

Fönstrens inverkan på byggnaders energibalans och innemiljö

Effektbehov, energianvändning, livscykelkostnader och komfortstörningar

Av stor betydelse för byggnaders energibalans och innemiljö är klimatskalets utformning särskilt med avseende på takfotens utformning, glasytors typ och storlek, placering på olika omslutningsytor, orientering i väderstreck, nischer, gardiner, persienner etcetera. Byggnader med glasfasader för att skapa ljus och luftig miljö ökar riskerna för komfortproblem, större effekt- och energibehov för byggnadsuppvärmning samt högre byggkostnader. Erfarenheter visar att mindre fönster och lägre U-värde minskar nämnda risker. I flera grannländer, som Norge, diskuterar man för närvarande att begränsa fönsterytorna.

Fortfarande är värmeförlusterna fem till tio gånger större genom fönstren än genom väggarna. Väggar i nya hus har U-värden kring 0,1 till 0,2 W/m² K, i äldre 0,3 till 0,5 W/m² K eller högre. Fönstren i nya hus har U-värden runt 0,8 till 1,8 W/m² K och i äldre icke renoverade hus 2,4 till 3,0 W/m² K. Därtill ska läggas att fönstren medför betydligt större behov av värmeeffekt och risk för komfortstörningar vintertid. Dessutom har inte minst de senaste båda somrarnas solstrålning medfört oacceptabelt höga innetemperaturer i byggnader med stora glasytor med åtföljande krav på luftkylning som ökar behovet av elenergi. Denna utveckling tycks eskalera bland annat på grund av att fönstren är en byggnadsdel som det är svårt att bestämma "nettoinverkan" av värmeförluster inkluderande gratisvärmeskott genom solinstrålning.

Stora fönster är en aktuell modetrend för att öka kontakten mellan inne och ute. Åtskilliga passivhus och även andra hus har byggts med stora fönsterytor för att man med tillskott av solvärme ska kunna minska husets uppvärmningsbehov. Man

har dock i regel inte tillräckligt beaktat behovet av solavskärmning. Detta har lett till oacceptabelt höga innetemperaturer sommartid. Därtill har de stora fönstren medfört betydande värmeförluster och att det blir kallt inne vintertid, särskilt nära fönstren.

Exempel på ett dylikt problemområde är Bo01, där stora fönsterytor och golvvärme nämns bland huvudorsakerna till högt uppvärmningsbehov och komfortstörningar. Bland annat tre områden med passivhus har dylika problem med över-

temperaturer: Glumslöv, *figur 1*, Ellös och Misteröd (Uddevalla). Boende i hus med stora fönsterytor mot norr är minst missnöjda med inneklimatet därför att man slipper solvärmens i nämnda väderstreck, *Harrysson (2006)*.

Det förekommer ibland klagomål på kondensbildning på utsidan av energieffektiva fönster när U-värdet går ner mot 1,0 W/m² K eller lägre, oftare ju lägre U-värdet är. *Figur 2* visar passivhus i Ellös med kondensbildning som beror på att fönstren har god värmeisolering och kan



Figur 1: Passivhus i Glumslöv. Bilden är tagen vid höstdagjämningen och mitt på dagen.



Figur 2: Kondensbildning på energieffektivt fönsters utsida i Ellös, augusti 2011.

Artikelförfattare är
**Christer
Harrysson**,
professor, Örebro
universitet.



inträffa främst vid klart väder på grund av värmeutstrålning mot en klar natthimmel med samtidig hög relativ luftfuktighet och vindstilla eller svag vind. Värmeutstrålningen kan minskas till exempel med markiser, varvid kondensen kan minskas eller elimineras.

