

SBUF

2007-11-30

11908 Ljusplanering i byggnader

Uppdragsnummer: 7025407

Slutrapport

NCC Construction Sverige AB, NCC Teknik
405 14 Göteborg
Besöksadress:
Gullbergs Strandgata 2
Tel. 031-771 50 00
Fax 031-15 11 88

White arkitekter AB
Box 2502, 403 17 Göteborg
Besöksadress:
Magasingatan 10
Tel. 031-60 86 00
Fax 031-60 86 10

Uppgifter om dokumentet:

Beställare, Slutkund	SBUF
Objekt	
Handlingens status	Slutrapport
Datum	2007-11-30
Rubrik 1 (Uppdragsnamn)	11908 Ljusplanering i byggnader
Rubrik 2 (Uppdragsnamn)	
Uppdragsnummer	7025407
Dokumenttyp	Rapport

Upprättad av

Granskad av

Godkänd av

Andreas Milsta
Mikaela Åström
Katarína Heikkilä

Arbetsgruppen

Oscar Garpebring

NCC Teknik, NCC Construction
Sverige AB

Martin Sandberg

NCC Teknik, NCC Construction
Sverige AB

Sammanfattning

Byggbranschen arbetar traditionellt med beprövade belysningstekniker trots att mer energieffektiva lösningar finns idag tillgängliga på marknaden. Byggbranschen skulle därför behöva vidareutveckla sin planeringsprocess för en god och energieffektiv belysning. Utvecklingen av tekniska lösningar som skall utnyttja dagsljuset maximalt i kombination med olika avskärmningstekniker av den direkta solinstrålningen har också gjort stora framsteg. Möjligheter och begränsningar av de olika alternativen bör därför kartläggas för att uppnå en bra helhetslösning.

Projektets syfte är att öka kunskapen om ljusplaneringen och visa på möjligheterna med tekniska lösningar där belysning och naturligt ljus samverkar. Förstudien är genomförd som en kartläggning med fokus på energieffektivitet och på olika tekniska lösningar, både befintliga och sådana som kan komma inom en snar framtid. Projektet avgränsar sig till lokaler så som kontor, skolor, affärscentra, butiker, monteringshallar mm.

Studien drevs gemensamt av NCC Teknik inom NCC Construction Sverige AB och White arkitekter AB. Arbetsgruppen har bestått av:

- Katarína Heikkilä, NCC Teknik, projektsamordnare
- Mikaela Åström, White arkitekter AB, sakkunnig ljusdesign
- Andreas Milsta, White arkitekter AB, sakkunnig ljusdesign

Referensgruppen har bestått av:

- Dan Engström, NCC Teknik, NCC Construction Sverige AB
- Kristina Gabriell, Region Väst/Kompetenscentra, NCC Construction Sverige AB
- Johanna Engberg, White arkitekter AB
- Stig Hoff, Akademiska Hus

Projektet finansierades av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF och av NCC Construction Sverige AB.

Resultaten av föreliggande förstudien visar att:

- *Den mest utbredda lösningen i Sverige för att utnyttja dagsljuset i byggnader är den arkitektoniska lösningen (t.ex. rummets utformning och djup, byggnadens fasad och fönster, mm.) i kombination med olika typer av solavskärmning.*
- *Styrssystem spelar en viktig roll i alla lösningar eftersom det reglerar samspelet mellan solavskärmningen, både yttre och inre, och belysningssystemet.*
- *Det är sällsynt med en systematisk utvärdering av referensprojekt.*
- *Optiska lösningar för dagsljusbelysning kan vara ett alternativ till att förmedla de naturliga dagsljusförhållandena till rum utan fönster.*

En gemensam nämnare för bra lösningar för dagsljusinlänkning karakteriseras av enkla principer och lösningar. Planeringsprocessen skall ha en arbetsmetodik, där man i tidiga skeden utnyttjar beräkningsverktyg både för att simulera belysningsnivåer i kontorslokaler och för att uppskatta den framtida totala energianvändningen i byggnaden. Alla lösningar skall kompletteras med ett behovsanpassat styrssystem som integreras med övriga belysningssystem i byggnaden.

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
2	Metod.....	1
3	Ljuset och dess påverkan.....	2
3.1	Dagsljusets påverkan	2
3.2	Det artificiella ljusets påverkan.....	3
4	Ljusplaneringsprocessen	3
5	Ljusstyrning och underhåll	6
5.1	Olika typer av styrning	6
5.2	Dagsljusstyrning.....	6
5.3	Underhåll	7
6	Miljöpåverkan	7
7	Tekniska lösningar för dagsljusinlänkning	8
7.1	Inverkan av arkitektur	8
7.2	Fönster och rummets utformning	8
7.3	Solavskärmning	9
7.3.1	Dagsljussystem för aktiv solavskärmning.....	9
7.3.2	Invändig solavskärmning	10
7.4	Optiska system	11
7.4.1	Parans	11
7.4.2	Solatube system	12
7.4.3	Heliostat systems	13
7.5	Artificiell belysning	13
7.6	Referens- och demonstrationsprojekt.....	14
7.6.1	Kv. Katsan, Stockholm	14
7.6.2	WSP kontor, Malmö.....	14
7.6.3	Övriga projekt	15
8	Diskussion och slutsatser	15
9	Fortsatt arbete	16
	Referenser.....	19
	Bilagor	
	Bilaga A: Befintliga krav på belysning	
	Bilaga B: Ljuskällor	
	Bilaga C: Armaturer	

Förklaringslista

Belysningsstyrka: Den totala mängden ljus som träffar en yta. Beskrivs även som lumen per kvadratmeter dvs. totala ljusflödet per kvadratmeter yta.

Bländning: Bländning uppstår då det är stora kontraster mellan ljust och mörkt. Bländning kan även uppstå om ytors luminans är så pass hög att ögat inte klarar av att ta emot den stora mängden elektromagnetisk strålning. Hur omfattande bländningen är beror på luminansen, storlek på det lysande objektet, bakgrundsluminans och objektets förhållande till blickpunkten hos betraktaren.

Bländning delas upp i två olika kategorier: synnedsättande bländning och obehagsbländning.

Synnedsättande bländning förekommer när kontrasten mellan det lysande föremålet och omgivningen är så pass stor att ögat tar lång tid på sig att anpassa sig efter rådande ljusförhållande. *Obehagsbländning* uppstår när det finns föremål i synriktningen som har högre luminans än vad ögat är anpassat till.

Dagsljusfaktor: Dagsljusfaktorn är förhållandet mellan belysningsstyrkans intensitet (lux) av diffust dagsljus mot en vertikal yta inomhus och en vertikal yta utomhus. Förhållandet mellan dessa värden ger ett mått på dagsljusfaktorn uttryckt i procent (%).

Färgtemperatur: Ljuskällor har varmare eller kallare färgtemperatur dvs. ljuset upplevs som varmare eller kallare. Färgtemperatur mäts i kelvin (K): ju högre kelvintal desto kallare färgtemperatur. Exempelvis har glödlampan 2700 K och dagsljuslysrör 6500 K.

Färgåtergivning: Hur bra och naturtroget en ljuskälla återger färger anges i Ra-index (Rendering Average Index).

Livslängd: Ljuskällor har olika livslängd vilket är viktigt att beakta i belysningsplaneringen. Om armaturens placering gör det svårt att underhålla och byta ljuskälla bör en ljuskälla med lång livslängd väljas. Ljuskällor med längre livslängd påverkar dessutom nyproduktionen av ljuskällor och gör skrotningen mindre omfattande. Detta påverkar i sin tur energikonsumtionen och minskar den negativa miljöpåverkan. Det är även viktigt att komma ihåg att livslängden måste anpassas för optimal användning av råmaterial och energi.

Ljusflöde: Hur mycket ljus en ljuskälla sammantaget alstrar; anges i lumen (lm).

Ljusutbyte: Hur mycket ljus en ljuskälla ger per energienhet. Anges i lumen/watt (lm/W). Ljuskällornas effektivitet skiljer sig åt. Exempelvis ger glödlampan ca 10-15 lm/W till skillnad från de mer effektiva lysrören som ger ca 100 lm/W.

Luminans: Luminans är en mätbar ljusstäthet i en viss riktning och i en punkt på en ljuskälla eller på en belyst yta.

Rendering Average Index. Skalan är satt från Ra 1-100 där Ra 100 är den bästa färgåtergivningen. Exempelvis har glödlampan Ra 100 och lysrör ca Ra 80-90.

Solenergitransmittans (g-värde): Den inträngande solenergin i en byggnad. G-värdet anger solenergens värmetransmission i byggnaden.

Visuell ljustransmission: Fönsterytors upplevda genomsläpplighet av ljus.

1 Inledning

Belysning står för drygt 20 % av den totala energianvändningen i offentliga lokaler (Statens energimyndighet, 2007). Byggbranschen arbetar traditionellt med beprövade belysningstekniker så som lysrör med konventionella driftdon. Dessa armaturer står för nästan 50 % av alla belysningsarmaturer som idag används i befintliga offentliga lokaler (Statens energimyndighet, 2007) trots att mer energieffektiva lösningar finns tillgängliga på marknaden. Eftersom det idag finns större utbud av produkter för energieffektiv belysning, borde man ha goda förutsättningar för att förbättra ljusplaneringen i byggnaden. Byggbranschen skulle därför behöva vidareutveckla sin planeringsprocess för en god och energieffektiv belysning.

Minskning av energianvändningen för belysning kan också uppnås genom att utnyttja dagsljuset som ljuskälla i lokaler i större utsträckning. T.ex. genom att öka andelen av dagsljus genom större fönsterytor kan man minska energibehovet med 30 – 50 % (Bülow-Hübe, 2001). Även utveckling av tekniska lösningar som skall utnyttja dagsljuset maximalt har också gjort stora framsteg och ger bättre förutsättningar för en bra ljusmiljö inomhus. Användningen av dessa produkter kan dock skilja sig åt pga. specifika tekniska förutsättningar. Möjligheter och begränsningar av de olika alternativen bör därför kartläggas för att uppnå en bra helhetslösning.

Syftet med detta projekt är att öka kunskapen om ljusplaneringen och energieffektivitet och visa på möjligheterna med nya tekniska lösningar där belysning och naturligt ljus samverkar. Projektet genomförs som förstudie.

Studien drevs gemensamt av NCC Teknik inom NCC Construction Sverige AB och White arkitekter AB. Arbetsgruppen har bestått av:

- Katarína Heikkilä, NCC Teknik, projektsamordnare
- Mikaela Åström, White arkitekter AB, sakkunnig ljusdesign
- Andreas Milsta, White arkitekter AB, sakkunnig ljusdesign

Referensgruppen har bestått av:

- Dan Engström, NCC Teknik, NCC Construction Sverige AB
- Kristina Gabrielli, Region Väst/Kompetenscentra, NCC Construction Sverige AB
- Johanna Engberg, White arkitekter AB
- Stig Hoff, Akademiska Hus

Projektet finansierades av Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond, SBUF och av NCC Construction Sverige AB.

2 Metod

Förstudien är en kartläggning med fokus på olika tekniska lösningar, både befintliga och sådana som kan komma inom en snar framtid. Kartläggningen inkluderar även beskrivning av projekt med innovativa lösningar för bättre ljusplanering med större andel av dagsljus.

Kartläggningen genomförs genom litteratursökning och granskning av informationen tillgänglig på hemsidor som är kopplade till olika forskningsinstitut, forskningsprojekt,

producenter och leverantörer. Projektet avgränsar sig till lokaler så som kontor, skolor, affärscentra, butiker, monteringshallar mm.

3 Ljuset och dess påverkan

Ljuset kan påverka oss bl.a. visuellt, fysiologiskt, psykologiskt och emotionellt. Att planera ljus med utgång från denna kunskap påverkar de tekniska val man gör under planeringens gång, exempelvis val av ljuskällor, armaturer, deras placering och styrning. Samspelet mellan dessa faktorer skall skapa förutsättningar för en så positiv upplevelse som möjligt.

God belysning samt tillgång till naturligt ljus (dagsljus) är en nödvändighet för att skapa trivsamma inomhusmiljöer. Med hjälp av den artificiella belysningen kan vi bedriva verksamhet under dygnets mörka timmar genom att noggrant utforma belysningen så att den förstärker rumsutformningen och stödjer människan i hennes arbetsuppgift.

