

MAJ 2013

# 3-ÅRS AFRAPPORTERING GREEN LIGHTHOUSE



*Photo: Adam Mørk*

# INDHOLD

|     |                                   |    |
|-----|-----------------------------------|----|
| 1   | Forord                            | 2  |
| 2   | Indledning                        | 4  |
| 2.1 | Opsummering af målt energiforbrug | 5  |
| 2.2 | Bygningens historie               | 5  |
| 2.3 | Besøg i huset                     | 6  |
| 2.4 | Green Lighthouse i Kina           | 10 |
| 2.5 | Anerkendelser                     | 11 |
| 3   | Læringspunkter                    | 15 |
| 3.1 | Demonstrationsbyggeri             | 15 |
| 3.2 | Udbudsform                        | 16 |
| 4   | Brugernes oplevelser              | 17 |
| 5   | Energiforbrug                     | 19 |
| 5.1 | Målt energiforbrug - detaljering  | 20 |
| 6   | Certificeringer                   | 25 |
| 6.1 | DGNB                              | 25 |
| 6.2 | LEED                              | 28 |
| 7   | Målt indeklima                    | 29 |
| 8   | Appendix: Active House            | 35 |

# 1 Forord

Da partnerne bag Green Lighthouse satte sig sammen i december 2007, to år før FN's klimatopmøde COP15 i København, var visionen, at demonstrere hvad vi i Danmark forstår ved et innovativt grønt byggeri baseret på eksisterende teknologier, og af høj arkitektonisk kvalitet. Programmet for Green Lighthouse blev formuleret som et fyrtårn for:

- › COP15, som et udstillingsvindue i forbindelse med klimakonferencen COP 15 i december 2009
- › Offentligt - privat samarbejde hvor universitet, erhvervsliv, ministerium og kommune kunne samarbejde om at få en fælles ambition omsat til virkelighed
- › Et grønt campusbyggeri drevet af ambitionen om at vise, at grønt byggeri på den ene side og arkitektonisk, funktionel og indeklimamæssig kvalitet på den anden side ikke er hinandens modsætninger.

Green Lighthouse er opført som et forsøgsprojekt, og det strategiske partnerskab bag lægger vægt på at kunne videregive erfaringer og læringspunkter - både de, der lever op til og de der ikke lever op til forventningerne - baseret på de 3 år Green Lighthouse har været i brug. De vigtigste kan læses i denne rapport.

Parterne bag Green Lighthouse, Bygningsstyrelsen, Københavns Universitet, Københavns Kommune, VELUX og VELFAC, har gennem bygningens første tre leveår haft et fint samarbejde med COWI og Christensen & CO i forhold til opfølgning og håndtering af den store interesse besøgende fra ind- og udland har vist. I den forbindelse rettes også en tak til bygningens daglige brugere, som har måttet leve med den til tider store trafik i huset, som interessen har affødt.

Gennem de sidste 3 år har vi høstet erfaringer i forhold til de teknologier, som er anvendt i bygningen, overdragelse fra konsortium til bruger, med de gennemførte bygningscertificeringer, samt ikke mindst i kontakten med de mange interesserede besøgende. Dette har samlet set, sat os i stand til at kunne bidrage til udvikling af bæredygtigt byggeri i Danmark.

At der - afledt af et besøg i sommeren 2012 – nu bliver bygget en bygning i den kinesiske Nanjing provins inspireret af Green Lighthouse, er kun et enkelt, men illustrativt eksempel på, at Green Lighthouse på beskedne 950 kvadratmeter har givet genlyd udenfor matriklen Tagensvej 16 i København. Vi håber, at Green Lighthouse fortsat vil fungere som et fyrtårn og inspiration for innovativt bæredygtigt byggeri.

For det strategiske partnerskab:

Thomas Bjørnholm  
Prorektor

Københavns Universitet



Carsten Jarlov  
Direktør

Bygningsstyrelsen



Anne Skovbro  
Direktør

Københavns Kommune



Michael K. Rasmussen  
Direktør

VELUX



Rapporten er udført i et samarbejde mellem Bjarne Dalgaard, Bygningsstyrelsen, Jacob Sølling & Tomas Refslund Poulsen, Københavns Universitet, Lone Feifer, VELUX og Niels Varming, COWI.

Øvrige bidragydere er Marianne Hartz Thomas, Operate og Reto Hummelshøj, Juliane Münch og Maja Grud Minzari, COWI

## 2 Indledning

Dette dokument er en samlet afrapportering, som gør status over de vigtigste erfaringer efter de tre første års drift i Green Lighthouse.



Foto: Adam Mørk

Green Lighthouse er Danmarks første CO<sub>2</sub>-neutrale offentlige bygning<sup>1</sup> og har solen som omdrejningspunkt, inspirationskilde og primær energikilde.

Huset er på 950 m<sup>2</sup> med et unikt energikoncept, som består af en kombination af solenergi, varmepumper og fjernvarme.

Green Lighthouse er et energieffektivt byggeri med høj arkitektonisk kvalitet og et stort indtag af dagslys. Det er fyldt med masser af frisk luft, som kommer fra den naturlige ventilation, hvilket sikrer et sundt indeklima.

Bygningen rummer i dag (april, 2013) studenterservice for Københavns Universitets Naturvidenskabelige Fakultet, og er desuden fra 2011 blevet hjemsted for *Copenhagen Innovation and Entrepreneurship LAB*[CIEL]<sup>2</sup>. Green Lighthouse ligger på Københavns Universitets Nørre Campus på Tagensvej 16.

Parterne bag byggeriet er Bygningsstyrelsen, Københavns Universitet, Københavns Kommune, VELUX og VELFAC.

Green Lighthouse er opført af et konsortium bestående af Hellerup Byg, Christensen & Co. Arkitekter og COWI.

---

<sup>1</sup> Beregnet i henhold til gældende dansk bygningsreglement i 2008 – BR08

<sup>2</sup> <http://ciel-lab.dk/>

## 2.1 Opsummering af målt energiforbrug

Green Lighthouse ligger ca. 30 % under kravene i den fremtidige bygningsklasse 2020 i målte værdier. Efter normalisering<sup>3</sup> opfylder bygningen næsten bygningsklasse 2020 i målte værdier selv uden fradrag af vedvarende energi

I det tredje driftsår (2012) har bygningen haft et primærenergiforbrug,<sup>4</sup> der er ca. dobbelt så stort som beregnet. Dette er det rene forbrug når der ikke medregnes vedvarende energi.

Mere end halvdelen af det øgede energiforbrug kan primært tilskrives at virkelighedens verden på en række områder adskiller sig fra de teoretiske standardbetragtninger/-forudsætninger, som indgår i energiberegningen. En vigtig forskel er for eksempel at brugerne har haft bygningen i brug i væsentligt mere end de 45 timer om ugen, der bruges i beregningen med standardforudsætninger.

Dette energiforbrug er uden fradrag for produktion af vedvarende energi, der faktisk har produceret en smule mere end beregnet.

Samlet set har bygningen et merforbrug af købt primærenergi, som ikke kan forklares på omkring 9 kWh/m<sup>2</sup> om året, hvilket svarer til ca. 5 kr/m<sup>2</sup> om året eller ca. 5.000kr om året for hele bygningen.

## 2.2 Bygningens historie

Det strategiske partnerskab blev etableret i december 2007, og der blev i den forbindelse forfattet en række målsætninger for byggeriet. I de følgende måneder udformede partnerskabet en gensidig kontrakt samt program for byggeriet, og formulerede visionen om at bygge Green Lighthouse.

