

Möjligheter med kontorsbyggnader i glas i Norden

Energi och inneklimat

Åke Blomsterberg

Energi och ByggnadsDesign
Institutionen för arkitektur och byggd miljö
Lunds universitet
Lunds tekniska högskola, 2008
Rapport EBD-R--08/20



Lunds universitet

Lunds universitet, med åtta fakulteter samt ett antal forskningscentra och specialhögskolor, är Skandinavians största enhet för forskning och högre utbildning. Huvuddelen av universitetet ligger i Lund, som har 105 000 invånare. En del forsknings- och utbildningsinstitutioner är dock belägna i Malmö. Lunds universitet grundades 1666 och har idag totalt 6 000 anställda och omkring 42 500 studerande som deltar i ca 140 utbildningsprogram och ca 1 000 kurser samt 19 internationella magisterprogram erbjudna av 72 institutioner.

Energi och ByggnadsDesign

Energi och ByggnadsDesign arbetar med byggnaden som ett system. Med utgångspunkt från helheten är syftet att utforma energieffektiva och ekologiska byggnader med hög termisk och visuell komfort i samverkan med installationssystem.

Forskningen behandlar i huvudsak energianvändning, passivt och aktivt solutnyttjande, dagsljus och solskydd i byggnader samt byggnadsintegrering av solvärme- och solelsystem. Brukarnas inverkan och krav på bl a termisk och visuell komfort ingår som en viktig del.

Verksamheten omfattar utveckling av beräkningsmetoder, simuleringar och analyser samt mätningar av prestanda avseende komponenter, rum och hela byggnader vilket medger validering av teoretiska modeller. Avdelningen medverkar även i utveckling av demonstrationsbyggnader samt utformar informationsskrifter och riktlinjer.

Möjligheter med kontorsbyggnader i glas i Norden

Energi och inneklimat

Åke Blomsterberg

Keywords

building performance, building simulations, double skin facades, energy use, glazed office buildings, indoor climate, single skin facades

© copyright Åke Blomsterberg och Energi och ByggnadsDesign.

Lunds universitet, Lunds tekniska högskola, Lund 2008.

Layout: Hans Follin, LTH, Lund.

Cover photo: WSPs nya kontor i Malmö, Åke Blomsterberg.

Tryckt av KFS AB, Lund 2008

Rapport nr EBD-R--08/20

Möjligheter med kontorsbyggnader i glas i Norden. Energi och inneklimat.

Institutionen för arkitektur och byggd miljö, Energi och ByggnadsDesign, Lunds universitet, Lund

ISSN 1651-8128

ISBN 978-91-85147-28-1

Lunds universitet, Lunds tekniska högskola

Institutionen för arkitektur och byggd miljö

Energi och ByggnadsDesign

Box 118

221 00 LUND

Sweden

Telefon: 046 - 222 73 52

Telefax: 046 - 222 47 19

E-mail: ebd@ebd.lth.se

Hemsida: www.ebd.lth.se

Innehållsförteckning

Keywords	2
Innehållsförteckning	3
1 Sammanfattning	5
1.1 Varför byggs glaskontor?	5
1.2 Möjligheter med kontorsbyggnader – energi och inneklimat	5
1.3 Förutsättningar för ett rimligt glaskontor – energi och inneklimat	7
1.4 Beräkningar av energianvändning och inneklimat	7
1.5 Slutsatser	8
2 Introduktion	11
3 Allmänt	15
3.1 Vad är ett glaskontor	15
3.2 Varför byggs glaskontor?	15
3.3 Energi, dagsljus och inneklimat?	18
3.4 Är glas svårt?	20
3.5 Glasfasadteknik	21
3.6 Kostnader	24
3.7 Fördelar och nackdelar	27
3.8 Vetenskapliga synpunkter	28
4 Tillämpning	29
4.1 Möjligheter och begränsningar för kontorsbyggnader med glasfasader	29
4.1.1 Resultat från energi- och inneklimatsimuleringar	30
4.1.2 Resultat från simuleringar av dagsljus och belysning	33
4.1.3 Slutsatser	35
4.2 Funktionskrav	36
4.3 Samverkan från början är en förutsättning	38
4.4 Programskedet	39
4.5 Projektering	39
4.6 Byggproduktion	41
4.7 Idrifttagande	41
4.8 Drift och underhåll	42
4.9 Kostnader – dyrt?	42
4.10 Exempel på projektering av glaskontorsbyggnad	43

4.10.1	En expertgrupp	44
4.10.2	Resultat från systemhandlingsskedet	44
4.10.3	Resultat från bygghandlingsskedet	49
4.10.4	Slutsatser	51
5	Verktyg för energi- och inneklimatberäkningar	53
5.1	Enkla energi- och klimatberäkningsmetoder glasfasader	53
5.2	Avancerade energiberäkningsmetoder glasfasader	55
5.3	Energi- och inneklimatberäkningar för byggnader med glasfasader	56
5.4	Ljusberäkningar	59
6	Referenser	63

1 Sammanfattning

1.1 Varför byggs glaskontor?

Ett glaskontor definieras här som en kontorsbyggnad där någon av fasaderna har mer än 60% fönsterarea. Den ökade användningen av glasfasader under de senaste decennierna har möjliggjorts av utvecklingen av bättre fasadteknik och förbättringen av tekniska egenskaper hos glas. Många glaskontor har byggts i Sverige och utomlands.

Arkitektoniskt är syftet att skapa en luftig, transparent och lätt byggnad med inblick och utblick, där tillgången till dagsljus är större än i mer traditionella kontorsbyggnader. Tanken är ofta att skapa en byggnad med öppenhet och ge intryck av framtid. Den totala transparensen visar dessutom företagets vilja att kommunicera med och öppna upp sig mot samhället utanför. I många fall är glaskontor profilbyggen för företag.

1.2 Möjligheter med kontorsbyggnader – energi och inneklimat

En stor utmaning vid projektering av ett glaskontor är att optimera energianvändningen, användningen av dagsljus, den visuella och termiska komforten till en rimlig investerings- och livscykelkostnad.

Alla byggnader bör byggas enligt Kyotopyramiden, vilket innebär att i förstahand minimeras värme- och kylbehovet, i andrahand minimeras elbehovet. Därefter undersöks möjligheterna att utnyttja solenergi. Det nästa sista steget är att visa och reglera energianvändningen dvs. ett användbart och användarvänligt SÖ-system, som underlättar energieffektiv drift. Det allra sista steget är välja energikälla.

Som förväntat visar simuleringar att energianvändningen ökar med ökande glasarea. Den kan öka med t.ex. 50%, om inte lägre U-värden (värmegenomgångskoefficient) för fönsterdelen och lägre g-värden (total solenergitransmittans) inkl. solavskärmning väljs. I många fall kan också glasarean behöva minskas för att nå godtagbar energianvändning.

Valen av U - (värmeegenomgångskoefficient), g - (total solenergitransmittans för glas) och g_{system} (total solenergitransmittans för glas och solavskärmning) har som förväntat en stor inverkan på energianvändningen.

En uppglasad fasad ger större risk för problem med den termiska komforten. Den operativa temperaturen kan nämligen variera mycket under året, beroende på variationer i innersta glasets ytemperatur. Ju sämre glasets U -värde är desto större blir variationen.

Högre glasandel i fasaden ökar inte bara risken för otillfredställande termisk komfort, utan även för otillfredställande visuell komfort. Dagens kontorsarbete bedrivs till stor del framför en bildskärm, vilket innebär att blickriktningen har höjts från arbetsbordet till att vara nära nog horisontell. Detta innebär att fönstret ofta hamnar inom det centrala synfältet, vilket lätt resulterar i bländning om fönstret inte har tillfredställande solskydd.

Bländningsproblematiken leder, då ofta till nerdragna solskydd dvs. tillstängda fasader med begränsad tillgång till dagsljus. Solavskärnings-system med variabel ljustransmittans är därför att föredra t.ex. persiennier. För att undvika bländningsproblem måste luminansen hos fönsterytan reduceras drastiskt soliga dagar och dagar med ljus himmel. Detta gäller alla vädersträck. Ju större glasytan är desto större problem. Effektiv solavskärmning behövs för att undvika bländningsproblem och övertemperaturer. Solavskärmningen reducerar emellertid nyttiggjort dagsljus i byggnaden dvs. fördelen med stora fönster kan inte utnyttjas till fullo. Om solavskärmningen styrs optimalt och någon form av dagsljuslänkning används, så ökar andelen nyttiggjort dagsljus. Detta kan resultera i sänkt elanvändning för belysning. I annat fall medför stora fönsterareor nämligen i många fall inte en minskad elanvändning för belysning.

Med hjälp av en dubbelskalsfasad kan energianvändningen minskas och inneklimatet förbättras i en kontorsbyggnad med stora glasfasader. Framförallt kan kylbehovet reduceras. Eftersom kylbehovet i en bra kontorsbyggnad i Sverige inte är så stort, så kan en treglasfasad resultera i nästan samma totala energianvändning och termiska komfort. För en kontorsbyggnad med dubbelskalsfasad kan den totala energianvändningen sänkas till nästan samma nivå, som för motsvarande byggnad med en traditionell fasad med måttlig glasarea.

För att uppnå bra inneklimat och rimlig energianvändning för en kontorsbyggnad med stora glasytor krävs noggrann projektering, vilket inkluderar noggranna energi- och inneklimatsimuleringar. Generella värden på t.ex. U - och g -värden kan inte tillämpas på glaskontor, utan de varierar med stor sannolikhet från byggnad till byggnad. För svenska kontorsbyggnader med glasfasader måste låga U -värden väljas för glas och tillhörande profiler. Ju högre glasandelen är desto lägre värden måste väljas.

1.3 Förutsättningar för ett rimligt glaskontor – energi och inneklimat

För att en byggherre skall lyckas åstadkomma en glasbyggnad med rimlig energianvändning, bra termiskt inneklimat och bra visuell miljö krävs att:

1. Relevanta energi- och miljökrav i form av funktionskrav, som ställs upp under programskedet och att dessa förfinas under projektets gång.
2. En ansvarig energi- och miljökoordinator finns, som säkerställer en helhetssyn fr.o.m. programskedet t.o.m. första verksamhetsåret.
3. Energi och inneklimatsimuleringar genomförs fr.o.m. programskedet.
4. Ett väl fungerande samarbete mellan arkitekt, VVS-projektör, byggprojektör, elprojektör, energi- och inneklimatspecialister, entreprenörer och byggherre.
5. Livscykelkostnaden beräknas.
6. En separat kravspecifikation för glasfasaden baserad på analyser av hela byggnaden tas fram.

Några rekommendationer för att lyckas med projekteringen:

- Internvärmen måste minimeras, för att hålla nere kylbehovet.
- Ökning av glasarean medför ökade risker och sänkta feltoleranser, eftersom fel i U- och/eller g-värden för glasfasaden får mycket större konsekvenser för energianvändningen och inneklimatet, än för en traditionell välisolerad fasad med måttlig glasarea.
- Hörnrum med två glasfasader kräver speciell uppmärksamhet, eftersom risken är hög för brister i termisk och visuell komfort.
- U-, g- (total solenergitransmittans) och τ - (ljustransmittans) värden för glaset måste väljas korrekt, eftersom de är avgörande för energianvändningen och inneklimatet.
- Korrekt beräkning av energibalansen för glasfasaden och byggnaden krävs.

1.4 Beräkningar av energianvändning och inneklimat

Det finns beräkningsverktyg som kan användas under olika skeden: programskedet, systemhandlingsskedet, bygghandlingsskedet. Inom forskningsprojektet "Kontorsbyggnader i glas – energi och inneklimat"

och uppföljningsprojektet av ett glaskontor i Malmö har två metoder för beräkningar av glasfasader (enkelskals- och dubbelskals-) använts, nämligen WIS och Parasol.

Beräkningar av energi och inneklimat för glaskontor kan ske i ett tidigt skede med med program såsom Parasol, BV2Arch och Bestfacade. De två sistnämnda programmen medger inte simulering av installationerna och har ett förenklat sätt att simulera värmebalansen för fönster. De simulerar inte heller inneklimatet. Under systemhandlingsskedet och bygghandlingsskedet krävs ett dynamiskt energisimuleringsprogram och helst ett program som kan simulera för flera zoner (rum eller grupper av rum) t.ex. IDA ICE, Parasol (endast en zon), VIP+ (endast en zon) eller DEROB-LTH. IDA ICE har använts inom de två ovannämnda projekten.

I ett tidigt skede av projekteringen kan en uppskattning av lämplig storleksordning på U -, g_{system} - och τ -värdena göras genom en överslagsberäkning. Utgångspunkten är en referensfasad, som är en traditionell fasad med måttlig fönsterarea och med t.ex. ordinära treglasfönster med mellanliggande persiennier. För denna beräknas $U \times \text{fasadarea}$, $g_{\text{system}} \times \text{glasarea}$ och $\tau_{\text{glas}} \times \text{glasarea}$ (g_{system} = total solenergitransmittans för glas + solavskärmning, τ_{glas} = ljustransmittansen för glaset). Beräkningen upprepas för aktuell glasfasad, vars värden då bör vara av samma storleksordning. $\tau_{\text{glas}} \times \text{glasarea}$ för aktuell glasfasad bör helst vara större, för att säkerställa att den större glasytan verkligen ger en ökad tillgång till dagsljus.

1.5 Slutsatser

Det finns idag uttalade mål för såväl miljöanpassning och energieffektivisering från Byggssektorns kretsloppsråd och i ByggaBodialogen om en total minskning av energianvändningen med 10% fram till år 2010, och med 30% till år 2025, jämfört med år 2000. En sådan minskning kan inte uppnås för kontorsbyggnader med glasfasader. Detta är ett viktigt resultatet av forskningsprojektet "Kontorsbyggnader i glas – energi och inneklimat" och uppföljningsprojektet av ett glaskontor i Malmö.

Om målet är att endast möta dagens normkrav på energi, så kan glaskontor byggas, men risken är stor för problem med termisk och visuell komfort. För att uppfylla dagens normkrav på energi, samt att säkerställa bra termisk komfort och visuell komfort krävs noggranna analyser och simuleringar, där byggnaden betraktas som ett system bestående av byggnaden, tekniska installationer, verksamheter och brukare. Med mycket stor sannolikhet kan byggnaden inte vara helt uppglasad, utan glasytorna måste minskas. Framtida skärpta energikrav blir mycket svåra att möta med dagens teknik för glasfasader.

Vid projektering av en glasfasad finns det många fallgropar, som om de inte undviks kan resultera i hög energianvändning, problem med inneklimat och visuell komfort. Mycket viktiga parametrar är storleken på glasandelen, g-värden (glas och solavskärmning), U-värden (glas och profiler), ljustransmittans (glas) och styrningen av glasfasaden (solavskärmning och ljusreglering). En byggnad med glasfasad är mycket känsligare för fel än en byggnad med traditionell fasad med måttlig glasarea. Därför krävs stor noggrannhet vid projektering, byggande, idrifttagning och drift av byggnaden. Vid projekteringen krävs noggranna beräkningar av energianvändningen och inneklimatet. Med stor sannolikhet kommer byggnaden att ha en högre investerings- och årskostnad.

2 Introduktion

Många moderna kontorsbyggnader har helt uppglasade fasader. Några av dem har t.o.m. en extra glasfasad dvs. en dubbelskalsfasad. Den enklaste typen av dubbelskalsfasad har en mellanliggande spalt som endast är ventilerad mot utomhus. Detta innebär för det mesta att den bakomliggande kontorsbyggnaden har ett traditionellt värme-, kyl- och ventilationssystem. Alternativa lösningar är att tillåta fönstervädring via spalten i dubbelskalsfasaden eller att på vintern förvärma all uteluft tas i dubbelskalsfasaden. Olika kombinationer av systemlösningar är möjliga.

