

Energisyndere i lavenergibyggeri – Spor 2

**Living Strategy
Aarhus Universitet Ingeniørhøjskolen
Dansk Energi Management og Esbensen A/S**

December, 2015

Forord

Nærværende rapport udgør-afrapportering af spor 2 i PSO-projektet 345-002 Energisyndere i lavenergibyggeri.

Projektet er gennemført i samarbejde med Living Strategy (Bo Holst-Mikkelsen, projektleder) og Aarhus Universitet Ingeniørhøjskolen (Steffen Pedersen m. fl.).

Projektet er støttet af Dansk Energi's forsknings- og udviklingsprogram ELFORSK.

Rapporten er udført af Dansk Energi Management & Esbensen med deltagelse af følgende medarbejdere:

Julian Lessing Jensen

Fredrik Emil Nors

Niels Ulrik Kofoed

Olaf Bruun Jørgensen

ELFORSK-projektet er delt op i 3 individuelle spor, hvor:

Projektets spor 1 fokuserer på at udvikle en metode/værktøj, der kan 1) give et realistisk estimat af det faktiske energiforbrug til bygningsdrift i design og projekteringsfasen, og 2) fungere som "converter" der gør det muligt at foretage en fair sammenligning af beregnet energiforbrug (Be10) og faktisk energiforbrug. Metoden fungerer som en "add on" til det eksisterende Be10-beregningsværktøj.

Projektets spor 2 omfatter en analyse af udvalgte repræsentative realiserede lavenergibygninger. Disse analyseres gennem beregninger, parameteranalyser, projektbesigtigelser, termografering og interviews for at identificere de afgørende årsager til, at de forskellige byggerier ikke performer som forventet.

og

Projektets spor 3 har karakter af en mere generel undersøgelse blandt kommunale ejendomsafdelinger med henblik på at få en forståelse af den kommunale kontekst, som metoden/værktøjet udviklet i spor 1 (bl.a.) skal operere i.

Rapporter fra spor 1 og 3 kan downloades på www.elforsk.dk

Indholdsfortegnelse

Resume	4
1. Indledning	5
2. Metode	6
2.1. Afgrænsning.....	6
2.2. Interview.....	6
2.3. Parameteranalyse.....	6
3. Interview.....	8
3.1. Baggrund.....	8
3.2. Formål med energirammeberegninger og hvad de viser	8
3.3. Beregningsværktøjet BE10: dokumentations- eller designværktøj?.....	9
3.4. Beregnet kontra realiseret energiforbrug	9
3.4.1. Eksempel.....	10
3.5. Projektfasen som er hovedkilde til det højere realiserede energiforbrug end beregnet.....	10
3.5.1. Designfasen	10
3.5.2. Udførelsesfasen	10
3.5.3. Idriftsættelsesfasen	11
3.5.4. "Som udført" energiberegning og energimærkning.....	11
3.6. Brugen af BE10 i praksis – diverse overvejelser	12
3.6.1. Detaljering af beregning	12
3.6.2. Standardværdier kontra realistiske værdier	12
4. Gennemgang og parameteranalyse af indhold i energirammeberegninger	14
4.1. Tolkning af resultater af parameteranalyse	14
4.2. Grunddata.....	14
4.2.1. Valg af bygningstype til beregning	14
4.2.2. Vejrdata	15
4.2.3. Opvarmet etageareal.....	15
4.2.4. Varmekapacitet	16
4.2.5. Bygningens brugstid	18
4.2.6. Tillæg til energiramme.....	19
4.2.7. Uopvarmede rum	20
4.2.8. Internt varmetilskud	20

4.2.9. Andet Elforbrug (udebelysning, særligt apparatur, styret belysning i P-kældre mv.).....	22
4.3. Klimaskærm	22
4.3.1. Arealer og U-værdier	22
4.3.2. Linietaf ved fundamenter og vinduer mv.	26
4.3.3. Skygger	29
4.3.4. Infiltration.....	29
4.4. Installationer.....	31
4.4.1. Ventilation	31
4.4.2. Belysning.....	34
4.4.3. Mekanisk køling.....	37
4.4.4. Varmefordelingsanlæg (rør og pumper)	37
4.4.5. Varmt brugsvand	37
4.5. Samlet resultat af parameteranalyse	39
4.6. Begrænsninger i Be10.....	41
4.6.1. 1-zone model.....	41
4.6.2. Betydning af uhensigtsmæssig styring og utilstrækkelig indregulering.....	41
4.6.3. Brugeradfærd ift. brug af systemer og udluftning	42
4.6.4. "Glemte" energiforbrug	42
5. Diskussion/Perspektivering - Opsamling på analyse	44
5.1. Måling af energiforbrug.....	45
5.2. Energiberegninger	45
5.2.1. Tydelig hensigt med energirammeberegninger	46
5.2.2. Energimærkning	46
6. Konklusion	48
6.1. Anbefaling.....	49
6.1.1. Studie.....	49
6.1.2. Afstemning af fælles kurs i branchen	49
Bilag	50
Bilag A	51
Bilag B	53

Resume

Nærværende rapport omfatter en analyse af udvalgte repræsentative realiserede lavenergibygninger. Disse bygninger er analyseret gennem beregninger, parameteranalyser, projektbesigtigelser, termografering og interviews for at identificere de afgørende årsager til, at de forskellige byggerier eventuelt ikke performer som forventet med hensyn til bygningernes energiforbrug.

På baggrund af analyserne og de gennemførte interviews tyder alt på, at hypotesen om, at lavenergibyggeri typisk forbruger for meget energi i forhold til det beregnede energibehov, er korrekt. Med beregnet menes her energirammeberegningen, som bliver udarbejdet til myndighedsgodkendelse, og som dernæst anvendes til energimærkningen.

Den største energisynder vurderes at være en udbredt misforståelse om, at bygningsejere mener at være blevet oplyst om et beregnet energiforbrug for deres bygning (energirammeberegning), som desværre bygger på en grundlæggende fejlrepræsentation af virkeligheden.

Den næste væsentlige årsag til forskellen på beregnet og målt energiforbrug er, at bygningers realiserede målte energiforbrug til bygningsdrift normalt ikke adskilles fra bygningens øvrige energiforbrug, da der normalt ikke er installeret tilstrækkeligt med bimålere, hvorfor der opleves et højere energiforbrug til bygningsdrift end det reelt er tilfældet.

En tredje af de største energisyndere vurderes at være de forudsætninger, som knytter sig til bygningens brug, hvilket kan have stor betydning for en bygningens energiforbrug: Af sådanne forudsætninger nævnes brugs- og driftstider, setpunktstemperaturer, samt tilbøjelighed til at lufte ud, og huske at lukke for varmen når der luftes ud.

Af reelle energisyndere, som relaterer bygningens energieffektivitet, vurderes utilstrækkelig indregulering af tekniske anlæg, samt uhensigtsmæssig samstyring eller decideret fejlstyring af de tekniske installationer at være de største energisyndere. Dernæst kommer de parametre, som branchen allerede er bevidst om kan være problematiske i forhold til at opnå målsætninger om at realisere beregnede energiforbrug, herunder særligt klimaskærmens tæthed samt trimning af ventilationsanlæg.

Energisyndere som i nærværende rapport er fremlagt som fejl i form af "snyd", for ringe kompetencer, og at projekterne ikke er udført som projekteret (ringe isoleret, mindre effektive systemer, at bygningen er ikke tæt nok, etc.) forefindes naturligvis i byggeriet, også i de projekter som er gennemgået i forbindelse med nærværende rapport. Dog vurderes disse fejl, på baggrund af resultaterne i nærværende analyse, ikke at kunne måle sig med de største energisyndere.

De største energisyndere vurderes således at hidrøre fra den standardiserede beregningsmetode og bygningens brug, og har således ikke noget med bygningernes kvalitet eller energieffektivitet at gøre.

I forhold til projektets intentioner er de primære afvigelser, at det desværre ikke har været muligt at identificere tilstrækkeligt mange lavenergibyggerier, hvor man har kunnet fremskaffe det nødvendige datamateriale i form af såvel beregninger som målte energiforbrug. Herudover har det ikke været muligt at få kontakt til tilstrækkeligt mange rådgivere, bygherrer og udførende til at kunne udføre en interviewundersøgelse i det planlagte omfang. Resultat af interviewundersøgelsen er derfor forbundet med nogle forbehold og skal snarere ses som udsagn fra personer i branchen frem for egentlige konklusioner baseret på et bredt statistisk materiale.

1. Indledning

I forbindelse opførelse af nyt byggeri, såvel som ved energirenovering af eksisterende byggeri, har bygningsreglementet siden 1977 været anvendt til at regulere og standardisere kravene til bygnings energiforbrug. Kravene har udviklet sig med tiden, bl.a. som følge af at EU direktiver skal overholdes, og i dag omfatter energikravene i bygningsreglementet bygnings energiforbrug til bygningsdrift til rumopvarmning, køling, ventilation, opvarmning af varmt brugsvand, samt belysning.

Det energimæssige krav, som skal eftervises, er defineret således, at bygningens samlede energiforbrug indenfor ovenstående poster ved beregning skal være mindre end en øvre grænse, som er opgivet i reglementet i enheden kWh/m² etageareal pr. år. I beregningen indgår foruden varmetab og installationskarakteristikker, som omhandler bygningernes energieffektivitet, også betragtninger om bygningens brug i form af f.eks. brugstid og interne varmetilskud. Dermed har det været nødvendigt at standardisere beregningen således, at de lovmæssige krav kan implementeres til en kompleks bygningsmasse med meget forskelligartet brug.

Da overholdelse af energirammen omfatter energiforbrug til bygningsdrift med alle tænkelige forsyningsformer, har det i sin tid været hensigtsmæssigt at pålægge de forskellige forsyningsformer forskellige sammenvejningsfaktorer i opgørelsen af det beregnede energibehov i bygningen. F.eks. belaster 1 kWh forbrugt elektricitet energirammen højere end 1 kWh forbrugt energi fra opvarmning med naturgas, ligesom fjernvarme i energirammen "belønnes" med en lavere sammenvejningsfaktor end naturgas.

Med disse tiltag er der skabt et grundlag, hvormed man på en standardiseret måde har sikret en vis energimæssig kvalitet af den fremtidige bygningsmasse, hvilket de fleste er enige om er en positiv ting. Men desværre har hensynet til denne standardisering haft nogle uheldige afledte effekter.

Blandt disse er, at der hersker en udbredt opfattelse af, at lavenergibygninger langt fra performer som forventet, og at der er langt mellem teori og praksis.

En anden problematik, som er beslægtet med denne, og som tidligere har været behandlet igennem flere nyere studier, er, at der for energirenoveringsprojekter har været en meget klar tendens til, at de realiserede energiforbrug efter renovering er markant højere end de forventede beregnede energiforbrug.

Der er i den seneste tid gennemførte flere projekter/undersøgelser, der belyser ovenstående problematik i forhold til energirenoveringsprojekter:

- *"Branchevejledning for energiberegninger" InnoBYG 2014*
- *"Forskelle i beregnet og målt energiforbrug i energirenoveringsprojekter" SBI, Ørtoft A/S 2015*
- *"Analyse af praktiske erfaringer med energirenovering af bygninger i fire bygningssegmenter" Niras A/S 2013*

Nærværende projekt har til formål at afdække, hvilke årsager der er til den udbredte en opfattelse af, at lavenergibygninger i praksis er "for ringe". Derudover redegøres der for betydningen af de forskellige årsager til uoverensstemmelser mellem teori og praksis, baseret på analyse af udvalgte case-byggerier samt på interviews med energirådgiverne på de udvalgte case-byggerier.

2. Metode

Nærværende rapport giver en beskrivende gennemgang af det indhold, som indgår i de beregninger, der ligger til grund for bygningers beregnede energiforbrug. I gennemgangen redegøres der for, hvordan værdien, som indtastes for den enkelte parameter i beregningen, relaterer sig til det forventelige realiserede energiforbrug for bygningen. For et udsnit af parametrene er der på baggrund af et udsnit af eksisterende bygninger udarbejdet en følsomhedsanalyse i forhold til bygningernes beregnede energiforbrug.

Derudover er der udført interviews med en række rådgivere med henblik på at beskrive forskellene mellem beregninger og virkelighed ifølge den part, som har indgående kendskab til beregningernes indhold.

2.1. Afgrænsning

Projektets fokus er afgrænset til kommunalt byggeri. Hensigten med projektet er, at bygningerne som indgår i analyserne er gennemgående for spor 1 og spor 2, hvorfor de er udvalgt efter, hvilke data der har været tilgængelige for bygningerne. Desværre er der stadig i dag langt imellem kommunalt ejede bygninger, hvor der har været fokus på at måle på det faktiske energiforbrug til decideret bygningsdrift, hvilket har bevirket, at antallet af bygninger, som er blevet udvalgt til projektet, er blevet ganske begrænset. Det har dog været muligt at udpege følgende bygninger til analyse:

	Bygningsanvendelse	Lavenergi / ikke lavenergi	Note:
Bygning A: (A.1) (A.2) (A.3)	Daginstitutioner (Fjernvarmeforsynet) (Fjernvarmeforsynet) (Varmepumpe)	Lavenergi	Daginstitutionerne er fuldstændig ens i deres bygningsudformning, og adskiller sig kun i form af varmeforsyning, og orientering. I størstedelen af analyserne behandles bygningerne samlet under ét som "bygning A".
Bygning B	Administration & værksted	Lavenergi	Bygningen indeholder både et opvarmet og et uopvarmet værksted, samt udebelysningsanlæg som lysmaster.
Bygning C	Skole	Ikke lavenergi	Bygningen er medtaget i analysen på trods af, at den ikke er klassificeret som lavenergibyggeri, idet energiforbruget i bygningen har vist sig at være langt mindre end forventet fra energiberegningen.

2.2. Interview

Interviews er udført med de rådgivende ingeniørvirksomheder på de bygninger, som indgår i analyserne. Interviewene er rettet imod fagpersoner i de respektive ingeniørvirksomheder med teknisk indsigt i indholdet af energirammeberegninger og viden om håndtering af bygherrers forventninger til bygningernes energieffektivitet. Fokus i interviewene ligger på rådgivernes erfaringer og syn på energirammeberegninger i forhold til, hvad der gør sig gældende i virkeligheden.

2.3. Parameteranalyse

Energibehovet i de bygninger, som indgår i projektet, er analyseret ved gennemgang af de eksisterende energirammeberegninger, som er sammenholdt med tegningsmateriale, beskrivelser og rapporter over tæthedsprøvning af bygningerne. Herudover er der som en del af nærværende projekt gennemført en

bygningsgennemgang og termografering af de pågældende bygninger. Dog er der ikke gennemført termografering og bygningsgennemgang af bygning A.

På baggrund af gennemgangen af ovenstående materiale er der foretaget en ny vurdering af de indtastede værdier for en lang række parametre, for hver enkelt bygning. Afvigelsen mellem værdien for parameteren i henholdsvis den oprindelige energirammeberegning, og den nye vurdering er angivet sammen med den afledte afvigelse i energiforbrug fordelt på posterne "varme", "el", "overtemperaturer" og "samlet sammenvejet energiforbrug i henhold til BR2010". Vurdering er foretaget for alle tre bygninger, og præsenteret i sammenstillede tabeller for en given parameter.

For nogle parametre har det været muligt at analysere sig frem til ny input-værdier, som er bestemt med stor eller rimelig sikkerhed, mens der for nogle parametre har skullet foretages en mere grov vurdering af, hvad en rimelig usikkerhed på parameteren kunne være. I bilag A er fremlagt et skema med indtastede parameterafvigelser, samt hvad der har ligget til grund for den nye vurdering.

Resultatet af parameteranalysen skal betragtes dels som undersøgelse af, hvad der er af sandsynlige afvigelser på den enkelte parameter, hvor det har været muligt at bestemme disse, og dels som en undersøgelse af hvorledes energiforbruget påvirkes af de bestemte/sandsynlige afvigelser.

Parameteranalysen er udført på de enkelte parametre som "stand-alone" undersøgelser, mens kombinationer af afvigelser på flere (eller alle) parametre ikke er undersøgt. Dette er valgt dels for at afgrænse undersøgelsen til et overkommeligt omfang, og dels for at understrege at undersøgelsen ikke retter sig imod at finde det "korrekte" eller "endegyldige" svar på, hvad energiberegningen for den enkelte bygning skulle have vist. Det skal ligeledes nævnes, at de vurderede rettelser på de enkelte parametre i de fleste tilfælde ikke skal betragtes som de "sande" værdier, men at de derimod repræsenterer forfatterens vurdering på baggrund af det udleverede materiale, som ikke nødvendigvis tegner det fulde billede. I den forbindelse foreligger der en mulighed for, at energirådgiverne på byggeprojekterne for de 3 casebyggerier besidder viden om forholdene for bygningerne og energiberegningerne, som ikke er gjort forfatterne bekendt. Ikke desto mindre er det vurderet, revurderingen af afvigelserne på parametre repræsenterer en rimelig usikkerhed på de enkelte parametre, og deres indvirkning på den afledte usikkerhed af energiforbruget.

Idet analysen er udført for så begrænset et antal bygninger, kan studiet ikke regnes for at være statistisk repræsentativt for alle bygninger med anvendelse som skole, daginstitution, eller administration/værksted, men må i stedet opfattes som et ministudie, hvor afvigelserne imellem beregnet og realiseret energiforbrug, såvel som parametrene som afføder afvigelserne, skal betragtes som en eksempelsamling, der tegner et billede af de udfordringer og mekanismer, som gør sig gældende ved overgangen fra energirammeberegning til færdig bygning. Generelt er parameteranalysen udført sådan, at referencen for parametervariationen for alle bygningerne er værdien i den foreliggende Be10 beregning for den pågældende parameter.

På baggrund af gennemgangen af input i energirammeberegninger, herunder parameteranalyser og interviews, diskuteres de forhold, som gør sig gældende i uoverensstemmelsen mellem det beregnede energiforbrug og det realiserede energiforbrug, og "energisynderne" identificeres.

3. Interview

3.1. Baggrund

Som del af projektet er der gennemført interviews med udvalgte personer hos de rådgivende ingeniørvirksomheder, som var involveret i de tre case byggerier (bygning A, B og C).

Interviewene er gennemført anonymt, således at de involverede personer kunne tale frit og på egne vegne.

Interviewene tager udgangspunkt i ca. 40 spørgsmål og formede sig som en åben diskussion over de forskellige berørte emner. Spørgsmålene tjente således som en overordnet disposition for diskussionen og ikke som en specifik spørgeliste, som nødvendigvis skulle følges slavisk. Spørgsmålene er gengivet i bilag B.

For at inddrage så bredt et felt af emner og erfaringer som muligt, er interviewene ikke fokuseret mod de ovennævnte case-byggerier, men tværtimod mod alle de lavenergibygninger og erfaringer, som de involverede personer har været involveret i eller har erhvervet i deres professionelle virke.

Interviewene er ikke tænkt som en repræsentativ og objektiv undersøgelse af rådgiveres holdning til energiberegninger og realiserede energiforbrug. En sådan undersøgelse ville kræve et meget større statistisk grundlag og ville, hvad der er vigtigst i denne sammenhæng, ikke udfylde formålet med interviewene. Formålet er således at få et mindre antal uddybende og subjektive indspark omkring temaet, og IKKE at undersøge hvad rådgivere generelt mener om det undersøgte tema.