Fönsterstorlek – byggår – byggregler

Vad som kan betraktas som ”normal fönsterstorlek” beror bland annat på husets byggår. Exempelvis har funkishusen från 1930- och 1940-talen relativt stora fönsterytor för att under 1960- och 1970-talen följas av hus med mindre fönsterytor. Hus byggda efter oljekrisen enligt byggnormerna SBN 1975 och SBN 1980, Statens planverk (1983), hade krav på begränsade fönsterytor bland annat genom normernas föreskrifter om ”högst femton procent av våningsplanens yttre area från yttervägg med tillägg av högst tre procent av deras inre area”. Med yttre area avses

lämpbara för en viss byggnad, ett rum, annan speciell användning osv. Begreppet har ibland använts alltför okritiskt. Exempelvis har man inte angett om olika uppgifter avser helår eller bara under uppvärmningssäsongen.

Systemet fönster – ytterväggar – värme – ventilation

Fönstren och deras egenskaper måste i ökad utsträckning ses i sitt sammanhang i byggnaden inkluderande ytterväggar samt installationer för värme och ventilation. Saknas värmekälla, till exempel radiator, under fönstren, som i hus med luftvärme eller golvvärme, kan detta leda till klagomål på kallras och kallstrålning, särskilt vid frånluftsventilation och väggventiler (uteluftsdon) och om man använder spaltventiler. Nämda komfortstörningar leder i regel också till ett ökat uppvärmningsbehov för byggnaden. För till exempel Bo01, *figur 3*, uppges stora fönsterytor i kombination med golvvärme vara bland

Glasrum och inglasade balkonger har hög attraktionskraft på brukarna, vilka sällan är medvetna om de mycket höga byggkostnader dessa byggdelar medför. Även kostnaderna för uppvärmning kan beroende på utnyttjandet bli höga.

Byggnaders uppvärmningsbehov, effekt- och energibalans

Byggnaders uppvärmningsbehov bestäms av skillnaden mellan värmeförluster genom transmission och ventilation samt gratisvärmeförbrukning från personer, hushållsel, varmvatten och solinstrålning. I bostadshus saknar byggnadens värmekapacitet från energisynpunkt betydelse betraktat under en längre period, *Harrysson* (1988, 2004).

Den så kallade balanstemperaturen, det vill säga när värmeförlusterna nätt och jämnt balanseras av tillskotten från gratisvärmeförbrukning, ligger även för passivhus så högt som några plusgrader. Med andra ord måste byggnader i nordiskt klimat alltid ha ett värmesystem för tillskottsvärme. Redan vid några plusgrader i passivhus eller vid högre utetemperatur för sämre isolerade hus räcker inte gratisvärmeförbrukningen för att hålla värmen i huset.

Ju mindre byggnadens värmebehov är desto större andel täcks av gratisvärmeförbrukning. Därmed ökar emellertid också risken för övertemperaturer, en risk som ökar med fönsterytorernas storlek och ju närmare de är orienterade mot söder. Värmesystem i byggnader med små värmebehov måste med hänsyn till energieffektivitet vara följsamma, det vill säga ha liten värmetröghet samt kunna reglera värmeförbrukningen snabbt. Värmetrög golvvärme är således inte att rekommendera.

Ju mindre byggnadens värmebehov är desto större andel utgör de momentana värmeförlusterna genom ventilation och transmission via glasytor jämfört med de tidsfördröjda genom opaka byggnadsdelar som tak, väggar och golv. Detta är ytterligare skäl till varför värmesystem i byggnader med låga värmebehov måste ha liten värmetröghet och snabbt kunna minska eller öka värmeförbrukningen.

Energiuppgifter för fönster

Fönster – transmissionsförluster – solinstrålning. Nedan i ett exempel, hämtat



Figur 3: Stora fönsterytor i husen på Bo 01.

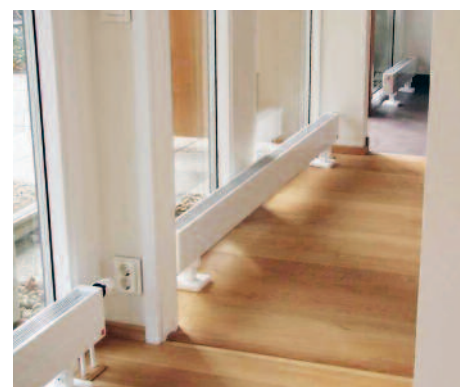
den area av ett våningsplan som begränsas av utsidorna av de ytterväggar för vilka fönster tillåts och en linje 5,0 m från väggarnas utsida. Större fönsterytor medförde krav på kompensation genom att övriga byggnadsdelars isolering ökades.