Projektets milepæle blev markeret og festligholdt undervejs, fra udskrivelse af arkitekt-konkurrence og underskrift af partnerskabs-aftalen i marts 2008, udpegelse af vinderteam i juli 2008, første spadestik i oktober 2008, rejsegilde i maj 2009, frem til åbningen i oktober 2009. Huset blev taget i brug i november 2009, og i december 2009 ved COP 15 fungerede GLH som en velbesøgt konkret demonstration af Danmarks formåen indenfor bæredygtigt og energirigtigt byggeri.

Fra 2009 har bygningen været hjemsted for en række tilfredse brugere fra Københavns Universitet, og senere fra CIEL.

Efterfølgende har bygningen modtaget to certifikater for dens niveau i bæredygtighed. Først i november 2011 fik bygningen beviset på at det er en LEED Gold bygning, og i maj 2012 fik bygningen desuden DGNB-dk Bronze.

---

<sup>3</sup> En normalisering er den proces, hvor man korrigerer for de afvigende forudsætninger i forhold til de "normale" forudsætninger.

<sup>4</sup> Efter BR08, hvor el ganges med 2,5 og fjernvarme med 1



## 2.3 Besøg i huset

Allerede mens bygningen var under opførelse, vakte Green Lighthouse stor interesse hos byggebranchen, organisationer, politikere såvel som i dansk og international presse. Interessen steg markant efter indvielsen i oktober 2009 og nåede sit højdepunkt i forbindelse med COP15 i København december 2009. Imidlertid har bygningen i de efterfølgende tre år været hyppigt besøgt af en bred kreds af interesserede lige fra toppolitikere og beslutningstagere til brancherelaterede virksomheder, offentlige institutioner herunder kommuner og universiteter, samt studerende og interesserede enkeltpersoner fra ind og udland.

Under COP 15 besøgte New Yorks borgmester Michael Bloomberg Green Lighthouse.



*Figur 1: Michael Christensen, CCO, fortæller Michael Bloomberg om Green Lighthouse. Fotograf Lizette Kabré*

Det følgende forår fik bygningen besøg af en kinesisk delegation med handelsminister Chen Deming i spidsen. Green Lighthouse har i kølvandet på kinesiske officielle besøg i Danmark besøg af en række kinesiske delegationer fra større byer og regioner herunder Nanjing.



*Figur 2: Chen Deming på besøg i Green Lighthouse. Fotograf Lizette Kabré*

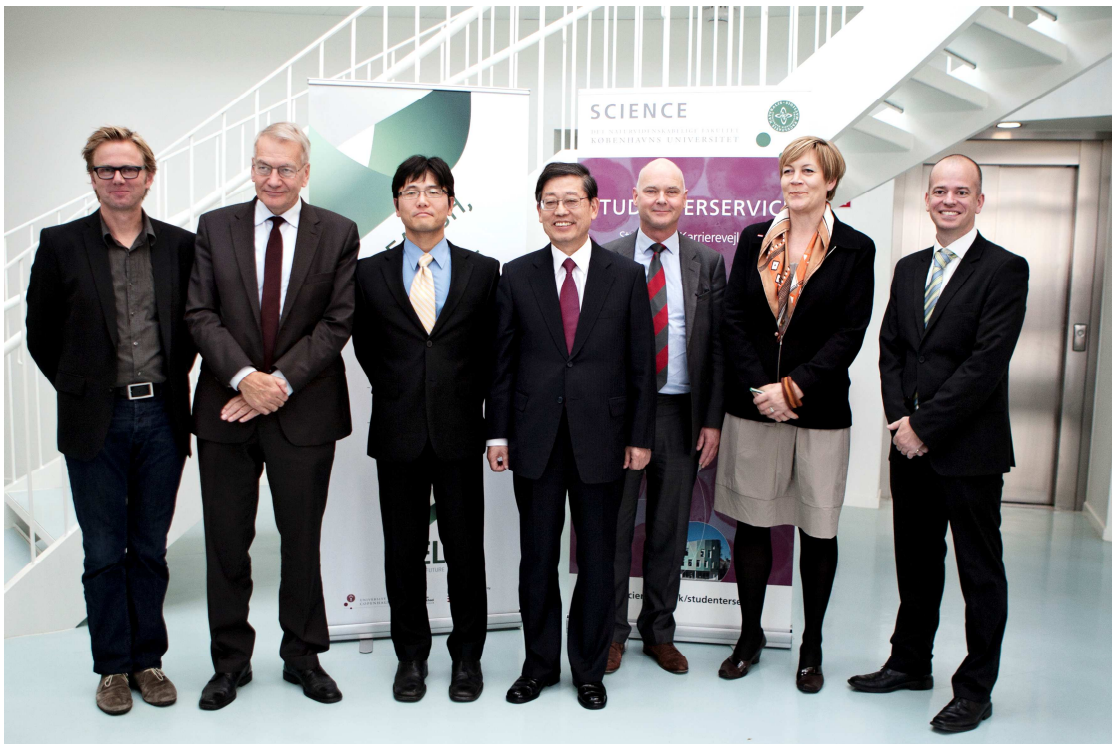


I april 2010 besøgte den russiske præsident Medvedev Green Lighthouse og udtrykte dagen efter eksplicit ønske om at få bygget et Green Lighthouse i Rusland.



Figur 3: Medvedev på besøg i Green Lighthouse. Fotograf Lizette Kabré

Interessen for projektet har holdt sig til så sent som i august 2012, hvor Sydkoreas premierminister Kim Hwang-sik blev vist rundt af partnerne under sit officielle besøg i Danmark.



Figur 4 Kim Hwang-Sik på besøg i Green Lighthouse. Fotograf Lizette Kabré

Green Lighthouse har ligeledes været besøgt uformelt af blandt andet nobelpristageren Wangari Maathai i juli 2011 og Danmarks EU Kommissær Connie Hedegaard, samt daværende EU Kommissær for Energi, Andris Piebalgs, af nuværende klima-, energi-, og bygningsminister Martin Lidegaard samt af viceborgmester for byggeri i Beijing, Chen Gang.

Siden bygningens åbning har adskillige grupper bestående af virksomheder fra arkitekt- og byggebranchen, kommuner og universiteter besøgt huset. I alt er mindst 10.000 besøgende blevet vist rundt af repræsentanter for partnerskabet og konsortiet og der har været knyttet en besøgstjeneste til bygningen i den første tre års periode, der har afviklet omkring 250 ture på baggrund af henvendelser fra offentligheden. Endeligt har mange studerende, arkitektur og bæredygtigheds interesserede studeret bygningen på egen hånd. Det skønnes at mere end 15.000 har lagt vejen forbi bygningen i løbet af de første tre år.

Partnerskabet er glad for den store og vedvarende interesse for Green Lighthouse og har afviklet mange af disse besøg i forlængelse af det tætte samarbejde om projektet. De mange delegationer har udover at udbrede erfaringerne og visioner for Green Lighthouse, været med til at skabe og vedligeholde kontakter med de besøgende og partnerskabet har fået indfaldsvinkler og perspektiver fra hele verden

Den store interesse vidner om, at der til stadighed er et markant behov for at se og opleve ambitiøse bæredygtige bygningsløsninger realiseret i praksis. Det er erfaringen, at Green Lighthouse i høj grad har fungeret som tiltænkt: et inspirerende fyrtårn for ambitiøst og visionært bæredygtigt byggeri.



## 2.4 Green Lighthouse i Kina

I sommeren 2012 havde Danmark besøg af en kinesisk delegation ledet af partisekretær Yang fra Nanjing. Som en del af en studietur, med bæredygtighed som emne, besøgte delegationen Green Lighthouse. Mr. Yang var meget interesseret i bygningen. Et resultat af besøget var, at COWI i eftersommeren 2012 indledte forhandlinger med Nanjing High Tech Zone - et Business Development District i Nanjing om opførelsen af en udstillings- og informations bygning inspireret af den danske bygning. Kontrakten blev underskrevet i efteråret og COWI har i samarbejde med det kinesiske arkitektfirma Archiland International de sidste 6 måneder arbejdet på at designe bygningen og udvikle energikonceptet.

