



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Aalborg Universitet København
Statens Byggeforskningsinstitut
A. C. Meyers Vænge 15
2450 København SV
Danmark

Studiesekretær: Julie Kastoft-Christensen
Telefon: 9940 2321
jkc@sbi.aau.dk

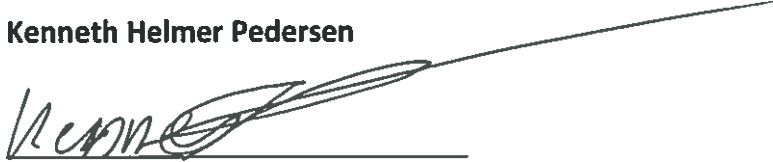
Studenterrapport

Uddannelse: Bygningsfysik
Semester: 4. Semester
Titel på masterprojekt: Beregnet energibehov vs. Målt energiforbrug
Projektperiode: Februar 2015 –Maj 2015

Vejleder: Kim B. Wittchen

Studerende:

Kenneth Helmer Pedersen



Kenneth Helmer Pedersen

Antal normalsider: 68

Afleveringsdato: 01.06.2015



Foto: Adam Mørk

Master i bygningsfysik

Beregnet energibehov vs. målt energiforbrug

4. Semesteropgave

Forår/sommer 2015

Udført af Kenneth Helmer Pedersen

Titelblad

Titel:	Beregnet energibehov vs. målt energiforbrug
Format:	A4
Udgivelsesår:	2015, 4. Semester (afsluttende opgave)
Forfatter:	Kenneth Helmer Pedersen
Sprog:	Dansk
Sidetal:	68
Emneord:	Energiramme, Energiforbrug, Energiberegning, Dimensionerende varmetab, klimaskærm, tag, facade, sokkel, isolering, solvarme, solceller, varmepumper, skygger, nybyggeri, 2020, 2015, Vejrdato, Energiberegning, Bygningsreglementet, Resultatlog
Tegninger:	Kenneth Helmer Pedersen
Fotos:	Adam Mørk, for Christensen & co arkitekter a/s. Enkelte fotos af taget af forfatter i forbindelse med feltarbejde
Udgiver:	Kenneth Helmer Pedersen
Vejleder:	Kim B. Wittchen
Forside billede:	Miljøcenteret i Københavns Nordhavn, af Adam Mørk

Summary

In the assignment the issue *Calculated energy vs. measured energy consumption* are treated. How big is the difference between the energy needs, calculated in the design of the building, compared to the energy used after the project is built and is operational? Can the two concepts be compared directly? What can be done in the future to elucidate the difference that there will be between the two concepts?

In the presentation of the assignments issue, there are used three projects, all designed by architects Christensen & Co. arkitekter a/s. The assignment is performed in the light of the energy computations made in the context of the authority application. That energy computation is held upon the measured power consumption, which has taken place since the building where functional. In addition to the existing energy computations, the collection of consumption data has been one of the first and very dependent steps towards having a proper basis to perform the tasks in the assignment. Besides the energy consumption data, the material used in the project are: Drawings, descriptions, density measurements, energy labels and individual reports on each project. For each of the projects is used persons who have or have had a great touch and familiarity with each of the projects. After gathering all of the different materials the three individual projects, are taken through five different energy computations, including the two computations described above.

The first calculation is referred to the individual project's energy computation made to build the authority application. In the second computation, the only thing that is different from the first, are the changing of weather data. Third computation has adjustments to the time the building are being used only made if necessary. The interior room temperatures are adjusted as well. In the fourth computation the adjustments made are for "the internal heat gain" and for the hot utility water, these four parameters is called the "default" values. The default values are user-related parameters that are presumed in every energy computation to build the authority application. Fifth computation is a complete adjustment of the measured energy consumption data. This gives an energy computation that is equivalent to the measured energy consumption. A proper comparison can now be made. The real comparison should be between computation 2 and computation 5. With the five energy computations made juxtapositions and assessments of the results is now possible. For all the buildings the results is showing a higher energy consumption than expected, which has also been input perception within the start of the operation. The results, can give some indications on where the actual "overuse" is located and what could be done to reduce the difference.

In the section "7.Discussion" there are topics that can be seen as challenges or suggestions for improvements in relation to the assignments issue. Including "Density of the building envelope" "Education of the user" "Commissioning" "default values" and "Registration of the energy consumption data." When should or can input data to energy computation be fixed / determined. The data known at the time the building application is made, ends on experience, to be regulated in connection with the detailed design phase.

One conclusion could be that we are too optimistic about the default values in our energy computations during the design. Or whether we should perform more than one energy computation that is made exclusively for the purpose of showing the buildings comply with the building regulations for the energy frame.

Resume

I opgaven behandles problemstillingen Beregnet energi vs. målt energiforbrug. Hvor stor forskel er der på det energibehov der beregnes i forbindelse med projekteringen af bygningen, i forhold til den energi der bruges, når bygningen er opført og i funktion? Kan de to begreber sammenlignes direkte? Hvad kan evt. gøres for fremtiden for at belyse den forskel der vil være på de to udsagn?

Omkring problemstillingen benyttes tre projekter, alle tegnet af arkitektfirmaet Christensen & co arkitekter a/s. Opgaven udføres med baggrund i de energiberegninger der er blevet lavet i forbindelse med myndighedsansøgningen, om tilladelse til at opføre den enkelte bygning. Denne energiberegning stilles op imod det målte energiforbrug, der siden opførslen af bygningerne har fundet sted. Udover de eksisterende energiberegninger har indsamlingen af forbrugsdata været det første og meget afhængige "step" mod at have et ordentligt grundlag at udføre opgaven på. Udover forbrugsdata, er indsamlet tegninger, beskrivelser, tæthedsmålinger, energimærker og enkelte rapporter omkring det enkelte projekt. For hvert af projekterne er fundet kontaktpersoner som har eller har haft en stor berøring og indgående kendskab med det enkelte projekt. Efter indsamling af de forskellige materialer tages det enkelte projekt, igennem fem forskellige energiberegninger, heriblandt de to ovenstående beregninger.

Første beregning er som nævnt det enkelte projekts energiberegning til byggeansøgningen. I anden beregning skiftes blot vejrdato, tredje beregning justeres for evt. ændrede brugstider og ændrede indvendige rumtemperaturer. I den fjerde beregning justeres for det interne varmetilskud og for det varme brugsvand, de fire nævnte parametre kaldes standardværdierne. Standardværdierne er brugerrelaterede parametre, som er forudsat i beregningen til byggeansøgningen. Femte beregning er en komplet justering af de målte forbrugsdata, så der derved opnås en energiberegning svarende til det målte forbrug. Et egentligt sammenligningsgrundlag er nu udført og den egentlige sammenligning bør ske mellem beregning 2 og beregning 5. Med de fem energiberegninger laves sammenstillinger og vurderinger af resultaterne. For alle bygningerne er der tale om et større forbrug end beregnet, hvilket også har været indgangspunktet inden opgavens start. Det der kan vises ud af resultaterne, er hvor det egentlige "overforbrug" er placeret og hvor kan "sættes ind" for at nedbringe den omtalte difference.

I afsnittet "7. Diskussion" berøres en del emner der kan opfattes som problemstillinger eller forslag til forbedringer i forhold til opgavens problemstilling. Her kan nævnes "Tæthedsplanen" "Uddannelse af brugeren" "Comissioning" "Standardværdierne" og "Registrering af energiforbrugsdata". Hvornår skal eller kan inddata til energiberegning rettes/fastlægges. De data der ofte foreligger for rådgiver på det tidspunkt byggeansøgning foretages, ender erfaringsmæssigt med at blive reguleret i forbindelse med hovedprojektsfasen.

En konklusion kunne være, at vi går ind med for optimistiske standardværdier i vores energiberegninger, under projekteringen. Eller om vi bør udføre mere end ene energiberegning der i dag udføres, og som alene tjener det formål at vise om bygningerne overholder bygningsreglementets fastsatte energirammer.

Indholdsfortegnelse

Titelblad	2
Summary	3
Resume.....	4
1. Indledning	6
2. Baggrund og teori	8
3. Projekterne	10
3.1 Green Lighthouse (DGNB Bronze).....	10
3.2 Solhuset (Energiproducerende)	12
3.3 Miljøcenteret (BR2020+DGNB Bronze).....	13
4. Metoder og materialer	16
4.1 Generelt:	16
4.2 Green Lighthouse:	18
4.3 Solhuset:.....	20
4.4 Miljøcenteret:	22
5. Registreringer	25
6. Resultater	29
6.1 Generelt:	29
6.2 Green Lighthouse	30
6.3 Solhuset.....	34
6.4 Miljøcenteret.....	38
6.5 Fælles resultater.....	42
6.6 Energi pr. m ²	43
7. Diskussion	44
7.1 Green Lighthouse:	44
7.2 Solhuset:.....	46
7.3 Miljøcenteret:	48
7.4 Generelt:	51
8. Konklusion	63
9. Bilag	64
10. Litteratur.....	65
11. Figurer og fotos	67
12. Anerkendelser	68

1. Indledning

Det bliver ofte udtrykt fra bygherrer, driftsorganisationer og andre aktører inden for byggeriet, at det faktiske energiforbrug ligger en hel del over, hvad man burde forvente i forhold til energiberegningen.

Selvom man ligesom ved køb af en bil, med et fra fabrikken forventet brændstofforbrug, på 22 km pr. liter, kan forvente at det reelle forbrug ser anderledes ud. Da virkelighedens forudsætninger såsom kørselsadfærd, vej- og vejforhold mv. adskiller sig fra beregningen.

Dette kan i nogen grad overføres til et synspunkt også gældende for byggeriet.

Energiforbruget i vores bygninger har været i fokus siden 70'erne. Med et stadigt stigende fokus. Arbejdsmetoder, byggeteknik og teknologi har udviklet sig kraftigt især de seneste år. Der er blevet eksperimenteret med energirigtigt bygningsdesign og arkitektur, og der findes i dag mange muligheder for at spare energi ved bedre udnyttelse af dagslys, solenergi, varmepumper, naturlig ventilation og lagring af energi i bygningskonstruktionen. Alle disse muligheder skaber grundlag for at reducere forbruget gennem mere energieffektive installationer og anlæg samtidig med, at CTS anlæg i dag nærmest er blevet standard i alt nyt kontorbyggeri.

Det skøre ved det er, at det ofte nævnes, at der er et højere energiforbrug i nye, avancerede bygninger, der benytter den seneste energieffektive teknologi, end i tilsvarende ældre og mere simple bygninger.

Derfor er der meget, der tyder på, at de mange muligheder for at reducere bygningers energiforbrug ikke bliver udnyttet til fulde. Og her er mange faktorer der kan spille ind.

Umiddelbart er de store årsager enten en utilstrækkelig viden om den korrekte brug, altså måske mangler brugerne viden om, hvordan der kan opnås et mindre energiforbrug i bygningerne.

Eller også kan det være et manglende sammenspil mellem de mange forskellige installationer, bygninger i dag fødes med.

Der er i dag stadig stor usikkerhed om, hvor meget energiforbruget i nye bygninger ligger over det forventelige. Der er stor usikkerhed, om hvad det skyldes. Og hvem ved egentlig hvad det forventelige er.

Skyldes det design og projekteringsfejl, byggesjusk og fejl i udførelsen eller skyldes det anden anvendelse eller forkert anvendelse end tiltænkt?

Det kan være svært at svare på, og det kan være svært at belyse de enkelte elements betydning, uden at disse berører hindanden.

En af de store udfordringer er, at energiberegningerne i Be10 f.eks. ikke inkluderer senere medbragte apparater og tager ikke nok højde for brugeradfærd. En bygnings energiforbrug vil derfor næsten altid ligge over det beregnede energibehov.

Derfor kan det beregnede energiforbrug ikke bruges til at vurdere om en bygnings energiforbrug ligger i den høje eller lave ende, fordi at adfærd potentielt kan forklare en del af et evt. overforbrug. Der er dog flere ting der kan indikere at det ikke kun kan være brugeradfærd alene der er skyld i det, selvom det altid vil være en ubekendt faktor.

I opgaven gennemgås 3 byggerier alle tegnet af Christensen & co. arkitekter a/s.

Opgaven koncentrerer sig om, hvad der i projekteringsfaserne blev beregnet af energibehov for de forskellige bygninger, og hvad bygningerne så faktisk bruger af energi, efter at de er taget i brug.

For byggerierne er der selvfølgelig mange forskellige forudsætninger. Hvad skal bygningen bruges til, hvordan er brugeradfærden? Hvilket mål har der været for bygherren? Og mange, mange andre forudsætninger. Opgaven forsøger, på trods af forskellige forudsætninger, at drage konklusioner på tværs af projekterne.

Der er i alle de tre byggerier tale om lavenergi bygninger.

To af dem er opført med lette facader og tunge kerner, et andet er opført som tungt byggeri.

Hvilket kan være et interessant emne, når der snakkes om tæthedsplanet og dermed også reduktion af utilsigtet energitab. Er der en af facadetyperne der er bedre en den anden?

De tre byggerier har opnået flere honoreringer og priser, en af bygningerne er opført som 2020 bygning (tungt). En af bygningerne er opført som energiproducerende bygning (let facade).

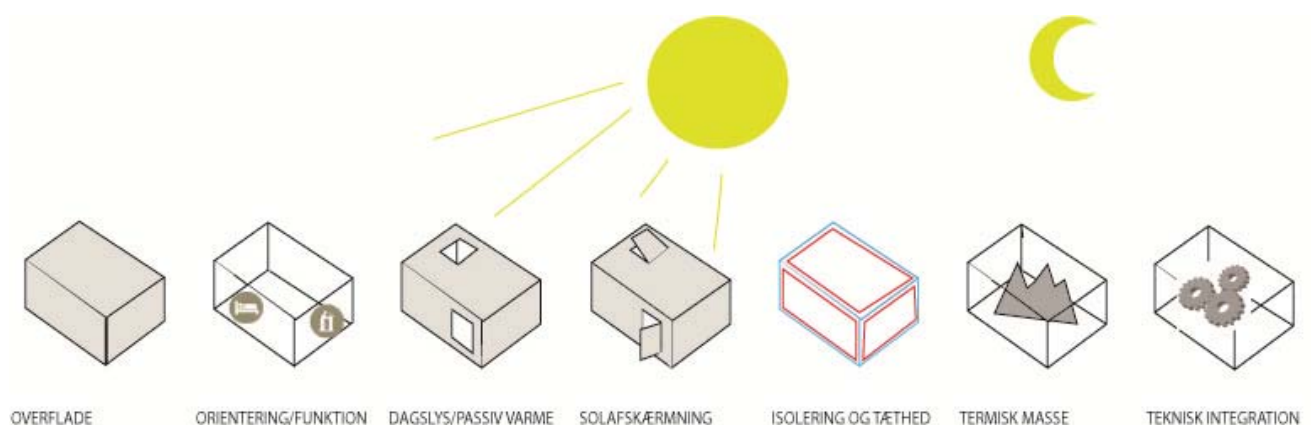
To af bygningerne er præmieret med DGNB Bronze (tung og let). En af bygningerne er præmieret med LEED GOLD (let).

Projekterne gennemgås yderligere i afsnit "3. projekterne"

I rapporten gennemgås projekterne en for en, det beregnede energibehov, det målte energiforbrug, overvejelser omkring valg af konstruktioner, overvejelser omkring optimering af indeklimaet, heraf også optimering af energiforbruget.

Andre ting som krav til vinduer, klimaskærm og tæthedsprøver gennemgås også i projekterne

Herefter tages der fat på om der evt. er data der kan sammenlignes eller sammenstilles og hvad der kan konkluderes på tværs af byggerierne.



Figur 01, Diverse generelle problemstillinger

2. Baggrund og teori

Som nævnt i indledningen er en af baggrundene for opgaven, at der ikke eksisterer tilstrækkelig viden om hvad vi kan forvente af en bygning der planlægges at skulle leve op til diverse energimæssige krav.

Man kan sige at der egentlig er tilstrækkelig med viden, men den bliver i dag bare ikke formidlet i en sådan grad, så byg- og driftsherrer fuldt forstår hvorfor der er en difference mellem beregning og forbrug.

Med opgaven er det ønsket at synliggøre den forskel der er mellem det energibehov der beregnes under projekteringen af et byggeri (til myndigheds behandling), og det energiforbrug der efterfølgende opstår når bygninger tages i brug.

Med baggrund i Be10 tages der udgangspunkt i den enkelte bygnings energiberegning til ansøgning om byggetilladelse, de faktisk målte forbrugsdata og evt. ændrede forbrugsforhold.

For at gøre beregning og forbrug sammenligneligt skal data for forbruget "tilbageføres" ind i en ny energi beregning, og inputparametre for de mange forskellige installationer ændres, så de svarer til hvad der er målt i det faktiske forbrug.

Det kan være en stor udfordring at samle forbrugstal for de mange forskellige installationer der er i bygningen. Der kan være tilfælde hvor der blot er installeret en hovedmåler, og der derfor ikke bliver registreret på et niveau, der direkte kan bruges ved "tilbageførslen" af de målte data. Her må foretages en opdeling og estimering af forbruget, svarende til den tidligere fastsatte fordeling af det forventede forbrug i beregningen.

Der skal også ændres på mange andre parametre i en sådan sammenligning. Ved oprettelsen af energiberegningen, foretages en række valg baseret på standardforudsætninger.

Nogle af standardforudsætningerne kan med stor sandsynlighed, forventes at være ændret, og der skal derfor tages et kig på disse også.

I den forbindelse skal man huske at tage højde for vejret, hvilket kan have stor indflydelse på hvordan vores bygninger præsterer. En energiberegning foretaget under projekteringsfaserne kan ikke tage udgangspunkt i hvordan vejret bliver de næste mange år.

Derfor bruges der et vejrdato sæt, samlet og registreret over mange år.

Dette giver en hvis form for sandsynlighed for hvordan vejret kunne se ud i fremtiden. Der er dog sket en udvikling i brugen af vejrdato.

Da de aktuelle klimaforandringer desværre i en hyppigere grad ikke kan repræsenteres i de ældre klimadata. De vejrdato der benyttes ønskes i en så høj grad som muligt at kunne repræsentere det fremtidige vejr.

Der har derfor, været benyttet flere forskellige tidsperioder for vejrdatasættet.

I 1995 startede man med at benytte det der hedder DRY (Design Reference Year) (Jensen, 1995)

Før 1995 brugte man det der blev kaldt TRY (Test Reference Year)

Generelt kan det kaldes "reference året". Reference året der blev taget i brug fra 1995 er baseret på 15 års vejr statistik.

Fra 2015 skal benyttes "det nye reference år" (2001-2010) Det nye DRY år er baseret på målinger fra DMI og er udarbejdet i et samarbejde mellem SBI (Statens byggeforsknings institut) og DMI.

(2001-2010 Dansk Design Reference Year, 2013)

Benyttelse af det nye DRY-år vil blive obligatorisk fra år 2015 og frem. Nærmere betegnet når det BR2015 træder i kraft.

Det kan tilføjes, uden at have større relevans for opgaven, at der i vejrstatistikker findes to begreber, kaldet klimanormaler og vejrnormaler. En klimanormal er gennemsnittet for en vejrparameter over en længere årrække. (30 år).

Den gældende klimanormalperiode er fra 1961-1990. Normalperioden er fastlagt og anbefalet af WMO der er meteorologiens internationale hovedorganisation under FN.

Den næste klimanormal hedder 1991-2020. så der går nogle år før denne vil være gældende.

Vejrnormaler adskiller sig fra klimanormaler ved, at de er normaler for kortere perioder og således mere beskriver vejrfænomener end klimatendenser. Vejrnormaler kan have en periode på 10 år.

Det nye DRY år kan derfor betegnes som en vejrnormal

3. Projekterne

3.1 Green Lighthouse (DGNB Bronze)

Bæredygtig universitetsbygning

Klient: Bygningsstyrelsen (Tidl. UBST)

Adresse: Tagensvej 16A
2200 København N

Arkitekt: Christensen & co arkitekter

Ingeniør: COWI

Entreprenør: Hellerup Byg

Øvrige: Velux, Velfac,
Bygningsstyrelsen og
Københavns kommune

Areal: 875 m²

Certificeringer: LEED GOLD (nov. 2011)
DGNB Bronze (maj 2012)

BE10: Bygningsklasse 2020

Energimærke: **A1** Fra 2012.03.28
(svarende til A2015/A2020)
(bilag 02)

VE kilder: 45 m² Solceller
18 m² Solvarme
Varmepumpe

Tæthed: 1,45 l/s/m² ved trykprøvning på 50Pa. (bilag 05)

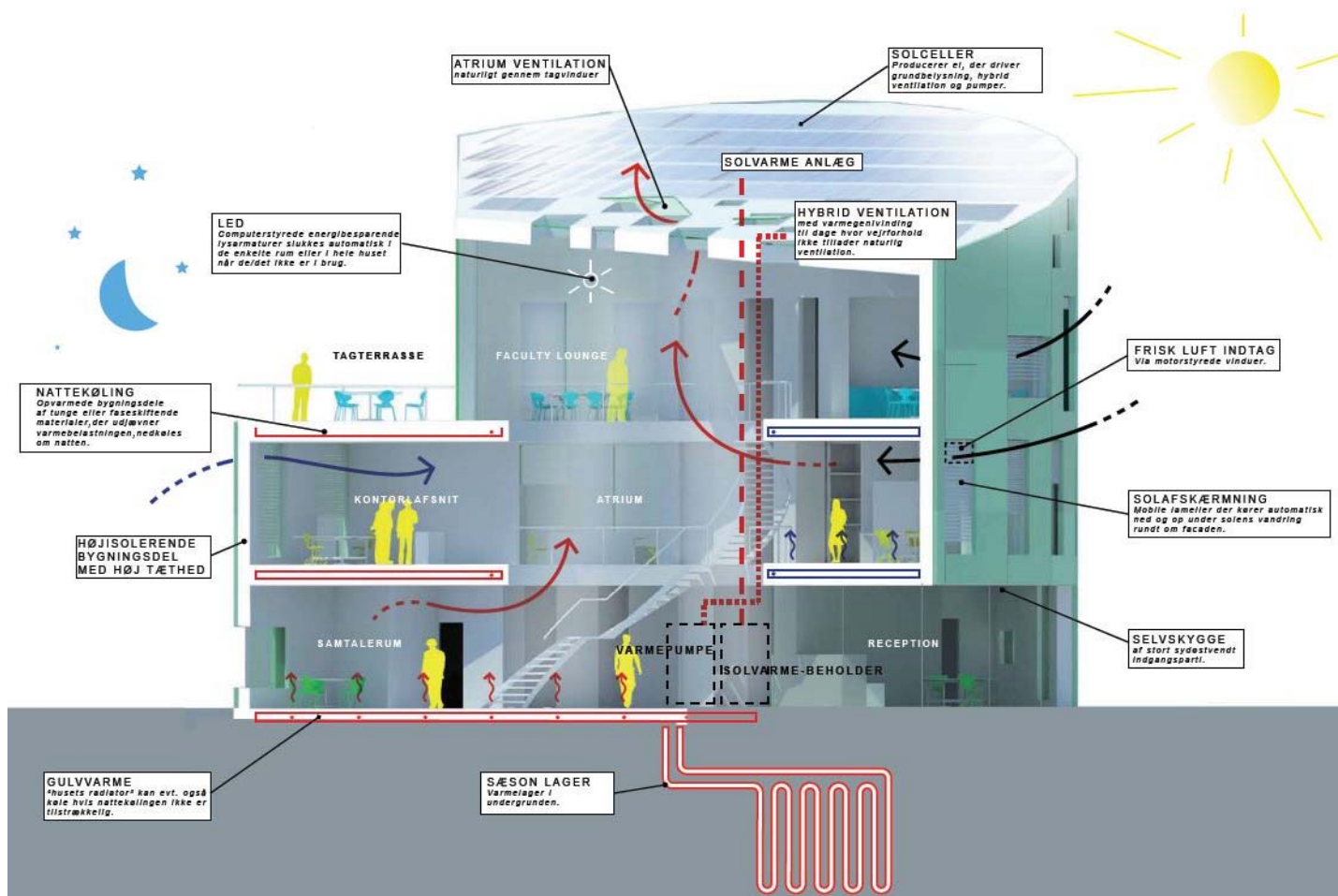


Foto: Adam Mørk

Green Lighthouse er Danmarks første CO₂ neutrale offentlige byggeri til det Naturvidenskabelige Fakultet på Københavns Universitet, og er designet med udgangspunkt i en helhedsbetragtning. Et sundt og bæredygtigt hus, med højt til loftet, åbne og spatiøse sammenhænge. Bygnings runde form skaber et samlingspunkt på KU's campus.

Green Lighthouse blev indviet oktober 2009, Bygningen har modtaget flere priser og nomineringer. Bygningen modtog blandt andet, i 2010 Københavns kommunes pris for gode og smukke bygninger, samt DI's Byggematerialers pris i 2009 for innovativt samarbejde.