Med hänsyn till dagsljus anger BBR (2008) som allmänt råd ”att fönsterglasarean är minst tio procent av golvarean när fönstret har två eller tre klarglas. Glasarean ökas om annat glas med lägre ljusgenomsläpplighet används eller om byggnadsdelar eller andra byggnader skärmar av dagsljuset mer än tjugoprocent”. Det är således både tillåtet och möjligt att bygga vackra hus med små fönsterytor.

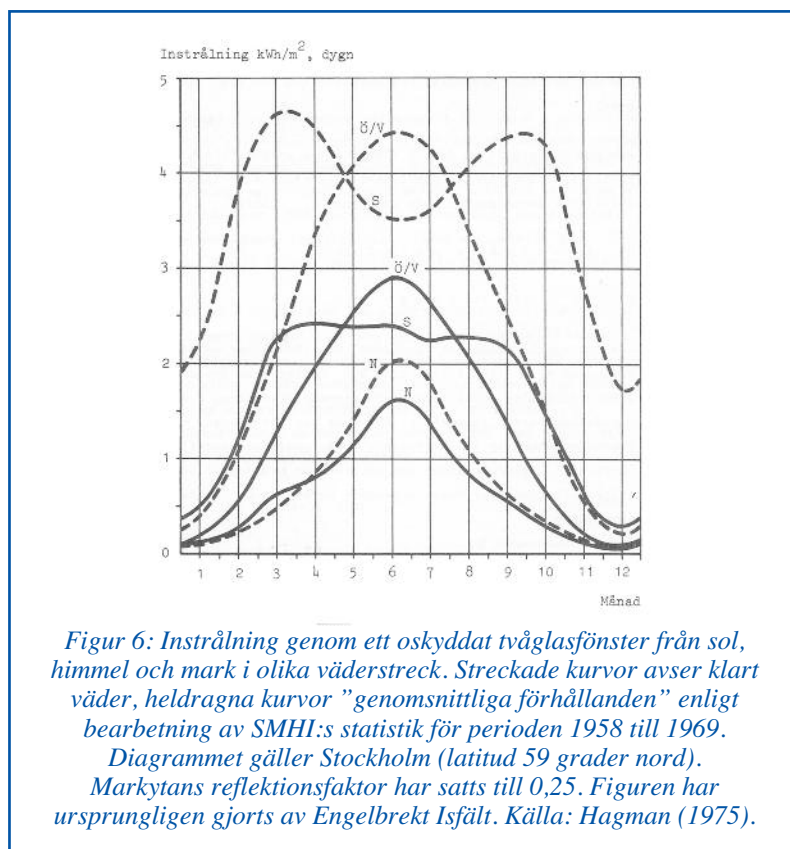
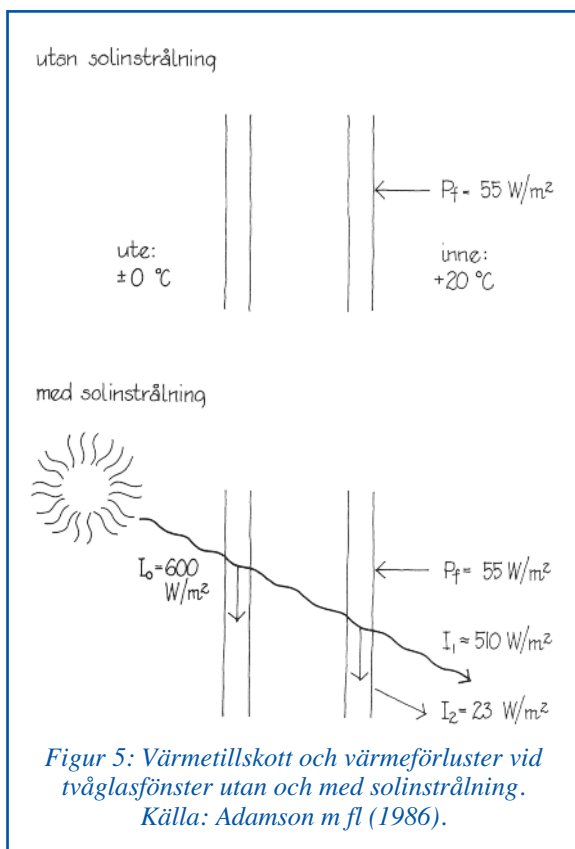
Begreppet ekvivalent k-värde som använts i flera sammanhang är olämpligt att använda speciellt utan kompletterande analyser, *Magnusson & Harrysson* (1982). Beräknade värden är i regel endast till-