Bygningen i Nanjing adskiller sig fra sit danske forbillede på flere måder.

- › Den er placeret i et helt andet klima, hvilket stiller andre krav til klimastyring og energikoncept.
- › Nanjing Light House er en udstillings- og informationsbygning og har åbent hele ugen.
- › Bygningen er tre gange så stor som den danske.
- › Bygningen er placeret i et parkområde og er designet som et integreret element i parken.

Bygningen planlægges til at overholde de danske BR2020 energikrav. Byggestart forventes at være sommeren 2013. Ibrugtagning forventes at være sommeren 2014.

Arkitektfirma er Archiland international - Beijing.

Projektledelse og energikoncept udføres af COWI - China og DK



Figur 5: Illustration Archiland International



## 2.5 Anerkendelser

Nedenfor vises en række af de priser og øvrige anerkendelser, som Green Lighthouse har modtaget.

### 2.5.1 Priser

#### Københavns Kommunes pris for gode og smukke bygninger 2010

*"Det er ingen kunst i sig selv at bygge bæredygtigt. Det særlige ved Green Lighthouse er, at huset både er CO<sub>2</sub>-neutralt og samtidig er skønt at se på og opholde sig i"* - prisoverrækkelsen af Pia Allerslev, Københavns Kommunes kultur- og fritidsborgmester.

#### DI's Byggematerialers pris 2009 for innovativt samarbejde

Parterne bag Green Lighthouse, Bygningsstyrelsen under Klima-, Energi- og Bygningsministeriet, Københavns Universitet, Københavns Kommune, VELUX og VELFAC modtog prisen *"fordi det er et resultat af et fantastisk samarbejde på tværs af branchen. Parterne har formået at tænke CO<sub>2</sub>-neutralitet ind i byggeriet med sundhed og komfort for brugerne i centrum. Gennem energidesign og innovativ arkitektur har det været muligt at skabe en bygning, der bruger en fjerdedel af den energi, der normalt er standard i dagens byggeri. Og så er det jo helt usædvanligt, at de har formået at bygge det på et år"*, sagde formand for DI Byggematerialer, Mogens Nielsen.

#### Green Good Design 2010

Green Lighthouse har også i 2010 modtaget en GREEN GOOD DESIGN award. Bygningen blev udvalgt mellem tusindvis af ansøgninger fra mere end 46 lande. Læs mere på [www.europeanarch.eu](http://www.europeanarch.eu)



### 2.5.2 Nomineringer

Green Lighthouse har desuden været nomineret til

- › Den Danske Lyspris 2010
- › Education & Learning kategorien på World Architecture Festival i Barcelona 2010
- › Climate Cup Partnership Award på World Climate Solutions konferencen i 2010



Desuden har EU-kommissionen i 2011 anerkendt bygningen som officiel partner med specielt fokus på udbredelsen af vedvarende energiteknologi og nye byggepartnerskaber.



### 2.5.3 Referencer

Green Lighthouse har gennem de første 3 år været referencebyggeri i en række publikationer samt udstillinger om bæredygtigt byggeri, her nogle udvalgte eksempler:

- *Green Buildings Pay*, 2012, Routledge



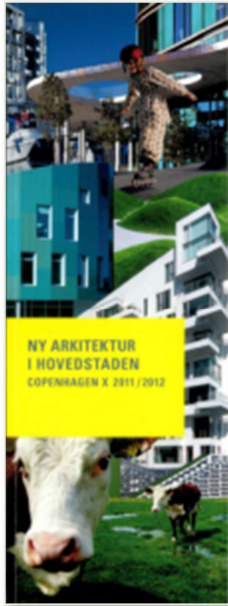
- *Frugtbare Partnerskaber*, 2011, Gyldendal



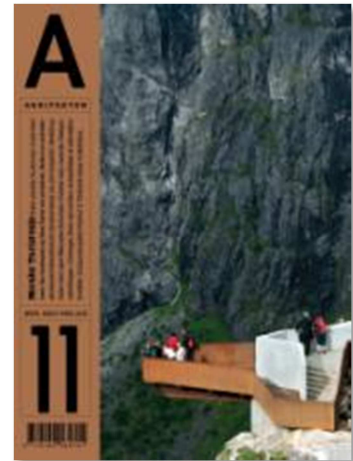
- *Arkitektur og Energi – mod en 2020 lav-energi strategi*, 2011, Statens Byggeforsknings Institut



➤ Ny Arkitektur i Hovedstaden, 2011, Dansk Arkitektur Center



➤ Reference i teknisk tema om indeklima, Arkitekten



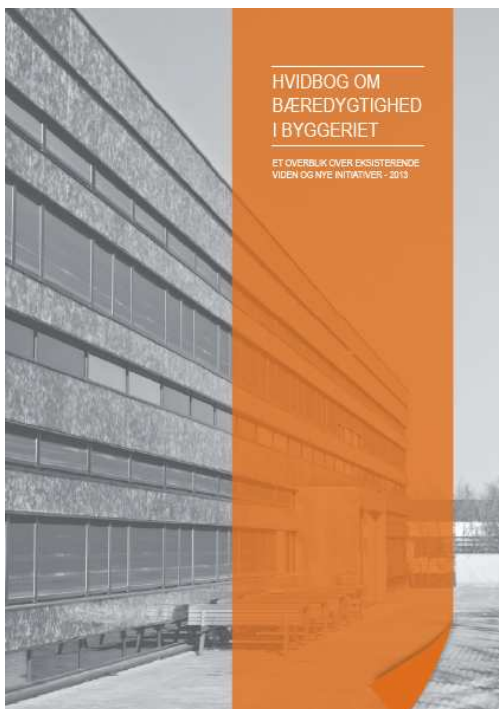
- › Energi + Arkitektur, 2011 Arkitektens Forlag



### **Energi + Arkitektur**

This book presents the best in new Danish energy-oriented architecture focusing on the energy and architectural methods and practises in the integrated design process, which together result in high quality architecture.

- › Udstillingen New Nordic på Louisiana, 2012 i model, fotos og tegning
- › Udstillingen Ecobuild i London 2013 i model
- › Hvidbog om bæredygtighed i byggeriet 2013



## 3 Læringspunkter

Dette afsnit angiver en række af de læringspunkter, som partnerskabet har bemærket sig igennem og efter projektforsløbet. Green Lighthouse projektets erklærede målsætning var fra start at afprøve nye muligheder for bæredygtigt byggeri med lavt energiforbrug og høj arkitektonisk kvalitet samt et optimalt indeklima. De høstede erfaringer beskrevet i det følgende afspejler såvel aspekter, som er lykkedes, som aspekter der ikke har levet op til forventningerne, samt iagttagelser omkring kompleksitet og idriftsætning. Partnerskabet bag byggeriet ønsker at videregive disse erfaringer, i den udviklingsånd de er skabt i, i håbet om at de kan komme øvrige byggerier til gode.

### 3.1 Demonstrationsbyggeri

Opførelsen af Green Lighthouse var et demonstrationsprojekt, hvor intentionerne var at opføre et offentligt kontor byggeri med et ekstraordinært lavt energiforbrug. Der er tale om et kompliceret byggeri, hvor der er anvendt og afprøvet mange tekniske løsninger for at reducere bygningens energiforbrug. GLH er tillige et mindre byggeri, og mange af de valgte løsningers potentiale vil først kunne udnyttes fulgt ud ved større byggerier.

