



Udskrift fra WWW.LYSVIDEN.DK

Dette materiale stammer fra www.lysviden.dk, som indeholder viden om lys og belysning. Materialet må kun anvendes til undervisningsbrug.

Lysviden.dk er udarbejdet af Dansk Center for Lys, Arkitektskolen Århus, Designskolen Kolding i samarbejde med DTU Byg og Kunstakademiets Arkitektskole

Projektet er støttet af Sophus Fonden, Center for Energibesparelser, Velux Danmark A/S og Realdania

INTRODUKTION

Belysningens andel af det samlede elforbrug er stor. Med et tilstrækkeligt dagslys vil den kunstige belysning kunne undværes en stor del af årets lyse timer.

For skoler udgør el-forbruget for belysning op til 50 % af det samlede elforbrug og for kontorer og administration op til 40 % (2011). Men muligheden for at nedbringe energiforbruget til belysning er også stort.

Da der er tæt samspil mellem [dagslys](#), [kunstlys](#) og el-forbrug, spiller en reduktion af [drifttiden](#) vha. optimal udnyttelse af dagslyset en væsentlig rolle for energirigtig belysning. Derfor er en [lysberegning](#) en obligatorisk del af [belysningsplanlægningen](#).

Det årlige el-forbrug i et belysningsanlæg afhænger med lige stor vægt af det installerede [effektbehov](#) (W/m^2) og belysningens driftstid. [Bygningsreglementets](#) krav til en bygnings samlede årlige energiramme ($kWh/m^2/år$) er således et godt supplement til det traditionelle fokus på installeret effekt (W/m^2).

Belysningens drifttid kan ofte reduceres uden af det medfører forringelser, mens en tilsvarende reduktion af det installerede effektbehov stiller større krav. Bygningsreglementets krav til energibehov betyder, at anvendelsen af de mange el-besparende teknologier inden for belysning, må udbredes.

Dagslyset spiller en central rolle

Med et tilstrækkeligt og funktionelt dagslys i et lokale vil den kunstige belysning kunne undværes en stor del af årets lyse timer, og man vil kunne opnå en betydelig energibesparelse. I afsnittet om [bygningens udformning og omgivelser](#) kan du læse mere om, hvad der skal til for at opnå gode dagslysforhold.

Målet er en reduktion på 75 %

Hvis det politiske mål om en reduktion på 75 % af nye bygningers energiforbrug skal nås i 2020, er der behov for nye teknologier, som ikke findes på markedet i dag. Alle led fra effektiviteten af [lyskilder](#) og [armaturer](#), dagslysoptimering, [dagslysstyring](#) samt behovsstyring af belysningen skal optimeres. Derudover er der en række bygningsmæssige forhold, som direkte har indflydelse på effektiviteten og driftstiden for belysningsanlægget, og som nødvendigvis må tages i betragtning allerede på arkitektens tegnebord. Det gælder dagslysmængden, rummets dimensioner, bygningens orientering i forhold til verdenshjørner og eventuelle modstående bygninger samt vinduernes udformning, placering, [lystransmittans](#) og rengøringshyppighed.

Anlægsudgifter versus driftsudgifter

Når man skal vurdere et belysningsanlæg til et byggeri, er det ofte kun anlægsudgifterne, der indgår i de økonomiske overvejelser. Dette er imidlertid ikke hensigtsmæssigt, da det dyreste anlæg i indkøb meget vel kan vise sig at blive det billigste på lang sigt, fordi el-forbruget og drifttiden i et dyrt belysningsanlæg kan være meget lavere end i et billigt anlæg.

Anvendelse af elbesparende teknologi kan give større anlægsudgifter, men vil ofte medføre lavere driftsomkostninger. Derfor bør man altid lave en beregning af de årlige driftsomkostninger og vurdere de samlede omkostninger til både anlæg og drift af belysningsanlægget.

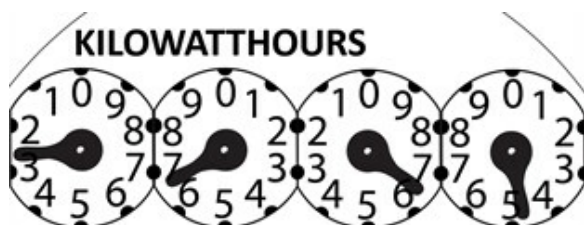


Figur: Silla Herbst.

INTRODUKTION

Den installerede effekt til belysning i et lokale eller en bygning giver information om, hvor energirigtigt belysningsanlægget er. Derudover kan værdien give en indikation om anlæggets faktiske elforbrug.

Ved vurdering af hvor energirigtig en belysning er, kan man dels beregne det installerede effektbehov pr. m^2 (W/m^2), dels beregne det årlige elforbrug til belysning under givne forudsætninger ($kWh/m^2/år$). Eftersom det årlige elforbrug i et belysningsanlæg afhænger med lige stor vægt af det installerede effektbehov og belysningens [driftstid](#), er det bedste at gøre både og. Hvis man anvender en form for [lysstyring](#), giver det i øvrigt ikke mening alene at vurdere W/m^2 .



Energiforbruget til belysning måles i kilowattimer (kWh). Figur: Silla Herbst.

Målet for et energirigtigt belysningsanlæg er både et lavt samlet elforbrug og god [belysningskvalitet](#). For at opnå energirigtige belysningsanlæg er det nødvendigt med omhyggelig planlægning, beregning og dokumentation, ligesom [valg af lyskilder](#) og [valg af armaturer](#) spiller en væsentlig rolle.

Regulering af belysningen, effektive lyskilder, effektive armaturer og [differentiering af belysningen](#) giver gode muligheder for at begrænse elforbruget og opnå god belysningskvalitet. Samtidig reduceres varmebelastningen fra belysningen.

Belysning til bestemte aktiviteter

Hvis der alene fokuseres på det installerede effektbehov (W/m^2), vil der være situationer, hvor det årlige elforbrug bliver større, end hvis man i stedet fokuserede på $kWh/m^2/år$.

Som eksempel kan man forestille sig et storrumskontor, hvor der installeres en belysning, som alene tager højde for det arbejde, der udføres af kontorpersonalet i dagtimerne. Denne belysning er tændt i dagtimerne og om natten i det tidsrum, hvor der gøres rent. Hvis belysningen suppleres med ekstra armaturer til rengøring, som kræver mindre lys, vil det installerede effektbehov stige, men elforbruget falde.

EFFEKTOPTAG

Selvom energibestemmelserne i bygningsreglementet, som gælder for nybyggeri og større ombygninger, alene har fokus på energiforbruget, vil der ofte blive stillet krav til det installerede effektoptag til belysning.

Det installerede effektoptag til belysning udtrykkes i W/m². Der er flere forhold, der er afgørende for hvor stort effektoptaget er. Et lavt effektoptag kan opnås vha.:

- Lyskilder med højt [lysudbytte](#) (lm/W)
- Effektive [forkoblinger](#) i armaturerne
- Høj [armaturvirkningsgrad](#)
- Passende [lysfordeling](#)
- Lyse farver i rummene
- Høj [belysningsvirkningsgrad](#)
- Hensigtsmæssig armaturplacering
- [Differentieret belysning](#)
- God [vedligeholdelse](#) og rengøring

Typiske værdier

Det installerede effektoptag til belysning varierer og afhænger typisk af lokalets anvendelse, dimensioner og mængden af dagslys. Tabellerne herunder indeholder typiske værdier for effektoptag og energiforbrug.

	Eksisterende anlæg	Nyt energirigtigt belysningsanlæg
Gang uden dagslys	9 W/m ²	3,5 W/m ²
Kontor (20 m ²)	12 W/m ²	7 W/m ²
Kontor (200 m ²)	10 W/m ²	5 W/m ²
Undervisningslokale	15 W/m ²	7 W/m ²

Tabellen indeholder typiske værdier for installeret effektbehov til belysning i forskellige typer rum.

	Eksisterende anlæg	Nyt energirigtigt belysningsanlæg (med dagslysstyring)
Gang uden dagslys	16 kWh/m ² /år	7 kWh/m ² /år
Kontor (200 m ²)	20 kWh/m ² /år	6 kWh/m ² /år
Undervisningslokale	25 kWh/m ² /år	10 kWh/m ² /år

Tabellen indeholder typiske værdier for elforbrug til belysning i forskellige typer rum.



Gangbelysning før (tv) og efter (th) installation af ny og mere energieffektiv belysning. Foto: Thorn.

DRIFTTID

Drifttiden er afgørende for det samlede energiforbrug og kan nedbringes på flere måder. Kodeordet er behovstyring.

Det årlige energibehov til belysning udtrykkes i kWh/m²/år.

Selv om [Bygningsreglementets energiramme](#) giver frihed til at prioritere f.eks. belysning, vil praksis ofte være at kravene kun kan overholdes, hvis det beregnede el-forbrug til belysning ikke udgør mere end ca. 10 kWh/m²/år, hvilket svarer til ca. 25 % af den samlede energiramme.

Også ved energimærkning af eksisterende bygninger er der fokus på at nedbringe elforbruget til belysning.



Figur: Silla Herbst.

Hvad er en kWh?

Forkortelsen kWh står for kilo-Watt-time, idet h anvendes for time (hour).

Hvis en lyskilde på 28 W er tændt i 1.000 timer, vil den forbruge energi svarende til

$$28 \text{ W} \cdot 1.000 \text{ timer} = 28.000 \text{ Watt-timer}$$

Hvis vi skal omregne 28.000 Wh (Watt-timer) til kilo-Watt-timer (kWh), må vi dividere med 1.000 (kilo betyder 1.000). En lyskilde på 28 Watt, der lyser i 1.000 timer vil derfor forbruge energi svarende til

$$28 \text{ W} \cdot 1.000 \text{ timer} / (1.000 \text{ Wh/kWh}) = 28 \text{ kWh.}$$

Reduktion af drifttiden

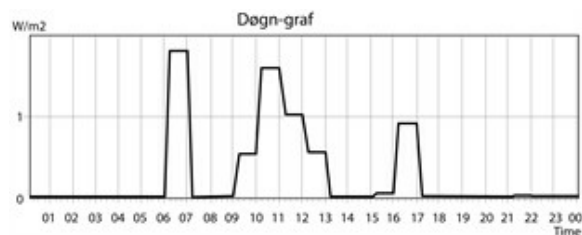
Belysningens drifttid kan reduceres på flere måder, som hver især er velegnede i forskellige typer rum og i forbindelse med forskellige formål. Kort driftstid kan opnås ved at:

- sikre gode [dagslysforhold](#)
- inddele belysningen i [zoner](#)
- placere arbejdspladser, hvor der er mest [dagslys](#)
- anvende manuel eller automatisk styring af [kunstlyset](#) efter mængden af dagslys, arbejdstid, benyttelse og brugsmønstre

Behovstyring

Mens valget af [lyskilder](#), [armaturer](#) og [belysningsform](#) er afgørende for størrelsen af W/m², er selve anvendelsen af belysningen og [valget af styringsstrategi](#) helt afgørende for, hvor stort elforbruget til belysning bliver.

For at sikre, at det resulterende elforbrug bliver så lavt som muligt, er det derfor vigtigt at anvende en behovstyring af belysning. Et eksempel kunne være i et stort kontor, hvor en optimal udnyttelse af dagslyset kræver en zoneinddeling af den kunstige belysning. Hvis zoneopdelingen f.eks. kræver installation af et ekstra armatur, vil det resultere i et større installeret effektbehov, men alligevel et lavere elforbrug.



Eksempel på døgngraf, som viser i hvilke perioder lyset er tændt.

BEREGNING AF EFFEKTBEHOV OG EL-FORBRUG

Ved planlægning af ny belysning eller renovering af eksisterende har vi behov for at beregne både installeret effekt og energiforbrug.

Når vi vil beregne det samlede installerede effekteftag (W/m^2) i et lokale, skal vi kende følgende:

- Lokalets størrelse i m^2 (A)
- Antal armaturer (n)
- Effekteftag inkl. evt. [forkoblingsudstyr](#) for armaturer i Watt (P)

Beregning af installeret effekt pr. kvadratmeter - eksempel:

I et lokale på $60 m^2$ består belysningen af 9 stk. armaturer med lysstofrør $1 \times 28 W$ samt 6 stk. spots med halogenreflektorlamper á $20 W$.

Effekteftag for lysrørsarmaturer og forkobling $P_1 = 28 W + 3 W = 31 W$

Effekteftag for halogenreflektorlamper og transformer $P_2 = 20 W + 3 W = 23 W$

Installeret effekt pr. kvadratmeter (q):

$$q = (n_1 \cdot P_1 + n_2 \cdot P_2 + \dots) / A$$
$$= (9 \cdot 31 W + 6 \cdot 23 W) / 60 m^2 = 6,95 W/m^2$$

Beregning af el-forbrug ($kWh/m^2/år$)

Når vi vil beregne det årlige el-forbrug til belysning i et lokale, skal vi kende følgende:

- Lokalets størrelse i m^2 (A)
- Antal armaturer (n)
- Effekteftag inkl. evt. forkoblingsudstyr for armaturer i Watt (P)
- Drifttiden for de forskellige armaturer i timer pr. år (t)

Beregning af elforbrug til belysning - eksempel:

I et lokale på $200 m^2$ består belysningen af 20 stk. armaturer med lysstofrør $1 \times 35 W$ samt 12 stk. downlights med kompaktlysstofrør $1 \times 18 W$.

Effekteftag for lysrørsarmaturer og forkobling; $P_1 = 31 W + 3 W = 34 W$

Effekteftag for kompaktlysstofrør og forkobling; $P_2 = 18 W + 2 W = 20 W$

Drifttid for lysrørsarmaturer; $t_1 = 2.500$ timer pr. år.

Drifttid for downlights; $t_2 = 3.000$ timer pr. år.

Årligt elforbrug (Q):

$$Q = (n_1 \cdot P_1 \cdot t_1 + n_2 \cdot P_2 \cdot t_2 + \dots) / A$$
$$= (20 \cdot 34 W \cdot 2.500 h + 12 \cdot 20 W \cdot 3.000 h) / (200 m^2 \cdot 1.000 Wh/kWh)$$
$$= 12,1 kWh/m^2/år$$

I beregningen herover er der ikke taget højde for eventuel [lysstyring](#), ligesom forbrug til eventuelle [arbejdslamper](#) ikke er medregnet.

Effekteftag gange drifttid

For belysningsanlæg med konstant effektbehov i drifttiden bliver beregningen meget simpel.

Her kan det årlige elforbrug pr. m^2 beregnes som

$$Q = t \cdot q / (1.000 \text{ Wh/kWh})$$

hvor

Q er elforbruget i kWh/m² pr. år

t er driftstiden i timer/år

q er effektbehovet i W/m²

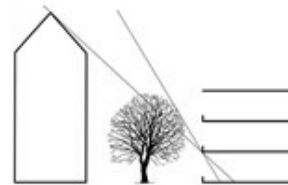


Både lysstofrør og damplamper er energieffektive lyskilder. Foto: Silla Herbst.

INTRODUKTION

I lokaler med vinduer er der store variationer i lysmængden og lyset aftager hurtigt, når man bevæger sig væk fra vinduerne. Både bygningens udformning og omgivelser har stor betydning for de samlede belysningsforhold og det resulterende indeklima.

Dagslysadgangen til de enkelte rum vil ofte være reduceret pga. nabobygninger eller skyggende træer. Derfor er det afgørende, at der allerede i den tidlige planlægnings- og skitseringsfase af et byggeprojekt tages hensyn til de faktiske omgivelser og disses betydning for dagslysadgangen.



El-forbruget til den [kunstige belysning](#) bestemmes på baggrund af data for belysningsanlægget, [dagslysfaktorer](#) mv. Derfor er det vigtigt at have kendskab til de forhold, der spiller ind på dagslysmængden i rum og bygninger.

Lys, vinduer og varme

I et lokale med [sidevinduer](#) falder dagslysmængden hurtigt, når man bevæger sig væk fra vinduet. Bagest i lokalet kan [belysningsstyrken](#) være 50-100 gange mindre end ved vinduet. Det er derfor en fordel at kunne tænde og slukke armaturerne ved vinduerne for sig selv, dvs. i en selvstændig [zone](#).

Lys, vinduer og varme er faktorer, der er nært forbundet, og som danner grundlaget for bygningens [indeklima](#) og energiforbrug. Alligevel er det almindeligt, at disse områder projekteres af forskellige faggrupper, som arbejder næsten uafhængigt af hinanden.

Sammen med dagslyset får man tilført [varme fra solstrålingen](#). Det kan betyde alt for høje rumtemperaturer, når solen skinner. Omvendt kan store vinduer give gener om vinteren i form af [varmetab og kuldestråling](#).

Vinduerne giver samtidig store [luminansforskelle](#) mellem flader tæt ved vinduerne og flader bagest i lokalet. For at afhjælpe dette kan man tænde den kunstige belysning.

En lang række faktorer har indflydelse på dette samspil mellem lys, varme og indeklima, f.eks. rumdybde, facadeudformning, byggematerialer, solafskærmning. Tværfagligt samarbejde er derfor nødvendigt, hvis man skal opnå et tilfredsstillende indeklima med den bedst mulige udnyttelse af energien.

Vinduer betyder lys og trivsel, men kan også give anledning til problemer med varme og [blænding](#). [Solafskærmning](#) er derfor som regel nødvendig til større vinduesflader.

Passiv solvarme

Når solstråling rammer et vindue, vil en stor del af strålerne passere gennem ruden og omdannes til varme. Denne varme betegnes 'passiv solvarme'. Med den rigtige disponering af bygningen, hvor der både tages hensyn til indeklimaforhold og bebyggelsesplan, vil det være muligt at opnå en energigevinst ved at udnytte den passive solvarme.

For at vurdere om bygningen får et positivt energitilskud som følge af den passive solvarme, er det nødvendigt at udføre beregninger af dagslysf forholdene og bygningens energiydelse. Beregningerne kan gennemføres på flere niveauer fra den helt skitse-mæssige vurdering af f.eks. den mest kritiske situation, til den meget detaljerede beregning af [dynamiske dagslysparametre](#). Ved de simpleste dagslysvurderinger udføres der normalt beregninger af, hvor meget lys der vil være i enkelte udvalgte punkter i rummet eller bygningen, når himlen er overskyet. Ved de mest detaljerede vurderinger foretages beregninger på baggrund af korttidsintervaller f.eks. 5 min. Beregningerne tager udgangspunkt i enten faktiske eller statistisk bestemte værdier for solindfaldets bidrag fra direkte og diffus stråling, som bestemmes på baggrund af vejrdata.

DAGSLYSFAKTOREN

Dagslysfaktoren er et mål for dagslysets bidrag til belysningen i et mindre område i et givet lokale.

Dagslysfaktoren (forkortes DF) angiver, hvor meget [dagslys](#) der vil være i et bestemt punkt på et plan i et rum, f.eks. på et arbejdsbord.