De interviewede personer er alle uddannede ingeniører, dog indenfor lidt forskellige fag, ligesom deres anciennitet og organisatoriske rolle er forskellig. De interviewedes jobfunktioner beskrives bedst som henholdsvis sagsingeniør(energi/indeklima), chefspecialist(energi/indeklima) og bygherrerådgiver. Alle har arbejdet med energiberegninger, dog i forskelligt omfang og detaljeringsgrad. Fælles for alle er, at de arbejder i den rådgivende ingeniørbranche med byggeri som omdrejningspunkt, samt at de har en professionel tilgang til og viden om energiberegninger og byggeri generelt.

3.2. Formål med energirammeberegninger og hvad de viser

Blandt de interviewede er den fremherskende opfattelse, at udførelse af energiberegninger primært anvendes til en decideret energirammeberegning til myndighedsgodkendelse i henhold til energibestemmelserne i bygningsreglementet (BR, pt. BR10). I forlængelse heraf er det myndighederne, som anses som den primære modtager af beregningen, imens det er erfaringen, at bygherren eller dennes øvrige rådgivere sjældent har den store interesse i beregningen, udover om de opstillede overordnede energikrav er overholdt. Herunder i særlig grad om byggeriet lever op til den krævede energiklasse.

Dog adskilte den ene af de adspurgte i interviewene sig markant fra de 2 øvrige, idet arbejdet i forhold til myndighedsgodkendelsen efter vedkommendes opfattelse er den mindst væsentlige del af arbejdet med energiberegninger i Be10. Langt mere afgørende er det i stedet, at Be10 bliver anvendt som værktøj i designet af bygninger, da rækkefølgen af energibesparende foranstaltninger i bygningsdesignet bliver rigtigt opstillet i forhold til beslutningsprocessen ved at anvende Be10. Således betragtes Be10 her primært som et designværktøj.

På spørgsmålet om hvorvidt bygherren er bevidst om, at det med Be10 beregnede energiforbrug ikke svarer til, hvad bygningen vil forbruge af energi i drift (det realiserede energiforbrug), er svaret også entydigt, at dette er alle professionelle bygherrer helt klar over. Det medgives, at dette har tidligere været en problematik, men da det er omkring 9 år siden, energirammeberegningen blev indført i

energibestemmelserne (BR06), er det i dag kun blandt ikke-professionelle bygherrer, at denne misforståelse kan opstå. I disse tilfælde oplyser de interviewede, at de og deres kollegaer som noget helt naturligt i design- og projekteringsprocessen informerer bygherren om sagens rette sammenhæng.

I forhold til sammenvejningen af el- og varmekonsum i henhold til BR er den fremherskende opfattelse, at sammenvejningsfaktorerne for forskellige energiformer i forskellige energiklasser giver stor anledning til forvirring, særligt for ikke-professionelle, og at dette forhold skal forklares grundigt. Én af de interviewede understreger samtidig, at de sammenvejningsfaktorer, som benyttes i dag, hænger meget dårligt sammen med den reelle opgjorte miljøbelastning for energiformerne, som de er opgjort og fremskrevet iht. de seneste energistatistikker og nøgletal. Dette forhold gør det ifølge vedkommende kun mere besværligt at kommunikere beregningsresultater i henhold til energirammer, og resultaternes praktiske betydning til udenforstående.

3.3. Beregningsværktøjet BE10: dokumentations- eller designværktøj?

Værktøjet, som anvendes til energiberegninger, beregningsprogrammet Be10, opfattes af de interviewede primært som et dokumentationsværktøj for eftervisning af energirammen i henhold til bygningsreglementets bestemmelser til myndighedsbehandling. Dog bemærkes det af samtlige interviewede, at man for at kunne dokumentere de beregnede energiforbrug er nødt til at foretage analyser/beregninger undervejs i designet, hvor beregningerne ligeledes foretages i Be10 efter den beskrevne beregningsmetode i SBI's anvisning 213 og bygningsreglementet. I kraft af at bygningernes energiramme er et afgørende og stadigt mere udfordrende succeskriterie i bygningernes design, benyttes beregningsværktøjet Be10 sammen med SBI's anvisning 213 i praksis i stadigt højere grad som designværktøj.

3.4. Beregnet kontra realiseret energiforbrug

Ifølge alle interviews er det opfattelsen, at det realiserede energiforbrug til bygningsdrift typisk er betydeligt højere end det i projekteringsfasen beregnede energiforbrug til bygningsdrift. Det er samtidig opfattelsen, at forskellen imellem beregnet og realiseret energiforbrug er mere udtalt for lavenergi-byggeri end for standard byggeri efter bygningsreglementets minimumskrav, i hvert fald procentvist.

Hvor stor forskellen er, afhænger af det konkrete byggeri, herunder hvilken bygningskategori der er tale om. Sidstnævnte spiller især ind i forhold til brugstiden, idet fx skoler og institutioner oftest i virkeligheden har en markant længere brugstid end standardbrugstiden i energiberegningen (45 timer per uge for kategorien "Andre bygninger"). Denne forskel i energirammemæssig og virkelig brugstid spiller ikke i samme grad ind for f.eks. typiske kontorbygninger.

Udover brugstiden fremhæves det, at den mekaniske ventilation ofte giver anledning til et højere energiforbrug end beregnet. Forklaringen er ifølge en af de interviewede, at det i praksis er særdeles vanskeligt at trimme ventilationen, så den styres og reguleres optimalt og som forudsat. Dette gælder i særdeleshed VAV-ventilation (Variable Air Volumen), hvor luftmængden i sagens natur varierer efter behovet, og hvor selv mindre afvigelser i ventilationsrater vil have stor betydning for anlæggets SEL-faktor (Specifikt El forbrug) og effektiviteten af varmegenvindingen; og dermed for energiforbruget til både drift af ventilatorer og efteropvarmning af ventilationsluften.

En af de interviewede nævner ligeledes tætheden af byggeriet som en specifik fejlkilde og påpeger, at tætheden ofte er ringere end projekteret, og at dette ikke opdages, idet trykprøvningsne (ofte) ikke udføres retvisende. I en konkret byggesag var det f.eks. kun 1 % af et meget stort byggeri, som blev trykprøvet, og som dannede basis for, at det blev konkluderet, at tætheden af det samlede byggeri

overholdt projekteringskravet. Blandt de interviewede blev det desuden bemærket, at muligheden for at få foretaget en række målinger af bygningens tæthed for derefter at udvælge den måling med det gunstigste resultat kan være fristende for entreprenører.

3.4.1. Eksempel

En af de interviewede fortalte om en konkret sag, hvor rådgiveren direkte blev bedt vurdere, hvad det realiserede energiforbrug til bygningsdrift ville blive. Der blev derfor udført to principielle energiberegninger - selve energiberegningen til myndighedsgodkendelse iht. BR, som var baseret på diverse standardtal for brugstid, intern varmetilskud mm., samt en beregning baseret på data som rådgiveren og bygherren vurderede, var de reelle i forhold til den fremtidige drift. Her viste det sig, at det realistisk beregnede energiforbrug var ca. dobbelt så stort som energiforbruget i den standardiserede beregning til myndighederne, primært grundet store forskelle imellem standardbrugstid (45 timer per uge) og realiseret brugstid, samt forskel i standardtal for ventilationsmængder. De efterfølgende målinger på samme anlæg har vist, at det derudover er vanskeligt i praksis at overholde selv det "realistisk beregnede" energiforbrug bl.a. grundet problematikken med trimning af den mekaniske ventilation ift. styring og luftmængder mm.

3.5. Projektfaser som er hovedkilde til det højere realiserede energiforbrug end beregnet

De interviewede fremhæver tre faser som hovedkilde til det højere realiserede energiforbrug – designfasen, udførelsesfasen og idriftsættelsesfasen.

3.5.1. Designfasen

I designfasen bliver kilden til, at beregnede energiforbrug afviger fra realiseret energiforbrug, især tilskrevet enten bevidst "snyd" fra den part, som udfører beregningen, eller at denne ikke besidder den fornødne viden til at udføre en retvisende beregning. At der kan forefindes "snyd", kan her skyldes mange faktorer, idet der ifølge de interviewede sagtens kan ligge et pres på energirådgiveren fra nogle af de øvrige parter om, at projektomkostningerne ikke må overstige en budgetramme eller blot skal presses så langt ned som muligt. Dette pres kan principielt komme fra både entreprenører, øvrige rådgivere, eller endda bygherren. Én af de interviewede fremhæver særligt, at entreprenører med egen in-house energirådgivning opleves som værende tilbøjelige til at ville have energirammeberegningerne "bøjet".

En af de andre interviewede nævner, at mange rådgivere skulle interessere sig mere for, hvad de udførende parter står overfor. Vedkommende mener, at der opleves en del rådgivere, som ikke besidder den fornødne viden om de praktiske forhold i byggeriet, herunder specielt hvad der reelt kan lade sig gøre i forhold til bygbarhed og produktion. Dette skyldes ifølge vedkommende dels, at der i branchen er en tendens til, at det ofte er meget uerfarne medarbejdere, eller måske endda studentermedarbejdere/praktikanter, som arbejder med energirammeberegninger, og dels at der ikke forefindes bestemmelser om, hvem der må udføre eller indsende energirammeberegninger. Dette fører ifølge vedkommende til, at der af og til ses grelle eksempler på Be10 beregninger, som er udført af mennesker helt uden indsigt i programmet og uden de fornødne kvalifikationer. Som vedkommende udtrykker det: *"enhver tosse kan jo købe og downloade programmet fra hjemmesiden og begynde at hugge tal ind"*.

3.5.2. Udførelsesfasen

I udførelsesfasen sker der altid en række ændringer og tilpasninger af det projekterede byggeri. Erfaringerne er, at ændringer og tilpasninger, som påvirker energiforbruget, ofte trækker i retning af et

højere energiforbrug, og i øvrigt ofte sker af besparelsmæssige årsager ift. anlægsomkostningerne. Dermed opstår der et misforhold imellem det projekterede og det opførte byggeri. Entrepriseformen har generelt stor betydning for, i hvor høj grad denne problematik opleves. Generelt opleves totalentrepriser som mere "problematisk" end andre entreprisformer, idet rådgiveren, som laver energiberegningerne ikke har samme grad af kontrol og indflydelse over, hvilke løsninger entreprenøren og dennes underentreprenører vælger og indbygger. Ofte vælges billigere løsninger og produkter med lavere energieffektivitet end de i energirammeberegningerne forudsatte værdier.

En af de interviewede nævner, at de som rådgivere derfor regner med en ekstra stor sikkerhed i projekteringsfasen og derfor sigter efter at ligge 10 % under energirammen i totalentrepriser.

Ved andre entreprisformer som fx totalrådgivning er der ikke behov for samme sikkerhed, idet rådgiverne selv kan foreskrive kvaliteter og effektiviteter og i øvrigt har mere direkte kontrol og indflydelse på det udførte.

3.5.3. Idriftsættelsesfasen

Bygninger i dag er udstyret med så mange tekniske systemer, at en almindelig individuel indregulering af de tekniske anlæg slet ikke er tilstrækkelig. Konsekvensen er, at bygningen og dennes installationer i praksis ofte ikke drives som forudsat i energiberegningen.

Det fremhæves, at der er behov for en samordnet indregulering og indkøring af bygningen og de tekniske installationer i første del af driftsperioden samt en professionel driftsorganisation/driftspersonale, som er uddannet til at drifte den specifikke bygning.

En af de interviewede nævner specifikt commissioning som en mulighed, som kan sikre, at ovenstående sker.

3.5.4. "Som udført" energiberegning og energimærkning

De interviewede oplyser, at rådgiverne oftest ikke udfører "som udført" energiberegninger, hvilket også vurderes at være helt naturligt. Først og fremmest fordi det ikke er en standardydelse i FRI og PAR's ydelsesbeskrivelse. For det andet må det antages, at den energiberegning, som den uafhængige energikonsulent udfører efter byggeriet er færdigbygget, netop udfylder denne rolle. Det mest udbredte er, ifølge alle interviewede, at rådgiveren sender den i projekteringsfasen udførte energiberegning til energikonsulenten, hvorefter bygherren fra energikonsulenten efterfølgende modtager en energimærkning af bygningen udført på baggrund af den i projekteringsfasen udførte energirammeberegning.

På spørgsmålet om, hvordan rådgiverne oplever, at rollen ift. at få kontrolleret og opdateret energirammeberegningen til faktiske forhold, lyder svaret fra én af de interviewede, at det varierer meget, og at man oplever begge yderpunkter ift. energikonsulenternes indsats med hensyn til at forholde sig til beregningen og dens forudsætninger. De to øvrige interviewede oplever, at det er en absolut sjældenhed overhovedet at udveksle andre oplysninger, eller at der udbedes en afklaring af forudsætninger for den enkelte bygning, udover selve energirammeberegningen som tilsendes energikonsulenten. Dermed udføres energimærkningen i langt de fleste tilfælde reelt uden rådgivers inddragelse.

En af de tre interviewede nævner, at der i sjældne tilfælde opleves det andet yderpunkt, hvor energikonsulenten stiller mange spørgsmål og beder om yderligere dokumentation for Be10 modellens inddata. Det er også sket, at energikonsulenten har bedt om, at der blev udført målinger, som skulle eftervise tekniske data, f.eks. vedr. mekanisk ventilation.

3.6. Brugen af BE10 i praksis – diverse overvejelser

3.6.1. Detaljering af beregning

I udarbejdelsen af energirammeberegninger er der mulighed for at detaljere beregningerne i meget forskellig grad. Eksempelvis kan vinduer angives ved at pulje dem sammen i "klumper", som har ensartede skyggeforhold som samlet "klump" (f.eks. afskæringsvinkler angivet for det vindue som er mest centralt placeret i en væg), eller man kan angive de aktuelle skyggeforhold og energiegenskaber pr. enkelt vindue. Ligeledes kan der indtastes kuldebroer i lange baner for f.eks. en træskeletvæg, hvor træet gennembryder isoleringen. Principielt bør der ikke være anden fejl ved at forenkle beregningen end afrundingsfejl. Og da der ikke umiddelbart stilles krav om detaljering af beregningen, som samtidig kræver mere tid at udarbejde, tilstræbes forenklinger i beregningerne i så vid udstrækning, som det er muligt.

Der er mange muligheder for detaljering af energirammeberegninger, f.eks. zoneinddeling af ventilation og belysning, opgørelser af dagslysforhold mm.

3.6.2. Standardværdier kontra realistiske værdier

Blandt de 3 interviewede udtaler 2 i løse vendinger, at beregningsmetoden efter deres opfattelse baseres på standardværdier, men at der kan benyttes forventede faktiske værdier på de enkelte poster, hvis der "vides bedre", eller "kan argumenteres for dette". Da disse adspørges om, hvorvidt det er rimeligt at benytte forventede faktiske værdier på én post og samtidig benytte standardværdier for en anden post, og dermed finde den mest gunstige kombination, svarer begge, at spørgsmålet er for beregningsteknisk detaljeret til, at de kan svare på det uden forberedelse.

Også på dette spørgsmål skiller en af de adspurgte sig ud og udtaler, at der efter vedkommendes opfattelse principielt ikke bør afviges fra standardværdier, da beregningsmetoden og grænseværdierne i energirammen i så vid udtrækning, som det er muligt, er baseret på "standardbrugen" af bygningen. Vedkommende benytter et eksempel med en laboratoriebygning, hvor den samlede ventilationen i praksis udgøres af procesventilation (båret af et procesventilationsanlæg) og derfor bliver beregningsmæssigt forudsat som procesventilation og dermed helt udeladt i energirammeberegningen. I dette tilfælde er virkeligheden langt fra den beregningsforudsætning, som benyttes som standard (1,2 l/s/m² i opvarmningssæsonen), hvilket efter vedkommendes mening giver en fordel i beregningen, som ikke hænger sammen med hensigten af beregningsmetoden. Vedkommende benytter varmtvandsforbruget som et andet eksempel. Hvis det f.eks. vides, at der er et meget lille eller intet varmtvandsforbrug i et bygningsafsnit, bør det efter vedkommendes opfattelse ikke udelades i beregningen, da energirammen er indrettet efter, at varmtvandsforbruget bør fortrænge en relativt fast andel af energirammen for den aktuelle energiklasse. Alternativt mener vedkommende, at der bør indarbejdes et fradrag i energirammen i de tilfælde, hvor den realiserede brug giver en uretmæssig fordel i forhold til standard forudsætningerne.

Ved gennemlæsning af beregningsvejledningen til Be10, SBI anvisning 213, er der mange steder, hvor der som udgangspunkt lægges op til, at der anvendes standardværdier, men det opstilles ikke som en betingelse. Derimod beskrives der, at estimerede realistiske værdier kan anvendes, såfremt disse afviger væsentligt fra standardværdierne. Desværre er der ikke angivet nogen form for retningslinier for proceduren i den forbindelse.

"I andre bygninger end boliger antages normalt et internt varmetilskud fra personer på 4,0 W pr. m² opvarmet etageareal i gennemsnit for bygningen i brugstiden. Der ses bort fra tilstedeværelsen af personer uden for brugstiden.

Hvis det interne varmetilskud fra personer i andre bygninger afviger væsentligt fra værdierne ovenfor, kan det gennemsnitlige interne varmetilskud i bygningen i brugstiden bestemmes ud fra de aktuelle forhold i rummene, herunder fx antallet af arbejdspladser og den faktiske tilstedeværelse.”

SBI anvisning 213 – for internt varmetilskud

Eksempelvis er der principielt ikke andet end den pågældende rådgivers egen samvittighed i vejen for at ”plukke” i beregningen, således at valget af, om der anvendes standardværdier eller estimerede realistiske værdier, typisk falder på den gunstigste af de to muligheder for hver enkelt post. Et eksempel på dette er en tænkt kombination af at anvende (høje) standardværdier for det interne varmetilskud, og (lave) realistiske værdier for driftstiden, og luftmængder i ventilationsanlægget.

4. Gennemgang og parameteranalyse af indhold i energirammeberegninger

Gennemgangen af input til energirammeberegninger er i dette afsnit inddelt i henholdsvis "grunddata", "klimaskærm", og "installationer". Udover en beskrivelse af inputtene til energirammeberegningerne, beskriver afsnittet "begrænsninger i Be10" nogle grundlæggende kilder til energiforbrug i bygninger, som der ikke tages højde for i energirammeberegninger. I de respektive afsnit er der anført afsnit med eksempler og betragtninger fra materialet på de tre case-byggerier, som vedrører energiforbruget for de forskellige poster i forhold til beregningen. Disse er indført som "noter" til de enkelte afsnit

4.1. Tolkning af resultater af parameteranalyse

I parameteranalysen angives ændringer for de enkelte parametre for de undersøgte bygninger. Disse er opstillet med henholdsvis afledt ændring i varmekonsum, el-forbrug, overtemperaturer, samt totalt beregnet sammenejet energiforbrug for bygningen for de forskellige input af den enkelte parameter. I den forbindelse, skal det bemærkes at overtemperaturer har den indvirkning på energiberegningen, at der bliver pålagt en energimæssig "straf" i det tilfælde, at beregningen slår ud med overtemperaturer i bygningen. Her skal det nævnes at overtemperaturer i de nuværende (og hypotetisk revurderede) beregninger ikke nødvendigvis bliver afhjulpet, og at det sammenvejede energiforbrug dermed ikke tegner et billede af, hvad der reelt forbruges af energi, men derimod hvad der "burde" forbruges af energi for at opretholde et komfortabelt indeklima. Samtidig afspejler det sammenvejede energiforbrug ikke det reelt forbrugte energiforbrug, idet elforbruget i sammenvejningen i henhold til BR2010 er pålagt en sammenvejningsfaktor på 2,5, mens opvarmning har sammenvejningsfaktor 1,0.

