



Handläggare

Werner Anna

Tel +46105050016

Fax +46105051183

[Anna.Werner@afconsult.com](mailto:Anna.Werner@afconsult.com)

RAPPORT

Datum

2008-05-28

Version

10

1 (17)

## Ångpanneföreningens forskningsstiftelse

# Fönster – tillgång och problem

ÅF-INFRASTRUKTUR AB

230150 Sthlm/Gävle

Granskad

Anna Werner

Lise-Lott Larsson

---

ÅF-Infrastruktur AB

Fleminggatan 7, Box 8133, 104 20 Stockholm. Telefon 010-505 00 00. Fax 08-650 91 18. [www.afconsult.com](http://www.afconsult.com)  
Org nr 556185-2103. Säte i Stockholm. Certifierat enligt SS-EN ISO 9001 och ISO 14001



## Innehåll

1	SAMMANFATTNING	3
2	INTRODUKTION	4
3	U-VÄRDET	5
3.1	Standarden	6
3.2	Avvikelser från standarden	8
3.2.1	Lutning	8
3.2.2	Temperaturer inne och ute	9
3.3	Utvändig kondens	11
4	GLASADE KONTOR	12
5	SOLAVSKÄRMNING	13
6	NÅGRA AVSLUTANDE ORD	14



## Förord

Per Blomberg, som numera arbetar på Skanska Teknik, erhöll under sin tid som anställd på ÅF-Infrastruktur, Effektiv Energianvändning, medel från Ångpanneföreningens forskningsstiftelse för att studera ”Fönster: Problem eller tillgång”. Undertecknad fick våren 2008 i uppgift att avrapportera arbetet med formuleringen i Pers ansökan som utgångspunkt. Mycket av det som behandlas i texten är sådant som jag har kommit i kontakt med och funderat över under min tid som doktorand vid Ångströmlaboratoriet i Uppsala. Förhoppningen är att texten ska utgöra en inspirationskälla för den som är intresserad av fönster, energi och fysik. Den är ett nedstamp i aktuell forskning och belyser ett antal intressanta frågor i skärningspunkten mellan de tre ämnesområdena.

## 1 Sammanfattning

Fönster har en stor påverkan på energianvändningen i en byggnad eftersom en stor del av värmen läcker ut genom fönstren. I den här rapporten behandlas ett antal aktuella ämnen kring val av fönster och solavskärmning. U-värdet diskuteras, liksom ”problemet” med för lågt U-värde. I rapporten nämns standarden för hur det teoretiska U-värdet beräknas, d v s det som glastillverkare och fönsterfabrikanter anger. En kort diskussion om att detta U-värde inte är hela sanningen finns med i rapporten. När t ex effektbehovet för en byggnad dimensioneras, blir beräkningarna mer exakta då fönstrets lutning och de aktuella temperaturförhållandena beaktas. I värsta fall blir värmeanläggningen underdimensionerad därför att fel U-värde har använts vid projekteringen.

Glasindustrin har med bl a lågemissionsbeläggningar förbättrat sina produkter så att glasdelen av fönstret idag har ett betydligt lägre U-värde än karm och båge. Mycket av forskningen idag handlar istället om solavskärmning för att slippa övervärmning av byggnader på sommaren. Därför innehåller den här rapporten en snabb genomgång av olika typer av solavskärmning. Eftersom en tydlig trend idag är att bygga hela glasfasader och ofta med två skal av glas (där varje skal kan utgöras av ett, två eller tre glas), redogörs här också för dessa dubbelglasfasader.

Ämnet är brett varför den här rapporten inte på något sätt kan ses som heltäckande utan mer som en inspiration för vad mer som går att studera och analysera vad gäller fönster, glasfasader och solavskärmning.

## 2 Introduktion

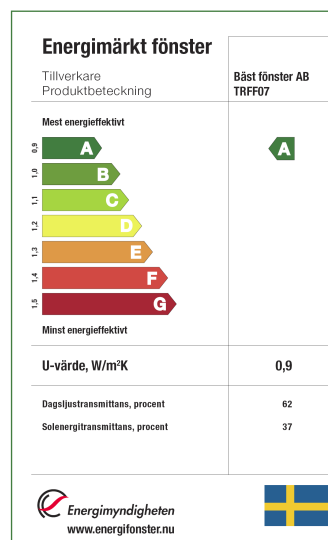
Om vi byter ut alla fönster med enkelglas i Europa mot energieffektiva tvåglasfönster sparar vi 300 terawattimmar energi per år (Groupement Europeen des Producteurs de Verre Plat, 2008). Det kan jämföras med Sveriges totala energianvändning på 406 terawattimmar per år (Energimyndigheten, 2005, s.19). Fönster är med andra ord ett frestande område för alla som vill spara energi och rädda miljön. Det finns inte bara ekonomiska och miljömässiga anledningar att byta till bättre isolerade fönster. De ger också bättre komfort och gör att det går att utnyttja en större del av rummet. Man kan nämligen vistas närmare fönstret utan att besväras av kallras och känslan av drag från fönstren. Elementens placering blir friare eftersom de inte behöver stå framför fönstren för att motverka kallras längre.