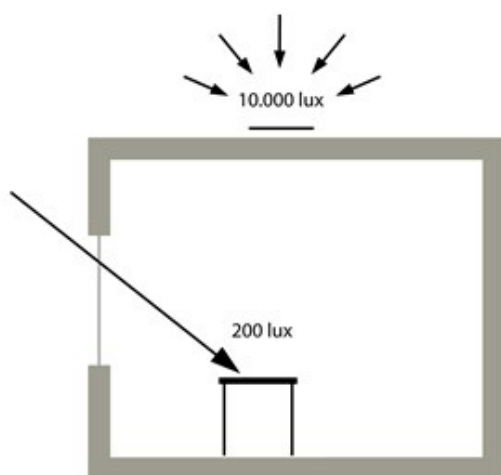
Dagslysfaktoren er defineret som forholdet mellem [belysningsstyrken](#) i punktet i planet og den samtidige belysningsstyrke udendørs på et vandret plan, belyst af en fuld himmelhalvkugle. Dagslysfaktoren angives i % bestemmes på baggrund af en jævnt overskyet himmel:

$$DF = E_{\text{inde}}/E_{\text{ude}} \cdot 100 \%$$

hvor

E_{inde} er belysningsstyrken målt indendørs i et punkt i et givet plan (lux)

E_{ude} er belysningsstyrken målt udendørs i vandret plan (lux)



Når belysningsstyrken er 10.000 lux i det fri og 200 lux i det punkt, hvor dagslysfaktoren ønskes bestemt, er dagslysfaktoren 2 %.

Dagslysfaktorer og dermed dagslysets bidrag til belysningsstyrken i et lokale aftager jo længere væk man kommer fra vinduet. Hvor stor en del af en bygning, der kan belyses med dagslys, afhænger især af bygningens form, orientering og dybde.

Tommelfingerregel:

Dagslysets bidrag aftager med kvadratet på afstanden til vinduet, dvs. afstanden i anden potens. Hvis vi kan måle ca. 100 lux fra dagslyset alene i ca. 2 meters afstand til vinduet, vil dagslysets bidrag være ca. 25 lux i 4 meters afstand

Jævnt overskyet himmel

I forbindelse med beregning af dagslysfaktorer skal beregninger foretages i forhold til en jævnt overskyet himmel som defineret af den internationale belysningskommission CIE (Commission Internationale de l'Eclairage, www.cie.co.at/).

Valide målinger af dagslysfaktorer forudsætter ligeledes en jævnt overskyet himmel. Målinger der bare skal give et fingerpeg om dagslysmængden kan evt. foretages når himlen bare er overskyet, men direkte sol eller andre ustabile dagslysforhold vil gøre målingerne så usikre, at de ikke kan anvendes.

BYGNINGENS OMGIVELSER

Dagslystilgangen i en bygning afhænger af bygningens omgivelser, herunder nabobygninger, træer mv. Det er afgørende, at der tages højde for dette allerede i skitseringsfasen.

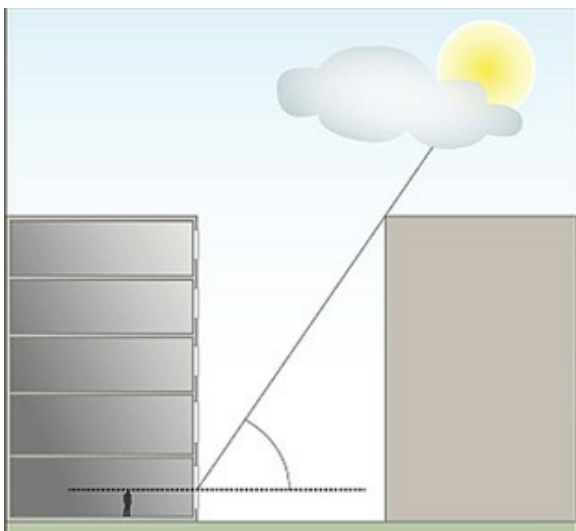
Bygningens omgivelser har stor betydning for de samlede belyningsforhold og det resulterende [indeklima](#). Høje [luminanser](#) i det fri kan give anledning til [blænding](#) fra vinduet og i nogle tilfælde et ønske om højere luminanser bagest i lokalet.



Udsigt til bygninger fra bibliotek, Helsinki. Foto. Morten Findstrøm.

Dagslystilgangen til de enkelte rum vil ofte være reduceret pga. nabobygninger eller skyggende træer. Derfor er det afgørende, at der allerede i den tidlige planlægnings- og skitseringsfase af et byggeprojekt tages hensyn til de faktiske omgivelser og disses betydning for dagslysadgangen. En enkel metode, der kan beskrive dagslystilgangen til facaden, og dermed implicit til rummet der ligger bag facaden, er ved hjælp af højdevinklen.

Når højdevinklen, målt fra midten af vinduet i et aktuelt rum til overkanten af den modstående bygning overstiger ca. 20°, forringes dagslystilgangen til bygningen betydeligt. (SBI-anvisning 219 Dagslys i rum og bygninger, Johnsen, K. & Christoffersen L., 2008)



Højdevinklen måles fra midten af vinduet i et aktuelt rum til overkanten af den modstående bygning. Figur: DCL.

Simuleringer af omgivelsernes indflydelse på dagslysforhold i rum og bygninger kan udføres i beregningsprogrammet Radiance/Ecotect.

Der findes desuden avancerede programmer til simuleringer af byplaner, som kan give et

uddybende billede af, hvor meget lys, der kommer til byrummet og de forskellige facader.

VINDUER OG KLIMASKÆRM

Både klimaskærm, glas og vinduernes udformning har betydning for dagslysadgangen i en bygning.

Væggens eller murens tykkelse har direkte betydning for dagslysforholdene i en bygning. Årsagen er, at karmens dybde og dermed væggens tykkelse er afgørende for, hvor stort et stykke af himlen, der kan ses fra rummet og dermed også for muligheden for at transmittere dagslys ind i rummet.

For eksempel kræver lavenergibygninger som regel højisolerede vægge, hvilket betyder en forøgelse af væggens tykkelse, som så får betydning for dagslysmængden.

Vindueshøjde og -bredde

Vinduets geometri og placering i facaden har betydning for, hvor meget og hvordan lyset kommer ind i rummet. Jo højere et vindue er placeret, desto dybere trænger lyset ind i rummet, og dermed opnås et mere ensartet belysningsniveau i rummet. Af energimæssige årsager anbefales det, at man ikke placerer vinduer under brystningshøjde, da disse ikke bidrager til belysningen på et arbejdsplan i almindelig bordhøjde og samtidig kan være med til at øge varmebelastningen til rummet. Dagslys fra den del af vinduet, der er placeret under brystningshøjde kan desuden resultere i en u hensigtsmæssigt skæv [luminansfordeling](#) i rummet.

Jo højere et vinduet er, desto større bliver den tilførte mængde dagslys i lokalet, hvilket skyldes at man kan se mere af himlen. Dagslysadgangen til rummet øges naturligvis også betydeligt jo bredere vinduet er.

Vinduesglas

Også selve glastypen i vinduet har betydning for både dagslysets kvalitet og energiforbruget. Vinduesglas fås i mange udgaver med meget forskellige egenskaber.

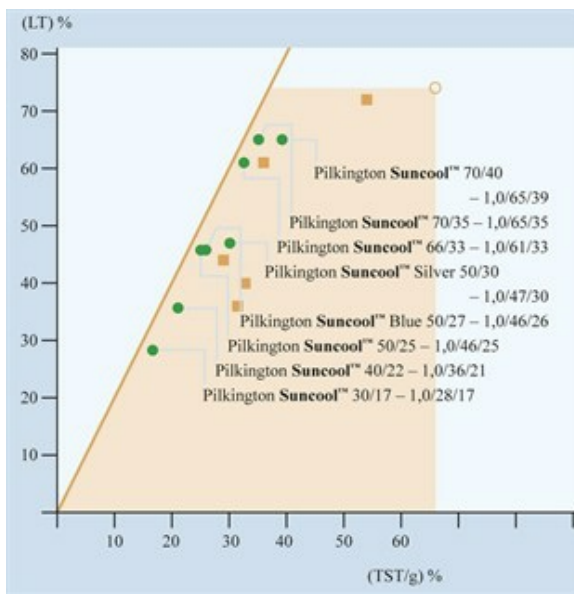
Vinduets oprindelige funktion var at lukke dagslys ind, skabe [udsyn](#) og beskytte mod vejr og vind. Dette gælder fortsat. Men glastypen vælges ofte ud fra flere parametre, som i nogle tilfælde inkluderer et ønske om at glasset har en afskærmende effekt overfor direkte [sollys og varmestråling](#), så man opnår det bedst mulige [indeklima](#) med det laveste energiforbrug. Varmen fra solens stråling udgør et gratis bidrag til bygningen opvarmning i vinterhalvåret, men giver anledning til overophedning i sommerhalvåret.

Vinduets evne til at reflektere henholdsvis transmittere lys og varme udtrykkes ved 3 parametre:

- g-værdi, som er et udtryk for den totale solenergitransmittans i %, dvs. hvor meget solstråling og dermed varme, der transmitteres gennem ruden. Jo højere g-værdi, jo mere solvarme passerer gennem ruden
- LT-værdi, som er et udtryk for lystransmittansen i %, dvs. hvor meget [synligt lys](#), der transmitteres gennem ruden. Jo højere LT-værdi, jo større procentdel af det synlige sollys passerer gennem ruden ind i huset
- U-værdi, som er et udtryk for vinduets evne til at begrænse varmetabet gennem ruden, dvs. hvor god ruden er til at holde kulden ude. Jo lavere U-værdi, jo bedre isoleringsevne og dermed mindre varmetab.

Den ideelle løsning vil være et glæas, der kan transmittere al lyset ind i et lokale, når det ikke giver anledning til generende [blænding](#) og varme, og samtidig kan eliminere generne, når det er nødvendigt.

Også selve rudens opbygning, herunder antal glas og eventuel gasfyldning mellem glassene har indflydelse på rudens egenskaber. Det samme gælder i øvrigt selve vinduets opbygning. Da der er mange parametre at tage højde for, er det vigtigt at vælge den type glas og vindue, der opfylder kravene i den konkrete byggesag.



Diagrammet viser forholdet mellem lysttransmittans (LT-værdi) og total solenergitransmittans (g-værdi) for Pilkington Suncool. Den orange linje repræsenterer det teoretisk bedste forhold som kan opnås. Figur: Pilkington.

SOLAFSKÆRMNING

Solafskærmningen kan være justerbar eller fast og monteret ude eller inde i bygningen. Alle forhold har betydning for dagslyset adgangen til en bygning.

Ønsket om at maksimere dagslysudnyttelsen må vurderes nøje i sammenhæng med behovet for at kunne kontrollere [blænding](#) og [varmetilskud fra direkte solstråling](#). Faste solafskærmninger og afskærmninger, der ikke kan fjernes helt fra vinduerne, vil reducere dagslysadgangen til rummet væsentligt. En bevægelig solafskærmning, som f.eks. persiener eller anden form for lamelafskærmning, kan sikre at varmetilskuddet fra solen reduceres, samt at der opnås en høj dagslysudnyttelse for syd-, øst- og vestvendte vinduer, forudsat at solafskærmningen styres hensigtsmæssigt.

Erfaringsmæssigt har en manuel betjening af afskærmningen den ulempe, at den som regel ikke fjernes, når der ikke længere er behov for den. I forhold til reduktion af varmetilskuddet er der i øvrigt stor forskel på, om afskærmningen er placeret udenfor eller indenfor vinduet.

Fast udhæng

Et eksempel på en fast solafskærmning kan være et udhæng. Nedenstående figur viser en parametervariation hvor dagslysfaktoren i et punkt midt i rummet ses i sammenhæng med udhængets dybde. Som det fremgår, vil en forøgelse af udhængets dybde medføre en reduktion af [dagslysfaktoren](#).

Årsagen er, at udhænget har negativ indflydelse på [himmelgrænseplanet](#), dvs. grænsefladen mellem områder i rummet, som modtager dagslys direkte fra himlen, og områder, der kun modtager reflekteret lys fra omgivelserne og rummets egne flader.

Solafskærmende glas

Vinduesglas kan i sig selv have en afskærmende virkning overfor direkte solstråling og varmestråling. Solafskærmende glas med en lav [LT-værdi](#) vil have en god afskærmende effekt over for sollyset.

En lav LT-værdi betyder imidlertid også at dagslysmængden reduceres, og vi derfor ikke kan udnytte dagslyset optimalt. Solafskærmende glas er desuden tonet og forvrænger derfor farven af det indkomne lys, ligesom udsynet gennem ruden ligeledes ændres.

Solafskærmende glas fås i flere udgaver, der enten er gennemfarvede eller belagt med en afskærmende film, der kan være mere eller mindre [reflekterende](#).



Indvendig afskærmning opbygget af et stort antal blænder tegnet af Jean Nouvel til Institut du Monde Arabe, Paris.
Foto: Astrid Espenhain.



Udvendig, justerbar afskærmning.
Foto: Astrid Espenhain

RUMMETS DIMENSIONER OG OVERFLADER

Dimensioner og overflader i en bygning har betydning for, hvordan dagslyset fordeler sig i bygningens rum.

Rummets form har betydning for mængden af [dagslys](#) og man anvender i den forbindelse begrebet dagslysets dækningsgrad. Frem for en dyb, kompakt bygningskrop vil en smallere bygning, evt. med lys fra to sider, give en betydelig bedre dagslysudnyttelse. (SBI-anvisning 219 Dagslys i rum og bygninger, Johnsen, K. & Christoffersen L., 2008)

Er rummet belyst fra 2 sider kan man have dybere rum og stadig opnå acceptable dagslysforhold.



Figuren viser to bygningsudformninger, hvor der er stor forskel på arealet af de zoner, hvor dagslyset vil have et relativt højt niveau. Kilde: SBI-anvisning 219.

Jo dybere et rum er, desto mindre bliver dagslystilgangen i rummet. Et lokale med stor rumdybde har en meget ujævn lysfordeling med stor variation mellem dagslysmængden tæt på vinduet og i den bageste del af rummet. Denne skæve fordeling kan give problemer for synsfunktionen, fordi [luminansspring](#) mellem vinduesflader og lokalets bageste del er store. Desuden vil det dybe lokale resultere i et større behov for [kunstig belysning](#) pga. den ringe dagslystilgang bagest i lokalet.

En udligning af luminansforskelle i smalle eller dybe rum vil både give en bedre [visuel komfort](#) og reducere elforbruget til belysning. En mere jævn lysfordeling kan opnås ved mindre rumdybder, samt i rum som har en større afstand mellem gulvet og vinduets overkarm. Lyse flader og et gulv, der ikke er for mørkt, vil desuden bidrage til en bedre fordeling af lyset i dybe rum. Ud fra en praktisk, økonomisk og funktionel betragtning er der dog grænser for, hvor meget rumdybden kan reduceres.

Erfaringer viser at brugerne gerne vil have supplerende belysning bagest i lokalet, hvis luminansfordelingen bliver for skæv. Belysning af lyse flader i den bageste del af lokalet kan desuden reducere behovet for mere [almenbelysning](#) i de dybe rum.



Spejlende gulv, Bilbao lufthavn. Foto: Jan Fugl.

Rummets overflader

Både rummets egne overflader og flader på f.eks. inventar (borde, reoler o.lign) har betydning for dagslysets bidrag til belysningen i et lokale. Hvis de betydende flader er lyse og har en høj [reflektans](#), øges dagslysets bidrag i rummet. Hvis fladerne derimod er mørke, vil dagslysbidraget blive reduceret, fordi der ikke sker en tilstrækkelig interreflektion af dagslyset i rummet.

I figuren her ses korrektionsfaktorer for middelreflektansen af rummets overflader for et 6 meter

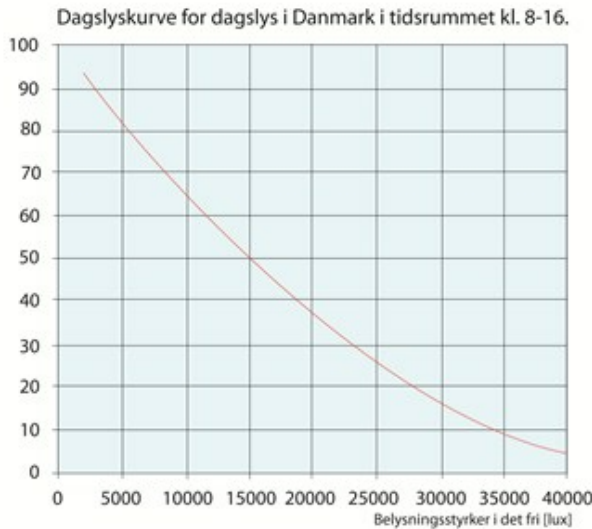
dybt lokale i forhold til dagslysfaktorer beregnet for et rum med en middelreflektans på 0,5. Jo dybere et rum er, jo større betydning får reflektansen af rummets betydende flader. (SBI-anvisning 219 Dagslys i rum og bygninger, Johnsen, K. & Christoffersen L., 2008)

Hvis farverne i en bygning ændres, bør de nye farver på vægge mv. være mindst lige så lyse, som det var forudsat ved projekteringen af belysningsanlægget. Alternativt skal eventuel styring efter dagslysniveauet i det fri indreguleres på ny.

VARIGHEDSKURVER

Varighedskurver indeholder information om, hvor mange timer vi kan regne med en bestemt mængde lys fra dagslyset i løbet af et normalt år.

En varighedskurve kan anvendes til at vurdere besparelser ved dagslysstyring. Varighedskurven viser, i hvor stor en del af tiden man i Danmark vil have [belysningsstyrker](#) i det fri, der er større end den værdi, der kan aflæses på x-aksen i figuren herunder. I denne værdi for belysningsstyrken indgår ikke direkte solstråling.



Denne varighedskurve er gældende for et helt år i Danmark i tidsrummet kl. 8-16. Kurven viser hvor stor en del af tiden man i Danmark har belysningsstyrker i det fri, som er større end den værdi, der kan aflæses på x-aksen. I angivelser af belysningsstyrken indgår ikke direkte solstråling.

I tidsrummet kl. 8-16, vil man fx, på en vandret flade i det fri i løbet af et år kunne forvente, at belysningsstyrken er større end 20.000 lux i 37% af tiden. På en plads i et lokale, hvor dagslysfaktoren er 1%, vil belysningsstyrken altså være 200 lux eller derover i 37% af tiden fra kl 8-16 i løbet af et år.

DF = 0,75 %	37,5	75	112,5	150	187,5	225	262,2	300 lux
DF = 1 %	50	100	150	200	250	300	350	400 lux
DF = 2 %	100	200	300	400	500	600	700	800 lux
DF = 3 %	150	300	450	600	750	900	1050	1200 lux

Af varighedskurven kan vi aflæse, at man i tidsrummet 8-16 på en vandret flade i det fri i løbet af et år vil kunne forvente, at belysningsstyrken er større end 10.000 lux i 65 % af tiden.

Hvis vi f.eks. har en [belysningszone](#) i et kontor med en [dagslysfaktor](#) på minimum 2 % i hele zonen og ønsker, at der skal være en belysningsstyrke på minimum 200 lux, kan vi af varighedskurven aflæse, at vi kan slukke for [kunstlyset](#) i zonen i 65 % af tiden mellem 8 og 16.

Der findes varighedskurver for Danmark, der dækker andre og flere tidsrum end netop 8-16.

[Dagslysets sammensætning](#) varierer ofte fra det ene øjeblik til det andet. Belysningsstyrken i det fri er afhængig af solhøjden og skydækkets karakter. På en sommerdag med stærkt solskin kan belysningsstyrken på vandret komme op omkring 100.000 lux, hvor ca. 12.000 lux er bidrag fra den blå himmel og de resterende lux kommer fra den direkte sol. På overskyede vinterdage vil belysningsstyrken på vandret typisk være ca. 7.500 lux, mens den på en overskyet sommerdag kan komme helt op på 30.000 lux. (SBI-anvisning 219 Dagslys i rum og bygninger, Johnsen, K. & Christoffersen L., 2008)

INTRODUKTION

Lysstyring betyder, at lyset styres efter en eller flere parametre og kan foregå på flere måder. Man kan sige at lyset styres i forhold til et behov. Derfor taler man også om en behovsstyring af lyset.

