



Vejledning

Beregning af bygningers energibehov Ækvivalensdata for særlige komponenter og løsninger

2017.01.30



Introduktion

Be15 skal bruges til at beregne energibehovet i nybyggeriet uanset hvilke typer komponenter og løsninger, der er anvendt i bygningen. Be15 kan direkte håndtere de oftest forekommende typer komponenter og løsninger i byggeriet i relation til beregning af bygningers energibehov. Der kan dog være nogle typer af komponenter eller løsninger, som ikke direkte kan håndteres med de eksisterende muligheder og beskrivelser i Be15 og SBI-anvisning 213. Det er derfor nødvendigt at have en metode, som beskriver, hvorledes energiberegningen skal håndteres, hvis der er særlige komponenter eller løsninger i bygningen.

Ækvivalent betyder ifølge ordbogen: "Af samme værdi". Formålet med denne vejledning er, at beskrive hvordan man skal lave ækvivalente inddata for særlige komponenter og løsninger, som ikke direkte kan håndteres i Be15, således at der sker en troværdig energimæssig beregning af de særlige komponenter og løsninger. De ækvivalente inddata skal således give "samme" resultat, som de komponenter og løsninger, der kan indtastes direkte i Be15. Anvendelsen af ækvivalente inddata for særlige komponenter og løsninger må således ikke stille disse komponenter og løsninger hverken mere eller mindre gunstigt i energiberegningen end andre komponenter og løsninger, som kan håndteres direkte i Be15.

Begrebet ækvivalens kan illustreres med et lille eksempel. Hvis der i en bygning fx er et 5 m² fyldningsparti med en U-værdi på 0,10 W/m² K og et andet 5 m² fyldningsparti med en U-værdi på 0,20 W/m² K, kan der i stedet indtastes et ækvivalent fyldningsparti på 10 m² med en U-værdi på 0,15 W/m² K, som vil resultere i det samme samlede varmetab gennem det samme areal, som de to fyldningspartier har tilsammen. I denne ækvivalens er det væsentligt at både arealet og varmetabet bliver det samme, da både arealet og varmetabet bruges i den videre beregning af energibehovet og resultatopgørelsen i forhold til energikravene i bygningsreglementet. Det er således primært et spørgsmål om dokumentation af inddata til energibehovsberegningen, om man angiver inddata for de to faktiske fyldningspartier, eller om man angiver inddata for det ækvivalente fyldningsparti.

I næste afsnit er der en række eksempler på fastlæggelse af ækvivalente inddata for nogle typer særlige komponenter og løsninger, som der har vist sig behov for at lave ækvivalente inddata for i de år, der har været energirammekrav i bygningsreglementet, og Be06/10/15 har været anvendt til at beregne energibehovet. Eksemplerne har alene til formål at fremme forståelsen af anvendelsen af ækvivalente inddata som metode. De angivne talværdier kan ikke anvendes som dokumentation i en beregning.

Hvis der anvendes komponenter eller løsninger i en bygning, som ikke kan håndteres direkte i Be15 og heller ikke er omfattet af eksemplerne i denne vej-



ledning, er det beregnerens ansvar at lave pålidelige, troværdige ækvivalente inddata for komponenten eller løsningen efter princippet beskrevet i denne vejledning. Alternativt kan der anvendes inddata for komponenten eller løsningen, som giver et højere energibehov for bygningen end ækvivalente inddata vil give.

Ækvivalente inddata skal altid dokumenteres. Det skal ske ved anvendelse af anerkendte måle- eller beregningsmetoder i danske eller internationale standarder. Dokumentationen skal være tilstrækkelig og entydig, således at den kan bruges til kontrol af inddata. Det gælder også, hvis der er anvendt specifikke værktøjer eller programmer til fastlæggelse af de ækvivalente inddata, hvor værktøjerne og programmerne så også skal være dokumenterede. Hvis dokumentationen sker med henvisning til eksemplerne i denne vejledning, kan dokumentationen begrænses til de konkrete talværdier. Dokumentationen skal altid følge med energiberegningen i Be15.