Dermed tolkes betydningen af parametervariationen for den enkelte parameter bedst ved at kigge på den afledte ændring i henholdsvis varmekonsum, elforbrug, samt omfang af overtemperaturer. Det sammenvejede energiforbrug er medtaget i analysen for at illustrere sammenhængen, og forskellene imellem de reelt beregnede energiforbrug, og de standardiserede sammenvejede energiforbrug iht. bygningsreglementets bestemmelser.

4.1.1. Note: bemærkning til accept af overtemperaturer i beregning

Bygning A+C

Af de fremsendte Be10 beregninger fremgår det, at der beregningsmæssigt vil opstå overtemperaturer i to af bygningerne. Ved en Be10 beregning pålægges man en "straf" for overtemperaturer svarende til at overtemperaturtimer fjernes med køling ved direkte el. Be10 er dog kendt for i høj grad at underestimere omfanget af overtemperaturer, hvilket betyder, at der under faktiske forhold må forventes et større behov for køling end det, som optræder i Be10.

Overtemperaturer i beregning er henholdsvis 2,7 kWh/m² (ikke-sammenvejede) pr. år i Be10 for bygning A, og 3,82 kWh/m² pr år for bygning C.

Der er ikke implementeret køling i bygningerne, og i bygning A er der konstateret problemer med overtemperaturer i praksis. Hvis disse er forsøgt afhjulpet med f.eks. et øget ventilationsniveau, kan dette have betydelige konsekvenser for det realiserede energiforbrug.

4.2. Grunddata

4.2.1. Valg af bygningstype til beregning

Bygningstypen skal angives. Der kan vælges imellem følgende

- Fritliggende boliger
- Sammenbyggede boliger
- Etageboliger
- Andre bygninger
- Lager

I nærværende projekt falder bygningernes anvendelse alle i kategorien "andre bygninger". Som det fremgår, falder alt byggeri, som ikke er boliger, og som ikke er decideret lager, i denne kategori. Det skal bemærkes, at kategorien omfatter meget byggeri, og at bygningerne ligeledes er meget forskellige – f.eks. falder kontorer, skoler, daginstitutioner, butikker, værksteder, idrætshaller, skøjtehaller, svømmehaller, osv. alle indenfor samme kategori.

4.2.1.1. 20 % - regel

I byggeriet findes der mange eksempler, hvor bygningstypen ikke er entydig. For at imødekomme denne indbyggede komplicering af energirammeberegningerne er der vedtaget en 20 % -regel, som indebærer, at hvis hovedanvendelsen af en given bygning udgør mindst 80 % af det samlede etageareal, kan bygningen udelukkende beregnes som for hovedanvendelsen. Dog er der ikke udstukket retningslinier for beregning af bygningernes energiforbrug efter hovedanvendelsen, f.eks. beregning af ventilation, lys, køling, osv. i bygningsudsnittet med anvendelsen.

4.2.2. Vejrdata

Som udgangspunkt anvendes der i energirammeberegninger et vejrdataset bestående af månedsmiddelværdier for det danske "dry" år. For nyligt blev der udgivet et nyt DRY-år, og nyt vejrdataset. Dels er beregningen altså en relativt grov beregning på månedsbasis, på baggrund af middelværdier, og dels benyttes altså ét vejrdataset i beregninger gældende for hele landet, hvilket principielt er to meget væsentlige simplificerede repræsentationer af virkeligheden.

Energistyrelsen har tidligere udtalt følgende i forbindelse med vejrdata i beregningsmetoden.

Spørgsmål:

"Hvis man skal energimærke en servicebygning, der fx er døgnåben, men kun fra marts til oktober, hvordan skal man så tage højde for, at den reelle brugstid ikke omfatter årets koldeste måneder?"

Energistyrelsens svar:

"Man omregner benyttelsestimer pr. år til timer pr. uge. Hvis fx en campingplads benyttes 100 dage om året svarende til 2.400 timer, giver dette 46 timer per uge i driftstid fordelt på 52 uger. Kernen i beregningsprogrammerne regner så unøjagtigt for vejrdata, at dette ikke vil give nævneværdige fejl i resultatet."

Kilde: <http://www.maerkdinbygning.dk/Materiale/Files/Tekniske+sp%C3%B8rgsm%C3%A5l>

Vejrdata er et tema i energirammeberegninger, som er grundigt behandlet under spor 1.

4.2.3. Opvarmet etageareal

Det opvarmede etageareal indtastes som udgangspunkt som det beregnede bruttoetageareal, dvs. inklusive f.eks. ydervægge, trappeopgange og elevatorer i alle etager.

Det er i beregningsvejledningen beskrevet, at alle rum opvarmet til mindst 15 °C beregnes som værende opvarmede. For rum, som er opvarmet til mellem 5 °C og 15 °C, kan der frit vælges, om rummet regnes som opvarmet eller uopvarmet. Hvis rummet regnes som opvarmet, regnes det opvarmet til mindst 20 °C, og hvis det regnes som uopvarmet indgår energiforbrug i rummet ikke i beregningen. Hvis det uopvarmede rum ikke medtages i beregningen, ses der bort fra alt energiforbrug i rummet, herunder også ventilation og belysning. Samtidig indregnes der et reduceret varmeforbrug for den del af bygningen, som støder op til "uopvarmede" rum.

4.2.3.1. Kældre i Be10

Kældre er et område i energirammeberegninger, som tidligere ikke har været velbeskrevet i reglementstekst og beregningsvejledning i forhold til, hvordan disse skal behandles i energirammeberegningen.

Kældre er typisk rum, som holdes varme, men som ikke har udpræget brug/personbelastning, hvorfor der i moderne bygninger ligeledes vil være et meget beskedent energiforbrug til ventilation og belysning i disse rum.

Ud fra beregningsvejledningen har det indtil for ganske nyligt ikke været muligt at fastlægge proceduren for, hvordan input til kælderen behandles i forhold til f.eks. ventilation, belysning, og interne varmetilskud. Dermed er det ikke svært at forestille sig en situation, hvor der for beregning af en kælder anvendes realistiske værdier for brugstider og effekter på ventilation og belysning, men standardforudsætninger for interne varmetilskud, hvilket resulterer i et stort etageareal med et meget lille energiforbrug. Udover at være til uforholdsmæssig gunst for bygningens beregnede energiramme, vil dette også være en ukorrekt repræsentation af virkeligheden.

Eksemplet omkring repræsentation af kældre i Be10 illustrerer meget godt, at der principielt er ladet meget tilbage til rådgiveren i forhold til, hvordan input til energirammeberegninger sammensættes af standardværdier og estimerede værdier. Resultatet af beregningen kan dermed spænde meget vidt afhængig af, hvor "fræk" og kompetent rådgiveren er i forhold til indsigt og tolkning af reglements- og vejledningstekster.

4.2.4. Varmekapacitet

Den indbyggede varmekapacitet i bygninger er en afgørende faktor for behovet for at regulere indeklimaet under de temperaturudsving, som naturligt forekommer i bygninger. Dermed har varmekapaciteten meget at sige i forhold til energibehovet, som er forbundet med indeklimareguleringen.

Den indbyggede varmekapacitet for bygninger afhænger reelt af arealet af de indvendige overflader med materialetykkelse og materialespecifik varmekapacitet for de forskellige bygningsdele. I forbindelse med udførelse af en energirammeberegning vil det dog være en meget omfattende øvelse at udregne varmekapaciteten efter ovenstående princip, hvorfor der i henhold til beregningsmetoden benyttes forenkede standardværdier som standardinput til beregning, afhængig den overordnede "tunghed" af bygningen:

Tabel 1: Oversigt over angivelse af varmekapacitet i bygninger i henhold til SBI anvisning 213: Bygningers energibehov-Beregningsvejledning.

Beskrivelse	Indvendige konstruktioner	Varmekapacitet Wh/K m ²
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 klinkebetonvægge	120
Ekstra tung	Tunge vægge, gulve og lofter i beton, tegl og klinker	160

Nedenstående tabel viser en parameteranalyse for varmekapaciteten for bygningerne, idet denne antages at kunne variere med 1 kategori iht. beregningsvejledningen, svarende til ± 40 Wh/K m².

Tabel 2: Parameteranalyse for konstruktionernes varmekapacitet i de undersøgte bygninger.

Varmekapacitet [Wh/m ² K]		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
80	Energiforbrug	23,58	7,96	4,44	42,1
	Procentvis afvigelse	6,4%	0,3%	45,1%	6,3%
120 (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
160	Energiforbrug	21,39	7,92	2,21	38,1
	Procentvis afvigelse	-3,5%	-0,3%	-27,8%	-3,8%
Bygning B					
80	Energiforbrug	0	7,44	0	18
	Procentvis afvigelse	-	1,1%	-	0,6%
120 (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
160	Energiforbrug	0	7,33	0	17,8
	Procentvis afvigelse	-	-0,4%	-	-
Bygning C					
80	Energiforbrug	55,34	33,1	9,4	79,4
	Procentvis afvigelse	6,1%	0,0%	32,6%	3,9%
120 (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
160	Energiforbrug	50,29	33,09	5,37	74,5
	Procentvis afvigelse	-3,6%	0,0%	-24,3%	-2,5%

* Samlet sammenejdet energibehov til bygningsdrift med sammenejningsfaktorer iht. BR2010.

Som det fremgår ovenfor, har varmekapaciteten i bygningen en vis betydning for det afledte energiforbrug med afvigelser på både varmemeforbruget, og det sammenejdede energiforbrug på op til ca. 6 %. Dog er det tydeligt, at det, som varmekapaciteten har den mest afgørende effekt på, er afhjælpning af overtemperaturer.

Det skal dog bemærkes, at den anførte afvigelse på ± 40 Wh/K m² er relativt høj.

4.2.5. Bygningens brugstid

Parameteren brugstid vurderes at være en særdeles væsentlig årsag til, at der kan være en uoverensstemmelse mellem beregnet og faktisk energiforbrug. Brugstiden for en bygning kan være stærkt varierende, og ofte kan den ikke anslås på de tidpunkter i en projektering, hvor den er afgørende. Beregningsvejledningen til Be10 lægger op til en standardbrugstid på 45 t/uge for bygninger til erhverv, skoler o.l., selv om der kan være væsentlige variationer fra dette.

”Brugstiden på 45 timer/uge kan typisk anvendes i fx kontorer, skoler, værksteder og daginstitutioner, selv om den aktuelle brugstid afviger noget, eller der er varierende brugstid over året, som i fx skoler med aftenundervisning”

- SBI anvisning 213 – Bygningers energi behov, beregningsvejledning.

Dette fører til, at der beregningsmæssigt generelt benyttes en brugstid på 45 t/uge, og at der i projektering ikke tages stilling til, hvorvidt denne parameter stemmer med virkeligheden, hvilket underbygges af udsagn fra de interviewede rådgivere.

Derudover indregnes driftstider for installationer til opvarmning, ventilation, køling og belysning kun i bygningens brugstid. Særligt for varmesystemet anses dette ikke for en rimelig antagelse, da det i virkelighedens verden tager tid at klimatisere en bygning, særligt i bygninger med træge systemer, f.eks. indstøbt gulvvarme. I alle bygninger er ventilationen ligeledes i drift i et eller andet tidsrum udenfor den faktiske brugstid.

Der er udført parameteranalyse for et udsving på 15 timer/uge i forhold til basisbrugstiden på 45 timer/uge for alle tre bygninger. Resultatet heraf er vist i nedenstående tabel.

Table 3: Parameteranalyse for bygningernes brugstid på 45 ± 15 timer/uge.

		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
30 t/uge	Energiforbrug	24,47	5,55	3,39	36,6
	Procentvis afvigelse	10,4%	-30,1%	10,8%	-7,6%
45 t/uge (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
60 t/uge	Energiforbrug	20,49	10,33	2,82	43,1
	Procentvis afvigelse	-7,5%	30,1%	-7,8%	8,8%
Bygning B					
30 t/uge	Energiforbrug	0	7,26	0	17,6
	Procentvis afvigelse	-	-1,4%	-	-1,7%
45 t/uge (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
60 t/uge	Energiforbrug	0	7,48	0	18,1
	Procentvis afvigelse	-	1,6%	-	1,1%
Bygning C					
30 t/uge	Energiforbrug	57,33	22,24	6,7	64,4
	Procentvis afvigelse	9,9%	-32,8%	-5,5%	-15,7%
45 t/uge (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
60 t/uge	Energiforbrug	48,51	43,93	7,44	89,2
	Procentvis afvigelse	-7,0%	32,8%	4,9%	16,8%

* Samlet sammenvæjet energibehov til bygningsdrift med sammenvæjningsfaktorer iht. BR2010.

Bygningens brugstid er afgjort en meget væsentlig parameter i forhold til det realiserede energiforbrug, med afvigelser på op til ca. 10 % på varmekonsumet, over 30 % på elforbruget, og op til over 15 % på det samlede sammenvæjede energiforbrug.

4.2.6. Tillæg til energiramme

I henhold til SBI anvisning 213, gives der tillæg til energirammen for:

- Udvidet brugstid (>45 t/uge)
- Højt alment belysningsniveau (>200 lux)
- Højt ventilationsniveau i opvarmningssæsonen for atmosfærisk indeklime.
- Høje rum (>4m)
- Stort varmtvandsforbrug (>100 l/m² opvarmet etageareal pr. år)

Beregningen af tillæg til energirammen er et udtryk for, at bygninger ikke skal belastes af en ekstraordinær brug af bygningen. Derimod skal bygningen beregningsmæssigt efterleve energirammen under "normale" forhold.

Men i stedet for at se bort fra at bygningen har et øget energibehov (som f.eks. er tilfældet med procesenergi), skal der reelt foretages en beregning af forskellen mellem de faktiske forhold og de

energirammemæssige standardforudsætninger, og at rammen forøges svarende til denne forskel. Her lader hensigten med reglementet til at sigte imod en vurdering af bygningens reelle energiforbrug, samtidig med at det er energirammen under standardiserede forhold, som skal eftervises.

I dette afsnit er det sandsynligt, at der ved udførelse af energirammeberegning kan være en tendens til, at beregningen af tillægget udelades, og at der i stedet blot regnes med den tillægsberettigede øvre værdi i forhold til energirammeberegningen, som er den definerede grænse for rådgiverens ydelse.

Eventuelle informationer om forudsætninger vedrørende det realiserede energiforbrug overgår dermed ikke til energikonsulenten, som vurderes at have ringere mulighed for at vurdere forudsætninger for realiseret energiforbrug, hvormed det beregnede energiforbrug i energimærket også her kan risikere at skyde langt ved siden af virkeligheden.

4.2.7. Uopvarmede rum

Beregningsmæssigt kan der vælges frit, hvorvidt rum opvarmet til mellem 5 °C og 15 °C regnes som opvarmet eller uopvarmet, og dermed om det skal medtages i energirammen. I tilfælde af at rummet medregnes, regnes med en indetemperatur på 20 °C, og energiforbrug til ventilation, belysning mv. i det semi-opvarmede rum medregnes. Hvis rummet regnes uopvarmet udelades alt energiforbrug i rummet til opvarmning, ventilation og belysning i beregningen.

For beregning af semiopvarmede rum er det tydeligt, at der i beregningsmetoden ikke er sigtet efter en opgørelse af det faktiske energiforbrug, da beregningen, uanset om det henregnes opvarmet eller uopvarmet, må forventes at afvige væsentligt fra virkeligheden.

4.2.7.1. Note: Store andele af bygning med uopvarmede rum.

Bygning B

Bygning B er kendetegnet ved at være en relativt stor bygning men med en stor andel af bygningen som uopvarmede og semiopvarmede rum. Arealerne i bygningen fordeler sig som angivet i tabellen nedenfor

Table 4: Angivelse af etagearealer i kategorierne "opvarmet", "semi-opvarmet", og "uopvarmede"

	Opvarmet	Semi-opvarmet	Uopvarmet
Bygning C			
Etageareal	746 m ²	281 m ²	696 m ²
Andel af etageareal	40,4%	16,3%	43,3%

I energirammeberegningen indgår de opvarmede-og semiopvarmede arealer, mens de uopvarmede ikke indgår. Dermed er der medregnet et for stort energiforbrug ved opvarmning til 20 °C i 281 m², ved henregning fra semiopvarmet til opvarmet areal, mens alt energiforbrug til belysning, samt evt. opvarmning til frostsikring i de 696 m² ikke er medregnet. Desværre har det ikke været muligt at vurdere omfanget af dette forhold nøjere.

4.2.8. Internt varmetilskud

Det interne varmetilskud er et input i en energirammeberegning, der typisk opfattes som en fastlåst størrelse, da den er stærkt forbundet med de definerede grænseværdier for energirammer. Samtidig er det et input, som er vanskeligt at redegøre for i en projekteringsituation, da brugen af samtlige rum og brugen

af inventaret i rummene skal kendes. Dermed er det et input, hvor der kun i sjældne tilfælde forekommer andre indtastede værdier end standardforudsætningerne på henholdsvis 4 W/m² for personer og 6 W/m² for apparatur. Det er dog meget sandsynligt, at der i mange bygninger kan forekomme væsentlige afvigelser fra standardforudsætningerne.

Der er udført parameteranalyse for et udsving på 50 % i internt varmetilskud i forhold til de anvendte forudsætninger i energirammeberegningerne.

Table 5: Parameteranalyse for det interne varmetilskud i bygningerne.

Internt varmetilskud (personer + apparatur)		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
5 W/m ²	Energiforbrug	26,96	8,01	0	41,3
	Procentvis afvigelse	21,7%	0,9%	-100,0%	4,3%
10 W/m ² (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
15 W/m ²	Energiforbrug	18,71	7,86	6,57	39,4
	Procentvis afvigelse	-15,6%	-1,0%	114,7%	-0,5%
Bygning B					
1,67 W/m ²	Energiforbrug	0	9,21	0	22,3
	Procentvis afvigelse	-	25,1%	-	24,6%
3,35 W/m ² (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
5,0 W/m ²	Energiforbrug	0	5,55	0	13,5
	Procentvis afvigelse	-	-24,6%	-	-24,6%
Bygning C					
5 W/m ²	Energiforbrug	62,15	33,1	0	78
	Procentvis afvigelse	19,2%	0,0%	-100,0%	2,1%
10 W/m ² (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
15 W/m ²	Energiforbrug	43,91	33,09	13,06	75,2
	Procentvis afvigelse	-15,8%	0,0%	84,2%	-1,6%

* Samlet sammenejet energibehov til bygningsdrift med sammenejningsfaktorer iht. BR2010.