Der findes grundlæggende fem forskellige former for lysstyring

- [Dagslysstyring](#)
- [Bevægelsesmelderstyring](#)
- [Dæmpning](#)
- Dynamisk styring af [farvetemperatur](#) og lysniveau
- Styring af lyset i forskellige scenarier



Fjernbetjening til lysstyring.
Foto: Philips.

Dagslysstyring, bevægelsesmelderstyring og dæmpning har energimæssig betydning og kan bidrage til at reducere elforbruget til belysning betydeligt. Alle tre systemer kræver, at belysningsanlægget er designet til den pågældende styringsform, herunder at de valgte [lyskilder](#) er velegnede til netop denne styringsform.

Ved styring af farvetemperatur (også kaldet dynamisk lysstyring) anvendes et system, der for eksempel kan sikre at lysets farve og niveau følger dagslysets variation i dagslysets farvetemperatur og niveau. Denne type systemer øger komforten for de personer, der arbejder sig i lokalet. Ved styring af lyset i forskellige scenarier anvendes et lysstyringssystem, som kan tilgodese mange forskellige lysbehov og lysfunktioner i samme lokale.

STYRING ELLER REGULERING

Selvom betegnelserne styring og regulering dækker to forskellige strategier for styring af kunstlyset efter mængden af dagslys, anvendes de ofte i flæng.

Hvis der er tale om lysstyring, betyder det at systemet måler enten det lys, der findes udenfor bygningen eller det lys, der kommer ind gennem vinduet. Ud fra denne måling justeres [lysstrømmen](#) fra armaturerne ud fra forudbestemte indstillinger. Hvis sensoren er placeret forkert eller dækkes til, vil [kunstlyset](#) være tændt hele tiden og der opnås ingen energibesparelse.

Hvis der er tale om regulering af lyset, måler systemet den aktuelle lysmængde indendørs i rummet og justerer på denne baggrund lysstrømmen fra armaturerne. Dette system kan således reagere på ændringer, uanset om de skyldes lyset uden for bygningen, genskær eller den kunstige belysning og der kan opnås et mere præcist lysniveau.

Forskellen på styring og regulering er beskrevet nærmere i afsnittet om [styringsstrategier](#).

INTRODUKTION

Dagslysstyring betyder, at lysmængden styres efter mængden af dagslys. Formålet er at spare energi og dermed at reducere elforbruget til den elektriske belysning, når der er tilstrækkeligt med dagslys i rummet.

For at det overhovedet er fornuftigt og rentabelt at investere i dagslysstyring, er der en række tekniske forhold omkring dagslyset og kunstlyset som skal være opfyldt. Omvendt kan dagslysstyring reducere elforbruget til kunstlyset med 50-70 % afhængig af dagslysmængden i rummet.

Hvis dagslysstyring skal fungere i praksis, er der en række forhold, der skal overvejes, herunder forhold omkring [dagslysåbningernes udformning](#), [rumdimensioner og overflader](#) samt selve belysningsanlæggets udformning og de elektriske installationer.

Eksempelvis bevirker mørke overflader i et rum, at der skal anvendes mere kunstlys og at elforbruget dermed stiger. Andre forhold, som for eksempel modstående bygninger, træer foran vinduerne og glassets [lystransmittans](#) har også indflydelse på mængden af dagslys i et rum eller en bygning og dermed på, hvor meget man kan reducere den elektriske belysning.



Lyssensor med indbygget lysfølsomt element, som ændrer karakteristisk afhængigt af lysstyrken. Lyssensoren sender et signal til Control-enheden, som tænder/slukker eller dæmper lyset. Foto: Servodan.

SYSTEMETS OPBYGNING

Et dagslysstyringssystem består grundlæggende af et eller flere armaturer, en styreenhed og en lyssensor.

En styreenhed kan have forskellige funktioner og kommunikere med forskellige typer af centrale overvågnings- og styringssystemer, ligesom den kan være forbundet til manuelle kontakter og [bevægelsesmeldere](#). Styreenheden kan desuden styre flere [zoner](#) på en gang.

For at få dagslysstyring til at fungere så optimalt som muligt, skal der stilles en række krav til både dagslyset, kunstlyset og til selve styringssystemet.

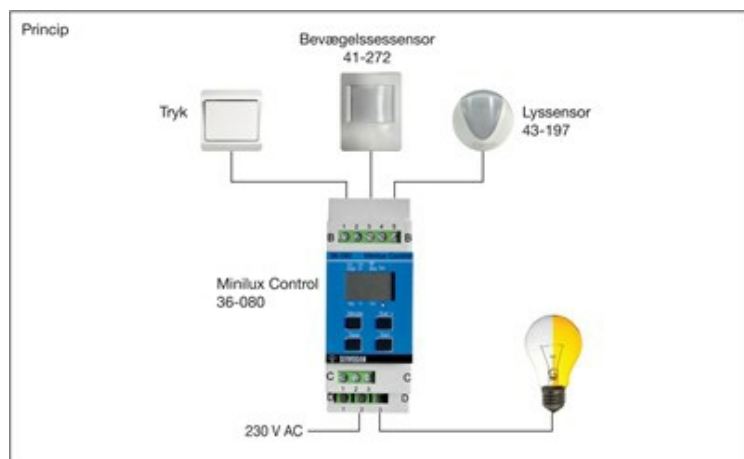
Dagslysstyring er en kendt og afprøvet teknologi, men der er normalt så mange parter involveret, at det kræver omhu og samarbejde mellem arkitekt, ingeniør, installatør og leverandør at få styringen til at fungere optimalt. 'SBI anvisning 220 Lysstyring' går mere i detaljer med, hvordan man sikrer sig, at lysstyringssystemer kommer til at fungere i praksis.

I nybyggeri og ved større renoveringer er det ofte den rådgivende ingeniør som projekterer lysstyringssystemet, men der er også mange tilfælde, hvor det er specialiserede installatører eller styringsleverandører, som har hovedansvaret for [projekteringen](#) og udformningen.

Når elforbruget til belysningen skal begrænses og der skal anvendes dagslysstyring, er der en række forhold, som bør indgå i overvejelserne. Disse forhold har både med [bygningsudformningen](#) og indretningen at gøre:

- Hvordan sikres så meget dagslys som muligt hele året?
- Hvilken type dagslysstyring passer til rummet og dets anvendelse?
- Hvor lyse eller mørke er de betydende overflader i rummet?
- Er [armaturer](#), [lyskilder](#) og [forkoblingsudstyr](#) egnet til dagslysstyring?
- Hvordan sikres det, at medarbejderne kan betjene systemet og forstår hvordan det virker?

Dagslysstyringer kan være meget forskellige. Der findes både forskellige [styringsprincipper](#) og [styringsstrategier](#), som skal overvejes, inden man designer et dagslysstyringssystem. Specielt placering og valg af de sensorer, der måler hvor meget lys, der er i rummet eller udenfor har forskellige egenskaber og skal placeres korrekt for at få systemet til at fungere efter hensigten.



Eksempel på opbygning og elementer i en styringsløsning med både bevægelsessensor og lyssensor. Figur: Servodan.

ANVENDELSE AF DAGSLYSSTYRING

Da hovedformålet med dagslysstyring er at reducere elforbruget, må den første forudsætning være, at der er tilstrækkeligt med dagslys.

Hvis mængden af dagslys er begrænset eller der slet intet dagslys er, vil der være andre, mere hensigtsmæssige måder at tænde og slukke for lyset på for at reducere elforbruget.

Om dagslysmængden er tilstrækkelig til, at det er fornuftigt at anvende dagslysstyring, afhænger af rummets brugsmønster og en række forhold omkring [bygningens udformning og omgivelser](#). Dagslysmængden afhænger desuden af vinduernes orientering og af, om der er ovenlys eller sidelys.

Anvendelse af dagslysstyring er primært relevant i rum med god dagslystilgang. Hvis dagslysmængden er tilstrækkelig, er det som regel en god idé at anvende dagslysstyring i kontorer, klasseværelser, gange, biblioteker, auditorier, hospitaler, kantiner, produktionshaller, lagre, gangområder, storcentre og andre lignende steder.

Hvilke lyskilder kan anvendes til dagslysstyring?

Forudsætningen for at anvende dagslysstyring er, at de [lyskilder](#) man anvender kan dæmpes eller kobles ind og ud i takt med at dagslysmængden ændres. Ikke alle typer af lyskilder er lige velegnede.

Alle typer af [gløde- og halogenpærer](#) kan uden videre dæmpes og tåler tænd-sluk frekvenser med korte intervaller. Det samme gælder [lystofrør](#) og mange [LED-løsninger](#), hvis [forkoblingen](#) eller [driveren](#) er forberedt til det. Andre typer lyskilder, f.eks. damplamper, kan normalt ikke anvendes til dagslysstyring.

STYRINGSSTRATEGIER

Der findes to principielt forskellige strategier for dagslysstyring, nemlig lysstyring og lysregulering.

Egenskaberne ved de to styringsstrategier er forskellige, og de har hver deres fordele og ulemper.

Lysstyring

I et lysstyringssystem måles dagslysmængden vha. en sensor, der er placeret enten ude eller inde. Ud fra den lysmængde, som sensoren måler, justeres lyset op eller ned efter forudbestemte indstillinger. Det vil sige at sensoren måler dagslysmængden og indstiller kunstlyset til et forudbestemt niveau. For at opnå den nødvendige lysmængde, må de forudbestemte niveauer indstilles på stedet og i et tidsrum, hvor dagslyset ikke er tilstrækkeligt.

Hvis sensoren er placeret forkert eller ved en fejtagelser bliver skjult bag et gardin eller på anden måde dækkes til, vil kunstlyset være tændt hele tiden og der opnås ingen energibesparelse.

Et lysstyringssystem er relativt enkelt i sin opbygning og volder derfor normalt ikke store problemer i praksis. Systemet, som består af et eller flere armaturer, en lyssensor, en styring og en afbryder, kan udbygges med [bevægelsesmelder](#) eller centralt registreringssystem, så det kun tænder, når der er personer til stede i bygningen.

Indregulering og justering af systemet er vigtig for at systemet fungerer efter hensigten. Ofte er det nødvendigt at indregulere systemet over en længere periode (både sommer og vinter) for at sikre, at systemet fungerer optimalt.

Systemet kan ikke opfange ændringer af [rummets overflader](#) og inventar, f.eks. ændringer af farver og reflektanser. Hvis sensoren er placeret udendørs, kan den desuden ikke tage højde for, om gardiner eller anden form for [solafskærmning](#) er trukket for eller om dagslysfaldet på anden vis er begrænset. Hvis der sker væsentlige ændringer i rummet eller omgivelserne, skal styringen derfor indstilles på ny.

Fordelen ved lysstyringssystemer er, at de er simple og billige.

Lysregulering

Ved lysregulering måles lysmængden i rummet, ideelt set på arbejdsplanet, og systemet regulerer lysniveauet indtil den ønskede lysmængde er opnået. Lysregulering er mere avanceret end lysstyring og kan kompensere for om solafskærmningen i rummet er aktiv, beskidte vinduer, blokeret dagslystilgang pga. pottedplanter, skiftende overflader i rummet etc.

Med et lysreguleringssystem vil lysmængden altid være den samme, og man undgår det overforbrug, som den nødvendige [overdimensionering](#) af anlægget normalt giver anledning til, og som bl.a. skyldes reduktion af lyskildens [lysstrøm](#) over levetiden. Derfor kaldes disse systemer også for konstantlyssystemer.

Et lysreguleringssystem kan kombineres med bevægelsesmelder og centralt registreringssystem, så det kun tænder, når der er personer til stede.

I lysreguleringssystemer skal sensoren placeres så andelen af kunstlys og dagslys er det samme i alle situationer. Hvis dette ikke er tilfældet, vil styringen være forskellig afhængig af, om der er meget eller lidt dagslys. I praksis kan det være vanskeligt at placere sensoren, men her kan erfaring og leverandørernes anvisninger være en hjælp.

Anvendelse af lysregulering kan give større energibesparelse end lysstyring.

ZONEINDDDELING

I større lokaler og dybe rum, hvor det er relevant at anvende dagslysstyring eller regulering, er det ofte hensigtsmæssigt at inddele belysningen i zoner.

I rum med flere armaturer og tilstrækkeligt dagslys bør belysningen normalt inddeles i zoner eller grupper med separate afbrydere efter dagslysmængde og aktiviteter. Alternativt kan benyttes armaturer med egne lysfølere og evt. [bevægelsesmelder](#).

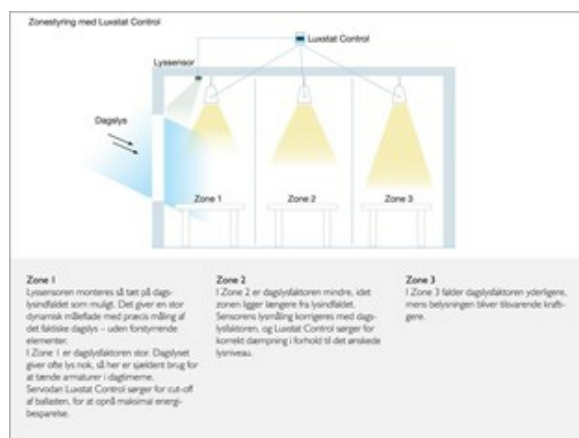
I hver zone styres belysningen individuelt eller afhængigt af andre zoner. For at kunne udnytte dagslyset optimalt, bør zonerne ligge parallelt med rummets vinduesflade. Belysningsarmaturer nær vinduer kan udgøre én zone, mens armaturer placeret inde i rummet kan udgøre én eller flere selvstændige zoner.

Den største energibesparelse opnås i vindueszonen, da der er mest dagslys i denne zone. Ofte vil der desuden være væsentlige energibesparelser at hente ved dagslysstyring i midterzonen, mens besparelsen er mindst i den zone, der ligger længst væk fra vinduet.

Zoneinddelingen sikrer, at der er mulighed for at begrænse belysningens brugstid mest muligt.

Det relevante antal zoner vil afhænge af rummets dimensioner og de aktiviteter, der foregår i rummet. Eftersom dagslyset fra [sidevinduer](#) normalt kun er tilstrækkeligt i en afstand på ca. 4-5 meter fra vinduet, har bygningens dybde stor betydning for udformningen af dagslysstyringen og for el-forbruget.

I små rum er det normalt mest økonomisk med én zone. I dybe rum vil 2-3 zoner ofte være optimalt.



Eksempel på zoneinddeling. Figur: Servodan.

STYRINGSPRINCIPPER

Der findes forskellige typer automatiske styringsprincipper. Valget afhænger af rummets funktioner, de aktuelle dagslysforhold og benyttelsesmønstret.

Der findes tre forskellige styringsprincipper:

- On/off styring, som tænder og slukker for belysningen ved et fast dagslysniveau
- Trinvis styring, som sænker og hæver kunstlysniveauet i trin afhængig af dagslysmængden
- Kontinuert styring, som sænker og hæver kunstlysmængden kontinuert (dvs. trinkløst) afhængig af dagslysmængden

Valg af styringsprincip og hvor hurtigt systemet reagerer, har stor indflydelse på komforten og på hvordan brugerne oplever styringen, herunder [brugertilfredsheden](#). Det er for eksempel generende, hvis der sker for hurtige ændringer eller hvis ændringerne sker i for store spring, især i lokaler hvor personerne sidder stille eller har fast synsretning.

For alle systemer gælder, at det ikke kan accepteres, at systemerne tænder og slukker for hyppigt eller regulerer lyset for kraftigt, hvis en sky går for solen og dagslysmængden ændres kortvarigt. Derfor er det nødvendigt at have indbygget en vis tidsforsinkelse i systemet.

On/off styring

On/off styring er en automatisk styring, som tænder hhv. slukker lyset ved et bestemt dagslysniveau. Denne form er simpel, billig og nem at få til at fungere.

Ulempen ved on/off-styring er, at det er generende at arbejde i et lokale med sådanne systemer, da springet i lysniveau registreres tydeligt.

Trinvis styring

Trinvis styring kan opnås på to forskellige måder. Den ene mulighed er at styringen ændrer lysniveauet i trin afhængig af dagslysets bidrag. Det anden er en on/off-styring af armaturer med flere lyskilder i samme armatur, som indkobles ved forskellig dagslysmængde.

Trinvis styring er en simpel styringsform og anvendes typisk, hvor der ikke er permanente arbejdspladser, da de lysspring som systemet giver, kan virke generende, især for personer, der har stillesiddende arbejde med fast synsretning, f.eks. ved pc.

Kontinuert lysstyring

I en kontinuert lysstyring styres eller reguleres kunstlyset afhængig af dagslysmængden. Dette styringsprincip giver den bedste komfort og kan samtidig give meget store elbesparelser, da styringen kan indstille kunstlyset præcist efter dagslysmængden.

Kontinuert regulering bør normalt foretrækkes, fordi den virker mindst generende for brugerne.

Typiske besparelser

I tabellen herunder er vist eksempler på driftstidsbesparelser og lux-time-besparelser ved henholdsvis 'on/off' og 'kontinuert styring' af kunstlyset som funktion af dagslysfaktoren. Lux-time-besparelsen er et mål for, hvor stor en del af tiden, dagslysets bidrag vil være tilstrækkeligt.

I anlæg med on/off styring vil driftstidsbesparelsen og lux-time-besparelsen være lige store, hvis man ser bort fra effekttabet i reguleringsudstyret.

I anlæg med kontinuert regulering vil lux-time-besparelsen være større end energibesparelsen på grund af tab i [forkoblingsudstyr](#) og reguleringsudstyr.

Dagslys- faktor %	Ønsket belysningsstyrke, E lux	Driftstidsbesparelse ved on/off styring %	Lux-time-besparelse ved kontinuert styring %
0,5	50	60	80
	200	5	40
1,0	50	80	90
	200	35	65
	500	0	35
2,0	50	90	95
	200	60	80
	500	25	55

Tabellen viser mulig driftstidsbesparelse og lux-time-besparelse i kontorer med en benyttelsestid på ca. 2 500 timer pr. år ved manuelt eller automatisk at slukke eller nedregulere belysningen, når dagslysmængden er tilstrækkelig. Der er ikke taget hensyn til direkte sollys på klare dage. Kilde: SBI anvisning nr. 184 Bygningers energiforbrug, 1995.

INTRODUKTION

En bevægelsessensor registrerer, om der er bevægelse i lokalet, og sørger for, at lyset slukkes, når lokalet ikke benyttes.

Anvendelse af bevægelsessensorer skal sikre, at lyset kun er tændt, når der er personer i lokalet. Derved reduceres elforbruget til belysning.

Bevægelsessensorer benyttes i mange forskellige lysstyringsystemer og bygges ofte sammen med en lyssensor eller et skumringsrelæ, så enheden kun tænder for lyset, hvis der registreres bevægelser, og dagslysbidraget samtidig er for lille.

Hvad er en bevægelsessensor?

En bevægelsessensor er en elektronisk enhed, der kan detektere, om der er personer til stede i det område sensorens rækkevidde kan dække. Hvis dette er tilfældet, vil bevægelsessensoren sende et signal, så belysningsanlægget tændes.

Bevægelsessensoren har en indbygget justerbar tidsforsinkelse. Hvis der ikke registreres bevægelse eller personer inden for denne tidsforsinkelse, som typisk er 10-15 minutter, vil lyset blive slukket.

Bevægelsessensorer findes i forskellige udgaver og kaldes også for bevægelsesmeldere eller PIR-meldere.



Bevægelsessensor. Foto: Servodan.