Anvendelsen af ækvivalente inddata kan ikke erstattes af korrektioner direkte i beregningsresultaterne fra Be15. Korrektioner i beregningsresultatet, som dokumentation for overholdelse af energikravene i bygningsreglementet, er ikke tilladt.

Det er heller ikke tilladt at stille på inddata til Be15, til der opnås en ønsket effekt. Inddata til Be15 skal altid være direkte dokumenterede.

Beskrivelse af ækvivalente inddata for en komponenttype eller løsning i denne vejledning kan ikke opfattes som en stillingtagen til anvendelsen af komponenttypen eller løsningen i praksis i byggeriet, men har alene til formål at beskrive, hvordan der laves ækvivalente inddata for den. Ved bestemmelse af de ækvivalente inddata forudsættes det, at komponenten eller løsningen fungerer efter hensigten i praksis.



Ækvivalente inddata

Klimaskærmen

Isoleringsskodder

Isoleringsskodder forbedrer vinduernes isoleringsevne, når de er trukket hen foran vinduet. Isoleringsskodder vil også spærre for solindfaldet, når de er trukket for.

Når der er isoleringsskodder til et vindue bestemmes vinduets korrigerede U-værdi som:

$$U_{vin, kor} = U_{vin+skod} \cdot f_{skod} + U_{vin} \cdot (1 - f_{skod})$$

hvor U_{vin} er vinduets U-værdi uden skodde,
 $U_{vin+skod}$ er vinduets U-værdi med skoddet trukket for,
og f_{skod} er andelen af tiden, hvor skoddet er trukket for vinduet i opvarmningssæsonen.

Som standard antages $f_{skod} = 0,5$. Værdien gælder både for boliger og for andre bygninger. Skoddet antages primært at være trukket for om natten, hvor der ikke er solindfald.

Hvis skodderne ikke anvendes om sommeren, men denne metode til indregning af skodderne alligevel udløser et kølebehov eller en overtemperatur i bygningen, kan indregningen af skodderne om sommeren kompenseres med en pseudo-ventilation om sommeren, der giver det samme varmetab, som skodderne beregningsmæssigt reducerer varmetabet.

Reduktionen i varmetabet er

$$H_{red} = \sum A_{vin} \cdot (U_{vin} - U_{vin+skod})$$

Pseudo-ventilationen medfører et varmetab, der er

$$H_{vent} = A_{vent} \times Q_{vent} \cdot 1,2 \text{ J/liter}$$

hvor A_{vent} er det (pseudo) ventilerede areal i m^2
og Q_{vent} er (pseudo) ventilationsraten i liter/s pr. m^2

A_{vent} og Q_{vent} kan kombineres frit til den beregnede H_{red} . Q_{vent} angives som naturlig ventilation om sommeren i brugstiden og om natten.



Eksempel

I en bygning er der 100 m² vinduer med isolerings-skodder. U-værdien for vinduerne er 1,20 W/m² K uden isolerings-skoddet og 0,45 W/m² K med isolerings-skoddet trukket for vinduet. Vinduets korrigerede U-værdi er:

$$U_{\text{vin, kor}} = 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot 0,5 + 1,20 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot (1 - 0,5) = 0,83 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

Reduktionen i varmetabet bliver

$$H_{\text{red}} = 100 \text{ m}^2 \cdot (1,20 \text{ W/m}^2 \text{ K} - 0,83 \text{ W/m}^2 \text{ K}) = 37,0 \text{ W/K}$$

Dette varmetab kan fx kompenseres med en ventilationsrate på 0,308 l/s m² i et areal på 100 m², som giver et ventilationstab på

$$H_{\text{vent}} = 100 \text{ m}^2 \cdot 0,308 \text{ l/s m}^2 \cdot 1,2 \text{ J/l} = 37,0 \text{ W/K}$$

Ventilationsvinduer

I ventilationsvinduer trækkes der udeluft ind i bygningen gennem mellemrummet mellem glaslagene, når vinduet er lukket. Ventilationsvinduer kan således erstatte udeluftventiler, hvor udeluften tilføres direkte fra det fri. Ventilationsvinduet giver således en vis forvarmning af udeluften inden den kommer ind i rummet. Varmen til forvarmningen af udeluften tages primært fra rummet og solindfaldet gennem vinduet, hvorfor vinduets betydning for opvarmningsbehovet i rummet er begrænset.