När vi byter fönster kan vi spara på flera olika sätt (Avasoo, 2003):

- Lägre transmissionsförluster
- Mindre luftläckage genom otätheter
- Sänkning av inomhustemperatur möjlig
- Lättare att reglera inomhustemperaturen
- Minskad solvärmeinstrålning kan ge ett lägre kylbehov

”Energieffektiv” är ett i sammanhanget luddigt uttryck, eftersom ett fönster som är energieffektivt på en plats inte nödvändigtvis är det på en annan (med t ex annat klimat och annan orientering). De två huvudkategorierna av energieffektiva fönster är ”lågemissionsfönster” och ”solskyddsfönster”. De förra fungerar förenklat uttryckt så att de visserligen släpper igenom det synliga ljuset från solen och även värmeinstrålning från solen, men reflekterar tillbaka in i rummet den än mer långvågiga värmeinstrålningen från möbler, väggar och golv. Dessa fönster används flitigt i Sverige där uppvärmningssäsongen är lång.

Solskyddsfönster släpper också igenom det synliga ljuset, men skär bort mer av solens långvågiga strålning. De kallas därför ibland för solvärmedämpande glas. Ibland väljer man att även skala bort en del av det synliga ljuset eftersom det också hjälper till att värma upp rummet. Oftast försöker man ändå ha kvar det höga dagsljusinsläppet eftersom det ju är därför som man valde att sätta in fönster från början. Solskyddsfönster har länge använts i varmare klimat än det svenska. I takt med att vi bygger mer i glas och



Figur 1



har mer utrustning inomhus som alstrar värme (kopiatorer, datorer, ...), har de även blivit populära här hemma eftersom solskyddsglas minskar behovet av luftkonditionering.

För närvarande pågår i Sverige en debatt om energimärkning av fönster. Energimyndigheten driver tillsammans med ett antal fönstertillverkare projektet *Energimärkta fönster* med syfte att underlätta för konsumenter att välja energisparande fönster. Mer information finns på hemsidan [www.energifonster.nu](http://www.energifonster.nu). Det finns många åsikter om vad en energimärkning bör beakta (se t ex (Persson, 2007)). Frågan är komplicerad eftersom ett fönster som är energieffektivt i en viss byggnad i ett klimat inte nödvändigtvis är det i ett annat. Vad dock de flesta är ense om är att ett energieffektivt fönster, vare sig det är ett lågmissionsfönster lämpat för svenskt klimat eller ett solskyddsfönster designat för kontinenten, bör ha ett lågt U-värde. Därför är det märkligt att i en nylig undersökning med 30 säljare av nyproducerade villor bara tre visste vad fönstren hade för U-värde (Husbyggaren, 2008).

I det embryo till energimärkning av fönster som finns idag är det *endast* U-värdet som bestämmer vilken energiklass som fönstret tillhör.

A-klassade fönster har ett U-värde under  $0,9 \text{ W/m}^2\text{°C}$  och G-klassade ett U-värde på högst  $1,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , där A-fönster är mest energieffektiva. Ett exempel på märkning visas här intill.

### 3 U-värdet

U-värdet, värmegenomgångskoefficienten, anger hur många watt värme som slipper ut genom en kvadratmeter av husskalet för en grads temperaturskillnad mellan inom- och utomhusluften. Det är tre, integrerade, fysikaliska processer som alla leder till att värmen lämnar byggnaden genom fönstret; strålning, ledning och konvektion. U-värdet ska ta hänsyn till alla dessa tre.

I samband med min tidigare forskning vid Ångströmlaboratoriet har jag redogjort för hur man kan använda U-värdet då man väljer fönster (Werner, 2007a). Grundinställningen är att ju bättre isolering, d v s ju lägre U-värde, desto bättre. Med ett lågt U-värde försvinner mindre värme ut från byggnaden under vintern, samtidigt som effektbehovet för kyla sjunker under sommaren. När man väljer ett fönster med lågt U-värde ska man vara noga med hur g-värdet på det nya fönstret är, som anger den totala solenergitransmittansen, d v s hur stor andel av energin från solstrålningen som går in i rummet. På vintern tillgodogör vi oss den energin i form av minskat uppvärmningsbehov. På sommaren kan den energin ses som en belastning om det är så att vi har att göra med en byggnad som kyls (t ex för att det är många människor och datorer redan som värmer byggnaden).



Jag bortsåg från påverkan av kylbehovet i mina beräkningar. Det gör också skaparna av hemsidan <http://www.energifonster.nu/calculation/> där du kan gå in och göra liknande beräkningar själv. Det är trots allt inte särskilt många svenskar som har luftkonditionering i sina hem idag, varför approximationen för en villaägare är rimlig.

Med en enkel kalkyl visade jag att efter 18 år har investeringen, om man sätter in fönster med U-värde kring  $1,2 \text{ W/m}^2\text{°C}$  mot tidigare  $2,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ , betalat tillbaka sig. Anledningen till att just  $1,2 \text{ W/m}^2\text{°C}$  valdes var att den som byter till så pass välisolerade fönster idag kan få ett statligt bidrag som gör bytet billigare.