I flertalet tyska projekt med dubbelskalsfasader har simuleringar av temperaturer, luft- och energiflöden utförts före och under projekteringen, med större eller mindre framgång. Ofta har simuleringarna avvikit mycket från resultaten i den färdiga byggnaden. Ofta beror detta på svårigheter att definiera och noggrant bestämma randvillkoren. För att lyckas med beräkningar krävs inte bara god erfarenhet av de använda beräkningsmodellerna, utan också god kunskap i termodynamik, strömningsteknik och byggnadsfysik, samt allmän klokhet och erfarenhet av installationsteknik. Det finns ett stort behov av att förbättra och öka kunskapen om simulerings- och beräkningsmetoder. Dessutom behövs en anpassning till svenska krav på energianvändning och inneklimat, samt en anpassning till svenskt klimat och svensk teknik (byggnads- och installationsteknik).

Har nordiska glaskontor lägre energianvändning än kontor med traditionell storlek på glasareorna eller t.o.m. högre energianvändning? Går det att säkerställa ett bra inneklimat under större delen av året i ett glaskontor? Våra långa, kalla, mörka vintrar kan ge termiska komfortproblem. Låg solhöjd ger relativt höga kylbehov under vår och höst. Är dagsljusmiljön bättre i ett glaskontor? När det gäller den visuella komforten kan problem med bländning i randzonen uppstå. För djupa hus är ofta dagsljusstillgång i kärnan trots helglasade fasader otillräcklig. Kostnaden för energianvändning och inneklimat måste analyseras för svenska förhållanden.

Uppenbarligen finns en osäkerhet i byggbranschen när det gäller utformning av byggnader i glas samt hur man skall beräkna energi, komfort samt inverkan av olika tekniska lösningar för dessa byggnader.

Därför initierades forskningsprojektet Kontorsbyggnader i glas – energi och klimat, som sammanfattas i denna rapport. Målsättningen med projektet har varit att ta fram kunskap om möjligheter och begränsningar med kontorsbyggnader i glas för nordiskt klimat, framförallt med avseende på energi och inneklimat (termisk och visuell komfort). Här ingår

- vidareutveckling av beräkningsmetoder och analysverktyg
- förbättring av analysmetodik
- beräkning av livscykelkostnader
- framtagande av råd och riktlinjer för byggande av kontor i glas i ett nordiskt klimat
- förstärkning och utveckling av kompetens vad gäller resurssnåla avancerade byggnader i Sverige.

Projektet har bedrivits vid Energi och ByggnadsDesign, Arkitektur och byggd miljö, Lunds Tekniska Högskola, i samarbete med WSP och Skanska Teknik. Projektet har finansierats av Energimyndigheten (den största delen), SBUF, WSP och Skanska. Följande personer har medverkat i projektet:

Namn	Funktion i projektet	Meriter
Åke Blomsterberg	Projektledare och handledare	Tekn. dr. byggnadsfysik, projektledare och specialist energieffektivisering, inneklimat och ventilation i byggnader
Maria Wall	Handledare	Chef Energi och ByggnadsDesign, tekn. dr. glasgårdar, arkitekt
Harris Poirazis	Analys av kontorsbyggnader i glas	Doktorand, Energi och ByggnadsDesign
Bengt Hellström	Beräkningsexpert	Tekn. dr. Energi och ByggnadsDesign, energisystem, specialist teoretiska beräkningar
Helena Bülow-Hübe	Dagsljusberäkningar	Tekn. dr. Energi och ByggnadsDesign, fönster
Ulf Lilliengren	VVS-specialist	Civilingenjör maskinteknik WSP, genomfört beräkningar för dubbelskalsfasadbyggnaden Glashuset.
Lars Sjöberg	VVS-specialist	Erfaren VVS:are, Skanska Teknik

Namn	Funktion i projektet	Meriter
Lennars Sjödin	Ekonomi/kalkyl	Byggekonom WSP
Diana Avasoo	Fönsterspecialist	Energi- och fönsterkonsult, WSP
Christer Blomquist	Arkitekt	Arkitekt med stor erfarenhet, WSP Arkitektur under projektet, nu vid Tengbom Arkitekter.

Projektet har haft följande referensgrupp till sitt förfogande:

- ❑ Per-Mats Nilsson, White arkitekter AB
- ❑ Fredrik Källström, White arkitekter AB
- ❑ Stefan Camitz, WSP Environmental
- ❑ Tomas Berggren, Energimyndigheten
- ❑ Ida Bryn, Erichsen & Horgen A/S
- ❑ Bo Eriksson, Skanska Glasbyggarna, efter projektet WSP Environmental
- ❑ Leif Svensson, Wihlborgs Fastigheter AB
- ❑ Rickard Sjöqvist, Midroc Engineering AB

Även resultat från demonstrationsprojektet Kontorsbyggnad i glas – Uppföljning av energi, dagsljus och inneklimat för en kontorsbyggnad i glas under system- och bygghandlingsskedet ingår i denna rapport. Projektet har finansierats av beställargruppen lokaler, www.belok.se. Följande personer har medverkat i projektet:

Funktion	Namn
Projektleddning	Åke Blomsterberg, WSP Environmental; bitr. projektleddare Jan Trygg, WSP Environmental
IDA-ICE simuleringar	Harris Poirazis, Energi och ByggnadsDesign, LTH; Hans Wetterlund WSP Environmental; Bengt Hellström, Energi och ByggnadsDesign, LTH; Lars Sjöberg Skanska Teknik
BV2Arch-simuleringar SÖ (luft+värme+kyla+ belysning+solav-skärmning + dagsljus)	Göran Hellquist och Göran Lundkvist, WSP Arkitektur Peter Pertola, WSP Systems; Hans Malmström, WSP Systems
Dagsljus + belysning	Peter Pertola, WSP Systems; Helena Bülow-Hübe, Energi och ByggnadsDesign, LTH
Dagsljus + belysning simuleringar	Kent Hulusjö, WSP Systems
Flexibilitetsteknik	Rikard Sjöqvist, Midroc Engineering
Glas + solavskärmning	Bengt Hellström, Energi och ByggnadsDesign, LTH; Diana Avasoo, WSP Environmental

Skriften innehåller tre huvuddelar:

- Allmänt
- Tillämpningar
- Verktyg

Målgrupperna är:

- Beställare
- Arkitekter
- Tekniska konsulter
- Fasadleverantörer
- Förvaltare

Skriften är relevant för framförallt nybyggnation, men även renovering. Huvudsyftet är att ta upp aspekter som är viktiga för energianvändning, termiskt inneklimat och visuell komfort.

3 Allmänt

3.1 Vad är ett glaskontor

Vad är ett glaskontor? Det är inte helt enkelt att definiera vad som är ett glaskontor. Glasandelen av fasadytan är med stor sannolikhet större än för en traditionell byggnad. Inom forskningsprojektet Kontorsbyggnader i glas – energi och klimat (vid Lunds Tekniska Högskola, www.ebd.lth.se.) enades projekt- och referensgruppen om att en traditionell modern kontorsbyggnad har en fönsterarea som är ca 30% av fasadytan sedd utifrån, vilket ofta motsvarar ca 17% av golvytan (BRA) eller ca 20% av golvytan (LOA). Sett inifrån så kan fönsterarean uppta ca 40% av fasadarean, under förutsättning att våningshöjden är 3,5 m och rumshöjden 2,7 m. Vanligen är glasandelen av ett fönster ca 75 – 90% beroende på fönsterstorlek och typ av fönsterprofiler. Ett glaskontor definieras här som en byggnad där någon av fasaderna har mer än 60 % fönster, vilket kan innebära en fönsterbröstning på ca 0,6 m och i övrigt fönster upp till undertaket.

3.2 Varför byggs glaskontor?

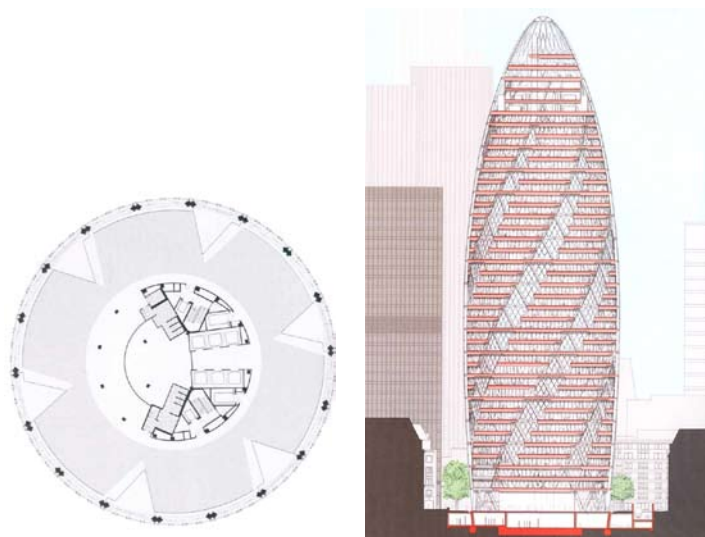
Få byggnadsmaterial har under de senaste två decennierna upplevt en sådan innovativ utveckling som glaset. Det har blivit en högutvecklad produkt som rätt använd kan brukas till smäckra och djärva konstruktioner. Den ökade användningen av glasfasader har möjliggjorts tack vare utvecklingen av bättre fasadteknik och förbättringen av tekniska egenskaper hos glas. I början berodde det stigande intresset för glasfasader på att de symboliserade utveckling och framtid. Under senare år har glasets förbättrade egenskaper och dess möjligheter att delta i en komplex konstruktion bidragit till ett ökat byggande av denna fasadtyp. Många moderna glaskontor har byggts i Sverige och utomlands. Arkitektoniskt är syftet att skapa en luftig, transparent och lätt byggnad med inblick och utblick, där tillgången till dagsljus är större än i mer traditionella kontorsbyggnader. Tanken är ofta att skapa en byggnad med öppenhet och ge intryck av framtiden. Den totala transparensen visar dessutom företagets vilja att kommunicera med och öppna

upp sig mot samhället utanför. I många fall är glaskontor profilbyggen för företag. Glasbyggnader kan vara en vision om en energieffektiv byggnad, som dock inte är lätt att realisera. Glasbyggnad är teknikutveckling och/eller profilprojekt. Det finns alltså en efterfrågan på glaskontor, ”grannen” bygger glaskontor, då måste jag också.

Glasbyggnader är också en gammal vision. Det naturliga dagsljuset och dess positiva påverkan på människan har alltid varit en av huvudingredienserna i arkitekturen. Ljusets behandling påverkar upplevelsen av rummet och människans inre klocka – pigg och vaken, trött och sömning. Scenografi och välbefinnande, skuggor, reflexer, bländning, ljusfärg och fördelning, allt påverkar och ingår i upplevelsen.

Undersökningar visar att dagsljuset spelar en avgörande roll för såväl prestationer som fysisk hälsa. Hos människor i norr är depressioner vanligare än hos människor närmare ekvatorn. Att öka dagsljusinfallet är förutom dess påverkan på människan också en viktig miljöaspekt eftersom det kan minska elanvändningen till belysning.

Den glasade fasaden har ökat intresset kring dagsljusplanering. Den stora andelen glas tillåter ljuset att komma långt in i byggnaden. En glasad byggnad bör utformas utifrån en maximering av ljusinfallet för att minska mörka delar i kärnan. St Mary Axe i London är ett bra exempel med sin cirkulära planform där tårtpitar skurits ut för att föra ljus in i byggnaden, och på så sätt minska den djupa kärnan (se figur 3.1).



Figur 3.1 St Mary Ax, plan och sektion.

Det behövs dock en omtänksam planering av en glasfasad med den mängd ljus som kommer in i huset. Det leder ofta till bländningsproblem särskilt när solen står lågt. En lösning på problemet är lameller som då tjänar två syften. Det ena är att avskärma solen och det andra är att via de övre lamellerna länka in ljuset till rummens inre.

Glashusen får på natten en tredje dimension och blir en lysande lykta som ger värme och trygghet i mörkret (se figur 3.2). För att hålla nere elanvändningen för belysning, förutsätts eleffektiv belysning.



Figur 3.2 Nattbild av ett glaskontor.

De senaste åren har arkitekter börjat intressera sig för att tillämpa tekniken med dubbelskalsfasader på kontorsbyggnader med stora glasfasader i Skandinavien. Några sådana byggnader har byggts (t.ex. Kista Science Tower, ABB-huset, Glashuset i Hammarby Sjöstad i Stockholm, WSPs nya kontor i Malmö). Syftet med dubbelskalsfasaden av glas har i dessa fall främst varit att med en klimatskyddad persienn minska övertemperaturer i den bakomliggande byggnaden på sommarhalvåret och minska transmissionsförlusterna på vinterhalvåret jämfört med en enkelskalsfasad av glas. Ytterst sällan har dubbelskalsfasaden i Skandinavien använts för ventilation av den bakomliggande byggnaden, vilket inte är ovanligt i t.ex. Tyskland med fönstervädring. Fasaden har alltså inte integrerats helt med den bakomliggande byggnaden.

Utopiska skildringar innehåller nästan alltid transparenta hus i olika former. Blir glasfasaden husens ytterskal i framtiden? Glas kan idag levereras med nästan alla de egenskaper som behövs för en fasad med undantag

för en effektiv värmeisolering. Ska glasarkitekturen överleva måste den dock begränsa dess påverkan på energiförlusterna genom nya innovativa lösningar.

Det är inte troligt att vi enbart kommer att bygga glashus framöver. Platsen, behovet och tillgång på material blir fortfarande avgörande. En positiv utveckling för glaset som material ökar dess möjligheter att bli en universallösning med fler glashus som följd. Människan har alltid sedan urminnes tider strävat efter att använda ett material i sitt byggande. Multifunktionella glasfasader kan bli framtidens byggteknik. Borta är ytterväggarna med sina många skikt i de täta delarna avbrutna med öppningar för ljusinsläpp och kommunikation.

Arkitekter, konstnärer och tekniker kommer att tänja på gränserna i en strävan att skapa nya uttryck, som ger levande fasadytor.

3.3 Energi, dagsljus och inneklimat?

Den stora utmaningen för ett glaskontor med enkel- eller dubbelskalsfasad är att optimera energianvändningen, användningen av dagsljus, den visuella komforten och det termiska inneklimatet till en rimlig investerings- och livscykelkostnad.

Moderna kontorsbyggnader har ofta en stor potential för energieffektivisering och inneklimatförbättring. Många moderna kontor må ha en lägre energianvändning för uppvärmning, men har i gengäld ofta en högre elanvändning jämfört med äldre kontor, vilket beror på hög elanvändning för ventilation, kyla, belysning, och kontorsutrustning. Även i äldre kontorsbyggnader har elanvändningen ökat, då framförallt pga. mer kontorsutrustning.

Särskilt under 90-talet har det byggts kontor med glasfasader (t.ex. WSPs huvudkontor och Postens huvudkontor i Stockholm, Teliahuset, Sigmahuset och Tyrénshuset i Malmö; alla med enkelskalsfasader, (för dubbelskalsfasader se kapitel 3.2), som riskerar att ha en högre energianvändning och sämre inneklimat än traditionella kontorsbyggnader med måttliga glasareor. En del av de moderna glaskontoren är försedda med dubbelskalsfasader, för att minska energianvändningen och förbättra inneklimatet. Ett antal frågor kring glaskontor har dock inte besvarats tillfredställande hittills:

- Har de lägre energianvändning än kontor med traditionell storlek på glasareorna eller t.o.m. högre energianvändning?
- Är över huvudtaget glaskontor ekologiska och hållbara byggnader?

- Går det att säkerställa ett bra inneklimat under större delen av året i ett glaskontor?
- Är dagsljusmiljön bättre i ett glaskontor?

