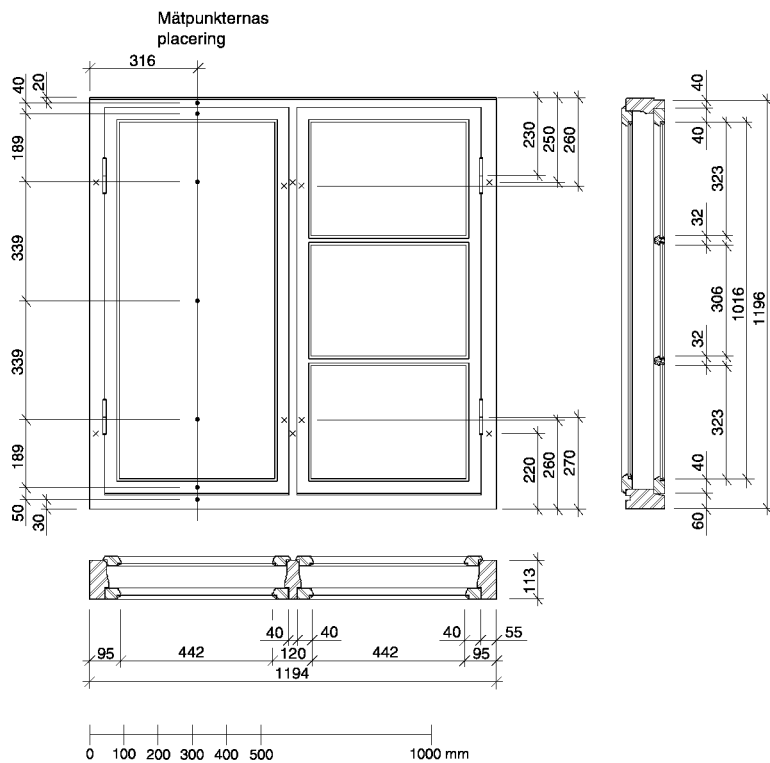
Figur 8.4 Ytterbågarna har inga rötskador.

För att möjliggöra provning i institutionens provningsutrustning anpassades karmens yttermått genom att överlufterna sågades av, se figur 8.5.

Mätpunkternas placering framgår av figur 8.6.



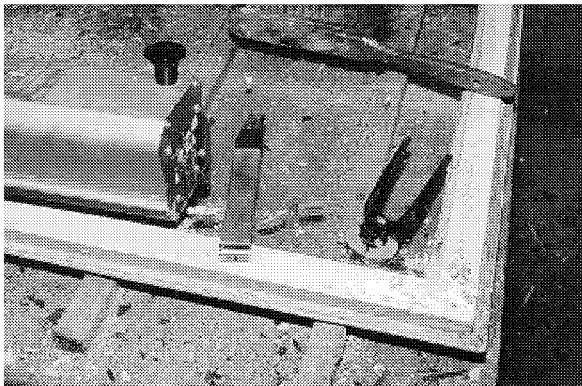
Figur 8.5 Överlufterna sågades av för att anpassa karmens ytermått till provnings-
utrustningen.



Figur 8.6 Redovisning av dimensioner och givarplaceringar för fönster nr 1.

8.1.2 Renoverat fönster

Fönsterhantverkarna AB utförde följande åtgärder. Samtliga bågar lyftes av. Samtliga glas demonterades med hjälp av kittlampan se figur 8.7. Många tjocka lager av olika färgtyper hade fyllt profiler och anslag. För att återställa fönstrets ursprungliga måttoleranser, utfördes färgborttagning på bågar och karm med hetluft, se figur 8.8 tom 8.10.



Figur 8.7 Demontering av glas med hjälp av kittlampa.



Figur 8.8 Färgborttagning med hetluft.

Utanpåliggande beslag, dvs gångjärn och hörnjärn, demonterades och rengjordes. Rostskyddsbehandlingen utfördes genom förtening. Bågar-
nas stängningshaspar demonterades, rengjordes och behandlades med schellack, se figur 8.11.

För att komplettera innerbågarnas anslag i överfalsen och skapa fullgod tätning, limmades en profilfräst anslagslist på karmen, se figur 8.12.



Figur 8.9 Färgborttagning med hetluft.



Figur 8.10 Färgborttagning med hetluft.



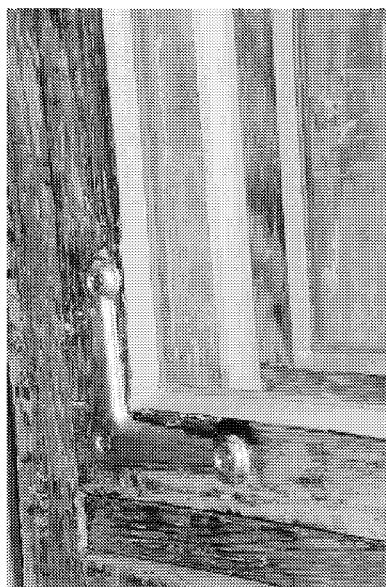
Figur 8.11 Rostskyddsbehandling av hörnjärn utföres genom förténning.