räckande för att förklara de vanligaste orsakerna till det extremt höga uppvärmningsbehovet.

Med argumenten att ha en vacker fasad och god visuell kontakt mellan inne och ute har många hus utformats med fönster som nästan är rumshöga och går ända ner till golv. Detta är en dyrbar lösning som även kan leda till stora komfortstörningar. För att med denna lösning uppnå en tillräckligt hög komfort har ibland en radiator placerats på golvet framför fönstret, *figur 4*. Då har man verkligen hamnat långt ifrån målet: en vacker fasad och god visuell kontakt mellan inne och ute. En billigare lösning med betydligt högre komfort är att utforma ytterväggen med en cirka 30 cm hög bröstning under fönstret och placera en radiator där. Från energieffektivitets- och komfortsynpunkt bör man eftersträva små komfortskillnader inom rummet.



Figur 4: Komforthöjning med hjälp av radiator i hus med rumshöga fönster.



från Adamson m fl (1986) kvantifieras för ett tvåglasfönster transmissionsförluster och sekundär solvärmeförlust, figur 5. Den direkta transmitterade strålningen benämns primär solvärmeförlust. Den extra värmeförlust kallas sekundär solvärmeförlust orsakad av att en del av den infallande strålningen absorberas i glasmassan, där den värmer upp glaset och sedan delvis tillförs rummet. En del försvinner naturligtvis utåt.

Utan någon solinstrålning vid innetemperaturen $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ och utetemperatur $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ uppgår transmissionsförlusten till cirka 55 W/m^2 . Om tvåglasfönstret utsätts för solinstrålningen cirka 600 W/m^2 absorberas en del i det yttre glaset, cirka 36 W/m^2 och en del i det inre glaset, cirka 30 W/m^2 . Till rummet transmitteras direkt 510 W/m^2 av den infallande strålningen, 600 W/m^2 .

Glaset blir varmare än vad de skulle ha blivit utan solinstrålning. Värmeförlusten från rummet via fönstret minskar till 55 minus 32 är lika med 23 W/m^2 . Den sekundära solvärmeförlusten är normalt fem till sju procent för ett vanligt fönsterglas. Vid speciella värmeabsorberande glas kan den sekundära solvärmeförlusten bli väsentligt större. Sådana glas används då som solskydd.

I exempelvis Oslo vår och höst kan solinstrålningen med U-värden kring $1,2\text{ W/m}^2\text{ K}$ uppgå till cirka 540 W/m^2 utan avskärmning. Endast cirka trettio procent av detta värde kan reduceras vid invändig avskärmning och cirka 85 procent vid utvändigt.

Figur 6, hämtad från Hagman (1975), visar instrålningen genom ett oskyddat två-

glasfönster från sol, himmel och mark i olika väderstreck under året per kvadratmeter och dygn. Streckade kurvor avser klart väder, heldragna kurvor "genomsnittliga förhållanden" enligt bearbetning av SMHI:s statistik för perioden 1958 till 1969. Diagrammet gäller Stockholm (latitud cirka 59 grader nord). Markytans reflektionsfaktor har satts till $0,25$. Figuren har ursprungligen gjorts av Engelbrekt Isfält.