Som udgangspunkt antages det, at vinduets U-værdi og g-værdi er som for et almindeligt vindue, hvor der ikke trækkes udeluft ind gennem. Ved bestemmelse af U-værdi og g-værdi skal der tages hensyn til, at der er almindelig luft i hulrummet mellem glaslagene samt hvilke typer emissionsbelægning, der faktisk er anvendt i vinduet.

Hvis der kan dokumenteres en højere U-værdi eller en højere g-værdi ved den faktiske luftstrøm gennem ventilationsvinduet, kan de højere værdier anvendes i energiberegningen. Det forudsætter dog, at der er en mekanisk udsugning i bygningen, som sikrer, at der opnås den forventede luftstrøm gennem ventilationsvinduet.

Hvis soleffekten gennem ventilationsvinduet reduceres om sommeren fx ved at lukke for luftstrømmen gennem vinduet, ved at gennemskylle mellem glaslag med udeluft eller ved at anvende egentlig solafskærmning, angives reduktionen i g-værdi som solafskærmning i Be15. Reduktion af g-værdien ved gennemskylning af vinduet skal dokumenteres separat.

Eksempel

For et ventilationsvindue foreligger der dokumentation for vinduets U-værdi og g-værdi henholdsvis uden luftstrøm og ved en luftstrøm gennem vinduet på 2-8 l/s, se eksempel i tabel.

Tabel. Eksempel på U-værdi og g-værdi for et ventilationsvindue.

Luftstrøm l/s	0	2	4	6	8
U-værdi W/K m ²	1,10	0,80	0,60	0,52	0,44
g-værdi	0,57	0,60	0,62	0,64	0,65



Hvis der indsuges fx 5 l/s gennem ventilationsvinduet, skal der angives en U-værdi for vinduet på 0,56 W/K m² og en g-værdi på 0,63.

Hvis luftstrømmen gennem vinduer stoppes om sommeren, og der ikke er nogen anden form for solafskærmning, kan der angives en solafskærmningsfaktor på 0,57 / 0,63 = 0,90.

Hvis der fx er en udvendig solafskærmning med en afskærmningsfaktor på 0,30, bliver den resulterende solafskærmning 0,30 • 0,90 = 0,27.

Varmt brugsvand

Varmegenvinding fra brugsvand

Varmegenvinding fra afløb med varmt brugsvand fra brusebad eller tilsvarende til forvarmning af det varme brugsvand i en bygning kan reducere behovet for opvarmning af varmt brugsvand. Ved separat forvarmning af vandet til en eller flere brusere kan forvarmningen eventuelt ske som forvarmning af det kolde vand til bruseren. Hvis aftapning af varmt brugsvand og varmegenvinding sker samtidigt, bestemmes virkningsgraden for forvarmningen af det varme brugsvand som

$$\eta_{vbw} = \eta_{vgv} \cdot (\theta_{sv} - \theta_{kbv}) / (\theta_{vbw} - \theta_{kbv})$$

hvor η_{vgv} er varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad ved de gennemsnitlige vandstrømme og temperaturforhold,
 θ_{sv} er spildevandets tilløbstemperatur til varmegenvinderen,
 θ_{kbv} er det kolde vands temperatur,
og θ_{vbw} er det varme vands temperatur.

Ved beregningen antages det, at det kolde vands temperatur er $\theta_{kbv} = 10$ °C og det varme vands temperatur er $\theta_{vbw} = 55$ °C.

Spildevandets tilløbstemperatur til varmegenvinderen skal dokumenteres efter de konkrete forhold. Ved varmegenvinding fra brusebade kan der maksimalt antages en afløbstemperatur fra brusekabinen på 30 °C.