Figur 8.12 Ny anslagslist monterades. Som tätning limmades en slanglist av silikongummi.

Ytterbågarnas hörnjärn fylldes med linoljekitt och monterades med nya skruvar i pluggade skruvhål. Gångjärnen monterades och bågarna justerades till rätta måttoleranser.

Ytter- och innerbågarna återglasades med originalglasen dvs 2 mm blåst glas. Kittfalsarna spärrgrundades med schellack. Glasen vibrerades ner i tryckkittet. Därefter fixerades glasen med stift, klossning och falskitt, se figur 8.13. Kittet var ett linoljekitt.



Figur 8.13 Detalj av återglasade bågar.

Som tätning i innerbågarnas anslag, limmades en slanglist av silikon-gummi på den nymonterade anslagslisten, se figur 8.12. Även i ytterbågarnas anslag limmades en slanglist av silikon-gummi. För att skapa en lämplig ventilation av luftspalten mellan glasen, gjordes ett 30 mm uppklipp i bågens övre och undre tätningslist. Detta uppklipp försågs med en dammlist (borstlist).

Innerbågarna monterades med originalfönstrets stängningspropellrar. Ytterbågarnas stängningshaspar justerades till lämpligt stängningstryck.

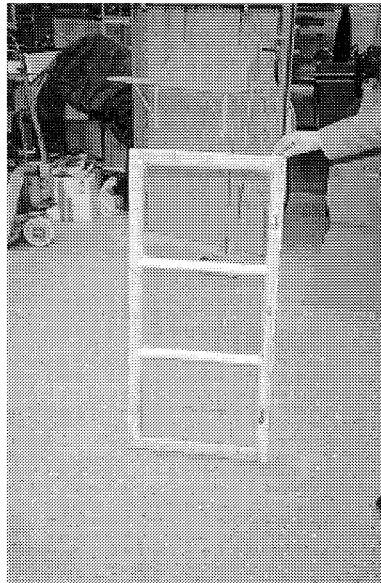
8.1.3 Uppgraderat fönster

Originalglaset i innerbågen ersattes med ett 3 mm glas med ett selektivt lågmissionsskikt. Den belagda sidan av glaset är vänd mot luftspalten. I övrigt är utförandet lika som för det renoverade fönstret enligt avsnitt 8.1.2.

Lågmissionsglaset levererades av Pilkington Floatglas AB och var av typ Kappa Energi Float. Lågmissionsskiktet är av så kallad hård typ och är färgneutralt och klart som vanligt glas. Dagsljusinfallet genom det belagda glaset minskar endast några få procent jämfört med ett vanligt glas.

8.1.4 Renoverat fönster med spröjs

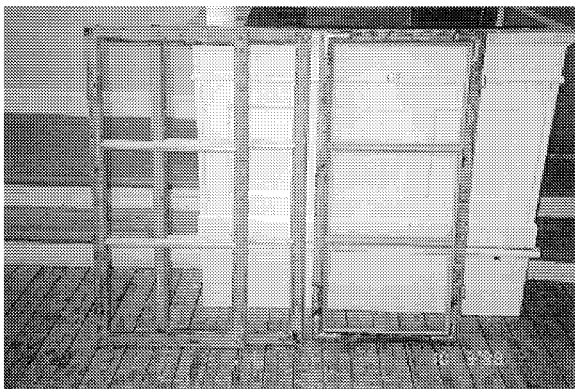
Ytterbågarna försågs med spröjsar av trä. Både ytter- och innerbågen glassades med originalglaset, dvs 2 mm blåst glas. I övrigt är utförandet lika som för det renoverade fönstret enligt avsnitt 8.1.2, se figur 8.14.



Figur 8.14 Ytterbåge försedd med spröjsar.

8.1.5 Uppgraderat fönster med spröjs

Glaset i innerbågen ersattes med ett 3 mm glas med ett selektivt låg-emissionsskikt. Den belagda ytan vändes mot luftspalten. I övrigt är utförandet lika enligt avsnitt 8.1.2, se figur 8.15.



Figur 8.15 Glasade och spröjsade bågar.

8.2 Fönster nr 2

8.2.1 Ursprungligt skick

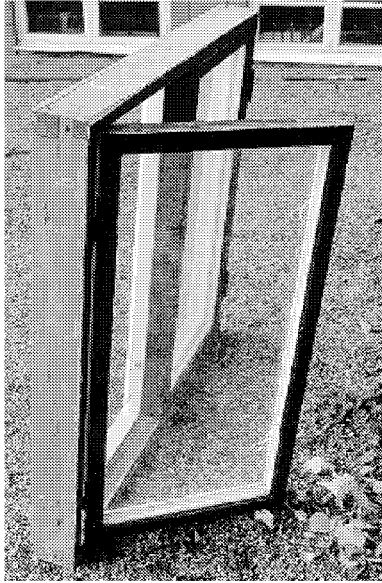
Fönster nr 2 är ett 2-lufts-fönster med mittpost och kopplade utåtgående bågar med gångjärn, se figur 8.16. Fönstret kommer från Borgeby Gård i Lomma vilken uppfördes under slutet av 1800-talet och där fönstren byttes någon gång under år 1930. Dessa fönster byttes ut i juli månad 1997 och provobjektet har förvarats torrt i förråd fram till provningen i november 1997.