Solinstrålning på olika systemnivåer. Solinstrålningens bidrag till byggnaders effekt- och energibehov för byggnadsuppvärmning beror på många faktorer. Som framgår av figur 7 föreligger betydande svårigheter att i specifika fall kvantifiera solinstrålningen. Solens intensitet varierar bland annat med latitud, årstid, tidpunkt på dagen, molnighet och ytans orientering. Solstrålningens storlek och variation vid molnfri himmel beskrivs med experimentellt stödda matematiska uttryck, Harrysson (1988).

Under b) i figur 7 avser värdena totala strålningens intensitet i strålningsriktningen vid klart väder nära markytan, c) Genomsnittligt får hela jordytan globalstrålningen 165 W/m^2 , d) Instrålningen mot vertikalt fönster består av globalstrålning och reflekterad strålning och anges för latitud 60 grader nord för olika väderstreck och fri horisont. Marken antas reflektera tjugofem procent av globalstrålningen, e) Instrålningen genom oskyddat tvåglasfönster, genomsnittligt under uppvärmningssäsongen. Markreflektion ökar värdena vid fri horisont, vid barmark med cirka tio procent. Markiser, gardiner, persenner, antalet glas, lågemissionsskikt och gasfyllda luftspalter kan avsevärt minska

instrålningen. f) Isolerade fönsterluckor kan ge både effekt- och energivinst.

Faktorer som reducerar solinstrålningen. Faktorer av betydelse för solinstrålningen är bland annat lokalisering, byggnadens läge och form, bebyggelse-sätt, hushöjd, vegetation och skuggbildning. Terrängförhållanden, tomtform, gatu-träckningar, orienteringar på närliggande hus, planrestriktioner, värdefull vegetation, utsikt med mera är ibland "tvingande" faktorer som omöjliggör en placering rätt med hänsyn till maximal solinstrålning, varför en strikt orientering mot gynnsammaste väderstreck inte alltid kan medges, Magnusson & Harrysson (1982), Adamson m fl (1986) och Harrysson (1988).

Vid byggnadens utformning är viktiga faktorer bland annat takfotens utformning, glasytans typ, storlek och placering på olika omslutningsytor, nischer, gardiner, persenner med mera.

Fönsters inverkan på byggnaders energianvändning. Fönstrets inverkan på byggnadens energibalans kan beskrivas med uppgifter om:

