

indebærer et forøget energiforbrug, kan gennemføres, hvis der gennemføres tilsvarende kompenserende energibesparelser.

Der gælder generelt, at de enkelte bygningsdele mindst skal isoleres svarende til mindste varmeisolering, se kapitel 4.4.4.

4.4.3

Energikrav ved ombygning og andre væsentlige forandringer i bygninger

Bygningsreglementet stiller også krav om gennemførelse af rentable energibesparelser i forbindelse med renoveringer og udskiftning af bygningsdele, fx udskiftning af kedler, vinduer (facadevis) og tagdækningen. I særlige tilfælde kan der dispenseres for reglerne, hvis der fx er tale om bevaringsværdige bygninger.

I figur 4.37, fremgår krav til klimaskærmen, hvis tiltagene har den fornødne rentabilitet. For dannebrogsvinduer, små vinduer og vinduer opdelt i faste partier og oplukkelige partier gælder særlige regler.

Rentabiliteten beregnet som besparelsen på de årlige energjudgifter ved tiltaget multipliceret med levetiden og divideret med de ekstra anlægsudgifter til tiltaget. Kriteriet er, at denne faktor skal være mindre end eller lig med 1,33, for at tiltaget er rentabelt. Dette svarer til, at den simple tilbagebetalingstid skal være mindre eller lig med levetiden divideret med 1,33. Ved manglende rentabilitet skal mindre omfattende rentable energibesparelser gennemføres.

Bygningsreglementet stiller også krav til installationer i form af varmeanlæg, ventilationsanlæg, køleanlæg og varmtvandsanlæg. For eksempel er der for ventilationsanlæg krav til maksimalt elforbrug til lufttransport og der er minimumskrav til kedlers nyttevirkning.

4.4.4

Mindste varmeisolering

BR stiller som i tidligere bygningsreglementer krav om mindste varmeisolering, hvilket ikke alene skyldes et ønske om energibesparelse, men også er relateret til

komfort og risiko for kondens. De angivne niveauer for mindste varmeisolering i BR gælder for hele bygningsdelen. Eventuelle kuldebroer i bygningsdelen skal regnes med. Kravene gælder i forbindelse med benyttelse af energirammen og varmetabsrammen og for bygningsdele omkring rum, der opvarmes til mere end 5 °C. Se figur 4.38.

4.5

Bygningers energibehov - beregning

Bygningers energibehov omfatter det samlede energibehov til bygningsdrift, jf. kapitel 4.4. Bygningers energibehov skal beregnes under hensyntagen til:

- placering og orientering (herunder dagslys og udeklima)
- klimaskærmens udformning
- solindfald og solafskærmning
- varmeakkumulerende egenskaber
- varmeanlæg og varmtvandsforsyning
- ventilationsanlæg og klimakøling
- naturlig ventilation og det planlagte indeklima
- eventuel solvarme, solceller, varmepumper, kondenserende kedler, fjernvarme, faseskiftende materialer og vindmøller
- eventuel varmegenvinding og køling med ventilation om natten mv.

Det skal bemærkes, at sol- eller vindenergi umiddelbart kun kan indregnes, hvis det produceres på matriklen.

En dybtgående beskrivelse af håndteringen af Bygningsreglementets energibestemmelser i relation til beregning af bygningers energibehov findes i SBI-anvisning 213, der omfatter et pc-program (Be15) og beregningsvejledning, som kan benyttes til at dokumentere, at en bygning opfylder Bygningsreglementets energikrav. Andre programmer kan benyttes, men de skal be-