Bygningens form giver optimale forhold mellem minimal overflade og maksimal volumen. Energikonceptet er en kombination bestående af solvarme, solceller, varmepumper og fjernvarme. Huset er naturligt ventileret og kølingen sker via den naturlige ventilation. Den naturlige ventilation forsynes via ovenlysvinduer i bygningens sydligt skrånende tagflade, hvorpå der også er installeret solceller og solvarme. Solvarmen leverer varmt vand til bygningen, varmen fra solpanelerne akkumuleres i stueetagens termoaktive dæk. Den overskydende solenergi der skabes om sommeren ledes under bygningen i et lager, der bruges når solens styrke aftager.



Figur 02, Energisnit af Green lighthouse. (bilag 15)

Udover de nævnte certificeringer udmærker Green Lighthouse sig også ved at leve op til mange af de krav, der i dag stiles til et byggeri i Bygningsklasse 2020. F.eks. ved selve energiberegningen (Be10), hvor en bygnings samlede energibehov skal ligge under $25 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$.

Her placerer beregningen for Green Lighthouse sig på $6,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$, samt et transmissionstab gennem klimaskærmen, ekskl. vinduer og døre på $2,8 \text{ W/m}^2$.

Hvilket må siges at være ganske godt af en bygning opført i 2009, hvilket er før 2020 kravene var defineret.

En anden ting som er værd at nævne ved bygningen, er at den primære lyskilde er dagslys. Der er monteret automatiske lameller foran vinduerne der er udformet, så de reflekterer sollyset ind i bygningen.



Foto: Adam Mørk

3.2 Solhuset (Energiproducerende)

Energiproducerende integreret børnehave

Klient:	Hørsholm Kommune
Adresse:	Breeltevej 3 2970 Hørsholm
Arkitekt:	Christensen & co arkitekter
Ingeniør:	Rambøll
Entreprenør:	Hellerup Byg
Øvrige:	VKR Holding A/S
Areal:	1228 m ²
BE10:	Bygningsklasse 2020
Energimærke:	Lavenergiklasse 1 Selve energimærket har ikke været tilgængeligt
VE kilder:	76 m ² Solceller 50 m ² Solvarme Varmepumpe/Jordvarme



Foto: Adam Mørk

Tæthed: 0,85 l/s/m² ved trykprøvning på 50Pa (bilag 09)

Den klimavenlige børnehave "Solhuset" i Hørsholm, understreger at god arkitektur og integreret energidesign kan gøre en forskel, når det kommer til energiminimering og et godt indeklima. "Solhuset" er lavet over *active house* principperne (<http://www.activehouse.info/>), hvilket betyder at når solfangere, solceller og varmepumper medregnes vil børnehaven have en overproduktion af energi.

Solhuset blev indviet i januar 2010

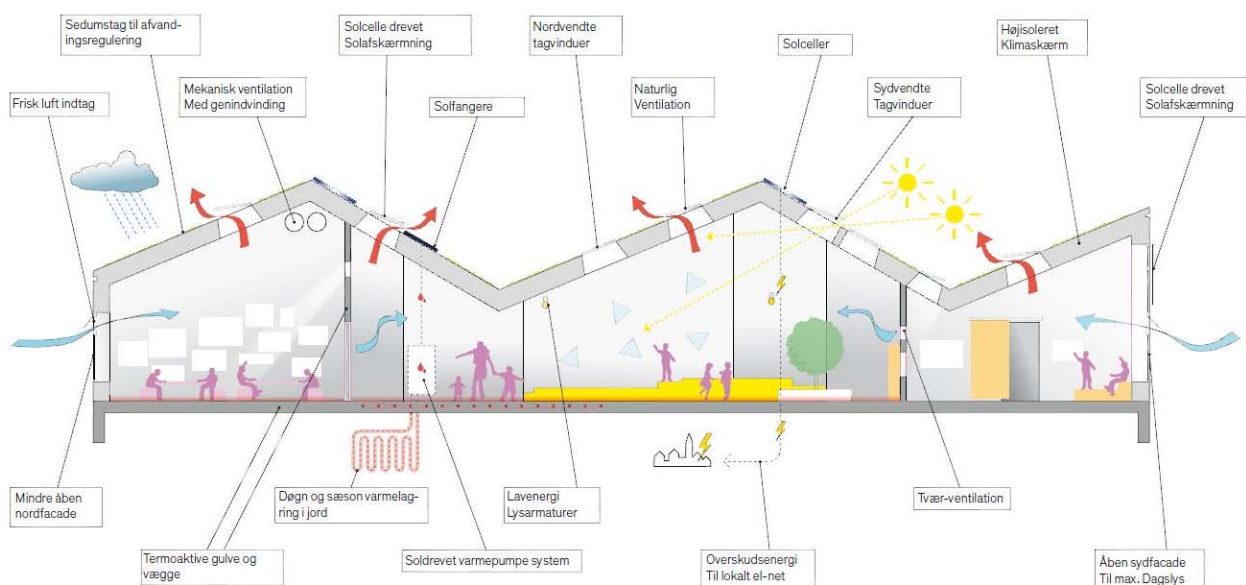
Bygningen har ved sin trekantede form og tag vinkling en optimeret varmebalance gennem vinduerne i facade og tag.

Den naturlige ventilation der drives af Velux tagvinduer yder sammen med facadevinduerne et forøget dagslystilsud til bygningen.

Energikonceptet er en kombination af varmepumper i form af Jordvarme, solceller og solvarme

Solhuset markerer sig også ved at leve op til mange af de krav, der i dag stiles til et byggeri i Bygningsklasse 2020.

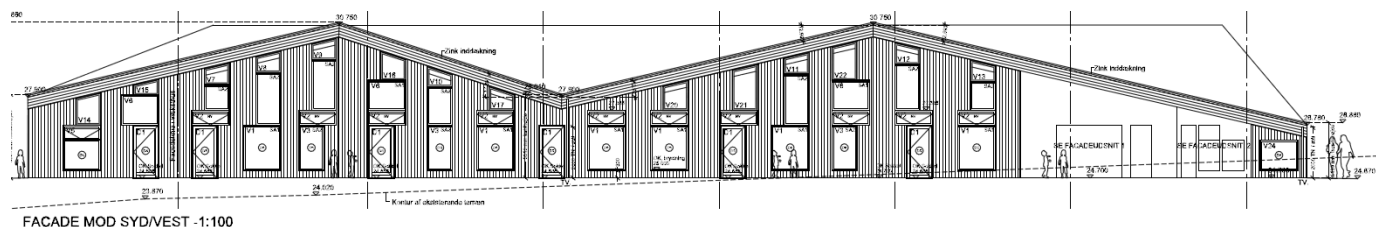
Ved selve energiberegningen (Be10), hvor en bygnings samlede energibehov skal ligge under 25 kWh/m² år, placerer beregningen for Solhuset sig på 11,5 kWh/m² år, samt et transmissionstab gennem klimaskærmen, ekskl. Vinduer og døre på 2,8 W/m².



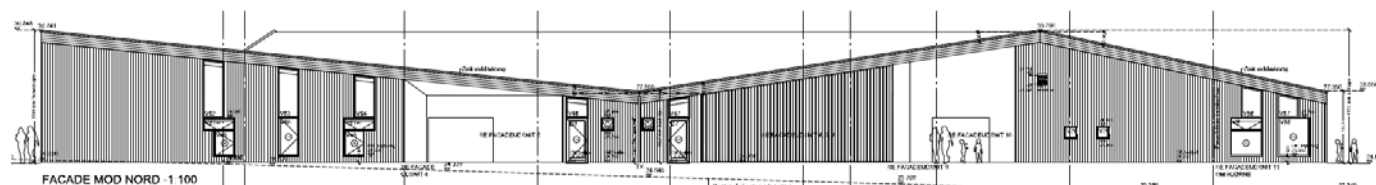
Figur 03, Energisnit af Solhuset (bilag 15).

Bygningen har tunge indervægge i beton og let facade

Den gennemsnitlige dagslysprocent i grupperum og personalerum er beregnet til ca. 6 %.



Figur 04, Opstalt, sydvest af Solhuset



Figur 05, Opstalt, nord af Solhuset

Yderligere tegningsmateriale fra solhuset fremgår af bilag 06.

3.3 Miljøcenteret (BR2020+DGNB Bronze)

Kamelen, 0-energi hus

Klient:	BY & HAVN I/S
Adresse:	Nordsøvej 4 2150 Nordhavn
Arkitekt:	Christensen & co arkitekter
Ingeniør:	Grontmij
Entreprenør:	Jönsson A/S
Areal:	1031 m ² Opvarmet 732 m ² Uopvarmet
Certificeringer:	DGNB Bronze (maj 2012)
BE10:	Bygningsklasse 2020
Energimærke:	A2020 fra 2013.12.19 (bilag 11)
VE kilder:	140 m ² Solceller 10 m ² Solvarme Varmepumpe/Jordvarme



Tæthed: 1,38 l/s/m²
ved trykprøvning på 50Pa (bilag 14)

Foto: Adam Mørk

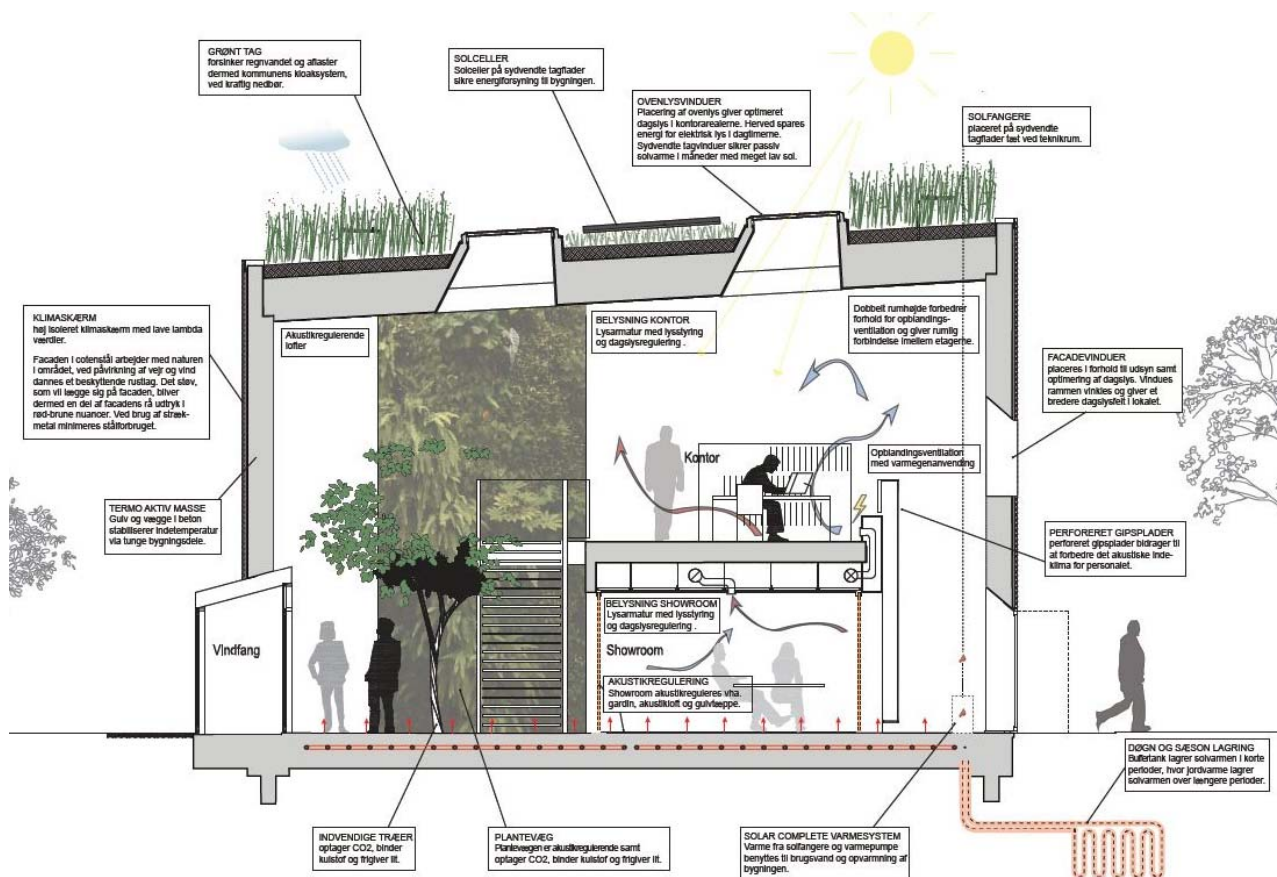
Miljøcenter i Nordhavn driver depotet for forurenet jord i Nordhavnen.

Miljøcenteret, som huser administration, mandskabsbygning samt tilhørende værksteder, har med sin siksakformede bygning og sit grønne foldede tag der går i et med terrænet, en markant arkitektur.

Miljøcenter Nordhavn blev indviet juli 2013, og den energimæssige målsætning har været et 0-energi hus. Miljøcenteret producerer selv energi ved anvendelse af solfangeranlæg, solceller og jordvarmeanlæg samt lagrer varmen i termoaktive dæk.

Miljøcenteret rummer 16 arbejdspladser. Der er 2 etager i bygningen, og det særlige ved 1. salen i denne bygning, er at den ikke strækker sig fra facade til facade, men står mere som et "møbel" i den høje stueetage. Altså kan de indvendige rummeligheder opfattes som et enkelt rum og dagslys kan ramme fra flere vinkler end normalt.

Taget på bygningen er udført som et "rigtig" grønt tag. Den bærende del af taget er udført i betondæk. Konstruktionen er isoleret, hvorefter der er udlagt et vækstlag på ca. 50 cm. Facaderne er udført i beton, isolering og facadeplader, samt stærkmetal i corten stål som facadebeklædning.



Figur 06, Energisnit af Miljøcenteret (bilag 15)

Indvendigt i kontordelen er plantet 2 træer, samt en grøn væg der rejser sig fra indgangsetagen, til op under det skrå loft.

Miljøcenter Nordhavn kaldes også i daglig tale for kamelen. Grundet sinde pukler og farve på facaderne.

Ved selve energiberegningen af bygningens energibehov (Be10), som skal ligge under $25 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$, for at opfylde kravet til 2020, placerer beregningen sig på $11,9 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$, samt et transmissionstab gennem klimaskærmen, ekskl. Vinduer og døre på $3,8 \text{ W/m}^2$.



Foto: Adam Mørk

4. Metoder og materialer

4.1 Generelt:

Byggeri består af mange komponenter, som påvirkes af vort klima, og som igen påvirker vores miljø. Komponenternes forskellige egenskaber er afgørende for, hvordan energi transporteres gennem bygningsdelene og skaber bygningens klima, det kaldes bygningsfysik. Og her er energiberegninger en meget vigtig del

Som nævnt under "Baggrund og teori" benyttes Be10 til sammenligning af det beregnede energibehov og det faktisk målte energiforbrug.

Der er indsamlet forbrugsdata for de 3 byggerier.

For projekterne er der stor forskellighed i hvordan det har været muligt at indsamle data. Dette er nærmere beskrevet under hvert projekt i afsnit herunder.

Udover forbrugsdata er også indsamlet oplysninger om antal brugere, indvendige rumtemperaturer og brugstiden for den enkelte bygning.

Måden differencen mellem det beregnede og det faktiske forbrug tænkes belyst, er ved brug af Be10 og Excel regneark

De oprindelige energiberegninger bruges som grundlag for udførelse af de nye energiberegninger med inddata tilpasset de faktiske forhold.

I beregningerne benyttes vejrdatasæt tilpasset det faktiske udeklima i måleperioden, således forudsætningerne bliver sammenlignelige.

Der er opbygget et separat vejrdatasæt for hver af projekterne da de tilgængelige forbrugsdata ikke stammer fra samme årstal. Vejrdatasæt er med stor taknemmelighed fremskaffet gennem hjælp fra SBI v/vejleder for nærværende opgave.

Gældende for alle vejrdatasæt skal det bemærkes at der her er tale om, udelukkende en tilpasning af udetemperaturer, gældende for det respektive år. Skulle hele vejrdatasættet ændres altså inkl. solstråling, ville dette være en omend meget stor mængde data der her skulle benyttes, hvilket der i denne opgave ikke har været muligt. Vejrdatasæt er redigeret med udgangspunkt i gældende vejrdatasæt.

For alle vejrdatasæt der er tilpasset de forskellige år er de udvendige temperaturer målt fra vejrstation på Solhuset

Standardforudsætningerne vil stort set altid være anderledes end i virkeligheden, hvilket begrundes i tilpasning af forudsætningerne, i de tilfælde der er ændringer.

Standardforudsætningerne er:

- Brugstiden
- Internt varmetilskud. (Personer og udstyr i bygningen)
- Varmt brugsvand
- Inde-temperatur
- Udeklima

For de nye energiberegninger gælder at de faktisk målte data skal føres tilbage i Be10. For at kunne tilbageføre de faktisk målte data, benyttes den udvidede resultatlog i Be10. Heraf fremgår det forventede forbrug fra de forskellige komponenter i bygningen. Derved er det muligt at gå ind i diverse inputdata og justere på disse så de præsterer efter hvordan de faktisk er målt.

Er der input parametre der ikke ændres ved eller "skrues på" vil disse præstere som i den eksisterende energiberegning, f.eks. varmtvandsforbruget.

Nogle parametre er dog meget afhængige af hindanden. Hvis både varmepumpe og solvarmeanlæg leverer varme til det varme brugsvand, har disse parametre indflydelse på hindanden. Ligesom belysning og internt varmetilskud, indvirker på varmebehovet fra den primære opvarmningskilde.

Dette giver grundlaget for sammenligningen mellem det faktisk målte og energiberegningerne.

Data fra Be10 beregningerne og data fra det faktisk målte forbrug er indført i regneark, hvorfra der gøres sammenstillinger og opsummeringer af de forskellige scenarier.

I praksis betyder det at der for hver energiberegning, er udført 2 ark. Det ene ark er resultatloggen kopieret ind, fra Be10. I det andet ark bruges tal fra resultatloggen. Heri opstilles de forskellige parametre og tal der har indflydelse på det resulterende energibehov og energiproduktion.

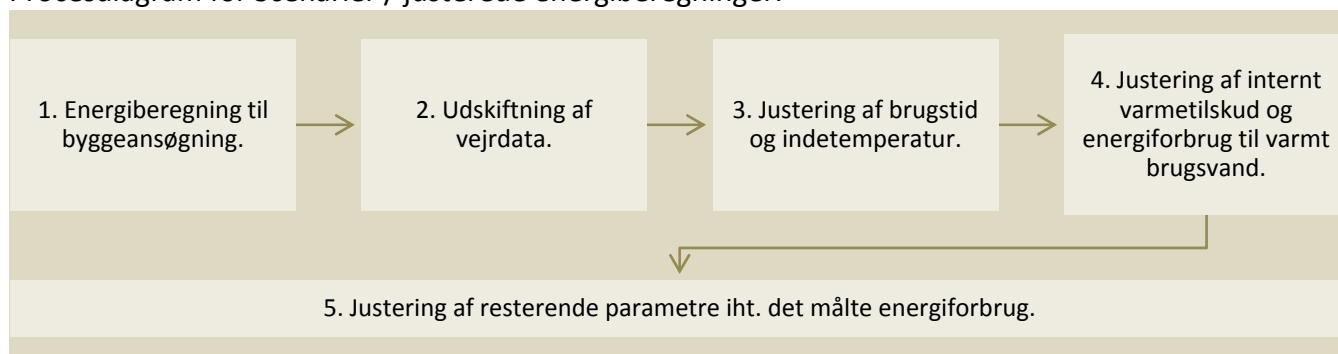
Gældende for alle projekterne er, foruden beregningen til ansøgningen om byggetilladelse, at der udføres 4 forskellige energiberegninger med forskellige tiltag og ændringer i forhold til standard energiberegningen. (se figur 07).

Det endelige sammenligningsgrundlag vil være den energiberegning hvor der blot er ændret på vejrdata (beregning 2) og så den energiberegning som er tilpasset i henhold til det faktisk målte energiforbrug (beregning 5).

Disse to beregninger kan nu sammenlignes, da de vil have de samme fysiske forudsætninger dvs. klimaskærm, ventilation, interne belastninger, forbrug af varmt brugsvand og mængder af vedvarende energikilder. Hertil er der det samme vejrdata sæt for dem begge.

De beregninger og scenarier der ellers udføres, er for at belyse de forskellige parametres indflydelse på bygningens præsteren.

Procesdiagram for Scenarier / justerede energiberegninger.



Figur 07, Procesdiagram

4.2 Green Lighthouse:

Registreringer og materialer i forbindelse med Green Lighthouse er modtaget fra den udførte 3-års rapportering der blev udgivet i april 2013.

Samt ved mailkorrespondance med Lone Feifer, Velux A/S, Reto M. Hummelshøj, COWI og Thomas Rudbeck, COWI

I Green Lighthouse måles, ligesom på solhuset, nærmest alt. Og der er endda udført en 3 års rapport med gennemgang af forbruget, brugen af bygningen og en masse andre ting. Dog har det vist sig svært at få lov til at se data for forbruget på månedsbasis. De data det har været muligt at modtage er totaler og derfor er også udført et estimat for fordeling af totalerne, på månedsbasis. Data fra Green Lighthouse er tilbage fra 2012.

Den oprindelige energiberegning for Green Lighthouse har ikke været tilgængelig, men rådata fra beregningen har været tilgængelig i form af en HTML fil, derfor er der oprettet en ny Be10 beregning, med baggrund i de rådata der er blevet udleveret. Denne betragtes som værende den eksisterende energiberegning

For standardforudsætningerne i energiberegningen er der sket ændringer i form af:

- Brugstiden ændres til en udvidet brugstid på 60 timer i forhold til det forudsatte på 45 timer
- Indvendigt temperatursæt fra 20 grader til 23 grader.
- Forbrug til udstyr (internt varmetilskud) (se figur 23 på side 31).
- Forbruget til varmt brugsvand er ligeledes korrigeret (se figur 23 på side 31)

Baggrunden for de ændrede standardværdier er 3 års rapporten (Bygningsstyrelsen, April 2013)

Derudover er korrigeret på følgende parametre: (se figur 23 på side 31)

- Kedel/fjernvarmeveklser
- El til centralvarmeanlæg
- El til varmt brugsvand
- El til ventilation
- El til kedel/fjernvarme
- El til varmepumpe
- El til solvarme
- El til belysning
- Opvarmning

- Produktion til varmepumpe
- Produktion til solvarme
- Produktion til solceller

For Green Lighthouse er de faktisk målte energidata opgjort i form af:

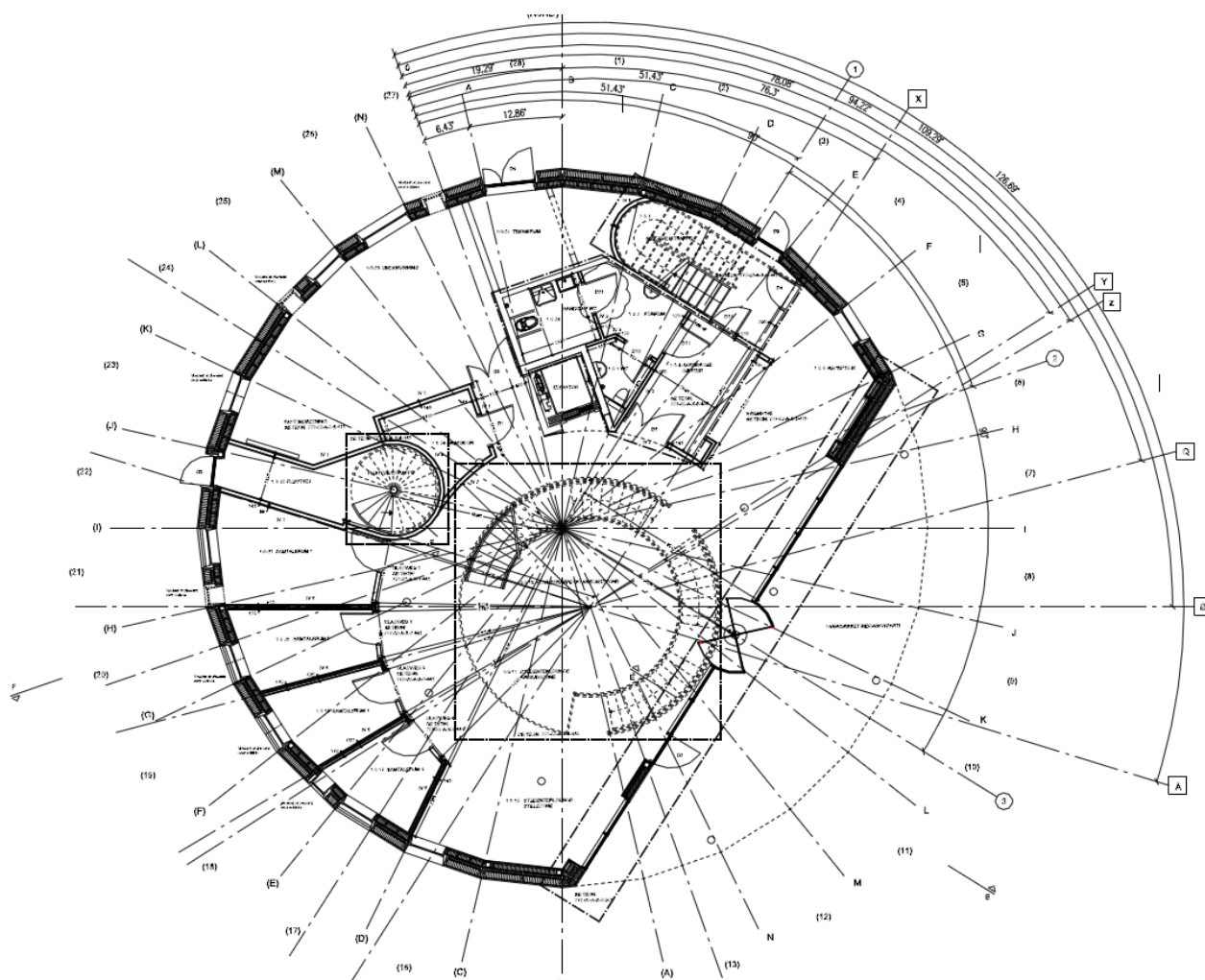
Forbrug:	Produktion:
- Ventilation	- Varmepumpe og solvarme
- Belysning	- Solceller
- Udstyr	
- Opvarmning	
- Brugsvand	

Vejrdatasæt der er benyttet er fra 2012

For Green Lighthouse udføres følgende energiberegninger / scenarier:

1. Beregning til byggesagsbehandling, intet ændres
2. Beregning, med ny vejrdato.
 - Beregning 2 er baseret på beregning 1 med udskiftning af vejrdatasæt
3. Beregning, med ændret brugstid og inde temperatur inkl. ny vejrdato
 - Beregning 3 er baseret på beregning 2. I beregning 3 ændres brugstiden fra 45 timer til 60 timer ugentligt og den indvendige rumtemperatur justeres op til 23 grader
4. Beregning med ændrede standardforudsætninger, inkl. ny vejrdato
 - Beregning 4 er baseret på beregning 3. I beregning 4 justeres for det interne varmetilskud (udstyr og apparater) og for varmt brugsvand
5. Ny beregning iht. målt forbrug og med ny vejrdato
 - Beregning 5 er baseret på beregning 4. I beregningen justeres for Kedel/fjernvarme, Ventilation, el til varmepumpe og belysning, samt produktion for varmepumpe, solvarme og solceller

Fordi varmepumpe og solvarme er opgivet i samme sum er der her gjort tilnærmelser for de 2 forskellige parametre i Be10 beregningerne. Samlet er der i den sidste beregning tale om den samme sum som det faktisk målte, her er forbruget blot blevet fordelt på solvarmen og varmepumpen. Beregningen til byggeansøgningen tager af gode grunde ikke højde for nogen samlet målt værdi for varmepumpe og solvarme. De nævnte tilnærmelser er alene foretaget for beregning 5. *Ny beregning iht. målt forbrug og med ny vejrdato.*



Figur 08, Green Lighthouse, Stueplan

Yderligere tegningsmateriale for Green lighthouse fremgår af bilag 01

4.3 Solhuset:

Registreringer i forbindelse med Solhuset er modtaget ved mailkorrespondance med Niels Tredal, Rambøll A/S, samt måneds rapport fra solhuset for juni 2013

På solhuset måles rigtig mange ting og der samles data i en sådan grad at der ikke har været den store nødvendighed for at korrigere måledata. Alle forbrugsdata har på solhuset været tilgængelige. I denne rapport benyttes forbrugsdata fra 2013.