Dagsljuset är en viktig parameter att ta hänsyn till när man planerar belysning, men ofta planeras belysning utan att dagsljusinsläppet tas i beaktande. Samverkan mellan den artificiella belysningen och dagsljuset är nödvändig för att maximalt utnyttja dagsljusets kvalitéer. Detta kan lösas genom styrsystem och sensorer som reglerar den artificiella belysningen efter dagsljuset. Dagsljuset skapar inte bara förutsättningar för mindre energikonsumtion utan även rum och miljöer som positivt påverkar individers hälsa och välmående.

3.1 Dagsljusets påverkan

Dagsljusets kvalitéer är viktiga för oss då dess spektrala sammansättning och ljusnivå upprätthåller vår biologiska klocka. Emellertid är det oklart om det är mängden av ljus, sammansättning av ljusets spektra eller variation i längden av dagen som är avgörande. Man tror att det är belysningsintensitet som är den avgörande faktorn för välbefinnande (Bülow-Hübe, 2001). Kvalitén av den artificiella belysningen jämförs med dagsljusets unika egenskaper.

Lokaler med dagsljusinsläpp har fler individer som känner sig mentalt och fysiskt alerta än lokaler som saknar dagsljus. En studie som utförts för California board for energy efficiency (Heschong Mahone Group 1999) exempelvis har visat, att försäljningen i *affärer* med dagsljus ökade med ca 40 % då kunder i regel stannar längre i dagsljusbelysta affärer. Även effektiviteten hos den arbetande personalen har ökat i dessa affärer. Studien kunde vidare påvisa att människor ofta upplevde dagsljusbelysta lokaler mer rena, rymliga, öppna, ljusare och med bättre synbarhet.

Edwards och Torcellini (2002) har sammanställt resultat av en litteratur studie. Denna studie sammanställer all litteratur som beskriver dagsljus i byggnader, men granskar inte de vetenskapliga grunderna av de presenterade resultaten. Ett av de resultaten som presenteras är inverkan av dagsljus i *skolor*, där eleverna blir elever piggare och mer motiverade, de har fått starkare immunförsvar och bättre syn. Även lärare har påverkats positivt både psykologiskt och fysiologiskt. Dagsljusinsläpp i *sjukhus* ger en bättre psykologisk och fysiologisk hälsa hos både patienter och personal. Det har visats att patienter tillfrisknar snabbare om de vistas i dagsljusbelysta lokaler. Dagsljusets påverkar

D-vitamin produktionen och balanserar hormonbalansen i kroppen samtidigt som ljuset tillför en känsla av öppenhet och frihet. *Kontor* med fullgott dagsljusinsläpp ökar generellt individers prestation och välbefinnande. Resultatet blir även minskad frånvaro och minskade kostnader då energiförbrukningen minskar. Studien rapporterar även negativa effekter i lokaler där dagsljus saknas, t.ex. arbetare i industrilokaler utan dagsljus har högre sjukfrånvaro, mer huvudvärk och yrsel än arbetare i dagsljusbelysta lokaler.

3.2 Det artificiella ljusets påverkan

Bra planerad belysning kan göra gott för oss individer både på ett biologiskt och emotionellt plan. Undermålig belysning och bländande belysning kan göra oss trötta, ge ögontrötthet och huvudvärk. Mer och mer kunskap finns även om hur olika ljuskvaliteter påverkar oss. Det har visats sig att ljuskällor vars egenskaper skiljer sig allt för mycket från dagsljuset kan påverka oss negativt (Holowich 1979). Exempelvis kan flimmer från lysrör påverka hjärnan och leda till huvudvärk trots att flimret inte kan uppfattas visuellt (Bülow-Hübe 2001). Ljuskällor med dålig färgåtergivning eller konstant belysning utan dynamik kan öka den negativa stressnivån i kroppen. Detta beror på att hormonbalansen i kroppen rubbats. Holowich (1979) vidare visar att de som vistas mycket inomhus och i artificiell belysning kräver en belysningskvalité som på många sätt liknar dagsljusets. Ljuskällor som ger ljus med ett kontinuerligt spektra och som är variationsrik i ljusnivå, ljusfördelning och ljusfärg påverkar oss positivt.

4 Ljusplaneringsprocessen

De flesta belysningsanläggningarna som projekteras i dagsläget planeras ofta utifrån fysikaliska standardvärden som beskriver den nödvändiga belysningsstyrkan som skall tillgodose den aktuella visuella uppgiften. Om belysningen enbart projekteras efter denna princip kan slutresultatet bli något bristfälligt då aspekter som rumsgestaltning, energieffektivitet, miljö och välbefinnande faller bort. Därför skall även egenskaper som *färgtemperatur*, *färgåtergivning*, och *ljusutbyte* ingå i projekteringen av belysningsanläggningar. För en sammanställning av de krav som idag finns på belysningsnivå, se **Bilaga A**.

Normer och krav för dagsljus finns i mindre omfattning. Enligt arbetsmiljölagen skall lokaler, om möjligt, inrättas med fönster. Energimyndigheten rekommenderar att dagsljusfaktorn skall vara minst 3 %. För de kvalitativa egenskaperna hos dagsljuset finns det inga krav. I Arbetsskyddsstyrelsen föreskrifter 2000:42 benämns endast att dagsljusets kvalité bör vara tillfredställande eller dylikt.

För att skapa kvalitativa belysningsprojekt där både artificiellt ljus och dagsljus samverkar krävs att krav ställs på belysningsplaneringen. Eftersom det inte finns några normer som ställer dessa krav bör belysningsprogram utfärdas där krav ställs på respektive belysningsprojekt. Dessa krav bör omfatta dagsljusmängd samt det artificiella ljusets fördelning, kvalité och kvantitet. Kanske måste detaljnivån på kraven vara större för att undvika begrepp som är lätta att frånga.

Att ljussätta rum där människor rör sig och vistas ställer relativt höga krav på den som projekterar belysningen. Vid planeringen måste man ta hänsyn till olika krav:

beställarens, brukarens, förvaltarens och myndigheternas samt arkitektens intention. Dessa krav kan vara allt ifrån specifika belysningsstyrkor till krav på miljö och styrsystem. Det är viktigt att så tidigt som möjligt tillsammans med beställaren klargöra projektets förutsättningar för att formulera de mål man har med projektet.

Ljusplaneringsprocessen består av analys, vision, gestaltning och tekniska val.

Analys

Genom att noggrant analysera det befintliga eller tänkta rummets funktion, utformning, material och färger skapar man förståelse för vad hur man skall ljussätta. Rummets visuella och tekniska möjligheter analyseras och dokumenteras för att bygga en plattform att stå på inför det fortsatta arbetet.

När man analyserar ett redan befintligt rum utgår man ofta från sju visuella grundbegrepp gällande ljus.

- Ljusnivån
- Ljufördelning
- Bländning
- Skuggor och dess karaktär
- Reflexer
- Ljufärg
- Färg, dvs. rummets kulör

Dessa begrepp utgör grundpelarna i belysningsplanering och de påvisar ljuset i olika sammanhang. Man analyserar de befintliga eller tänkta förutsättningarna och kan därefter se rummets skilda behov av ljus, både av dagsljus och av artificiell belysning. Med god kunskap om det befintliga rummet finns även goda förutsättningar för en lyckad belysningslösning. Det är viktigt att analysen skall ta i beaktande dagsljusinsläppet i rummet. Dagsljusets närvaro och dess samverkan med artificiellt ljus skapar förutsättningar för en bra arbetsmiljö och en energieffektiv belysningsanläggning.

Att skapa en energieffektiv anläggning handlar även om rummets material och färg. Ljusa och reflekterande ytor i ett rum skapar förutsättningar för ett mindre behov av installerad effekt av den artificiella belysningen.

Vision

Med kunskap om rummets förutsättningar växer gestaltningsidéer fram. Idéerna kan vara av skiftande karaktär och ha olika grund utifrån brukarens skilda önskemål.

En vision kan innefatta flera aspekter som man vill tillgodose i ett och samma förslag. Estetik, miljö, trygghet, säkerhet, hälsa och ekonomi är några av de delar man tar hänsyn till i belysningsplaneringen. Visionen är ofta övergripande och visar på vad man sammantaget vill åstadkomma med förslaget.

Gestaltning

I gestaltningsprocessen görs det grundläggande visuella valen som beskriver hur rummet skall belysas. Ett rum förstärks och formges av kontraster mellan ljus och mörker och det är balansen där emellan som skapar dynamiken.

En väl planerad belysning skall förstärka rummets funktion och karaktär, samtidigt som den är hälsofrämjande och underlättar vår orienteringsförmåga.

Tekniska val

För att förverkliga ljussättningen krävs en del tekniska val. Detta fordrar god kunskap om de ljuskällor, armaturer och tillbehör som finns att tillgå på marknaden. I Tabell 1 finns en sammanställning av tekniska parametrar för några olika typer av ljuskällor. För en mer detaljerad beskrivning av olika tekniska lösningar för den artificiella belysningen så som ljuskällor finns i **Bilaga B** och armaturer i **Bilaga C**. Beskrivning av några referensprojekt med tekniska lösningar för dagsljusinlänkning beskrivs i **Avsnitt 7**.

Tabell 1: Sammanställning av tekniska parametrar för olika ljuskällor

Typa av ljuskälla	Effekt [W]	Ljusutbyte [lm/W]	Färgtemperatur [K]	Färgåtergivning [Ra index]	Livslängd [h]	Reglering
Glödljuskällor						
Glödlampa	15, 25, 40, 60, 75	10 - 15	2700	100	1000	Ja
Halogen 230V	20, 40, 50, 100, 150	15 - 25	3000	100	2000 - 5000	Ja
Halogen 12V	10, 20, 35, 50	15 - 25	3000	100	1500 - 5000	Ja
Urladdningskällor						
Metallhalogen	20, 35, 70, 150	70 - 85	3000 4200	85 >95	6000 - 10000	Nej
White Son	35, 50, 100	40 - 50	2500	>80	10000	Ja*
Lysrör T8	18, 36, 58	75 - 90	2700, 3000 4000, 6500	85 - 95	17000	Ja*
Lysrör T8 – Longlife	18, 36, 58	75 - 90	2700, 3000 4000, 6500	85 - 95	upp till 20000	Ja*
T5 High efficiency	14, 21, 28, 35	90 - 100	2700, 3000 4000, 6500	>80	20000	Ja*
T5 High output	24, 39, 49, 54, 80	80 - 90	2700, 3000 4000, 6500	>80	20000	Ja*
Kompaktlysror	13, 18, 26, 32, 42, 55	50 - 80	2700, 3000, 4000	>80	10000 15000 (HF)	Ja*
Lågenergilampa	5, 8, 11, 14	50 - 70	2700	80	10000	Nej
Luminiscensljuskällor						
LED (vita)	0,25, 1, 3	50	3000 4200	50 - 95	50000	Ja

* Ljusreglering är möjlig om armaturen är försedd med speciella ballaster och styrelektronik.

Tekniska val handlar även om att bestämma hur en anläggning skall styras eftersom styrningen påverkar både anläggningens estetiska utförande, flexibilitet, funktion, energianvändning, och därmed också ekonomi och miljöpåverkan.

5 Ljusstyrning och underhåll

Att kunna styra ljuset handlar om att kunna påverka ljusmiljön i rummet så att den anpassas efter verksamheten och den enskilda människans behov. Det kan röra sig om allt ifrån styrningen av dagsljusinsläppet genom persienner och avancerade lamellstyrningar på fasaden till att den artificiella belysningen går att ljusreglera. Det är viktigt att man redan från början klargör projektets förutsättningar gällande styrning så att andra aktörer kan dimensionera sina anläggningar utefter t.ex. värmeutvecklingen från ljuskällorna.

I många fall planeras dagens artificiella ljus i byggnader som om tillgången till dagsljus är obefintlig. Detta får till följd att många belysningsanläggningar står och brinner när det är fullgott dagsljus i lokalerna. Energianvändningen under hela livslängden står för mer än 90 % av både livscykelkostnaden och miljöbelastningen av belysningsanläggningen (ÖNET, 2005). Genom att välja ett bra styrsystem kan man reducera energianvändning avsevärt.

5.1 Olika typer av styrning

Manuell ljusreglering

Vid kontorsarbetsplatser är det viktigt med individuell belysningsreglering då olika individer kräver olika belysningsstyrka. En reglerbar armatur är att föredra framför en armatur som ger ett konstant ljus.