Inddata	Bemærkninger
Flade	Bygningsdele identificeres entydigt.
Transmissionsareal [m ²]	Beregnes som beskrevet i DS 418, se kapitel 4.3.
Transmissionskoefficient [W/(m ² · K)]	Beregnes som beskrevet i DS 418, se kapitel 4.3.
Temperaturfaktor	Se kapitel 4.3.1.
Dimensionerende temperaturer	Se kapitel 4.3.1.
Kuldebrolængde [m]	Beregnes som beskrevet i DS 418, se kapitel 4.3.
Linjetab [W/(m · K)]	Beregnes som beskrevet i DS 418, se kapitel 4.3.
Vinduer og yderdøre	Bygningsdele identificeres entydigt.
Antal	Antallet af ens vinduer eller yderdøre. Alternativt angives antallet én og det samlede transmissionsareal.
Orientering	Orientering i forhold til verdenshjørnerne. Kan enten angives som kompasretninger (N, S, Ø, V, NØ, SØ, SV eller NV) eller gradorienteringer (0°, 90°, 180°, 270° osv.).
Hældning [°]	I forhold til vandret angives - 90° svarer til lodret.
Glaseandel F_p	Andel af ruden af det samlede transmissionsareal, typisk 0,5-0,8.
Solvarmetransmittans g	Solvarmetransmittans for ruden, typiske værdier: 1-lag klart glas: 0,85 2-lag klart glas: 0,75 3-lag klart glas: 0,65 2-lag energirude: 0,60-0,65 3-lag energirude: 0,50-0,55 Solafskærmende glas: 0,25-0,50.
Solafskærmningsfaktor F_c	Faktoren er 1,0 hvis der ikke er solafskærmning, og er mindre end 1,0 hvis der er solafskærmning. Faktoren kan sættes til 0,8 for indvendige, manuelt styrede gardiner og lignende.
Skygger	Skygger i form af horisontafskæring, udhæng, skygger til højre og venstre samt vindueshul fastlægges for vinduer og yderdøre via en reference, se SBI-anvisning 213.
Uopvarmede rum	Der er separat mulighed for at opstille varmebalance for uopvarmede rum og bestemme temperaturfaktoren for det specifikke transmissionstab gennem bygningsdele, der vender mod uopvarmede rum, se SBI-anvisning 213.

Fig. 4.40. Inddata til **Be15** vedr. klimaskærmen.

nytte samme beregningskerne som **Be15**.

Gennemgangen i de følgende kapitler (4.5.1 til 4.5.11) er korte ekstrakter af de tilsvarende grundige beskrivelser i SBI-anvisning 213.

Som alternativ til SBI-anvisning 213 og **Be15**'s beregning af varmetilskud fra solindfald, kan der til indledende beregninger benyttes en simplere metode, se evt. *hånd-*beregningsmetode 4.1 på staabi.dk/varme.

4.5.1

Hoveddata

De centrale bygnings- og installationsdata samt beregningsforudsætninger til **Be15** fremgår af figur 4.39.

4.5.2

Klimaskærmen

Inddata vedrørende klimaskærmen fremgår af figur 4.40. I tilknytning til klimaskærmen er også *skygger* og *uopvarmede rum*.

Inddata	Bemærkninger
Zone	Der opdeles i ventilationszoner med ens forhold. Én boligenhed regnes normalt som én ventilationszone.
Relativ driftstid F_0 [-]	Driftstid set i forhold til bygningens brugstid. For en given zone skal summen af relativ driftstid altid være 1,00. For de fleste ventilations-systemer vil $F_0 = 1$.
Mekanisk ventilation om vinteren i brugstiden q_m [l/s/m ²]	Udeluftstrømmen i indlæsningsanlægget divideret med etagearealet i det betjente område. I mekaniske udsugningsanlæg er q_m tilsvarende luftstrømmen i udsugningsanlægget.
Temperaturvirkningsgrad η_{vg} [-]	Udeluftens temperaturstigning i varmegenvinderen i forhold til ude- og indetemperaturforskellen. Angives uden bidrag fra andre kilder, fx motorvarme fra ventilatorer, og uden kondensation.
Indblæsningstemperatur [°C]	Temperaturreguleret varmegenvinder og -flade: $t_i = 18^\circ\text{C}$ Varmegenvinder uden regulering: $t_i = -18^\circ\text{C}$ Varmegenvinder med regulering (og uden varmeplade): $t_i = 18^\circ\text{C}$ Uden temperaturreguleret varmegenvinder og -flade: $t_i = 0^\circ\text{C}$.
Naturlig ventilation om vinteren i brugstiden, q_n [l/s/m ²]	Naturlig ventilation: den samlede ventilation. Mekanisk udsugning: 0 Balanceret mekanisk ventilation: infiltrationen (oven i den mekaniske ventilation).
Infiltration om vinteren uden for brugstiden, $q_{i,n}$ [l/s/m ²]	Normalt uafhængig af ventilationssystemet.
Specifikt elforbrug til lufttransport, SEL [kJ/m ³]	Elforbrug til ventilatorer inklusiv reguleringsudstyr divideret med det transporterede luftvolumen.
Ventilation om sommeren	Der henvises til SBI anvisning 213.
Infiltration (inklusiv tilfældig åbning af vinduer og døre)	Alle rum i brugstiden: 0,10 l/s/m ² Alle rum udenfor brugstiden: 0,06 l/s/m ² Hvis lufttæthed undersøgt ved trykprøvning: Brugstid: $0,04 + 0,06 \cdot q_{50}$ Udenfor brugstid: $0,06 \cdot q_{50}$.

