



STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN

DYNAMISKE FACADER I PRAKSIS

KLASSIFICERING OG PROJEKTERING

SBI 2018:05



Dynamiske facader i praksis

Klassificering og projektering

Kjeld Johnsen
Frederik Blum Winther

Titel	Dynamiske facader i praksis
Undertitel	Klassificering og projektering
Serietitel	SBi 2018:05
Udgave	1. udgave
Udgivelsesår	2018
Forfattere	Kjeld Johnsen, Frederik Blum Winther
Sidetæl	75
Litteratur-henvisninger	Side 74-75
Summary	Page 7
Emneord	Facader, dynamiske facader, intelligente facader, Klassificering, Bygningsreglement, BR18, BK2020, Be18
ISBN	978-87-563-1890-7
Illustrationer	Forfatterne, hvor ingen andre er nævnt
Fotos	Forfatterne, hvor ingen andre er nævnt
Omslagsfoto	Forfatterne
Udgiver	Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV E-post sbi@sbi.aau.dk www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

Indhold

Forord	4
Summary	5
Introduktion	6
Definition af dynamisk facade	6
Definitioner, symboler og enheder	8
Facadens funktioner	9
Bestemmelser, normer og vejledninger vedr. facadens funktioner	10
Klassificering efter facadens enkelte funktioner	11
BR18 og Bygningsklasse 2020	11
Udsyn: God kontakt med omgivelser og udemiljø	12
Indblik: Beskyttelse mod uønsket indblik udefra	18
Dagslys: Godt dagslys i rummet og til arbejdsfunktioner	20
Udluftning: Mulighed for at lufte ud	25
Overtemperatur: Beskyttelse mod uønsket solindfald	29
Blænding: Beskyttelse mod uønsket solindfald og blænding	32
Sollys: Adgang for direkte sollys og udnyttelse af passiv solvarme	35
Støj: Beskytte mod støj udefra	38
Dynamiske facadeelementer i praksis	42
Solafskærmende elementtyper	43
Elementer med screendug	43
Elementer med drejelige lameller	52
Varmeisolerende elementer	55
Ventilationselement	58
Støjdæmpende element	61
Dynamiske facader i BR18	66
Skærpede krav til dimensionerende varmetabsramme i BR18	66
Indregning af dynamisk U-værdi i energirammen	69
Regulering af dynamiske facader	71
Referencer	74

Forord

Bygningsreglementets krav om en reduceret energiramme fra 2015 (og 2018) medfører, at det i praksis er vanskeligt at opfylde de energimæssige krav uden særlige tiltag i facaden eller tilførsel af en del af energiforbruget fra vedvarende energikilder (solceller). Bygningsklasse 2020 indeholder yderligere skærpede krav til energirammen, bygningsdele og -komponenter, som i praksis betyder, at denne bygningsklasse næsten altid får tilført el-energi fra vedvarende energikilder (solceller). Men anvendelse af solceller er ikke udtryk for en energieffektivisering af bygningen, i modsætning til anvendelse af dynamiske facader, som i rette udførelse vil kunne medføre at energirammen kan overholdes uden tilførsel af energi fra vedvarende energianlæg.

Ud over de stramme energirammer for BR18 og BK2020 indføres der også en ændring af reglerne for beregning af det dimensionerende transmissionstab, således at transmissionstabet nu inkluderer vinduer og døre. I praksis sætter dette en meget kraftig begrænsning på anvendelse af store glaspartier og anvendelsen af vinduer af energiklasse B, som det hidtil har været muligt at anvende i en del tilfælde. Stramningerne bør være en stor motivationsfaktor for projekterende og bygherrer til at overveje mulighederne for at anvende dynamiske facader. Herved kan opnås en række fordele, både i forhold til at overholde energirammen, selv ved anvendelse af større glaspartier, og i forhold til opretholdelse af et godt indeklima med en facade, der kan tilpasse sig de skiftende behov over dagen og året.

Ved beregningen af energirammen med Be18 (Aggerholm S og Grau K, 2018) er der åbnet mulighed for at tage hensyn til, at facadens egenskaber er dynamiske, hvilket naturligvis er en afgørende forudsætning for anvendelsen af dynamiske facader.

Denne rapport beskriver, hvordan facader kan klassificeres efter de mange funktioner facader skal opfylde og giver en vejledning i, hvordan energirammeberegninger med Be18 kan tage hensyn til facadens dynamiske egenskaber. Rapporten henvender sig til projekterende arkitekter og ingeniører, der kan bruge den som et redskab, når de træffe beslutninger om energieffektive facadeudformninger i forbindelse med nybyggeri eller renovering. Forfatterne ønsker at rette en tak til Jesper Bo Andersen og Allan Jensen, Rambøll, som har bidraget til klassificering af facaders lyd-dæmpning.

Projektet er gennemført med støtte fra ELFORSK, Dansk Energis journal nr. 464-11, projekt nr. 344-051.

Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Adelingen for Energieffektivitet, Indeklima og Bæredygtighed

Søren Aggerholm
Forskningschef

Summary

The design of a facade is crucial for the building's resulting indoor climate and energy consumption. The facade must fulfill a wide range of features relative to the users and have a significant impact on how they experience the indoor climate and the ability to control the indoor climate parameters according to changing needs.

This report describes how a facade can be classified according to its ability to meet individual functions based on user needs. The classification can be applied to all types of facades, but is especially important in building design, where emphasis is on allowing the building envelope's ability to meet several important functions at the same time and to optimize the control of these features in relation to indoor climate and energy consumption. Basically, there are certain features that the facade must comply with legally, and therefore the classification is based on the Building Regulations, environmental health regulations, and relevant standards. This clarifies how dynamic facades can contribute very significantly to meeting the demands while achieving great energy gains and indoor climate improvements.

The report contains examples of different types of facade elements from practice where the main emphasis is on one or two important features, such as sun shading elements, thermal insulation elements, and elements that provide venting and noise reduction at the same time.

The report also provide guidance on how the building designer can take into account the changing characteristics of the facade in connection with the proposed new regulations on maximum dimensional heat loss and compliance with the energy framework compliance with the Be18 calculation program.

Introduktion

Udformningen af en facade er helt afgørende for bygningens resulterende indeklima og energiforbrug. Facaden skal opfylde en lang række funktioner i forhold til brugerne og har stor betydning for, hvordan de oplever indeklimaet og mulighederne for at regulere på indeklimaets parametre efter de skiftende behov.

Denne rapport beskriver, hvordan en facade kan klassificeres efter dens evne til at opfylde de enkelte funktioner ud fra brugernes behov. Klassificeringen kan anvendes på alle typer af facader, men er især vigtig i forbindelse med bygningsdesign, hvor der bevidst arbejdes med facadens evne til at opfylde flere vigtige funktioner samtidig og ønskes en optimeret regulering af disse funktioner i forhold til indeklima og energiforbrug. Grundlæggende er der visse funktioner, som facaden lovmæssigt skal opfylde, og derfor tager klassificeringen udgangspunkt i bygningsreglementet, arbejdsmiljøbestemmelser, regler fra Miljøstyrelsen og relevante standarder. Herved tydeliggøres, hvordan dynamiske facader kan bidrage meget betydeligt til at opfylde kravene, samtidig med at der opnås store energimæssige gevinster og indeklimamæssige forbedringer.

Rapporten indeholder også eksempler på forskellige typer af facadeelementer fra praksis, hvor hovedvægten er på en eller to vigtige funktioner, fx solafskærmende elementer, varmeisolerende elementer og elementer, der giver udluftning og støjdemping samtidig.

Rapporten vejleder også i, hvordan den projekterende kan tage hensyn til facadens skiftende egenskaber i forbindelse med de foreslåede nye bestemmelser om maksimalt dimensionerende varmetab samt eftervisningen af energirammeoverholdelse med beregningsprogrammet Be18.

Facadens regulering er afgørende for, at facaden lever op til forventningerne. En kort beskrivelse af principperne for regulering er angivet i kapitlet *Regulering af dynamiske facader* side 71.

Definition af dynamisk facade

Begrebet 'dynamisk facade' har ikke nogen entydig definition, og betegnelsen anvendes ofte i flæng med udtryk som 'multifunktionelle facader' og 'intelligente facader'. I praksis er langt de fleste facader til dels dynamiske. Et simpelt oplukkeligt vindue med et indvendigt gardin kan ændre på rummets ventilation og tilpasse solindfald og dagslysindfald efter det øjeblikkelige indeklima og vejret udenfor. Det vil imidlertid være meget forskelligt, i hvilken udstrækning disse tilpasninger opfylder brugernes behov, og om ændringerne vil skabe problemer vedr. andre parametre af betydning for indeklima eller energiforbrug.

I denne rapport anvendes begrebet 'dynamisk facade' om en facade, der er udformet med henblik på, at den skal kunne tilpasse sig flere skiftende krav, både ud fra brugerbehov og ud fra krav om at reducere energibehovet. Facaden vil således rumme flere forskellige funktioner, enten integreret i én elementtype eller ved samspil mellem flere forskellige facadeelementer. Til

den dynamiske facade hører også en planlagt reguleringsstrategi, som også fastlægger facadens funktioner uden for brugstiden i forhold til bestemte styrende parametre, fx udeklimaparametre og tid på dagen og året.

Definitioner, symboler og enheder

Tabel 1. Oversigt over anvendte symboler med forklaring og enhed.

Parameter	Forklaring	Enhed
C_0	Åbningsgrad af solafskærmning / facadesystem	-
DGP	Daylight glare probability, sandsynligheden for at en person vil opleve blænding	-
$DGP_{e<5\%}$	DGP -værdi, som ikke overskrides i mere end 5 % af brugstiden	-
$\tau_{v,n-n}$	Normal-normal lystransmittans. Det bemærkes, at $\tau_{v,n-n}$ er tilnærmet lig med åbningsgraden C_0 ved vinkelret strålingsindfald	-
$\tau_{v,n-dif}$	Normal-diffus lystransmittans	-
$\tau_{v,dif-h}$	Diffus/ hemispherisk lystransmittans	-
$\tau_{glazing}$	Normal-hemispherisk lystransmittans af ruden	-
g_{sys}	g-værdi for facaden (sys står for <u>s</u> ystemet af rude + afskærmning m.m.)	-
LT	Lystransmittans	-
$q_{i,sys}$		
$q_{n,s}$	Naturlig ventilation, sommer	l/s pr. m ²
$q_{n,s,tvær}$	Naturlig ventilation, sommer ved tværv ventilation	l/s pr. m ²
$q_{n,s,ensidet}$	Naturlig ventilation, sommer ved ensidet ventilation	l/s pr. m ²
$U_{vin,kor}$	Korrigeret U-værdi for vinduet til energiberegning under hensyntagen til isoleringskodden	W/m ² K
$U_{vin,skod}$	U-værdi for vinduet inkl. isoleringskodden	W/m ² K
U_{vin}	U-værdi for vinduet	W/m ² K
f_{skod}	Andel af tid, hvor isoleringskodden er trukket for	-
$U_{vin,momentan}$	Den i tidssteppet aktuelle U-værdi inkl. eller ekskl. isoleringskodden	W/m ² K
$q_{n,n,pseudo}$	Pseudo ventilation til indtastning i energiberegningen med Be18	l/s m ²
$A_{vin,skod}$	Arealet af vinduet med isoleringskodden	m ²
ϕ_{rad}	Varmeafgivelse fra radiator	W
Bi	Specifikt varmetab for en flade	W/K
$Bi,shut$	Specifikt varmetab for en flade inkl. isoleringskodden	W/K
T_{room}	Rumtemperaturen	°C
T_i	Omgivelsestemperatur	°C
T_{set}	Setpunktstemperatur for rummet	°C
ϕ_j	Varmebelastning tilført rummet	W
ϕ_{sol}	Solvarmebelastning	W
G_w	g-værdi af vinduet	-
$g_{w,shut}$	g-værdi af vinduet inkl. isoleringskodden	-
K	Enhedskorrektionsfaktor	W/K
F_s	Solafskærmningsfaktor	-
K_s	Passiv solvarme faktor	W/K

Facadens funktioner

Facaden, eller klimaskærmen generelt, skal opfylde en lang række æstetiske og funktionsmæssige krav, som ofte kan rumme indbyrdes konflikter. Således skal facaden beskytte mod udeklimaet, samtidig med at den på kontrolleret måde skal tillade udveksling af lys, luft, varme og lyd. Facaden skal sikre bygningen tilstrækkeligt dagslys og give adgang til et godt udsyn (udsigt) fra bygningens rum, samtidig med at den skal kunne beskytte mod overophedning, blænding og uønsket indblik. Facaden skal også beskytte mod ekstern støj, samtidig med at der ofte ønskes åbninger i facaden, der kan indgå i bygningens principper for naturlig eller hybrid ventilation. Facadens udformning har også betydning for en række sikkerhedsmæssige forhold, fx vedrørende brand, flugtveje og indbrud. Endelig har facaden i mange virksomhedsdomiciler ofte en vigtig image-værdi, idet den afspejler virksomhedens holdninger til fx miljøspørgsmål og åbenhed og transparens over for omverdenen (kunderne).

Uanset hvilke funktioner, der prioriteres højest ved valg af en facadeløsning, så har udformningen helt afgørende betydning for både indeklima og energiforhold i bygningen. I det følgende beskrives facadens enkelte funktioner med kriterier for, hvornår det kan forventes, at facaden opfylder brugernes behov med hensyn til den enkelte funktion

Facaden skal give brugerne mulighed for at opnå:

- Udsyn: God kontakt med omgivelser/udemiljø
- Indblik: Beskyttelse mod uønsket indblik udefra
- Dagslys: Godt dagslys i rummet og til arbejdsfunktioner
- Udluftning: Mulighed for at lufte ud
- Overtemperatur: Beskyttelse mod uønsket solindfald og overtemperaturer
- Blænding: Beskyttelse mod uønsket solindfald og blænding
- Passiv solvarme: Adgang for direkte sollys og udnyttelse af passiv solvarme
- Støj: Beskytte mod støj udefra.

Samtidig skal facaden naturligvis opfylde de specifikke krav, som angives i bygningsreglementet BR18, evt. bygningsklasse 2020-krav (BK2020), hvis der ønskes bygget efter denne klasse. Rapporten går ikke i detaljer med alle de specifikke krav, som specielt vedrører energi, men beskriver hvordan man kan tage højde for facader med varierende egenskaber (dynamiske facader) ved dokumentation for overholdelse af BR18/BK2020.

For flere af de opstillede funktioner afhænger klassificeringen ikke kun af facadens opbygning og regulerbarhed, men også af orienteringen og bygningens omgivelse. Det betyder også, at en facadeløsning, som i nogle situationer kan klassificeres højt, i andre situationer bliver klassificeret lavere.

Rapporten fokuserer på de egenskaber ved facaden, som har størst betydning for brugerne, og som direkte påvirker indeklimaet. En isolerende nat-skodde, der reduceres bygningens varmetab om natten eller uden for brugstiden, opleves i mange tilfælde ikke direkte af brugerne. Der kan derfor være en tendens til, at brugerne lægger mindre vægt på denne funktion, selv om den har stor betydning for energiforbruget, og for at energiregningen holdes på det forventede niveau. På samme måde kan solafskærmningens funktion og indstilling have stor betydning for energiforbruget på tidspunkter, hvor der

ikke er brugere i bygningen. I opvarmningssæsonen vil det normalt være en fordel at afskærmningen trækkes fra når solen skinner, så bygningen kan udnytte det passive solvarmetilskud mest muligt. Om natten kan situationen være modsat, idet det kan være fordelagtigt at trække afskærmningen for, for at reducere bygningens transmissionstab og udstrålingstab.

Ovenstående eksempler viser, hvor vigtig reguleringen er for ydeevnen af en facade med mange funktioner, specielt når nogle af funktionerne har til formål at reducere energiforbruget. For at optimere reguleringen bør der skelnes mellem perioder, hvor der er personer/brugere i bygningen eller de enkelte rum og perioder, hvor der ikke er personer til stede. Når der er personer til stede, bør reguleringen ske efter at optimere indeklimaet ('indeklima mode'), mens reguleringen bør ske efter at minimere energiforbruget, når der ikke er personer til stede ('energi mode'). Se også kapitlet *Regulering af Dynamiske Facader* side 71.

Rapporten belyser *ikke* facadeløsningers egenskaber i forhold til sikkerhed, flugtveje, indbrud, brand, energiproduktion eller energilagring.

Bestemmelser, normer og vejledninger vedr. facadens funktioner

Klassificeringen af facader tager udgangspunkt i, at grundlæggende krav i bygningsreglementet, normer, standarder samt vejledninger med lovmæssigt grundlag er overholdt. Tabel 2 giver en oversigt over relevante krav og vejledninger, der bør kendes i forbindelse med facadens forskellige funktioner.

Tabel 2. Relevante krav og vejledninger, der bør kendes i forbindelse med facadens forskellige funktioner.

	BR18	BK2020	Vejledning *	DS / EN / ISO	Branchevejledning	SBI-anvisning	DGNB	Parametre
Energi-ramme	§259 - 260	§259 - 260 §273 - 284	-	-	-	SBI 213	x	kWh/m ²
Varmetab	§255 - 257 §264	§255 - 257 §264	-	DS418	-	SBI 213	x	W/m ² pr. m ² Ae
Udsyn	§378	§378	A.1.11	DSF/FprEN 17037 DS/EN 14501	x	SBI 264	x	Udsyns-klasse
Indblik	-	-	-	DS/EN 14501	-	SBI 264	x	Indblik-klasse
Dagslys	§379 - 381	§379 - 381	A.1.11	DS/EN 12464-1 DSF/FprEN 17037 DS/EN 14501	x	SBI 219	x	Belysningsstyrke, lux
Udluftning	§443 - 447	§443 - 447	A.1.2-1	DS/EN 15242	x	SBI 202	x	Luftstrøm, l/s
Overtemperatur	§386	§386	A.1.12	DS 474 DS/EN ISO 7730 DS/EN ISO10077-2	x	SBI 264	x	g-værdi direkte sol
Sollys (ønsket)	-	-	A.1.2-1	DSF/FprEN 17037 DS/EN 14501	x	(x)	x	For rum For bolig
Passiv solvarme	-	-	-	DSF/FprEN 17037	-	SBI 264	-	g-værdi
Støj	§368 - 376	§368 - 376	MST 4/2007 5/1985 1/1997	DS 490	x	SBI 258	x	Lydreduktion

* Vejledninger: A står for At-vejledninger, MST står for Miljøstyrelsen vejledninger

Klassificering efter facadens enkelte funktioner

Dette kapitel beskriver, hvordan en facade kan klassificeres i forhold efter dens evne til at opfylde de enkelte funktioner ud fra brugernes behov. Klassificeringen kan anvendes på alle typer af facader, men er især vigtig i forbindelse med bygningsdesign, hvor der bevidst arbejdes med facadens evne til at opfylde flere vigtige funktioner samtidig og ønskes en regulering, der kan optimere disse funktioner i forhold til indeklima og energiforbrug.

Klassificeringen tager udgangspunkt i den europæiske standard DS/EN 14501, *Jalousier og skodder – Termisk og visuel komfort – Bestemmelse af ydeevne og klassifikation* (Dansk Standard, 2005), hvori der er angivet en klassificeringsskala fra 0 til 4, som vist i tabel 3.

Tabel 3. Generel klassificering ifølge DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) til beskrivelse af afskærmningens egenskaber. I nærværende rapport udvides anvendelsen af skalaen til andre facadeegenskaber.

Klasse	Indflydelse på termisk og visuel komfort				
	0	1	2	3	4
	Meget lille effekt	Lille effekt	Moderal effekt	God effekt	Meget god effekt

I standarden klassificeres facaden i forhold til, hvor stor indflydelse den har på henholdsvis termisk komfort og visuel komfort. Anvendelse af denne skala udvides i denne rapport til andre egenskaber ved facaden, herunder muligheden for udluftning og evnen til at dæmpe støj udefra.

BR18 og Bygningsklasse 2020

Helt overordnet tjener vores bygninger til at beskytte os imod udeklimaet og sikre, at der kan etableres et indeklima, som er inden for acceptable eller komfortable grænser. Bygningsreglementets krav tilknyttet klimaskærmen og klimaskærmens påvirkninger omfatter bl.a. bygningsfysiske krav til klimaskærmen, tilstrækkelig tilgang af dagslys, et tilfredsstillende termisk og atmosfærisk indeklima samt et lavt energibehov til bygningsdrift.

Det er således klimaskærmens formål at mindske varmetab, mindske energibehov samt sikre et tilfredsstillende indeklima med fokus på det optiske, akustiske, termiske og atmosfæriske indeklima.

Bygningsklasse 2020

Bygningsklasse 2020 er en lavenergiklasse, og for at en bygning kan blive klassificeret som bygningsklasse 2020, skal alle kravene i BR18 kapitel 25 (§ 473 - § 484) overholdes, samtidig med at de øvrige krav i bygningsreglementet også overholdes.

Energiberegningen af bygningers overholdelse af 2020-klassen foretages med SBI-anvisning 213, *Bygningers energibehov*. I energiberegningen benyttes andre energifaktorer end i overholdelse af bygningsreglementets minimumskrav i kapitel 11, *Energiforbrug*. Der er strammere krav til en række forskellige bygningsdele og komponenter i bygningsklasse 2020. Kravene fremgår af bestemmelserne, mens vejledningen til forståelse af kravene fremgår af de forskellige emner, primært kapitel 11, *Energiforbrug*, og kapitel 22, *Ventilation*.

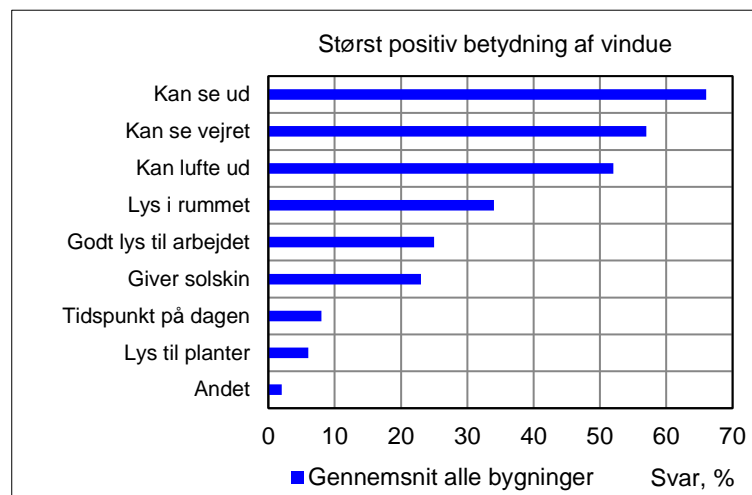
Tabel 4 angiver, hvilke krav der bør være særlig opmærksomhed på ved beslutning om, hvilket kravniveau bygningen ønskes at overholde.

Tabel 4. Krav i bygningsreglementet BR18 og vejledningen til BR18 vedrørende bygningsklasse 2020, som der bør tillægges særlig opmærksomhed ved beslutning om, hvilket kravniveau der ønskes.

Krav	BR18	BK2020
Energirammen	X	Skærpet
Dimensionerende varmetabskrav	X	Skærpet
Krav til komponenter, herunder vinduer (Eref)	X	Skærpet
Tæthed	X	Skærpet
Krav til ventilationsanlæg	X	Skærpet
Energi fra vedvarende energi	X	Særlige krav

Udsyn: God kontakt med omgivelser og udemiljø

Brugerne opfatter udsynet (udsigten og det at kunne følge med i vejret udenfor) som den vigtigste positive egenskab ved vinduer, jf. den store undersøgelse i kontorbygninger, som SBI gennemførte i 1999 (Christoffersen et al., 1999), se figur 1. Derfor bør denne faktor prioriteres højt ved planlægningen af bygningsfacaden.



Figur 1. Resultatet af 1800 kontoransattes vurdering af, hvilke forhold der har størst positiv betydning ved vinduet (der var mulighed for at vælge 3 forhold). At kunne se ud og følge med i vejret er vigtigst.

Bygningsreglement 2018 og den tilhørende vejledning angiver mere specifikke krav til udsynet end tidligere reglementer, specielt med hensyn til solafskærmningens mulige reduktion af udsynet.

BR18 krav og vejledning vedr. udsyn

§ 378

Arbejdsrum, opholdsrum, undervisningslokaler og beboelsesrum mv. skal forsynes med vinduer, der er anbragt, så personer i rummene kan se ud på omgivelserne. Vinduer og solafskærmning skal projekteres og udføres, så det sikres, at der kan opretholdes udsyn til omgivelserne i en tilfredsstillende del af brugstiden.

Vejledning (§ 378)

Udsynet eller udsigten til omgivelserne er en af de vigtigste faktorer for oplevelsen af rummet. Når solafskærmning projekteres og udføres, skal der tages højde for den benyttelsestid, som solafskærmningen har i brugstiden,

samt gennemsigtigheden af den valgte solafskærmning, når det vurderes, om udsynet i brugstiden er opretholdt.

Kravet om at der skal kunne 'opretholdes udsyn til omgivelserne i en tilfredsstillende del af brugstiden' er især relevant i sommermånederne, hvor behovet for at begrænse overtemperaturer er størst, og i forår- og efterårsperioder, hvor risikoen for blænding kan være høj på grund af lavtstående sol. Da solafskærmninger reducerer udsynet på forskellig måde, tages der hensyn til, i hvilken grad en given solafskærmning tillader udsyn til omgivelserne, når den er helt trukket for. Afskærmningers evne til at tillade udsyn klassificeres efter den europæiske standard *DS/EN 14501* der også er beskrevet i *SBI-anvisning 264*. Arbejdsrum mv. og beboelsesrum mv. skal forsynes med vinduer, der er anbragt, så personer i rummene kan se ud på omgivelserne. Arbejdsrum mv., der primært belyses via ovenlys, uden direkte udsyn til omgivelser, vil altid skulle forsynes med supplerende vinduer, så der etableres udsyn til omgivelserne.

Der er en klar tendens til, at personer, som arbejder i et rum med meget små vinduer, eller som er placeret langt fra et vindue, udtrykker utilfredshed med vinduerne og dagslyset i rummet. Der gives udtryk for en følelse af indelukthed og et behov for at have 'kontakt' med omverdenen og at kunne følge med i tiden på dagen og de skiftende vejrforhold (Christoffersen et al., 1999a). Er vinduesarealet fordelt på flere vinduer, vil dette påvirke udsynet, især ved stor vægtykkelse, hvor udsynet forringes betydeligt, se figur 2. Vinduesplaceringen og brystningshøjden influerer også på udsigten, herunder forholdet mellem forgrund og himmel. En kombination af smalle vinduer i dybe vinduesnicher reducerer dagslysindfaldet betydeligt, især tæt ved vinduet.



Figur 2. Udsyn og udsigt fra kontorrum, med en markant opdeling af vinduesarealet i forholdsvis smalle vinduer med faste partier imellem. Da udsynet til omgivelserne prioriteres meget højt af brugerne, bør vinduesudformningen vælges med hensyntagen til den faktiske udsigt og rummets brug, især brugernes placering i rummet. Personer, der sidder et stykke fra vinduerne, vil opleve, at den valgte vinduesudformning ødelægger udsigten, samtidig med at der til tider kan opleves ubehagsblænding pga. kontrasten mellem vinduerne og de faste partier. Foto: Erwin Petersen.