Jag räknade med en kalkylränta på 2 procent. Om en högre kalkylränta används blir återbetalningstiden längre. Det finns dock mycket mer som talar för kortare återbetalningstid:

- energipriserna verkar snarare stiga än sjunka
- inflationen togs inte med i min beräkning
- en lägre inomhustemperatur blir möjlig eftersom kallras och kalldrag från de nya fönstren blir mindre
- hus idag har ofta större fönsterarea än den som jag räknade med ( $15\text{m}^2$ )
- många har det varmare inomhus än vad jag räknade med ( $20\text{°C}$ )

Bor man i ett kallare klimat än det i Stockholm som jag räknade på, med 93 000 gradtimmar per år om inomhusluften värms till  $20\text{°C}$ , blir vinsterna med välisolerade fönster större. I exempelvis Kiruna är motsvarande antal gradtimmar 143 000.

### 3.1 Standarden

U-värdet på ett fönster kan mätas i en klimatkammare. Då måste fönstret monteras ned vilket inte alltid är möjligt. Det är också en omständlig procedur att mäta fönstrets isoleringsförmåga på detta sätt. Istället kan man räkna ut U-värdet. Då uppkommer en del frågor kring hur beräkningen ska ske. U-värdet är nämligen ett dynamiskt värde. Det beror av temperaturen ute, temperaturen inne, vindhastighet, fönstrets lutning, med mera. Det beror också (eftersom det är ett viktat genomsnitt) av formen på fönstret och av hur bred ramen är. Det är stor skillnad på U-värdet för glasdelen (som numera är lågt) och U-värdet för hela fönstret (högre, där bågen och karmen ingår). För att kunna jämföra (rangordna) fönster har man kommit överens om standarder för hur U-värdena ska beräknas. För glassmittvärdet,  $U_G$ , används normalt EN 673 (European Committee for Standardization, 1997). Att använda en standard är nödvändigt för att förenkla arbetet med att utvärdera fönster, men kan givetvis innebära



approximationer som ibland orättvist gynnar eller missgynnar en produkt. För standarden EN 673 gäller att (van Nijnatten, 2002):

- Glaset sitter vertikalt
- Alla ytor är plana och parallella
- Kanteffekter försummas, varför ”felet” kan bli stort för små fönster
- Gasen mellan glaset absorberar inte termisk strålning
- Gasen mellan glaset har i genomsnitt temperaturen 10 °C
- Temperaturskillnaden mellan de två yttre glaset är 15 °C
- Värmeövergångskoefficienterna, som beror bland annat av vindförhållanden och temperaturer ute och inne, är enligt standarden  $8 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  (inre) och  $23 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$  (yttre)

Det är viktigt att beakta glaskonstruktionens U-värde vid bestämning av värme- (och kyl-) anläggningens effektbehov (Carlson, 2006). Om man räknar med ett U-värde som är bättre (lägre) än det verkliga U-värdet kan man få det kallare (varmare) inne än vad det var tänkt. Skillnaden är kanske negligierbar då glasytan är ringa, men vid stora glasytor gör det märkbar skillnad. Om man har ett rum med fem kvadratmeter fönster och det är en temperaturskillnad på 40 °C mellan inne och ute, är den effekt som försvinner ut genom fönstren 40 W större än beräknat om man har räknat med ett U-värde som är två tiondelar för lågt:

$$5 \text{ m}^2 \cdot 40 \text{ °C} \cdot 0,2 \text{ W/m}^2, \text{ °C} = 40 \text{ W}.$$

Om samma rum har lika mycket, 5 m<sup>2</sup>, yttervägg med ett (korrekt uppskattat) U-värde på 0,2 W/m<sup>2</sup>, °C, blir felet i beräknat värmeflöde ut genom fönstren lika stort som det faktiska värmeflödet ut genom väggen. Procentuellt blir felet i effekt stort. Om vi t ex har ett U-värde på fönstren på 1,4 W/m<sup>2</sup>, °C men räknar med 1,2 W/m<sup>2</sup>, °C blir den verkliga effekten 14 procent högre än den beräknade:

$$\text{Beräknad effekt: } (5 \text{ m}^2 \cdot 0,2 \text{ W/m}^2, \text{ °C} + 5 \text{ m}^2 \cdot 1,2 \text{ W/m}^2, \text{ °C}) \cdot 40 \text{ °C} = 280 \text{ W}$$

$$\text{Verklig effekt: } (5 \text{ m}^2 \cdot 0,2 \text{ W/m}^2, \text{ °C} + 5 \text{ m}^2 \cdot 1,4 \text{ W/m}^2, \text{ °C}) \cdot 40 \text{ °C} = 320 \text{ W}$$