Fig 4.41. Inddata vedr. ventilation.

4.5.3 Ventilation

Inddata vedrørende ventilation fremgår af figur 4.41. Der skelnes mellem naturlig ventilation, mekanisk udsugning og mekanisk ventilation med både indblæsning og udsugning.

4.5.4 Interne varmetilskud

Internt i en bygning tilføres varme fra personer, elforbrugende apparater og som tab

fra rør og installationer. *SBI-anvisning 213/4.13/* angiver varmetilskud, som kan anvendes, hvis mere udførlige data ikke er tilgængelige. Varmetilskuddene er potentielle og kan ikke udnyttes fuldt ud (se afsnit 4.5.13).

I boliger antages et gennemsnitligt varmetilskud fra personer på $1,5 \text{ W/m}^2$ opvarmet etageareal. I boliger antages dog et varmetilskud på mindst 90 W fra personer pr. boligenhed og maksimalt 360 W , svarende til mindst en person og maksimalt

Bygningstype	Internt varmetilskud	Periode	Person-belastning	Udstyr
Boliger	5 W/m ²	Hele døgnet i opvarmningssæsonen	Personer	Belysning og el-udstyr
Andre bygninger (ekskl. belysning)	10 W/m ²	I brugstiden		
Enkeltpersons-kontorer (ca. 10 m ²)	20 W/m ²	I brugstiden	Normal persontæthed	Belysning og udstyr nogenlunde energieffektivt
Kontorer	10-15 W/m ²	I brugstiden	Lille persontæthed	Særligt energieffektiv belysning og udstyr
Kontorer	> 30 W/m ²	I brugstiden	Stor persontæthed	Meget udstyr

Fig. 4.42. Typiske interne varmetilskud /4.13/.

fire personer pr. boligenhed. Afhængigt af aktivitetsniveau afgives typisk 1,5-2,0 kWh fri varme pr. person pr. døgn. I andre bygninger end boliger antages normalt et internt varmetilskud fra personer på 4,0 W/m² opvarmet etageareal i gennemsnit for bygningen i brugstiden.

I boliger antages et gennemsnitligt varmetilskud fra apparatur inkl. belysning på 3,5 W/m² opvarmet etageareal. I boliger antages dog mindst 210 W fra apparatur pr. boligenhed og maksimalt 840 W. I andre bygninger end boliger antages normalt et varmetilskud fra apparatur på 6,0 W/m² opvarmet etageareal ekskl. belysning i gennemsnit for bygningen i brugstiden. Det antages normalt, at apparatur ikke er i brug uden for brugstiden.

Som middel for opvarmningssæsonen kan det gennemsnitlige interne varmetilskud i boliger fra personer, belysning og el-apparater sættes til 5 W/m² opvarmet etageareal, mens det i andre bygninger kan sættes til 10 W/m² (eksklusiv belysning).

Figur 4.42 viser nogle typiske interne varmetilskud.

4.5.5

Belysning og andet elforbrug

For andre bygninger end boliger bestemmes elforbruget til belysning og dermed

varmetilskuddet fra almen- og arbejdsbelysning. Det skal bemærkes, at for at opføre andre bygninger end boliger svarende til Bygningsreglementets lavenergiklasser er det afgørende, at bygningen har et energieffektivt belysningsanlæg.