Närvaro- och behovsanpassad styrning

För att inte låta belysningen vara tänd i onödan kan belysningsanläggningen förses med sensorer som känner av om någon vistas i lokalen eller inte. Med denna styrning kan exempelvis belysningen dimmas ner till 10 % av den maximala styrkan, eller släckas helt när ingen vistas i lokalen.

Ljusstyrningen i lokaler kan behovsanpassas till olika aktiviteter genom scenariostyrning. Med en knapptryckning kan ljusmiljön förändras i ett konferensrum från lågmäld presentationsbelysning till en högre ljusnivå för städning. De olika scenariers utformning bör redan beaktas i projekteringsstadiet så att armaturerna kopplas samman på ett rätt sätt samt att de förses med dimbara driftdon. Exempel på användningsområden för scenariostyrning är kontor, konferenssalar, multimediarum, hörsalar mm.

Tidsstyrning

En belysningsanläggning kan vara förprogrammerad att vara tänd en viss tid för att sedan dimmas ner eller släckas helt.

5.2 Dagsljusstyrning

Dagsljusmängden i rummet kan regleras med hjälp av olika solavskärmningssystem. Ett fasadmonterat lamellsystem kan vara ett effektivt sätt att styra dagsljuset i rummet. Markiser, gardiner och persienner är andra effektiva hjälpmedel för att styra dagsljuset i

rummet. Dessa kan styras automatiskt med hjälp av sensorer som känner av solens position och mängden dagsljus i rummet. Yttre solavskärmning påverkar dock den arkitektoniska utformningen av fasaderna vilket måste beaktas i ett tidigt skede.

För att tillvarata dagsljuset i lokalerna bör den artificiella belysningen samordnas med dagsljusmängden i rummet. Armaturerna förses då med sensorer som känner av rummets belysningsstyrka och anpassar den artificiella belysningen så att vald belysningsnivå upprätthålls. Detta är ett mycket effektivt sätt att hålla ner energianvändning.

5.3 Underhåll

Belysningsnivån i en belysningsanläggning kan minska med tiden om inte anläggningen sköts regelbundet. För att ha en så hög bibehållningsfaktor som möjligt och undvika överdimensionering i en anläggning bör det utfärdas en underhållsplan. Underhållsplanen skall innehålla bytesintervaller av ljuskällor och var och när rengöring av armaturer är aktuellt.

Planering för underhåll är viktig även för anordningar för yttre solavskärmning för att säkerställa driftsäkerheten, eftersom en bra funktion av solavskärmningen inverkar både på arbetsmiljön och på byggnadens energianvändning.

6 Miljöpåverkan

Miljöpåverkan från belysningssystem uppstår under hela anläggningens livslängd; dvs. från tillverkningen, driften, underhållet och sluthanteringsfasen.

Miljöpåverkan från *tillverkningsfasen* är kopplad till användningen av råmaterial, dess förädling, och till tillverkningen och uppbyggnaden av de bestående delarna av en belysningsanläggning. Den totala miljöpåverkan från denna fas bedöms som liten (mindre än 5 %) (ÖNET, 2005).

Miljöpåverkan från tillverkningsfasen är också kopplad till användningen av miljöfarliga metaller såsom tungmetaller (t.ex. kvicksilver i lysrör), eller till användningen av material med sällsynt förekomst (t.ex. gallium i LED). Tungmetaller i ljuskällor ställer högre krav på rätt hantering av dessa ljuskällor i *sluthanteringsfasen* för att förhindra spridning av miljöfarliga ämnen. Denna miljöpåverkan kan dock kompenseras genom en mer effektiv drift av anläggningen jämfört med ett annat alternativ (ÖNET, 2005).

Belysningsanläggningar har en lång livslängd som sträcker sig över ett par decennier. Den största miljöpåverkan uppstår under *användarfasen* genom energianvändningen under driften. Denna miljöpåverkan står för ca 90 % (ÖNET, 2005). Det finns goda förutsättningar att minska den totala miljöpåverkan genom användning av mer energieffektiva ljuskällor i kombination med en ökad utnyttjande av dagsljuset, och genom en förbättrad styrning av dessa anläggningar. Det finns flera olika styrsystem på marknaden som kan ljusreglera en belysningsanläggning, vilket kan leda till en energibesparing mellan 20 till 70 %.

För miljövänligare anläggningar bör dessa punkter uppfyllas:

- Effektivt utnyttjande av dagsljus och artificiell belysning
- Val av ljuskällor med ett optimalt ljusutbyte

- Val av ljuskällor med hänsyn till materialval
- Effektiva armaturer med hög verkningsgrad
- Styrning
- Behovsanpassad belysning
- Högfrekventdrift (HF-don)
- Regelbundet underhåll

7 Tekniska lösningar för dagsljusinlänkning

7.1 Inverkan av arkitektur

I en dansk studie har man studerat hur man kan uppnå goda dagsljusförhållanden i en byggnad samtidigt som man minskar energiförbrukningen för belysning (By og Byg, 2001). Syftet med projektet var att öka kunskapen bland byggnadskonstruktörer om byggnadens utformning för att gynna dagsljusinsläppet. Studien bygger på analyser och mätningar i sju byggnader. Dessa byggnader valdes med kriteriet att de skulle representera bra arkitektur och att de skulle utnyttja dagsljus på ett sätt som gjorde dessa byggnader lämpliga för vidare analyser. Andelen av glasade ytor var mer än 10 % av golvarean i alla undersökta byggnader.

Resultaten av denna studie visar att kvaliteten på dagsljuset bidrar till att skapa både funktionell och estetiskt tillfredställande arkitektur. Kvaliteten och mängden av dagsljuset i byggnader beror också på andra parametrar än storleken på den glasade arean: djupet av fönstrets öppningar, solavskärmning, eventuella närstående byggnader, vegetationen utanför fönstren mm. Studien förtydligar att det inte finns standardlösningar på hur man skall utforma fasader och fönster, men enkla principer och traditionell design leder i många fall till tillfredställande resultat. Byggnader med stora inglasade ytor ställer högre krav på analyser i tidiga projekteringsskeden för att undvika problem med solinstrålning och bländning vilken kan förekomma speciellt under vintermånaderna. I lokaler där dagsljuset var otillräckligt i de avlägsna delarna användes artificiell belysning under stora delar av året även då detta inte var helt nödvändigt. En av anledningarna till den ökade användningen av belysningen var den ojämna ljusnivå som skapade för starka kontraster mellan de belysta och mörkare delarna av rummet. För att utjämna ljusnivå i rummet använde man den artificiella belysningen i större utsträckning. En annan förklaring till den långa användningstiden var det mänskliga beteendet, då man ofta glömde släcka ljuset även då det fanns tillräckligt med dagsljus.

7.2 Fönster och rummets utformning

Generellt påverkas dagsljusinsläpp i ett rum inte bara av fönstrens storlek och placering, utan även av rummets djup (Bülow-Hübe 2001). Formen hos fönster inverkar på dagsljusnivå och hur djupt i rummet det infaller: höga fönster släpper ljuset djupare in i rummet jämfört med ett brett fönster med samma yta. Fönster som inte upplevs för stora eller för små utgör ungefär 30 % av fasadytan (Bülow-Hübe 2001). För övrigt föredrar man bredare fönster före höga former.

Även rummets djup inverkar på om man kan utnyttja dagsljuset effektivt. Rummet skall inte vara djupare än 2 – 2,5 gånger höjden mellan golvet och fönstrets övre karm (Bülow-

Hübe 2001). I praktiken innebär detta rum som inte är djupare än 4 – 6 m. Övriga faktorer som påverkar dagsljusinsläppet är solavskärmningen och glasets transmittans.

En noggrann planering av fönsterstorlek och solavskärmning krävs för att möjliggöra ett maximalt dagsljusinsläpp med jämn kvalitet och som inte upplevs som störande. Denna balans är också viktig för att kunna minska kylbehovet på sommaren och maximera värmetillskott under vinter pga. solinstrålningen. För att byggnader skall vara energieffektiva trots en hög andel av fönster i fasader krävs att fönster har låga U-värde i kombination med låga g-värden. Låga U-värden är nödvändiga för att inte öka energibehovet under uppvärmningssäsongen, låga g-värden för att undvika problem med överskottsvärme (Bülow-Hübe 2001).

7.3 Solavskärmning

Inverkan av olika typer av solavskärmning på byggnadens energianvändning och dagsljuskvalité i kontor undersöktes av Dubois (2001). Olika typer av solavskärmning i kombination med varierande typer av fönsterglas såsom glas med högre reflekterande yta undersökte med fokus på den möjliga energibesparingen, men även på möjligheten att utnyttja dagsljus optimalt. Studien omfattar både mätningar och datorsimuleringar.

Resultaten visar att enbart solskyddsglas leder till minskad energianvändning, men storleken på den relativa energibesparingen beror på orientering av fasader och på den aktuella klimatzonen. Potentialen för energibesparing är större om den kombineras med en enkel utvändig solavskärmning med lågt g-värde (t.ex. mörkblå markis). Markisen går att ta bort under vintern då den inte behövs och solinstrålningen kan flöda in i rummet som värmetillskott vilket leder till minskat värmebehov.

Dubois konstaterar vidare, att extern solavskärmning såsom markiser och överhäng är inte lämpliga anordningar för styrning av dagsljusinsläpp i kontor eftersom denna typ av solavskärmning inte hindrar den direkta solinstrålningen och de höga ljusstyrkorna som följd. Verksamheten i kontor är övervägande datorbaserat vilket kräver en miljö med små kontraster. En bättre lösning är att kombinera olika typer av solavskärmning med lågt g-värde (t.ex. markis) för att förhindra värmetillskott pga. solinstrålningen under våren, sommaren, och hösten med en invändig solavskärmning med högt g-värde såsom persienner eller gardiner. Denna kombination tillåter ett optimalt insläpp av ljus även under vintermånaderna, då solen står lågt över horisonten. En annan fördel med invändig solavskärmning är att den kan manövreras manuellt och därmed uppfyller krav på "individuell" styrning.

En annan viktig egenskap för en bra solavskärmning är att den skall kunna ändra riktning av infallande ljusstrålar antingen genom att rikta om strålarna (helst mot taket) eller att sprida dessa i rummet. Den bästa solavskärmning är den vilken kan blockera eller rikta om den direkta solinstrålningen, men vilken släpper in den indirekta solinstrålningen.

7.3.1 Dagsljussystem för aktiv solavskärmning

Energimyndighetens beställargrupp för lokaler (BELOK) har utlyst en tekniktävling för att utveckla en integrerad systemlösning för dagsljusinlänkning och solavskärmning i kontorsbyggnader. Bakgrunden för detta projekt var ökat överskottsvärme i kontorslokaler vilket leder till ett större kylbehov. Dagsljusinlänkning med en effektiv

solavskärmning kan sänka kylbehovet och på så sätt bidra till lägre energikostnader för belysning, kyl- och ventilationsanläggningar. För tävlingen definierades vissa krav vilka måste uppfyllas av de bidragen som anmälades till tävlingen. Dessa krav omfattade bl. minskning av värme- och kylbehovet, samt minskad elenergianvändning för belysning. Bidragen skulle vidare kunna styras av brukare och integreras tillsammans med övriga belysningssystem och närvarostyrning (BELOK, 2003).

Det har inkommit totalt fyra bidrag (BELOK, 2004). Det mest utvecklade bidraget var en mjukvara/ett styrsystem som redan marknadsförs (Somfy Animeo+ 2.0) och kan levereras till olika solskyddsanordningar. Detta system är inte utvecklat som en komplett lösning utan kan integreras med flera olika solskyddssystem. System går också att integreras med övriga byggnadens värme- och kylsystem, vilket kan vara fördelaktigt.

De övriga bidragen var någon form av fasadanordningar som skulle leda in på ett kontrollerat sätt dagsljuset mot rummets tak. Dessa förslag befann sig på idé eller prototyp stadiet. Förslagen redovisade inte heller om integrering med övriga byggnadens system såsom kyl-, värme- och ventilationssystem är möjliga.

Avsikten med tävlingen var att det vinnande bidraget skulle utvärderas i ett testobjekt. Ingen av de inkomna bidragen har uppfyllt samtliga krav och därför genomfördes ingen utvärdering. Dessutom saknade bidragen nyhetsvärde eller tydde på risker med förhöjt underhåll.