SENSORTYPER OG -PRINCIPPER

Der findes mange forskellige typer bevægelsessensorer og flere forskellige sensorprincipper. De forskellige typer er velegnede til forskellige formål og har desuden forskellig rækkevidde og detekteringsegenskaber.

De forskellige bevægelsessensorer registrerer bevægelse på forskellig vis. En PIR-melder registrerer bevægelse ved hjælp af passive infrarøde stråler (deraf betegnelsen PIR). Derudover findes akustiske sensorer og ultralydsensorer. Forskellige typer og udgaver har hver deres egenskaber og følsomheder.

PIR detektering er velegnet til registrering af personer, der træder ind i et rum, mens en fintfølede akustisk sensor egner sig til at registrere stillesiddende personer eller lyde i en trappeopgang. Der kan opstå behov for forskellige typer eller flere sensorer, hvis der er vinklede rum eller uregulære rum, som ikke kan dækkes alene af infrarøde stråler.

De forskellige sensorer har forskellig rækkevidde. Valg af type og kvalitet er afgørende for funktion og energibesparelse.

PIR-sensorer

PIR-sensoren registrerer forandringer i temperatur og opfanger temperaturforskelle, når personer bevæger sig fra et område til et andet. PIR sensorens følsomhed er højest tæt på sensoren. Det betyder, at en registrerbar bevægelse skal være større, hvis man er langt fra sensoren end hvis man er tæt på. Hvis en PIR sensor skal registrere bevægelse over et stort område, skal man derfor sørge for at sensorens følsomhed er i top. Ved at placere forskellige linser foran PIR sensoren kan sensorens følsomhed og dækningsområde ændres.



Eksempler på bevægelsessensorer, som tænder belysningen, når den registrerer bevægelse og en varmeændring på $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Bevægelsessensorer kaldes også for PIR meldere, PIR står for passiv infrarød. Fotos: Servodan.



Eksempler på tilstedeværelsessensorer, som er kendetegnet ved at kunne detektere bevægelser helt ned til 2-3 cm og kan derved registrere personer i et rum, selv om de ikke bevæger sig. Tilstedeværelsessensorer benytter ultralyd i kombination med PIR teknologi. Fotos: Servodan.

Akustiske sensorer

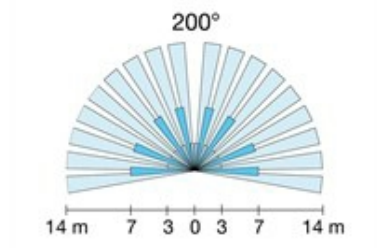
Akustiske sensorer fungerer som en mikrofon, der opfanger små lyde eller trykændringer. Sensorerne findes med forskellige detekteringsområder, så de ikke reagerer på f.eks. fuglefløjt eller en forbigående bil. Akustiske sensorer anvendes typisk i rum med mange kroge eller områder, hvor søjler eller inventar ville skygge for en PIR sensor.

Ultralydssensorer

Ultralydssensorer er baseret på reflekteret lyd, der ændrer sig når personer bevæger sig. Disse sensorer kan registrere små bevægelser ned til få centimeter, hvilket er en fordel i f.eks. kontorlandskaber med pc-arbejde.

De forskellige typer kan anvendes i kombination

Til kritiske opgaver anvendes ofte flere sensorer samtidig. Det kan være en akustisk sensor i kombination med en ultralydssensor. Den akustiske sensor kan registrere de små trykændringer fra åbningen af en dør, hvorefter lyset tændes. Ultralydssensoren, der er bedst til at registrere personer i rummet holder lyset tændt, så længe der er personer til stede. Herved kan man sikre, at lyset tændes så snart en dør åbnes. Hvis man alene anvender en ultralydssensor eller en PIR sensor, skal træde ind i rummet, før lyset tændes.



Eksempel på detekteringsområde. Figur: Servodan.

ANVENDELSE AF SENSORSTYRING

Bevægelsessensorer anvendes i rum, som ikke benyttes hele tiden og hvor man ofte glemmer at slukke lyset. Det kan være kontorer, skoler, toiletter, depoter, lagerhaller, omklædningsrum etc. med lejlighedsvis anvendelse. De kan desuden med fordel anvendes i rum, hvor man har hænderne fulde, når man træder ind.

Man skal være opmærksom på, at en bevægelsessensor skal kunne 'se' hele det rum eller område, der skal detekteres i, således at der ikke opstår blinde vinkler og man risikerer, at lyset slukkes, selv om der er personer til stede.

Der findes naturligvis områder, hvor lyset ikke bør slukkes af hensyn til komforten, sikkerheden eller synligheden. Det kan være hospitalsgange eller kontorområder, hvor man af trygheds- eller sikkerhedsmæssige årsager ikke ønsker at lyset slukkes, hvis der er få eller ingen personer til stede. I disse områder kan det være en god idé at sænke belysningsniveauet, når der ikke er personer til stede. Alternativt kan man nøjes med kun at have få armaturer tændt.

Der kan normalt opnås store besparelser med bevægelsesmeldere. Det afhænger naturligvis af benyttelsen af rummet. I rum, som kun benyttes lejlighedsvist, men hvor lyset ikke bliver slukket, kan der opnås besparelser på 70-80 %. Da besparelserne ofte er store, bør det altid overvejes, om der kan anvendes bevægelsessensorer.

Blinde vinkler

Valget af sensortype og placering er helt afgørende for, om systemet fungerer efter hensigten. Er der søjler i rummet eller blinde vinkler som følge af kroge eller hjørner, skal sensortype og placeringen vælges efter det. Der kan være en del installationsomkostninger at spare ved at vælge den rigtige sensortype og derved spare et antal sensorer.

Fordele og ulemper

Anvendelsen af bevægelsesmeldere er installationsmæssigt enkel, og det kræver normalt ikke den store eltekniske installation. Bevægelsesmeldere er med andre ord en billig løsning, der kan reducere elforbruget betydeligt. Ofte er tilbagebetalingstiden kun på 1-2 år.

Det er dog ikke altid uproblematisk at anvende bevægelsesmeldere. Det kræver i alle tilfælde rigtigt valg af både sensor og sensorplacering samt indregulering. Hvis sensoren ikke egner sig til opgaven, eller den placeres forkert, kan det betyde, at brugerne simpelthen sætter dem ud af kraft eller klager over, at lyset slukkes på forkerte tidspunkter, eller at sensoren ikke kan registrere, når der er personer til stede.

Der er desuden et vigtigt tryghedsaspekt, som skal tages i betragtning når der installeres bevægelsessensorer. Man bør sikre, at personer, der arbejder sent, ikke kommer til at sidde i mørklagte bygninger eller på anden vis føler sig utrygge som følge af styringen.

Der kan være steder, som f.eks. i trappeopgange, hvor det af sikkerhedsmæssige årsager ikke er tilrådeligt at anvende bevægelsessensorer. I disse tilfælde kan en sænkning af belysningsniveauet, når der ikke er personer til stede, evt. være en løsning. Under alle omstændigheder bør man sikre sig, at sensorerne til enhver tid holder lyset tændt, når der er personer på trappen.

De professionelle leverandører af bevægelsessensorer kan give gode råd og vejledning til de konkrete løsninger.

'SBI-anvisning 220 Lysstyring' indeholder anbefalinger for, hvorledes lysstyringsprojekter gennemføres, vælges, installeres og afprøves.

INTRODUKTION

Lysdæmpning og urstyring er simple elbesparende styringsløsninger, som kan anvendes i mange forskellige typer installationer på både arbejdspladser og i private hjem.

Dæmpning er en form for lysstyring, hvor man alene kan justere på lysniveauet. Lysdæmpning er ikke en automatisk funktion, men sker ved manuel betjening via kontakt eller fjernkontrol.

Da dæmpning giver mulighed for at justere lysniveauet for den kunstige belysning til det ønskede niveau, som er lavere end fuld styrke, vil dæmpning ofte resultere i elbesparelser.

Urstyring er en simpel form for lysstyring, der kan tænde og slukke for belysningen på forudbestemte klokkeslæt. Urstyring er en billig måde at spare på elforbruget til belysningen, hvis man vil have lys på bestemte tidspunkter.

LYSDÆMPNING

Dæmpning stiller særlige krav til valg af lyskilder og til forkoblinger/drivere i anlæg, der skal være forberedt for dæmpning.

I anlæg med [gløde- eller halogenglødelamper](#) kræves en dæmpningsenhed og fjederafbryder eller potentiometer til indstilling af det ønskede lysniveau.

For at belysningsløsninger med [lysdioder](#) eller [lysstofrør](#) skal kunne dæmpes, må lyskilderne være forkoblet med [drivere](#) (lysdioder) eller [elektroniske forkoblinger](#) (lysstofrør), der er forberedt til dæmpning.

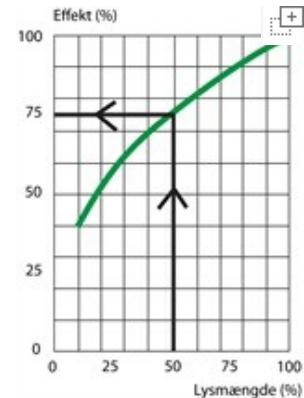
I systemer beregnet til dæmpning af gløde- og halogenlamper skal man være opmærksom på, at ikke alle [sparepærer](#) og [LED-erstatningslyskilder](#) kan fungere i et dæmpbart system. Man kan derfor ikke umiddelbart skifte til disse lyskildetyper for at spare energi. Der findes dog specielle sparepærer og LED-erstatningslyskilder, der kan dæmpes.

Elbesparelsen ved dæmpning afhænger af, hvor meget lyset dæmpes. Men på grund af tab i forkobling og dæmperenhed er besparelsen ikke lige så stor som reduktionen i lysmængden. Hvis lysmængden i et anlæg med gløde- eller halogenlyskilder reduceres med 50 %, reduceres elforbruget kun med ca. 25-30 %. Man får således en mindre elbesparelse end den, som reduktionen i lysniveauet svarer til.

Ved dæmpning kan lyskildens [farvetemperatur](#) ændre sig. F.eks. bliver lyset fra gløde- og halogenlamper varmere, når de dæmpes, mens lyset fra et lysstofrør typisk bliver mere rosa. LED-lyskilder ændrer normalt ikke farvetemperatur ved dæmpning. Dæmpning af glødepærer, halogenpærer og LED-lyskilder har desuden en positiv indvirkning på levetiden.

[Dampplamper](#) egner sig normalt ikke til dæmpning.

Lysdæmpning anvendes i mange forskellige typer installationer i både kontorer, auditorier, møderum og i private boliger.



Sammenhængen mellem elbesparelser og lysmængde ved dæmpning af gløde- og halogenglødelyskilder.

URSTYRING

Begrebet urstyring dækker styring efter et ur, hvor lyset tændes og slukkes på bestemte tidspunkter. Urstyring anvendes for at reducere elforbruget til belysningen, når man på forhånd ved, hvilke tidspunkter belysningen skal være tændt eller slukket.

Urstyring anvendes ofte i sammenhæng med [dagslysstyring](#) for at afbryde styresystemer og sensorer helt, når belysningsanlægget med sikkerhed ikke skal være tændt, f.eks. i nattetimerne.

Urstyring anvendes desuden i små og simple systemer, hvor lys skal være tændt i bestemte tidrum henover døgnet, f.eks. udendørs.

Urstyring er let at forstå for brugerne, og den er let at betjene. Ulempen er, at lyset slukker selv om der måske er behov for lyset uden for det indstillede tidspunkt. Urstyring bør derfor ikke anvendes hvor der skal tages hensyn til sikkerhed eller på arbejdspladser, hvor der er personer til stede ud over normal arbejdstid. Alternativt skal udstyringen kunne slås fra.

En anden løsning kunne være [dæmpning](#) af belysningen i visse perioder eller lade få armaturer stå tændt, for eksempel eventuel effektbelysning. I alle tilfælde må man tage højde for sommer- og vintertid.

Urstyring i arbejdslokaler bør normalt kombineres med mulighed for manuel betjening af lyset, så man tænder for lyset, når man går ind i et rum, og automatikken slukker lyset.

Skumringsrelæ

Skumringsrelæ er en styring til udendørs brug, der tænder belysningen automatisk. Relæet (sensoren) måler lysniveauet og tænder for belysningen, når dagslysniveauet er under et vist niveau, som kan indstilles på relæet. Skumringsrelæet slukker automatisk, når dagslysniveauet igen er tilstrækkeligt.

Skumringsrelæet har indbygget en vis tidsforsinkelse, så det ikke reagerer på kortvarige ændringer i dagslyset. Fordelen er at det tænder og slukker ved samme niveau sommer og vinter.

Et skumringsrelæ bør ikke anvendes, hvor der skal tages hensyn til sikkerhed ved maskiner og lignende. Det anvendes typisk udendørs på steder som indkørsler, cykelskure og lignende og kombineres ofte med [bevægelsesmelder](#).

INTRODUKTION

Da formålet med at anvende lysstyring er at reducere elforbruget til belysning uden at det går ud over komfort, sikkerhed og synsbetingelser, må valg af styring tage udgangspunkt i disse kriterier.

Når man skal vælge lysstyringssystem og teknologi, må man starte med at gennemgå rummets funktioner, [dagslysforhold](#) og brugsmønstre. Hvilket lysstyringssystem, der skal anvendes, afhænger desuden af, om der er tale om nybyggeri eller renovering af et ældre belysningssystem.

Ved renovering af et ældre belysningsanlæg kan der være problemstillinger vedr. installationen, der gør, at det ikke er rentabelt at installere et lysstyringssystem.

Valget afhænger således af opgaven.



Gangbelysning på Rigshospitalet.
Foto: Carlo Volf.

ANVENDELSE AF LYSSTYRING

Et lysstyringssystem skal tilpasses behovet i det enkelte rum. Derfor må valget tage udgangspunkt i rummet og dets benyttelse.

Rummets størrelse, dimensioner og form har betydning for udformning af lysstyringssystemet. Er der søjler, reoler eller andre rumdelere, der kan skjule arbejdende personer har det indflydelse på udformningen af lysstyringssystemet, på sensorplacering og på sensortype. Nogle sensortyper er bedst velegnet til regulære rum, andre kan 'se' om hjørner eller på flere etageniveauer i trappektioner.

En anden vigtig parameter er brugsmønstret. Er der mange personer i rummet i hele arbejdstiden fra 9-16, vil elbesparelsen med [bevægelsesmelderstyring](#) ikke være særlig stor. Men er der gode [dagslysforhold](#), så kan [dagslysstyring](#) være en løsning.

Er rummet et kopirum, eller et lagerrum der anvendes lejlighedsvis, kan bevægelsesmeldere sikre en stor elbesparelse i forhold til at have lyset tændt hele tiden.

Er rummets brugsmønster konstant dag efter dag eller er det varierende over tid. Desuden er det vigtigt at afklare om det er de samme personer, som benytter rummet altid og kan lære at betjene systemet, eller om det er nye, som ikke kender systemets opbygning og funktion.

Ifølge 'SBI anvisning 220 Lysstyring' kan man dele rum op efter type og brugsmønster. Skemaet herunder er hentet fra anvisningen og indeholder eksempler på typiske valg af styringsstrategier.

Rumtype	Brugsmønster	Dagslys-adgang	Aktiviteternes krav	Forslag til funktioner og strategier
Auditorier	Lejlighedsvis	Dagslys	Lokalet anvendes til visning af overheads, film o.lign.	Zoneopdeling Manuel lysdæmpning Fintfølede bevægelsessensorer der slukker lyset Mulighed for forskellige scenesætninger
			Der er skillevægge i lokalet.	Zoneopdeling Fælles/separat styring af sektioner
Biblioteker	Skranke, læserum og udlånslokale i øvrigt	Normalt	Dagslys	Lyset er tændt i hele åbningstiden Zoneopdeling Kontinuerlig dagslysstyring Central kontrol/urstyring
	Magasiner/reoler	Lejlighedsvis	Evt. dagslys	Arealer ej tilgængelige for publikum. Lyset efterlades ofte tændt. "Celle"-monterede bevægelsessensorer

Se hele skemaet her:

<http://www.sbi.dk/indeklima/lys/lysstyring/sbi-anvisning220-lysstyringsstrategier.pdf>

SIMPEL ELLER AVANCERET STYRING

Selv det mest avancerede system kan ikke fungere optimalt, hvis der er valgt de forkerte bevægelsesmeldere eller hvis lyssensorerne er placeret forkert.

Om systemet skal være simpelt eller avanceret afhænger af brugsmønstret, krav til funktionalitet og af økonomien. Generelt er det bedre at vælge simple systemer, der er lette at forstå, installere og betjene, end avancerede systemer, der måske ikke fungerer efter hensigten. På denne måde opnår man fornuftige elbesparelser.



Simple bevægelsesmelderstyring.
Foto. Silla Herbst.

Specielle driftsfunktioner

I større systemer, der styres via bygningens centrale styringsanlæg, er der ofte behov for specielle driftsfunktioner. Det kan for eksempel være en rengøringsfunktion, som tænder rengøringslys i bygningen, eller en mulighed for at tænde al belysningen centralt i forbindelse med serviceeftersyn. Hvis et lysstyringssystem også skal have sådanne funktioner, har dette afgørende betydning for valg af system og løsning.

Brugervenlighed

Det er vigtigt at få give brugerne relevant information om styringssystemet opbygning og funktion. Mange frustrationer og utilfredse medarbejdere kan undgås, hvis systemet er let at forstå og betjene.

Brugernes ønsker og krav til systemet bør tages med i designprocessen, ligesom en introduktion til hvordan systemet fungerer og hvorfor det er installeret også er med til at øge accepten af de automatiske systemer, der til tider kan virke generende.

Det ses ofte, at brugerne sætter systemet ud af kraft, enten fordi det ikke fungerer efter hensigten, eller fordi de ikke forstår at anvende det. Begge dele medfører et forhøjet elforbrug til belysningen.

Muligheden for overstyring kan imidlertid være nødvendig. Overstyring er en funktion, hvor man kan sætte automatikken ud af kraft og enten tænde eller slukke selv om automatikken vil noget andet. Dette kan for eksempel være relevant i rengøringsøjemed eller det kan være hvis rummet anvendes til atypiske formål, som automatikken ikke kan tage højde for.

IDEEL LYSREGULERING – TEORI OG PRAKSIS

Når man taler om ideel lysregulering, er der tale om, at lysstyringsystemet til enhver tid sikrer det ønskede lysniveau.

Placering af lyssensoren på loftet giver i nogle tilfælde problemer, da sensoren ikke 'ser' [kunstlys](#) og [dagslys](#) på samme måde. Når dagslysmængden øges, ønsker man at kunstlyset reguleres således, at der fastholdes et konstant niveau på arbejdsplanet, men det kræver, at lyssensoren ser kunstlysandelen og dagslysandelen på samme måde, hvilket ikke er altid tilfældet.

Ideelt set vil man placere lyssensoren på arbejdsplanet, hvor det konstante niveau ønskes, men det er sjældent muligt i praksis. I stedet placeres den i loftet hvor andelen af kunstlys og dagslys ofte er forskellig. Det vil sige, at sensoren 'tror', den ser mere dagslys, end der reelt er, og skruer for meget ned for kunstlyset. Det giver for lave [belysningsstyrker](#) og [utilfredse brugere](#).

Hvis sensoren derimod ser for lidt dagslys i forhold til, hvad der rammer arbejdsplanet, vil kunstlyset reguleres for lidt og der bliver mere lys end nødvendigt og dermed en mindre elbesparelse.

Det afgørende er, at forholdet mellem belysningen på arbejdsplanet og på lyssensoren er det samme for både kunstlys og dagslys.