Eksempler på tekniske udfordringer:

- Styringen af bygningen har været lavet i to forskellige styresystemer, så vinduer og solafskærmning kørte på et system, mens varmepumpe og mekanisk ventilation har kørt på et andet. Det har ikke været hensigtsmæssigt, og der har været en del problemer med samkøring af systemerne;
- Varmesystemet er mere kompliceret end normalt med samkøring af solvarme og varmepumpe tilsluttet fjernvarmen, samt en række motorstyrede ventiler til at lede vandstrømmene rundt. Når der opstår uregelmæssigheder, kan det være vanskeligt at lokalisere fejlen.



**Læring:**

- Selv ved et forsøgsprojekt skal man være opmærksom på, især ved mindre byggerier, **ikke** at gøre de valgte løsninger for komplicerede, og afprøve for mange tiltag samtidig. Der skal ved projektering og i udbud gøres rede for, hvordan man udfører fejlfinding, samt fokusere på at minimere tidsforbrug til indkøring og fejlretning.
- Man skal under projekteringen sikre sig, at få beskrevet hvordan krav til funktion og energiforbrug kan eftervises af leverandøren ved aflevering og i driften.
- Endvidere skal entreprenøren medregne eksempelvis 2 års drift af et afleveret byggeri, og man skal opstille mål for afrapportering i driftsperioden og overtagelsen af den videre drift.

## 3.2 Udbudsform

GLH var udbud i totalentreprise, denne udbudsform er mindre velegnet til et forsøgsbyggeri, da totalentreprenøren ønsker at komme hurtigt videre med byggeprocessen, mens der stadig pågår udviklingsarbejde, hvorved der opstår en risiko for, at beslutninger bliver draget på et for løst grundlag.

**Læring:**

- Det anbefales at udbyde et færdigt projekt, så de valgte løsninger bliver gennemtænkt og detailprojekteret inden udbud. Et forsøgsbyggeri som GLH vil egne sig glimrende til en udbudsform som Offentlig Privat Innovation, hvor private firmaer kan inddrages med viden i projekteringen og inden udbud.

Totalentreprisekontrakten for GLH inkluderede 1.års drift, og forpligtede totalentreprenøren til at følge op på driftstal og udsving i samme. I løbet af det første år identificerede indkøringsprocessen særligt to problemer, som var kritiske for energiforbruget; hhv. manglende tilslutning af halvdelen af solcellerne (blev økonomisk kompenseret fra leverandørens side), samt et ventilationsspjæld der var udeladt, hvilket betød øget varmekonsum samt træk for brugerne.

**Læring:**

- Det anbefales at kontrahere driften på bæredygtige projekter, med præcis angivelse af måleparametre og forudsætninger for samme.

Det i planlægningsfasen beregnede energi-forbrug jvf BE08, baserer sig på en række forudsætninger, som ikke nødvendigvis matcher den efterfølgende brug af bygningen.

**Læring:**

- Der bør i planlægningsfasen udføres beregninger med parametervariationer, således af følsomheden for f.eks. øget temperatur, brugstid og luftskifte belyses med dertil egnede programmer.

**Vidensoverførsel:** Det er vigtigt at afsætte særskilte midler til energioptimering og dokumentation af den aktuelle drift. Her har et tilknyttet EUDP projekt været en stor hjælp. Dette projekt omfatter også Viborg Rådhus, hvis energikoncept er baseret på erfaringer fra Green Lighthouse men brugt i et hus på 20.000 m<sup>2</sup>. Her er etableret samme type fjernvarmedrevet varmepumpe med en 10 gange større effekt. Efter servicering af varmepumperne (check af vakuum i begge kamre) kører dette anlæg nu som forudsat, og Viborg Rådhus lever fint op til det beregnede forbrug. Dette EUDP projekt afrapporteres særskilt til sommer 2013.

## 4 Brugernes oplevelser

Copenhagen Innovation and Entrepreneurship Lab (CIEL) er brugere af 2. salen i Green Lighthouse siden 2011 og har fire faste kontorpladser og diverse 'åbne' pladser til studentermedhjælpere. Desuden benytter CIEL mødelokaler til interne og eksterne møder.

Brugerne er generelt tilfredse med at være i Green Lighthouse og opfatter bygningen som smuk, anderledes og innovativ. Gæster hos CIEL er ofte imponerede og interesserede i bygningen, som i sig selv derfor fungerer, som en god 'icebreaker'.

Konkret oplever brugerne Green Lighthouse, som en levende bygning, der selv "administrerer" vinduer, lys og varme m.v. Dette ifølge CIELs medarbejdere fint, da der også er mulighed for selv at styre lys, persiener, vinduer og luften ud via døren til terrassen efter behov.

Brugerne lægger også positiv vægt på oplevelsen af lyset i bygningen gennem dagens forskellige faser.

I vinterperioden har brugerne oplevet problemer med, at LED belysningen går ud efter en relativ kort periode uden bevægelse i rummet, mens medarbejderne sidder ved arbejdsstationerne.<sup>5</sup> Det viser et behov for at kunne justere i forhold til den specifikke brugssituation.

Lydmæssigt er bygningen også følsom idet støjen spreder sig, når der eksempelvis er arrangementer i bygningen, hvilket dog er en generel problematik i åbne bygninger og kontormiljøer.

---

<sup>5</sup> Red.: 2. Salen var ikke designet til kontorarbejdspladser, men til uformelle møder og lignende. Det kunne være grunden til, at styringen er indstillet som beskrevet. Der er i forbindelse med udarbejdelsen af denne rapport bedt driften om at kigge på indstillingerne på 2. sal.

Green Lighthouse optræder som case i bogen *Green Buildings Pay*<sup>6</sup>. Heri præsenteres brugernes oplevelser fra bygningens første år, som stemmer godt overens med de nuværende brugeres oplevelser:

*"Analysis of the responses found that most employees expressed an interest in working in a sustainable building and enjoyed the results. In general the building is perceived as beautiful and full of daylight. Many respondents talked about the quality of the indoor environment mentioning in particular the freshness of the air even during long meetings."*

*"Air quality and daylight is perceived to be of a very high standard. But noise remains a problem. Employees have adapted to being in a rather public workspace, but find the actual and the visual noise distracting (many visitors). The results confirm the importance of including the users as early as possible in the design and building process, and to actively engage with their experiences once the building is occupied."*

*"The rector of the university has expressed satisfaction that the Green Lighthouse has helped fulfill the demanding ambitions behind the campus sustainability plan, which set the target in 2009 of being one of the greenest campuses in Europe. The publicity the project has attracted and the caliber of its visitors has also been an unexpected bonus for the university."*

Samlet kan det konkluderes, at brugerne værdsætter bygningens arkitektur, innovative design og lys, mens det åbne rum kan være en ulempe i dagligdagen. Samtidig kræves det, at brugere introduceres grundigt til de anvendte teknologiers mulighed for manuel styring, og at konkrete justeringer bliver foretaget, i forhold til de aktiviteter der foregår.



Figur 6: Arkitekten bag Green Lighthouse, Michael Christensen

---

<sup>6</sup> (*Green Buildings Pay*, Brian W. Edwards and Emanuele Naboni; Routledge, 2012)

## 5 Energiforbrug

Green Lighthouse er opført som Danmarks første offentlige CO<sub>2</sub>-neutrale bygning. CO<sub>2</sub>-neutraliteten blev udarbejdet på baggrund af gældende bygningsreglement BR08, og energiberegningen blev programmeret, på baggrund af de forventede europæiske 2020 krav til offentlige kontorbyggerier, baseret på et kvalificeret skøn. Siden huset blev opført, er der etableret en frivillig Bygningsklasse 2020 for bygningers energiforbrug i 2020. Green Lighthouse lever op til kravene for Bygningsklasse 2020 i målt energiforbrug. De første tre års målte energiforbrug viser dog også, at der er brugt mere energi i virkeligheden end antaget i den teoretiske beregning.