Bågarna i det provade fönstret är sidohängda i lyftgångjärn och låsta med koppelbeslag och stängda med fönsterhasp. Bågarna är glasade med valsat 3 mm glas. Avståndet mellan ytter- och innerglasen är 31 mm se figur 8.17.

Bågarna är sammanfogade med tapp och slits och låsta med metallstift. Bågarna har inga utanpåliggande beslag.

Ursprunglig ytbehandling har varit linoljefärg och kittet utgjordes av ett linoljekitt.

Fönstrets konstruktion och kvalitet är god. Materialet i karm och bågar består av kådräk furu. Beslagen är enkelt formade med en god funktion. Glasningen är av god kvalitet med väl tillskurna glas lagda i linoljekitt och fästa med trådstift. Glasen är även fixerade med träklossar vilket ytterligare förstärker konstruktionen.



Figur 8.16 Fönster nr 2 är ett 2-lufts-fönster med mittpost och kopplade utåtgående bågar. Tillverkningsår 1930.



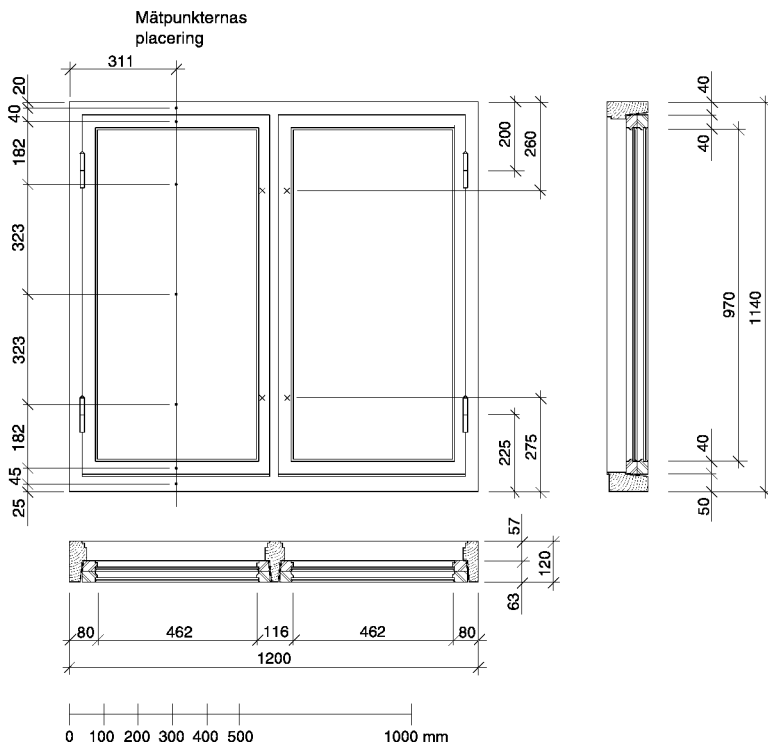
Figur 8.17 Bågarna är sidohängda i lyftgångjärn och låsta med kopparbeslag och stängda med fönsterhasp.

Bristande och felaktigt underhåll under senare år har bidragit till att fönstret byttes ut. Följande observationer gjordes:

- läckande kittfalsar
- torrsprickor
- flagnande färg
- bristande tätning mellan karm och båge

På grund av fönstrets goda ursprungskvalitet har bristerna inte förorsakat några rötskador.

Mätpunkternas placering framgår av figur 8.18.



Figur 8.18 Redovisning av dimensioner och givarplaceringar för fönster nr 2.

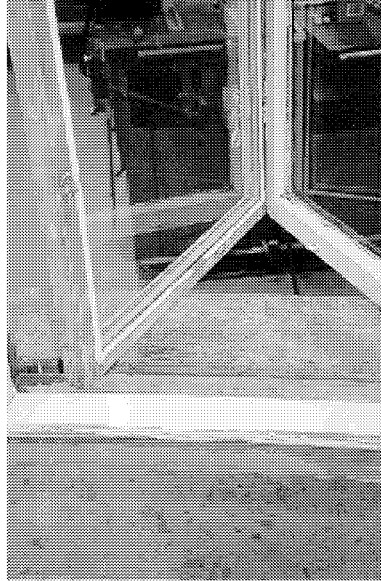
8.2.2 Renoverat fönster

Fönsterhantverkarna AB utförde följande åtgärder. Samtliga bågar lyftes av. Samtliga glas demonterades med hjälp av kittlampa. För att återställa fönstrets ursprungliga måttoleranser utfördes delvis färgborttagning på bågar och karm med hetluft.