Belysningen forudsættes baseret på DS 700. Den faktiske driftstid for almenbelysningen antages at afhænge af dagslystilgangen. Rummene kan opdeles i belysningszoner med forskellig dagslystilgang. Rum med belysning, styring og dagslystilgang beregnes samlet.

Der skal angives den samlede maksimale eleffekt til almen belysning inklusiv fx transformatorer, forkoblinger og automatik. Der skal også angives en minimums eleffekt, når belysningsanlægget er helt nedreguleret.

Belysningsniveauet bestemmes i henhold til DS 700, der angiver at der normalt skal være 300 lux almenbelysning (dog kun mindst 50 lux på adgangsveje, gange og trapper). Dagslysfaktoren i form af forholdet mellem belysning inde og den diffuse belysning ude på et vandret plan bestemmes under hensyntagen til udformning af vinduer, glasareal, glastype, rumgeometri, rumfarve og permanente skygger). Der ses normalt bort fra bevægelig solafskærmning.

Forhold	Fremgangsmåde
Rumtemperatur	Rumtemperaturen sættes til 20 °C.
Udetemperatur	Som udetemperaturer benyttes det nye DRY-år, baseret på vejrdata fra perioden 2001-2010. Opdateringen af DRY-året medfører, at det på nuværende tidspunkt og frem til 2015 er valgfrit, hvilket DRY-år man ønsker at benytte. Benyttelse af det nye DRY-år er blevet obligatorisk fra år 2015 og frem. /4.12/.
Varmetab	Ud fra det dimensionerende varmetab [4.2] beregnes det specifikke varmetab ved transmission og ventilation [4.3]. Som dimensionerende omgivelsestemperatur for terrændæk, kældre m.v. anvendes de, der er angivet i fig. 4.3.
Temperaturfaktor	Der anvendes en temperaturfaktor b for konstruktioner, der vender mod det fri; se nærmere i fig. 4.3.
Ventilation	Den beregningsmæssige ventilation fastlægges. Bygninger opfattes naturligt ventilerede, selvom der er udsug fra emhætte, bad m.v. Man bestemmer den beregningsmæssige ventilation for brugstiden. Den kan sættes til 168 timer/uge. For boliger med naturlig ventilation regnes ventilationen altid at være minimum 0,30 l/s pr. m ² nettoareal. For etagebyggeri m.v. bestemmes den beregningsmæssige ventilation som gennemsnittet for opvarmningssæsonen, idet der vægtes med brugstiden, og idet der tages hensyn til en eventuel varmegenvinder i ventilationssystemet.
Solindfald	Varmetilskuddet fra solindfald gennem vinduer E_s , beregnes som angivet i afsnit 4.3.7, idet produktet $f_a \cdot f_h \cdot f_r = 0,6$, hvis andet ikke kan dokumenteres. Den glasfaktor for ruder, som ønskes anvendt, bør være oplyst af fabrikanten. Retningsgivende glasfaktorer f_g for transmission gennem ruder er angivet på fig. 4.34. Hvis disse data ikke kendes, anvendes ved overslagsberegninger en samlet korrektionsfaktor $f_{korr} = 0,5$.

Fig. 4.47. Forudsætninger ved varmebehovsberegninger /4.18/.

seres i de forudsætninger, der er angivet i figur 4.47.

4.5.14

Eksempel, parcelhus: Beregning af energibehov i relation til energirammen

Nedenstående eksempel omfatter beregning af energibehovet for et nyt parcelhus i ét plan i henhold til BR.

🌐4.2 på staabi.dk/varme indeholder et eksempel på beregning af nettovarmebehovet alene til rumopvarmning, og uden de øvrige varmebehov til bygningsdrift, som BR kræver.

Eksempelhuset gennemgået her svarer til parcelhuset i SBi-anvisning 213 /4.13/. Eneste mulighed for at eftergive, at huset har den fornødne energimæssige ydeevne i relation til Bygningsreglementet er at fore-

tage en energirammeberegning, svarende til en beregning af energibehovet til bygningsdrift (se kap. 4.4.1), som sammenlignes med energirammen.