Energiberegningen blev i sin tid foretaget i BE06. Det satte nogle begrænsninger, da programmet ikke kunne håndtere den mængde solceller der blev installeret. Sammen med energiberegningen fulgte derfor et notat som sandsynliggjorde det forventede energiforbrug og den forventede energiproduktion, udover hvad der blev indtastet i BE06 versionen.

Dette har gjort det nødvendigt at tilpasse den oprindelige energiberegning i BE10, således alle installationer nu foreligger i en fuld færdig BE10 energiberegning. Tilpasningen er gjort ud fra de forventede tal, nævnt i notatet der fulgte med den oprindelige BE06 energiberegning, samt Be06 beregningen.

For standardforudsætningerne i energiberegningen er der sket ændringer i form af:

- Indvendigt temperatursæt fra 20 grader til 23 grader.
- Forbrug til udstyr (internt varmetilskud) (se figur 28, på side 35)
- Forbruget til varmt brugsvand er ligeledes korrigeret (se figur 28, på side 35)

Baggrunden for at tilpasse den indvendig temperatur er taget fra (Velux, månedsrapport, Juni 2013)

Derudover er korrigeret på følgende parametre: (se figur 28, på side 35)

- El til varmt brugsvand
- El til ventilation
- El til varmepumpe
- El til solvarme
- El til belysning
- Opvarmning

- Produktion til varmepumpe
- Produktion til solvarme
- Produktion til solceller

Vejrdata sæt benyttet er fra 2013

For Solhuset er de faktisk målte data opgjort i form af:

Forbrug:

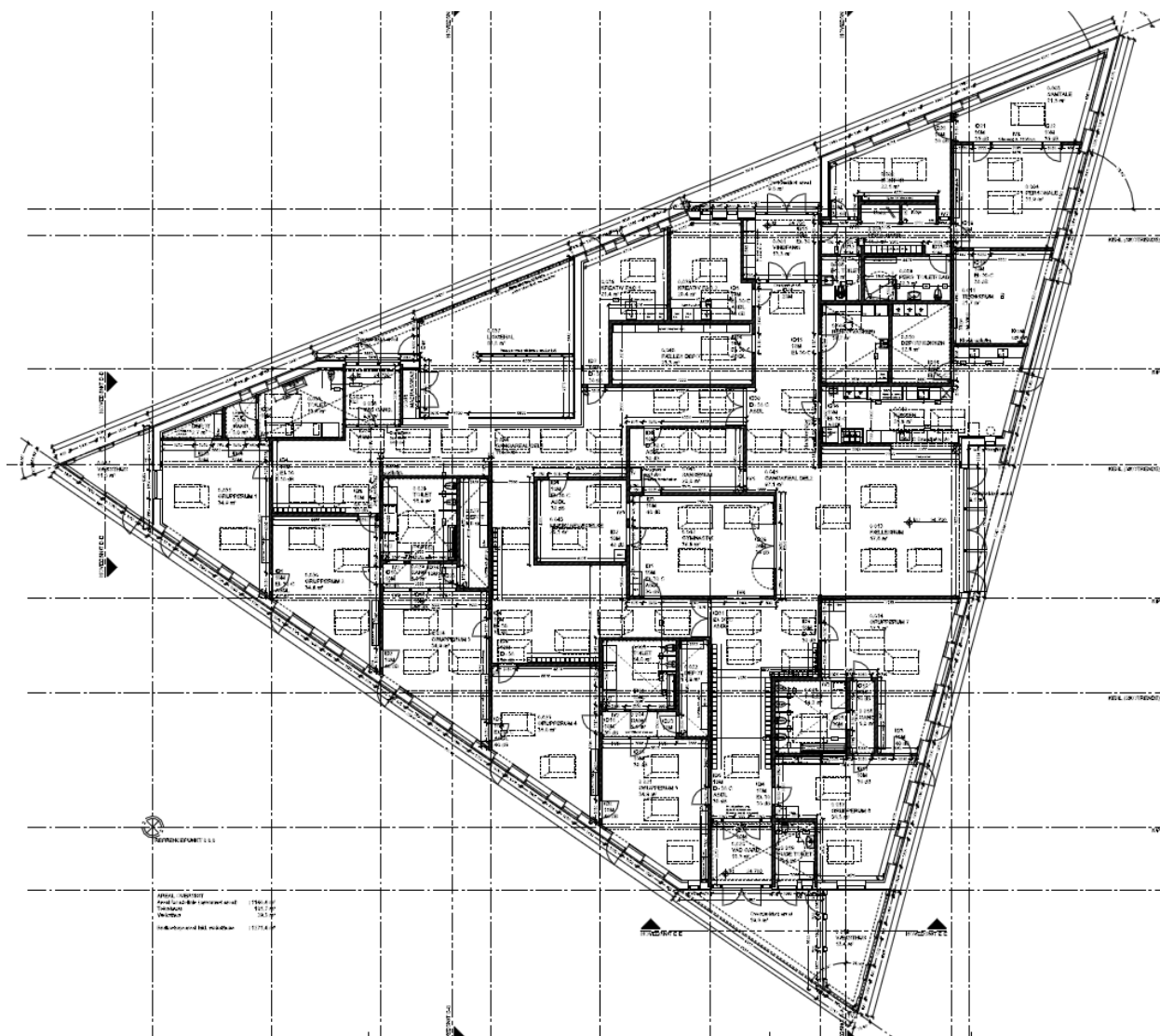
- Ventilation
- El til varmepumpe
- Belysning
- Udstyr
- Opvarmning
- Varmt brugsvand

Produktion:

- Varmepumpe
- Solceller
- Solvarme

For Solhuset udføres følgende energiberegninger (scenarier):

1. Beregning til byggesagsbehandling, intet ændres.
2. Beregning, med ny vejrdato.
 - Beregning 2 er baseret på beregning 1 med udskiftning af vejrdatasæt.
3. Beregning, med ændret inde temperatur inkl. ny vejrdato.
 - Beregning 3 er baseret på beregning 2. I beregning 3 justeres den indvendige rumtemperatur op til 23 grader.
4. Beregning med ændrede standardforudsætninger, inkl. ny vejrdato.
 - Beregning 4 er baseret på beregning 3. I beregning 4 justeres for, det interne varmetilskud (udstyr) og for varmt brugsvand.
5. Ny beregning iht. målt forbrug og med ny vejrdato.
 - Beregning 5 er baseret på beregning 4. I beregningen justeres for Ventilation, el til varmepumpe og belysning, samt produktion for varmepumpe, solvarme og solceller.



Figur 09 – Solhuset, stueplan.

Yderligere tegningsmateriale fra solhuset fremgår af bilag 06.

4.4 Miljøcenteret:

Registreringer i forbindelse med Miljøcenteret er indhentet ved mailkorrespondance med Ann Birgitte Sørensen, Miljøcenteret i Nordhavn og Dorte Kragssig Mortensen, Grontmij A/S, samt besøg på miljøcenteret.

På Miljøcenteret i Københavns Nordhavn har indsamlingen af forbrugsdata været mere kompliceret end i de øvrige eksempler. Her måles og registreres det fulde energiforbrug, dog måles der ikke så detaljeret som det kunne være ønsket. Der registreres produktion fra solvarme, solceller og jordvarme, ellers registreres blot forbrug på en enkelt hovedmåler.

Det har derfor været nødvendigt at foretage en estimeret fordeling af forbruget. Fordelingen er foretaget med udgangspunkt i den fordeling af energibehovet der er fundet i energiberegningen til byggesagsbehandlingen. Altså er der foretaget en procentuel fordeling af forbruget. Forbruget er målt fra midten af 2013 og frem til i dag, der er derfor valgt at benytte data fra 2014

En anden udfordring på miljøcenteret har været at den oprindelige energiberegning tager udgangspunkt i den opvarmede del af bygningen. Det burde i sig selv heller ikke være årsag til bekymring. Men som nævnt tidligere så måles der ikke særskilt på den opvarmede del og den uopvarmede del af bygningen.

Dette har gjort det nødvendigt at udføre en energiberegning for de uopvarmede arealer, da der i de uopvarmede rum også er et forbrug. Her er forbrug til belysning, el til apparater og en mindre varmeinstallation, som holder rummene frostfri (5 grader).

Herefter er energibehov for de 2 energiberegninger lagt sammen således er der nu et beregnet energibehov at sammenligne med, i forhold til det målte forbrug.

Grundet behovet for de 2 energiberegninger, er der af samme grund også tilsvarende udført regneark, hvori resultatloggen for de 2 energiberegninger er indført

For standardforudsætningerne i energiberegningerne er der sket ændringer i form af:

- Indvendigt temperatursæt fra 20 grader til 23,9 grader.
- Forbrug til udstyr og personer der benytter bygningen (internt varmetilskud) (se figur 35 på side 39).
- Forbruget til varmt brugsvand er ligeledes korrigeret (se figur 35 på side 39).

Baggrunden for de ændrede standardværdier er besøg i bygningen med dertil registrering af indvendige rumtemperaturer, registrering af arbejdstider og registrering af personer der benytter bygningen.

Udover registreringen af indvendige rumtemperaturer, er ændringerne herfor også underbygget af en for nyligt fremlagt APV (arbejdspladsvurdering) hvori der nævnes høje temperaturer.

Derudover er korrigeret på følgende parametre: (se figur 35 på side 39).

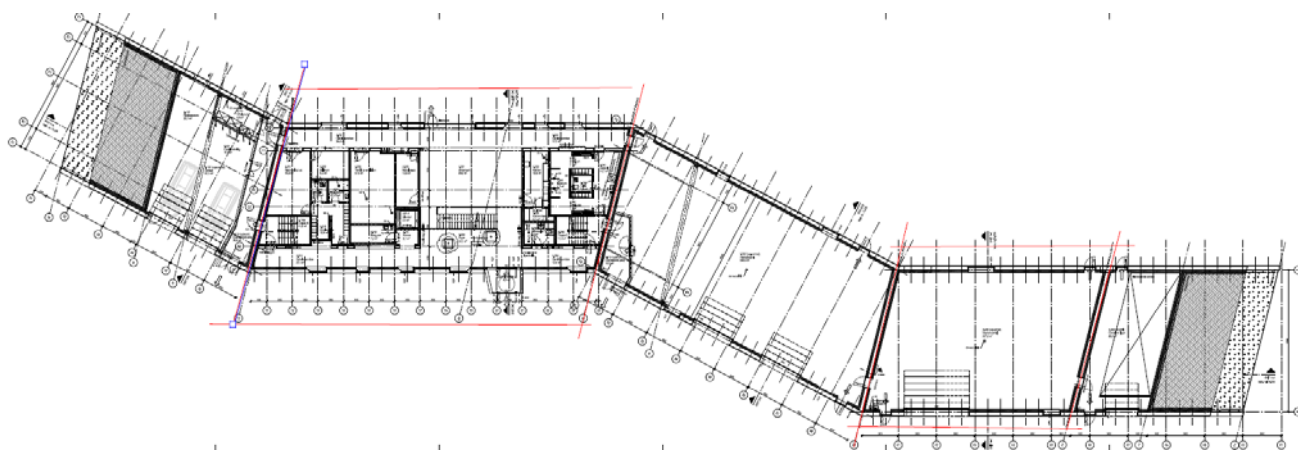
- El til ventilation
- El til varmepumpe
- El til solvarme
- El til belysning
- Opvarmning

- Produktion til varmepumpe
- Produktion til solvarme
- Produktion til solceller

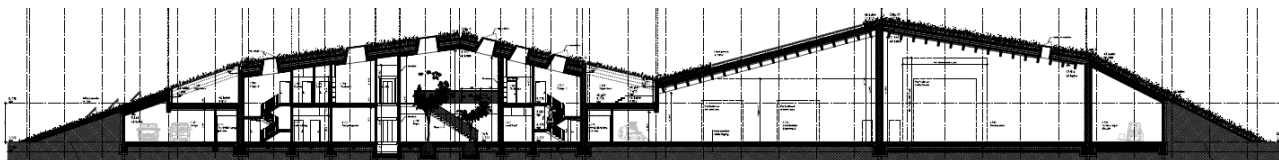
Vejrdata sæt benyttet er fra 2014

For Miljøcenteret udføres følgende energiberegninger:

1. Beregning til byggesagsbehandling, intet ændres
2. Beregning, med ny vejrdato.
 - Beregning 2 er baseret på beregning 1 med udskiftning af vejrdato.
3. Beregning, med ændret inde temperatur inkl. ny vejrdato
 - Beregning 3 er baseret på beregning 2. I beregning 3 justeres den indvendige rumtemperatur op til 23,9 grader.
4. Beregning med ændrede standardforudsætninger, inkl. ny vejrdato
 - Beregning 4 er baseret på beregning 3. I beregning 4 justeres for det interne varmetilskud (udstyr) og for varmt brugsvand.
5. Ny beregning iht. målt forbrug og med ny vejrdato
 - Beregning 5 er baseret på beregning 4. I beregningen justeres for Ventilation, el til varmepumpe og belysning, samt produktion for varmepumpe, solvarme og solceller.



Figur 10, Miljøcenteret, stueplan. De røde markeringer definerer den opvarmede del af bygningen



Figur 11, Miljøcenteret, længdesnit

Yderligere tegningsmateriale fra Miljøcenteret fremgår af bilag 10.

For energiberegningen på de uopvarmede rum, har der været en udfordring i form af parameteren for den indvendige temperatur. Indstilles den på de 5 grader som tidligere nævnt, resulterer det i uforholdsmæssige store tal, både for forbrug og for produktion fra varmepumpen. Årsagen til dette har ikke været mulig at detektere, men skyldes formodentlig de driftsbetingelser som varmepumpen skal arbejde under

Derfor er valgt en anden løsning.

Nemlig at benytte en vejrdatabasis med tilrettede udetemperaturer (15 grader forøgelse i opvarmningssæsonen) således at den temperaturmæssige difference fastholdes. Dette giver det mest retvisende billede af behov og produktion.

For Miljøcenteret er de faktisk målte data opgjort i form af:

Forbrug:

- Forbrug

Produktion:

- Varmepumpe
- Solceller
- Solvarme

Fordi der kun registreres på en måler hvad der forbruges af energi har det, som tidligere nævnt, været nødvendigt at foretage en procentuel fordeling af forbruget i med baggrund i behovs- og produktionsparametre i energiberegningen til byggeansøgningen. Dette har været en forudsætning for at kunne tilpasse de senere udførte energiberegnings parametre.



Foto: Adam Mørk

5. Registreringer

Herunder følger en del af de registreringer der har været benyttet i forbindelse med opgaven. Registreringerne er både egne og modtaget via blandt andet e-mail korrespondance med de relevante parter.

Green Lighthouse:

Forbrugstal modtaget via e-mail.

Tal er de samme som dem der findes i 3. års rapporten for Green Lighthouse

Forbrug:

Opvarmning af bygningen

18,9 kWh/m² år

Varmt brugsvand

0,8 kWh/m² år

EL forbrug generelt, eller opdelt:

EL forbrug til Ventilation

3 kWh/m² år

EL forbrug til Belysning

7,3 kWh/m² år

EL forbrug til Udstyr i bygningen (kaffemaskine, Printer osv.)

37,4 kWh/m² år

Produktion:

Solceller

19,8 kWh/m² år

Varmepumpe og solvarme med jordlager

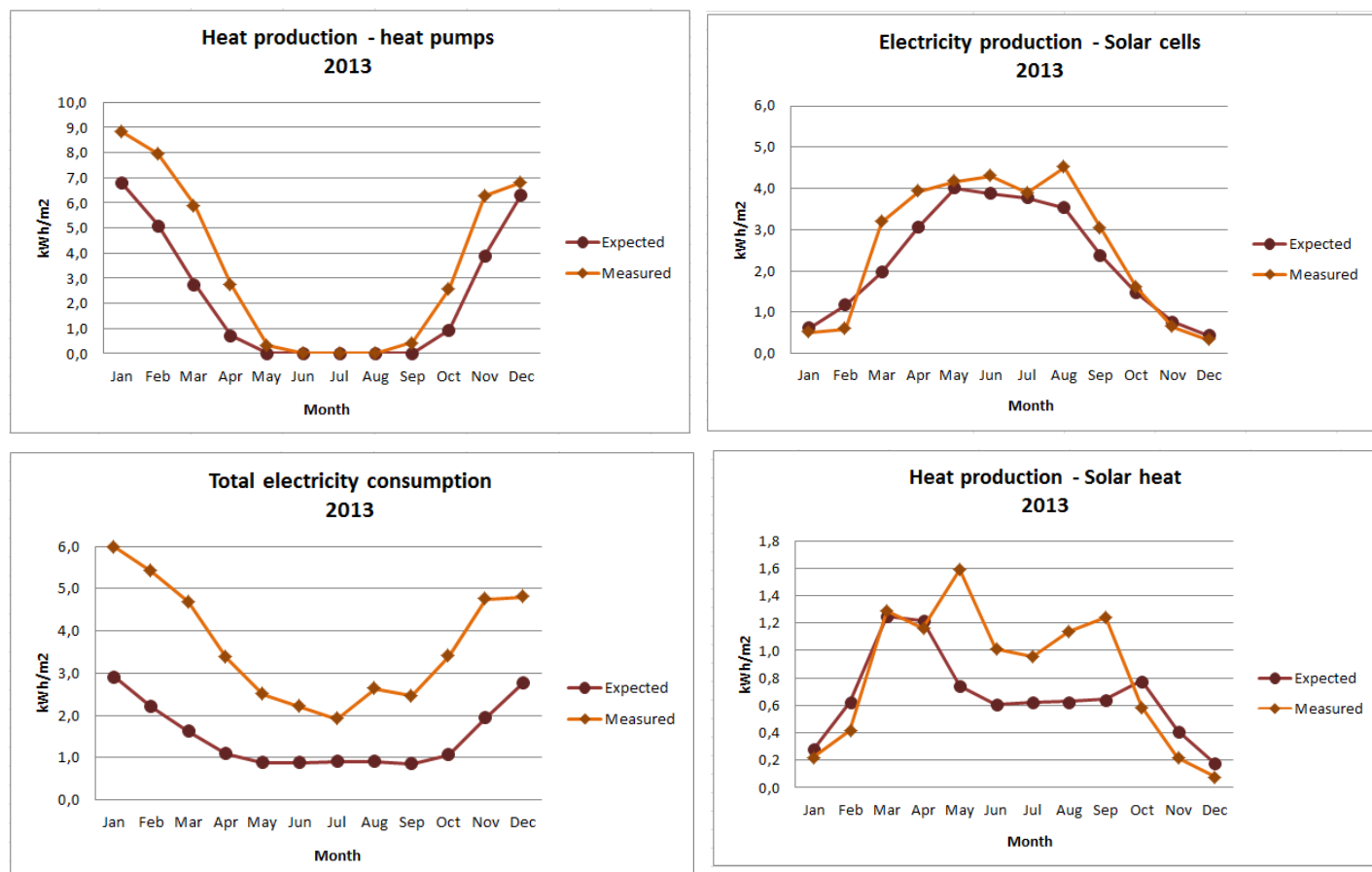
9,8 kWh/m² år



Foto: Adam Mørk

Solhuset:

På solhuset foretages en meget grundig registrering af de forskellige installationer, herunder vises uddrag af data, omsat til grafer.