I 2012 har bygningen med det aktuelle brugsmønster et primærenergiforbrug<sup>7</sup> på ca. 60 kWh/m<sup>2</sup> pr år uden indregning af egenproduktion af vedvarende energi, mod et beregnet behov på ca. 30 kWh/m<sup>2</sup> pr år. Mere end halvdelen af det øgede energiforbrug kan primært tilskrives at virkelighedens verden på en række områder adskiller sig fra de teoretiske standardbetragtninger/-forudsætninger, som indgår i energiberegningen i beregnings-programmet BE06 (Bygningers Energiforbrug fra 2006). Væsentligst er, at brugerne af komfortsyn har haft behov for højere temperaturer end forudsat i beregningen, varmepumpen har endnu ikke fungeret helt som forventet, og der har været betydelig øget brugstid samt luftskifte. De sidste to faktorer kan til dels knyttes til de mange besøgende, der har været igennem bygningen. Dette energiforbrug er uden fradrag for vedvarende energiproduktion, der faktisk har produceret en smule mere end beregnet. Samlet set har bygningen et merforbrug af købt primærenergi, som ikke kan forklares, på omkring 9 kWh/m<sup>2</sup> om året, hvilket svarer til ca. 5 kr/m<sup>2</sup> om året eller ca. 5.000kr om året for hele bygningen.

Som ved en bil med et fra fabrikken forventet brændstof-forbrug, ex 22 km / liter, ser det reelle forbrug anderledes ud, da virkelighedens forudsætninger såsom kørselsadfærd, vej- og vejforhold mv. adskiller sig fra beregningen.

Green Lighthouse ligger ca. 30 % under Bygningsklasse 2020 med målte værdier. Når der bliver normaliseret, opfylder bygningen næsten Bygningsklasse 2020 i målte værdier selv uden medregning af vedvarende energi. Green Lighthouse blev bygget som demonstrationsbyggeri i forbindelse med klimakonferencen COP15 i København i 2009 med stærkt fokus på energiforbrug og vedvarende energi, uden derved at gå på kompromis med et godt indeklima med lys og luft. Samtidig var der i partnerskabet fokus på monitorering af bygningens faktiske energiforbrug for derved at kunne optimere bygningen og

---

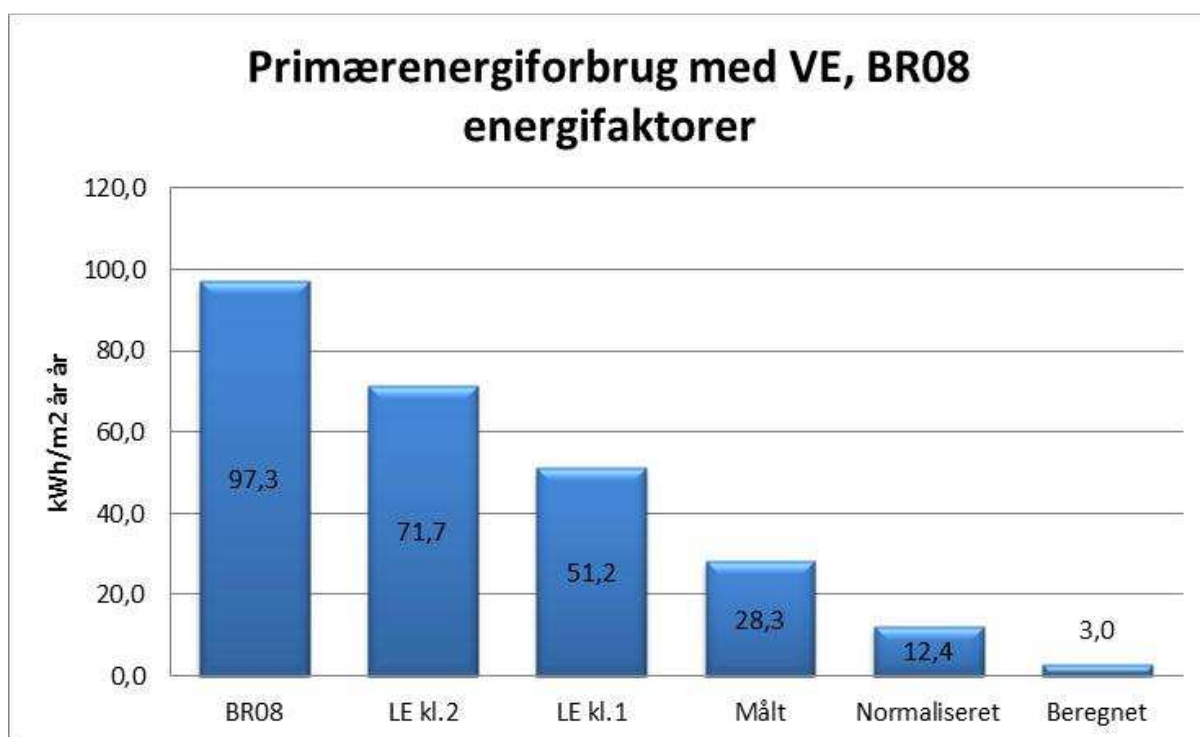
<sup>7</sup> Efter BR08, hvor el ganges med 2,5 og fjernvarme med 1

evaluere de tekniske løsninger. Green Lighthouse er løbende blevet justeret efter analyse af energitalle-  
ne og af brugernes adfærd. Projektets energiforbrug, herunder varmepumpe-løsning kombineret med  
solenergi, borehulslager og fjernvarmekobling er monitoreret i et EUDP projekt, i en gruppe bestående  
af COWI, BYGST, KU og VELUX m.fl.

## 5.1 Målt energiforbrug - detaljering

Der har været gennemført et meget grundigt måleprogram på hele bygningen, og en lang række data er  
blevet gemt på timebasis og evalueret løbende gennem projektet. Da bygningen nu har været i drift i tre  
hele kalenderår, samt en smule i 2009, er evalueringen af driften lavet på 2012, som man kan betegne  
som det tredje driftsår.

Green Lighthouse var udbudt på et tidspunkt, hvor bygningsreglementets minimumskrav til primær-  
energiforbrug var  $97,3 \text{ kWh/m}^2$  pr år for denne bygningskategori. Energirammen for den bedste lav-  
energiklasse (LE kl. 1) på daværende tidspunkt var  $51,2 \text{ kWh/m}^2$  pr år. Beregningsmæssigt lå bygnin-  
gen på  $3 \text{ kWh/m}^2$  pr år under standard driftskonditioner.



Det målte energiforbrug viser et behov på omkring  $28,3 \text{ kWh/m}^2$  pr år, når man bruger de primærener-  
gifaktorer,<sup>8</sup> der var gældende på det tidspunkt hvor bygningen blev opført.