Fönstrets egenskaper

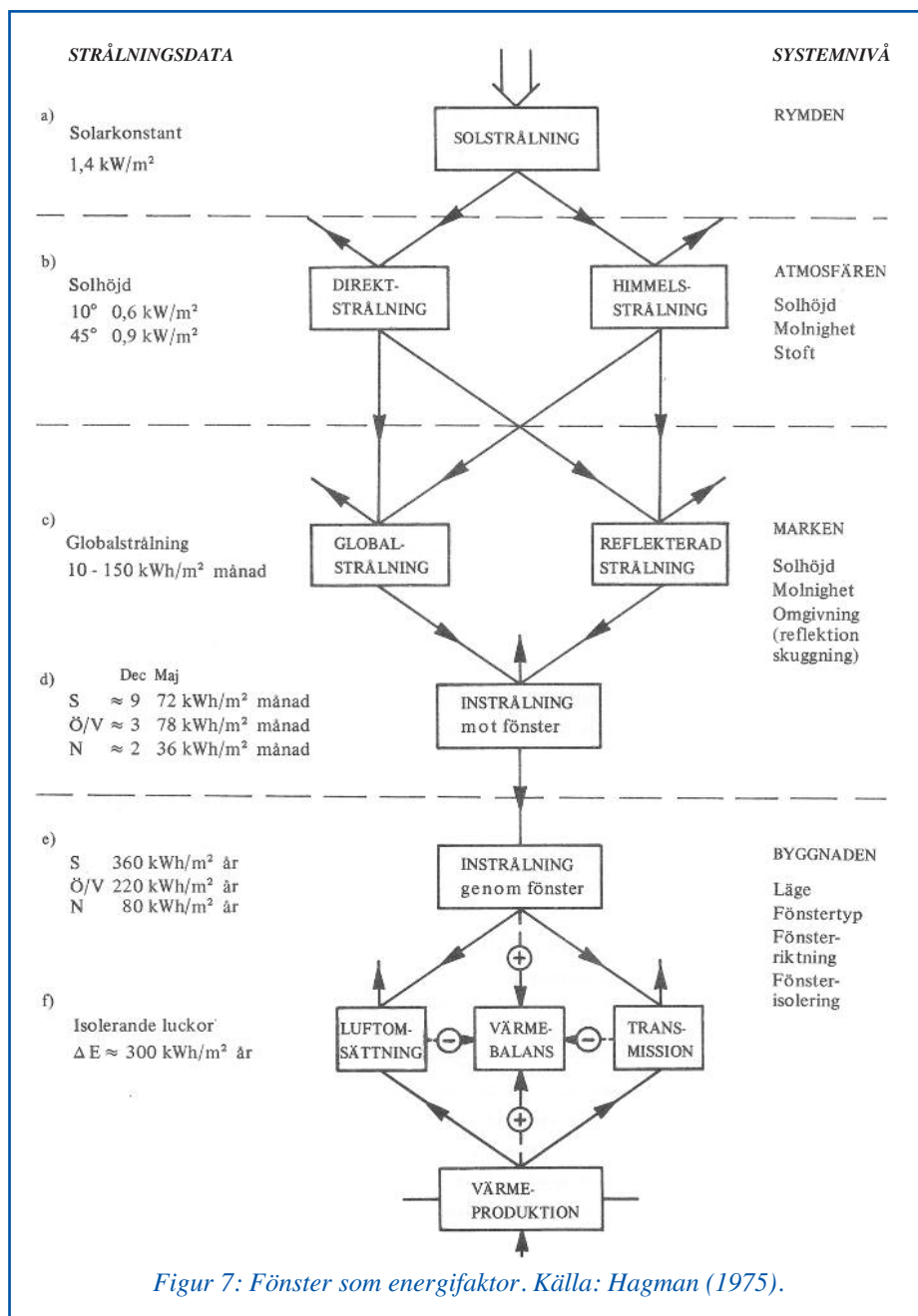
- U-värde
- g-värde (solenergitransmittans)
- dagsljustransmittans

Klimatet

- Temperatur
- Solinstrålning
- Vind

Byggnadens egenskaper

- Isolering
- Täthet
- Ventilation inklusive eventuell återvinning



Figur 7: Fönster som energifaktor. Källa: Hagman (1975).

- Funktion
- Orientering.

Solinstrålningen genom fönster kan och bör utnyttjas för att minska byggnadens behov av inköpt energi. Detta förutsätter dock bland annat god byggnadsplanering och rumsreglering av inomtemperaturerna med radiator- eller rumstermostat. Hustypen, byggnadens användning, konstruktion, mikroklimat och geografiska läge är ytterligare faktorer som påverkar möjligheten att utnyttja solvärmen. Bruskarnas påverkan genom olika typer av gardiner och vanor vid användning av persienner, markiser etcetera är faktorer som har stor inverkan på behovet av inköpt energi. Därtill ska läggas hur stadsplanen liksom byggnaden utformas, det vill säga avskärmning från omgivande terräng och bebyggelse liksom takfotens utformning.