Det interne varmetilskud er, som det fremgår af tabellen, en meget afgørende parameter med afvigelser i varmekonsumet på op til ca. 20 %.

4.2.8.1. Note: Interne varmetilskud adskiller sig markant fra standardforudsætning

Bygning B

Bygning B, som indgår i analysen, er en bygning, der adskiller sig meget fra standardforudsætningen, da den er meget stor i forhold til antallet af brugere af bygningen, hvilket resulterer i et lavt internt varmetilskud. I bygning B's tilfælde er der i energirammeberegningen taget højde for den aktuelle brug af bygningen, og

der er estimeret nogle værdier for det interne varmetilskud, som bedre afspejler de faktiske forhold. Værdier fremgår af ovenstående tabel.

4.2.9. Andet Elforbrug (udebelysning, særligt apparatur, styret belysning i P-kældre mv.)

Forbruget fra andet el-forbrug indgår ikke i energirammen. Der fremgår ingen klare krav om, hvorvidt der skal udfyldes noget på denne post, hvor detaljeret den skal udfyldes, samt hvem der har ansvaret for indholdet af posten. I interviews svarer samtlige adspurgte rådgivere, at det ikke er praksis, at posten i beregningen udfyldes, hvilket også er forfatterens opfattelse.

Alle energiforbrug knyttet til elementer, som ikke er beliggende indenfor bygningskroppen indgår dermed som udgangspunkt ikke i energirammeberegninger, uagtet at energiforbrug til udebelysning principielt godt kan gå hen og udgøre meget store poster i det realiserede energiregnskab. Uoverensstemmelsen imellem beregning og virkelighed på dette punkt kan principielt være meget stor, afhængigt af hvilke udendørs installationer, som skal forsynes fra bygningerne. Samtidig kan energiforbruget i bygningerne udgøre en ubetydelig del, hvis de kun er meget lidt i brug.

Der er ikke foretaget analyser af betydningen af udendørs energiforbrug, da der i princippet ikke er en grænse for hvor stor fejlberegningen i forhold til realiseret energiforbrug kan blive.

4.3. Klimaskærm

4.3.1. Arealer og U-værdier

Der er udført parameteranalyser for henholdsvis arealer og U-værdier for bygningernes overordnede bygningsdele: Ydervæg, tag, terrændæk samt vinduer og yderdøre.

Tabel 6: Parameteranalyse for arealet af klimaskærmen for de undersøgte bygninger.

	Areal [m ²]		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A						
Projekt (Reference)	Ydervæg 684 m ² / Tag 603 m ² / Terrændæk 604 m ² / Vinduer 165 m ²	Energiforbrug	22,42	7,95	3,02	39,8
Aktuel	Ydervæg 649 m ² -5,2%	Energiforbrug Afvigelse	22,17 -1,1%	7,94 -0,1%	3,06 1,3%	39,6 -0,5%
Aktuel	Tag 589 m ² -2,4%	Energiforbrug Afvigelse	22,36 -0,3%	7,94 -0,1%	3,03 0,3%	39,7 -0,3%
Aktuel	Terrændæk 558 m ² -7,5%	Energiforbrug Afvigelse	22,09 -1,5%	7,94 -0,1%	3,07 1,7%	39,5 -0,8%
Aktuel	Vinduer 170 m ² 3,3%	Energiforbrug Afvigelse	22,64 1,0%	7,95 0,0%	3,22 6,6%	40,1 0,8%
Bygning B						
Projekt (Reference)	Ydervæg 1.282 m ² / Tag 720 m ² / Terrændæk 749 m ² / Vinduer 191 m ²	Energiforbrug	0	7,46	0	17,9
Aktuel	Ydervæg 1300 m ² 1,4%	Energiforbrug Afvigelse	0 0,0%	7,46 0,0%	0 -	18,1 1,1%
Aktuel	Tag 759 m ² 5,4%	Energiforbrug Afvigelse	0 -	7,43 -0,4%	0 -	18 0,6%
Aktuel	Terrændæk 745 m ² -0,6%	Energiforbrug Afvigelse	0 -	7,37 -1,2%	0 -	17,9 0,0%
Aktuel	Vinduer 201 m ² 5,3%	Energiforbrug Afvigelse	0 -	7,36 -1,3%	0 -	17,9 0,0%
Bygning C						
Projekt (Reference)	Ydervæg 637 m ² / Tag 1010 m ² / Terrændæk 881 m ² / Vinduer 289 m ²	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
Aktuel	Ydervæg 671 m ² 5,4%	Energiforbrug Afvigelse	52,88 1,4%	33,09 0,0%	6,99 -1,4%	76,8 0,5%
Aktuel	Tag 999 m ² -1,1%	Energiforbrug Afvigelse	51,99 -0,3%	33,09 0,0%	7,11 0,3%	76,3 -0,1%
Aktuel	Terrændæk 872 m ² -1,0%	Energiforbrug Afvigelse	52,04 -0,2%	33,09 0,0%	7,1 0,1%	76,4 0,0%
Aktuel	Vinduer 238 m ² -17,7%	Energiforbrug Afvigelse	50,89 -2,4%	33,1 0,0%	2,87 -59,5%	73,5 -3,8%

* Samlet sammenvejet energibehov til bygningsdrift med sammenvejningsfaktorer iht. BR2010.

Som det fremgår af ovenstående tabel, giver afvigelser i de opmålte arealer kun meget begrænsede udsving i det beregnede energiforbrug, som regel under 1 %. I forhold til de opmålte arealer, er usikkerheden omkring vinduerne klart mere udslagsgivende for energiforbruget end den øvrige klimaskærm, da disse har større indvirkning på energiforbruget grundet det større varmetab, samt varmetilskuddet pr. m² klimaskærm.

En parameteranalyse for klimaskærmens forskellige U-værdier er angivet nedenfor.

Tabel 7: Parameteranalyse for varmetabskoefficienter (U-værdier) af de forskellige bygningsdele i klimaskærmen for de undersøgte bygninger.

	Areal [m ²]		Varme [MWh]	EI [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A						
Projekt (Reference)	Ydervæg 0,11 W/m ² K Tag 0,07 W/m ² K Terrændæk 0,11 W/m ² K Vinduer 0,91 W/m ² K	Energiforbrug	22,42	7,95	3,02	39,8
Aktuel	Ydervæg 0,13 W/m ² K 21,8%	Energiforbrug Afvigelse	23,33 4,1%	7,96 0,1%	2,89 -4,3%	40,5 1,8%
Aktuel	Tag 0,11 W/m ² K -2,4%	Energiforbrug Afvigelse	22,75 1,5%	7,95 0,0%	2,97 -1,7%	40,0 0,5%
Aktuel	Terrændæk 0,08 W/m ² K -21,0%	Energiforbrug Afvigelse	21,37 -4,7%	7,93 -0,3%	3,18 5,3%	39,0 -2,0%
Aktuel	Vinduer 0,96 W/m ² K 5,5%	Energiforbrug Afvigelse	22,67 1,1%	7,95 0,0%	2,98 -1,3%	40,0 0,5%
Bygning B						
Projekt (Reference)	Ydervæg 0,12 W/m ² K Tag 0,09 W/m ² K Terrændæk 0,09 W/m ² K Vinduer 0,93 W/m ² K	Energiforbrug	0	7,46	0	17,9
Aktuel	Ydervæg 0,12 W/m ² K 0,0%	Energiforbrug Afvigelse	- -	- -	- -	U-værdi fra projekt vurderes at være korrekt
Aktuel	Tag 0,09 W/m ² K 0,0%	Energiforbrug Afvigelse	- -	- -	- -	U-værdi fra projekt vurderes at være korrekt
Aktuel	Terrændæk 0,08 W/m ² K -8,3,0%	Energiforbrug Afvigelse	0 0	7,27 -2,5%	0 0	17,6 -1,7%
Aktuel	Vinduer 1,18 W/m ² K 27,2%	Energiforbrug Afvigelse	0 -	8,3 11,3%	0 -	20,1 12,3%
Bygning C						
Projekt (Reference)	Ydervæg 0,17 W/m ² K Tag 0,18 W/m ² K Terrændæk 0,12 W/m ² K Vinduer 0,80 W/m ² K	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
Aktuel	Ydervæg 0,18 W/m ² K 6,5%	Energiforbrug Afvigelse	52,61 0,9%	33,09 0,0%	7,02 -1,0%	76,6 0,3%
Aktuel	Tag 0,10 W/m ² K -42,9%	Energiforbrug Afvigelse	45,59 -12,6%	33,09 0,0%	7,96 12,3%	73,3 -4,1%
Aktuel	Terrændæk 0,10 W/m ² K 12,9%	Energiforbrug Afvigelse	50,24 -3,7%	33,09 0,0%	7,35 3,7%	75,5 -1,2%
Aktuel	Vinduer 0,85 W/m ² K 6,3%	Energiforbrug Afvigelse	53,37 2,3%	33,09 0,0%	6,92 -2,4%	77,0 0,8%

* Samlet sammenejet energibehov til bygningsdrift med sammenejningsfaktorer iht. BR2010.

Betydningen af usikkerheden for varmetabskoefficienter for klimaskærmens bygningsdele vurderes, ligesom for klimaskærmens arealer, generelt at have en relativt begrænset betydning for det realiserede energiforbrug, idet afvigelserne typisk ligger i omegnen af 1-2 %. Undtagelser som afviger væsentligt fra dette, er beskrevet i nedenstående noter.

4.3.1.1. Note: Vinduers U-værdi

Manglende afstemning af beregningsforudsætninger, udbud og udførelse.

Bygning B

I mere "ekstreme" tilfælde, som for bygning B, hvor der er betragtelige afvigelser mellem beregningsforudsætninger og faktiske forhold, kan bygningsdelenes varmeisolerende egenskaber dog vise sig at have en mere afgørende betydning for det realiserede energiforbrug. Uoverensstemmelsen imellem U-værdi for vinduer ved henholdsvis beregning og udførelse lader til primært at skyldes en manglende afstemning i bearbejdelsen af forudsætninger/krav fra energirammeberegningen og udbudsmaterialet.

Samtidig ser det ud til, at U-værdi kravet for ovenlys, som er det eneste krav, som fremgår klart af det udbudsmateriale som er gennemgået, ikke er efterlevet i forbindelse med den faktiske leverance.

Table 8: Oversigt over forskelle mellem forudsætninger, krav og udførelse for vinduer på bygning B i henhold til projektmaterialet.

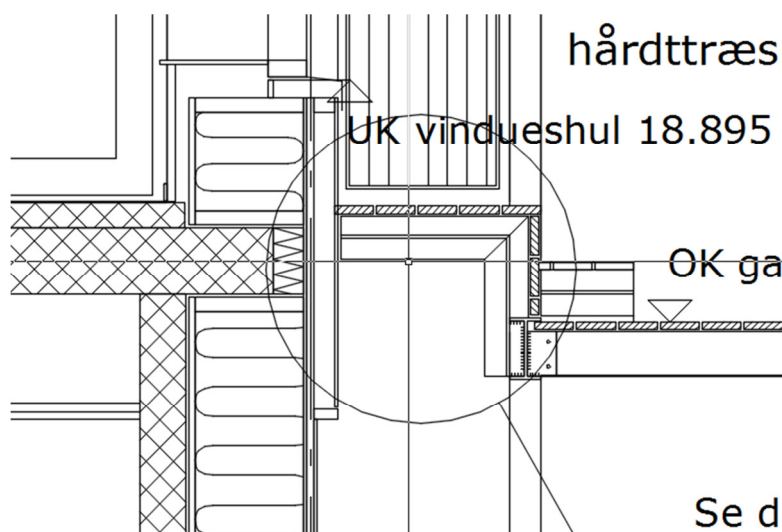
U-værdi - vinduer	Krav/forudsætning fra beregning	Krav i udbudsmaterialet	U-værdi dokumenteret af vindues-facade leverandør
Bygning B			
Facadevinduer	0,80 W/m ² K	"U-værdi koordineres med ingeniør"	0,91 W/m ² K
Yderdøre	1,40 W/m ² K	"isolerede alu pladedøre"	1,32 W/m ² K
Ovenlys	0,80 W/m ² K	1,50 W/m ² K	1,7 W/m ² K

4.3.1.2. Note: Usikkerhed omkring vægbygning og potentielle kuldebroer

Bygning A

Det er konstateret, at bygningen er udført med facadekassetter. Dog er det udleverede materiale ikke så tilstrækkeligt detaljeret, at andelen af træ i kassetterne samt isoleringskvaliteten kan fastlægges. Samtidig lader bygningen generelt til i høj grad at være udført uden kuldebroer. Dog er der af tegningsmaterialet identificeret 2 steder, hvor der kan være tale om væsentlige kuldebroer. Detaljetegninger er ikke udleveret i forbindelse med nærværende analyser, hvorfor vurderingen af kuldebroer er foretaget på baggrund af hoved-snittegninger, og er således forbundet med relativ stor usikkerhed.

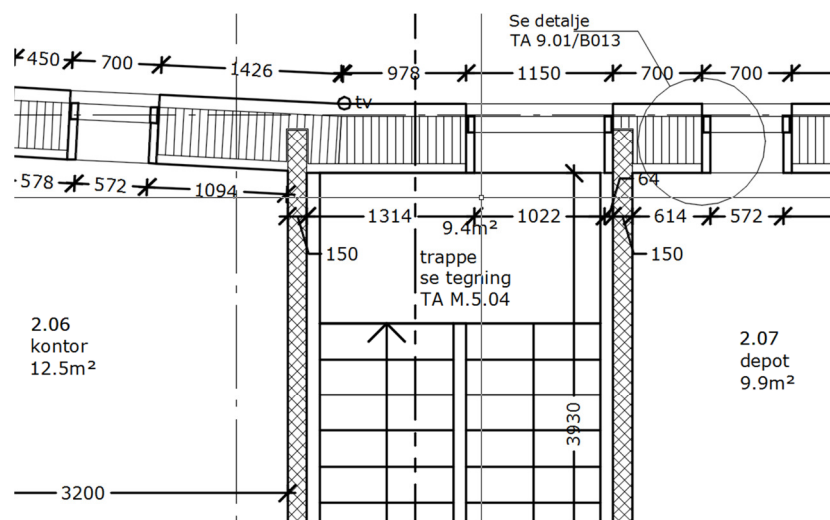
Nedenstående figur viser et snit med en etageadskillelse i beton, der næsten gennembryster isoleringslaget i ydervæggen. Kuldebroafbrydelse forudsættes udført i trykfast isolering.



Figur 1: Snit af etageadskillelse ved ydervæg, Bygning A

Nedenstående figur viser tunge indervægges gennembrydning af ydervægsisolering. Kuldebroafbrydelsen er forudsat udført i almindelig mineraluld.

Der er i parameteranalyserne forudsat 5 % træ i kassetter, med isolering med varmeledningsevne, λ , på 0,037 W/mK.



Figur 2: Udsnit af plan, som illustrerer betonvægges gennembrydning af ydervægsisolering, Bygning A.

4.3.1.3. Eksempel: Klimaskærm ændret under udførelse

Bygning C

Ved gennemgang af energirammeberegning og arkitektsnit for bygningen fremgår det, at tagisolering er projekteret bedre end beregnet, idet der beskrives isolering med 200 mm i notat tilhørende energirammeberegning, mens der på snittegning er beskrevet en isoleringstykkelse på 265 mm.

Samtidig er det ved bygningsgennemgang oplyst, at isoleringstykkelsen er udført med 100 mm mere end planlagt, da dette viste sig ikke at medføre en merpris ved udførelse ifølge kommunens projektleder på sagen.

Hvis disse oplysninger kombineres, og den udførte isoleringstykkelse er 365 mm i stedet for 200 mm, betyder det, at U-værdien for tagkonstruktionen bliver ca. 0,10 W/m²K, fremfor den forudsatte 0,18 W/m²K, hvilket svarer til en afvigelse på ca. 43 %. Det beregnede energibehov til rumopvarmning reduceres derved med ca. 13 %.

Denne korrektion vurderes at være den væsentligste årsag til, at det realiserede energiforbrug for bygningen har vist sig at være lavere end beregnet.

4.3.2. Linietaf ved fundamenter og vinduer mv.

Linietaf er et interessant tema i forhold til forskelle imellem praksis for energiberegninger og praktisk udførelse, idet der kræves en betragtelig indsats for at validere inputtet til energirammeberegninger for linietafene. For at kvalificere inputtet skal der udføres detaljerede 2D-varmestrømsberegninger for de forskellige detaljer, som der kan være mange af afhængigt af kompleksiteten i den enkelte byggesag. Derfor benyttes som udgangspunkt standardværdier ved opslag i normer, mens de faktiske detaljeløsninger bliver stadig mere komplekse og skræddersyede i takt med, at kravene til varmetabet fra disse skærpes, hvilket bevirker, at beregningen efter standardværdier bliver stadig mere usikker.

Samtidig er ansvaret for projekteringen af detaljerne ofte placeret langt fra den part, som udfører energirammeberegningen, og i de tilfælde, hvor detaljer først udarbejdes efter energirammeberegningen, viser det sig ofte vanskeligt at få afstemt forudsætninger og virkelighed.

Nedenfor fremgår resultat af parameteranalyser for linietaf fra henholdsvis fundamenter og vinduer i bygningerne.

Table 9: Parameteranalyse for varmetabskoefficienter (U-værdier) af de forskellige bygningsdele i klimaskærmen for de undersøgte bygninger.

	Parameter	Parameter-Værdi		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A							
Projekt (Reference)	Længde af linietaf - fundamenter	111 m					
	Linietafskoefficient - fundamenter	0,10 W/mK	Energiforbrug	22,42	7,95	3,02	39,8
	Længde af linietaf - vinduer	396 m					
Linietafskoefficient - vinduer	0,02 W/mK						
Aktuel	Længde af linietaf - fundamenter	110 m	Energiforbrug	-	-	-	Vurderet som ingen afvigelse
	0,2%		Afvigelse	-	-	-	
Aktuel	Linietafskoefficient - fundamenter	0,13 W/mK	Energiforbrug	22,64	7,95	2,99	40,0
	30,0%		Afvigelse	1,0%	0,0%	-1,0%	0,5%
Aktuel	Længde af linietaf - vinduer	397 m	Energiforbrug	-	-	-	Vurderet som ingen afvigelse
	-0,50%		Afvigelse	-	-	-	
Aktuel	Linietafskoefficient - vinduer	0,03 W/mK	Energiforbrug	22,69	7,95	2,98	40
	50,0%		Afvigelse	1,2%	0,0%	-1,3%	0,5%
Bygning B							
Projekt (Reference)	Længde af linietaf - fundamenter	164 m					
	Linietafskoefficient - fundamenter	0,28 W/mK	Energiforbrug	0	7,46	0	17,9
	Længde af linietaf - fundamenter	373 m					
Linietafskoefficient - fundamenter	0,044 W/mK						
Aktuel	Længde af linietaf - fundamenter	167 m	Energiforbrug	0	7,38	0	17,9
	2,0%		Afvigelse	-	0,3%	-	0,0%
Aktuel	Linietafskoefficient - fundamenter	0,34 W/mK	Energiforbrug	0	7,59	0	18,4
	20,4%		Afvigelse	-	3,1%	-	2,8%
Aktuel	Længde af linietaf - vinduer	422 m	Energiforbrug	0	7,37	0	17,9
	12,9%		Afvigelse	-	0,1%	-	0,0%
Aktuel	Linietafskoefficient - vinduer	0,037 W/mK	Energiforbrug	0	7,32	0	17,7
	-16,0%		Afvigelse	-	-0,5%	-	-1,1%
Bygning C							
Projekt (Reference)	Længde af linietaf - fundamenter	130 m					
	Linietafskoefficient - fundamenter	0,20 W/mK	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Længde af linietaf - fundamenter	314 m					
Linietafskoefficient - fundamenter	0,03 W/mK						
Aktuel	Længde af linietaf - fundamenter	139 m	Energiforbrug	52,31	33,09	7,06	76,5
	7,3%		Afvigelse	0,3%	0,0%	-0,4%	0,1%
Aktuel	Linietafskoefficient - fundamenter	0,31 W/mK	Energiforbrug	53,36	33,09	6,92	77
	54,9%		Afvigelse	2,3%	0,0%	-2,4%	0,8%
Aktuel	Længde af linietaf - vinduer	292 m	Energiforbrug	52,1	33,09	7,09	76,4
	-7,1%		Afvigelse	-0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Aktuel	Linietafskoefficient - vinduer	0,00 W/mK	Energiforbrug	51,37	33,09	7,2	76,0
	-100%		Afvigelse	-1,5%	0,0%	1,6%	-0,5%

* Samlet sammenvæjet energibehov til bygningsdrift med sammenvæjningsfaktorer iht. BR2010.