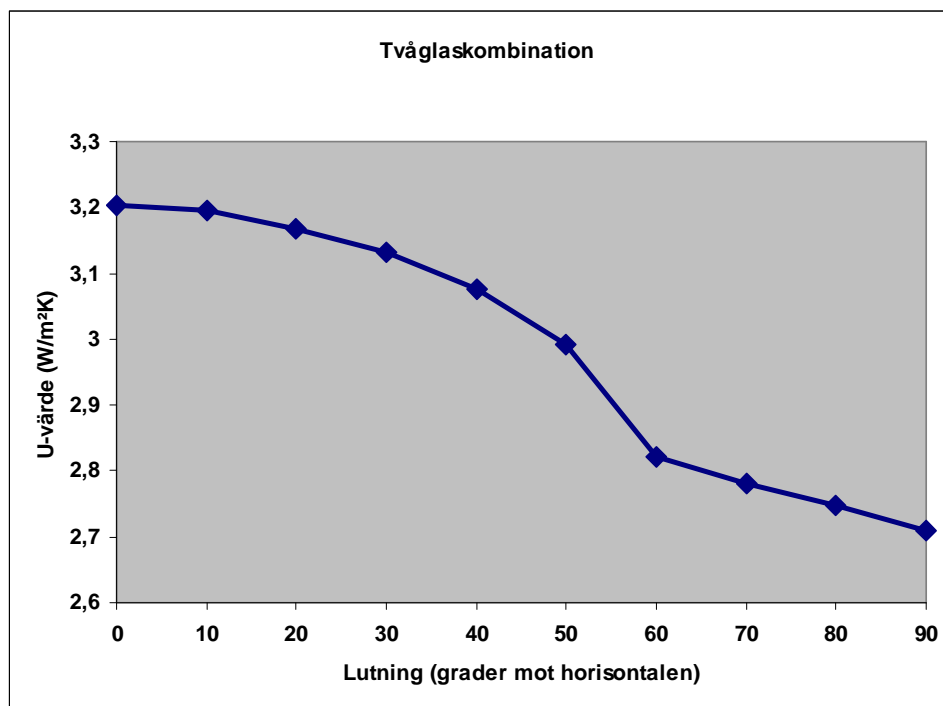
För projektering av passivhus, som har klimatskal med extremt små värmeförluster, gör tiondelarna på de mycket låga U-värdena extra stor skillnad procentuellt sett.

## 3.2 Avvikelser från standarden

### 3.2.1 Lutning

U-värdet är dynamiskt och ändras hela tiden beroende på hur de faktorer som presenterades i avsnitt 3.1 varierar. Jag har studerat hur fönstrets lutning påverkar U-värdet. Jag använde beräkningsprogrammet Window5 som finns på Lawrence Berkeley National Laboratorys hemsida och är gratis att använda (LBNL, 2008). Det visade sig att för ett standardfönster går U-värdet upp ungefär 20 procent då det sitter horisontellt istället för vertikalt.

I diagrammet i figur 2 nedan visas U-värdet på en traditionell tvåglaskombination bestående av två obehandlade klarglas på 5,7 mm med 18 mm luft emellan. Längst till vänster i diagrammet syns U-värdet för ett horisontellt fönster och längst till höger för ett vertikalt fönster.

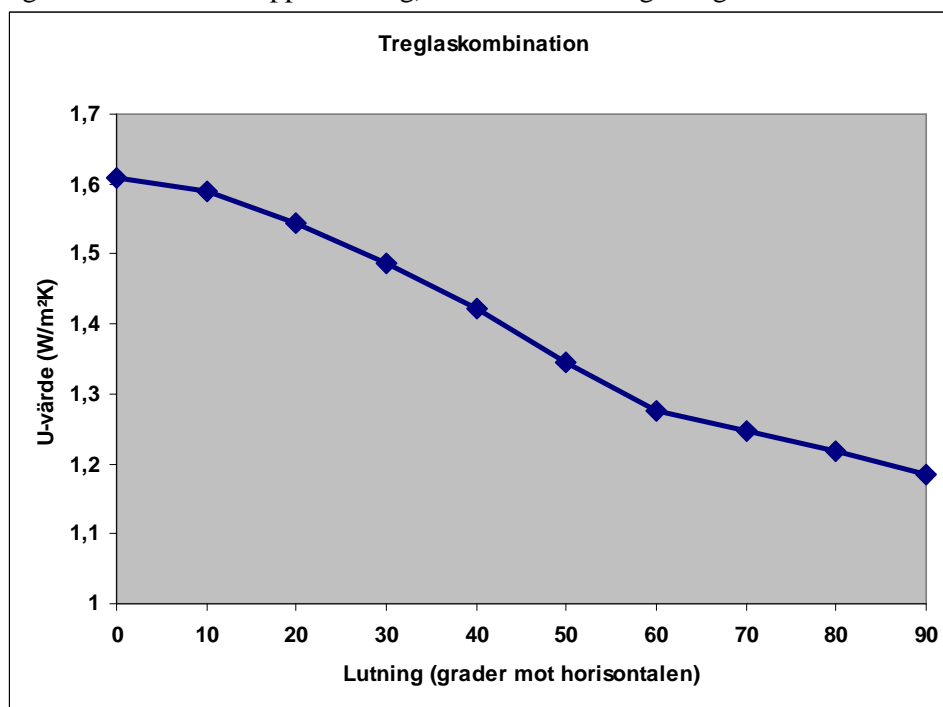


Figur 2

U-värdet på ett riktigt välisolerat fönster går upp nära 40 procent då det sätts horisontellt istället för vertikalt. I diagrammet nedan visas U-värdet för en treglaskombination där det ytterst sitter ett klarglas (3 mm), därefter luft (18 mm), ytterligare ett klarglas (3 mm), sedan en blandning av luft (10 %) och argon (90 %) (9 mm) och innerst ett klarglas (6 mm) med en lågemitterande



beläggning på den yttersta sidan. Det här är ett välisolerat fönster av den typ som den som vill undvika kallras och strålningsdrag (och dessutom vill få en lägre kostnad för sin uppvärmning) installerar i Sverige idag.



