

SBI - prutt.

# Bygningers energibehov



Varmeisolering · Konstruktionseksempler · Ventilation · Belysning

SBI-ANVISNING 184 · STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT 1995





# Bygningers energibehov

Varmeisolering · Konstruktionseksempler · Ventilation · Belysning

SØREN AGGERHOLM  
HANS ZACHARIASSEN  
GEORG CHRISTENSEN  
PETER OLUFSEN  
VIBEKE CLAUSEN  
POUL ERIK PEDERSEN

STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT

00495 P

ex-3  
0 8 MAJ 1995

SBI

**SBI-anvisninger** er forskningsresultater bearbejdet til brug ved planlægning, projektering, udførelse, drift og vedligehold af bygninger og bebyggelser.

**SBI-publikationer** udgives i følgende serier: Anvisninger, Rapporter, Meddelelser, Byplanlægning og Beton. Publikationerne fås gennem boghandelen eller ved at tegne et SBI-abonnement. Instituttets årsberetning, publikationskatalog og publiceringsdiskette er gratis og kan rekvireres fra SBI.

**SBI-abonnement** er en rabatordning med mange fordele for dem, der vil sikre sig løbende orientering om væsentlige udgivelser inden for byggeforskningsområdet. Ring til SBI og hør nærmere.

ISBN 87-563-0883-3.

ISSN 0106-6757.

Pris: Kr. 250,00 inkl. 25 pct. moms.

Oplag: 4000.

Forlæg til figurerne i kapitlet Konstruktionseksempler:

Hans Zachariassen.

Tegninger: Børge Holmen, Henning Holmsted og

Annette Juul Muusfeldt.

Omslag: Henning Holmsted.

Tryk: Dyva Grafisk a/s, Glostrup.

Statens Byggeforskningsinstitut,

Postboks 119, 2970 Hørsholm.

Telefon 42 86 55 33.

Eftertryk i uddrag tilladt, men kun med kildeangivelsen:

*SBI-anvisning 184: Bygningers energibehov. 1995.*

# Forord

I det nye bygningsreglement (BR), som dækker etageboligbyggeri samt erhvervs- og institutionsbyggeri, er kravene til varmeisoleringen skærpet i forhold til tidligere, og der er indført nye krav til ventilation og belysning for at begrænse elforbruget. De skærpede energikrav i bygningsreglementet er en opfølgning af målsætningen i energihandlingsplanen Energi 2000.

I denne SBI-anvisning beskrives metoder til at eftervise, om bygninger opfylder de energimæssige krav til varmeisolering, ventilation og belysning, som stilles i BR. I anvisningen er der desuden vist eksempler på konstruktioner, som opfylder bestemmelserne om varmeisolering. Der er også et vejledende afsnit om mulig vinduesstørrelse i typisk byggeri.

Anvisningen erstatter for etageboligbyggeris samt erhvervs- og institutionsbyggeris vedkommende SBI-anvisning 111: Bygningers varmeisolering, 2. udgave. SBI-anvisning 111 kan stadig bruges ved vurdering af varmeisoleringen i småhuse.

Kapitlet om belysning er udarbejdet af Vibeke Clausen og Poul Erik Pedersen, DELTA Lys & Optik, i samråd med en følgegruppe nedsat af Bygge- og Boligstyrelsen. Civilingeniør Mogens Raun Byberg har udført beregningerne af konstruktionernes U-værdier i eksemplerne. Vi vil gerne takke dem for deres medvirken.

I tilknytning til anvisningen er der udarbejdet et edb-program til beregning af bygningers varmebehov. Programmet kan købes hos SBI.

Anvisningen er udarbejdet med støtte fra Bygge- og Boligstyrelsen samt Energistyrelsen.

Anvisningen henvender sig til rådgivende ingeniører, arkitekter, entreprenører og andre udførende inden for byggeri samt til offentlige myndigheder.

Statens Byggeforskningsinstitut  
Afdelingen for Energi og Indeklima, april 1995  
*Erik Christophersen*

# Indhold

<b>Forord</b> .....	5
<b>Anvisningen og BR</b> .....	8
<b>Varmeisolering</b> .....	10
U-værdier, 11	
Varmetabsramme, 12	
Eksempel: Varmetabsramme for etagehus, 15	
Mindste varmeisolering, 17	
Energiramme, 18	
Energiramme for boliger, 18	
Energiramme for andre bygninger, 19	
Opvarmet etageareal og bebygget areal, 21	
Beregning af varmebehov, 22	
Bygningers varmebehov, hovedskema, 23	
Bygningsdata, 23	
Ventilation, 25	
Varmetab, 26	
Tidskonstant, 27	
Internt varmetilskud, 27	
Varmebehov, 28	
Energiramme, 31	
Hjælpekema 1. Ydervægge, tage og gulve, 32	
Hjælpekema 2. Vinduer og yderdøre, 33	
Hjælpekema 3. Solindfald, 34	
Solvarme via uopvarmede rum, 38	
Hjælpekema 4. Varmebalance for uopvarmede rum, 39	
Hjælpekema 5. Mekanisk ventilation og udsugning, 41	
Eksempel: Varmebehov i etagehus, 44	
Glasaltaner, 49	
Eksempel: Varmebehov i administrationsbygning, 51	
Muligt vindues- og yderdørsareal, 56	
<b>Konstruktionseksempler</b> .....	59
Tunge ydervægge, 60	
Lette ydervægge, 62	
Andre ydervægge, 64	
Kælderydervægge og kældergulve, 66	
Terrændæk, 68	
Kælder- og krybekælderdek, 70	
Loft- og tagkonstruktioner, 72	

Eksempler på sammenbygning, 74	
Eksempler på indbygning af vinduer, 80	
<b>Ventilation</b> .....	82
Maksimalt elforbrug til lufttransport, 83	
Systemer med konstant luftydelse, 84	
Systemer med variabel luftydelse, 84	
Udeluft, returluft og recirkulationsluft, 86	
Økonomisk optimering, 87	
Eksempel, 87	
<b>Belysning</b> .....	89
Belysningskvalitet, 89	
Belysningsstyrke og blanding, 90	
Energiforbrug, 92	
Driftstid, 93	
Effektbehov, 94	
Komponenter, 95	
Lyskilder, 95	
Forkoblinger, 96	
Belysningsarmaturer, 97	
Belysningsvirkningsgrad, 100	
Rummets farver, 101	
Belysningsform, 101	
Vedligeholdelse, 102	
Zoneinddeling, 103	
Styring og regulering, 104	
Udendørsarealer og fælles adgangsveje, 106	
Eksempel: Effektbehov og energiforbrug i et kontor, 106	
Lysteknisk ordliste, 108	
<b>Summary</b> .....	111
<b>Litteratur</b> .....	113
<b>Stikordsregister</b> .....	115
<b>Symboliste på inderside af omslagets klap</b>	
<b>Skemaer indlagt i omslag, bagest</b>	

# Anvisningen og BR

hvilke hensyn der bør tages til belysningens kvalitet. Kapitlet om belysning adskiller sig lidt fra de øvrige kapitler, idet der gives en mere grundlæggende indføring i vurdering af energiforbrug og komfortforhold i forbindelse med belysningsanlæg. Desuden er der fyldige referencer til litteratur om vurdering af belysningskvalitet.

## Integreret design

For at opnå bygninger med lavt energiforbrug og god kvalitet på alle områder er der mange krav, som skal opfyldes. Det er kun en del af disse krav, der omtales i bygningsreglementet (BR) og anden lovgivning. Supplerende krav må opstilles i forbindelse med projekteringen af byggeriet. Ved at inddrage de energimæssige aspekter fra starten og i de første skitser, øges mulighederne for optimale løsninger.

## Indeklima

Ved udformning af bestemmelserne i bygningsreglementet er der lagt vægt på, at energikravene ikke begrænser muligheden for at opnå et godt indeklima. Det er op til de projekterende at sørge for et godt indeklima i bygningerne i kombination med et lavt energiforbrug.

## Anvisningens opbygning

Anvisningens kapitler svarer til de kapitler eller afsnit i bygningsreglementet [1], hvor der i vejledningsteksten er henvist til anvisningen. Det forudsættes, at læseren af anvisningen har kendskab til bygningsreglementets bestemmelser.

## Varmeisolering

Anvisningens første kapitel Varmeisolering refererer til bestemmelserne i BR, kapitel 8, med samme overskrift. I kapitlet beskrives blandt andet en metode til at beregne bygningers varmebehov. Metoden er baseret på forslag til ny europæisk standard prEN 832 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating – Residential buildings. Beregningerne kan udføres manuelt eller på edb, fx med programmet fra SBI. Skemaer til manuel beregning af varmebehovet er indlagt bag i anvisningen.

## Konstruktions-eksempler

I det efterfølgende kapitel Konstruktionseksempler er der vist eksempler på konstruktioner, som kan opfylde bygningsreglementets krav til U-værdier.

## Elforbrug til ventilation

Kapitlet Ventilation refererer til bestemmelserne i BR, afsnit 12.3 Ventilationsanlæg, stk. 9. I kapitlet beskrives det, hvordan elforbruget kan beregnes i forskellige typer mekaniske ventilationsanlæg til større bygninger. Beskrivelsen vedrører kun elforbruget til ventilatorerne. Varmeforbruget til opvarmning af ventilationsluften indgår i bygningens samlede varmebehov og er derfor beskrevet i kapitlet Varmeisolering.

## Elforbrug til belysning

Kapitlet Belysning refererer til bestemmelserne i BR, afsnit 12.9 Belysningsanlæg. I kapitlet beskrives det, hvordan energiforbrug og effektbehov i belysningsanlæg kan beregnes, og

# Varmeisolering

Bygningsreglementets hovedkrav til varmeisolering er, at bygninger skal varmeisoleres, så unødvendigt energiforbrug undgås, samtidig med at der opnås tilfredsstillende sundhedsmæssige forhold.

Kravene til varmeisolering af større bygninger som fx etageboliger, erhvervsbygninger og institutioner er indeholdt i bygningsreglementets kapitel 8: Varmeisolering.

Bygningsdelenes transmissionskoefficienter, de såkaldte U-værdier, skal beregnes som beskrevet i DS 418: Beregning af bygningers varmetab [3]. U-værdien er størrelsen af varmetabet i watt gennem 1 m<sup>2</sup> af bygningsdelen, ved en temperaturforskel på 1 Kelvin (eller grad Celsius). U-værdien har enheden W/m<sup>2</sup> K. U-værdier for typiske konstruktioner kan også findes fx i VIF's U-værdi-tabel [4].

Bygningsreglementets krav er, at bygningsdele mod det fri, herunder vinduer og yderdøre, af hensyn til kondensrisiko kun må indeholde kuldebroer i uvæsentligt omfang, og at den energimæssige virkning af kuldebroer skal medtages ved beregning af U-værdien for de enkelte bygningsdele. I ellers velisolerede konstruktioner kan kuldebroer have stor betydning for det resulterende transmissionstab. Det er således væsentligt nøje at vurdere og beregne kuldebroernes effekt.

Bygningsreglementet kræver også, at bygninger og bygningsdele, herunder vinduer og døre, skal udføres, så varmetabet ikke forøges væsentligt som følge af fugt, blæst eller utilstet luftgennemgang.

Eksempler på konstruktioner, der kan opfylde bygningsreglementets krav, er vist i anvisningens kapitel Konstruktionseksempler, side 59.

Bygningsreglementets varmeisoleringskapitel giver for en bygning opvarmet til mindst 18 °C tre muligheder for at opfylde kravet om at undgå unødvendigt energiforbrug.

- Overholdelse af U-værdi-krav til de enkelte bygningsdele og samtidig begrænsning af arealet af vinduer og yderdøre til højst 22 pct. af det opvarmede etageareal.

- Overholdelse af *varmetabsrammen* for bygningen med ændrede U-værdier og arealer af vinduer og yderdøre.

- Overholdelse af *energirammen* vedrørende bygningens varmebehov til opvarmning og ventilation.

BR, kap. 8

U-værdier, DS 418

Kuldebroer

Fugt, blæst og luftgennemgang

Konstruktions-eksempler

Tre muligheder

U-værdier og arealbegrænsning

Varmetabsramme (se side 12)

Energiramme (se side 18)

Energiøkonomi og fleksibilitet

Mindsteisolering

Rum opvarmet til mindst 5 °C

BR, afsnit 8.2

Der kan normalt opnås den bedste energiøkonomi og den største fleksibilitet med hensyn til valg af U-værdier og areal af vinduer og yderdøre ved at anvende energirammen.

Hvis varmetabsrammen eller energirammen bruges for at eftergive, at kravene til varmeisolering af en bygning er overholdt, skal mindstekravene til de enkelte bygningsdeles varmeisolering også overholdes.

Mindstekravene til varmeisolering af de enkelte bygningsdele gælder for alle bygningsdele omkring rum opvarmet til mindst 5 °C. Disse krav gælder således også for rum opvarmet til mellem 5 og 18 °C.

## U-værdier

En mulighed for at opfylde bygningsreglementets krav er, at alle bygningsdele har U-værdier, som er mindre end eller lig med størrelserne i tabel 1, samtidig med at det samlede areal af vinduer og yderdøre mod det fri højst er 22 pct. af bygningens opvarmede etageareal.

Tabel 1. U-værdi-krav til bygningsdele omkring rum opvarmet til mindst 18 °C ifølge BR.

Bygningsdel	U W/m <sup>2</sup> K
Ydervægge med vægt under 100 kg/m <sup>2</sup>	0,20
Ydervægge med vægt over 100 kg/m <sup>2</sup> og kældervægge mod jord	0,30
Skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,40
Etageadskillelser mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,30
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over ventileret kryberum eller fri luft	0,20
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge	0,15
Flade tage og skråvægge direkte mod tag	0,20
Vinduer og yderdøre, herunder ovenlys, glasvægge, porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	1,80

Lette og tunge ydervægge	Ydervægge med vægt under 100 kg/m <sup>2</sup> betegnes som lette ydervægge, mens vægge med vægt over 100 kg/m <sup>2</sup> betegnes som tunge. Ved beregning af vægten af ydervægge medregnes kun den del af konstruktionen, som ligger inden for et eventuelt ventileret hulrum. Lette vægge er ofte trækonstruktioner, mens tunge vægge ofte er i tegl eller beton, se i øvrigt konstruktionseksemplerne side 59-65.
Opvarmet etageareal	Det opvarmede etageareal beregnes som beskrevet for etagearealet i BR, afsnit 2.2.3, stk. 1, 2 og 5. I det opvarmede etageareal medregnes bruttoarealet af alle rum, som er opvarmet til mindst 18 °C. Se i øvrigt side 21.
Vindues- og yderdørsareal	Vindues- og yderdørsarealet beregnes af hulmålene, det vil sige den åbning i ydervæggen, som vinduet eller døren indbygges i.
Butikker	Etagearealet og arealet af vinduer og yderdøre i butikker og lignende i stueetagen medtages ikke i beregningen af vindues- og yderdørsprocenten.
Vinduer og yderdøre mod uopvarmede rum	Ved beregningen af vindues- og yderdørsarealet medregnes alene arealet af vinduer og døre mod det fri og ikke arealet af vinduer og døre mod uopvarmede eller delvis opvarmede rum.

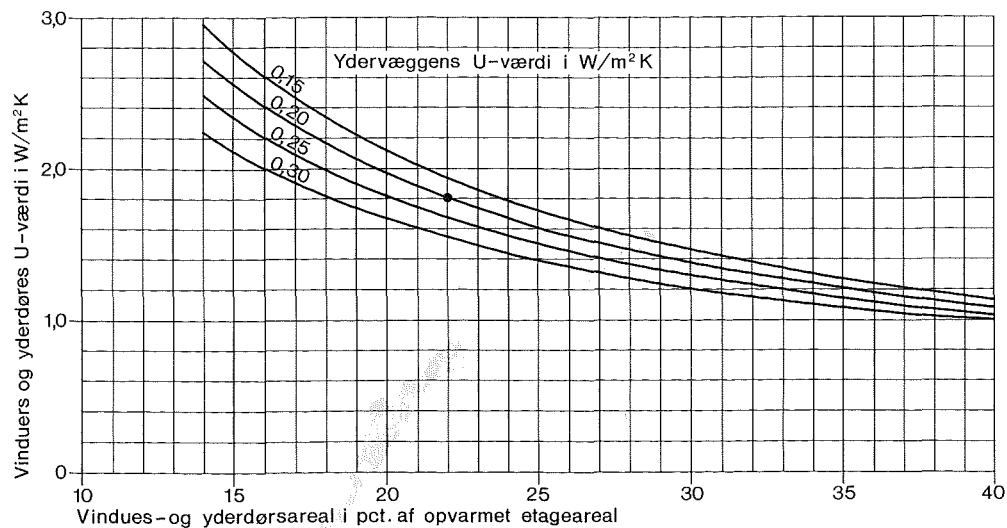
### Varmetabsramme

BR, afsnit 8.3	En eller flere bygningsdele må gerne have større U-værdi end anført i tabel 1, eller det samlede areal af vinduer og yderdøre mod det fri må gerne være mere end 22 pct. af det opvarmede etageareal, hvis bygningens samlede varmetab ved transmission ligger inden for den såkaldte varmetabsramme. <i>Ved varmetabsrammen forstås det dimensionerende varmetab ved transmission, beregnet for en referencebygning, hvis bygningsdele har U-værdier som angivet i tabel 1 og hvor vindues- og yderdørsarealet er 22 pct. af det opvarmede etageareal.</i>
DS 418	Ved beregning af varmetabsrammen benyttes DS 418 [3], afsnit 5.2, Foreløbig beregning af samlet transmissionstab. I det følgende gengives nogle af beregningsreglerne i DS 418.
Rumtemperatur	Ved beregningen anvendes samme rumtemperatur overalt, normalt 20 °C, også fx i baderum og bag radiatorer.
Udetemperatur	Den dimensionerende udetemperatur er normalt -12 °C. For skrå og vandrette tage regnes med 15 pct. forøgelse af varmetabet på grund af udstråling til himmelrummet i klart vejr.
Jordtemperatur	Den dimensionerende jordtemperatur er 8 °C, og bruges fx ved beregning af kældergulve og kælderydervægge inde under bygninger. For andre kælderydervægge bruges den dimensionerende udetemperatur ved beregning af varmetabet. For terrændæk med omtrent samme U-værdi for rand- og midterfelt bruges en temperatur på

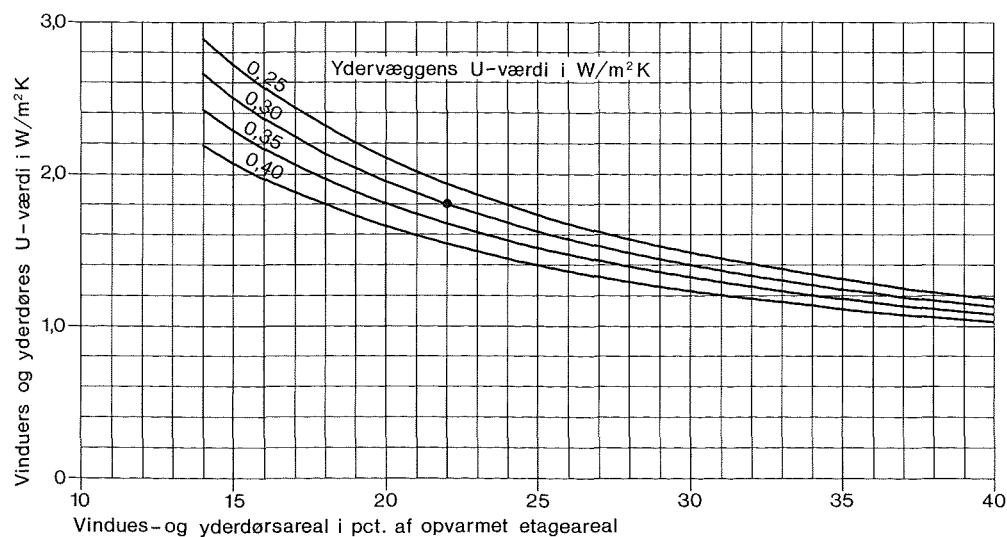
- + 1 °C for gulvarealer mellem 100 og 200 m<sup>2</sup>,
- + 3 °C for gulvarealer mellem 200 og 500 m<sup>2</sup>,
- + 5 °C for gulvarealer mellem 500 og 2000 m<sup>2</sup>.

Kryberumstemperatur	For gulvarealer under 100 m <sup>2</sup> bruges den dimensionerende udetemperatur på -12 °C. For gulvarealer over 2000 m <sup>2</sup> bruges den dimensionerende jordtemperatur på 8 °C. Den dimensionerende kryberumstemperatur for almindelige, stærkt ventilerede kryberum kan sættes til -5 °C. Temperaturen i andre kryberum kan beregnes ved opstilling af varmebalancen.
Uopvarmede rum	I uopvarmede rum kan temperaturen fastsættes skønsmæssigt, men bør i tvivlstilfælde kontrolleres ved efterregning, idet der opstilles en varmebalance for rummet.
Transmissionsarealer	Transmissionsarealerne bestemmes, som om skillevægge ikke forefindes.
Ydervægge	Ydervægges areal beregnes som produktet af indvendige vandrette mål og etagehøjden fra færdigt gulv til færdigt gulv. I bygningens øverste etage regnes med højden fra færdigt gulv til den indvendige vægflades skæring med oversiden af det varmeisolerende lag i loft eller tag.
Gulve, lofter og tage	Arealet af gulve og lofter beregnes af de indvendige mål og bestemmes, som om skillevægge ikke forefindes. Ved uopvarmede tagrum anvendes loftets areal.
Beregning af varmetab	Ved beregning af varmetabene skal der være samme fordeling af bygningsdelene i den aktuelle bygning og i referencebygningen. Der skal fx være samme fordeling af lette og tunge ydervægge, af flade tage, skråvægge og loftkonstruktioner med tagrum og af vinduer mod det fri og mod uopvarmede rum. Hvis varmetabsrammen bruges til at gøre fx et vindue større, skal arealet af den bygningsdel, hvor vinduet er placeret, gøres tilsvarende mindre.
Større vinduesareal	Varmetabsrammen kan blandt andet bruges til at få større vinduer i en bygning end svarende til 22 pct. vindues- og yderdørsareal i forhold til det opvarmede etageareal. Figur 1 viser for en bygning med lette ydervægge sammenhængen mellem vindues- og yderdørsarealet i pct. af opvarmet etageareal, vinduernes og yderdørenes U-værdi og ydervæggenes U-værdi. I figur 2 er det samme vist for en bygning med tunge ydervægge. Udgangspunktet for kurverne er bygningsreglementets U-værdi-krav, som er markeret på kurverne. Figureerne kan bruges til at vurdere valgmulighederne, inden der foretages beregning af varmetabsrammen. Det kan fx aflæses i figur 2 for tunge ydervægge at vindues- og yderdørsarealet kan øges til 25 pct. af det opvarmede etageareal, hvis der anvendes vinduer og yderdøre med en U-værdi på 1,6 W/m <sup>2</sup> K.





Figur 1. Vejledende sammenhæng mellem  $U$ -værdier i ydervægge og  $U$ -værdier og areal af vinduer og yderdøre mod det fri i lette ydervægge samt i skråvægge og flade tage.



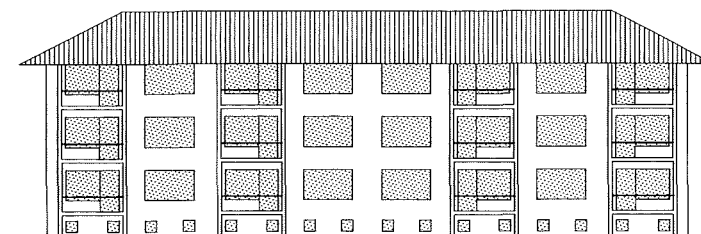
Figur 2. Vejledende sammenhæng mellem  $U$ -værdier i ydervægge og  $U$ -værdier og areal af vinduer og yderdøre mod det fri i tunge ydervægge.

### Eksempel: Varmetabsramme for etagehus

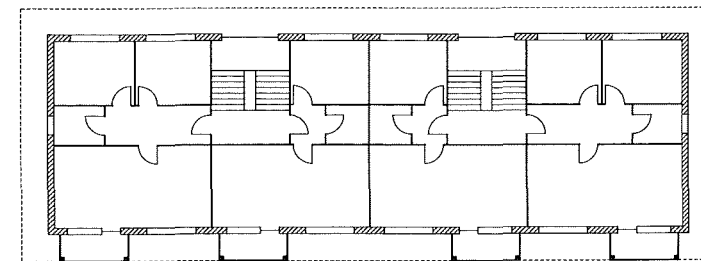
Et etagehus på 3 etager og kælder, se figur 3, er grundlag for dette eksempel og for de senere eksempler i forbindelse med beregning af varmebehov. I huset er der 6 små og 6 store lejligheder fordelt på 2 opgange. Husets udvendige mål er  $34,0 \text{ m} \times 10,6 \text{ m}$ . De 6 små lejligheder har et bruttoareal på  $65,5 \text{ m}^2$ , og de 6 store lejligheder har et bruttoareal på  $91,2 \text{ m}^2$ . Hver lejlighed har derudover en altan på  $5,0 \text{ m}^2$ .

Det opvarmede bebyggede areal er  $360,4 \text{ m}^2$  og det samlede opvarmede etageareal er  $1081,2 \text{ m}^2$ . Kælderen er uopvarmet, men isoleret svarende til kravene til rum opvarmet til mindst  $5^\circ\text{C}$ . Etagehøjden er  $2,8 \text{ m}$  i de to nederste boligetager og  $3,1 \text{ m}$  i den øverste boligetage. Den indvendige rumhøjde er  $2,5 \text{ m}$  i alle etager.

Ydervæggene er  $35 \text{ cm}$  hulmur, og de indvendige mål, når der ses bort fra skillevægge, er  $33,3 \text{ m} \times 9,9 \text{ m}$ . Transmissionsarealet for taget bliver således  $329,7 \text{ m}^2$ . Transmissions-



Facade



Plan

Figur 3. Etagehuset anvendt i eksemplet. Vindues- og yderdørsareal svarer til 22 pct. af det opvarmede etageareal.

arealet for de lodrette yderflader (dvs. ydervægge, vinduer og yderdøre) i boligetagerne er

$$2 \cdot (33,3 \text{ m} + 9,9 \text{ m}) \cdot (2 \cdot 2,8 \text{ m} + 3,1 \text{ m}) = 751,7 \text{ m}^2.$$

Dertil kommer 11,8 m<sup>2</sup> lodret yderflade og 11,8 m<sup>2</sup> kælder-ydervæg ved indgangspartierne i de to trapperum. Mod kælderen er der 282,7 m<sup>2</sup> kælderdek og 84,0 m<sup>2</sup> skillevæg ved trapperummene. Arealet af vinduer og yderdøre er 237,9 m<sup>2</sup>, svarende til 22,0 pct. af det opvarmede etageareal.

Varmetabsrammen for huset er 21,4 kW, se tabel 2. Hvis der vælges energiruder, og vinduer og yderdøre derved får en U-værdi på 1,6 W/m<sup>2</sup> K, kan vindues- og yderdørsarealet inden for varmetabsrammen øges til 25,2 pct. af det opvarmede etageareal, se tabel 3.

Tabel 2. Varmetabsramme for etagehuset i figur 3.

Bygningsdel	Areal m <sup>2</sup>	U-værdi W/m <sup>2</sup> K	Temp.dif. K	Varmetab W
Tag	329,7	0,15	37	1830
Kældergulv	47,0	0,20	12	113
Ydervæg	525,6	0,30	32	5046
Kælderydervæg	11,8	0,30	32	113
Kælderdek	282,7	0,30	5	424
Kælderskillevæg	84,0	0,40	5	168
Vinduer og yderdøre	237,9	1,80	32	13703
Varmetabsramme				21397

Tabel 3. Varmetab fra etagehuset i figur 3 ved større vinduesarealer med bedre isolerende energiruder.

Bygningsdel	Areal m <sup>2</sup>	U-værdi W/m <sup>2</sup> K	Temp.dif. K	Varmetab W
Tag	329,7	0,15	37	1830
Kældergulv	47,0	0,20	12	113
Ydervæg	491,5	0,30	32	4718
Kælderydervæg	11,8	0,30	32	113
Kælderdek	282,7	0,30	5	424
Kælderskillevæg	84,0	0,40	5	168
Vinduer og yderdøre	272,0	1,60	32	13926
Varmetab				21292

BR, afsnit 8.5

Opvarmning til frostfri tilstand

## Mindste varmeisolering

Alle bygningsdele omkring rum opvarmet til 5 °C eller mere skal have U-værdier, som er mindre end eller lig med størrelserne i tabel 4. Mindstekravene til varmeisolering gælder også for bygningsdele i bygninger opvarmet til mindst 18 °C. Mindstekravene til varmeisolering gælder således også for bygningsdele, hvor varmetabsrammen eller energirammen er benyttet til at reducere isoleringen i forhold til bygningsreglementets U-værdi-krav for bygninger opvarmet til mindst 18 °C.

Der er ingen specifikke krav i bygningsreglementet til varmeisolering af rum, der alene holdes frostfri om vinteren, men de skal overholde det generelle krav om at undgå unødigt energiforbrug. Ved rum, der holdes frostfri om vinteren, forstås rum, der højst opvarmes til 5 °C, og hvor varmen afbrydes ved højere rumtemperatur.

Tabel 4. U-værdi-krav til bygningsdele omkring rum opvarmet til mindst 5 °C ifølge BR.

Bygningsdel	U W/m <sup>2</sup> K
Ydervæg med vægt under 100 kg/m <sup>2</sup>	0,30
Ydervæg med vægt over 100 kg/m <sup>2</sup> og kælderydervægge mod jord	0,40
Skillevægge mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,60
Etageadskillelser mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	0,40
Terrændæk, kældergulve mod jord og etageadskillelser over ventileret kryberum eller over fri luft	0,30
Industrigulve, beregnet for tung belastning	0,60
Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge	0,25
Flade tage og skråvægge direkte mod tag	0,25
Vinduer og yderdøre, herunder ovenlys, glasvægge, porte og lemme mod det fri eller mod rum, der er uopvarmede eller opvarmet til en temperatur, der er mere end 8 °C lavere end temperaturen i det aktuelle rum	2,90

## Energiramme

BR, afsnit 8.4

Den tredje mulighed for at opfylde bygningsreglementets krav er at fastlægge bygningens varmeisolering på grundlag af energirammen og en beregning af bygningens samlede varmebehov til rumopvarmning og ventilation. *Energirammen angiver det maksimalt tilladte samlede årlige nettovarmebehov til opvarmning og ventilation pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal.*

Beregning

Eftervisningen af at energirammen er overholdt, sker på grundlag af en forenklet beregning, hvor der anvendes månedsmiddelværdier for fx vejrdata. Ved beregning af varmebehovet kan der bl.a. tages hensyn til solindfald, personvarme og bygningens varmeakkumulerende egenskaber.

I det følgende beskrives en beregningsmetode, der kan benyttes til at eftervise, at bygningsreglementets krav er overholdt. Beregningsmetoden kan benyttes både til boliger og til andre typer bygninger, fx til administration, undervisning, erhverv eller lettere industri.

### Energiramme for boliger

BR, afsnit 8.4.2

Bygningsreglementets krav til boliger er, at det samlede netto varmebehov til rumopvarmning og ventilation pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal højst må være

$$q_r = 160 + \frac{110}{e}$$

og at varmebehovet ikke må overstige

$$q_r = 250$$

hvor  $q_r$  er energirammen i MJ/m<sup>2</sup> pr. år,  
 $e$  er antallet af etager.

Antallet af etager er et decimaltal, der beregnes som

$$e = \frac{A_e}{e_{byg}}$$

hvor  $A_e$  er opvarmet etageareal i m<sup>2</sup>,  
 $A_{byg}$  er opvarmet bebygget areal i m<sup>2</sup>.

Vedrørende beregning af opvarmet etageareal og bebygget areal, se side 21. Størrelsen af energirammen for boliger med et luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup> er angivet i tabel 5.

Energirammen er i bygningsreglementet angivet i den grundlæggende SI-enhed MJ. 1 kWh er det samme som 3,6 MJ.

I nogle boliger kan kravet i BR, afsnit 11.2.2 om mekanisk udsugning fra køkken, bade- og wc-rum medføre, at luftskiftet i bolighederne overstiger 0,5 h<sup>-1</sup>. I boliger, hvor afkastluf-

1 kWh = 3,6 MJ

Mekanisk udsugning  
fra boliger  
BR, afsnit 11.2.2

Tabel 5. Energiramme for boliger med et luftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup>.

Antal etager $e$	Energiramme $q_r$ MJ/m <sup>2</sup> pr. år
1	250
1½	233
2	215
3	197
5	182

tens overskud af varme ikke nyttiggøres til opvarmning af den tilførte udeluft, forøges energirammen svarende til varmebehovet for opvarmning af den volumenstrøm, der på grund af BR's krav til udsugning overstiger et udeluftskifte på 0,5 h<sup>-1</sup>. Tillægget til energirammen beregnes som

$$\Delta q_r = 400 \cdot (q_{vm} - 0,3)$$

hvor  $\Delta q_r$  er tillægget til energirammen for mekanisk udsugning i MJ/m<sup>2</sup> pr. år,

$q_{vm}$  er udsuget volumenstrøm i boligerne i l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

Vedrørende beregning af opvarmet bruttoareal se side 21.

Ved beregning af tillægget medtages kun det bruttoareal, som den mekaniske udsugning dækker og kun de boligheder, hvor udeluftskiftet overstiger 0,5 h<sup>-1</sup> eller udsugningen overstiger 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

Tillægget til energirammen gives ikke, hvis der er mekanisk ventilation i boligen med både indblæsning og udsugning. Sådanne anlæg skal ifølge bestemmelserne i BR, afsnit 12.3, stk. 8, normalt være forsynet med effektiv varmegenvinding, fx pladevarmevekslere eller genvindingsvarmeflader.

Hvis der alene er varmegenvinding fra udsugningsluften til opvarmning af varmt brugsvand, fx med en varmepumpe, og der ikke er mekanisk indblæsning af erstatningsluften, gives tillægget i boliger, hvor der ifølge BR er krav om mekanisk udsugning.

### Energiramme for andre bygninger

BR, afsnit 8.4.3

Bygningsreglementets krav til andre bygninger end boliger er, at det samlede netto varmebehov til rumopvarmning og ventilation pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal højst må være

$$q_r = 110 + \frac{5000}{A_{byg}} + \frac{110}{e}$$

og at varmebehovet ikke må overstige

$$q_r = 250$$

hvor  $q_r$  er energirammen i MJ/m<sup>2</sup> pr. år,  
 $A_{byg}$  er opvarmet bebygget areal i m<sup>2</sup>,  
 $e$  er antallet af etager (beregnes på samme måde som for boliger).

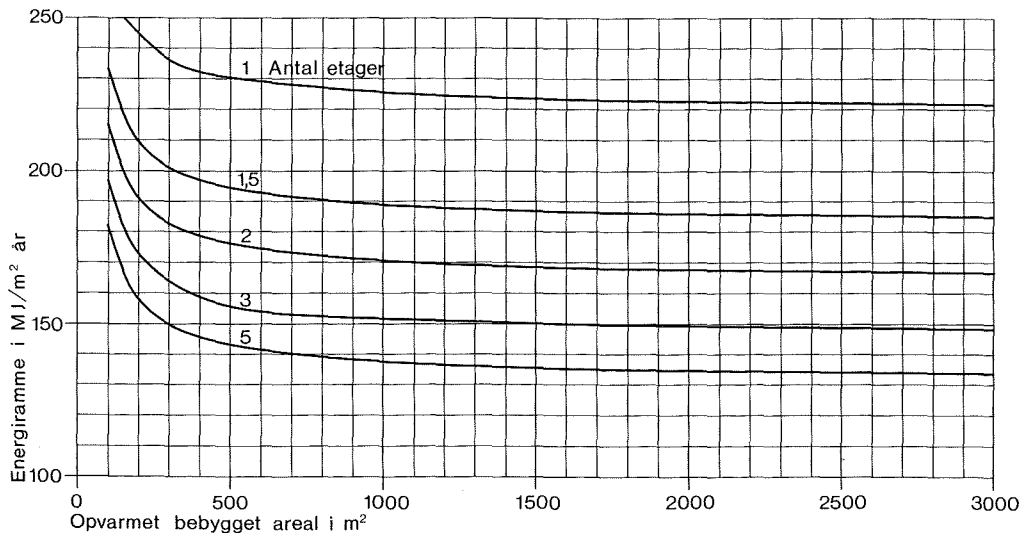
Energirammen for andre bygninger end boliger og med naturlig ventilation er vist i figur 4.