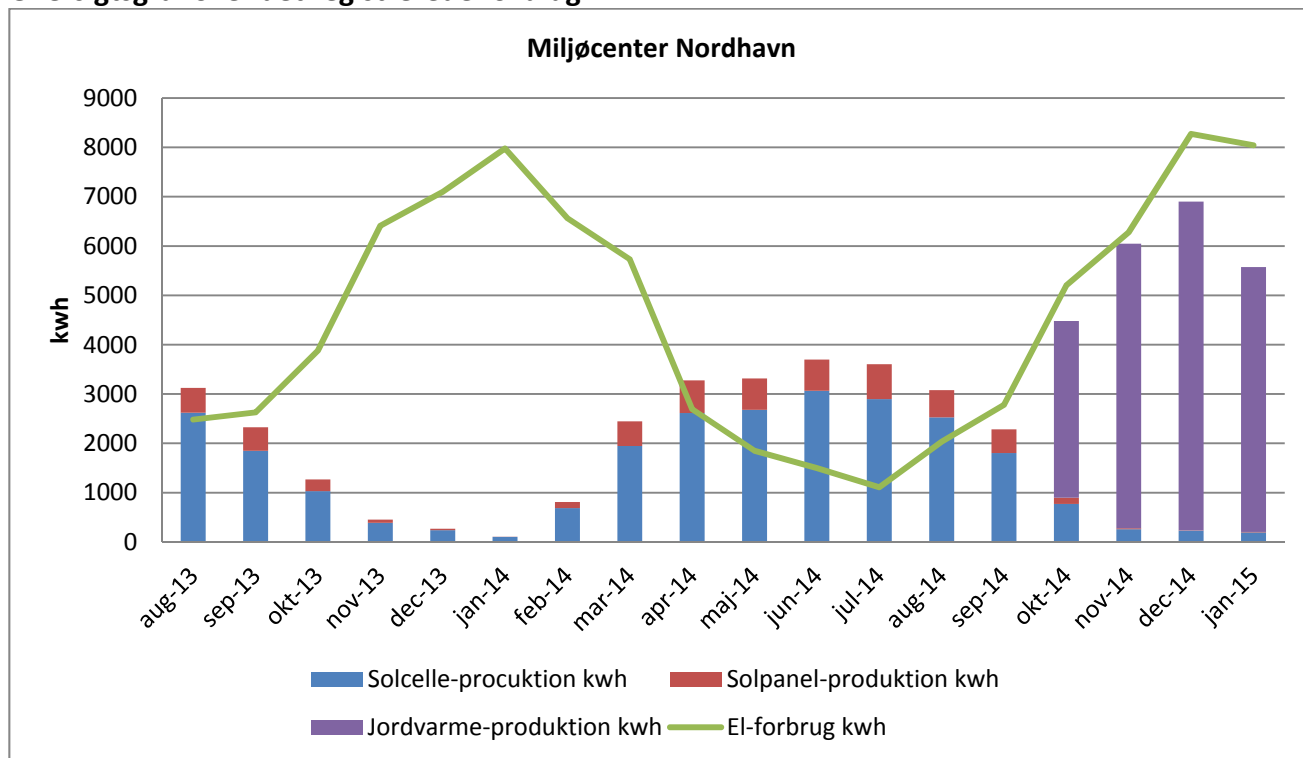
Figur 12, Grafer for forbrugsdata fra Solhuset

2013													
ELECTRICITY [kWh/m²]													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	SUM
Electricity demand													
El (HP) - expected	1.89	1.43	0.79	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.99	1.67	7.22
Ventilation - expected	0.21	0.19	0.21	0.24	0.27	0.28	0.30	0.29	0.26	0.23	0.21	0.21	2.90
Lighting - expected	0.35	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.17	0.17	0.16	0.19	0.30	0.42	2.60
Varies equipment - expected	0.45	0.41	0.45	0.44	0.45	0.44	0.45	0.45	0.44	0.45	0.44	0.45	5.33
Electricity, TOTAL - expected	2.91	2.21	1.62	1.09	0.89	0.88	0.92	0.91	0.86	1.07	1.93	2.76	18.05
Electricity consumption - measured													
Heat pump (Heating plant total) - measured	3.43	3.10	2.37	1.15	0.23	0.11	0.10	0.13	0.24	0.96	2.25	2.52	16.59
Ventilation - measured	0.44	0.43	0.57	0.40	0.43	0.39	0.39	0.46	0.36	0.38	0.39	0.27	4.90
Lighting - measured	0.63	0.52	0.36	0.34	0.30	0.26	0.20	0.32	0.35	0.49	0.63	0.57	4.97
Varies equipment (kitchen+washing) - measured	0.75	0.68	0.65	0.72	0.76	0.70	0.61	0.85	0.74	0.78	0.74	0.63	8.61
Varies equipment (kraft1 + kraft2) - measured	0.71	0.67	0.74	0.76	0.77	0.76	0.61	0.88	0.77	0.80	0.75	0.81	9.03
Varies equipment total - measured	1.47	1.35	1.38	1.48	1.53	1.46	1.22	1.73	1.51	1.58	1.49	1.45	17.65
Electricity, TOTAL - Measured	5.98	5.41	4.68	3.37	2.49	2.21	1.91	2.64	2.46	3.40	4.75	4.81	44.11
Electricity consumption													
Vent+Light+var. equipment - expected	1.02	0.78	0.83	0.84	0.89	0.88	0.92	0.91	0.86	0.87	0.95	1.09	10.83
Vent+Light+var. equipment - measured	2.55	2.31	2.31	2.22	2.26	2.10	1.81	2.51	2.21	2.44	2.50	2.29	27.52
Electricity production													
PV - expected	0.62	1.18	1.96	3.07	4.01	3.87	3.78	3.53	2.38	1.46	0.77	0.43	27.04
PV - measured	0.52	0.59	3.19	3.92	4.17	4.29	3.89	4.51	3.04	1.59	0.64	0.32	30.67
HEAT [kWh/m²]													
Heat demand													
DHW - expected	0.43	0.39	0.43	0.42	0.43	0.42	0.43	0.43	0.42	0.43	0.42	0.43	5.11
Space heating - expected	6.67	5.34	3.59	1.50	0.23	0.15	0.11	0.12	0.22	1.29	3.91	6.05	29.18
TOTAL - expected	7.11	5.73	4.02	1.92	0.67	0.57	0.54	0.55	0.64	1.72	4.33	6.48	34.29
Heat consumption - measured													
DHW - Measured	0.45	0.30	0.23	0.29	0.29	0.27	0.27	0.32	0.27	0.29	0.30	0.21	3.50
Space heating - Measured	7.48	6.87	5.60	3.06	0.92	0.09	0.03	0.11	1.05	2.37	5.30	5.72	38.61
TOTAL - Measured	7.93	7.18	5.83	3.35	1.21	0.36	0.30	0.43	1.32	2.66	5.60	5.93	42.11
Heat production													
Electricity (HP) - expected	1.87	1.41	0.76	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.33	0.98	1.64	7.05
Geothermal - expected	4.96	3.70	2.01	0.64	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62	2.93	4.67	19.53
Solar collector, heating - expected	0.28	0.62	1.25	1.22	0.74	0.60	0.62	0.63	0.64	0.78	0.41	0.18	7.98
Solar collector, surplus - expected	0.00	0.00	0.00	1.44	3.69	3.81	3.42	3.14	1.39	0.09	0.00	0.00	16.98
HP production - expected	6.83	5.11	2.77	0.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.94	3.91	6.31	31.53
Heat production - measured													
Electricity (HP) - measured	5.46	4.87	3.62	1.72	0.19	0.01	0.01	0.00	0.25	1.53	3.83	4.26	25.74
Geothermal - measured	3.38	3.08	2.29	1.03	0.12	0.00	0.01	0.00	0.19	1.04	2.44	2.54	16.12
Solar collector, heating - measured	0.22	0.41	1.29	1.16	1.59	1.01	0.96	1.14	1.24	0.59	0.21	0.08	9.90
Solar collector, surplus - measured	0.15	0.00	0.00	0.36	0.04	0.00	0.00	0.00	0.02	0.24	0.25	0.23	1.29
HP production - measured	8.84	7.96	5.90	2.75	0.31	0.01	0.02	0.00	0.44	2.57	6.28	6.80	41.87
	9.05	8.37	7.19	3.91	1.90	1.02	0.98	1.14	1.68	3.15	6.49	6.88	

Figur 13, Forbrugsdata, 2013 fra Solhuset

Miljøcenteret:

Oversigtsgraf over det registrerede forbrug:



Figur 14, Søjlediagram for forbrugsdata fra Miljøcenteret

Rum temperaturer:

Disse er registreret ved besøg i bygningen og er gældende for kontordelen

Rum temp.	
Lille møderum stue	25,6
Stort møderum stue1	24,7
Stort møderum stue2	24,5
Stort møderum stue3	24,3
Stort møderum stue4	24,3
Kontor 1. sal	23,3
Termostat i køkken 1	22,0
Termostat i køkken 2	22,1
Lille møderum 1. sal	24,7
Snit:	23,9

Figur 15, Registrering af rumtemperaturer fra Miljøcenteret



Foto: Kenneth Helmer Pedersen, varme frem og varme retur

Frem og returløbs temperaturer:

Gulvvarme	
Frem	33
Retur	33
Radiator	
Frem	48
Retur	34,5

Til højre ses instrumenter til måling af frem og returløbs temperaturer i forbindelse med gulvvarmen.

Billedet herunder viser tilsvarende blot for temperaturer til radiatorer og ventilationsanlæg

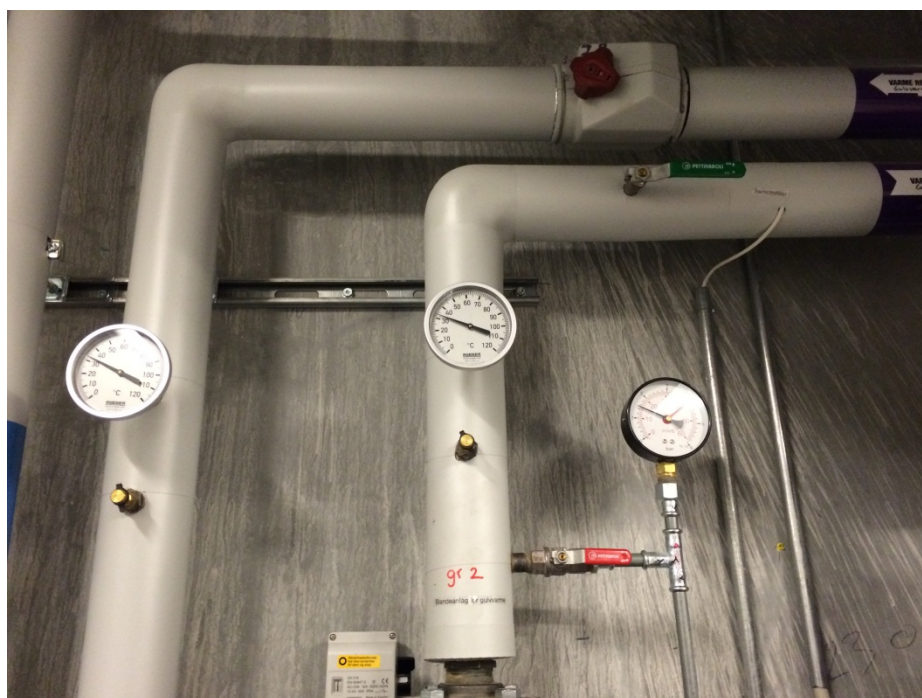


Foto: Kenneth Helmer Pedersen, varme frem og varme retur for gulvvarme

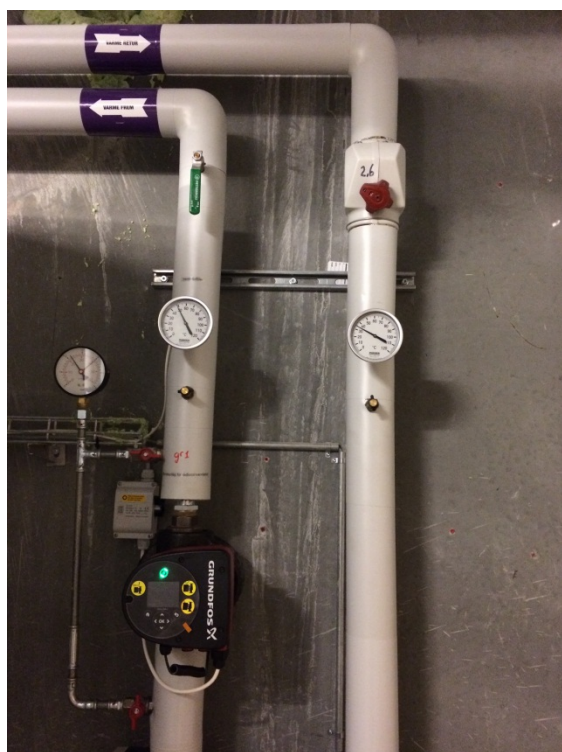


Foto: Kenneth Helmer Pedersen, varme frem og varme retur, for radiator

Personbelastning: 8 personer

6. Resultater

6.1 Generelt:

På de følgende sider præsenteres resultaterne for de forskellige scenarier.

Der vises forbrugsdata for det faktisk målte energiforbrug, fordeling af energiforbrug og fordeling af energiproduktion. Derefter vises forskellige sammenstillinger af resultaterne fra blandt andet energiberegningernes resultatlog og nøgletal

Sammenligning af resultaterne fra nøgletalsfanen fra Be10 og resultatloggen fra Be10 vil være en fejl, da der for nøgletalsfanen gælder at der ligger blandt andet, politiske valg og prioriteringer i de gældende krav for energibehovsgrænserne på de forskellige energiberegninger. Et andet argument for omregning til primær energi er at det i nogen grad afspejler det enkelte systems effektivitet og dermed også miljøbelastning.

De forskellige fald i "klasserne" skal afspejle den stigende grad af VE der mere og mere vil optræde i energiforsyningen.

Omregningsfaktorerne for varmt vand og el er herunder oplistet:

I BR10 byggeri er energifaktorer: Fjernvarme 1 El 2,5.

Ved lavenergiklasse 2015 er energifaktorer: Fjernvarme 0,8 El 2,5.

Ved klasse 2020 er energifaktorer: Fjernvarme 0,6 El 1,8.

Omkring resultaterne gøres enkelte kommentarer til de forskellige scenarier og deres sammenhæng. Resultaterne kommenteres og der vil optræde konklusioner vedrørende resultaterne. Rapportens endelige konklusioner skal læses under afsnittet "8. konklusioner"

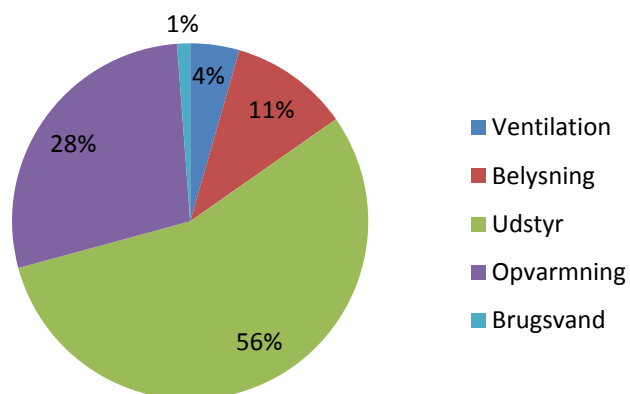
Der tages forbehold for eventuelle fejl, uoverensstemmelser og mangler i de modtagne forbrugsdata.

6.2 Green Lighthouse:

Det faktisk målte energiforbrug:

Købt energi (2012)	33.075 kWh	37,80 kWh/m ²
Energiforbrug	58.975 kWh	67,40 kWh/m ²
Energiproduktion	25.900 kWh	29,60 kWh/m ²

Målt energi Fordeling af energiforbrug

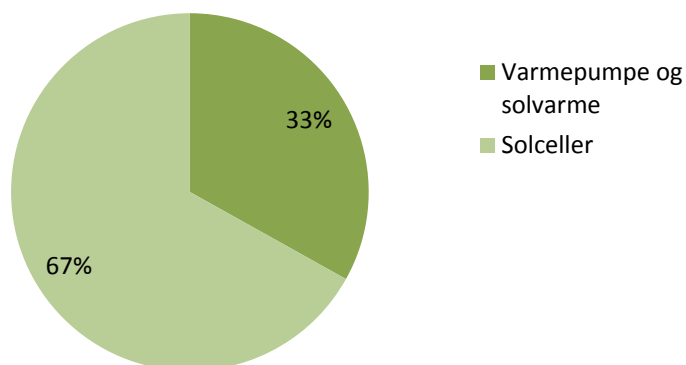


Fordelingerne er lavet på baggrund af det indsamlede forbrugsdata

Figur 16, Målt energi, fordeling af energiforbrug fra Green lighthouse

Målt energi Fordeling af energiproduktion

Varmepumpe og solvarme	8.575,0 kWh	33,1 %	9,80 kWh/m ²
Solceller	17.325,0 kWh	66,9 %	19,80 kWh/m ²



Figur 17, Målt energi, fordeling af energiproduktion fra Green lighthouse

Henvisninger:

Bilag 03 (resultater fra beregningens resultatlog)

Sammenstilling af scenarier for Green lighthouse:

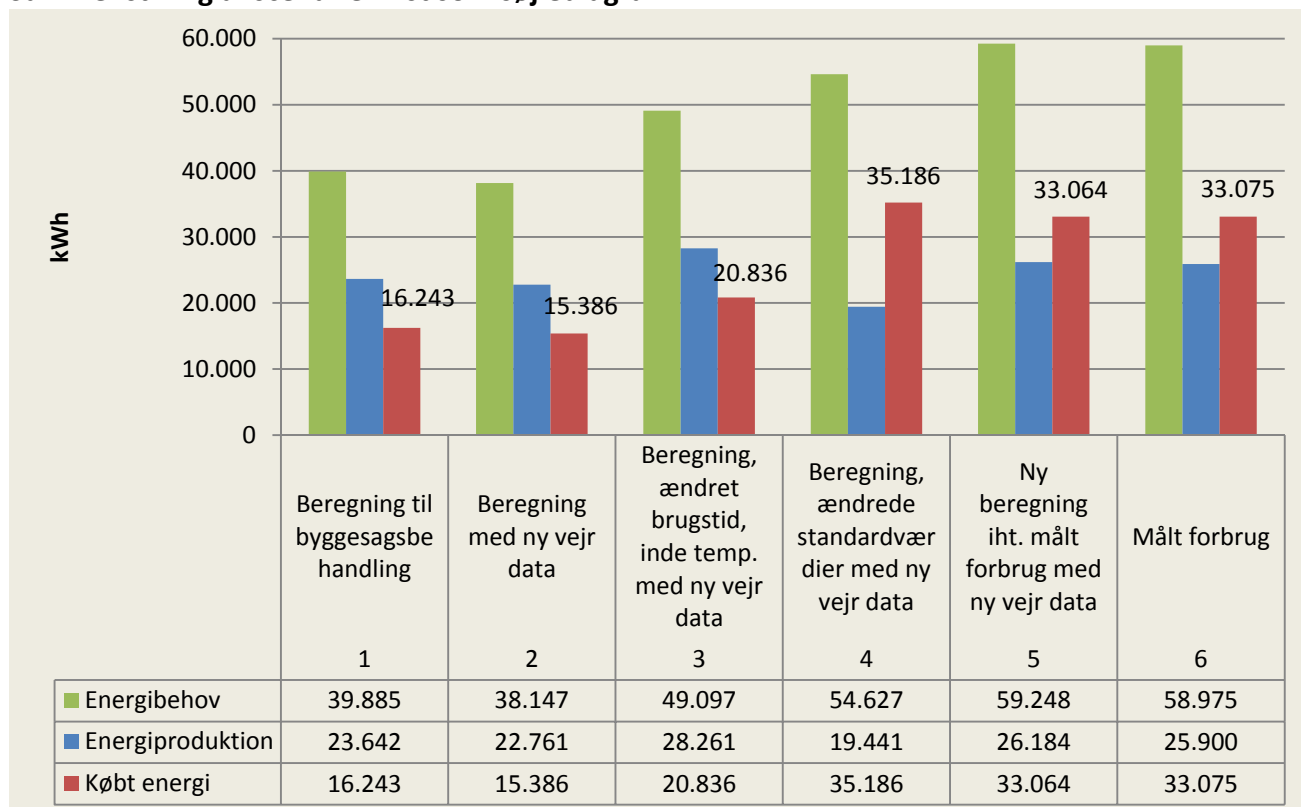
Følgende opstilles de forskellige scenarier, fra den eksisterende energiberegning til det faktisk målte energiforbrug.

Sammenstilling af resultater fra de forskellige scenarier

		Energi produktion	Energi behov	Købt energi	Pr.m ²	Andel	Forskel
1	Beregning til byggesagsbehandling	23.642 kWh	39.885 kWh	16.243 kWh	18,56 kWh/m ²	100 %	0 %
2	Beregning med ny vejr data	22.761 kWh	38.147 kWh	15.386 kWh	17,58 kWh/m ²	95 %	-5 %
3	Beregning, ændret brugstid, inde temp. med ny vejr data	28.261 kWh	49.097 kWh	20.836 kWh	23,81 kWh/m ²	128 %	28 %
4	Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	19.441 kWh	54.627 kWh	35.186 kWh	40,21 kWh/m ²	217 %	117 %
5	Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data	26.184 kWh	59.248 kWh	33.064 kWh	37,79 kWh/m ²	204 %	104 %
6	Målt forbrug	25.900 kWh	58.975 kWh	33.075 kWh	37,80 kWh/m ²	204 %	104 %

Figur 18, Sammenstilling af resultater fra de forskellige scenarier fra Green lighthouse

Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram



Figur 19, Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram fra Green lighthouse

Det relativt store fald i produktionen af energi mellem beregning 3 og 4 kan virke underligt da der ikke ændres på et eneste parameter for hverken varmepumpe, solvarme eller solceller. Det skyldes altså alene at der tilpasses for udstyr og varmt brugsvand, som er de sidste to af standardværdierne. Beregning 5 er en total tilpasning i forhold til det faktisk målte energiforbrug

Fordelingen mellem de forskellige scenarier vist i procenter for Green lighthouse

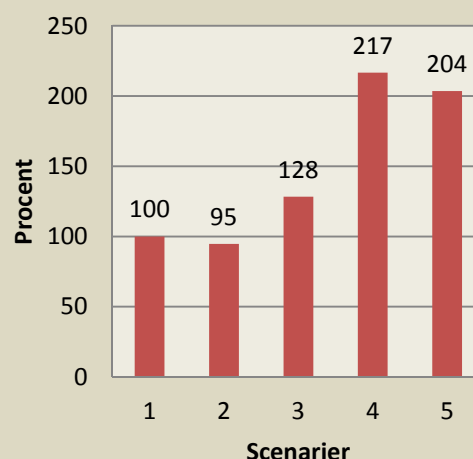
Det er tydeligt at se at der er store forskelle mellem beregning 2 og de følgende to beregninger, hvor der justeres på standardværdierne.

De forudsatte standardværdier er i virkeligheden brugerrelaterede og det kan derfor påvises at brugerne har en meget stor indflydelse på bygningens performance. (se figur 20 og 21)

Ved at skifte vejrdatasættet ud mellem beregning 1 og 2 opstår en forskel i det beregnede energibehov på **5 %**. Ved beregning 3 rettes den indvendige temperatur fra 20 til 23 grader og brugstiden øges til 60 timer om ugen. Det resulterer i en stigning for det beregnede behov på **33 %**

Mellem beregning 2 og beregning 5 er en forskel på **109 %** (se figur 20)

Procentuel andel



Figur 20, Procentuel andel fra Green lighthouse

For beregningerne er der sket tilpasninger for nedenstående parametre:

Værdierne i skemaet er pr. år	1. Beregning til byggesagsbehandling	2. Beregning med ny vejr data	3. Beregning, ændret brugstid, inde temp. med ny vejr data	4. Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	5. Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data
Købt energi	16.243 kWh	15.386 kWh	20.836 kWh	35.186 kWh	33.064 kWh
Energibehov	39.885 kWh	38.147 kWh	49.097 kWh	54.627 kWh	59.248 kWh
Kedel/Fjernvarmeveksler	1.740 kWh	1.630 kWh	2.330 kWh	80 kWh	3.870 kWh
El til centralvarmeanlæg	128 kWh	121 kWh	151 kWh	131 kWh	6 kWh
El til varmt brugsvand	59 kWh	59 kWh	59 kWh	9 kWh	9 kWh
El Ventilation	1.021 kWh	980 kWh	1.281 kWh	1.113 kWh	2.622 kWh
El til Kedel/fjernvarme	44 kWh	44 kWh	44 kWh	44 kWh	44 kWh
El til varmepumpen	4.573 kWh	4.296 kWh	5.875 kWh	3.963 kWh	978 kWh
El til solvarme	94 kWh	94 kWh	94 kWh	94 kWh	94 kWh
El Belysning	901 kWh	748 kWh	2.046 kWh	2.046 kWh	6.338 kWh
El Udstyr	10.895 kWh	10.895 kWh	11.717 kWh	32.727 kWh	32.727 kWh
Opvarmning	17.240 kWh	16.090 kWh	22.390 kWh	14.370 kWh	12.510 kWh
Brugsvand	3.190 kWh	3.190 kWh	3.110 kWh	50 kWh	50 kWh
Energiproduktion	23.642 kWh	22.761 kWh	28.261 kWh	19.441 kWh	26.184 kWh
Varmepumpe	16.020 kWh	14.950 kWh	20.020 kWh	13.280 kWh	7.330 kWh
Solvarme	2.740 kWh	2.760 kWh	3.190 kWh	1.110 kWh	1.370 kWh
Solceller	4.882 kWh	5.051 kWh	5.051 kWh	5.051 kWh	17.484 kWh
Difference fra forbrug	16.832 kWh	17.689 kWh	12.239 kWh	-2.111 kWh	11 kWh

Figur 21, Parametre for de forskellige scenarier / beregninger fra Green lighthouse

Nøgletal fra energiberegningerne (BE10) for Green lighthouse

	Alle tal opgives i kWh/m ² pr. år	BR 2010	BR2015	BR2020
	Energiramme	73,2	42,1	25,0
1	Beregning til byggesagsbehandling	9,1	8,7	6,7
2	Beregning med ny vejr data	9,8	9,4	8,0
3	Beregning, ændret brugstid, inde temp. med ny vejr data	20,0	19,5	15,3
4	Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	15,8	15,8	13,9
5	Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data	13,8	12,9	12,0

Figur 22, Nøgletalsark fra Be10 fra Green lighthouse

Nøgletalsarket fra Be10 (figur 22) for de forskellige scenarier giver ikke samme billede som den procentuelle fordeling, det er dog bemærkelsesværdigt at beregning 3 er den beregning der viser den største afvigelse fra beregning 1

Beregning 4 ligger lavere end beregning 2 og 3, hvilket er omvendt hvis man kigger på det egentlige energibehov. (se figur 21)

Dette kan skyldes at forholdet mellem produktion og behov er større for beregning 2 og 3 end beregning 4. (se figur 21) udover at der også er ganget på "primær energifaktorer" i nøgletallene

Bemærkes kan det også at alle beregningerne formår at overholde BR 2020 krav. Hvis der kun kigges på energiberegningens nøgletal (bilag 04)

Green lighthouse har en energiproduktion svarende til **ca. 44 %** af energiforbruget, beregnet ud fra forbrugsdata.