Man kan beregne hvor i rummet forholdet mellem kunstlys og dagslys er det samme, hvilket ofte vil være på væggen. Da [beregningsprogrammer](#) ikke altid kan tage højde for indretning og møblering, skal man være opmærksom på at disse er vejledende og skal fungere som et hjælpeværktøj.

(Indholdet i dette afsnit er baseret på "Lysregulering - teori og praksis", Erwin Petersen, artikel Lys nr. 2/maj 2005)

INTRODUKTION

Udvalget af lyskildetyper er stort og nogle lyskilder er mere energirigtige end andre. I mange tilfælde kan flere forskellige lyskilder anvendes til samme formål.

Valg af [lyskilde](#) afhænger af de krav, der stilles til æstetik, [synsopgave](#), sikkerhed, elforbrug og økonomi. I mange tilfælde vil lyskildevælget bero på et kompromis og bliver en af en prioritering mellem [energieffektivitet](#), også kaldet lysudbytte (lm/W) og lyskildernes øvrige karakteristika, herunder [levetid](#), [farveegenskaber](#), og [lysmængde](#).

Der kommer hele tiden nye lyskilder på markedet med nye egenskaber. De nyeste lyskilder er [lysdioderne](#) (LED), som findes i en række udformninger og kvaliteter, der kan anvendes både indendørs og udendørs.

Lysudbyttet er afgørende

I relation til energi er den vigtigste lyskildeparameter lysudbyttet, som er et mål for lyskildens energieffektivitet, dvs. hvor meget lys en lyskilde udsender i forhold til dens effekt.

Lysudbyttet angives i [lumen](#) pr. Watt (lm/W). Mens [halogenpærer](#) har et meget lavt lysudbytte på 8-26 lm/W, ligger lysudbyttet for [lysstofrør](#) og [lysdioder](#) typisk mellem 75 og 100 lm/W.

Kravene til lyskildernes lysudbytte afhænger af den årlige [driftstid](#). Ved lange driftstider bør der vælges lyskilder med højt lysudbytte, forudsat at de giver en [belysningskvalitet](#), som kan opfylde kvalitetskravene. Ved korte driftstider har lyskildernes lysudbytte mindre betydning for det samlede elforbrug.



Energieffektiv LED-lyskilde.
Foto: Philips.

LYSKILDEN STYRER EL-FORBRUGET

Lyskilden er styrende både for elforbruget, lysmængden, lysfordelingen og for udformningen af det armatur, hvor den skal anvendes.

Oftentimes vælges et [armatur](#), inden der er tænkt på, hvilken [lyskilde](#) der sidder i. Men det er en god idé at vælge lyskilden, før man vælger armaturet. På den måde sikrer man, at lyset har de kvaliteter, der er behov for, for eksempel den rigtige [lysfarve](#) og tilstrækkelig god [farvegengivelse](#).

De forskellige lyskildetyper fås alle i mange størrelser med forskelligt effekt (angives i watt). Effekten, også kaldet wattagen eller watt-størrelsen, fortæller, hvor meget el lyskilden bruger, når den er tændt, men ikke hvor meget lys den udsender.

En lyskildes [lysudbytte](#) (effektivitet) bestemmes som forholdet mellem den mængde lys, lyskilden udsender, og lyskildens effektbehov (Watt). Lysmængden angives i [lumen](#), som er enheden for [lysstrøm](#). I tabellen herunder findes eksempler på, hvor effektive de forskellige lyskilder typisk er.

Lyskilde	Wattage	Lysstrøm	Effektivitet
LED-lyskilde	5W *	400 lumen	80 lm/W
Glødepære	60 W	710 lumen	12 lm/W
Halogenglødepære	42 W	630 lumen	15 lm/W
Stifthalogen (lavvolt)	35 W + 3W **	600 lumen	16 lm/W
Sparepære	15 W	800 lumen	53 lm/W
Kompaktlystofrør	26 W ***	1.800 lumen	63 lm/W
Lysstofrør (HF)	35 W ***	3.300 lumen	86 lm/W
Metalhalogen	70 W ***	6.300 lumen	89 lm/W
Højtryksnatrium	100 W ***	10.200 lumen	93 lm/W

* LED med en farvetemperatur på 3.000 K, Ra80 og 12 % tab i driver.

** Tab i transformer vil typisk være +10 %.

*** Det er forudsat at disse lyskilder er HF-forkoblet. Tab i forkobling vil typisk være ca. 10-15 %.

Tabellen viser, hvor effektive de forskellige lyskildetyper generelt er, men der kan være store forskelle fra fabrikat til fabrikat og afhængig af wattage. [Sparepærer](#) er 4-5 gange mere effektive end almindelige [glødepærer](#). Samtidig er [halogenpærer](#) mere effektive end glødepærer. [Lysstofrør, metalhalogen- og højtryksnatriumlysninger](#) er blandt de mest effektive lyskilder. [Lysdioder](#) indgår ikke i tabellen på en fyldestgørende måde, hvilket skyldes at både kvaliteten og

effektiviteten af disse lyskilder svinger voldsomt.

Ved beregning af lyskilders effektivitet skal man være opmærksom på, at nogle typer lyskilder, for eksempel lysstofrør og lavvolt halogenpærer, kræver [forkoblingsudstyr](#), som også bruger strøm. Elforbruget i moderne HF-forkoblinger er typisk 10-15 % af lyskildens elforbrug.

DRIFTSMÆSSIGE HENSYN

De energirigtige lyskilder har forskellige driftsrelaterede egenskaber, som bør indgå i overvejelserne, når man vælger lyskilde.

[Lysstofrør](#) tåler relativt mange tænd/sluk og er velegnet til [dæmpning](#). Andre lyskilder, som [metahalogen- og højtryksnatriumlyskilder](#), har lang opstartstid og egner sig derfor ikke til mange tænd/sluk, ligesom de kun i nogle tilfælde nogle kan dæmpes.

Forkoblinger

For nogle typer lyskilder, som f.eks. lysstofrør, er det en forudsætning for lyskildernes funktion, at der indskydes en [forkobling](#) mellem netspænding og lyskilde for at begrænse og stabilisere lampestrømmen.

Forkoblingen kan være indbygget i lyskilden eller armaturet eller være monteret uden for armaturet. I [sparepærer](#), [LED-erstatningslyskilder](#) og nogle typer [halogenglødepærer](#) er forkoblingsudstyret indbygget i lyskilden.

Valget af forkobling har stor betydning for, hvor stort det totale el-forbrug i lyskilde og forkobling bliver. En elektronisk HF-forkobling har et forbrug svarende til ca. 10-15 % af lyskildens elforbrug, mens forbruget i konventionelle forkoblinger er ca. 25 %, for kompaktlysstofrør dog betydeligt højere. EU stiller krav til minimumseffektivitet for både lyskilder og forkoblinger.

Udover at elforbruget i HF-forkoblinger er lavere, giver de højfrekvente forkoblinger også et [flimmerfrit lys](#).

Typiske tab i forkoblinger, transformere og drivere

Tabet i forkoblingen kan variere. Mindre lyskilder i lave wattager har ofte et relativt større tab i forkoblingen end store lyskilder i højere wattager.

Eksempler på tab i forkoblinger og transformatorer i procent af lyskildernes egen effekt er vist i nedenstående tabel.

Lyskilde	Tab i % / W	
	Konventionel forkobling/transformer	HF, elektronisk forkobling/transformer/driver
LED	-	1-2 W
Halogenglødelamper, lavvolt	15 %	5 %
Kompaktlysstofrør	40-75 %	20-40 %
Lysstofrør	25 %	10-15 %
Kviksølv-, metalhalogen- og højtryksnatriumlamper	10-25 %	10 %

LYSKVALITET

Når man vælger lyskilde til en given opgave, bør lyskvaliteten indgå som et vigtigt element i overvejelserne.

Ved bedømmelse af lyskvaliteten bør der især tages hensyn til lysets [spektralfordeling](#), [farvetemperatur](#) og [farvegengivelse](#).

I tabellen nedenfor et vist eksempler på de forskellige lyskildetyper farveegenskaber og lysudbytte.

Lyskilde	Farvegengivelse Ra	Farvetemperatur K	Lysudbytte lm/W
LED (hvid)	50-97	2.700-6.500	10-100
Glødelamper	99	2.700	8-16
Halogenglødelamper *	99	2.800-3.500	8-26
Kompaktlysrør **	80-95	2.700-6.500	30-75
Sparepærer	80-85	2.700 - 3.000	30-65
Lysstofrør **	50-97	2.700-6.500	45-100
Kviksøvlamper **	20-60	3.200-4.200	30-60
Metalhalogenlamper **	60-98	3.000-6.000	60-95
Højtryksnatriumlamper **	25-80	2.000-2.800	30-130

* Lavvolt halogenlyskilder kræver transformere. Ved beregning af lm/W for denne type lysskilder, skal der tages højde for tab i transformeren.

** Disse lysskilder kræver forkobling. Ved beregning af lm/W skal der tages højde for tab i forkoblingen.

INTRODUKTION

Når man vælger armaturer til at belyse et lokale, bør man være opmærksom på, at armaturet opfylder de aktuelle behov.

En af armaturets vigtigste opgaver er at fastholde [lyskilden](#) samt at styre lyset ud ad armaturet og afskærme eventuel [blænding](#). Afhængig af hvor synligt armaturet er og hvor det anvendes, spiller designet naturligvis også en rolle.

Nogle armaturer er mere energirigtige end andre. Det er desuden vigtigt, at både armatur og lyskilde giver et passende og tilstrækkeligt lys.

Armaturet skal passe til synsopgaven

Et godt armatur er karakteriseret ved at have en [lysfordeling](#), hvor lysets retninger og styrke passer til den [synsopgave](#), armaturet er beregnet til. Derudover bør armaturet være effektivt, let at rengøre og vedligeholde samtidig med, at dets konstruktion og robusthed er afpasset efter karakteren af aktiviteter og omgivelser.

Hvis der for eksempel er tale om et kontorlokale, skal belysningen dels sørge for et passende belysningsniveau i lokalet som helhed, dels sikre, at der er tilstrækkelig lys til, at medarbejderne kan udføre deres arbejdsopgaver. I mange tilfælde vil det være både hensigtsmæssigt og mest energirigtigt at anvende [arbejdslamper](#) som supplement til den [almene belysning](#).

Hvis der er tale om en butik, skal lyset bidrage til at skabe den rette [stemning](#) og [æstetik](#). Her vil en energirigtig løsning ofte være et miks mellem en generel almenbelysning, der sikrer, at kunder og personale kan færdes sikkert i butikken, og en punktbelysning i form af spots eller lign., som kan fremhæve varerne. Her spiller designet ofte en afgørende rolle.

Den type belysning, som her er beskrevet for et kontorlokale og en butik kaldes [differentieret belysning](#).

Armaturer vælges dels ud fra oplysninger i armaturfabrikanternes kataloger, dels ud fra lystekniske [beregninger](#) og iagttagelser. Især, hvor det drejer sig om renovering af eksisterende belysningsanlæg, er det væsentligt, at man undgår de fejl og mangler, som de gamle armaturer havde. Hvis det er muligt, bør der foretages en [prøveophængning](#) af ét eller flere af de udvalgte armaturer.

Armaturerne skal være rengøringsvenlige

God [vedligeholdelse](#) af et belysningsanlæg giver mere lys for pengene og et lavere el-forbrug med færre armaturer. Armaturerne i et energirigtigt belysningsanlæg skal derfor være nemme at vedligeholde.

Vedligeholdelse af armaturer indbefatter:

- udskiftning af udtjente og slidet lyskilder og tilbehør
- rengøring af alle armaturets overflader
- justering af hele armaturet, herunder reflektorer og lyskilder
- evt. udskiftning af afskærmning

Et vedligeholdelsesvenligt armatur skal let kunne åbnes, når lyskilderne skal udskiftes. Det bør heller ikke volde besvær at tage afskærmning eller reflektorer ned, når de skal rengøres. Derudover bør armaturet være udformet og anbragt, så man ikke skal anvende specielt værktøj for at rengøre det. Armaturets materialer og overflader bør være overfladebehandlet og kunne tåle rengøring med almindelige rengøringsmidler.



Vægmonterede arkitektlamper.
Foto: Silla Herbst.

ARMATURETS EFFEKTIVITET

Et armatur kan være mere eller mindre effektivt. Effektiviteten angives enten ved en armaturvirkningsgrad eller ved lm/W.

For de fleste typer armaturer angives [armaturvirkningsgraden](#) som et mål for, hvor stor en del af det lys lyskilderne i armaturet udsender, der rent faktisk udsendes fra armaturet. Armaturvirkningsgraden knytter sig alene til armaturet og siger ikke noget om lyskildens effektivitet.

I armaturer, der anvender [LED](#) som lyskilde, angives armaturets effektivitet ofte i lumen pr. Watt (lm/W), dvs. ligesom [lysudbyttet](#) for lyskilder. Dette mål for effektiviteten af armaturer forventes at blive mere udbredt. Andre armaturers og belysningsløsningers virkningsgrad kan ligeledes angives i lumen/watt, hvorved en fornuftig sammenligning mellem LED-armaturer og armaturer med konventionelle lyskilder kan foretages.

I armaturer til f.eks. [lysstofrør](#), er det, der har størst betydning for et armaturs virkningsgrad, armaturets [reflektor](#) (eller mangel på samme) og eventuel [blændingsafskærmning](#), som f.eks. kan bestå af et gitter eller en diffuserende opalplade. Generelt gælder det, at armaturer med [spejlende reflektor](#) og få lyskilder har de højeste virkningsgrader. Reflektorens formål er at styre lyset. I et armatur med lysstofrør styres lyset hovedsagelig i retningen på tværs af røret. Med en asymmetrisk reflektor kan lyset f.eks. styres ud til den ene side til belysning af lodrette flader, reoler og tavler. Med andre typer reflektorer kan lyset styres nedad, så [blænding](#) til siderne undgås. Et reflektorarmatur er normalt mere effektivt end et armatur, der blot er malet hvidt indvendigt. Til gengæld er risikoen for generende blænding i nogle retninger større med en effektiv reflektor.

I armaturer med LED er det afgørende, at armaturet ikke bremser lyset fra LED'en. Ofte vil det dog være effektiviteten af selve LED'en, der afgør, hvor effektivt det samlede system (armatur og lyskilde) er.

Også armaturets blændingsafskærmning har stor betydning for et armaturs virkningsgrad og effektivitet. Armaturer med ringe afskærmning af lyskilderne har normalt en høj effektivitet, men samtidig stor risiko for blænding. Armaturer med spejlende elementer, som effektivt dirigerer lyset ud af armaturet, giver normalt også en høj effektivitet, mens brug af diffuserende elementer, f.eks. en opal afskærmning, vil resultere i en reduktion af armaturets effektivitet. Eksempler på effektivitet for forskellige typer armaturer er vist nedenfor.

I tabellen herunder findes eksempler på typiske armaturvirkningsgrader. Som det fremgår, har både reflektor og afskærmning betydning for armaturets virkningsgrad η .

Armaturtype	Armaturvirkningsgrad
Grundarmatur	95 %
Direkte nedadlysende armatur med reflektor uden gitter	85 %
Direkte nedadlysende armatur med reflektor og gitter	70 %
Direkte nedadlysende armatur uden reflektor med gitter	50 %
Direkte opadlysende armatur med reflektor	80 %
Direkte opadlysende armatur uden reflektor	50 %

Belysningsvirkningsgraden η_B











Belysningsvirkningsgraden er et mål for, hvor effektivt armaturerne distribuerer lyset derhen, hvor det skal bruges. Belysningsvirkningsgraden fortæller således hvor mange procent af det lys, som lyskilderne i armaturet udsender, der når frem til arbejdsplanet. Ved energimæssig bedømmelse af et belysningsanlæg er belysningsvirkningsgraden η_B en vigtig parameter.

Da en del af lyset reflekteres af lokalets overflader, inden det når arbejdsplanet, har både [rummets form og farver](#) betydning for belysningsvirkningsgraden. Belysningsvirkningsgraden er altså knyttet til både armatur og rum og gælder kun for netop det armatur i det konkrete rum og den specifikke ophængning.

For et direkte nedadlysende armatur vil forskellen på armaturets armaturvirkningsgrad og belysningsvirkningsgrad som regel ikke være lige så stor som for et armatur, der sender en del af lyset opad.

Indirekte lysende armaturer har ofte en høj armaturvirkningsgrad, men en relativt lav belysningsvirkningsgrad, hvilket skyldes at loftet kun reflekterer en del af lyset fra armaturet, mens den resterende del aldrig når frem til arbejdsplanet.

Også de anvendte armaturers placering og [lysfordeling](#) har betydning for belysningsvirkningsgraden. Alt andet lige vil lyse overflader give en højere belysningsvirkningsgrad end mørke overflader. Hvis der anvendes indirekte lysende armaturer, dvs. armaturer der sender lyset opad mod loftet, er det altafgørende, at loftet er lyst og dermed har en passende høj [reflektans](#), ligesom lofthøjden i lokalet skal være tilstrækkelig, til at lyset kan spredes i lokalet.

Armaturtype & lysfordeling	Virkningsgrad i pct.		
	Armatur	Rum	
		Lyse farver	Mørke farver
Ensartet lysende			
 Uden afskærmning	95	70	45
 Opal afskærmning	80	60	40
Direkte opadlysende			
 Med reflektor	80	40	15
 Uden reflektor	50	25	10
Fortrinsvis nedadlysende			
 Med reflektor, 5 % oplys, uden gitter	90	80	70
 Med reflektor, 20 %, oplys, med gitter	75	65	45
 Uden reflektor, 20 % oplys, med gitter	65	55	40
Direkte nedadlysende			
 Med reflektor, uden gitter	85	80	70
 Med reflektor og gitter	70	70	60
 Uden reflektor, med gitter	50	50	40

Tabellen viser, hvordan belysningsvirkningsgraden for et armatur ændres afhængig af farver på loft og vægge i et rum.

Kilde: SBI-anvisning 184.

Armaturvalget har betydning for elforbruget

Valget kan stå mellem to armaturer med samme lyskilde, f.eks. 1x35 W T5 lysstofrør. Hvis det ene armatur er primært direkte lysende med en smule oplys, kan det have en virkningsgrad på 88 %, mens et direkte lysende armatur kan have en virkningsgrad på 66 %.

Hvis lokalet er et storrumskontor på 200 m² med standardreflektanser af vægge, loft og gulv, skal der anvendes henholdsvis 24 og 30 stk. alt efter hvilket armatur, der vælges.

LYSFORDELING OG BLÆNDING

Når man vælger armaturer, bør man vælge et armatur, der er så effektivt som muligt og har en lysfordeling, der passer til opgaven og giver en god fordeling af lyset i rummet.

Armaturet skal have en passende [blændingsafskæmning](#), så [krav til maksimale blændingstal](#) er overholdt. Samtidig skal afskæmningen ikke være så effektiv, at det går ud over armaturets effektivitet.

Valget af armaturer bliver ofte en afvejning af [visuel komfort](#) og energihensyn. En grundig kortlægning af krav til funktion og komfort samt energihensyn giver det bedste resultat.



Lysrørsarmaturer med en ligelig fordeling af lys udsendt mod loftet og nedad mod arbejdspladserne. Foto: Thorn.

Den lystekniske beregning kan afsløre eventuelle mangler

En [lysberegning](#) er en obligatorisk del af belysningsplanlægningen.

Når man har valgt armaturer og planlagt belysningen i et arbejdslokale, bør man altid få lavet en lystekniske beregning af belysningen. Den lystekniske beregning vil vise, om det er nødvendigt at rette op på nogle forhold inden belysningen installeres.