För ett vanligt småhus kan cirka fem till tio procent av uppvärmningsbehovet normalt täckas med "passivt" solvär-

meutnyttjande och uppgår för treglasfönster till cirka 1 500 kWh under uppvärmningssäsongen. Genom medveten planering kan upp till femton till tjugo procent täckas. Den viktigaste åtgärden är att orientera och utforma fönstren så att framförallt solinstrålningen vår, höst och vinter kan utnyttjas samt att den besvärande sommarsolen avskärmas. Har huset solfångare eller solceller är det för dessa naturligtvis solinstrålningen under sommarhalvåret som har störst betydelse.

Magnusson & Harrysson (1982) har redan för ett par decennier sedan visat att mindre fönsteryta minskar uppvärmningsbehovet, mängden inköpt energi samt övervärmning sommardag. Resultaten visar också att de båda studerade hustyperna med sina befintliga storlekar och fördelningar av glasytor på olika fasader är tämligen okänsliga för husens orientering i olika väderstreck. Ändras däremot den ursprungliga fördelningen av glasytor

på de olika fasaderna till relationen tio/tjugofem/fyrtio/tjugofem procent ökar riktningens beroendet markant. Denna antagna fördelning av glasytor med tio procent mot norr, tjugofem procent mot öster, fyrtio procent mot söder och tjugofem procent mot väster har ursprungligen valts som ett referensfall med extremt högt solvärmeutnyttjande i beräkningsprogrammet Enorm. Vissa orienteringar medför då markant större bidrag från solinstrålningen till byggnadens uppvärmning än andra.

Solinstrålningen genom fönstren påverkas bland annat av molnigheten, horisontavskärmning (närliggande bebyggelse, växtlighet), takfotens avskärmning, avskärmning mellan glaset alternativt på deras in- eller utsida, antalet glas, lågemissionsskikt respektive gasfylld luftspalt. Varje glas, lågemissionsskikt och gasfylld luftspalt minskar solinstrålningen med vardera cirka tio procent. Ett treglasfönster med ett lågemissionsskikt och gasfyllda luftspalter har således cirka trettio till fyrtio procent mindre solinstrålning än ett kopplat tvåglasfönster. Observera att även dagsljusinsläppet påverkas av nämnda faktorer.

Fönsterbyte – tillsatsruta – lönsamhet. I nyproduktion lönar det sig från energisynpunkt att välja så energieffektivt fönster som möjligt, det vill säga med U-värden kring 0,8 W/m² K. Med hänsyn till tiden för kondensbildning på fönstrets utsida bör U-värdet dock inte understiga 1,1 till 1,3 W/m² K, Grange (2000). I befintliga hus har byte till energieffektiva fönster relativt låg lönsamhet. Exempelvis spar byte från tvåglasfönster med U-värdet 2,4 W/m² K till treglas med U-värdet 1,2 W/m² K i södra Sverige cirka 100 kWh/m² år. Från nämnda besparing ska tillgodogjord solinstrålning under uppvärmningssäsongen minskas med trettio till fyrtio procent. Kostnaden för fönsterbytet ligger kring 6 000 kr/m², det vill säga pay-offtiden blir cirka fyrtio år vid energipriset 1,50 kr/kWh. Väljer man i stället tillsatsruta halveras kostnaden till cirka 4 000 kr/m², det vill säga pay-offtiden blir drygt tjugofem år. Till detta kommer den förbättrade komforten inkluderande bättre ljudisolering, vilken är svår att värdera.

Ett byte från tvåglasfönster till treglasfönster med U lika med 1,2 W/m² K minskar behovet av inköpt energi för ett normalt småhus med storleksordningen 1 000 till 1 500 kWh/år, vilket utgör fem till tio procent nya småhus totala uppvärmningsbehov. I praktiken är det därför många gånger svårt att i ett bebott hus mäta upp denna besparing på grund av att husets uppvärmningsbehov påverkas av så många andra faktorer av samma storleksordning eller större. Otätheterna kan förändras i samband med fönsterbytet och kan medföra att högre komfort utnyttjas i form av höjd inomtemperatur. Detta kan

leda till helt eller delvis utebliven energisparning.

Fönsterutformning med helhetssyn!