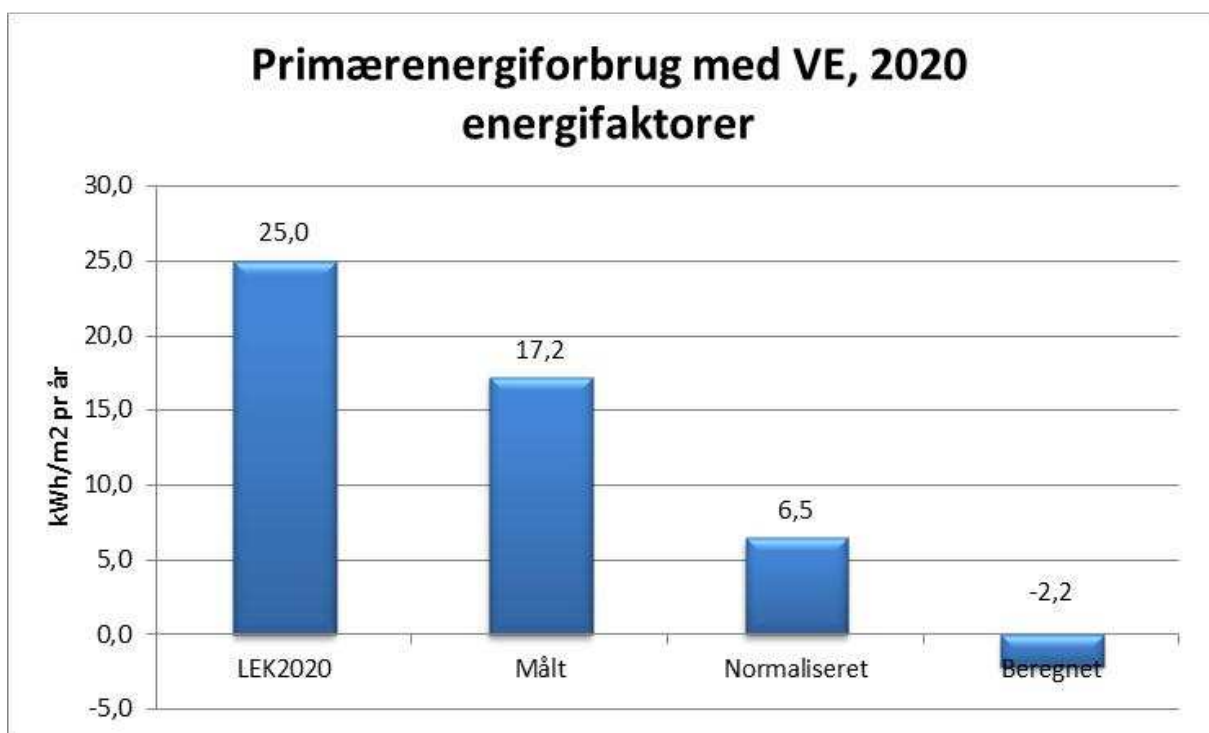
Når man normaliserer dette tal med de forudsætninger, som adskiller sig fra energiberegningernes for-  
udsætninger i Be06, nås et energiforbrug på  $12,4 \text{ kWh/m}^2$  pr år. En normalisering er den proces, hvor

<sup>8</sup> Primærenergifaktorerne er faktorer man ganger på energiforbrugene for at fortolke det reelle energiforbrug, der  
går til at producere en kWh. En kWh el har i BR08 en primærenergifaktor på 2,5, mens fjernvarme har en primær-  
energifaktor på 1.

man korrigerer for de afvigende forudsætninger i forhold til de "normale" forudsætninger. Normaliseringen er beskrevet nedenfor.

Da bygningen blev opført var et af kravene, at man skulle overholde de fremtidige krav til bygningerne i 2020. Disse krav var ikke kendte på det tidspunkt, så man gættede sig til kravene. Efterfølgende er der dog kommet en Bygningsklasse 2020, der er det krav der vil blive stillet til bygninger i 2020. Der er blandt andet kommet nye primærenergifaktorer, der ændrer resultaterne en smule.

Bygningsklasse 2020 kræver, at man bygger til 25 kWh/m<sup>2</sup> pr år. De målte værdier svarer til ca. 17,2 kWh/m<sup>2</sup> pr år, og når man normaliserer med de samme elementer som ovenfor, er energibehovet ca. 6,4 kWh/m<sup>2</sup> pr år. Det beregnede energiforbrug er ca. -2,2 kWh/m<sup>2</sup> pr år, hvilket altså svarer til et plusenergihus.



Nedenfor ses de normaliseringer der er lavet. Bemærk at figurerne kun er for energiforbruget, den vedvarende energi er ikke inkluderet.

Der er korrigeret for:

- › Færre graddage i 2012 end i normalåret hvilket betyder, at det målte varmeforbrug er mindre end det burde være i normalåret.
- › Højere rumtemperaturer. Der er et udbredt ønske hos brugerne om ca. 23°C i huset, hvorfor normaliseringen bruger dette.
- › Udvidet brugstid. Der er markant længere brugstid end standard brugstiden i Be06 på 45 timer om ugen. Der er derfor normaliseret til 60 timers brugstid om ugen. Udvidet brugstid resulterer i flere brugstimer for alle bygningens installationer.



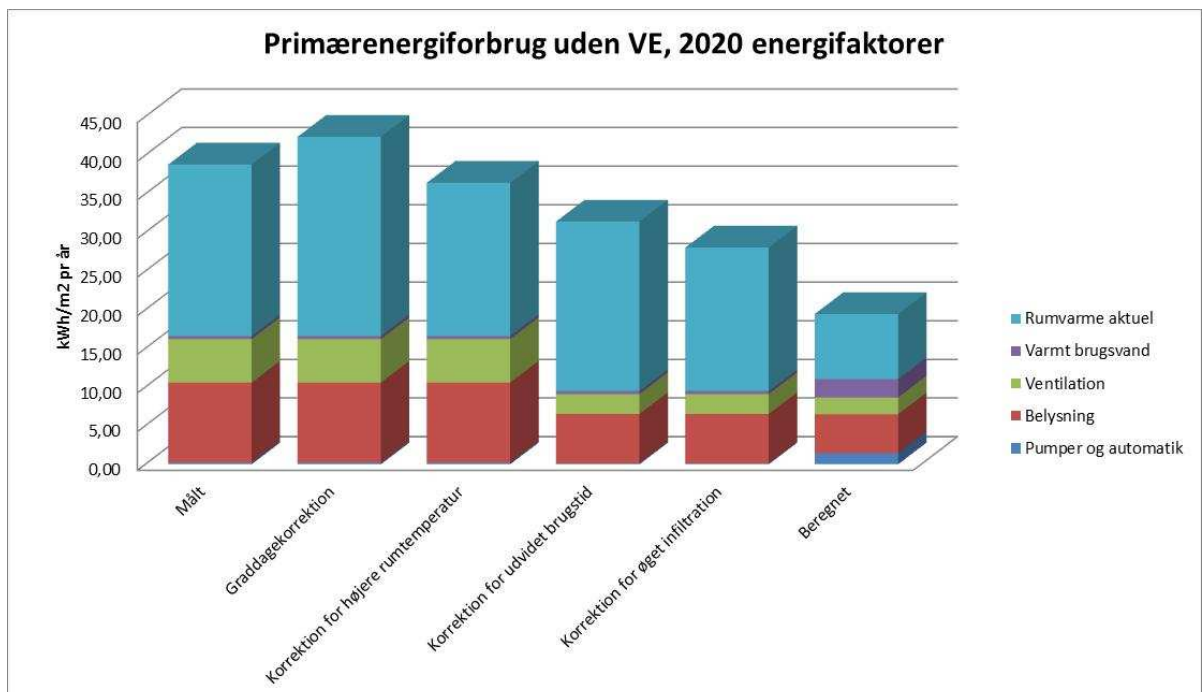
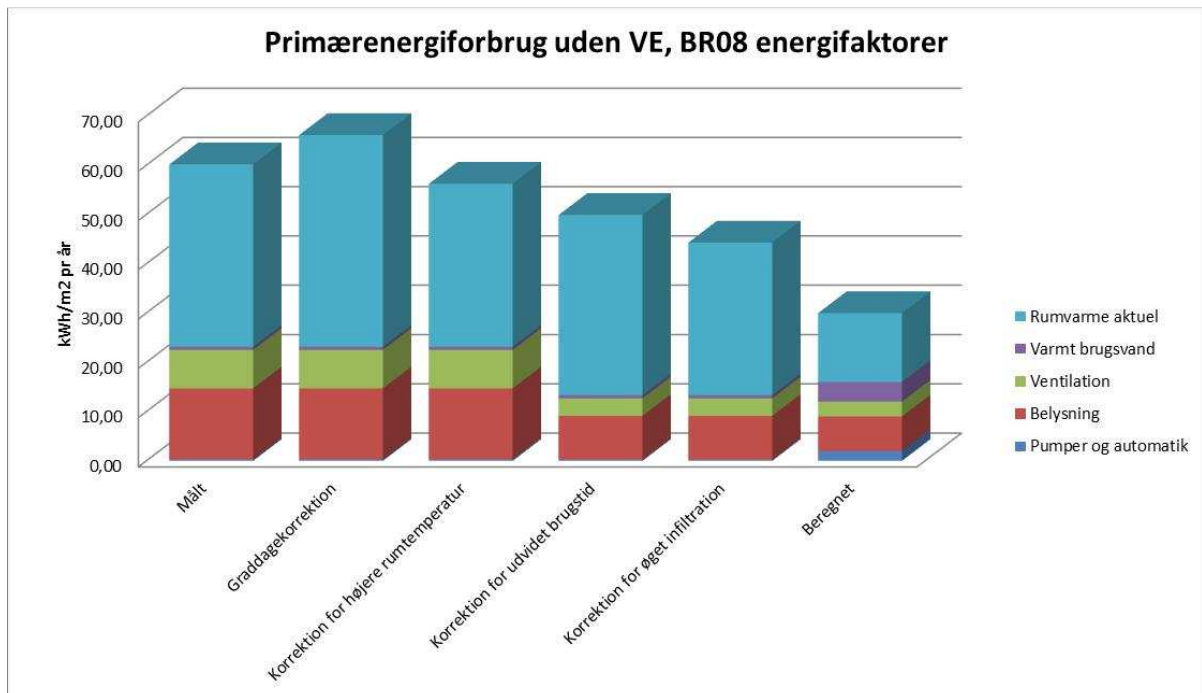
- › Øget infiltration. Der er et større luftskifte, som følge af åbninger i facaden end forventet. Dette er fortrinsvis fra handicapdøren, der benyttes ganske meget, fra svingdøren og fra terrassedøren på 2. sal. Da der ikke er noget vindfang, skabes en stor skorstenseffekt i atriet, som medvirker til det øgede luftskifte.