Ved dokumentation af varmegenvinderens temperaturvirkningsgrad skal der tages hensyn til eventuelle forskelle i spildevandsstrømmen og koldvandsstrømmen.

Den beregnede virkningsgrad for forvarmning af det varme brugsvand har alene indflydelse på det kolde vand, der tappes gennem varmegenvinderen.

Den resulterende virkning af varmegenvinderen indregnes som en reduktion af varmtvandsforbruget.



Eksempel

I forbindelse med en bruser i en lille bolig er der installeret en varmegenvinder, som forvarmer det kolde vand til bruseren. Under hensyn til forvarmningen af det kolde vand er vandstrømmen i koldvands- og varmtvandstilslutningen den samme. Varmegenvinderen har ved de aktuelle tappestrømme en temperaturvirkningsgrad på 60 pct. og afløbsvandets temperatur ind i varmegenvinderen er 25 °C. Bruseren bruger 1/3 af boligens årlige varmtvandsforbrug.

Virkningsgraden for forvarmningen af vandet til bruseren bliver

$$\eta_{vbv} = 0,60 \cdot (25 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) / (55 \text{ °C} - 10 \text{ °C}) = 0,20$$

Det normale varmtvandsforbrug i boliger på 250 l/m² kan på grund af varmegenvinderen i denne bolig nedsættes til:

$$250 \text{ l/m}^2 \cdot (0,67 + 0,33 \cdot (1,00 - 0,20)) = 234 \text{ l/m}^2$$

Energiforsyning

Gasvarmepumpe

En gasvarmepumpes karakteristik afviger væsentligt fra en el-varmepumpes karakteristik og varmepumpemenuen i Be15 kan alene håndtere eldrevne varmepumper. Gas-varmepumper skal derfor indtastes i kedel-menuen. Varmepumpens testdata skal omregnes svarende til testpunkterne for kedler med brug af korrektionsfaktorer for fremløbstemperaturen samt korrektionsfaktorer for udetemperaturen, hvis det er en udeluftvarmepumpe. Metoden kan alene bruges til varmepumper tilsluttet et varmeanlæg.

Varmepumper er normalt testet ved fx 35, 50 og 65 °C fremløbstemperatur. Hvis det er en udeluftvarmepumpe, vil testene normalt være sket ved henholdsvis -7, 0 og 7 °C udetemperatur. Hvis det er en jordvarmepumpe anvendes der normalt en fast brinetemperatur på 0 °C ved test af varmepumpen, og korrektionen for udetemperatur udgår.

I Be15 er som standard forudsat en fremløbstemperatur på 70 °C ved fuldlasttest af kedler. For varmepumper antages fuldlast at svare til 70 °C fremløbstemperatur ved -7 °C udetemperatur eller 0 °C brinetemperatur for jordvarmepumper. Ved korrektion for anden fremløbstemperatur og eventuel ude- eller brinetemperatur tages udgangspunkt i det testpunkt med mindst temperaturafvigelse til 70 °C fremløbstemperatur ved -7 °C udetemperatur eller 0 °C brinetemperatur.

Ved dellasttest af kedler er det normalt at anvende en dellast på 30 % og en fremløbstemperatur på 30 eller 35 °C. For varmepumper antages dellast at være 30 % med 35 °C fremløbstemperatur ved 7 °C udetemperatur eller 0 °C brinetemperatur for jordvarmepumper. Korrektioner foretages på samme måde som ved fuldlast.



Data for tomgangstab og driftsforhold angives som for kedler.

Varmepumpens elforbrug angives under henholdsvis blæser mv. og el til automatik afhængigt af om elforbrug kun er der, når varmepumpen producerer varme, eller det er der hele tiden, se i øvrigt SBi-anvisning 213.

Testdata for en gasfyret absorptions udeluftvarmepumpe. Eksempel.