Opsummering

Beregning 5 ligger **ca. 17,6 MWh** over Beregning 2. (se figur 18)

Ved at rette brugstiden og den indvendige rumtemperatur øges energibehovet fra **ca. 15,4 MWh** til **ca. 20,8 MWh** (se figur 18)

Justeres det interne varmetilskud (udstyr og personbelastning) samt energiforbruget til varmt brugsvand, øges energibehovet yderligere til **35,1 MWh**. Hvilket ligger over det samlede, faktisk målte energiforbrug. (se figur 18)

Da forbruget til fjernvarme, ventilation og belysning, endnu ikke er justeret, gøres dette i beregning 5, samtidig med at der rettes på bygningens energiproduktion, så den svarer til det faktisk målte. Det bringer energiberegningen ned på det faktisk målte energiforbrug på **33 MWh**. Se figur 21

Med udgangspunkt i at **100 %** er energiberegningen til ansøgningen om byggetilladelse uden korrigerede vejrdato (beregning 1). (se figur 20)

Beregning 2, hvilket er beregningen til byggeansøgningen med korrigerede vejrdato fra 2012, ligger derfor på **95 %**

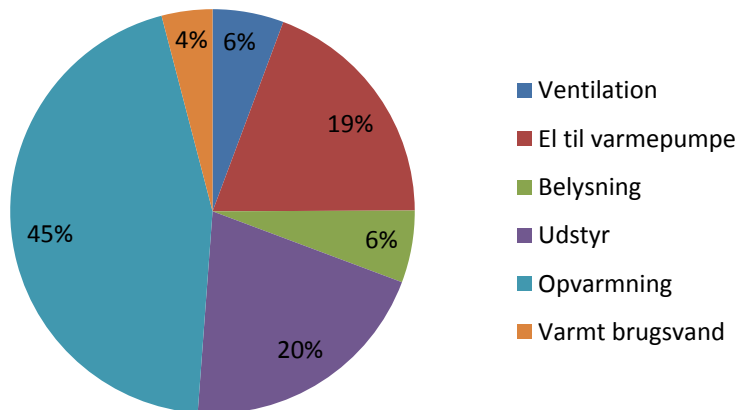
6.3 Solhuset:

Det faktisk målte energiforbrug:

Købt energi (2013)	4.639 kWh	3,78 kWh/m ²
Energiforbrug	105.877 kWh	86,22 kWh/m ²
Energiproduktion	101.238 kWh	82,44 kWh/m ²

Målt energi

Fordeling af energiforbrug



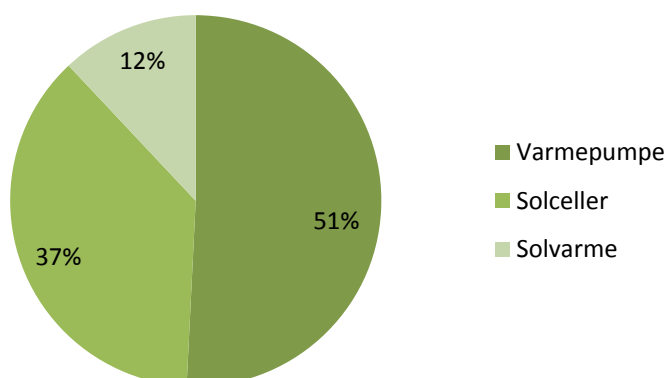
Fordelingerne er lavet på baggrund af det indsamlede forbrugsdata

Figur 23, Målt energi, fordeling af energiforbrug fra Solhuset

Målt energi

Fordeling af energiproduktion

Varmepumpe	51.411,0 kWh	50,8 %	41,87 kWh/m ²
Solceller	37.667,0 kWh	37,2 %	30,67 kWh/m ²
Solvarme	12.160,0 kWh	12 %	9,90 kWh/m ²



Figur 24, Målt energi, fordeling af energiproduktion fra Solhuset

Henvisninger:

Bilag 07 (resultater fra beregningens resultatlog)

Sammenstilling af scenarier for Solhuset:

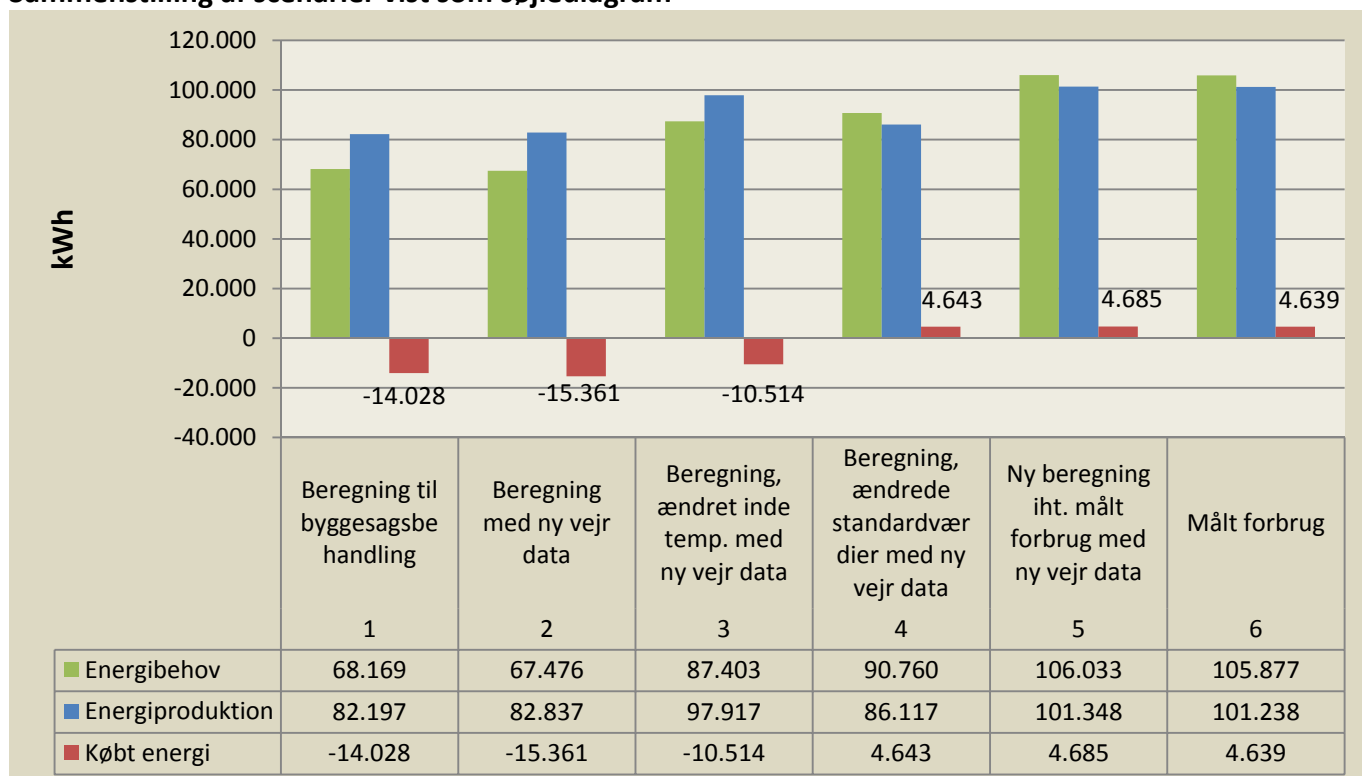
Følgende opstilles de forskellige scenarier, fra den eksisterende energiberegning til det faktisk målte energiforbrug.

Sammenstilling af resultater fra de forskellige scenarier

		Energi produktion		Energi behov		Købt energi		Pr. m ²		Andel	Forskel
1	Beregning til byggesagsbehandling	82.197	kWh	68.169	kWh	-14.028	kWh	-11,42	kWh/m ²	100 %	0 %
2	Beregning med ny vejr data	82.837	kWh	67.476	kWh	-15.361	kWh	-12,51	kWh/m ²	91 %	-9 %
3	Beregning, ændret inde temp. med ny vejr data	97.917	kWh	87.403	kWh	-10.514	kWh	-8,56	kWh/m ²	125 %	25 %
4	Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	86.117	kWh	90.760	kWh	4.643	kWh	3,78	kWh/m ²	233 %	133 %
5	Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data	101.348	kWh	106.033	kWh	4.685	kWh	3,82	kWh/m ²	233 %	133 %
6	Målt forbrug	101.238	kWh	105.877	kWh	4.639	kWh	3,78	kWh/m ²	233 %	133 %

Figur 25, Sammenstilling af resultater for de forskellige scenarier / beregninger fra Solhuset

Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram



Figur 26, Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram fra Solhuset

Den største ændring sker mellem beregning 3 og 4, hvor ændringerne sker for udstyr og varmt brugsvand.

Mellem beregning 4 og 5 sker der tæt på ingen ændringer i det samlede energibehov, men der justeres samlet set både på energiproduktionen og energibehovet.

Beregning 5 er en tilpasning i forhold til det faktisk målte energiforbrug

Fordelingen mellem de forskellige scenarier vist i procenter for Solhuset

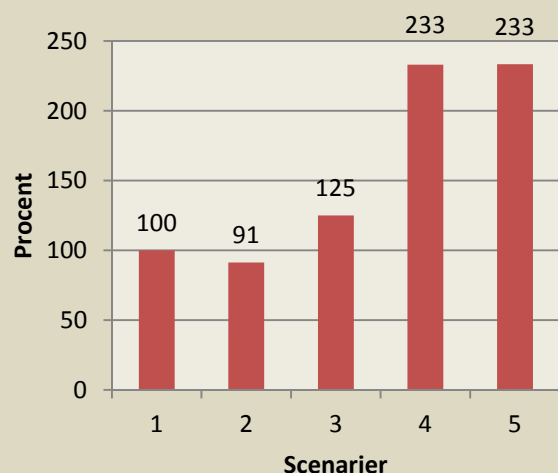
Det er tydeligt at se at der er store forskelle mellem beregning 2 og beregning 4, hvor der justeres på standardværdierne, udstyr og varmt brugsvand.

De forudsatte standardværdier er i virkeligheden brugerrelaterede og det kan derfor påvises at brugerne igen har en meget stor indflydelse på bygningens performance.

Dog kan der ved tilpasning af de to første standardværdier (beregning 3) "kun" ses en stigning i behovet på **34 %** i forhold til beregning 2.

Imod den næste stigning på **142 %** som optræder mellem beregning 2 og 4, som inkluderer alle standardværdierne. (se figur 27)

Procentuel andel



Figur 27, Procentuel andel fra Solhuset

Ved at skifte vejrdatasættet ud mellem beregning 1 og 2 opstår et fald i det beregnede behov på **9%**

Ved beregning 3 rettes den indvendige temperatur fra 20 til 23 grader, brugstiden fastholdes på 45 timer om ugen. Det resulterer, som nævnt, i en stigning for det beregnede behov på **34 %** med reference til beregning 2. Mellem beregning 2 og beregning 5 er en forskel på **142 %**. Se figur 27

For beregningerne er der sket tilpasninger for nedenstående parametre:

	Værdierne i skemaet er pr. år	1. Beregning til byggesagsbehandling	2. Beregning med ny vej data	3. Beregning, ændret inde temp. med ny vej data	4. Beregning, ændrede standardværdier med ny vej data	5. Ny beregning iht. målt forbrug med ny vej data
Købt energi		-14.028 kWh	-15.361 kWh	-10.514 kWh	4.643 kWh	4.685 kWh
Energibehov		68.169 kWh	67.476 kWh	87.403 kWh	90.760 kWh	106.033 kWh
El til varmt brugsvand		97 kWh	97 kWh	97 kWh	97 kWh	97 kWh
El Ventilation		3.098 kWh	3.198 kWh	3.198 kWh	3.242 kWh	6.076 kWh
El til varmepumpen		11.431 kWh	11.439 kWh	16.226 kWh	13.524 kWh	20.268 kWh
El til solvarme		104 kWh	104 kWh	104 kWh	104 kWh	68 kWh
El Belysning		3.076 kWh	3.015 kWh	3.015 kWh	3.015 kWh	6.056 kWh
El Udstyr		3.803 kWh	3.803 kWh	3.803 kWh	21.668 kWh	21.668 kWh
Opvarmning		38.890 kWh	38.150 kWh	53.400 kWh	44.770 kWh	47.460 kWh
Brugsvand		7.670 kWh	7.670 kWh	7.560 kWh	4.340 kWh	4.340 kWh
Energiproduktion		82.197 kWh	82.837 kWh	97.917 kWh	86.117 kWh	101.348 kWh
Varmepumpe		39.330 kWh	38.820 kWh	53.920 kWh	44.570 kWh	51.411 kWh
Solceller		35.637 kWh	37.017 kWh	37.017 kWh	37.017 kWh	37.777 kWh
Solvarme		7.230 kWh	7.000 kWh	6.980 kWh	4.530 kWh	12.160 kWh
Difference fra forbrug		18.667 kWh	20.000 kWh	15.153 kWh	-4 kWh	-46 kWh

Figur 28, Parametre for de forskellige scenarier / beregninger fra Solhuset

Nøgletal fra energiberegningerne (BE10) for Solhuset

	Alle tal opgives i kWh/m ² pr. år	BR 2010	BR2015	BR2020
	Energiramme	72,6	41,8	25,0
1	Beregning til byggesagsbehandling	14,3	14,3	11,1
2	Beregning med ny vejr data	24	24	20,6
3	Beregning, ændret inde temp. med ny vejr data	31,1	31,1	25,7
4	Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	16,5	16,5	16,5
5	Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data	29,8	29,8	25,5

Figur 29, Nøgletalsark fra Be10 fra Solhuset

Nøgletalsarket fra Be10 (figur 29) for de forskellige scenarier giver ikke samme billede som den procentuelle fordeling, det er dog forundrende at beregning 4 ligger lavere end beregning 2 og 3, hvilket er omvendt hvis man kigger på det egentlige energibehov. (se figur 29)
 Dette kan skyldes at forholdet mellem produktion og behov er større for beregning 2 og 3 end beregning 4. Udover at der også er ganget på "primær energifaktorer" i nøgletallene.

Bemærkes kan det også at "5.ny beregning iht. målt forbrug" blot formår at overholde BR 2015 krav. Dog med en meget lille margin til BR2020. (bilag 08)
 Solhuset har en energiproduktion svarende til ca. **96 %** af energiforbruget, beregnet ud fra forbrugsdata.

Opsummering

Beregning 5 ligger ca. **18,7 MWh** over Beregning 2. (se figur 25)

Ved at rette den indvendige rumtemperatur øges energibehovet fra ca. **-15,4 MWh** til ca. **-10,5 MWh** (se figur 25)

Justeres det interne varmetilskud (udstyr og personbelastning) samt energiforbrug til varmt brugsvand, øges energibehovet yderligere til **4,6 MWh**. Hvilket ligger meget tæt på det faktisk målte energiforbrug. (se figur 25)

Da forbruget til ventilation, varmepumpe og belysning, endnu ikke er justeret, gøres dette samtidig med at der rettes på bygningens energiproduktion, så den svarer til det faktisk målte.
 Det bringer energiberegningen på det faktisk målte energiforbrug på **4,6 MWh**. (se figur 28)

Beregning 4 og 5 ligger resultatmæssigt, meget tæt på hinanden, dog er der en større produktion og et større behov i beregning 5, hvilket fremgår af figur 26

Med udgangspunkt i at **100 %** er energiberegningen til byggeansøgningen uden korrigerede vejrdato. (se figur 27)

Beregning 2, hvilket er beregningen til byggeansøgningen med korrigerede vejrdato fra 2013, ligger derfor på **91 %**

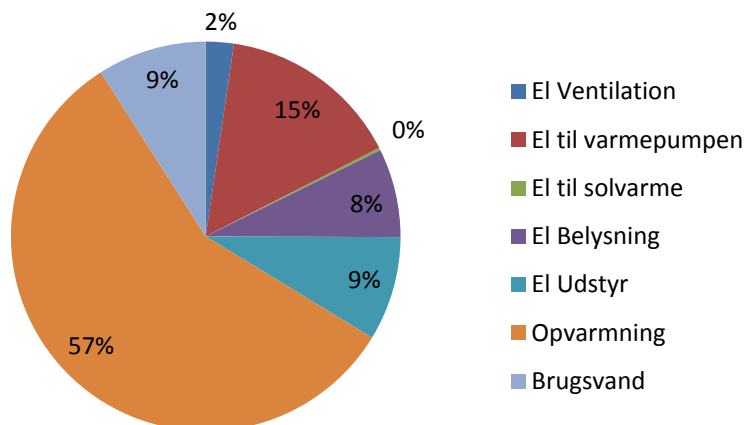
6.4 Miljøcenteret:

Det faktisk målte energiforbrug:

Købt energi (2014)	11.946 kWh	6,78 kWh/m ²
Energiforbrug	51.991 kWh	29,49 kWh/m ²
Energiproduktion	40.045 kWh	22,71 kWh/m ²

Målt energi

Fordeling af energibehov



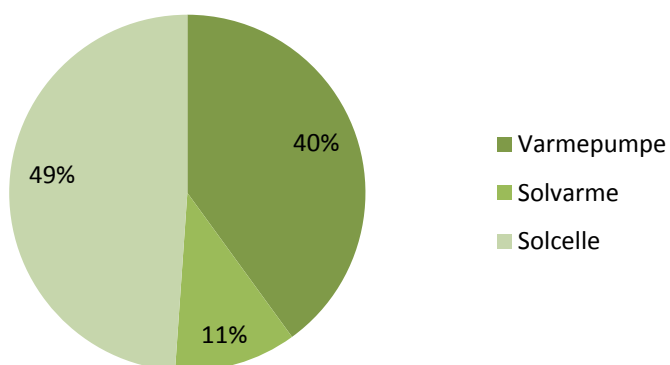
Fordelingerne er lavet på baggrund af det indsamlede forbrugsdata

Figur 30, Målt energi, fordeling af energiforbrug fra Miljøcenteret

Mål energi

Fordeling af energiproduktion

Varmepumpe	16.016 kWh	40,0 %	9,08 kWh/m ²
Solvarme	4.449 kWh	11,1 %	2,52 kWh/m ²
Solcelle	19.580 kWh	48,9 %	11,11 kWh/m ²



Figur 31, Målt energi, fordeling af energiproduktion fra Miljøcenteret

Henvisninger:

Bilag 12 (Resultater fra beregningsresultatlog)

Sammenstilling af scenarier for Miljøcenteret:

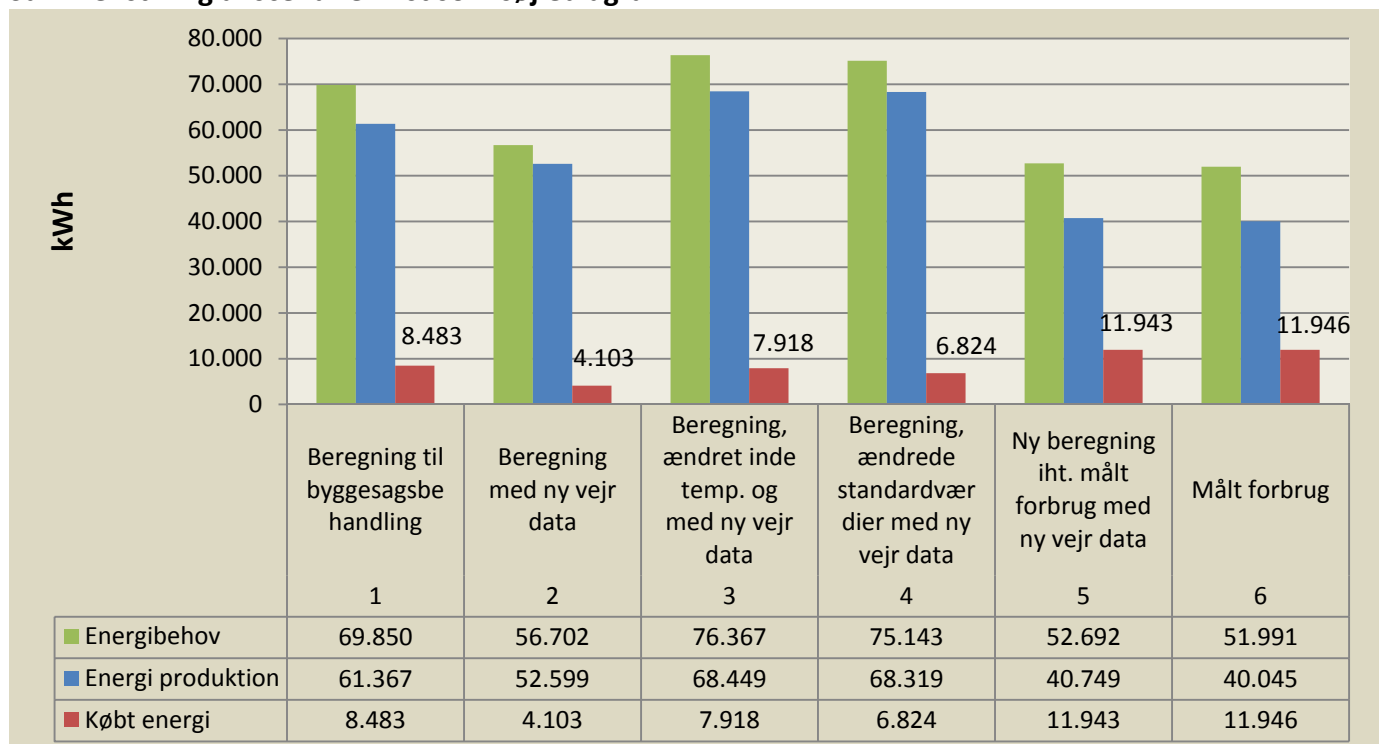
Følgende opstilles de forskellige scenarier, fra den eksisterende energiberegning til det faktisk målte energiforbrug.

Sammenstilling af resultater fra de forskellige scenarier

		Energi produktion	Energibehov	Købt energi	Pr.m ²	Andel	Forskel
1	Beregning til byggesagsbehandling	61.367 kWh	69.850 kWh	8.483 kWh	4,81 kWh/m ²	100 %	0 %
2	Beregning med ny vejr data	52.599 kWh	56.702 kWh	4.103 kWh	2,33 kWh/m ²	48 %	-52 %
3	Beregning, ændret inde temp. og med ny vejr data	68.449 kWh	76.367 kWh	7.918 kWh	4,49 kWh/m ²	93 %	-7 %
4	Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	68.319 kWh	75.143 kWh	6.824 kWh	3,87 kWh/m ²	80 %	-20 %
5	Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data	40.749 kWh	52.692 kWh	11.943 kWh	6,77 kWh/m ²	141 %	41 %
6	Målt forbrug	40.045 kWh	51.991 kWh	11.946 kWh	6,78 kWh/m ²	141 %	41 %

Figur 32, Sammenstilling af resultater for de forskellige scenarier / beregninger fra Miljøcenteret

Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram



Figur 33, Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram fra Miljøcenteret

Det kan bemærkes at der for Miljøcenteret sker et stort fald i energibehovet ved blot at udskifte vejrdatasættet, hvilket understreger sammenhængen med de udvendige vejr forhold og hvordan bygningen "performer". I øvrigt sker der et fald mellem beregning 3 og 4, hvilket skyldes at der i dette tilfælde er regnet med et større forbrug til udstyr og varmt vand end i beregning 1. (standard beregningen)

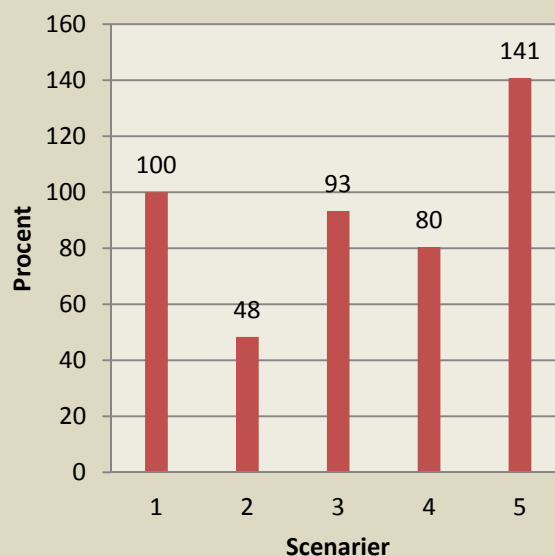
Fordelingen mellem de forskellige scenarier vist i procenter for Miljøcenteret

Den største forskel mellem scenarierne er mellem beregning 2 og 5 hvilket er på **93 %**.