Figur 3

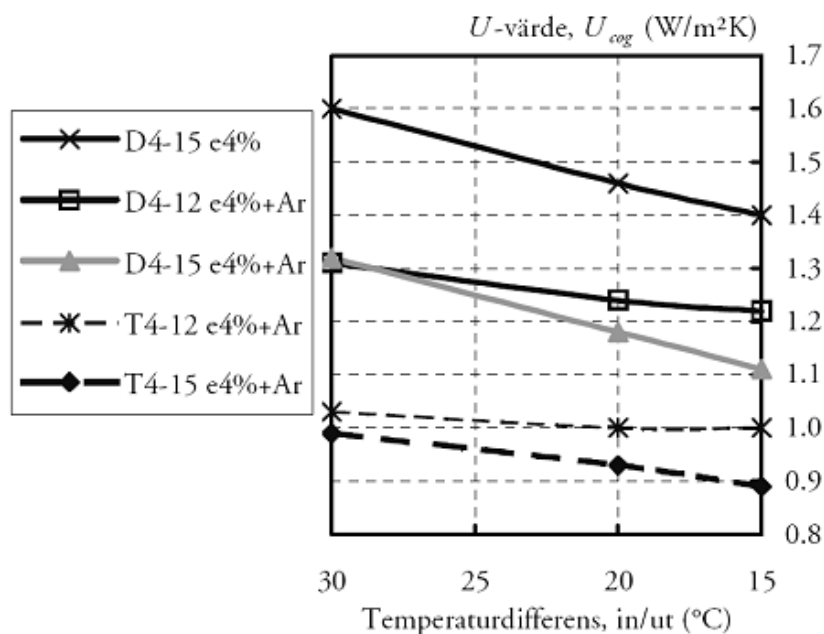
### 3.2.2 Temperaturer inne och ute

Värmeövergångskoefficienterna är enligt standarden  $8 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  (inre) och  $23 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$  (yttre). Det bygger på att temperaturdifferensen mellan luften inne i rummet och luften utomhus är  $20^\circ\text{C}$  och att vindstyrkan ute är  $3,4 \text{ m/s}$ .

Ibland är temperaturskillnaden betydligt högre. Om det är  $-20^\circ\text{C}$  ute och  $20^\circ\text{C}$  inne blir skillnaden  $40^\circ\text{C}$ . Om allt annat är lika är U-värdet upp till två tiondelar högre om den aktuella temperaturskillnaden är trettio grader istället för tjugo grader, se diagrammet nedan (Bülow-Hübe, 2008). I diagrammet finns kurvor för fem olika glaskombinationer. Tre tvåglaskombinationer (märkta "D" som i "dubbel") och två treglaskombinationer (märkta "T"). Alla simulerade glas är 4 mm tjocka vilket är standard idag om man inte har särskild anledning till tjockare glas, t ex för bättre personsäkerhet eller ljuddämpning. Den översta kurvan representerar en glaskombination med 15 mm luft mellan glasen och där ett av glasen har ett lågemitterande skikt så att emittansen på denna glassida är 0,04 istället för 0,85 som för obelagt glas. De andra fyra kombinationerna har argon mellan glasen (ibland 12 och ibland 15 mm). Samtliga kombinationer har

en glassida som är belagd med ett lågemitterande skikt. Det är således fråga om relativt välisolerade fönster.

Om man studerar den absoluta skillnaden i U-värde är den störst för det minst välisolerade av de fem fönstren, (det med högst U-värde, översta kurvan). Intressant är att skillnaden mellan de två understa kurvorna (de två treglaskombinationerna med olika breda argonspalter) minskar ju större temperaturskillnaden är mellan inne- och uteluft. Vid tjugo graders temperaturskillnad har det bättre alternativet ett U-värde som är ungefär två tredjedels tiondel lägre, men vid trettio graders temperaturskillnad är U-värdet bara ungefär en tredjedels tiondel bättre (lägre).

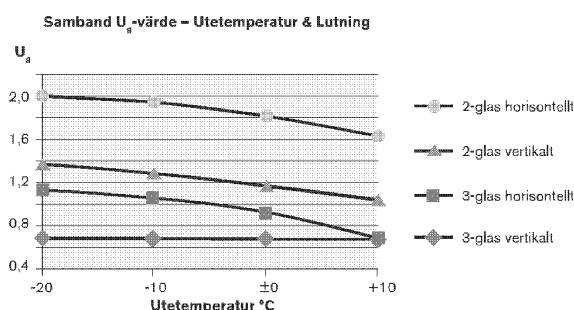


Figur 4

Källa: Bülow-Hübe, 2008

Om man håller inomhustemperatur fix vid 20°C och istället varierar bara utomhustemperaturen får man ett liknande diagram (se nedan). Vi ser att då det är 0°C ute (som i EN 673) är skillnaden i U-värde mellan de två (vertikala) glaskombinationerna i exemplet nedan 4-5 tiondelar, men när det är minus 20°C ute (då skillnaden är 40 grader mellan inomhus- och utomhustemperatur), är skillnaden i U-värde något större, ungefär 6-7 tiondelar. I samma diagram syns tydligt också skillnaden i U-värde vid olika lutning som diskuterades i avsnitt 3.2.1. Vi ser att när det är varmt ute, (10°C), spelar det för U-värdet ingen roll om en välisolerad treglaskombination installeras vertikalt eller horisontellt. Däremot, när det är kallt ute, (20°C), är U-värdet fyra tiondelar bättre för den