Vedrørende beregning af opvarmet areal og bebygget areal, se side 21.

I andre bygninger end boliger, som har balanceret mekanisk ventilation og varmegenvinding, gives der tillæg til energirammen, hvis udeluftskiftet ved mekanisk ventilation overstiger 2,0 h<sup>-1</sup> i opvarmningssæsonen. I ventilationsanlæg med varmegenvinding med en temperaturvirkningsgrad på 0,6 dækker tillægget netop det ekstra varmebehov til mekanisk ventilation. Tillægget kan beregnes som

$$\Delta q_r = 1,0 \cdot T_d \cdot (q_{vm} - 1,2)$$

Mekanisk ventilation med varmegenvinding



Figur 4. Sammenhæng mellem energiramme, opvarmet bebygget areal og etageantal, gældende for andre bygninger end boliger, under forudsætning af at der er naturlig ventilation.

hvor  $\Delta q_r$  er tillægget til energirammen for mekanisk ventilation med varmegenvinding i MJ/m<sup>2</sup> pr. år,  
 $T_d$  er driftstiden i opvarmningssæsonen i timer/uge,  
 $q_{vm}$  er udeluftstrømmen i ventilationsanlægget i l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

Vedrørende beregning af opvarmet bruttoareal se næste afsnit.

Ved beregning af tillægget medtages kun bruttoarealet af de områder i bygningen, som ventilationsanlægget dækker, og hvor udeluftskiftet fra ventilationsanlægget overstiger 2,0 h<sup>-1</sup> eller 1,2 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal. Beregningen kan eventuelt foretages samlet for flere ventilationsanlæg.

I ventilationsanlæg, hvor der af hensyn til sikkerhed eller sundhed ikke kan etableres varmegenvinding, eller hvor afkastluftens varmeindhold ikke kan nyttiggøres, gives der i stedet et tillæg til energirammen på

$$\Delta q_r = 2,4 \cdot T_d \cdot (q_{vm} - 0,6)$$

hvor  $\Delta q_r$  er tillægget til energirammen for mekanisk ventilation uden varmegenvinding i MJ/m<sup>2</sup> pr. år,

$T_d$  er driftstiden i opvarmningssæsonen i timer/uge,  
 $q_{vm}$  er udeluftstrømmen i ventilationsanlægget i l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

Ved beregning af tillægget medtages kun bruttoarealet af de områder i bygningen, som ventilationsanlægget dækker, og hvor udeluftskiftet fra ventilationsanlægget overstiger 1,0 h<sup>-1</sup> eller 0,6 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

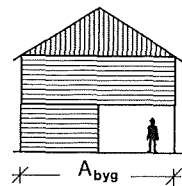
### Opvarmet etageareal og bebygget areal

Ved beregning af det opvarmede etageareal  $A_e$  medregnes alle rum opvarmet til mindst 18 °C, også fx eventuelt opvarmede glasrum og kældre. Det opvarmede bebyggede areal  $A_{byg}$  beregnes som det opvarmede etageareals projektion på vandret plan. Der er ikke i bygningsreglementet krav til rumtemperaturer, og der er derfor en vis frihed til at vælge, om sekundære rum regnes opvarmet til mindst 18 °C, eller om de er uopvarmede eller opvarmet til lavere temperatur.

En bygnings opvarmede etageareal beregnes som beskrevet for etagearealet i BR, afsnit 2.2.3, stk. 1, 2 og 5. Nedenfor gengives hovedindholdet af reglerne. Yderligere detaljer må findes i bygningsreglementet.

En bygnings opvarmede etageareal beregnes ved sammenlægning af bruttoarealerne af samtlige opvarmede etager, herunder opvarmede kældre og tagetager. Bruttoarealet måles i et

Anlæg uden varmegenvinding



BR, afsnit 2.2.3

Bruttoareal

plan bestemt af oversiden af færdigt gulv og til ydersiden af ydervæggene. I udnyttelige tagetager medregnes alene det areal, der i et vandret plan 1,5 m over færdigt gulv ligger inden for planets skæring med tagbeklædningens udvendige side. Ved fælles vægge mellem rum, der skal medregnes til hver sin etage, måles til midten af den fælles væg.

Rum, der går gennem flere etager, medregnes kun til den etage, i hvilken gulvet er beliggende. Trapper, trapperum, altangange og elevatorskakter medregnes dog for hver etage.

### Beregning af varmebehov

Eftervisning af at en bygnings samlede varmebehov til rumopvarmning og ventilation overholder energirammen, kan ske ved anvendelse af en forenklet beregningsmetode. I det følgende beskrives metoden, der kan anvendes både for boliger og for andre typer bygninger.

Metoden er baseret på månedsvist beregning af varmetab og udnytteligt varmetilskud for bygningen. Ved beregningen anvendes månedsmiddelværdier for udetemperatur og solstråling, og der tages hensyn til varmetilskuddet fra solindfald, personer, belysning og apparatur samt bygningens varmeakkumulerende egenskaber.

Beregningen gennemføres kun for den del af året, hvor der kan være behov for opvarmning, det vil sige perioden september til og med maj (opvarmningssæsonen).

Metodens sigte er beregning af varmebehovet i bygninger opvarmet til mindst 18 °C, hvilket er en forudsætning for at benytte energirammen til at eftervise overholdelse af bygningsreglementets krav. Ved beregningen anvendes der normalt en rumtemperatur på 20 °C.

Metoden er en videreudvikling af den beregningsmetode, som Bygningsreglement for småhuse, BR-S 85 [2] henviser til. Den tidligere beregningsmetode var alene til beregning af varmebehovet i småhuse og blev blandt andet brugt til lavenergihuse. Metoden er beskrevet i SBI-rapport 148: Beregning af energiforbrug i småhuse.

Den foreliggende beregningsmetode er udformet, så den også kan benyttes til fx etageejendomme og andre typer bygninger, fx kontor- og erhvervsbygninger. Ved metodens udformning er der blandt andet taget hensyn til et forslag til europæisk standard prEN 832: Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating – Residential Buildings, samt et udkast til en tilsvarende standard for Non-Residential Buildings. Standarderne er endnu ikke vedtaget.

Skemaer

Beregningen gennemføres ved at udfylde et hovedskema (se side 24) med de væsentligste bygningsdata og resultater samt et antal hjælpeskemaer med beregninger. Der er fem forskellige hjælpeskemaer. Antallet af skemaer, der skal bruges, afhænger af bygningens kompleksitet. Ved beregning af store bygninger kan der være behov for at anvende flere eksemplarer af det samme hjælpeskema. Skemaerne er indlagt i anvisningen og kan frit kopieres.

Edb-program

I stedet for at udfylde skemaerne i hånden kan beregningerne gennemføres ved hjælp af et edb-program, som SBI har udviklet til formålet. Programmet er opbygget, så det ligner den manuelle udfyldelse af skemaerne. Programmet afvikles på pc under MS-Windows.

I det følgende beskrives beregningsmetoden skema for skema. Beskrivelsen følger skemaernes opbygning. Sidst i afsnittet er der eksempler på beregning af varmebehovet i det tidligere anvendte etagehus i figur 3 og i en administrationsbygning.

### Bygningers varmebehov, hovedskema

Formål

Skemaet side 24 bruges til at angive de væsentligste bygningsdata og beregningsresultater, at opstille den samlede varmebalance for bygningen og at sammenligne varmebehovet med energirammen.

Hovedskemaet og hvert af de fem hjælpeskemaer har det samme hoved med plads til identifikation af bygningen, dato for udfyldelse og navn eller initialer for den, der har udført beregningerne.

### Bygningsdata

Enfamiliehuse

Bygningens type afkrydes i hovedskemaet. Enfamiliehuse er huse med en bolig til helårsbeboelse, som er omfattet af bestemmelserne i Bygningsreglement for småhuse, BR-S 85 [2]. Dette gælder også selv om en del af huset anvendes til erhverv, som sædvanligvis kan udøves i forbindelse med en bolig, fx liberale erhverv som frisør, ejendomshandler, advokat, revisor og arkitekt samt dagpleje.

Beregning af varmebehovet i enfamiliehuse er medtaget i anvisningen, fordi de kan beregnes efter samme metode som større bygninger. Enfamiliehuse kan enten være fritliggende eller sammenbyggede fx som dobbelthuse, rækkehuse, kædehuse og gruppehuse.

Tofamiliehuse

Tofamiliehuse, hvor de to boliger er adskilt af et vandret lejlighedsskel, er ikke omfattet af bestemmelserne i BR-S 85,

Rum gennem flere etager

Månedsværdier

Opvarmningssæson

Rumtemperatur

SBI-rapport 148

Europæisk standard

# Hovedskema. Bygningers varmebehov

Firma:							
Bygning:				Dato:		Init.:	
<b>Bygningsdata</b>							
<input type="checkbox"/> Enfamiliehus <input type="checkbox"/> Anden bolig <input type="checkbox"/> Anden bygning Rumtemperatur $\theta_r =$ _____ °C		Opvarmet etageareal $A_e$ m <sup>2</sup>		Opvarmet bebygget areal $A_{byg}$ m <sup>2</sup>		Antal etager $e = A_e/A_{byg}$	Normal brugstid $T_b$ timer/uge
<b>Ventilation</b>							
For bygninger med naturlig ventilation beregnes ventilationen her. For bygninger med mekanisk ventilation eller udsugning overføres resultatet fra hjælpeskema 5.		Ventilation i brugstiden $q_{vb}$ l/s m <sup>2</sup>		Ventilation ubenyttet $q_{vu}$ l/s m <sup>2</sup>		Beregningsmæssig vent. $q_v$ (1) m <sup>3</sup> /s	Ventilationsvarmetab $H_V = 1210 \cdot q_v$ W/K
<b>Varmetab</b>							
							Varmetab $H$ W/K
Ydervægge, tage og gulve mod det fri, jord eller uopvarmede rum (fra hjælpeskema 1) . . . . .							$H_T =$
Vinduer og yderdøre mod det fri eller uopvarmede rum (fra hjælpeskema 2) . . . . .							$H_T =$
Ventilation (fra forrige skemaafsnit) . . . . .							$H_V =$
							I alt
<b>Tidskonstant</b>							
						Varmekapacitet $c$ Wh/K m <sup>2</sup>	Tidskonstant $\tau = A_e \cdot c/H$ timer
<b>Internt varmetilskud</b>							
						Tilskud, brugstid $\Phi_{ib}$ W/m <sup>2</sup>	Tilskud, middel $\Phi_i$ (2) W
<b>Varmebehov</b>							
	Varmetab $Q_i$ (3) MJ/måned	Solindfald $Q_s$ (4) MJ/måned	Internt tilskud $Q_i$ (5) MJ/måned	Samlet tilskud $Q_g = Q_s + Q_i$ MJ/måned	Relativt tilskud $\gamma = Q_g/Q_i$	Udnyt.-faktor $\eta$ (6)	Varmebehov, rum og vent. $Q_h = Q_i - \eta \cdot Q_g$ MJ/måned
September							
Oktober							
November							
December							
Januar							
Februar							
Marts							
April							
Maj							
	I alt				$Q_h$		MJ/år
	Pr. m <sup>2</sup> opvarmet etageareal				$q_h = Q_h/A_e$		MJ/m <sup>2</sup> år
<b>Energiramme</b>							
							Energiramme $q_r$ MJ/m <sup>2</sup> år
Energiramme uden tillæg . . . . .							
Tillæg vedrørende mekanisk ventilation og udsugning (fra hjælpeskema 5) . . . . . $\Delta q_r = \Delta Q_i/A_e$							
Resultierende energiramme . . . . .							

(1)  $q_v = 0,001 \cdot A_e \cdot [\beta \cdot q_{vb} + (1 - \beta) \cdot q_{vu}]$ , hvor  $\beta = T_b/168$   
 (2)  $\Phi_i = A_e \cdot \Phi_{ib} \cdot T_b/168$   
 (3)  $Q_i = 0,0864 \cdot D \cdot H \cdot (\theta_i - \theta_{u,i})$ , hvor  $D$  og  $\theta_{u,i}$  fås fra tabel 7

(4)  $Q_s$  Overføres fra hjælpeskema 3  
 (5)  $Q_i = 0,0864 \cdot D \cdot \Phi_i$   
 (6)  $\eta$  Af læses i figur 5

men af bestemmelserne i BR, og skal derfor henregnes under andre boliger.

Andre boliger

Andre boliger er alle typer boliger med vandrette lejligheds-skæl mellem boligerne, som er omfattet af bestemmelserne i BR, herunder fx etageejendomme, kollegier, døgninstitutioner og tofamiliehuse.

Andre bygninger

Andre bygninger er alle andre typer byggeri end boliger, fx bygninger til administration, undervisning, handel, daginstitutioner eller lettere industri, som er omfattet af bestemmelserne i BR.

Rumtemperatur

Ved beregning af varmebehovet forudsættes samme rumtemperatur  $\theta_r$  på mindst 20 °C i hele den opvarmede del af bygningen. Hvis en del af bygningen er uopvarmet eller opvarmet til en rumtemperatur lavere end 18 °C, kan det vælges enten at lade den indgå i det opvarmede areal eller lade den indgå i beregningen som uopvarmede rum. Uanset hvordan et område af bygningen indgår i beregningen af varmebehovet, skal kravene til mindste varmeisolering af de enkelte bygningsdele altid overholdes.

Opvarmet etageareal, bebygget areal og etager

Bygningens opvarmede etageareal  $A_e$ , det opvarmede bebyggede areal  $A_{byg}$  og antallet af etager  $e$  beregnes som tidligere beskrevet, se side 21 og 18. Ved beregning af det opvarmede areal skal der tages der hensyn til eventuelle valg om beregningsmæssigt at lade dele af bygningen, fx trapperum, der er uopvarmet eller opvarmet til en rumtemperatur lavere end 18 °C, indgå i det opvarmede areal.

Brugstid

For boliger regnes med en brugstid på 168 timer/uge. Brugstiden i andre bygninger er det gennemsnitlige antal timer pr. uge, hvor bygningen er i normal brug. Brugstiden fastsættes efter de faktiske forhold. I administrationsbygninger er brugstiden fx ofte ca. 45 timer/uge, når der ses bort fra eventuel rengøring uden for normal arbejdstid.

## Ventilation

Ventilationsvarmetabet for bygninger med naturlig ventilation kan beregnes direkte i hovedskemaet, mens den beregningsmæssige ventilation i bygninger med mekanisk ventilation eller udsugning bestemmes i hjælpeskema 5, se side 41.

Boliger med naturlig ventilation

I boliger med naturlig ventilation regnes ventilationen altid at være mindst 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal i hele boligen. Ved naturlig ventilation sker luftudskiftningen i boligen gennem udeluftventiler, aftrækskanaler og tilfældige utætheder i klimaskærmen samt ved åbning af vinduer og døre. Boliger regnes også for naturligt ventilerede, selv om der er små udsugningsventilatorer i bade- og wc-rum og emhætte i køkken.

Andre bygninger med naturlig ventilation

I andre bygninger med naturlig ventilation regnes med en ventilation på mindst 0,6 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal i brugstiden og på mindst 0,1 l/s m<sup>2</sup> uden for brugstiden. Bygninger kan også regnes for naturligt ventilerede, selv om der er mekanisk udsugning fra fx toiletter, hvis den mekaniske udsugning ikke dominerer det samlede udeluftskifte.

Beregningsmæssig ventilation

Den beregningsmæssige ventilation bestemmes som

$$q_v = 0,001 \cdot A_e \cdot [\beta \cdot q_{vb} + (1 - \beta) \cdot q_{vu}]$$

hvor  $q_v$  er den beregningsmæssige ventilation i m<sup>3</sup>/s,

$A_e$  er det opvarmede etageareal i m<sup>2</sup>,

$\beta$  er den relative brugstid,

$q_{vb}$  er ventilationen i brugstiden i l/s m<sup>2</sup>,

$q_{vu}$  er ventilationen uden for brugstiden i l/s m<sup>2</sup>.

Faktoren 0,001 er en omsætning fra liter til m<sup>3</sup> og har enheden m<sup>3</sup>/l.

Den relative brugstid bestemmes som

$$\beta = \frac{T_b}{168}$$

hvor  $\beta$  er den relative brugstid,

$T_b$  er brugstiden i timer/uge.

Faktoren 168 er antallet af timer på en uge.

Ventilationstab

Det specifikke varmetab ved ventilation er varmetabet ved en temperaturforskel på 1 kelvin (eller grad celsius) mellem ude- og indetemperatur. Det specifikke varmetab ved ventilation beregnes som

$$H_V = 1210 \cdot q_v$$

hvor  $H_V$  er specifikt ventilationstab i W/K,

$q_v$  er den beregningsmæssige ventilation i m<sup>3</sup>/s.

Faktoren 1210 er varmekapaciteten for luft ved 20 °C og har enheden J/m<sup>3</sup> K.

### Varmetab

En bygnings specifikke varmetab  $H$  er summen af transmissionstabene  $H_T$  og ventilationstabene  $H_V$ .

Transmissionstab

Det specifikke varmetab ved transmission gennem ydervægge, tage og gulve mod det fri, jord eller uopvarmede rum herunder gulve over uopvarmede kældre og kryberum, beregnes i hjælpeskema 1, se side 32, og overføres til hovedskemaet. På tilsvarende vis beregnes det specifikke varmetab ved transmission gennem vinduer og yderdøre samt ovenlys, glasvægge, porte og lemme i hjælpeskema 2, se side 33.

Ventilationstab

Det ovenfor beregnede specifikke varmetab ved ventilation overføres.

### Tidskonstant

Bygningens tidskonstant beregnes som

$$\tau = A_e \cdot \frac{c}{H}$$

hvor  $\tau$  er tidskonstanten i timer,

$A_e$  er bygningens opvarmede etageareal i m<sup>2</sup>,

$c$  er bygningens varmekapacitet i Wh/K m<sup>2</sup>,

$H$  er bygningens varmetab i W/K.

Varmekapacitet

Bygningens aktive varmekapacitet er varmeakkumulerings-evnen svarende til den varme, der bliver oplagret og afgivet ved en døgnsvingning. Det er især de indvendige konstruktioner i vægge, loft og gulv, som har betydning for bygningens varmekapacitet, mens vinduer, døre og inventar har mindre betydning. Typiske værdier for varmeakkumuleringen i bygninger med forskellige indvendige konstruktioner er vist i tabel 6.

Tabel 6. Bygningers varmekapacitet.

Beskrivelse	Indvendige konstruktioner	Varmekapacitet $c$ Wh/K m <sup>2</sup>
Ekstra let	Lette vægge, gulve og lofter, fx skelet med plader eller brædder, helt uden tunge dele	40
Middel let	Enkelte tungere dele, fx betondæk med trægulv eller porebetonvægge	80
Middel tung	Flere tunge dele, fx betondæk med klinker og tegl- eller klinkerbetonvægge	120
Ekstra tung	Tunge vægge, gulve og lofter i beton, tegl og klinker	160

Boliger

### Internt varmetilskud

Det gennemsnitlige interne varmetilskud i boliger fra personer, belysning og el-udstyr sættes til 5 W pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal i middel for hele den opvarmede del af boligen og hele døgnnet i opvarmings sæsonen. Varmetilskuddet indehol-

der kun den del af elforbruget, som eventuelt kan nyttiggøres. Derudover vil der ofte være et elforbrug som ikke kan bidrage til det interne varmetilskud, fx til udendørs belysning, olie- eller gasbrændere, pumper eller ventilatorer.

Andre bygninger

Det gennemsnitlige interne varmetilskud i andre bygninger bestemmes efter de aktuelle forhold og brugstider. Ved bestemmelse af det gennemsnitlige interne varmetilskud i brugstiden skal der tages hensyn til både den nominelle størrelse og samtidigheden af varmetilskuddene fra personer, belysning og udstyr. Der skal også tages hensyn til, at der ofte er områder af bygningen, som har lavere gennemsnitligt internt varmetilskud end resten af bygningen, fx gange, trapper, depoter samt møderum og foredragssale med lille faktisk brugstid.

Personer

Varmeafgivelsen fra voksne personer ved normal aktivitet, fx kontorarbejde, er ca. 100 W pr. person. Varmeafgivelsen stiger ved højere aktivitet, fx fysisk arbejde eller sport. Varmeafgivelsen fra børn er noget mindre end fra voksne.

Belysning

Varmeafgivelsen fra belysning kan fx beregnes på grundlag af oplysninger i kapitlet Belysning, side 89.

Kontorer

I almindeligt kontorbyggeri med normal persontæthed, fx med enpersonskontorer på ca. 10 m<sup>2</sup>, samt med belysning og udstyr, der er nogenlunde energieffektive, vil der ofte være en gennemsnitlig intern varmebelastning i brugstiden i opvarmningssæsonen på ca. 20 W pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal. I kontorbygninger med lille persontæthed og særligt energieffektiv belysning og udstyr, kan den gennemsnitlige interne varmebelastning i brugstiden være nede på 10-15 W pr. m<sup>2</sup>. I kontorbygninger med stor persontæthed og meget udstyr kan varmetilskuddet komme op over 30 W pr. m<sup>2</sup>.

#### Varmebehov

Varmebehovet beregnes måned for måned i opvarmningssæsonen september til maj.

Varmetab

Det summerede samlede varmetab fra bygningen ved transmission og ventilation beregnes som

$$Q_t = 0,0864 \cdot D \cdot H_i \cdot (\theta_i - \theta_u)$$

hvor  $Q_t$  er varmetabet i MJ/måned,

$D$  er antallet af dage i måneden,

$H_i$  er specifikt varmetab i W/K,

$\theta_i$  er rumtemperaturen i °C,

$\theta_u$  er udeluftens månedsmiddeltemperatur i °C.

Faktoren 0,0864 er antallet af sekunder på et døgn divideret med 1.000.000, for at omsætte fra J til MJ. Faktoren har enheden 10<sup>-6</sup> sek./døgn.

Antallet af dage i månederne og udeluftens månedsmiddeltemperatur er angivet i tabel 7.

Tabel 7. Antal dage i måneden, udeluftens månedsmiddeltemperatur for 15-års perioden 1959-73 og difference til 20 °C rumtemperatur.

Måned	Dage pr. måned $D$ dage/md.	Udetemp. $\theta_u$ °C	Temp.diff (20 °C - $\theta_u$ ) °C
September	30	12,9	7,1
Oktober	31	8,9	11,1
November	30	4,5	15,5
December	31	0,8	19,2
Januar	31	-1,0	21,0
Februar	28	-0,5	20,5
Marts	31	1,9	18,1
April	30	5,9	14,1
Maj	31	10,9	9,1

Solindfald

Det samlede solindfald for hver af månederne i opvarmningssæsonen  $Q_s$  overføres fra hjælpeskema 3, se side 34.

Internt varmetilskud

Det samlede interne varmetilskud for månederne i opvarmningssæsonen beregnes som

$$Q_i = 0,0864 \cdot D \cdot \Phi_i$$

hvor  $Q_i$  er internt varmetilskud i MJ/måned,

$D$  er antallet af dage i måneden,

$\Phi_i$  er gennemsnitligt internt varmetilskud i W.

Faktoren 0,0864 er antallet af sekunder på et døgn divideret med 1.000.000, for at omsætte fra J til MJ. Faktoren har enheden 10<sup>-6</sup> sek./døgn.

Samlet varmetilskud

Det samlede potentielle varmetilskud for månederne i opvarmningssæsonen beregnes som

$$Q_g = Q_s + Q_i$$

hvor  $Q_g$  er samlet varmetilskud i MJ/måned,

$Q_s$  er solindfaldet i MJ/måned,

$Q_i$  er internt varmetilskud i MJ/måned.

Udnyttelse af varmetilskud

Udnyttelsen af varmetilskuddet i opvarmningssæsonen afhænger af bygningens tidskonstant  $\tau$  og det samlede varmetilskud i forhold til varmetabet,  $\gamma$ . Udnyttelsesfaktoren for varmetilskuddet  $\eta$  angiver, hvor stor en del af det potentielle varmetilskud som nyttiggøres. Resten af varmetilskuddet fjernes ved brug af solafskærmning og gardiner samt ved ekstra ventilation. Udnyttelsesfaktoren beregnes som



$$\eta = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}} \quad \text{for } \gamma \neq 1$$

$$\eta = \frac{a}{1 + a} \quad \text{for } \gamma = 1$$

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_i}$$

$$a = 1 + \frac{\tau}{16h}$$

hvor  $\eta$  er udnyttelsesfaktoren,  
 $\gamma$  er relativt varmetilskud,  
 $Q_g$  er varmetilskuddet i MJ/måned,  
 $Q_i$  er varmetabet i MJ/måned,  
 $\tau$  er bygningens tidskonstant i timer.

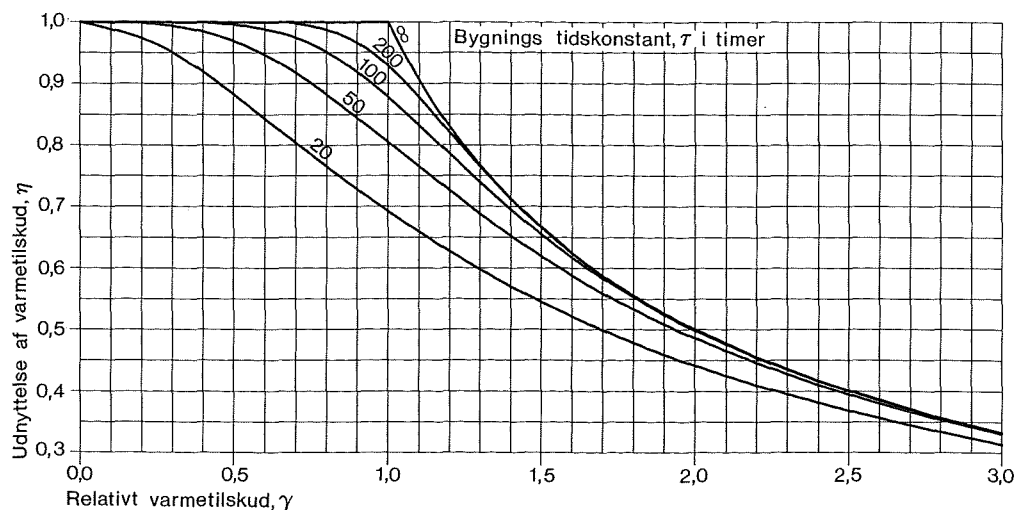
Udnyttelsesfaktoren for bygninger med forskellige tidskonstanter som funktion af det relative varmetilskud er optegnet i figur 5.

Varmebehov

Varmebehovet til rumopvarmning og ventilation for hver af månederne i opvarmningssæsonen beregnes som

$$Q_h = Q_i - \eta \cdot Q_g$$

hvor  $Q_h$  er varmebehovet i MJ/måned,  
 $Q_i$  er varmetabet i MJ/måned,  
 $\eta$  er udnyttelsesfaktoren,  
 $Q_g$  er varmetilskuddet i MJ/måned.



Figur 5. Sammenhæng mellem udnyttelsesfaktor, bygningens tidskonstant og relativt varmetilskud.

Det samlede varmebehov til rumopvarmning og ventilation beregnes som summen af varmebehovene i månederne september til maj.

Det specifikke varmebehov til rumopvarmning og ventilation, der er varmebehovet pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal, beregnes som

$$q_h = \frac{Q_h}{A_e}$$

hvor  $q_h$  er specifikt varmebehov i MJ/m<sup>2</sup> år,  
 $Q_h$  er samlet varmebehov i MJ/år,  
 $A_e$  er opvarmet etageareal i m<sup>2</sup>.

### Energiramme

Energirammen afhænger af bygningens type og af eventuel mekanisk ventilation eller udsugning. Energirammen uden tillæg for mekanisk ventilation eller udsugning beregnes for boliger som beskrevet side 18 og for andre bygninger som beskrevet side 19.

Kombineret bolig og erhverv

I bygninger med både boliger og fx erhverv beregnes energirammen som et vægtet gennemsnit af energirammen, hvis bygningen alene var til boliger, og af energirammen, hvis bygningen alene var til andre formål, ud fra bruttoarealerne til de to formål. Ved beregning af varmebehovet forudsættes fx varmetilskud og ventilationsforhold fastlagt ud fra den samme fordeling mellem bolig- og erhvervsareal.

Tillæg

I bygninger, hvor der er tillæg til energirammen på grund af mekanisk ventilation eller udsugning, overføres tillægget fra hjælpeskema 5, se side 41.

Det specifikke tillæg til energirammen på grund af mekanisk ventilation eller udsugning beregnes som

$$\Delta q_r = \frac{\Delta Q_r}{A_e}$$

hvor  $\Delta q_r$  er specifikt tillæg til energirammen i MJ/m<sup>2</sup> år,  
 $\Delta Q_r$  er samlet tillæg til energirammen i MJ/år,  
 $A_e$  er opvarmet etageareal i m<sup>2</sup>.

Resulterende energiramme

Den resulterende energiramme beregnes som summen af energirammen uden mekanisk ventilation eller udsugning og tillæggene vedrørende mekanisk ventilation eller udsugning.

Bygningsreglementets krav vedrørende varmeisolering og om at undgå unødvendigt energiforbrug er opfyldt, hvis det specifikke varmebehov til rumopvarmning og ventilation er mindre end eller lig med energirammen.



Retning og hældning

Vinduerne og yderdøre identificeres med et nummer og en tekst. Nummeret går igen på det efterfølgende hjælpeskema 3.

Vinduernes og yderdørenes retning i forhold til verdenshjørnerne og hældning i forhold til vandret angives, blandt andet af hensyn til den senere beregning af solindfaldet. Retningen angives som kompasorienteringer, fx nord (N), syd (S), øst (Ø), vest (V) og mellemorienteringer, fx SV. Et lodret vindue har hældningen 90° og et vandret vindue har hældningen 0°. Et skråvindue i et tag kan fx have hældningen 45°.

Transmissionsareal

Transmissionsarealet af vinduer og yderdøre beregnes af hulmålene, som angivet i DS 418, se side 12.

Transmissionstab

Det specifikke transmissionstab gennem vinduer og yderdøre beregnes som for ydervægge, tage og gulve og efter reglerne i DS 418.

### Hjælpeskema 3. Solindfald

Formål

Hjælpeskema 3, side 35, bruges til at beregne solindfaldet gennem vinduer og yderdøre. Vinduerne og yderdøre er identificeret med det i hjælpeskema 2, side 33, angivne nummer.

Referencerude

Solindfaldet gennem vinduer og yderdøre beregnes ud fra solindfaldet gennem en fritsiddende, uafskærmet referencerude med to lag klart glas, fri horisont og samme orientering som de aktuelle vinduer og yderdøre. Solindfaldet gennem de aktuelle vinduer og yderdøre er normalt en del mindre end gennem referenceruden. Solindfaldet gennem referenceruder med forskellig orientering er angivet i tabel 8. For vinduer og yderdøre med andre orienteringer eller hældninger kan der interpoleres i tabellen.

Tabel 8. Solindfald gennem referenceruden  $I_s$  i MJ/måned.

Måned	Lodret vindue (90°) mod:					Skrå vindue (45°) mod:					Vandret
	N	NØ	Ø	SØ	S	N	NØ	Ø	SØ	S	
	NV	V	SV			NV	V	SV			
Sep.	75	95	155	220	245	100	135	210	275	300	215
Okt.	40	45	85	145	185	55	60	110	165	195	105
Nov.	20	20	30	80	110	25	25	40	80	100	35
Dec.	10	10	20	60	90	15	15	25	60	75	20
Jan.	15	15	30	70	105	20	20	30	70	90	30
Feb.	30	30	60	110	145	35	40	70	80	145	65
Marts	60	70	125	195	225	75	95	165	235	260	165
April	90	125	195	240	235	120	180	265	320	340	275
Maj	135	185	260	275	250	200	275	365	410	420	395

## Hjælpeskema 3. Solindfald

Bygning:					Dato:		Init.:						
Nr.	Reduktionsfaktorer				Solindfald								
	Skygge	Areal	Glas	Resulterende	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Januar	Februar	Marts	April	Maj
	$F_s^{(1)}$	$F_a$	$F_g$	$F^{(2)}$	$Q_s^{(3)}$ MJ/måned								
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
40													
				I alt									

(1)  $F_s$  fås fra tabel 9 og 10

(2)  $F = F_s \cdot F_a \cdot F_g$

(3)  $Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s$  for vinduer i den opvarmede del af bygningen.  $I_s$  fås fra tabel 8  
 $Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s \cdot b$ , for vinduer i uopvarmede rum

Solindfald

Solindfaldet gennem vinduer og yderdøre samt glaspartier og ovenlys beregnes som

$$Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s$$

hvor  $Q_s$  er solindfaldet gennem vinduet tilført bygningen i MJ/måned,

$A_T$  er transmissionsarealet i m<sup>2</sup>,

$F$  er reduktionsfaktoren,

$I_s$  er solindfald gennem referenceruden i MJ/måned.

Reduktionsfaktor

Reduktionsfaktoren for solindfaldet gennem det aktuelle vindue tager højde for virkningen af skygger, rammens areal og glastypen. Reduktionsfaktoren beregnes som

$$F = F_s \cdot F_r \cdot F_g$$

hvor  $F$  er den resulterende reduktionsfaktor,

$F_s$  er skyggefaktoren,

$F_a$  er arealfaktoren,

$F_g$  er glasfaktoren.

## Skyggefaktor

Reduktionsfaktoren kan beregnes fælles for en gruppe vinduer eller yderdøre med samme retning og hældning, hvis skygge-, areal- og glasfaktorerne er ens eller af samme størrelsesorden.

Skyggefaktoren tager hensyn til den reduktion af solstrålingen (direkte og diffus himmelstråling), som forårsages af skygger fra fx omgivende terræn, bebyggelse, beplantning, indbygningsforhold, samt udhæng over og konstruktioner på siden af vinduet eller yderdøren.

I tabel 9 er der angivet skyggefaktoren for vinduer og yderdøre indbygget i et normalt murhul og uden skygger fra udhæng eller konstruktioner på siden af vinduet eller døren i afhængighed af højdevinklen til omgivende terræn, bebyggelse og beplantning. Værdierne forudsætter, at der ikke er væsentlige hindringer i vinduet, fx faste gardiner og planter.

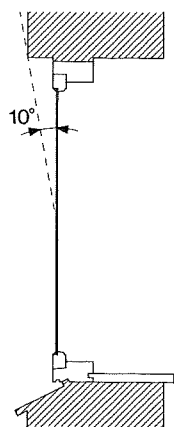
Tabel 9. Skyggefaktorer  $F_s$  for vinduer og yderdøre, indbygget normalt i ydervæg og uden udhæng eller andre skyggende konstruktioner.

Omgivelser	NV-NØ	Ø, S og V
Fri horisont. ....	0,9	0,9
10° højdevinkel ....	0,9	0,8
30° højdevinkel ....	0,8	0,5

I tabel 10 er der angivet korrektioner til skyggefaktoren ved anden indbygning af vinduet eller yderdøren, samt hvis der er udhæng over eller konstruktioner på siden af vinduet eller døren.

Tabel 10. Korrektion til skyggefaktorer på grund af indbygning, udhæng og konstruktioner på siden af vinduer eller yderdøre.

	Korrektion til skyggefaktor
<b>Indbygning</b>	
Uafskærmet. ....	+0,1
Dybt murhul. ....	-0,1
<b>Udhæng</b>	
Lille udhæng. ....	-0,1
Stort udhæng. ....	-0,2
<b>Konstruktion på siderne. ....</b>	
Lille skygge. ....	-0,1
Stor skygge. ....	-0,2



Vinkel til fremspring

## Indbygning

Ved normal indbygning forstås at ydervæg eller karmkonstruktion springer ca. 10° frem foran rudens plan målt midt på ruden, se figur side 36. Ved dybt murhul forstås at ydervæg eller karmkonstruktion springer ca. 20° frem.

## Udhæng

Ved et lille udhæng over vindue eller yderdør forstås udhæng, som springer ca. 30° frem foran vinduets plan målt midt på vinduet. Ved stort udhæng forstås udhæng, som springer ca. 50° frem.