Inom denna tekniktävling gjordes även energisimuleringar för att utvärdera olika typer av solavskärmning på byggnadens kylbehov. Beräkningarna visar att utvändiga fasadpersienner är det bästa alternativet, men även mellanliggande persienner med 45° lamellvinkel ger ett bra resultat (Bülow-Hübe 2003).

7.3.2 Invändig solavskärmning

På marknaden finns idag en del av olika produkter för solavskärmning i rummet, så som olika typer av solgardiner, och gardiner vilka marknadsförs som energibesparande, t.ex. produkter från Svensson markspelle (Ludvig Svensson AB 2007). Gardinerna som är tillverkade av polyeten är på ena sida betäckta med aluminium vilket reflekterar solljuset. Enligt producenten kan man genom användning av dessa gardiner spara upp till 50 % av kostnaden för luftkonditionering. Eftersom luftkonditionering står för en stor del av energianvändningen speciellt i kontorsbyggnader, är denna besparing betydande. Dessa beräkningar bygger på datorsimuleringar i beräkningsprogrammet Parasol vilket utvecklades av Lunds tekniska högskola för beräkning av effekten av olika typer av solavskärmning på energianvändningen av byggnader (LTH 2007). Gardiner kan kompletteras med ett styrsystem som styr efter ljusintensiteten i rummet vilket gör hela tekniska lösningen mer effektiv. I dagsläget finns det inte någon utvärdering från något referensprojekt avseende de verkliga energibesparingar eller den upplevda ljusmiljön i lokaler.

Referensobjekt: Energieffektiva gardiner används i Operan i Oslo och på Världskulturmuseet i Göteborg.

Miljöinformation: Gardinerna är tillverkade av polyeten till 99 % vilken kan antingen återvinnas till ny polyeten eller sluthanteras genom energiutvinning. Trots liten mängd (1 %), bör aluminium också återvinnas. Flamskyddsmedlet som används i gardiner är

kvävefosforbaserad vilket är ett miljövänlig alternativ.

7.4 Optiska system

Strävan för att få tillgång till dagsljuset där det inte finns möjlighet att ha vanliga fönster har resulterat i flera olika systemlösningar för transport av dagsljuset in i byggnaden genom olika optiska lösningar. Dagsljuset som transporteras in i rummet på detta sätt är flimmerfritt, förbättrar belysningsnivån, och eftersom hela synliga spektrum transporteras in i byggnaden får man även bättre färgåtergivning.

7.4.1 Parans

Ett exempel på denna teknik är Parans system som bygger på fiberteknik och marknadsförs av ett svenskt företag (Parans 2007). I deras sortiment finns det olika slags armaturer inklusive spotlights.

Detta system består av solpaneler som fångar upp solljuset, optiska kablar vilka transporterar ljuset in i byggnaden och speciellt utformade armaturer som sprider ljuset i rummet. *Solpaneler* kan fästas på tak eller fasader och de finns i lite olika utföranden. En del solpaneler är konstruerade för att automatiskt följa solen och ta in så mycket ljus som möjligt. I varje sådan panel finns linser som rör sig runt sin egen axel för att spåra, ta in och koncentrera solljuset. Rörelsen görs möjlig med hjälp av motorer med en effekt på ca 2 W som förbrukar små mängder energi (Fransson 2007). Under panelens optiska linser finns *optiska fibrer* som leder det synliga ljuset i koncentrerad form ner till *armaturen* som behandlar ljuset och påverkar ljusspridningen i rummet.

Det finns flera olika armaturer utvecklade för varierande ändamål och installationer i rum. Vissa armaturer kan förses med lysrör för belysning av rummet som kan tändas då inte solljus kan förse rummet med en tillräcklig ljusnivå, och vilka kan kompletteras med närvarostyrning.

Parans marknadsför sina lösningar framförallt som komplettering till den artificiella belysning vilket måste finnas för de fallen då man inte får direkt solljus t.ex. under molniga dagar (Fransson 2007). I dagsläget lämpar sig detta system bättre för belysning av enstaka rum än för hela byggnader. En armatur belyser ca 20 m² beroende på ytans och armaturens utformning. Denna typ av belysning är lämplig för rum utan fönster, där dessa armaturer kan skapa en trivsamt miljö med varierande belysning beroende på väderleken och tiden på dygnet. Exempel på sådana rum är sammanträdesrum, större gemensamma lokaler för samling av personal såsom fika- och pausrum, eller gemensamma entréer mm där dagsljusinsläpp genom fönster inte är tillräcklig.

Parans armaturer och systemet kan kompletteras med de flesta styrsystem som finns på marknaden, t.ex. system för närvarostyrning eller styrning efter ljusintensiteten i rummet (Fransson 2007).

I dagsläget finns några begränsningar för detta system, t.ex. längden av de optiska kablar, då ljustransmissionen minskar med längden. Den maximala rekommenderade längden på kablar är 20 m. Tillverkaren anger livslängden för komponenter på ca 30 år.

Referensobjekt: Parans används idag i olika typer av byggnader så som sjukhus, affärer, kontor, skolor och gallerier, och i flera länder. Några av de svenska tillämpningarna är

Tekniskt museum i Malmö, radiologi i Södertälje sjukhus, konferenslokal i Wisby Strand, och Viktoria Arena, en försäljningslokal i Göteborg, se Bild 1.

Miljöinformation: Parans system kan bidra till besparing av energin för belysning, men den totala energibesparingen varierar dock med den geografiska placeringen av byggnaden där systemet är installerat. Själva systemet förbrukar en liten mängd energi för styrning av linser i solpaneler. Parans produkter består av glas, plast och aluminium, vilka går bra att återvinna.



Bild 1: Parans armatur placerad i trapphuset av försäljningslokalen Viktoria Arena i Göteborg.

7.4.2 Solatube system

Solatube system finns på den amerikanska marknaden. Det utvecklades redan under 80-talet, men större spridning kan noteras efter 1998. Solatube består av rör med en högt reflekterande yta vilka fångar och leder solljuset in i rummet. Ljuset sprids genom speciella armaturer in i rummet. Intensitet av ljuset går att styra genom en dimmer. Systemet kan kompletteras med närvarostyrning. Även detta system måste kompletteras med ett vanligt belysningssystem för perioder då solljuset inte är tillgängligt.

Solatube system kräver lite större anpassning av byggnaden jämfört med fiberoptiska lösningar då rören är av grövre diameter (100-280 mm). Rummen som ligger högst upp under taket är mest lämpliga för att belysas mha. denna teknik, eftersom ljuset leds in direkt genom taket. Solatube kan användas i alla typer av rum och för hela byggnader.

Referensobjekt: Till referensobjekt tillhör skolbyggnader, kontor, tillverknings- och lagerlokaler. Kontor och lagerlokaler *Community college of Southern Nevada*, Morse Arberry registrerades för certifiering för silvernivån av LEED (Leadership in energy and environmental design) systemet (Solatube 2007). I denna byggnad har 75 % av rummet tillgång till dagsljusbelysning.

7.4.3 Heliostat systems

Heliostat systems utvecklas och marknadsförs av Lumena som är ett schweiziskt företag (Lumena 2007). Systemet består av speglar (heliostater) som installeras på byggnader för att kunna följa solens rörelse på himlen. Det överförda ljuset kan antingen utnyttjas till att producera energi eller som källa av dagsljus för belysning av lokaler. Regleringen av speglar bygger på målföljning av solen som gör det möjligt att installationen kan fungera på alla geografiska platser utan några programmeringsanpassningar. Målföljningen kräver små mängder energi (som motsvarar ca två 10W fotovoltaiska moduler).

Solljuset leds in i byggnaden via ett ljusschakt som sprider ljuset genom flera våningsplan.

Referensobjekt: Till referensobjekt hör Educational Centre Palottis in Schweiz eller belysning av en tunnelbanestation Potsdamer Plats i Berlin, Tyskland. I ett nyare projekt för Bartenbach LichLabor i Österrike (Bartenbach 2007) leder man ljuset genom ett ljusrör in i ett så kallad solrum, och vidare sprider genom ett innertak som kan reflektera både dagsljus och artificiellt ljus. Solrummet byggdes för forskningssyfte för att utnyttja dagsljustekniken.

7.5 Artificiell belysning

Utvecklingen av den artificiella belysningen fokuserar på källor som är energieffektiva och som har en bra färgåtergivning. LED (light-emitting diode) sägs vara framtidens ljuskälla med dess flexibla och tåliga utförande samt den mycket långa livslängden. De är tåliga för vibrationer och stötar samt yttre temperaturvariationer. Lysdioderna utvecklas ständigt för att bli mer effektiva. Många dioder har en färgåtergivning som ännu är något sämre än hos lysrör, men nu kommer det fler och fler dioder som har en mycket god färgåtergivning, $R_a > 90$ vilket är bättre än lysrörens färgåtergivning. För de tekniska parametrarna av LED och för miljöinformation, se *Bilaga B*.

Några negativa egenskaper hos lysdioderna är deras känslighet för överhettning. Ljusstyrkan varierar med lysdiodens temperatur därför krävs ordentlig kylning. För att uppnå den utlovade livslängden krävs att man följer angivna råd rörande temperatur och avkylning.

Dioders största användning idag är i nödbelysning och trafikbelysning.

Nödbelysningsarmaturer med piktogram (pilar, springande gubbe, dörr) skall alltid vara tända då det finns personer i lokalen vilket medför långa drifttider. Detta gör att dioder är ett utmärkt val av ljuskälla pga. deras långa livslängd, men lysdiodens storlek medför även ett mer flexibelt utformande av skyltarna.

I dag finns dock olika bestyckningar i nödbelysningen. Exempelvis kallkatodlysrör, kompaktlysrör och longlife lysrör. För att jämföra dioder med lysrör i detta sammanhang beskrivs i följande *exempel*:

Ett kontor, där det krävs nödbelysning, har 20 nödbelysningsskyltar vid utrymningsvägar. Dessa är bestyckade med 11 W kompaktlysrör, vilket är vanligt. Detta ger en total installerad effekt på 220 W. Om vi istället väljer skyltar bestyckade med dioder kan vi spara ca 80 % energi. Dessa skyltar bestyckas nämligen med 2x1 W dioder. Den totala installerade effekten blir istället 40 W.

Referensobjekt: Nordic Light Hotell (2007) demonstrerar hur LED tekniken kan utnyttjas. Hotellobbyn har flera olika funktioner under dagen vilka resultera i varierande krav på belysningen. LED tekniken är kompletterad här med programmerbar styrning vilket möjliggör att belysningen anpassas bättre till de olika funktionerna med samma dioder och armaturerna.

7.6 Referens- och demonstrationsprojekt

7.6.1 Kv. Katsan, Stockholm

Kv. Katsan med arean totalt på 6700m² projekterades av White arkitekter AB i Stockholm och byggdes av Peab under 2001 – 2003. Projektet exemplifierar hur man kan kombinera arkitektoniska lösningar med olika typer av solskydd för att skapa en trivsamt arbetsmiljö med dagsljusinlänkning utan negativ påverkan på den totala energianvändningen av byggnaden.

Byggnaden har en glasfasad av isolerglas med solskyddsskikt som kompletteras av en effektiv yttre solavskärmning i form av nedfällbara markiser. Speciella inre gardiner kompletterar solskyddet och används för ljusreglering för att förhindra bländningen i lokaler.

Erfarenheter av detta projekt visar att man behöver kombinera fönster med effektivt solskyddsskikt med en yttre solavskärmning för att uppnå ett bra inneklimat och låg energianvändning (Bülow-Hübe och Lundgren, 2005). Det sammanlagda *g-värdet* för systemet i kv. Katsan är ungefär 5 %. Författarna poängterar att fönstrets *solenergitransmission* skall vara högst 35 – 40 % för att uppfattas fortfarande som klart. Utblickbarhet är en viktig parameter vilken skall tas i beaktande vid projektering av helglasade fasader. En annan viktig faktor är driftsäkerheten av den yttre avskärmningen vilket är en förutsättning för ett bra inomhusklimat och låg energianvändning.

Projektet styrdes av detaljerade krav på byggnadens innemiljö och miljöprestanda (Bülow-Hübe och Lundgren, 2005). Exempelvis definierade man ett mål på köpt energi som skulle vara högst på 85 kWh/m² exklusive elenergin till verksamheten. Uppgift om den verkliga energianvändningen saknas.