Der er ud over dette et mindre ekstra energiforbrug, som ikke direkte kan forklares. Men mulige forklaringer kan være:

- › Ujævn intern belastning. Altså at der i perioder er høje interne belastninger i visse rum og meget lidt i andre rum. Der kan derfor for eksempel være brug for ekstra ventilation i et møderum, fordi der er mange mennesker, mens der samtidig er varmebehov andre steder i bygningen. Be10 beregner hele huset som en zone, men virkeligheden er en anden.
- › Øget brugstid ud over det, der er normaliseret til.
- › Øget infiltration ud over den allerede medregnede, for eksempel fra åbning af vinduer. Der er vurderet en øget infiltration, men vurderingen er behæftet med stor usikkerhedsmargen, da infiltrationen ikke er målt.
- › Be10 regner formodentlig ikke korrekt nok til, at kunne bruges på denne måde i en direkte sammenligning med målte data.
- › Det kan ses på måledata at visse målere har udfald i perioder, hvor de giver samme resultat i en længere periode, f.eks. et par dage. Hvis der styres efter sådanne signaler, kan det give en fejlstyring. Desuden kan der også være fejl på energimålerne.
- › Der har været holdt et højere belysningsniveau end de 200 lux, som antaget i beregningen.

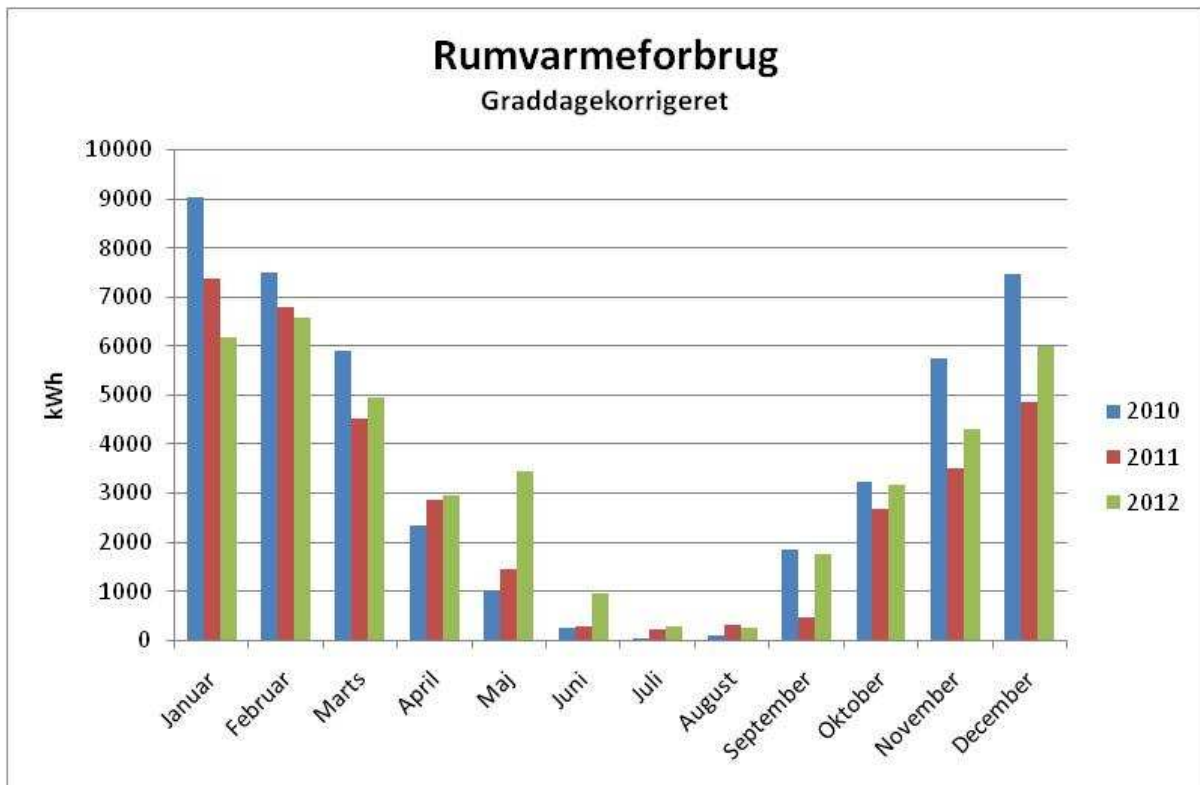
Der vil fremadrettet blive kigget yderligere på, om ventilationen af toiletterne kan etableres som et selvstændigt system, således at det centrale anlægs driftstid kan reduceres. Herigennem forventes energiforbruget til ventilation, samt varmekonsumet reduceret.

Nedenfor ses energibehovet i bygningen opgivet i primærenergi. Der er lavet to figurer med de energifaktorer der er i BR08 og i Bygningsklasse 2020. Det ses at der er et energibehov, som der ikke kan forklares. Det er først og fremmest på varmeforbrug, der er markant større end beregnet. Det udgør ca. 16 kWh/m<sup>2</sup> pr år med BR08 energifaktorerne og ca. 10 kWh/m<sup>2</sup> pr år med 2020 energifaktorerne.



### 5.1.1 Rumvarmeforbrug

Rumvarmeforbruget er på nedenstående figur opgjort på månedsbasis for de første tre år. Det ses at især det første år 2010 har højere værdier end de efterfølgende to år, hvilket skyldes udfordringer i indkøringen. Men det ses også at der er et større varmeforbrug i 2012 end i 2011. Især i maj og juni 2012 ser målingerne ud til at være markant højere, uden at det entydigt kan forklares hvorfor. Merforbruget af varme i maj, juni og september 2012 i forhold til 2011 udgør ca. 4 kWh/m<sup>2</sup> pr år, og kunne dække over en del af årsagen til det øgede energiforbrug. En del af forklaringen på dette fænomen, kunne være at der er rykket nye brugere ind, der har en anden brugsform af huset, og for eksempel bruger tagterrassen mere, hvorfor der er et større varmetab fra den åbne dør.