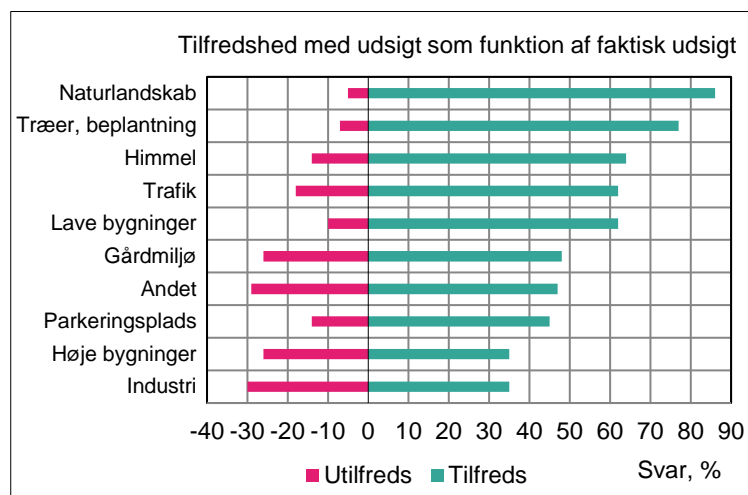
Vinduets form og placering bør give kontakt med eller 'overblik over' de dele af motivet, som kan ses gennem vinduet og er interessante. Ved et motiv med dynamisk forgrund, fx et bymotiv, bør vinduet være højt frem for bredt, mens vinduet bør være bredt frem for højt, hvis motivet er et landskabsmotiv med en fjern vandret horisont. Af hensyn til udsigten, herunder forholdet mellem forgrund og himmel, bør vinduets underkant ikke ligge højere end 0,8-1,0 meter over gulvplanet. Vinduer fra gulv til loft giver mulighed for fuld udsigt fra rummet, men i praksis må store glasarealer mod øst, syd eller vest nødvendigvis forsynes med en effektiv solafskærmning. Ved valg af facade-løsning må projekterende derfor nøje overveje, hvordan brugernes ønsker samt hensyn til energieffektivitet og til æstetik bedst muligt kan forenes. Arbejdstilsynets At-vejledning A.1.11 angiver i pkt. 8. Udsyn:

Udsyn til omgivelser skal som udgangspunkt forstås som 'udeomgivelser', det vil sige, at ovenlys ikke kan give mulighed for udsyn til omgivelserne. Der kræves udsyn fra arbejdsrummet. Derimod er der ikke noget krav om, at der skal være udsyn fra den enkelte arbejdsplads.

Det kan efter omstændighederne accepteres, at de ansatte fra rummet kan fornemme vejrliget eksempelvis gennem etablerede glaspartier til et andet lokale, hvorfra der er udsyn til det fri. Ligeledes accepteres udsyn til store glasoverdækkede arealer som fx storcentres torve. Der skal dog være tale om udsyn til store områder, der giver tilnærmelsesvis samme effekt som udsyn til udeomgivelser (Arbejdstilsynet, 2007).

Selv om Arbejdstilsynet giver en ret bred fortolkning af kravene i bygningsreglementet, må det anbefales, at arbejdspladser ikke indrettes med for stor afstand til vinduer med udsyn/udsigt. Ovenlys i arbejdsrum skal altid suppleres med vinduer i facaden, således at udsynet til omgivelserne opretholdes. Ved udsyn til udeomgivelser via et andet rum, må der foretages en vurdering af forholdene i det konkrete tilfælde. Blandt andet må det verificeres, at der i en vis udstrækning vil være uhindret udsyn i løbet af arbejdsdagen.

Den faktiske udsigt har også stor betydning for oplevelsen af kvaliteten i rummet, man befinder sig i, jf. figur 3. Hvis der er en smuk eller interessant udsigt fra et rum, er det naturligvis særlig vigtigt, at der anvendes en solafskærmning, som i størst mulig udstrækning giver mulighed for at bevare udsigten samtidig med, at der skærmes af for solen.



Figur 3. Resultatet af 1800 kontoransattes tilfredshed eller utilfredshed med den faktiske udsigt fra deres kontor. Naturlandskab, træer og beplantning giver størst tilfredshed, mens industri, høje bygninger og parkeringspladser giver størst utilfredshed.

Udsynets betydning for vores fysiologiske og mentale tilstand

Udsynet eller udsigten gennem et vindue giver os en dynamisk oplevelse af omverdenen, associeret med ændringer i dagslys, sollys samt tid på dagen og på året. Enhver udsigt er bedre end ingen udsigt, og flere forskningsstudier har vist, at patienter indlagt på sengestuer, der har en udsigt, kommer sig hurtigere over sygdomme end personer uden en udsigt. Udsigten til landskab eller natur er desuden påvist at medføre kortere indlæggelsestid end udsigt til en grå betonmur. En udsigt til naturen kan generelt have positiv indflydelse på menneskers velbefindende og trivsel. Folk foretrækker generelt at sidde nær et vindue og finder det ubehageligt ikke at kunne se ud. Stor dybde i udsigtens motiv giver mulighed for afslapning og fordybelse, når øjet hviler på den fjerne udsigt. Et godt udsyn (og en god udsigt) er særlig vigtig for rum og bygninger til personer med begrænset mobilitet.

Solafskærmningers begrænsning af udsynet

Bygningsreglementets krav vedrørende udsyn siger (§ 378), at *Vinduer og solafskærmning skal projekteres og udføres, så det sikres, at der kan oprettholdes udsyn til omgivelserne i en tilfredsstillende del af brugstiden.*

De fleste typer af solafskærmninger påvirker imidlertid udsynet, og derfor skal det ved valget af afskærmning også vurderes, i hvilken grad et reduceret udsyn vil forringe kvaliteten af rummet. En fast afskærmning uden indstillingsmuligheder må således ikke blokere udsynet. Lodrette, faste lameller begrænser udsynet, mens et udhæng kun afskærmer udsynet til en del af himlen. Vandrette, drejelige lameller som fx persienser kan afskærme for direkte sol, og samtidig tillade et vist udsyn. Tilsvarende kan en markise trækkes ud, så den skærmer for solen, uden at reducere udsynet væsentligt. Indvendige afskærmninger anvendes ofte for at afskærme for gener i forbindelse med direkte sollys. En bevægelig afskærmning, der kan indstilles efter behov er ideel, men kan komme i konflikt med bygningens facadeæstetik. Rullegardiner, der bevæges lodret, er bedre end fortræksgardiner, når der skal tages hensyn til udsynet. Men de fleste gardintyper og screens vil påvirke udsynet. Dette gælder især, hvis afskærmningen skal reducere blænding væsentligt. Normalt kan man ikke regne med at en screendug både kan hindre blænding og samtidig tillade udsyn. For at reducere blænding til et acceptabelt niveau kræves, at screendugens åbningsgrad er 3 % eller lavere. For at opnå et acceptabelt udsyn skal åbningsgraden være 5 % eller højere. Åbningsgraden er den procentdel af dugen, som udgøres af huller, hvor man kan se igennem, og hvor direkte stråling kan passere. Farven på screendugen har også stor betydning for udsynet, idet lyse farver tillader en større del af lyset at passere som diffust lys, hvilket normalt begrænser eller hindrer udsynet helt.

Kriterier for udsyn gennem solafskærmninger

Udsynet kan klassificeres efter udsynsklasser, som beskrevet i den europæiske standard DS/EN 14501:2005, *Jalousier og skodder – Termisk og visuel komfort – Bestemmelse af ydeevne og klassifikation* (Dansk Standard, 2005). Normalt kan man ikke regne med, at en screendug både kan hindre blænding og samtidig tillade udsyn. En reduktion af blænding til et acceptabelt niveau kræver, at screendugens åbningsgrad og dermed $\tau_{v, n-n}$ er 5 % eller lavere, se tabel 5. For at opnå et acceptabelt udsyn skal åbningsgraden (eller $\tau_{v, n-n}$) være højere end 5 %, se tabel 5. Åbningsgraden C_0 er den procentdel af dugen, som udgøres af huller, hvor man kan se igennem, og hvor direkte stråling kan passere ($\tau_{v, n-n}$). Farven på screendugen har også stor betydning for udsynet, idet lyse farver tillader en større del af lyset at passere som diffust lys, hvilket normalt begrænser eller hindrer udsynet helt, specielt når solstråling rammer dugen, se tabel 5.

Tabel 5. Solafskærmningers klassificering ifølge DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) efter muligheden for at bevare udsynet til omgivelserne, angivet efter klasserne defineret i tabel 3.

Klasse	$\tau_{v, n-dif}$		
	$0 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,04$	$0,04 \leq \tau_{v, n-dif} < 0,15$	$\tau_{v, n-dif} > 0,15$
$\tau_{v, n-n} > 0,10$	4	3	2
$0,05 < \tau_{v, n-n} \leq 0,10$	3	2	1
$\tau_{v, n-n} \leq 0,05$	2	1	0
$\tau_{v, n-n} = 0,00$	0	0	0

Klassificeringen af solafskærmningers evne til at tillade udsyn er mest velegnet for afskærmninger med screendug (eller rullegardiner), men standarden angiver, at klassificeringen også kan benyttes på lamelbaserede afskærmninger ved forskellige indfaldsvinkler og forskellige lamelhældninger. De

nødvendige data for en aktuell screendug skal opgives af fabrikanten eller leverandøren. Data kan enten være klassificeringen efter DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) eller de grundlæggende transmissionsdata, så det er muligt for den projekterende at klassificere typen efter standarden. Figur 4 viser eksempel på produktbeskrivelse fra firmaet Serge Ferrari for screendugen Soltis Perform 92 (uddrag).

■ **Solar and light properties (EN 14501)**

	Width (cm)	TS	RS	AS	TV n-h	TV n-n	EN 13363-1* Type "C" glazing		EN 13363-2** Type "D" glazing			
							g_{tot}^e	g_{tot}^i	g_{tot}^e	g_{tot}^i		
							177	267	177	267		
92-2012		•	•	7	30	63	6	5	0.10	0.47	0.04	0.24
92-2013		•		18	57	25	16	4	0.14	0.39	0.07	0.17
92-2039		•		4	8	88	3	3	0.10	0.54	0.04	0.29
92-2043		•	•	4	13	83	3	4	0.10	0.53	0.04	0.28
92-2044		•	•	19	68	13	17	3	0.14	0.35	0.07	0.11
92-2045		•	•	4	35	61	4	4	0.08	0.45	0.03	0.22
92-2046 A		•	•	12	46	42	10	4	0.12	0.42	0.05	0.18
92-2046 B		•	•	12	63	25	10	4	0.10	0.37	0.05	0.14
92-2047		•	•	5	8	87	5	4	0.11	0.54	0.04	0.28
92-2048		•	•	8	46	46	8	3	0.09	0.42	0.04	0.18
92-2051 A		•	•	12	49	39	11	4	0.11	0.41	0.06	0.17
92-2051 B		•	•	12	70	18	11	4	0.10	0.34	0.05	0.10
92-2161		•		9	21	70	5	3	0.12	0.50	0.04	0.27
92-2163		•		9	42	49	4	3	0.10	0.43	0.04	0.21
92-2164		•		10	45	45	4	3	0.11	0.42	0.04	0.21
92-2166		•		21	54	25	17	4	0.16	0.40	0.07	0.19
92-2167		•	•	6	19	75	5	5	0.11	0.51	0.04	0.26
92-2171		•	•	8	41	51	6	4	0.10	0.43	0.04	0.20
92-2172		•		19	43	38	8	4	0.16	0.43	0.06	0.24
92-2175		•	•	19	65	16	17	4	0.14	0.36	0.07	0.14
92-8204		•		21	45	34	11	5	0.17	0.43	0.07	0.23
92-8255		•		12	28	60	4	3	0.13	0.48	0.05	0.27
92-50260		•		5	14	81	4	4	0.10	0.52	0.04	0.28
92-50261		•		15	40	45	6	5	0.14	0.44	0.04	0.25

Figur 4. Eksempel på produktdata fra virksomheden Serge Ferrari, der leverer screendug til mange forskellige afskærmningsfabrikanter. Den viste screendug er af typen Soltis Perform 92 (uddrag).



Figur 5. Bygning med store glasfacader, der i teorien giver et godt udsyn, men som i praksis må beskyttes med screendug, som forringer eller i værste fald blokerer for udsynet.

Store vinduer giver god mulighed for en god udsigt, men i praksis kan en solafskærmning helt ødelægge udsigten, specielt når solen skinner på den aktuelle facade. Hvis krav til energirammen og kravene til termisk komfort medfører, at solafskærmningen skal være trukket for i en stor del af brugstiden, er det vigtigt, at afskærmningen giver mulighed for en bevarelse af udsynet.

Branchevejledning for indeklimaberegninger (Vorre et al., 2017) definerer 3 indeklimaklasser, hvor brugen af solafskærmning indgår som en af parametrene, jf. tabel 6. For at man kan sige, at 'udsynet bevares i en tilfredsstillende del af brugstiden', må antallet af timer, hvor afskærmningen er trukket for, ifølge vejledningen højst udgøre 30 pct. af den samlede brugstid inden for tidsrummet kl. 7 til kl. 18. Dette svarer til den laveste indeklimaklasse (minimum) i branchevejledningen. Det bør bemærkes, at selv om vejledningen betragter brugstiden for hele året, bør der også stilles krav på sæson- eller månedsniveau, fx således at solafskærmningen højst må være trukket for i 30 % timerne (vægtede timer) i brugstiden inden for sommerperioden maj - september.

Tabel 6. Indeklimaklasser i forhold til brugen af solafskærmning og bevarelse af udsynet defineret i *Branchevejledning for indeklimaberegninger* (Vorre et al., 2017). Der evalueres kun på den del af brugstiden, der ligger mellem kl. 7 og kl. 18.

Solafskærmningstid i procent af brugstiden			
Indeklimakategori	Minimum	Standard	Ambitiøs
Andel vægtede timer af brugstid, hvor afskærmningen er aktiv	30 %	20 %	12 %

For afskærmninger, der kun medfører delvist blokeret udsyn, kan benyttes en vægtningsfaktor, så timerne vægtes lavere, end ved helt blokeret udsyn. Udsynet kan klassificeres efter udsynsklasser, som beskrevet i den europæiske standard DS/EN 14501:2005, *Jalousier og skodder – Termisk og visuel komfort – Bestemmelse af ydeevne og klassifikation* (Dansk Standard, 2005). Kriterierne for et godt udsyn, herunder betydningen af solafskærmningen, viser, at klassificeringen af en facade i forhold til en given egenskab ofte kræver detaljerede analyser af facadens funktion i praksis.

Kriterier for udsyn gennem vinduer

Udkastet til den europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b) indeholder et vejledende bilag, *Informative Annex C*, som angiver forslag til regler for, hvordan man kan vurdere udsynet fra et rum. Reglerne indeholder diagrammer for rating af udsynskvaliteten som funktion af rumdimensioner, vinduesstørrelser, positionen i rummet samt den aktuelle type af udsigt. I den aktuelle udsigt skelnes mellem tre 'lag' af udsigtstype, se tabel 7:

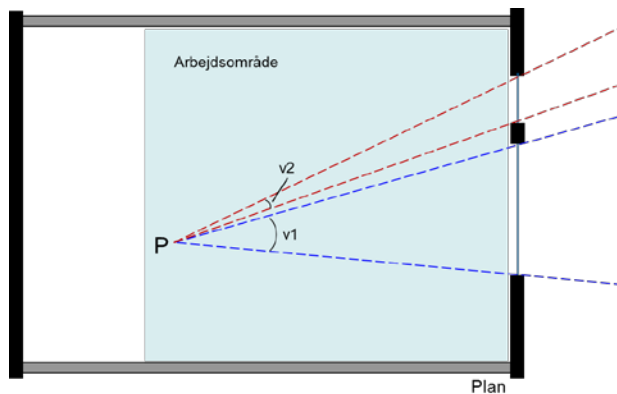
- et lag med himmel
- et lag med landskab (fx bygninger, natur eller blot horisont)
- et lag med terræn (fx gader, pladser, aktiviteter, trafik).

Fra et givet punkt i rummet afhænger kvaliteten af udsynet/udsigten af:

- størrelsen af dagslysåbningen (eller åbningerne)
- bredden af udsynet (målt ved vandret udsynsvinkel)
- dybden af udsigten, der kan ses (afstand til fjerneste område om udsigten)
- antallet af udsigtslag (se ovenfor)
- typen af informationer i udsigten.

Kriterierne for udsyn vedrører det relevante gulvareal, hvilket for arbejdspladser typisk vil være arbejdsområdet, mens det for boliger typisk vil et helt opholdsrum. For at sikre et passende udsyn bør følgende kriterier være opfyldt:

- Rudetypen i vinduerne skal sikre, at udsynet/udsigten opleves klart, uforstyrret og med naturlige farver.
- For referencepunkter inden for det relevante gulvareal skal udsynet gennem vinduerne have en vandret synsvinkel over en vis størrelse.
- Afstanden til udsigtens fjerneste områder skal være over en vis størrelse.
- Fra det relevante gulvareal skal der kunne ses et minimum antal 'udsigtslag'.



Figur 6. Vandret synsvinkel fra position i rummet gennem vinduesåbningerne. Ved flere vinduer kan vinklernes gradtal lægges sammen, $V_{horiz} = v1 + v2$.

Et forslag til kriterier for klassificering af udsynet gennem vinduer er angivet i tabel 7, der også medtager hensyn til, at solafskærmningen i praksis kan begrænse udsynet meget betydeligt.

Tabel 7. Forslag til klassificering af udsyn er udarbejdet på med udgangspunkt i udkastet til den europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b) og *Branchevejledning for indeklima-beregninger* (Vorre et al., 2017). Kriterierne vurderes fra en given position, men det sidste kriterium kan også betragtes som et kriterium for rummet. En position eller et rum klassificeres efter det kriterium, der giver laveste klasse.

Klasse	Klasse for udsyn/udsigt (fra en given position)				
Parameter	0	1	2	3	4
Horizontal udsigtsvinkel, V_{horiz}	< 14°	14° - 27°	28° - 45°	45° - 60°	> 60°
Udvendig afstand til udsigt, m	< 5 m	6 - 14 m	15 - 29 m	30 - 50 m	> 50 m
Antal udsigtslag, der kan ses fra min. 75 % af det relevante gulvareal:			Landskabs-		
1: himmel	Netop ét lag indgår	Landskabslag indgår	lag samt mindst ét lag mere	Alle udsigtslag indgår	Alle udsigtslag indgår
2: landskab (urban and/or nature)					
3: terræn (gader, pladser, trafik)					
Andel vægtede timer af brugstid, hvor afskærmningen er aktiv	> 35	25 - 35 %	15 - 25 %	10 - 15 %	< 10 %

Indblik: Beskyttelse mod uønsket indblik udefra

Bygningsreglement 2018 angiver ingen krav om beskyttelse mod indblik udefra, men det betyder ikke, at denne funktion ikke er vigtig. For mange brugere er facadens evne til at lukke af for indblik udefra lige så vigtigt som det at kunne se ud. Afhængigt af hvor bygningen ligger placeret, og hvor tæt man kan komme på vinduerne udefra, bør dette aspekt indgå i planlægningen af facadens udformning og bygningens indretning. Mens fx en persienne normalt kan lukke helt af for omgivelserne, vil et rullegardin eller en screendug med en vis åbningsgrad give gennemsyn fra den side, hvor der er mindst lys. Det betyder fx, at man kan kigge ud gennem rullegardinet om dagen, mens man kan kigge ind udefra, når det er mørkt udenfor.

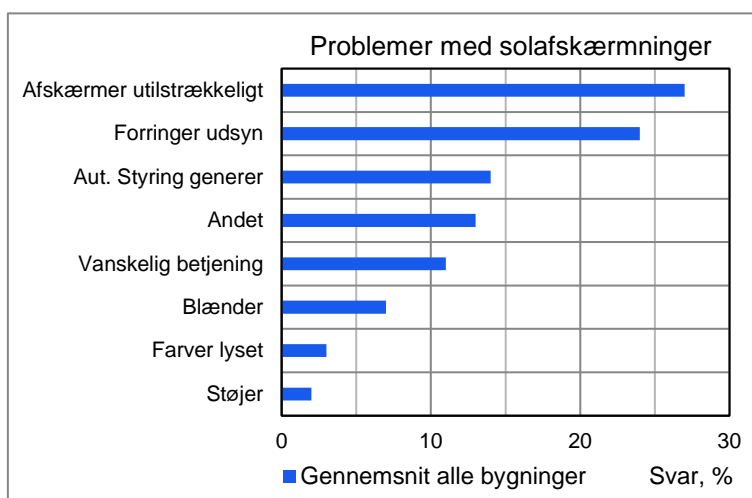
Behovet for privathed afhænger af, hvad der foregår inde i bygningen. Men det er også relateret til bygningens placering og de nærmeste omgivelser. Hvis personer uden for bygningen har frit indblik, eller hvis der er vinduer i andre bygninger lige overfor, vil en del mennesker føle sig generet. I nogle lande vil også kulturelle krav eller normer resultere i et større behov for privathed.

Flere typer af regulerbare afskærmninger gør det muligt for brugerne at have den grad af privatliv, de til enhver tid ønsker. Ikke-transparente typer, som tykke, tætte gardiner og persienner giver den højeste grad af privathed. Tynde, transparente afskærmninger, fx i form af løstvævede gardiner eller screens, kan i nogle tilfælde give privathed, fordi afskærmningen virker meget lysere end rummet bag ved. Det kan enten ske ved, at en del af lyset passerer afskærmningen som diffust lys, eller ved at lyset udefra reflekteres i afskærmningen, se figur 7. I begge tilfælde bliver afskærmningen meget lys (høj luminans), så man udefra ikke kan se ind i bygningen. Men selv om denne type afskærmninger kan være effektive i løbet af dagen, fungerer de ikke om natten, når det er lysere indenfor end udenfor. Man bør desuden være opmærksom på, at afskærmninger, som har en høj lysreflektans, kan virke meget generende for nærliggende bygninger.



Figur 7. Facade med lyse afskærmninger, der reflekterer lyset og derfor reducerer indsynet i dagtimerne. Er der aktivitet i bygningen om aftenen eller om natten, vil denne type afskærmning ikke fungere, fordi der vil være lysere indenfor end udenfor. Foto: Microshade

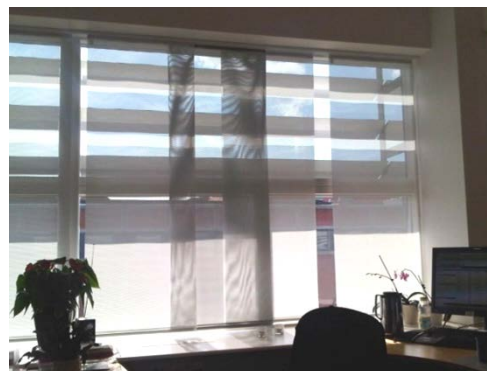
Da de færreste facader opfylder alle ønsker, er det vigtigt at gøre sig klart, hvilke funktioner facaden primært skal opfylde. At opfylde nogle krav kan medføre, at andre ønsker til facadens funktion bliver opfyldt i mindre grad. Generelt gælder, at jo mere regulerbar facaden er, jo flere krav vil den kunne opfylde. I den store undersøgelse i kontorbygninger, som SBI gennemførte i 1999 (Christoffersen et al., 1999) blev 1800 kontoransatte spurgt om, hvilke problemer ved solafskærmningen de betragtede som de værste. Figur 8 viser resultatet af besvarelsene, og figuren illustrerer umiddelbart de modsætningsfyldte krav og ønsker, der stilles til afskærmningen: På den ene side afskærmes ikke tilstrækkeligt i forhold til solindfald, og på den anden side blokerer afskærmningen for meget for udsynet. Vedrørende reguleringen er der den modsætning, at i nogle tilfælde generer den automatiske regulering, og i andre er betjeningen vanskelig. Svarene understreger vigtigheden af, at den automatiske regulering skal ske lydløst, og så brugerne umiddelbart forstår, når der reguleres, men samtidig skal der altid være en mulighed for, at brugerne kan overstyre den automatiske funktion.



Figur 8. Resultat af svar vedr. utilfredshed med solafskærmningen i spørgeskemaundersøgelse i 2000 kontorer (Christoffersen et al., 1999).

Kriterier for afskærmning mod indblik

Evnen til at beskytte mod indblik angives i DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) ved, om en observatør placeret 5 meter uden for afskærmningen kan skelne en person eller genstand placeret i rummet 1 meter bag afskærmningen ved normale lysforhold. 'Normale lysforhold' er nærmere defineret i standarden. Solafskærmninger klassificeres ud fra størrelsen af parametrene $\tau_{v, n-n}$ og $\tau_{v, n-dif}$ som vist i tabel 8.



Figur 9. Afskærmningstyper, som lader en stor del af lyset passere som diffust lys, giver en markant begrænsning af udsynet, men hindrer ikke indblik om natten.

Tabel 8. Solafskærmningers klassificering ifølge DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) efter evnen til at beskytte med indblik udefra om natten (night privacy).

Klasse	$\tau_{v, n-dif}$		
	$0 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,04$	$0,04 \leq \tau_{v, n-dif} < 0,15$	$\tau_{v, n-dif} > 0,15$
$\tau_{v, n-n} > 0,10$	0	0	0
$0,05 < \tau_{v, n-n} \leq 0,10$	1	1	1
$\tau_{v, n-n} \leq 0,05$	2	2	1
$\tau_{v, n-n} = 0,00$	4	3	2

Dagslys: Godt dagslys i rummet og til arbejdsfunktioner

Lyset skaber rummet, og i de tidligste faser af bygningsplanlægningen træffes de beslutninger, som er bestemmende for, hvordan det resulterende dagslys vil være i bygningen og de enkelte rum. Dagslysets betydning for rummet er fint beskrevet af to af de mest kendte udøvere af dagslytsdesign i praksis:

A room appears pleasing to us because the play of light and colour evokes satisfying sensations (The Lighting of Buildings, R.G. Hopkins)

I can't define a space really as a space unless I have natural light...all spaces worthy of being called a space need natural light. Natural light gives mood to space by nuances of light in the time of the day and the season of the year as it enters and modifies the space (Louis Kahn).

BR18 krav og vejledning vedr. dagslys

§ 379

Arbejdsrum, opholdsrum i institutioner, undervisningslokaler, spiserum, i det følgende benævnt arbejdsrum mv., samt beboelsesrum og køkken skal have en sådan tilgang af dagslys, at rummene er tilstrækkeligt belyste.

Stk. 2. Tilstrækkelig tilgang af dagslys kan dokumenteres ved, at glasarealet uden skyggende forhold svarer til mindst 10 pct. af det relevante gulvareal. Det angivne glasareal skal korrigeres for evt. skyggende omgivelser, reduceret lystransmittans mv., som angivet i Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsens Vejledning om lys og udsyn. Alternativt kan tilstrækkeligt dagslys dokumenteres ved at eftervise, at den indvendige belysningsstyrke fra dagslys er 300 lux eller mere ved mindst halvdelen af det relevante gulvareal i mindst halvdelen

af dagslystimerne. For beboelsesrum er det relevante gulvareal lig det indvendige gulvareal. For arbejdsrum mv. er det relevante gulvareal det areal, hvor der placeres arbejdspladser. Såfremt det kan dokumenteres, at rummene er tilstrækkeligt belyste, kan andre beregningsmetoder benyttes som dokumentation.