En lystekniske beregning bør tage højde for alle kendte faktorer, herunder rummets dimensioner, farver, overflader og indretning, og kan bl.a. give følgende oplysninger om armaturets virkning i det specifikke lokale:

- blændingstal, herunder både middel- og maks-blændingstal og gerne blændingstalsfordelingen
- [belysningsstyrke](#) og regelmæssighed i belysningen
- [belysningsvirkningsgraden](#), dvs. den samlede effektivitet af belysningen
- valide og realistiske 3D-visualiseringer, der viser det samspil, der vil være mellem lyskilder, rum og armatur

Ombygning af armaturer

Som en måde at nedbringe elforbruget kan det i visse tilfælde være relevant at ombygge eksisterende armaturer til nye, elbesparende lyskilder.

Ombyggede armaturer skal, ligesom nye armaturer, opfylde sikkerhedskrav i Stærkstrømbekendtgørelsen, f.eks. mht. hvor varmt armaturet må blive, samt krav til mærkning, herunder CE-mærkning. Ukyndig ombygning af belysningsarmaturer er ikke lovlig og kan desuden være farlig.

Stærkstrømbekendtgørelsen er tilgængelig på internettet på Sikkerhedsstyrelsens hjemmeside www.sik.dk.

DIFFERENTIERET BELYSNING

En differentieret belysningsløsning giver oftest den bedste kvalitet i belysningen. Samtidig har en differentiering af belysning som regel den sidegevinst, at elforbruget til belysningen er lavere, end hvis belysningen ikke differentieres.

Et differentieret belysningsanlæg i et kontor indeholder typisk loftsarmaturer. På denne måde opnås tilstrækkeligt lys til rengøring, færdsel og mindre krævende arbejdsopgaver, suppleret med særbelysning i form af f.eks. [arbejdslamper](#) efter behov til belysning af de arbejdspladser, hvor der foregår mere krævende eller vedvarende arbejde.



På kontorarbejdspladsen anvendes typiske flere typer armaturer. Foto: Glamox.

På andre typer arbejdspladser eller i butikker og lign. kan en differentieret belysning passende bestå af et antal armaturer som sørger for en god [almenbelysning](#) og er suppleret med en særbelysning, f.eks. [arbejdslamper](#), [spotlights](#).

Særbelysningen kan have forskellige funktioner. På en arbejdsplads skal særbelysningen ofte sikre at [belysningsstyrken](#) på arbejdsplanet er tilstrækkelig, der hvor der er brug for mere lys. I en butik eller lignende skal særbelysningen ofte fremhæve udvalgte områder.

Med en arbejdslampe bliver elforbruget som regel mindre og belysningskvaliteten bedre. Derudover virker det positivt, at personen på arbejdspladsen selv har indflydelse på sine belysningsforhold.

Ligesom andre armaturer bør en arbejdslampe vælges ud fra det arbejde, der skal udføres på den enkelte arbejdsplads. Den arbejdslampe, der er velegnet til én type arbejde, er måske helt forkert til en anden. Derfor bør man også altid afprøve en arbejdslampe under de givne arbejdsforhold. Arbejdslampen bør desuden være så energirigtig som muligt.

INTRODUKTION

Ligesom mange andre tekniske anlæg skal belysningsanlæg holdes ved lige. De skal serviceres, rengøres og justeres med jævne mellemrum. Hvis belysningen ikke bliver vedligeholdt vil lyset blive svagere og svagere i takt med at lyskilderne bliver gamle og armaturer, lyskilder og lokale smudses til.

Vedligeholdelse af et belysningsanlæg indebærer at man:

- rengør armaturer og lyskilder systematisk
- sørger for at lokalets vægge og lofter er rene og lyse
- udskifter lyskilder, enten systematisk (gruppeudskiftning) eller når de er gået

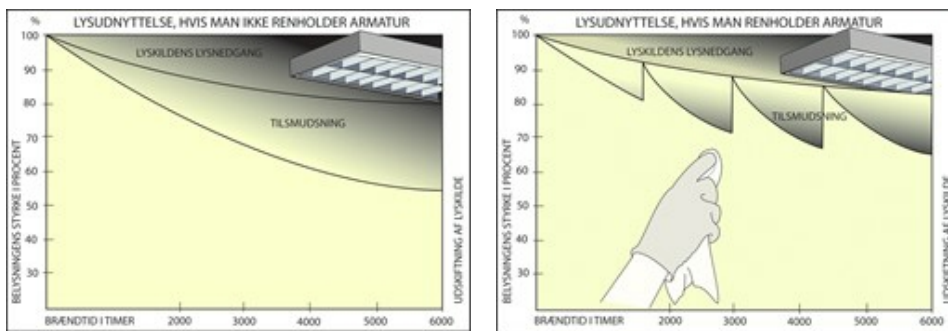
Gruppeudskiftning betyder, at samtlige lyskilder i et lokale eller en bygning udskiftes på én gang og i en fast frekvens.

På mange arbejdspladser opfylder belysningen slet ikke [gældende myndighedskrav](#), hvilket primært skyldes, at vedligeholdelsen af belysningsanlæggene forsømmes. Det betyder både dyrere og dårligere belysning.

Belysningsanlæg forringes med tiden

Forringelsen af et belysningsanlæg er især stor i den første tid, efter at anlægget er taget i brug. De vigtigste årsager til dette er:

- For de fleste typer lyskilder gælder det, at den udsendte [lysmængde](#) aftager i løbet af lyskildens [levetid](#), hvilket skyldes naturligt slid, når lyskilden brænder. Denne nedgang i lysmængden kan man ikke gøre noget ved.
- Lyskilder bliver defekte - i nogle tilfælde før tiden på grund af defekter, varme, slag og rystelser eller mange hyppige tændinger.
- Støv, fedt og andet snavs sætter sig på armaturer og lyskilder samt på vægge og lofter og hindrer lyset i at nå frem til det sted, hvor det skal bruges. Tilsmudsningen er ofte et større problem i industrianlæg end på kontorer.
- [Armaturenes komponenter](#) ændrer sig f.eks. ved korrosion af metalreflektorer, gulning af plastdele eller ved beskadigelse
- [Styring og regulering](#) bliver ikke kontrolleret og vedligeholdt. Løbende servicekontrol og justering er en forudsætning for et velfungerende anlæg.



Nedgang i lyskildernes lysstrøm og tilsmudsning af belysningsanlæg og lokale er de vigtigste årsager til, at belysningsanlæg forringes med tiden. Ved en systematisk vedligeholdelse kan forringelsen begrænses.

For at krav til [belysningsstyrker](#) skal være opfyldt, også umiddelbart før rengøring eller udskiftning af lyskilder, vil en vis [overdimensionering](#) af et belysningsanlæg ofte være nødvendig. En anden mulighed er dog at installere [dagslysstyring](#) efter [konstantlysprincippet](#).

Nødvendig overdimensionering

Hvor stor en eventuel overdimensionering skal være, udtrykkes ved en såkaldt [vedligeholdelsesfaktor](#), som skal fastlægges ved projekteringen af et nyt belysningsanlæg.

Rutiner for vedligeholdelse af belysningsanlægget fastlægges ud fra, hvor meget arbejde og andre aktiviteter sviner, hvor snavsede omgivelserne er, og hvilke lyskilder og armaturer der anvendes. Når rutiner for vedligeholdelse er lagt fast, kan vedligeholdelsesfaktoren bestemmes. Vedligeholdelsesfaktoren ligger typisk mellem 0,5 og 0,7 og de mindste værdier forekommer i

snavsede industrimiljøer. En faktor på 0,5 medfører en fordobling af det dimensionerede lysniveau i forhold til den krævede værdi.

Vælg vedligeholdelsesvenlige lyskilder og armaturer

Åbne armaturer er mere vedligeholdelsesvenlige end delvist lukkede armaturer. I åbne armaturer forhindrer luftstrømmen gennem armaturet nemlig, at snavs sætter sig på armaturets flader.

Hvis man anvender lyskilder med lang levetid, skal lyskilderne ikke skiftes så ofte, hvilket også mindsker udgifterne til vedligeholdelse.

Sørg for at tænke vedligeholdelsen med allerede når belysningen planlægges, og vælg vedligeholdelsesvenlige armaturer og lyskilder.

VEDLIGEHOLDELSSESFAKTOREN

Beregning af vedligeholdelsesfaktorer sikrer, at der også er lys nok på den sidste dag af lyskilders og armaturers levetid. Faktoren afhænger af flere forhold og indgår som en central faktor ved projektering af et belysningsanlæg.

Vedligeholdelsesfaktoren (f_m) udtrykker forholdet mellem driftsværdi (umiddelbart inden rengøring og udskiftning af lyskilder) og nyværdi af [belysningsstyrken](#) f.eks. på et arbejdsplan eller en gade.

Vedligeholdelsesfaktoren afhænger dels af lyskildernes [lysstrømsnedgang](#) over tid, dels af tilsmudsningen af lyskilder, armaturer og rummets overflader. Det nødvendige effektbehov for et belysningsanlæg afhænger direkte af den vedligeholdelsesfaktor, der benyttes ved [beregning](#) af anlægget.

Tilsmudsningen afhænger bl.a. af [armaturenes konstruktion](#) og støvfølsomhed samt af rummets benyttelse. Tilsmudsningen foregår også, når belysningen ikke er tændt. Valg af armaturer, som ikke så let tilsmudses, hyppig rengøring af armaturer samt regelmæssig [gruppeudskiftning](#) af lyskilder resulterer i høj vedligeholdelsesfaktor og dermed lavt effektbehov og ofte også i lavere driftsomkostninger.

Vedligeholdelsesfaktorens størrelse er afgørende for anlæggets økonomi og elforbrug. Derfor er følgende punkter en væsentlig del af projekteringsarbejdet:

- Vælg armaturer og lyskilder, der tilgodeser også vedligeholdelsesmæssige forhold
- Vælg en vedligeholdelsesmåde, hvor udgifter til lyskildeudskiftning samt økonomiske og energimæssige virkninger af vedligeholdelsen er balanceret
- Bestem korrekt vedligeholdelsesfaktor
- Oplys slutbrugeren om vedligeholdelse ved aflevering af projektet

Bestemmelse af vedligeholdelsesfaktoren

For arbejdspladsbelysning fremgår det af DS/EN 12464-1, at vedligeholdelsesfaktorer (MF, Maintenance Factor) skal beregnes efter CIE 97:2005 Maintenance of Indoor Electric Lighting Systems:

$$MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$$

Hvor

- LLMF er Lamp Lumen Maintenance Factor/Lyskildens lysstrømsnedgang over tid
- LSF er Lamp Survival Factor/Lyskildens overlevelse
- LMF er Luminaire Maintenance faktor/Armaturtilsmudsningfaktoren
- RSMF er Room Surface Maintenance faktor/Rumtilsmudsningfaktoren

Imidlertid tager CIE-publikationen på grund af sin alder ikke højde for LED.

Standarden DS/ISO/CIE TS 22012:2019 Lys og belysning - Bestemmelse af vedligeholdelsesfaktor - Arbejdsmetode, sammenfatter de gamle CIE 154:2003 (udendørs) og CIE 097:2005 (indendørs). Desuden redegøres for, hvordan man arbejder med LED, som er helt anderledes pga. de lange levetider og muligheden for at arbejde med CLO (Constant Lumen Output). Den tekniske specifikation rundes af med 4 gode beregningseksempler.

TS 22012 er også opdateret med nye symboler, idet rater generelt er et lille "p", og faktorer er et lille "f", begge efterfulgt af et forklarende suffiks. Væk er altså den gamle formel $MF = LLMF \cdot LSF \cdot LMF \cdot RSMF$, som er erstattet af

$$f_m = f_{LF} \cdot f_S \cdot f_{LM} \cdot f_{SM}$$

Hvor

- f_{LF} er Lamp Lumen Maintenance Factor/Lyskildens lysstrømsnedgang over tid
- f_S er Lamp Survival Factor/Lyskildens overlevelse
- f_{LM} er Luminaire Maintenance faktor/Armaturtilsmudsningfaktoren
- f_{SM} er Room Surface Maintenance faktor/Rumtilsmudsningfaktoren

Beregningseksempel på vedligeholdelsesfaktor efter TS 22012

Til LED-belysning af et almindeligt, åbent kontorareal angiver kunden følgende:

- Forventet driftstid mellem armaturudskiftninger 40.000 h
- Går ét armatur i stykker, skiftes det straks (punktudskiftning = ikke gruppeudskiftning)
- Miljøet er "rent"

- Valgt armaturrengøringsinterval er 1,0 år
- Valgt rumrengøringsinterval er 2,0 år
- Reflektanser på loft/vægge/gulv er 0,8/0,7/0,2

Lysdesigneren vælger en armaturtype, hvor levetiden fra leverandøren er opgivet til LED L80B10 (v/50.000h). Armaturet er IP21, direkte lysende. Der ikke CLO.

Resulterende faktorer iflg opslag i TS 22012:

- f_{LF} : 0,84
- f_S : 1,00
- f_{LM} : 0,88
- f_{SM} : 0,91

Samlet vedligeholdelsesfaktor:

$$f_m = f_{LF} \cdot f_S \cdot f_{LM} \cdot f_{SM} = 0,84 \cdot 1,00 \cdot 0,88 \cdot 0,91 = \underline{0,67}$$

Ifølge DS/EN 12464-1:2011 "skal lysdesigneren (lysplanlæggeren) angive vedligeholdelsesfaktoren samt opliste alle forudsætninger, der er anvendt til bestemmelse af værdien".

Dansk Center for Lys har udgivet et lille værktøj til automatisk beregning af vedligeholdelsesfaktoren. Kan findes her: <https://centerforlys.dk/viden-om-lys/branchevejledning-lys-og-belysning-funktionsafproevning/>

VEDLIGEHOLDELSPLAN

En vedligeholdelsesplan er en central del af projekteringen af et godt belysningsanlæg. Her er både rengøring og udskiftning af lyskilder sat i system.

Enhver [projektering](#) af belysning skal indeholde en vedligeholdelsesplan, som brugerne eller virksomheden herefter kan anvende som udgangspunkt for vedligeholdelsesarbejdet.

Hovedpunkterne i en vedligeholdelsesplan må tilpasses både lokale og omgivelser. Planen skal tage hensyn til, om arbejdet er mere eller mindre støvende. Derudover skal vedligeholdelsen tilpasses arbejdsgang, ferieperioder mv., ligesom den klart skal beskrive, hvordan instruktionerne bliver ført ud i livet, og af hvem.

Det er i øvrigt vigtigt, at de ansvarlige for vedligeholdelsen får et eksemplar af vedligeholdelsesplanen.

Hvis der anvendes [lysstyring](#) og regulering bør der udarbejdes en plan for vedligeholdelse og kontrol af denne.

Krav til vedligeholdelsesplan

En vedligeholdelsesplan skal give klare instrukser for, hvordan og hvornår vedligeholdelsen skal gennemføres, og hvem der har ansvaret for, at instrukserne bliver ført ud i livet. Det kan normalt betale sig at [gruppeudskifte](#) lyskilderne. Ligeledes vil grupperengøring af armaturer og tilbehør være mest fordelagtig.

Terminer for rengøring af vinduer og ovenlys samt maling af loft og vægge bør også være indeholdt som et fast element i planen. Det samme gælder jævnlig kontrol af belysningen .

Belysningsanlægget skal rengøres og serviceres regelmæssigt, og rumflader rengøres eller males igen med passende intervaller. Serviceintervallerne skal afpasses, således at [belysningsstyrken](#) aldrig bliver mindre end den driftsværdi af belysningsstyrken, der er krævet.

Hvis man ønsker at få udarbejdet en vedligeholdelsesplan for et eksisterende belysningsanlæg, kan man henvende sig til belysningskonsulenter og andre rådgivere og få dem til at udarbejde en plan.

Hvad skal en vedligeholdelsesplan indeholde?

Udskiftning af lyskilder

I de fleste tilfælde er gruppeudskiftning af lyskilder det mest rentable. Dvs. at samtlige lyskilder (også de, der stadig lyser) skiftes på én gang i en på forhånd fastlagt gruppe. Gruppeudskiftning indebærer, at enkelte udbrændte lyskilder ikke udskiftes før den planlagte gruppeudskiftning med mindre de giver anledning til gener, f.eks. [lysstofrør](#), der blinker.

Rengøring af armaturer og lyskilder

Uanset hvilken type belysningsanlæg man har, vil det næsten altid kunne betale sig at rengøre alle [armaturer](#) samtidig. Rengøringen bør kombineres med udskiftning af lyskilder. Det vil ofte være en fordel at støvsuge armaturerne, inden man vasker dem af. Enkelte typer komponenter, som for eksempel [reflektorer](#), kan kræve særlig behandling. Er man i tvivl, må man kontakte forhandleren eller leverandøren. I meget snavsede lokaler, hvor man gør armaturerne rene ind imellem lyskildeudskiftningerne, bør man desuden rengøre lyskilderne. Lyskilderne skal være helt afkølede inden de kommer i berøring med vand. Inden strømmen slutes efter rengøringen, skal både lyskilder og armaturer være helt tørre.

Rengøring/maling af lofter og vægge

Belysningen i et lokale afhænger af, hvor mørke eller lyse rummets flader er. Snavsede og mørke flader kaster mindre lys tilbage end lyse og rene flader. I lokaler med lyse flader kan man få op til 25% mere lys på arbejdspladsen i forhold til, hvad samme belysningsanlæg kan præstere i et mørkt lokale. Der er derfor god økonomi i at vælge lyse farver og sørge for at holde vægge og lofter rene.

Dagslyset skal også vedligeholdes

[Dagslyset](#) yder mange steder et stort bidrag til belysningen. Vedligeholdelsen må derfor også omfatte dagslyset, dvs. indvendig og udvendig pudsning af vinduer, herunder også ovenlys.

Kontrol

Belysningsstyrken i et arbejdslokale må aldrig ligge under det niveau, som er fastsat i [DS/EN 12464-1](#). Også lige før en gruppeudskiftning af lyskilder eller før en rengøring af belysningsanlægget skal DS/EN 12464-1 være overholdt. En kontrolmåling på dette tidspunkt kan derfor give et fingerpeg om, hvorvidt vedligeholdelsesplanen skal strammes.

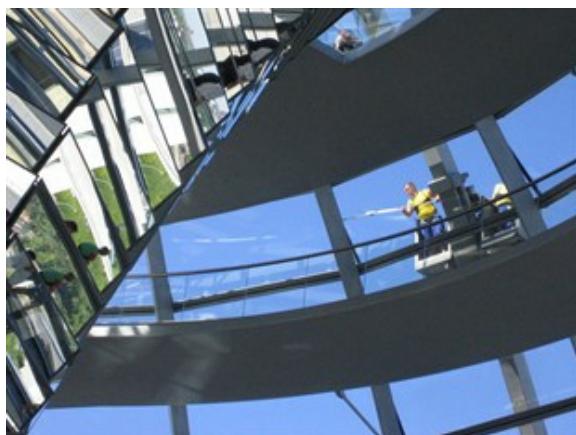
Frekvens

Hvor hyppigt man skal skifte lyskilder og gøre rent afhænger af forholdene på stedet: Hvor snavset der er? Hvilke armaturer og lyskilder man bruger? Hvor meget anlægget er tændt? etc.

Dagslyset skal vedligeholdes

Mange steder yder dagslyset et stort bidrag til belysningen. Vedligeholdelsen må derfor også omfatte dagslyset, dvs. indvendig og udvendig pudsning af vinduer og eventuelle ovenlys.