Gångjärn och bågar justerades till rätta måttoleranser, dvs ca 2 mm springa mellan karm och båge. Ytter- och innerbågarna återglasades med originalglasen, dvs 3 mm valsat glas. Kittfalsarna spärrgrundades med schellack. Glasen vibrerades ned i tryckkittet. Därefter fixerades glasen med stift, klossning och falskitt. Kittet var ett linoljekitt.

Som tätning i innerbågens anslag limmades en slanglist av silikon-gummi. Även mellan bågarna limmades en slanglist av silikon-gummi. För att skapa en lämplig ventilation av luftspalten mellan bågarna, gjordes ett 30 mm uppklipp av tätningslisten i bågens övre och undre kant. Detta uppklipp försågs med en dammlist (borstlist), se figur 8.19.

Bågarnas stängningshaspar justerades till ett lämpligt stängningstryck.



Figur 8.19 Tätning mellan bågar utfördes med slanglist av silikongummi. För ventilerings mellan bågar gjordes ett 30 mm uppklipp av tätningslisten i bågens övre och undre kant. Uppklippet försågs med en dammlist.

8.2.3 Uppgraderat fönster

Originalglaset i innerbågen ersattes med ett 3 mm glas med ett selektivt lågemissionsskikt. Den belagda sidan av glaset vändes mot luftspalten. Glaset levererades av Pilkington Floatglas AB och var av typ Kappa Energi Float. I övrigt var fönstret enligt beskrivningen i avsnitt 8.2.2.

8.3 Fönster nr 3

Fönster nr 3 är ett 1-lufts 3-glasfönster, fabrikat SP-fönster, med typbeteckningen EDF, och tillverkat år 1982, se figur 8.20. Fönstret monterades i en flygelbyggnad av tegel på Bjäresjö Skola i Skåne år 1982 och ersatte då ett originalfönster från 1926. Fönstret har varit orienterat mot öster i ett pannrum i bottenplanet i ett skyddat läge. Fönstret demonterades våren 1998 för provning.



Figur 8.20 Fönster nr 3 är ett 1-lufts 3-glasfönster tillverkat år 1982.

Fönstret är försett med ett isolerglaspaket bestående av tre 4 mm glas-skivor med två mellanliggande luftspalter på vardera 12 mm. Isolerglasrutan är infattad i karm och båge av furu. Rutan är fäst med spiklist och bågens bottenstycke är försett med en dropplist av aluminium.

Bågen är öppningsbar genom vippbeslag (Husmorsvindue) och låsningsanordning i form av ett vred i bågens understycke. Bågarna är sammansfogade med tapp och slits.

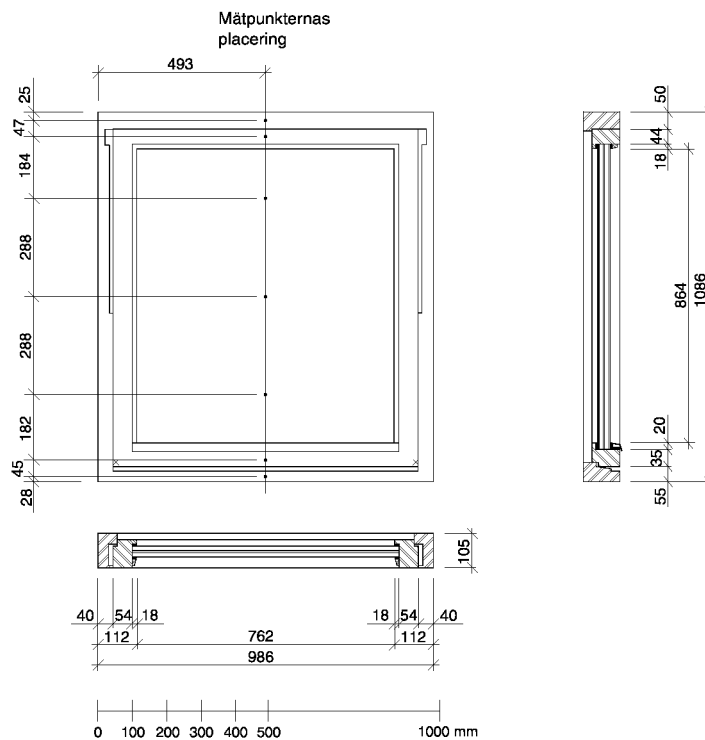
Ytbehandlingen på utsida av karm och båge består av alkydfärg och på insidan är karm och båge obehandlade.

Fönstrets konstruktion och kvalitet bedöms som sämre än hos de äldre fönstren som ingår i denna studie. Fönstret är dock för sin ålder i förhållandevis gott skick på grund av sitt skyddade läge i byggnaden. Funktionen är god men med ett hårt slitage på ytbehandlingen. De lösa utanpåliggande spröjsarna och mittposten har blåst bort, se figur 8.21.