Virkningsgrad	Fremløbstemperatur			
	35 °C	50 °C	65 °C	70 °C (beregnet)
Udetemperatur				
-7 °C	-	1,25	-	0,81
0 °C	-	1,39	-	-
7 °C	1,64	1,52	1,19	-

Eksempel

Eksemplet i tabellen er for en gasfyret absorptions udeluftvarmepumpe tilsluttet et varmeanlæg. Først bestemmes de ækvivalente testdata for fuldlast. For testpunktet 50 °C fremløbstemperatur ved -7 °C udetemperatur er "afstanden" 20 °C til fuldlastpunktet på 70 °C fremløbstemperatur ved -7 °C udetemperatur. For testpunktet 65 °C fremløbstemperatur ved 7 °C udetemperatur er "afstanden" $5+14 = 19$ °C. Der tages derfor udgangspunkt i det sidste testpunkt.

Korrektionsfaktoren for ændring i fremløbstemperatur er $(1,19-1,52)/(65-50) = -0,022$. Korrektionsfaktoren for ændring i udetemperatur er $(1,52-1,25)/(7-(-7)) = 0,019$. Den resulterende virkningsgrad for 70 °C fremløbstemperatur ved -7 °C udetemperatur bliver $1,19 - 5 \times 0,022 - 14 \times 0,019 = 0,81$. Korrektionsfaktoren for ændring i kedeltemperatur (fremløbstemperatur), som også skal angives i kedelmenuen, er allerede beregnet til -0,022.

Virkningsgraden ved 30 % dellast antages at svare til 35 °C fremløbstemperatur ved 7 °C udetemperatur. I eksemplet er varmepumpen testet ved dette temperatursæt og resultatet af testen kan anvendes direkte. Korrektionsfaktoren for ændring i kedeltemperatur (fremløbstemperatur) ved dellast er $(1,52-1,64)/(50-35) = -0,008$.



Minikraftvarme

Varmeydelse og elproduktion fra et minikraftvarme-anlæg hænger sammen. Ved beregning af en bygnings energibehov kan et minikraftvarme-anlægs varme- og elproduktion indregnes indenfor det samlede varme- og elbehov i bygningen opgjort på månedsbasis.

Be15 kan ikke direkte håndtere minikraftvarme-anlæg. Ved beregning af en bygnings energibehov betragtes et minikraftvarme-anlæg derfor som en gaskedel med et negativt elforbrug til blæseren. Nominel varmeeffekt samt varmevirkningsgrad ved fuldlast og dellast angives som for almindelige gaskedler, ud fra produktdata. Varmevirkningsgraden angives i forhold til nedre brændværdi. Varmevirkningsgraden for minikraftvarmen vil dog være lavere end for en gaskedel pga. elproduktionen. Hvis det laveste driftspunkt ved dellast er højere end 30 pct. angives varmevirkningsgraden ved dellast for det laveste driftspunkt, ellers angives varmevirkningsgraden ved 30 pct. dellast.

Det antages som standard, at rumopvarmningsanlægget (minikraftvarme-anlægget og supplerende enheder) i gennemsnit over året kører på 30 pct. af bygningens dimensionerende varmetab, når rumopvarmningsanlægget er i drift. Bygningens dimensionerende varmetab bestemmes efter DS 418 og kan ses i Be15. Gennemsnitsbelastning på minikraftvarme-anlægget afhænger af forholdet mellem minikraftvarme-anlæggets nominelle varmeydelse og bygningens dimensionerende varmetab. Hvis minikraftvarme-anlægget fx dækker 60 pct. af bygningens dimensionerende varmetab og da rumopvarmningsanlægget antages i gennemsnit at køre på 30 pct. af det dimensionerende varmetab, vil minikraftvarmeanlægget i gennemsnit køre på $30/0,60 = 50$ pct. af den nominelle varmevarmeydelse.

Det resterende varmebehov skal dækkes på anden vis fx med en kedel eller en varmepumpe. Denne supplerende enhed skal også indtastes i Be15. Den supplerende enheds bidrag til det samlede rumopvarmningsbehov bestemmes som:

$$[(P_{dim} - P_{mKV}) / P_{dim}]^2,$$

hvor P_{dim} er bygningens dimensionerende varmetab og P_{mKV} er minikraftvarme-anlæggets nominelle varmeydelse til rumopvarmning under hensyn til eventuel produktion af varmt brugsvand.