7.6.2 WSP kontor, Malmö

Glaskontoret som uppfördes av Midroc Projects i Malmö är en byggnad med total area på 7400 m² med kontorsplan och konferensrum (Blomsterberg 2007a). Fasaderna har en glasandel på 53 % med yttre rörlig solavskärmning. Dubbelskalsfasadens visuella transmittans med uppdragen persienn blir ungefär 60 %. Det sammanlagda *g-värdet* för fasaden och solskydd är ca 10 %. Persiennerna kommer att styras av solinstrålningen mot fasaden och den inre luminansen. Byggnaden beräknas vara klar för inflyttning i slutet av november 2007.

Projektet är ett uppföljningsprojekt med avseende på dagsljuset och den totala energianvändningen. Uppföljningen görs av en expertgrupp som finansieras av Belok. I systemhandlingsskede genomförde man en utökad förstudie, vilken följdes upp i bygghandlingsskedet. Man utförde en del simuleringar och beräkningar, vilka visar att det är möjligt att minska energianvändningen för belysningen och samtidigt förbättra den visuella komforten genom att utnyttja dagsljuset.

Den slutliga lösningen för fasadsystemet blev en dubbelfasad med en rörlig solavskärmning. Solavskärmning styrs av solinstrålningen mot fasaden och den inre luminansen. Belysningen kommer att närvarostyras med möjligheten för manuell tändning. Projektgruppen har ansökt om bidrag till Belok för uppföljning av systemet under drift (Blomsterberg 2007b).

7.6.3 Övriga projekt

Under de senaste åren har kontorsbyggnader med glasfasad blivit populära. Det finns en risk att den höga andelen av glas i fasaden kan resultera i överskottsvärme i lokaler under stora delar av året och vilket kan medföra en ökad energianvändning för klimatanläggningar. För att kunna uppföra sådana byggnader rätt krävs att man i tidiga projekteringsskeden noggrant analyserar det termiska klimatet och den framtida energianvändningen. En av de positiva effekterna av glasfasader är möjligheten att utnyttja dagsljus i större omfattning än i de traditionella kontoren, men även det kräver detaljerade analyser av olika typer för solavskärmning och deras inverkan på ljuskomforten, det termiska klimatet och energianvändningen för belysning.

Till demonstrationsprojekt av glaskontor i Sverige hör t.ex. *kv. Bilen* i Malmö vilket är en kontorsbyggnad med ca 7300 m² area. Byggnaden har en glasfasad med yttre rörlig solavskärmning och dagsljusinlänkning (Pertola 2006). Målet med byggnaden var att uppnå samma eller lägre energianvändning som för en traditionell modern kontorsbyggnad, och effektivt utnyttja dagsljus för belysning. Inom projektet utfördes en del energisimuleringar vilka tyder på att byggnaden kan utföras lika energieffektivt som ett mer traditionellt kontor. Uppgifter om energiprestanda och ljuskomfort i en driftsatt byggnad saknas.

Ett annat exempel är *kv. Getingen* i Stockholm som byggdes om för AP fastigheter. Systemet för solavskärmning (motorstyrda persienner) utvärderades i ett demonstrationsprojekt och nyligen presenterades i rapporten *Solavskärmning och dagsljuslänkning* (Bülow-Hübe 2007).

8 Diskussion och slutsatser

Resultaten av föreliggande förstudien visar, sammanfattningsvis, att:

- *Den mest utbredda lösningen i Sverige för att utnyttja dagsljuset i byggnader är den arkitektoniska lösningen (t.ex. rummens utformning och djup, byggnadens fasad och fönster, mm.) i kombination med olika typer av solavskärmning.*

Dessa lösningar handlar lika mycket om att leda ljuset djupare in i rummet (t.ex. yttre fasadpersienner) som att förhindra de eventuella negativa effekterna såsom bländning (t.ex. inre gardiner) som solinstrålning kan leda till under vissa perioder. Den mest effektiva lösningen för en bra arbetsmiljö och byggnadens energiprestanda är olika lösningar med yttre solavskärmning. För dessa lösningar måste man specifikt beakta också underhållsfrågan, eftersom underhåll av dessa anordningar är en av förutsättningarna för en felfri drift. Behovet av underhåll påverkar också livcykelkostnaden för systemet.

- *Styrsystem spelar en viktig roll i alla dessa lösningar eftersom det reglerar samspelet*

mellan solavskärmningen, både yttre och inre, och belysningssystemet.

I dagsläget styrs den yttre solavskärmningen nästan uteslutande av solinstrålningsstyrkan på fasaden, vilket inte alltid behöver rättvist avspegla de inre förhållandena. Det vanligaste sättet att styra belysning i rummet är en förutbestämd ljusnivå på en viss yta, exempelvis skrivbord. Enstaka belysningsarmaturer utrustas med ljussensorer vilka styr armaturens ljusintensitet. I dagsläget saknas ett integrerat system som kan styra både solavskärmning och belysning på ett gemensamt referensvärde, t.ex. ljusnivå i rummet. Den bästa effekten på energibesparingen visade sig ha närvarostyrning, eftersom det mänskliga beteendet leder till att belysningen ofta är tänd i onödan.

Den föreliggande studien beskriver också några optiska lösningar för att leda dagsljuset även till rum med en begränsad fönsteryta eller som saknar helt fönster.

- *Det är sällsynt med en systematisk utvärdering av referensprojekt.*

Kartläggningen av referensobjekt visar, att intresset för att utveckla tekniska lösningar för att utnyttja dagsljuset i byggnader maximalt ökar. De senaste åren har det planerats och byggts ett antal moderna kontorsbyggnader där kravet för dagsljusinlänkning ställdes tillsammans med strategiska målen för den totala energianvändningen. De flesta av dessa byggnader har en fasad med en hög andel av inglasad yta, vilket redan i tidiga projekteringsskeden krävde mer detaljerade utredningar om inomhusklimatet och den framtida energianvändningen.

- *Optiska lösningar för dagsljusbelysning kan vara ett alternativ till att förmedla de naturliga dagsljusförhållandena till rum utan fönster.*

Genom användning av dessa lösningar missar man de goda psykologiska faktorer som utsikt genom fönster innebär. Enligt en dansk studie (Christoffersen et al. 1999; Bülow-Hübe 2001) är möjligheten att se ut en av de tre mest positiva aspekterna som kan kopplas till fönster; de övriga två är möjlighet att följa väderförändringar och möjligheten att vädra rummet. De positiva effekterna av dessa system avseende dagsljus och energibesparing återstår att utvärdera. Alla de optiska lösningarna kräver att man i byggnaden installerar även ett annat belysningssystem för de fall då det inte finns tillgång till dagsljus. Dubbla belysningssystem ökar investeringskostnaden, men kan leda till minskad driftkostnad p.g.a. att det artificiella systemet är i drift under begränsade tidsperioder. I Sverige används det svenskt utvecklade Parans-systemet; de flesta tillämpningar finns installerade i enstaka rum som komplettering till den artificiella belysningen. På sikt finns det dock möjlighet till att utnyttja detta system i större skala.

En gemensam nämnare för bra lösningar för dagsljusinlänkning karakteriseras av enkla principer och lösningar (By og byg 2001; Hübe-Bülow 2007). Planeringsprocessen skall ha en arbetsmetodik, där man i tidiga skeden utnyttjar beräkningsverktyg både för att simulera belysningsnivåer i kontorslokaler och för att uppskatta den framtida totala energianvändningen i byggnaden. Alla lösningar skall kompletteras med ett behovsanpassat styrsystem som integreras med övriga belysningssystem i byggnaden.

9 Fortsatt arbete

Användning av de alternativa optiska lösningarna är i dagsläget begränsad och

tillämpningen är i de flesta fallen koncentrerad till enstaka rum. Kontorslandskap ställer högre krav på de vanligaste systemen för dagsljusinlänkning (t.ex. fönster i kombination med solavskärmning) pga. att ljuset måste transporteras djupare in i rummet. I sådana fall kunde det övervägas en komplettering med Parans-systemet.

Kombinationen av energieffektiv belysning, kompletterat med Parans-systemet och styrt genom ett integrerat styrsystem kan byggas och utvärderas som ett demonstrationsprojekt. Projektet skulle leda till ökat kunskap om planeringsprocessen inklusive nödvändiga analyser. Det skulle vidare möjliggöra utvärdering av de positiva effekterna av den valda tekniska lösningen, dess drift, och den totala energianvändningen. Användning av optiska system kan tillämpas på enstaka rum eller hela zoner, vilka jämförs med liknande rum med mer klassisk lösning. Utvärdering av driften skall pågå under minst ett år. Ett sådant demonstrationsobjekt ger bra underlag för erfarenhetsåterföring och för eventuell vidare utveckling av innovativa lösningar för belysning och styrning.

Referenser

- AFS 2000:42 - Arbetsplatsens utformning, Paragraf 12-17 Allmänna regler för belysning.
http://www.av.se/dokument/afs/AFS2000_42.pdf
- Bartenbach (2007). <http://www.bartenbach.com/index.php> (hemsidan besökt 10/2007).
- BELOK (2003). Föreskrifter för tekniktävling dagsljus och solavskärmning. Statens Energimyndighet/BELOK.
- BELOK (2004). Dagsljusinlänkning och solavskärmning, Tekniktävling inom Energimyndighetens Beställargrupp för lokaler, BELOK, Bedömning av inkomna tävlingsförslag, Statens Energimyndighet/BELOK.
- Blomsterberg, Åke (2007a). Ett nytt energieffektivt glaskontor? Energi & miljö, nr. 3, mars 2007.
- Blomsterberg, Åke (2007b). Personlig kommunikation (04/10-2007).
- By og byg (2001). Arkitektur, energi och dagslys. Undersøgelse af syv bygninger. ISBN 87-653-1094-3. Statens Byggeforskningsinstitut, Danmark.
- Bülow-Hübe, Helena (2001). Energy-Efficient Window Systems. Effects on energy use and daylight in buildings. Doktorsavhandling. Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö, Lunds Tekniska Högskola. Rapport TABK—01/1022, ISSN 1103-4467.
- Bülow-Hübe, Helena (2003). Energibesparing med solskydd i kontor.
- Bülow-Hübe, Helena och Marja Lundgren (2005). Sol skydd i Arkitekturen. Skrift 47. Arkus förlag.
- Bülow-Hübe, Helena (2007). Solavskärmning och dagsljuslänkning. Demonstrationsprojekt för ett system med motoriserad dagsljuslänkande persienn och ljusreglerad armatur. Rapport EBD-R—07/15. Energi och ByggnadsDesign, Institutionen för Arkitektur och Byggt Miljö, Lunds Tekniska högskola.
- Christoffersen, J., Petersen, E., Johnsen, Kl, Valbjørn, O. & Hygge, S. (1999). Vinduer og daglys – en feltundersøgelse i kontorbygninge. Hørsholm, Statens Byggeforskningsinstitut, Danmark. (På danska).
- Dubois, Marie-Claude (2001). Solar shading for low energy use and daylight quality in offices. Simulations, measurements and design tools. PhD thesis, Department of Construction and Architecture, Division of energy and building design, Lund University, Lund Institute of Technology, Lund 2001.
- Edwards, L. and P. Torcellini (2002). A literature review of the effects of natural light on building occupants. National Renewable energy Laboratory (NREL). NREL/TP-550-30769.
- Fransson, Marcus (2007). Parans, Göteborg. Personlig kommunikation (27/6-2007).
- Hexchong Magone Group (1999). Skylighting and Retail Sales. An investigation into the relationship between daylighting and human performance. Pacific gas and electric

company.

Hollowich, Fritz (1979). The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and in Animal. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, ISBN 015556.

LTH (2007). Parasol. Energi och Byggnadsdesign, Arkitektur och byggd miljö, Lunds Teknisk högskola. <http://www.ebd.lth.se/programvaror/parasol/> (hemsidan besökt 10/2007).

Ludvig Svensson AB (2007). <http://www.ludvigsvensson.com/Default.asp?LocationID=2&LanguageID=1> (hemsidan besökt 10/2007).

Lumena (2007). <http://www.lumena.ch/index.php?s=Firma&lang=en> (hemsidan besökt 10/2007).