vertikala glaskombinationen. Den aktuella, välisolerade, tvåglaskombinationen, är mer känslig för lutning. Skillnaden i U-värde mellan den vertikala och den horisontella installationen är ungefär sex tiondelar oavsett utomhustemperatur. I båda fallen är U-värdet ungefär fyra tiondelar bättre (lägre) då det är 10°C ute än då det är -20°C ute.



Figur 5

Källa: Carlson, 2006

I den gamla versionen av det svenska beräkningsverktyget IDA Klimat och Energi (Equa, 2008), version 3.0, var U-värdet på glasdelen något som användaren själv matade in i programmet. I version 4.0 som släpps i höst, finns samma enkla fönstermodell som i 3.0, men också en mer detaljerad variant som följer standarden ISO 15099 (International Standard, 1999). I den beror U-värdet av t ex temperaturförhållandena ute och inne. Därmed blir beräkningarna sannolikt mer exakta än tidigare.

### 3.3 Utvändig kondens

Ett ”problem” med lågt U-värde på fönstren är att det under kalla, stilla nätter med hög luftfuktighet kan uppstå kondens på fönstren, dagg. Min forskning vid Ångströmlaboratoriet handlade om hur man med hjälp av externa ytbeläggningar kan minska kondensen (Werner, 2007b). Det visade sig att med ett lager lågemitterande tenndioxid och ett lager hydrofil titandioxid blir det dels färre timmar med kondens på utsidan av fönstret, dels (i de fall kondens uppstår) ett mindre störande vattenskikt än på en obehandlad yta.

Det finns andra sätt att angripa ”problemet” med kondens på utsidan av fönster med låga U-värden. Ett är att upplysa byggnadens användare om att kondens bara uppstår på mycket ”bra” (välisolerade) fönster och att förekomsten av kondens på utsidan av glaset är ett kvalitetstecken. Kondensen visar att fönstren inte läcker ut dyr värme till omgivningen. Med den kunskapen kanske användarna av byggnaden skulle få en mer positiv attityd gentemot kondensen och ”problemet” med kondens evaporera. Fukten är nämligen inget problem i



sig. Den stannar bara ett par timmar på morgonen, varför inte karmarna hinner ta skada. Husväggarna har också ett tunt lager kondens, men eftersom det inte syns blir ingen oro som tyvärr är fallet ibland med utvändigt kondens på fönstren.

Ett annat sätt att angripa kondensen är att se till så att fönstret ”ser” mindre av den kalla natthimlen. Då kommer mindre värme att strålas ut från fönstret. Till exempel kan man installera solskydd i form av t ex taksprång eller utskjutande markiser (se avsnitt 5 nedan) eller plantera träd med lång lövtid framför fönstret som skyddar glasytan från den kalla natthimlen.

Det finns andra sätt att angripa kondensen som redan dömts ut som energimässigt dumdristiga i andra studier (se t ex (Borch och Christensen, 2006)) och därför inte nämns här.

## 4 Glasade kontor

Om man bara gick på U-värde då man valde husskal skulle man inte ha några fönster alls. En vanlig vägg har fortfarande ett fem till tio gånger bättre (lägre) U-värde än de bästa fönstren. Men trenden är faktiskt den motsatta. Vi bygger alltmer i glas. På samma sätt som vi fortsätter att köpa bilar som drar mycket bränsle, attraherar glasets positiva egenskaper arkitekterna så mycket att de fortsätter att bygga stora hotell, prestigebyggnader och skyskrapor i glas.

Enkla glasfasader har vi blivit vana vid att se. På senare år har dubbelglasfasader blivit allt vanligare. Istället för en glasfasad, glasbyggnaden in två gånger. Glasskalen kan precis som i fallet med enkel glasfasad vara såväl enkla som dubbla (isolerglas). Utrymmet mellan glasskalen, som brukar göras mellan 2 decimeter och 2 meter brett, ventileras. Fördelarna med en dubbelglasfasad är förbättrad ljudisolering mot omvärlden, möjlighet att väderskydda solavskärmningen (mer om solavskärmning senare i rapporten) och möjlighet till naturlig ventilation av kontorsutrymmena. Vid rätt design kan dubbelglasfasaden också vara energibesparande och leda till ett gott inomhusklimat. Under den varma årstiden värms utrymmet mellan glaset upp och luften kan ledas in i kontorsutrymmet utan ytterligare uppvärmning. Tyvärr kan också problem med överhettning uppstå (Poirazis, 2004).