De forudsatte standardværdier er i virkeligheden brugerrelaterede og det kan derfor påvises for Miljøcenteret at brugerne ikke har den store indflydelse på bygningens energiforbrug. Da der mellem beregning 4 og beregning 5 er en forskel på **61 %** (se figur 34) og at der i det faktisk målte energiforbrug (beregning 5) er lavere energiforbrug til standardværdierne end i beregning 2. (se figur 35)

Der kan ved tilpasning af de to første standardværdier ses en stigning i behovet (mellem beregning 2 og beregning 3) på **45 %** hvilket kan påvise at den højere indvendige temperatur, har indflydelse på energibehovet.

Procentuel andel



Figur 34, Procentuel andel fra Miljøcenteret

Ved at skifte vejrdatasættet ud mellem beregning 1 og 2 opstår et fald i det beregnede behov på **52 %**. Se figur 34

For beregningerne er der sket tilpasninger for nedenstående parametre:

	1. Beregning til byggesagsbehandling	2. Beregning med ny vejrdata	3. Beregning, ændret inde temp. og med ny vejrdata	4. Beregning, ændrede standardværdier med ny vejrdata	5. Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejrdata
Købt energi	8.483 kWh	4.103 kWh	7.918 kWh	6.824 kWh	11.943 kWh
Energibehov	69.850 kWh	56.702 kWh	76.367 kWh	75.143 kWh	52.692 kWh
El Ventilation	1.478 kWh	1.633 kWh	1.649 kWh	1.635 kWh	488 kWh
Samlet El til varmepumpen	9.994 kWh	7.123 kWh	10.912 kWh	10.860 kWh	3.011 kWh
El til solvarme	144 kWh	144 kWh	144 kWh	144 kWh	144 kWh
Samlet Belysning	7.037 kWh	6.035 kWh	6.035 kWh	6.035 kWh	3.724 kWh
Samlet El til udstyr	8.937 kWh	8.937 kWh	8.937 kWh	7.919 kWh	4.645 kWh
Opvarmning	36.490 kWh	27.060 kWh	42.960 kWh	43.840 kWh	35.970 kWh
Brugsvand	5.770 kWh	5.770 kWh	5.730 kWh	4.710 kWh	4.710 kWh
Energiproduktion	61.367 kWh	52.599 kWh	68.449 kWh	68.319 kWh	40.749 kWh
Samlet Varmepumpe	40.180 kWh	30.670 kWh	45.950 kWh	46.000 kWh	16.850 kWh
Solvarme	3.450 kWh	3.540 kWh	4.110 kWh	3.930 kWh	4.360 kWh
Solceller	17.737 kWh	18.389 kWh	18.389 kWh	18.389 kWh	19.539 kWh
Difference fra forbrug	3.463 kWh	7.843 kWh	4.028 kWh	5.122 kWh	3 kWh

Figur 35, Parametre for de forskellige scenarier / beregninger fra Miljøcenteret

Note: Der er ikke foretaget justerede beregninger af de forskellige scenarier for den uopvarmede del af bygningen. Alligevel fremstår resultater som samlede resultater, hvor den uopvarmede del ikke justeres.

Nøgletal fra energiberegningerne (BE10) for Miljøcenteret

	Alle tal opgives i kWh/m ² pr. år	BR 2010	BR2015	BR2020
	Grænseværdi	72,9	42,0	25,0
1	Beregning til byggesagsbehandling	16,6	16,6	11,9
2	Beregning med ny vejr data	10,5	10,5	8,1
3	Beregning, ændret inde temp. og med ny vejr data	17,8	17,8	13,4
4	Beregning, ændrede standardværdier med ny vejr data	18,9	18,9	14,1
5	Ny beregning iht. målt forbrug med ny vejr data	49,3	49,3	36,2

Figur 36, Nøgletalsark fra Be10 fra Miljøcenteret

Nøgletalsarket fra Be10 (figur 36) for de forskellige scenarier giver nogenlunde samme billede som den procentuelle fordeling, dog er det påfaldende at beregning 3 ligger lavere end beregning 4, hvilket er omvendt hvis man kigger på det egentlige energibehov.

Dette skyldes at beregning 3 har en højere el produktion fra solceller end beregning 4. og dermed har beregning 3 et lavere forbrug af "købt" el. (se figur 32 og 36). Det kan virke underligt, da det samlede energibehov for beregning 3 er større end for beregning 4. Men det skyldes at der også er ganget på "primær energifaktorer" i nøgletallene i forhold til resultaterne fra resultatloggen.

Bemærkes kan det også at "5. ny beregning iht. målt forbrug" kun formår at overholde BR 2010 krav. (bilag 13) Hvilket også gør sig gældende, hvis beregningen blev lavet med det gældende vejrdatasæt.

Miljøcenteret har en energiproduktion svarende til **ca. 77 %** af energiforbruget, beregnet ud fra forbrugsdata.

Opsummering

Beregning 5 på **11,9 MWh** ligger **ca. 3,4 MWh** over Beregning 2 på **8,5 MWh**. (se figur 32) Med udgangspunkt i beregning 1 (myndighedsansøgning) resulterer dette i en forskel på **41 %**. (se figur 32)

Ved at justere den indvendige rumtemperatur øges energibehovet fra **ca. 4,1 MWh** (beregning 2) til **ca. 7,9 MWh** (beregning 3) hvilket er en stigning på **45 %**. (se figur 32)

Justeres det interne varmetilskud (udstyr og personbelastning) samt energiforbrug til varmt brugsvand, falder energibehovet til **6,8 MWh** (beregning 4). Svarende til et fald på **20 %**.

Hvilket fortæller at standardværdierne i beregningen til byggeansøgningen er lidt over det faktisk målte energiforbrug.

Forbruget til ventilation, varmepumpe og belysning, justeres i beregning 5, samtidig med at der rettes på bygningens energiproduktion, så den svarer til det faktisk målte.

Det bringer energiberegningen på det faktisk målte energiforbrug på **11,9 MWh**. (se figur 32)

Forskellen mellem beregning 4 og 5 svarer til **61 %** (figur 32 og 34) og er altså den største på tværs af projekterne.

Procentsatserne der herover nævnes, er med udgangspunkt i at **100 %** er energiberegningen til byggeansøgning uden vejrdato (beregning 1).

Beregning 2, hvilket er beregningen til byggeansøgningen med vejrdato fra 2014, ligger derfor på **48 %** af beregning 1 (standardberegningen). (se figur 34)

6.5 Fælles resultater

Energitilskud for vinduer - E_{ref}

Udover krav til energirammen skal en bygning også overholde en række andre krav fra Bygningsreglementet, herunder E_{ref} værdi. Værdien er en definition af energitilskud. Værdien kan derfor også være udtrykt som et negativt tal.

Formel: $196,4 \cdot g \cdot f - 90,36 \cdot U$

I formelen benyttes udover U-værdi, Glasandel (f) og G-værdi, de to konstanter 196,4 og 90,36 som er konstanter iht. energiberegninger for et dansk referencehus (Dansk Standard 418, 2011) (E_{ref} -Definition)

En beregning af E_{ref} værdierne, med udgangspunkt i data fra de forskellige energiberegninger, for projekterne giver nedenstående værdier:

	U-værdi	Glasandel	G-værdi	E_{ref} værdi
Green Lighthouse	0,8	0,8	0,5	6,3 kWh/m ² pr. år
Solhuset, Sydvest	1,56	0,75	0,65	-45,2 kWh/m ² pr. år
Solhuset, Sydøst	1,51	0,75	0,57	-52,5 kWh/m ² pr. år
Solhuset, Nordvest	1,37	0,75	0,53	-45,7 kWh/m ² pr. år
Miljøcenteret	0,8	0,85	0,5	11,2 kWh/m ² pr. år

Figur 37, Beregning af vinduers E_{ref} værdi.

BR2020 krav siger at energitilskuddet gennem vinduerne i opvarmningssæsonen må ikke være mindre end **0 kWh/m² pr. år**.

BR2010 krav siger at energitilskuddet gennem vinduerne i opvarmningssæsonen må ikke være mindre end **-33 kWh/m² pr. år**.

Vinduer i Solhuset lever altså ikke op til BR2010

U-værdierne fra Green lighthouse og Miljøcenteret virker urealistiske, derfor er herunder udført en alternativ beregning med mere realistiske U- og G-værdier

	U-værdi	Glasandel	G-værdi	E_{ref} værdi
GLH	1,11	0,8	0,55	-13,88 kWh/m ² pr. år
Miljøcenteret	1,11	0,85	0,55	-8,48 kWh/m ² pr. år

Figur 38, Beregning af vinduers E_{ref} værdi.

Ved justering af U-værdier og G-værdier fra figur 37 ændres E_{ref} værdierne til at tabe mere energi end de giver. (se figur 38).

Dog er de stadig inden for BR2010 krav.

6.6 Energi pr. m²

Transmissionstabet gennem klimaskærmen, ekskl. Vinduer og døre:

Hvis der kigges på kravet til det dimensionerende varmetab gennem klimaskærmen ekskl. døre og vinduer, hvilket der også er krav til. Kravet er 3,7 W/m² for bygninger med en etage, herefter stiger grænsen 1 W pr. etage den pågældende bygning opføres i, dog regnes der for 3 etager og derover med et krav på 5,7 W/m². Herunder er oplistet resultaterne for projekterne.

Projekt:		
Green lighthouse har et energiforbrug på:	2,8 W/m ² /år.	se bilag 04
Solhuset har et energiforbrug på:	2,8 W/m ² /år.	se bilag 08
Miljøcenteret har et energiforbrug på:	3,8 W/m ² /år.	se bilag 13

Figur 39, Transmissionstabet gennem klimaskærmen, ekskl. vinduer og døre

Hvis man kigger på hvilken af bygningerne der bruger mest "købt" energi pr. m² er det klart Green lighthouse der er topscoren.

Projekt:		
Green lighthouse har et energiforbrug på:	37,8 kWh/m ² /år.	se bilag 03, side 2
Solhuset har et energiforbrug på:	3,8 kWh/m ² /år.	se bilag 07, side 2
Miljøcenteret har et energiforbrug på:	6,8 kWh/m ² /år.	se bilag 12, side 3

Figur 40, Købt energi pr. m²

Ser man alene for energiforbruget, uden produktionen, ser det lidt anderledes ud. Her er det Miljøcenteret der klart præsterer bedst.

Projekt:		
Miljøcenteret har et energiforbrug på:	29,5 kWh/m ² /år.	se bilag 12, side 3
Green lighthouse har et energiforbrug på:	67,4 kWh/m ² /år.	se bilag 03, side 2
Solhuset har et energiforbrug på:	86,2 kWh/m ² /år.	se bilag 07, side 2

Figur 41, Energiforbrug pr. m²

For energiproduktionen ligger Solhuset langt over Green lighthouse og Miljøcenteret.

Projekt:		
Solhuset producerer	82,4 kWh/m ² /år.	se bilag 07, side 2
Green lighthouse producerer:	29,6 kWh/m ² /år.	se bilag 03, side 2
Miljøcenteret producerer	22,7 kWh/m ² /år.	se bilag 12, side 3

Figur 42, Energiproduktion pr. m²

7. Diskussion

7.1 Green Lighthouse:

På Green Lighthouse er der indtil 2013 udført en massiv opfølgning på husets præsteren (Bygningsstyrelsen, April 2013), hvilket har resulteret i at mange børnesygdomme er afhjulpet. Samtidig belyses emner som der ikke nødvendigvis kan gøres det store ved.

Men der er gennemgået mange plausible årsager til de energiuudsving der ikke umiddelbart kan forklares ud fra de tekniske installationer.

En af de mulige årsager der beskrives er behovet for højere inde temperaturer end først antaget i energiberegningen. En anden årsag er at varmepumpen endnu ikke performer fuldstændigt som ønsket. Disse to punkter kan evt. tilskrives bygningens brug, der er udlagt som et sted hvor studerende kan henvende sig for at få svar på spørgsmål om studierne, eksamen og karrierevejledning. Hvilket resulterer i et højt besøgstal og en hyppigere brug af indgangene end forventet, og dermed et højere luftskifte og intern belastning fra brugerne.

Der beskrives også nogle eksempler på hvad der har været af tekniske udfordringer f.eks. at der til styring af bygningen er to forskellige styresystemer, så vinduer og solafskærmning kører på et system, mens varmepumpe og mekanisk ventilation har kørt på et andet. Det er ikke hensigtsmæssigt, og der har været en del problemer med samkøring af systemerne.

Samtidig kan det læses i 3-års rapporten for Green Lighthouse (Bygningsstyrelsen, April 2013), at der har været en del udfordringer med varmesystemet, som er en kombination af solvarme, varmepumpe og fjernvarme. Når der har været uoverensstemmelser mellem disse har det været svært direkte at lokalisere fejlen eller uoverensstemmelsen.

I rapporten defineres nogle læringspunkter ud fra de erfaringer og valg der er blevet gjort i forbindelse med opførelsen og driften af bygningen. Rapporten er virkelig en god "markør" for hvordan bygningens tilstand har været efter 3 år i drift. Og mange erfaringer kan tages med videre i driften.



Foto: Adam Mørk: Green lighthouse

For energiproduktionen kan det konkluderes at der egentlig foregår en lidt højere produktion end det for beregning 2 fastlagte.

Der produceres ca. **3,4 MWh** mere energi end oprindelig antaget. Det i beregning 1 fastsatte niveau for henholdsvis varmepumpe, solvarme og solceller ligger dog ikke med samme fordeling, som det faktisk målte.

I den virkelige verden producerer varmepumpe og solvarme ikke nær så meget energi som tiltænkt i beregningen. Omvendt er det for solcellerne, her produceres ganske meget over det, i beregningen forudsatte. Se side 31, figur 21.

Det kan altså konkluderes at Green lighthouse bruger dobbelt så meget energi som forudsat. Det forudsatte er med samme vejrdata som ved det målte forbrug. Se side 31, figur 21.

Energiforbruget i Green lighthouse er meget påvirket af brugerne, hvilket understreges af den store difference der optræder mellem beregning 2 og beregning 4. Som det eneste af rapportens projekter, er der i Green lighthouse en øget brugstid i forhold til det forudsatte.

Om resultaterne siger mest om brugernes adfærd og belastning, eller om der blev arbejdet ud fra et for u-konkret grundlag under projekteringsperioden er svært at konkludere, men kigges der isoleret set på dataene for hvordan bygningen i dag "performer" i forhold til beregningen, er der ting som vel må siges at være for undervurderet. Upåagtet at den gode "fortælling og historie" om Green lighthouse stadig i den grad er tilstede. Måske skulle der netop her være udarbejdet to eller flere beregninger, der synliggjorde det forventede energiforbrug ved flere forskellige scenarier.

I forbindelse med indhentning af data for Green lighthouse, er det erfaret at der ikke længere indsamles forbrugsdata fra den nuværende driftsherre. Grundet dette er der i nærværende opgave også benyttet forbrugsdata tilbage fra 2012.

At der ikke kan ses en gevinst ved at indsamle forbrugsdata, og benytte dette i netop den fremtidige drift, virker underligt. Da der ved det materiale der foreligger (Bygningsstyrelsen, April 2013) kan findes mange tiltag til forbedringer og forklaringer på bygningens præsteren.

Det bør være i en hver driftsherres interesse at indsamle og benytte sig af forbrugsdata

Konklusioner omkring nøgletalsark fra Be10 resultaterne:

Green lighthouse er det eneste af projekterne, som efter beregning 5, stadig overholder samme energiramme som ved beregning 1 og 2. Mellem beregning 1 og 2 er det næsten omvendte resultater i forhold til dataene fra resultatloggen. Mellem beregning 1 og 5 er det næsten en fordobling mellem resultaterne. Ovenstående konklusioner er med udgangspunkt i resultaterne for BR2020. (Se side 32, figur 22).

Da Green lighthouse er den bygning der bruger mest energi pr. m² er det slående at bygningen er den der har det mindste energibehov når der kigges på nøgletalsarket.

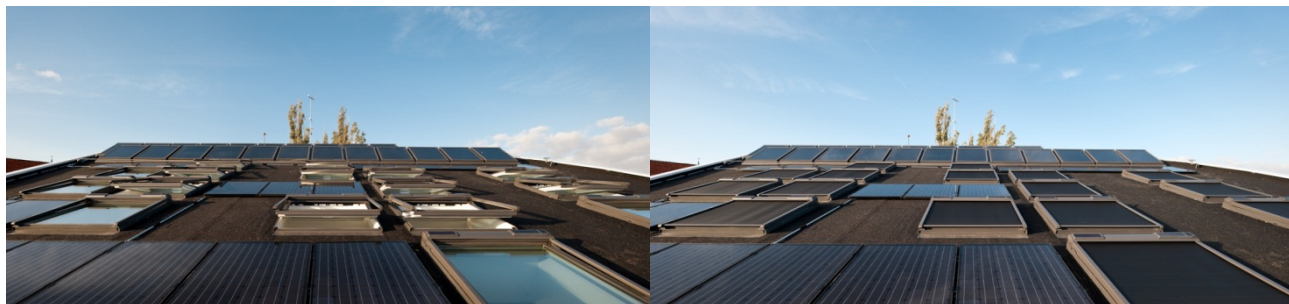


Foto: Adam Mørk

7.2 Solhuset:

I Solhusets tilfælde er det bemærkelsesværdigt at se hvordan det i praksis, har været en gevinst at følge husets energiforbrug, og dermed at have haft den nødvendige viden om hvor der skulle sættes ind, når forbrugstallene har givet udsving, som ikke var forventede.

Herunder bringes en kommentar fra Niels Tredal, civilingeniør hos Rambøll, som har fulgt byggeriet. *Generelt vil jeg sige med Solhuset og alle andre lavenergi projekter, så er udfordringen klart, at der er al for lidt fokus på commissioning-delen.*

Dvs. at bygherre hyrer en rådgiver til at varetage idriftsættelse og opfølgning for at sikre at alt fungerer som tiltænkt.

Jeg tror aldrig jeg har været med på et byggeri, hvor alt fungerer 100 % som tiltænkt fra dag 1.

I de fleste byggerier opdager bygherre det aldrig, men på de her byggerier, hvor man holder lidt øje med forbruget, så bliver det tydeligt.

Den optimale drift af en bygning afhænger i høj grad af den faktiske brug.

Samtidig er der næsten altid nogle komponenter, som fra start ikke opfører sig som de skal.

På Solhuset stod varmepumperne i flere måneder med fejlalarm. Det blev først opdaget da de ikke længere fik varmt vand.

Med den måde som de her bygninger er optimeret på, så skal der mere opfølgning til.



Foto: Kenneth Helmer Pedersen, Model af Solhuset

Energiproduktionen for Solhuset ligger ca. **18,5 MWh** højere end forudsat i beregning 2. Energiforbruget ligger derimod ca. **38,5 MWh** over det i beregning 2, forudsatte. (se side 53, figur 28).

Solhuset blev bygget med tanken om at bygningen skulle være energiproducerende, det kan med de viste resultater, konkluderes at Solhuset i 2013 ikke var energiproducerende.

Som ved Green lighthouse, kan der også for Solhuset ses, at en stor andel af differencen mellem det beregnede og det målte energiforbrug skyldes brugeradfærd og bruger belastning.

For Solhuset er det temperaturstigningen fra 20 til 23 grader (beregning 3) der giver den største stigning i energiforbruget, da der stilles højere krav til varmebehovet. Varmebehovet falder en smule igen ved beregning 4, da der her justeres for internt varmetilskud. Samlet set får det dog energibehovet til at stige.

At det samlede energibehov i beregning 4 ligger meget tæt på det endelige målte energiforbrug må siges at være et tilfælde, da der som nævnt tidligere ikke er justeret for el til ventilation, varmepumpe og belysning. Dette giver et endnu højere energibehov. Men i beregning 5 skal der også justeres på energiproduktionen for varmepumpe, solceller og solvarme. Hvilket ligger tilsvarende højere i forhold til stigningen i energibehovet mellem beregning 4 og 5. (se figurer på side 34 og 35).

Kigges der bort fra energiforbruget fra "det interne varmetilskud" primært udstyr og apparater, præsterer Solhuset ganske fint. Hvis der ikke var det store forbrug til udstyr og apparater, ville bygningen umiddelbart fungere som energiproducerende, da dette parameter har en forskel fra beregning 2 til 5, på **17,9 MWh**. Varmebehovet ville så stige, men slet ikke tilsvarende. (se figur 28).

Konklusioner omkring nøgletalsark fra Be10 resultaterne:

Når der ændres på standardværdierne for udstyr (internt varmetilskud), så slår det kraftigt ud på det endelige resultat. Mellem beregning 5 og beregning 4, ændres igen på det endelige resultat i energiberegningen, primært fordi der bruges en del mere el på belysningen, varmebehovet falder derfor en smule.

Varmefladen i ventilationsanlægget er uændret fra det oprindelige, og SEL faktoren er sat op. At nedsætte temperaturen på indblæsningen, skaber et større varmebehov og er derfor en faktor der også kan skrues på ved tilpasning af energiberegningen i forhold til det faktisk målt.



Foto: Adam Mørk

7.3 Miljøcenteret:

I Miljøcenteret kunne man nok ønske sig at der havde været mere fokus generelt på hvordan man, efter bygningen var færdig, havde tænkt sig at måle og registrere på de forskellige installationer. Og dermed sikre sig at der fremtidigt var mulighed for, relativt nemt, at finde frem til evt. energisyndere i bygningen.

Selvom lige præcis denne bygning rent faktisk præsterer ganske godt, har det som tidligere nævnt været nødvendigt at foretage visse estimeringer, omkring fordelingen af energiforbruget.

Dette havde ikke været nødvendigt hvis man eksempelvis have valgt at måle et forbrug på den uopvarmede del for sig, og et forbrug på den opvarmede del for sig.

I dag måles der ikke særskilt på de forskellige dele af bygningens drift. Hvilket er en nødvendig parameter at opfylde, hvis det fulde besparelspotentiale skal belyses.

For besparelserne er der helt sikkert, de skal bare lokaliseres. Det vil også kunne belyse hvilke dele af bygningen som ikke fungerer optimalt, eller hvor der evt. er et overforbrug af f.eks. strøm til udstyr både i de opvarmede rum og i de uopvarmede værksteder.

Al registrering af forbrug foretages manuelt, hvilket ikke er usædvanligt. Det kan dog være en udfordring at skulle sætte sig ind i de forskellige installationer og hvor der evt. skal aflæses.

F.eks. på de installationer der producerer energi, her skal aflæses på hver enkelt installation.

Det er selvfølgelig ikke den store udfordring at aflæse en måler på solcellerne. Disse er rimeligt overskuelige at aflæse. Der aflæses på 2 målere der er opsat ved siden af hindanden.

Men på solvarmen og på varmepumpen skal der jo også aflæses, og her skal der fysisk trykkes på knapper for at frembringe et antal kWh som repræsenterer produktionen.

Dette kunne tale for at der blev installeret et mere intelligent system til registrering af produktionen. Det ville klart give et mere sikkert billede af hvad der produceres hvor og hvornår.

I forhold til forbruget er det straks et mere unuanceret billede der vises. Da der ikke på nogen måde er forsøgt at vise hvad de forskellige installationer eller installationsgrupper forbruger. Her er blot opsat en enkelt hovedmåler. Således kan hverken el forbruget til udstyr, ventilation eller belysning på nogen måde belyses. Medmindre der gøres tiltag som i denne opgave, hvor der estimeres et forbrug ud fra hvad der er fordelingen i den udførte energiberegning. Men det har jo ikke nødvendigvis ret meget med virkeligheden at gøre.

Derfor synes der at være et ret så stort behov for at opsætte en mængde af delmålere.

Et andet tiltag som kunne være interessant for Miljøcenteret, kunne være at få lavet en form for gennemgang af om systemerne egentlig virker optimalt, særligt om de i kombinationen med hinanden, kunne fungere bedre.

Det kunne antages at dele af installationerne kører på et højere gear end nødvendigt f.eks. ventilationsanlægget. Da det både leverer varme og friskluft. Samtidig med at der rent faktisk er en relativ høj inde temperatur generelt i bygningen, hvilket bl.a. nævnes i en nylig gennemført APV undersøgelse fra 2015. Der er også gjort egne registreringer af rumtemperaturer i forbindelse med besøg i bygningen, en dag i marts måned 2015. Her er registreret et gennemsnit i rumtemperaturerne på 23,9 grader. Registreringerne er gældende for kontordelen.

Modsat Solhuset er der for Miljøcenteret en negativ forskel på energiproduktionen mellem det forudsatte i beregning 2 og det målte i beregning 5. Forskellen er **11,9 MWh**. Se side 39, figur 35.

Faldet i det samlede energibehov der optræder mellem beregning 3 og 4 hvilket understreger hvor meget brugeradfærd og særligt i det her tilfælde brugerbelastning betyder, da de parametre der her justeres er det interne varmetilskud og varmt brugsvand.

Dette siger ikke så meget om at selve bygningen ikke præsterer som den bør, tværtimod, nok mere at der ikke er den store brugerbelastning. Varmefloden i ventilationsanlægget "fødes" via varme fra solvarmeanlægget. Hvilket er en rigtig fin ide.