Beslutninger vedrørende bygningens form, placering og orientering på grunden samt bygningens indretning, dybden af rummene, udformningen af facaden og valg af vinduesstørrelser har afgørende betydning for, hvordan det enkelte rum påvirker brugerne, om det opleves behageligt og interessant, eller måske snarere ubehageligt eller kedeligt. Rummets kvalitet hænger altså nøje sammen med lysets kvalitet, og derfor bør lyset indgå med høj prioritet i alle de afgørende beslutninger i byggeriets planlægnings- og skitsefaser.

Orientering

Vinduets orientering er bestemmende for, hvor meget dagslys og solstråling der tilføres rummet og for, hvornår på dagen og året lysindfaldet er størst. Ved projektering af en bygning må man nøje vurdere ønsket om at maksimere dagslysudnyttelsen i sammenhæng med behovet for at kunne kontrollere varmetilskuddet fra solstrålingen. På overskyede dage modtager de fire hovedorienteringer stort set lige meget lys, mens det sydvendte vindue modtager mest lys fra himlen, når himlen er delvis overskyet.

Størrelse

Ved almindelige vinduesstørrelser kan man i mange mindre rum med en rumdybde på 4-5 m og ved en normal rumhøjde (2,4-2,7 m) klare sig med dagslyset alene i størstedelen af en normal arbejdsdag. Dette gælder dog ikke, hvis træer eller andre bygninger skygger for det aktuelle rums vinduer. I sådanne tilfælde skal rudearealet forøges forholdsmæssigt. Af hensyn til lysfordelingen i rummet, ønsket om udsigt fra alle arbejdspladser samt tilstrækkeligt dagslys, bør afstanden fra den enkelte arbejdsplads til vindue ikke være for stor. For dybe rum er dagslysindfaldet fra kun én side ofte utilstrækkeligt, og andre løsninger med supplerende dagslys kan være nødvendige (fx ovenlys, vinduer i flere vægge).

Ved angivelse af vinduesstørrelse er det vigtigt, at der skelnes mellem vinduesareal og rudeareal. Normalt udgør rudearealet kun 60-80 % af vinduesarealet, hvilket betyder, at når vinduesarealet udgør 22 % af gulvarealet, udgør rudearealet kun ca. 15 %.

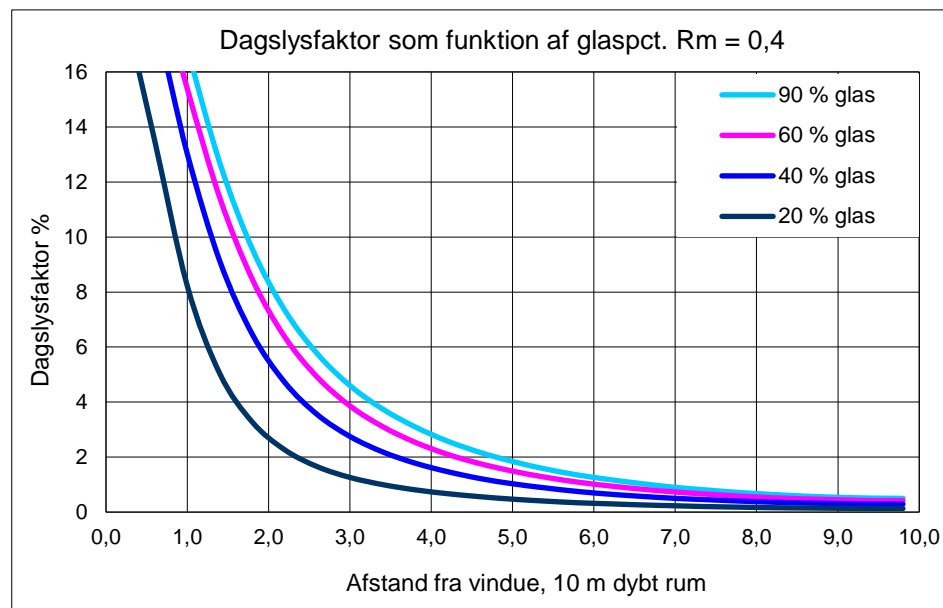
Et større rudeareal medfører naturligvis et større dagslysindfald, men specielt vinduets højde over arbejdsplanet har stor betydning, især for dybe rum. I moderne kontor- og erhvervsbyggeri er der store variationer i det relative vinduesareal og dermed rudearealet, men som vejledende værdier kan man for det enkelte rum regne med en klassificering af rudearealer i facader angivet i tabel 9.

Tabel 9. Vejledende klassificering af rudeareal i facader i kontor-, erhvervs- og institutionsbyggeri. Klassificeringen er primært lavet ud fra rudeareal i forhold til gulvareal. Procentandelen i forhold til facadeareal er beregnet ud fra et forhold mellem rumdybde og rumhøjde på 2 (fx 5 m og 2,5 m).

Klassificering af rudeareal	Rudeareal i forhold til gulv, %	Rudeareal i forhold til facade, %
Lille	Mindre end 12	Mindre end ca. 24
Middel	12-18	24-36
Stort	Mere end 18	Mere end 36

For at få en god udnyttelse af rum med større rumdybde kan det være nødvendigt at anvende et rudeareal i kategorien 'stort', hvor rudearealet udgør

mere end 36 % af facaden (målt indvendig). Figur 10 viser, hvorledes dagslysfaktoren falder med stigende afstand fra facaden i et 10 m dybt rum. Det fremgår også, hvordan dagslysfaktoren stiger med stigende glasandel af facaden.



Figur 10. Dagslysfaktoren på arbejdsplan i rummets centerlinje for et helt åbent rum, der er 10 m dybt. Dagslysfaktoren er bestemt som funktion af glasareal/facadeareal (%). Facaden er 4 m bred og 2,8 m høj. Glasset har en lystransmittans på 0,8. Kurverne forudsætter en middelreflektans af rummets overflader, R_m , på 0,4, hvilket fx svarer til, at reflektansen af loft, væg og gulv er henholdsvis 0,7, 0,4 og 0,1.

Form og placering

Vinduet form og placering i facaden har stor betydning for rumoplevelsen, bestemt af dagslysets hovedretning, lysets fordeling samt skyggetegningen i rummet. Jo højere vinduet er placeret, jo dybere trænger lyset ind i rummet, og jo mere ensartet bliver lysets fordeling. Et højsiddende vindue giver imidlertid også større anledning til ubehagsblænding, hvilket kan bevirke, at vinduet afskærmes, og anvendelsen af den kunstige belysning øges. Et lavere siddende vindue giver gode dagslysf forhold ved vinduesvæggen. Vinduesplaceringen og brystningshøjden influerer også på udsigten, herunder forholdet mellem forgrund og himmel.

Lysåbningens detailudformning påvirker dagslysets fordeling ind i rummet. Falske vinduesnichen skråt indad, vil dagslysfordeling blive mindre rettet og kontrastovergangen mellem himmel og vindue reduceret. Anvendes lyse farver på vinduesfacaden og på karm- og rammekonstruktionen, vil blænding fra vinduet blive reduceret. Mørke farver på karm- og ramme-konstruktion har den effekt, at kontrasten mellem ruden og omgivelserne forøges, hvorved gener af blænding fra vinduet forstærkes. Lyse, evt. spejlende flader fx i vinduets underkant vil give den bedst mulige lysmæssige udnyttelse af dagslyset, men samtidig kan det give en utilsigtet forringelse af de visuelle synsforhold på grund af refleksioner, hvis fladen kan ses fra en siddende eller stående position inde i rummet.

De senere års fremherskende tendens til anvendelse af store glasarealer i bygningsfacaden har medført, at valget af rudetype og solafskærmning er blevet meget afgørende for både indeklima og energiforbrug. Store rudearealer rummer en potentiel risiko for en stor solvarmebelastning af rummene bag facaden, og i praksis har det også vist sig, at mange af 'glasbygningerne' har haft et højt energiforbrug og alligevel et dårligt indeklima. Der er to nærliggende muligheder for at løse problemet med solbelastningen: At reducere vinduesarealet eller at anvende en mere effektiv solafskærmning. Da

bygningerne imidlertid ofte indrettes med forholdsvis dybe rum, er der også et behov for at få så meget dagslys ind i bygningerne som muligt samt at få lyset så dybt ind i rummene som muligt. Jo højere vinduerne er placeret, jo dybere trænger dagslyset ind i rummet, og glaspartier under bordhøjde bidrager kun begrænset til dagslyset ved arbejdspladserne. Ud fra indeklimahensyn kan vinduer under bordhøjde derfor ofte med fordel reduceres.

Sidelys

Et rum er sidebelyst, hvis dagslysbelysningen kommer ind gennem vinduer i facaden. I sidebelyste rum aftager dagslysniveauet hurtigt, når man bevæger sig bort fra vinduet som vist i figur 10.

Karakteristisk for dagslyset gennem vinduer i facaden er den dominerende lysretning i form af en skrå nedadrettet komponent. Sammen med det reflekterede, diffuse lys fra rummets overflader kan dagslyset give en passende blanding af rettet og diffust lys. Denne blanding fremhæver den tredimensionale form af rumlige objekter gennem skyggedannelser og fortoninger i lyset. Overfladernes struktur (tekstur og glans) fremhæves af skyggedannelser og spejlinger af det rettede lys. Et helt diffust lys mangler den rettede del af lyset, hvorved det bliver vanskeligt at skelne form og struktur, hvorfor rummet ofte vil blive opfattet som uinteressant eller kedeligt. Vinduesåbningens udformning og placering i rummet samt luminansen og farverne af fladerne uden for vinduet, som de enkelte punkter i rummet kan se, har derfor afgørende indflydelse på lyset i rummet og dermed på, hvordan rummet opleves.

Bidraget af reflekteret lys fra rummets egne flader er særlig vigtig, idet det opbløder det meget rettede lys fra vinduet. Udnyttes refleksionsegenskaberne af de flader, der modtager direkte dagslys hensigtsmæssig, kan det sikres, at resten af rummet får en bedre udnyttelse af det reflekterede dagslys. I sidebelyste rum vil himmellyset først ramme gulvet samt andre vandrette og lodrette flader tæt ved vinduet, mens loftet modtager reflekslyset fra jorden foran vinduet. Bagerst i rummet vil ofte mere end halvdelen af dagslyset være reflekslys fra rummets overflader.

Ovenlys

Ovenlys i form af en vandret åbning i tagfladen eller ovenlys i form af kupler giver en belysning med en udpræget lodret lysretning. Lodrette flader bliver belyst ved reflekslys, og modellering af rumlige objekter bliver dårlig. Som hovedregel bør ovenlysene derfor placeres, så dagslyset kan reflekteres videre fra én eller flere vertikale flader. Det giver en bedre balance i lysets fordeling og retning og afhjælper kontrastproblemer. Ovenlys med en skråtstillet åbning giver dagslystilgangen en karakter og lysmæssig effekt, der delvis kan sammenlignes med lys fra sidevinduer. I opholds- og arbejdsrum skal ovenlys suppleres med sidevinduer, så der er udsyn, men det bør tilstræbes, at der opnås én hovedretning på lyset, så skyggedannelsen bliver entydig og formtegningen bedst mulig.

Solafskærmningens reduktion af dagslysudnyttelsen

Som for alle andre af facadens funktioner kan funktionen 'at give godt dagslys' ikke vurderes isoleret fra de andre funktioner. Store glasarealer og godt dagslys må nødvendigvis vurderes i sammenhæng med forudsætninger vedr. brugen af solafskærmning. Alle solafskærmninger vil reducere tilførsel af dagslys til rummet. For at opnå en høj dagslystilførsel og samtidig kunne afskærme for generende solvarme kan man vælge løsninger med en eller flere af følgende egenskaber:

- Regulerbar afskærmning, der kan trækkes helt fra på overskyede dage.
- Afskærmning, som kan reflektere noget af det blokerede sollys via loftet og dybere ind i rummet. Lameller under øjenhøjde (for en stående person) bør reflektere lyset diffust og ikke være spejlende.

- Afskærmning, som tillader lyset at passere som diffust lys. Denne type afskærmning vil ofte få en generende høj luminans.
- Afskærmning, som kan blokere det område af himlen, hvor solen er, mens lys fra andre dele af himlen kan passere.

Lystransmittansen, τ_v , definerer mængden af dagslys, som transmitteres igennem en rude, en afskærmning eller et system af afskærmning plus rude. For ruder angives lystransmittansen ved stråling vinkelret på ruden. Det diffuse lys fra himmelhvælvingen og det reflekterede lys fra overflader i det fri rammer facaden fra alle retninger, og derfor bliver middeltransmittansen ca. 10 % mindre. Dagslysets fordeling i lokalet afhænger af vinduets udformning, placering og overfladernes reflektanser. Belysningsstyrken i lokalet er størst i vindueszonen og aftager hurtigt ind i lokalet. Rudens reduktion af lyset har samme reducerende virkning på belysningsstyrken gennem hele lokalet.

For solafskærmninger er forholdene mere komplicerede, idet afskærmningen har stor indflydelse på lysfordelingen. Et udhæng eller en delvist åben persienne reducerer belysningsstyrken meget mere i vindueszonen end lænere inde i lokalet.

Kriterier for god dagslysudnyttelse med solafskærmning

Facaden evne til at udnytte dagslyset, når afskærmningen er trukket for, er i DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) defineret ud fra parameteren $\tau_{v, dif-h}$ (diffus/hemisferisk lystransmittans), altså ud fra hvor stor en del af det diffuse himmellys, der passerer gennem systemet til halvrummet bag afskærmningen, se tabel 10.

Tabel 10. Solafskærmningers klassificering ifølge DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) efter muligheden for at udnytte dagslyset.

Klasse	0	1	2	3	4
$\tau_{v, dif-h}$	$\tau_{v, dif-h} < 0,02$	$0,02 \leq \tau_{v, dif-h} < 0,10$	$0,10 \leq \tau_{v, dif-h} < 0,25$	$0,25 \leq \tau_{v, dif-h} < 0,40$	$\tau_{v, dif-h} \geq 0,40$

Transmittansen for diffust lys $\tau_{v, dif-h}$ siger intet om, hvordan afskærmningen ændrer lysfordelingen i lokalet. Ofte vil det være gunstigt, at solafskærmningen udjævner uligheden mellem belysningsstyrkerne ved vinduet og bagerst i rummet, men det er samtidig vigtigt, at afskærmningen ikke udelukker så meget dagslys, at det er nødvendigt at tænde for den kunstige belysning.

Kriterier for godt dagslys i rummet og til arbejdsfunktioner

BR18 angiver mindste krav vedr. dagslystilførslen til arbejdsrum mv. samt beboelsesrum ved, at det skal eftervises, at den indvendige belysningsstyrke fra dagslys er 300 lux eller mere ved mindst halvdelen af det relevante gulvareal i mindst halvdelen af dagslystimerne. Bygningsreglementets krav er minimum krav, der skal opfyldes, for at man kan forvente, at et rum er tilstrækkeligt forsynet med dagslys. Kravet svarer også til det niveau, som i den (foreløbige) europæiske standard, DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2016) kaldes anbefalede minimum krav (Tabel A.1, *Recommendations for daylight provision in a space*). Standarden angiver også to andre kravniveauer, 'medium' og 'high', på henholdsvis 500 lux og 750 lux i halvdelen af det relevante gulvareal og halvdelen af dagslystimerne. I sig selv forekommer disse niveauer meget høje, og da de yderligere kobles sammen med krav til minimum belysningsstyrker, på henholdsvis 300 lux og 500 lux, som skal opfyldes i 95 % af det relevante gulvareal, må disse kravniveauer i praksis betragtes som næsten uforenelige med energirammen og det danske klima.

Et forslag til klassificering af facadens evne til at udnytte dagslyset er givet i tabel 11. Tabellen tager hensyn til, at bygningsreglementets krav i en del tilfælde kan være vanskelige at opfylde i praksis, fx for alle opholdsrum i en etagebolig eller for rum nær det indvendige hjørne i vinkelformede bygninger. Også lokalplaner kan i visse tilfælde vanskeliggøre opfyldelsen af dagslyskravene. Derfor rummer tabellen en klassificering (klasse 1), der ikke umiddelbart opfylder BR18, men som i visse tilfælde vil kunne godkendes med dispensation på et rimeligt grundlag. Klasse 0 angiver et forslag til en nedre grænse for tilfælde, hvor der kan dispenseres.

Tabel 11. Forslag til klassificering af facaden efter dens evne til at udnytte dagslyset. Forslaget rummer en klasse under BR18-krav, hvor der i særlige tilfælde vil være grundlag for at give dispensation.

Klasse	Belysningsstyrke, lux	Andel af relevant gulvareal, %	Min. belysningsstyrke, lux	Andel af rel. gulvareal for min. belysningsstyrke, %	Andel af dagslystimer, %	Bemærkning
0	< 200	50	-	-	50	Kan ikke godkendes *
1	200 -300	50	-	-	50	Kræver dispensation
2	300	50	-	-	50	Svarer til BR18
3	400	50	200	95	50	Bedre end BR18
4	500	50	300	95	50	Meget bedre end BR18

* Forslag til kritisk grænse, hvorunder der ikke bør dispenseres.

Udluftning: Mulighed for at lufte ud

Åbning af vinduerne for at kunne ventilere lokalet er et højt prioriteret ønske hos brugerne, faktisk nr. to på listen over vinduets vigtigste funktioner (Christoffersen et al., 1999). Brugen af vinduerne i forbindelse med naturlig ventilation i bygningen er ligeledes et forhold, der skal tages med i planlægning af facadeudformning og solafskærmning. Vinduer og udluftningslemme giver mulighed for at tage toppen af overtemperaturerne på varme sommerdage. Desværre ses det ofte, at de projekterende ikke ønsker at indregne denne mulighed ved dimensionering af ventilation og mekanisk køling i større bygninger, især fordi der er utilstrækkelig viden eller stor usikkerhed om effekten af denne supplerende naturlige ventilation. En anden begrundelse kan være, at den aktuelle facade vender ud imod en trafikåre med meget støj og/eller et område med høj luftforurening. I sådanne tilfælde bør muligheden for en støjdæmpende og/eller luftfiltrende ventilationsåbning undersøges fremfor på forhånd af afskrive muligheden for at lufte ud. Se også afsnittet *Støj: Beskytte mod støj udefra*, side 38. For mange rumtyper stiller bygningsreglementet krav om redningsåbninger til det fri. Men bygningsreglementet angiver ingen direkte krav om, at der skal være oplukkelige vinduer eller muligheder for naturlig ventilation i beboelsesrum eller arbejdslokaler. I betragtning af, hvor stor en vægt brugerne lægger på vigtigheden af at kunne åbne et vindue og få udeluft direkte gennem facaden, bør denne funktion ved facaden tillægges stor vægt.

Bygningsreglementet stiller specifikke krav om mekanisk ventilation i etageboliger og institutioner, mens enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation, og i alle tilfælde angives minimum luftmængder, som skal overholdes til enhver tid.

BR18 krav og vejledning vedr. udluftning

§ 443 - § 447 Ventilation i beboelsesbygninger (uddrag)

§ 443

I beboelsesrum såvel som i boligen totalt skal der til enhver tid være en udelufttilførsel på mindst 0,30 l/s pr. m² opvarmet etageareal. Dette gælder også ved brug af behovsstyret ventilation.

Stk. 2. Boligens grundluftsskifte skal tilvejebringes med et ventilationsanlæg med indblæsning i beboelsesrummene og udsugning i bad, wc-rum, køkken og bryggers. Ventilationsanlægget skal have varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften. Uden for opvarmningssæsonen kan indblæsning erstattes af udelufttilførsel gennem vinduer, udeluftventiler og lignende.

Stk. 3. Køkkener i boliger skal forsynes med emhætte med udsugning over kogepladerne. Emhætten skal have regulerbar, mekanisk udsugning og afkast til det fri og have tilstrækkelig effektivitet til at fjerne fugt og luftformige forureninger fra madlavning. Udsugningen skal kunne forøges til mindst 20 l/s.

Stk. 4. Udsugning fra bade- og wc-rum i boliger skal kunne forøges til mindst 15 l/s. I wc-rum uden bad og i bryggers skal der kunne udsuges mindst 10 l/s.

§ 446

Enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation eller en kombination af naturlig- og mekanisk ventilation. For enfamiliehuse med naturlig ventilation gælder § 443, stk. 1 og 3.

§ 447 Ventilation af daginstitutioner og undervisningsrum

Opholdsrum i daginstitutioner, undervisningsrum i skoler og lignende skal ventileres med et ventilationsanlæg, der omfatter både indblæsning og udsugning, samt varmegenvinding, der forvarmer indblæsningsluften.

Stk. 2. I daginstitutioner skal indblæsningen med udeluft og udsugningen mindst være 3,0 l/s pr. barn og mindst 5,0 l/s pr. voksen, samt 0,35 l/s pr. m² etageareal. I undervisningsrum i skoler og lignende skal indblæsningen med udeluft og udsugningen være mindst 5,0 l/s pr. person, samt 0,35 l/s pr. m² etageareal. I daginstitutioner og undervisningsrum i skoler og lignende skal det tillige sikres, at det maksimale CO₂-indhold i indeluften ikke overstiger 1.000 ppm for de dimensionerende forhold.

Stk. 3. Hvis der benyttes ventilationsanlæg med behovsstyret ventilation, kan der afviges fra de angivne luftmængder, når der er et reduceret behov. Ventilationen i brugstiden må ikke være mindre end 0,35 l/s pr. m² etageareal.

Vejledning

1.1 Generelt om bestemmelserne om ventilation (§ 421 - § 429, uddrag)

Bestemmelserne om ventilation varetager alene de normale ventilationsbehov. I f.eks. arbejdsrum eller rum i en bolig, hvor der udøves erhverv, kan der være behov for yderligere ventilation. Krav om yderligere ventilation stilles i givet fald i medfør af arbejdsmiljølovgivningen. Manuel udluftning eller manuel overstyring af ventilationen er ikke omfattet af bestemmelserne i bygningsreglementet, med mindre at det indgår i bygningens strategi for klimatisering.

Ventilationsåbninger direkte til det fri kan fx være udeluftventiler eller automatisk styrede vinduer. Åbningernes primære formål er at sikre, at udeluft tilføres rummene på en kontrolleret måde. Åbningerne bør i fornødent omfang kunne filtrere den indkomne luft og bør placeres således, at den indkomne luft er mindst mulig forurenset.

Ventilationsåbninger direkte til det fri bør udformes og fungere, så brugerne tilskyndes til at anvende åbningerne efter hensigten og derved korrekt udnytte mulighederne for at regulere både mængden og fordelingen af den tilførte udeluft. En ventilationsåbning direkte til det fri bør derfor være regulerbar, let at indstille, og kunne betjenes fra gulv. Endelig skal der tages højde for at ventilationsåbninger ikke giver anledning til træk.

Der kan være krav om en vis lyddæmpning i ventilationsåbningen, se § 369. I de tilfælde, hvor udelufttilførslen skal ske gennem styrede vinduer, bør tyveriaspektet iagttages.

Den forøgede volumenstrøm når der er behov for forøgede luftmængder vil ofte medføre et større samlet luftskifte i boligen end det krævede grundluftskifte på 0,3 l/s pr. m².

1.6. Ventilation i beboelsesbygninger (uddrag)

I beboelsesbygninger er der et generelt krav om et grundluftskifte på 0,30 l/s pr. m² opvarmet etageareal, hvor det opvarmede etageareal beregnes som beskrevet i kapitel 23 i bygningsreglementet. De 0,30 l/s pr. m² svarer ved normal rumhøjde omtrentligt til et luftskifte på 0,5 /h. Kravet om grundluftskiftet har til formål at sikre det grundliggende luftskifte. Derudover er der krav om, at luftmængderne kan forøges til specifikke mængder i køkken, bad, wc- rum, bryggers og kælderrum. Begge krav er mindstekrav, der begge skal være opfyldt. I visse tilfælde kan det dog være nødvendigt at forøge luftmængderne for at overholde det grundlæggende funktionskrav i § 420. Det kan for eksempel være i rum der benyttes som soveværelse eller børneværelse.

I enfamiliehuse kan der vælges både naturlig ventilation eller mekanisk ventilation eller en kombination af naturlig og mekanisk ventilation. En kombination af naturlig og mekanisk ventilation kunne for eksempel være ventilation med mekanisk udsugning, evt. kombineret med en brugsvandsvarmepumpe.

I enfamiliehuse vil overholdelse af nedenstående åbningsarealer normalt medføre, at luftskiftet er tilstrækkeligt.

- Tilførsel af udeluft i beboelsesrum: Oplukkeligt vindue, lem eller yderdør og en eller flere udeluftventiler med en samlet fri åbning på mindst 60 cm² pr. 25 m² gulvareal. Åbningsarealet til det fri kan evt. bestemmes ud fra en ventilationsteknisk beregning.
- Tilførsel af udeluft i køkkener: Åbning på mindst 100 cm² mod adgangsrum og oplukkeligt vindue, lem eller yderdør.

....

Om sommeren kan der være brug for yderligere ventilation for at fjerne overskudsvarme. Denne ventilation kan være naturlig, mekanisk eller hybrid ventilation.

Kriterier for god naturlig ventilation

Kriterierne for facadens mulighed for udluftning kan naturligt tage udgangspunkt minimumkravene i BR18 for udelufttilførsel til beboelsesrum, klasselokaler og institutionsrum. Rum, hvor udelufttilførslen udelukkende sker ved mekanisk ventilation, opfylder ikke brugernes store behov for at kunne åbne et vindue eller en ventilationslem for direkte lufttilførsel gennem facaden. Men lufttilførsel gennem små udeluftventiler giver heller ikke brugerne en fornemmelse af, at de har mulighed for at åbne op til det fri, og vil derfor heller ikke opleves tilfredsstillende. Kriterierne bør derfor både tage hensyn til mængden af udeluft, som åbningen tillader, og til typen af åbning og dens regulerbarhed. Det bør bemærkes, at vejledningen til ventilationsafsnittet i BR18 understreger, at manuel udluftning ikke er omfattet af bestemmelserne i BR18, medmindre det indgår i bygningens strategi for klimatisering.

Luftstrøm gennem vinduer og ventilationsåbninger

Branchevejledning for indeklimaberegninger (Vorre et al., 2017) angiver, hvor stor en luftstrøm der kan antages at passere ventilationsåbninger og vinduer, afhængigt af det effektive åbningsareal og afhængigt af, om der kan regnes med ensidig ventilation, tværv ventilation eller opdriftsventilation. Vejledningen tager udgangspunkt i, hvordan ventilationen skal fastlægges efter SBI-Anvisning 213, *Bygningers energibehov, Beregningsvejledning* (Aggerholm og Grau, 2018), med beregning af hvilken luftstrøm, der kan opnås ved naturlig ventilation om sommeren, $q_{n,s}$.

For boliger med manuelt styrede vinduer kan der normalt antages en ventilation på 0,9 l/s pr. m² opvarmet etageareal, som gennemsnit i varme perioder. Er der et større effektivt åbningsareal end 1,5 % af det opvarmede etageareal ved tværv ventilation eller 4,0 % ved ensidet placering af åbningerne, kan der antages en proportional større ventilation.