God vedligeholdelse sikres bedst gennem en vedligeholdelsesplan, som giver klare instrukser for, hvordan og hvornår vedligeholdelsen skal gennemføres. Udover terminer for vedligeholdelse af den kunstige belysning, bør rengøring af vinduer og ovenlys samt maling af loft og vægge være indeholdt i planen. Rene vinduer er desuden en væsentlig forudsætning for rentabiliteten af et belysningsanlæg med dagslysstyring.



Vedligeholdelse af dagslyset. Foto: Astrid Espenhain.

VEDLIGEHOLDELSE BETALER SIG

Selvom erfaringen viser, at vedligeholdelse betaler sig, har mange virksomheder ikke udarbejdet nogen plan for vedligeholdelse af belysningen.

Ud fra en totaløkonomisk betragtning, handler det om at minimere de samlede årlige omkostninger. God vedligeholdelse af belysningsanlæg mindsker nedslidning og sikrer, at [belysningskvaliteten](#) bibeholdes. Samtidig minimeres både elforbrug og investeringsbehov, ligesom sikkerhed, funktionalitet og [visuel komfort](#) fastholdes i hele belysningsanlæggets levetid.

Overdimensionering er dyrere end vedligeholdelse

Når man [projekterer](#) et nyt belysningsanlæg eller overvejer en ombygning af det gamle, skal man være opmærksom på, at vedligeholdelse af belysningen har betydning for både anlægs- og driftudgifter.

Hvis man på forhånd regner med, at armaturerne sjældent bliver rengjort, at lyskilderne bliver udskiftet tilfældigt osv., vil man være nødt til at overdimensionere anlægget. Ellers kan det ikke til enhver tid opfylde kravene i [DS/EN 12464-1](#).

Et overdimensioneret anlæg er dyrt i drift. Mens anlægget er nyt og rent, betaler man for lys, man ikke har brug for. Når anlægget er blevet snavset, betaler man for lys, man ikke får. Desuden er et overdimensioneret anlæg dyrere i anskaffelse - det kræver flere armaturer og lyskilder. Derfor er der god økonomi i at vedligeholde belysningen.

Nye lysstofrør i gamle armaturer

I mange belysningsanlæg sidder der stadig gamle og uøkonomiske [lysstofrør](#). Det kan derfor være en oplagt sparemulighed at bytte disse rør ud med nye, energivenlige rør, men det skal ske med omtanke.

Mange ældre armaturer er voldsomme "lysslugere" i forhold til moderne armaturer. Derudover kan de være beskadigede og nedslidte, hvilket yderligere forringer lysøkonomien, uanset rørenes effektivitet. I sådanne tilfælde kan investeringen i nye armaturer ofte tjenes hjem i driftsbesparelser på få år.

INTRODUKTION

Nye belysningsanlæg skal som minimum overholde gældende lovkrav. Kravene ændres fra tid til anden og det er derfor vigtigt at holde sig orienteret om ændringer.

Gældende krav til indendørs belysning findes i Bygningsreglementet, EN-standarder samt i Arbejdstilsynets bekendtgørelser.



LOVMÆSSIGE KRAV

De danske krav til belysning på arbejdspladser og i skoler, institutioner mv. er lovkrav og skal overholdes.

Bygningsreglementet gælder for alt nybyggeri og i mange tilfælde ved renovering og findes på www.bygningsreglementet.dk. Det nyeste bygningsreglement er fra 2018 og går under betegnelsen BR18. De relevante afsnit vedr. kunstlys og dagslys findes i bygningsreglementets indeklimaafsnit under lysforhold, mens de energimæssige krav findes i afsnittet om energiforbrug.

Ifølge Bygningsreglementet skal belysningen på indendørs arbejdspladser overholde den europæiske standard DS/EN 12464-1.

I Arbejdsministeriets bekendtgørelse nr. 96 om faste arbejdssteders indretning findes desuden en række krav vedr. dagslysforhold og kunstig belysning i arbejdsrum. Bekendtgørelsen findes på Arbejdstilsynets hjemmeside www.at.dk.

Krav til energiforbrug i bygningsreglement

I bygningsreglementets afsnit om energiforbrug findes krav til den samlede energiramme for en bygning. For nye bygninger er kravene opdelt i 2 kategorier;

- Boliger, kollegier, hoteller mv.
- Kontorer, skoler, institutioner og andre, der ikke er omfattet af den første kategori

For boliger, kollegier, hoteller mv. stilles der krav til bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal. Her regnes belysningen ikke med i den samlede energiramme. Dette skyldes bl.a. at andelen af fast belysning i boliger normalt er meget lille.

For kontorer, skoler, institutioner mv. stilles der krav til bygningens samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling, varmt brugsvand og belysning pr. m² opvarmet etageareal. Dvs. at belysningen regnes med i energirammen for kontorer, skoler, institutioner mm.

Belysningen tæller mere end dobbelt

Energirammen for en bygning beregnes i beregningsprogrammet Be10. Ved beregning af energirammen gælder desuden, at elforbruget skal ganges med en faktor 2½. For de bygningstyper, hvor belysningen regnes med i energirammen betyder det, at belysningen udgør en betragtelig del af bygningens samlede energiramme.

I tabellen nedenfor ses de specifikke krav til energirammen for de to bygningskategorier. Derudover indeholder tabellen krav til den frivillige lavenergiklasse.

Tabel 1: Energirammen for nye bygninger iht. bygningsreglementet.

Energiforbrug [kWh/m ² pr år]	Standard BR18 energiramme	Lavenergiklasse
For boliger, kollegier, hoteller mm. (belysning er eksklusiv)	30,0 kWh/m ² /år + 1.000 kWh/år/A	27 kWh/m ² /år
For kontorer, skoler, institutioner mm.	41,0 kWh/m ² /år + 1.000 kWh/år/A	33 kWh/m ² /år

A er arealet af bygningens opvarmede etageareal

Udover de lovmæssige krav til belysning, styring og energiforbrug er det vigtigt at belysningsanlægget fungerer og bruges efter hensigten. I den forbindelse er det ofte relevant at stille en række yderligere krav til anlægget.

LYSSTYRINGEN SKAL FUNGERE

De styringsløsninger, der ofte er en del af et belysningsanlæg, bør leve op til både lovmæssige krav og en række krav til betjening, funktion, tryghed mv.

For et avanceret belysningsanlæg hænger brugertilfredsheden nøje sammen med, at det er nemt og letforståeligt at betjene teknikken uden at begå fejl. Derfor skal det for eksempel være nemt at tænde lyset, når man kommer ind i et lokale.

En af forudsætningerne for at [lysstyringen](#) kommer til at fungere og benyttes efter hensigten er at bygherren, rådgiveren, styringsleverandøren, slutbrugeren og alle øvrige projektparter er enige om, hvordan lysstyringen skal fungere. En af udfordringerne ved at anvende lysstyring er at få brugerne til forstå og bruge systemerne rigtigt. Derfor er det vigtigt at der udarbejdes en god funktionsbeskrivelse - et eksempel findes her:

Eksempel på funktionsbeskrivelse styring efter lysindfaldet gennem vinduet

En sensor, der er rettet mod vinduet, måler det dagslys, som kommer ind i rummet.

Belysningen tændes ikke, hvis lysindfaldet er over en indstillet grænse, som er indstillet af installatøren eller anden fagperson.

Hvis lysindfaldet er under denne grænse, reguleres belysningen afhængigt af lysindfaldet.

I rum med stor rumdybde er belysningen inddelt i [zoner](#), så lyset dæmpes mest i zoner nær vinduerne, og mindre i zoner længere inde i rummene.

Ansvar for indregulering

Lysstyringssystemer kræver [indregulering](#). Indreguleringen kan være vanskelig da den dels omfatter indstilling af parametre, som ikke kan indstilles før byggeriet er færdigt, dels parametre, der afhænger af individuelle brugerønsker.

Det er vigtigt, at ansvaret for indreguleringen er placeret og at der er afsat tid til indreguleringen. Hvis ikke indreguleringen kan afsluttes inden overdragelse af bygningen til brugerne, bør brugerne informeres om det på en måde, så man undgår en negativ reaktion på den manglende indregulering.

Sørg for at der udarbejdes en plan for vedligeholdelse og en løbende kontrol af, at styringen og reguleringen sker som projekteret.

Opbygning af funktionsbeskrivelser

Funktionsbeskrivelser bør opbygges, så de følger principperne, der er givet af foreningen bips (byggeri - informationsteknologi - produktivitet - samarbejde). Se www.bips.dk.

I 'SBI-anvisning 220 Lysstyring' findes eksempler på funktionsbeskrivelser for lysstyringer.

Brugervejledning

Gode brugervejledninger kan sikre at lysstyringsanlægget bruges og [vedligeholdes](#) korrekt. For anlæg over en vis størrelse, kan passende udarbejdes to vejledninger,

- Vejledning om betjening, pasning og vedligeholdelse
- Vejledning til brugerne om betjening af lysstyringen i det konkrete rum

Førstnævnte er rettet mod driftspersonale og serviceteknikere og skal give disse en let og overskuelig introduktion til systemerne. Den anden er rettet mod de enkelte brugere og bør indeholde oplysninger der motiverer til brug af det installerede udstyr.

(Indholdet i dette afsnit er baseret på SBI-anvisning 220 Lysstyring, C. Reinhold et.al., 2008).

INTRODUKTION

Omkring 20 % af Danmarks samlede elforbrug anvendes til belysning. Flere undersøgelser viser, at dette tal kan halveres. De største besparelser opnås gennem anvendelse af energirigtig belysning og kortest mulig driftstid.

Ifølge tal fra Center for Energibesparelser (nu Energistyrelsen) udgør belysningen i skoler op til 50 % af det samlede elforbrug og for kontorer og administration op til 40 %.

På trods af systematisk arbejde med elbesparelser er der i Danmark stadig et meget stort urealiseret elbesparelspotentiale som følge af fremkomsten af ny energieffektiv teknologi og viden.

Med de nye energibestemmelser i [Bygningsreglementet](#) vil fokus på [dagslys](#) og [dagslysstyring](#) blive forstærket, og det vil være langt mere nærliggende for arkitekter og rådgivere at sikre gode dagslysforhold i nye byggerier og ved omfattende renoveringer. Men der findes mange rum uden dagslys og her kan ofte opnås store elbesparelser ved anvendelse af [bevægelsesmeldere](#).

Siden 2006 har man for nye kontorer, skoler, institutioner og erhvervsbygninger skullet beregne det samlede energibehov til opvarmning, ventilation, evt. køling, varmt brugsvand samt belysning. I beregningen af den samlede energiramme ganges den del af det samlede energibehov, der kommer fra el med en faktor 2½. Derfor kommer belysningen nemt til at stå for en betragtelig del af bygningens totale energiramme. Erfaringer har vist at belysningen udgør mindst 25 % af bygningens samlede energiramme. Kun hvis belysningsløsningen er effektiv og der tilmed er et godt dagslysindfald, som udnyttes optimalt, vil belysningens andel af energirammen komme under 25 %. Uden dagslysstyring forøges belysningens elforbrug betydeligt, og Bygningsreglementets energikrav vil kun vanskeligt, eller slet ikke kunne overholdes.

Derfor er det nødvendigt at dagslysforhold i bygninger optimeres, så man kan udnytte det naturlige dagslys. Samtidig er det nødvendigt at benytte energieffektive belysningssystemer inkl. gode styringsløsninger både i bygninger og på udendørsarealer og fælles adgangsveje. Eksempler på energirigtige belysningsløsninger til kontorer, undervisningslokaler, gangarealer og institutioner kan ses på www.spareenergi.dk, der bl.a. indeholder lister over gode og energirigtige belysningssystemer.

BESPARELSESPOTENTIALT

Elforbruget kan nedbringes på mange måder. Hvilket system, der er det mest energieffektive til en given lejlighed, vil afhænge af flere forhold.

Den kortest mulige [driftstid](#) opnås via behovsstyring af belysningen, dvs. bedst mulig udnyttelse af [dagslys](#) og anvendelse af [bevægelsesmelder](#) og/eller [urstyring](#). Derfor må nye bygninger bygges med så optimale dagslysforhold som muligt og belysningen skal reguleres efter dagslysniveauet og om der personer til stede i rummet.

Besparelspotentialet ved at installere [dæmpning](#) på belysningssystemet er op til 30 %. Tilføjes en bevægelsessensor vil man kunne spare ca. 50 % og ved yderligere at tilføje en [dagslysstyring](#) vil man kunne spare ca. 70 % af elforbruget til belysning. Besparelsen ved dagslysstyring kan beregnes vha. simuleringssprogrammer som f.eks. FABALight, DiaLux og LightCalc.

Udendørs arealer tæller også

Også i belysningsanlæg til fælles adgangsveje og udendørsarealer, herunder trapper, gange, stier samt parkeringsarealer kan der opnå store besparelser ved at anvende passende styringsløsninger og udnytte eventuelle bidrag fra dagslyset optimalt. I den forbindelse bør man imidlertid være opmærksom på særlige forhold, f.eks. hensyn til tryghed og sikkerhed.

I det følgende gennemgås de vigtigste parametre, der har indflydelse på besparelspotentialet.

El-forbrug

Det årlige elforbrug til belysning afhænger både af effektbehovet og belysningens driftstid. For belysningsanlæg med konstant effektbehov i driftstiden, dvs. belysningsanlægget er tændt i hele driftstiden, kan det årlige elforbrug pr. m² beregnes. Formlen ser således ud:

$$Q = t_d \cdot P$$

hvor Q er forbruget i kWh, t_d er drifttiden i timer, og P er den installerede effekt i kW.

Af sammenhængen mellem elforbrug, driftstid og effektbehov fremgår, at elforbruget til belysning, kan minimeres ved at reducere enten effektbehovet og/eller driftstiden.

Driftstid

Belysningens driftstid afhænger af mange faktorer, herunder bygningens anvendelse, arbejdstiden, arbejdets karakter, dagslysadgangen i bygningen, individuelle krav og ønsker til belysningen, samt evt. styring af belysningen. En bygnings forventede driftstid, må derfor vurderes i hvert enkelt tilfælde. Driftstiden kan reduceres med 30-70 % hvis der anvendes bevægelsesmeldere, der afbryder for belysningen efter en vis periode, når der ikke er personer til stede i rummet (SBI-anvisning 220 Lysstyring, C. Reinhold et.al., 2008).

Herunder er angivet forskellige årlige driftstider for rum til forskellig anvendelse, hvis kunstlyset er tændt hele tiden.

Brugsmønster	Brugsmønster	Timer pr år
Døgndrift	24 timer, 365 dage pr. år	8.760
Toholdsskift	16 timer, 6 dage/uge, 50 uger/år	4.800
Etholdsskift	10 timer, 5 dage/uge, 50 uger/år	2.500
Alm. kontortid	9 timer, 5 dage/uge, 52 uger/år	2.340

Driftstider stammer fra SBI anvisning 184 Bygningers energibehov.

Effektbehov

Effektbehovet er altså styret af mange faktorer. Et lavt effektbehov kan derfor opnås ved at

- lyskilderne har en høj effektivitet, dvs. et højt [lysudbytte](#)
- benytte effektive [forkoblinger](#), dvs. lav standby effekt og høj virkningsgrad
- vælge armaturer med høj [armaturvirkningsgrad](#)
- armaturernes [lysfordeling](#) passer til arbejdsfunktionen, og [belysningsvirkningsgraden](#) er høj
- armaturerne er placeret hensigtsmæssigt i rummet
- benytte lyse farver i rummet
- sørge for god vedligeholdelse og rengøring af armaturer, vægge og vinduer
- sikre gode dagslysforhold således at effektbehovet kan reduceres ved dagslysstyring
- anvende bevægelsesmelder eller andre systemer, der afbryder for al effekt, når der ikke er personer til stede i rummet eller når dagslyset er tilstrækkeligt

For den generelle belysning i et lokale kan det installerede effektbehov desuden beskrives vha.

$$P = \frac{E}{\eta \cdot \eta_b \cdot v}$$

hvor

P er effektbehovet i W/m²

E er middelbelysningsstyrken i rummet i lux

η er lyskildens lysudbytte lm/W, inkl tab i forkoblinger

η_b er belysningsvirkningsgraden

v er vedligeholdelsesfaktoren

EKSEMPLER PÅ BESPARELSER

Det kan være svært at give et bud på, hvor store besparelser der kan opnås i en konkret situation. Her er samlet en række eksempler.

Eksemplerne herunder tager udgangspunkt i data fra Energieffektiv belysning i handels- og servicesektoren 2000 (FØR) og lister over gode og energirigtige belysningssystemer fra Center for Energibesparelser (EFTER). I alle eksempler er regnet med en elpris på 1,75 kr/kWh. Anslåede priser på armaturer og styringskomponenter samt installationsomkostninger følger beregningsanvisninger på www.goenergi.dk.

Som det fremgår af eksemplerne har det stor betydning, om der er tilgang af [dagslys](#). Derudover vil rummets dimensioner være afgørende for, hvor lavt det installerede effektbehov og dermed det samlede forbrug kan blive.

Anlægsomkostninger og simple tilbagebetalingstider er beregnet ud fra Elsparefondens oplysninger om typiske anlægsudgifter for belysning i kontorer, undervisningslokaler og gangarealer (minimumsværdier for intervaller er valgt) samt skelen til priser for armaturer og styringskomponenter på Elsparefondens lister over belysningssystemer.

Eksempel nr. 1: Standard kontorlokale på 200 m²

Benyttelse: typisk 2.500 timer pr. år (arbejdslamper 1.200 timer/år)

	Installeret effekt per kvadratmeter W/m ²	Årligt forbrug pr kvadratmeter kWh/m ² /år	Årligt forbrug kWh/år	kr/år
Før:	11	20	4.000	7.000
Efter:	5	6	1.200	2.100

Besparelse i %: 70 %

Besparelse (kWh): 2.800 kWh

Besparelse (kr): 4.900 kr

Anslået investering (v/ samlede
installationsomkostninger på 350 kr/m²): 70.000 kr

Anslået simpel tilbagebetalingstid 14 år

Eksempel nr. 2: Standard undervisningslokale på 48m² med sidelys

Benyttelse: typisk 1.900 timer pr. år

	W/m ²	kWh/m ² /år	kWh/år	kr/år
Før:	15	25	1.200	2.100
Efter:	7	10	480	840

Besparelse i %: 60 %

Besparelse (kWh): 720 kWh

Besparelse (kr): 1.260 kr

Anslået investering (v/ samlede
installationsomkostninger på 350 kr/m²): 16.800 kr

Anslået simpel tilbagebetalingstid 13 år

Eksempel nr. 3: Smal gang uden dagslystilgang på 44 m²

Benyttelse: typisk 2.500 timer pr. år

	W/m ²	kWh/m ² /år	kWh/år	kr/år
Før:	9	16	704	1.232
Efter:	4	7,5	330	578

Besparelse i %: 73 %

Besparelse (kWh): 374 kWh

Besparelse (kr): 655 kr

Anslået investering (v/ samlede
installationsomkostninger på 350 kr/m²): 15.400 kr

Anslået simpel tilbagebetalingstid 24 år

Eksempel nr. 4: Bred gang med dagslystilgang på 175 m²

Benyttelse: typisk 2.500 timer pr. år

	W/m ²	kWh/m ² /år	kWh/år	kr/år
Før:	9	16	2.800	4.900
Efter:	3	2	350	613

Besparelse i %: 88 %

Besparelse (kWh): 2.450 kWh

Besparelse (kr): 4.288 kr

Anslået investering (v/ samlede
installationsomkostninger på 350 kr/m²): 61.250 kr

Anslået simpel tilbagebetalingstid 14 år

ENERGIRENOVERING

I den eksisterende bygningsmasse er der et stort urealiseret energibesparelspotentiale, som også omfatter eksisterende belysning.