Der er flere ting der tyder på at ventilationsanlægget er en smule underdimensioneret, da det også benyttes uden for opvarmningssæsonen. Her benyttes det til at køle. Og som det er blevet fortalt: *Hen over sommeren 2014 døjede ventilationen med at følge med – forstået på den måde, at den var sat på hårdt arbejde ift. at køle... Kørte konstant!*

I selve opvarmningssæsonen er ventilationsanlægget også med til at varme bygningen op via indblæsning af varme på 1. sals gulvet. Der er generelt en høj temperatur i Miljøcenteret.

I forbindelse med besøg i Miljøcenteret, blev der målt et gennemsnit på 23,9 grader som rumtemperatur. Der er i seneste APV også registreret tegn på en for inde temperatur. Og når nu ventilationsanlægget kører på høj drift. Kunne det tænkes at anlægget ikke helt kan følge med.

Om det er automatisk solafskærmning eller bedre konstruktiv solafskærmning der burde være installeret, eller om ventilationsanlægget er underdimensioneret, kan være underordnet, men det burde være noget i retning af disse emner man burde kigge, hvis der skulle gøres noget ved de lidt for høje rumtemperaturer.

Der er foretaget flere krumspring i forbindelse med beregningerne og deres grundlag, end i de to andre projekter. Som tidligere skrevet måles der "kun" på hele bygningen.

Bygningen er delt op i en opvarmet del og en uopvarmet del. Og her måles altså ikke særskilt.

Det har derfor været nødvendigt at lave en energiberegning kun for den uopvarmede del, og lægge dennes resultater sammen med beregningen til byggeansøgningen til myndighedsansøgningen. Som nævnt under "6. Resultat" er der ikke lavet justerede beregninger for den uopvarmede del i de forskellige scenarier. Der er altså primært fokuseret på den opvarmede del af bygningen.

Til det skal også nævnes at varmepumpen først er begyndt at blive registreret fra oktober 2014. Dog kan det ses i data at anlægget har fungeret ca. siden december 2013 /januar 2014. Inden varmepumpen er begyndt at virke optimalt har der været installeret et andet alternativ, hvor forbruget også har været et forbrug. Præcis hvilken type kilde der har været midlertidigt installeret har ikke været tilgængeligt.

Det ville være en gevinst at sætte delmålere op. Det kunne f.eks. gøres for varmt brugsvand, belysning, ventilation og udstyr. El forbruget til varmepumpen ville også være en god ide at registrere. Hvorfor det ville være en gevinst, ville være at der vil kunne detekteres eventuelle uoverensstemmelser lang hurtigere og meget mere direkte.

Det ville være nemmere at udføre drift og vedligehold på bygningen. Samtidig ville man også få et overblik over hvad bygningen forskellige dele bruger af energi. Hvilket kunne gøre at der måske ville blive brugt endnu mindre energi. F.eks. er der et par varmeskabe i omklædningsrum. Andre mere eller mindre faste udstyrs installationer er også placeret i Miljøcenteret.

Særligt på bygningens udstyrs side ville man have gevinst af en delmåler. Da brugerne her har den mest direkte indflydelse.

Det ville være et godt tiltag for bygningen at få lavet en vurdering om en commisioning aftale ville give en gevinst for bygningens energiforbrug, da det godt kunne tænkes at de forskellige anlæg ikke kører optimalt sammen. Umiddelbart er vurderingen at der ville være noget at hente.

Konklusioner omkring nøgletalsark fra Be10 resultaterne:

Miljøcenterets energiberegning ud fra det målte energiforbrug, lever "blot" op til BR2010.

Under "Bidrag til energibehovet" har Beregning 5 et langt højere "El til bygningsdrift" end i Beregning 2. Se bilag 13

Umiddelbart skyldes det den relativt store forskel der er i energiproduktionen mellem de to beregninger, da selve netto energibehovet faktisk er lavere i Beregning 5. (se side 39, figur 35). Det forklarer også differencen mellem Beregning 4 og 5. Hvor der netop justeres for energiproduktionen. (se side 39, figur 35).



Foto: Adam Mørk

7.4 Generelt:

Differencen mellem det beregnede energibehov og det målte energiforbrug, vil altid være der. Der er en række parametre der i dag gør at der helt naturligt vil være en difference imellem de to tal. Fejl under udførslen, forkert brug af bygningen, forkert indstillede anlæg, eller slet ikke indstillede anlæg, for mange utilsigtede utætheder i klimaskærmen (udførslen), manglende opfølgning på at tekniske installationer fungerer som de skal, og om de spiller rigtigt sammen med andre installationer.

En teknisk installation kan sagtens køre som den skal og være rigtigt installeret. Samlet set kan der dog være risiko for at der ikke er taget højde for andre installationer, det vil sige at der faktisk kan ske en overproduktion eller overforbrug, som ikke bliver udnyttet til fulde og derfor et højere energispild end nødvendigt.

Der kan gøres noget ved en stor del af de ovennævnte punkter.

Punkter som der kunne gøres mere ved kunne være:

- Større fokus på tæthedsplanet (klimaskærmen).
- Større fokus på bedre udført håndværk.
- Større fokus på korrekt sammensatte bygningsdele.
- Større fokus på "uddannelse" af brugeren eller levering af brugervejledning (f.eks. som til biler).
- Større fokus på en hurtig "normalisering" af de tekniske anlæg.
- Større fokus på commissioning (Bygningsdrift for professionelle).

En række "ubekendte" faktorer er det lidt sværere at skulle følge op på, men som selvfølgelig, hvis de ovenstående punkter forbedres vil smitte af på de ubekendte, f.eks. er det ikke altid det udbudte som rent faktisk bliver opført. Der kan være afvigelser i materialevalg og konstruktionsløsninger. Generelt kan der være afvigelser fra det udbudte materiale i forhold til det udførte arbejde, både registrerede og ikke registrerede afvigelser.

Det er, i forvejen en stor opgave at tilbageregistrere kendte ændringer og i særlig grad, energiberegningen. Selvom der i Bygningsreglementet er krav om ny energiberegning ved ændring af projektet, også under udførelse, sker dette desværre alt for sjældent

Både energiberegning og rådgivere har for længst "forladt" projektet på det tidspunkt. Selvom de udførende, byggeledelsen og tilsynet er forpligtet til at overholde det udbudte, er erfaringen at der altid er visse afvigelser i større eller mindre grad.

Altså kunne man ønske sig at der var en langt bedre opfølgning og registrering af det byggeri der opføres. En omkostning der, som så mange andre tiltag, højst sandsynligt vil lande på bygherres bord. En ekstra omkostning, men også en ekstra kvalitetssikring af projektet

Tæthedsplanet:

Hvis en lufttæt klimaskærm skal udføres korrekt skal det tænkes med fra starten i planlægningen af et byggeprojekt og bør være en del af de overvejelser der gøres i forbindelse med projekteringen.

Ved en gennemgang af de 3 projekter ses det klart at der kan gøres en del mere for tætheden.

Projekterne ligger alle med en målt tæthed inde for BR10 grænsen på $1,5 \text{ l/s/m}^2$ og kun et af dem holder sig under kravet for 2015 på $1,0 \text{ l/s/m}^2$ endog ganske fint ($0,85 \text{ l/s/m}^2$).

Ser man udelukkende på energiberegningerne, ligger de alle i 2020 klassen, hvilket tæthedsprøverne bestemt ikke viser. Dette understreger behovet for at gøre det bedre på dette punkt, da det er et ufravigeligt krav for at opnå et byggeri der samlet set lever op til f.eks. 2020 krav. Altså er energiberegningen for en bygning ikke alene om at redegøre for en bygnings fysiske formåen, men den konstruktionsmæssige sammenbygning af diverse bygningsdele er også en parameter.

Et utæt tæthedsplan (klimaskærm) giver et utilsigtet energitab og dermed et øget opvarmningsbehov. Energien til ventilation øges også, da der slipper varm inde luft ud gennem utæthederne og derfor ikke kommer gennem ventilationsanlæggets varmeveksler til varmegenvindingen. Noget af gevinsten fra varmen ved genvindingen forsvinder derfor.

Ved måling af klimaskærmens lufttæthed foretages en måling med overtryk og en måling med undertryk, begge med et atmosfærisk tryk på 50Pa. Gennemsnittet af de to målinger giver resultatet af tæthedsmålingerne. Og er det tal der skal holdes op imod Bygningsreglementets krav til klimaskærmens lufttæthed. Henvi sning: (SBI-anvisning 214, 2007)

Bedre udført håndværk:

Her kan det være svært, som projekterende at gøre så meget, dog kan der stilles krav om korrekt uddannet personale til de anviste arbejder f.eks. skal det ikke være en uddannet cykelsmed der laver glas-alu facaden. Selvom cykelsmeden godt kan håndtere en skruemaskine.

Korrekt sammensatte bygningsdele:

Det er ofte set at forkerte sammensætninger, eller ikke til hensigten sammensatte bygningsdele kan gøre det svært at udføre et arbejdet som ønsket. Så her er det et krav til de projekterende om at den enkelte bygningsdel skal sikres en vis form for sammenbyggelighed med de omkringliggende bygningsdele.

Uddannelse af brugeren:

Det ses ofte at en bygning eller dens funktioner ikke altid bliver benyttet efter hensigten. Dette kan være skyld i et relativt stort overforbrug i forhold til det tænkte. Dog skal det også bemærkes at det ofte er meget svært at spå om den fremtidige brug af en bygning, i projekteringsfaserne. Rum kan blive brugt til andre ting end det der var meningen under projekteringen og udførelsen. Men alligevel er der stadig den faktor, at funktioner i bygningen kan blive brugt helt forkert.

Der er måske her tale om et behov for en yderligere uddannelse af driftspersonale, da det er set før at uddannelse ikke altid stemmer med beskæftigelse.

En uddannet elektriker bør ikke varetage styringen af en bygning, da der jo er mange andre installationer en hvad en elektriker er vidende om. Dog vil det være et rigtig godt grundlag for en videreuddannelse.

Hurtig normalisering af de tekniske anlæg:

Ved igangsætning af bygningers drift er der altid en vis indkøringsperiode, desværre strækker den sig tit langt ind i bygningens levetid. Her kunne indskrives i udbudsmaterialet at den udførende har pligt til prøvning af anlæg inden aflevering, måske et givent antal dage eller anden tidsbestemmelse for prøvningerne. Således kunne man være på forkant med evt. fejl i et anlæg. Det kunne også være et fokuspunkt for en bygherre, at sikre sig i en tidsplan, ligesom der altid skal afsættes tid til udtørring af en bygning.

Det ville også give bedre tid til at få diverse anlæg til at køre korrekt sammen.

Commissioning:

Udtrykket og brugen af samme er stadig meget nyt i den danske byggebranche, selvom det har eksisteret i noget tid.

Commissioning er en kvalitetsorienteret proces der kan bruges til at opnå, kvalificere og dokumentere, at en bygnings tekniske installationer kan opfylde de krav der defineres.

Generelt henvises i dette afsnit til:

(Teisen, Commissioning Processen, Maj 2013) (Teisen, <http://bygidrift.blogspot.dk/>, 2015)

Commissioning følger byggeriet helt fra ide til det er færdigbygget og drift start. Processen sikrer derved optimalt fokus på installationerne på tværs af entrepriser og leverancer.

Samtidig er det målet at udfylde det "tomrum" der opstår mellem byggefasen og driftsfasen.

Dette gøres ved at bygherre hjælpes med at sætte målbare krav til en bygnings ydeevne inden byggeriet går i gang. Der skal blandt andet udføres checklister og kontrolplaner. Samtidig med at der defineres helhedsorienterede tests der sikrer en helhedsorienteret kvalitetssikringsproces.

Denne skal verificere bygherres krav gennem byggeprocessen.

Der er endda skrevet en Dansk standard til formålet, *DS 3090, Commissioning-processen til bygninger – Installationer i nybyggeri og større ombygninger*.

Standarden er skrevet på dansk og sikrer at bygningers installationer projekteres, udføres, betjenes og vedligeholdes optimalt i forhold til ejerens krav om funktion, indeklima og minimalt energiforbrug.

Behovet for sikring af sammenhængen mellem krav og byggeproces gennem hele forløbet er blevet tydeligere, efterhånden som bygninger dimensioneres med stadig skrappe energi-krav og højere teknisk niveau. Standarden er et værktøj til at sikre sammenhængen mellem de installerede tekniske anlæg. Det skal dog nævnes at Commissioning-processen kun kan supplere, og ikke erstatte de afprøvninger og verificeringer, som skal udføres af myndigheder på f.eks. brandtekniske installationer.

Som udgangspunkt skulle man mene at bygherre allerede burde have betalt for at bygningen kan præstere som det er planlagt. Og det er både ja og nej. Ja, fordi der som oftest er indskrevet i udbudsmaterialet at en given underleverandør skal indregulere, teste og kvalificerer sin leverance. Nej, fordi en hoved- eller totalentreprenør ikke altid besidder kvalifikationerne til at kvalitetssikre arbejdet der er udført af underentreprenører. Og fordi der næsten aldrig står noget i den enkeltes underentreprenørs projektmateriale om et anlægs ydelse, set i en helhed med andre underentreprenørers anlæg, installeret i bygningen. Altså har en bygherre krav på at komponenter er sikret rent kvalitetsmæssigt. Men der nævnes nærmest aldrig noget om systemer der består af flere komponenter og leverancer.

Man kunne måske godt anklage branchen for at opfinde den dybe tallerken igen, ved at udnytte de dårlige kontrakter der tit og ofte aftales og "glide" omkring de forpligtigelser der allerede forventes. Men der er et tomrum der i dag ikke er udfyldt.

Måske er det også et fokus der ikke kigges nok på, fra mange bygherrerens side, da bygherre og driftsherre ikke altid er den samme

”Commissioning” er et middel til at sikre brugerne en gnidningsfri overdragelse og ibrugtagning af et byggeri eller sikre, at anlæggenes funktion ikke går ud over eller kolliderer med brugernes adfærd, med en dårligere funktion som resultat. Det være sig alt fra dårligt indeklima over dårlig funktion af specifikke processer, til forhøjet energiforbrug.

Herunder nævnes punkter der efter bedste overbevisning med fordel kunne indføres:

- Så vidt muligt, sørg for at evt. CTS anlæg ikke er fordelt på flere styresystemer. Der vil typisk altid opstå udfordringer med samkøring af flere styresystemer.
- De valgte løsninger bør ikke være for komplicerede og der bør ikke ”afprøves” for mange nye tiltag samtidig.
- Under projekteringen skal der gøres rede for hvordan der udføres fejlfinding. Og der skal fokuseres på at minimere tidsforbrug til indkøring og fejlretning.
- Krav til dokumentation af funktioner og energiforbrug. Så disse kan eftervises ved aflevering og i driften.
- Der bør i udbudsformen inkluderes en tidsperiode for drift af bygningen. Dertil definition af afrapportering i driftsperioden og til den senere drift af bygningen.
- Ved en totalentreprise kan det anbefales altid at have et fuldt færdigprojekteret projekt klar inden udbud, da en totalentreprenør, vil forsøge at komme hurtigt videre i byggeprocessen. Hvis der stadig foregår projektering/udviklingsarbejde under byggeriet, kan der opstå risiko for at beslutninger bliver taget på et for løst grundlag.
- Ved totalentrepriser kan det have afsmittende effekt på slut produktet at have en drift periode inkluderet i udbuddet.
- I planlægningen og i projekteringsfaserne bør der udføres beregninger med parametervariationer f.eks. øget inde temperatur, brugstid og luftskifte.
- Som bygherre kan det have stor værdi at afsætte særskilte midler til energioptimering og dokumentation af driften. Det vil gøre bygningen mere attraktiv og om muligt have indflydelse på lejeindtægten i et lidt længere perspektiv

Hvorfor er der behov for commissioning?:

Herunder gennemgås nogle af de typiske årsager til energispild og dermed behovet for Commissioning, opdelt i fire hovedpunkter.

Henvisning: (Bo Holst-Mikkelsen og Rasmus Brodersen, 2012)

Program og planlægning

Desværre foregår allerede i program og planlægningsfasen en række uhensigtsmæssigheder.

Mange bygherrer mangler ofte viden og kompetencer. De indledende beslutningsprocesser er ofte præget af manglende stillingtagen og dårlige beslutninger fra bygherrerens side. Bygherre stiller ikke eller er ikke i stand til at stille konkrete og specifikke krav til deres eget byggeri. Dette betyder, at de efterfølgende byggeprocesser ofte kunne køre langt mere "stramt". Dette betyder også, for at kunne foretage en kvalitetsmæssig bedømmelse af et byggeri skal visse forudsætninger være til stede, forudsætninger som bygherre ikke som udgangspunkt besidder. Det gælder altså også at selve bygherrerådgivningen kunne være at ønske på et højere niveau.

Det sker alt for tit at bygherre køber "katten i sækken". Er et byggeri ikke tilstrækkeligt specificeret giver dette også entreprenører et, både tyndt og dårligt grundlag til at afgive pris og en mulighed for at konkurrerer på parametre der burde være ophøjet til ikke at være et konkurrenceparameter, som f.eks. angivelse af mængder.

Det behøver ikke blot at være dårlig bygherrerådgivning, det kan også skyldes at selve rådgiverne ikke tør eller er dygtige nok til at udfordre bygherre og kræve en mere aktiv stillingtagen til flere og mere konkrete krav til deres eget byggeri. Ja man kunne have den mistanke, at rådgiverne ikke ønsker at der stiles de specifikke krav, fordi man som rådgiver efterfølgende kan blive "hængt op på" disse forhold.

På program og planlægningssiden kan det, som nævnt tidligere, helt store problem også være at mange bygherrer har deres primære fokus på anlægsomkostningerne. Omkostningerne til selve driften, betales tit af en udlejer. Dette misforståede fokus kan have en dårlig indvirkning på de efterfølgende faser.

Argumentet for at have fokus på lave driftsomkostninger, er jo selvfølgelig at man får et mere salgbart produkt og derfor kan opretholde en i forvejen planlagt indtægt.

Design og projektering

Manglende specialviden med fokus på de mange forskellige projekteringsværktøjer er ofte årsagen til at disse bruges forkert. Bl.a. ser man ofte, Be10 anvendes til at beregne det faktiske energiforbrug i bygninger i stedet for brug af mere avancerede simuleringsværktøjer. Eller også skal man blot vide at det ikke er energiforbrug der beregnes i Be10, men at Be10 primært sikrer at krav i Bygningsreglementet overholdes. Der benyttes jo en masse standardforudsætninger, som ikke nødvendigvis er det samme som når bygningen tages i brug.

Mere avancerede værktøjer som f.eks. BSim tager blandt andet, højde for en mere specifik adfærd og adfærden er som bekendt en meget stor ubekendt i forholdet mellem det planlagte og det faktiske.

Forkert brug af simuleringsværktøjer, betyder også, at beregningerne ikke altid er præcise nok, og man har sjældent et godt indblik i, hvordan forskellige systemer påvirker hinanden.

På baggrund af dette, kan der i forbindelse med andre dele af projekteringen ske designfejl og dimensioneringsfejl. Og sådanne elementer kan være ekstremt svære at rette op på efterfølgende. Det kunne f.eks. være et ventilationsanlæg som af denne årsag er underdimensioneret. Dette mindsker mulighederne for indregulering og resulterer i at anlægget bliver nødt til at køre på fuld styrke for at kunne levere den foreskrevne ydelse. Energieffektiviteten vil i dette tilfælde være meget ringe, da et anlæg ikke er designet til at skulle køre konstant på maksimal ydelse.

Udførelse

Byggesjusk som fugning, dårlig isolering, manglende afdækning og derved utilsigtet tæring ses alt for meget når der bygges. Det sætter store krav til kvalitetssikringen, som ofte foretages alt for mangelfuldt og med et for lille fokus. Derfor kan byggefejl være svære at opdage og efterfølgende udbedre. Samtidig bruges komponenter ofte forkert og monteres også forkert, grundet manglende viden hvorfor den korrekte opsætning og brug ikke bliver overleveret dygtigt nok. Et eksempel kunne være at der grundet dårlig specificering, ofte bliver udskiftet komponenter med andre billigere komponenter der har dårligere energieffektivitet.

Mangelfuldt og utilstrækkelig koordinering mellem de udførende håndværkere og dårlig planlægning og forsinkelser er med til at planer ikke følges og f.eks. at rørføring ændres. I forbindelse med ændret rørføring for ventilation kan det resultere i større tryktab og deraf en langt ringere energieffektivitet og dermed et potentielt forringet indeklima.

Der arbejdes i faggrupperne alt for ofte efter akkord og der "fødes" derfor et dårligt argument for at vælge de rigtige og gode løsninger. I tilfælde med akkordarbejde udføres sjældent en tilstrækkelig systematisk og løbende kvalitetssikring. Da det ikke altid er en del af "akkorden" - igen et for stort fokus på anlægsomkostningerne.

Drift og brug

Løbende kontrol og optimering af diverse systemer foretages alt for sjældent. Gøres dette, opnås det bedste udgangspunkt for at fastholde eller yderligere nedbringe et lavt energiforbrug. Man kan påstå at commissioning er en vigtig del at få implementeret i byggebranchen, men også udtrykket "continuous commissioning" er en om end ikke endnu vigtigere del at tage fat på, særligt i driftsperioden. Erfaringer siger at, hvis man arbejder systematisk og kontinuerlig kan det tage op til 2 år at lære at kende sin bygning rigtigt.

I industrielle processer er det erfaringsmæssigt nemmere at opbygge effektive processer. For byggeriet er det nok et "issue" at alle byggerier er unikke. Grundet diversitet, placering og sammensætning.

Brugsvaner i gamle og nye bygninger

I følgende afsnit beskrives et andet interessant synspunkt omkring brugsvaner i gamle og nye bygninger. Afsnittet er blandt andet inspireret af artikel vedrørende en undersøgelse af varmekonsumet i omkring 3,3 mio. tyske husstande. (Oliver Mertens, April 2013)

Der gøres uddrag fra artiklen og samtidig kommenteres på dele af artiklen. Undersøgelsen omhandler boliger, projekterne i denne opgave er erhvervsbyggerier og har på den måde ikke noget med husejendommen at gøre. men der kan findes nogle interessante perspektiver som godt kan "trække tråde" mellem erhvervsbyggerier og boliger, da det her handler om brugeren.

Energikonsumet beslutes i dagligstuen:

Der spildes mere energi i isolerede bygninger end i dem, der ikke er isoleret. Det absolutte energikonsum fortsætter med at falde i takt med, at bygningernes energibesparende kvalitet forbedres, men effekten på brugerne og deres tendens til at spilde energi stiger.

Det er resultatet af den største undersøgelse af energieffektivitet i bygninger i Tyskland udført af den anerkendte professor Dr. Clemens Felsmann.

Tesen er:

Jo mere energibesparende en bygnings klimaskærm er, jo mindre bekymrer beboerne sig om deres varmekonsum

Brugere af ældre bygninger er mere energibevidste:

Undersøgelsen viser, at den målte stuetemperatur i to tredjedele af de husstande, der blev målt i lejlighedskomplekser, er væsentligt lavere end den teoretiske norm på 20 °C. Halvdelen af de registrerede værdier lå endda under 19 °C.

Brugere i ældre bygninger er således meget mere energibevidste, end man tidligere har troet, og deres adfærd har også større indvirkning på det samlede forbrug, end vi formodede.

Det målte energikonsum i ældre bygninger er i gennemsnit meget mindre end det beregnede behov.

Det betyder, at de potentielle besparelser for energibesparende foranstaltninger på bygningens klimaskærm og anlæg er overvurderet. Felsmanns undersøgelse viser, at den gennemsnitlige stuetemperatur stiger væsentligt i takt med, at bygningens energibesparende kvalitet øges. Ejendomme, der blev bygget mellem 1958 og 1967, har i gennemsnit en stuetemperatur på 18,1 °C. Bygninger fra mellem 1978 og 1995 har kun marginalt højere temperaturer. Bygninger fra mellem 1996 og 2001 er imidlertid væsentligt varmere, nemlig 19,4 °C, og bygninger bygget i henhold til 2002 standarder er endnu varmere, nemlig ca. 20 °C.

I en ældre bygning fra før 1977 stammer ca. 17 % af energikonsumet fra opvarmning af vand. I bygninger bygget i henhold til 2002 standarder, ligger det helt oppe på 28 %. I enkelte tilfælde kan andelen af forbruget til opvarmning af vand i nye bygninger stige til 50 %.

Kommentar til ovenstående:

Her skal man huske at tage med, at der jo er sket en reduktion af andre energikonsum i forbindelse med bygningens drift. Hvorfor det giver god mening at der procentuelt er en stigning i andelen af energikonsumet til varmt brugsvand i forhold til det samlede energikonsum.

Her kan man bare konkludere at der kan og bør være mere fokus, på energikonsum til opvarmning af varmt brugsvand.

Konklusion fra artiklen:

Brugeradfærd er en afgørende faktor. Kun de, der ved, hvor meget energi, de forbruger, og hvad det koster, vil tilpasse deres adfærd med hensyn til energikonsum. Og kun de, der tænker over deres vaner, vil ændre deres adfærd.