Mätpunkternas placering framgår av figur 8.22.



Figur 8.21 Detalj av fönster nr 3 som visar på ett hårt slitage av ytbehandlingen.



Figur 8.22 Redovisning av dimensioner och givarplaceringar för fönster nr 3.

9 Resultat av mätningar med varmlåda (Hot-box)

Nedan redovisas resultaten från provningarna. Resultatredovisningen följer de krav som anges i svensk standard SS 02 42 12 och SS 02 42 13.

9.1 Fönster nr 1, resultat

I tabell 9.1 sammanställs provningsresultaten för fönster nr 1 som tillverkades ca 1880.

Tabell 9.1 Sammanställning av provningsresultat för fönster nr 1. Tillverkningsår ca 1880.

Uppmätt storhet	Enhet	Befintligt skick	Renoverat	Renoverat + LE-skikt	Renoverat + spröjsat	Renoverat + spröjsat + LE-skikt
t_i	°C	23,4	23,2	23,3	23,3	23,3
t_a	°C	- 6,3	- 6,8	- 6,8	- 6,6	- 6,6
t_{s1} karm	°C	19,0	18,6	19,0	18,6	19,0
t_{s2} karm	°C	- 2,3	- 5,2	- 5,1	- 4,8	- 4,8
t_{s1} bäge	°C	18,4	18,0	18,4	18,1	18,7
t_{s2} bäge	°C	- 3,7	- 5,4	- 5,5	- 5,4	- 5,1
t_{s1} glas	°C	13,4	14,2	16,3	13,2	15,6
t_{s2} glas	°C	- 3,5	- 4,0	- 4,7	- 3,2	- 4,8
t_{s1} vägt	°C	15,3	15,6	17,0	15,0	16,7
t_{s2} vägt	°C	- 3,3	- 4,5	- 4,9	- 4,2	- 4,8
t_m provobjekt	°C	6,0	5,6	6,1	5,4	6,0
P	W	124,0	104,1	82,6	104,5	84,1
Φ	W	111,6	91,7	69,6	92,4	73,0
M beräknat	m ² ·°C/W	0,24	0,31	0,45	0,30	0,42
U-värde beräknat	W/m ² ·°C	2,44	2,07	1,60	2,13	1,68

Beteckningar:

- t_i = lufttemperatur på varma sidan
 t_u = lufttemperatur på kalla sidan
 t_1 = yttemperatur på varma sidan
 t_2 = yttemperatur på kalla sidan
 t_m = medeltemperatur
 P = värmeeffekt producerad i varmlådan
 ϕ = värmeflöde genom provobjektet
 M = provobjektets värmemotstånd

Onoggrannheten hos det beräknade U-värdet ligger inom $\pm 10\%$.

Den relativa luftfuktigheten i det varma rummet låg mellan 29 och 32% under samtliga mätningar.

9.2 Fönster nr 2, resultat

I tabell 9.2 sammanställs provningsresultaten för fönster nr 2 som tillverkades ca 1930.

Tabell 9.2 Sammanställning av provningsresultat för fönster nr 2. Tillverkningsår ca 1930.

Uppmätt storhet	Enhet	Befintligt skick	Renoverat	Renoverat + LE-skikt
t_i	°C	23,2	23,2	23,2
t_u	°C	- 6,2	- 6,6	- 6,8
t_1 karm	°C	20,6	20,4	20,8
t_2 karm	°C	- 3,2	- 4,7	- 4,9
t_1 bäge	°C	16,5	15,6	16,0
t_2 bäge	°C	- 4,4	- 5,1	- 5,3
t_1 glas	°C	12,8	12,5	15,7
t_2 glas	°C	- 3,5	- 3,9	- 5,0
t_1 vägt	°C	14,8	14,4	16,6
t_2 vägt	°C	- 3,6	- 4,3	- 5,0
t_m provobjekt	°C	5,6	5,1	5,8
P	W	126,1	108,2	87,3
Φ	W	113,7	94,9	74,8
M beräknat	m ² ·°C/W	0,22	0,27	0,40
U-värde beräknat	W/m ² ·°C	2,55	2,28	1,77

Beteckningar:

t_i = lufttemperatur på varma sidan
 t_u = lufttemperatur på kalla sidan
 t_1 = ytemperatur på varma sidan
 t_2 = ytemperatur på kalla sidan
 t_m = medeltemperatur
 P = värmeeffekt producerad i varmlådan
 ϕ = värmefflöde genom provobjektet
 M = provobjektets värmemotstånd

Onoggrannheten hos det beräknade U-värdet ligger inom $\pm 10\%$.

Den relativa luftfuktigheten i det varma rummet låg på 30% under samtliga mätningar.

9.3 Fönster nr 3, resultat

I tabell 9.3 sammanställs provningsresultaten för fönster nr 3 som tillverkades 1982.

Tabell 9.3 Sammanställning av provningsresultat för fönster nr 3. Tillverkningsår 1982.