Elanvändningen för belysning kan mycket väl vara densamma för en kontorsbyggnad med traditionell fönsterstorlek som för en kontorsbyggnad med stora fönster (Poirazis 2005, Bülow-Hübe 2008). Detta gäller om traditionell solavskärmning (fast yttre solavskärmning eller mellanliggande persienner) med traditionell reglering (ingen eller manuell) används. I byggnader med glasfasad tas dagsljuset ofta inte tillvara, utan problem med bländning uppstår.

Om inga extra åtgärder vidtas, så har med stor sannolikhet kontorsbyggnader med glasfasad högre energianvändning för både kyla och värme än en kontorsbyggnad med traditionell fasad. Det finns även exempel där värme tillförs från radiatorer/konvektorer vid fasaden för att motverka kallras, samtidigt som byggnaden i övrigt tillförs kyla. Med traditionella förbättringar av fönster och solavskärmning kan dock denna skillnad mellan glasfasad och traditionell fasad med måttlig glasarea minskas (Poirazis 2008). En traditionell glasfasad ökar också risken för otillfredsställande termisk komfort nära fasaderna och bländning längre in i byggnaden.

Energi-, inneklimat- och dagsljussimuleringar (se avsnitt 4.10) för en ny kontorsbyggnad med stora glasytor, större än för en traditionell kontorsbyggnad (50% jämfört med 20% av fasaden), har dock visat att det finns förutsättningar för att

- effektivt utnyttja den större tillgången till dagsljus och därmed sänka elanvändningen för belysning och samtidigt förbättra den visuella komforten
- säkerställa god termisk komfort
- uppnå en rimlig total energianvändning, som är på samma nivå som för en traditionell modern kontorsbyggnad

Detta uppnåddes med förbättringar med hjälp av tillgänglig teknik: bättre U- (värmegenomgångskoefficient) och g-värden (total solenergitransmitans), rimliga glasareor, samt en helhetsyn.

För att uppnå en rimlig energianvändning reducerades fönsterarean från ca 75% (helt uppglasat sett inifrån) till ca 55%, g-värdet för glas och persienn tillsammans från 0,35 till 0,1 och U-värdet för fönster från 1,8 till 1,1 W/m²K. Dessutom säkerställdes att alla opaka delar av fasaderna är välisolerade, U-värde 0,22 W/m²K. Byggnaden har en dubbelskalsfasad mot väster, söder och öster för kontorsplanen, plan 3 – 5. Dubbelskalsfasaden är tre våningar hög. Spalten ventileras med självdrag genom en öppning nere och en uppe. Vintertid stängs den övre öppningen med ett

spjäll för att minska värmeförlusterna genom fasaden. Anledningarna till att en dubbelskalsfasad valdes var följande:

- skyddad rörlig solavskärmning, en persienn. Byggnaden kommer ofta att vara utsatt för hård vind, snö, regn och temperaturer kring fryspunkten.
- bättre ljuddämpning mot ute

3.4 Är glas svårt?

Glas har många egenskaper, som är värdefulla för byggnadstillämpningar. Det släpper in dagsljus, ger utblick, skyddar mot väder och buller, samt kan användas arkitektoniskt och estetiskt. Glas är ett beständigt material. Tack vare den snabba tekniska utvecklingen av glaset kan dess egenskaper varieras med hjälp av framförallt olika tunna beläggningar. Ett antal funktionskrav (Carlsson 2005) ställs på glas inom följande områden:

- Värmeisolering, U-värde
- Ljustransmission
- Solskydd, solfaktor
- Brandskydd
- Bullerskydd
- Personsäkerhet
- Inbrottsskydd
- Beskjutningsskydd
- Explosionsskydd
- Utseende etc.

Egenskaperna hos glas såsom solskydd och emissivitet påverkar transmissionen för strålning. Denna kan ändras drastiskt genom ytbeläggning av glaset. Sådana beläggningar påverkar både omfånget på transmitterad strålning och dess nivå. Beläggningarna kan vara reflekterande och selektiva.

Effektivt solskydd kan uppnås genom reflekterande beläggningar. Ökad reflektion medför minskad total transmission. För närvarande kan den totala solenergitransmittansen, g , för en tvåglas isolerruta varieras mellan 0,2 och 0,7 med en ljustransmittans, τ , mellan 0,3 och 0,8.

Bättre U-värde kan uppnås med beläggningar med låg emissivitet. De kan reducera emissiviteten e från 0,87 till 0,04. Denna typ av beläggning är selektiv, eftersom den medger transmittans av större delen av dagljuset, men har en hög grad av reflektering av det infraröda ljuset. För närvarande kan det totala U-värdet (mitt på glasytan) för en tvåglas isolerruta varieras mellan 2,8 och 1,1. I moderna kontorsbyggnader används företrädesvis

tvåglas isolerrutor, ofta med reflekterande beläggning. Vad beträffar dubbelskalsfasader så är vanligen det innersta skalet en tvåglasisolerruta och det yttersta skalet ett enkelglas. I tvåglasisolerrutan ingår ofta ett solskyddsglas.

Glaset skall alltså uppfylla många krav. Att optimera energianvändningen, användningen av dagsljus, den visuella och termiska komforten är inte lätt. Normalt krävs avancerade simuleringar för denna typ av byggnader.

3.5 Glasfasadteknik

Vid projektering av ett energieffektivt glaskontor så gäller två viktiga krav för glasfasaderna:

- att hålla nere värmeförlusterna under vintern
- att undvika icke önskvärda värmetillskott under sommaren

Det finns flera möjligheter och kombinationer av åtgärder. Det första viktiga kriteriet är antal glasskal dvs. enkelskalsfasad eller dubbelskalsfasad. Det andra kriteriet är placeringen av solskyddet. Det finns enkelskalsfasader med inre, mellanliggande eller yttre solavskärmning. Vid dubbelskalsfasader placeras vanligen solavskärmningen mellan glasskalen. För att hålla nere värmeförlusterna eftersträvas ett lågt U-värde för glas och profiler. För att undvika icke önskvärda värmetillskott eftersträvas låg total solenergitransmittans, utan att för den skull stänga ute för mycket dagsljus, särskilt om vintern och vid mulet väder. Detta uppnås bäst genom en rörlig solavskärmning. Vid stora glasfasader kan den rörliga solavskärmningen behöva kombineras med att ett av de bakomliggande glasen är ett solskyddsglas.

Glas i glasfasader (Carlsson 2005) kan vara:

Mekaniskt infästa med

- Ramverk av metallprofiler
- Punktviss med clips som är öppna eller dolda av täckprofil
- Punktviss med bultar genom glasets

Limmat infäst mot bakomliggande metallprofiler, s.k. structural glazing

- Tvåsidigt, kombinerat med bakomliggande profiler antingen vertikalt eller horisontellt
- Fyrsidigt, kombinerat med bakomliggande profiler vertikalt och horisontellt

Glasfasader är ofta en icke-bärande yttervägg. Om den hängs utanför den bärande stommen, till vilken den är infäst kallas den för "curtain wall". Ofta består den av ett ramverk med fyllda bröstnings- och fönsterpartier. Glasfasaden kan vara platsbyggd eller bestå av prefabricerade element. I fönsterbröstningarna kan den yttre skivan vara av glas, aluminium, sten eller något annat material. Profilerna i ett ramverk är vanligen av aluminium.

En glasfasad måste uppfylla ett antal grundläggande krav inom följande områden:

Säkerhet och skydd

- Personsäkerhet
- Egendoms- och personskydd
- Brandskydd

Energi, miljö och hälsa

- Energihushållning
- Termisk komfort
- Täthet
- Kondens
- Ljus
- Bullerskydd

Drift och underhåll

- Livslängd
- Garantier
- Skötsel
- Återvinning

Vad beträffar tätheten så måste en glasfasad var tvåstegstättad. Steg ett innebär att den yttre delen av fasaden ska vara så regntät som möjligt och tryckutjämnande, med luftad och dränerad spalt så att eventuell fukt som trots allt lyckas komma in kan ta sig ut igen. Tryckutjämnningen är till för att samma tryck ska råda på båda sidor om tätningen, vilket medför att vatten inte pressas in i fasaden vid fogar eller andra otätheter.

Steg 2 består av luft- och diffusionstättning, som måste vara placerad på den varma sidan av väggen dvs. insidan. Denna tätning skall förhindra luftläckage mellan ute och inne. I traditionella lätta utfackningsväggar består denna tätning ofta av en plastfolie. I en betongvägg är betongen i sig tät. I en icke bärande glasfasad utgörs vanligen tätskikt av en invändig metallplåt av stål eller aluminium förutom glaset, som i sig är både luft- och diffusionstätt.

Solavskärmning kan uppnås genom att använda solskyddsglas (se ovan) och/eller solavskärmning. Nackdelen med solskyddsglas är att dess solskyddsegenskap är låst, vilket innebär att solinstrålningen reduceras under vintern, när den kunde vara till nytta och dagsljusinsläppet kan reduceras. Fördelen är att man spektralt kan styra instrålningen så att dagsljusdelen i solens spektrum premieras, medan övriga delar (inom UV och NIR) kraftigt reduceras. Solavskärmning/skydd kan vara fasta eller rörliga.

Fasta solskydd fungerar bäst vid högre solhöjder då effektivt skydd kan uppnås, utan att behöva alltför stora solskydd. På söderfasader används ofta horisontella solskydd medan för öst- och västfasader solskydden bör vara lutande eller vertikala. Nackdelen med ett fast solskydd är att solavskärmningen inte alltid blir optimal, eftersom solhöjden varierar kraftigt. Det finns tillfällen då solskyddet skuggar för mycket och tillfällen då solskyddet skuggar för lite.

Ett rörligt solskydd medger på ett annat sätt optimal solavskärmning, eftersom solskyddet kan ställas in efter solhöjden. Rörliga solskydd kan placeras:

- Utvändigt
- Mellan glasen
- Invändigt

Den effektivaste solavskärmningen uppnås med utvändigt solskydd, därför att vidarestrålningen från solskyddet blir kvar på utsidan. Ett bra g-värde (total solenergitransmittans) för en fasad med yttre solavskärmning är 0,1. En nackdel är exponeringen för väder och vind, som kan medföra höga kostnader för skötsel och underhåll.

Glasfasader kan som nämnts tidigare vara av typen dubbelskalsfasad. Vanligen består den av två glasfasader åtskilda av ett utrymme med rörliga solavskärmningar. En dubbelskalsfasad kan utformas på många olika sätt. Ofta är utformningen projektspecifik. Utformningen kan dock göras enligt fyra olika huvudprinciper:

- Korridorfasad som är horisontellt sektionerad våningsvis och ventileras våningsvis
- Boxfasad som är sektionerad både horisontellt och vertikalt, vanligen i en enhet per cellkontor
- Schaktboxfasad som är en variant av boxfasaden, där varje box är förbunden med ett vertikalt ventilationschakt som förbinder flera våningar. Den naturliga ventilationen av dubbelskalsfasaden förstärks på detta sätt.
- Flervåningsfasad som inte är sektionerad, varken vertikalt eller horisontellt, utan spalten är ofta byggnadshög.

Luftspalten i en dubbelskalsfasad kan ventileras enligt tre olika huvudprinciper:

- I byggnader med mekanisk ventilation ventileras som regel luftspalten med naturlig ventilation. Uteluft tas in nedtill och släpps ut upptill. Luftspalten kan vara byggnadshög såsom i ABB-huset i Solletuna eller våningshög såsom i Kista Science Tower.
- I byggnader med naturlig ventilation tas uteluften in i byggnaden genom öppningsbara fönster för ventilation av bakomliggande rum. Flervåningsfasaden lämpar sig inte för denna typ av ventilation.
- Byggnader med mekanisk eller naturlig ventilation kan ventileras via en s.k. frånluftsfasad. Denna fasadtyp har ett enkelglas på insidan av en yttre två- eller treglas isolerruta. Luftspalten ventileras med inneluft. Konstruktionen är sedan 1957 ett svenskt patent. Ett exempel är det kungliga Biblioteket på Amager i Köpenhamn.

I Norden har hittills nästan endast mekaniskt ventilerade byggnader med en naturligt ventilerad dubbelskalsfasad byggts. I Tyskland är däremot vanligt att den bakomliggande byggnaden är naturligt ventilerad och kanske därför finns det där flera exempel på avancerade lösningar för integration av dubbelskalsfasaden med den bakomliggande byggnaden.

3.6 Kostnader

Alla byggnader måste vara hållbara dvs. ha liten inverkan på miljön under sin brukstid (Blomsterberg 2007b). Ansvariga för detta är många olika aktörer t.ex. beställare, projektörer, inköpare och förvaltare. Produkter måste bedömas ur ett livscykelperspektiv, där hänsyn måste tas till all inverkan på miljön under hela brukstiden. I ett tidigt skede av byggprocessen kan projektören, inköparen och entreprenören göra miljövänliga val. En byggnad kommer att ändras under sin livslängd, dessutom består den av olika komponenter med olika livslängd. Vanligen har komponenterna som ingår i byggnadsstommen, såsom fasadsystemet, en längre livslängd än många andra delar av byggnaden t.ex. ventilationssystemet.

Viktiga aspekter av betydelse för en livscykelanalys är:

- ☐ Livslängd
- ☐ Miljöpåverkan
- ☐ Förändringar av byggnaden
- ☐ Kostnadsanalys

Mycket ofta bestäms den praktiska livslängden för t.ex. ett ventilations-system av hur länge byggnaden kommer att användas för nuvarande verksamhet. Under projektering måste hänsyn tas till möjlighet till skötsel och underhåll, samt flexibilitet eftersom användningen av t.ex. en kontorsbyggnad kan ändras flera gånger under byggnadens livslängd pga. nya hyresgäster. Anledningen till renovering och ombyggnad är oftare ändrade behov förorsakade av ny användning/verksamhet än för mycket slitage eller att installationerna har blivit gammalmodiga, att reservdelar till utgående produkter endast lagras under en begränsad tidsperiod eller av andra orsaker inte uppfyller dagens krav. Fasaden, speciellt en glasfasad, kan vara avgörande för valet av installationer.

En viktig faktor vid val av fasadsystem är kostnaden för fasaden och hela byggnaden. Idag beaktas vanligen investeringskostnaden och inte livscykelkostnaden. Att endast ta hänsyn till investeringskostnaden resulterar ofta i ett fasadsystem och en byggnad som endast, utan marginal, uppfyller byggnormskraven till lägsta investeringskostnad. En dubbelskalsfasad i glas är vanligen dyrare än en enkelskalsfasad i glas, som i sin tur är dyrare än en traditionell fasad, åtminstone om endast investeringskostnaden beaktas.

Livscykelkostnaden för en byggnad är den totala kostnaden under byggnadens hela livslängd inklusive planering, projektering, förvärv och underhåll, samt alla andra kostnader direkt relaterade till att äga eller använda byggnaden. Det finns tre olika metoder för att beräkna livscykelkostnaden:

- ☐ Nuvärdesmetoden
- ☐ Internräntemetoden
- ☐ Annuitetsmetoden

En vanlig metod för att studera lönsamheten för energisparåtgärder är payoffmetoden. Denna metod tar emellertid inte hänsyn till räntan och beräknar inte den verkliga livscykelkostnaden och är därför en grov metod.