Som det fremgår ovenfor er indvirkningen af afvigelser i forhold til input til linietaf generelt meget begrænset, med største afledte afvigelser i varmeforbrug på ca. 2 %.

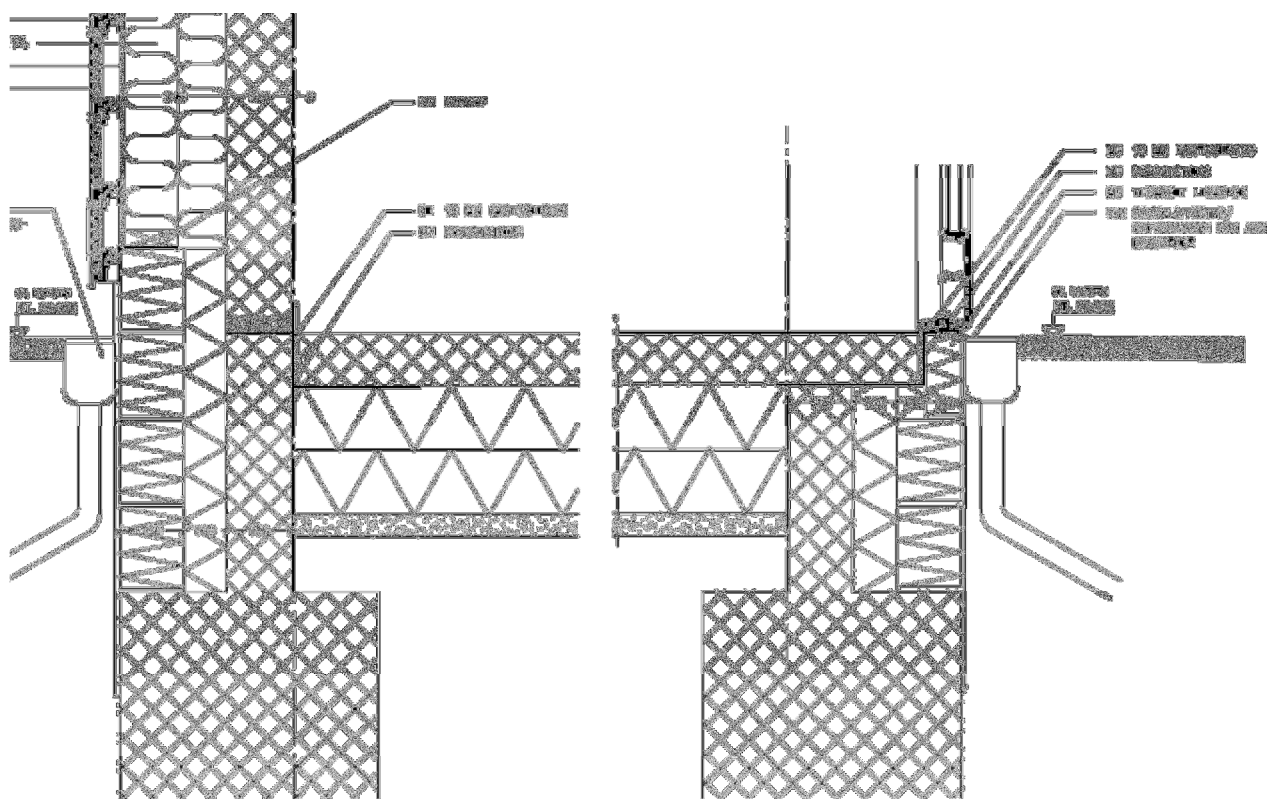
4.3.2.1. Note: Fejlvurdering af linietaf ved fundamenter + lokal kuldebro ved døre.

Bygning C

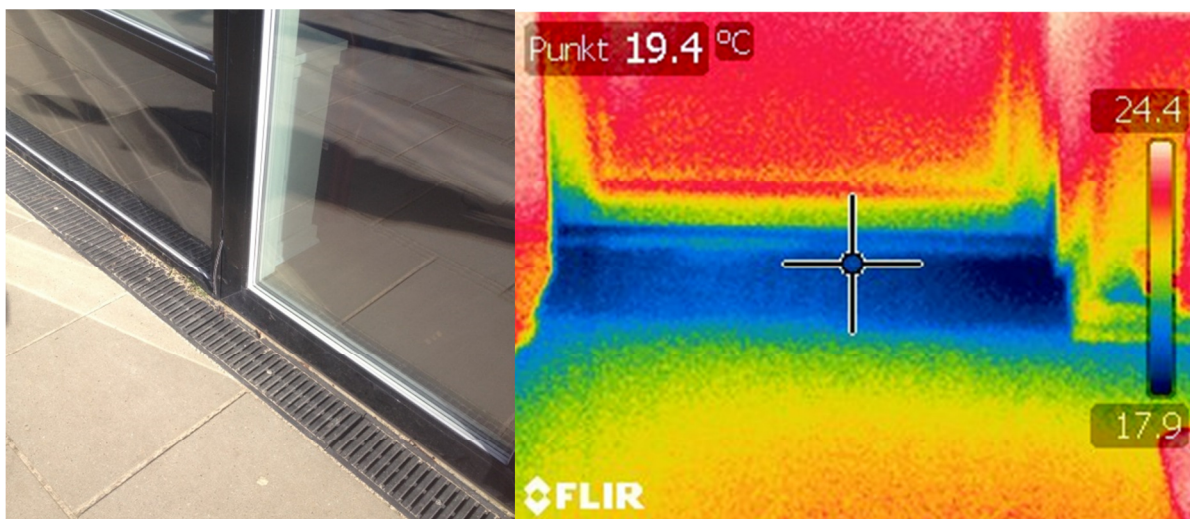
I energirammeberegningen er der forudsat et linietaf ved alle fundamenter på 0,20 W/mK, mens linietafskoefficienten for den udførte generelle randfundamentsløsning vurderes at være 0,29 W/mK.

Bygningen er udført med udvendige dørpartier, som flugter med ydervæggens udvendige side. Her er det tydeligt, at der er en markant kuldebro ved niveaufrit dørtrin, som vurderes at være 0,52 W/mK. Linietaf er bestemt ved addition af standardværdier for linietaf ved henholdsvis fundamentets opbygning og dørens indbygning.

Det midlede gennemsnit for linietaf ved fundamentsløsning langs rand inkl. under yderdøre er dermed bestemt til 0,31 W/mK. Denne værdi er anvendt i parameteranalysen for linietaf på den pågældende bygning.



Figur 3: Projekteret fundamentsløsning under ydervæg (tv), og fundamentsløsning under dørpartier (th).



Figur 4: Billede af afgangsløsning ved dørpartier udefra (tv), og termografi af samme løsning indefra (th) – udetemperatur 10 °C.

4.3.3. Skygger

Skygger er et punkt i energiberegningen, som kan være forbundet med en væsentlig usikkerhed, særligt i det tilfælde at der bygges i et nyt område med eventuelle fremtidige nabobygninger. Eksterne skygger fra for eksempel træer og lignende er desuden ofte uklart på tidspunktet for udførelse af Be10 beregningen. Samtidig er implementeringen af skygger i beregningen temmelig grov/simplificeret med afskæringsvinkler fra horisont og udhæng samt venstre og højre side.

I de gennemgåede beregninger lader det til at der er tilstræbt at forenkle beregningerne mest muligt, med så få forskellige typer skygge som muligt, i bytte for at skyggerne for en del af ruderne må forventes at være regnet lettere konservativt.

4.3.4. Infiltration

4.3.4.1. Tæthed af klimaskærm

I en energirammeberegning implementeres bygningens tæthed indirekte gennem angivelse af en værdi for bygningens infiltration. Infiltrationen bestemmes i energirammeberegninger gennem formlen:

	Infiltration, q_{inf} (l/s/m ²)
indenfor brugstid	$0,06 \times q_{50} + 0,04$
udenfor brugstid	$0,06 \times q_{50}$

q_{50} er luftgennemstrømningen i bygningen i l/s/m² målt ved en trykforskel på 50 Pa (over- og undertryk).

Faktoren på 0,06 benyttes til at oversætte den målte utæthed af klimaskærmen ved en trykforskel på 50 Pa som ved blowerdoor test af de faktiske forhold. I det realiserede energiforbrug for en given bygning vil den faktiske infiltrationsfaktor afhænge af, hvor udsat bygningens forskellige overflader er for vind under faktiske forhold. Ifølge SBI svarer 0,06 i infiltrationsfaktor til et typisk dansk parcelhus uden aftrækskanaler, i åbent landskab, omgivet af beplantning og andre huse i ½ højde af det aktuelle hus i typisk dansk klima med en gennemsnitlig vindhastighed på 4,5 m/s og en gennemsnitlig udetemperatur på 1,5 C i opvarmningssæsonen (kilde: www.sbi.dk/miljo-og-energi/energibesparelser/energikrav-i-bygningsreglement-for-faeroerne/sbi-2013-23/at_download/file).

Klimaskærmens tæthed er et tema, som er stærkt mistænkt for at give anledning til uoverensstemmelser imellem beregning og virkelighed af to årsager. Dels er der en mistanke om, at den hidtidige praksis for dokumentation af klimaskærmens tæthed, med krav til kontrol i en vis procentdel af byggeriet, og med en praksis hvor kontrollen kan udføres på et mindre bygningsudsnit, langt fra er tilstrækkelig til at sikre klimaskærmens faktiske tæthed. Dels kan man stille spørgsmålstegn ved, hvor længe bygninger, som følge af slid af vinduer og døre mm., bevarer deres tæthed, efter at kontrollen er udført.

Der er udført en parameteranalyse for klimaskærmens tæthed. Resultaterne heraf er angivet nedenfor.

Tablet 10: Parameteranalyse for klimaskærmens tæthed for de undersøgte bygninger.

Infiltration Indenfor / udenfor brugstid [l/s/m ²]		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
0,069/0,029 (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
0,098/0,058 Tæthed x 2	Energiforbrug	24,86	7,97	2,8	41,8
	Procentvis afvigelse	12,2%	0,4%	-8,5%	5,6%
Bygning B					
0,09/0,06 (reference)	Energiforbrug	0	6,84	0	16,6
0,1228/0,0828 som dokumenteret	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	7,6%	-	7,8%
0,1435/0,1035 som dokumenteret x 1,25	Energiforbrug	0	7,8	0	18,9
	Procentvis afvigelse	-	14,0%	-	13,9%
Bygning C					
0,13/0,09 (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
0,1625/0,1125 Tæthed x 1,25	Energiforbrug	56,83	33,1	6,66	78,7
	Procentvis afvigelse	9,0%	0,0%	-6,1%	3,0%

* Samlet sammenvæjet energibehov til bygningsdrift med sammenvæjningsfaktorer iht. BR2010.

Som det fremgår af tabellen ovenfor kan sandsynlige afvigelser i klimaskærmens tæthed afstedkomme et øget energiforbrug til opvarmning på ca. 10 %, hvorfor klimaskærmens tæthed betragtes som en væsentlig parameter for bygningers realiserede energiforbrug.

4.3.4.2. Note: manglende opfølgning på krav til klimaskærmens tæthed

Bygning B

For en af de gennemgåede bygninger, bygning B, fremgik det, at den udførte blowerdoor-test for bygningen ikke efterlevede kravet til klimaskærmens lufttæthed for den pågældende lavenergiklasse. I det pågældende tilfælde konstaterer rapporten for eftervisning af klimaskærmens tæthed følgende:

"Med et resultat på gennemsnitlig 1,38 l/s/m² ved 50pa, overtryk/undertryk kan det konkluderes, at bygningsreglementet BR-10 er overholdt."

I det konkrete tilfælde er bygningen opført i lavenergiklasse 2015 iht. BR10, hvor luftstrømmen max må være 1,0 l/s/m² ved blowerdoor test, hvilket ikke er opfyldt. Den dokumenterede tæthed er anvendt som parametervariation i Tabel 10 "som dokumenteret".

4.3.4.3. Naturlig ventilation ved tilfældigt opluk af døre og vinduer

Den naturlige ventilation af en bygning, som forekommer ved tilfældigt opluk af døre og vinduer, er indbygget som et tillæg til tætheden af klimaskærmen ved infiltration på 0,04 l/s/m² i brugstiden. Baggrunden for den valgte faktor kendes ikke, men det må formodes, at tillægget i en realiseret situation for bygningen kan variere meget afhængigt af hvordan, og af hvem, den anvendes. Faktoren fungerer reelt i beregningen som en standardbelastning, eller proxyforbrug, som er indrettet efter grænseværdien for energirammerne, snarere end at være et repræsentativt tal for den faktiske bygning.

4.4. Installationer

4.4.1. Ventilation

Ifølge interviews er ventilationen et særligt fokuspunkt i forhold til uoverensstemmelser mellem beregninger og virkelighed. Umiddelbart er der flere forklaringer på dette. For at repræsentere driften af et relativt komplekst ventilationssystem med bl.a. luftmængder som løbende reguleres efter den aktuelle brug på rum-niveau, skal der gøres nogle temmelig grove betragtninger om brugen af bygningen som helhed. Dette kombineret med, at energiforbruget til ventilation varierer med luftmængden i anden potens, bevirker, at der er en vis risiko for, at energiforbruget til ventilation fejlestimeres, og hvis denne effekt undervurderes, kan el-forbruget til ventilation stige hurtigt.

Dertil kommer, at driftstiden for ventilation i bygninger i virkelighedens verden næsten altid langt vil overstige bygningens brugstid, hvilket der ikke tages højde for i energirammeberegninger. Samtidig gør problematikken omkring teoretisk optimal, og realistisk styring af et ventilationssystem i praksis sig i høj grad gældende.

Nedenfor fremgår resultater af en parameteranalyse i forhold til ventilation i bygningerne. Det er forudsat, at driftstiden kan blive op til 50% højere end den forudsatte brugstid af bygningen på 45 timer, samt at ventilationsmængden kan blive op til 20% højere end beregnet under faktiske forhold.

Tabel 11: Parameteranalyse for driftstidsfaktoren, Fo, for ventilationen i bygningerne.

Fo		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
1	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
1,5	Energiforbrug	25,84	9,28	0	43,1
	Procentvis afvigelse	16,6%	16,9%	-100,0%	8,8%
Bygning B					
1	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
1,5	Energiforbrug	0	8,94	0	21,7
	Procentvis afvigelse	-	21,5%	-	21,2%
Bygning C					
1	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
1,5	Energiforbrug	69,51	38,07	0	88,6
	Procentvis afvigelse	33,3%	15,0%	-100,0%	16,0%

* Samlet sammenvejlet energibehov til bygningsdrift med sammenvejningsfaktorer iht. BR2010.

Som det fremgår af tabellen ovenfor, er det beregnede energiforbrug følsomt overfor en tænkelig øget driftstid for ventilationen med 50%, med en forøgelse af det samlede sammenvejede energiforbrug på op til ca. 20%. Ventilationsmængden er forøget for den mekaniske ventilation i både opvarmningssæsonen (qm), og udenfor opvarmningssæsonen (qm,s)

Tabel 12: Parameteranalyse for ventilationsmængden, qm+qm,s, i bygningerne.

qm / qm,s [l/s pr m ²]		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
0,78 / 0,78 (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
0,936/0,936	Energiforbrug	22,87	8,47	2,67	41
	Procentvis afvigelse	3,2%	6,7%	-12,7%	3,5%
Bygning B					
0,29 / 0,29 (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
0,34	Energiforbrug	0	7,52	0	18,2
	Procentvis afvigelse	-	2,2%	-	1,7%
Bygning C					
1,20 / 1,20 (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
1,44 / 1,44	Energiforbrug	55,19	35,08	5,98	80,1
	Procentvis afvigelse	5,8%	6,0%	-15,7%	4,8%

Afvielser af ventilationsmængden vurderes at have en moderat indvirkning på det resulterende energiforbrug, med forøgelser af både varme- og el-forbruget på op til 6-7 %, mens det sammenvejede energiforbrug ikke slår så kraftigt ud. Årsagen til dette er, at merforbruget til den højere ventilationsmængde modvejes af en mindre beregningsmæssig straf for overtemperaturer. Under antagelse af at der ikke er etableret køling for at afhjælpe overtemperaturer, vil en højere luftmængde i praksis afstedkomme en højere stigning i realiseret energiforbrug, end det kan aflæses af det sammenvejede energiforbrug jf. BR2010. Til gengæld vil det termiske indeklima forbedres.

4.4.1.1. Note: Tvivlsom ventilationsmængde

Bygning A

Beregningsmæssigt er der benyttet en ventilationsmængde i det mekaniske ventilationsanlæg i bygningen på 0,78 l/s/m² i bygningens brugstid. Det absolutte mindstekrav for ventilationsmængden i den pågældende bygning med aktuelt brug i henhold til bygningsreglementet BR10 kan udregnes til 0,71 l/s/m². I de fleste bygninger vil bygningsreglementets mindstekrav være langt utilstrækkelige, og da den projekterede ventilationsmængde er meget tæt på mindstekravet, vurderes den beregnede ventilationsmængde at være lavt sat. Desværre er installationsprojekt ikke blevet udleveret i forbindelse med nærværende analyse, og den projekterede ventilationsmængde kan derfor ikke bestemmes endegyldigt, men blot vurderes ved overslag.

4.4.1.2. Note: Elforbrug til emhætte indregnet i energiramme

Bygning A

Bygningsreglementet beskriver, at beregning af energiforbrug til emhætter kan tilsidesættes, såfremt det årlige elforbrug til lufttransport er mindre end 400 kWh, eller at det er et anlæg knyttet til "industrielle processer". Imidlertid udtaler SBI, at der mere generelt kan ses bort fra emhætter:

"Der ses bort fra emhætter, som kun kører en mindre del af brugstiden. Det gælder uanset, om der i øvrigt er naturlig eller mekanisk ventilation."