Uppmätt storhet	Enhet	Befintligt skick
t_i	°C	23,3
t_u	°C	- 6,5
t_1 karm	°C	19,6
t_2 karm	°C	- 5,1
t_1 bäge	°C	16,0
t_2 bäge	°C	- 5,4
t_1 glas	°C	15,7
t_2 glas	°C	- 4,1
t_1 vägt	°C	16,4
t_2 vägt	°C	- 4,5
t_m provobjekt	°C	5,9
P	W	76,1
Φ	W	60,1
M beräknat	m ² ·°C/W	0,37
U-värde beräknat	W/m ² ·°C	1,84

Beteckningar:

t_i = lufttemperatur på varma sidan

t_u = lufttemperatur på kalla sidan

t_1 = ytemperatur på varma sidan

t_2 = ytemperatur på kalla sidan

t_m = medeltemperatur

P = värmeeffekt producerad i varmlådan

f = värmefflöde genom provobjektet

M = provobjektets värmemotstånd

Onoggrannheten hos det beräknade U-värdet ligger inom $\pm 10\%$.

Den relativa luftfuktigheten i det varma rummet låg på 31%.

Kondensutfällning skedde på innerglasets inre yta på de nedersta fem millimetrarna utmed hela glasets kant.

9.4 Sammanfattning av provresultat

I tabell 9.4 sammanfattas resultaten av uppmätta U-värden för de tre provade fönstren i befintligt skick, renoverat, och uppgraderat genom utbyte av glasets i innerbågen till glas med lågmissionsskikt som vänds mot luftspalten. Dessutom redovisas inverkan av spröjs för fönster nr 1.

Tabell 9.4 Sammanfattning av uppmätta U-värden ($W/m^2\text{°C}$) för de tre provade fönstren. Dimensionerna, bredd $\times$ höjd, på fönstren är: fönster 1 = 1200×1200 mm, fönster 2 = 1200×1140 mm och fönster 3 = 985×1086 mm.

Fönster	Befintligt skick	Renoverat	Renoverat + LE-skikt	Renoverat + spröjsat	Renoverat + spröjsat + LE-skikt
Fönster 1 År 1880	2,44	2,07	1,60	2,13	1,68
Fönster 2 År 1930	2,55	2,28	1,77		
Fönster 3 År 1982	1,84				

Eftersom dimensionerna är något olika på fönstren kan mätresultaten inte jämföras direkt. En justering av dessa U-värden för att göra dem direkt jämförbara redovisas i avsnitt 10 nedan.

10 Utvärdering av provningar

För att möjliggöra en direkt jämförelse mellan de tre fönstren måste provningsresultaten korrigeras med avseende på skillnaderna i fönsterstorlek. Denna korrigering har genomförts med hjälp av beräkningsprogrammet Frameplus (Frameplus Toolkit, 1995). Beräkningarna kan delas in i tre olika typer. Det första steget är att genomföra beräkningar på de aktuella fönstren för att få en uppfattning om beräkningsprogrammets noggrannhet. I ett andra steg studeras inverkan av att minska eller öka fönsterstorleken genom att variera höjd och bredd med 10%. Slutligen beräknas U-värdet för fönster nr 2 och 3 när dessas höjd och bredd sätts lika med fönster nr 1 dvs 1200 × 1200 mm. Den teoretiska relativa skillnaden mellan aktuell fönsterstorlek och basfallet, 1200 × 1200 mm, används därefter som korrektionsfaktor för uppmätta U-värden.

10.1 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade U-värden

De med Frameplus beräknade U-värdena jämförs med provningsresultaten i tabell 10.1

Tabell 10.1 Jämförelse mellan uppmätta och beräknade U-värden. Beräkningarna är genomförda med beräkningsprogrammet Frameplus.

Fönster	Glasning	Dimension B×H (mm)	U-värde Beräknat (W/m ² °C)	U-värde Mätt (W/m ² °C)	$\frac{U_{\text{ber}} - U_{\text{mätt}}}{U_{\text{mätt}}}$ (%)
Fönster 1	2 klara	1200×1200	2.36	2.44	-3
	1 klart+ 1 LE	1200×1200	1.76	1.60	+10
Fönster 2	2 klara	1200×1140	2.42	2.55	-5
	1 klart+ 1 LE	1200×1200	1.87	1.77	+6
Fönster 3	3 klara	985×1086	1.94	1.84	+5
	2 klara+ 1 LE	1200×1200	1.66	—	—

Av tabell 10.1 framgår att de beräknade U-värdena skiljer sig maximalt 10% från de uppmätta. Detta är den förväntade noggrannheten i beräkningarna. Detta innebär att beräkningsprogrammet Frameplus har tillräcklig noggrannhet i beräkningarna för att kunna användas för att korrigera de uppmätta U-värdena med avseende på variationer i fönsterstorlek.