## Konstruktioner på siden

Ved lille skygge fra konstruktioner på siden forstås fx at der er konstruktioner på begge sider af vinduet eller yderdøren, som springer ca. 30° frem foran vinduets plan målt midt på vinduet. Ved stor skygge forstås at konstruktionerne springer ca. 50° frem på begge sider af vinduet eller yderdøren.

Hvis der kun er skygge på den ene side, og vinduet eller yderdøren er enten nord- eller sydvendt, halveres korrektionen i skyggefaktoren. For øst- og vestvendte vinduer og yderdøre med skygge alene mod nord er korrektionen i skyggefaktoren ca. 1/3 af de angivne værdier for skygger på begge sider. Ved skygge alene mod syd er korrektionen i skyggefaktoren ca. 2/3 af de angivne værdier for skygger på begge sider.

## Arealfaktor

Arealfaktoren tager hensyn til, hvor stor en andel ruden udgør af det samlede transmissionsareal. Arealfaktoren bør beregnes for de aktuelle vinduer eller yderdøre og er ofte 0,6-0,8.

## Glasfaktor

Glasfaktoren tager hensyn til solvarmetransmissionen gennem den aktuelle rude i forhold til solvarmetransmissionen gennem referenceruden, som er en almindelig dobbeltrude. Solvarmetransmittans og glasfaktor for ruderne bør være bestemt på grundlag af målinger. Glasfaktoren beregnes ved at dividere solvarmetransmittansen for den aktuelle rude med solvarmetransmittansen for referenceruden, som er 0,75. Solvarmetransmittansen og glasfaktor for ofte anvendte rudetyper er angivet i tabel 11.

Tabel 11. Solvarmetransmittans og glasfaktor for forskellige rudetyper. Solvarmetransmittansen er for solindfald vinkelret på glasset.

Rudetype	Solvarmetransmittans	Glasfaktor $F_g$
1-lag klart glas. ....	0,85	1,1
2-lag klart glas. ....	0,75	1,0
3-lag klart glas. ....	0,65	0,9
2-lag energirude. ....	0,6-0,7	0,8-0,9
3-lag energirude. ....	0,5-0,6	0,7-0,8
Solafskærmende glas. ....	0,1-0,5	0,2-0,6

Handwritten calculations:  $0,24$ ,  $0,20$ ,  $0,12$ ,  $0,18$ ,  $0,24$ ,  $0,20$

### Solvarme via uopvarmede rum

Solvarme, som tilføres den opvarmede del af bygningen fra uopvarmede rum, kan dels komme fra direkte solindfald gennem de uopvarmede rum til den opvarmede del af bygningen og dels fra solindfald, der indirekte bliver tilført den opvarmede del af bygningen, fordi de uopvarmede rum bliver opvarmet af solen.

Der regnes kun med direkte solindfald gennem bagved værende vinduer og yderdøre, hvis de uopvarmede rums ydervægge og tag alene består af store, klare, uafskærmede glaspartier. Uopvarmede rum med store, klare glaspartier kan fx være glastilbygninger eller glasaltaner.

Det direkte solindfald gennem vinduer og yderdøre, som vender mod glastilbygninger, beregnes efter de samme principper som for andre vinduer og yderdøre, men ved bestemmelse af reduktionsfaktorerne, skal der tages hensyn til reduktionen af solindfaldet på grund af glastilbygningen.

Ved beregning af skyggefaktoren tages der hensyn til uigenemskinnelige partier i glastilbygningen. Der regnes kun med direkte solindfald til bagvedliggende vinduer og yderdøre gennem klare glas- eller plastpartier i glastilbygningen og ikke gennem fx flerlags eller opale plastplader.

Ved beregning af arealfaktoren tages der hensyn til rammerne i glastilbygningen ved at gange arealfaktoren for vinduet eller yderdøren med arealfaktoren for glaspartierne i tilbygningen.

Ved beregning af glasfaktoren tages der hensyn til glasset i tilbygningen ved at gange glasfaktoren for vinduet eller yderdøren med solvarmetransmittansen for glasset i tilbygningen. Hvis den direkte sol, som skal ramme vinduet, kommer gennem glasset i tilbygningen under en vinkel der er mere end  $60^\circ$ , bliver en større del af strålingen reflekteret. Ved en indfaldsvinkel på  $75^\circ$  bliver halvdelen af solstrålingen reflekteret. Glasfaktoren må da reduceres svarende til den forøgede refleksion.

Det totale solindfald som tilføres uopvarmede rum beregnes som for vinduer og yderdøre i den opvarmede del af bygningen. Hvis en del af solindfaldet gennem glaspartier i uopvarmede rum tilføres bagved liggende rum som direkte solstråling, reduceres solvarmen til de uopvarmede rum tilsvarende. Solindfaldet hæver temperaturen i de uopvarmede rum, således at varmetabet for bagved liggende bygningsdele reduceres.

Hvor stor en del af solvarmetilskuddet, der kommer den opvarmede del af bygningen til gode, afhænger blandt andet af temperaturfaktoren for det uopvarmede rum.

### Indirekte solvarme

Den indirekte solvarmetilførsel til den opvarmede del af bygningen fra solindfaldet i uopvarmede rum kan beregnes som

$$Q_{s,i} = Q_s' \cdot b - Q_{s,d} \cdot b$$

hvor  $Q_{s,i}$  er den indirekte solvarmetilførsel til den opvarmede del af bygningen i MJ/måned,

$Q_s'$  er totalt solindfald i de uopvarmede rum inkl. det eventuelle direkte solindfald gennem glastilbygninger til den opvarmede del af bygningen i MJ/måned,

$Q_{s,d}$  er det direkte solindfald gennem glastilbygninger til den opvarmede del af bygningen i MJ/måned,

$b$  er temperaturfaktoren for de uopvarmede rum.

### Resulterende solvarme

Den resulterende direkte og indirekte solvarmetilførsel til den opvarmede del af bygningen beregnes som

$$Q_s = Q_{s,d} \cdot (1 - b) + Q_s' \cdot b$$

hvor  $Q_s$  er den resulterende solvarmetilførsel til den opvarmede del af bygningen i MJ/måned,

$Q_{s,d}$  er det direkte solindfald gennem glastilbygninger til den opvarmede del af bygningen i MJ/måned,

$Q_s'$  er totalt solindfald i de uopvarmede rum inkl. det eventuelle direkte solindfald gennem glastilbygninger til den opvarmede del af bygningen i MJ/måned,

$b$  er temperaturfaktoren for de uopvarmede rum.

Temperaturfaktoren for de uopvarmede rum beregnes i hjælpeskema 4, se næste afsnit.

### Hjælpeskema 4. Varmebalance for uopvarmede rum

#### Formål

Hjælpeskema 4, side 40, bruges til at opstille varmebalancen for et uopvarmet rum og bestemme temperaturfaktoren for det specifikke transmissionstab gennem bygningsdele, der vender mod uopvarmede rum. Varmebalancen opstilles uden solindfald eller internt varmetilskud i det uopvarmede rum. Solindfald i uopvarmede rum beregnes separat i hjælpeskema 3, se side 34. Der regnes ikke med internt varmetilskud i uopvarmede rum. Flere uopvarmede rum med ens forhold kan beregningsmæssigt slås sammen.

#### Transmissionstab

Det specifikke transmissionstab  $H_i$  fra bygningen til det uopvarmede rum og fra det uopvarmede rum til omgivelserne  $H_u$  beregnes på samme måde som transmissionstabet fra den opvarmede del af bygningen, se hjælpeskema 1, side 32. Ved beregningen anvendes der dog altid en temperaturfaktor på nul. Der regnes ikke med varmetab mellem to uopvarmede rum, selv om der bliver forskellig temperatur i rummene.

Solvarme

Glastilbygninger og glasaltaner

Direkte solindfald

Skygge fra glastilbygningen

Rammer i glastilbygninger

Glasset i tilbygningen

Totalt solindfald i uopvarmede rum

## Hjælpekema 4. Varmebalance for uopvarmede rum

Bygning:	Dato:	Init.:	
Rum:			
<b>Transmissionstab fra bygningen til uopvarmede rum</b>			
Bygningsdel:	Areal $A_T$ $m^2$	U-værdi $U$ $W/m^2 K$	Tab $H_i$ <sup>(1)</sup> $W/K$
I alt			
<b>Varmetab fra uopvarmede rum til omgivelserne</b>			
Bygningsdel:	Areal $A_T$ $m^2$	U-værdi $U$ $W/m^2 K$	Tab $H_u$ <sup>(2)</sup> $W/K$
I alt			
<b>Ventilationstab</b>	Brutto-areal $A_{br}$ $m^2$	Beregn. vent. $q_{vu}$ $l/s m^2$	Varmetab $H_u$ <sup>(3)</sup> $W/K$
<b>Samlet varmetab</b> .....	I alt		
<b>Temperaturfaktor for varmetab fra indeliggende bygningsdele</b>			
Temperaturfaktor .....	$b$ <sup>(4)</sup> =		

<sup>(1)</sup>  $H_i = A_T \cdot U$   
<sup>(2)</sup>  $H_u = A_T \cdot U$

### Ventilationstab

Der regnes alene med ventilation mellem uopvarmede rum og det fri og ikke mellem bygningen og uopvarmede rum. Ventilationstab fra uopvarmede rum til omgivelserne beregnes som

$$H_u = 1,21 \cdot A_{br} \cdot q_{vu}$$

hvor  $H_u$  er ventilationstab i W/K,  
 $A_{br}$  er det uopvarmede rums bruttoareal i m<sup>2</sup>,  
 $q_{vu}$  er ventilation i l/s pr. m<sup>2</sup> bruttoareal.

Faktoren 1,21 er varmekapaciteten for luft ved 20 °C og har enheden J/l K.

### Luftskifte

Der regnes normalt med et udeluftskifte på mindst 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> bruttoareal i uopvarmede rum. I glastilbygninger og andre mere utætte rum regnes der med et udeluftskifte på mindst 0,6 l/s m<sup>2</sup>.

### Temperaturfaktoren

Temperaturfaktoren bestemmes under stationære forhold, uden varmetilskud i de uopvarmede rum. Temperaturfaktoren angiver, hvor meget temperaturen i de uopvarmede rum er højere end udeluftens temperatur, set i forhold til forskellen mellem inde- og udetemperatur i bygningen. Temperaturfaktoren beregnes som

$$b = \frac{H_i}{H_i + H_u}$$

hvor  $b$  er temperaturfaktoren,  
 $H_i$  er varmetabet fra bygningen til de uopvarmede rum i W/K,  
 $H_u$  er varmetabet fra de uopvarmede rum til omgivelserne i W/K.

Temperaturfaktoren angiver også, hvor stor en del af solindfaldet i et uopvarmede rum, der vil blive tilført bygningen.

### Hjælpekema 5. Mekanisk ventilation og udsugning

### Formål

Hjælpekema 5, side 42, bruges til at bestemme den beregningsmæssige ventilation i bygninger med mekanisk ventilation eller udsugning samt beregne eventuelle tillæg til energirammen. Den beregningsmæssige ventilation er ventilationens gennemsnitsstørrelse i opvarmnings sæsonen fratrukket virkningen af eventuel varmegenvinding i mekaniske ventilationsanlæg. Den beregningsmæssige ventilation benyttes til beregning af varmetabet ved ventilation.

### Mekanisk ventilation

Ved mekanisk ventilation forstås ventilationssystemer, hvor luften både indblæses og udsuges ved hjælp af ventilatorer.

## Hjælpekema 5. Mekanisk ventilation og udsugning

Bygning:		Dato:		Init.:						
Område:	Bruttoareal	Driftstid	Mek. vent.	Genvind.	Infiltr. drifttid	Infiltr. stoppet	Beregn.- mæs. vent.	Vent.- tillæg		
	$A_{br}$ m <sup>2</sup>	$T_d$ h/uge	$q_{vm}$ l/s m <sup>2</sup>	$\eta_{vgv}$	$q_{id}$ l/s m <sup>2</sup>	$q_{is}$ l/s m <sup>2</sup>	$q_v$ m <sup>3</sup> /s	$\Delta Q_r$ MJ/år		
									I alt	

<sup>(1)</sup>  $q_v = 0,001 \cdot A_{br} \cdot [\beta \cdot (q_{vm} \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_{id}) + (1 - \beta) \cdot q_{is}]$ , hvor  $\beta = T_d/168$   
<sup>(2)</sup>  $\Delta Q_r = 400 \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,3)$  i andre boliger end enfamiliehuse med mekanisk udsugning uden varmegenvinding.  
 $\Delta Q_r = 1,0 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 1,2)$  i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation og varmegenvinding.  
 $\Delta Q_r = 2,4 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,6)$  i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation uden varmegenvinding.

### Mekanisk udsugning

Ved mekanisk udsugning forstås ventilationssystemer, hvor luften udsuges ved hjælp af ventilatorer, mens udeluften tilføres gennem udeluftventiler i ydervæggene, ved åbning af vinduer og døre samt gennem utætheder i klimaskærmen.

### Områdeopdeling

Ved beregningen opdeles bygningen i områder med ens forhold. Områderne kan være sammenfaldende med ventilationsanlæggenes betjeningsområder, men der kan også regnes samlet på flere anlæg, blot forholdene i anlæggene og de betjente områder er ens.

### Beregningsmæssig ventilation

Bidraget til den beregningsmæssige ventilation for et givet område beregnes som

$$q_v = 0,001 \cdot A_{br} \cdot [\beta \cdot (q_{vm} \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_{id}) + (1 - \beta) \cdot q_{is}]$$

hvor  $q_v$  er den beregningsmæssige ventilation i m<sup>3</sup>/s,  
 $A_{br}$  er områdets bruttoareal i m<sup>2</sup>,  
 $\beta$  er den relative driftstid, der beregnes som  $T_d/168$ , hvor  $T_d$  er driftstiden i timer/uge, og 168 er timetallet i en uge,  
 $q_{vm}$  er luftstrømmen i anlægget i l/s pr. m<sup>2</sup> bruttoareal,  
 $\eta_{vgv}$  er varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad,

$q_{id}$  er infiltrationen i driftstiden i l/s pr. m<sup>2</sup> bruttoareal,  
 $q_{is}$  er infiltrationen med stoppe anlæg i l/s pr. m<sup>2</sup> bruttoareal.

Faktoren 0,001 er en omsætning fra liter til m<sup>3</sup> og har enheden m<sup>3</sup>/l.

### Bruttoareal

Områdernes bruttoarealer  $A_{br}$  beregnes på samme måde som bygningens opvarmede etageareal, se side 21.

### Luftstrøm i anlægget

I mekaniske ventilationsanlæg er  $q_{vm}$  udeluftstrømmen i indblæsningsanlægget pr. m<sup>2</sup> bruttoareal i det betjente område. I mekaniske udsugningsanlæg er  $q_{vm}$  luftstrømmen i udsugningsanlægget.

### Varmegenvinding

Varmegenvindingens temperaturvirkningsgrad  $\eta_{vgv}$  bestemmes ud fra udeluftens temperaturstigning i varmegenvinderen. Ved bestemmelse af temperaturvirkningsgraden regnes der ikke med kondensation i afkastluften. For systemer med varmepumpe sættes temperaturvirkningsgraden til 0,6, selv om udeluften opvarmes mere end svarende dertil. For systemer, hvor varmegenvindingen alene går til opvarmning af varmt brugsvand, er temperaturvirkningsgraden for udeluften  $\eta_{vgv} = 0$ .

### Infiltration i driftstiden

Selv om der er mekanisk ventilation, vil der også være infiltration gennem utætheder i klimaskærmen og ved åbning af døre og vinduer. Denne infiltration skal også medregnes ved bestemmelse af varmebehovet.

### Mekanisk ventilation

I områder af en bygning med balanceret mekanisk ventilation sættes infiltrationen til mindst 0,1 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal, når ventilationen er i drift.

### Ekstra infiltration

I mekanisk ventilerede bygninger, hvor der udsuges mere luft, end der indblæses, vil erstagningsluften blive tilført ved ekstra infiltration. Hvis der er væsentlig større udsuget og afkastet luftstrøm end der er indblæst udeluftstrøm, beregnes den ekstra infiltration som den udsugede og afkastede luftstrøm minus den indblæste udeluftstrøm. Den ekstra infiltration lægges til infiltrationen ved balanceret mekanisk ventilation. Ved bestemmelse af den ekstra infiltration kan flere anlæg beregnes samlet.

### Boliger

Hvis den samlede ventilation i nogle boligenheder er under 0,3 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal, regnes der suppleret med infiltration, således at den samlede ventilation bliver mindst 0,3 l/s m<sup>2</sup>.

### Andre bygninger

Hvis den samlede ventilation i nogle områder i andre bygninger end boliger er under 0,6 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal i brugstiden, regnes den suppleret med infiltration, således at den samlede ventilation i brugstiden bliver mindst 0,6 l/s m<sup>2</sup>.

### Infiltration uden for driftstiden

I andre bygninger end boliger regnes der med infiltration på mindst 0,1 l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal, når den mekaniske

Energirammetillæg

ventilation eller udsugning er stoppet, og bygningen ikke er i brug.

Hvis anlæggenes driftstid er kortere end bygningens brugstid, regnes bygningen som naturligt ventileret i resten af brugstiden. Infiltrationen uden for driftstiden  $q_{is}$  beregnes da som et vægtet gennemsnit af infiltrationen i brugstiden, når anlæggene er stoppet, og af infiltrationen, når bygningen ikke er i brug.

Tillægget til energirammen i forbindelse med mekanisk ventilation eller udsugning beregnes som tidligere beskrevet, se side 19 og 20. I hjælpeskema 5 foretages en summering af tillæggene, som senere i hovedskemaet divideres med bygningens samlede opvarmede etageareal.

I boliger med krav om mekanisk udsugning og uden varmegenvinding kan bidraget til tillægget beregnes som

$$\Delta Q_r = 400 \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,3)$$

hvor  $\Delta Q_r$  er bidraget til tillægget til energirammen for mekanisk udsugning i MJ/år,

$A_{br}$  er opvarmet bruttoareal i m<sup>2</sup>,

$q_{vm}$  er udsuget volumenstrøm i boligerne i l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

I andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation og varmegenvinding kan bidraget til tillægget beregnes som

$$\Delta Q_r = 1,0 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 1,2)$$

og i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation og uden varmegenvinding kan bidraget til tillægget beregnes som

$$\Delta Q_r = 2,4 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,6)$$

hvor  $\Delta Q_r$  er bidraget til tillægget til energirammen for mekanisk ventilation i MJ/år,

$T_d$  er driftstiden i opvarmningssæsonen i timer/uge,

$A_{br}$  er opvarmet bruttoareal i m<sup>2</sup>,

$q_{vm}$  er udeluftstrømmen i ventilationsanlægget i l/s pr. m<sup>2</sup> opvarmet bruttoareal.

Der skal normalt være varmegenvinding i mekaniske ventilationsanlæg med både indblæsning og udsugning.

Eksempel: Varmebehov i etagehus

På side 45-49 er der vist et udfyldt hovedskema og hjælpeskemaer for det samme etagehus, som blev anvendt i det tidligere eksempel i forbindelse med varmetabsrammen. Vinduesarealet er øget i forhold til det tidligere eksempel, således at vin-

Hovedskema. Bygningers varmebehov

Firma: <i>SBI</i>							
Bygning: <i>Eksempel: Etagehus</i>					Dato: <i>20/3-95</i>		Init.: <i>SOA</i>
<b>Bygningsdata</b>		Opvarmet etageareal	Opvarmet bebygget areal	Antal etager	Normal brugstid		
<input type="checkbox"/> Enfamiliehus <input type="checkbox"/> Anden bolig <input type="checkbox"/> Anden bygning		$A_e$ m <sup>2</sup>	$A_{byg}$ m <sup>2</sup>	$e = A_e/A_{byg}$ -	$T_b$ timer/uge		
Rumtemperatur $\theta_i = 20$ °C		<i>1081,2</i>	<i>360,4</i>	<i>3,0</i>	<i>168</i>		
<b>Ventilation</b>		Ventilation i brugstiden	Ventilation ubenyttet	Beregningsmæssig vent.	Ventilationsvarmetab		
For bygninger med naturlig ventilation beregnes ventilationen her. For bygninger med mekanisk ventilation eller udsugning overføres resultatet fra hjælpeskema 5.		$q_{vb}$ l/s m <sup>2</sup>	$q_{vu}$ l/s m <sup>2</sup>	$q_v^{(1)}$ m <sup>3</sup> /s	$H_v = 1210 \cdot q_v$ W/K		
				<i>0,462</i>	<i>559,0</i>		
<b>Varmetab</b>					Varmetab		
					$H$ W/K		
Ydervægge, tage og gulve mod det fri, jord eller uopvarmede rum (fra hjælpeskema 1) ... ..					$H_T =$	<i>277,3</i>	
Vinduer og ydervæge mod det fri eller uopvarmede rum (fra hjælpeskema 2) ... ..					$H_T =$	<i>516,4</i>	
Ventilation (fra forrige skemaafsnit) ... ..					$H_v =$	<i>559,0</i>	
					I alt <i>1352,7</i>		
<b>Tidskonstant</b>					Varmekapacitet	Tidskonstant	
					$c$ Wh/K m <sup>2</sup>	$\tau = A_e \cdot c/H$ timer	
					<i>120</i>	<i>96</i>	
<b>Internt varmetilskud</b>					Tilskud, brugstid	Tilskud, middel	
					$\Phi_{ib}$ W/m <sup>2</sup>	$\Phi_j^{(2)}$ W	
					<i>5</i>	<i>5406</i>	
<b>Varmebehov</b>							
	Varmetab	Solindfald	Internt tilskud	Samlet tilskud	Relativt tilskud	Udnytt.-faktor	Varmebehov, rum og vent.
	$Q_i^{(3)}$	$Q_s^{(4)}$	$Q_j^{(5)}$	$Q_g = Q_s + Q_j$	$\gamma = Q_g/Q_i$	$\eta^{(6)}$	$Q_h = Q_i - \eta \cdot Q_g$
	MJ/måned	MJ/måned	MJ/måned	MJ/måned	-	-	MJ/måned
September	<i>24.890</i>	<i>22.830</i>	<i>14.010</i>	<i>36.840</i>	<i>1,48</i>	<i>0,66</i>	<i>580</i>
Oktober	<i>40.220</i>	<i>15.700</i>	<i>14.480</i>	<i>30.180</i>	<i>0,75</i>	<i>0,96</i>	<i>11.258</i>
November	<i>54.350</i>	<i>8.940</i>	<i>14.010</i>	<i>22.950</i>	<i>0,42</i>	<i>1,00</i>	<i>31.406</i>
December	<i>69.560</i>	<i>6.760</i>	<i>14.480</i>	<i>21.240</i>	<i>0,31</i>	<i>1,00</i>	<i>48.320</i>
Januar	<i>76.080</i>	<i>8.190</i>	<i>14.480</i>	<i>22.670</i>	<i>0,30</i>	<i>1,00</i>	<i>53.410</i>
Februar	<i>67.090</i>	<i>12.180</i>	<i>18.080</i>	<i>25.260</i>	<i>0,38</i>	<i>1,00</i>	<i>41.836</i>
Marts	<i>65.580</i>	<i>20.150</i>	<i>14.480</i>	<i>34.630</i>	<i>0,53</i>	<i>0,99</i>	<i>31.300</i>
April	<i>49.440</i>	<i>23.560</i>	<i>14.010</i>	<i>37.570</i>	<i>0,76</i>	<i>0,96</i>	<i>13.376</i>
Maj	<i>32.970</i>	<i>28.620</i>	<i>14.480</i>	<i>43.100</i>	<i>1,31</i>	<i>0,73</i>	<i>1.570</i>
	I alt			$Q_h$			MJ/år
				Pr. m <sup>2</sup> opvarmet etageareal	$q_h = Q_h/A_e$	MJ/m <sup>2</sup> år	
						<i>232.970</i>	
						<i>215,5</i>	
<b>Energiramme</b>							Energiramme
							$q_r$ MJ/m <sup>2</sup> år
Energiramme uden tillæg ... ..							<i>196,7</i>
Tillæg vedrørende mekanisk ventilation og udsugning (fra hjælpeskema 5) ... ..							$\Delta q_r = \Delta Q_r/A_e$ <i>57,1</i>
Resultierende energiramme ... ..							<i>247,8</i>

(1)  $q_v = 0,001 \cdot A_e \cdot [\beta \cdot q_{vb} + (1 - \beta) \cdot q_{vu}]$ , hvor  $\beta = T_b/168$

(2)  $\Phi_j = A_e \cdot \Phi_{ib} \cdot T_b/168$

(3)  $Q_i = 0,0864 \cdot D \cdot H \cdot (\theta_i - \theta_o)$ , hvor  $D$  og  $\theta_o$  fås fra tabel 7

(4)  $Q_s$  Overføres fra hjælpeskema 3

(5)  $Q_j = 0,0864 \cdot D \cdot \Phi_j$

(6)  $\eta$  Af læses i figur 5





## Hjælpekema 4. Varmebalance for uopvarmede rum

Bygning: <i>Eksempel: Edagehus</i>	Dato: <i>20/3-95</i>	Init.: <i>SOA</i>	
Rum: <i>Kelder</i>	Transmissionstab fra bygningen til uopvarmede rum		
Bygningsdel:	Areal $A_T$ m <sup>2</sup>	U-værdi $U$ W/m <sup>2</sup> K	Tab $H_i$ <sup>(1)</sup> W/K
<i>Kelderdak</i>	<i>282,7</i>	<i>0,30</i>	<i>84,8</i>
<i>Skillevægge mod Stappetun</i>	<i>84,0</i>	<i>0,40</i>	<i>33,6</i>
			I alt <i>118,4</i>
Varmetab fra uopvarmede rum til omgivelserne			
Transmissionstab	Areal $A_T$ m <sup>2</sup>	U-værdi $U$ W/m <sup>2</sup> K	Tab $H_u$ <sup>(2)</sup> W/K
Bygningsdel:			
<i>Keldergulv</i>	<i>282,7</i>	<i>0,30</i>	<i>84,8</i>
<i>Kelderydervægge</i>	<i>109,2</i>	<i>0,40</i>	<i>43,7</i>
<i>Ydervægge</i>	<i>97,2</i>	<i>0,30</i>	<i>29,2</i>
<i>Vinduer</i>	<i>12,0</i>	<i>2,90</i>	<i>34,8</i>
			I alt <i>192,5</i>
Ventilationstab	Brutto-areal $A_{br}$ m <sup>2</sup>	Beregn. vent. $q_{vm}$ l/s m <sup>2</sup>	Varmetab $H_v$ <sup>(3)</sup> W/K
			I alt <i>113,6</i>
Samlet varmetab			I alt <i>306,1</i>
Temperaturfaktor for varmetab fra indeliggende bygningsdele			
Temperaturfaktor	$b$ <sup>(4)</sup> = <i>0,28</i>		

<sup>(1)</sup>  $H_i = A_T \cdot U$   
<sup>(2)</sup>  $H_u = A_T \cdot U$   
<sup>(3)</sup>  $H_v = 1,21 \cdot A_{br} \cdot q_{vm}$   
<sup>(4)</sup>  $b = H_i / (H_i + H_u)$

## Hjælpekema 5. Mekanisk ventilation og udsugning

Bygning: <i>Eksempel: Edagehus</i>	Dato: <i>20/3-95</i>	Init.: <i>SOA</i>						
Område:	Brutto-areal $A_{br}$ m <sup>2</sup>	Drifts-tid $T_d$ h/uge	Mek. vent. $q_{vm}$ l/s m <sup>2</sup>	Genvin-ning $\eta_{vgr}$ -	Infiltr. drifttid $q_{id}$ l/s m <sup>2</sup>	Infiltr. stoppet $q_{is}$ l/s m <sup>2</sup>	Beregn.-mæss. vent. $q_v$ <sup>(1)</sup> m <sup>3</sup> /s	Vent.-tillæg $\Delta Q_r$ <sup>(2)</sup> MJ/år
<i>6 små lejligheder</i>	<i>393</i>	<i>168</i>	<i>0,534</i>	<i>-</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>0,210</i>	<i>36,800</i>
<i>6 store lejligheder</i>	<i>547</i>	<i>168</i>	<i>0,384</i>	<i>-</i>	<i>0</i>	<i>-</i>	<i>0,210</i>	<i>10,400</i>
<i>Stappetun</i>	<i>141</i>	<i>168</i>	<i>-</i>	<i>-</i>	<i>0,30</i>	<i>-</i>	<i>0,042</i>	<i>-</i>
								I alt <i>0,462</i> <i>53,200</i>

<sup>(1)</sup>  $q_v = 0,001 \cdot A_{br} \cdot [\beta \cdot (q_{vm} \cdot (1 - \eta_{vgr}) + q_{id}) + (1 - \beta) \cdot q_{is}]$ , hvor  $\beta = T_d/168$

<sup>(2)</sup>  $\Delta Q_r = 400 \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,3)$  i andre boliger end enfamiliehuse med mekanisk udsugning uden varmegenvinding.  
 $\Delta Q_r = 1,0 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 1,2)$  i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation og varmegenvinding.  
 $\Delta Q_r = 2,4 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,6)$  i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation uden varmegenvinding.

### Glasaltaner

På side 50 er det i hjælpekema 2 og 3 vist, hvordan beregningen af varmetabet og solindfaldet gennem altandøren og vinduet ved altanen bliver, hvis altanen glasinddækkes.

Ved at sammenligne med eksemplet uden glasinddækkede altaner ses det, at den resulterende solvarmetilførsel til den opvarmede del af bygningen øges lidt, samtidig med at varmetabet aftager. Solvarmetilførslen i februar måned stiger fx fra 4630 MJ/måned til 4750 MJ/måned.

## Hjælpekema 2. Vinduer og yderdøre

Bygning: <i>Eksempel: Etagehus med glasaltan</i>		Dato: <i>20/3-95</i>		Init.: <i>SOA</i>			
Nr.	Bygningsdel	Retning	Hældning °	Transmissionsareal $A_T$ m <sup>2</sup>	U-værdi $U$ W/m <sup>2</sup> K	Temp.-faktor $b$	Transmissionsstab $H_T$ (1) W/K
1	<i>Altandøre</i>	<i>S</i>	<i>90</i>	<i>26,5</i>	<i>1,60</i>	<i>0,10</i>	<i>38,2</i>
2	<i>Vinduer ved altan</i>	<i>S</i>	<i>90</i>	<i>67,0</i>	<i>1,60</i>	<i>0,10</i>	<i>96,5</i>
3	<i>Glasfronter</i>	<i>S</i>	<i>90</i>	<i>112,4</i>	<i>-</i>	<i>0,10</i>	<i>-</i>
4	<i>Glasgavle øst</i>	<i>Ø</i>	<i>90</i>	<i>43,6</i>	<i>-</i>	<i>0,10</i>	<i>-</i>
5	<i>Glasgavle vest</i>	<i>V</i>	<i>90</i>	<i>43,6</i>	<i>-</i>	<i>0,10</i>	<i>-</i>
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
40							
				I alt		I alt	

(1)  $H_T = A_T \cdot U \cdot (1-b)$

## Hjælpekema 3. Solindfald

Bygning: <i>Eksempel: Etagehus med glasaltan</i>		Dato: <i>20/3-95</i>		Init.: <i>SOA</i>									
Nr.	Reduktionsfaktorer				Solindfald								
	Skyg- $F_s$ (1)	Areal- $F_a$	Glas- $F_g$	Resultende- $F$ (2)	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Januar	Februar	Marts	April	Maj
					$Q_s$ (3) MJ/måned								
1	<i>0,6</i>	<i>0,56</i>	<i>0,70</i>	<i>0,24</i>	<i>1400</i>	<i>1060</i>	<i>630</i>	<i>520</i>	<i>600</i>	<i>830</i>	<i>1280</i>	<i>1350</i>	<i>1430</i>
2	<i>0,6</i>	<i>0,62</i>	<i>0,70</i>	<i>0,26</i>	<i>3840</i>	<i>2900</i>	<i>1720</i>	<i>1410</i>	<i>1650</i>	<i>2270</i>	<i>3530</i>	<i>3680</i>	<i>3920</i>
3	<i>0,8</i>	<i>0,90</i>	<i>1,10</i>	<i>0,79</i>	<i>2180</i>	<i>1640</i>	<i>980</i>	<i>800</i>	<i>930</i>	<i>1280</i>	<i>2000</i>	<i>2090</i>	<i>2220</i>
4	<i>0,7</i>	<i>0,90</i>	<i>1,10</i>	<i>0,69</i>	<i>470</i>	<i>260</i>	<i>90</i>	<i>60</i>	<i>90</i>	<i>180</i>	<i>380</i>	<i>590</i>	<i>780</i>
5	<i>0,7</i>	<i>0,90</i>	<i>1,10</i>	<i>0,69</i>	<i>470</i>	<i>260</i>	<i>90</i>	<i>60</i>	<i>90</i>	<i>180</i>	<i>380</i>	<i>590</i>	<i>780</i>
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
40													
					I alt								

(1)  $F_s$  fås fra tabel 9 og 10

(2)  $F = F_s \cdot F_a \cdot F_g$

(3)  $Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s$ , for vinduer i den opvarmede del af bygningen.  $I_s$  fås fra tabel 8

$Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s \cdot b$ , for vinduer i uopvarmede rum

$Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s \cdot (1-b)$ , ved direkte solindfald gennem glasbygninger

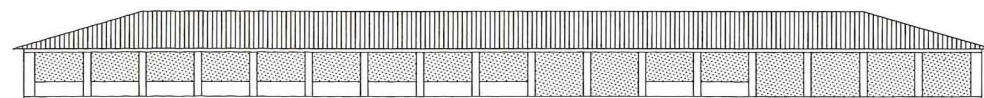
## Eksempel: Varmebehov i administrationsbygning

Administrationsbygningen, se figur 6, er i ét plan. Bygningens udvendige mål er 51,6 m × 12,6 m, og mursøjlerne, som bærer rem og tag, er 35 cm tykke. Det opvarmede etageareal er 650,2 m<sup>2</sup> og det indvendige areal inklusive skillevægge er 50,9 m × 11,9 m = 605,7 m<sup>2</sup>.

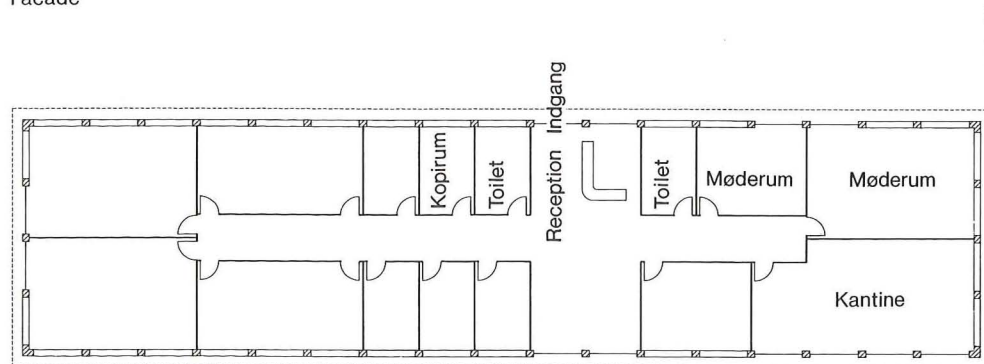
Rumhøjden er 2,8 m i alle lokaler, og etagehøjden er 3,1 m. Arealet af vinduer og yderdøre svarer til 31,0 pct. af det opvarmede etageareal.

Der er balanceret mekanisk ventilation i møderum og kantine samt mekanisk udsugning fra toiletter og kopirum. Den samlede luftydelse i møderummene er 0,20 m<sup>3</sup>/s og luftydelsen i kantine er 0,25 m<sup>3</sup>/s.

Bygningens varmebehov er beregnet til 212,7 MJ/m<sup>2</sup> år, hvor energirammen tillader 239,1 MJ/m<sup>2</sup> år, se det udfyldte hovedskema på side 52 og de udfyldte hjælpekemaer for administrationsbygningen på side 53-55. Der er således mulighed for yderligere at øge vinduesarealet eller at øge U-værdien for nogle af konstruktionerne.



Facade



Plan

Figur 6. Administrationsbygning, som behandles i beregningseksempel.