Nuvärdesmetoden

En vanlig metod är att beräkna nuvärdet, som summerar över- och underskott i penningflödet i nuvärdestermerna. Metoden kombinerar investerings-, reinvesterings-, energi-, underhålls- och miljökostnader under hela brukstiden för en komponent eller hel byggnad. Den årliga kostnaden för energi, underhåll och miljö räknas om till en kostnad idag. Varje årskostnad räknas om till dagens kostnad med hjälp av en antagen kalkylränta, varefter alla årskostnader summeras. Den totala livscykelkostnaden kan definieras som:

$$\begin{aligned} \text{LCC} = & \text{Investering}_{\text{installation}} + \text{Investering}_{\text{byggnad}} + \\ & + \Sigma \text{Energikostnader}_{\text{elektricitet, värme etc.}} + \Sigma \text{Underhållskostnad} + \\ & + \Sigma \text{Miljökostnad} - \text{Restvärde} \end{aligned}$$

Alla kostnader räknas tillbaka till år noll (tidpunkten för investeringen) och summeras över hela livslängden. Att välja en realistisk kalkylränta över livslängden för investeringen är av stor betydelse för en LCC-beräkning. För högriskprojekt bör en högre kalkylränta användas. Med metoden kan olika alternativ jämföras. Miljökostnaden är vanligen svår att beräkna, men ingår till en stor del genom energikostnaden. Ofta används LCC-beräkningar för att optimera energianvändningen under brukstiden.

Det finns idag tillgång till verktyg och programvara för LCC-beräkningar t.ex. www.belok.se. I tabell 3.1 ges ett exempel på en beräkning för renovering av ett fläktsystem.

Tabell 3.1 Beräkning av livscykelkostnaden för en befintlig och en ny fläkt (Gebhardt), Följande antagande gjordes: livslängd 20 år, kalkylränta 4%, prisökning för el 2%/år.

Fläktalternativ	Befintlig fläkt	Ny fläkt	Enhet
Projekterat luftflöde	1,5	1,5	m ³ /s
Totaltryck	250	250	Pa
Total verkningsgrad	16	61	%
Elpris, år 0	0,085	0,085	Euro/kWh
Fläktinvesteringskostnad, år 0		2267	Euro
Installationskostnad, år 0		227	Euro
Total investering	0	2494	Euro
Årligt underhåll	227	57	Euro/år
LCC _{underhåll}	3085	775	Euro
Effektbehov vid projekterat luftflöde	2,5	0,615	kW
Drifttid	8760	8760	Timmar/år
Elanvändning	21900	5387	kWh/år
Årlig elkostnad	1862	458	Euro/år
LCC _{el}	30435	7488	Euro
LCC _{total}	33520	10757	Euro

Annuitetssmetoden

Annuitetsmetoden tillåter att icke-återkommande betalningar/investeringar och regelbundna betalningar fördelas ut med hjälp av annuitetsfaktorn "a" under tidsperioden "T" (t.ex. 50, 70 eller 100 år – uppskattad livslängd för

en byggnad). Periodiska och icke-periodiska betalningar med varierande belopp räknas om till konstanta periodiska betalningar

Internräntemetoden

Internräntan är avkastningen, som kan erhållas på investerat kapital under en investerings livslängd. Ett ekonomiskt lyckat projekt har ett internräntevärde, som är högre än den ränta, som skulle kunna erhållas från en alternativ investering (bank, obligationer, aktier).

3.7 Fördelar och nackdelar

Potentiella fördelar med kontorsbyggnader med enkelskalsfasader med hög andel glas kan vara (jämfört med traditionella kontorshus):

- Större tillång till dagsljus och därmed möjlighet till bättre visuell miljö
- Bättre utblick
- En transparent byggnad
- Estetik
- Mer solvärme på vintern

Potentiella problem med kontorsbyggnader med enkelskalsfasader med hög andel glas kan vara:

- Varma sommar/vår/höstdagar risk för övertemperaturer i kontorsrummen
- Risk för kallras på vintern
- Höga investeringskostnader
- Rengöring kan innebära merkostnad
- Risk för hög energianvändning för kyla och värme
- Svårt att uppnå rimlig total energianvändning med helglasad enkelfasad
- Belysningsbehovet minskar inte automatiskt med ökande glasandel
- Ju mer glas desto svårare är det att alltid uppfylla komfortkrav nära fasad

Potentiella fördelar med glaskontorsbyggnader med dubbelskalsfasader kan vara (jämfört med traditionella kontorshus, men framförallt jämfört med motsvarande kontorshus med stora fönster/glasfasader):

- Att individuell fönstervädring i stort sett är oberoende av vind- och väderförhållanden, framförallt under soliga vinterdagar och övergångsperioder (vår och höst)
- Minskat uppvärmningsbehov genom förvärmning av uteluft i dubbelskalsfasaden
- Nattkyla av byggnaden genom att öppning av de inre fönsterna möjliggörs
- Förbättrat inbrottsskydd tack vare två glasskikt
- Bättre ljudisolering mot ute, framförallt vid vädring
- Effektivare yttre (mellanliggande med tvåglas på insidan och enkelglas på utsidan) solavskärmning, eftersom denna kan användas även blåsiga dagar
- Bättre termisk komfort vintertid

Potentiella problem med glaskontorsbyggnader med dubbelskalsfasader kan vara:

- Sämre genomvädring och otillräcklig värmebortföring från kontorsrummen vid vindstilla förhållande, när ventilationen av kontorsrummen i huvudsak sker med självdrag kopplat till dubbelskalsfasaden
- Varma sommar/vår/höstdagar risk för övertemperaturer i kontorsrummen vid fönstervädring
- Låg solhöjd ger relativt sett höga kylbehov vår och höst
- Risk för låg dagsljusnivå i de centrala delarna av byggnaden, framförallt för djupa byggnader
- Höga investeringskostnader
- Kontorsgolvytan kan bli reducerad pga. byggrättens storlek
- Risk för överhörning via fasad mellan kontor med öppna fönster
- Rengöring kan innebära merkostnad
- Energibesparingspotentialen har ofta överskattats

3.8 Vetenskapliga synpunkter

Inom den akademiska världen finns kunskap om sambandet energianvändning, dagsljus, visuell komfort och termisk komfort. Kunskapen behöver dock fördjupas och spridas. Framförallt behövs bättre beräkningsverktyg för att säkrare kunna bestämma energianvändningen och det termiska och visuella inneklimatet i glaskontor. Detta gäller framförallt glaskontor med dubbelskalsfasader. Behovet av förbättringarna gäller även för årliga beräkningar av dagsljusutnyttjande och visuell komfort, samt resulterande elanvändning för belysning.

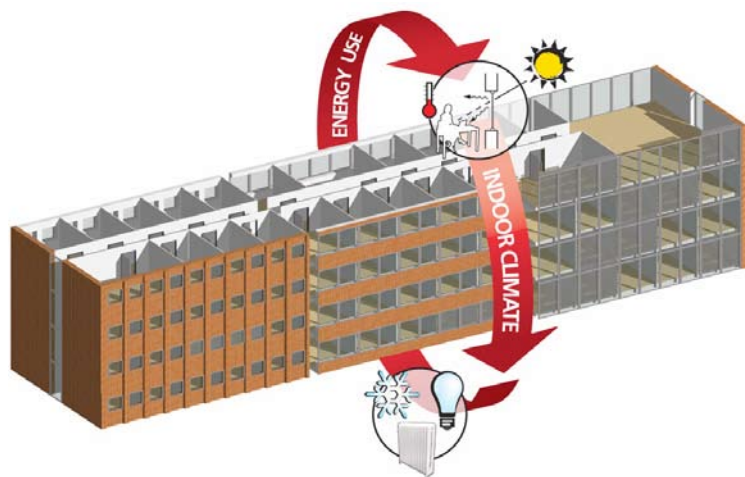
4 Tillämpning

Vilka möjligheter och begränsningar finns med kontorsbyggnader i glas, framförallt med avseende på energianvändning och inneklimat?

4.1 Möjligheter och begränsningar för kontorsbyggnader med glasfasader

Inom forskningsprojektet "Kontorsbyggnader i glas – energi och klimat" har omfattande analyser med hjälp av simuleringar av energianvändningen och det termiska inneklimatet genomförts (Poirazis 2008), samt simuleringar av dagsljus och belysning (Bülow-Hübe 2008). Utgångspunkten har varit en virtuell referensbyggnad, en kontorsbyggnad representativ med avseende på utformning, energi- och inneklimatprestanda för 90-talets kontorsbyggnader. Utformning av byggnaden bestämdes av forskare vid Energi och ByggnadsDesign vid Lunds Tekniska Högskola, arkitekter och ingenjörer från WSP och Skanska Teknik. Först bestämdes detaljerade funktionskrav för energianvändning och inneklimat, varefter typisk byggnadsteknik och installationsteknik valdes. Byggnaden antogs försörjas med fjärrvärme och fjärrkyla. Simuleringar av energianvändning och inneklimat med IDA ICE 3.0 visade att funktionskraven uppfylldes.

För denna virtuella byggnad varierades sedan fasadutformningen (se figur 4.1). Första steget var att glasa upp fasaden till 60% och sedan till 100%. Det slutliga steget var en dubbelskalsfasad. För varje fasadtyp undersöktes olika glas- och solavskärningsalternativ. Kommersiellt tillgängliga produkter valdes. Den övriga byggnadskonstruktionen är i princip densamma som för referensbyggnaden. Värme- och kylsystem dimensionerades upp för några av glasalternativen. För dubbelskalsfasaden studerades även olika principer vad avser ventilationen. Spalten i dubbelskalsfasaden ventilerades med uteluft eller inneluft med hjälp av självdrag eller fläkt. Luft i spalten tillfördes byggnaden eller fördes direkt ut.



Figur 4.1 Virtuellt kontorsbyggnad representativ för 90-talets kontorsbyggnader. Den vänstra delen åskådliggör referensen, i mitten 60 % uppglasning och till höger helt uppglasad.

4.1.1 Resultat från energi- och inneklimatsimuleringar

Energianvändningen påverkas av nivån på intervärmen t.ex. om kontoret består av cellkontor eller kontorslandskap. En kontorsbyggnad med kontorslandskap har ofta högre internvärme från personer och verksamhetsel, eftersom golvytan per person ofta är mindre än för en kontorsbyggnad med cellkontor. Detta resulterar i högre energianvändning för kyla resp. lägre energianvändning för värme. För referensbyggnaden ökade kylbehovet med ca 50% eller 6 kWh/m²år och medan värmebehovet minskade med ca 15% eller 7 kWh/m²år. Samma trend gäller för de uppglasade alternativen.

Risken för komfortproblem ökar för en kontorsbyggnad med cellkontor jämfört med en med kontorslandskap. Detta eftersom förhållandet mellan fasadglasyta i förhållande till golvarea, som används för kontor, ökar. I en byggnad med kontorslandskap utnyttjas en större del av den tillgängliga golvarean för kontor. I kontorsbyggnader med uppglasade fasader ökar risken för komfortproblem, framförallt om fönster med höga U-värden och g-värden används. Variationen i operativ temperatur ökar, vilket kan resultera i en oacceptabel termisk komfort.

Valen av börvärden för lufttemperaturen i ett kontor är av stor betydelse för energianvändningen och den termiska komforten. Ju snävare intervallet mellan börvärdet är för kyla resp. för värme desto högre blir

energianvändningen. För den studerade referensbyggnaden var skillnaden i uppvärmning mellan 7 – 16%, när intervallet varierades mellan 22°C – 23°C, 22°C – 24,5°C och 21°C – 26°C. Skillnaderna är liknande för kyla. Motsvarande skillnader minskar för uppglasade alternativ, dock är den totala energianvändningen på en högre nivå.

Ett snävt temperaturintervall medför inte automatiskt bättre komfort. Avgörande är nivån på börvärdet för kyla resp. för värme. Vid bestämning av börvärden måste hänsyn tas till den operativa temperaturen, för att uppnå god termisk komfort. Ju mer uppglasad fasaden är desto större variation i den operativa temperaturen och desto snävrare lufttemperaturintervall (börvärde värme – kyla) måste väljas för att uppnå god termisk komfort. Trots ett val av lågt U-värde för en glasfasad, kan problem med den termiska komforten uppstå, pga kallras. Uppglasade fasader medför alltid större risk för komfortproblem, eftersom U-värdet är mycket sämre än för en normal yttervägg.

Orienteringen av fasaden påverkar framförallt den operativa temperaturen under sommarhalvåret dvs. för en söderfasad ökar risken för komfortproblem. Risken ökar dessutom med ökande glasarea.

Som förväntat ökar energianvändningen med ökande glasarea. Med treglasfönster (klarglas och mellanliggande persienn) fönster ökade den totala energianvändningen för referensbyggnaden, när fönsterarean ökade från 30% till 60%. Ökningen är ca 30 kWh/m²år eller ca 23% av den totala energianvändningen. Motsvarande ökning för referensbyggnaden, när fasaden glasas upp helt är ca 60 kWh/m²år eller ca 50%. Denna skillnad minskar om glasfasader med lägre U-värden för fönsterdelen och lägre g-värden inkl. solavskärmning väljs.

Ökad fönsterarea medför inte nödvändigtvis en minskad elanvändning för belysning. Referensbyggnaden har elanvändning för belysning, som är 1 – 3 kWh/m²år högre än referensbyggnaden med 100% fönsterarea. Energibesparingen för uppglasad kontorsbyggnader är ofta måttlig. Tillgången till dagsljus må vara högre med större glasytor, men den visuella komforten kan försämrast pga. problem med bländning.

Valen av U- (värmegenomgångskoefficient), g- (total solenergitransmittans för glas) och g_{system} (total solenergitransmittans för glas och solavskärmning) har som förväntat en stor inverkan på energianvändningen. Som nämnts ovan så resulterar treglas klarglas (med höga U- och g-värden) i en hög energianvändning för värme och kyla. Genom att välja ett fönster med ett U-värde för glasdelen på 1,14 W/m²K istället för på 1,85 W/m²K och ett g-värde på glas + solavskärmning på 0,2 istället för 0,3, så sänks den totala energianvändningen för den helt uppglasade referensbyggnaden från 180 kWh/m²år till 140 kWh/m²år. Glasdelens g-värde reducerades från 0,69 till 0,35. Fjärrvärmeanvändningen reducerades från 92 kWh/m²år till 72 kWh/m²år och fjärrkyleanvändningen från 30 kWh/m²år till 9

kWh/m²år. Det låga kylbehovet uppnåddes med en yttre solavskärmning, som är den effektivaste solavskärmningen.

En uppglasad fasad ger större risk för problem med den termiska komforten, eftersom den operativa temperaturen kommer att variera i högre grad under året, beroende på variationer i innersta glasets ytemperatur. Denna variation kan minskas genom att välja fönster med lägre U- och g-värde inkl. ev. solavskärmning.

För att minska energianvändningen och förbättra inneklimatet i kontorsbyggnader med stora glasfasader kan dubbelskalsfasader användas. I princip tillåter dubbelskalsfasader att solvärme tillgodogörs för uppvärmning när solavskärmning inte behövs och bortför genom den ventilerade spalten solvärme absorberad av solavskärmningen, vilket minskar kylbehovet i byggnaden.

Minskningen av den totala energianvändningen med en dubbelskalsfasad för ett glaskontor är dock måttlig jämfört med en enkelskalsfasad, i det nordiska klimatet. Beräkningar för den uppglasade referensbyggnaden visar att en typisk dubbelskalsfasad (med inre skal med tvåglas och yttre skal med enkelglas) medför en total energianvändning på 137 kWh/m²år jämfört med 144 kWh/m²år för en enkelskalsfasad (med treglas). Båda fallen har samma låga U- och g_{system}-värden. Med avseende på termisk komfort, så resulterar dubbelskals- och enkelskalsfasader i liknande inneklimat. En frånluftsventilerad glasfasad ger bättre termisk komfort pga. högre operativ temperatur under vintermånaderna.

Kontorsbyggnader med stora glasfasader har ofta brister i inneklimatet och hög energianvändning, framförallt jämfört med en kontorsbyggnader med traditionella fasader t.ex. med 30% fönsterarea av fasadarean. Om fönster med lågt U-värde och låg solenergitransmittans används, så förbättras situationen. Energianvändningen kan variera mycket med utformningen, speciellt i uppglasade kontorsbyggnader. Fast yttre solavskärmning minskar energianvändningen för kyla, men kan öka energianvändningen för värme. Mellanliggande persienner kan vara nästan lika bra som yttre fast solavskärmning. En dubbelskalsfasad, där persiennen ventileras, kan vara det bästa alternativet med avseende på den totala energianvändningen.