10.2 Analys av variation i fönsterstorlek

I tabell 10.2 tom 10.4 redovisas beräkningar, med beräkningsprogrammet Frameplus, vilka illustrerar fönsterstorlekens inverkan på U-värdet. I studien har fönstrens originalmått varierats med $\pm 10\%$. I studien redovisas dels fönstren med klara glas, dels med det inre glaset utbytt mot ett låg-emissionsglas där den belagda ytan vänds mot luftspalten.

Tabell 10.2 Beräknade U-värden för fönster nr 1, tillverkningsår 1880, när originalmåtten varieras med $\pm 10\%$.

Beräkningsfall	Bredd (mm)	Höjd (mm)	U-värde 2 klara glas (W/m ² C)	U-värde 1 klart+ 1 LE-glas (W/m ² C)
Originalmått	1200	1200	2.36	1.76
Höjden ökad 10%	1200	1320	2.37	1.76
Bredden ökad 10%	1320	1200	2.38	1.77
Båda ökade 10%	1320	1320	2.40	1.78
Höjden minskad 10%	1200	1080	2.35	1.74
Bredden minskad 10%	1080	1200	2.33	1.74
Båda minskade 10%	1080	1080	2.32	1.73

Tabell 10.3 Beräknade U-värden för fönster nr 2, tillverkningsår 1930, när originalmåttan varierar med $\pm 10\%$.

Beräkningsfall	Bredd (mm)	Höjd (mm)	U-värde 2 klara glas (W/m ² °C)	U-värde 1 klart+ 1 LE-glas (W/m ² °C)
Originalmått	1200	1140	2.42	1.87
Höjden ökad 10%	1200	1250	2.43	1.87
Bredden ökad 10%	1320	1140	2.44	1.88
Båda ökade 10%	1320	1250	2.45	1.88
Höjden minskad 10%	1200	1026	2.41	1.86
Bredden minskad 10%	1080	1140	2.40	1.86
Båda minskade 10%	1080	1026	2.38	1.86

Tabell 10.4 Beräknade U-värden för fönster nr 3, tillverkningsår 1982, när originalmåttan varierar med $\pm 10\%$.

Beräkningsfall	Bredd (mm)	Höjd (mm)	U-värde 2 klara glas (W/m ² °C)	U-värde 1 klart+ 1 LE-glas (W/m ² °C)
Originalmått	985	1086	1.94	1.66
Höjden ökad 10%	985	1195	1.93	1.65
Bredden ökad 10%	1084	1086	1.94	1.66
Båda ökade 10%	1084	1195	1.93	1.65
Höjden minskad 10%	985	977	1.94	1.67
Bredden minskad 10%	887	1086	1.94	1.67
Båda minskade 10%	887	977	1.94	1.68

Av tabell 10.2 tom 10.4 framgår att förändringarna i U-värde för samtliga fall är mindre än 2 % när fönsterstorlekarna varierar med $\pm 10\%$ från originalfönstrens höjd respektive bredd.

Det kan även konstateras att treglasfönstrets karm plus båge, se tabell 10.4, har ett något sämre U-värde än glaspartiet. Detta framgår av att när träandelen minskar relativt glasandelen då fönsterstorleken ökar, då minskar U-värdet för fönstret. För tvåglasfönstren i tabell 10.2 och 10.3 gäller det omvända, dvs U-värdet minskar då fönsterstorleken minskar.

Av de genomförda beräkningarna framgår att det är relativt små korrigeringar som behöver göras på de uppmätta U-värdena för att justera med avseende på avvikelser i dimension för de provade fönstren.

10.3 Justerade U-värden

I nedanstående redovisning justeras de uppmätta U-värdena för att ta hänsyn till de olika fönsterstorlekar som provats. Detta innebär att samtliga U-värden hänförs till ett basfall med fönsterstorleken 1200×1200 mm, dvs samma storlek som fönster nr 1. Detta innebär att inga justeringar behöver göras för fönster nr 1.

Metoden för justeringar baseras på att fönster nr 2 och 3 räknas om med beräkningsprogrammet Frameplus med bredd $\times$ höjd = 1200×1200 mm. Den teoretiska relativa skillnaden som erhålls mellan originaldimensionen och basfallet används därefter för att korrigera de uppmätta U-värdena.

I tabell 10.5 redovisas beräkningarna för originaldimensioner och basfallet, bredd $\times$ höjd = 1200×1200 mm tillsammans med korrektionsfaktorerna.

Tabell 10.5 Beräknade U-värden för originaldimensionen och basfallet 1200×1200 mm samt korrektionfaktorer.

Fönster	Glasning	Dimension B×H (mm)	U-värde (W/m ² C)	Korrektions- faktor
Fönster 2	2 klara	1200×1140	2.42	1.004
		1200×1200	2.43	
Fönster 2	1 klart+ 1 LE	1200×1140	1.87	1.000
		1200×1200	1.87	
Fönster 3	3 klara	985×1082	1.94	0.995
		1200×1200	1.93	

Med hjälp av korrektionsfaktorerna i tabell 10.5 kan provresultatens värden enligt tabell 9.4 räknas om så att de refererar till samma fönsterstorlek, 1200×1200 mm. De korrigerade U-värdena sammanställs i tabell 10.6.