Nordic Light Hotel /2007). <http://www.nordiclighthotel.se/sv/Upplev-hotellet/Bildvisning2/>

Parans (2007). <http://www.parans.com/> (hemsidan besökt 10/2007).

Pertola (2006). Kv Bilen, Malmö, ett energieffektivt kontor i glashus. Presentation på "Nordbygg 2006-01-25, Resurssnåla byggnader och fastighetsanalyser".

Solatube (2007). http://www.solatube.com/en/pro_commercial_cs_ccsn.htm (hemsidan besökt 10/2007).

Statens energimyndighet (2007). Förbättrad energistatistik för lokaler – "Stegvis STIL", Rapport för år 1. Inventering av kontor och förvaltningsbyggnader. ER 2007:34, ISSN 1403-1892.

Svensk Standard - Arbetsplatsens belysning SS EN 12464-1.

ÖNET (2005). Modern belysningsteknik – sparar energi och pengar. ET2005:16, Energikontoret Örebro län, Energimyndigheten.

Bilagor

Bilaga A: Befintliga krav på belysning

Bilaga B: Ljuskällor

Bilaga C: Armaturer

Bilaga A

Befintliga krav och rekommendationer på belysning

När man projekterar belysning finns det dels standarder och krav som man är skyldig att följa, dels rekommendationer. Den här bilagan sammanställer de mest tillämpbara lagar och standarder gällande belysning. Krav på elsäkerheten av armaturer omfattas inte av denna sammanställning.

Krav

Till dem kraven vilka måste uppfyllas tillhör Arbetsmiljöverketsföreskrifter (AFS):

AFS 2000:42 beskriver hur belysningen skall planeras, utformas och underhållas för att förebygga ohälsa och olycksfall i arbetet.

AFS 1992:7, AFS 1997:11, AFS 1998:2, AFS 2000:42, AFS 2001:10 reglerar krav på nödbelysningen.

Krav på belysning återfinns även i Boverkets byggregler (BBR). *BBR 5:352* innehåller krav på utformningen av allmän belysning, och *BBR 5:353* krav på nödbelysning för utrymningsvägar.

Rekommendationer

Utöver belysningskraven finns rekommendationer och tabellverk för belysningsstyrkor, jämnhet och avbländning för olika rumstyper. Att enbart följa dessa tabellvärden medför en risk att viktiga delar i belysningsplaneringen faller bort. Om man bara fokuserar på belysningsstyrkan i ett rum missar man delvis ljusets förmåga att vara rumsgestaltande.

Svensk standard *SS EN 12464-1* innehåller ett tabellverk med rekommenderade belysningsstyrkor, färgtemperatur och bländtal för olika lokaler exempelvis: kontor, detaljhandel, samlingsplatser, Industrier, livsmedelsindustri etc. Dessa skall enbart ses som rekommendationer då de i många fall skapar ogynnsamma förutsättningar för omgivningsseendet samt för energieffektiva anläggningar.

SS-EN 1838, SS-EN 50171, SS-EN 50172, och SS-EN 60598-2-22 omfattar nödbelysning.

Planeringsguide

Belysningsbranschen tillsammans med Arbetsmiljöverket och Statens Energimyndighet har utarbetat en planeringsguide för ljusplanering inomhus "Ljus och rum" (Ljuskultur 2003). Publikationen innehåller bl.a. tabellverk för belysningskrav men även en beskrivning av planeringsprocessen för en bra ljusmiljö.

Bilaga B

Ljuskällor

En ljuskälla är den komponent som i en armatur genererar ljus. Ljuskällor kan bygga på olika ljusaltringsprinciper, och beroende på vilken ljusalstringsprincip de bygger på kan delas upp i följande kategorier:

- Glödljuskällor,
- Urladdningsljuskällor,
- Luminiscensljuskällor,
- Induktionsljuskällor, och
- Plasmaljus.

I denna bilaga har vi sammanställt en kort beskrivning av tekniska parametrar av de ljuskällor som är vanligt förekommande i publika lokaler inomhus. För att kunna välja en lämplig ljuskälla både ur ett estetiskt och energieffektivt perspektiv krävs kunskap om de skilda egenskaperna dessa ljuskällor har.

Förutom att beakta de tekniska egenskaperna hos ljuskällan skall även ljuskällans livslängd beaktas i belysningsplaneringen. Om t.ex. armaturens placering gör det svårt att underhålla och byta ljuskällan bör en ljuskälla med lång livslängd väljas. Ljuskällans livslängd påverkar både underhåll av belysningsystemet och den totala ekonomin, men inverkar också på miljöpåverkan från nyproduktionen av ljuskällor och deras skrotning.

B.1 Glödljuskällor

Glödljuskällor alstrar ljuset genom en glödtråd.

B.1.1 Glödlampa

Ljusflödet och ljusfärgen beror på glödtrådens temperatur: ju högre temperatur desto vitare ljus. Generellt har ändå glödlampan ett varmt och behagligt ljus som för oss känns naturligt. Glödlampans ljus har likheter med elden vilket skapar det naturliga förhållningssättet. Ljuskvaliteten är god då färgåtergivningen är utmärkt.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	15, 25, 40, 60, 75
Ljusutbyte	[lm/W]	10 – 15
Färgtemperatur	[K]	2700
Färgåtergivning	[Ra]	100
Livslängd	[h]	1000
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Glödlampan används mestadels i privata miljöer men kan även användas i offentliga lokaler men då mer sparsamt. Trots den låga energieffektiviteten kan det vara bifogat att använda glödlampor på platser där det är viktigt att uppnå en bra färgåtergivning. Det

kvalitativa ljuset passar som samlingsljus över exempelvis matbord, i receptioner, konferensrum och även som arbetsplatsbelysning.

Miljöinformation

Glödlampors glas innehåller bly vilket påverkar miljön vid skrotning.

B.1.2 Halogen 230V

Halogenljuskällor liknar glödlampan i många avseenden. Halogenljuskällan är något mindre än glödlampan, den har längre livslängd och något högre ljusutbyte. Ljuset är något vitare men med samma goda färgåtergivning. Även i detta fall omvandlas en stor del av energin som man tillför ljuskällan till värme. Dessa ljuskällor finns både med och utan reflektor. Vissa 230V halogenljuskällor kan ersätta glödlampor då det finns sorter som är försedda med samma sockel som glödlampor (E 27).

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	20, 40, 50, 100, 150
Ljusutbyte	[lm/W]	15 - 25
Färgtemperatur	[K]	3000
Färgåtergivning	[Ra]	100
Livslängd	[h]	2000 - 5000
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Används ofta i armaturer som exempelvis spotlights eller interiörarmaturer i allmänhet. Halogen med E27 sockel kan användas i många olika armaturtyper. Ljuskällan används i miljöer där det är stora krav på god färgåtergivning och där ett klarare och vitare ljus önskas.

Miljöinformation

Halogener är farligt avfall och bör omhändertas med försiktighet.

B.1.3 Halogen 12V

Halogen 12V (lågvoltsalogen) är en mindre ljuskälla jämfört med halogen 230V, men besitter samma hög ljusqualität, dvs. klart ljus med god färgåtergivning. Dessa ljuskällor har relativt lång livslängd. Lågvoltsalogen finns både med och utan reflektor, och ljuskällorna kräver transformatorer som omvandlar spänningen från 230V till 12V.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	10, 20, 35, 50
Ljusutbyte	[lm/W]	15 - 25
Färgtemperatur	[K]	3000
Färgåtergivning	[Ra]	100
Livslängd	[h]	1500 - 5000
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Lågvoltshalogen används ofta i nätta och små armaturer, såsom strålkastare och downlights, vilka används ofta som punktbelysning i restauranger, badrum, entréer etc.

Miljöinformation

Halogener är farligt avfall och bör omhändertas med försiktighet.

B.2 Urladdningsljuskällor

Urladdningsljuskällor alstrar ljus genom en urladdningsprocess som kommer igång när fria elektroder sätts i rörelse av spänning genom ljuskällan.

B.2.4 Metallhalogen

Metallhalogen är en ljuskälla som ger ett klart, vitt och gnistrande ljus. Ljuskällan ger ett ljus med god färgåtergivning och färgtemperaturen går få både i varmvit och kallvit. Ljuskällans färgtemperatur kan förändras under livslängden och dessutom kan spänningsvariationer i ljuskällan skapa avvikelser i färgtemperaturen. Den har en relativt lång livslängd och är energieffektiv. Alla metallhalogenlampor har dock en viss ljusnedgång under sin livslängd, som är störst i början.

Ljuskällan avger relativt stor mängd UV - ljus och armaturer måste därför förses med skyddsglas för att undvika blekning av ömtåliga material.

Ljuskällan kräver ett drivdon som tänder och driver ljuskällan. I dag drivs de olika metallhalogenljuskällor med olika driftdon, både konventionella och elektroniska. Elektroniska drivdon, skapar förutsättningar för att ljuskällan skall ha längre livslängd och en bibehållen ljuskvalité där färgtemperaturen är mer stabil under hela ljuskällans livslängd. Dessutom är elektroniska driftdon mer energieffektiva än konventionella driftdon.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	20, 35, 70, 150
Ljusutbyte	[lm/W]	70 - 85
Färgtemperatur	[K]	3000, 4200
Färgåtergivning	[Ra]	85 - >95
Livslängd	[h]	6000 - 10000
Ljusreglering	[-]	Inte möjlig

Användningsområden

Metallhalogen används både som punktbelysning och allmänbelysning. De finns ofta i strålkastare och downlights med avancerad ljusoptik. Metallhalogen används ofta när man skall framhäva ytor och objekt i en lokal. Exempelvis är det vanligt att butiker använder denna ljuskälla för att med kvalitativ punktbelysning visa affärens produkter i skyltfönstren och i butiken. Den goda färgåtergivning och det klara ljuset gör metallhalogen till en mycket attraktiv ljuskälla främst i kommersiella lokaler.

Miljöinformation

Ljuskällan innehåller kvicksilver vilket kräver en fackmannamässig skrotning.

B.2.5 Färgförbättrat högtrycksnatrium, White Son

Högtrycksnatrium som ljuskälla har utvecklats mycket de senaste åren. Ljuskällan ger ett något gulvitt ljus men har ändå en varm framtoning. Den har relativt god färgåtergivning och den varma karaktären på ljuset förstärker objekt i färger med röd ton. Den har relativt lång livslängd och högre energieffektivitet än glödlampan. Ljuskällan är dock mindre energieffektiv än metallhalogen då det höga trycket inuti kolven påverkar ljuskällans ljusutbyte och livslängd.

I likhet med metallhalogen avger även denna ljuskälla UV - ljus och armaturer måste därför förses med skyddsglas för att undvika blekning av ömtåliga material.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	35, 50, 100
Ljusutbyte	[lm/W]	40 - 50
Färgtemperatur	[K]	2500
Färgåtergivning	[Ra]	>80
Livslängd	[h]	10000
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Färgförbättrat högtrycksnatrium passar bra för att belysa röda objekt eller produkter med varm ton. Inom livsmedelshandeln används ljuskällan exempelvis för att framhäva tomater och äpplen vilka får en extra intensiv kulör i natriumljuset.

Miljöinformation

Ljuskällan innehåller kvicksilver vilket kräver en fackmannamässig skrotning.

B.2.6 Lysrör T8 (T26)

Lysröret är en av de vanligaste ljuskällorna inomhus. De har en stor lysande yta som skapar ett mjukt och diffust ljus. Färgtemperaturen varierar från varmvit (2700K) till dagsljuslysrör(6500K). Lysrörets livslängd beror delvis på om ljuskällan drivs av konventionella eller högfrekventa don. Lysrören finns även i ett utförande med mycket lång livslängd. Dock är priset och kvicksilverhalten på detta lysrör något högre.

T8 (T26) lysröret har en diameter på 26 mm och kan drivas med både konventionella och elektroniska drivdon, så kallade högfrekventa don (HF don). Inomhus är elektroniska don att föredra eftersom de har flera fördelar:

- den är mindre än de konventionella driftdon,
- förlänger ljuskällans livslängd,
- tänder lysrören snabbare,
- minimerar det obehagliga flimret
- ljusutbytet är högre, och
- de elektromagnetiska fälten är lägre.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	18, 36, 58
Ljusutbyte	[lm/W]	75 - 90
Färgtemperatur	[K]	2700, 3000, 4000, 6500
Färgåtergivning	[Ra]	85 - 95
Livslängd	[h]	20000 HF don 15000 konventionellt don
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Det mjuka ljuset från ljuskällorna passar bra när man skall belysa stora ytor med ett jämnt ljus utan hårda skuggor och skarpa reflexer. Dessa ljuskällor används ofta för att skapa allmänljus i kontor, sjukhus, handel, sporthallar etc.