En helt uppglasad kontorsbyggnad med dubbelskalsfasad kan komma ner i en rimlig total energianvändning, som dock är högre än för motsvarande byggnad med en traditionell fasad med måttlig glasarea. Skillnaden i energianvändning är ca 20 kWh/m²år, 137 kWh/m²år jämfört med 114 kWh/m²år. Båda fallen förutsätter låga U- och g_{system}-värden.

Vad gäller den termiska komforten, så är det uppenbart att traditionella fönsterstorlekar resulterar i ett jämnare inneklimat. Emellertid kan en frånluftsventilerad glasfasad resultera i en jämförbar termisk komfort, om bra U- och g-värden väljs t.ex. $U = 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ och $g = 0,2$.

Varje kontorsbyggnad med stora glasytor kräver noggrann projektering, som inkluderar noggranna energi- och inneklimatsimuleringar. Detta för att uppnå bra inneklimat och rimlig energianvändning. Generella värden på t.ex. U- och g-värden kan inte ges, utan de kommer att variera från byggnad till byggnad. En sak är dock säker att för svenska kontorsbyggnader med glasfasader måste låga U-värden väljas för glas och tillhörande profiler. Ju högre glasandelen är desto lägre värden måste väljas.

Det är också viktigt att välja låga g-värden, eftersom det reducerar kylbehovet och minskar risken för övertemperaturer. Alltför låga g-värden kan dock ge onödigt låga värden på ljustransmittansen.

Om en dubbelskalsfasad integreras på ett bra sätt, så kan det ge en rimlig energianvändning och ett bra inneklimat, framförallt för söderfasader. Kylbehovet kan i gynsamma fall reduceras med 50%. Emellertid, eftersom kylbehovet i regel inte är så stort i Sverige, så är nyttan av dubbelskalsfasader begränsad, som nämnts ovan.

Om en helhetssyn tillämpas vid projektering av kontorsbyggnader, kan även glaskontor ha en rimlig energianvändning och ett bra inneklimat.

Med nuvarande glasfasadteknik går det dock inte att bygga en kontorsbyggnad med låg energianvändning dvs. ett lågt behov av tillförd kyla och värme.

4.1.2 Resultat från simuleringar av dagsljus och belysning

Då glasandelen i fasaden är hög ökar inte bara risken för dålig termisk, utan även för dålig visuell komfort (Bülow-Hübe 2007). Eftersom kontorsarbete idag till största delen bedrivs framför en bildskärm innebär detta att blickriktningen har höjts från arbetsbordet till av vara nära nog horisontell. **Fönstret hamnar då ofta inom det centrala synfältet vilket skapar höga omfältsluminanser och därmed associerad bländningsproblematik om fönstret inte har adekvata solskydd.** Även kontrasten i skärmen försämras, och solinstrålningen leder ofta till synförsvårande reflexer i bildskärmen. Samtidigt vill 70% av kontorspersonalen sitta nära fönstret. Dessutom ställs högre krav på den visuella miljön vid bildskärmsarbete än vid läsning av text på papper.

Belysningsstyrkan och särskilt luminansfördelningen i rummet är troligtvis avgörande för den visuella komforten. En närmare granskning av tidigare forskning kring ljuskvalitet och visuell komfort, t ex bländning i dagsljusmiljöer, visar att vi fortfarande ganska dåligt känner till vilka parametrar eller deras nivåer, som genererar visuell komfort.

Det är sannolikt att det är de visuella kraven som först avgör när en brukare bestämmer sig för att fälla ner ett solskydd, inte de termiska kra-

ven. I fasader med stora glasfasader och i synnerhet i kombination med kontorslandskap accentueras problematiken kring bländning och avsaknad av individuella reglermöjligheter. Detta leder absurt nog ofta i praktiken till genom nerdragna solskydd väldigt tillstängda fasader, och tillgången till dagsljus kan vara kraftigt begränsad.

Genomförda simuleringar (Bülow-Hübe 2008) visar att det svårt att finna ett solavskärmningssystem som fungerar väl hela året. Vanligen fungerar ett fast system sämre än ett rörligt. Med ett fast yttre solavskärmningssystem, såsom aluminiumlameller, behövs med stor sannolikhet ytterligare solavskärmning såsom invändiga gardiner eller persienner. Detta för undvika solinstrålning under vinterhalvåret och för att minska bländningsrisken.

Ett första kriterium för ett solavskärmningssystem är att det skall förhindra direkt solinstrålning. Förmodligen är det inte tillräckligt att undvika direkt solinstrålning för att undvika bländning. Många av de genomförda simuleringarna visar att den återstående vyn av himlen eller solavskärmningssystemet själv kan alltför vara för ljust och resultera i bländning. Därför är solavskärmningssystem med variabel ljustransmittans såsom persienner att föredra. Andra studier visar att om solavskärmning monteras på utsidan så kan den också ge den nödvändiga solavskärmningen för att undvika övertemperaturer inomhus. Om solavskärmningen monteras på insidan så är avskärmningseffekten otillräcklig och ytterligare yttre solavskärmning eller solskyddsglas är nödvändigt för att undvika eller åtminstone drastiskt reducera övertemperaturerna.

För att undvika problem med bländning måste luminansen hos fönsterytan reduceras drastiskt soliga dagar och dagar med ljus himmel. Ju större glasytan är desto större problem. Reduktionen kan uppnås med effektiv solavskärmning, som emellertid automatiskt reducerar nyttiggjort dagsljus inne i byggnaden dvs. fördelen med stora fönster kan inte utnyttjas till fullo. Därför visar denna studie att en ökning av fönsterarean inte automatiskt medför en mycket lägre elanvändning för belysning även om belysning med konstantljusreglering installeras. Ett sätt att öka nyttiggörandet av dagsljus är att övre delen av persiennen används för att länka in dagsljus, genom t.ex. en fast vinkelförskjutning för persiennlamellerna. För att ett normalstort fönster kan då nyttiggjort dagsljus öka med ca 10% (Bülow-Hübe 2007).

Om solavskärmningen styrs optimalt så ökar andelen nyttiggjort dagsljus. Emellertid under den svenska vintern, som ofta är mörk med mycket korta dagar och låga dagsljusnivåer ute t.o.m. mitt på dagen, så kommer aldrig dagljuset att räcka till oavsett glasstorlek. Belysning behövs därför under vinterhalvåret.

4.1.3 Slutsatser

Det finns idag uttalade mål för såväl miljöanpassning och energieffektivisering, som formulerats av Byggsektorns kretsloppsråd och i ByggaBodialogen (www.byggabodialogen.se). I korthet kan man säga att det rör sig om en total minskning av energianvändningen med 10% fram till år 2010, och med 30% till år 2025, jämfört med år 2000. (www.kretsloppsradet.com). En sådan minskning kan inte uppnås för kontorsbyggnader med glasfasader. Detta är resultatet av forskningsprojektet ”Kontorsbyggnader i glas – energi och inneklimat” och uppföljningen av glaskontoret i Malmö (se avsnitt 4.10).

Om målet är att endast möta dagens normkrav på energi, så kan glas-kontor byggas, men risken är stor för problem med termisk och visuell komfort. För att uppfylla dagens normkrav på energi, samt att säkerställa bra termisk komfort och visuell komfort krävs en helhetssyn och noggranna analyser och simuleringar. Framtida skärpta energikrav blir mycket svåra att möta med dagens teknik för glasfasader.

För att skapa en energieffektiv kontorsbyggnad med bra inneklimat krävs en helhetssyn där byggnaden betraktas som ett system bestående av byggnaden, tekniska installationer, verksamheter och brukare.

Krav på låg (samma nivå som för traditionell modern kontorsbyggnad) energianvändning, bra inneklimat och bra visuell komfort uppfylls inte för en glaskontorsbyggnad utan ökade kostnader för noggrann projektering (avancerade energi-, inneklimat- och dagsljussimuleringar) och ökade investeringskostnader för fasaderna, värme- och kylsystemet (se även avsnitt 4.9), jämfört med en byggnad med en traditionell fasad måttlig glasarea. Energikostnaderna blir inte lägre än för en traditionell byggnad. Om låg energianvändning eftersträvas, så kan det med nuvarande glasfasader endast uppnås med ytterligare minskad fönsterarea.

Vid projektering av en glasfasad finns det många fallgropar, som om de inte undviks kan resultera i hög energianvändning, problem med inneklimat och visuell komfort. Mycket viktiga parametrar är storleken på glasandelen, g-värden (glas och solavskärmning), U-värden (glas och profiler), ljustransmittans (glas) och styrningen av glasfasaden (solavskärmning och ljusreglering). En byggnad med glasfasad är mycket känsligare för fel än en byggnad med traditionell fasad. Därför krävs stor noggrannhet vid projektering, byggande, idrifttagning och drift av byggnaden.

4.2 Funktionskrav

Att tillämpa funktionskrav på glasfasader och byggnader med glasfasader möjliggör ett mer flexibelt angreppssätt för projektering och drift. Mål sätts upp som måste nås för att byggnad och fasad skall fungera enligt kraven. Detta angreppssätt underlättar också implementering av innovativa system.

Funktionskrav kan tillämpas på vittomfattande kriterium som påverkar funktion/prestanda för en byggnad och detta på tre olika nivåer, som bör tillämpas i följande ordning:

1. byggnadsfunktionskrav (energianvändning, termisk komfort, underhållskostnad, luftkvalitet, ljudnivå) för t.ex. en kontorsbyggnad
2. systemfunktionskrav (energianvändning, underhåll, luftkvalitet, ventilationsgrad, ljudnivåer, drag, luft/operativ temperatur, termisk komfort, visuell komfort, fukt) för t.ex. en glasfasad
3. komponentfunktionskrav för t.ex. glas

Glasfasader kan förorsaka en hög energianvändning, så därför är det viktigt att glasfasadssystem är energieffektiva.

Funktionskrav måste uppfylla vissa kriterier för att vara tillämpbara: mätbara för att möjliggöra verifiering och avstämning mot mål, förutsägbara för att möjliggöra projektering som uppfyller kraven, tekniskt ”sunda”, relevanta för kriteriet ifråga, resultera i en rimlig livscykelkostnad och försvarbara vid en ev. rättstvist.

De övergripande kraven bör specificeras av byggherre/beställare och/eller brukare. De detaljerade kraven (huvudsakligen på system- och komponentnivå) för tekniska prestanda, idrifttagning, drift, underhåll och demontering specificeras av projektören. Under projekteringen behöver ofta tillägg och ändringar till de detaljerade kraven göras.

Funktionskraven bör också innehålla icke-tekniska aspekter såsom omfattningen av användare- och brukarekontroll av inneklimatet, användarvänligheten och bruksanvisningar.

I tabell 4.1 och 4.2 ges exempel på energi- och inneklimat krav på byggnadsnivå för ett nytt glaskontor (Blomsterberg 2007). I tabell 4.3 redvisas exempel på krav på system- och komponentnivå, medan i tabell 4.4 på komponentnivå.

Tabell 4.1 Exempel på energi- och inneklimat krav på byggnadsnivå för ett nytt glaskontor (Blomsterberg 2007).

Kravområde	Krav
Total energianvändning (fjärrvärme + fjärrkyla + el för pumpar, fläktar etc. + el för belysning, PC etc.). Kravet gäller totalnivån, delposterna kan avvika från värdena i tabell 4.2.	120 kWh/(m ² år) ¹
Termisk komfort i kontors- och mötesrum inom vistelsezonen: • operativ temperatur under vinter • operativ temperatur under sommar • lufthastighet vinter • lufthastighet sommar • vertikal lufttemperaturskillnad mellan 1,1 och 0,1 m över golv • strålningstemperatursymmetri från vertikala ytor • 90% av tiden PPD (predicted percentage dissatisfied)	• 21°C – 24°C • 22°C – 25°C (30 timmar > 27°C) • 0.15 m/s • 0.25 m/s • 3 K • 10 K • < 10%.

Tabell 4.2 Exempel på minkrav och målsättning för energianvändning för ett glaskontor (Blomsterberg 2007).

kWh/(m ² år) ¹	Minkrav	Målsättning
Fjärrvärme	80	50
Fjärrkyla	60	30
Elanvändning för pumpar, fläktar etc.	20	10
Elanvändning för belysning, PC etc.	50	35
Total elanvändning	70	45
Total energianvändning	120	120

¹ m² är uttryckt i LOA (SS 021053)

Antagen verksamhetsnivå (antal personer, kontorstid, närvarofrekvens, drifttider för ventilation m.m.) är enligt överenskommelse med byggherre/förvaltare.

Tabell 4.3 Exempel på funktionskrav på system och komponenter för den detaljerade projekteringen av ett glaskontor (Blomsterberg 2007).

Kravområde	Krav
U-värden inkl. köldbryggor • Tak • Väggar • Golv	• 0,12 • 0,22 • < 0,32 W/m²K
Fönster: • Area • U-värde • Dagsljusfaktor (max är med solskydd)	• 53% av fasadarean • 1,1 W/m²K • min 2% och max 10%
Solavskärmning mot söder, väster och öster: total solenergitransmittans för glas + solavskärmning dvs. system g-värde	< 0,1
Värmeåtervinning på luft: min verkningsgrad	> 70%.
Ventilation: medel SFP	< 2,0 kW/m ³ /s
Belysning: installerad effekt	< 10 W/m ² .
Servrar: elanvändning och kyla.	< 5000 W
PC: elanvändning (PC + bildskärm)	< 125 W

Tabell 4.4 Exempel på funktionskrav för komponenter för den detaljerade projekteringen av ett glaskontor (Blomsterberg 2007).

Kravområde	Krav
Fönsterprofiler: U-värde	< 1,8 W/m ² K
Fönsterglas: - U-värde - Ljustransmittans	< 1,0 W/m²K > 55%.

4.3 Samverkan från början är en förutsättning

För att en byggherre skall lyckas åstadkomma en glasbyggnad med rimlig energianvändning, bra termiskt inneklimat och bra visuell miljö krävs att (Blomsterberg 2007):

1. Relevanta energi- och miljökrav i form av funktionskrav ställs upp under programskedet
2. En ansvarig energi- och miljökoordinator finns med, som säkerställer en helhetssyn fr.o.m. programskedet t.o.m. första verksamhetsåret,
3. Energi och inneklimatsimuleringar genomförs fr.o.m. programskedet
4. Ett styrande kvalitets- och miljöprogram med funktionskrav finns fr.o.m. programskedet och att dessa förfinas under projektets gång
5. Ett väl fungerande samarbete mellan arkitekt, VVS-projektör, byggprojektör, elprojektör och byggnadsfysiker
6. Ett väl fungerande samarbete mellan energi- och inneklimatspecialister och projektörer
7. Ett väl fungerande samarbete mellan byggherre, projektörer och entreprenörer
8. Livscykelkostnaden beräknas
9. En separat kravspecifikation för glasfasaden baserad på analyser av hela byggnaden tas fram.

4.4 Programskedet

En tydlig målsättning för projektet ställs upp, som innefattar energianvändning och inneklimat. Energi- och inneklimatsimuleringar påbörjas.

4.5 Projektering

Alla byggnader bör byggas enligt Kyotopyramiden, vilket innebär att först minimeras värme- och kylbehovet. Steg 2 är att minimera elbehovet. Steg 3 är att utnyttja solenergi. Steg 4 är att visa och reglera energianvändningen dvs. ett användbart och användarvänligt SÖ-system, som underlättar energieffektiv drift. Det sista steget är välja energikälla. Eftersom de olika stegen påverkar varandra, så är ofta förfarandet iterativt t.ex. om elanvändningen för verksamheter i en kontorsbyggnader reduceras minskar kylbehovet.