Ventilationsmuligheden ved henholdsvis tvær- og ensidet ventilation bestemmes ved følgende ligninger:

$$q_{n, s_{tvær}} = \left(\frac{\text{Eff. åbningsareal} / \text{etageareal} [\%]}{1,5 \%} \right) \times 0,9 \frac{l}{s} \text{ pr. m}^2$$

$$q_{n, s_{ensidet}} = \left(\frac{\text{Eff. åbningsareal} / \text{etageareal} [\%]}{4,0 \%} \right) \times 0,9 \frac{l}{s} \text{ pr. m}^2$$

Giver boligens udformning mulighed for opdriftsventilation, betragtes dette på samme måde som tværv ventilation. For beregning af vinduers og døres effektive åbningsareal kan værdierne i tabel 12 anvendes som forsimplet alternativ til at benytte formlerne i SBI-Anvisningen 202, *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger* (Andersen et al., 2002).

Tabel 12. Reduktionsfaktor for beregning af effektivt åbningsareal for typiske opluk. Faktoren definerer et forventet forhold mellem det effektive åbningsareal og åbningsarealet i karmen (Vorre et al., 2017).

Type af opluk	Reduktionsfaktor
Sidehængt vindue/dør	0,60
Tophængt vindue	0,40
Skydedør	0,70
Ovenlys vippe, motoriseret	0,50
Ovenlys vippe, manuel	0,70
Ovenlys tophængt	0,30

Ved fastlæggelse af reduktionsfaktorer skal der tages højde for eventuelle solafskærmninger, værn ved franske altaner og lignende, som kan have betydning for det effektive åbningsareal.

En solafskærmning kan let komme i konflikt med behovet for udluftning, især fordi behovene for at skærme for solen og for at lufte ud ofte optræder samtidig. Der skal tages hensyn til, at vinduet kan åbnes uden konflikt med afskærmningen, at den absorberede varme i en udvendig afskærmning ikke tilføres lokalet, samt at afskærmningen ikke blokerer for luftstrømmen eller blaffer i luftstrømmen. Figur 11 viser et eksempel på konflikt mellem afskærmning og vinduesåbning. Persiennen kan kun trækkes halvt ned, når man ønsker at åbne vinduet.



Figur 11. Eksempel på konflikt mellem afskærmning og udluftning. Persiennen kan kun trækkes halvt ned, når vinduet er åbent.

Et forslag til klassificering er vist i tabel 13. Klassificeringen må nødvendigvis ses i sammenhæng med den aktuelle rumtype. En facade kan således godt være højt klassificeret, uden at den opfylder behovet for lufttilførsel til rummet indenfor.

Tabel 13. Klassificering af facadens mulighed for at åbne for udeluft i varme perioder. Luftstrømmen defineres pr. m² opvarmet etageareal. Muligheden for at udlufte vægtes positivt jo højere friskluftskifte, der kan opnås. Dog vægtes et behov for højere luftskifte end 4 l/s pr. m² lavere. Grunden hertil er, at behovet vedrører overholdelse af krav til det termiske indeklima.

Luftstrøm l/s pr. m ²	q < 0,3	0,3 <q< 0,5	0,5 <q< 0,9	0,9 <q< 1,6	1,6 <q< 2,8	2,8 <q< 4	4 <q< 5,2	5,2 <q< 6	q > 6
Åbningstype									
Automatisk reguleret oplukkeligt vindue eller udluftningslem med manuel overstyring	0	1	2	4	4	4	2	1	0
Manuelt betjent oplukkeligt vindue eller udluftningslem	0	1	2	3	4	3	2	1	0
Automatisk reguleret oplukkeligt vindue eller udluftningslem uden manuel overstyring	0	1	2	2	3	2	2	1	0
Udeluftventil i væg eller vinduesramme	0	1	2	0	0	0	0	0	0

Overtemperatur: Beskyttelse mod uønsket solindfald

I projekteringsituationen betragtes facadens og solafskærmningens evne til at reducere solindfaldet ofte som den vigtigste. Arkitektens og bygherrens første overvejelser vil dreje sig om, hvordan de kan integrere afskærmningen på en æstetisk måde i facadeudtrykket, enten som et dominerende element eller på en måde, så afskærmningen bliver så lidt synlig som muligt. Men samtidig med disse overvejelser bør arkitekt og bygherre stille spørgsmålet: Hvordan kan facadeløsningen blive mest bæredygtig, dvs. hvordan sikrer man både det gode indeklima og det lave energiforbrug?

I forhold til de seneste års meget glasdominerede bygninger vil svaret på spørgsmålet som regel være, at man bør begrænse andelen af glas i facaden. Jo større en andel af facaden glasset udgør, jo stærkere er kravet om en afskærmning, der effektivt kan reducere solindfaldet. Som håndregel kan man regne med, at hvis glasset udgør mere end 30-35 procent af facaden (målt indvendigt), bør man forsyne vinduerne med en udvendig afskærmning.

Oplevelsen af termisk komfort er domineret af den operative temperatur t_{op} , som er bestemt af lufttemperaturen, lufthastigheden og temperaturen af de omgivende flader, dvs. middelstrålingstemperaturen på det aktuelle sted i rummet. Solindstrålingen skal kunne begrænses for at holde den operative temperatur nede.

BR18 krav og vejledning vedr. termisk indeklima

§ 386 Generelt for termisk indeklima

I rum, hvor personer opholder sig i længere tid, skal det sikres, at der under den tilsigtede brug og aktivitet kan opretholdes et sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende termisk indeklima.

Vejledning

For andre bygninger end boliger fastlægger bygherren det maksimale antal af timer pr. år af brugstiden, hvor en rumtemperatur (den operative temperatur) på henholdsvis 26 °C og 27 °C må overskrides. For mange typer bygninger med brugstid svarende til kontorbygninger, vil overskridelse på højst 100 timer over 26 °C og 25 timer over 27 °C normalt opfylde bestemmelsen.

For boliger, hvor der er mulighed for at åbne vinduer og skabe udluftning, kan bestemmelsen normalt anses som overholdt, når der gennem beregning kan påvises, at der maksimalt er 100 timer pr. år af brugstiden, hvor rumtemperatur overskrider 27 °C og 25 timer pr. år, hvor rumtemperaturen overskrider 28 °C. Det er en forudsætning for brug af disse temperaturgrænser, at der er mulighed for at skabe udluftning, da udluftning giver mulighed for at acceptere højere temperaturer. Der henstilles i øvrigt til, at rummenes funktion tages i betragtning ved fastlæggelse af temperaturniveauer. Eksempel kan rum, der typisk vil være blive brugt som soveværelser, være problematiske, hvis de fleste overophedningstimer optræder om aftenen.

Solindstrålingen påvirker det termiske indeklima eller den lokale termiske komfort på tre forskellige måder:

Total varmelastning

Solafskærmning reducerer solindstrålingen, hvorved stigningen i den operative temperatur begrænses, og/eller kølebelastningen formindskes. Solindstrålingen afhænger af vinduernes størrelse og den samlede solenergitransmittans af systemet, solafskærmning plus rude, g_{sys} .

Strålevarme

Solafskærmning vil ændre den lokale strålingstemperatur nær vinduet, når systemet rammes af solstråling. Udvendige afskærmninger vil sænke den indvendige overfladetemperatur af systemet (ruden), mens indvendige afskærmninger ofte vil hæve den indvendige overfladetemperatur af systemet (afskærmningen) og dermed medføre højere lokale værdier af den operative temperatur t_{op} . Denne effekt af solafskærmningen beskrives ved parameteren $q_{i,sys}$.

Direkte solstråling

Solafskærmning kan begrænse eller forhindre, at personer eller overflader i rummet rammes af direkte solstråling. Denne effekt beskrives ved parameteren $\tau_{e, dir-dir}$, som angiver hvor stor en del af den direkte solindstråling, der passerer gennem afskærmningen som direkte stråling.

Afskærmningsfaktor og g-værdi

Ved beregninger og vurderinger af de termiske forhold i en bygning har man behov for at kunne sammenligne virkningen af forskellige solafskærmende glastyper og andre solafskærmende foranstaltninger. Som mål for en afskærmnings effektivitet anvender man den såkaldte *afskærmningsfaktor*. Afskærmningsfaktoren er et udtryk for, hvor stor en andel af solstrålingen en given rude, eller systemet bestående af rude + afskærmning, lader passere i forhold til en referencerude. Jo mindre afskærmningsfaktor jo bedre afskærmning (betegnelsen er således noget misvisende). I Danmark beregnes afskærmningsfaktoren i forhold til en almindelig 2-lags rude, som regnes at have en total solstrålingstransmittans (g-værdi) på 0,76. I andre lande, bl.a. England og USA anvendes en et-lags rude som reference, og solstrålingstransmittansen for denne sættes til 0,87. Da afskærmningsfaktoren afhænger af, hvilken reference, der anvendes, må sammenligninger mellem forskellige solafskærmninger naturligvis ske på grundlag af samme reference.

Til beskrivelse af en solafskærmnings effektivitet anvendes også *g-værdien*, der angiver den totale solstrålingstransmittans gennem ruden eller facadesystemet bestående af rude + afskærmning i forhold til solstrålingen, der rammer ruden eller systemet. Man skal være opmærksom på, at lige som for solafskærmningsfaktoren angiver værdierne transmittansen for en strålingsretning vinkelret på ruden eller systemet.

Sammenhæng mellem afskærmningsfaktoren F og g-værdi

Afskærmningsfaktoren er forholdet mellem g-værdien for systemet og g-værdien for ruden. I de fleste tabeloversigter for forskellige solafskærmninger angives afskærmningsfaktoren i forhold til en referencerude bestående af 2 lag almindelig glas. Der findes dog også tabeller over solafskærmninger, hvor referenceruden består af ét lag glas, samt nyere tabeller, hvor referenceruden er en 2-lags energirude. Ved anvendelse af sådanne tabeller er det altså vigtigt at bemærke, hvilken rudetype der anvendes som reference.

Afskærmningsfaktoren F defineres altså ved formlen

$$F = \frac{g_{sys}}{g_{rude}} \quad \text{eller} \quad g_{sys} = F \cdot g_{rude}$$

Afskærmningsfaktoren er således pr. definition en fast værdi, uafhængig af indfaldsvinklen. I praksis kan effektiviteten af en afskærmning imidlertid variere en del ved forskellige indfaldsvinkler, dels fordi transmissionen gennem afskærmningen er en funktion af indfaldsvinklen, dels fordi transmissionen gennem ruden er en funktion af indfaldsvinklen.

Kriterier for begrænsning af varmebelastning fra solindfald

Begrænsningen af solbelastningen er som nævnt en af de vigtigste faktorer for at opretholde termisk komfort og/eller begrænsning af kølebehovet i sommerperioden. Solbelastningen er direkte proportional med g_{sys} .

g_{sys} afhænger af rudetypen, men til generel produktbeskrivelse (labelling) skal g_{sys} i følge DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) beregnes med en 2-lags energirude og ved anvendelse af metoden beskrevet i DS/EN 13363-1 + A1/AC (Dansk Standard, 2009). Bemærk at $q_{i,sys}$ -værdien ikke giver indika-

tion af fordelingen mellem afsat varme ved konvektion eller stråling. Klassificeringen efter g_{sys} -værdi er angivet i tabel 14 svarende til klasserne angivet i tabel 3.

Tabel 14. Klassificering efter total solenergitransmittans, g_{sys} .

Klasse	0	1	2	3	4
g_{sys}	$g_{sys} \geq 0,50$	$0,35 \leq g_{sys} < 0,50$	$0,15 \leq g_{sys} < 0,35$	$0,10 \leq g_{sys} < 0,15$	$g_{sys} < 0,1$

Kriterier for begrænsning strålevarme, sekundær soltransmittans, $q_{i,sys}$

Den totale solenergi, der transmitteres gennem facaden består af to dele:

- Den del af strålingen, som transmitteres direkte gennem systemet, $\tau_{e,sys}$
- Den del af den absorberede strålingsenergi, som afgives fra den indvendige side af systemet (ved konvektion og stråling), $q_{i,sys}$.

Den sekundært afgivne strålingsenergi $q_{i,sys}$, der passerer systemet af rude og afskærmning, kan beregnes ud fra følgende ligning:

$$q_{i,sys} = g_{sys} - \tau_{e,sys}$$

Ligesom g_{sys} afhænger $q_{i,sys}$ af rudetyper og kan ifølge DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005) angives for de fire forskellige rudetyper. Til generel produktbeskrivelse angiver standarden, at $q_{i,sys}$ skal beregnes med en 2-lags energirude og ved anvendelse af metoden beskrevet i DS/EN 13363-1 + A1/AC (Dansk Standard, 2009b). Klassificeringen efter $q_{i,sys}$ -værdi er angivet i tabel 15 svarende til klasserne angivet i tabel 3.

Tabel 15. Klassificering efter total solenergitransmittans, $q_{i,sys}$.

Klasse	0	1	2	3	4
$q_{i,sys}$	$q_{i,sys} \geq 0,30$	$0,20 \leq q_{i,sys} < 0,30$	$0,10 \leq q_{i,sys} < 0,20$	$0,03 \leq q_{i,sys} < 0,10$	$q_{i,sys} < 0,03$

Kriterier for begrænsning af direkte solbestråling, direkte soltransmittans

Solafskærmningens evne til at forhindre, at personer eller overflader i rummet rammes af direkte solstråling, måles ved den direkte/direkte soltransmittans $\tau_{e,dir-dir}$ af afskærmningen i kombination med ruden. Ligesom for de andre parametre måles og angives den direkte/direkte transmittans ved normalstråling, dvs. $\tau_{e,n-n}$, men det bør bemærkes, at transmittansen af den direkte stråling kan variere med indfaldsvinklen. Klassificeringen efter $\tau_{e,n-n}$ -værdi er angivet i tabel 16 svarende til klasserne angivet i tabel 3.

Tabel 16. Klassificering efter den direkte solstrålingstransmittans, $\tau_{e,n-n}$.

Klasse	0	1	2	3	4
$\tau_{e,n-n}$	$\tau_{e,n-n} \geq 0,20$	$0,15 \leq \tau_{e,n-n} < 0,20$	$0,10 \leq \tau_{e,n-n} < 0,15$	$0,05 \leq \tau_{e,n-n} < 0,10$	$\tau_{e,n-n} < 0,05$

Blænding: Beskyttelse mod uønsket solindfald og blænding

I praksis aktiverer brugerne en solafskærmning, fordi de generes af stærkt lys fra solindfaldet, mens det mindre grad hænger sammen med risikoen for at temperaturen vil stige i løbet af dagen. Men selv om en facade kan klassificeres højt efter evnen til at begrænse solindfald, er det ikke nogen garanti for, at den også kan klassificeres højt i forhold til et begrænse blænding.

Blænding

En af facadens primære funktioner er at nedsætte blænding fra vinduesfladen. Facaden skal kunne regulere de visuelle forhold og reducere blændingen fra vinduerne og udelukke direkte sollys, som giver generende høje luminanser eller nedsætter synligheden af arbejdsopgaverne.

Blændingen er afhængig af mange faktorer, bl.a. af en høj luminans uden for vinduet. Da himlens luminans ofte stiger mod zenit, vil en afskærmning, der dækker udsynet til den øverste del af vinduet, reducere blændingen. En afskærmning, der er god til at reducere solindfaldet, er ikke nødvendigvis god til at beskytte mod blænding. For eksempel vil en udvendig afskærmning med en direkte transmittans (varme og lys) på 0,1 reducere den direkte stråling med 90 %, men de 10 % lys, som transmitteres igennem afskærmningen, vil kunne medføre stærkt generende blænding. Et mål for evnen til at beskytte mod blænding vil typisk være, at solafskærmningen kan reducere den direkte stråling inden for den enkelte brugers synsfelt til ca. 3 % eller mindre. Direkte sollys, som rammer lyse flader i rummet, kan give høje luminanser og store kontraster, som opleves generende ved synsopgaver, se figur 12.



Figur 12. Direkte sollys rammer en lys væg i rummet og skaber høje luminanser og kontraster, der kan gøre det anstrengende at udføre synsopgaver.

BR18 krav og vejledning vedr. blænding

§ 377 Lys og udsyn

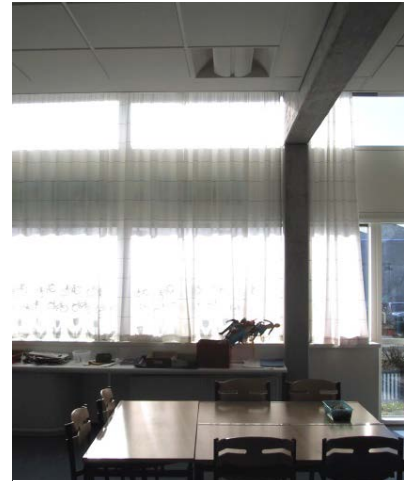
I bygninger skal der være lysforhold, der sikrer, at der ikke opstår risiko for personers sikkerhed og sundhed, eller komfortmæssige gener. Det skal sikres, at der er tilstrækkeligt dagslys og udsyn samt tilstrækkelig elektrisk belysning i forhold til anvendelsen.

Stk. 2. Projektering og udførelse skal ske under hensyn til, at:

- 1) dagslyset udnyttes bedst muligt som lyskilde.
- 2) unødigt energiforbrug undgås.
- 3) unødig varmetilførsel til rummene undgås.
- 4) gener ved direkte solstråling kan undgås.
- 5) gener ved blænding minimeres.

Behovet for at reducere blændingen fra vinduet er til dels uafhængig af vinduets orientering. Nordvendte vinduer kan give anledning til blænding på grund af udsyn til høje luminanser på solbeskinnede sydfacader eller reflekser fra blanke overflader.

Solafskærmningens egen luminans kan også blive så stor, at den giver anledning til blænding. En hvid gardin- eller screendug eller en translucent flade, der spreder det direkte sollys diffust, kan give en luminans, der er større end himlens. Dette gælder for eksempel tynde hvide gardiner, som illustreret i figur 13. Gardindugens tæthed i vævningen og evt. farve er bestemmende for gardinets luminans. Blanke flader, som anvendes i dagslyssystemer, fx blanke, krumme aluminiumslameller, vil spejle solens høje luminans og foranledige blænding.



Figur 13. Tynde hvide gardiner kan give anledning til blænding. Et mørkere gardin eller et gardin med større tæthed i vævningen vil reducere blændingen.

Kriterier for beskyttelse mod blænding

Blænding er en negativ følelse forårsaget af områder i synsfeltet med væsentligt højere luminanser end den aktuelle baggrundsluminans, som øjnene er adapteret til. Blændingen medfører en voldsom irritation, ubehag samt tab af visuel ydeevne og synlighed. Direkte sollys eller høje luminansforskelle mellem lyse og mørke områder inden for synsfeltet kan medføre risiko for blænding.

Udkastet til den europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b) angiver blændingsindekset DGP (Daylight Glare Probability) som indikator for en facades evne til at beskytte mod blænding. DGP afhænger af belysningsstyrken målt ved øjet vinkelret på synsretningen, luminansen af blændingskilden og den rumvinkel, som blændingskilden optager set fra øjet. DGP

kan beregnes ved hjælp af flere dagslysberegningsprogrammer og angiver sandsynligheden for, at en person vil føle sig blændet i en given situation. Standarden udtrykker, at de opstillede grænseværdier ikke må overskrides mere end 5 % af brugstiden, med klassificeringen angivet i tabel 17.

Tabel 17. Klassificering af facadens evne til at beskytte mod blænding i flg. DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b). Klassificeringen er her udvidet med klasse 4 i forhold til standarden. Grænseværdierne for DGP må ikke overskrides i mere end 5 % af brugstiden.

Klasse	DGP _{e<5%}	Kriterie
0	50	Oplevet blænding er stærkt irriterende
1	45	Oplevet blænding, der ofte er generende
2	40	Der oplevet en vis blænding med sjældent generende
3	35	Blænding opleves sjældent
4	30	Ingen blænding

Blænding fra solafskærmninger

De fleste typer af solafskærmninger kan klassificeres generelt ud fra deres målte egenskaber. Solafskærmninger klassificeres som beskrevet i den europæiske standard DS/ EN 14501:2005, *Jalousier og skodder – Termisk og visuel komfort – Bestemmelse af ydeevne og klassifikation* (Dansk Standard, 2005), efter deres evne til at beskytte mod blænding ud fra størrelsen af parametrene $\tau_{v, n-n}$ og $\tau_{v, n-dif}$ som vist i tabel 18.

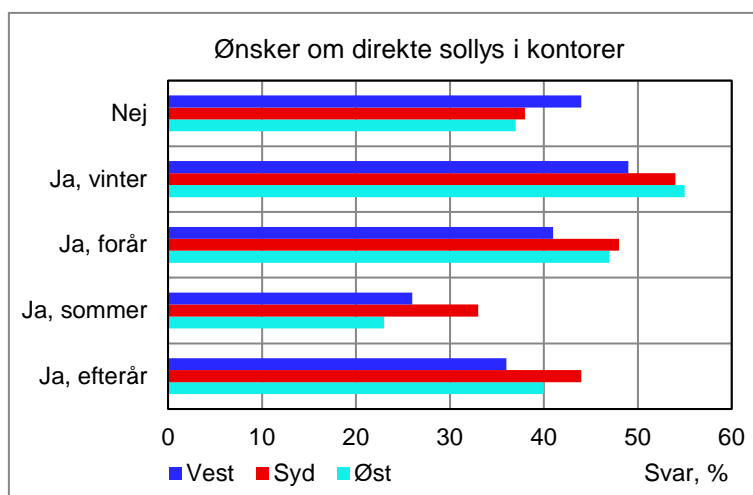
Tabel 18. Facaders klassificering efter evnen til at beskytte mod blænding ifølge den foreløbige europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b). Tabellen er en udvidelse af tabellen angivet i DS/EN 14501 (Dansk Standard, 2005).

Klasse	$\tau_{v, n-n}$						
	$\tau_{v, n-dif}$	$\tau_{v, n-n} = 0,00$	$0,00 < \tau_{v, n-n} \leq 0,01$	$0,01 < \tau_{v, n-n} \leq 0,02$	$0,02 < \tau_{v, n-n} \leq 0,03$	$0,03 < \tau_{v, n-n} \leq 0,05$	$\tau_{v, n-n} > 0,05$
$\tau_{v, n-dif} \leq 0,03$		4	4	3	3	1	0
$0,03 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,06$		4	3	2	2	1	0
$0,06 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,10$		4	3	2	1	0	0
$0,10 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,15$		3	2	1	1	0	0
$0,15 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,20$		2	2	1	1	0	0
$0,20 < \tau_{v, n-dif} \leq 0,25$		1	1	0	0	0	0
$0,25 < \tau_{v, n-dif}$		0	0	0	0	0	0

Sollys: Adgang for direkte sollys og udnyttelse af passiv solvarme

Ønske om direkte solindfald

De projekterende behandler ofte problematikken omkring solindfald, som om solindfaldet udelukkende skaber problemer. Imidlertid er det danske klima karakteriseret ved, at vi kan have ret lange perioder med overskyet vejr, og især i vinterhalvåret betyder dette, at brugerne værdsætter højt, når 'solen bryder igennem' og skinner gennem vinduerne. Ønsket om direkte solindfald blev af-dækket i den store undersøgelse i kontorbygninger, som SBI gennemførte i 1999 (Christoffersen et al., 1999), hvor 1800 kontoransatte blev bedt om at angive, hvorvidt der er tidspunkter på året, de ønsker sollys i kontoret. Ved disse vurderinger indgår kun personer, som har bekræftet et spørgsmål om, at de er udsat for direkte sollys i kontoret og altså ikke ansatte, der er placeret i nordvendte kontorer eller i kontorer, hvor direkte sollys kun forekommer via spejlinger fra andre bygninger. Næsten 40 % af de ansatte, som har direkte sollys, svarer, at de ikke ønsker dette, mens ca. 60 % oplyser, at de ønsker sollys i kontoret på en eller flere årstider, se figur 14. Figuren viser, at der er en stor variation i ønsket om sollys på de forskellige årstider, mens der er en mindre variation efter orienteringen. Størstedelen af de ansatte (54 %) vil gerne have sollys om vinteren, kun ca. 30 % ønsker sollys om sommeren, mens ønsket om sol i kontoret om foråret er lidt større (47 %) end om efteråret (42 %).



Figur 14. Svar fra ca. 1.500 kontoransatte med direkte sollys i kontoret på spørgsmål om de faktisk ønsker dette på én eller flere årstider.

Overvejelser om adgang for direkte sollys til en bygning er vigtige for planlægning af bygningsform og -orientering samt disponering af lokaler og vinduesåbninger. Planlægningen skal også tage hensyn til skyggende omgivelser og valg af en passende afskærmning mod uønsket solindfald i sommermånederne.

Adgang for sollys

Adgang for sollys til opholdsrum er et vigtigt kriterium for kvaliteten af rummet, idet sollyset bidrager til menneskets velbefindende. Der bør kunne opnås et vist minimum af sollys til mindst ét opholdsrum i boliger, til opholdsrum i institutioner og til sengestuer. Adgangen for sollys kan udtrykkes ved antal timer om året, hvor et givet rum modtager direkte sollys beregnet med referenceårets vejrdata. Den foreløbige europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b) anbefaler, at der vælges en dag i perioden 1. februar - 21. marts, hvor rummet skal modtage direkte sol i et givet antal timer (forudsat skyfri himmel), som vist i tabel 20. Ifølge standarden må tiden, hvor solhøjden er under 10 grader ikke medregnes i tiden for dagslysadgang. Et bilag i standarden (Annex D) angiver relativt komplekse regnemetoder til at verificere dagslysadgangen, men de fleste dagslysberegningsprogrammer kan beregne dette direkte.

Tabel 19. Anbefalede adgang for sollys til opholdsrum i boliger (mindst ét opholdsrum), institutioner og sengestuer ifølge den foreløbige europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017b). Standarden anbefaler 3 niveauer for, hvor mange timer solen har adgang til et rum, beregnet for en dato i perioden 1. februar - 21. marts. Det vurderes, at der bør vælges en fast dato, fx den 21. marts (forårsjævndøgn).

Niveauer for anbefalet adgang for sollys	Antal timer med sollysadgang
Minimum	1,5
Medium	3,0
Høj	4,0

Med den i standarden anbefalede metode kan der opstå tvivl ved sammenligning af forskellige facadeudformninger, da det opnåede niveau kan afhænge af, hvilken dato der er valgt til beregningerne. Det vurderes derfor, at der bør vælges en fast dato, fx den 21. marts (forårsjævndøgn). I tabel 20 er opstillet en klassificering, der både tager hensyn til facadens adgang for dagslys og for dens evne til at udnytte passiv solvarme. Det er to funktioner, som i mange tilfælde vil være delvist sammenfaldende, fx ved store vinduesarealer med regulerbar solafskærmning.

Udnyttelse af passiv solvarme

Ud fra et energimæssigt synspunkt bør der også være fokus på, i hvilken grad en bygning er i stand til at udnytte den passive solvarme. Selv om facadens evne til at reducere solindfaldet ofte betragtes som en meget vigtig egenskab, er det energimæssigt lige så vigtigt, at facaden også kan tillade solvarmen at passere, når der ikke er et afskærmningsbehov. I nyere glasdominerede byggerier har der været meget fokus på problemet med overophedning om sommeren. Dette skyldes dels, at problemet er meget mærkbart for brugerne og dels, at der ofte er stillet specifikke krav vedrørende temperaturforholdene om sommeren, fx som angivet i vejledningstekst i DS 474,



Figur 15. Bygning med faste vandrette lameller, som reducerer både dagslyset og det positive solvarmetilskud om vinteren.