Miljöinformation

Kviksilver, bly, koppar och zink i lysrören gör dem till farligt avfall som bör omhändertas med försiktighet.

B.2.7 Lysrör T5 (T16)

T5 lysröret är smalare än T8 lysröret och är mer energieffektivt. Lysröret har en något mindre lysande yta än T8 röret men skapar ändå ett mjukt ljus. T5 - röret används allt oftare istället för lysröret T8, men i kallare inomhusmiljöer såsom kylrum bör man dock använda T8 lysrör då de tål mer kyla än T5 röret.

Det finns en mängd olika effekter och färgtemperaturer att välja bland. T5 lysrör finns i två olika sorter:

- *High Efficiency* som är en mer energieffektivt lysrör sort ljusutbytet ligger mellan 90 till 100 lm/W; och
- *High Output*, vilket är lysrör med högre effekter. Ljusutbyte ligger mellan 80 till 90 lm/W.

T5 (T16) lysröret har en diameter på 16 mm, som möjliggör användning av mindre armaturer. T5 lysröret kan endast styras med elektroniska drivdon (HF don).

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	14, 21, 28, 35
Ljusutbyte	[lm/W]	90 - 100
Färgtemperatur	[K]	2700, 3000, 4000, 6500
Färgåtergivning	[Ra]	> 80
Livslängd	[h]	20000
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Används i lokaler där långa livslängder krävs samt en jämn och diffus belysning, exempelvis sportanläggningar, industrier, kommunikationsytor, sjukhus, kontor, badrum

etc. Används även i platsarmaturer och i takarmaturer, infällda eller utanpåliggande.

Miljöinformation

Innehåller bly, zink, koppar och kvicksilver som är farligt avfall och bör omhändertas med försiktighet.

B.2.8 Kompaktlysrör

Kompaktlysrör har liknande egenskaper som det raka lysröret. Kompakta lysrörsljuskällor har flera rör på en och samma sockel. Detta möjliggör mindre och mer flexibla armaturer. Det finns många olika variationer och storlekar. Även kompaktlysrören ger ett mjukt ljus och de finns i olika färgtemperaturer.

Kompaktlysrör kan styras med både HF don eller konventionellt don. Om kompaktlysröret skall styras med konventionellt don eller elektroniskt syns på antalet stift i sockeln: 2 stift krävs vid konventionell drift och 4 stift vid HF drift. Kompaktlysrören är också reglerbara men för detta krävs speciella HF don även känd som HF dimdon.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	13, 18, 26, 32, 42, 55
Ljusutbyte	[lm/W]	50 – 80
Färgtemperatur	[K]	2700, 3000, 4000
Färgåtergivning	[Ra]	> 80
Livslängd	[h]	10000 (konventionell drift) 15000 (HF drift)
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

Kompaktlysrör används ofta i downlights i entréer, korridorer eller andra kommunikationsytor. Används även i väggarmaturer, pendlar och skrivbordsarmaturer. Dessa ljuskällor passar där man kräver lång livslängd, mindre energiförbrukning, mer ljus och minskad värme.

Miljöinformation

Innehåller bly, zink, koppar och kvicksilver som är farligt avfall.

B.2.9 Lysrörslampa/lågenergilampa

Dessa ljuskällor är kompaktlysrör försedda med E27 sockel, dvs. den vanliga sockeln som hos en glödlampa. Till skillnad från de övriga kompaktlysrören har lågenergilampan driftdonet integrerat i ljuskällan, mellan sockeln och lysröret. Det faktum att ljuskällan är utrustad med en vanlig sockel gör att denna lampa kan ersätta glödlampan på många platser, men långt ifrån alla eftersom ljusegenskaperna skiljer sig markant. Till skillnad från glödlampan har lågenergilampan sämre färgåtergivning vilket gör den olämplig att placera i miljöer där naturlig färgåtergivning är nödvändig. Den bör exempelvis undvikas för placering över matbord, eller vid arbetsplatser där man kontrollerar kulörer.

Lågenergilampans konstruktion är inte särskilt attraktiv i sig och upplevs ofta som allt för ljus och därför bör man undvika att använda dessa i armaturer där ljuskällan är synlig.

Ljusreglering fungerar inte då drivdonet är inbyggt i ljuskällan.

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	5, 8, 11 , 14
Ljusutbyte	[lm/W]	50 - 70
Färgtemperatur	[K]	2700
Färgåtergivning	[Ra]	80
Livslängd	[h]	10000
Ljusreglering	[-]	Inte möjlig

Användningsområden

Dessa ljuskällor passar för tillämpningar där krävs en lång livslängd, lägre energiförbrukning, mer ljus och minskad värmeutveckling. Lampan kan exempelvis användas som arbetsplatsbelysning och blombelysning. Kompaktlysrör fungerar även i armaturer där ljuskällan är dold.

Miljöinformation

Innehåller bly, zink, koppar och kvicksilver som är farligt avfall och bör omhändertas med försiktighet.

B.3 Luminiscensljuskällor

Ljusalstringsprincipen i dessa ljuskällor kan liknas vid urladdningsprincipen där elektronernas rörelse frigör energi i form av ljus.

B.3.10 Lysdioder, LED

LED ljuskällan är mycket liten. För att sprida ljuset på olika sätt används olika typer av linser. Dioderna finns i olika färgutföranden men de vanligaste är de varmvita, kallvita, röda, gröna eller blå. Genom att blanda olidfärgade dioder kan flera ljusfärger skapas. LED finns i vitt, gult och i grundfärgerna rött, grönt, blått (RGB).

Tekniska fakta		
Effekt	[W]	0,25 1, 3
Ljusutbyte	[lm/W]	50
Färgtemperatur	[K]	3000, 4200
Färgåtergivning	[Ra]	50 – 95
Livslängd	[h]	50000
Ljusreglering	[-]	Möjlig

Användningsområden

De små ljuskällorna används även till punktbelysning eller i orienteringsarmaturer. Armaturer bestyckade med endast en diod och utan spridningslins ger en smalstrålande ljusbild som passar väl in för att belysa mindre föremål. Lysdioder kan även monteras i större kluster och förses med spridningslinser för att belysa större arkitektoniska element som byggnader och konstverk. Dioder används även i nödbelysning och trafikbelysning.

Miljöinformation

Lysdioden innehåller små mängder av metaller och material med ändliga resurser eller som är farliga för organismer att förtära; exempelvis gallium, arsenik, och föreningarna kiselkarbid och zinkselenid.

Bilaga C

Armaturer

Det finns en mängd olika typer av armaturer på marknaden anpassade för olika funktioner. Valet av en lämplig armatur som uppfyller våra krav på önskad funktion underlättas genom kunskap om armaturers olika egenskaper. Nedan följer en kortfattad beskrivning om vad som är viktigt att beakta vid val av armaturer. Därefter följer exempel på de vanligaste armaturtyper.

Bländfrihet: Bländning orsakas av stora kontraster i ljuset. Olika individer är olika känsliga för bländning. Därför är viktigt att i så stor utsträckning som möjligt välja armaturer som är bländfria för att minska risken med synnedsättande eller irriterande bländning. Armaturer med synliga ljuskällor, eller armaturer som är felplacerade kan lättare orsaka bländning. Därför är det viktigt att man beaktar armaturens utformning och funktion innan man bestämmer dess placering. Huruvida en armatur är bländande bör i första hand utvärderas visuellt och individuellt då det är en subjektiv upplevelse. Armaturens bländningsgrad redovisas genom ett bländtal; ju lägre bländtal desto mindre bländande armatur.

Optik, reflektorer och bländskydd: För att uppnå en hög verkningsgrad krävs armaturer med goda materialegenskaper och en ljus teknisk *optik*. Med effektiv ljusbehandling kan man minska antalet armaturer och därmed även den installerade effekten.

Olika utformade *reflektorer* ger olika ljusbilder: symmetriska, asymmetriska, smalstrålande eller bredstrålande. Ljuskällans placering i förhållande till reflektorn bidrar till olika spridningsvinklar:

- ju närmre reflektorns ”botten” desto vidare spridningsvinkel;
- ju längre ifrån reflektorns botten desto mindre spridningsvinkel.

Reflektorerna är ofta utförda i blank eller matt anodiserad aluminium. Den blanka reflektorn kallas även för ”darklight reflektor” då reflektorn upplevs som mörk även då ljuset flödar ut från armaturen. På närmre håll kan man se att ljuskällan speglar sig i reflektorn och skapar en ”hotspot” som för en del kan upplevas som störande. Hur påtaglig och stark denna ljuspunkt blir beror på ljuskällans storlek, effekt och avstånd till reflektorn. Den matta reflektorn ger ett något jämnare och diffusare ljus än armaturer med blank reflektor. Reflektorns mer diffusa ljus ger en större upplevelse av vart ljuset kommer ifrån. Reflektorn upplevs som relativt ljus men sällan bländande då inga skarpa ”hotspots” uppstår.

Bländskydd finns i olika varianter beroende på vart armaturen skall placeras och vilka bländningsvinklar som är aktuella: vertikalt, horisontellt, radiellt eller bikakeraster. (Vertikalt bländskydd monteras vinkelrät mot ljuskällan och minskar bländningen i armaturens längdriktning (horisontellt). Horisontellt bländskydd minskar risken för bländning vertikalt. Bikakeraster används i armaturer med rotationssymmetrisk optik då det minimerar bländning åt alla håll. Bländskyddet försämrar dock armaturens verkningsgrad.

Det finns fler användbara bländskydd som exempelvis: bländskyddsklaffar och avbländningsringar som minskar bländningsvinkeln.

Ljusspridning: Med olika ljusoptik i armaturer kan man få önskad ljusfördelning. Vissa ytor och platser kräver bredstrålande ljusbilder medan andra kräver smalstrålande. Det är ofta kombinationen av dessa som gör belysningen dynamisk och variationsrik. Arbetsplatser kräver ofta en jämn belysning som kan både vara asymmetrisk eller symmetrisk. Affärer som skall exponera sina produkter behöver bland annat punktbelysning som med en fokuserad och smalstrålande ljusbild framhäver ett mindre område. Armaturer kan även fördela ljuset direkt eller indirekt.

Verkningsgrad: Armaturens verkningsgrad är viktig för att få ut så mycket ljus som möjligt från armaturen. Ju mer ljus som kommer ut från armaturen desto bättre verkningsgrad och därmed högre energieffektivitet. Många gånger bestyckas armaturer med höga effekter vars ljus sedan stängs inne av armaturkonstruktionen. Då produceras energi som inte utnyttjas vilket belastar miljön i onödan.

Kapslingsklass: Är en klassifikation av hur bra inkapslingen av teknisk utrustning står emot och skyddar mot damm, vatten, inträngande föremål samt ofrivillig beröring. Klassifikationen har formen IP (Ingress protection rating) följt av två siffror. Den första siffran beskriver hur bra skyddad armaturen är mot damm, inträngande objekt och beröring. Den andra siffran visar armaturens skydd mot vatten; ju högre siffra, desto bättre skydd.

C.1 Strålkastare

Mindre strålkastare som kan användas i privata, kommersiella och offentliga miljöer kan vara monterade på både skena eller i punktuttag. Dessa armaturer har ofta tekniska funktioner där man kan reglera ljusbild och ljusstyrka. Ljusfördelningen bestäms bland annat av den ljuskällan man väljer. Om man väljer reflektorljuskällor har dessa redan en optik som ger olika stora spridningsvinklar. I vissa armaturer kan man reglera ljusbilden på själva armaturen.

Strålkastarna är ofta flexibla då det finns en mängd olika tillbehör: *färgfilter*, *gobos* och diverse *bländskydd*. Flexibiliteten beror även på att de ofta är riktnings- och vridbara.

Färgfilter: Färgfilter kan både färga in ljuset distinkt i diverse ljusfärger eller enbart göra det kall- eller varmtonat.