Kilde: <http://sbi.dk/miljo-og-energi/energiberegning/anvisning-213-bygningers-energi behov/faq/faq-til-be06-beregningsmetoden>

På trods af en udbredt generel opfattelse af at energiforbrug til emhætter ikke indregnes i energirammen, indgår der i denne beregning et energiforbrug hertil. Dog er der kun valgt at indregne elforbruget til emhætten, mens det øgede varmetab er tilsidesat, idet der indregnes en fiktiv varmegenvindingsgrad på 100 % for emhætten.

Nedenstående tabel viser, hvad den valgte metode for beregning af emhætter har at betydning for henholdsvis varme, og elforbrug

Tabel 13: Betydning af hensyntagen til emhætte i energiberegning.

Indregning af emhættedrift i energiberegning		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
Inkl. el Ekskl. varmetab (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
Ekskl. el Ekskl. varmetab	Energiforbrug	22,08	7,76	3,14	39,2
	Procentvis afvigelse	-0,4%	-2,3%	2,6%	-1,0%
Inkl. el Inkl. varmetab	Energiforbrug	23,66	7,94	3,06	40,9
	Procentvis afvigelse	6,8%	0,0%	0,0%	3,3%

En lille ting som indregning af en enkelt emhætte i bygningen afslører altså et ikke uvæsentligt ekstra varmeforbrug på 7 % af bygningens varmeforbrug i reelt brug, som ifølge SBI skal tilsidesættes i beregningen!

4.4.2. Belysning

Belysning er nok det energiforbrug i bygningen, som har undergået den største udvikling i forhold til energireduktion i løbet af de sidste 10 år. Dermed udgør belysningen i dag en mindre belastning for energirammen, end det tidligere har været tilfældet. Det er dog ikke til at komme udenom, at belysningen fortsat udgør en væsentlig post i energiregnskabet, og at forkert henregning af belysning vil have en væsentlig betydning for energiforbruget. Parameteranalysen for den installerede effekt til belysning er vist nedenfor.

Table 14: Parameteranalyse for den installerede effekt til almenbelysning i bygningerne.

Installeret effekt af belysning		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
3,4 W/m ²	Energiforbrug	22,95	6,61	3,06	37,3
	Procentvis afvigelse	3,6%	-16,8%	0,0%	-5,8%
5,4 W/m ² (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
3,4 W/m ²	Energiforbrug	21,41	9,27	3,06	41,8
	Procentvis afvigelse	-3,4%	16,8%	0,0%	5,6%
Bygning B					
6 W/m ²	Energiforbrug	0	6,75	0	16,4
	Procentvis afvigelse	-	-8,3%	-	-8,4%
8 W/m ² (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
10 W/m ²	Energiforbrug	0	7,98	0	19,4
	Procentvis afvigelse	-	8,4%	-	8,4%
Bygning C					
8 W/m ²	Energiforbrug	53,84	30,57	6,94	73,8
	Procentvis afvigelse	3,2%	-7,6%	-2,1%	-3,4%
10 W/m ² (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
12 W/m ²	Energiforbrug	50,5	35,62	7,24	79
	Procentvis afvigelse	-3,2%	7,6%	2,1%	3,4%

* Samlet sammenvæjet energibehov til bygningsdrift med sammenvæjningsfaktorer iht. BR2010.

Som det fremgår af ovenstående kan en tænkelig afvigelse på den installerede effekt til belysning afstedkomme en ændring i elforbrug i størrelsesordenen 7-17 %, for de tre bygninger, samt en ændring i varmekonsum på ca. 3,5 %.

I forhold til afvigelser i belysningseffekt imellem beregning og virkelighed kan der stilles spørgsmålstegn ved, om der altid optræder den nødvendige koordinering omkring beregningsforudsætninger og opstilling af krav for belysningen, da der her, ligesom for andre poster i energiregnskabet, kan være en kløft imellem energirådgiveren, som gør forudsætningerne, og den projekterende, som opstiller kravene.

Tabel 15: Parameteranalyse for driftstidsfaktor, Fo, for belysningen i bygningerne.

Fo		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
0,9 (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
1	Energiforbrug	21,94	8,32	3,06	40,2
	Procentvis afvigelse	-1,0%	4,8%	0,0%	1,5%
Bygning B					
0,47 (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
0,76	Energiforbrug	0	9,17	0	22,2
	Procentvis afvigelse	-	24,6%	-	24,0%
Bygning C					
1 (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
0,8	Energiforbrug	53,55	31,13	7,03	74,5
	Procentvis afvigelse	2,7%	-5,9%	-0,8%	-2,5%

* Samlet sammenvejlet energibehov til bygningsdrift med sammenvejningsfaktorer iht. BR2010.

I bygning A og C kan en tænkelig forskel i driftstid medføre en afvigelse i el-forbrug på ca. 5 %. I bygning B flytter elforbruget sig radikalt, hvis man kigger på den procentvise afvigelse. Dette skyldes især, at bygningen i høj grad forsynes med el fra egen produktion fra solceller, hvormed moderate ændringer i elforbruget vil tegne sig for meget store procentvise afvigelser, hvilket der skal tages forbehold for i tolkning i resultatet.

4.4.2.1. Note: Konservativt bud på energiforbrug til belysning

Bygning C

Belysning er beregnet med en installeret effekt på almenbelysning svarende til knap 10 W/m², mens det ved gennemgang af projektmateriale vurderes at være mindre end 5 W/m². Samtidig er der indtastet 2 W/m² som effekt til arbejdslamper i bygningen, mens der for den realiserede situation ikke vurderes at være belysning som arbejdslamper, idet der ved bygningsgennemgang hverken er registreret arbejdslamper eller tavlebelysning. Ved justering af arbejdsbelysning fra 2 W/m² til 0 W/m², samt justering af almenbelysning fra 10 W/m² til 5 W/m² er der tale om en meget stor difference imellem den i energirammeberegningen forudsatte belysningseffekt, og den vurderede faktisk installerede lyseffekt. Reelt er reduktionen i belysningseffekt 58 % af den forudsatte. Forudsat at den revurderede belysningsaffekt er korrekt, må den oprindeligt forudsatte belysningseffekt konstateres som en voldsom overestimering.

I forhold til SBI's anvisning for beregningsmetoden til energirammeberegninger er der dog intet, der taler imod at regne så meget på den sikre side, som det her er tilfældet. Årsagen til den vurderede overestimering af effekten til belysning kan enten være et at der bevidst er benyttet et konservativt estimat i den oprindelige beregning grundet usikkerheder, eller at der siden udarbejdelsen af energirammeberegningen er opstået et ønske om at optimere på bygningens belysningsanlæg, hvormed

forudsætningen for den oprindelige energirammeberegning på et tidspunkt under projekteringen er blevet forældet.

Table 16: Betydning af konservativt forudsat vs. Realiseret vurderet energiforbrug til belysning

Installeret effekt af belysning		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning C					
10+2 W/m ² (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
5+0 W/m ²	Energiforbrug	59,63	19,77	4,94	61,4
	Procentvis afvigelse	14,3%	-40,3%	-30,3%	-19,6%

* Samlet sammenvejet energibehov til bygningsdrift med sammenvejningsfaktorer iht. BR2010.

4.4.3. Mekanisk køling

Implementering af mekanisk køling vurderes at kunne være en væsentlig parameter for beregnet vs. realiseret energiforbrug. Specielt i forhold til samstyring med de øvrige anlæg, særligt opvarmning og ventilation.

Der er imidlertid ikke implementeret mekanisk køling i nogle af de undersøgte bygninger, hvorfor det er fravalgt at behandle mekanisk køling yderligere i denne rapport.

4.4.4. Varmefordelingsanlæg (rør og pumper)

Implementeringen af varmfordelingsanlæg (rørtab, og dertil hørende pumper) vurderes at have en beskeden indvirkning på energiforbruget. Med de gældende krav til teknisk isolering vurderes utilsigtet ureguleret opvarmning reelt at være afhjulpet, mens pumpedrift udgør et meget beskedent bidrag til bygningens energiforbrug.

Undtagelsen for ovenstående er ved placering af varmeledninger udenfor den opvarmede del af bygningen. Her kan varmetabet hurtigt vise sig at medføre et uønsket og overraskende højt energiforbrug.

Udeliggende ledninger kan ligeledes medføre store vanskeligheder med at efterleve energirammen for lavenergibyggeri. Desværre er det let at forestille sig en situation, hvor udeliggende ledninger af udførelsmæssige årsager besluttet som løsning til f.eks. ventilationsvarmeblader over tag eller som fremføring af varmeledninger under terrændæk sent i processen, uden at dette bliver indarbejdet i energirammeberegningerne, som er udført og færdiggjort i en tidligere fase. Denne problematik er ikke indarbejdet yderligere i denne rapport.

4.4.5. Varmt brugsvand

Varmt brugsvand er endnu en post i energirammeberegningen, der som udgangspunkt vil variere meget fra den ene realiserede bygning til den anden, afhængig af den aktuelle brug. I forhold til energirammeberegningen er det dog den gængse opfattelse, at varmtvandsforbruget betragtes som en fastlåst størrelse, hvoraf energirammen er defineret. Dermed er det som udgangspunkt ikke meningen, at posten skal analyseres i forhold til den enkelte bygning og det realiserede energiforbrug, endda ikke selv om der ikke engang produceres varmt vand i bygningen.

Som udgangspunkt anvendes et standardiseret varmtvandsforbrug på 100 l/m² pr. år for bygninger i kategorien "andet", da et højere forbrug ville udløse et tillæg til energirammen, svarende til energien forbundet med varmtvandsproduktion udover de 100 l/m² pr. år, og et lavere energiforbrug ville skævvride skalaen for det beregnede energiforbrug i forhold til overholdelse af bygningsreglementets bestemmelser.

Der er udarbejdet en parameteranalyse for varmtvandsproduktion på $100 \pm 50 \text{ l/m}^2$ pr år for de analyserede bygninger. Resultatet heraf er vist nedenfor:

Table 17: Parameteranalyse for varmtvandsforbruget i bygningerne.

Varmtvandsforbrug [l/m ² pr. år]		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning A					
50	Energiforbrug	19,17	7,94	3,06	36,9
	Procentvis afvigelse	-13,5%	0,0%	0,0%	-6,8%
100 (reference)	Energiforbrug	22,16	7,94	3,06	39,6
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
150	Energiforbrug	25,15	7,94	3,06	42,2
	Procentvis afvigelse	13,5%	0,0%	0,0%	6,6%
Bygning B					
50	Energiforbrug	0	6,92	0	16,8
	Procentvis afvigelse	-	-6,0%	-	-6,1%
100 (reference)	Energiforbrug	0	7,36	0	17,9
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
150	Energiforbrug	0	7,81	0	18,9
	Procentvis afvigelse	-	6,1%	-	5,6%
Bygning C					
50	Energiforbrug	47,28	33,09	7,09	73,8
	Procentvis afvigelse	-9,4%	0,0%	0,0%	-3,4%
100 (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
	Procentvis afvigelse	-	-	-	-
150	Energiforbrug	57,03	33,09	7,09	79
	Procentvis afvigelse	9,3%	0,0%	0,0%	3,4%

* Samlet sammenejet energibehov til bygningsdrift med sammenejningsfaktorer iht. BR2010.

Forbruget af varmt brugsvand har en moderat betydning for energiforbruget med en ændring i varmeudgift på mellem 6 og 14 % for de tre forskellige bygninger, og ændring i samlet sammenejet energiforbrug på ca. 5 % i gennemsnit.

Imidlertid er det ikke utænkeligt, at det der ikke altid tages højde for ekstrem-situationerne i beregningsmetoden ved udarbejdelse af energirammeberegninger, f.eks. for svømmehaller. I svømmehaller vil varmtvandsforbruget være markant højere end de beskrevne standardværdier. Hvis der skal tages højde herfor i forhold til det realiserede energiforbrug, skal det faktiske forbrug anslås/afdækkes, og der skal indarbejdes et tillæg til det øgede energiforbrug i beregningen.

En anden mulig energisnyder ift. det realiserede energiforbrug er det tilfælde, hvor der forekommer ledninger med cirkulation af varmt brugsvand, som ikke er indarbejdet i beregningen. Denne situation kan forekomme, da projekteringen af cirkulationsledninger, sammen med andre tekniske forhold i denne detaljeringsgrad, ofte hører kommer i en fase senere end udarbejdelsen af en energirammeberegning.

4.4.5.1. Note: Cirkulationstab udeladt i beregning

Bygning C

Af VVS projektet fremgår det, at der i bygningen er etableret cirkulation af varmt brugsvand. I energirammeberegning er der ikke regnet med cirkulation af varmt brugsvand, hvilket betyder, at varmetabet herfra ikke medregnes, hvorfor det beregnede varmebehov bliver for lavt.

Tabel 18: Betydning af udeladte rørstræk med cirkulationstab i beregning.

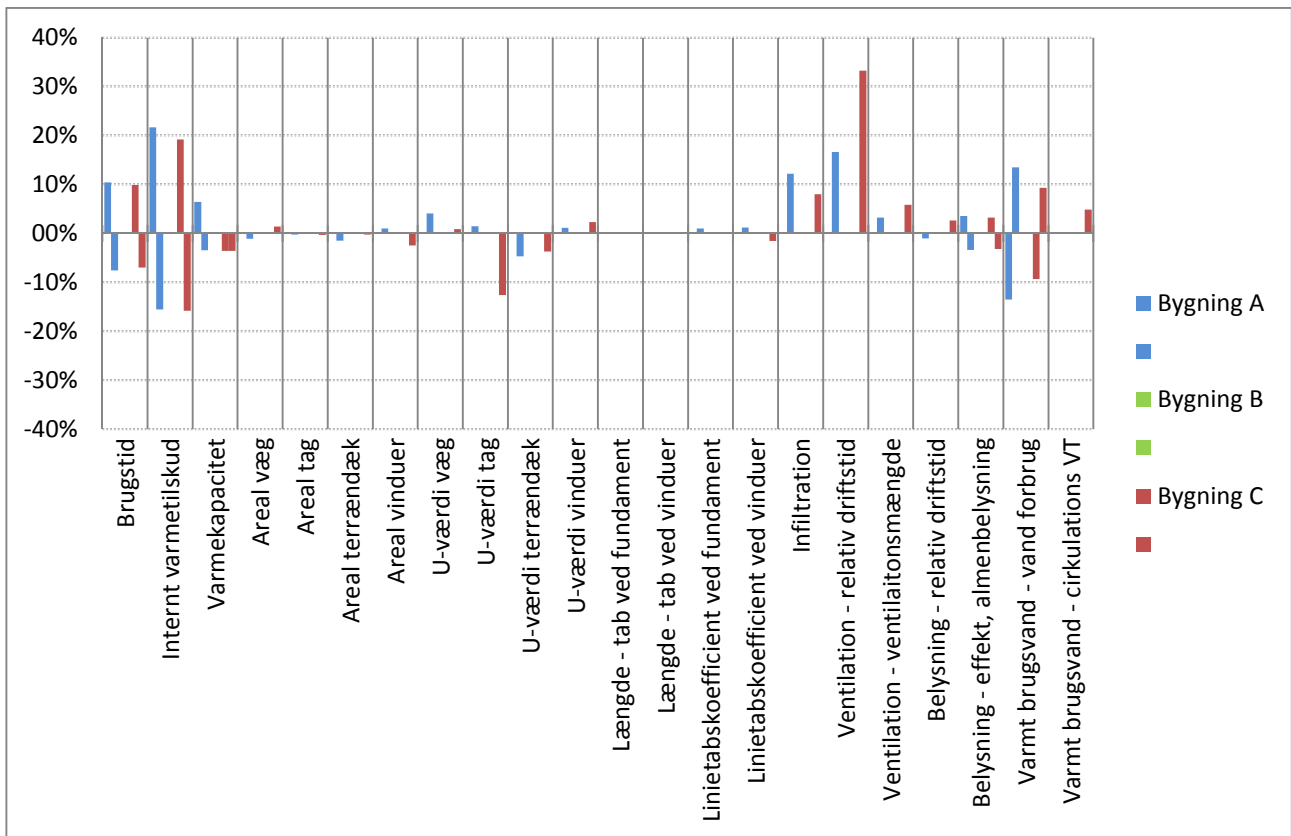
Cirkulationstab		Varme [MWh]	El [MWh]	Overtemp [MWh]	Energiforbrug BR2010* [kWh/m ² pr. år]
Bygning C					
Ingen cirkulations- ledninger (reference)	Energiforbrug	52,16	33,09	7,09	76,4
80 m rør med varmetab 0,18 W/mK)	Energiforbrug	54,7	33,09	8,15	78,4
	Procentvis afvigelse	4,9%	0,0%	15,0%	2,6%

* Samlet sammenejet energibehov til bygningsdrift med sammenejningsfaktorer iht. BR2010.

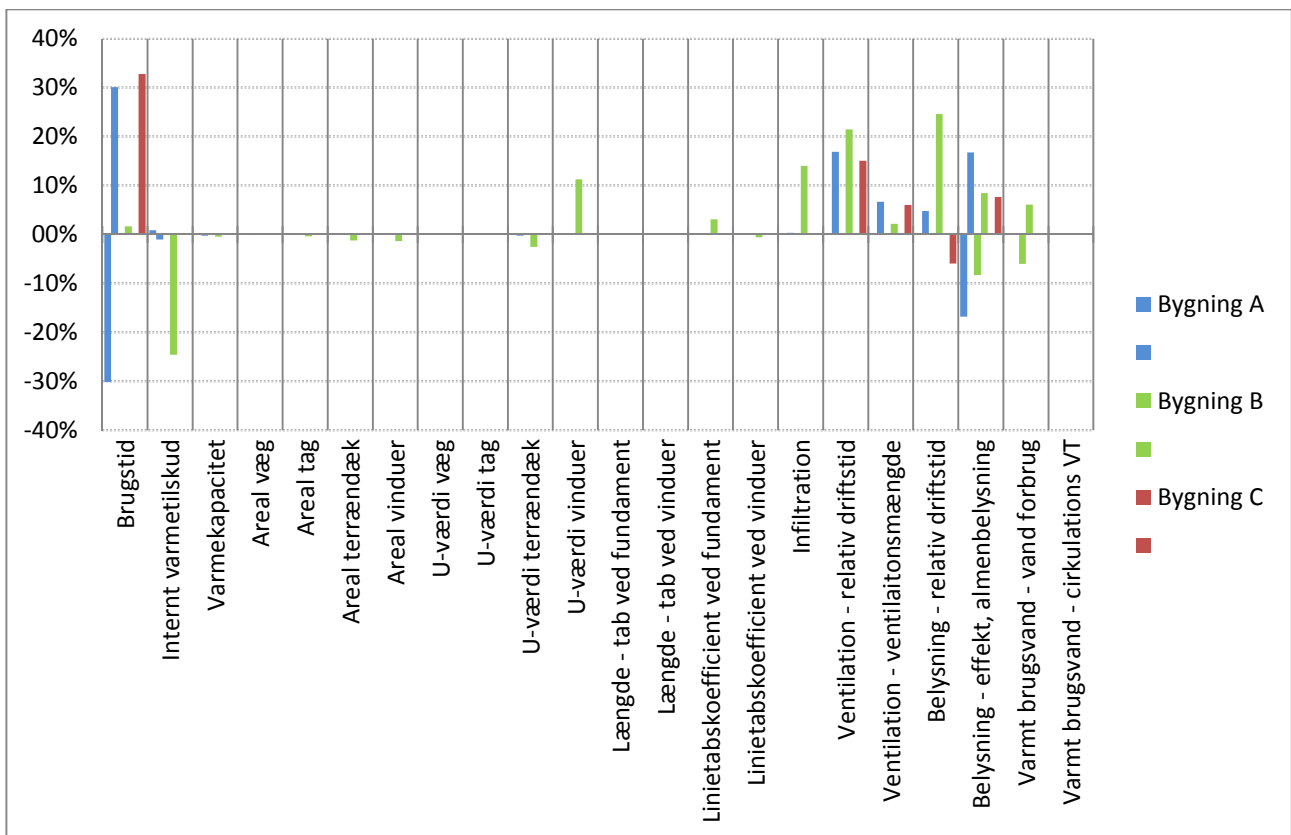
Der er regnet med en gennemsnitsdimension på rør på 22 mm, og samt 30 mm teknisk isolering. Som det fremgår af ovenstående, repræsenterer de glemte cirkulationsledninger en forøgelse på 5 % af bygningens samlede varmeforbrug, hvilket ikke er en uvæsentlig andel. Samtidig forårsager varmeledningerne en uønsket forøgelse af overtemperatur i bygningen.