Norm for specifikation af termisk indeklima (Dansk Standard, 1995). Ud fra et energimæssigt synspunkt bør der også være fokus på, i hvilken grad en bygning er i stand til at udnytte den passive solvarme.

Faste afskærmninger og afskærmninger, som ikke kan trækkes helt bort fra vinduerne, kan øge energiforbruget til opvarmning betydeligt ved at reducere den gratis solvarme. For nye bygninger, som opfylder Bygningsreglement 2018 (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018), udgør energiforbruget til opvarmning i større bygninger typisk ca. 1/3 af det samlede energiforbrug. Transmissionsvarmetabet sker hovedsageligt gennem vinduerne, og jo større vinduesareal, jo større varmebehov. Men en ganske betydelig del af varmebehovet kan dækkes af solvarmetilskuddet gennem ruderne. Derfor er det vigtigt, at afskærmningen er regulerbar og kan trækkes helt fra i den meget store del af vinterhalvåret, hvor der ikke er behov for afskærmning.

Faste afskærmninger og solafskærmende ruder reducerer både det passive solvarmetilskud og dagslyset hele året, og bør derfor kun benyttes efter omhyggelige analyser af konsekvenserne for det samlede energiforbrug. Figur 15 viser et eksempel på en glasfacade, der er helt dækket af faste lameller, som reducerer solvarmetilskud og dagslys med ca. 80 %.

Kriterier for adgang til sollys og udnyttelse af passiv solvarme

Adgang for sollys og udnyttelse af passiv solvarme kan indgå i en fælles klassificering af facaden, som foreslået i tabel 20 nedenfor. Tabellen tager udgangspunkt i tabel 19, men er her udvidet til 5 klasser (0-4), så klassificeringen kan sammenlignes med klassificeringer af de andre facadefunktioner. Imidlertid er det ikke tilstrækkeligt at vurdere, om der er adgang for direkte sol, det er nødvendigt også at vurdere kvaliteten af sollyset, som tilføres rummet bag facaden. Kvaliteten af sollyset hænger ret nøje sammen med lystransmittansen for facaden. Hvis der anvendes en stærkt solafskærmende rudetype, eller hvis der er mange obstruktioner i form af lameller eller andet foran ruden, bliver både g-værdi og lystransmittans meget lave, hvilket vil opleves meget negativt af brugerne. I tabellen anvendes facadens lystransmittans LT (når evt. afskærmning er trukket mest muligt fra) både som mål for kvaliteten af sollyset og som mål for, hvor meget solvarmen kan udnyttes. Beregningen af adgangen for sollys bør også ske for én bestemt dag i året, fx den 1. marts. På denne dag er dagens længde ca. 10 timer og 45 minutter, så orienteringen har stor betydning for, hvor mange timer facaden kan rammes af direkte sol.

Tabel 20. Klassificering af facadens evne til at give adgang til sollys og udnytte passiv solvarme. Ifølge den foreløbige europæiske standard DSF/FprEN 17037 (Dansk Standard, 2017) bør der stilles krav om adgang for sollys til opholdsrum i boliger (mindst ét opholdsrum), institutioner og sengestuer. Klassificeringen er udvidet i forhold til standarden og tager også hensyn til kvaliteten af det direkte sollys ud fra facadens lystransmittans LT (uden afskærmning).

Klasse	Antal timer med sollysadgang					
	LT	> 6,0	4,5 - 6,0	3,0 - 4,5	1,5 - 3,0	< 1,5
$LT \geq 0,80$		4	4	3	2	1
$0,70 \leq LT < 0,80$		4	3	3	2	0
$0,55 \leq LT < 0,70$		3	3	2	1	0
$0,45 \leq LT < 0,55$		2	2	1	1	0
$0,35 \leq LT < 0,45$		1	1	0	0	0
$LT < 0,35$		0	0	0	0	0

Støj: Beskytte mod støj udefra

En undersøgelse fra 2011 fra WHO konkluderer, at en ud af tre europæere er generet af støj i dagtimerne, og én ud af fem får forstyrret sin nattesøvn på grund af støj fra trafikken. Støjbelastningen øger risikoen for hjertekarsygdomme og forhøjet blodtryk. Undersøgelsen konkluderer, at trafikstøj hvert år koster mindst 1.600.000 sunde leveår i Vesteuropa, og at det koster vores samfund 40 mia. EUR hvert år. Tal fra Miljøstyrelsen viser, at mere end 700.000 (en tredjedel) af alle danske boliger, eller omkring 1,4 millioner danskere, er udsat for trafikstøj over de 58 decibel, som er den vejledende grænseværdi for nye boliger og tilsvarende støjfølsom bebyggelse. Hvis boliger udsættes for støj over 58 dB betragtes de som støjbelastede. Er støjni-veauet over 68 dB, betragtes de som stærkt støjbelastede. Tal indikerer, at mere end 500 danskere årligt dør for tidligt som følge af vejstøj. Støj fra trafikken er således et væsentligt sundhedsskadeligt problem, ikke mindst i det byggede miljø i og omkring de større byer med tæt trafik.

Lydbestemmelser for facader og vinduer

De vigtigste lydbestemmelser relateret til facader findes i:

- Bygningsreglement 2018, kap. 17, *Lydforhold* (§ 368 - § 376)
- DS 490, *Lydklassifikation af boliger* (Dansk Standard, 2007)
- MST vejledning 4/2007, *Støj fra veje*, kap. 2, *Vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj*.
- Andre MST-vejledninger/tillæg vedrørende støj fra jernbaner og virksomheder mv.

BR18 krav og vejledning vedr. lydforhold

§ 368 Lydforhold (uddrag)

Bygninger skal have sundheds- og komfortmæssigt tilfredsstillende lydforhold i forhold til anvendelsen.

Stk. 2. Ved projektering og udførelse skal der tages hensyn til:

- 1) Lydtransmission mellem rum, boliger eller erhvervsenheder inden for bebyggelsen.
- 2) Støj fra bygningens tekniske installationer.
- 3) Støj fra veje og jernbaner.
- 4) Efterklangstid.

§ 369 (uddrag)

For boliger og andre bygninger benyttet til overnatning skal det sikres, at de personer, som opholder sig i bygningerne, ikke generes af lyd fra andre rum i bebyggelsens øvrige bolig- og erhvervsenheder, fra bygningens installationer eller fra veje og jernbaner.

§ 374 (uddrag)

For andre bygninger end boliger skal det under hensyn til anvendelsen sikres, at de personer, som opholder sig i bygningen, ikke generes af lyd fra tilgrænsende rum, fra bygningens installationer eller fra nærliggende veje og jernbaner.

Stk. 2. For undervisnings- og daginstitutionsbyggeri er bestemmelsen opfyldt, når det kan dokumenteres, at grænseværdierne angivet i bygningsreglementets vejledning om lydforhold er overholdt, eller når det på anden vis kan dokumenteres, at et tilsvarende niveau er opnået.

Vejledning

2.3 Støj indendørs fra trafik i boliger (uddrag)

Det akustiske indeklima beskrives gennem en række lydtekniske begreber og tilhørende målestørrelser. Der henvises til afsnit 1.3 for definition af disse.

Tabel 2.2 nedenfor indeholder grænseværdier for trafikstøj i boliger svarende til overholdelse af BR18's lydbestemmelser samt supplerende vejledende grænseværdier for trafikstøj indendørs med åbne vinduer.

Lydbestemmelserne er gengivet fra DS 490 og den supplerende vejledning fra Miljøstyrelsens vejledning 4/2007 og 1/1997.

Referencer findes i afsnit 1.5.

Tabel 21. Boliger: Støj indendørs fra trafik. Gengivelse af tabel 2.2 fra TBST's *Vejledning til boliger og andre bygninger til overnatning*.

Lydbestemmelserne gælder ikke for sommerhuse				
Lovgivning		Støjbelastning ude Veje: $L_{den} \leq 58$ dB Jernbaner: $L_{den} \leq 64$ dB	Støjbelastning ude Veje: 58 dB < $L_{den} \leq 68$ dB Jernbaner: $L_{den} > 64$ dB	Støjbelastning ude Veje: $L_{den} > 68$ dB
BR18 ^{1), 4)}	[1], [2]	$L_{den} \leq 33$ dB med lukkede vinduer	$L_{den} \leq 33$ dB med lukkede vinduer	$L_{den} \leq 33$ dB med lukkede vinduer
Supplerende vejledning Planlovgivning - Veje ⁵⁾	[7]	Ingen krav	Byfornyelse mv. ²⁾ Veje: $L_{den} \leq 46$ dB med åbne vinduer ³⁾	Der bør ikke planlægges for boliger ⁶⁾
Supplerende vejledning Planlovgivning - Jernbaner ⁵⁾	[8]	Ingen krav	Byfornyelse mv. ²⁾ Jernbaner: $L_{den} \leq 52$ dB med åbne vinduer ³⁾	

Noter

- 1) BR18 henviser til DS 490 om lydklassifikation af boliger, lydklasse C, med grænseværdien for L_{den} gældende for de enkelte trafikstøjklender hver for sig.
- 2) Byfornyelse, huludfyldning o.l. i eksisterende boligområder samt områder for blandede byfunktioner i bymæssig bebyggelse.
- 3) Specielle løsninger er nødvendige.
- 4) Grænseværdierne gælder i møblerede rum med eventuelle udeluftventiler i åben position.
- 5) Grænseværdierne gælder i møblerede rum.
- 6) Lokale bestemmelser kan omfatte boliger ved en udendørs støjbelastning over 68 dB.

Miljøstyrelsens vejledninger

MST-vejledning 4/2007, *Støj fra veje*, definerer/beskriver:

- Vejledende grænseværdier for vejtrafikstøj på udendørs arealer
- Vejledende grænseværdier for indendørs støjniveauer med åbne vinduer i særlig planlægningsituationer, hvor det accepteres, at støjniveauet på facaden overstiger grænseværdien for udendørs støj
- Planlægningsituationer for nyt boligbyggeri
- Handlingsplaner for eksisterende boligbyggeri
- Værktøjer til at forebygge/reducere støj.

Miljøstyrelsens vejledning 5/1985, *Ekstern støj fra virksomheder*, med tillæg juni 2007, definerer:

- Vejledende grænseværdier for støj fra virksomheder udendørs
- Vedledende grænseværdier for støj fra virksomheder indendørs med åbne vinduer i særlige planlægningssituationer, hvor det accepteres, at støjniveauet på facaden overstiger grænseværdien for udendørs støj.

Miljøstyrelsens vejledning 1/1997, *Støj og vibrationer fra jernbaner*, med tillæg juni 2007, definerer:

- Vejledende grænseværdier for støj fra jernbaner udendørs
- Vedledende grænseværdier for støj fra jernbaner indendørs med åbne vinduer i særlige planlægningssituationer, hvor det accepteres, at støjniveauet på facaden overstiger grænseværdien for udendørs støj.

Se mere om formål og indhold på www.mst.dk.

Klassificering for boliger med facadeløsninger, der dæmper støj i åben tilstand

I de særlige plansituationer, hvor det accepteres, at støj fra veje, jernbaner eller virksomheder på facaden af boliger overstiger Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier, skal det i henhold til planloven sikres, at det indendørs støjniveau med delvist åbne vinduer (defineret som et åbningsareal på 0,35 m²) overholder særlige grænseværdier fastsat af Miljøstyrelsen. Overholdelse af dette krav vil normalt indebære en samlet facadeløsning, der lydteknisk er tilpasset de aktuelle støjforhold, rummenes anvendelse og dimensioner samt vinduers og øvrige facadeelementernes dimensioner. Den samlede løsning vil bl.a. indebære brug af særlige vinduesløsninger, der kan dæmpe støj mere end almindelige vinduer i åben tilstand.

I DS 490, *Lydklassificering af boliger*, tabel 5b, er angivet en model for klassificering af boliger baseret på det indendørs trafikstøjniveau med lukkede vinduer. I situationer, hvor der på grund af støjforholdene udløses krav om opfyldelse af et indendørs støjniveau med åbne vinduer, kan der anvendes et tilsvarende system. Det foreslås derfor at anvende en klassificering som angivet i tabel 22.

Tabel 22. Klassificeringsmodel for boliger udsat for vejtrafikstøj. Grænseværdier angivet som højeste værdier for støj indendørs i boliger fra vejtrafik, L_{den} i dB

Rumtype	Målestørrelse	Klasse				
		4	3	2	1	0
Beboelsesrum og fælles opholdsrum	L _{den} , dB	36	41	46	51	>51

Klasse 2 svarer til de krav, der i henhold til planloven og Miljøstyrelsens vejledende grænseværdier skal opfyldes ved nyt byggeri. Det er således ikke tilladt at anvende klasse 1 og 0, der evt. kan anvendes ved klassificering af eksisterende byggeri. Der er 5 dB spring mellem de enkelte klasser. Det svarer til modellen i DS 490. Endvidere er 5 dB en forskel, der af beboere vil opleves som en mærkbar forskel og indebærer dermed også en mærkbar kvalitetsforskel.

For støj fra jernbaner kan opstilles en tilsvarende model. Også her gælder det, at klasse 1 og 0 ikke må anvendes ved nybyggeri.

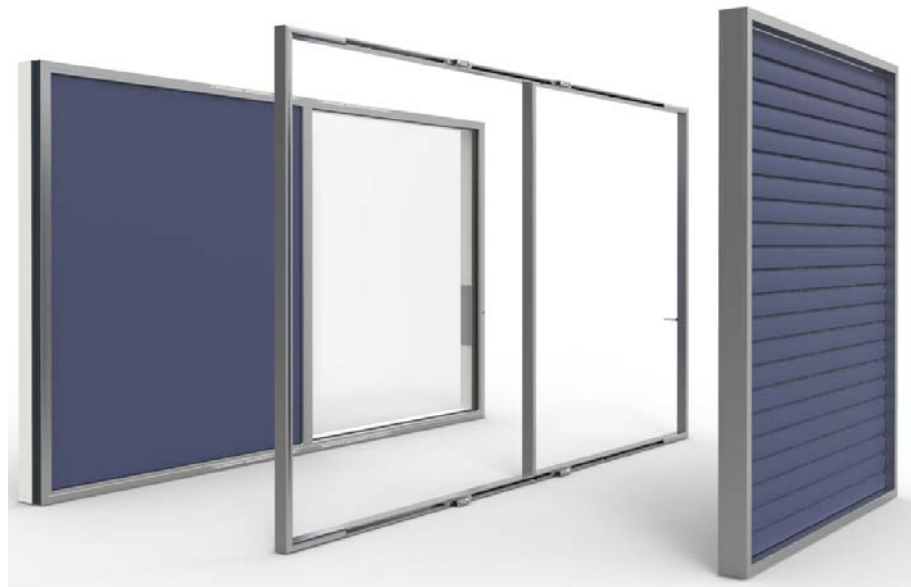
Tabel 23. Klassificeringsmodel for boliger udsat for togstøj. Grænseværdier angivet som højeste værdier for støj indendørs i boliger fra jernbaner, L_{den} , i dB.

Rumtype	Målestørrelse	Klasse				
		4	3	2	1	0
Beboelsesrum og fælles opholdsrum	L_{den} , dB	42	47	52	57	>57

I situationer, hvor støjkilden er virksomheder, kan anvendes tilsvarende modeller tilpasset de grænseværdier for indendørs støj med åbne vinduer, der gælder for et konkret byggeri. Grænseværdierne fremgår af *Tillæg til Miljøstyrelsens vejledning 5/1984, Ekstern støj fra virksomheder, juli 2007* (Miljøstyrelsen, 2007).

Dynamiske facadeelementer i praksis

Dynamiske facadesystemer med flere funktioner, der kan reguleres efter skiftende behov, kan udføres på flere måder, men vil altid have funktioner, der er knyttet til bygningens vinduer. Reguleringen sker ved, at facadeelementer kan åbne eller lukke efter forskellige principper, fx som hænglede elementer, der kan dreje, eller som forskydelige elementer, der kan flytte sig i forhold til vinduerne. Princippet for et system med flytbare elementer er illustreret i figur 16, Energy Frames udviklet af firmaet Art Andersen. Energy Frames er et modulært, rammebaseret facadesystem, der klikkes på ydersiden af vinduesrammerne. Det kan klikkes på vinduer, uanset om de åbner udad eller indad. Facadesystemet kan bevæges uden på vindue og facade ved hjælp af et indbygget træksystem.



Figur 16. Modulært facadesystem (Energy Frames) bestående af en ramme, der monteres på ydersiden af vinduesrammerne, samt en række forskellige elementtyper, der ved hjælp af et enkelt træksystem og en lille motor indbygget i vinduesrammen kan bevæge sig horisontalt eller vertikalt uden på elementrammen. Systemet er her illustreret i en version med screendug (t.v.) og en version med et lamelsystem (t.h.). Illustration: Art Andersen.

Brugernes og bygningens skiftende behov kræver, at der er opstillet en veldefineret reguleringsstrategi for alle de funktioner, en given facade kan opfylde. Reguleringsstrategien er afgørende for, at der kan gennemføres korrekte Be18-beregninger og realistiske indeklimasimuleringer ud fra konsistente forudsætninger om facadens funktion til ethvert tidspunkt. Men for at planlægge en optimal reguleringsstrategi må man have grundigt kendskab til facadens evne til at opfylde de forskellige funktioner, fx målt ved dens klassificering i forhold til disse funktioner. Ofte vil en dynamisk facade rumme flere elementer med forskellige funktioner, så der er mulighed for at opfylde flere brugerbehov end de, som de enkelte elementer kan opfylde.

Dette kapitel beskriver forskellige elementtyper, både ud fra teoretiske principper og med eksempler fra praksis, inklusive indsamlede erfaringer med facaderne i forhold til forskellige funktioner.

Solafskærmende elementtyper

Funktionen som regulerbar solafskærmning er ofte den vigtigste funktion ved facaden. Solafskærmningen er afgørende for de fleste af de funktioner, som benyttes til at klassificere facaden. I det følgende beskrives facadeelementtyper, der har solafskærmning som den vigtigste funktion.

Elementer med screendug

Der findes mange forskellige typer (udspændte) solafskærmningsgardiner, både til placering indenfor, udenfor og integreret i ruderne. Disse typer kaldes under et screens. Screendugen er behandlet for at give en høj reflektans af sollyset og for at kunne modstå vejrets påvirkninger. De almindeligste typer består af glasfiberarmeret PVC med stor styrke over for fysiske påvirkninger. Som regel er de udformet som rullegardiner, der kan trækkes helt eller delvist op, se figur 17.

Der findes et utal af forskellige screenduge med meget forskellige egenskaber. Især ved valg af screens skal man have kendskab til størrelsen af de parametre, der benyttes ved klassificeringen, som beskrevet i afsnittet *Klassificering efter facadens enkelte funktioner*. Det er specielt vigtigt, når man i det konkrete tilfælde skal afveje screendugens solafskærmende og blændingsbeskyttende egenskaber i forhold til, i hvor høj grad screendugen giver mulighed for udsyn.



Figur 17. Facade med screens i form af rullegardiner. Den aktuelle type screen (farve, åbningsgrad m.m.) må vælges omhyggeligt ud fra krav om bevarelse af udsyn og beskyttelse mod blænding. Foto: Blendex.

Udvendige screens i form af rullegardiner ødelægges langsomt af vind, vejr, slitage og fugt. De bør løbe i styreskinner eller styres af stålwirer for at forhindre unødigt slitage. Alligevel vil de sjældent kunne benyttes i stærk blæst (typisk større end 12-15 m/s), og de kræver regelmæssig service og vedligeholdelse.

Som bevægelige rammeelementer uden for facaden er der bl.a. udviklet et system til det almennyttige boligbyggeri Sejlhuset i Ørestaden, se figur 18. Her kan etagehøje elementer bevæge sig udvendig på en altan og således både afskærme for beboere på altanen eller beboere inde i lejligheden. Bevægelige screens, evt. i forskellige farver og forskellig bevægelighed, giver mulighed for at skabe et dynamisk varieret facadeudtryk, der skifter efter vejrforhold og tid på dagen og året.



Figur 18. Manuelt bevægelige tekstilrammer som solafskærmning på altanen i almennyttige etageboliger Sejlhuset. Foto: Art Andersen.

Screens på bevægelige rammer åbner for dagslys og solindfald på en anden måde end rullegardiner, idet de åbner for en del af vinduet i fuld højde. Derfor er de særlig egnede ved øst- og vestvendte orienteringer, hvor solen står lavt. Her kan rammerne flyttes efter solens bevægelse, således at udsynet bevares, mens der skærmes af for retning mod solen. Figur 19 viser et eksempel på screendug på indvendige rammer fra Swiss Res hovedkontor i London. Det krummede, tredimensionelle afskærmningssystem er designet specielt til den krumme bygningsform, og består af 12 stk. trapezformede tekstilbeklædte paneler, der er ophængt i et aluminiumskinnesystem, som er placeret langs den indvendige facade.



Figur 19. Manuelt bevægelige tekstilrammer i Swiss Re, London. Panelerne giver kontrol med lysindfaldet i Londons højst beliggende restaurant. Gæsterne kan nyde udsigten ud igennem panelerne, selv når de er trukket for. Men panelerne kan også køres helt væk og parkeres i magasin, når der ikke er brug for dem. Fotos: Art Andersen.

Eksempel: Pavillonbygning Rigshospitalet

På en 6-etagers præfabrikeret pavillonbygning ved Rigshospitalet er der i foråret 2014 opsat 128 Energy Frames tekstilrammer med en hvid screendug, se figur 20. Rummene, der er solafskærmet, rækker lige fra patientstuer over kontorer til venterum, samtalerum og lagre. Der er flere rum af hver type.



Figur 20. Afprøvnig af rammesystem med screendug på midlertidig pavillonbygning opført i forbindelse med udvidelsen af Rigshospitalet. Foto: Art Andersen.

Løsningen består af motordrevne tekstilrammer med lokal betjening, og er således ikke koblet op til et CTS-system. Den hvide type screendug fungerede imidlertid ikke som forventet, idet den dels ikke afskærmede tilstrækkeligt og dels kunne medføre blænding ved direkte solskin. Screendugen blev derfor udskiftet med en blå screendug på syd- og vestvendte facader, se figur 21.



Figur 21. Rammesystem med blå screendug på pavillonbygningen på Rigshospitalet. Den hvide type screendug fungerede dårligt og blev udskiftet med en blå på syd- og vestvendte facader. Foto: Art Andersen.

Indsamlede erfaringer

De to typer screendug, der blev afprøvet, en lys grå/hvid og en mørk blå, er begge af fabrikat Ferrari Soltis og med en åbningsgrad (OF) på 8 %. Det er markant forskel på udsynet gennem de to typer screendug, idet baggrunden tydeligt ses gennem den mørke dug, mens dette næsten er umuligt gennem den lyse. Dette skyldes, at det diffuse lys, som passerer den lyse dug, giver for stor kontrast til baggrunden. Af hensyn til udsynet bør der altså ikke vælges en lys screendug, idet denne type lader en stor del af strålingen passere som diffust lys, $\tau_{v, n-dif} > 0,10$, jf. tabel 18. Forskellen blev bekræftet ved luminansmålinger som vist i tabel 25.

Tabel 24. Målte luminanser på henholdsvis rude, blå screendug og hvid screendug monteret på pavillonbygningen på Rigshospitalet. Luminanserne er målt i en afstand på ca. 3 m fra vinduet, uden direkte synlig solstråling. Luminansen målt på den hvide dug er ca. 7 gange højere end på den blå.

	Rude	Hvid screendug	Blå screendug
Målt luminans cd/m ²	8.000	2.800	420

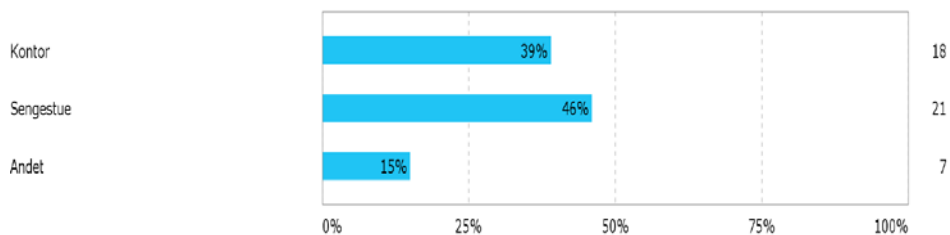


Figur 22. Foto af de to typer screendug, der blev monteret på pavillonbygningen på Rigshospitalet. Der er markant forskel på udsynet gennem de to typer, idet den hvide screendug tillader for meget stråling at passere som diffust lys, hvilket forhindrer udsyn og medfører blænding.

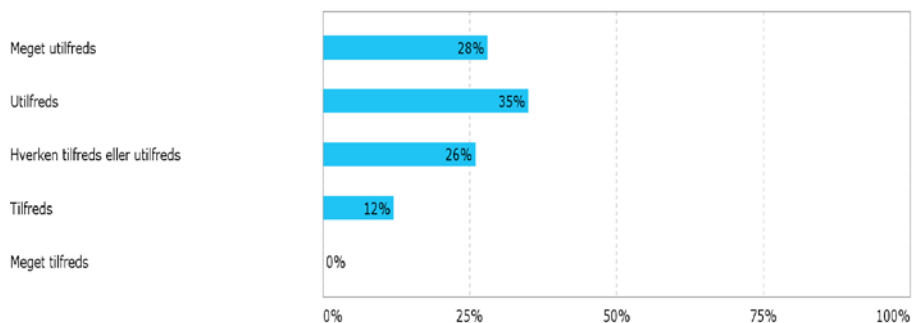
Spørgeskemabesvarelser (uddrag)

Nedenfor gengives uddrag af besvarelserne vedrørende den hvide screendug. Både sygeplejersker og læger har besvaret spørgeskemaet, i alt ca. 43 respondenter. Da personalet i løbet af dagen befinder sig i flere rum, blev de indledningsvist bedt om at angive, hvilken type rum, der var valgt som grundlag for besvarelsen. Syv respondenter angiver 'andet' end kontor og sengestue som det valgte rum, mens resten fordeler sig næsten ligeligt på 'kontor' og sengestue'.

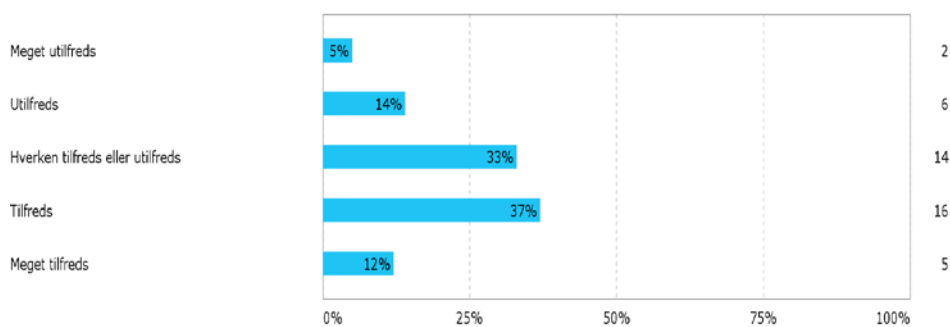
Hvilken type rum er det arbejdsrum, som du har valgt som grundlag for besvarelsen?