Fönstren har ofta lett till att byggnader fått oväntat stort effektbehov och hög energianvändning liksom allvarliga komfortstörningar. Vid utformning av byggnader måste därför fönstrens samspel med ytterväggar, värme och ventilation i ökad utsträckning beaktas genom systemtänkande och helhetsgrepp. Detta gäller särskilt fönstrens storlek och tekniska egenskaper, allt i syfte att minimera effekt- och energianvändningen samt komfortstörningarna. Man kan bygga vackra hus även med fönsterytor ner mot tio procent av boarean och med tillräckligt dagsljusinsläpp.

Mindre fönsterytor medför lägre effektbehov för byggnadsuppvärmning samt mindre komfortstörningar. Även byggkostnaderna minskar med mindre fönsterytor då väggytor är billigare att producera än fönsterytor. Större fönsterytor ökar däremot riskerna för övertemperaturer och temperaturskillnader inne när det är varmt och soligt ute samt ökar även riskerna för kallras och kallstrålning vid låga utetemperaturer. Det senare fallet är särskilt aktuellt om värmekällor saknas under fönstren som till exempel i passivhus. Problem kan även uppstå i hus som har golvvärme och frånluftventilation

med uteluftstillförsel via väggventiler över fönstren, särskilt om man använder spaltventiler. Det är svårt att med golvvärme få en varm uppåtstigande luftström framför fönstren liknande den man får från en radiator.

Utvändig kondens på fönster med flera hundra timmar per år uppträder enligt Grange (2000) normalt vid:

- lågt U-värde (mindre än cirka 1,1 till 1,3 W/m² K) hos fönstret och dess glasdel
- stjärnklar himmel
- hög relativ luftfuktighet
- fri sikt mot himlen
- vindstilla eller bara svag vind.

Ju lägre U-värde fönstret har desto större risk är det för kondensbildning på fönstrets utsida. Det här problemet kan bland annat minskas beroende på takfotens utformning (utskjutande längd och lutning) samt med markiser och utvändiga persienner. Markiser eller utvändiga persienner är dock relativt dyrbara och kostar cirka 1 500 till 2 000 kr/m. ■

Referenser

Adamson, B, Hidemark, B, m fl (1985). *Sol, energi, form. Utformning av lågenergihus*. Statens råd för byggnadsforskning, Rapport T2:1986, Stockholm.

Cajdert, A red (2000). *Byggande med kunskap och moral. En debattskrift om sjuka hus, miljögifter och forskningsetik*. Örebro universitet, nr 1, Örebro. ISBN

91-7668-246-3.

Boverket (2008). *Regelsamling för byggande, BBR*. Boverket, Publikationservice, Karlskrona.

Grange, T (2000). *Fönsterfenomen. Himlastrålning ger utväldig kondens*. Bygg Glas nr 5/00.

Hagman, F (1975). *Fönster som energifaktor*. Statens råd för byggnadsforskning, Rapport R43:1975, Stockholm.

Harrysson, C (1988). *Småhusets energisättning. Analys med särskild hänsyn till ingående delposters variationer*. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Doktorsavhandling, Publ 88:2, Göteborg.

Harrysson C (2004). *Byggnadsutformning och värmekapacitet. Förstudie och litteraturinventering*. Örebro universitet, Institutionen för teknik, Rapport nr 14, Örebro. ISSN 1404-7225.

Harrysson, C (2006). *Husdoktorn går ronden. En bok om sjuka hus och drabbade människor*. Bygg- och Energiteknik AB, Falkenberg. ISBN-10 91-631-9272-1, ISBN-13 978-91-631-9272-2

Klittervall, T (2011). *Personlig kommunikation*.

Magnusson, B & Harrysson, C (1982). *Solinstrålningen och dess roll i småhusets energibalans*. CTH, Avd för byggnadskonstruktion, Publ 1982:2, Göteborg.

Statens planverk, (1983). *Svensk Byggnorm 1980 (SBN 1980)*, Utgåva 2, Liber Förlag 1983, Stockholm.