Dubbelglasfasader kan delas in i några olika kategorier (Poirazis, 2008).

- Dubbelglasfasader som sträcker sig över flera våningar: Mellan glasskalen finns ett stort luftutrymme som täcker hela fasaden. Längst ned och högst upp finns hål i fasaden som släpper in och ut den ventilerande luften. Victoria Ensemble i Köln liksom de flesta nordiska projekten är exempel på flervåningsfasader.



- Dubbelglasfasad av korridorstyp: Utrymmet mellan glasskalen är indelat i horisontella utrymmen. På så vis slipper man ljud från angränsande våningsplan. Det gör också konstruktionen mer brandsäker och bättre ur säkerhetssynpunkt. Varje våning ventileras för sig. Stadttor i Düsseldorf är ett exempel på korridorfasad.
- Dubbelglasfasad med boxar: Utrymmet mellan glasskalen delas in i boxar. Byggnaden RWE i Essen är ett exempel på boxfasad.
- Dubbelglasfasad med schaktboxar: Utrymmet mellan glasskalen delas in i boxar, men boxfasaden har ett ventilationsschakt som förbinder flera våningar. Photonic Center i Berlin är ett exempel på schaktboxfasad.

Det inre av de två glasskalen är ofta en isolerruta, d v s två glas som är förseglade och ofta har argon emellan rutorna. En sida är ofta belagd med ett lågemitterande skikt för att reducera värmestrålning inåt i rummet.

## 5 Solavskärmning

Ju fler glashus som byggs, desto mer ökar intresset för solavskärmning. Ett sätt att undvika överhettning under sommarmånaderna är att använda solskyddsglas, men eftersom de är fasta och därmed även stänger ute solljuset på vintern då det behövs, blir andra typer av solavskärmning aktuella. Ett enkelt (och vanligt) sätt att dela upp olika typer av solavskärmning är i utvändiga, invändiga och mellanliggande installationer (Avasoo, 2003):

- Utvärdig solavskärmning: Den största fördelen med dessa är att värmen som strålas ut från installationen själv inte kommer in i byggnaden utan blir kvar ute. Det minskar kylbehovet under sommarmånaderna. Den största nackdelen är att de är utsatta för väder och vind och därför är dyra att rengöra och underhålla. *Fast* utvärdig solavskärmning är t ex takutsprång och lameller. De är ofta utformade så att de skyddar bra på sommaren när solen står högt, men inte mot vår- och höstsol som ligger lågt. De hindrar inte heller sekundär solvärmeinstrålning från den uppvärmda omgivningen (asfalt, fasader, buskar, ...). Om solavskärmningen är *rörlig* går det att styra ännu mer så att dagsljusinsläppet bara är lågt under sommaren. Rörlig solavskärmning kan t ex vara persienner i metall, markiser och heltäckande, ”transparent” väv (screener).
- Inre solavskärmning: Den här typen av solavskärmning är mindre effektiv eftersom den absorberade strålningen stannar i rummet och höjer kylbehovet, men rengöring och underhåll blir enklare. En viktig fördel är att arkitekten fortfarande kan hålla fasaden ”ren”, d v s fri från störande installationer på utsidan av byggnaden. Exempel på invändig solavskärmning är persienner och gardiner.



- Mellanliggande solavskärmning: Solavskärmning ligger mellan två glas. Rengöringen blir billigare än för yttre avskärmning men underhållet kan ändå bli dyrt, speciellt när elektriska motorer måste installeras i utrymmet mellan glasen. Glasens temperatur blir högre på grund av utstrålad värme från solavskärmningen. I värsta fall kan glasen spricka.

Uppfinningsrikedomen har varit stor på solavskärmningsfronten. Det gäller att klara den svåra kompromissen mellan dagsljusinsläpp och utblick samt bländskydd och solavskärmning. I en ny forskningsrapport utvärderas t ex ett system med motoriserad dagsljuslänkande persienn och ljusreglerad armatur (Bülow-Hübe, 2007).

Det finns också mycket forskning på hur själva glasen kan ändras för att ge bättre solavskärmning. Samlingsbegreppet är aktiva glas: *Elektrokroma* glas går att styra med en spänning så att de blir opaka (eller i varje fall mörkare) eller transparenta när det behövs. *Fotokroma* glas styrs av solljuset så att de blir mer opaka när solen lyser mot glaset. Tekniken används redan i solglasögon, men är hittills för dyr på stora ytor för att tillverkas kommersiellt. I *gasokroma* fönster pumpas en gas in och ut mellan rutorna så att glassystemet ibland släpper igenom mer solljus och ibland mindre. *Termotropa* glas reagerar på temperatur och reflekterar solenergin i aktiverat tillstånd.

Det blir mer och mer populärt att ha solcellsmoduler i laminerat glas. Tanken är att inte bara få en solavskärmning av solcellsmodulerna utan även använda den alstrade elen till komfortkyla. Hittills har det inte gått att ekonomiskt motivera glaspartier med solceller i, men de är bra som demonstrationsprojekt. Solcellerna visas upp och tanken är att användarna av byggnaden ska bli mer medvetna om energianvändning och -tillförsel. Solcellerna kan också ge ett modernt intryck (high-tech) som en del företag gärna förknippas med.