Angiv hvor tilfreds du er med følgende indeklimaforhold i dit arbejdsrum.
- Temperaturforhold

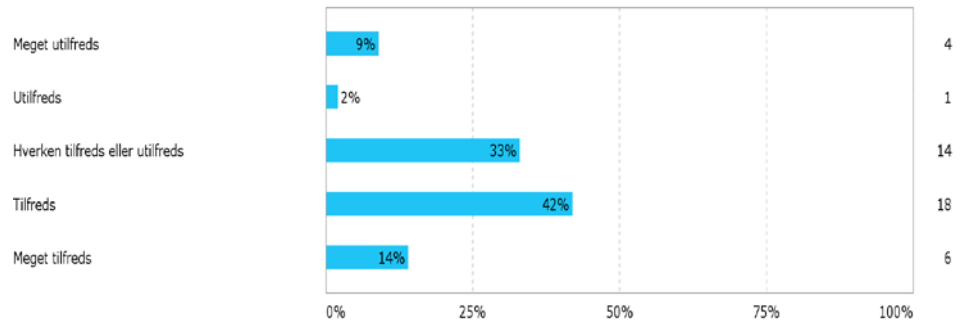


Angiv hvor tilfreds du er med følgende forhold i forbindelse med vinduet (eller vinduerne) i dit arbejdsrum
- Udsigt gennem vindue(r)



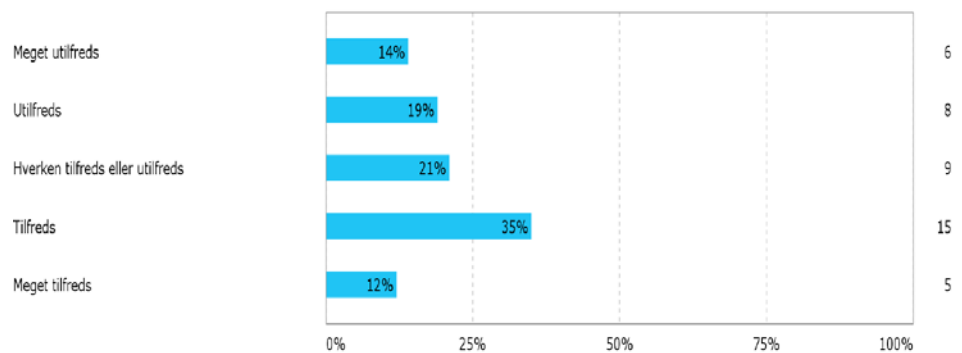
Angiv hvor tilfreds du er med følgende forhold i forbindelse med vinduet (eller vinduerne) i dit arbejdsrum.

- Placering af arbejdsplads i forhold til vindue(r)



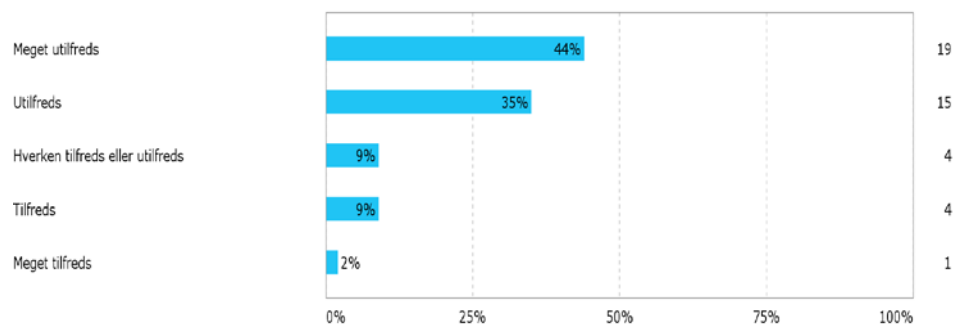
Angiv hvor tilfreds du er med følgende forhold i forbindelse med vinduet (eller vinduerne) i dit arbejdsrum.

- Udluftningsmuligheden

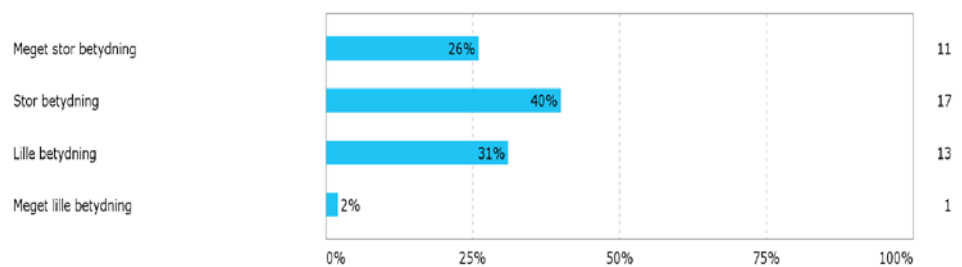


Angiv hvor tilfreds du er med følgende forhold i forbindelse med vinduet (eller vinduerne) i dit arbejdsrum.

- Solafskærmningen

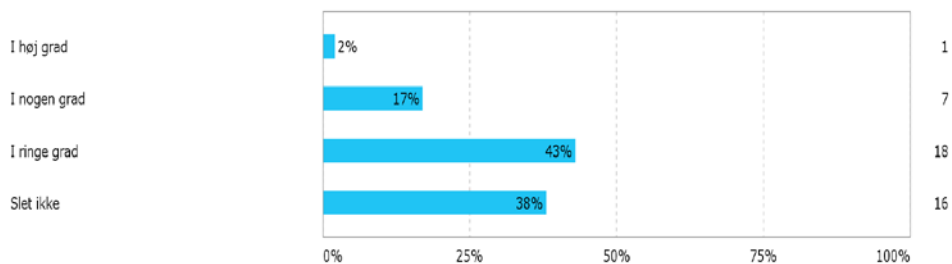


Hvilken betydning tillægger du udsigten gennem vinduet?



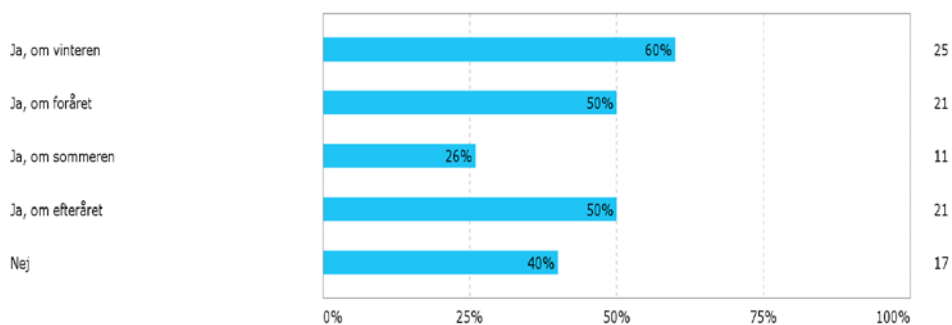
Når du ser ud ad vinduet, oplever du da at udsynet er begrænset af et eller flere af følgende forhold?

- Af vinduesstørrelsen



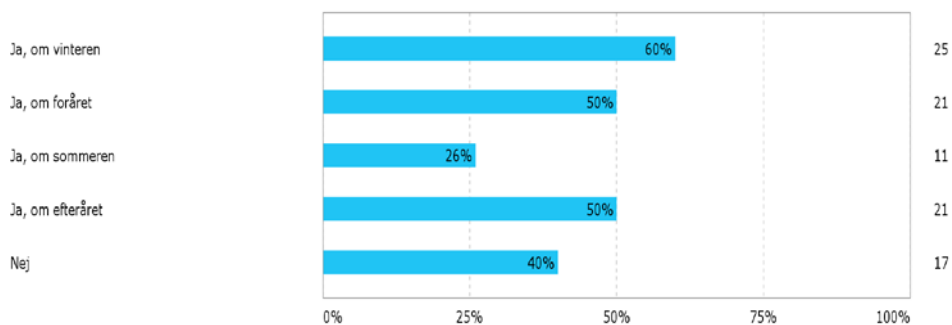
Er der tidspunkter på året hvor du gerne vil have direkte sollys i dit arbejdsrum?

Vælg gerne flere svar.

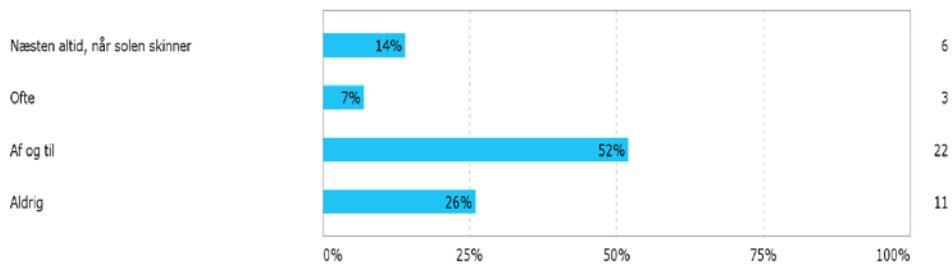


Er der tidspunkter på året hvor du gerne vil have direkte sollys i dit arbejdsrum?

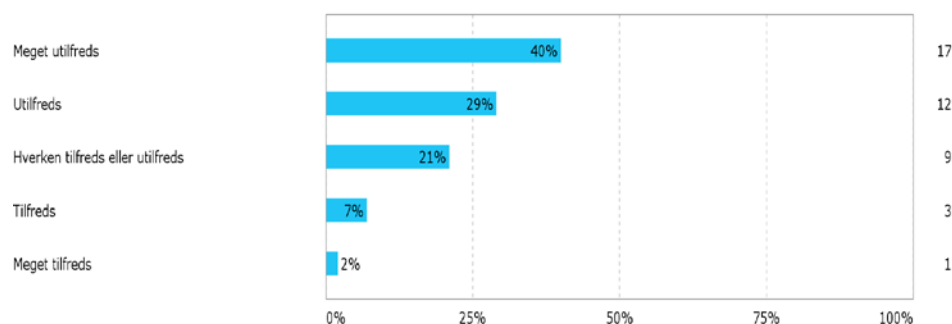
Vælg gerne flere svar.



Hvor hyppigt er du generet af direkte sollys i dit arbejdsrum?

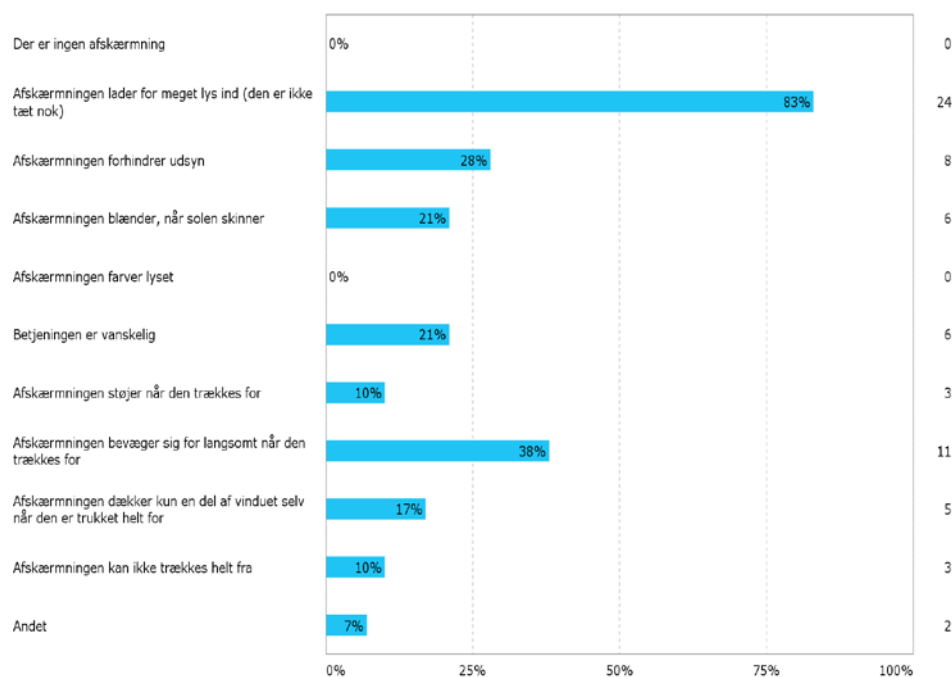


I hvilken grad er du tilfreds med dine muligheder for solafskærmning?



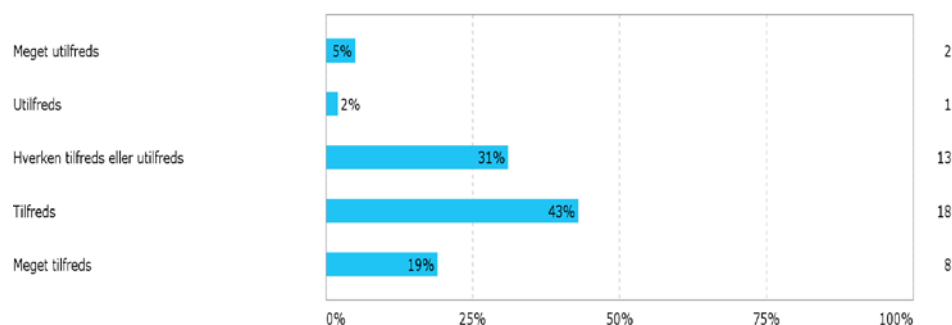
Hvis du er utilfreds eller meget utilfreds med solafskærmningen, hvad er årsagen?

Afkryds gerne flere svar.



Hvordan vurderer du dagslyset i dit arbejdsrum?

- Dagslyset i arbejdsrummet generelt



Eksempel: Green Tech Center Lab

På Lab-bygningen i Green Tech Center Vejle blev der i efteråret 2014 monteret 20 Energy Frames elementer. Green Tech Lab er et 1.200 m² stort laboratorium, som rummer undervisningsfaciliteter, værksted, iværksætterlokaler samt et smart-grid kontrolrum, som samler alle energidata fra energiparken. Laboratoriebygningen er tænkt til energiparkens udstillere, iværk-

sættere samt forskning og undervisning for at teste og demonstrere energiløsninger i teori og praktik. Herudover rummer lab-bygningen også et 150 m² stort test lejlighed hvor de nyeste smart-grid produkter og løsninger udstilles og bruges til præsentationer og undervisning. Se mere på: <http://www.greentechcenter.dk/dk.aspx>. Fordi den tidligere producent af Energy Frames opførte med at producere elementerne, lykkedes det ikke at få gennemført målinger og spørgeskemaundersøgelser. Derfor er de erfaringer, der er indsamlet, baseret på enkelte interviews med brugerne samt gennemgang af, hvordan afskærmningerne bruges i praksis.



Figur 23. Fotos af sydvestfacaden i Green Tech Lab-bygningen kort efter den officielle indvielse i oktober 2014.

Indsamlede erfaringer

De indsamlede erfaringer bygger på interviews med enkelte af bygningens brugere. Generelt er der tilfredshed med skoddernes almindelige funktion, men enkelte af skodderne har problemer med, at de kan sætte sig fast pga. snavs og isdannelser om vinteren. I praksis er det meget forskelligt, hvordan skodderne benyttes, idet enkelte brugere har trukket skodden for næsten altid, mens andre brugere kun benytter skodden sporadisk.

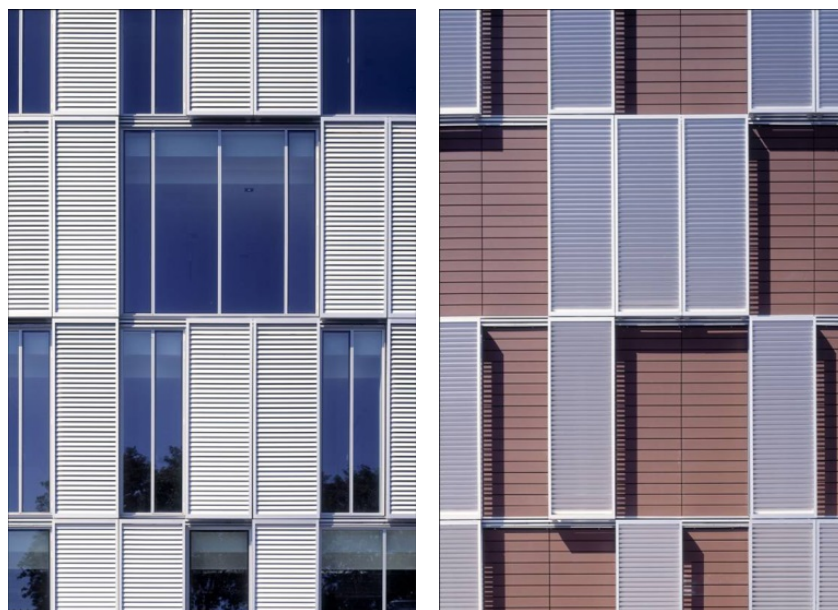


Figur 24. Foto fra lokalet med dynamiske skodder med en grå screendug. Til højre set indefra et af lab-kontorerne i stueetagen med Energy Frames elementet kørt halvt for vinduet.

Elementer med drejelige lameller

Lamelbaserede afskærmningstyper vil i mange tilfælde være en optimal måde at skærme af for solen, samtidig med at der bevares et udsyn til omgivelserne. På markedet findes mange forskellige afskærmningssystemer opbygget af faste eller bevægelige lameller og persiener, men bevægelige (drejelige) lameller er langt at foretrække, da denne type også er velegnet til at regulere dagslys, begrænse blænding og hindre generende indblik. Vandrette lameller og persiener kan anvendes ved alle facadeorienteringer, og de kan placeres enten udvendigt, indvendigt eller være indbygget mellem to lag glas i ruden. Generelt er de typer, der har drejelige lameller, som kan trækkes helt fra, blandt de bedste af alle afskærmningstyper. Trods mange fordele bliver lamelrammesystemer sjældent brugt i dansk byggeri, men i det følgende gives enkelte eksempler.

Figur 25 viser et af de første eksempler i Danmark på lamelrammer, der bevæger sig uden på facaden, opført til FIH Erhvervsbank i 2002 på Langeliniekaj i København. Byggeriet er blevet verdenskendt, fordi de dynamiske og markante lamelrammer giver bygningen et konstant skiftende udtryk.



Figur 25. Udvendige, motordrevne lamelskodder med drejelige lameller. Skoddernes bevægelse på facaden og lamellernes drejning er drevet af én motor, der styrer begge funktioner. Foto: Art Andersen.

Figur 26 viser lamel-skodder på en privat villa i Klampenborg nord for København. Skodderammerne er udført af galvaniseret stål og teaktræ, og bevæges på facaden ved hjælp af et innovativt metal-spiralbaseret trækstation, der her drives manuelt.



Figur 26. Manuelt bevægelige teakrammer med drejelige ameller på privat bolig. Foto: Art Andersen.

Figur 27 viser solafskærmningen på plejeboligerne Kløckershøve i Gentofte. Løsningen består af 15 dobbelthøje lamelrammer udført i galvaniseret stål med lameller i sibirisk lærketræ. Lamelskodderammerne er ophængt i rullelejer og betjenes manuelt med let hånd.



Figur 27. Dobelthøje lamel-skodder på plejeboliger Kløckershøve i Gentofte. Foto: Art Andersen.

Eksempel: SBI's dagslyslaboratorium

Funktionen af en lamelbaseret ramme er afprøvet i SBI's dagslyslaboratorium i Hørsholm, hvor flere elementtyper blev afprøvet samtidig. De afprøvede lameller giver et fint udsyn, også når elementet er kørt for. Egenskaberne i forhold til at kontrollere sol- og lysindfald er bestemt gennem dynamiske simuleringer med BSim (Grau K, et al., 2017). I nye bygninger vil lamel-skodden typisk finde anvendelse i stedet for solafskærmende ruder plus et gardin. Derfor kan man sige, at i forhold til typiske løsninger fra nyere byggeri, kan lysindfaldet med det nye koncept øges med mindst 12 %, og helt op til 60 %, hvis der sammenlignes med solafskærmende ruder med lav lystransmittans. En realistisk forøgelse af dagslystilgangen på blot 20 % svarer til, at dagslysets dækningsgrad (den tid af arbejdsdagen, hvor dagslyset dækker lysbehovet) øges med 8-10 %, eller at dagslyset reducerer elforbruget til kunstlys med 15-20 %.



Figur 28. Lamelbaseret ramme afprøvet i SBI's dagslyslaboratorium i Hørsholm.

De bedste solafskærmende ruder (målt på forholdet mellem lystransmittans og g-værdi, LT/g) reducerer lysindfaldet med mindst 12 % i forhold til en standard energirude, mens en lamelafskærmning, som ikke kan trækkes fra (fx en hvid persienne med hvide lameller), reducerer lysindfaldet med mindst 50 %. Derfor bør lamelafskærmninger altid kunne køres helt fra.

I forhold til typiske løsninger i dag med kombination af solafskærmende ruder og en indvendig solafskærmning, kan solvarmebelastningen reduceres med mindst 50 % på solrige sommerdage, typisk svarende til 30-70 W/m² rude eller 15-35 W/m² gulvareal. Herved fjernes den altdominerende varmebelastning af bygningen, således at ventilations- og kølebehov reduceres markant, og i mange tilfælde kan behovet for mekanisk køling elimineres helt.

Indsamlede erfaringer

Ramme-elementerne bevæger sig elegant uden generende mekanisk støj. Bevægelsen opleves dog lidt langsom, især på de brede elementer, hvor gangtiden er størst. Der er tale om en balance mellem ønsket om en hurtig indstilling, og ønsket om en elegant, glidende overgang. Krav og ønsker er ikke nødvendigvis ens ved automatisk og manuel regulering.



Figur 29. Ramme-elementet bevæger sig vandret på facaden ved hjælp af en motor.

Der forekommer heller ingen generende støj fra motoren eller transmissionskomponenterne. Lyden er hørbar, men er på et meget lavt niveau, der falder sammen med almindelig baggrundsstøj. Ved de ændringer i systemet, som skal ændre på bevægelseshastigheder, bør man derfor være opmærksom på ikke at tilføje nye støjkilder. Det lave støjniveau er lidt overraskende i betragtning af, at motoren sidder 'løst' og ubeskyttet i rammeudfræsningen, hvor der i den endelige udformning vil være mulighed for yderligere dæmpning.

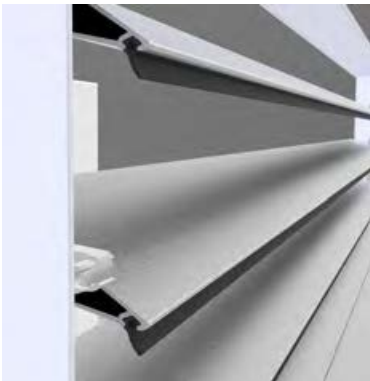


Drejningen af lamellerne sker lidt for hurtigt, så det er vanskeligt at indstille i en ønsket vinkel. Der bør laves en form for udveksling, så drejningshastigheden nedsættes til højst det halve, eventuelt i en form for stepvis regulering i 6-8 trin, så brugeren oplever at have fuld kontrol. Det ville være ønskeligt, at de øverste lameller (øverste 1/3-del) og de nederste lameller kunne drejes uafhængigt af hinanden, således at der kan skærmes for solstråling (nederst) og samtidig lukke en del dagslys ind (øverst).

Figur 30. Energy Frames element med indbygget lamelafskærmning. Foto: Art Andersen.

En god regulering af Energy Frames elementerne er afgørende for, at der kan opnås en markant energibesparelse, samtidig med at indeklimaet forbedres. Ved anvendelse af lamelafskærmningen vil der være tidspunkter på året, hvor sollyset generer brugerne (pga. blænding), samtidig med at der er behov for opvarmning af bygningen. Derfor bør der arbejdes med at udvikle et element, hvor lamellerne i den øverste del af afskærmningen (i 'dagslysvinduet') kan have en anden hældning end den nederste del (i 'udsynsvinduet').

En anden mulig forbedring af lamelsystemer vil være en tætning mellem lamellerne, således at der kan skabes et lukket hulrum bag lamellerne og dermed en forøget isoleringsevne af facaden, når lamellerne er lukkede.



Figur 31. Lamelsystem med tætningsprofiler mellem lamellerne.

Varmeisolerende elementer

I Danmark findes kun ganske få leverandører af varmeisolerende elementer, som har til formål at forøge vinduernes isoleringsevne i kolde perioder og/eller om natten. Tilbage omkring 1980 opførtes 6 lavenergihuse i Hjortekær som forsøgshuse med forskellige materialer og energiformer under Laboratoriet for Varmeisolering på DTU i samarbejde med forskellige arkitekter og entreprenørfirmaer. To af disse huse havde isolerende natskodder. Siden er der ikke sket meget på dette område, til trods for at der er et stort energibesparelspotentiale. Årsagen til dette er måske, at der fokuseres meget på ventilations- og kølebehov i bygninger, mens bygningers varmebehov ikke

har samme opmærksomhed, ligesom indeklimaproblemer på grund af manglende opvarmingskapacitet sjældent forekommer. Endelig kan det også være vanskeligt for arkitekter at få integreret isolerende elementer i klimaskærmen på en æstetisk tilfredsstillende måde.

Et af de mest vellykkede eksempler på isolerende elementer til vinduer er udviklet af virksomheden VELUX, der har en isolerende rulleskodde i tilbehørsprogrammet til ovenlysvinduer, se figur 32. Rulleskodden har flere funktioner. Udover at den forbedrer vinduets isoleringsevne (op til 14 %), kan den give total mørklægning, reduktion af uønsket varmetilskud fra solvarme (ca. 90 %) og forbedret dæmpning af støj udefra samt reduktion af støj fra regn og hagl.



Figur 32. Eksempel på isolerende skodde, udviklet af VELUX som en del af tilbehørsprogrammet til VELUX ovenlysvinduer. Skodden er udført som en rulleskodde, der har flere funktioner samtidig. Foto: VELUX.

Rulleskodder er langt mere udbredt i Tyskland og andre mellemeuropæiske lande, hvor de er meget almindelige ikke mindst i boligbyggeri, men også i institutioner, kontor- og erhvervsbyggeri. I modsætning til den danske tradition, at vinduerne åbner udad, åbner de fleste i Tyskland indad, og derfor er det muligt at indbygge udvendige rulleskodder i mange facader, uden at det ændrer væsentligt på bygningens udtryk, se figur 31.



Figur 33. Eksempel på rulleskodder (rolladen) på institutionsbyggeri i Tyskland. Foto: Alulux.