### Hjælpekema 3. Solindfald

Bygning: <i>Eksempel: Administrationsbyg.</i>		Dato: <i>20/3-95</i>		Init.: <i>SOA</i>									
Reduktionsfaktorer				Solindfald									
Nr.	Skyg-	Areal	Glas	Resulte-	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Januar	Februar	Marts	April	Maj
	$F_s^{(1)}$	$F_a$	$F_g$	rende- $F^{(2)}$	$Q_s^{(3)}$ MJ/måned								
1	0,8	0,80	0,85	0,54	1020	540	270	140	200	410	820	1220	1840
2	0,7	0,76	0,85	0,45	1840	980	490	250	370	740	1470	2210	3320
3	0,6	0,76	0,85	0,39	1020	560	200	130	200	390	820	1280	1700
4	0,7	0,80	0,85	0,48	940	510	180	120	180	360	760	1180	1570
5	0,6	0,76	0,85	0,39	570	280	100	70	100	200	410	640	850
6	0,7	0,80	0,85	0,48	4480	3350	1980	1630	1900	2620	4070	4250	4520
7	0,6	0,76	0,85	0,39	4410	3350	1980	1620	1890	2610	4050	4230	4500
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
I alt					14.170	9.550	5.210	3.960	4.840	7.330	12.400	15.010	18.300

(1)  $F_s$  fås fra tabel 9 og 10

(2)  $F = F_s \cdot F_a \cdot F_g$

(3)  $Q_s = A_v \cdot F \cdot I_s$ , for vinduer i den opvarmede del af bygningen.  $I_s$  fås fra tabel 8

$Q_s = A_v \cdot F \cdot I_s \cdot b$ , for vinduer i uopvarmede rum

$Q_s = A_v \cdot F \cdot I_s \cdot (1-b)$ , ved direkte solindfald gennem glasbygninger

### Hjælpekema 5. Mekanisk ventilation og udsugning

Bygning: <i>Eksempel: Administrationsbyg.</i>		Dato: <i>20/3-95</i>		Init.: <i>SOA</i>				
Område:	Brutto-	Drifts-	Mek.	Genvin-	Infil.	Infil.	Beregn.-	Vent.-
	areal	tid	vent.	dning	drifttid	stoppet	mæs. vent.	tillæg
	$A_{br}$	$T_d$	$q_{vm}$	$\eta_{vgv}$	$q_{i0}$	$q_{is}$	$q_v^{(1)}$	$\Delta Q_r^{(2)}$
	m <sup>2</sup>	h/uge	l/s m <sup>2</sup>	-	l/s m <sup>2</sup>	l/s m <sup>2</sup>	m <sup>3</sup> /s	MJ/år
<i>Mødestuen</i>	89	45	2,25	0,60	0,1	0,1	0,030	4210
<i>Kantine</i>	74	20	3,38	0,60	0,1	0,18	0,025	3230
<i>Kontorer, gang ...</i>	487	45	-	-	0,6	0,1	0,114	-
I alt							0,169	7440

(1)  $q_v = 0,001 \cdot A_{br} \cdot [\beta \cdot (q_{vm} \cdot (1 - \eta_{vgv}) + q_{i0}) + (1 - \beta) \cdot q_{i0}]$ , hvor  $\beta = T_d/168$

(2)  $\Delta Q_r = 400 \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,3)$  i andre boliger end enfamiliehuse med mekanisk udsugning uden varmegenvinding.

$\Delta Q_r = 1,0 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 1,2)$  i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation og varmegenvinding.

$\Delta Q_r = 2,4 \cdot T_d \cdot A_{br} \cdot (q_{vm} - 0,6)$  i andre bygninger end boliger med mekanisk ventilation uden varmegenvinding.

## Muligt vindues- og yderdørsareal

Med energirammen er det ofte muligt at opnå større vindues- og yderdørsareal end 22 pct. af det opvarmede etageareal, hvis det ønskes. I figur 7 og 8 er der vejledende vist, hvor stort vindues- og yderdørsareal det er muligt at opnå i typiske etageboliger og i typiske administrationsbygninger. Det mulige vindues- og yderdørsareal afhænger blandt andet af vinduernes orientering, reduktionsfaktoren for solindfaldet på grund af skyggeforholdene, vinduesrammernes størrelse og glastypen, samt af hvor kompakt byggeriet er.

Forudsætninger

Ved optegning af figurene er det forudsat, at bygningerne er 10 m dybe, at der kun er enkelte forsætninger i facaderne, at der anvendes 2-lags energiruder med en U-værdi på 1,6 W/m<sup>2</sup> K, og at bygningerne er med tunge ydervægge, fladt tag og uopvarmet kælder. Konstruktionerne er varmeisoleret svarende til U-værdikravene i BR gengivet i tabel 1, side 11. I bygninger med lette ydervægge og skråt tag med tagrum, som varmeisoleres svarende til BR's U-værdikrav, kan der normalt opnås lidt større vinduesarealer inden for energirammen end kurverne angiver.

I etageboliger er der forudsat et internt varmetilskud på 5 W pr. m<sup>2</sup> opvarmet etageareal, og i administrationsbygninger er der forudsat et tilskud på 20 W pr. m<sup>2</sup> i en brugstid på 45 timer pr. uge.

Reduktionsfaktor for solindfald

Reduktionsfaktoren for solindfaldet er lavest ved skyggefuld beliggenhed, store vinduesrammer og fx solafskærmende glas. Ved nogenlunde fri beliggenhed, almindelig vindueskonstruktion og brug af 2-lags energiruder vil reduktionsfaktoren for solindfaldet blive ca. 0,5, se i øvrigt side 35.

Vinduesorientering

I figurene er der optegnet kurver for vinduer ligeligt fordelt mod henholdsvis nord og syd og mod øst og vest. I bygninger med anden fordeling af vinduerne kan der interpoleres i kurverne. Hvis fx vinduerne er ligeligt fordelt på de fire hovedretninger nord, syd, øst og vest benyttes middelværdien af de to kurver for henholdsvis N-S og Ø-V. Dette kan også gøres, selv om bygningen er drejet fx 45° i forhold til hovedretningerne.

Vinduer mod syd

Hvis der bruges energiruder, og reduktionsfaktoren for solindfaldet er større end ca. 0,5, kan vinduesarealet mod syd eller sydlige retninger øges, uden at varmebehovet stiger. Det er på den måde muligt at øge vinduesarealet, udover det kurverne angiver.

Etageboliger

I figur 7 er der optegnet vejledende kurver for det mulige vindues- og yderdørsareal i et etagehus med 2 opgange i 2 etager med 100 m<sup>2</sup> lejligheder og i et etagehus med 4 opgange i

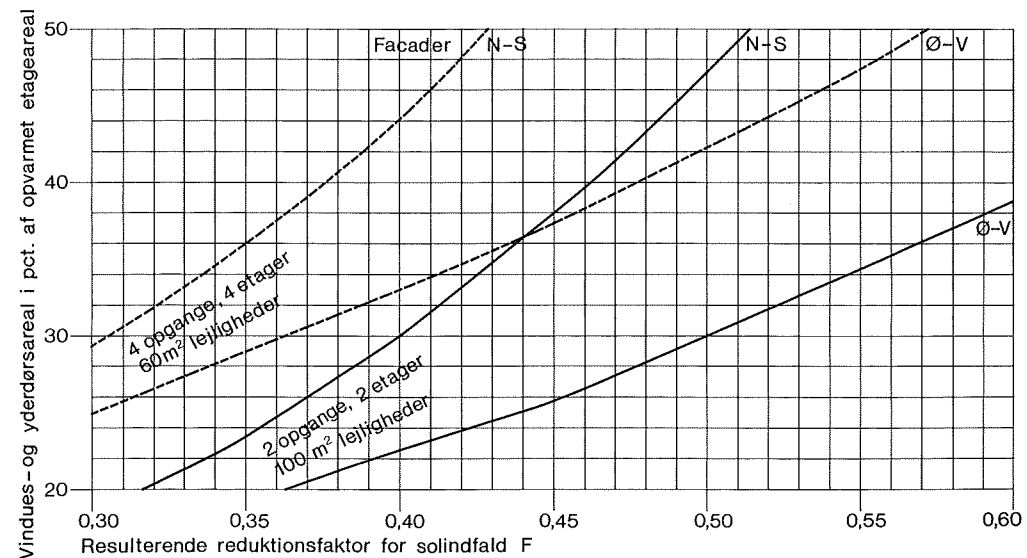
Eksempel

4 etager med 60 m<sup>2</sup> lejligheder. Forskellen på det opnåelige vinduesareal i de to huse skyldes i lige stor udstrækning antallet af opgange, antallet af etager og lejlighedernes størrelse. For etageboliger med anden sammensætning kan der interpoleres i kurverne.

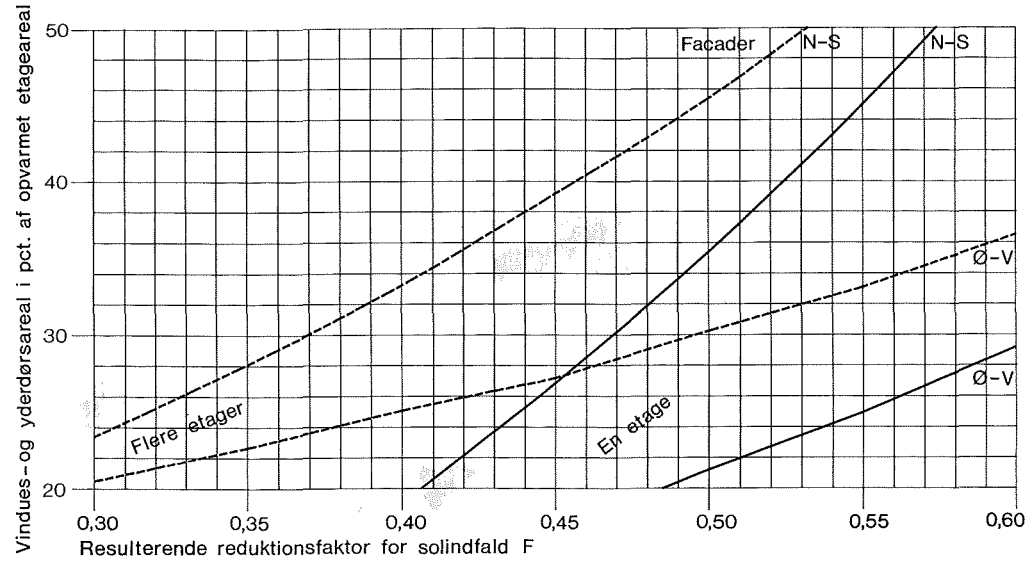
Administrationsbygninger

I et etagehus med fx 3 opgange i 3 etager med 80 m<sup>2</sup> lejligheder og vinduer ligeligt fordelt mod øst og vest med en reduktionsfaktor for solindfaldet på 0,45 kan der vejledende opnås et vindues- og yderdørsareal på  $1/2 \cdot (26 \text{ pct.} + 38 \text{ pct.}) = 32 \text{ pct.}$  af det opvarmede etageareal.

I figur 8 er der på tilsvarende vis optegnet vejledende kurver for det mulige vindues- og yderdørsareal i administrationsbygninger i én etage og i flere etager. Det mulige vindues- og yderdørsareal inden for energirammen afhænger for administrationsbygninger hovedsageligt af, om der er en eller flere etager, og kun i mindre grad af fx det bebyggede areal, eller af om der er to, tre eller endnu flere etager.



Figur 7. Vejledende værdier for muligt vindues- og yderdørsareal i typiske etageboliger, når energirammen benyttes.



Figur 8. Vejledende værdier for muligt vindues- og ydørsareal i typiske administrationsbygninger, når energirammen benyttes.

# Konstruktionseksempler

I dette kapitel bringes en række eksempler på ydervægge, kælderydervægge, kældergulve, terrændæk, kælder- og krybekælderdek samt loft- og tagkonstruktioner, hvoraf hovedparten netop har U-værdier som anført i bygningsreglementets afsnit 8.2: U-værdier for bygningsdele. For hver bygningsdel indledes med nogle generelle anvisninger på konstruktionernes udformning.

Isoleringsklasser

Isoleringsmaterialerne er angivet med Varmeisoleringskontrollens, VIK's, klassebetegnelser for den praktiske varmeledningsevne (36, 39, 42, ...).

Typiske U-værdier

De angivne U-værdier for konstruktioner er typiske værdier gældende for udførelser, som med hensyn til stentype, træprocent m.m. er almindelige. For nøjagtig dimensionering af varmeisolerings henvises til Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af bygningers varmetab, DS 418 [3] og til U-værditabellerne udgivet af Dansk Forening af Fabrikanten af Varmeisoleringsmaterialer, VIF [4].

Eksempler på sammenbygning

Efter gennemgangen af de ovennævnte bygningsdele afsluttes kapitlet med nogle udvalgte sammenbygningseksempler, som blandt andet viser, hvorledes kuldebroer kan undgås – eller reduceres betydeligt. Eksemplerne er hentet fra lavere byggeri, men de kan i vidt omfang også være til hjælp ved projektering af andet byggeri.

Andre byggetekniske SBI-anvisninger

En mere detaljeret gennemgang af fugttekniske forholds indflydelse på de enkelte konstruktioners udformning findes i SBI-anvisning 178: Bygningers fugtisolerings [23], medens udformning af facadefuger og valg af fugemateriale er nærmere beskrevet i SBI-anvisning 177: Facadefuger. Udformning og materialer [24].

## Tunge ydervægge

U-værdi  $\leq 0,30$

Tunge ydervægge (vægt over 100 kg/m<sup>2</sup>) indgår i varmetabsrammen med U-værdien 0,30. En U-værdi af denne størrelse udelukker i praksis at anvende massive ydervægge udført af tegl, beton eller letbeton, idet den nødvendige vægtykkelse vil blive urimelig stor. Tunge ydervægge i nutidigt byggeri er derfor altid lagdelte, og mindst et af lagene består af et godt varmeisolerende materiale, fx mineraluld, se figur 9.

Ud fra et varmeisolerings synspunkt vil det ideelle være, at varmeisoleringslaget er gennemgående i fuld tykkelse, også ved false. Af hensyn til vinduers og yderdøres fastgørelse, samt for at opnå en sikker understøtning af sølbænke, forsynes formur (forvæg) og/eller bagmur (bagvæg) imidlertid ofte med murede eller støbte vanger omkring vindues- og dørhuller, hvorved isoleringslagets tykkelse bliver kraftigt reduceret.

Vanger og andre dele, der reducerer isoleringslagets tykkelse, er – uanset materiale – benævnt ribber på figurene på næste side, hvor U-værdien er opgivet ved forskellige ribbe-procenter.

Områder med en kraftig reduceret tykkelse på det varmeisolerende lag benævnes kuldebroer, og isoleringsmaterialet de pågældende steder benævnes kuldebroisolering.

Sandwichelementer af beton har ofte store områder med ribber, idet der ud over ribbeforstærkninger omkring vindues- og dørhuller kan forekomme ribber langs elementets kanter eller ribber, der – støbt ud i ét med elementets bagplade – fungerer som søjler eller bjælker.

I ydervægge af uorganisk materiale – som vist på næste side – kan dampspærre udelades, idet fugt, som fra indeluften trænger ud i væggen og kondenserer i væggens ydre del, vil blive opsugt og transporteret kapillært ud til overfladen, hvorfra den vil fordampe. Denne mekanisme må ikke ødelægges ved, at den udvendige overflade gøres diffusionstæt.

Murede ydervægge skal have fyldte fuger, da slagregn ellers alt for let trænger ind i murværket. Dette er især vigtigt, hvis væggene stryges med silicone, idet den mængde regnvand, som ledes til småutætheder i formurens fuger, bliver større, når hovedparten af vægoverfladen er vandafvisende. Blankt murværk af porebetonblokke bør altid stryges med silicone.

I murede og skalmurede ydervægge skal der ved fundament samt over vinduer og døre indlægges Z- henholdsvis L-formede strimler af asfaltimpregneret polyesterfilt for at lede eventuelt indtrængende regnvand ud af væggen igen.

Store tagudhæng øger ydervæggens holdbarhed, idet de mindsker mængden af slagregn, som rammer facaderne.

Ribber

Kuldebro og kuldebroisolering

Sandwichelementer af beton

Diffusionsmodstand

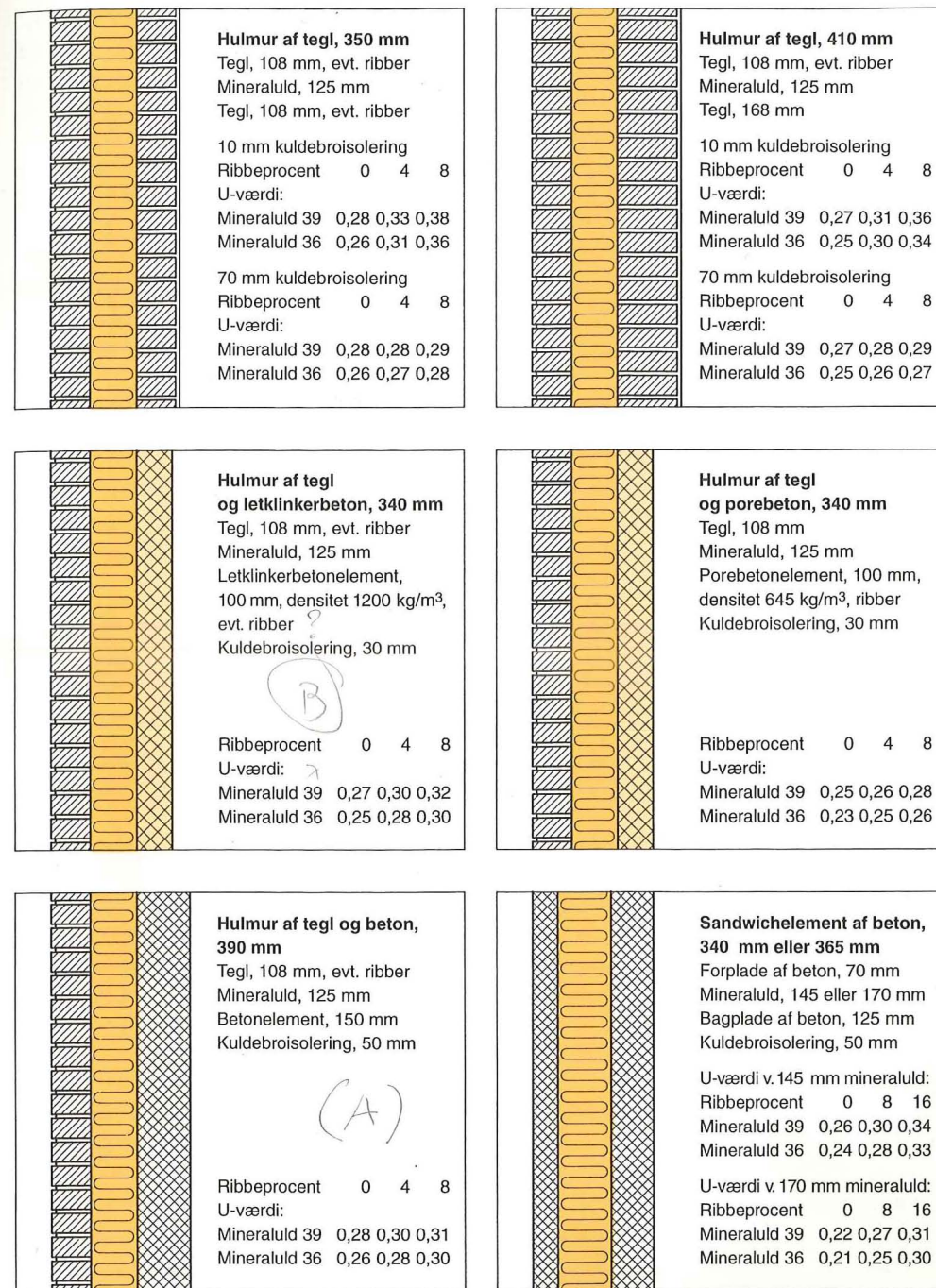
Vandafvisende overfladebehandling af murværk

Murpap

Anvend tagudhæng

## Eksempler på tunge ydervægge, mål 1:20

Figur 9





## Lette ydervægge

U-værdi  $\leq 0,20$

Træskeletvægge opbygget på stedet

Isolering i to eller tre lag

Stålskeletvægge opbygget på stedet

Fabriksfremstillede facadeelementer af træ

Skalmure

Vindtæthed

Damptæthed/  
lufttæthed

Lette ydervægge (vægt under  $100 \text{ kg/m}^2$ ) indgår i varmetabsrammen med U-værdien 0,20. En U-værdi af denne størrelse kan som regel opnås ved at anvende et varmeisoleringsmateriale i lambda-klasse ( $\lambda$ -kl.) 39 eller 36 i ca. 200 mm tykkelse.

De to øverste eksempler viser på stedet udførte træskeletvægge. Disse vægge opbygges normalt af tykkelseshøvlet træ i små dimensioner:  $50 \times 95 \text{ mm}$  til stolper, som forsynes med  $50 \times 95 \text{ mm}$  planker opsat vandret på den ene side eller med  $50 \times 45 \text{ mm}$  lægter opsat vandret på begge sider. Isoleringsmaterialet udfylder helt træskelettets dybde og fordeles mest hensigtsmæssigt på to eller tre lag mellem henholdsvis de lodrette stolper og de vandrette planker/lægter, hvorved samlinger i isoleringslagene kan forskydes, og kuldebroer gennem træet undgås. Træskelettet forsynes indvendigt med en dampspærre under en beklædning af plader eller brædder. Dampspærren kan dog også placeres mellem stolper og det inderste lag  $50 \times 45 \text{ mm}$  lægter. Træskelettet forsynes på ydersiden med et vindtæt lag, fx en vindtæt, diffusionsåben plade. Herefter følger et ventileret hulrum, og væggen afsluttes med en skalmur eller en beklædning af plader eller brædder.

De to midterste eksempler viser på stedet udførte stålskeletvægge. Disse vægge opbygges i princippet på samme måde som træskeletvæggene. Til stolper anvendes slidsede stålprofiler for at reducere kuldebroeffekten. Det er af stor vigtighed, at væggen udfyldes fuldstændigt med mineraluld for at hindre konvektionsstrømme, som kan give betydelig kuldebroeffekt. Det er specielt vigtigt, at mineralulden slutter tæt til profilernes krop og flanger.

De to nederste eksempler viser fabriksfremstillede facadeelementer af træ, der som regel først forsynes med udvendig beklædning – og i nogle tilfælde også indvendig beklædning og en del af isoleringen – efter montering på byggepladsen.

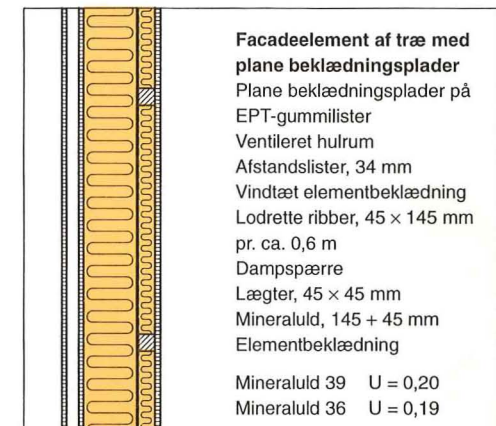
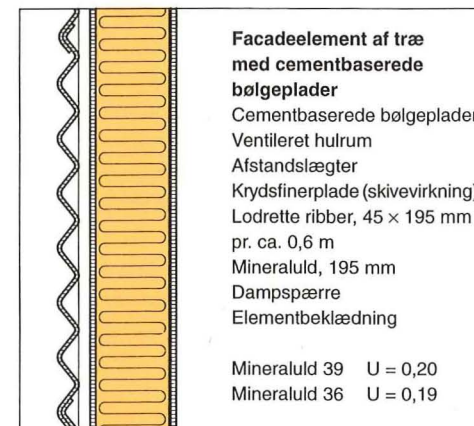
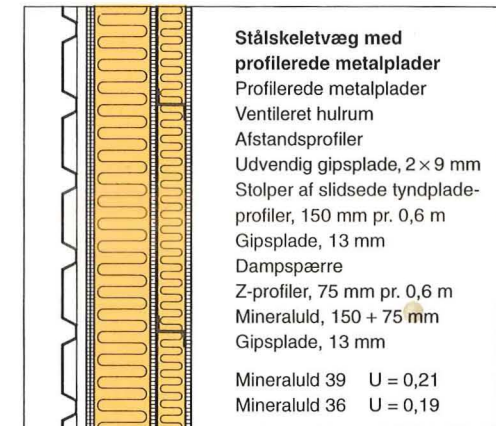
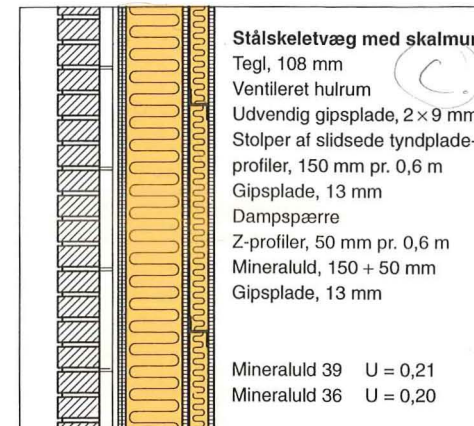
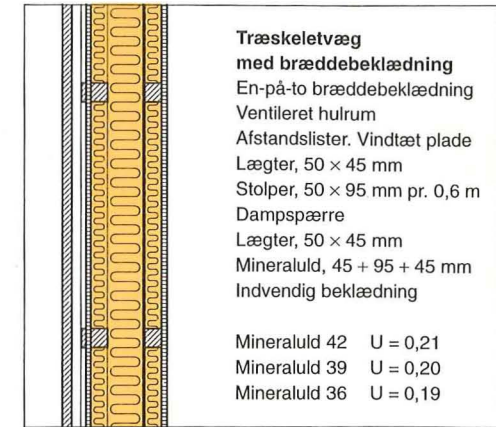
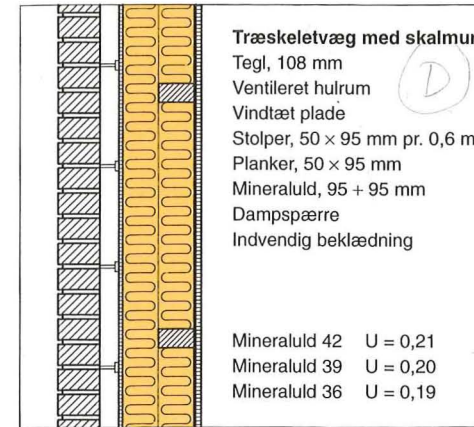
Ved skalmuring af træ- og stålskeletvægge samt fabriksfremstillede facadeelementer af træ skal hulrummet bag skalmuren ventileres for at sikre udtørring af fugt, som ved kraftig slagregn vil kunne trænge ind gennem skalmuren.

For at opnå de angivne U-værdier skal kold udeluft hindres i at trænge ind i varmeisoleringslaget, og der skal derfor anbringes et vindtæt, diffusionsåbent lag på isoleringens udvendige side.

For at hindre at fugtig indeluft (vanddamp) trænger ud i væggen, skal der anbringes et damptæt lag – en dampspærre – på isoleringens varme side, og det skal sikres, at dette lag bliver udført med lufttætte samlinger og tilslutninger.

## Eksempler på lette ydervægge, mål 1:20

Figur 10



## Andre ydervægge

De på næste side viste ydervægskonstruktioner er karakteriserede ved at have en bagvæg af beton- eller letbetonelementer, der som regel er bærende og/eller afstivende, og som udvendigt er forsynet med et varmeisoleringsmateriale beskyttet mod vejrliget.

U-værdi  $\leq 0,20$

Øverst til venstre er vist en vægkonstruktion, hvor vægten af den del af konstruktionen, der ligger inden for det ventilerede hulrum, er mindre end  $100 \text{ kg/m}^2$ . En sådan væg indgår derfor med U-værdien 0,20 ved beregning af varmetabsrammen.

Øverst til højre er vist en vægkonstruktion, som vejer lidt over  $100 \text{ kg/m}^2$  og derfor indgår med U-værdien 0,30 ved beregning af varmetabsrammen. Da væggen rent faktisk har en U-værdi på 0,19, opstår der et »overskud«, som kan anvendes til at kompensere for fx et større vinduesareal. Tænkes overskuddet i stedet anvendt til at reducere isoleringslagets tykkelse fra 200 mm til fx 150 mm – hvorved U-værdien ændres fra 0,19 til 0,25 – kommer vægten af væggen under  $100 \text{ kg/m}^2$ , hvilket medfører, at væggen nu skal indgå i varmetabsrammeberegningen med U-værdien 0,20. Herved opstår der et »underskud«, som må kompenseres ved at isolere andre dele af klimaskærmen bedre. Den viste isoleringstykkelse på 200 mm er derfor i den givne situation det mest fordelagtige valg.

De tre konstruktionseksempler til venstre er alle ventilerede, og det vil, for at undgå unødigt varmetab ved luftstrømning i isoleringen, normalt være nødvendigt at afdække isoleringen på konstruktionens varme side, bør der anvendes et meget diffusionsåbent materiale som vindafdækning. Z-værdien (diffusionsmodstanden) af dette lag bør være så lav som 1-2 (PAM-værdi 2-4). Der vil være risiko for fugtophobning, såfremt der anvendes en traditionel vindtæt asfaltpap, idet denne ofte har en Z-værdi på 20-30. De ventilerede facadebeklædninger bør i princippet udføres på samme måde som omtalt under de lette ydervægge, og fuger bør udformes således, at der opnås en tetrins tætning.

De tre vægkonstruktioner til højre vil i fugtteknisk henseende fungere på samme måde som omtalt under de tunge ydervægge, og en dampspærre er derfor unødvendig.

Alle de viste vægkonstruktioner, bortset fra konstruktionen øverst til venstre, indgår med U-værdien 0,30 ved beregning af varmetabsrammen.

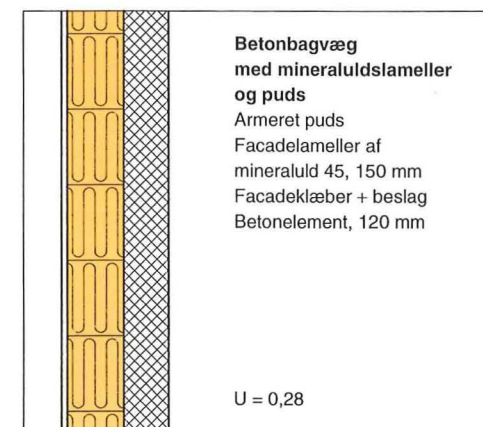
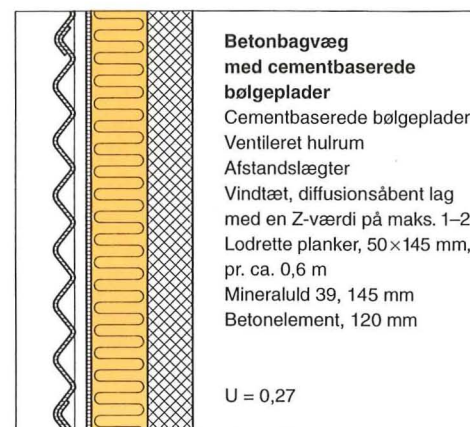
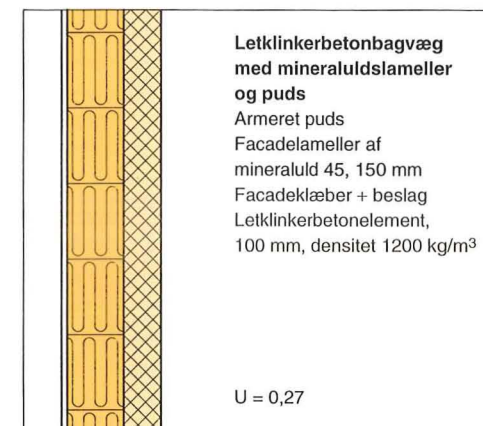
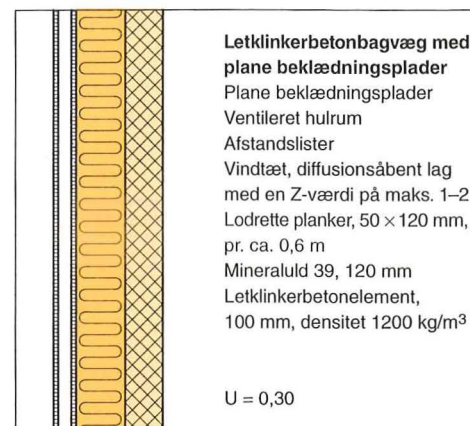
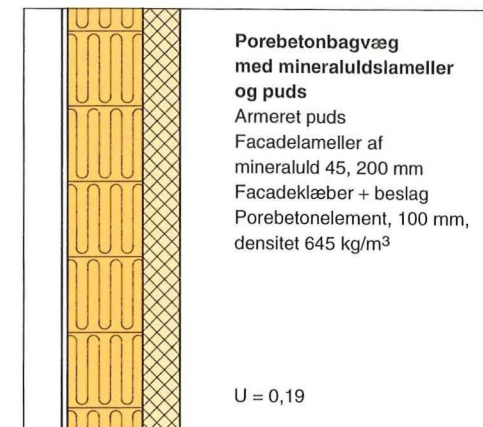
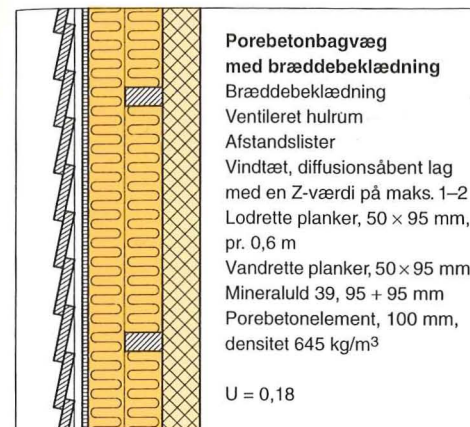
U-værdi  $\leq 0,30$

Z-værdi måles i  $\frac{\text{GPa}}{\text{kg/m}^2\text{s}}$

PAM-værdi måles i  $\frac{\text{g/m}^3}{\text{g/m}^2\text{h}}$

## Eksempler på andre ydervægge, mål 1:20

Figur 11



## Kælderydervægge og kældergulve

Kælderydervægge,  
U-værdi  $\leq 0,30$

Kælderydervægge i rum, der er opvarmet til mindst  $18^{\circ}\text{C}$ , indgår i varmetabsrammen med U-værdien 0,30. For at opnå en U-værdi af denne størrelse skal der anbringes et varmeisoleringslag i eller på kælderydervæggen. De på næste side angivne isoleringstykkelser og U-værdier gælder for kælderydervægge, der ligger helt under terræn. Hvor dette ikke er tilfældet, fastlægges U-værdien på grundlag af DS 418.

Jordfugt

En kælderydervæg bør beskyttes mod jordfugt, selv når den ikke udsættes for vandtryk. Dette kan ske ved, at væggen berappes med cementmørtel – vægge af blokke pudses eventuelt. Derefter fugtisolereres fx ved to gange stryging med asfalt, eller der anbringes et lag hårde, profilerede plastplader med store overlæg.

Omfangsdræn

Langs kælderydervæggens yderside skal der normalt lægges et omfangsdræn, der dels kan aflede grundvand og dels opfange overfladevand, som søger ned i jorden omkring kælderen. Uden for væggen udføres vægdræn ved hjælp af isoleringsplader med drænende egenskaber, drænplader eller drænende fyld (fx betongrus). Ved brug af fyld skal en eventuel asfaltering beskyttes ved udkastning med cementmørtel.

Vægdræn

Udvendig isolering

Varmeisolering på væggen yderside må foretrækkes, da selve væggen hermed bliver varmere og dermed også mere tør. Der skal være forbindelse eller overlappning imellem kælderydervæggens og ydervæggens isolering, således at der ikke opstår en kuldebro i terrænhøjde. Se sammenbygningseksemplerne figur 22 og 23, side 77.

Isoleringsmaterialet på væggen yderside skal kunne modstå jordtryk, være kemisk og biologisk modstandsdygtigt samt vandafvisende. Mineraluldsplader klæbes med asfalt til kælderydervæggen, og tilfyldning skal ske med et drænende materiale. Trykfaste plader af polystyren med drænriller afdækket med fiberdug fastgøres ved klæbning. Tilfyldning kan ske med almindelig jordfyld. Endelig kan der som kombineret isolering og udvendigt drænlag anvendes løse letklinker afdækket med en fiberdug. Tilfyldning kan ske med almindelig jordfyld.