## 6 Några avslutande ord

I den här rapporten har redogjorts för en del av (främst) den svenska forskningen kring fönster och några moderna fönsterprodukter. U-värdet har diskuterats, liksom problematiken med solavskärmning. Några av de kompromisser som alla vi som arbetar med fönster oundvikligen måste göra har vi redan snuddat vid. Fönstren ska ge oss kontakt med omgivningen och dagsljus. De ska vara estetiskt tilltalande och de ska uppfylla krav på ljuddämpning och säkerhet. En sådan här rapport kan aldrig bli mer än ett nedstamp i verkligheten och forskningsvärlden. Detta är således ingen heltäckande rapport. Jag hoppas bara att den ökade ditt intresse för fönster och fönsterfysik.



## **Abstract in English**

This report gives an overview of some current research on windows and window related products from an energy perspective. It includes a brief summary of what the U-value of a window is and why it is the only value that decides why a product gets an A (as in very energy efficient) or a lower degree (B – G) in the new embryo of Swedish energy standard for windows. The report includes a brief discussion on the difference between the theoretical U-value that window makers use to label their products and the actual U-value, which depends on climatic conditions and the orientation of the window.

During previous decades (such as the 1980's, and 1990's) intensive worldwide research improved the energy performance of glazing constructions, especially as to give the window a better insulation (lower U-value). This led to windows with such low U-value that sometimes external water condensation appears on modern windows. In this report this phenomenon and how to “solve the problem” is briefly discussed. As for solar shading, the glazing producers can not yet deliver the perfect solution. Therefore, a lot of research today is made on solar shading installations and how to measure their energy performance. This is also mentioned in this report.

Since there is a tendency among architects nowadays to create buildings with one or two glazed skins, the report includes an introduction of what kinds of glazed skins exist.

Active glazing constructions, such as electro chromic windows, are also touched upon.



## Källor

Avasoo, Diana, *Energisparpotential vid fönsterbyte i kontorsbyggnader*, WSP Environmental, Halmstad, 2003

Borch, Lau Malthe, och Christensen, Anders Sommer, *Kondens på energiruder*, Roskilde Universitetscenter, 2006

Bülow-Hübe, Helena, *Solavskärmning och dagsljuslänkning*, Lunds Tekniska Högskola, Rapport EBD-R - 07/15, 2007

Bülow-Hübe, Helena, *Fönsterfysik och energitransport genom fönster*, Solenergi – Grundkurs i solvärmeteknik, [http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi\\_byggnadsdesign/images/Utbildning/AB\\_K100/F8\\_PM\\_f\\_nsterfysik.pdf](http://www.ebd.lth.se/fileadmin/energi_byggnadsdesign/images/Utbildning/AB_K100/F8_PM_f_nsterfysik.pdf), 2008

Carlson, Per-Olof, *Bygga med glas*, Glasbranschföreningen, Stockholm, 2006

Energimyndigheten, *Energiläget 2005*, Energimyndighetens förlag, Eskilstuna, 2005

EQUA, [www.equa.se](http://www.equa.se), 2008

European Committee for Standardization, EN 673, *Thermal insulation of glazing – calculation rules for determining the steady state U-value (thermal transmittance) of glazing*, 1997

Groupement Europeen des Producteurs de Verre Plat, *Low-e glass in buildings, Impact on the environment and on energy savings*, [www.gepvp.org/building.html](http://www.gepvp.org/building.html)

Husbyggaren, nr 1, artikeln *Handlar det om okunskap – eller rentav ovilja?* av Avasoo, Diana, 2008

International Standard, ISO15099, *Thermal Performance of Windows, Doors and Shading Devices – Detailed Calculations*, 1999

LBNL, <http://windows.lbl.gov/software/window/window.html>, 2008

van Nijnatten, Peter A., *Measurement and modeling tools for the evaluation of directional optical and thermal radiation properties of glazing*, TNO, 2002

Persson, Mari-Louise, *Energimärkning kan hjälpa oss att välja fönster*, kapitel i antologin *Energianvändning i bebyggelse – boende och aktörers val av teknik*,





red. Ellegård, Kajsa och Wäckelgård, Ewa, Uppsala, 2007, ISBN 978-91-506-1957-7

Poirazis, Harris, *Double skin facades for office buildings; a literature review*, Division of Energy and Building Design, Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, Lund, 2004, ISBN 91- 85147 – 02 -8

Poirazis, Harris, *Single and double skin glazed office buildings*, Division of Energy and Building Design, Department of Architecture and Built Environment, Lund Institute of Technology, Lund University, Lund, 2008, ISBN 978-91-85147-23-6

Werner, Anna, *Så väljer du fönster utifrån U-värdet*, kapitel i antologin *Energianvändning i bebyggelse – boende och aktörers val av teknik*, red. Kajsa Ellegård och Ewa Wäckelgård, Uppsala, 2007a, ISBN 978-91-506-1957-7

Werner, Anna, *External Water Condensation and Angular Solar Absorptance*, Uppsala Universitet, Uppsala, 2007b, ISBN 978-91-554-6830-9