De åtta avgörande områdena med inverkan på uppglasade byggnader är (Brunner 2001):

- komfort/dagsljus: PMV (predicted mean vote)/PPD (predicted percentage dissatisfied)/ dagsljus kvalitet (visuell komfort), asymmetri (dagsljus och termisk komfort)/ kall luft (drag)
- Internvärme: utrustning/belysning, personer
- Ventilation/kyla: luftkvalitet, bortförande av överskott

- Energianvändning: värme, kyla
- Termisk massa: golv/tak, väggar/möbler
- Solavskärmning: typ/placering/material, drift/styrning
- Glas: area, U-värde(glas resp. profiler)/g-värde inkl. och exkl. solavskärmning, ytemperatur, ljustransmittans.
- Randvillkor: storlek/orientering, användning/verksamhet/uteklimat

Några rekommendationer för att lyckas med projekteringen är att:

- Internvärmen måste minimeras dvs. elanvändningen för verksamheten (datorer m.m.), belysningen och servrarna måste minimeras, för att hålla nere kylbehovet.
- Ökning av glasarean medför ökade risker och sänkta feltoleranser, eftersom fel i U- och/eller g-värden för glasfasaden får mycket större konsekvenser för energianvändningen och inneklimatet, än för en traditionell välisolerad fasad med måttlig glasarea.
- Hörnrum med två glasfasader kräver speciell uppmärksamhet, eftersom risken är hög för brister i termisk och visuell komfort.
- U-, g- (total solenergitransmittansen) och τ -(ljustransmittansen) värden måste väljas korrekt, eftersom de är avgörande för energianvändningen och inneklimatet. Valet av dessa värden beror på många faktorer t.ex. klimatet, byggnadens storlek och form, storlek, glasytornas storlek, typ och orientering, typ och placering av solavskärmning. En noggrann analys krävs för att bestämma dessa värden. Ett lågt g-värde behövs endast under varma soliga sommardagar.
- Ljustransmittansen (τ) får inte vara för låg, för att den ökade glasarean skall resultera i högre tillgång till dagsljus i byggnaden.
- g-värdet för systemet glas och solavskärmning måste vara lågt, för att hålla nere kylbehovet.
- U-värdet för hela fönstret måste vara lågt, för att uppnå bra termisk komfort och lågt uppvärmningsbehov på vintern.
- Beräkning av energibalansen för glasfasaden och byggnaden måste vara tillförlitlig. Viktiga förutsättningar är kvaliteten på beräkningsprogrammet och att korrekta indata väljs. Ju större glasandelen är desto mer avviker resultaten från olika beräkningsprogram (Voll 2005). Detta beror till stor del på hur korrekt använd fönstermodell är.
- För att säkerställa optimal drift av byggnaden krävs utformning av intelligent styrning av ev. rörlig solavskärmning och byggnadens installationer. Styr- och övervakningssystemet måste vara användbart och användarvänligt.

I ett tidigt skede av projekteringen kan en uppskattning av lämplig storleksordning på U-, g_{system} - och τ -värdena göras genom en överslagsberäkning.

Denna går så till att utgångspunkten är en referensfasad, som är en traditionell fasad med måttlig fönsterarea och med t.ex. ordinära treglasfönster med mellanliggande persienner. För denna beräknas $U \times \text{fasadarea}$, $g_{\text{system}} \times \text{glasarea}$ och $\tau_{\text{glas}} \times \text{glasarea}$. (g_{system} = total solenergi transmittans för glas + solavskärmning, τ_{glas} = ljustransmittans för glas). Samma beräkning görs för aktuell glasfasad, som då bör ha värden av samma storleksordning (se exempel i tabell 4.6 i avsnitt 4.10.2). Lämpligen bör $\tau_{\text{glas}} \times \text{glasarea}$ vara större än för referensfasaden. Detta för att säkerställa ökad tillgång till dagsljus.

4.6 Byggproduktion

Hur kan det säkerställas att byggnaden och dess glasfasader byggs, som projekterat? Ofta är det vettigt att bygga en fullskalemodell av fasaden, framförallt om det är en dubbelskalsfasad, för provning, innan byggnation i fullskala. Under monteringen av glasfasaden måste vissa kontroller genomföras:

- Att beställda glas, profiler och fasadsystem har levererats och inte är skadade
- Visuellt besiktning av glas, profiler, tätningslister och fogar, för att bestämma kvaliteten hos arbetsutförandet
- Provning av förankring av glasfasad till byggnadsstommen.

Dessutom rekommenderas en provning av glasfasadens lufttätet, under byggproduktionen för att i god upptäcka och kunna korrigera brister i lufttäteten.

Innan idrifttagningen måste en noggrann injustering genomföras av byggnaden med dess installationer och styr- och reglersystem.

4.7 Idrifttagande

Vissa funktionskontroller är nödvändiga, för att säkerställa tillfredställande funktion:

- Funktionen hos glasfasadens ev. rörliga solavskärmning och spjäll
- Styr- och reglersystemet för glasfasaden inkl. ev. spjäll och rörliga solavskärmning
- Funktionen hos styr- och övervakningssystemet

Andra funktionskontroller av intresse är t.ex. lufttätheten hos glasfasaden med hjälp av täthetsprovning och termografering.

4.8 Drift och underhåll

Noggrann injustering av byggnad och installationer och kontinuerlig uppföljning av energianvändning och inneklimat krävs. Den kontinuerliga uppföljningen underlättas av ett intelligent, användbart och användarvänligt styr- och övervakningssystem.

4.9 Kostnader – dyrt?

För en kontorsbyggnad (se kapitel 4.1) med olika storlek på fönsterarean, från 30% av fasaden för referensbyggnaden till 60% och 100% av fasaden, och olika typer av glas och solavskärmning har årskostnadsberäkningar genomförts (Sjödin 2007). Beräkningar för dubbelskalsfasader har endast gjorts för cellkontor.

Följande kalkylförutsättningar har gällt för beräkning av livslängdskostnaderna i forskningsprojektet:

Nutidpunkt:	2004-01-01
Brukstid:	40 år (Kalkylhorisont)
Kalkylränta:	6 procent
Inflation:	2 procent + 1 procent risk
Realränta:	3 procent
Livslängd(er):	35 år (viktade)
Underhållsintervaller:	vart 15:de år
Fjärrvärmepris:	0,55 kr/kWh (Energimyndigheten 2003)
Elenergipris:	0,85 kr/kWh (Energimyndigheten 2003)

Anskaffningskostnaderna för alternativen med glasfasader av enkelskalstyp och dubbelskalstyp är högre än för referensbyggnaden:

- ☐ För alternativ med cellkontor är kostnaden mellan 13% och 29% högre (för dubbelskalsfasad mellan 27% och 29%)
- ☐ För alternativ med kontorslandskap är kostnaden mellan 14% och 31% högre

Det är framförallt entreprenadkostnader för byggnadsarbeten som är dyrare.

Målningsarbeten är något billigare för enkel- och dubbelskalsfasader med 60 % eller 100 % fönsterarea pga. att ytterväggars insida inte behöver målas, då dessa ingår i ytterväggspartierna (glasade med bröstningar).

Följande entreprenadkostnader för alternativen med enkel- och dubbelskalsglasfasader är högre än för referensbyggnaden:

- ☐ Värme- och vattensystem
- ☐ Kylsystem
- ☐ Tillkommande eluttag för fasadhiss (utvändig fönsterrengöring)

Reinvesteringar för enkel- och dubbelskalsglasfasader ökar för:

- ☐ Under- och kylcentral
- ☐ Kylmaskin

Övriga kostnadsposter (entreprenadkostnader) påverkas inte.

Årskostnader för alternativen med enkel- och dubbelskalsglasfasader är högre än för referensbyggnaden:

- ☐ För alternativ med cellkontor är kostnaden mellan 15% och 37% högre (för dubbelskalsfasad mellan 34% och 37%)
- ☐ För alternativ med kontorslandskap är kostnaden mellan 16% och 33% högre

Energikostnaderna varierar mellan:

- ☐ 1% och 44% högre för alternativ med cellkontor
- ☐ 3% och 40% högre för alternativ med kontorslandskap

Drift och underhållskostnader med enkel- och dubbelskalsglasfasader är högre än för referensbyggnaden:

- ☐ För alternativ med cellkontor är kostnaden mellan 9% och 41% högre (för dubbelskalsfasad mellan 30% och 41%)
- ☐ För alternativ med kontorslandskap är kostnaden mellan 8% och 30% högre

4.10 Exempel på projektering av glaskontorsbyggnad

Många moderna kontorsbyggnader har uppglasade fasader. Ofta diskuteras huruvida dessa byggnader är energieffektiva med ett bra termiskt inne-

klimat och dagsljus eller inte? Därför initierades ett uppföljningsprojekt, när Midroc Projects skulle bygga ett nytt kontor med glasfasader för WSP i Malmö (Blomsterberg 2007).

4.10.1 En expertgrupp

Uppföljningen har genomförts av en expertgrupp dels som en utökad förstudie under systemhandlingsskedet, dels som en uppföljning av förstudien under bygghandlingsskedet. Expertgruppen har, i samarbete med projektörerna av byggnaden, genomfört avancerade beräkningar av energianvändning, inneklimat och dagsljus (med hjälp av energiberäkningsprogrammen IDA ICE och Parasol, fönsterprogrammet WIS, dagsljusberäkningsprogrammet Daysim, samt överslagsberäkningar). Arbetet har genomförts av experter från WSP, Skanska och Lunds Tekniska Högskola. Flertalet av specialisterna deltog även i forskningsprojektet Kontorsbyggnader i glas – Energi och inneklimat vid Lunds Tekniska Högskola, www.ebd.lth.se. Projekteringen har utförts av WSP. Expertgruppens arbete har finansierats av BELOK (Beställargruppen lokaler) www.belok.se.



WSP Arkitektur

Figur 4.2 *Norrfasad, ett av alternativen såsom den planerades under program- och förslagshandlingsskedet, med fullt uppglasad fasad.*

4.10.2 Resultat från systemhandlingsskedet

Utgångspunkten var förslagshandlingar och en kravspecifikation på energianvändning och inneklimat (ljus, luft, luftkvalitet, termisk komfort) (se tabell 4.1 och 4.2 i avsnitt 4.2 Funktionskrav). Enligt förslagshandlingarna skall byggnaden att ha en golvarea på ca 7 400 m² BRA, omfatta tre kontorsplan (plan 3 - 5) med planmått ca 90 m × 17 m, samt två plan

(plan 1 - 2) med konferensrum, reception m.m.. Fasaderna skall ha hög glasandel, med yttre rörlig solavskärmning, där den övre delen för varje plan styrs för dagsljusinlänkning. Ventilationssystemet är tänkt att vara ett behovsstyrt mekaniskt från- och tilluftssystem med värmeåtervinning.

Fönsterandel, är relaterad till fasadarean sedd utifrån. Om fönsterandelen är 25%, så motsvarar det 33% av fasadarean sett inifrån, eftersom våningshöjden är 4 m och rumshöjden är 3 m i aktuell byggnad. Fönsterandelen 75% motsvarar 100% av fasadarean sett inifrån.

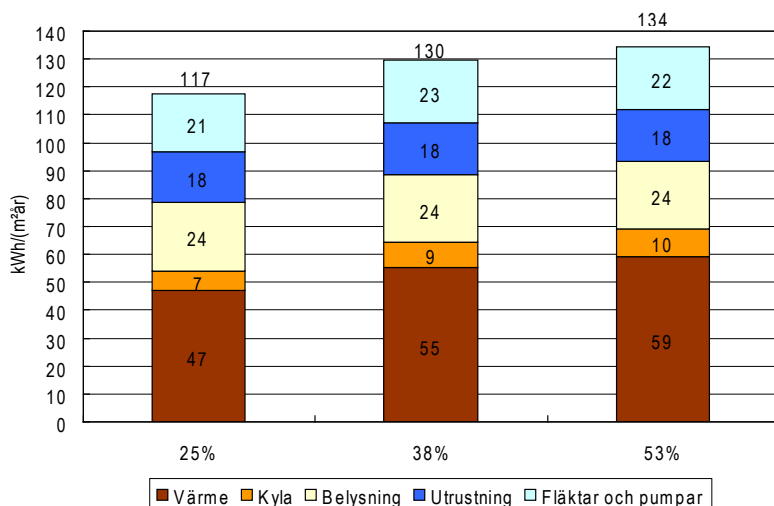
Genomförda beräkningar och analyser visar att det är möjligt, i en modern kontorsbyggnad, med större fönsterandel i fasaden än traditionellt (53% istället för 25%), att

- effektivt utnyttja den större tillgången till dagsljus och därmed sänka elanvändningen för belysning och samtidigt förbättra den visuella komforten.
- säkerställa god termisk komfort
- uppnå en rimlig total energianvändning, som är på samma nivå som för en traditionell modern kontorsbyggnad

Dagsljus tas till vara med hjälp av dagsljusinlänkning och intelligent styrning av belysning och dagsljus. Elanvändningen för belysning kan sänkas med ca 25% (ca 4 – 6 kWh/m²år) och samtidigt förbättras den visuella komforten. Närvarostyrning och dagsljusreglering anses kunna minska elanvändningen för belysning 30 – 60% (Energimyndigheten 2007). Dagsljusinlänkningen innebär att övre tredjedelen (1 meter) av den yttre solavskärmningen, för varje våningsplan, styrs separat på inre luminansen (väggarnas ljushet sedd inifrån). Belysningen säkerställer en konstant ljusnivå.

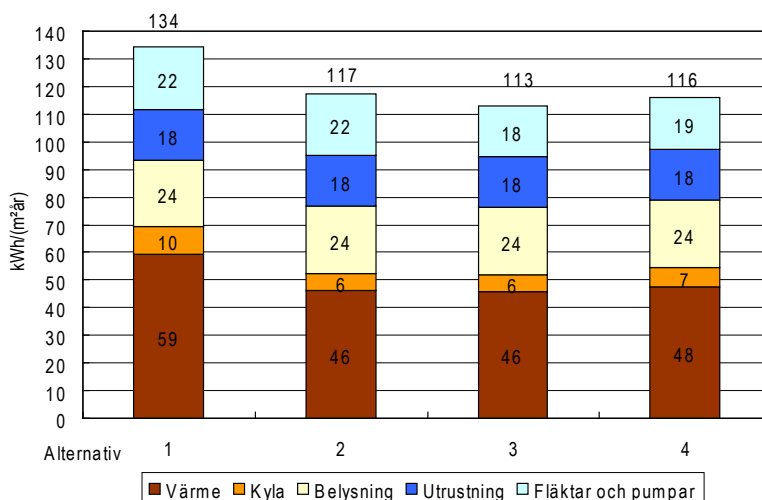
God termisk komfort för arbetsplatser nära glasfasaden (0,8 m från yttervägg) säkerställs genom val av glas med U-värde < 1,1 W/m²K och effektiv solavskärmning. Effektiv solavskärmning innebär för en glasfasad att solskyddsglas kombineras med yttre solavskärmning. Solavskärmningen har i denna byggnad två funktioner, att minska solvärmeinstrålningen och säkerställa en god visuell komfort.

En total energianvändning, som är på samma nivå som för en traditionell modern kontorsbyggnad beräknad till 120 kWh/m²år, uppnås (se figur 4.3 och 4.4, samt tabell 4.6). Detta uppnåddes genom att minska fönsterarean från ca 75% av fasadarean till ca 50% (se figur 4.2, 4.5 – 4.6), sänka g-värdet för glaset + solavskärmning mot söder, väster och öster från ca 0,3 till ca 0,1 och förbättra U-värdet för fönster från ca 1,8 till 1,2 W/m²K. Övriga förutsättningar är normala U-värden för klimatskärmen dvs. de delar som inte är fönster, samt normala krav på värmeåtervinning på ventilationen.