Som en generel kommentar til artiklen og undersøgelsen, kan nævnes at der til stadighed er en fortsat stor gevinst ved at gøre brugerne af vores "nye" energieffektive bygninger mere "uddannede" til at varetage deres eget energiforbrug. Det bør belyses og bevises, overfor den enkelte bruger hvilke adfærdsmønstre der er energirigtige og hvilke der bestemt ikke er.

Der kommer stadig flere og flere komponenter på markedet som kan fortælle brugeren at der nu er brugt mere energi en nødvendigt på f.eks. et badearmatur. Det kan altid diskuteres om sådanne tiltag kommer "for tæt på" brugernes frihed til selv at tage stilling

Energioptimerede huse er ofte udstyrede med et væld af komplicerede installationer som brugerne har svært ved at overskue og endnu sværere ved at justere for optimal drift. Det er derfor en driftmæssig fordel hvis en så stor del af den ønskede energioptimering kan opnås ved passive tiltag som solorientering, konstruktionsvalg og -dimensionering der fungerer uden brugerdeltagelse. Det er tidligere vist at man kan komme langt med korrekt og simpel geometri, i kombination med gode og gedigne konstruktioner. Ofte udføres "minimumsløsninger" der er valgt så de kun lige akkurat lever op til minimumskrav særligt i typehusbyggeriet, der er præget af meget hård priskonkurrence, er dette snarere reglen end undtagelsen.

Mængden af forskellige installationer stiller i dag mange bygningsejere i en situation hvor det ikke er muligt for dem selv at regulere på de mange forskellige parametre, der er i de forskellige anlæg. Det er ikke altid at der er en egentlig driftsafdeling tilknyttet. Hvilket i dag også stiller større krav til drift og vedligeholdelsesmateriale, der skal følge med en bygning udstyret med mange forskellige installationer.

Bygningen og dens installationer skal være til at forstå, oveni skal selve betjeningen af diverse installationer være mere brugervenlige, ikke at det er noget der skal benyttes lige så ofte som kaffemaskinen, hvilket man jo så kan sige er endnu et argument for at det skal være let at betjene. Da det ikke skal bruges så ofte, som så meget andet udstyr vi eller fylder vores bygninger med.

Registrering af energiforbrugsdata:

Hvis man forestillede sig at alle bygningsejere var forpligtet til at melde hver enkelt bygnings energiforbrug til et samlet arkiv eller database ville det være et utroligt stærkt redskab at have til rådighed. Der er i Danmark ikke lavet omfattende målinger og udarbejdet grundige undersøgelser og analyser, som kan understøtte påstanden om et større energiforbrug end hvad vi beregner os til inden vi bygger. Der findes endnu ingen fælles databaser, hvor bygningers faktiske energiforbrug bliver registreret. Det er derfor svært at skaffe relevante og sammenlignelige nøgletal.

Der er dog enkelte instanser som registrerer deres energiforbrug f.eks. bliver statens egne bygningers energiforbrug registreret centralt. Fra 2010 er der etableret en database, hvor det er muligt at følge udviklingen i ministeriernes energiforbrug siden 2006.

Også BBR registeret er på vej med angivelse af energiforbruget, egentlig har det været undervejs i nogle år. BBR (Bygnings- og Bolig Registret) er et landsdækkende register over alle bygningers faktiske og fysiske forhold, herunder oplysninger om varmeinstallationer. Derfor er der fra politisk side valgt at udvide registret med oplysninger om bygningernes faktiske forbrug.

Konkret er alle selskaber, der leverer fjernvarme, fyringsolie eller naturgas til slutbrugere, forpligtet til at indberette slutbrugerens forbrug til BBR. Indberetningen skal ske hvert år – første gang i 2011. Disse fremgår dog endnu ikke af registret, dette er bekræftet ved undersøgelse af undertegnede egen bolig i BBR registret, hvorpå der ikke fremgår oplysninger om energiforbrug, blot energiforsyningstype er oplyst i registret. Om selve energiforbruget er begyndt at være tilgængeligt på nogle BBR meddelelser er ikke undersøgt nærmere. Grundet den begrænsede adgang. Men hvis man har direkte adgang til BBR databasen, skulle der findes data på nogle adresser. Hvornår det tænkes gennemført og dermed tilgængeligt for offentligheden har ikke været muligt at finde svar på.

Indsamlingen af data vil ske på den måde, at forsyningsselskabet én gang om året foretager et udtræk af selskabets økonomisystem eller lign. med oplysning om kundernes adresser, energiforbrug og afregningsperiode.

Et centralt punkt ved metoden er, at BBR kun benytter sig af de oplysninger om energiforbruget, som den enkelte forbruger er gjort bekendt med via sin regning. Energiforbruget bliver ikke normaliseret til et kalenderår, korrigeret for graddage eller lignende. Desuden er der ingen registrering af evt. brug af brændeovne og andre alternative opvarmningskilder i, primært, enfamiliehuse. Der er kun tale om en meget simpel gengivelse af de tal, som både energiselskab som slutbruger i forvejen har udvekslet.

Derved fastholdes fortroligheden mellem slutbruger og energiselskab.

En af udfordringerne ved metoden er at få hægtet leverancestederne, sammen med de rette bygninger i BBR. Leverancestederne er kendt af forsyningsselskaberne. Dette vil ikke altid kunne lade sig gøre, da der f.eks. ved et parcelhus, hvor der kun er én adresse og en opvarmet bygning på grunden, giver det sig selv. Men på en større ejendom med flere adresser og mange opvarmede bygninger vil det i virkeligheden ofte kun være muligt at gemme oplysningerne om energiforbrug på ejendomsniveau. Derfor forventes det ikke, at indsamlingen af energiforbrugsoplysninger til BBR vil lede til en komplet registrering af bygningers energiforbrug. Via BBR's hjemmeside fremgår et estimat, på omkring 80 % af landets opvarmede bygninger vil være knyttet til et energiforbrug, når databasen er fuldt funktionel.

Energioplysningerne kan indgå som et af flere grundlag til at drage konklusioner og tage politiske valg, når der udføres energipolitiske beslutninger. Derudover vil den enkelte bygningsejer kunne bruge oplysningerne til at finde grundlag for energibesparelser og sammenligne eget energiforbrug med energiforbruget i tilsvarende bygninger.

Energiberegning (Be10)

Når en energiberegning udføres indtastes en lang række data vedrørende alle bygningens komponenter. Ingen er i realiteten sikre på om de værdier der indtastes også eksisterer hos de forskellige producenter. Særligt omkring installationer og vinduer kan der være usikkerheder. For vinduer kunne det være u-værdier og g-værdier. Her indtastes som oftest middelværdier for en række vinduer, da den eksakte u-værdi for et vindue er afhængig af geometrien. Bør der derfor medfølge produktdokumentation for enkelte bygningsdele til energiberegningen? Svaret er nej. Der ville opstå et alt for stort niveau af dokumentation og det er i forvejen et ansvar der ligger hos den enkelte rådgiver, for at det projekterede kan udføres. Det virker i forvejen som en stor opgave for myndighederne blot at skulle aflæse og forstå energiberegningerne.

En anden ting er også at man som rådgiver skal stå inde for det produkt(bygning) man vejleder sin bygherre til at lade udføre. Det kan være en udfordring overhovedet at vide præcis hvilke værdier der er for de enkelte bygningskomponenter, på det tidspunkt energiberegningen normalt udføres. I forbindelse med et hovedprojekt justeres erfaringsmæssigt på flere komponenter. Alene dette faktum, kunne tale for at der om muligt kunne stilles krav om udførelse af en energiberegning i forbindelse med ibrugtagningstilladelsen til en bygning. Her er alle bygningskomponenter tilgængelige. Der er selvfølgelig stadig et ansvar for at energiberegningen til byggeansøgningen svarer til det der udføres, her kan der blot erfaringsmæssigt konstateres, at det ansvar vil være en stor slåskamp entreprenør og rådgiver imellem. Som så mange andre ting, bliver ganske få ting til realiteter før der foreligger et decideret krav.

Forudsat forbrug (standardværdierne)

Når der kigges på projekterne i nærværende rapport, er der relativt store indflydelser fra standardværdierne. De forudsatte standardværdier er i virkeligheden brugerrelaterede. Der kan her være to veje at gå mht. til at levere noget mere "rigtig" i forhold til det faktiske forbrug.

Enten kunne man lave 2 energiberegninger i forbindelse med projekteringen. En der henvender sig til myndighederne og som efterviser opfyldelsen af en given energiberegning. Og en, der mere konkret fortæller bygherre hvad denne kan forvente at bygningen formegentlig vil komme til at forbruge. Man vil selvfølgelig altid skulle tage forbehold for vejret.

Eller også skulle man kigge på de standardværdier vi forudsætter i beregningerne.

- I alle tre bygninger er der en højere indvendig rumtemperatur end forudsat.
- I to ud af tre af projekterne er værdierne for internt varmetilskud, markant lavere end det forudsatte.
- For brugstiden gælder det, at kun et af projekterne (Green lighthouse) har en anden brugstid end forudsat, her er brugstiden "udvidet" fra 45 timer ugentligt til 60 timer ugentligt.

Altså kan der ud fra de tre projekter konkluderes at der er relativt mange og store afvigelser fra det forudsatte, hvilket jo giver god mening, da beregningerne er lavet med baggrund i at skulle eftervise Bygningsreglementets energiberegning. Men det ændrer ikke på at netop den beregning, af mange stadig opfattes som bygningens forventede energiforbrug. Hvilket er en fejl.

Man kan sige at synligheden af det reelle forventede energiforbrug, heller ikke fremgår, af Be10. Men Be10 er også lavet ud fra at skulle eftervise energibehovet i forhold til de fastsatte energirammer i Bygningsreglementet.

Hvad kunne gøres

Det er jo egentlig en misforståelse, når rådgiver branchen bliver "skudt i skoende" at energiforbruget ikke svarer til det energibehov der beregnes til byggeansøgningen.

Energiberegningen skal bruges, til at eftervise, at en bygning opfylder energibestemmelserne i Bygningsreglementet.

Der er f.eks. en ide i ikke at have for stor intern belastning i en energiberegning, når det handler om at skulle overholde energimæssige myndighedskrav (energirammen). For beregningen i ansøgningen til myndighederne skal fortælle om bygningen i sig selv kan overholde en energiramme. Hvilket i første omgang er den primære årsag til at energiberegningen finder sted. Bygningens senere interne belastning kan jo være svær at spå om hvis der tænkes på den lange bane (hele bygningens levetid)

Det ville derfor være en, omend rigtig god ide, at udføre to beregninger. En der handler om eftervisning af energiramme. Og en der fortæller bygherre hvad bygningen med stor sandsynlighed kommer til at forbruge ved forskellige belastninger. Dette ville samtidig give bygherre et mere brugbart grundlag at træffe beslutninger på omkring belastningen af bygningen.

Behovet understreges af resultaterne i nøgletalsarket fra Be10 for de forskellige scenarier, her fremgår det tydeligt at der ved alle 3 projekter er relativ stor forskel på Beregning 2 og 5.

Et scenarie for energiberegningsniveauet kunne være således:

- Energiberegning ved byggeansøgning
- Energiberegning ved ibrugtagningstilladelse
- Energiberegning til bygherre med forskellige niveauer af belastninger. Således der kan forventningsafstemmes på et bedre grundlag.

BR2020

Der er som udgangspunkt ingen af projekterne der helt lever op til alle krav for BR 2020.

Tæthedsprøverne for Green lighthouse og Miljøcenteret overholder blot minimumskravet i BR2010 på $1,5 \text{ l/s/m}^2$. Tæthedsmålingerne resulterer i henholdsvis **$1,45 \text{ l/s/m}^2$** . (bilag 05) og **$1,38 \text{ l/s/m}^2$** . (bilag 14). For Solhuset er det lidt bedre, da denne lever op til kravet for BR2015 på $1,0 \text{ l/s/m}^2$ med tæthedsmålinger på samlet **$0,85 \text{ l/s/m}^2$** . (bilag 09). Det bemærkes dog at der ved opførelsen af Green lighthouse, endnu ikke var defineret endelige krav for BR 2020.

Et andet BR2020 krav der også er værd at bemærke, men som alle bygningerne overholder, er det dimensionerende varmetab af klimaskærmen ekskl. døre og vinduer, hvilket der også er helt klare krav til. Kravet er $3,7 \text{ W/m}^2$ for bygninger med en etage, herefter stiger grænsen 1 W pr. etage den pågældende bygning opføres i, dog regnes der for 3 etager og derover med et krav på $5,7 \text{ W/m}^2$. Green lighthouse har et dimensionerende varmetab på **$2,8 \text{ W/m}^2$** . (se bilag 04). Solhuset har et tilsvarende dimensionerende varmetab på **$2,8 \text{ W/m}^2$** . (se bilag 08). Miljøcenterets klimaskærm har et dimensionerende varmetab på **$3,7 \text{ W/m}^2$** Miljøcenteret er opført i 2 etager, og overholder derfor kravet på $4,7 \text{ W/m}^2$. (se bilag 13)

Krav til vinduer i 2020 byggeri er mere end bare en U-værdi. E_{ref} værdi er en definition af energitilskud. Et tal, som viser hvordan vinduet bidrager positivt eller negativt til bygningens varmebalance. Tallet medregner både solindfald og varmetab i fyringssæsonen. Et positivt energitilskud betyder, at vinduet i fyringssæsonen giver en tilførsel af energi til bygningens opvarmning. De energimæssigt bedste løsninger opnås altså ved en kombination af en høj g-værdi og en lav/god U-værdi.

Som det fremgår af resultaterne, lever vinduerne i Solhuset ikke op til BR2020 krav. Det gør derimod vinduerne i Green lighthouse og Miljøcenteret. (se figur 37). Da de begge leverer mere energi end de afgiver. Det kan dog se ud som nogle meget små U-værdier i de to energiberegninger og spørgsmålet er, om det i realiteten nu også er de reelle U-værdier der her er indtastet. Om der fandtes vinduer med en så lav u-værdi på opførelses tidspunktet for Green lighthouse er tvivlsomt.

I et tænkt, men realistisk scenarie hvor U-værdierne var 1,11 og G-værdierne 0,55 ville vinduerne ikke overholde BR2020, men de kunne overholde BR2010. (se figur 38).

E_{ref} kravet på minimum -33 kWh/m^2 pr. år for BR2010, er ikke som U-værdier et krav til det faktiske vindue, men et krav til et produktsystem. Beregningen gælder for et standardvindue placeret i et standardhus. (Dansk Standard 418, 2011) og (E_{ref} -Definition).

8. Konklusion

Generelt:

Målt energiforbrug

Det øgede energiforbrug, i forhold til energibehov beregnet i forbindelse med ansøgning om byggetilladelse kan primært tilskrives virkelighedens verden. På en række områder adskiller virkeligheden sig fra de teoretiske standardbetragtninger/-forudsætninger, som indgår i energiberegningen.

En forskel kan for eksempel være at brugerne har haft bygningen i brug, væsentligt mere end de 45 timer om ugen, der bruges i beregningen med standardforudsætninger. Dette er dog kun tilfældet for Green lighthouse

Alle bygningernes beregninger til byggeansøgning lever op til **BR 2020** krav for energibehov. Alle bygningernes faktisk målte energiforbrug ligger mindst **90 % over** energibehovet beregnet i forbindelse med myndighedsansøgning, selv med de faktiske vejrdata. Den højeste differens ligger på over **140 %**

For alle projekterne gælder det at den egentlige sammenligning bør ske mellem beregning 2 og 5. For beregning 2 er kun ændret vejrdata. For beregning 5 er der lavet en total tilnærmelse af det faktisk målte energiforbrug med samme vejrdatasæt, hvorfor disse så er det mest rigtige at kigge på hvis der skal påvises en forskel, mellem det beregnede energibehov og det faktisk målte energiforbrug. Deraf kan også henvises til rapportens titel "*Beregnet energibehov vs. Målt energiforbrug*"

Generelt kan der konkluderes at brugeradfærd og brugerbelastning bærer en stor del af det "mistede" energibehov set i forhold til det beregnede energibehov til byggeansøgning. F.eks. er der i Green lighthouse og Solhuset et større antal brugere i bygningerne end forudsat i beregning 1 (standardberegningen) og dermed også en stor benyttelse af udstyr i bygningerne. Hvorimod der for Miljøcenteret ikke er det store antal brugere hvilket kommer til udtryk i forskellen mellem de forskellige scenarier.

En konklusion på dette kan være, at vi bør være endnu bedre til at forudsige nogle af standardværdierne der fastsættes i energiberegningerne. F.eks. er der for Green lighthouse et forbrug til udstyr der er 3 gange så højt som benyttes i standardberegningen til myndighederne, og for Solhuset er dette helt oppe på 5 gange så meget, som fastsat i beregningen til myndighederne. Det skal dog siges at der i Miljøcenteret ikke er et for lavt sat parameter til udstyrsdelen, tværtimod, her bruges kun ca. halvdelen af hvad der er afsat i beregningen til myndighederne. Det kan forklares med det meget lave antal brugere pr. m².

Ikke bare for de parametre der er brugerrelaterede, men også på energiproduktionen udskiller Miljøcenteret sig. Det kan konkluderes at man her har været for optimistisk omkring produktionen af energi. For Green lighthouse og Solhuset er det omvendt, her producerer bygningerne mere end hvad der først er gået ind med i energiberegningerne.

Dette er også gældende for projekternes beregning 2 hvor der blot er udskiftet vejrdata.

9. Bilag

Bilag 01, Tegninger, Green lighthouse

Bilag 02, Energimærke, Green lighthouse

Bilag 03, Forbrugsdata, data fra resultatlogs og sammenstillinger, Green lighthouse

Bilag 04, Resultater fra Be10, Green lighthouse

Bilag 05, Tæthedsmålinger, Green lighthouse

Bilag 06, Tegninger, Solhuset

Bilag 07, Forbrugsdata, data fra resultatlogs og sammenstillinger, Solhuset

Bilag 08, Resultater for Be10, Solhuset

Bilag 09, Tæthedsmålinger, Solhuset

Bilag 10, Tegninger, Miljøcenteret

Bilag 11, Energimærke, Miljøcenteret

Bilag 12, Forbrugsdata, data fra resultatlogs og sammenstillinger, miljøcenteret

Bilag 13, Resultater for Be10, Miljøcenteret

Bilag 14, Tæthedsmålinger, Miljøcenteret

Bilag 15, Energisnit

10. Litteratur

Artikel:

- Mertens, O (April 2013) Energiforbruget besluttet i dagligstuen, Energiinfo.
http://brunata.dk/fileadmin/documents/DK/130531_EVVE_DK.pdf
(Oliver Mertens, April 2013)

Love og standarder:

- Bygningsreglement 2010
<http://bygningsreglementet.dk/>
(Energistyrelsen, 2010)
- DS 418, Beregning af bygningers varmetab
(Dansk Standard 418, 2011)
- DS 3090, Commissioning-processen til bygninger – Installationer i nybyggeri og større ombygninger
(Dansk Standard 3090, 2014)
- SBI-anvisning 214, Klimaskærmens lufttæthed
Torben Valdbjørn Rasmussen
Asta Nicolajsen
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, 2007
(SBI-anvisning 214, 2007)

Notater:

- Solhuset – Energistatus feb. 2012
(Trelidal, Feb. 2012)

Rapporter:

- Energisyndere i byggeriets faser, Elforsk v/Bo Holst-Mikkelsen og Rasmus Brodersen, 2012
http://www.elforsk.dk/elforskProjects/344-035/344-035_Slutrapport.pdf
(Bo Holst-Mikkelsen og Rasmus Brodersen, 2012)
- 3-ÅRS Afrapportering Green Lighthouse, april 2013
http://www.bygst.dk/media/37930/GHL-3-aars-afrapportering_dansk.pdf
(Bygningsstyrelsen, April 2013)
- Vejledning for Commissioning processen, maj 2013
<http://www.vaerdibyg.dk/>
(Teisen, Comissioning Processen, Maj 2013)
- Design Reference Year, DRY - Et nyt Dansk reference år, 1995 (rapport om det nye reference år)
Søgeord via google.dk: *dry 1995 (rapport om det nye reference år)*
[https://www.google.dk/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=dry%201995%20\(rapport%20om%20det%20nye%20reference%c3%a5r\)](https://www.google.dk/webhp?sourceid=chrome-instant&ion=1&espv=2&ie=UTF-8#q=dry%201995%20(rapport%20om%20det%20nye%20reference%c3%a5r))
(Jensen, 1995)
- Månedss rapport fra solhuset. Juni 2013, rekvireret via Niels Trelidal, COWI

Rapporten er udført af Velux og er ikke offentlig tilgængelig
(Velux, månedsrapport, Juni 2013)

Vejledninger:

- Branchevejledning for energiberegninger, Innobyg. Juni 2014
<http://www.innobyg.dk/>
(InnoByg, Juni 2014)
- Definition af E_{ref} værdi, Teknologisk institut
(Eref-Definition)

Websteder:

- Commissioning: <http://bygdrift.blogspot.dk>
(Teisen, 2015)
- Active House
<http://www.activehouse.info/>
<http://www.activehouse.info/cases/solhuset-denmarks-most-climate-friendly-nursery>
(<http://www.activehouse.info/>)

11. Figurer og fotos

Figur 01

Figur 02, Energisnit af Green lighthouse

Figur 03, Energisnit af Solhuset

Figur 04, Opstalt, sydvest af Solhuset

Figur 05, Opstalt, nord af Solhuset

Figur 06, Energisnit af Miljøcenteret

Figur 07, Procesdiagram

Figur 08, Green Lighthouse, Stueplan

Figur 09, Solhuset, stueplan

Figur 10, Miljøcenteret, stueplan

Figur 11, Miljøcenteret, længdesnit

Figur 12, Grafer for forbrugsdata fra Solhuset

Figur 13, Forbrugsdata, 2013 fra Solhuset

Figur 14, Søjlediagram for forbrugsdata fra Miljøcenteret

Figur 15, Registrering af rumtemperaturer fra Miljøcenteret

Figur 16, Målt energi, fordeling af energiforbrug fra Green lighthouse

Figur 17, Målt energi, fordeling af energiproduktion fra Green lighthouse

Figur 18, Sammenstilling af resultater fra de forskellige scenarier fra Green lighthouse

Figur 19, Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram fra Green lighthouse

Figur 20, Procentuel andel fra Green lighthouse

Figur 21, Parametre for de forskellige scenarier / beregninger fra Green lighthouse

Figur 22, Nøgletalsark fra Be10 fra Green lighthouse

Figur 23, Målt energi, fordeling af energiforbrug fra Solhuset

Figur 24, Målt energi, fordeling af energiproduktion fra Solhuset

Figur 25, Sammenstilling af resultater for de forskellige scenarier / beregninger fra Solhuset

Figur 26, Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram fra Solhuset

Figur 27, Procentuel andel fra Solhuset

Figur 28, Parametre for de forskellige scenarier / beregninger fra Solhuset

Figur 29, Nøgletalsark fra Be10 fra Solhuset

Figur 30, Målt energi, fordeling af energiforbrug fra Miljøcenteret

Figur 31, Målt energi, fordeling af energiproduktion fra Miljøcenteret

Figur 32, Sammenstilling af resultater for de forskellige scenarier / beregninger fra Miljøcenteret

Figur 33, Sammenstilling af scenarier vist som søjlediagram fra Miljøcenteret

Figur 34, Procentuel andel fra Miljøcenteret

Figur 35, Parametre for de forskellige scenarier / beregninger fra Miljøcenteret

Figur 36, Nøgletalsark fra Be10 fra Miljøcenteret

Figur 37, Beregning af vinduers Eref værdi.

Figur 38, Beregning af vinduers Eref værdi.

Figur 39, Transmissionstab gennem klimaskærmen, ekskl. vinduer og døre

Figur 40, Købt energi pr. m^2

Figur 41, Energiforbrug pr. m^2

Figur 42, Energiproduktion pr. m^2

12. Anerkendelser

Arbejdet er udført som en studieopgave hvor vejleder aktivt har hjulpet med at lede den studerende i retning af anvendelige og konstruktive løsninger – tak for det.

En stor tak skal lyde til alle der har været behjælpelige med kontakt info, dataindsamling m.m. på de forskellige projekter.

Der er gennem alle projekterne oplevet en stor velvillighed ved hjælp med relevante informationer og besøg.

Thomas Nørgaard, Christensen & co	Generelt
Michael Christensen, Christensen & co	Generelt
Kim B. Wittchen, SBI	Generelt
Lone Feifer, Velux A/S,	Green lighthouse
Reto M. Hummelshøj, COWI A/S	Green lighthouse
Thomas Rudbeck, COWI A/S	Green lighthouse
Niels Tredal, Rambøll A/S	Solhuset
Ann Birgitte Sørensen, Miljøcenteret i Nordhavn	Miljøcenteret
Dorthe Kragtig Mortensen, Grontmij A/S.	Miljøcenteret