Indvendig isolering

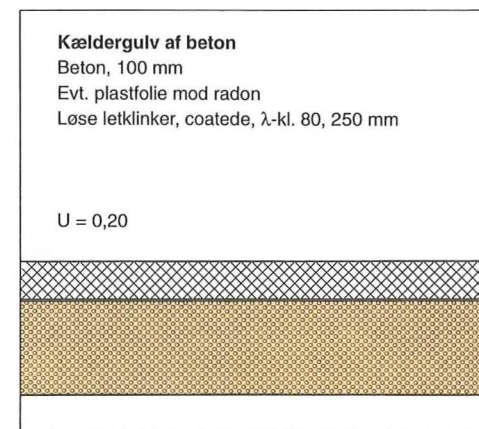
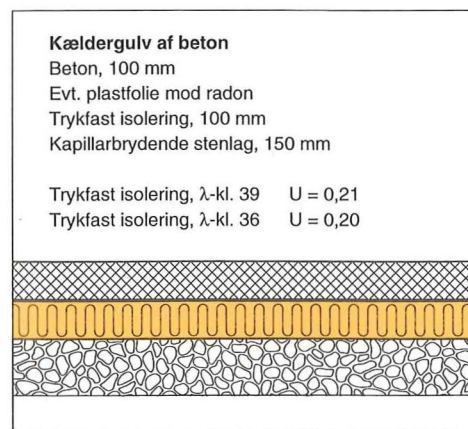
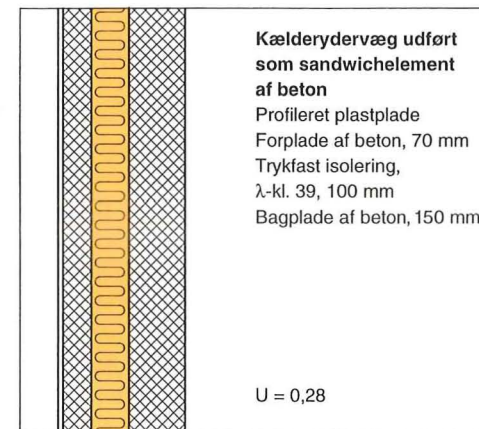
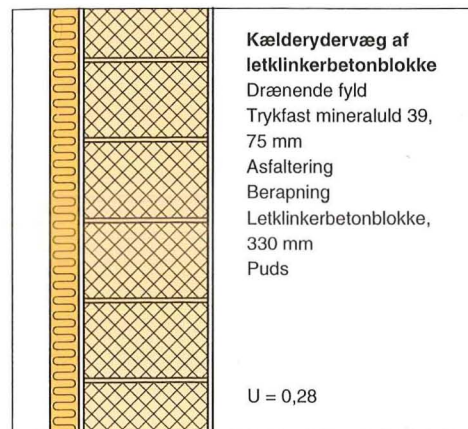
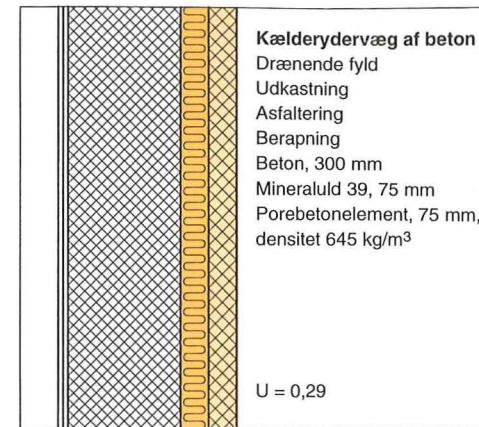
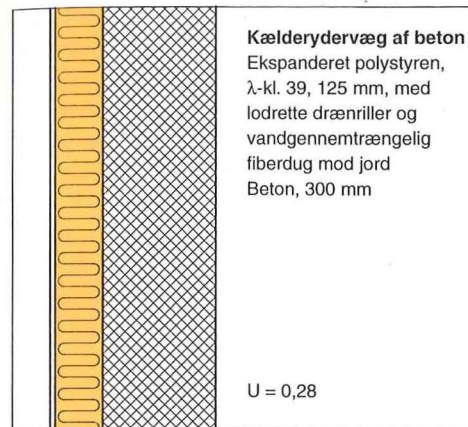
Varmeisolering på den indvendige side af en kælderydervæg kan udføres med mineraluldsplader, der fastgøres mekanisk og dernæst dækkes med en letbetonvæg. Denne løsning er i fugt-teknisk henseende den mest sikre form for indvendig isolering.

Kældergulve,  
U-værdi  $\leq 0,20$

Kældergulve i rum, der er opvarmet til mindst  $18^{\circ}\text{C}$ , indgår i varmetabsrammen med U-værdien 0,20. Kældergulve skal udføres lufttætte mod jord for at forhindre opstrømning af den radioaktive luftart radon.

## Eksempler på kælderydervægge og kældergulve, mål 1:20

Figur 12



## Terrændæk

U-værdi  $\leq 0,20$

Terrændæk indgår i varmetabsrammen med U-værdien 0,20. De på figurerne viste isoleringstykkelser og de dertil hørende U-værdier gælder for *terrændækkets midterfelt*, dvs. den del af terrændækket, der ligger mere end 1 m fra inderside af ydervæg. I *terrændækkets randfelt*, som ligger 0-1 m fra ydervæggens inderside, er det nødvendigt at isolere yderligere for at undgå unødigt varmespild. Da det normalt foretrækkes at anvende samme isoleringstykkelser i rand- og midterfelt, tilvejrbringes den yderligere isolering ved at anvende letklinkerbetonblokke i fundamentets øverste del og/eller ved at anbringe isoleringsmateriale lodret i fundamentet eller på fundamentets inderside.

Når U-værdien er omtrent den samme i randfelt og midterfelt, kan varmetabet, hvormed terrændækket indgår i varmetabsrammen, beregnes i henhold til DS 418, afsnit 5.2: Foreløbig beregning af samlet transmissionstab.

De nærmere regler for dimensionering af den yderligere isolering i forbindelse med fundamentet samt regler for eftervisning af, om kuldebroer i fundamentet er passende afbrudt, er også angivet i DS 418.

Den mindste acceptable fundamentisolering opnås, når den øverste del af fundamentet udføres af letklinkerbeton i fundamentets fulde bredde. En bedre isolering opnås, hvis der indskydes et lag isoleringsmateriale mellem to lag letklinkerbeton. Se sammenbygningseksemplerne figur 17 og 18, side 74.

Et terrændæk med varmeisoleringsmateriale under betonpladen har den fordel, at betonen i alle tilfælde bliver tør på længere sigt, da den bliver varmere end jorden under betonpladen. Det anvendte isoleringsmateriale skal være trykfast og kan fx bestå af løse letklinker, hårde mineraluldsplader eller polystyrenplader. Et varmeisoleringslag af løse letklinker skal være mindst 150 mm tykt for at virke som kapillarbrydende lag.

Et trægulv er så fugtfølsomt, at der altid skal anbringes en fugtspærre oven på betonpladen, idet denne afgiver byggefugt i en ret lang periode efter støbningen. For at undgå kondens på oversiden af fugtspærren skal hovedparten af isoleringsmaterialet placeres under betonpladen.

Varmerør i et terrændæk med trægulv skal isoleres selvstændigt svarende til mindst 20 mm mineraluld, således at varmen fra rørene ikke udtørre trægulvet så kraftigt, at der opstår revner.

Fundamentisolering

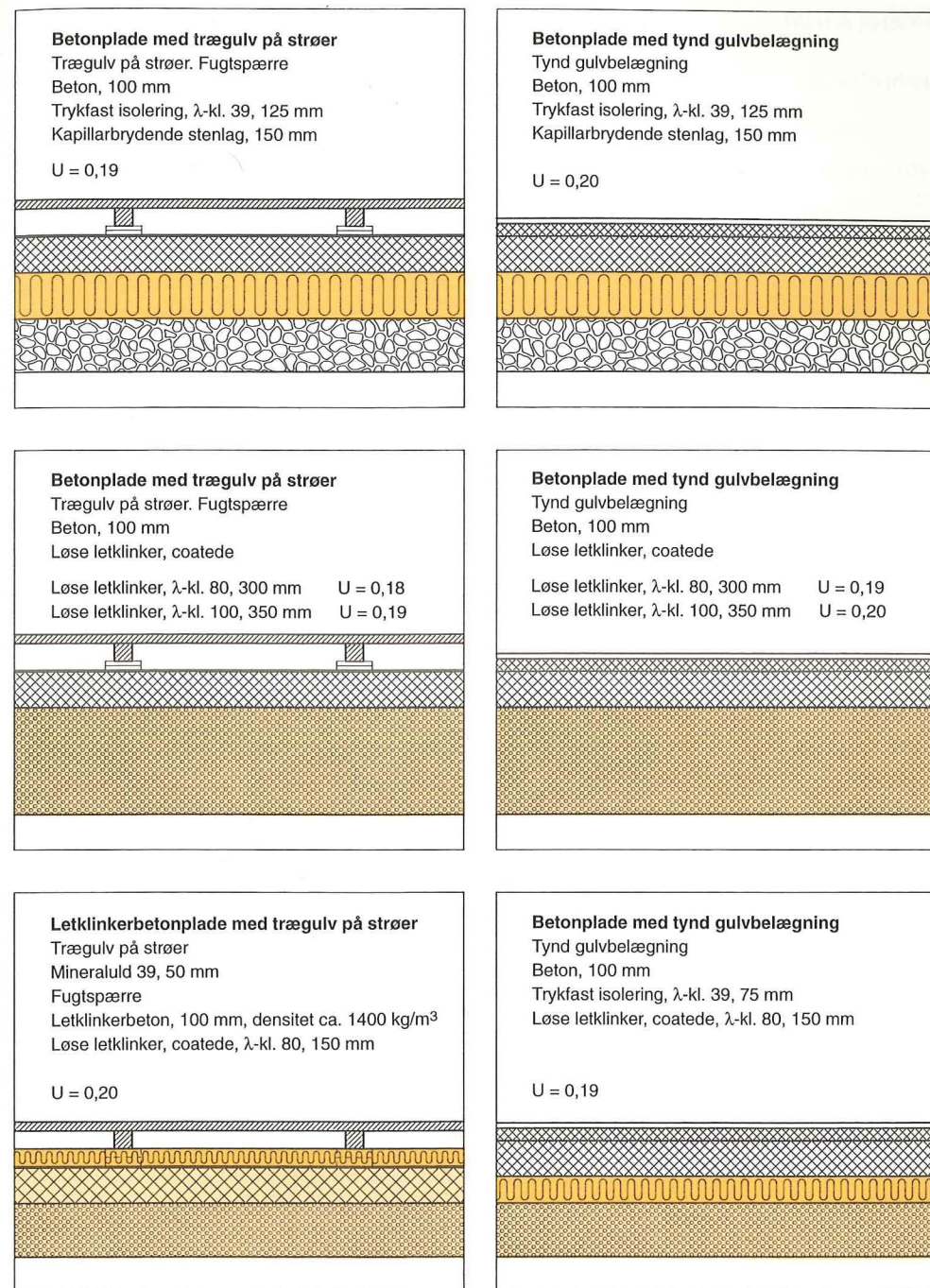
Varmeisolerung  
under betonpladen

Trægulve kræver  
fugtspærre

Varmerør

## Eksempler på terrændæk, mål 1:20

Figur 13



## Kælder- og krybekælderdek

U-værdi  $\leq 0,20$

Træbjælkelag

Beton- og letklinkerbetondæk

Fugtspærre på beton- og letklinkerbetondæk

Vindtæthed

Radon

Varmerør

Andre krybekældre

Dæk over uopvarmet kælder

Dæk over det fri

Dæk over traditionelt ventilerede krybekældre indgår i varmeabsrammen med U-værdien 0,20.

For at opnå denne U-værdi skal træbjælkelag varmeisoleres med ca. 200 mm mineraluld. Isoleringen anbringes mellem og under bjælkerne som vist i eksemplet på næste side.

For at opnå en U-værdi på 0,20 skal beton- og letklinkerbetondæk over krybekældre forsynes med 175-200 mm varmeisoleringsmateriale afhængig af det valgte dæks isoleringsevne, se fire af de øvrige fem konstruktionseksempler på næste side. Ved fugtfølsomme gulvbelægninger, som fx trægulv på strøer, skal der altid anbringes en fugtspærre oven på et beton- eller letklinkerbetondæk for at beskytte mod byggefugt. I disse tilfælde må højst halvdelen af ovennævnte isoleringsmateriale anbringes oven på fugtspærren. Såfremt der afviges fra denne regel og en for stor del af isoleringen bliver anbragt over fugtspærren, vil denne under vinterforhold kunne blive så kold, at der kan opstå kondens på fugtspærrens overside.

Krybekælderdekket skal være så vindtæt, at der ikke opstår trækgener ved gulvet. I træbjælkelag opnås dette ved at anbringe en dampspærre af fx plastfolie direkte under gulvbrædderne og klemme denne omhyggeligt bag fodlisterne. I dækkonstruktioner, hvori indgår et beton- eller letklinkerbetondæk, kan den fornødne lufttæthed opnås i dette dæk. Disse foranstaltninger sikrer i øvrigt også mod opstrømning af radon fra krybekælderen. Isolering under krybekælderdekket skal monteres så omhyggeligt, at luftstrømning i samlinger forhindres, hvorved unødigt varmetab undgås.

Den bedste placering af varmerør er på varmeisoleringens overside, således at varmetabet kommer huset til gode. Rør skal dog altid isoleres for at undgå ukontrolleret varmeafgivelse, som kan medføre en for høj rumtemperatur og eventuelt en skadelig udtørring af trægulve.

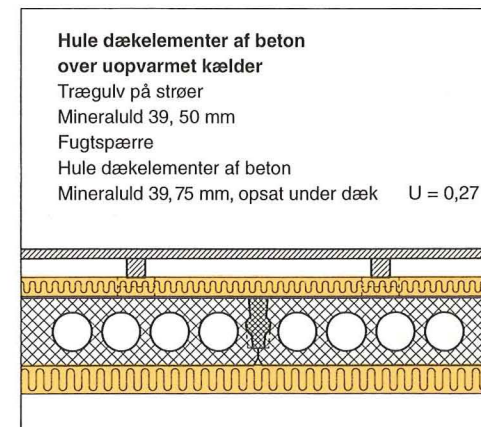
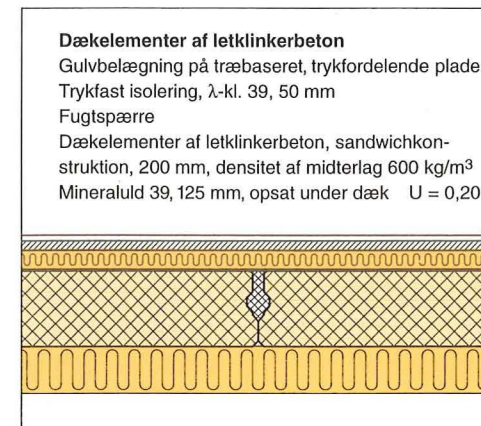
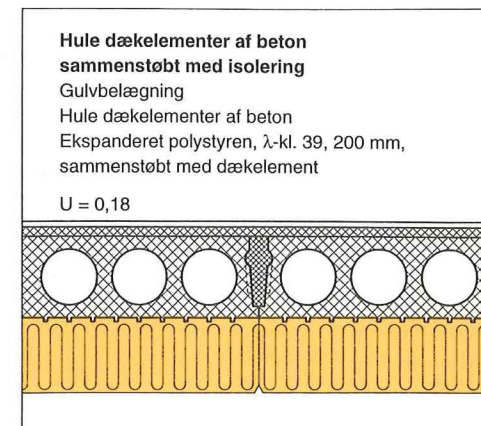
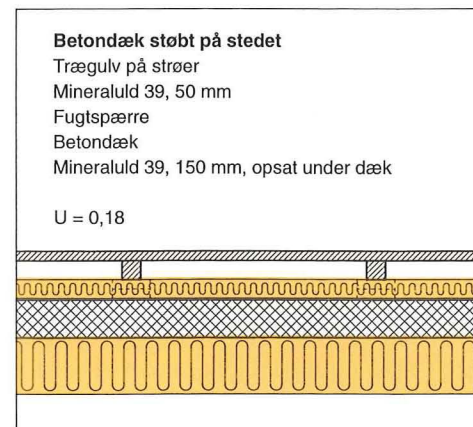
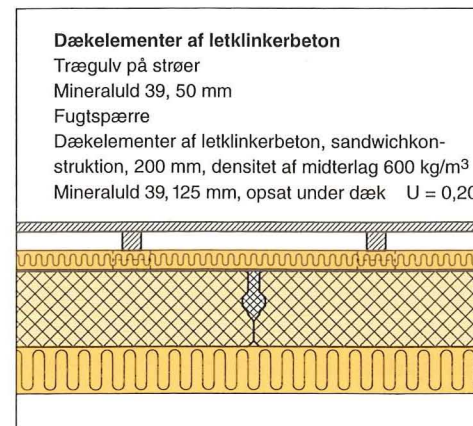
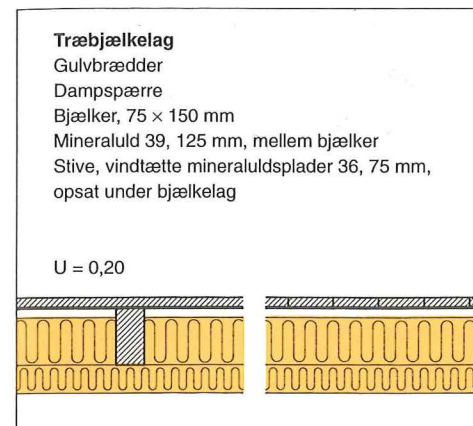
For traditionelt ventilerede krybekældre anvendes ved beregning af varmeabsrammen en temperatur på  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  i krybekælderen. For krybekældre med andre temperatur- og ventilationsforhold gennemføres varmeabsrammeberegningerne som anvist i DS 418.

Dæk over en uopvarmet kælder indgår i varmeabsrammen med U-værdien 0,30. Temperaturen fastsættes skønsmæssigt, eller der kan opstilles en varmebalance for kælderrummet.

Dæk over åbne portrum og lignende indgår i varmeabsrammen med U-værdien 0,20 og en temperatur på  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## Eksempler på kælder- og krybekælderdek, mål 1:20

Figur 14



## Loft- og tagkonstruktioner

U-værdi  $\leq 0,15$

U-værdi  $\leq 0,20$

Tegltag med  
diffusionstæt  
undertag

Tegltag med  
diffusionsåbent  
undertag

Flade tage af træ

Dampspærre med  
Z-værdi  $\geq 50$

Lufttæthed

Trykfast isolering  
på flade tage af  
beton eller letbeton

Loft- og tagkonstruktioner, herunder skunkvægge, indgår i varmetabsrammen med U-værdien 0,15, når disse bygningsdele vender mod uopvarmede og ventilerede skunk- eller tagrum. Flade tage, skråvægge direkte mod tag samt andre tage med lille konstruktionshøjde og med tagoverside parallelt med loft – de såkaldte paralleltage – indgår derimod med U-værdien 0,20. Denne forskel i isoleringskrav skyldes, at det i førstnævnte tilfælde er muligt at øge tykkelsen på varmeisoleringslaget uden at øge konstruktionshøjden, og at det er muligt at anvende bløde og dermed relativt billige isoleringsmaterialer.

Ved tegltag med undertag af armeret plastfolie eller andre diffusionstætte materialer skal der over varmeisoleringen være et effektivt ventileret hulrum. I paralleltage er det ved anvendelse af banevarer nødvendigt at projektere en ventilationsspalte med en højde på mindst 75 mm for at være sikker på, at der efter eventuel nedbøjning af banevaren er en effektiv ventilationsspalte på mindst 50 mm. Ventilationsåbningernes samlede areal bør være på mindst 1/500 af det bebyggede areal og være jævnt fordelt.

I paralleltage anvendes ofte et diffusionsåbent undertag, som lægges direkte på isoleringen, dvs. uden ventilation imellem de to lag. Undertaget skal have en Z-værdi mindre end 1-2 for at de små mængder fugt, som trænger igennem fra det underliggende rum, let kan slippe ud af konstruktionen.

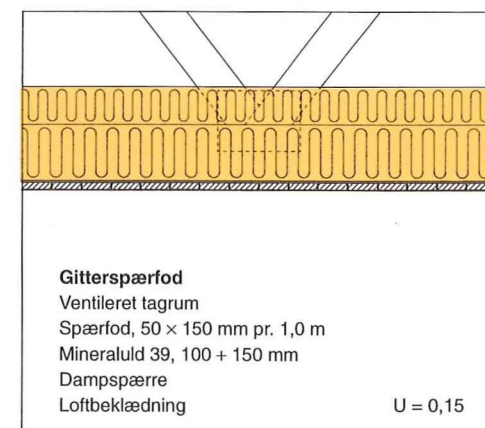
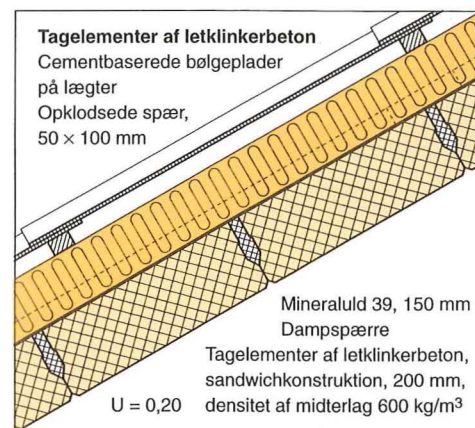
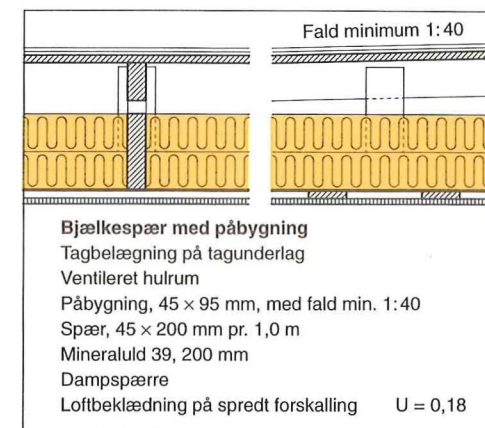
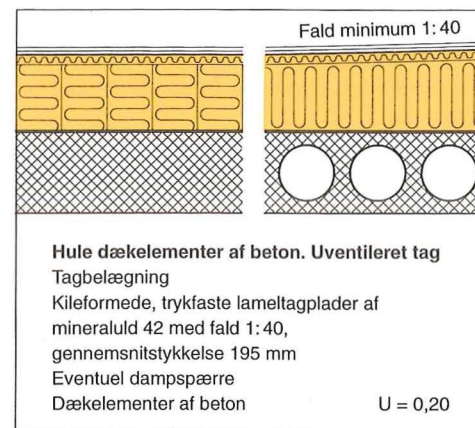
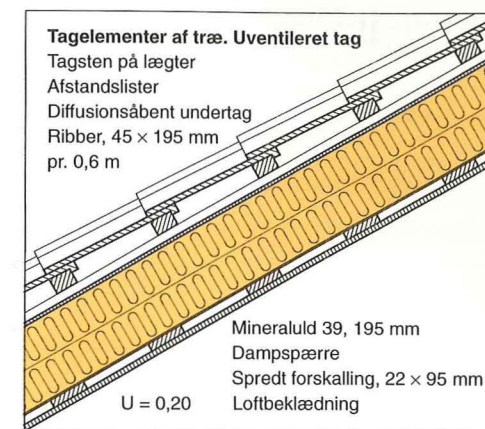
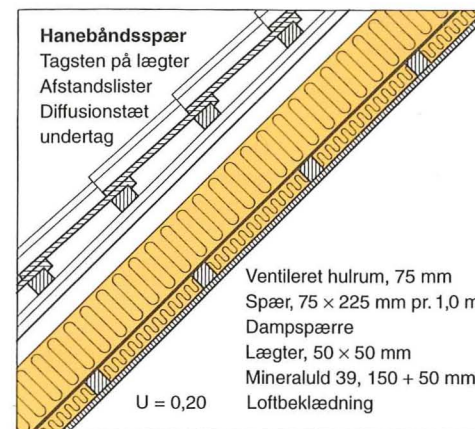
I flade tagkonstruktioner af træ kan nødvendig højde for anbringelse af isolering samt etablering af fald på tagfladen opnås ved påbygning på bjælkespær, hvorved også kuldebroer reduceres væsentligt. Tagfladen skal ventileres, og ventilationsåbningernes samlede areal bør mindst være 1/500 af det bebyggede areal og bør etableres langs tagkanter. Hætter på tagfladen giver risiko for opsugning af rumluft i tagkonstruktionen og bør derfor undgås.

I alle tagkonstruktioner af træ skal der på isoleringens varme side anbringes en robust og holdbar dampspærre med en Z-værdi større end 50. Den skal være tæt over for rumluft ved tilslutning til fx ovenlys, vægge og kanal gennemføringer. Bemærk at lufttæthed i loftkonstruktionen er vigtigere end en stor diffusionsmodstand af dampspærren.

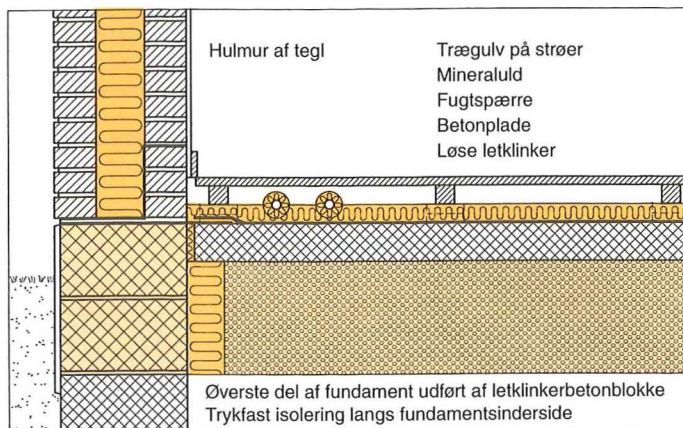
Flade tage med en bærende plade af beton eller letklinkerbeton isoleres med et trykfast isoleringsmateriale på oversiden og forsynes med tagpap eller tagfolie. Alle isoleringsmaterialer (undtagen skumglas) er så diffusionsåbne, at der almindeligvis må anbringes en dampspærre, fx en asfaltpap med indlagt aluminiumsfolie, under isoleringen.

## Eksempler på loft- og tagkonstruktioner, mål 1:20

Figur 15

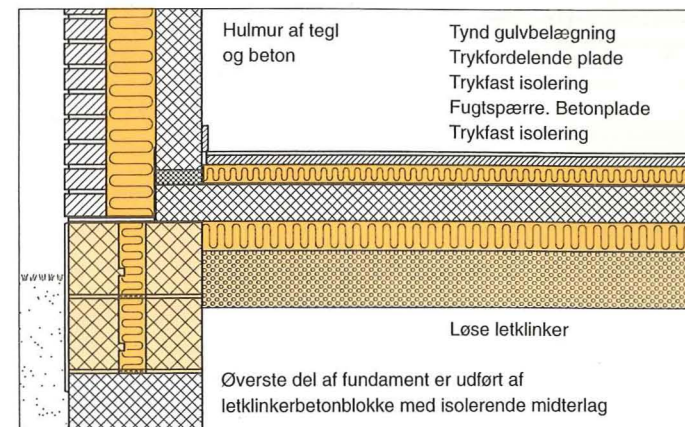


Ydervæg/terrændæk/  
fundament



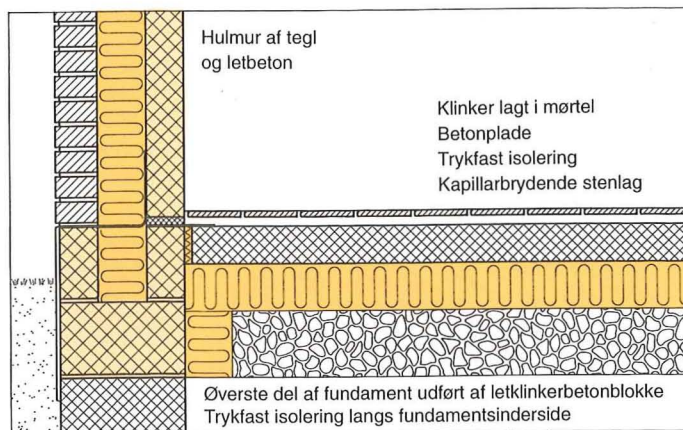
Figur 16. Kuldebroen gennem fundamentets øverste del er reduceret ved hjælp af to skifter letklinkerbetonblokke samt ved anvendelse af trykfast isolering på fundamentets inderside. Fugtspærre i væg og gulv samles tæt (klæbes, klemmes), således at luftopstrømning (radon) fra jorden forhindres.

Ydervæg/terrændæk/  
fundament



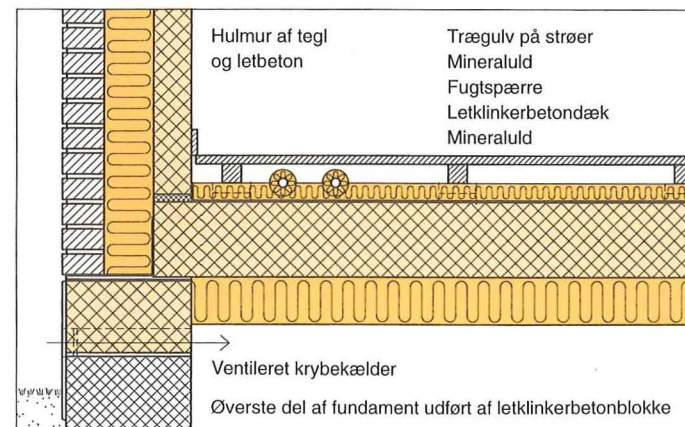
Figur 18. Kuldebroen gennem fundamentets øverste del er brudt ved anvendelse af letklinkerbetonblokke med et isolerende midterlag. Fugtspærre på overside af betonplade beskytter fugtfølsomme dele af gulvkonstruktionen. Fugtspærren kan alternativt placeres direkte under den trykfordelende plade.

Ydervæg/terrændæk/  
fundament

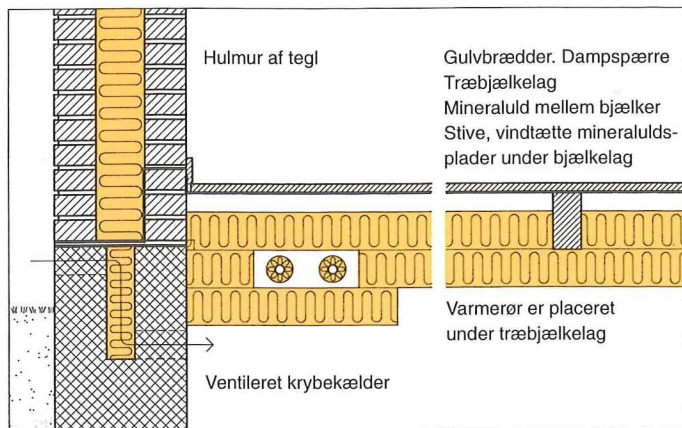


Figur 17. Kuldebroen gennem fundamentets øverste del er brudt ved placering af varmeisoleringsmateriale imellem to letklinkerbetonblokke i fundamentets øverste skifte. Næstøverste skifte udføres også af letklinkerbetonblokke. Der tætnes mod luftopstrømning (radon) over kantisoleringsen mellem fundament og betonplade.

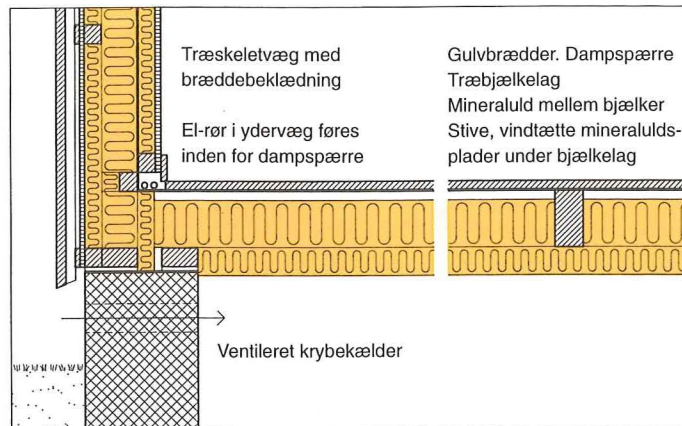
Ydervæg/krybekælder/  
dæk/fundament



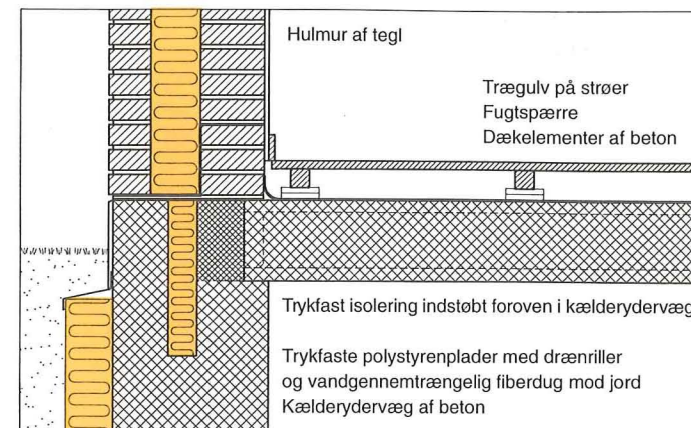
Figur 19. Kuldebroen gennem fundamentets øverste del er reduceret ved anvendelse af en letklinkerbetonblok i fundamentets overside. Trægulv beskyttes mod byggefugt med en fugtspærre på letklinkerbetondækkets overside. Isolering over fugtspærren er begrænset til 50 mm for at undgå kondensation på fugtspærrens overside.

Ydervæg/krybekælder-  
dæk/fundament

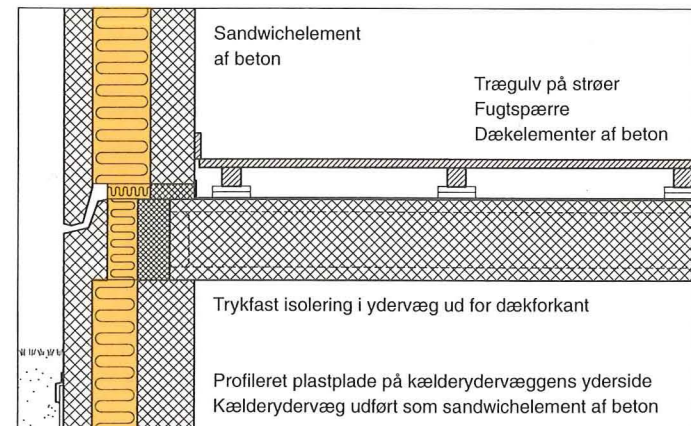
Figur 20. Kuldebroen gennem fundamentets øverste del er brudt ved lodret placering af trykfast isoleringsmateriale i midten af fundamentet. Varmerør placeret under træbjælkelag er selvstændigt isolerede samt beskyttet med yderligere isolering i den tilgængelige krybekælder. Dampspærre direkte under gulvbrædder forhindrer luftopstrømning (trækgener, radon) fra krybekælderen.

Ydervæg/krybekælder-  
dæk/fundament

Figur 21. Den beskedne kuldebro imellem træskeletvæg og træbjælkelag er brudt ved placering af en strimmel isoleringsmateriale. Både på figur 20 og figur 21 er bjælkelagets underside beskyttet mod opfugning fra høj relativ luftfugtighed ved placering af isolering under bjælkelaget. Bemærk at udnyttelse af højden i træbjælkelaget til placering af isolering giver en forholdsvis lav konstruktionshøjde.