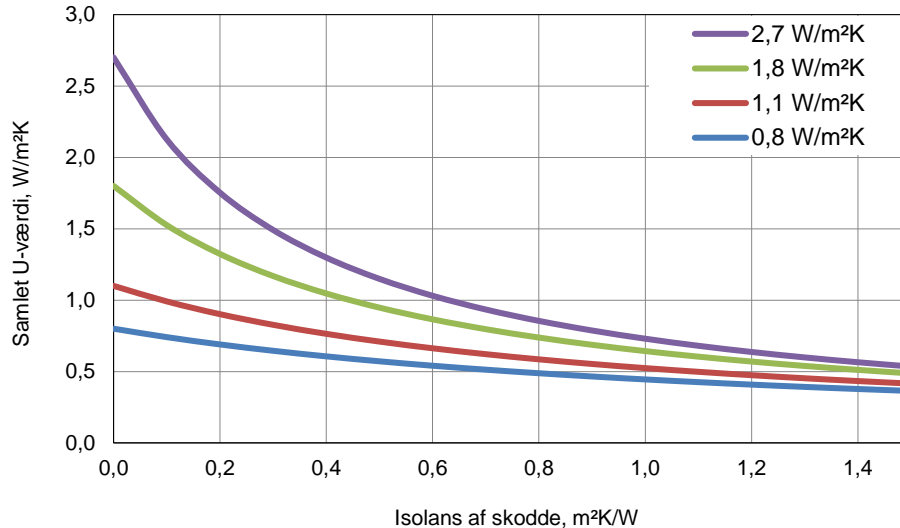
Eksempel: SBI's dagslyslaboratorium

Funktionen af en varmeisolerende skodderamme (Energy Frames) er afprøvet, dels i SBI's dagslyslaboratorium (se figur 32) og dels i Aalborg Universitets laboratorier i Aalborg. Hovedfunktionen for denne type facadeelement er at kunne forøge vinduernes isoleringsevne. Der er to vigtige forudsætninger for, at en varmeisolerende skodde fungerer: Skodden skal have en vis isoleringsevne, og den skal slutte tæt til vinduet. I laboratoriet er der arbejdet med forskellige tætningsløsninger og forskellige isoleringsmaterialer. Ud fra et ønske om, at skodden skulle tillade adgang for dagslys, blev der valgt en flerlags 20 mm translucent polykarbonatplade til forsøgene.



Figur 34. Energy Frames element, der både varmesolierer og tillader dagslyset at passere. Foto: Forfatterne.

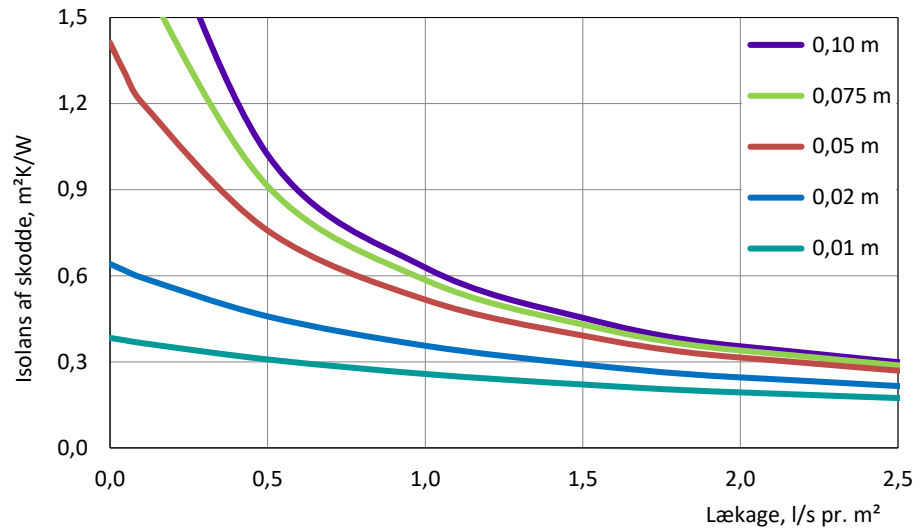
Isoleringsevnen af vindue + skodde afhænger af rudens U-værdi, skoddens isoleringsevne samt af tætheden. Figur 35 viser sammenhængen mellem skoddens isoleringsevne (varmemodstand i m^2K/W) for forskellige U-værdier af vinduet. På diagrammet kan man direkte aflæse U-værdien for systemet bestående af vindue + skodde, forudsat at skodden slutter tæt til vinduet.



Figur 35. Beregnede værdier af den samlede isoleringsevne for et isolerende skodde-element som funktion af rudens U-værdi (de farvede kurver) og elementets egen varmemodstand (x-aksen).

Indsamlede erfaringer

For at det isolerende element i Energy Frames kan fungere optimalt, er det helt afgørende, at elementet kan slutte tæt til vinduet eller facaden, som det sidder på. Tætheden søges sikret med et specielt gummiprofil, der er robust nok til, at det kan tåle de belastninger, der opstår, når elementet kører på bæringsprofilerne, og samtidig er blødt nok til, at det kan lukke tæt mod vinduet. I forbindelse med undersøgelse af tætheden af Energy Frames er der blevet foretaget tryk- og sug-tests af systemet samt efterfølgende blevet tætnet steder på Energy Frames, hvor dette har været enten oplagt eller nødvendigt som følge af resultaterne fra røgforsøg og de enkelte tests.



Figur 36. Isolans som funktion af lækagen af elementet ved forskellige tykkelser af det isolerende element, hvor det isolerende materiale har reduceret varmeledningsevne fra 0,039 W/mK til 0,018 W/mK.

For at opnå en isolans på 0,9 m²K/W påkræves en lækage på 0,25 l/s pr. m² ved en isoleringstykkelse på 50 mm med en gennemsnitlig varmeledningsevne på 0,039 W/mK. Reduceres varmeledningsevnen til 0,018 W/mK, og ønskes en isolans på 0,9 W/m²K, kan lækagen øges til ca. 0,5 l/s pr. m² ved 50 mm tykt element.

Som det ses af figur 36, har lækagen stor betydning for den samlede isolans af den isolerende skodde. Ud fra ovenstående kan det ses, at opnåelse af større isolans end 1,5 m²K/W af den isolerende skodde ikke kan opnås, med mindre der tættes yderligere. For at kunne opnå en større isolans skal varmeledningsevnen af det valgte materiale reduceres, eksempelvis ved at anvende aerogel med en varmeledningsevne på 0,018 W/mK.

Ventilationselement

Brugerne betragter det at kunne åbne et vindue mod det fri som meget væsentligt, for at de oplever indeklimaet som tilfredsstillende. Uanset hvilke andre funktioner facaden skal opfylde, bør muligheden for at åbne mod det fri derfor have høj prioritet.



Figur 38. Oplukkelige vinduer er vigtige for brugernes oplevelse af og tilfredshed med indeklimaet.



Figur 37. Alternativ løsning til det almindelige oplukkelige vindue, her en ventilationslem, som måske giver en stærkere oplevelse af åbning mod det fri.

Et almindeligt oplukkeligt vindue, se figur 38, opfylder fint denne funktion, men i forbindelse med dynamiske facader kan det oplukkelige vindue være i konflikt med andre funktioner, man ønsker, facaden skal opfylde. For eksempel kan åbning af vinduet være i konflikt med ønsket om at dæmpe støjen udefra, ønsket om at begrænse varmetabet eller ønsket om at skærme af for solindfald. Afsnittet *Luftstrøm gennem vinduer og ventilationsåbninger*, side 28 giver retningslinjer for, hvor stor en luftstrøm der kan antages at passere et givent åbningsareal ved tværv ventilation og ensidig ventilation, mens tabel 12 giver reduktionsfaktorer for åbningsarealet for forskellige vinduestyper. Figur 37 viser en alternativ løsning til det almindelige oplukkelige vindue, her en ventilationslem, som i nogle tilfælde passer bedre til rummets indretning og måske giver en stærkere oplevelse af åbning mod det fri.

Netop fordi en åbning i facaden kan være i konflikt med optimering af andre egenskaber ved facaden, er der udviklet forskellige former for udluftnings-systemer, som opfylder flere ønsker på én gang.



Figur 39. Eksempel på variant af det såkaldte 'russer-vindue', her udviklet af Velfac. Luften tages ind gennem en lyd-dæmpet åbning og forvarmes, inden den strømmer ind i rummet. Foto/rendering: Velfac.

Det såkaldte 'russer-vindue' er et eksempel på et sådant system. Figur 39 viser en variant af det såkaldte 'russer-vindue', hvor luften ledes ind gennem et lyd-dæmpet hulrum og forvarmes eventuelt, inden den ledes ind i rummet bag facaden. Elementet har således flere funktioner: Udluftning, dæmpning af støjen udefra (både med åbent og med lukket vindue) og reduktion af varmetabet (både med åbent og med lukket vindue).

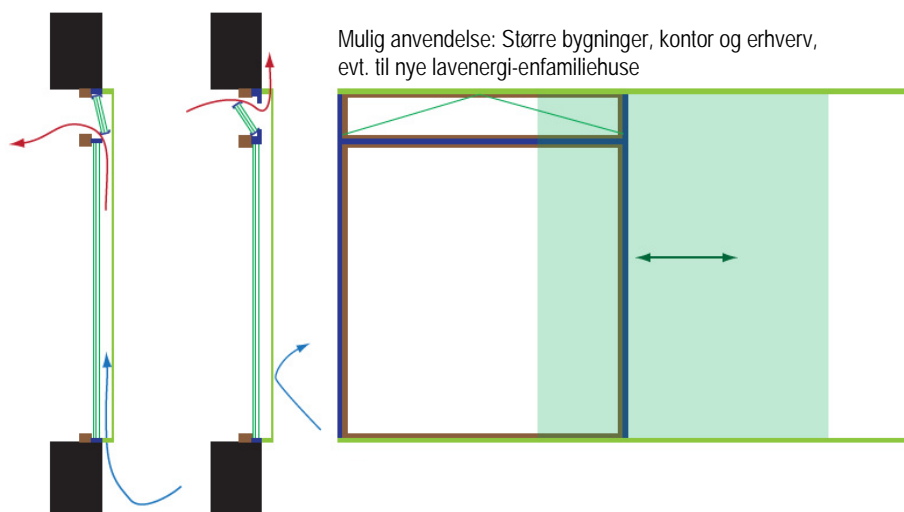
Eksempel: SBI's dagslyslaboratorium

Funktionen af et relativt simpelt ventilationselement er afprøvet i SBI's dagslyslaboratorium. Det er opbygget som et translucent, varmeisolerende rammelement med hulprofiler foroven og forneden, som tillader udeluft at passere ind gennem elementet forneden og ind i rummet foroven. Elementet er indrettet sådan, at størrelsen af hullerne både foroven og forneden kan justeres på en simpel måde, således at luftstrømmen kan reguleres, se figur 40 og figur 41.



Figur 40. Energy Frames ventilationselementet med forskydelige hulprofiler indbygget foroven og forneden, således at åbningerne kan reguleres. Foto: Forfatterne.

Figur 39 illustrerer et princip for, hvordan ventilationselementet fungerer med luftåbninger i bund og top af elementet, som i kombination med ventilationsvinduer kan trække luft ind eller ud af det bagvedliggende rum.



Figur 41. Skitse af et af flere principper for, hvordan Energy Frames kan fungere som ventilationselement. EF-rammen dækker hele vinduet, og den forvarmede luft kan ledes ind via ventilationsvinduet foroven. Ventilationsvinduet kan også benyttes som fraluftsventil ved almindelig tværv ventilation af bygningen.

Indsamlede erfaringer

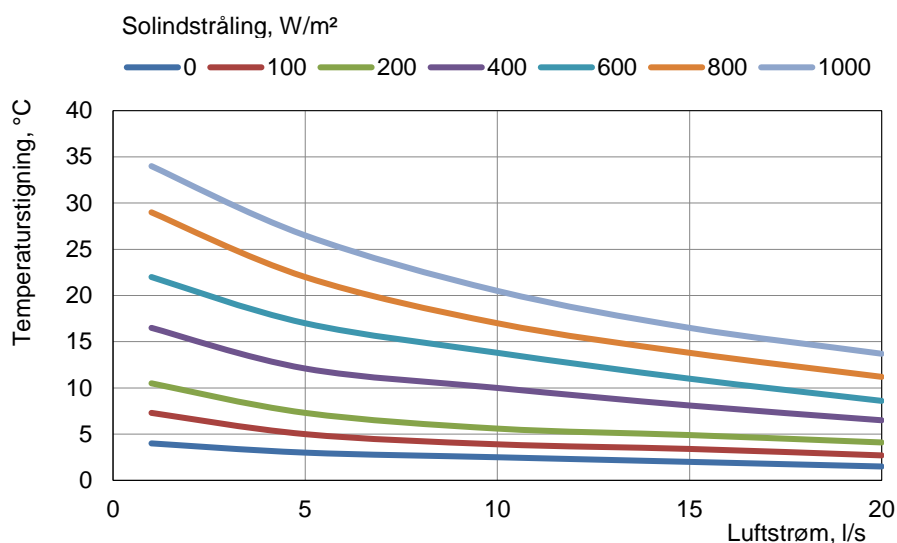
Elementet er det samme som beskrevet i afsnittet *Varmeisolerende elementer*. I laboratoriet er der lavet undersøgelser af luftstrømmen gennem elementet, ligesom den mulige forvarmning af luften blev målt.

Resultaterne viser, at luftmængden som følge af højdeforskellen mellem top og bund opnår et maksimum på omkring en 3,3 l/s pr. m. Denne luftmængde synes lav og skyldes primært et stort tryktab over åbningerne. Ved denne luftmængde må det ligeledes forventes, at systemet er følsomt overfor trykforskelle mellem inde og ude. Forsøgene med forvarmning af luften som følge af solindfaldet på elementet viser, at der er store potentialer i at for-

varme luften ved solindfald på fladen. Temperaturforøgelsen er i tæt sammenhæng med luftmængden, hvorfor det er forventeligt, at temperaturforskellen mindskes ved større luftmængde.

Forsøgene viser tydeligt, at solindfaldet har stor betydning for den samlede luftmængde. Ved lavt solindfald reduceres luftmængden til udelukkende at være drevet af den beskedne temperaturforskelle mellem hulrum og udeklima samt højdeforskellen mellem top og bund.

Ud fra forsøgene kan det konkluderes, at systemet har et relativt stort tryktab over hullerne. Dette resulterer i, at luftmængden bliver forholdsvis lav. Systemet bør som minimum levere omkring 10 l/s for at kunne anvendes til opnåelse af atmosfærisk komfort i enkeltmandskontorer. Til dels på grund af den begrænsede luftstrøm kunne det ses, at der opnås høje temperaturer i hulrummet mellem elementet og vinduet. Dermed er der et potentiale for at udnytte denne forvarmning til at øge anvendelsesperioden af den naturlige ventilation. En numerisk analyse af dette potentiale ved andre luftmængder er vist i figur 42, og det fremgår, at der kan forventes en temperaturforøgelse på 10 °C ved 10 l/s og solindstråling på 400 W/m², hvilket må betragtes som værende et godt udgangspunkt for forlængelse af anvendelsesperioden af den naturlige ventilation. Det må ydermere forventes – ved implementering af dette system i praksis – at trykforskellene mellem inde og ude, samt rummene indbyrdes, skaber ustabile situationer for den naturlige ventilation i hulrummet og dermed ændrer på effektiviteten af systemet. En nærmere analyse af, hvorledes trykforholdene kan stabiliseres samt kontrolleres, bør foretages. Anvendelsen af små ventilatorer kan ligeledes anvendes til at stabilisere luftmængden i hulrummet.



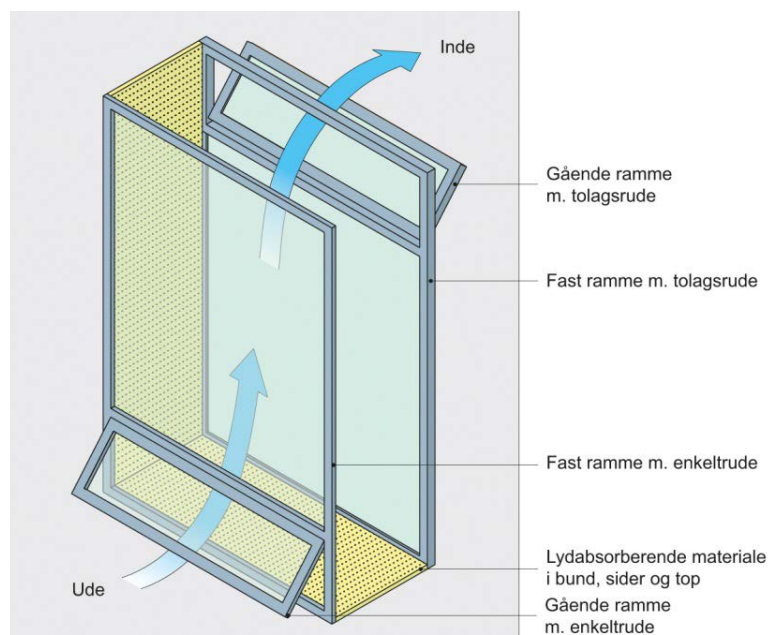
Figur 42. Temperaturstigning som funktion af solindstråling og luftstrøm ved en udetemperatur på 10 °C og en rumtemperatur på 20 °C.

Støjdæmpende element

Russervinduer (lodret lydsluse)

Den generelt mest kendte type lydæmpende element eller ventilationsvindue er det såkaldte 'russervindue', der er et dobbelt vindue med en mindre oplukkelig del forneden i den udvendige del af vinduet og foroven i den indvendige del. Udeluften trækkes ind forneden og kommer op gennem kanalen mellem de to vinduesdele. Om vinteren varmes luften dermed noget op, in-

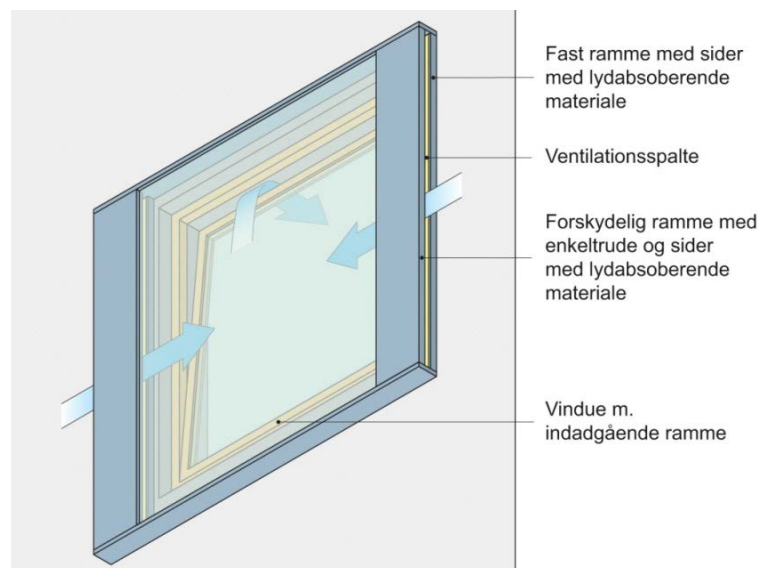
den den kommer ind i rummet. Virkemåden fremgår af principtegningen i figur 43, hvor der er vist lydabsorberende beklædning i mellemrummet, hvilket forbedrer lydisolationen.



Figur 43. Principtegnning, der viser opbygning af russervindue.

Lydskodder

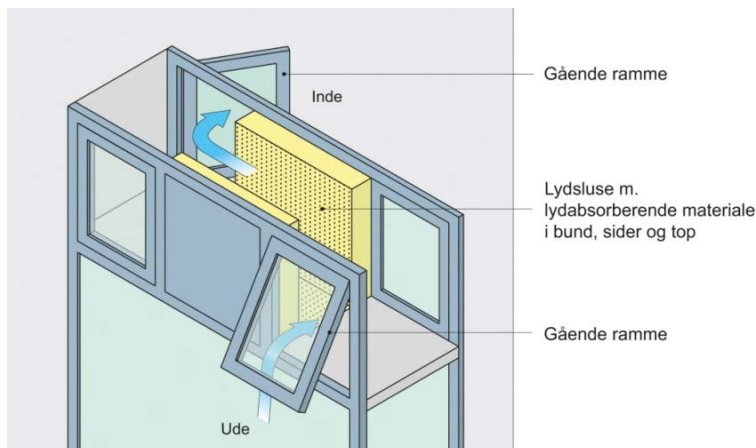
Et andet kendt støjdæmpende element eller ventilationsvindue består af en forskydelig lydskodde monteret udvendigt foran eksisterende vindue med indadgående ramme. Virkemåden er illustreret på figur 44.



Figur 44. Principskitse af en forskydelig lydskodde monteret udvendigt foran eksisterende vindue med indadgående ramme (vindue set nedefra). Et eksempel på denne type vindue er anvendt i Folehaven i et pilotprojekt fra 2007, hvor i alt 36 soveværelsesvinduer har fået monteret en sådan lydskodde.

Ventilationsvinduer med vandret lydsluse

Et lignende princip er illustreret på figur 45. Her er kanalen med lydabsorberende beklædning vandret, og der findes mulighed for at åbne vinduet helt i begge ender, hvorved lydisolationen dog kun svarer til et almindeligt åbent vindue og altså ikke er forbedret i forhold til dette. Denne type vindue er anvendt i Bikuben Kollegiet i København.



Figur 45. Eksempel på dobbelt vindueskonstruktion, hvor mellemrummene i de to vindueselementer er forbundet vandret via en lydsluse. For at opnå en god lydisolations skal udadgående og indadgående ramme åbnes diagonalt.

Eksempel 1: Folehaven, 2007

I et samarbejde mellem Københavns Kommune, FB-Folehaven og Miljøstyrelsen blev der i 2007 gennemført et pilotprojekt om begrænsning af trafikstøj i to boligblokke med facader ud mod den stærkt trafikerede vej Folehaven i Valby, København. Formålet med pilotprojektet var at reducere støjgenerne for beboere både indendørs og på udendørs opholdsarealer. Der blev monteret lydskodder foran vinduet på soveværelser på 36 lejligheder, se figur 46, og opsat en støjskærm mellem to boligblokke. Luftspalterne i lydskodderne er i begge sider afgrænset af lydabsorberende materiale.



Figur 46. Fotos af lydskoddens udseende og funktion. På fotoet til venstre ses den lukkede lydskodde, til højre lydskodden kørt til siden. På begge fotos er det eksisterende side-bundhængte, indadgående vindue åbnet i ventilationsstilling. Foto: Art Andersen.

Indsamlede erfaringer

I november 2010 gennemførte Københavns Kommune støjmålinger med følgende resultater:

- Lydskodden har en dæmpningseffekt på 18 dB med åbent vindue (ventilationsstilling) og med åbne friskluftventiler
- Trafikstøjniveauet i soveværelset med lukket vindue og åbne friskluftventiler reduceres med 8 dB, når der er monteret lydskodde foran vinduet, i forhold til når der ikke er
- Trafikstøjniveauet i soveværelset med åbent vindue (ventilationsstilling) og åbne friskluftventiler er 9 dB lavere, når der er monteret lydskodde foran vinduet, end når der ikke er.

Københavns Kommune evaluerede projektet gennem et spørgeskema, som blev uddelt til 367 lejligheder langs syd- siden af Folehaven. Alle husstande

(med og uden lydskodde) fik i oktober 2010 tilsendt et spørgeskema om trafikstøj. Der var i alt 161 returnerede spørgeskemaer, hvilket svarer til en svarprocent på 44 %. Resultaterne fra spørgeskemaundersøgelsen viser, at en overvejende del af beboere, som har fået opsat lydskodder:

- synes, at lydskodden giver en forbedring af lyd miljøet i lejligheden
- synes ikke, at trafikstøjen påvirker deres søvn efter opsætning af lydskodder
- føler sig slet ikke eller lidt generet af trafikstøjen i boligen og i soveværelse med lukkede vinduer efter opsætning af lydskodder.

Undersøgelsen viser ligeledes, at alle er enige i, at lydskodden dæmper trafikstøjen, heraf synes 1/3, at lydskodden nedsætter trafikstøjen væsentligt, og resten oplever sænkningen lidt eller i nogen grad.

68 % af beboere, der anvender det afskærmede areal, svarer, at de slet ikke eller kun føler sig lidt generet, når de opholder sig på det støjafskærmede område, mens tilsvarende andel fra uafskærmede udearealer er 51 %. Omvendt svarer 5 % af beboere fra det afskærmede areal, at de føler sig voldsomt eller meget generede, mens tilsvarende fra uafskærmede arealer er 28 %.

Eksempel 2: Folehaven, 2017-2018

I 2017 udvikledes en ny type lydskodder til Folehaven med det mål, at skodden

arkitektonisk skulle være af en kvalitet, der gør, at den kunne erstatte 585 traditionelle skodder på afdelingens støjplagede boliger. Målsætningen var en skodde med følgende egenskaber:

- Skodden skal arkitektonisk og teknisk tilpasses 3B-Folehavens originale facadeudtryk
- Et generisk basisdesign, der kan tilpasses andre facader
- Øget brugervenlighed med mulighed for automatisk styring af skoddernes funktion
- Naturlig ventilation med mulighed for CO₂- og fugtstyring af skoddens åbnefunktion for et bedre og sundere indeklima
- Indbygning af mørklægning i systemet, således at den primære skoddefunktion bibeholdes
- Mulighed for at pudse lydafsørmende glas fra lejligheden
- Et industrielt produkt, der kan danne grundlag for en skalleret produktion, der prismæssigt vil gøre systemet attraktivt på markedet
- Et plug-and-play monteringsystem, der billiggør montagen og dermed sænker den samlede anlægspris på skodderne.

Projektet skulle samtidig:

- Undersøge mulighederne og optimere designet og udnytte det dynamiske facadeelement til at reducere varmetabet i boligen.
- Undersøge muligheden for at indbygge et luftfilter til opsamling af pollen og udstødningspartikler fra biler.
- Udbrede kendskabet og hermed den fremtidige anvendelse af produktets særlige egenskaber der kombinerer støjreduktion med et bedre indeklima og på sigt energibesparelser og partikelfilter.

I et pilotprojekt blev en ny type lydskodde udviklet, så egenskaberne kunne testes i praksis, se figur 47. De ny lydskodder er udviklet i to varianter dels med 0,14 m², dels med 0,35 m² åbningsareal. Målingerne er udført med hver af de to varianter, når de eksisterende vinduer bag skodderne er henholdsvis lukkede og åbne 0,10 m² i kip-position og 0,35 m² i drejet position. Disse to åbningsarealer er valgt for at kunne sammenligne de nye målinger med målingerne fra de eksisterende skodder. De 0,10 m² svarer til et eksisterende vinduesfag åbnet i kip-position, mens de 0,35 m² relaterer til nye krav

til åbningsarealer, jf. Miljøstyrelsens vejledning 4/2007 Støj fra veje. Heri tillades nyetablerede boliger i stærkt trafikstøjbelastede områder opført, hvis det indendørs trafikstøjniveau med delvist åbne vinduer ikke overstiger $L_{den} = 46$ dB. Grænseværdien skal overholdes med et åbningsareal for vinduerne på $0,35$ m²

De udførte målinger og beregninger viser, at det nye design af lydskodderne giver lavere støjniveauer i rummene bag skodderne end det oprindelige design, på trods af at det nye design giver markant mere udluftning grundet større åbningsarealer. Når lydskodder og vinduer er indstillet til at ventilere rummene, er forbedringen af den interne trafikstøj 4-8 dB. Med det nye design har man opnået en fordobling af luftadgangen og en halvering af det oplevede lydindtryk sammenlignet med det tidligere design.



Figur 47. Foto af prototyperne på de to typer nyudviklede lydskodder, dels med samlet spalteåbningsareal på $0,14$ m² (til venstre), dels $0,35$ m² monteret (til højre). Foto: Art Andersen.