Figur 4.3

IDA-beräknad energianvändning ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ LOA}, \text{år})$) för referensbyggnaden med normala fönsterareor (25%), samt med 38% och 53% enligt arkitektens slutliga förslag. Fönster är treglas klarglas ($g = 0,69$, $U\text{-värde glas} = 1,85 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$) med mellanliggande persienner, $g\text{-värde (glas + persienn)} = 0,30$, samt ventilationssystemet är ett VAV-system. Fasaden är en enkelskalsfasad. Börvärdet (lufttemperaturen) för uppvärmning är $22,5^\circ\text{C}$ och kyla $23,5^\circ\text{C}$. Värme är fjärrvärme och kyla är fjärrkyla.



Figur 4.4 IDA-beräknad energianvändning ($\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ LOA}, \text{år})$) för olika glasalternativ (se tabell 4.6), med VAV, luftburen kyla, samt 53% fönsterarea av fasaden. Referensbyggnadens (25% fönsterarea av fasaden) totala energianvändning är $117 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{år})$. Fasaden är en enkelskalsfasad. Börvärdet (lufttemperaturen) för uppvärmning är $22,5^\circ\text{C}$ och kyla $23,5^\circ\text{C}$. Värme är fjärrvärme och kyla är fjärrkyla.

Tabell 4.5 Indata till beräkningarna i figur 4.4.

Alternativ	1	2	3	4
Allmänt	Treglas klarglas	Treglas med solskyddsglas väster-, söder- och österfasad	Treglas med solskyddsglas väster-, söder- och österfasad	Tvåglas med solskyddsglas väster-, söder- och österfasad
g-värde glas	0,69	0,34	0,24	0,39
U-värde glas, $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$	1,85	0,9	0,9	1,1
Solavskärmning	Mellanliggande persienn	Yttre mot söder	Yttre mot söder	Yttre mot söder
g-värde glas + solavskärmning	0,30	0,12	0,08	0,14



Figur 4.5 Söder- och västerfasad (fönsterandel 69% resp. 44%) med enkelskalsfasad med yttre rörlig solavskärmning, såsom den planerades under systemskedet.



Figur 4.6 Norrfasad med 46% fönsterandel, såsom den planerades under systemskedet.

4.10.3 Resultat från bygghandlingsskedet

Under bygghandlingsskedet ersattes enkelskalsfasaden med yttre rörlig solavskärmning (aluminiumlameller) , mot söder, öster och väster för plan 3 – 5, med en dubbelskalsfasad (se figur 4.7). Dubbelskalsfasaden är självdragsventilerad genom öppningar upptill och nertill. Under vintern stängs öppningen upptill för att förbättra värmeisoleringen. En av fördelarna med dubbelskalsfasaden är att den yttre rörliga solavskärmningen (nu persiennner) sitter skyddad mellan de två fasadskalen. Byggnaden kommer emellanåt att vara utsatt för starka vindar, snö, regn och temperaturer kring fryspunkten. Andra fördelar är bättre ljuddämpning mot utsidan och att fönstervädring är möjlig oavsett uteklimat.



Figur 4.7 Söder- och västerfasad med dubbelskalsfasad enligt bygghandlingarna.

En lämplig glaskombination för dubbelskalsfasaden är följande, från utsidan: klarglas (Clear 6 mm) – bred luftspalt (0,6 m) med persienn – tvåglas isolerruta med solskyddsglas (Hbl 6 mm – spalt 15 mm med Argon – Clear 6 mm dvs. Pilkington Suncool HP Brilliant). Dubbelskalsfasadens visuella transmittans med uppdragen persienn blir ca 60%. Dubbelskalsfasadens g-värde med persiennen nere och ventilerad spalt har beräknats till ca 0,10. Dubbelskalsfasadens U-värde (glasmitt), med något ventilerad spalt och

persiennerna uppdragna har beräknats till $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med antagandet att profilernas U-värde är $< 1,8$ med en areaandel på 10%, blir U-värdet för fönster $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

De totala $U \times A$ -värdet och $g_{\text{system}} \times A_g$ -värdet för Hamnplan är något högre än uppställda krav (se tabell 4.6). Dock uppfylls kravet på total energianvändning. $\tau \times A$ uppfyller kravet på slutlig byggnad.

Tabell 4.6 $U \times A$ -, förlustfaktor, $g \times A$ -värden och $\tau \times A$ för referensbyggnaden (en traditionell modern kontorsbyggnad med en energianvändning beräknad till $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$, under systemhandlings-skedet), enligt krav för den slutliga byggnaden och de beräknade värdena för den slutliga byggnaden.

	Referensbyggnad (fönsterarea 25% av fasadarean)	Krav på slutlig byggnad	Slutlig byggnad (fönsterarea 53% av fasadarean) inkl. linjeförluster vid fönster
$U \times A_F$ -värde fasader, W/K	2788	3298	3541
$U \times A$ -värde total, W/K	3223	3732	3976
Förlustfaktor, W/K	5124	5633	6067
$g_{\text{system}} \times A_g$ -värde med persienn (söder, öster, väster)	184	127	143
$\tau \times A_g$ -värde utan persienn (söder, öster, väster)	507	870	949

Vad beträffar dagsljusinlänkning, så ändrades systemet pga. valet av dubbelskalsglasfasad. Den separata dagsljusinlänkning ersattes med en övre 1/3 av persiennen med en fast vinkelförskjutning i förhållande till de nedre 2/3. Detta därför att det ansågs alltför komplicerat och skulle medföra en högre investerings- och driftkostnad med separat rörlig övre 1/3.

Persiennerna kommer att styras av solinstrålningen mot fasaden och den inre luminansen. Belysningen för kontorslandskapet kommer att närvarostyras (förberett för manuell tändning) och för cellkontor manuell tändning. Belysningen för rum mot söder, öster och väster konstantljus-regleras.

Byggnaden uppfyller BBR94's krav på genomsnittligt U-värde. Kravet för byggnaden är $0,361 \text{ W/m}^2\text{K}$ och aktuellt värde är $0,338 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Den totala energianvändningen för slutlig utformning av byggnaden har beräknats till $116 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$. Om framtida glas (U-värde = $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$) och profiler (U-värde = $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$) används sänks den totala energianvändningen ytterligare till $108 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$. Energibesparingen med bättre glas gäller framförallt uppvärmningen. Den största vinsten torde vara förbättrad komfort, vilket kan innebär utökad vistelsezon.

Även den traditionella byggnaden med 25% fönsterarea (av fasadarean) kan försees med bättre glas. Om U-värdet för glaset sänks från $1,85$ till $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, så reduceras den totala energianvändningen till $99 \text{ W/m}^2\text{K}$, att jämföras med den verkliga glasbyggnadens $116 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$. Detta beror huvudsakligen på ett sänkt uppvärmningsbehov.

Nya BBR från 2006 anger en högsta energianvändning på $100 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$ för kontorsbyggnader med en normal ventilation i klimatzon söder. Detta värde exkluderar verksamhetsel och relateras till golvarean i temperaturreglerade utrymmen avsedda att värmas till mer än 10°C begränsad av klimatskärmens insida. En omräkning (större golvarea och avdrag för verksamhetsel) för den verkliga glasbyggnaden ger en beräknad energianvändning på ca $85 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{år})$ dvs. byggnaden uppfyller alltså energikravet i nya BBR. Dessutom anges ett krav på högsta genomsnittliga värmegenomgångskoefficient på $0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$, för de byggnadsdelar som omsluter byggnaden. Beräknat värde för den verkliga glasbyggnaden är $0,55 \text{ W/m}^2\text{K}$.

4.10.4 Slutsatser

Det är möjligt att för en kontorsbyggnad med stora fönsterareor, större än för en traditionell kontorsbyggnad (53% jämfört med 25% utifrån sett), att

- effektivt utnyttja den större tillgången till dagsljus
- säkerställa god termisk komfort
- uppnå en rimlig energianvändning dvs. uppfyller dagens normkrav på energi och inte mer

Energianvändningen, inneklimatet och den visuella komforten kommer att följas upp i den färdiga byggnaden under 2008 och 2009.

5 Verktyg för energi- och inneklimatberäkningar

Det finns beräkningsverktyg, som kan användas under olika skeden: programskedet, systemhandlingsskedet, bygghandlingsskedet.

5.1 Enkla energi- och klimatberäkningsmetoder glasfasader

Inom detta projekt har två metoder för beräkningar av glasfasader använts, nämligen WIS och Parasol. Båda metoderna medger kvalificerade beräkningar för glasfasader. Med WIS och Parasol kan stationära beräkningar genomföras, medan Parasol även medger årsberäkningar timme för timme. Med båda metoderna kan beräkningar göras för enkelskalsfasader och dubbelskalsfasader. Parasol är ett användarvänligt program, medan WIS inte är lika användarvänligt. Nedan följer en beskrivning av de två programmen (Blomsterberg 2007b).

WIS

WIS 3.0 är en europeisk programvara utvecklad för att bestämma termiska egenskaper och solkaraktäristik för fönstersystem (glas, karm/båge, solavskärmning etc.) och fönsterkomponenter. Programvaran innehåller en databas med komponentegenskaper och rutiner för beräkningar av termiska/optisk växelverkan mellan komponenter i ett fönster. En av de intressanta delarna av WIS är kombinationen av glas och solavskärmning, med valmöjligheten mellan naturlig eller påtvingad luftcirkulation mellan de två. Detta gör programvaran speciellt användbar för att beräkna termiska och solenergi prestanda för komplexa fönster och aktiva fasader.

WIS algoritmerna baseras på internationella standarder (CEN, ISO), men WIS innehåller också avancerade beräkningsrutiner för komponenter och förhållanden där gällande standarder inte är tillämpbara.

Programvaran stöds av och används av forskning, industri, standardisering, undervisning och projektering i större delen av Europa för att jämföra, välja och främja innovativa fönster och fönsterkomponenter för att optimera energibesparingen och förbättra komforten.

WIS 3.0 programmet är tillgängligt kostnadsfritt och utformat för att vara användarvänligt för många olika användare: tekniska konsulter, tillverkare, byggprojektörer, forskare, aktiva inom standardisering, byggnormer och undervisning.

WINDAT projektet och WIS programvara finansierades av the European Commission Directorate General for Energy and Transport.

För mer information och gratis nedladdning av programvaran: <http://www.windat.org>.

Kommentarer: WIS programmet är användarvänligt och kan användas för att bestämma termiska och optiska egenskaper för enkelskals- och dubbelskalsfasader i glas, men är begränsat till fasaden. Styr- och reglersystem ingår inte.

Parasol

Parasol är ett projekteringsverktyg för att studera möjligheterna med olika typer av solavskärmning och deras inverkan på byggnadens energiprestanda under ett tidigt projekteringsskede. Parasol är baserat på dynamiska energisimuleringar med hjälp av timvärden på klimatet. Resultaten presenteras som månadsvärden för den totala och direkta solenergitransmittansen (g- och T-värden) för solavskärmningen och kombinationen av solavskärmning och fönstersystem och deras beräknade inverkan på energibalansen. Även momentanvärden för g-, T- och U-värden kan bestämmas. Programmet har post-processorer för studier av dagsljus och termisk komfort. Användaren kan välja mellan extern, mellanliggande och inre solavskärmning. Inom varje grupp kan ett antal geometrier och materialegenskaper väljas. Inre solavskärmning är som default modellerat som ventilerade, men gardiner och rullgardiner kan simuleras med stängd luftspalt.

En enkel geometrisk modell, som kan betraktas som ett rektangulär kontorsmodul, är fördefinierad. Alla dimensioner kan ändras. ParaSol är huvudsakligen tänkt för att simulera rum i byggnader såsom kontor, skolor och sjukhus, men även rum i bostäder kan simuleras.

Att använda programmet kräver grundläggande kunskap om solstrålning, solavskärmning, fönster, energiprestanda. Målgruppen är framförallt arkitekter, VVS-konsulter och andra ingenjörer.

Indata består av tre delar: rum, fönster och solavskärmning. Indata för rum inkluderar ort, orientering och väggkonstruktion. Indata för fönster inkluderar t.ex. för glasegenskaper. Fönstren byggs upp skikt för skikt, vilket kräver en del kunskap av användaren. I solavskärmningsdelen väljs

typ av solavskärmning. Programmet innehåller en databas med vanligt förekommande solskydd på den svenska marknaden. Kompletterande indata kan ges för energiberäkningen: styrning av solavskärmningen, börvärden för innetemperaturen, internvärme, tilluftstemperatur och –luftflöde och verkningsgrad på värmeåtervinningen.

Utdata från programmet består av månadsmedelvärden på solenergitransmittansen (g- och T värden). Utdata består också av max effektbehov för värme och kyla, samt solinstrålning, lufttemperaturen och den operativa temperaturen i rummet, dimensionerande dagar och energibehov för värme och kyla för rummet

Fördelarna med programmet är ett enkelt användargränssnitt, detaljerade dynamiska simuleringar, detaljerade modeller för beräkningar av solavskärmningen av direkt och diffus solstrålning och beräkningar av solenergitransmittansen genom fönstersystemet. Programmet kan laddas ner gratis från Lunds Tekniska Högskolas hemsida www.parasol.se.

Möjligheter att beräkna ventilerade fönster t.ex. dubbelskalsfasader: i den senaste versionen, som utvecklats inom forskningsprojektet Kontorsbyggnader i glas - energi och inneklimat, finns en funktion för ventilerade fönster, som är delvis baserad på ISO 15099. Denna funktion kan även användas för att simulera dubbelskalsfasader.

5.2 Avancerade energiberäkningsmetoder glasfasader

Framförallt för byggnader med dubbelskalsfasader av glas kan avancerade beräkningsmetoder vara aktuella, men även för enkelskalsfasader. Beräkningsprogram för simulering av dubbelskalsfasader är antingen nätverksmodeller eller CFD (Computational Fluid Dynamics)-program. Ett CFD-program kan möjliggöra beräkningar, som nätverksmodeller aldrig kan göra. Emellertid, är ofta CFD-beräkningar alltför sofistikerade och onödiga för projekteringskedet (t.ex. rumsfördelningen av lufthastighet, temperatur, som erhålls från CFD-beräkningar) och CFD-beräkningar begränsas ofta till stationära förhållanden. Dock pågår en omfattande utveckling av erfarenhet och förbättringar av CFD-beräkningar, men det finns alltså ett antal aspekter, som anses vara problematiska i praktiken:

- Nödvändig datakraft
- Komplexa flödesfält
- Varierande randvillkor
- Nödvändig validering av resultat och svårigheter att uppnå tillfredställande validering

- Nödvändig avancerad kunskap hos användare

Komplexiteten i beräkningarna är huvudorsaken till det omfattande forskningsarbetet och tillämpningen av förenklade metoder. Det iterativa tillvägagångssättet vid nätverksmetoder kan delas in i tre områden för simulering av dubbelskalsfasader av glas:

- Optiska området – ansvarigt för de optiska egenskaperna för en dubbelskalsfasad
- Värmeöverföringsområdet – ansvarigt för värmeöverföringsprocessen i en dubbelskalsfasad
- Flödesområdet – ansvarigt för luftflödet i en dubbelskalsfasad

Dessa områdena (de fysiska förloppen) påverkar varandra och tillsammans bestämmer de drivkrafterna i en dubbelskalsfasad. Några modeller tar hänsyn till alla tre områdena.

Exempel på CFD-program, som kan användas för dubbelskalsfasader är de kommersiellt tillgängliga programmen Flovent och Fluent. Exempel på nätverksmodeller är en modell utvecklad i en doktorsavhandling (Saelens 2002). Inga av de avancerade beräkningsmetoderna är realistiska att använda under byggprocessen. De används alltjämt endast av forskare.