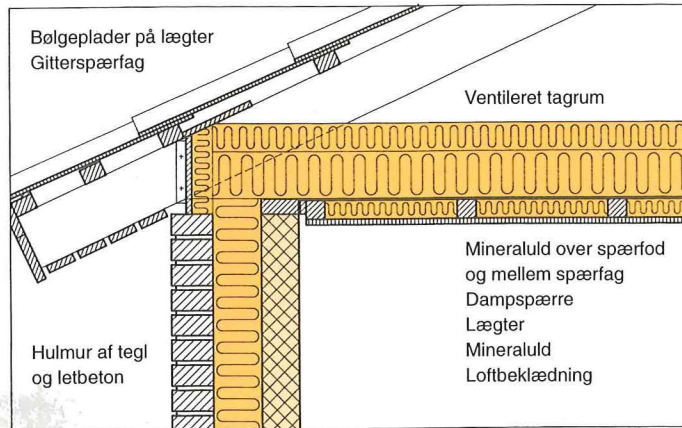
Ydervæg/kælderdæk/  
kælderydervæg

Figur 22. Kuldebroen i soklen er brudt ved indstøbning af trykfast isoleringsmateriale i kælderydervæggens øverste del. Denne isolering skal overlape isoleringen på kælderydervæggens yderside for at have tilstrækkelig effekt. Fugtspærre på overside af betondæk i figur 22 og 23 beskytter trægulvet mod byggefugt.

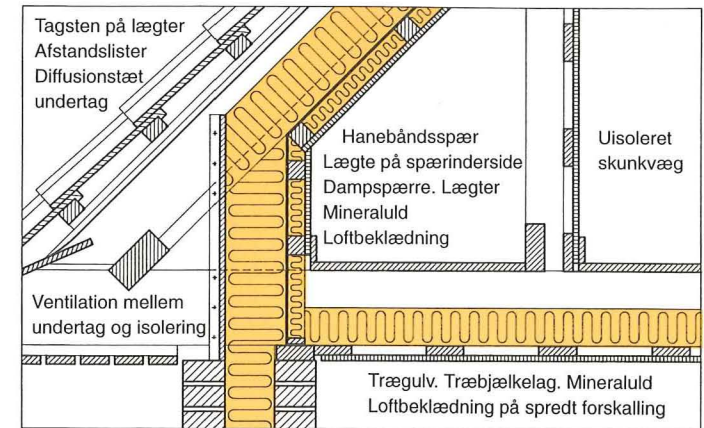
Ydervæg/kælderdæk/  
kælderydervæg

Figur 23. Der er anvendt et sandwichelement af beton som kælderydervæg, hvorved kuldebroer i soklen helt undgås, samtidigt med at forskelle i terrænhøjde kan optages på en enkel måde. Ud for dækforkant anbringes et lag trykfast isolering, inden kælderydervæg og dæk sammenstøbes. Herved får isoleringen i kælderydervæg forbindelse med isoleringen i ydervæg.

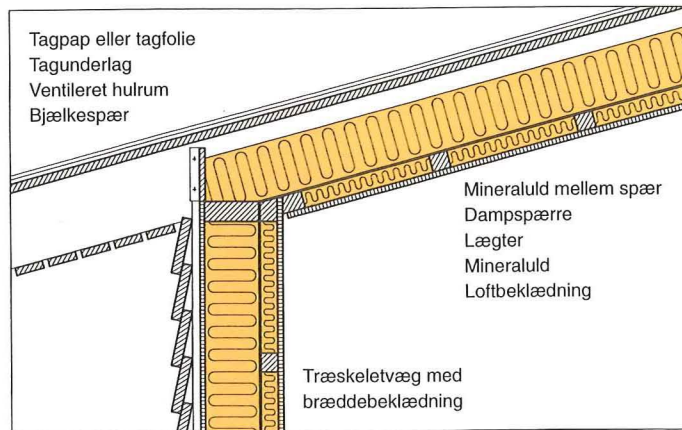


Gitterspær/loft-  
konstruktion/ydervæg

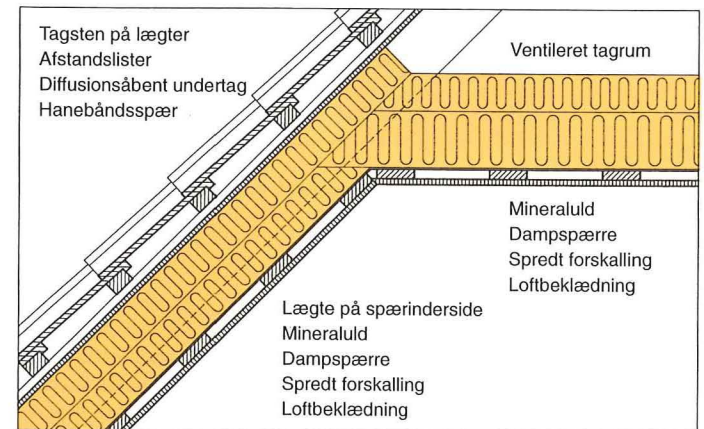
Figur 24. Gitterspærne hviler på en rem, der er fastgjort til letbeton-bagvæggen. Dampspærren i loft klemmes med liste mod rem. Montering af lodret og skråt vindbræt skal sikre mod gennemblæsning af isoleringen. Ventilering af tagkonstruktionen sker gennem bølgerne i tagpladerne.

Skråvæg/skunkrum/  
dæk

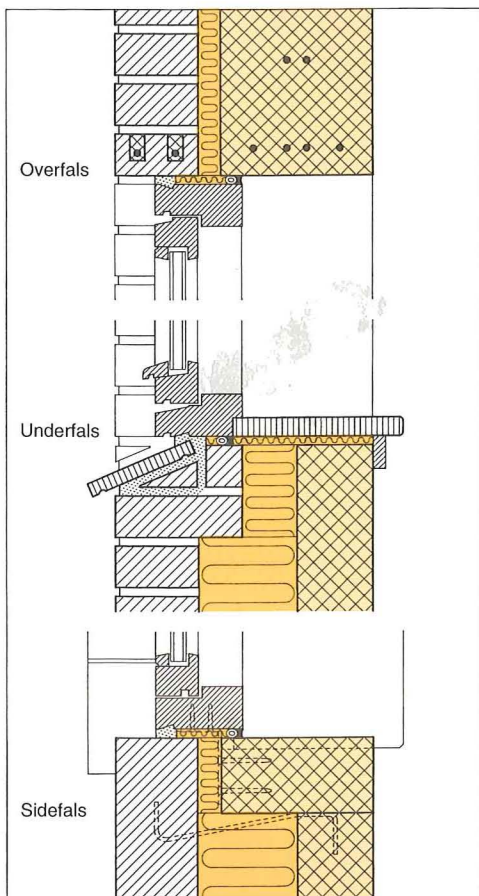
Figur 26. Skråvæggen på skunkrummets yderside har samme isoleringstykkelse og placering af dampspærre som den øvrige del af skråvæggen. Dampspærren er placeret 50 mm inde i konstruktionen, hvilket gør det muligt at føre elinstallationer i skråvæg uden at gennembryde dampspærren. Vandinstallationer kan føres i skunkrum (husk adgangsløse) uden risiko for frostskafer.

Bjælkespær/  
træskeletydervæg

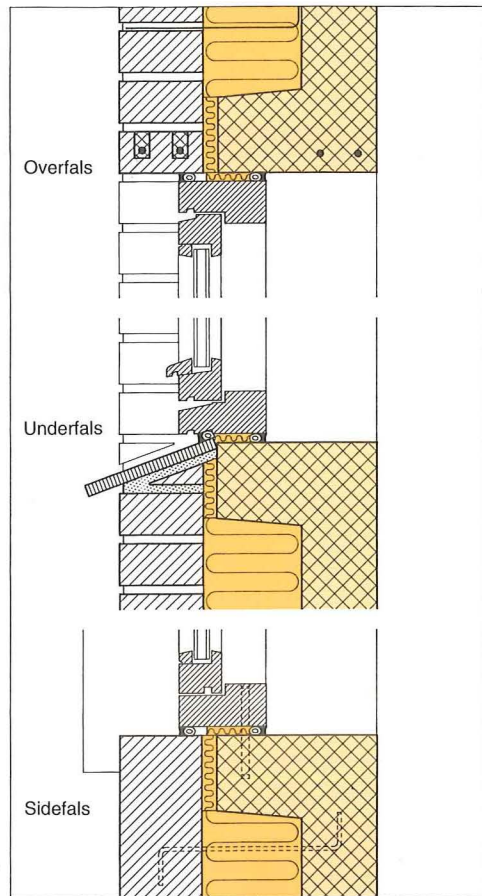
Figur 25. I både tag og ydervæg er dampspærren placeret 50 mm inde i konstruktionen. Denne udformning gør det muligt at føre elinstallationer i loft og ydervæg uden at gennembryde dampspærren. Dampspærrene i tag og væg samles ud for rem med klemt overlæg. Hulrummet over tagisoleringen skal have en højde på mindst 50 mm og 10 mm over vindbrættet.

Skråvæg/  
hanebåndsløft

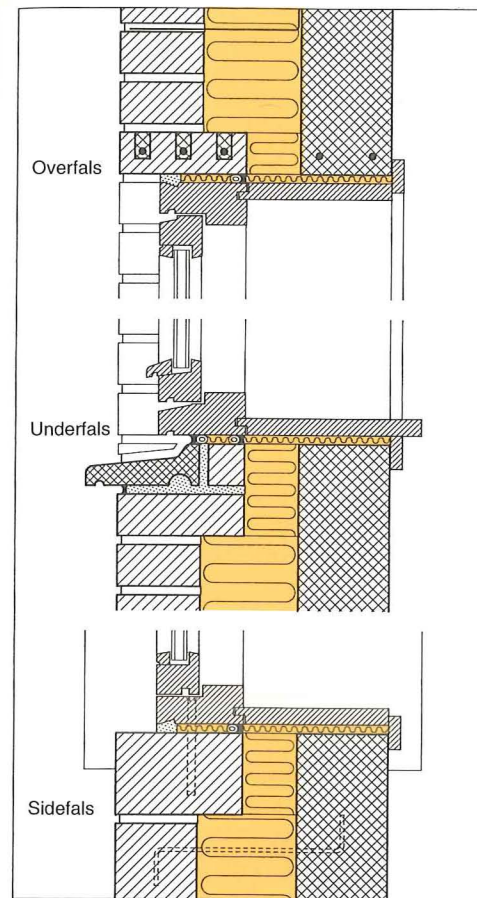
Figur 27. Skråvæggen er isoleret med 200 mm mineraluld 39 ( $U = 0,20$ ) og hanebåndsløftet med 250 mm mineraluld 39 ( $U = 0,15$ ). Det er en forudsætning for at anvende et diffusionsåbent undertag lagt direkte på isoleringen, at dampspærren bag loftbeklædningen er monteret så omhyggeligt, at indluften hindres i at trænge ud i isoleringen.



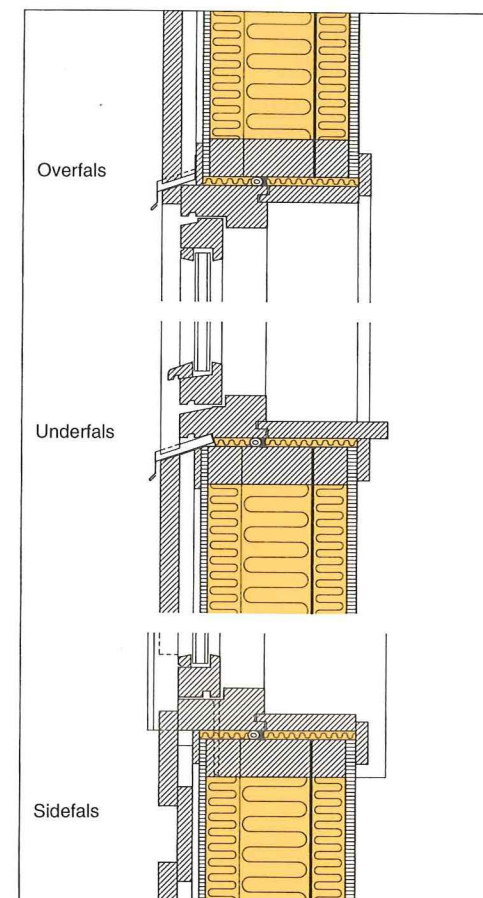
Hulmur med bagvæg af porebeton



Hulmur med bagvæg af letklinkerbeton



Hulmur med bagvæg af beton



Bræddebeklædt træskeletydervæg

Figur 28. Over vinduet er i formuren anvendt en 108 mm bred tegloverligger, og i bagvæggen er anvendt en porebetonbjælke, der hviler på to næsten rumhøje falselementer af porebeton, limet til bagvægselementerne. Kuldebroerne ved over-, under- og sidefals er brudt med ekspanderet polystyren eller tilsvarende. Trådbindere, som ved sidefalsene er banket ind i bagvægselementernes kant, indmures for hvert fjerde skifte i formuren. Vinduerne er fastgjort til falselementerne ved hjælp af vinkelbeslag, inden formuren er opført.

Figur 29. Over vinduet er i formuren anvendt en 108 mm bred tegloverligger. I det rumhøje bagvægselement af letklinkerbeton er der udsparet for vindue, og den armerede bjælke over vindueshullet er en del af elementet. Vangerne omkring hullet er støbt ud i ét med bagvæggen, hvad der gør dem præcise, stærke og velegnede som underlag for fastgørelse af og fugning omkring vinduet, og samtidig overflødiggøres tilsætninger. Kuldebroerne ved over-, under- og sidefals er brudt med 20 mm ekspanderet polystyren eller tilsvarende.

Figur 30. Over vinduet er i formuren anvendt en 168 mm bred tegloverligger, og også ved sidefals og underfals er formurens tykkelse øget til 168 mm. Herved er opnået gode betingelser for fastgørelse af og fugning omkring vinduet samt en sikker understøtning af sølbænken. I det rumhøje bagvægselement af beton er der udsparet for vindue, og den armerede bjælke over hullet er en del af elementet. Isoleringen i hulmuren er ført frem til vinduesfalsene i en tykkelse på 70 mm for at undgå kuldebroer og dækkes af vinduesplade og tilsætninger.

Figur 31. Træskelettet er opbygget af 50 × 95 mm stolper, som på begge sider er forsynet med 50 × 45 mm lægter opsat vandret. Omkring vindueshullet er suppleret med løsholte og lægstykker for at opnå lukkede false og hermed fastgørelsesmulighed for vindspærren på skelettets yderside, dampspærren mellem stolper og det inderste lag lægter, den indvendige beklædning samt for vindue, vinduesplade, tilsætninger og indfatninger. De lukkede false af træ udgør en så beskeden kuldebro, at løsningen er fuldt forsvarlig.

# Ventilation

## Kravtekst i BR

I bygningsreglementet er indført et nyt krav, som vedrører energiforbruget til lufttransport i ventilationsanlæg. Kravet fremgår af bestemmelsen stk. 9 i afsnit 12.3 om ventilationsanlæg.

Bygningsreglementet har desuden i afsnit 12.3, stk. 1, en almindelig bestemmelse om, at der skal tages energimæssige hensyn ved projektering og udførelse af nye ventilationsanlæg. De energimæssige hensyn kan vedrøre energiforbrug til luftens opvarmning og eventuel køling samt energiforbrug til lufttransport.

## Årsforbrug

Hvis et område i en bygning har mekanisk ventilation, vil det årlige energiforbrug til at holde ventilatorerne i drift målt i MJ pr. m<sup>2</sup> etageareal (eller kWh/m<sup>2</sup>) være bestemt af tre faktorer:

1. Ventilationsintensiteten, dvs. luftforbruget i forhold til betjeningsområdets størrelse, fx målt i l/s pr. m<sup>2</sup> etageareal.
2. Driftstiden, fx målt som antal driftstimer pr. år.
3. Ventilationsanlæggets energieffektivitet.

## Ventilationsintensitet

Ventilationsintensiteten er en projekteringsforudsætning, som afhænger af de hygiejniske og komfortmæssige krav til luftkvaliteten og de termiske krav til rumklimaet, som skal opfyldes under hensyn til belastningerne i det ventilerede område. Belastningerne kan være varierende. I servicesektorens bygninger er det termiske hensyn ofte dimensionsgivende for ventilationsanlæggene, fordi rummene i en del af året har et varmeoverskud, som må fjernes ved køling med udeluft. Hvis forskellen mellem nødvendig luftydelse under maksimale og minimale belastningsforhold (fx mellem sommer- og vinterforhold) er stor, har det betydning for energiforbruget til lufttransport, at ventilationsanlæggene har variabel luftydelse.

## Driftstid

Antallet af driftstimer afhænger af udnyttelsen af det ventilerede område. Det har energimæssig betydning, at anlæggene har indstillingsmuligheder eller udstyres med automatik, der gør det muligt at afpasse driften efter brugen af rummene, herunder at rum, der anvendes periodisk som fx møderum, kan ventileres efter behov og uafhængigt af ventilationen i andre områder, som har længere brugstid.

## Maksimalt elforbrug til lufttransport

### Energieffektivitet

Den særlige bestemmelse i bygningsreglementets afsnit 12.3, stk. 7, vedrører alene ventilationsanlægges energieffektivitet, idet formålet er at begrænse elforbruget til ventilation uden at tilsidesætte hensynene til hygiejne og komfort. Bestemmelsen gælder for ventilationsanlæg i nybyggeri samt for nyinstallationer i bestående bygninger.

### Komfortanlæg

Bestemmelsen omfatter den klasse af ventilationsanlæg, som ofte benævnes komfortventilationsanlæg, jf. DS 447: Norm for ventilationsanlæg, afsnit 1.3 [5]. Bestemmelsen gælder ikke for ventilationsanlæg, der direkte indgår i en industriel proces, eller hvis hovedformål er at fjerne brandfarlige eller sundhedsfarlige stoffer eller overskudsvarme fra processer.

Komfortventilationsanlæg forekommer i boligsektoren, i servicesektoren samt i industrisektorens bygninger inden for ikke-forurenende industri. Især inden for servicesektoren kan der forekomme anlæg, som måske snarere må sidestilles med procesanlæg end med komfortanlæg. Det gælder fx anlæg til ventilation af garager, parkeringskældre, edb-rum, storkøkkener samt rum på hospitaler og laboratorier, hvor der stilles særlige sikkerhedskrav.

### Minimumsgrænse

Ventilationsanlæg, som er så små eller har så kort driftstid, at elforbruget er mindre end 2,5 GJ svarende til 700 kWh om året, er fritaget fra det krav om energieffektivitet, som stilles i afsnit 12.3, stk. 9. Dermed er fx emhætter og andre små simple udsugningsanlæg normalt undtagne. Derimod vil anlæg beregnet til uafbrudt drift kun være undtaget, hvis ventilatorernes samlede optagne effekt er mindre end 80 W.

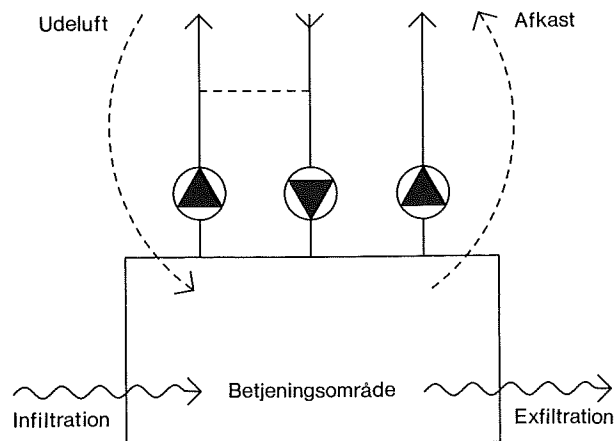
### Specifikt elforbrug

BR's krav til lavt, specifikt elforbrug går ud på, at der sættes øvre grænser for det specifikke elforbrug til lufttransport. Ved en ventilators specifikke elforbrug forstås forholdet mellem ventilatormotorens forbrug af elektrisk energi inden for et bestemt tidsrum (fx målt i kJ) og den luftmængde (fx målt i m<sup>3</sup>), som ventilatoren transporterer inden for samme tidsrum. For en ventilator med konstant ydelse er denne størrelse lig med forholdet mellem ventilatormotorens optagne effekt i kW og volumenstrømmen af luft i m<sup>3</sup>/s.

### Betjeningsområde

I et ventilationssystem, som betjener et givet område i en bygning, indgår ofte flere ventilatorer. Eksempelvis kan et område være betjent af et tilnærmelsesvis balanceret indblæsnings- og udsugningsanlæg samt en separat toiletudsugning, således at der indgår tre ventilatorer i systemet. Elforbruget til områdets ventilation må da udregnes som summen af alle ventilatorers forbrug, se figur 32 på næste side.

Ved bestemmelse af områdets specifikke elforbrug i hen-



Figur 32. Eksempel på et område i en bygning der betjenes af et ventilationssystem omfattende flere ventilatorer. Området er tilsluttet et sammenkoblet indblæsnings- og udsugningsanlæg samt en separat toiletudsugning. Systemets specifikke elforbrug til lufttransport defineres som summen af ventilatorernes optagne effekter divideret med den volumenstrøm, som cirkulerer fra det fri gennem betjeningsområdet og tilbage til det fri. Eventuel returluft og overlejret naturlig ventilation medregnes ikke.

hold til bygningsreglementet skal dette elforbrug sættes i forhold til den luftmængde, som det mekaniske ventilationssystem cirkulerer fra det fri gennem betjeningsområdet og tilbage til det fri. Eventuel returluft medregnes altså ikke. Der tages heller ikke hensyn til eventuel overlejret naturlig ventilation.

Der er sjældent fuldstændig balance mellem den samlede indblæsning og den samlede udsugning i ventilationssystemet. Ubalancen udlignes ved netto infiltration eller exfiltration. Den luftmængde, som elforbruget sættes i forhold til, bør da være luftmængden på indtagssiden eller på afkastensiden, afhængigt af hvor den er størst.

Det fremgår af bygningsreglementets kommentarer til kravteksten, at man er ret frit stillet med hensyn til afgrænsningen af det område, for hvilket det specifikke elforbrug udregnes, når opfyldelsen af kravet skal eftervises. Beregningen kan udføres for et delområde, der betjenes af et enkelt anlæg, eller for et større område i en bygning, der betjenes af flere anlæg. Denne fleksibilitet har den fordel, at et forholdsvis højt specifikt elforbrug i dele af et større ventilationssystem kan kompenseres af et lavt specifikt elforbrug i andre dele af systemet.

## Systemer med konstant luftydelse

For et ventilationssystem med konstant luftydelse under drift er det specifikke elforbrug summen af ventilatormotorernes optagne elektriske effekt i kW divideret med den volumenstrøm af udeluft i  $m^3/s$ , som passerer det ventilerede område i bygningen. Enheden  $kJ/m^3$  er identisk med  $kW/(m^3/s)$  og med  $kPa$ . Det specifikke elforbrug for et ventilationssystem med konstant ydelse må ikke overstige  $2,5 kJ/m^3$ .

Midlerne til at opnå et lavt specifikt elforbrug er dels at vælge ventilatorer med høj virkningsgrad og dels at begrænse tryktabene i systemet. Især bør man være opmærksom på, at centralaggregaterne dimensioneres under hensyntagen til, at tryktabene over filtre, varmeplader og varmegenvindingskomponenter bliver moderate, og at såkaldte systemtab undgås. Systemtab opstår, når der anbringes bøjninger umiddelbart før eller efter en ventilator. Desuden bør luft hastighederne i hovedkanaler og fordelingskanaler være på et rimeligt niveau. Lavere tryktab giver også mindre støjproblemer.

En betingelse for at der kan opnås moderate tryktab, samt at kanalføringen kan udformes således, at systemtab undgås, er, at der afsættes tilstrækkelig plads i bygningen til teknikrum og til føringsveje for kanalerne.

Under projekteringen kan tryktabene beregnes, og når ventilatorvirkningsgraden er kendt, kan det specifikke elforbrug bestemmes. Da der er usikkerhed på beregningen, må der ofte under indreguleringen af det færdige anlæg foretages en forskydning af ventilatorens driftspunkt, for at den forudsatte luftydelse kan opnås. Denne indregulering kan påvirke effekt-optagelsen mærkbart. Det er derfor en sikrere metode at bestemme det specifikke elforbrug ved måling efter afsluttet indregulering.

Målingen må omfatte elektriske effektmålinger samt volumenstrømsmålinger i hovedkanaler. Effektmålingerne udføres bedst med et wattmeter. En enklere metode er at måle fasestrømme og netspænding med et amperemeter og voltmeter, idet effekt faktoren ( $\cos \phi$ ) vælges med støtte i motorkatalogernes oplysninger. Volumenstrømmene måles bedst ved traversering med et egnet anemometer over kendte kanalværsnit i lige kanalstrækninger.

## Systemer med variabel luftydelse

I et ventilationssystem, hvor luftydelsen er variabel, fordi ventilatormotorernes omdrejningstal er trinvis eller kontinuert variabel, eller ventilatorerne har regulerbare ledeskovle, er det

Grænseværdi

Projektering

Beregning

Måling

Variabel luftydelse

specifikke elforbrug også variabelt. Det har sin største værdi, når luftydelsen er maksimal. Bygningsreglementets krav er i sådanne tilfælde, at det specifikke elforbrug ikke må overstige  $3,2 \text{ kJ/m}^3$  ved drift med maksimal luftydelse.

Grænseværdi

Denne grænseværdi er på et højere niveau end grænseværdien for systemer med fast ydelse, fordi systemer med variabel ydelse reelt er mere energiøkonomiske end udtrykt ved fuldlastværdien, når de i en større eller mindre del af driftstiden kører med reduceret ydelse. I tilfælde, hvor kravet til et områdes ventilationsintensitet er variabelt på grund af belastningsvariationer, er det således en fordel at anvende ventilatorer med ydelsesregulering.

I bygningsreglementets kommentarer til kravteksten anføres, at det er en forudsætning for anvendelsen af den forhøjede grænseværdi på  $3,2 \text{ kJ/m}^3$ , at luftydelsen kan varieres manuelt eller automatisk på en sådan måde, at elforbruget reduceres væsentligt.

Spjældregulering

En regulering ved hjælp af drøvle- eller blandespjæld kan reducere energiforbruget til luftens opvarmning om vinteren, men giver ingen væsentlig transportenergibesparelse. For anlæg, hvor luftydelsen kun kan varieres ved hjælp af spjæld, vil grænseværdien  $2,5 \text{ kJ/m}^3$  normalt skulle overholdes ved den stilling af spjældene, som giver den højeste udeluftydelse.

Tohastighedsmotorer

Den enkleste effektive reguleringsmulighed, hvor den forhøjede grænseværdi kan anvendes, består i at udstyre ventilatorerne med tohastighedsmotorer. Disse motorer har dårligere virkningsgrad end enhastighedsmotorer, men der opnås alligevel en betydelig energibesparelse, fordi motoreffekten vokser meget kraftigt med omdrejningstallet ved ventilatordrift. Teoretisk vokser luftmængden med 1. potens, trykket med 2. potens og effekten med 3. potens af omdrejningstallet, hvilket fx medfører, at elforbruget på årsbasis mindskes til ca.  $1/3$ , hvis luftydelsen kan halveres i  $3/4$  af driftstiden.

### Udeluft, returluft og recirkulationsluft

Anlæg uden returluft

Bygningsreglementets bestemmelse retter sig primært mod komfortventilationsanlæg med mekanisk indblæsning og udsugning samt varmegenvinding, hvor tilførsel af udeluft af hensyn til luftfornyelse og fjernelse af eventuelt varmeoverskud ved køling med udeluft er hovedopgaven, der kan løses uden brug af returluft. Samtidigt er det specifikke elforbrug ofte forholdsvis højt ved disse anlægstyper på grund af tryktabene i varmegenvindingskomponenterne. Anlægstyper uden varmegenvinding er ofte mindre kritiske med hensyn til det specifikke elforbrug. Det gælder især rene udsugningsanlæg.

Anlæg med returluft

Andre anlægstyper er anlæg, hvor hovedopgaven er at tilføre eller fjerne en betydelig termisk effekt samtidigt med, at behovet for udelufttilførsel er begrænset. Her er returluft ofte nødvendig under normal drift for at begrænse indblæsnings-temperaturen eller for at opnå tilstrækkelige lufthastigheder. Bygningsreglementets krav er da opfyldt, hvis grænseværdien overholdes ved en driftstilstand, hvor hele luftydelsen er udeluft. Et eksempel på denne anlægstype er et luftvarmeanlæg.

Recirkulation

Rene recirkulationsanlæg er ikke omfattet af kravet om maksimalt specifikt elforbrug.

Driftstidens betydning

### Økonomisk optimering

Bygningsreglementets grænseværdier for ventilationseffektivitet er fastsat uden hensyn til anlæggenes driftstid, bortset fra de tilfælde, der er under minimumsgrænsen på  $2,5 \text{ GJ pr. år}$  (eller  $700 \text{ kWh pr. år}$ ). Ved projekteringen af ventilationsanlæg bør der i almindelighed også foretages vurderinger af anlægs- og driftsøkonomien. Det økonomiske optimum for det specifikke elforbrug kan være lavere end bygningsreglementets grænseværdi, især ved anlæg med lang driftstid.

### Eksempel

Kontorbygning

Et område på  $2000 \text{ m}^2$  i en kontorbygning ventileres af et indblæsnings- og udsugningsanlæg uden returluftforbindelse samt et toiletudsugningsanlæg, se figur 32, side 84. Ventilatorerne er udstyret med enhastighedsmotorer. De projekterede volumenstrømme og optagne motoreffekter er følgende:

	Ydelse:	Effekt:
Indblæsningsanlæg	$5,9 \text{ m}^3/\text{s}$	$9,4 \text{ kW}$
Udsugningsanlæg	$5,6 \text{ m}^3/\text{s}$	$8,9 \text{ kW}$
Toiletudsugning	$0,7 \text{ m}^3/\text{s}$	$0,6 \text{ kW}$

Den samlede optagne effekt er  $18,9 \text{ kW}$ . Den volumenstrøm, som anlæggene sætter i cirkulation, er lidt større målt på udsugningssiden end på indblæsningssiden. Det specifikke elforbrug bliver da  $18,9/(5,6 + 0,7) = 3,00 \text{ kJ/m}^3$ . Bygningsreglementets krav til systemer med konstant luftydelse er ikke opfyldt, og anlæggene må omprojekteres.

Hvis belastningsforholdene i området er sådan, at man i en væsentlig del af driftstiden kan nøjes med den halve luftydelse, kan der i stedet anvendes tohastighedsmotorer til hovedanlægget med et forhold mellem omdrejningstallene på  $2:1$ . Ved den høje hastighed forbruger disse motorer lidt mere end enhastighedsmotorerne ved samme luftydelse på grund af en la-

vere virkningsgrad. Ved den lave hastighed halveres luftydelsen, og effekten reduceres teoretisk til 1/8, men da virkningsgraden også forringes, bliver effekten i praksis kun reduceret til ca. 1/5. Toiletudsugningen forudsættes at være konstant.

	Maks. ydelse:	Høj hast.:	Lav hast.:
Indblæsningsanlæg	5,9 m <sup>3</sup> /s	10,0 kW	2,0 kW
Udsugningsanlæg	5,6 m <sup>3</sup> /s	9,4 kW	1,9 kW
Toiletudsugning	0,7 m <sup>3</sup> /s	0,6 kW	0,6 kW

Den samlede optagne effekt er 20,0 kW ved høj hastighed og 4,5 kW ved lav hastighed. Det specifikke elforbrug er  $20,0/(5,6 + 0,7) = 3,17 \text{ kJ/m}^3$  ved maksimalydelse, og dermed er bygningsreglementets krav til systemer med variabel luftydelse opfyldt.

Antages det, at ventilationen skal være i drift i 3200 h pr. år, bliver det årlige elforbrug ved den først betragtede løsning med enhastighedsmotorer i hovedanlægget 60.500 kWh eller  $30 \text{ kWh/m}^2$  ( $109 \text{ MJ/m}^2$ ). Hvis systemet efter en omprojektering bringes til netop at opfylde bygningsreglementets krav til systemer med konstant luftydelse, bliver årsforbruget 50.400 kWh eller  $25 \text{ kWh/m}^2$  ( $91 \text{ MJ/m}^2$ ).

Er maksimal luftydelse kun nødvendig i 800 h pr. år, og er halv luftydelse tilstrækkelig i 2400 h pr. år, således at den sidst betragtede løsning kan anvendes, reduceres årsforbruget til 26.800 kWh eller  $13 \text{ kWh/m}^2$  ( $48 \text{ MJ/m}^2$ ).

# Belysning

*I dette kapitel forekommer en del fagudtryk, som er nærmere forklaret i Lysteknisk ordliste, side 108.*

Begrænsning af energiforbrug og effektbehov

I bygningsreglementets afsnit 12.9 Belysningsanlæg stilles krav om, at man ved udførelse af belysningsanlæg søger at begrænse energiforbrug og effektbehov mest muligt under hensyntagen til rummets udformning og anvendelse, herunder krav til belysningens kvalitet og driftstid.

Zoneopdeling

Herudover kræver bygningsreglementet, at belysningsanlæg skal udføres opdelt i zoner med mulighed for benyttelse efter dagslysforhold og aktiviteter.

DS 700

Belysningsanlæg skal udføres på grundlag af DS 700-serien [6-10], herunder DS 700 Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler.

Undtagelser

Bestemmelserne vedrørende energiforbrug, effektbehov og zoneopdeling gælder ikke for kirker, museer, restauranter og beboelsesbygninger.

Adgangsveje og udendørsarealer

Anlæg til belysning af fælles adgangsveje og udendørsarealer, herunder trapper, gange, stier samt indendørs og udendørs parkeringsanlæg, skal forsynes med automatisk styring efter dagslysforhold og brugstid, medmindre særlige forhold gør sig gældende, fx sikkerhedshensyn. Denne bestemmelse gælder for alle typer byggeri.

Belysningskvalitet og energiforbrug

Belysningsanlæg bør planlægges ud fra rummets funktion, aktiviteterne i rummet, dagslysadgangen og rumoplevelsen, baseret på inddeling af rummet i områder med forskellig funktion, dagslysadgang og krav til belysningskvalitet, -styrke og driftstid.

Energiforbrug og belysningskvalitet er ligeværdige, hvorfor der bør stræbes efter den på én gang gode og energirigtige belysning.

## Belysningskvalitet

DS 700

God kvalitet af kunstlyset kan blandt andet opnås ved at følge DS 700-seriens publikationer, herunder DS 700 Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler [6].

Funktionsopdeling

Den bedste belysningskvalitet opnås normalt med en funktionsopdelte belysning, tilpasset og differentieret i henhold til de krav, der stilles i de forskellige områder i rummet.

God belysning

God belysning er karakteriseret ved:

- passende belysningsstyrke på synsobjekter og i rummet,
- passende luminansfordeling på arbejdspladser og i rummet som helhed,
- ingen generende blænding,
- god kontrastgengivelse af detaljer,
- god farvegengivelse,
- passende lysfarve,
- ingen generende flimrer,
- ingen generende støj og varme fra belysningen,
- rumbeskrivende egenskaber, som lader rumlige objekter og materialekarakterer fremtræde som ønsket.

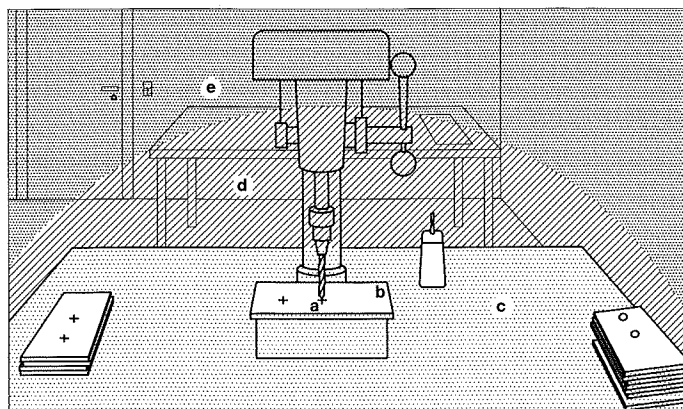
Uddybning af kvalitetsparametre

For uddybning af kvalitetsparametrene henvises til en række publikationer om belysning til forskellige typer arbejde og under forskellige betingelser, se fx [11-12 og 15-19].

### Belysningsstyrke og blænding

Belysningsstyrke på synsobjektet

I tabel 12 er vist uddrag af retningslinier i DS 700 for belysningsstyrker på synsobjektet og blændingsklasse for almenbelysningen. Belysningsstyrken skal være til stede også efter placering af fx inventar og maskiner. Særbelysning kan være en god måde at opnå tilstrækkelig belysningsstyrke på synsobjektet.