Dynamiske facader i BR18

Skærpede krav til dimensionerende varmetabsramme i BR18

I forbindelse med de planlagte energibestemmelser for nybyggeriet i BR18, vil der forekomme ændringer til transmissionstabskravet. Ændringen i transmissionstabskravet indebærer et skift fra dimensionerende transmissionstab for klimaskærmen eksklusive vinduer og døre til samlet dimensionerende transmissionstab pr. m² etageareal.

Det nuværende udkast til revision af energikravene i BR18 er krav til dimensionerende transmissionstab pr. m² opvarmet etageareal:

BR18 minimumskrav: $12+6/E+300/A_e$ [W/m²]

Bygningsklasse 2020: $10+6/E+300/A_e$ [W/m²]

hvor E er antal etager

A_e er bygningens samlede opvarmede etageareal

Antal etager bestemmes som følgende:

$$E=A_e/A_b$$

hvor A_e er bygningens samlede opvarmede etageareal

A_b er det bebyggede areal

Det foreslåede krav til transmissionstab stiller et større krav til klimaskærmens samlede transmissionstab og dermed også til vinduernes egenskaber ved større vinduesandele.

I eksemplet nedenfor illustreres, hvorledes kravet forventes at påvirke bygninger. Vurderingen er foretaget ud fra kvadratisk udformede bygninger. Etagehøjden regnes som værende 4 m. Tabel 26 viser det foreslåede krav til maksimalt dimensionerende transmissionstab pr. m² opvarmet etageareal i BR18 som funktion af bebygget areal og antal etager. Tabel 27 viser det tilsvarende krav til den frivillige Bygningsklasse 2020.

Tabel 25. Foreslåede nye krav til maksimalt dimensionerende transmissionstab pr. m² opvarmet etageareal i BR18 som funktion af bebygget areal og antal etager. I modsætning til tidligere inkluderes vinduernes varmetab i den samlede beregning af varmetabet.

BR18 Krav (W/m ²)	Bebygget areal (A _b)									
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
Etager (E)										
12	13.0	12.8	12.7	12.6	12.6	12.6	12.6	12.5	12.5	12.5
8	13.5	13.1	13.0	12.9	12.9	12.8	12.8	12.8	12.8	12.8
5	14.4	13.8	13.6	13.5	13.4	13.4	13.3	13.3	13.3	13.2
4	15.0	14.3	14.0	13.9	13.8	13.7	13.7	13.6	13.6	13.5
3	16.0	15.0	14.7	14.5	14.3	14.3	14.2	14.1	14.1	14.1
2	18.0	16.5	16.0	15.8	15.5	15.4	15.3	15.2	15.2	15.1
1	24.0	21.0	20.0	19.5	19.0	18.8	18.6	18.4	18.3	18.2

Tabel 26. Foreslåede nye krav til maksimalt dimensionerende transmissionstab pr. m² opvarmet etageareal i Bygningsklasse 2020 som funktion af bebygget areal og antal etager. I modsætning til tidligere inkluderes vinduernes varmetab i den samlede beregning af varmetabet.

BK2020 Krav (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)										
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000	
Etager (E)											
12	11.0	10.8	10.7	10.6	10.6	10.6	10.6	10.5	10.5	10.5	
8	11.5	11.1	11.0	10.9	10.9	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	
5	12.4	11.8	11.6	11.5	11.4	11.4	11.3	11.3	11.3	11.2	
4	13.0	12.3	12.0	11.9	11.8	11.7	11.7	11.6	11.6	11.5	
3	14.0	13.0	12.7	12.5	12.3	12.3	12.2	12.1	12.1	12.1	
2	16.0	14.5	14.0	13.8	13.5	13.4	13.3	13.2	13.2	13.1	
1	22.0	19.0	18.0	17.5	17.0	16.8	16.6	16.4	16.3	16.2	

I nedenstående tabeller er vist hvilke scenarier, der forventes ikke at overholde BR18 (rød-markerede), og hvilke forhold der ikke forventes at overholde BK2020 (gult-markerede). Øvrige felter overholder BR18 og BK2020.

De enkelte dele af klimaskærmen, der indgår i opgørelsen, har følgende termiske egenskaber:

Vinduer:	1,30 W/m ² K
Ydervæg:	0,13 W/m ² K
Terrændæk:	0,09 W/m ² K
Tag:	0,10 W/m ² K
Fundamenter:	0,09 W/mK
Samling mellem ydervæg og vinduer:	0,00 W/mK

Tabel 27.A: Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 20 % vinduesareal.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)									
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
Etager (E)										
12	17.3	14.5	13.3	12.6	11.7	11.2	10.8	10.4	9.9	9.3
8	17.5	14.7	13.5	12.7	11.9	11.4	11.0	10.5	10.1	9.5
5	17.8	15.0	13.8	13.1	12.2	11.7	11.3	10.9	10.4	9.8
4	18.1	15.3	14.0	13.3	12.4	11.9	11.5	11.1	10.6	10.0
3	18.5	15.6	14.4	13.7	12.8	12.2	11.9	11.4	11.0	10.4
2	19.2	16.4	15.1	14.4	13.5	13.0	12.6	12.1	11.7	11.1
1	21.6	18.6	17.3	16.6	15.7	15.1	14.7	14.3	13.8	13.2

20 % Vinduesareal

B: Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 30 % vinduesareal.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)									
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
Etager (E)										
12	21.0	18.3	17.0	16.3	15.4	14.9	14.6	14.1	13.7	13.1
8	21.2	18.5	17.2	16.5	15.6	15.1	14.7	14.3	13.9	13.2
5	21.6	18.8	17.6	16.8	15.9	15.4	15.1	14.6	14.2	13.6
4	21.8	19.0	17.8	17.0	16.2	15.6	15.3	14.8	14.4	13.8
3	22.2	19.4	18.1	17.4	16.5	16.0	15.6	15.2	14.7	14.1
2	23.0	20.1	18.9	18.1	17.2	16.7	16.3	15.9	15.5	14.8
1	25.3	22.4	21.1	20.3	19.4	18.9	18.5	18.0	17.6	16.9

30 % Vinduesareal

C: Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 30 % vinduesareal, energiklasse A, U = 0,90 W/m²K.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)										
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000	
Etager (E)											
12	17.2	14.4	13.2	12.5	11.6	11.1	10.7	10.3	9.8	9.2	
8	17.4	14.6	13.4	12.6	11.8	11.3	10.9	10.4	10.0	9.4	
5	17.7	14.9	13.7	13.0	12.1	11.6	11.2	10.8	10.3	9.7	
4	18.0	15.2	13.9	13.2	12.3	11.8	11.4	11.0	10.6	9.9	
3	18.4	15.5	14.3	13.6	12.7	12.2	11.8	11.3	10.9	10.3	
2	19.1	16.3	15.0	14.3	13.4	12.9	12.5	12.0	11.6	11.0	
1	21.5	18.5	17.3	16.5	15.6	15.0	14.6	14.2	13.7	13.1	

30 % Vinduesareal og energimærke A vinduer med U-værdi 0,90 W/m²K

D: Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 40 % vinduesareal, energiklasse A, U = 0,90 W/m²K.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)									
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
Etager (E)										
12	19.7	16.9	15.7	14.9	14.1	13.5	13.2	12.7	12.3	11.7
8	19.9	17.1	15.8	15.1	14.2	13.7	13.4	12.9	12.5	11.9
5	20.2	17.4	16.2	15.4	14.6	14.0	13.7	13.2	12.8	12.2
4	20.4	17.6	16.4	15.7	14.8	14.3	13.9	13.4	13.0	12.4
3	20.8	18.0	16.8	16.0	15.1	14.6	14.3	13.8	13.4	12.7
2	21.6	18.8	17.5	16.8	15.9	15.3	15.0	14.5	14.1	13.4
1	23.9	21.0	19.7	18.9	18.0	17.5	17.1	16.6	16.2	15.5

40 % Vinduesareal og energimærke A vinduer med U-værdi 0,90 W/m²K

Af ovenstående scenarier i tabel 28 A og B kan det konkluderes, at vinduesarealet stærkt påvirker udfaldet om overholdelse af BR18 og BK2020. For at kunne tilvejebringe en væsentlig større andel scenarier for overholdelse af krav til dimensionerende transmissionstab kræves derfor særligt fokus på minimering af varmetabet over klimaskærmen, specielt vinduerne. I tilfælde, hvor der er ønske om store vinduespartier, et højt dagslysniveau og udsyn gennem klart glas, er der derfor et stort potentiale for anvendelse af isolerende skodder, der kan åbne og lukke efter behov.

Overholdelse af varmetabsrammen med isolerende skodder

Facadeteknologier, som medvirker til at reducere transmissionstab, kan udføres med isolerende skodder, der kan lukkes til foran vinduer på tidspunkter, hvor det er acceptabelt for brugerne. Isolansen af denne kan reducere transmissionstab betydeligt som beskrevet i tabel 29.

Tabel 28. A: Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 30 % vinduesareal + skodde U = 0,70 W/m²K.

Varmetab (W/m ²)	Bebygget areal (Ab)									
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000
Etager (E)										
12	15.1	12.3	11.1	10.4	9.5	9.0	8.6	8.2	7.7	7.1
8	15.3	12.5	11.3	10.5	9.7	9.2	8.8	8.3	7.9	7.3
5	15.6	12.8	11.6	10.9	10.0	9.5	9.1	8.7	8.2	7.6
4	15.9	13.1	11.8	11.1	10.2	9.7	9.3	8.9	8.4	7.8
3	16.3	13.4	12.2	11.5	10.6	10.0	9.7	9.2	8.8	8.2
2	17.0	14.2	12.9	12.2	11.3	10.8	10.4	9.9	9.5	8.9
1	19.4	16.4	15.1	14.4	13.5	12.9	12.5	12.1	11.6	11.0

30 % Vinduesareal inkl. isolerende skodder med isolans på 0,70 m²K/W

B: Beregnet dimensionerende transmissionstab ved 30 % A vindue + skodde med $U = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Varmetab (W/m^2)	Bebygget areal (A_b)										
	50	100	150	200	300	400	500	700	1000	2000	
Etaget (E)											
12	13.9	11.1	9.9	9.1	8.3	7.7	7.4	6.9	6.5	5.9	
8	14.0	11.3	10.0	9.3	8.4	7.9	7.6	7.1	6.7	6.1	
5	14.4	11.6	10.4	9.6	8.8	8.2	7.9	7.4	7.0	6.4	
4	14.6	11.8	10.6	9.9	9.0	8.5	8.1	7.6	7.2	6.6	
3	15.0	12.2	11.0	10.2	9.3	8.8	8.5	8.0	7.6	6.9	
2	15.8	13.0	11.7	11.0	10.1	9.5	9.2	8.7	8.3	7.6	
1	18.1	15.2	13.9	13.1	12.2	11.7	11.3	10.8	10.4	9.7	

30 % Vinduesareal og A-vinduer, U-værdi $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ plus isolerende skodder med isolans på $0,70 \text{ m}^2\text{K/W}$

Af ovenstående tabeller kan der konkluderes følgende forhold:

- Med forslaget til ændrede krav til maksimalt dimensionerende transmissionstab vil det næppe være muligt at overholde BR18 krav med energimærke B vinduer med U-værdi $1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ ved store vinduesarealer ($\geq 30\%$)
- Overholdelse af BR18 krav samt bevarelse af en høj vinduesprocentsats (fx 30% ift. A_e) kræver anvendelse af energimærke A vinduer med en U-værdi på $0,90 \text{ W/m}^2\text{K}$ eller lavere
- Ved større vinduesarealer (fx 40% ift. A_e) forventes kravet til BK2020 ikke at være muligt at overholde, selv ved anvendelse af energimærke A vinduer.

Indregning af dynamisk U-værdi i energirammen

Isoleringskodder forbedrer vinduernes isoleringsevne, når de er trukket for, som beskrevet ovenfor. Når isoleringskodder anvendes i energirammeberegningen vil en reduktion af U-værdien for vinduer, resultere i en reduktion af solvarmetilskuddet og dermed også fungere som solafskærmning. I enkelte tilfælde vil en reduktion af U-værdien utilsigtet resultere i en forøgelse af kølebehovet, og dermed vil beregningen ikke være retvisende i forhold til den ønskede afledte effekt.

I det følgende afsnit gennemgås beregningsmetoden for inddragelse af isoleringskodder i energiberegningen. Beregningen lægger op til at regne med en ækvivalent U-værdi for vinduet med isoleringskodder, hvor ækvivalensen beregnes for opvarmningssæsonen. Beregningsmetoden set i forhold til en timebaseret model, hvor brugsprofilen kendes, er sammenlignelig. For kontor og administrationsbygninger kan det forventes, at der i særligt solfattede timer vil være en markant anvendelse af isoleringskodderne uden for brugstiden, hvor brugsprofilen kan se ud som følger:

Tabel 29. Tænkt brugsprofil for isoleringskodder på dage med opvarmingsbehov.

Kl.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
ma	x	x	X	x	X	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
ti	x	x	X	x	X	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
on	x	x	X	x	X	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
to	x	x	X	x	X	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
fr	x	x	X	x	X	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x	x
lø	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
sø	x	x	X	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

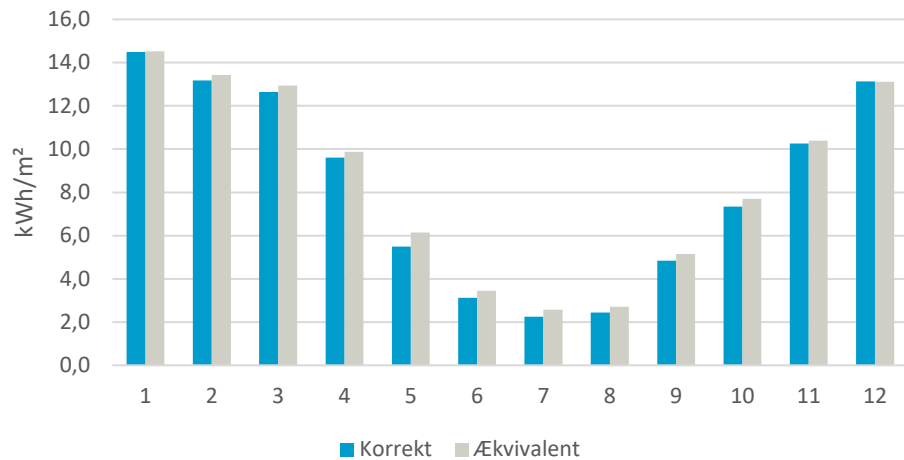
Andelen af tiden, hvor isoleringskoden er trukket for vinduet udgør 0,73 i eksemplet. Varmetabet over vinduet i opvarmningssæsonen beregnes således:

$$E = U_{vin, kor} \sum \Delta t = (U_{vin, skod} f_{skod} + U_{vin} (1 - f_{skod})) \sum \Delta t$$

I modsætning til denne ser den momentane energitransport over vinduet således ud:

$$E = \sum U_{vin, momentan} \Delta t$$

Sidstnævnte er mere korrekt, men forskellen mellem de to beregningsmetoder på årsbasis inden for opvarmingsperioden er begrænset. Det ses dog, at den mere korrekte beregning vil give anledning til en 5 % -korrektur af f_{skod} .



Såfremt korrektionen i U-værdi giver anledning til overtemperaturer, forøget kølebehov eller forøget energibehov til lufttransport, kan dette kompenseres med en pseudo-ventilation om sommeren, der udligner det forøgede energibehov. Pseudo-ventilationen indtastes som naturlig ventilation om sommeren for et areal svarende til det samlede vinduesareal med isoleringskoder og svarer til forskellen i det specifikke varmetab for bygningen mellem vinduernes U-værdi med og uden isoleringskoder:

$$q_{n,n,pseudo} = q_{n,s,pseudo} = \frac{\sum A_{vin,skod} (U_{vin} - U_{vin, kor})}{1,2 \times 1,005 \times \sum A_{vin,skod}}$$

Kompensationen ved indtastning af denne værdi, giver samme energibehov til køling og/eller samme energibehov til overtemperaturer. Der sker dog en forøgelse af energibehovet til mekanisk ventilation, idet setpunktet, som i energirammeberegningen opretholdes til naturlig ventilation, er identisk med setpunktet, som opretholdes ved mekanisk ventilation. Forøgelsen af energibehovet til mekanisk ventilation kan være i størrelsesorden omkring 0,5 kWh/m² pr. år primærenergi og anses som værende af betydning for energirammeberegningen. Det er således at betragte som en begrænset underestimering af isoleringskoddens egenskaber i energirammeberegningen. Det er forfatterens vurdering af en dokumenteret virkning af isoleringskoden er tillægsberettiget svarende til tillægget i energibehovet til ventilation.

Regulering af dynamiske facader

Da hele ideen i en dynamisk facade er, at forskellige elementtyper hele tiden skal reguleres optimalt i forhold til indeklima og energiforbrug, bør der udvikles en form for integreret regulering eller styring af elementerne i samspil med hinanden. Det betyder, at der både skal reguleres efter solindfald, lysindfald, indetemperatur, luftkvalitet og udsyn. Men reguleringen skal ikke 'bare regulere'. I det enkelte øjeblik er det ikke tilstrækkeligt at se på værdien af de regulerede størrelser, da flere tiltag kan have samme virkning. Er indetemperaturen fx for høj, kan varmebelastningen reduceres ved at lukke solafskærmningen mere i, men den samme virkning kan i nogle tilfælde opnås ved at øge ventilationen (afhængigt af forskellen mellem inde- og udetemperatur). Den optimale strategi afhænger altså af flere forhold, i dette eksempel fx også af, om der vil være tilstrækkeligt dagslys, når afskærmningen lukkes mere i. Ved udvikling af en egentlig integreret reguleringssystem for en dynamisk facade, må det besluttes, om reguleringen også skal omfatte fx belysning, ventilation og opvarmning. Dette kan måske blive aktuelt på længere sigt, men i det følgende beskrives forslag til et simpelt reguleringssystem, der forsøger at opretholde alle indeklima setpunkter i brugstiden.

Samspil med bygningsinstallationer

Den dynamiske facade skal være i samspil med bygningsinstallationerne og bør reguleres efter en begrænsning af de passive kilder, før der tages fat i aktive kilder, fx bør der afskærmes for solvarme før aktiv køling i den tilstødende zone. Det er således målet for den dynamiske facade at kunne håndtere påvirkningen fra udeklimaet på indeklimaet og således tage højde for facadens indvirkning på indeklimaet. Facadens fundamentale formål er at kunne beskytte indeklimaet fra udeklimaet og samtidig bevare kontakten med udeklimaet. Dette resulterer i følgende dynamiske egenskaber, som den dynamiske facade skal kunne håndtere:

- Kontrol af varmetransport
- Kontrol af solvarmetilskud
- Kontrol af dagslystilskud
- Kontrol af energilagring
- Kontrol af frisklufttransport.

Med de teknologier, der typisk arbejdes med i dynamiske facade, kan alle felter bringes i spil i en samlet styringsstrategi for facaden, der således giver det laveste energibehov til bygningsdrift uden at kompromittere indeklimaet mere end højest nødvendigt.

Kontrol af varmetransport

Isoleringsskoddens formål er at mindske energibehovet til opvarmning. Denne teknologi er primært aktiv uden for brugstiden og skal dermed kunne evaluere forhold, hvor isoleringsskoden er foran vinduet og dermed er medvirkende til at reducere solvarmetilskuddet væsentligt, eller væk fra vinduet og dermed er medvirkende til at maksimere solvarmetilskuddet. Evalueringen til indarbejdelse i styringsstrategien følger således

$$\Phi_{rad} = \begin{cases} \sum_i B_i (t_{room} - t_i) - \sum_j \Phi_j - \Phi_{sol} g_w \\ \min \left\{ \sum_i B_{i+shut} (t_{room} - t_i) - \sum_j \Phi_j - \Phi_{sol} g_{w+shut} \right\} \end{cases}$$

Kontrol af solvarmetilskud og dagslystilskud

Facadens egenskab til at kontrollere solvarmetilskud og dagslystilskud er forhold, der komplementerer og modarbejder hinanden set i forhold til ønsket om passiv solvarme, minimering af varmebelastninger og skabelse af behagelige dagslysforhold. Det er således hensigten, at den dynamiske facade skal have to styringstilstande:

- Comfort-mode, hvor hensynet til brugeren prioriteres
- Energy-mode, hvor hensynet til energibehov prioriteres.

Ved Comfort-mode prioriteres brugeren og dermed dagslyset, blænding, udsyn og privatliv. I det følgende beskrives styringsstrategien for dagslys, idet denne anses for at være den mest generiske, mens blænding, udsyn og privatliv er mere enkeltstående tilfælde, der skal håndteres særskilt.

Fælles for comfort-mode og energy-mode er, at aktiveringen af solafskærmningen sker under hensyntagen til energibalancen over facaden. Denne balance evalueres med afsæt i facadens isoleringsevne, facadens transparens og den interne belastning bag ved facaden. Samspillet mellem disse indikerer, om facaden bidrager til at opvarme rummet negativt og dermed kræver minimering af solvarmebelastningen, eller om facaden bidrager positivt med passiv solvarme til minimering af varmebehovet. Dette relaterer alt samme til et ønsket setpunkt.

Solafskærmningen er således aktiv, når følgende betingelse er opfyldt:

$$\frac{\Phi_{sol} g_w A_w + \sum_i B_i (t_i - t_{set}) + \sum_j \Phi_j}{K} + t_{rum} > t_{set}$$

Parameteren K er omregning fra W til grader C og er uden betydning for aktivering af solafskærmningen. Aktiveringen af solafskærmningen er drevet af udetemperaturen, dimensionerende varmetab og solindfaldet. Rummets aktuelle temperatur i forhold til ønskede setpunkt er ligeledes en indikator for, om solafskærmningen skal aktiveres.

For et rum med et dimensionerende varmetab på 40 W/m² vil aktiveringen af solafskærmningen som funktion af solindfald på facaden og udetemperaturen være som vist i tabel 31.

Tabel 30. Eksempel på kriterier for aktivering af solafskærmningen ud fra solindfald og udetemperatur.

Solindfald, W/m ²	0	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Udetemperatur °C													
-20	-	-	-	-	-	-	-	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
-10	-	-	-	-	-	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
0	-	-	-	-	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
10	-	-	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv
20	-	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv	Aktiv

Efter aktivering af solafskærmningen jævnfør ovenstående vil dagslys prioriteres ved at tillade åbning af solafskærmningen til et niveau, der tilfredsstiller det ønskede dagslysniveau. Styringen af solafskærmningen er oplagt at lave som PI-regulering eller blot P-regulering.

Energy-mode kræver evaluering af en ønsket solafskærmningsfaktor som funktion af rummets varmetab, interne belastninger, afvigelsen fra ønskede setpunkt (inkl. vægtningsfaktor) og solindfaldet. Den analytiske tilgang til

dette giver, at solafskærmningsfaktoren bestemmes som beskrevet i ligningen nedenfor:

$$F_s = \frac{K_s (t_{set} - t_{room}) + \sum_i B_i (t_{set} - t_i) - \sum_j \Phi_j}{\Phi_{sol} g_w}$$

Med kendskabet til solafskærmningens variation som funktion af udeklimaet vil det således være muligt at indstille solafskærmningen i den optimale position for opretholdelse af kriteriet for energy-mode.

Referencer

Aggerholm, S. & Grau, K. (2018). *Bygningers energibehov, Beregningsvejledning* (SBI-Anvisning 213, 5. udgave). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.

Andersen, K.T., Heiselberg, P. & Aggerholm, S. (2002). *Naturlig ventilation i erhvervsbygninger* (SBI-anvisning 202). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Christoffersen, J., et al. (1999). *Vinduer og dagslys. En feltundersøgelse i kontorbygninger* (SBI-rapport 318). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Lokaliseret 20160524 på: <http://www.sbi.dk/indeklima/lys/vinduer-og-dagslys/vinduer-og-dagslys/>

Dansk Standard. (2005). *Jalousier og skodder – Termisk og visuel komfort – Bestemmelse af ydeevne og klassifikation* (DS/EN 14501:2005). Charlottenlund. Lokaliseret 20160524 på: <http://webshop.ds.dk/product/50846/dsen-145012005.aspx>

Dansk Standard. (2006). *Solafskærmningsudstyr kombineret med ruder – Beregning af solenergi- og lystransmission – Del 2: Detaljeret beregningsmetode* (DS/EN 13363-2/AC:2006). Charlottenlund. Lokaliseret 20160524 på: <http://webshop.ds.dk/product/M213223/dsen-13363-2ac2006.aspx>

Dansk Standard. (2017a). *Bygningers energieffektivitet – Byggekomponenters og -elementers varmetekniske samt sol- og dagslysrelaterede egenskaber – Del 1-3* (DS/EN ISO 52022-1:2017, DS/EN ISO 52022-2:2017 og DS/EN ISO 52022-3:2017). København: Dansk Standard. Lokaliseret på: <https://webshop.ds.dk/da-dk/s/c3%b8gning?q=Bygningers+energieffektivitet+%E2%80%93+Byggekomponenter+>

Dansk Standard. (2017b). *Dagslys i bygninger* (DSF/FprEN 17037). København: Dansk Standard.

Dansk Standard. (2016). *Daylight of buildings* (DSF/prEN 17037). Præliminær standard under udarbejdelse efter høring i 2016. København.

Johnsen, K. (2016). *Solafskærmninger* (SBI-anvisning 264). København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet København.

Johnsen, K & Winther, F. (2015). *Dynamic facades, the smart way of meeting the energy requirements*. 6th International Building Physics Conference, IBPC 2015. Published by Elsevier Ltd. In *Energy Procedia*, Volume 78, November 2015, Pages 1568-1573.

Miljøstyrelsen. (2007). *Tillæg til Miljøstyrelsens vejledning 5/1984: Ekstern støj fra virksomheder, juli 2007*. Lokaliseret på: https://mst.dk/media/92644/Virksomhedsstoej%20-%20Tillaeg%20til%20vejledning_end.pdf

Reinhold et al. (2008). *Lysstyring* (SBI-anvisning 220). Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut.

Trafik-, Bolig- og Byggestyrelsen. (2017). *Vejledning om funktionsafprøvnin-
g*. København.

Trafik-, Bolig- og Byggestyrelsen, (2018). *Bygningsreglementets vejledning
om korrektioner til 10 pct.-reglen for dagslys*. København.

Det er i praksis vanskeligt at opfylde bygningsreglementets nuværende og kommende energikrav uden særlige tiltag i facaden eller tilførsel af energi fra vedvarende energikilder. Med dynamiske facader, der kan tilpasse sig de skiftende behov over dagen og året, er det både muligt at overholde energirammen og opretholde et godt indeklima uden tilførsel af energi fra vedvarende energikilder.

Denne rapport beskriver, hvordan facader kan klassificeres efter de funktioner, de skal opfylde, og giver en vejledning i, hvordan energirammeberegninger med Be18 kan tage hensyn til facadernes dynamiske egenskaber. Klassificeringen kan anvendes på alle facadetyper og tager udgangspunkt i bygningsreglementet, arbejdsmiljøbestemmelser, regler fra Miljøstyrelsen og relevante standarder.

Rapporten henvender sig til projekterende arkitekter og ingeniører, der kan bruge den som et redskab, når de træffer beslutninger om energiefektive facadeudformninger i forbindelse med nybyggeri eller renovering.

1. udgave 2018
ISBN 978-87-563-1890-7