Huset opføres som et længehus med *T-knast* mod syd og med et relativt stort tagudhæng, som er husets solafskærmning. Huset har terrændæk med gulvarme, 49 cm hulmur, tag med isolering på loft og det ventileres med naturlig ventilation.

Huset opvarmes med en kondenserende gaskedel og kedel og varmtvandsbeholder er opsat i bryggers indenfor klimaskærmen. Huset antages at være en middeltung bygning med en varmekapacitet på 120 Wh/(m² · K). Det interne varmetilskud fra personer, el-udstyr og belysning antages normalt, dvs. 5 W/m² fordelt med 1,5 W/m² for personer og 3,5 W/m² for el-udstyr og belysning.

De primære inddata for eksempelhuset fremgår af figur 4.48.

Løsning

Energibehovet til bygningsdrift beregnes med programmet **Be15**. Inddata indtastes i de relevante skemaer i programmet. Nøgletal fra beregningen er vist i figur 4.49.

Transmissionstabet eksklusiv vinduer og døre er beregnet til $3,6 \text{ W/m}^2$. Kravet til bygninger i én etage er $4,0 \text{ W/m}^2$, som anført i figur 4.36. Huset opfylder derfor kravet til sikring af en fornuftig isolering af klimaskærmen.

Geometriske data

Udvendigt areal (opvarmet etageareal)	180 m ²
Indvendigt areal	156 m ²
Etagehøjde/indvendig rumhøjde	2,7/2,4 m
Ydervægge inkl. vinduer og døre:	170,9 m ²
Areal af vinduer og døre (ca. 29 %)	53,0 m ²
Ydervægge (eksklusive vinduer og døre)	117,9 m ²
Terrændæk	156 m ²
Fundament	63,3 m
Vinduessamlinger	91,4 m
Ventileret volumen	374,4 m ³

Klimaskærm

U-værdi, ydervægge	0,16 W/(m ² · K)
U-værdi, terrændæk med gulvvarme	0,08 W/(m ² · K)
U-værdi, loft- og tagkonstruktioner	0,09 W/(m ² · K)
Linjetab, fundamenter med gulvvarme	0,10 W/(m · K)
Linjetab, vinduessamlinger	0,00 W/(m · K)
U-værdi, vinduer og yderdøre	1,02 W/(m ² · K)
g _g -værdi, vinduer og yderdøre	0,62
Vinduesandel af etageareal	29 %

Installationer

Varmeforsyning	Varmepumpe
Varmtvandsbeholder	Ja
Varmeanlæg	Gulvvarme i terrændæk
Pumpe (behovsstyret), maks. effekt P_{nom} , reduktionsfaktor F_p	$P_{\text{nom}} = 25 \text{ W}$, $F_p = 0,4$

Balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, $0,30 \text{ l/s/m}^2$

Ventilationsform og luftskifte

Fig. 4.48. Eksempel. Energibehovsberegninger. Primære inddata for eksempelparcelhuset.

Den samlede energiramme er beregnet til $35,6 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$. Den samlede energiramme er enslydende med energirammen uden tillæg, idet der ikke er tillæg for højt luftskifte, som kun gives ved særlige betingelser for andre bygninger end boliger.

Det samlede energibehov er beregnet til $35,5 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$. Det samlede energibehov består af bidrag fra: el til rumopvarmning via varmepumpe ($11,9 \times 2,5 = 29,8$), samt el til øvrig bygningsdrift ($2,3 \times 2,5 = 5,8$). Der er ingen overtemperaturer i rum (dvs. temperaturer over 26 °C). Det 180 m^2 store hus overholder derfor energirammen: $35,5 \text{ kWh/m}^2/\text{år} < 35,6 \text{ kWh/m}^2/\text{år}$.

Kravet til klimaskærmens lufttæthed: $q_{50} < 1,0 \text{ l/s/m}^2$ ved trykprøvning med 50 Pa , skal være opfyldt for alle nye huse. Kommunen kan i forbindelse med byggetilladelse stille krav om dokumentation og skal gøre det i mindst 5 % af byggesagerne.