Gobo: Med gobos kan ljusmönster skapas. Det finns en mängd olika mönster man kan projicera på vägg-, tak- eller golvytor. Man kan även specialtillverka gobos för att få önskat mönster eller text.

Bländskydd: Bländskydd finns i olika varianter beroende på vart armaturen skall placeras och vilka bländningsvinklar som är aktuella. Vanliga bländskydd till strålkastare är bikakeraster, kepsar, bländskyddsklaffar samt avbländningsringar som minskar bländningsvinkeln.

Reflektor: Olika utformade reflektorer ger olika ljusbilder: symmetriska, asymmetriska, smalstrålande eller bredstrålande. Reflektorerna är ofta utförda i blank eller matt anodiserat aluminium. Beroende på ljuskällans placering i förhållande till reflektorn blir

ljusspridningen olika.

Användningsområden

Strålkastare används ofta för att accentuera objekt i både kommersiella och offentliga lokaler. Exempelvis i butiker med relativt låg ljusnivå kan strålkastarens ljus framhäva och synliggöra önskade produkter eller andra objekt i inredningen.

Strålkastare kan även användas för att färga in eller smycka en vägg med ljus och ljusmönster. Med gobos kan man exempelvis projicera ett företags varumärke.

Strålkastare är användbara i museum, konsthallar, kontor, handel, entréer etc.

Att tänka på

För mer flexibel belysning bör strålkastarna monteras på skena för att anpassa armaturernas placering i förhållande till rummets innehåll. Skenor kan fällas in i undertak eller monteras som utanpåliggande.

Ofta är dessa armaturtyper bestyckade med metallhalogen eller lågvoltshalogen. Det är viktigt att känna till att dessa ljuskällor avger relativt stor mängd värme. Med anpassad effekt och placering kan allt för stor värmebildning undvikas.

C.2 Downlights

Downlights kan både monteras infällt eller utanpåliggande i tak. Downlights benämns även som spotlights och har blivit mycket vanliga i både privata och offentliga miljöer. Downlights bestyckas ofta med kompaktlysrör, metallhalogen eller lågvoltshalogen.

Downlights kan både vara riktbara och fixerade. Det finns ofta en mängd olika tillbehör till dessa armaturer; bländskydd, dekortillbehör och filter.

Om man valt en armatur med en tydligt synlig ljuskälla är det extra viktigt med ett fullgott bländskydd. Det är dock fördelaktigt att välja en armatur som från början är så bländfri som möjligt för att slippa en hög kostnad för en mängd olika tillbehör.

I många fall kan downlights bestyckade med kompaktlysrör kompletteras med någon form av dekorskärm som räcker gott som bländskydd. Downlights bestyckade med metallhalogen, som är en mycket liten och ljusintensiv ljuskälla, bör placeras i högre tak eller på platser i rummet där bländning kan undvikas. Halogendownlights finns i lägre effekter och är inte lika ljusintensiva. Dessa är mindre bländande men istället mindre energieffektiva.

Användningsområden

Downlights kan fungera både som allmänljus eller som accentljus. Armaturer bestyckade med kompaktlysrör kan användas då man vill skapa ett jämnt allmänljus med mjuka gradienter i rummet. Ljuset från dessa passar även i offentliga lokaler där god synbarhet krävs. Exempelvis korridorer, entréer, köpcentra, kommunikationsytor etc.

Downlights bestyckade med metallhalogen kan användas där man vill ha ett klart och vitt ljus. Riktbara downlights kan man även rikta mot objekt och vertikala ytor. Det intensiva och klara ljuset kan vara till hjälp om man skall särskilja något i rummet. Exempelvis kan dörrar, ingångar, objekt och skyltar förtydligas i kommersiella lokaler och offentliga

kommunikationsytor.

Downlights bestyckade med halogen är ofta användbara då man efterfrågar skilda spridningsvinklar. Dessa används i mindre skala när det kommer till offentliga rum då de ger mindre ljus och är mindre energieffektiva än ovanstående. Det kan vara värt att använda dessa armaturer i vissa fall då de lätt går att ljusreglera och deras goda ljuskvalité passar väl in i specifika rum. Exempelvis i kök där man äter mat och kräver att maten skall se naturlig ut utan färgförvrängningar. Halogen är även användbar i miljöer med lägre ljusnivå där små ljusmängder krävs för att accentuera objekt och ytor, exempelvis för accentuering av konstföremål på museer eller i utställningslokaler.

Att tänka på

Om downlights bestyckade med kompaktlysrör fälls in i ett tak nära ventilation finns det en risk att ljusflödet sjunker. Detta beror på att lysrör behöver en specifik temperatur för att ge maximalt ljusflöde. Om det blir för kallt runt armaturen sjunker ljusflödet och armaturen blir mindre energieffektiv.

Downlights bestyckade med metallhalogen kan inte ljusregleras. Halogendownlights är ca 3 gånger mindre energieffektiva än de bestyckade med kompaktlysrör eller metallhalogen.

Det är även viktigt att tänka på att downlights har olika infällningsmått. Man måste därför undersöka möjligheterna till infällning då det i vissa fall kan behöva synkroniseras med övriga installationer.

Om downlights placeras nära en vägg i önskan om ett jämt väggljus är det bra att veta att downlights oftast ger ett ojämnt och bågformat ljus. Vart ljusbågen hamnar på väggen beror på armaturens avstånd till väggen.

C.3 Wallwashers

Wallwashers kallas de takmonterade armaturer som ger ett jämnt asymmetriskt ljus över en väggyta. Den asymmetriska ljusoptiken är kännetecknande för dessa armaturer. Wallwashers kan både vara infällda, utanpåliggande eller i skenmontage. För att få den jämna ljusbilden bestyckas ofta dessa armaturer med kompaktlysrör eller raka lysrör som ger ett mer diffust ljus. Wallwashers bestyckade med mindre och mer kompakta ljuskällor kräver som oftast en spridningslins som diffuserar ljuset och sprider det jämnt över ytan. Bländskydd, vanligast i form av vertikala raster och kepsar, finns som tillbehör.

Användningsområden

Wallwashers kan användas i alla olika sorters rum för att öka upplevelsen av ljus och ljushet, dvs. hur ljus man uppfattar en yta. Ljus på vertikala ytor upplever vi starkare då de är vinkelräta mot vår normala synriktning. Wallwashers kan i många fall ersätta armaturer som enbart ger ett nedåtriktat ljus mot markytan. Belysta väggytor reflekterar ljuset och belyser markytan med ett indirekt ljus. I smala rum kan de ljusa vertikala ytorna vara tillräckliga för att skapa allmänljuset i rummet. I större rum kan det behövas en komplettering med ljus i mitten av rummet för att undvika ett allt för mörkt mittenparti. En kombination av olika belysningsprinciper det bästa för att man skall få ett flexibelt och estetiskt tilltalande rum.

Exempel på mer konkreta användningsområden är smala och trånga entréer eller korridorer där man vill undvika nedpendlade eller utstickande armaturer. Wallwashers används med fördel i kontor eller kommersiella lokaler där man vill undvika störande reflexer i bildskärmar eller accentuera produkter på vägghyllor. Wallwashers kan även användas i offentliga lokaler där stora orienteringstavlor eller liknande föremål behövs framhävas med ett jämnt ljus. Ett jämnare ljus skapar bättre förutsättningar för detaljseendet att tyda text och andra mindre detaljer.

Att tänka på

Armaturståndet från väggen bestäms av armaturens utformning och väggens höjd; ju högre vägg desto längre avstånd från väggen. En ungefärlig tumregel kan vara att avståndet från vägg skall vara ca 1/3 del av vägghöjden.

C.4 Plafonder

Plafond kallas de platta takarmaturer som idag används flitigt för att skapa allmänljus i ett rum. Dessa armaturer som vanligtvis monteras i rummets mitt ger ett diffust ljus åt rummets golv, tak och väggar. Armaturens placering och dess utformning skapar ofta ett ljus som suddar ut rummets kontraster och form vilket frambringar en känsla av ett platt och onyanserat rum.

Armaturen monteras utanpåliggande i tak och är ofta konstruerad i diffusa material som opaliserat glas eller vita PVC plaster.

Användningsområden

Plafonder kan användas i trapphus och korridorer där det krävs ett jämnt och diffust ljus på alla rummets ytor.

Att tänka på

Plafonder bör inte användas i rum där man vill öka rumskänslan. För att skapa en större variation i rummet bör plafonder användas i kombination med andra armaturer som ger ett mer distinkt och riktat accentljus. Utan variation och skuggor upplevs rummet och dess objekt som otydliga.

C.5 Väggarmaturer

Det finns olika sorter väggarmaturer som med dess egenskaper kan ha olika funktioner. De kan vara dekorativa element som enbart lyser upp sig själva, men de kan även ge ett mer starkt och riktat accentljus som skapar ljusmönster på väggytan. De mest vanliga är de armaturer som sprider ljuset och skapar ett allmänljus åt rummets alla ytor. Valet av typen av väggarmaturen beror på den önskade effekten och funktionen.

Vanligtvis är väggarmaturerna konstruerade i plåt, glas eller plast. De ger antingen ett riktat ljus eller ett diffust ljus ut i hela rummet.

Användningsområden

Väggarmaturer kan skapa en portal känsla om de placeras parallellt exempelvis i entréer, korridorer eller trapphus. Upprepande placeringar kan även förbättra orienterbarheten.

Väggarmaturer kan användas för att belysa ett vackert tak och öka allmänljuset i rummet. Takbelysningen måste i detta fall anpassas till den övriga ljusnivån i rummet annars finns en risk att taket känns allt för påtagligt och tungt.

Att tänka på

Monteringen av väggarmaturerna bör ske på en sådan höjd att bländning minimeras för de förbipasserande. I armaturkatalogerna redogörs ofta den rekommenderade monteringshöjden. Vid montage bör man ta hänsyn till elinstallationen och hur man på bästa sätt får en snyggt utförd installation. Synliga eller löst sittande kablar kan störa armaturens estetiska utförande.

C.6 Pendlar

Pendlar är armaturer som är nedpendlade. På marknaden finns det många olika armaturer med varierande bestyckningar och utseenden. Pendlar finns som dekorationsbelysning, men även som mer funktionell arbetsbelysning. Dessa armaturer skapar ofta ett samlingsljus kring bord eller andra samlingsytor. Att vistas i eller runt ett "samlingsljus" upplevs ofta trivsamt då skalan blir mer intim och påtaglig än om man vistas i ett rum med belysning högt ovanifrån.

Armaturerna konstrueras i material som begränsar ljusspridningen och riktar ljuset neråt eller i mer transparenta material som diffuserar ljuset ut i rummet.

Användningsområden

Pendlar kan exempelvis användas som dekorativa element i entréer eller i andra kommunikationsytor. Nedpendlade armaturers samlingsljus passar bra över bord i konferensrum, fikarum, matsalar, väntrum, receptioner och kassor.

C.7 Platsarmaturer

Under denna rubrik innefattas platsarmaturer som skrivbordarmaturer och nedpendlade armaturer över arbetsplatsen. Dessa armaturer som möjliggör god synbarhet vid arbete vare sig det är framför dataskärm eller inte.

Armaturerna är försedda med en optik som ger ett symmetrisk eller asymmetriskt ljus. Skrivbordsarmaturer med *asymmetrisk* ljusfördelning har fördelen att man kan täcka en stor del av arbetsplanet med ljus utan att behöva reglera eller flytta skrivbordsarmaturen. Då är det mindre risk att armaturen är i vägen. Den *symmetriska* ljusfördelningen är mer traditionell och kräver större reglering för önskad ljusspridning då den inte täcker in en så stor del av arbetsplanet.

Nedpendlad skrivbordsarmatur bör placeras på så sätt att inte störande reflexer uppkommer i dataskärm eller arbetsplan. Nedpendlade arbetsplatsarmaturer är ofta försedda med bländskydd för att skapa en så ergonomisk och bländfri belysning som möjligt.

Platsarmaturer är ofta riktbara för att man skall kunna rikta ljuset dit man vill. Det finns även typer vilka kan regleras i ljusstyrka.

Användningsområden

Den främsta användningen för dessa armaturer är främst placeringen över eller på arbetsplatser.

Att tänka på

Det är viktigt att armaturen placeras så att blänk och reflexer inte uppkommer i synfältet eller i bildskärmen. Det är även viktigt att kunna ljusreglera platsarmaturerna efter individuella behov.