4.5. Samlet resultat af parameteranalyse

Nedenstående figurerne viser nogle samlede oversigter over de afledte ændringer i energiforbrug til henholdsvis opvarmning og el for alle undersøgte parametre og viser således også, hvor følsomt energiforbruget i de tre case-bygninger er overfor de mulige udsving indenfor de enkelte parametre.



Figur 5: Følsomhedsanalyse: Resulterende varmeforbrug afledt af mulige ændringer for de undersøgte inputparametre.



Figur 6: Følsomhedsanalyse: Resulterende elforbrug afledt af mulige ændringer for de undersøgte inputparametre.

Figurene understreger, at de mest afgørende parametre for det resulterende energiforbrug er dem, som umiddelbart er forbundet med den realiserede brug af bygningen: bygningens brugstid, det interne varmetilskud, driftstider for ventilation og belysning, samt det realiserede varmvandforbrug. Udsving på poster som effekten af almenbelysning, infiltrationen, og ventilationsmængden har en moderat virkning på det resulterende energiforbrug, mens udsving på poster i forhold til klimaskærmen generelt har en mere beskedne betydning for energiforbruget. Dog kan der i de mere ekstreme uoverensstemmelser mellem forudsætning og virkelighed godt registreres moderate ændringer i energiforbruget, f.eks. for U-værdier af vinduer i bygning B og isoleringsforhold i tag på bygning C.

4.6. Begrænsninger i Be10

4.6.1. 1-zone model

Beregningsmetoden i Be10 er baseret på en betragtning af bygningens energibehov som helhed. Modellen, som opstilles, er en grov forenkling, hvor energibehovet beregnes for "inderummet", som altså udgør én zone. Dermed ses der bort fra, at bygninger typisk er indrettet i adskillige zoner, hvor behovet for at klimatisere den enkelte zone kan adskille sig fra den øvrige bygning. I beregningen "midles" beregningsforudsætninger som varmebehov, interne varmetilskud, ventilationsmængder mm. udover bygningens samlede inderum, Dermed bliver der ikke taget højde for f.eks. skæve fordelinger af f.eks. varmebelastninger i bygningens forskellige rum, og energiforbruget til regulering af dette.

4.6.2. Betydning af uhensigtsmæssig styring og utilstrækkelig indregulering.

Generelt er Be10 en idealiseret repræsentation af virkeligheden i forhold til styringen af bygningens systemer. Et eksempel på dette er træg rumopvarmning med gulvvarme, hvor der i tilfælde af pludselige ændringer i det interne varmetilskud kan forekomme perioder hvor gulvvarmeanlægget stadig afgiver varme, samtidig med at de øvrige anlæg arbejder for at afhjælpe overtemperaturer.. Et andet eksempel er deciderede fejl i installationerne, som f.eks. systemer som pendler mellem opvarmning og ventilation, opvarmning og køling, utilsigtet bypass af varmevekslere mm. Ideelt set bør disse fejl ikke forekomme, men faktum er, at systemer skræddersys til hvert enkelt projekt, og at fejl i et eller andet omfang næsten er uundgåelige.

Dertil kommer, at der beregningsmæssigt forudsættes systemer, som er 100 % indreguleret, hvilket kun kan lade sig gøre teoretisk.

4.6.2.1. Note: Serviceaftaler med fag-leverandører

Bygning B

På en af ejendommene blev det ved gennemgang og samtale med den driftsansvarlige konstateret, at der ikke var nogen af brugerne i bygningen eller tilknyttet nogen fra driftsorganisationen med know-how omkring teknikken og styringen af installationerne i deres relativt nye og højteknologiske bygning. Her var alt vedrørende teknikken i stedet udliciteret til forskellige leverandører af de forskellige komponenter. Et væsentligt problem med en sådan model er, at leverandører ikke kan forventes at bevæge sig udover indsigten i deres egen installation (f.eks. ventilationsanlægget, eller varmeanlægget). Dette kan være problematisk, da de pågældende operatører ofte indstiller deres komponent efter, hvor de mener den "plejer at virke godt", og ikke efter hvordan den indstilles mest hensigtsmæssigt i den enkelte bygning i

forhold til de øvrige installationer. Dette er et billede, som bliver stadig mere udbredt, da den tekniske kompetence på ejendommene, og i offentligt regi generelt, bliver nedprioriteret.

4.6.3. Brugeradfærd ift. brug af systemer og udluftning

Beregningerne i Be10 tager desuden udgangspunkt i standardværdier for tætheden af klimaskærmen, hvori der er inkluderet et arbitrært tillæg for "tilfældig åbning af vinduer og døre i forbindelse med brug af bygningen". I virkelighedens verden er det ikke muligt at redegøre for påvirkningen af tilfældig åbning af vinduer og døre i forbindelse med brug af bygningen, samt brugernes tilbøjelighed til at lufte ud.

Hvis der samtidig er en tendens til, at brugere lufte ud i kolde perioder, uden at brugere er opmærksomme på, at varmeanlæg i sådanne situationer bør frakobles, er et overforbrug af varme uundgåeligt, men temmelig vanskeligt at identificere.

Beregningsmæssigt anvendes naturlig udluftning ofte kun i tilfælde af risiko for overtemperaturer, mens der i virkelighedens verden kan være mange andre årsager til, at der udluftes energimæssigt u hensigtsmæssigt.

4.6.4. "Glemte" energiforbrug

Udover de allerede nævnte er der en række energiforbrug, som har med bygningsdrift at gøre, som kan optræde i faktiske bygninger, men som ikke indgår i energirammeberegninger. Eksempler på disse er:

- Procesenergi – f.eks. edb-servere, butiksinventar, laboratorie- og produktionsudstyr inklusive køling
- Energiforbrug i "uopvarmede rum"
- Udebelysning
- Særbelysning
- Afslingsform af ventilationsanlæg (elforvarmeplader medregnes f.eks. ikke)
- Elforbrug i elevatorer
- Pumper i trykforøgeranlæg til brugsvand eller sprinkling
- Motorer til vinduesåbnere
- Motorer til roterende varmegenvindere
- Ventilatorer i konvektorer
- Emhætter, som kun kører en mindre del af brugstiden
- Små badeværelsesventilatorer
- Elforbrug til centrale automatiksystemer (CTS)
- Nødbelysning
- Eltracing af tagvandsledninger (frostsikring)

Såfremt bygninger har et eller flere af ovenstående energiforbrug skal der således også forventes en forskel mellem det beregnede og det reelle energiforbrug til bygningsdrift.

4.6.4.1. Note: Eltracing af tagvandsledning

Bygning B

Ved gennemgang på bygningen konstateredes, at diverse rørstræk for afvanding fra tag er ført i uopvarmede teknikrum. Her har det været nødvendigt at frostsikre ledningerne med el-tracing, hvilket betyder, at termostatstyrede elkabler sikrer, at røret på indersiden af isoleringen fastholdes ved en given temperatur, sandsynligvis 4-5 °C, således at vand i røret ikke når at fryse til og danne skader på ledninger eller andre bygningsdele ved ophobning af vand.

Energiforbruget til frostsikring formodes ikke at udgøre en væsentlig post i energiregnskabet for den samlede bygning, da perioderne, hvor temperaturen falder til et kritisk niveau, formodes at være begrænset.

Ikke desto mindre udgør det et energiforbrug, som der ikke har været taget højde for i energiberegningen.

4.6.4.2. Note: Energiforbrug til grøn væg

Bygning B

I bygning B er der installeret en grøn væg med separat vandingsanlæg, som samtidig kræver særbelysning til at holde planterne i live. Belysningen til drift af væggen forventes ikke at være indarbejdet i energirammeberegningen, da den karakteriseres som særbelysning, og dermed ikke medregnes som bygningsdrift. Dog vurderes den i praksis at udgøre en post, som ikke er helt uvæsenlig. Desværre har det ikke været muligt at komme effekten til oplysning af væggen nærmere.



Figur 7: Grøn væg i bygning B

5. Diskussion/Perspektivering - Opsamling på analyse

Den vigtigste forudsætning for at kunne mene, at bygninger bruger "for meget" energi, er, at der er blevet stillet et forventet energiforbrug i udsigt. I den forbindelse er det interessant at få afdækket, hvor en bygningsejers opfattelse af forventet energiforbrug stammer fra. For den ingeniørydelse som en bygherre normalt kan forvente i henhold til FRI's ydelsesbeskrivelse, stilles der ikke krav til, at rådgivere skal oplyse bygherren om byggeriets forventede energiforbrug til bygningsdrift. Derimod skal der afleveres beregninger og dokumentation for overholdelse af bygningsreglementets bestemmelser i forhold til en given energiramme, hvilket ikke er et udtryk for det forventede reelle energiforbrug i bygningen.

En anden problemstilling er, at meget tyder på at bygherrer ikke er i stand til at skelne mellem energi til bygningsdrift, og den samlede mængde energi, som forbruges i bygningen, når bygherren laver en sammenligning af sin forventning til energiforbruget og det samlede målte energiforbrug. Ved måling af bygningens energiforbrug bør det derfor sikres, at energiforbruget til bygningsdrift kan adskilles fra bygningens øvrige energiforbrug. Dette kræver, at der etableres bimålere på el til bygningsdrift, og bimålere på varmtvandsforbrug, samt at evt. egen energiproduktion modregnes korrekt. Beklageligvis må vi på baggrund af researchen til dette projekt konstatere, at der i den nuværende bygningsmasse er langt imellem bygninger, som har en hensigtsmæssig opstilling af bimålere i forhold til at bestemme energiforbruget til bygningsdrift.

Derudover kan det gå rigtig galt, hvis bygningsejer benytter de sammenvejede energiforbrug fra energirammen i stedet for energimærket. Energirammen på f.eks. 25 kWh/m² pr. år for kontorer i bygningsklasse 2020, er baseret på sammenvejede energiforbrug afhængig af energiforsyningsform, som derefter er puljet sammen, hvilket er umuligt at sammenligne med målte forbrug fra forskellige energiformer (f.eks. fjernvarme og el). Energimærket er udarbejdet med udgangspunkt i energirammeberegningen, men oplyser direkte om de ikke-sammenvejede energiforbrug, og er adskilt i de forskellige forsyningsformer.

Men selv under forudsætning af at bygningsejer både er i stand til at plukke de korrekte målte energiforbrug til bygningsdrift, og er i stand til at graddagekorrigerer varmekorrigere forbruget, og benytter det beregnede energiforbrug fra energimærket, er der stadig mange forhold i det beregnede energiforbrug i energimærket, som er en dårlig repræsentation af virkeligheden.

For at kunne komme med en kvalificeret sammenligning mellem målt og beregnet energiforbrug er det derfor nødvendigt, at rådgiver leverer en beregning, som sigter imod det reelle samlede energiforbrug i bygningen. En sådan beregning er som udgangspunkt ikke med i rådgiverydelsen, og bygherre skal være opmærksom på, at denne skal bestilles som "øvrige ydelse".

En sådan beregning bør være baseret på en dialog imellem bygherre og rådgiver, hvor de benyttede forudsætninger er aftalt og så vidt muligt afspejler realistiske forventelige forhold for bygningens brug. Samtidig kræver en sådan beregning kompetencer udover de normalt krævede for arbejdet med energirammeberegninger, idet der bl.a. skal tages højde for mange komplicerede installationstekniske forhold, f.eks. energiforbrug til procesenergi, automatik til styring, og elevatorer mm.

For at få en kvalificeret diskussion af, hvordan man undgår at bygningsejere føler, at de får et ringere produkt, end de forventer, er der derfor en række forhold, som med fordel kan ændres i forhold til dagens praksis:

5.1. Måling af energiforbrug

Når vi kan konstatere, at der er så udbredt en holdning til, at energiforbruget til bygningsdrift er for højt i forhold til det forventede, bør der som minimum fremadrettet fokuseres, på at bygningsejere bliver i stand til at kvantificere bygningens målte energiforbrug til bygningsdrift. Dermed må bygningsejere fremover i deres projekter rådes til at fremsætte krav om, at energiforbrug, som går til bygningsdrift, skal kunne måles separat, således at det ikke sammenblandes med anden forbrugt energi. Samtidig bør der installeres bimålere i et sådant omfang, at et "overforbrug" af energi i bygningen kan identificeres/lokaliseres.

5.2. Energiberegninger

I forhold til fremtidig praksis og metode for energiberegninger er der et altoverskyggende spørgsmål, som branchen bør diskutere og opnå enighed om:

- **Er det nødvendigt i design og projektering at estimere en bygnings realiserede energiforbrug?**

Indbygget i dette spørgsmål gør sig mange forhold gældende, som særligt retter sig imod bygherrers nytte af oplysning om reelt energiforbrug samt det potentielle kvalitetsløft i byggeriet ved en retvisende beregning i designprocessen, kontra de barrierer der findes ved at skulle arbejde med en fyldestgørende beregning af det forventede realiserede energiforbrug.

Hvis svaret på spørgsmålet er nej, er det nødvendigt at gøre noget for, at alle bygherrer som udgangspunkt er bedre forventningsafstemt med bygningernes realiserede energiforbrug end situationen er i dag, og samtidig er 100 % klar over, at det energiforbrug som fremgår af energimærket kan være misvisende. Det bør således diskuteres, hvorvidt der i energimærket overhovedet skal fremgå et beregnet energiforbrug.

Hvis svaret derimod er ja, er det en relativt stor ændring af praksis i branchen, som skal håndteres på såvel teknisk som aftalemæssigt plan. Først og fremmest skal der udvikles metoder og værktøjer til dette nye fokusområde. Ideelt set udvikles disse med henblik på, at bygninger designes ud fra det realiserede energiforbrug, mens minimumsgrænsen fra den lovgivningsmæssige energiramme skal overholdes, således at de krav, som bygninger skal overholde fremadrettet, stadig er retfærdige. Derudover kan der være mange nye aktiviteter, som rådgiveren skal have indeholdt i sin ydelse i forhold til nuværende praksis. Dette kan potentielt være mere tidskrævende arbejde, indeholde større risiko for rådgiver samt stille krav til flere kompetencer.

Der kan dog være betydelige gevinster ved at indarbejde analyser af det realiserede energiforbrug for alle implicerede parter. Bygherren vil få et mere retvisende billede af sine forventede omkostninger i forhold til energiforbruget, hvilket kan kvalificere vigtige beslutninger om energibesparende foranstaltninger. Derudover kan der være udsigt til at bygningerne bliver designet markant bedre i forhold til deres reelle energiforbrug, afhængig af hvor langt der er mellem virkelighed og den energirammemæssige repræsentation af den enkelte bygning. Endeligt vil en forbedret metode åbne op for større tillid imellem bygherrer og rådgivere, og spare parterne for mange diskussioner og forklaringer, som burde være unødvendige.

Tabel 19: Fordele og barrierer ved at implementere analyser af det realiserede energiforbrug i designprocessen.

Fordele	Barrierer
<ul style="list-style-type: none"> • Større sikkerhed for bygherrens forventede driftsomkostninger • Større sikkerhed for at træffe kvalificerede beslutninger vedr. energibesparende foranstaltninger • Retvisende designstrategi, da parametrenes vægtning bliver korrekt ift. virkeligheden i stedet for energirammemæssigt • Større tillid imellem byggeriets parter (bygherrer-rådgivere) 	<ul style="list-style-type: none"> • Der skal udvikles metoder og værktøjer som kan håndtere det nye fokusområde • Kræver det nye fokusområde at bygningsreglementet skal revideres? • Hvor stiller dette rådgiveren i forhold til at skulle holde sig indenfor de nuværende honorarsatser? • Hvad er bygherrens klagemuligheder? • Hvor stiller dette rådgiveren i forhold til at påtage sig risiko? • Bliver rådgivningsydelsen dyrere?

5.2.1. Tydelig hensigt med energirammeberegninger

Uanset hvilken metode der fremadrettet skal være gældende for energirammeberegninger, er det essentielt at formålet, hensigten, og metoden for energirammeberegninger opstilles, således at de er mere tydelige end tilfældet er i dag.

Mens det for nogles vedkommende er banal viden, at energirammeberegninger grundlæggende ikke sigter imod et realiseret energiforbrug, er reglementstekster og beregningsvejledninger tvetydige i deres formulering og hensigt i forhold til at forsøge at få beregning til at tilnærme sig virkelighed.

Nedenstående oversigt viser nogle væsentlige principper i beregningsmetoden til energirammeberegninger, som taler imod hinanden i forhold til standardiseret beregning af energiforbrug og estimering af realiseret energiforbrug

Tabel 20: Oversigt over principper energirammeberegninger som henholdsvis taler for - og imod at sigte efter estimering af det realiserede energiforbrug.

Principper som taler for prioritering af standardiseret beregning rettet imod energiforbrug i henhold til bygningsreglementets bestemmelser.	Principper som taler for prioritering af estimering af realiseret energiforbrug:
<ul style="list-style-type: none"> • delvist opvarmede rum som henregnes til uopvarmede • udeladelse af særbelysning, procesventilation, og anden procesenergi • "proxy-værdier" som eksempelvis varmtvandsforbrug på 100 l/m² pr. år og internt vаметilskud • "glemte" energiforbrug: som opskrevet på s. 42 	<ul style="list-style-type: none"> • eventuelle tillægsberettigede energiforbrug som i beregning er forenklet til grænseværdi for tillæg til energiramme <ul style="list-style-type: none"> • angivelse af udebelysning + andet elforbrug som ikke indgår i energiramme • Vage formuleringer i beregningsvejledning om benyttelse af standardværdier vs. estimerede realistiske værdier.