Hvis minikraftvarme-anlægget fx dækker 60 pct. af det dimensionerende varmetab, skal den supplerende enhed levere de sidste 40 pct. af det dimensionerende varmetab, men kun 16 pct. af det årlige varmebehov og minikraftvarme-anlægget vil levere 84 pct. af det årlige varmebehov. For varmepumper og anden rumopvarmning som supplerende enhed styres bidraget med parameteren "Andel af etageareal". Hvis den supplerende enhed er en kedel, kan den ikke angives under fanebladet "Kedel", da det vil forstyrre beregningen af minikraftvarme-anlægget, men skal i stedet angives som "Anden rumopvarmning" med den samme virkningsgrad, som årsvirkningsgraden for kedlen under de aktuelle forhold. Se i øvrigt SBi-anvisning 213.



Minikraftvarme-anlæggets nominelle varmeydelse til rumopvarmning skal korrigeres for produktion af varmt brugsvand. Det gøres ud fra middeffekten til opvarmning af varmt brugsvand. Korrektionen bestemmes som:

$$\Delta P_{mKV} = Q_{vbv} / 8760 \text{ h}$$

hvor Q_{vbv} er det totale årlige nettovarmebehov til opvarmning af varmt brugsvand, som minikraftvarme-anlægget skal levere, inklusive varmetab fra varmt brugsvands installationen.

Hvis minikraftvarme-anlægget kun leverer varmt brugsvand en del af året, skal der tages hensyn til det ved bestemmelse af middeffekten til opvarmning af varmt brugsvand.

Eventuel opvarmning af varmt brugsvand med andre kilder angives på sædvanlig vis i Be15, se SBI-anvisning 213. Minikraftvarme-anlægget kan på årsbasis som standard maksimalt antages at opvarme varmt brugsvand svarende til:

$$Q_{vbv} = P_{mKV} \times 1000 \text{ h}$$

Minikraftvarme-anlæggets el-ydelse angives som et negativt elforbrug til blæseren. I Be15 beregnes blæserens driftstid som det samlede energiforbrug til kedlen (minikraftvarme-anlægget) divideret med den nominelle varmeydelse. For at få den rigtige årlige el-leverance fra minikraftvarme-anlægget skal der tages højde for dette ved angivelse af data for blæseren. El-ydelsen, der skal angives under blæser i Be15, bestemmes som:

$$P_{el} = P_{el,nom} \times (\eta_{el,mid} / \eta_{el,nom}) \times \eta_{varme,mid}$$

$P_{el,nom}$ er minikraftvarme-anlæggets nominelle el-effekt

$\eta_{el,mid}$ er el-virkningsgraden ved den gennemsnitlige dellast

$\eta_{el,nom}$ er el-virkningsgraden ved den nominelle ydelse

$\eta_{varme,mid}$ er varme-virkningsgraden ved den gennemsnitlige dellast

Hvis anlægget kører on-off med en gennemsnitlig årlig varmeydelse til rumopvarmning, som er lavere end det nederste driftspunkt, anvendes i stedet data for det nedre driftspunkt. Ved bestemmelse af den gennemsnitlige dellast kan der tages hensyn til eventuel produktion af varmt brugsvand ved en anden belastningsgrad end rumopvarmningen.

Hvis den nominelle el-effekten fx er 10,0 kW, el-virkningsgraden ved den gennemsnitlige dellast er 26 pct., el-virkningsgraden ved den nominelle ydelse er 30 pct. og varmevirkningsgraden ved den gennemsnitlige dellast er 75 pct., bliver den gennemsnitlige el-effekt:

$$P_{el} = 10,0 \text{ kW} \times (0,26/0,30) \times 0,75 = 6,5 \text{ kW}$$

Hvis der er en varmeakkumuleringstank i tilknytning til minikraftvarme-anlægget og en automatik, der sikrer en mere optimal drift af minikraftvarme-anlægget, kan der tages hensyn til det ved bestemmelse af driftspunkterne i henhold til ovenstående.