Figur 33. Opdeling af rummet i synsdetalje (a), synsobjekt (b) arbejdsfelt (c), arbejdsfeltets nærmere omgivelser (d) og arbejdsfeltets fjernere omgivelser (e) ifølge DS 700 [6].

Tabel 12. Eksempler på anbefalede driftsværdier for belysningsstyrker på synsobjektet og blændingsklasse for almenbelysningen i DS 700. Belysningsstyrkens driftsværdi kan være op til 25 pct. over eller under den angivne værdi. I arkiver uden vedvarende arbejde, på gange og trapper samt i lokaler under rengøring forudsættes belysningsstyrken opnået alene med almenbelysningen.

Arbejdssted og -art	Belysningsstyrke på synsobjektet E lux	Blændingsklasse for almenbelysningen
Kontorer		
Lejlighedsvis arbejde	200	M
Vedvarende arbejde	500	M
Arkiver uden vedvarende arbejde	200	L
Jern- og metalindustri		
Grovere detaljer	200	M
Mellemfine detaljer	500	M
Fine detaljer	1000	M
Grafisk industri		
Trykning	500	M
Prøvetryk og korrektion	1000	N
Gange og trapper	50	-
Skoler		
Normalklasser	200	M
Tavler	500	-
Rengøring af lokaler		
Almindelig	50	-
Krævende	200	-

Arbejdsplan

Hvor der ikke kan angives en bestemt placering af synsobjektet, refererer de pågældende belysningsstyrker til et vandret arbejdsplan 0,85 m over gulvet.

Blænding

Krav til almenbelysningen med hensyn til begrænsning af ubehagsblænding er i DS 700 opdelt i klasser med bogstavbetegnelserne L, M og N. I klasse N stilles der størst krav til begrænsning af ubehagsblændingen.

Belysningsstyrke i rummet

I tabel 13 er vist anbefalede belysningsstyrker på arbejdsfeltets nærmere og fjernere omgivelser i afhængighed af belysningsstyrken på synsobjektet. Det er i almindelighed ikke ønskeligt, at belysningsstyrken i rummet er lige så høj som på selve synsobjektet. Synsvilkårene er normalt gunstigst, når omgivelserne er mindre lyse end selve objektet. Det er af

Tabel 13. Retningslinier for belysningsstyrke  $E$  i lux på arbejdsfeltets nærmere omgivelser, på arbejdsfeltets fjernere omgivelser og færdselsarealer i afhængighed af belysningsstyrken på synsobjektet, ifølge DS 700. Værdierne refererer til arbejdsplanet.

Synsobjekt	Nærmere omgivelser	Fjernere omgivelser og færdselsarealer
200	200	50
500	200	100
1000	300	100

særlig betydning, at belysningsstyrken på arbejdsfeltets nærmere omgivelser ikke er højere end på selve arbejdsfeltet.

#### Luminansfordeling

For at opnå god luminansfordeling og af hensyn til sikkerhed, velbefindende og rengøring må der være tilstrækkelig almenbelysning. I visse tilfælde kan det være hensigtsmæssigt med separat belysning til rengøringsformål.

#### Belysningsstyrke og personers alder

Belysningsstyrkerne i DS 700 er fastsat med henblik på personer med normal synsfunktion med alder op til ca. 50 år. For ældre personer eller personer med nedsat synsfunktion kan individuel tilpasning af belysningsstyrken være påkrævet.

#### Særbelysning

Øget eller variabel belysningsstyrke på synsobjektet kan være ønskelig, fx kan særbelysning ofte forbedre synsforholdene. I nogle tilfælde kan en for stærk almenbelysning være en ulempe.

### Energiforbrug

Det årlige energiforbrug i et belysningsanlæg afhænger med lige stor vægt af effektbehovet og belysningens driftstid.

#### Årsforbrug

For belysningsanlæg med konstant effektbehov i driftstiden kan det årlige energiforbrug pr. m<sup>2</sup> beregnes som

$$Q = 0,001 \cdot T_d \cdot P$$

hvor  $Q$  er energiforbruget i kWh/m<sup>2</sup> pr. år,

$T_d$  er driftstiden i timer/år,

$P$  er effektbehovet i W/m<sup>2</sup>.

Faktoren 0,001 er en omsætning fra W til kW.

#### Energivenlige belysningsanlæg

Målet for et energivenligt belysningsanlæg er både et lavt samlet elforbrug pr. m<sup>2</sup> gulvareal og god belysningskvalitet, således at der altid er den rette belysning i alle områder af rummene på de rigtige tidspunkter. For at opnå energivenlige belysningsanlæg er det nødvendigt med omhyggelig planlæg-

ning, beregning, komponentvalg og dokumentation af anlæggene.

Regulering af belysningen, effektive lyskilder, effektive armaturer og differentiering af belysningen giver gode muligheder for at begrænse energiforbruget, reducere varmebelastningen fra belysningen og samtidig opnå god belysningskvalitet.

#### Driftstid

Kort driftstid kan fx opnås med:

- zoneinddeling,
- god dagslysadgang,
- rigtig placering af arbejdspladser i forhold til vinduer,
- arbejde og rengøring i de lyse timer,
- manuel eller automatisk styring efter dagslys, arbejdstid, benyttelse eller brugervaner.

#### Effektbehov

Lavt effektbehov kan fx opnås med:

- lyskilder med højt lysudbytte,
- effektive forkoblinger,
- høj armaturvirkningsgrad,
- rigtig lysfordeling,
- lyse farver i rummene,
- høj belysningsvirkningsgrad,
- hensigtsmæssig armaturplacering,
- differentieret belysning,
- god vedligeholdelse og rengøring.

### Driftstid

Belysningens driftstid afhænger af mange faktorer, fx bygnings brug, arbejdstiden, arbejdets karakter, dagslysadgangen, individuelle krav og ønsker samt styringen af belysningen. Den forventede driftstid må derfor vurderes konkret i hvert enkelt tilfælde.

#### Rums brugstid

I tabel 14 er, som støtte ved vurdering af driftstiden, vist eksempler på den samlede årlige brugstid i rum med forskellig anvendelse.

Tabel 14. Eksempler på brugstid af rum med forskellig anvendelse.

		Brugstid Timer pr. år
Døgndrift	24 timer, 365 dage pr. år	8760
Toholdsskift	16 timer, 6 dage/uge, 50 uger/år	4800
Etholdsdrift	10 timer, 5 dage/uge, 50 uger/år	2500
Enkeltpersoner	8 timer, 5 dage/uge, 45 uger/år	1800



## Effektbehov

Effektbehovet for almenbelysningen kan beregnes som

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

hvor  $P$  er effektbehovet i  $W/m^2$ ,

$E$  er middelbelysningsstyrken i lux,

$\eta$  er lyskildernes resulterende lysudbytte i  $lm/W$ ,

$\eta_B$  er belysningsvirkningsgraden,

$v$  er vedligeholdelsesfaktoren.

I lyskildernes resulterende lysudbytte indgår også eventuelle tab i forkoblinger og transformatorer.

I tabel 15 er vist typisk effektbehov i afhængighed af belysningsstyrke og lyskilde. De angivne effektbehov gælder også

*Tabel 15. Typisk effektbehov for en jævn fordelt almenbelysning med belysningsvirkningsgrad  $\eta_B = 0,5$  og vedligeholdelsesfaktor  $v = 0,7$ . Lysudbytte og effektbehov er inklusive eventuelle tab i forkoblinger og transformatorer.*

Lyskilde	Middelbelysningsstyrke $E$ lux	Lysudbytte $\eta$ lm/W	Effektbehov $P$ W/m <sup>2</sup>
Glødelamper	50	14	10
	100	14	20
	200	14	41
Halogenlamper lavvoltage	50	17	8
	100	17	17
	200	17	34
Kompaktlystofrør	50	60	2,5
	100	60	5
	200	60	10
Lysstofrør med konv. forkobling	100	70	4,0
	200	70	8
Lysstofrør med HF forkobling	100	85	3,5
	200	85	7
Kviksølvlamper	100	50	6
	200	50	11
Metalhalogenlamper	100	70	3,5
	200	70	7
Højtryksnatriumlamper	100	80	3,5
	200	80	7

med tilnærmelse, hvis almenbelysningen er mindre regelmæssigt fordelt. Ved uregelmæssig fordelt belysning kan effektbehov for funktionsbelysning i tabel 16 benyttes.

*Tabel 16. Typisk effektbehov for arbejdslamper og funktionsbelysning. Effektbehovet er inklusive eventuelle tab i forkoblinger og transformatorer.*

Belysningens placering	Armaturog lyskilde	Antal	Effektbehov	
			W	W/m <sup>2</sup>
Arbejdsplads	Bordlampe med glødelampe	1 pr. 10 m <sup>2</sup>	60	6
	Bordlampe med halogenglødelampe	1 pr. 10 m <sup>2</sup>	40	4
	Bordlampe med kompaktlystofrør	1 pr. 10 m <sup>2</sup>	18	2
	Nedhængt armatur med lysstofrør	1 pr. 10 m <sup>2</sup>	36	4
Planter	Pendel med kompaktlystofrør	1 pr. 10 m <sup>2</sup>	18	2
Tavle	Spot med glødelampe	4 pr. 50 m <sup>2</sup>	300	6
	Armaturog lyskilde med lystofrør	3 pr. 50 m <sup>2</sup>	108	2
Mødebord	Pendel med glødelampe	1 pr. 15 m <sup>2</sup>	75	5
	Pendel med kompaktlystofrør	1 pr. 15 m <sup>2</sup>	15	1

## Komponenter

### Lyskilder

Ved valg af lyskilde må en række synsmæssige, lystekniske og energimæssige forhold vurderes. De forskellige lyskilders egenskaber kan karakteriseres ved:

- lysstrøm i lumen (lm),
- lysudbytte i  $lm/W$ ,
- levetid i timer,
- spektralfordeling,
- lysfarve ved farvetemperatur i K,
- farvegengivelse ved  $R_a$ -værdi,
- flimder,
- lysfordeling,
- overfladeluminans i  $cd/m^2$

- form og størrelse,
- nødvendigt tilbehør, fx forkobling eller transformator,
- pris.

Valg af lyskilde vil især afhænge af de krav, der stilles til æstetik, synsopgave, sikkerhed, elforbrug og økonomi.

Lyskvalitet

Ved bedømmelse af lyskvaliteten bør der især tages hensyn til spektralfordeling, lysfarve og farvegengivelse. Vedrørende bedømmelse af lyskvalitet se fx [14]. I tabel 17 er vist eksempler på forskellige lyskilders farvegengivelse, farvetemperatur og lysudbytte.

Energieffektivitet

Ved bedømmelse af energieffektivitet lægges hovedvægten på lysudbytte og driftsøkonomi. Kravene til lyskildernes lysudbytte afhænger af den årlige driftstid. Ved lange driftstider bør der vælges lyskilder med højt lysudbytte, forudsat at de giver en belysningskvalitet, som kan opfylde kvalitetskravene. Ved korte driftstider har lyskildernes lysudbytte mindre betydning for det samlede elforbrug.

Tabel 17. Eksempler på lyskilders farvegengivelse, farvetemperatur og lysudbytte ifølge [14]. Lysudbyttet er inklusive eventuelle tab i transformatorer og forkoblinger.

Lyskilde	Farvegengivelse $R_a$	Farvetemperatur K	Lysudbytte $\eta$ lm/W
<i>Temperaturstrålere</i>			
Glødelamper	99	2700	8- 16
Halogenglødelamper	99	2800-3200	12- 27
<i>Luminescensstrålere</i>			
Kompaktlystofrør	83-95	2700-4000	20- 80
Kompaktlystoflamper	83	2700	40- 60
Lysstofrør	50-97	2700-6500	35- 93
Kviksølvlamper	20-60	3000-6000	30- 60
Metalhalogenlamper	60-95	3000-6000	50- 90
Højtryksnatriumlamper	20-80	2000-2900	30-130

### Forkoblinger

For luminescensstrålere er det en forudsætning for lyskildens funktion, at der indskydes en forkobling mellem netspænding og lyskilde for at begrænse og stabilisere lampestrømmen. Forkoblingen kan være indbygget i lyskilden, i armaturet eller

uden for armaturet. I kompaktlyststofflamper er forkoblingen indbygget i lyskilden, mens den for andre er uden for lyskilden.

Konventionelle  
forkoblinger

Der tabes typisk 15-25 pct. af lyskildernes eget effektbehov i konventionelle forkoblinger. Der findes såkaldte lavtapsforkoblinger, hvor tabet kun er ca. 2/3 af tabet i almindelige konventionelle forkoblinger.

HF-forkoblinger

Brug af elektroniske højfrekvente (HF) forkoblinger giver lavere tab og højere lysstrøm. HF-forkoblinger giver desuden mulighed for kontinuert regulering af belysningen fx efter dagslyset. Andre fordele er, at lyset ikke flimrer, at lyskilderne tænder direkte og får længere levetid, samt at defekte lyskilder kobles ud.

Transformatorer

Halogenglødelamper kræver ikke forkobling, men lavvoltage lamper forsynes fra en transformator, som har et vist tab. Der er også tomgangstab i transformatoren, selv om lamperne er slukket. Tabet bør undgås ved at afbryde på netsiden af transformatoren.

Typisk tab

Eksempler på tab i forkoblinger og transformatorer i procent af lyskildernes eget effektbehov er vist i tabel 18. Tabene er relativt størst for lyskilder med lille effektbehov.

Tabel 18. Eksempler på typiske tab i forkoblingsudstyr og transformatorer i pct. af lyskildens eget effektbehov.

Lyskilde	Tab i pct.	
	Konventionel	HF, elektronisk
Halogenglødelamper, lavvoltage	15	5
Kompaktlyststoffrør	40-75	20- 40
Lysstofrør	25	10-15
Kviksølv-, metalhalogen- og højtryksnatriumlamper	10-25	10*

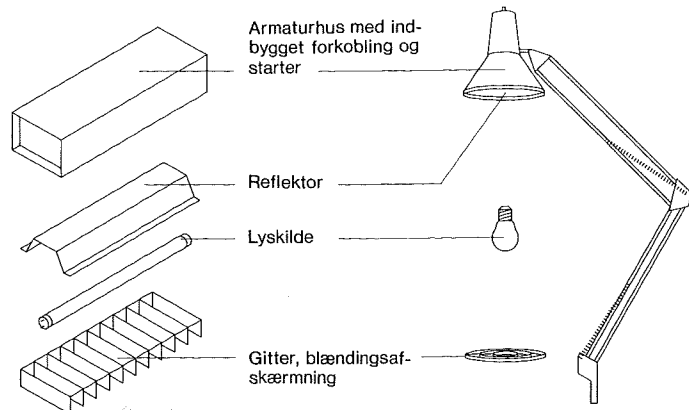
\* Højtryksnatriumlamper

### Belysningsarmaturer

Belysningsarmaturerne skal fordele lyset i rummet, uden at der opstår generende blænding, og således at der opnås god luminansfordeling, gode kontrastforhold og en god rumoplyselse med mindst muligt energiforbrug, se figur 34 og 35.

Armaturhuset skal beskytte lyskilder, fatninger og andet tilbehør mod fx fugt, støv og berøring. I nogle armaturhuse fungerer indersiden som reflektor, fx i nogle typer pendler og arkitektlamper.

Armaturhus



Figur 34. Eksempler på opbygning af belysningsarmaturer.

Reflektor

Reflektorens formål er at styre lyset. I lysstofrørsarmaturer styres lyset hovedsageligt i retningen på tværs af røret. Med en asymmetrisk reflektor kan lyset fx styres ud til den ene side til belysning af lodrette flader, reoler og tavler. Med andre typer reflektorer kan lyset styres nedad, så blænding til siderne undgås. Et reflektorarmatur er normalt mere effektivt end et armatur, der er hvidmalet indvendigt. Til gengæld er risikoen for generende blænding i nogle retninger større.

Gitre

Gitre i bunden af et armatur kan begrænse indsynet i armaturet og medvirke til formindskelse af blændingen ved at udjævne lyset eller styre det nedad. Opale plastgitre og matte, celleformede gitre udjævner lyset, så kraftigt lyse områder undgås.

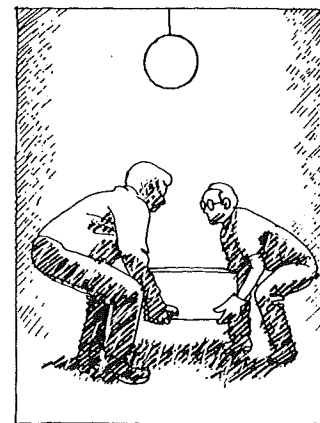
Lavluminansgitre

Lavluminansgitre er ofte blanke eller halvblanke celleformede gitre. Den blanke type giver en kraftig styring af lyset nedad. Det betyder, at armaturet ser mørkt ud uden for lyskeglen, og at risikoen for spejlinger og reflekser i dataskærme uden for lyskeglen er lille, hvis dataskærme og armaturer i øvrigt placeres hensigtsmæssigt i forhold til hinanden. Den halvblanke type giver en mere behagelig rumoplevelse, men større risiko for reflekser i dataskærme.

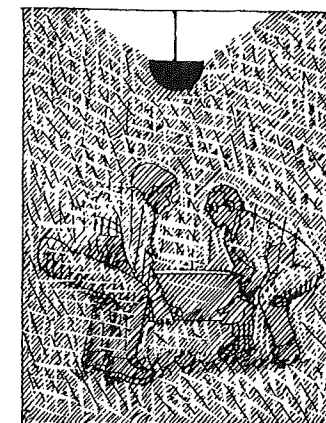
Armaturvirkningsgrad

Armaturvirkningsgraden er et mål for hvor stor en del af lyset fra lyskilderne, der kommer ud af armaturet. Virkningsgraden for armaturer varierer meget.

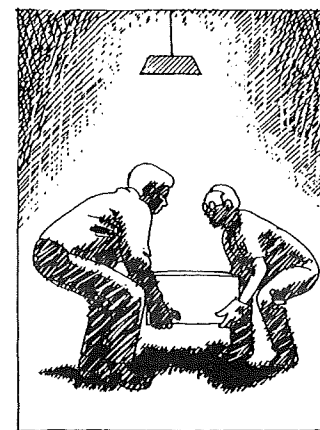
Armaturer med ringe afskærmning af lyskilder har normalt høj virkningsgrad, men også stor risiko for blænding. Armaturer med spejlende elementer, som effektivt dirigerer lyset ud af armaturet, giver normalt også høj virkningsgrad. Brug af



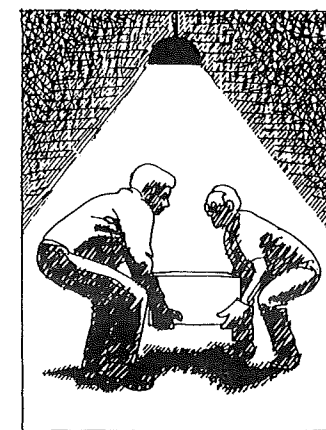
Ensartet lysende



Direkte opadlysende



Fortrinsvis nedadlysende



Direkte nedadlysende

Figur 35. Eksempler på armaturers lysfordelinger.

diffuserende elementer, fx hvidmalede flader, giver normalt lavere virkningsgrad. Eksempler på armaturvirkningsgrader er vist i tabel 19.

Det er vigtigt, at armaturhus, reflektorer og gitre er nemme at adskille og rengøre, så virkningsgraden ikke falder gennem armaturets levetid. En høj virkningsgrad betyder ofte, at armaturet er mere sårbart for støv, buler og uregelmæssigheder.

Lysfordeling og virkningsgrad kan måles i laboratorium. I katalogerne angives ofte lysfordeling, virkningsgrad, lyskilder, reflektor og afskærmning samt monteringsform og sikkerhedsklasser ifølge Stærkstrømsbekendtgørelsen [20].

Armaturdata











### Belysningsvirkningsgrad

Ved energimæssig bedømmelse af et belysningsanlæg er belysningsvirkningsgraden  $\eta_B$  vigtig. Belysningsvirkningsgraden er et mål for, hvor stor en del af lyset fra lyskilderne, der rammer arbejdsplanet.

Belysningsvirkningsgraden afhænger blandt andet af rummets form og farver, samt de anvendte armatures placering, virkningsgrad og lysfordeling. Alt andet lige giver lyse overflader høj belysningsvirkningsgrad, se tabel 19.

Farver og rumstørrelse

Tabel 19. Eksempler på armatur- og belysningsvirkningsgrad for forskellige lysstofrørarmaturer i et belysningsanlæg med regelmæssig belysning i et typisk middelstort rum.

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

### Rummets farver

Da en stor del af lyset fra belysningsanlægget rammer rummets overflader, er det vigtigt, at de er lyse og reflekterer lyset tilbage i rummet og hen på arbejdspladserne.

Oftentimes er mere end 20 pct. af lyset i et rum reflekteret lys fra lokalets overflader, specielt når der benyttes armaturer med oplys. Ved indirekte belysning er lysfordeling og effektivitet meget afhængig af farven på vægge, loft, gulv og inventar.

Det er normalt hensigtsmæssigt, at reflektansen på loftet er højere end 0,7, at reflektansen på vægge er mellem 0,5 og 0,8 og at reflektansen på gulvet er mellem 0,2 og 0,4. Stor reflektans på vinduesvæggen reducerer kontrasten mellem vinduesflade og væg om dagen. Gardiner bør også være af lyst materiale, ligesom inventar bør vælges med lyse, matte overflader.

Ved maling af rummene bør farverne være mindst lige så lyse, som det var forudsat ved projekteringen af belysningsanlægget. Man bør være opmærksom på, at senere maling af rummene i mørkere farver kan reducere reflektansen, så belysningen bliver utilstrækkelig og ubehagsblendingen generende.

### Belysningsform

Et differentieret belysningsanlæg med rumbelysning, som giver tilstrækkeligt lys til rengøring, færdsel og mindre krævende opgaver, suppleret med arbejdsbelysning på arbejdspladser, hvor der foregår mere vedvarende eller krævende arbejde, er ofte en god løsning. Med differentieret belysning kan der normalt også opnås den bedste belysningskvalitet, samtidig med at det virker positivt for brugerne selv at have indflydelse på belysningsforholdene. Desuden kan driftstiderne i de forskellige funktionsområder varieres efter behov, hvorved energiforbruget begrænses.

Det er vigtigt, at rumbelysning og funktionsbelysning planlægges som en helhed, at rumbelysningen ikke forsømmes, fordi der anvendes arbejdslamper, og at der ikke ses bort fra funktionsbelysningen ved vurdering af rumbelysningen.

Den endelige afvejning mellem rumbelysning og funktionsbelysning afhænger af lokalets anvendelse og arkitektur. I lokaler med stillesiddende arbejde i afgrænsede områder, som fx kontorer, kan der være en stærkt differentieret belysning med individuel styring, mens der i lokaler med grovere arbejde i størstedelen af lokalet, fx lagerhaller, bør være en jævn belysning med samlet regulering af hele belysningsanlægget.

Indirekte lys

Reflektanser

Maling

Differentieret belysning

Helhedsplanlægning

## Rumbelysning

Rumbelysningen kan enten udføres som en jævnt fordelt belysning med armaturer, der er placeret i et regelmæssigt mønster i loftet eller nedhængt fra dette, eller som en differentieret belysning, hvor belysningsstyrken tilpasses aktiviteterne samt rummets form og specifikke indretning. Den bedste løsning både kvalitets- og energimæssigt opnås almindeligvis ved at koordinere arbejdspladsernes og armaturernes placering, således at belysningsfordelingen i rummet passer til funktion og indretning.

Rumbelysningen kan være vigtig for at give tilfredsstillende balance mellem kraftigt dagslysbelyste dele af et rum tæt ved vinduerne og områder bag i rummet. Lav belysningsstyrke fra rumbelysningen vil ofte medføre ikke planlagt opsætning og brug af tilfældige lamper med større energiforbrug og dårlig belysningskvalitet til følge.

## Arbejdsbelysning

Arbejdsbelysning kan enten tilvejebringes med loftsarmaturer, med arbejdslamper placeret på den enkelte arbejdsplads eller som en kombination af lofts-belysning og arbejdslamper.

## Arbejdslamper

Valg af arbejdslamper må foretages ud fra krav til lysfordeling og belysningsstyrke. Arbejdslamper bør give den nødvendige belysning på synsopgaven uden gener i form af blanding, spejling eller reflekser. En bestemt type arbejdslampe kan være god til én type arbejde, men dårlig til en anden. Arbejdslamper skal afstemmes med rummets øvrige belysning. De bør nemt kunne flyttes, hvis lokalet senere ommøbleres.

## Vedligeholdelse

## Vedligeholdelsesfaktor

Vedligeholdelsesfaktoren  $v$ , som benyttes ved projektering af belysningsanlæg, er forholdet mellem driftsværdi og begynderens værdi af belysningsstyrken fx på arbejdsplanet. Vedligeholdelsesfaktoren afhænger af lyskildernes formindskelse i lysstrøm med tiden samt af tilsmudsning af lyskilder, armaturer og rummets overflader. Det nødvendige effektbehov i et belysningsanlæg afhænger direkte af den vedligeholdelsesfaktor, der benyttes ved projekteringen.

## Tilsmudsning

Tilsmudsningen afhænger blandt andet af armaturernes konstruktion og støvfølsomhed samt af rummets brug. Tilsmudsningen foregår også, selv om belysningen ikke benyttes. Valg af armaturer, som ikke tilsmudses så let, hyppig rengøring af armaturer samt regelmæssig gruppeudskiftning af lyskilder resulterer i høj vedligeholdelsesfaktor og dermed lavt effektbehov samt ofte også i lavere drifts- og vedligeholdelsesomkostninger.

Tabel 20. Typiske vedligeholdelsesfaktorer under forudsætning af at udbrændte lyskilder udskiftes øjeblikkelig og at alle lyskilder udskiftes med fast interval, fx glødelamper efter 1000 brændtimer, 3-pulver lysstofrør med konventionel forkobling og højtrykskvikslamper efter 9000 timer, metalhalogenlamper efter 6000 timer og højtryksnatriumlamper efter 15000 timer samt at armaturer rengøres hvert år og at lofter og vægge rengøres hvert 3. år.

Lokaletype	Armaturtype	Vedligeholdelsesfaktor	
		Indirekte belysning	Direkte belysning
Rene rum, computerrum, elektronikfabrikker og hospitaler	Alle	0,60	0,80
Kontorer, butikker, skoler, laboratorier, restauranter, varehuse, fabrikker og værksteder	Ej støvtæt	0,50	0,70
	Støvtæt		0,75
Stålværker, kemiske værksteder, støberier, svejseværksteder, træindustri og slibeværksteder	Ej ventileret og ej støvtæt		0,55
	Ventileret, ej støvtæt		0,65
	Støvtæt		0,70

## Vedligeholdelsesplan

Det er vigtigt, at der udarbejdes en detaljeret vedligeholdelsesplan, således at den vedligeholdelse, som er forudsat under projekteringen, bliver gennemført i praksis. En vedligeholdelsesplan bør indeholde terminer for

- rengøring af lyskilder og armaturer,
- udskiftning af lyskilder,
- rengøring af lofter og vægge,
- pudning af vinduer,
- maling af rummernes overflader.

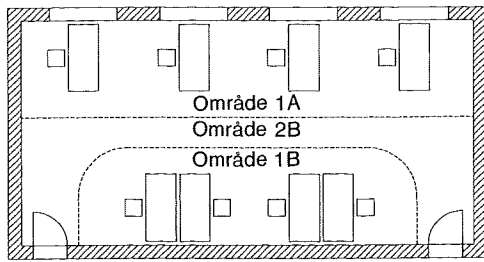
## Zoneinddeling

## Dagslysforhold og aktiviteter

Belysningsanlæg skal ifølge bygningsreglementet udføres opdelt i zoner med mulighed for benyttelse efter dagslysforhold og aktiviteter i forskellige områder af rummene. Zoneopdelingen skal sikre, at de enkelte belysningsarmaturers driftstid begrænses mest muligt.

## Fastlæggelse af opdeling

Inddeling af anlægget i zoner med forskellige krav til belysningen bør ske på grundlag af en opdeling af rummet i områder, fx efter arbejdsopgaver og dagslysadgang forskellige steder i rummet. Et eksempel på områdeopdeling af et kontor er vist i figur 36 på næste side.



Figur 36. Eksempel på opdeling af et kontor i områder efter arbejdsopgaver og dagslysadgang. 1A: Område med større dagslysindfald, hvor der kan placeres faste arbejdspladser. 1B: Område med mindre dagslysindfald, hvor der kan placeres faste arbejdspladser. 2B: Øvrige områder med mindre dagslysindfald, hvor der kan foregå lejlighedsvis arbejde og færdsel.

Belysningen kan derefter fastlægges på grundlag af behovene i de enkelte områder af rummet. Belysningsarmaturer nær vinduer kan fx udgøre én zone, mens armaturer placeret inde i rummene kan udgøre én eller flere selvstændige zoner.

### Styring og regulering

Med styring og regulering af belysningen skal det sikres, at der kan opnås den rigtige belysning alle steder i rummet, og at unødvendig belysning slukkes af energihensyn.

Styring og regulering kan være manuel, automatisk eller kombineret manuel og automatisk. I mindre arbejdslokaler opnås der normalt de mest tilfredsstillende forhold for brugerne, når de selv har mulighed for at styre belysningen. Brugere bør fx have mulighed for selv at tænde belysningen, mens det af energihensyn kan være hensigtsmæssigt at installere automatik til at slukke unødvendig belysning, fx når lokaler forlades, eller når der er dagslys nok. I større arbejdslokaler er det normalt mest hensigtsmæssigt at styre og regulere belysningen automatisk.

Ved manuel styring af rumbelysningen bør der være monteret afbrydere ved alle døre til et rum. I rum med flere belysningsarmaturer, som kan opdeles i områder med forskellige arbejdsopgaver og dagslysadgang, bør belysningen opdeles i zoner eller grupper med separate afbrydere.

Den automatiske styring kan fx være med ur, bevægelsesmeldere eller lysfølere. Ved urstyring tændes og slukkes lyset fx afhængigt af arbejdstid og brugsvaner. Urstyring bør normalt kombineres med mulighed for manuelt at tænde lyset.

Bevægelsesmeldere

Med bevægelsesmeldere kan lyset tændes og slukkes, når lokaler bemandedes eller forlades. I mange bygninger kan elforbruget til belysning reduceres væsentligt ved at slukke lyset i rum, hvor der ikke er personer til stede.

Lysfølere, fotoceller

Der kan også spares energi ved at styre eller regulere belysningsanlægget efter dagslysindfaldet og den samlede belysning i rummene. Den kunstige belysning kan reguleres on/off, trinvist eller kontinuert. Kontinuert regulering bør normalt fortrækkes, fordi den virker mindst generende for brugerne.

Besparelse ved regulering efter dagslys

De mulige energibesparelser ved regulering af kunstbelysningen med lysfølere efter den samlede belysning inklusive dagslysindfaldet afhænger blandt andet af dagslysfordelingen i rummet, det ønskede belysningsniveau, rummenes brugstid, belysningsanlæggets zoneopdeling, lysfølernes placering, reguleringsformen og tabene i reguleringsudstyret. I tabel 21 er vist eksempler på driftstidsbesparelser ved on/off regulering og lux-time-besparelse ved kontinuert regulering af kunstlyset efter den samlede belysning inklusive dagslysindfaldet.

I anlæg med on/off regulering er driftstid- og energibesparelsen lige store på nær tabet i reguleringsudstyret. I anlæg med kontinuert regulering er energibesparelsen noget mindre end lux-time-besparelsen på grund af reduceret lyskildeeffektivitet samt tab i forkoblinger, transformatorer og reguleringsudstyr.

Tabel 21. Mulig driftstid- og lux-time-besparelse i kontorer med ca. 2500 timer brugstid pr. år ved manuelt eller automatisk at slukke eller nedregulere rumbelysningen, når der er tilstrækkelig dagslys. Der er ikke taget hensyn til direkte sollys på klare dage. Vedrørende dagslysfaktoren se fx [19].

Dagslysfaktor DF pct.	Ønsket belysningsstyrke E lux	Driftstidsbesparelse pct.	Lux-time-besparelse pct.
0,5	50	60	80
	100	35	65
	200	5	40
1,0	50	80	90
	100	60	80
	200	35	65
	500	0	35
2,0	50	90	95
	100	80	90
	200	60	80
	500	25	55

Manuelt eller automatisk

Manuelle afbrydere

Automatisk styring

## Udendørsarealer og fælles adgangsveje

Automatisk regulering

Belysningsanlæg til fælles adgangsveje og udendørsarealer, herunder trapper, gange, stier samt indendørs og udendørs parkeringsanlæg, skal forsynes med automatisk styring efter dagslysforhold og brugstid, medmindre særlige forhold gør sig gældende, fx hensyn til tryghed og sikkerhed.

Den automatiske regulering af belysningsanlæg de pågældende steder bør indrettes, således at driftstiden for belysningsanlæggene bliver mindst mulig under hensyn til dagslystilgang og brugstid.

Udendørsarealer

Udendørs belysningsanlæg bør styres med lysføler (fotoceller). Belysning, der ikke behøver at være tændt alle de mørke timer af hensyn til tryghed og sikkerhed, kan desuden styres med ur eller bevægelsesmeldere.

Adgangsveje

Belysningsanlæg til fælles adgangsveje bør udstyres med systemer, der automatisk slukker lyset, medmindre særlige forhold vedrørende tryghed og sikkerhed gør sig gældende. Trappe- og gangbelysning kan fx styres med såkaldte trappeautomater, der automatisk slukker lyset efter en vis tid, eller med bevægelsesmeldere.

Parkeringsanlæg

Uden- og indendørs parkeringsanlæg bør forsynes med automatisk regulering af belysningen på samme måde som udendørsarealer og adgangsveje.

Skilte- og facadebelysning

Energiforbruget til skilte- og facadebelysning kan være stort blandt andet på grund af mange årlige driftstimer. Denne belysning bør derfor også reguleres automatisk, når det er muligt, selv om den ikke er omfattet af bestemmelserne i bygningsreglementet.

Krav til udendørsbelysning

Angående funktionskrav og belysningskvalitet til udendørs belysning henvises til fx [21 og 22].

### Eksempel:

#### Effektbehov og energiforbrug i et kontor

I det følgende vises et eksempel på beregning af effektbehov og energiforbrug i belysningsanlæg til et kontor på 72 m<sup>2</sup> med 8 faste arbejdspladser. Kontoret svarer til eksemplet i figur 36 på side 104. Den samlede brugstid for kontoret inklusive rengøring er 2500 timer pr. år.

Der projekteres to belysningsanlæg, A og B, som begge opfylder kravene i DS 700 til belysningskvalitet. Belysningsstyrken på arbejdspladserne (synsobjektet) er 500 lux og almenbelysningen er i middel 150 lux. I anlæg A er belysningen alene baseret på lysstofrør, mens den i anlæg B er baseret på

oplys fra kompaktlysstoflamper og nedadrettet lys fra halogenglødelamper.

Anlæg A

I anlæg A består rumbelysningen af 12 loftarmaturer i tre zoner. Desuden er der 8 arbejdslamper.

Effektbehovet i anlæg A er:

12 loftarmaturer à 37 W	444 W
8 arbejdslamper à 24 W	192 W

I alt 636 W

Anlæg B

I anlæg B består rumbelysningen af 6 op- og nedadlysende armaturer, i to zoner, nedhængt fra loftet og af 4 nedadlysende armaturer, i en selvstændig zone, ophængt tæt ved vinduesvæggen. Desuden er der 8 arbejdslamper.

Effektbehovet i anlæg B er:

Rumbelysning:

6 armaturer à 106 W	636 W
4 armaturer à 35 W	140 W
8 arbejdslamper à 25 W	200 W

I alt 976 W

Energiforbrug

Effektbehovet i anlæg A svarer til 9 W/m<sup>2</sup> og effektbehovet i anlæg B svarer til 14 W/m<sup>2</sup>.