5.2.2. Energimærkning

Når rådgivere bliver adspurgt forsikrer disse, at misforståelser i forhold til sammenblanding af energirammeberegninger og forventeligt energiforbrug hos bygherrer afværges ved dialog med bygherrerne hver gang. Men det kan sagtens tænkes, at bygherrer ikke er klar over sammenhængen mellem energirammeberegning og energimærke og de misrepræsentationer af virkeligheden, som følger med fra energirammeberegningen til energimærkningen?

I Energistyrelsens egen beskrivelse af energimærket fremlægges denne som værende en korrekt beregning af bygningens energiforbrug under standardforudsætninger for brugen.

”Energimærkning af bygninger har to formål:

- 1. Mærkningen skal synliggøre bygningens energiforbrug og skal dermed virke som en form for varedeklaration, når en bygning sælges eller udlejes.*
- 2. Mærkningen skal give et overblik over de energimæssige forbedringer, som er rentable at gennemføre – hvad de går ud på, hvad de koster at gennemføre, og hvor stor besparelse der kan opnås på el- og varmeregninger.*

Mærkning udføres af en energikonsulent, som måler bygningen op og undersøger kvaliteten af isolering, vinduer og døre, varmeinstallation m.v. På det grundlag beregnes bygningens energiforbrug under standardbetingelser for vejr, familiestørrelse, driftstider, forbrugsvaner m.v.

Det beregnede forbrug er en ret præcis indikator for bygningens energimæssige kvalitet – i modsætning til det faktiske forbrug, som naturligvis er stærkt afhængigt både af vejret og af de vaner, som bygningens brugere har. Nogle sparer på varmen, mens andre fyrer for åbne vinduer eller har huset fuldt af teenagere, som bruger store mængder varmt vand.

Mærket fortæller altså om bygningens kvalitet – ikke om måden den bruges på eller om vinteren var kold eller mild.”

Dog medfølger der ikke en forklaring af, hvad standardforudsætningerne er, hvilket kan gøre det svært for bygherrer at sætte deres aktuelle bygning med aktuelt brug op imod. Selv om den enkelte bygnings brug kunne tænkes at adskille sig meget fra standardforudsætningerne, vil mange bygherrer formodentlig mene, at deres bygning bruges ”normalt”, og at det beregnede energiforbrug dermed burde svare til det realiserede. I den forbindelse skal det nævnes, at standardforudsætningerne er relativt optimistiske, for eksempel i forhold til en komforttemperatur på 20 °C, en brugstid på 45 timer om ugen, og en driftstid for ventilationen som ikke overstiger brugstiden.

Dertil kommer de energiforbrug, som ikke indgår i beregning, men som indgår i det realiserede energiforbrug, herunder:

- delvist opvarmede rum som henregnes til uopvarmede
- udebelysning
- særbelysning, procesventilation, og anden procesenergi
- ”glemte” energiforbrug:
- eventuelle tillægsberettigede energiforbrug som i beregning er forenklet til grænseværdi for tillæg til energiramme

6. Konklusion

På baggrund af analyserne af de indledende workshops, samt interviews tyder alt på, at hypotesen om at lavenergibyggeri typisk forbruger alt for meget energi i forhold til beregnet er korrekt. Med beregnet menes her energirammeberegningen, som bliver udarbejdet til myndighedsgodkendelse, og som dernæst anvendes til energimærkningen.

Den største energisynder vurderes at være en udbredt misforståelse om, at bygningsejere mener at være blevet oplyst om et beregnet energiforbrug for deres bygning (energirammeberegning), som desværre bygger på en grundlæggende fejlrepræsentation af virkeligheden.

Udover de grundlæggende misrepræsentationer af virkeligheden, som er indbygget i beregningsmetoden til Be10 i form af bl.a. standardværdier, tillæg, uopvarmede rum, samt optimistisk styring af bygningen, er der en række energiforbrug, som ikke tages med i beregningen, eller "glemte" energiforbrug, f.eks. energiforbrug til proces, særbelysning, elevatorer, automatik til installationer osv. Disse energiforbrug er den gængse rådgiver for nuværende ikke "opdraget" til at tage hensyn til, idet interessen for dette udelukkende retter sig imod estimat af virkeligt energiforbrug, og altså langt fra er standardydelsen.

Den næste væsentlige energisynder er, at bygningers realiserede energiforbrug til bygningsdrift sammenblandes med bygningens øvrige energiforbrug, grundet manglende bimålere.

En tredje af de største energisyndere vurderes at være de forudsætninger, som omhandler bygningens brug, hvilket har voldsom betydning for en bygningens energiforbrug: Af sådanne forudsætninger nævnes brugs- og driftstider, setpunktstemperaturer, samt tilbøjelighed til at lufte ud, og huske at lukke for varmen når der luftes ud.

Udover at parametrene i forhold til bygningens brug er af stor betydning for bygningernes energiforbrug, kan de være meget vanskelige at forudsige i designfasen, og efter ibrugtagning af bygningen er nogle af dem stadig nærmest umulige at vurdere omfanget af i forhold til bygningens virkelige brug. Den nuværende fremgangsmåde med i designfasen at fastsætte disse parametre efter optimistiske energiberegningsmæssige standardværdier er ikke hensigtsmæssigt i forhold til estimering af bygningens realiserede energiforbrug.

Af reelle energisyndere, som relaterer bygningens energieffektivitet, vurderes utilstrækkelig indregulering af tekniske anlæg, samt uhensigtsmæssig samstyring eller decideret fejlstyring af de tekniske installationer at være de største energisyndere. Dernæst kommer de parametre, som branchen allerede er bevidst om kan være problematiske i forhold til at opnå målsætninger om at realisere beregnede energiforbrug: særligt klimaskærmens tæthed samt trimning af ventilationsanlæg.

Energisyndere som i nærværende rapport er fremlagt som fejl i form af "snyd", for ringe kompetencer, og at projekterne ikke er udført som projekteret (ringe isoleret, mindre effektive systemer, at bygningen er ikke tæt nok, etc.) forefindes naturligvis i byggeriet, også i de projekter som er gennemgået i forbindelse med nærværende rapport. Når f.eks. U-værdien for vinduer eller ventilationsmængden "stikker af", har det en ikke-uvæsentlig betydning for energiforbruget. Dog vurderes disse fejl, på baggrund af resultaterne i nærværende analyse, ikke at kunne måle sig med de største energisyndere.

De største energisyndere vurderes at hidrøre fra den standardiserede beregningsmetode og bygningens brug, og har således ikke noget med bygningernes kvalitet eller energieffektivitet at gøre.

Det er altså ikke kun branchen selv, der bevidst eller ubevidst forårsager forskellene på forventet og reelt energiforbrug i lavenergibyggeri, men også de i beregningsmetoden indbyggede potentielle fejlkilder der kan være årsag til de konstaterede forskelle. Heldigvis!

6.1. Anbefaling

For at imødekomme den åbenbare kløft, der er imellem det som for nuværende praktiseres i forhold til beregning af bygningers energibehov og en forventning om vished for bygningernes realiserede energiforbrug, opstilles derfor to følgende forslag:

6.1.1. Studie

Det foreslås at komme sagen nærmere i forhold til bygherrers ønsker og forventninger til udførte energiberegninger. Problemstillingerne kunne f.eks. afdækkes via interviews med bygherrer, hvor følgende spørgsmål behandles:

- Er de bekendt med forskellene mellem energirammeberegninger, som de udføres i dag, og det reelt forventede energibehov?
- Mener de at, energiforbruget i deres udførte bygning er højere, end de var blevet stillet i udsigt?
- Hvad er grundlaget/hvad var de blevet stillet i udsigt? En standard rådgivningsydelse, eller mere end det?
- Bør energirammeberegningen være et retvisende estimat af det forventede realiserede energiforbrug i stedet for standardbetragtning? (f.eks. opvarmet etageareal, procesenergi, tillæg til energirammen, ej standardværdier)
- Hvordan hænger dette sammen med opstilling og dokumentation af bygningsreglements-mæssige krav til bygningers energimæssige kvalitet?
- Er det målte energiforbrug opdelt i bygningsdrift & øvrigt energiforbrug? Hvis ja, lander energiforbruget så rigtigt? Hvis nej, hvorfor ikke?

6.1.2. Afstemning af fælles kurs i branchen

Endnu vigtigere er det dog nok at imødekomme problemstillingen i branchen:

- Der bør foretages en afvejning på nationalt plan, hvor målsætningen for praksis med energirammeberegninger klarlægges. Her skal branchen samlet blive enige om, at der etableres en metode til estimering af det forventede realiserede energiforbrug for bygningen i designfasen?

Hvis ja, bør retningslinierne for dette kortlægges.

Hvis nej, bør der lægges en plan for, hvordan kommunikationen af dette tydeliggøres. I den forbindelse bør beregningsmetoden til Be10 tilrettes for at tydeliggøre den valgte retning

Bilag

Bilag A	Oversigt over tilrettede afvigelser af parametre i forbindelse med parameteranalyse.
Bilag B	Spørgsmål som underlag for interviews

Bilag A

Oversigt over tilrettede afvigelser af parametre i forbindelse med parameteranalyse.

Kategori	Parameterangivelse - BE-in	Enhed	Bygning A	Bygning B	Bygning C	Vurderet generel parameterusikkerhed	Bemærkning
Grunddata							
varmekapacitet	-	(Wh/m ² K)					
Bygnings brugstid	-	timer/uge				+/- 40Wh/km ²	Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
Internt varmetilskud: Personer + apparatur	-	(W/m ²)				+/-15 timer/uge	Grov vurdering - afvigelse kan i nogle tilfælde være endnu større. Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
Arealer							
væg	-	(m ²)	-5,2%	1,4%	5,4%	-	Nøjagtig vurdering fra tegninger
tag	-	(m ²)	-2,4%	5,4%	-1,1%	-	Nøjagtig vurdering fra tegninger
terrændæk	-	(m ²)	-7,5%	-0,6%	-1,0%	-	Nøjagtig vurdering fra tegninger
vinduer	-	(m ²)	3,3%	5,3%	-17,7%	-	Nøjagtig vurdering fra tegninger
U-værdier							
væg	-	(W/m ² K)	21,8%	0,0%	6,5%	-	Rimelig vurdering på baggrund af tegningsmateriale
tag	-	(W/m ² K)	-2,4%	0,0%	-42,9%	-	Rimelig vurdering på baggrund af tegningsmateriale
terrændæk	-	(W/m ² K)	-21,0%	-8,3%	-12,9%	-	Rimelig vurdering på baggrund af tegningsmateriale
vinduer	-	(W/m ² K)	+0,05 W/m ² K	27,2%	+0,05 W/m ² K	-	For bygning B: dokumenteret værdi, for bygning A+C: grov vurdering
Opmålte længder							
vinduer	-	(m)	0,0%	12,9%	-7,1%	-	Nøjagtig vurdering fra tegninger
fundamenter	-	(m)	0,0%	2,0%	7,3%	-	Nøjagtig vurdering fra tegninger
Linietab- varmetabskoefficienter							
Vinduer	-	(W/mK)	0,02 W/mK > 0,03 W/mK	-15,9%	0,03 W/mK > 0,00 W/mK	-	Rimeligt overslag på baggrund af tegningsmateriale
Ydervægsfundamenter	-	(W/mK)	30%	50%	55%	-	Bygning C: Rimelig vurdering på baggrund af tegningsmateriale - Bygning A+B overslag
Ventilation							
Relativ driftstid	Fo					+50%	Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
Ventilationsmængde	qm,qm,s					+20%	Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
infiltration - ved tæthed af klimaskærm	qn (-0,041/s/m ²)	(l/s m ²)	100% (0,029 > 0,058 l/s m ²)	38% (0,06 > 0,0828 l/s m ²) & 72,5% (0,06 > 0,1035 l/s m ²)	25% (0,09 > 0,1125)	-	For bygning B - dokumenteret værdi, for bygning A+C: grov vurdering
Belysning							
Almen installeret	-	(W/m ²)				+/- 2 W/m ²	Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
Driftstid	Fo					+/- 20 %	Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
Varmt brugsvand							
Forbrug	(l/år pr. m ²)	(l/år pr. m ²)				+/- 50 %	Grov vurdering af sandsynlig afvigelse
circulationsledninglængde	-	(m)			0 m > 80 m		Kun udført for bygning B

Bilag B

Spørgsmål som underlag for interviews

Der er gennemført en *anonym* interviewundersøgelse blandt rådgivere i de udvalgte projekter for at afdække, hvad, de mener, kan være en del af årsagerne til uoverensstemmelse mellem beregnet og faktisk energiforbrug. Herunder f.eks. om der er udført for optimistiske beregninger for opnåelse af byggetilladelse, om rådgivere "presses" af totalentreprenør til at regne for optimistisk for overholdelse af pris, etc.

1. Hvad er efter jeres opfattelse formålet med at lave en energirammeberegning?
2. Når I udarbejder en energirammeberegning, hvem, mener I så, er den primære modtager? (bygherre/entreprenør/myndighed)
3. Er resultatet af en energirammeberegning udtryk for, hvad I forventer, at en bygning reelt vil forbruge af energi?
4. Hvis der er en forskel på det beregnede (Be-10) og det faktiske energiforbrug, mener I så, at der er en tendens til at beregningen viser et for stort eller et for lille energiforbrug ift. det faktiske?
5. Hvad er årsagen til dette?
6. I hvilke af byggeriets faser mener I, at de væsentligste årsager til misforhold mellem beregning og virkelighed optræder?
7. Er jeres oplevelser med energirammeberegningerne, at forudsætningerne, som er anvendt, afspejler virkeligheden?
8. Føler I jer rustet til at meddele en bygherre om hans forventelige udgifter til bygningsdrift (byggningsenergi) på baggrund af en energirammeberegning?
9. Kunne I forestille jer en situation, hvor der decideret blev snydt i en energirammeberegning med henblik på at opnå en bestemt energiklasse?
10. Kunne I forestille jer en situation, hvor der i en beregning benyttedes standardværdier, selvom en "faktisk"/beregnet værdi ville resultere i et højere energiforbrug?
Og en beregning hvor der samtidig blev beregnet "faktiske" værdier, hvor dette var til fordel for energirammen?
Er dette snyd?
11. Ville I mene, at der er størst forskel mellem virkelighed og beregninger for lavenergibyggeri eller almindeligt standardbyggeri?
12. Hvad mener du, der kan være en del af årsagerne til uoverensstemmelse mellem beregnet og faktisk energiforbrug?
13. Hvor i beregningen tror du, der ligger den største forskel mellem beregningsforudsætninger og faktiske forhold?

14. Hvor repræsentative er Be10 standardværdierne ift. virkeligheden?
 - a. Bygningens brugstid?
 - b. Installationers driftstider?
 - c. Komforttemperatur?
 - d. Varmt brugsvand?
 - e. Internt varmetilskud?
 - f. Belysning? F.eks Dagslysniveauer – midling af værdier
 - g. Naturlig ventilation/udluftning?
 - h. Infiltration?
 - i. B-faktorer? Benyttes standardværdier eller beregnes disse?
15. Er hjælpe-filen tilstrækkelig beskrevet? (eks. tillæg-rumhøjde, solvarme gennem uopvarmede rum, indblæsningstemperatur)
16. Tror du, der er usikkerheder omkring, hvordan Be-10 skal benyttes, og hvor præcis beregningen skal være? (i branchen?)
17. Eksempel: Hvis der forventes en højere rumtemperatur end 20 grader, foretages så en beregning baseret på den forventede rumtemperatur?
18. For hvilke af følgende punkter tror du, der kan være forskel på beregning og virkelighed eller usikkerhed omkring, hvor præcis beregningen skal være?
 - a. Forskellige U-værdier for klimaskærm herunder arealopmåling og hensyntagen til kuldebroer
 - b. U-værdier for vinduer, hensyntagen til vinduers forskellige størrelser
 - c. Linjetab ved fundamenter, ovenlys og vinduer
 - d. Uopvarmede rum:
hvordan håndteres solvarmebidrag gennem vinduer i uopvarmede rum?
 - e. Ventilation. Hvordan håndteres f.eks. VAV?
19. I hvor høj grad tror I, at løbende ændringer i projektets forløb bliver implementeret i en energiberegning?
20. Er det efter jeres opfattelse som udgangspunkt jeres opgave som rådgiver at tage stilling til disse ting? (også en ting som forceret drift/proces, som der iht. bygningsreglementet ikke skal tages stilling til i energirammeberegning)?
21. Hvad tror I, der står i ydelsesbeskrivelsen (FRI), ift. hvad rådgiver skal levere til bygherre vedr. energiforbrug? (beregnet og virkeligt)
22. Hvad, mener I, burde indgå i ydelsen (god skik)? Hænger det sammen med det som honoreres, som branchen ser ud idag?
23. Er det jeres oplevelse, at en bygherre ved, hvad han er berettiget til, og hvad han faktisk får?
24. I hvor stor en grad tror du, at det skaber forvirring/misforståelser mellem fagfolk og lægfolk, at de forskellige energiklasser vægtes med forskellige faktorer for el og varme, for at afspejle miljøbelastningen for energiforsyningsformer?

25. I hvor høj grad tror I at der forekommer løsninger i udførelse af byggeri, som ikke har indgået i projektering / ting, som er "løst på pladsen", som har betydning for energirammeberegningen? Og burde dette implementeres?
26. Foretages energiberegning kun mhp. dokumentation af, at bygningen overholder gældende krav i Br10, eller foretages beregningen også mhp. at give et estimat for bygningens virkelige energibehov?
27. Mener I, at det giver mening at tilpasse beregningsmetoden, således at den stemmer bedre overens med virkeligheden?

Generelle forudsætninger

28. Hvordan håndteres bygninger med blandet anvendelse (20 % regel)?
Er dette en fair repræsentation af virkeligheden? – Er beregning ok, eller bør der sigtes imod en mere retvisende i metode?
29. Hvordan håndteres rum opvarmet til $5 < t < 15$ C. (Regnes opvarmet eller uopvarmet)
Er dette en fair repræsentation af virkeligheden? – Er beregning ok, eller bør der sigtes imod en mere retvisende i metode?
30. Andet elforbrug – hvad bør indgå her? Benyttes denne fane i praksis?

Klimaskærm

31. Mener I, at arealopmåling af klimaskærm giver anledning til forskel mellem beregning og virkelighed?
32. Mener I, at U-værdier giver anledning til forskel mellem beregning og virkelighed?
33. Mener I, at U-værdier generelt beregnes "rigtigt" i branchen? Også i de tilfælde hvor leverandører oplyser U-værdier til de enkelte projekter, og hvor de ikke nødvendigvis kender til de faktiske forhold for "kuldebroer"?
34. Stemmer beregning af linietaf med virkeligheden?
35. Mener I, at vinduers energiegenskaber giver anledning til forskel mellem beregning og virkelighed?

Installationer

36. Oplever I, at input for ventilation stemmer med virkeligheden?
Ventilationsmængder, driftstider, varmegenvindingsgrad.
37. Følges der op på SEL-værdier – også ved idriftstagnation?
38. Bør en el-baseret forvarmeplade tages med i beregning (0/1)? – Hvad med andre afrimningsformer?
39. Svarer den opmålte længde af installationsrør, og anvendte varmetabskoefficient for rør med virkeligheden?
40. Hvilke dele af elforbrug til installationer medtages?