I bygninger med ældre belysningssystemer er det sjældent tilrådeligt at ombygge belysningsanlægget. I stedet anbefales det, at [armaturerne](#) skiftes til nye, da både armaturer og eventuelle [forkoblinger](#) som regel ikke er effektive nok til at det kan betale sig at renovere dem.

Hvis et belysningsanlæg er ældre end 10 år kan der være gode grunde til at udskifte det. Udskiftning til de mest energieffektive lyskilder og armaturer reducere el-forbruget mellem 10-70 % (Munck og Clausen, 2008).

Er [belysningsstyrken](#) fra [almenbelysningen](#) højere end de krævede 300 lux (jf. [DS/EN 12464-1](#)), kan man opnå besparelser på ca. 10-20 % ved at ombygge belysningssystemet til et lavere almenbelysningsniveau og suppleret med mere arbejdslys i form af [arbejdslamper](#).

Desuden vil jævnlig rengøring af armaturer og vinduer medføre el-besparelse på ca. 10 %.

Best practice

Tallene i tabellen afspejler best practice i W/m² og årligt effektforbrug for de belysningsløsninger der er listet på www.spareenergi.dk.

	W/m ²	kWh/m ² /år
Kontor (anlæg med dagslysstyring):	3,6-9,9	4,0-16
Daginstitutioner (anlæg med dagslysstyring):	3,6-9,9	4,0-16
Undervisningslokaler med sidelys (dagslysstyring):	5,3-9,9	7,7-11,3
Undervisningslokaler med sidelys og ovenlys (dagslysstyring):	5,5-9,4	6,2-8,7
Bred gang med dagslys (dagslysstyring):	1,9-4,4	0,8-5,9
Smal gang uden sidelys (uden dagslysstyring):	3,5-5,9	7,4-7,6

Der er naturligvis stor forskel i belysningsløsningernes udformning og lysfordelinger, men alle overholder gældende regler i DS/EN 12464-1.

I rum uden [dagslys](#) og lejlighedsvis tilstedeværelse kan elforbruget reduceres betydeligt mere ved anvendelse af [bevægelsesmeldere](#) på op til 30-70 %.

Besparelser med dagslysstyring

Formålet med [dagslysstyring](#) er at reducere el-forbruget. Hvor meget der kan spares afhænger af dagslysadgang og rummets benyttelse, men i grove træk kan el-forbruget reduceres 20-70 %, hvis der er tilstrækkelig med dagslysadgang i rummet og hvis der anvendes bevægelsesmeldere. Størst besparelser kan opnås med LED eller [T5 lysstofrør](#), med dæmpbar elektronisk forkobling, dagslysstyring og bevægelsesmelder.

Ved anvendelse af såkaldte [konstantlyssystemer](#) reduceres den anvendte effekt i den første del af anlæggets levetid, hvorimod systemer uden lysstyring bruger samme mængde energi i hele levetiden, men på grund af tilsmudsning og og ældning af lysstofrør reduceres lysmængden.

Der findes computerregningsprogrammer til optimering af bygningers samlede energiramme.

GODE OG ENERGIRIGTIGE BELYSNINGSLØSNINGER

En god og energirigtig belysningsløsning er en løsning bestående af energirigtige armaturer, lyskilder og tilbehør som er tilpasset rum og funktion, og som udnytter dagslyset i det omfang, det er muligt og kan betale sig.

Med et tilstrækkeligt og funktionelt [dagslys](#) i rummene vil den [kunstige belysning](#) kunne undværes en stor del af årets lyse timer, og man vil dermed kunne opnå betydelige el-besparelse. I nybyggeri er det derfor vigtigt, at der tages højde for forhold omkring dagslyset allerede fra starten. Den bedste og mest energirigtige løsning opnås, hvis planlægning og optimering af dagslysforholdene tages med allerede i skitseringsfasen.

Også i forbindelse med renovering af eksisterende belysningsanlæg kan det ofte være en fordel at regulere kunstlyset efter mængden af dagslys. Hvis det ikke er muligt at udnytte dagslyset, vil en renovering af belysningen stadig kunne give betydelige besparelser på el-regningen.

Som udgangspunkt kan der være behov for at skifte belysningsanlægget, hvis ét eller flere af følgende forhold er opfyldt:

- Hvis belysningsanlægget er mere end 10 år gammelt
- Hvis belysningsanlægget er ændret eller udskiftet uden nærmere vurdering af kvalitet og el-forbrug
- Hvis kravene i [DS/EN 12464-1](#) ikke er overholdt
- Hvis der er klager over belysningen
- Hvis den installerede effekt er over grænserne i denne tabel:

Undervisningslokaler inkl. tavlebelysning	10 W/m ²
Kontorer	13 W/m ²
Daginstitutioner	13 W/m ²
Gangarealer	7 W/m ²

Eksempler på gode og energirigtige belysningsløsninger og besparelser ved udskiftning

På lister over gode og energirigtige belysningsløsninger på www.goenergi.dk findes en lang række gode og energirigtige belysningsløsninger til undervisningslokaler, gangarealer, kontorer og daginstitutioner.

Eksemplet her stammer fra Center for Energibesparelsers (nu Energistyrelsen) liste over eksempler på belysningsystemer, som viser eksempler på besparelser opnået ved at skifte hele belysningsanlægget ud til et nyt energirigtigt system med [dagslysstyring](#) og [bevægelsesmelder](#).

Undervisningslokale (Humlehøjskolen)Lokalestørrelse: 74 m² (Bredde: 10,5 m, Længde: 7,4 m)

Vinduesarealet i lokalet udgør 21% af gulvarealet og lokalets vinduesfacade vender mod vest.

Dagslysfaktor i forreste del af lokalet 2,6 %

Dagslysfaktor i bageste del af lokalet 0,4 %

Eksisterende belysningsanlæg:

Armatur, grundbelysning: 14 stk. 2x36 W kassearmaturer m/ akrylgitter

Armatur, tavlebelysning: 3 stk. tavlearmatur 1x36W

Dagslysstyring: -

Bevægelsesmelder: -

Belysning lokale, middel: 300 lux

Belysning tavle, middel: 200 lux

Maksimalt blændingstal: -

Installeret effekt: 1.395 W

Installeret effekt/m²: 18,9 W/m²

Årligt elforbrug: 1.349 kWh

Årligt elforbrug pr. m²: 18 kWh/m²/år

Benyttelsestid: 967 timer/år

Nyt belysningsanlæg:

Armatur, grundbelysning: 12 stk. Porthos 1x28 W T5 ED mat DP-gitter (Thorn & Jakobsson)

Armatur, tavlebelysning: 3 stk. Porthos tavlearmatur 1x28 W T5 ED mat DP-gitter (Thorn & Jakobsson)

Dagslysstyring: Kontinuert, Luxstat Control, type 74-310

Bevægelsesmelder: Bevægelsessensor, type 41-162

Belysning lokale, middel: 256 lux

Belysning tavle, middel: 600 lux

Maksimalt blændingstal: 20

Installeret effekt: 488 W

Installeret effekt/m²: 6,6 W/m²

Årligt elforbrug: 443 kWh

Årligt el-forbrug pr. m²: 6 kWh/m²/år

Benyttelsestid: 908 timer/år

Besparelse: 67 %

Før og efter billeder af klasselokalet i ovenstående eksempel. Fotos: Enervision (tv) og Lars Nybøll (th).

INTRODUKTION

Energiforbrug, besparelser mv. skal dokumenteres på passende vis. Ofte vil dokumentationen danne grundlag for valg af et belysningsanlæg frem for et andet.

Dokumentation af energiforhold i relation til belysning vil som regel omfatte en eller flere af følgende:

- dokumentation af behov for tilført energi (kWh/m²/år)
- dokumentation af det faktiske elforbrug (kWh/m²/år)
- dokumentation af installeret effektbehov (W/m²)
- dokumentation af lysforhold, herunder dagslys



Ofte består dokumentationen af en computerberegning, f.eks. i beregningsprogrammet Dialux, som her ses anvendt.

Foto: Lisa Trapp.

DOKUMENTATION FOR ENERGIFORBRUG

Simple beregninger af energibehov kan gøres i hånden. Men så snart der anvendes en form for behovsstyring, bliver beregningerne hurtigt så komplicerede, at man er nødt til at anvende et computerberegningsprogram.

For at en bygning skal leve op til energikravene i [Bygningsreglementet](#) vil det ofte være nødvendigt at udnytte [dagslyset](#) optimalt ved at installere [dagslysstyring](#). Ved at anvende dagslysstyring nedbringes [drifttiden](#) for belysningen, som desuden vil variere henover året. Læs mere om beregning af energibehov her.

Beregning af behov for tilført energi

Ifølge Bygningsreglementet skal eftervisning af at krav til energibehov er overholdt ske på grundlag af 'SBI-anvisning 230 Anvisning om Bygningsreglement 2010'.

Den samlede energiramme beregnes vha. beregningsprogrammet Be10. Be10 er dog ikke et dimensioneringsværktøj, og skal ikke bruges som sådant. Derfor foregår selve lysberegningen, inkl. beregning af energibehov, i belysningsprogrammet FABA Light, som indeholder en eksportfunktion, som eksporterer data til Be10.

Faba Light

Faba Light er et danskudviklet Windowsbaseret program skrevet i C++. Programmet fremstår som en blanding af et tegneprogram og et mere generelt Windows-program.

Programmet anvendes primært til beregning af indendørs belysning og indeholder desuden moduler til beregning af dagslys og park- og stibelysning. Programmet læner sig op ad [Dansk Standard 700 Kunstig belysning i arbejdslokaler](#).

Med FABA Light kan besparelsesmuligheder ved lysstyring hurtigt beregnes, ligesom programmet kan anvendes til beregning af [dagslysfaktor](#) og vurdering af forskellige typer styring.

FABA Light er udviklet af FABA (Foreningen af fabrikanten og importører af elektriske belysningsarmaturer). På FABA's hjemmeside www.faba.dk kan man downloade en 30 dages gratis, reduceret prøveversion af FABA Light samt en undervisningsversion af programmet.

Udover FABA Light anvendes ofte programmet Dialux til beregning af kunstlys.

I programmet IDBuild kan man desuden lave beregninger af en bygnings samlede energiramme og optimering af samme.

Dokumentation af det faktiske elforbruget (kWh/m²/år)

Elforbrug til belysning kan enten dokumenteres ved en måling af elforbruget til belysning over en passende periode ved hjælp af en såkaldt datalogger.

Alternativt kan elforbruget beregnes ud fra kendskab til installeret effektbehov og data vedr. anlæggets benyttelse.



I beregningsprogrammet Faba Light kan man regne på både dagslys, kunstlys og energi. Foto: Faba.

DOKUMENTATION AF INSTALLERET EFFEKTBEHOV

Det installerede effektbehov er et mål for den effekt belysningsanlægget behøver for at virke, dvs. lyse. Eftersom beregningen ikke tager højde for forhold vedr. selve driften, er beregningen ikke særlig kompliceret.

Det installerede effektbehov tager ikke højde for forhold vedr. [benyttelsestider](#), [lysstyring](#) mv., som har indflydelse på, hvor længe belysningen er tændt. Derfor siger effektbehovet ikke alt om selve elforbruget, men giver alligevel ofte en indikation på om det er højt eller lavt.

Hvis der er tale om belysningsanlæg, hvor der ikke anvendes behovsstyring, vil det installerede effektbehov give et godt billede af anlæggets energirigtighed. Hvis der derimod er installeret [dagslysstyring](#) eller andet, som bidrager til at reducere drifttiden på belysningen, vil det installerede effektbehov kun i begrænset omfang kunne give information om elforbruget.

DOKUMENTATION AF DAGSLYSFORHOLD

Til detaljerede analyser af lysforhold i bygninger kan anvendes forskellige mere eller mindre avancerende belysningsberegningsprogrammer.

Programmer som Velux Daylight Visualizer, FabaLight, DiaLux, Relux og LightCalc er alle meget brugervenlige programmer.

Radiance er det mest avancerede lyssimuleringsprogram der findes. Forskellen på dette program i forhold til de andre simuleringsprogrammer, er at Radiance kan regne på spejlende overflader, som f.eks. et spejl. Der er ikke en egentlig brugerflade til programmet. Derfor kræver anvendelse af programmet forhåndskendskab til programmering og/eller gængs kommandosprog.

Der findes dog programmer, der anvender Radiance som programkerne, når der skal regnes på [dagslys](#) og [kunstig belysning](#). Dette er f.eks. tilfældet i simuleringsprogrammerne IESve, Ecotect og Esp-r.

Beregninger som disse kan illustrere solpotentialet i byrum og på facader. Adgangen af det direkte sollys på facaden vil desuden variere over året afhængig af solens position på himlen.

En anden metode ser på hovedretningen af byens brugbare facader, dvs. den del af facaden der ikke er skygget af omkringliggende bygninger. Det brugbare facadeareal er bestemt ud fra [højdeviklen](#).



Foto: Silla Herbst.

INTRODUKTION

Lys spiller sammen med mange andre fagområder. Eftersom vinduet er et centralt element for flere fag, gælder dette i særdeleshed dagslys.

Hvis vi tager udgangspunkt i vinduet er [dagslyset](#) en væsentlig parameter for mange andre fagområder end lys og belysning. Dette gælder f.eks. i relation til følgende:

- Energi
- Varme (termisk indeklima)
- Trivsel (udsyn)
- Arkitektur
- Æstetik
- Arbejdsmiljø
- Ergonomi
- Økonomi
- Støj (vinduernes isolation)
- Akustik (rummets overflader)
- Indretning (materialer, overflader, placering af arbejdspladser)

En bygnings facade skal både skærme og være repræsentativ. Traditionelt er facaden komponeret med fokus på repræsentation, men dens udformning er afgørende for mange af ovennævnte forhold.

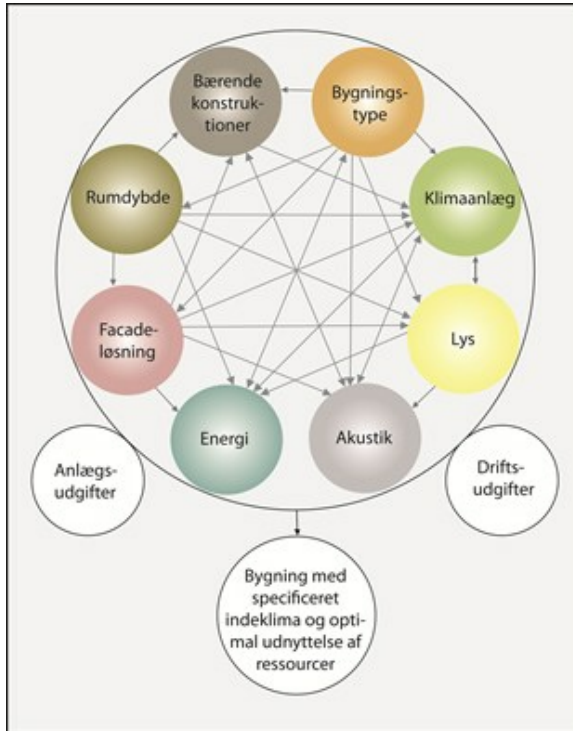
Valg af både facade og [bygningens orientering](#) er afgørende for, hvor gode dagslysforhold, der kan opnås. Samtidig har projektering af både [kunstlys](#) og dagslys afgørende betydning for flere andre forhold, herunder det termiske indeklima. Forståelse for udnyttelse af energirigtige teknologier som nye elementer i arkitektur og indretning er afgørende for, at energiforbruget kan nedbringes til et acceptabelt niveau.

Et eksempel på udnyttelse af en energirigtig teknologi som nyt elementer i arkitekturen er anvendelse af tyndfilmssolcelleteknologier.

TVÆRFAGLIGT SAMARBEJDE

En bygnings funktion opstår som et samspil mellem mange faktorer og bygningsprojektering kræver et tværfagligt samarbejde mellem specialister fra forskellige fagområder lige fra begyndelsen af projekteringsarbejdet.

Som det fremgår af figuren herunder, påvirker de forskellige bygningsmæssige og indeklimatiske faktorer hinanden. Ændring af én faktor vil påvirke en del af de øvrige, og en fastlåsning af én af faktorerne vil delvis begrænse mulighederne for at nå den optimale løsning.



Eksempler:

- Valg af konstruktion og materialer har betydning for termisk stabilitet i bygningen og er afgørende for hvor store udsving i [varmebelastningen](#) fra bl.a. direkte sollys, der kan accepteres.
- Rumdybden er afgørende for dagslysforholdene og udnyttelse af dagslyset og dermed også for varmebelastningen fra [kunstlyset](#), hvilket igen får indflydelse på dimensionering af klimaanlægget.

Ud over de nævnte faktorer, må man også tage hensyn til andre væsentlige forhold som æstetik og komfort, der ikke på samme måde kan beregnes.

For at opnå optimale forhold er det vigtigt at alle indeklimaparametre, herunder både [dagslys](#) og kunstlys, behandles på lige fod fra projektets begyndelse. På den måde undgår man, at for tidlig fastlæggelse af de øvrige bygningsdele fremtvinger en mindre heldig belysningsløsning.

Ingen standardløsninger

Mængden og kvaliteten af dagslyset i bygningerne afhænger af en række forhold, herunder dybden af murhullet, eventuelle solafskærmninger, omgivelser osv. Selv om der er mange gode eksempler og principper, findes der ingen standardløsninger for udformningen af facade og [dagslysåbninger](#), som tilfredsstillende alle krav til dagslystilgang og arkitektur.

Oftentimes vil enkle principper og traditionelle udformninger af facader og vinduer give de mest tilfredsstillende løsninger.

Solafskærmning

Arbejdslokaler med meget store vinduer kan blive overophedede, og i visse tilfælde næsten uudholdelige at arbejde i. Derfor må der være mulighed for at afskærme sollyset effektivt. Dette kan gøres på forskellig måde ved at forsyne vinduer med

- Varmeabsorberende eller -reflekterende glas eller belægninger
- Udvendige udhæng over vinduer, f.eks. markiser
- Udvendige afskærmninger, f.eks. persiener
- Indvendige afskærmninger, f.eks. gardiner eller persiener

Der er stor forskel på, hvor store mængder [solvarme](#) forskellige typer afskærmning lader passere. Man angiver normalt afskærmningens effektivitet som den procentdel af varmen, der transmitteres gennem det afskærmede vindue i forhold til den varme, der ville slippe igennem, hvis vinduet uden afskærmning var en almindelig dobbeltrude.

Valg af [solafskærmning](#) har betydning for muligheden for at udnytte dagslyset. Fx giver reflekterende belægninger, solfilm, faste udvendige persiener eller udhæng ikke mulighed for at udnytte dagslyset optimalt i de perioder, hvor der ikke forekommer gener. Hvis dagslyset skal udnyttes optimalt, bør afskærmningen være bevægelig og kunne reguleres efter behov eller helt kunne fjernes på tidspunkter, hvor himlen er overskyet.

Varmen fra den kunstige belysning

Også den kunstige belysning kan give anledning til varmeproblemer. En god del af den energi, der tilføres [lyskilder](#) og tilbehør, bliver til varme, som tæller i det samlede varmeregnskab og skal ledes væk i de varme perioder af året. Dette kan være et problem, f.eks. i butikker hvor der ofte er installeret mange W/m^2 og [drifttiden](#) for belysningen er lang.

Selvom varmen fra belysningen bidrager til opvarmningen i kolde perioder, er det stadig bedst at effektivisere belysningen. Varme fås langt billigere på anden vis.