Energiforbrugene i de to belysningsanlæg, hvis rumbelysningen er tændt 2500 timer/år og arbejdslamperne 1800 timer/år, er:

Anlæg A

Loftarmaturer	444 W i 2500 timer/år	1110 kWh/år
Arbejdslamper	192 W i 1800 timer/år	346 kWh/år

I alt 1456 kWh/år

Anlæg B

Rumbelysning	776 W i 2500 timer/år	1940 kWh/år
Arbejdslamper	200 W i 1800 timer/år	360 kWh/år

I alt 2300 kWh/år

Styring efter dagslys

Elforbruget til belysningen svarer til 20 kWh/m<sup>2</sup> pr. år i anlæg A og 32 kWh/m<sup>2</sup> pr. år i anlæg B.

Hvis rumbelysningen i de enkelte zoner slukkes, når der er tilstrækkeligt dagslys, skønnes det ud fra dagslysforholdene i rummet at det er muligt at reducere rumbelysningens driftstid med ca. 40 pct. Energiforbruget bliver så

<i>Anlæg A</i>		
Loftarmaturer	444 W i 0,6 · 2500 timer/år	666 kWh/år
Arbejdslamper	192 W i 1800 timer/år	346 kWh/år
	I alt	1012 kWh/år

<i>Anlæg B</i>		
Rumbelysning	776 W i 0,6 · 2500 timer/år	1164 kWh/år
Arbejdslamper	200 W i 1800 timer/år	360 kWh/år
	I alt	1524 kWh/år

Elforbruget med styring af rumbelysningen efter dagslyset svarer til 14 kWh/m<sup>2</sup> pr. år i anlæg A og 21 kWh/m<sup>2</sup> pr. år i anlæg B.

### Lysteknikk ordliste

Armaturvirkningsgrad	Armaturvirkningsgraden angiver, hvor stor en del af lyset fra lyskilderne, der kommer ud af armaturet.
Belysningsstyrke	Belysningsstyrken E i lux er den samlede lysstrøm, som en flade modtager pr. arealenhed.
Belysningsvirkningsgrad	Belysningsvirkningsgraden $\eta_B$ angiver, hvor stor en del af lysstrømmen fra lyskilderne i et belysningsanlæg, der rammer arbejdsplanet.
Dagslysfaktor	Dagslysfaktoren i et punkt i et rum er forholdet mellem belysningsstyrken fra dagslyset på en flade i rummet og den samtidige belysningsstyrke udendørs på et vandret plan, belyst af en jævnt overskyet, fuld himmelhalvkugle.
Farvegengivelse	Farvegengivelsesindeks $R_a$ , er en subjektiv sammenligning af 8 internationalt anerkendte farveprøver belyst ved samme farvetemperatur af henholdsvis en referencelyskilde og den afprøvede lyskilde. Indekset angiver lyskildens evne til at gengive referencefarverne korrekt. Skalaen går fra 0 til 100, hvor værdien 100 betyder optimal farvegengivelse i forhold til referencen.
Farvetemperatur	Det absolut sorte legemes temperatur, når det udsender stråling af tilsyneladende samme farve som den betragtede stråling. Farvetemperaturen angives i Kelvin, K. Lyskilder med samme farvetemperatur kan have vidt forskellig spektralfordeling.

Flimmer	Flimmer er pulseren i lysstrømmen fra lyskilder. Opfattelsen af flimmer er individuel.
Forkobling	Forkoblinger er nødvendige for start og drift af luminescensstrålere, fx lysstofrør. Der indskydes en forkobling mellem netspænding og lyskilde for at begrænse og stabilisere lampestrømmen. Konventionelle forkoblinger består af en starter og en spole. I HF-forkoblinger omformes netfrekvensen elektronisk til højfrekvens.
Luminans	Luminans er defineret som en flades lysstyrke i en given retning divideret med fladens tilsyneladende areal i samme retning. Luminans måles i candela pr. kvadratmeter, cd/m <sup>2</sup> .
Luminescensstrålere	Luminescensstrålere er lyskilder som fx lysstofrør, der udsender lys ved elektrisk udladning i lyskilden. Den spektrale sammensætning af lyset fra luminescensstrålere er anderledes end fra temperaturstrålere, idet luminescensstrålere overvejende udsender lys med bestemte bølgelængder (linespektre). Indersiden af glaskolben er for flere luminescensstråleres vedkommende, fx lysstofrør, belagt med lyspulver, se dette.
Lux-time	Lux-timer er et mål for belysningens ydelse. Den beregnes som produktet af belysningsstyrken i lux fx på arbejdsplanet og tiden i timer.
Lysfarve	Lysfarve benyttes ofte som synonym for farvetemperatur, se dette.
Lyspulver	Indersiden af glaskolben er i bl.a. lysstofrør belagt med lyspulver, som omsætter den ultraviolette stråling til lys (synlig stråling). Lysstofrør findes i flere varianter, hvor 3- og 5-pulver typen især er relevante. 3-pulver typen har et farvegengivelsesindeks $R_a$ på 82-85, mens 5-pulver typen har et $R_a$ på ca. 95.
Lysstrøm	Lysstrømmen fra en lyskilde $\Phi$ i lumen, lm, er den samlede stråling fra en lyskilde inden for det synlige område, vægtet med øjets følsomhed for de enkelte bølgelængder.
Lysudbytte	Lysudbyttet, $\eta$ i lumen pr. Watt, lm/W, er forholdet mellem lysstrømmen fra lyskilden og den optagne effekt. For lyskilder med forkoblingsudstyr bør effektforbruget i forkoblingen medregnes i lyskildens optagne effekt.
Reflektans	Reflektansen af en flade er forholdet mellem den reflekterede lysstrøm fra fladen og den indfaldne lysstrøm på fladen.



Spektralfordeling	Spektralfordelingen angiver den udsendte strålingseffekt fra en lyskilde bølglængde for bølglængde i hele spektret, både i den synlige og i den usynlige del.
Temperaturstrålere	Temperaturstrålere er lyskilder som fx glødelamper, hvor en tråd bringes til at gløde og derved udsender lys. Temperaturstrålere udsender lys fordelt over hele det synlige spekter.
Ubehagsblænding	Ubehagsblænding er den fornemmelse af ubehag, der forekommer, når der findes flader med høj luminans i synsfeltet.
Vedligeholdelsesfaktor	Vedligeholdelsesfaktoren $\nu$ for et belysningsanlæg er forholdet mellem driftsværdi og begyndelsesværdi af belysningsstyrken fx på arbejdsplanet.

## Summary

### *SBI-direction 184: Energy demand in buildings*

#### Building Regulations

In the new Danish Building Regulations (BR), which apply to multi-storey housing and commercial and institutional buildings, the requirements concerning thermal insulation have been tightened and new requirements on ventilation and lighting have been introduced, both with a view to reducing electricity consumption. The more stringent energy requirements are intended to help meet the objectives of Denmark's energy action plan Energy 2000.

#### The Direction

This SBI Direction describes methods of verifying whether buildings satisfy the energy requirements laid down in BR concerning insulation, ventilation and lighting. It also shows examples of constructions that meet the requirements on insulation and provides guidance on the possible window size in typical buildings.

The direction's chapters correspond to those used in the Building Regulations, in which the guideline text refers to the direction. It is necessary to know the Building Regulation's rules in order to benefit from the direction.

#### Thermal insulation

The direction's first chapter, Thermal insulation, is based on the rules in BR, chapter 8, which has the same title. The direction describes a method of calculating the heat demand in buildings. The method is based on proposals for a new European standard prEN 832 Thermal performance of buildings – Calculation of energy use for heating – Residential buildings. The calculations can be performed manually, and the direction includes forms for this purpose.

#### Computer program

The heat demand can also be calculated by computer. For this purpose SBI has developed a simple, user-friendly program based on the forms. The program can be ordered from SBI.

#### Examples of constructions

In the following chapter, Examples of constructions, examples are shown of constructions that meet the Building Regulations' requirements concerning U-values.

#### Electricity consumption for ventilation

The chapter Ventilation is based on the rules given in BR, section 12.3 Ventilation systems, subsection 9. It explains how to calculate the electricity consumption in different types of mechanical ventilation systems for large buildings. The description concerns only the electricity consumption in the

fans. The heat consumption for heating the ventilation air is part of the building's total heat demand and is therefore described in the chapter entitled Thermal insulation.

#### Electricity consumption for lighting

The chapter Lighting is based on the rules in BR, section 12.9 Lighting installations. This chapter explains how to calculate energy and power consumption in lighting installations and the considerations to be taken with respect to the quality of the illumination.

## Litteratur

1. Bygningsreglement. Bygge- og Boligstyrelsen. 1995.
2. Bygningsreglement for småhuse, BR-S 85. Byggestyrelsen 1985.
3. Dansk Ingeniørforenings regler for beregning af bygningers varmetab. Dansk Standard DS 418, 5. udgave. 1986.
4. U-værdier 1995. Dansk Forening af Fabrikanter af Varmeisoleringsmaterialer, VIF. 1995.
5. Dansk Ingeniørforenings norm for ventilationsanlæg. Dansk Standard DS 447, 1. udgave. 1981.
6. DS 700. Retningslinier for kunstig belysning i arbejdslokaler, 4. udgave. Dansk Standardiseringsråd. September 1986. (Under revision).
7. DS 703. Retningslinier for belysning i sygehuse, 3. udgave. Dansk Standardiseringsråd. November 1983. (Under revision).
8. DS 704. Lysteknisk Terminologi, 2. udgave. Dansk Standardiseringsråd. April 1975. (Under revision).
9. DS 705. Retningslinier for kunstig belysning i tandlægeklinikker, 2. udgave. Dansk Standardiseringsråd. December 1980. (Under revision).
10. DS 707. Idrætsbelysning, almene retningslinier, samt DS 707.1-16 for div. sportsgrene, 2. udgave. Dansk Standardiseringsråd. Januar 1984. (Under revision).
11. Godt lys på arbejdspladsen. Arbejdsmiljøfondet. 1982.
12. Det betaler sig at se på lyset - hvordan? Lysteknisk Selskab. 1987.
13. Hold arbejdslyset vedlige - det betaler sig. Arbejdsmiljøfondet. 1985.
14. Elektriske lyskilder, serien Lys og Belysning. Lysteknisk Selskab. 1993.
15. Guide on Interior Lighting. Second edition. Publication CIE no. 29.2, 1986, 1992.

16. God og energirigtig skolebelysning. Lys & Optik og Lysteknisk Selskab. 1990.
17. God og energirigtig kontorbelysning. Energistyrelsen (i samarbejde med Lys & Optik og Lysteknisk Selskab). 1993.
18. God og energirigtig industribelysning. DELTA Lys & Optik og Lysteknisk Selskab. 1995.
19. Indeklima-Lys. ATV's Indeklimaudvalg. 1975.
20. Stærkstrømsbekendtgørelsen. Elektricitetsrådet. November 1994.
21. Cirkulære om vejbelysning. Cirkulære nr. 126. Trafikministeriet. Juli 1993.
22. Vejregler for vejbelysning. Hæfterne 9.20.xx. Vejdirektoratet, Vejregeludvalget. 1992.
23. Bygningers fugtisolering. SBI-anvisning 178. Statens Byggeforskningsinstitut. 1993.
24. Facadefuger. Udformning og materialer. SBI-anvisning 177. Statens Byggeforskningsinstitut. 1993.

## Stikordsregister

- Adgangsveje (belysning) 89, 106
- Administrationsbygninger
  - energiramme 18, 19
  - varmebehov 22, 51
  - vindues- og yderdørsareal 57
  - *se også* Bygninger, andre
- Almenbelysning 94
- Andre bygninger (end boliger)
  - energiramme 18, 19
  - varmebehov 22
- Arbejdsbelysning 102
- Arbejdslamper
  - effektbehov 95
  - valg af 102
- Arbejdsplan
  - belysningsstyrke 91, 92
- Areal, opvarmet bebygget 21
- Arealbegrænsning
  - vinduer og yderdøre 10, 11
- Arealfaktor 37
- Armaturer 97, 98
  - lysfordeling 99
  - virkningsgrad 98, 108
- Bebygget areal, opvarmet 21
- Belysning 89-110
  - brugstid 93
  - driftstid 93
  - effektbehov 89, 93, 94
  - energiforbrug 89, 92
  - kontrastgengivelse 90
  - regulering 104
  - styring 104
  - styrke 90, 91, 92, 108
  - særbelysning 92
  - transformatorer 97
  - udendørsarealer 89, 106
  - virkningsgrad 100, 108
  - *se også* Lyskilder
- Belysningsform 101
- Belysningskvalitet 89
- Beregningsmæssig ventilation 26, 42
- Betjeningsområde (ventilation) 83
- Bevægelsesmeldere (belysning) 105
- Blending 90, 98
  - ubehags- 91, 110
- Boliger
  - energiramme 18
  - varmebehov 22
- BR *se* Bygningsreglement
- Brugstid
  - belysning 93
  - for boliger og andre bygninger 25
  - relativ 26
  - ventilation i 26, 42
- Bruttoareal, opvarmet 21
- Butikker
  - vinduer og yderdøre 12
- Bygninger, andre (end boliger) 19
- Bygningsreglement 8
  - belysning 89
  - varmeisolering 10
  - ventilation 82
- Dage pr. måned 29
- Dagslysfaktor 105, 108
- Dagslysforskel 103
- Driftstid
  - belysning 93, 105
  - ventilation 43, 82
- DS 418 12, 33, 59
- DS 700 89
- Døgninstitutioner
  - varmebehov 25
  - *se også* Boliger
- Edb-program (varmebehov) 23
- Effektbehov
  - belysning 89, 93, 94
- Elforbrug
  - belysningsanlæg 89, 92
  - ventilation 83
- Energiforbrug
  - belysning 89, 92
  - ventilation 83
- Energiramme 10, 18, 31
  - andre bygninger 19
  - boliger 18

Energirammetillæg 19, 20, 31, 44  
 Energivenlige belysningsanlæg 92  
 Enfamiliehuse  
 - varmebehov 23  
 - *se også* Boliger  
 Erhvervsbygninger *se* Andre bygninger  
 Etageadskillelser (U-værdi-krav) 11, 17  
 Etageantal 18  
 Etageareal, opvarmet 21  
 Etageboliger  
 - energiramme 18  
 - varmebehov 22, 44  
 - vindues- og yderdørsareal 56  
 - *se også* Boliger  
 Facadebelysning 106  
 Facader *se* Ydervægge  
 Farvegengivelse (lyskilders) 90, 95, 96, 108  
 Farver (rummets) 100, 101  
 Farvetemperatur (lyskilders) 95, 96, 108  
 Faseforskel mellem spænding og strøm 85  
 Flimmer 90, 95, 109  
 Forkoblinger (belysning) 96, 97, 109  
 Fotoceller 105  
 Frostfrie rum 17  
 Fugt 10, 59  
 Funktionsbelysning  
 - effektbehov 95  
 - planlægning 101  
 Gitre (i armaturer) 98  
 Glasaltaner (solindfald) 38, 49  
 Glasfaktor 37  
 Glasrum 21  
 Glastilbygninger (solindfald) 38  
 Gulve  
 - konstruktioner 68-71, 74-77  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 HF-forkoblinger 97  
 Indbygning af vinduer 80  
 Indirekte lys 101  
 Indirekte solvarmetilførsel 39  
 Industribygninger *se* Andre bygninger  
 Industriegulve (U-værdi-krav) 11, 17  
 Infiltration 25, 43, 84  
 Internt varmetilskud 27, 29  
 Jordtemperatur 12

Kollegier  
 - varmebehov 25  
 - *se også* Boliger  
 Komfortventilationsanlæg 42, 83, 86  
 Konstant luftydelse 85  
 Kontrastgengivelse (belysning) 90  
 Krybekælderdæk  
 - konstruktioner 70, 75-76  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Kryberumstemperatur 13, 39  
 Kuldebroer 10, 59  
 Kælderdæk  
 - konstruktioner 70, 77  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Kældergulve  
 - konstruktioner 66  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Kælderydervægge  
 - konstruktioner 66, 77  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Kældre 13, 21, 39  
 Lette ydervægge  
 - konstruktioner 62-65, 76, 78, 81  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Lofter  
 - konstruktioner 72, 78  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 - udstråling fra 12, 33  
 Luftsifte  
 - andre bygninger 20, 26, 43  
 - boliger 18, 25, 43  
 - uopvarmede rum 41  
 - ventilation 82  
 Lufttransport (ventilation) 83  
 Luftydelse  
 - konstant 85  
 - variabel 85  
 Luminans 109  
 Luminansfordeling 90, 92  
 Luminescensstrålere 96, 109  
 Lux-time 109  
 - besparelse 105  
 Lys, indirekte 101

Lysfarve 90, 109  
 Lysfordelinger 99  
 Lysfølere 105  
 Lyskilder 95  
 - farvegengivelse 90, 95, 96, 108  
 - farvetemperatur 95, 96, 108  
 - lysudbytte 95, 96, 109  
 - *se også* Belysning  
 Lyspulver 109  
 Lysstrøm 109  
 Maling  
 - farver 100, 101  
 Mekanisk  
 - udsugning 18, 31, 41, 83  
 - ventilation 20, 31, 41, 83  
 Mindste varmeisolering 17  
 MJ 18  
 Månedsmiddeltemperatur, udeluftens 29  
 Månedsmiddelværdier 22  
 Naturlig ventilation 25  
 Nettovarmebehov 18  
 - *se også* Varmebehov  
 Opvarmet areal  
 - bebygget areal 21  
 - bruttoareal 21  
 - etageareal 21  
 Opvarmning 10, 18  
 Opvarmningssæson 22  
 Parkeringsanlæg (belysning) 106  
 Recirkulationsluft 86  
 Reduktionsfaktor for solindfald 35, 56  
 Referencerude (solindfald gennem) 34  
 Reflektans 101, 109  
 Regulering (belysning) 104  
 Relativ brugstid 26  
 Relativt varmetilskud 30  
 Returluft 86  
 Rumbelysning 101  
 Rumbeskrivende egenskaber (belysning) 90  
 Rummets farver 101  
 Rumtemperatur 12, 21, 22, 25, 29  
 - *se også* Temperaturfaktor  
 Sammenbygninger (konstruktioner) 74-79  
 Skemaer (varmebehov) 23

Skillevægge  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Skiltebelysning 106  
 Skråvægge  
 - konstruktioner 72, 79  
 - transmissionstab 12, 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 - udstråling fra 12, 33  
 Skunkvægge  
 - transmissionstab 12, 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 - udstråling fra 12, 33  
 Skyggefaktor 36  
 Solindfald 34, 38  
 - gennem referencerude 34  
 - gennem vinduer 34  
 - gennem yderdøre 34  
 - i glasbygning 38  
 - i uopvarmede rum 38  
 - reduktionsfaktor 35, 56  
 Solvarme 38  
 - *se også* Solindfald  
 Solvarmetilførsel, indirekte 39  
 Solvarmetransmittans 37  
 Spektralfordeling 110  
 Spjældregulering 86  
 Styling (belysning) 104  
 Synsobjekt 90  
 Særbelysning 92  
 Tage  
 - konstruktioner 72, 78-79  
 - transmissionstab 12, 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 - udstråling fra 12, 33  
 Temperaturfaktor 33  
 - uopvarmede rum 39, 41  
 - *se også* Rumtemperatur  
 Temperaturstrålere 96, 110  
 Terrændæk  
 - konstruktioner 68, 74-75  
 - transmissionstab 13, 32  
 - U-værdi-krav 11, 17  
 Tidskonstant 27  
 Tillæg til energiramme 19, 20, 31, 44  
 Tofamiliehuse  
 - varmebehov 23  
 - *se også* Etageboliger  
 Tohastighedsmotorer (ventilation) 86  
 Transformatorer (belysning) 97

Transmissionskoefficienter *se* U-værdier

Transmissionsareal 13

Transmissionstab 12, 26

- uopvarmede rum 39

- vinduer og yderdøre 33

- ydervægge, tage og gulve 32

Tunge ydervægge

- konstruktioner 60, 64, 74-81

- transmissionstab 13, 32

- U-værdi-krav 11, 17

Ubehagsblending 91, 110

Udeluftens månedsmiddeltemperatur 29

Udendørsarealer (belysning) 89, 106

Udetemperatur 12, 29

Udnyttelsesfaktor for varmetilskud 30

Udstråling fra tage 12, 33

Udsugning 18, 26, 31, 41

Undervisningsbygninger

*se* Andre bygninger

Uopvarmede rum

- solindfald 38

- temperatur 13

- varmebalance 39

U-værdier 10, 12, 59

U-værdi-krav 11, 17

Variabel luftydelse 85

Varmebehov 10, 18, 20

- administrationsbygninger 25, 51, 57

- beregning af 22, 28, 30

- enfamiliehuse 23

- etageboliger 25, 44, 56

- tofamiliehuse 23

Varmegenvinding 20, 41

- temperaturvirkningsgrad 43

Varmeisolering, mindste 17

Varmekapacitet 27

Varmeledningsevne 59

Varmetab 10, 12, 26

- uopvarmede rum 39

- ventilation 25

- vinduer og yderdøre 33

- ydervægge, tage og gulve 32

Varmetabsramme 10, 12

- etagehus 15

Varmetilskud 18

- internt 27, 29

- relativt 30

- udnyttelsesfaktor 30

Vedligeholdelsesfaktor

- belysningsanlæg 102, 110

Ventilation 10, 18, 25, 82-88

- beregningsmæssig 26, 42

- betjeningsområde 42, 83

- i brugstiden 26, 44

- mekanisk 20, 31, 41, 82-88

- naturlig 25

- tohastighedsmotorer 86

- uden for brugstiden 26, 44

- ydelsesregulering 86

Ventilationstab 26, 41

Vinduer

- arealbegrænsning 10, 11

- indbygning (konstruktioner) 80, 81

- solindfald 18, 34, 38

- transmissionstab 33

- U-værdi-krav 11, 12, 17

Vinduesareal 11, 13

- administrationsbygninger 57

- etageboliger 56

Volumenstrøm i ventilationsanlæg 19, 43

Ydelsesregulering (ventilation) 86

Yderdøre

- arealbegrænsning 10, 11

- solindfald 18, 34, 38

- transmissionstab 33

- U-værdi-krav 11, 12, 17

Yderdørsareal 11, 13

- administrationsbygninger 57

- etageboliger 56

Ydervægge

- transmissionstab 13, 32

- U-værdi-krav 11, 17

Ydervægge, andre

- konstruktioner 64-65

Ydervægge, lette

- konstruktioner 62-65, 76, 78, 81

- transmissionstab 13, 32

- U-værdi-krav 11, 17

Ydervægge, tunge

- konstruktioner 60, 64, 74-81

- transmissionstab 13, 32

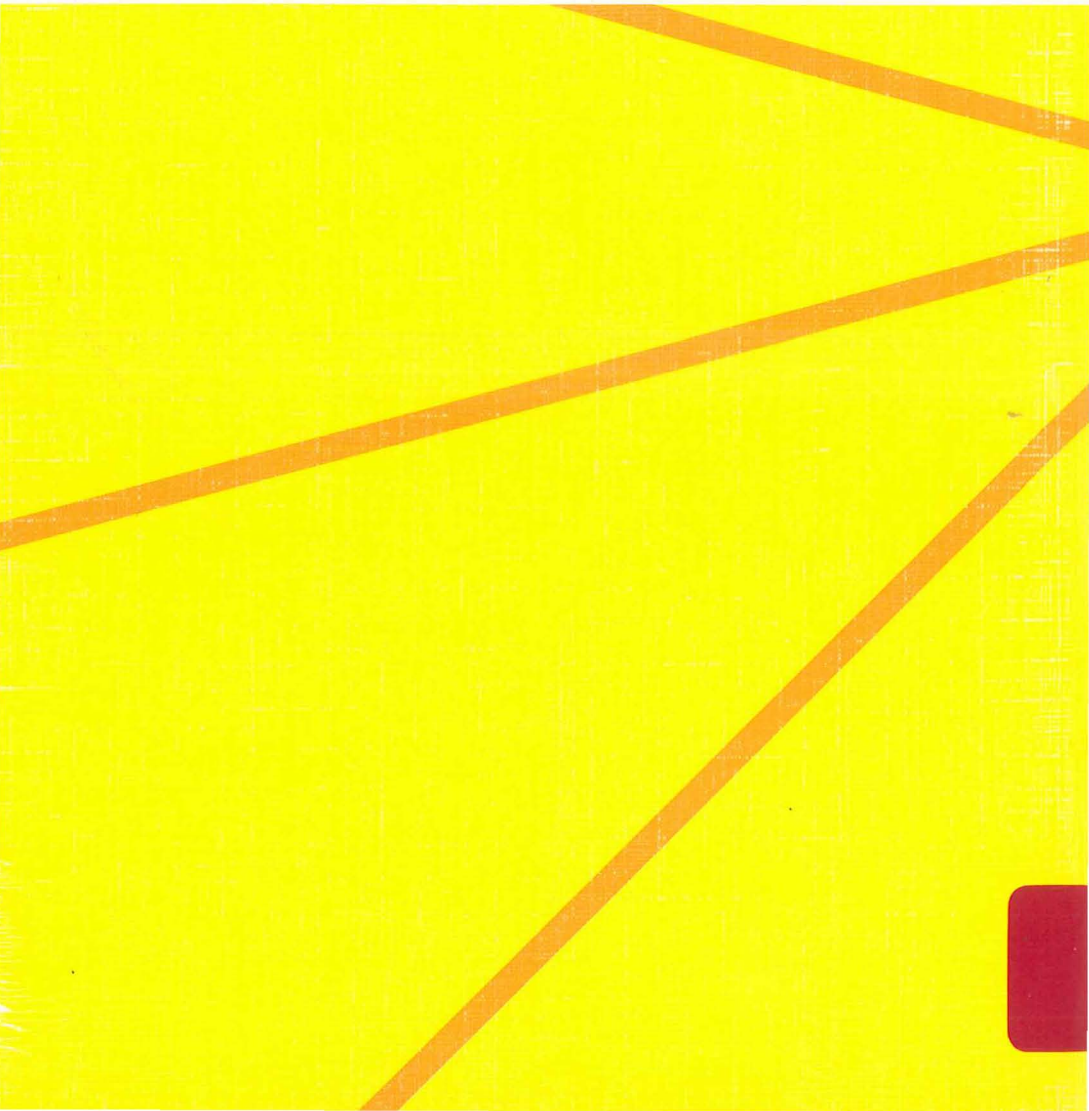
- U-værdi-krav 11, 17

Zoneinddeling (belysning) 89, 103

# Symbolliste

$A_{br}$	Bruttoareal	$Q_g$	Varmetilskud pr. måned
$A_{byg}$	Opvarmet bebygget areal	$Q_h$	Varmebehov pr. måned eller år
$A_e$	Opvarmet etageareal	$Q_i$	Internt varmetilskud pr. måned
$A_T$	Transmissionsareal	$Q_l$	Varmetab pr. måned
$b$	Temperaturfaktor	$Q_s$	Solindfald pr. måned
$c$	Bygningens varmekapacitet	$Q_s'$	Totalt solindfald i uopvarmet rum
$D$	Antal dage i måneden	$Q_{s,d}$	Direkte solindfald gennem glasbygning
$e$	Etageantal	$Q_{s,i}$	Indirekte solvarmetilførsel
$E$	Belysningsstyrke	$T_b$	Brugstid
$F$	Reduktionsfaktor for solindfald	$T_d$	Driftstid
$F_a$	Arealfaktor	$U$	Transmissionskoefficient
$F_g$	Glasfaktor	$v$	Vedligeholdelsesfaktor
$F_s$	Skyggefaktor	$\beta$	Relative brugstid (beta)
$H$	Bygningens varmetab pr. °C	$\beta$	Relative driftstid
$H_i$	Varmetab fra bygning til uopvarmet rum	$\gamma$	Relativt varmetilskud (gamma)
$H_T$	Transmissionstab	$\Delta q_r$	Tillæg til energirammen pr. m <sup>2</sup> (DELTA)
$H_u$	Varmetab fra uopvarmet rum til omgivelserne	$\Delta Q_r$	Tillæg til energirammen
$H_v$	Ventilationstab	$\eta$	Udnyttelsesfaktor for varmetilskud (eta)
$I_s$	Solindfald gennem referencerude	$\eta$	Lysudbytte
$P$	Effektbehov	$\eta_B$	Belysningsvirkningsgrad
$q_h$	Varmebehov pr. m <sup>2</sup> og år	$\eta_{vgv}$	Varmegenvinders temperaturvirkningsgrad
$q_{id}$	Infiltrationen i driftstiden	$\theta_i$	Rumtemperatur (theta)
$q_{is}$	Infiltrationen med stoppede anlæg	$\theta_u$	Udeluftens månedsmiddeltemperatur
$q_r$	Energiramme	$\lambda$	Varmeledningsevne (lambda)
$q_v$	Beregningsmæssige ventilation	$\tau$	Bygningens tidskonstant (tau)
$q_{vb}$	Ventilation i brugstiden	$\varphi$	Faseforskel mellem spænding og strøm (phi)
$q_{vm}$	Volumenstrøm i ventilations- eller udsugningsanlæg	$\Phi_i$	Internt varmetilskud pr. m <sup>2</sup> (PHI)
$q_{vu}$	Ventilation uden for brugstiden		
$q_{vu}$	Ventilation i uopvarmet rum		
$Q$	Elforbrug		

Denne SBI-anvisning knytter sig til bygningsreglementets krav til varmeisolerings- og til elforbrugsbegrænsninger i ventilations- og belysningsanlæg. Der er beskrevet metoder til varmetabs- og energiramme-beregninger og til beregning af elforbrug til lufttransport i ventilationsanlæg samt effektbehov og energiforbrug i belysningsanlæg. Desuden er der eksempler på konstruktioner, som opfylder kravene til varmeisolerings- og elforbrugsbegrænsninger. Anvisningen henvender sig til rådgivende ingeniører, arkitekter, entreprenører og andre udførende inden for byggeri samt til offentlige myndigheder.



# Hovedskema. Bygningers varmebehov

Firma:							
Bygning:				Dato:		Init.:	
<b>Bygningsdata</b>		Opvarmet etageareal	Opvarmet bebygget areal	Antal etager	Normal brugstid		
<input type="checkbox"/> Enfamiliehus <input type="checkbox"/> Anden bolig <input type="checkbox"/> Anden bygning Rumtemperatur $\theta_i = \text{_____} \text{ } ^\circ\text{C}$		$A_e$ m <sup>2</sup>	$A_{byg}$ m <sup>2</sup>	$e = A_e/A_{byg}$ -	$T_b$ timer/uge		
<b>Ventilation</b>		Ventilation i brugstiden	Ventilation ubenyttet	Beregningsmæssig vent.	Ventilationsvarmetab		
For bygninger med naturlig ventilation beregnes ventilationen her. For bygninger med mekanisk ventilation eller udsugning overføres resultatet fra hjælpeskema 5.		$q_{vb}$ l/s m <sup>2</sup>	$q_{vu}$ l/s m <sup>2</sup>	$q_v^{(1)}$ m <sup>3</sup> /s	$H_V = 1210 \cdot q_v$ W/K		
<b>Varmetab</b>					Varmetab		
					$H$ W/K		
Ydervægge, tage og gulve mod det fri, jord eller uopvarmede rum (fra hjælpeskema 1) . . . . .					$H_T =$		
Vinduer og yderdøre mod det fri eller uopvarmede rum (fra hjælpeskema 2) . . . . .					$H_T =$		
Ventilation (fra forrige skemaafsnit) . . . . .					$H_V =$		
					I alt		
<b>Tidskonstant</b>				Varmekapacitet	Tidskonstant		
				$c$ Wh/K m <sup>2</sup>	$\tau = A_e \cdot c/H$ timer		
<b>Internt varmetilskud</b>				Tilskud, brugstid	Tilskud, middel		
				$\phi_{ib}$ W/m <sup>2</sup>	$\Phi_i^{(2)}$ W		
<b>Varmebehov</b>	Varmetab	Solindfald	Internt tilskud	Samlet tilskud	Relativt tilskud	Udnytt.-faktor	Varmebehov, rum og vent.
	$Q_l^{(3)}$ MJ/måned	$Q_s^{(4)}$ MJ/måned	$Q_i^{(5)}$ MJ/måned	$Q_g = Q_s + Q_i$ MJ/måned	$\gamma = Q_g/Q_l$ -	$\eta^{(6)}$ -	$Q_h = Q_l - \eta \cdot Q_g$ MJ/måned
September							
Oktober							
November							
December							
Januar							
Februar							
Marts							
April							
Maj							
I alt					$Q_h$		MJ/år
Pr. m <sup>2</sup> opvarmet etageareal					$q_h = Q_h/A_e$		MJ/m <sup>2</sup> år
<b>Energiramme</b>						Energiramme	
						$q_r$ MJ/m <sup>2</sup> år	
Energiramme uden tillæg . . . . .							
Tillæg vedrørende mekanisk ventilation og udsugning (fra hjælpeskema 5) . . . . .						$\Delta q_r = \Delta Q_l/A_e$	
Resulterende energiramme . . . . .							

(1)  $q_v = 0,001 \cdot A_e \cdot [\beta \cdot q_{vb} + (1 - \beta) \cdot q_{vu}]$ , hvor  $\beta = T_b/168$

(2)  $\Phi_i = A_e \cdot \phi_{ib} \cdot T_b/168$

(3)  $Q_l = 0,0864 \cdot D \cdot H \cdot (\theta_i - \theta_u)$ , hvor  $D$  og  $\theta_u$  fås fra tabel 7

(4)  $Q_s$  Overføres fra hjælpeskema 3

(5)  $Q_i = 0,0864 \cdot D \cdot \Phi_i$

(6)  $\eta$  Aflæses i figur 5





# Hjælpekema 2. Vinduer og yderdøre

Bygning:		Dato:			Init.:		
Nr.	Bygningsdel:	Ret- ning	Hæld- ning °	Transmis- sionsareal $A_T$ m <sup>2</sup>	U- værdi $U$ W/m <sup>2</sup> K	Temp.- faktor $b$ -	Transmis- sionstab $H_T$ <sup>(1)</sup> W/K
		1					
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							
32							
33							
34							
35							
36							
37							
38							
39							
40							
				I alt			I alt

<sup>(1)</sup>  $H_T = A_T \cdot U \cdot (1 - b)$

# Hjælpeskema 3. Solindfald

Bygning:					Dato:				Init.:				
Reduktionsfaktorer				Solindfald									
Nr.	Skyg-ge	Areal	Glas	Resulte-rende	Sept.	Okt.	Nov.	Dec.	Januar	Februar	Marts	April	Maj
	$F_s^{(1)}$	$F_a$	$F_g$	$F^{(2)}$	$Q_s^{(3)}$ MJ/måned								
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
				I alt									

(1)  $F_s$  fås fra tabel 9 og 10

(2)  $F = F_s \cdot F_a \cdot F_g$

(3)  $Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s$ , for vinduer i den opvarmede del af bygningen.  $I_s$  fås fra tabel 8

$Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s \cdot b$ , for vinduer i uopvarmede rum

$Q_s = A_T \cdot F \cdot I_s \cdot (1 - b)$ , ved direkte solindfald gennem glasbygninger, se anvisningen

# Hjælpekema 4. Varmebalance for uopvarmede rum

Bygning:	Dato:	Init.:	
Rum:			
<b>Transmissionstab fra bygningen til uopvarmede rum</b>			
Bygningsdel:	Areal $A_T$ m <sup>2</sup>	U-værdi $U$ W/m <sup>2</sup> K	Tab $H_i$ <sup>(1)</sup> W/K
I alt			
<b>Varmetab fra uopvarmede rum til omgivelserne</b>			
<b>Transmissionstab</b>			
Bygningsdel:	Areal $A_T$ m <sup>2</sup>	U-værdi $U$ W/m <sup>2</sup> K	Tab $H_u$ <sup>(2)</sup> W/K
I alt			
<b>Ventilationstab</b>			
	Brutto-areal $A_{br}$ m <sup>2</sup>	Beregn. vent. $q_{vu}$ l/s m <sup>2</sup>	Varmetab $H_u$ <sup>(3)</sup> W/K
Samlet varmetab .....			I alt
<b>Temperaturfaktor for varmetab fra indeliggende bygningsdele</b>			
Temperaturfaktor .....			$b$ <sup>(4)</sup> =

(1)  $H_i = A_T \cdot U$   
 (2)  $H_u = A_T \cdot U$   
 (3)  $H_u = 1,21 \cdot A_{br} \cdot q_{vu}$   
 (4)  $b = H_i / (H_i + H_u)$