5.3 Energi- och inneklimatberäkningar för byggnader med glasfasader

Hur simuleras energianvändning och inneklimatet för en byggnad med enkel- eller dubbelskalsfasad? Valet av beräkningsprogram beror på i vilket skede av byggprocessen beräkningarna skall göras. Beräkningar i ett tidigt skede t.ex. program- eller förslagshandlingsskedet kan göras med program såsom ParaSol (se avsnitt 5.2), BV2Arch och Bestfacade (www.bestfacade.com), men inte med ENORM. De tre sistnämnda programmen medger inte simulering av installationerna och har ett förenklat sätt att simulera värmebalansen för fönster, samt simulerar inte inneklimatet. ENORM är primärt tänkt för bostäder och bör undvikas i projekt där glasarean är stor. Under systemhandlingsskedet och bygghandlingsskedet krävs ett dynamiskt energisimuleringsprogram och helst ett program som kan simulera för flera zoner (rum eller grupper av rum) t.ex. VIP+, IDA ICE, Parasol (endast en zon) eller DEROB-LTH. Ju större glasandelen är desto mer avviker resultaten från olika energiberäkningsprogram (Voll 2005). Detta beror på hur fysikaliskt korrekt den använda fönstermodellen i programmet är, hur mycket av den inkommande strålningen som antas

bli kvar i rummet och hur indata väljs. Endast ett fåtal av dessa program kan simulera byggnader med dubbelskalsfasader.

Olika aspekter vid beräkningar av dubbelskalsfasader och tillämpbarhet för olika program för simulering av energianvändning för byggnader har studerats vid Belgiska Byggforskningsinstitutet (Flamant 2004). Vid simuleringar av ventilerade fönster såsom dubbelskalsfasader så föreligger svårigheter, framförallt när dubbelskalsfasaden är naturligt ventilerad. Simulering av styrstrategi för dubbelskalsfasaden har därför studerats och rapporten tar upp simulering av dubbelskalsfasaden tillsammans med hela byggnaden. Olika byggnadssimuleringsprogram är undersökta med avseende på möjligheten att simulera spalten i dubbelskalsfasaden, dess inflytande på energianvändningen i byggnaden, möjligheten till att simulera styrningen av dubbelskalsfasaden och integreringen av dubbelskalsfasaden i byggnaden. Rapporten kan vara till hjälp när simuleringsprogram skall väljas. Detaljerad information om simuleringsförfarandet för olika program presenteras, några "tips" ges, som är nödvändiga när en dubbelskalsfasad skall simuleras etc.. Byggnadssimuleringsprogrammen beskrivs med sina begränsningar, fördelar, nackdelar och ibland är de värderade efter användarvänlighet.

Som nämnts ovan så finns det byggnadssimuleringsprogram som kan simulera en dubbelskalsfasad som en integrerad del av byggnaden, men givetvis kan inte alla program detta. I det senare fallet måste dubbelskalsfasaden försimuleras. Ett sätt är att först bestämma g-värdet för ett sommarfall och U-värdet för ett vinterfall för dubbelskalsfasaden, och sedan använda dessa resultat som indata för en simulering av byggnadens energianvändning. g-värdet för en dubbelskalsfasad med persiennerna nere och med en icke-ventilerad spalt kan bestämmas med t.ex. WIS (<http://windat.ucd.ie/wis/>) och Parasol (www.parasol.se) (se kapitel 5.1). Om spalten är ventilerad så blir g-värdet lägre, vilket kan bestämmas med WIS och Parasol om spalten är självdragsventilerad pga. av temperaturskillnaden. U-värdet för dubbelskalsfasaden med en icke-ventilerad spalt och med eller utan persienn nere kan bestämmas för mittpunkten hos glaset. Om spalten är något ventilerad så blir U-värdet något högre. Med kunskap om profilernas U-värde och andel kan glasfasadens sammanvägda U-värde bestämmas.

Många simuleringsprogram kan inte simulera solavskärmning såsom persiennar eller lameller (Flamant 2004) vilket är ett problem, eftersom de är de vanligaste solavskärmningarna i praktiken för dubbelskalsfasader. Endast några program (t.ex. WIS, Parasol) kan simulera perforerade solavskärmningar såsom perforerade persiennar.

Den andra svårigheten vid simulering av en dubbelskalsfasad är att de flesta programmen endast tar hänsyn till fläktdriven ventilation av spalten.

Inom detta projekt har ett avancerat dynamiskt energisimuleringsprogram för byggnader använts, nämligen IDA ICE 3.0. Innan energisimuleringsprogram valdes ställdes ett antal funktionskrav upp. Programmet skulle ha följande egenskaper:

1. Ett dynamiskt byggnadssimuleringsprogram
2. Användarvänligt användargränssnitt
3. Fler-zons beräkningar
4. Enkel model för naturlig ventilation
5. Simulering av VVS-system typiska för kontorsbyggnader
6. Rimligt noggranna simuleringar av olika solavskärmningar
7. Möjlighet att lägga till nya simuleringsmodeller utvecklade av användaren t.ex. en dubbelskalsfasadsmodell
8. Bra support
9. Förhållandevis spritt bland forskare och tekniska konsulter i Sverige
10. Känt utanför Sverige

Programkandidaterna var år 2003:

- Bsim2000 utvecklat av Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark
- IDA ICE 3.0 utvecklat av EQUA AB
- DEROB LTH utvecklat av LTH
- BV2 tillgängligt från CIT Management AB

Egenskaper hos programkandidaterna:

- Bsim2000 har de flesta av egenskaperna ovan (förutom 7 och 9)
- IDA ICE har alla ovannämnda egenskaper
- DEROB har några av egenskaperna ovan (förutom 4, 5, 7 och 9)
- BV2 har några av egenskaperna ovan (förutom åtminstone 3 och 7)

IDA ICE 3.0

IDA ICE är ett energiberäkningsprogram för simulering av energianvändning för uppvärmning, kyla, belysning etc., termisk komfort och luftkvalitet i byggnader. Programmet är ett flercells dynamiskt energisimuleringsprogram, som på ett detaljerat sätt tar hänsyn till värme- och ventilationssystem, genom simulering av dessa. Det finns ca 400 användare av programmet, huvudsakligen i Sverige och Finland. Målgrupperna för programmet är förvaltare, VVS-projektörer, tillverkare och forskare.

Programmet kan användas på tre olika nivåer: room wizard, standard eller avancerad nivå. På room wizard nivån ges en enzonsmodell med förvalda egenskaper, som kan ändras. På standardnivån kan en flerzonsmodell skapas. De matematiska modellerna i IDA ICE beskrivs med ekvationer

i ett formellt språk, NMF. Detta gör det lätt att skräddarsy modeller för behoven i ett enskilt projekt. På den avancerade nivån kan avancerade användare själva göra detta genom att använda IDA Simulation Environment (IDA SE). Valideringstester har visat att programmet ger rimliga resultat och att det är tillämpbart för detaljerade byggnadsfysikaliska och VVS-tekniska simuleringar.

De viktigaste indata till programmet är termiska egenskaper, internvärme och tidsscheman, värme- och kylutrustning och systemkaraktäristik, byggnadsgeometri och timvärden på klimatet. Styr- och regelsystem för värme, kyla, belysning etc. specificeras.

En enskild IDA ICE modell med förvalda primär och sekundär system, består av ca 600 tidsberoende variabler, varav alla kan plottas, såsom: värmebalans för varje zon, inklusive bidrag från: sol, personer, utrustning, belysning, ventilation, värme- och kylkomponenter, värme- och kylöverföring vid ytor, luftläckage, köldbryggor och möbler. Solinstrålning genom fönster med hänsyn till tredimensionella solavskärmningar är inkluderad. CO₂-halt och fuktnivåer i luften kan simuleras, samt luft- och ytemperaturer. Komfortindikatorer, PPD och PMV, kan beräknas.

IDA ICE har efterfrågats, specificerats och delfinansierats av en grupp av trettio nordiska företag. De matematiska modellerna har utvecklats vid KTH och Helsingfors Tekniska Universitet. Modellerna grundar sig i stor utsträckning på internationell state-of-the-art för modellering av byggnader. När det är lämpligt används modeller, som rekommenderas av ASHRAE. Programmet har ett användarvänligt grafiskt användargränssnitt. Programmet kan laddas ner från Equa Simulations hemsida <http://www.equa.se/>.

Möjligheter att beräkna dubbelskalsfasader: I den nuvarande versionen (3.0), ges indata för fönstermodellen såsom värden på U-värdet för glas och karm/båge och såsom värden på sol T och g vid vinkelrätt infall. I den nya versionen (4.0) av IDA ICE, som planeras vara klar under 2008, kommer en detaljerad, glas till glas fönstermodell att vara tillgänglig. Även en modell för beräkning av dubbelskalsfasader kommer att vara tillgänglig. Idag är det möjligt att modellera en dubbelskalsfasad på den avancerade nivån genom att skapa egna modeller.

5.4 Ljusberäkningar

Inom belysningsbranschen finns ett par kommersiella program för ljusberäkningar: Relux och Dialux. Dessa används frekvent vid utformning av belysningsanläggningar och för beräkning av belysningsstyrkor i lokalen. Armaturtillverkarna samarbetar tätt med båda programtillverkarna och

tillhandahåller uppgifter om sina armaturer och deras ljusspridning. Det är dock inte brukligt att ta hänsyn till dagsljus vid denna typ av beräkningar. Visualiseringsmöjligheterna i dessa program har ökat under senare år vilket möjliggjorts med allt kraftfullare datorer. Trots detta upplevs bilderna fortfarande ofta som ”platta” och onaturliga med ytor som karakteriseras av att de inte har några ljusgradienter att tala om. Detta beror på förenklade beräkningsrutiner för ljusstrålningens spridning och samverkan med rumsytorna. Det kan t ex vara omöjligt att studera speglade ytor eller ytor med en viss glansfaktor.

Visualiseringsprogram används ganska flitigt av arkitekter för att förklara och sälja in sin idé om ett byggnadsverk till kund och allmänhet. Med utgångspunkt från en geometri från ett 3D Cad-program kan ovanstående eller andra ljusrenderare användas för att skapa dessa bilder. Vissa CAD-program tillhandahåller egna ljusberäkningsprogram eller man kan köpa sk ”plug-ins” för denna typ av efterbearbetning av geometrin. Också i dessa bilder finner man påfallande ofta onaturliga ljusspridningar, ofta saknas reflexer i glasytor och ibland förekommer märkliga skuggor från osynliga ljuskällor. Detta hänger återigen samman med de vanligen bristfälliga ljusberäkningsrutiner som följer med CAD-programmen. Ofta verkar man dock nöja sig med dessa bilder, de kan vara tillräckligt bra för att fungera som marknadsföring av en idé om ett byggnadsverk eller ljusinstallation. De är däremot betydligt sämre på att kunna jämföra den verkliga effekten av olika designalternativ.



Figur 5.1 Exempel på ”platt” bild från en enkel ljusrendering.

Det finns dock program som kan användas både för att ta fram värden på belysningsstyrka och luminans såväl som att ta fram fotorealistiska bilder.

Det mest kända och validerade programmet är Radiance. Detta program har utvecklats vid LBNL i USA och är fritt tillgängligt i UNIX-miljö. Det har länge använts av forskare, men ett flertal programtillverkare tillhandahåller idag användarvänliga plattformar från vilka Radiance kan nås, både i Unix och i Windows-miljö: t ex LightStudio, Rayfront, Ecotect, eller Relux Vision som är en plug-in till Relux Professional. Den senaste utvecklingen av programmet sker dock hela tiden i Unix-miljön, så den verkliga proffsen brukar använda Radiance direkt i Unix. Flera stora konsulter utomlands använder Radiance i projekteringen, t ex välkända Arup. Användningen bland konsulter har i Sverige varit närmast obefintlig, men det börjar dyka upp en och annan ljuskonsult som behärskar tekniken.



Figur 5.2 Exempel på jämförelse av designalternativ, simulering av dagsljus i Radiance av uppglasat kontor med utvändiga lameller (1), komletterad med invändig gardin på mitten (2) eller ersatt med en ljusinlänkande fasadpersienn (3). I den tredje bilden är kontrasterna lägst vilket möjliggör bäst synförhållanden för datorarbete.

Radiance är ett bra verktyg för att noggrant uppskatta dagsljusfördelningen för utvalda klimat (Bülow-Hübe 2008). Det är emellertid mycket tidsödande att göra en uppskattning för ett helt år, eftersom det kräver många simuleringar. Dessutom kräver Radiance en expertanvändare, eftersom det tar lång tid att lära och behärska. Daysim är ett lovande verktyg för att uppskatta den årliga dagsljusfördelningen och eftersom det i grunden bygger på Radiance simuleringar, så kan resultaten bli mycket noggranna. Emellertid, användargränssnittet behöver förbättras både vad avser användarvänlighet och frihet från buggar. Det rekommenderas också att användaren har viss tidigare erfarenhet av Radiance.

6 Referenser

- Blomsterberg, Å. (2007). Uppföljning av energi, dagsljus och inneklimat för ett glaskontor under system- och bygghandlingsskedet – Hamnplan i Malmö. Beställargruppen lokaler, www.belok.se.
- Blomsterberg, Å., et. al., (2007b). Best Practice Guidelines for Double Skin Facades. EU-projektet Bestfacade, programmet Intelligent Energy Europe, www.bestfacade.com.
- Bülow-Hübe, H. (2007). *Demonstrationsprojekt för solavskärmning och dagsljusinlänkning - Utvärdering av ett solskyddssystem med en motoriserad dagsljusinlänkande persienn och ljusreglerad armatur*. Rapport EBD-R--07/15. Lund: Lunds Tekniska Högskola. Beställargruppen lokaler, www.belok.se.
- Bülow-Hübe, H. (2008). *Daylight in glazed office buildings – A comparative study of daylight availability, luminance and illuminance distribution for an office room with three different glass areas*. Report EBD-R--08/17 Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Carlsson, P.O. (2005). *Bygga med glas*. Glasbranschföreningen.
- Energimyndigheten, (2007). *Vägledning för energieffektiv och god belysning*. ET 2007:15.
- Flamant, G., Heijmans N., Guiot E., Gratia E. & Bruyere I. (2004). *Ventilated Double Facades. Determination of the energy performances of ventilated double facades by the use of simulation integrating the control aspects – Modelling aspects and assessment of the applicability of several simulation software*. Final report, Belgian Building Research Institute, Dept. of Building Physics, Indoor Climate and Building Services, December, 2004.
- Poirazis, H. (2005). *Single skin glazed office buildings – Energy use and indoor climate simulations*. Report EBD-T-05/4, Licentiatavhandling. Lund: Lunds Tekniska Högskola.

- Poirazis, H. (2008). *Single and double skin glazed office buildings – Analyses of energy use and indoor climate*. Report EBD-T-07/4, Doktorsavhandling. Lund: Lunds Tekniska Högskola.
- Saelens, D. (2002). *Energy Performance Assessments of Single Storey Multiple-Skin Facades*. PhD thesis, Laboratory for Building Physics, Department of Civil Engineering, Catholic University of Leuven, Belgium. Web address: http://envelopes.cdi.harvard.edu/envelopes/content/resources/pdf/case_studies/PhD_Dirk_Saelens.pdf
- SIA, (2001). *Gebäude mit hohem Glasanteil – Behaglichkeit und Energieeffizienz*, Schweiziska föreningen för ingenjörer och arkitekter.
- Sjödin, L. (2007). *Kontorsbyggnader i glas – Anskaffnings- och årskostnader*. Malmö: WSP, Malmö.
- Voll, H. (2005). *Cooling demand in commercial buildings-The influence of building design*. Technical report D - Department of Building Technology, Building Services Engineering, Chalmers University of Technology; nr D2005:02.



LUND UNIVERSITY

ISSN 1651-8128
ISBN 978-91-85147-28-1