Det sidste nøgletal fra beregningen er det samlede elbehov. Dette er baseret på det angivne interne varmetilskud for eludstyr og belysning (indgår ikke i husets energimæssige ydeevne) samt elbehov til bygningsdrift: $3,5 \text{ W/m}^2 \cdot 8,76 \text{ kh/år} + 14,2 \text{ kWh/m}^2/\text{år} = 44,9 \text{ kWh/m}^2/\text{år} = 8082 \text{ kWh pr. år}$. Dette forbrug er noget over gennemsnittet for danske huse, hvilket indikerer at det interne varmetilskud umiddelbart er overvurderet. En reduktion af det interne varmetilskud vil resultere i et større energibehov.

Be15 nøgletal: Eksempel: Parcelhus 180 m² med T-knast	
Transmissionstab, W/m ²	
Klimaskærm ekskl. vinduer og døre	3,6
Energiramme, kWh/(m ² · år)	
Samlet energiramme	35,6
Samlet energiramme, kWh/(m ² · år)	
Energiramme i BR, uden tillæg	35,6
Tillæg for højt luftskifte pga. BR-krav om udsugning	0,0
Tillæg for særlige betingelser	0,0
Samlet energibehov, kWh/(m ² · år)	
Energibehov	35,5
Bidrag til energibehovet, kWh/(m ² · år)	
Varme	0,0
El til bygningsdrift, *2,5	14,2
Overtemperatur i rum	0,0
Nettobehov, kWh/(m ² · år)	
Rumopvarmning	22,5
Varmt brugsvand	15,2
Køling	0,0
Udvalgte elbehov, kWh/(m ² · år)	
Belysning	0,0
Opvarmning af rum	0,0
Opvarmning af varmt brugsvand	0,5
Varmepumpe	11,9
Ventilatorer	2,0
Pumper	0,2
Køling	0,0
Varmetab fra installationer, kWh/(m ² · år)	
Rumopvarmning, bruttotab	0,0
Varmt brugsvand, bruttotab	2,0
Ydelse fra særlige kilder, kWh/(m ² · år)	
Solvarme	0,0
Varmepumpe	37,7
Solceller	0,0
Vindmøller	0,0
Samlet elbehov, kWh/(m ² · år)	
Elbehov	44,9

Fig. 4.49. Eksempel. Nøgletal fra Be15-beregning (SBI-beregningskerne 8.16.1.6)

4.6 Genopvarmning

4.6.1

Instationær varmebalance

Ved periodevis sænkning af rumtemperaturen gennem afbrydelse af varmetilførslen til bygningen sker en afkøling i en tidsperiode τ_1 (sænkingsperioden), og en efterfølgende opvarmning i en tidsperiode τ_2 (genopvarmningsperioden). Såfremt komforttemperaturen skal genopnås inden for en kort periode, kan det kræve en opvarmningseffekt, der er væsentlig større end det dimensionerende varmetab.

I det følgende forudsættes det, at rummets termiske træghed kan beskrives ved én tidskonstant τ_0 . Idet dette ikke altid er tilfældet, især ikke for velisolerede rum, bør følgende kun anvendes ved overslagsberegninger /4.19/:

Stationært:

$$t_i = t_o + \frac{\Phi_o}{S_{t,v}} \quad [^\circ\text{C}] \quad [4.21]$$

Instationært

$$t_i = t_{i,o} + \frac{\Delta\Phi}{S_{t,v}} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_0}} \right) \quad [^\circ\text{C}] \quad [4.22]$$

hvor

t_i er rumtemperaturen [$^\circ\text{C}$]

t_o er omgivelsernes temperatur, der antages konstant [$^\circ\text{C}$]

$t_{i,o}$ er rumtemperaturen [$^\circ\text{C}$] til tiden $\tau = 0$

Φ_o er den stationært tilførte effekt [W] fra alle kilder frem til tiden $\tau = 0$

$\Delta\Phi$ er den vedvarende ændring i varmetilførslen [W] fra tiden $\tau = 0$ og fremefter

$S_{t,v}$ er rummets specifikke varmetab ved transmission og ventilation [W/K]

τ er tiden [s] fra ændringen i varmetilførslen indtrådte

τ_0 er rummets tidskonstant [s]

e er exponentialfunktionen.