Tabell 10.6 Sammanställning av korrigerade uppmätta U-värden ($\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$) för de tre provade fönstren. U-värdena hänför sig till samma fönsterstorlek 1200×1200 mm.

Fönster	Befintligt skick	Renoverat	Renoverat + LE-skikt	Renoverat + spröjsat	Renoverat + spröjsat + LE-skikt
Fönster 1 År 1880	2,44	2,07	1,60	2,13	1,68
Fönster 2 År 1930	2,56	2,29	1,77		
Fönster 3 År 1982	1,83				

11 Sammanfattning

Institutionen för Byggnadskonstruktionslära har i ett forskningsprojekt provat och utvärderat fönster från tre olika tidsperioder. Det äldsta var ett enkelglasfönster från 1880-talet som kompletterats med lösa innerbågar. Ett fönster med kopplade bågar från 1930-talet samt ett modernt 3-glasfönster med förseglade rutor från 1982 ingick i även studien. För de äldre fönstren mättes värmeförlusterna före och efter renovering samt efter uppgradering. Studien visar att det är möjligt att minska värmeförlusterna genom äldre fönster med ca 35% utan att påverka den ursprungliga arkitekturen negativt.

Metoden för uppgradering bygger på att fönsterglaset i förslagsvis innerbågen byts ut mot den nya typ av glas med lågmissionsskikt som finns på marknaden idag. Pilkington tillverkar den typen av glas i tre millimeters tjocklek som dels passar i befintliga kittfalsar och dels inte belastar befintlig båge för mycket. Ett tjockare glas kan bli för tungt. Den typ av glas som saluförs av Pilkington Floatglas AB kallas Kappa Energi Float. Emissionsskiktet på glaset består av en mycket tunn metallbeläggning. Metallbeläggningen är mycket färgneutral och dagsljusinfallet minskar endast några få procent. Detta gör att det är mycket svårt att skilja dessa glas från vanliga klara glas.

Effekten av att renovera och att byta ut glaset i det gamla fönstret från 1880-talet är att detta blir mycket konkurrenskraftigt jämfört med att byta ut det gamla fönstret mot ett nytt. Värmeförlusterna är i storleksordningen de samma som i moderna fönster från 1980 och 1990-talet. Eftersom lågmissionsglaset inte är nämnvärt dyrare än vanliga fönsterglas finns det en stor potential i att förbättra befintliga fönster till en relativt blygsam kostnad.

Tabell 11.1 Från våra laboratoriemätningar har vi för de tre provade fönstren fått fram följande U-värden ($\text{W}/\text{m}^2, ^\circ\text{C}$)

Åtgärd	Fönstertyp / tillverkningsår		
	1880	1930	1982
Befintligt skick	2.44	2.56	1.83
Renoverat	2.07	2.26	
Ett nytt LE-glas	1.60	1.77	

Som framgår av tabellen är U-värdet (värmeförlusterna) för de äldre fönstren efter uppgradering faktiskt lägre än för treglasfönstret från 1982. De lägsta värmeförlusterna har det snart 120-åriga fönstret.

U-värdet anger hur stora värmeförlusterna är genom 1 m^2 fönster när det är en grads temperaturskillnad mellan inne och ute.

Från undersökningen kan vidare konstateras att inverkan av spröjs är relativt marginell. Det finns ingen skillnad mellan om det är spröjs enbart i ytterbågen eller om både ytter och innerbåge är spröjsade. För 1880-tals fönstret försämrades U-värdet med 3 till 5% när fönstret spröjsades. Den större effekten erhöles då fönstret var uppgraderat med lågemissionsglas.

Referenser

- Frame Plus Toolkit, version 4.0. (1995). *User's Manual for DOS and MS-Windows. A comprehensive tool for modelling heat transfer in windows, doors, walls and other building components*. Waterloo, ON, Canada and Denver, CO, USA: Enermodal Engineering Limited.
- Joss, E., & Sixtensson, R. (1990). *Åtgärder med befintliga fönster. Förbättrad värmeisolering, beslag, underhåll, utbyte* (Rapport R55:1980). Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Olsson-Jonsson, A. (1988). *Förbättring av fönsters värmeisolering samt upplevelse av fönsterbyten* (Rapport R40:1988). Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Ribbing, C-G. (1982). *Selektiva fönster. Möjligheter till energibesparing genom strålningskontroll* (Rapport R127:1982). Stockholm: Statens råd för byggnadsforskning.
- Standardiseringskommissionen i Sverige. (1981). *Värmeisolering – Bestämning av värmemotstånd med hjälp av varmlåda*. (Svensk standard SS 02 42 12). Stockholm.
- Standardiseringskommissionen i Sverige. (1987). *Värmeisolering – Dörrar och fönster – Bestämning av värmemotstånd med hjälp av varmlåda*. (Svensk standard SS 02 42 13). Stockholm.