## 6 Certificeringer

Green Lighthouse var det første danske byggeri, der blev certificeret efter en af de store certificeringsordninger i bæredygtigt byggeri.

I 2011, ca. 2 år efter indvielse, modtog bygningen LEED Gold. Nedenfor gennemgås LEED certificeringen i flere detaljer.

I 2012 modtog bygningen desuden DGNB Bronze, efter at have medvirket i pilotfasen i den danske certificeringsordning DGNB. Denne certificering gennemgås også i detaljer nedenfor.

Green Lighthouse har altså som den første bygning i Danmark opnået to certificeringer i de store internationale certificeringsordninger.

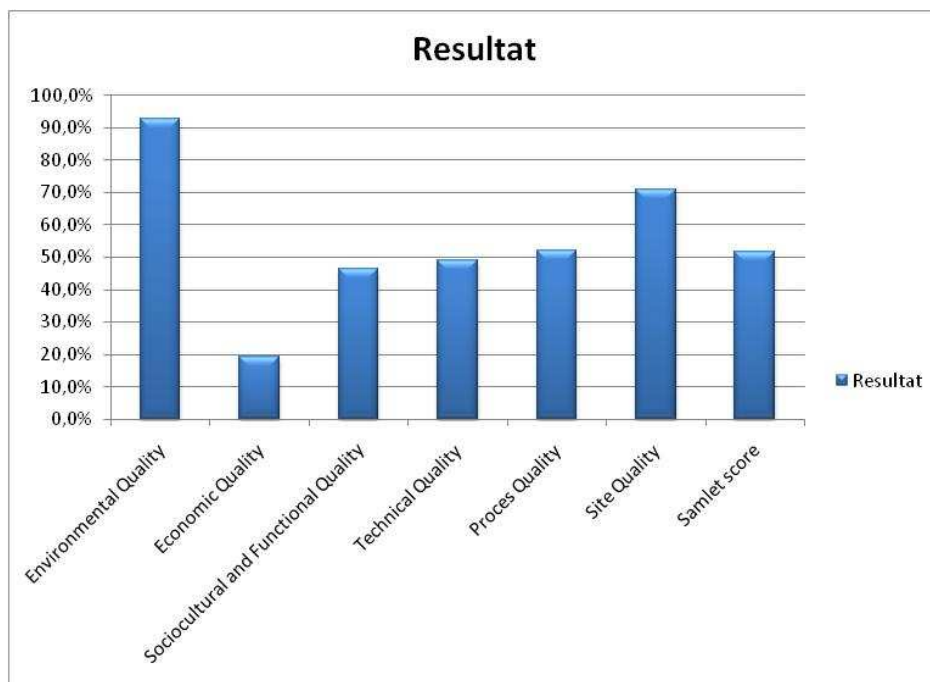
### 6.1 DGNB

I foråret 2012 gennemførtes der 4 certificeringer og 3 præcertificeringer af pilotprojekter i DGNB-DK regi. Green Lighthouse var et af disse projekter.



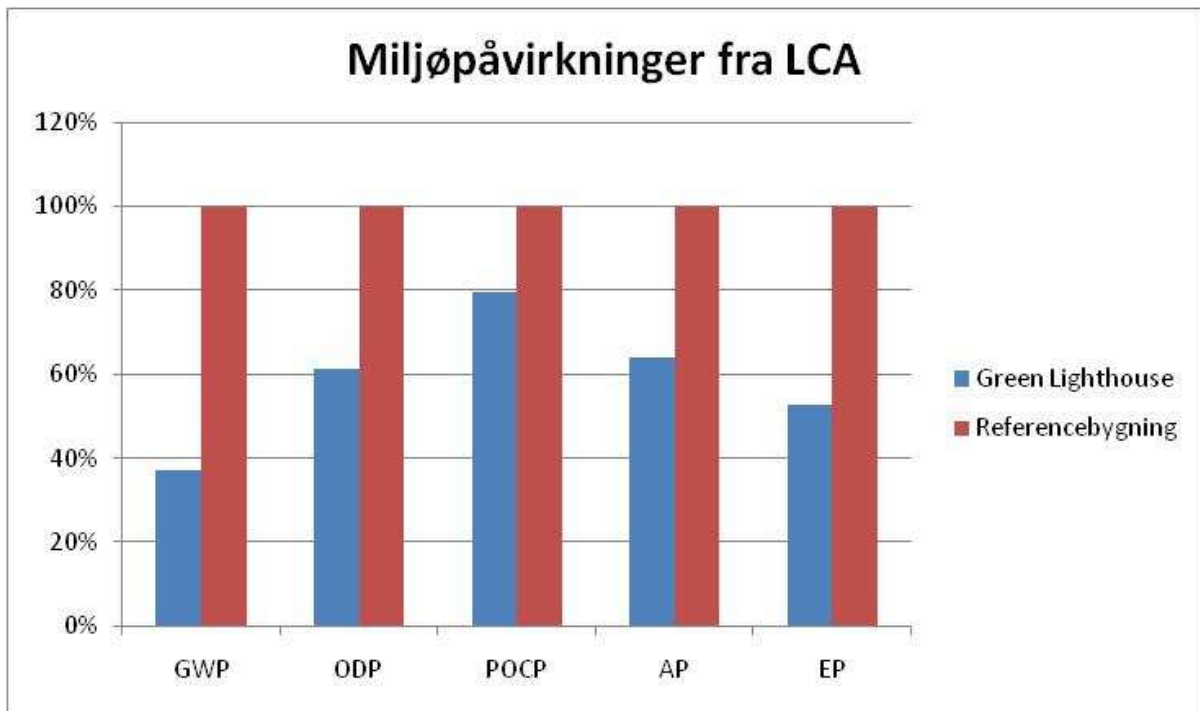
Figur 7: Overrækkelse af diplom. Foto: DK-GBC copyright

Resultatet fra DGNB certificeringen ses på Figur 8. Der opnås en meget høj score i Environmental Quality (miljømæssig kvalitet), mens der kun opnås et minimum af point i Economic Quality (økonomisk kvalitet). De øvrige kategorier ligger på et nogenlunde stabilt niveau omkring 50 %. Site Quality (Placeringens kvalitet) tæller ikke med i den samlede score.



Figur 8: Green Lighthouse's score i DGNB

Den miljømæssige kvalitet er høj, fordi der har været utroligt meget fokus på begrænsning af miljøpåvirkninger. Der har dog i projektforløbet fortrinsvist været fokuseret på nedbringelse af miljøpåvirkningen fra driftsfasen, men det viser sig at både miljøpåvirkningen i drift og over hele levetiden opnår et meget højt niveau. På Figur 9 ses de forskellige LCA<sup>9</sup> værdier fra certificeringen. Hvis man reducerer miljøpåvirkningen med 30 % i forhold til referencebygningen, opnår man maksimal score i LCA analysen. I Global Warming Potential (GWP), som er CO<sup>2</sup>-udledning i hele bygningens levetid, opnås der mere end den dobbelte besparelse i forhold til opnåelse af max point i DGNB. De øvrige LCA kriterier klarer sig også godt, og der er max point i alle på nær POCP (Photochemical Ozone Creation Potential).



Figur 9: LCA resultater for Green Lighthouse i DGNB certificeringen

I den økonomisk kvalitet opnås der kun et minimum af point med omkring 20 %. Dette er fortrinsvis på grund af en meget høj anlægssum, som gør at der kun kan opnås 10 % i LCC (Life Cycle Cost analysen), der tæller tungest i økonomisk kvalitet. Dette er fortrinsvis fordi bygningen har implementeret en lang række demonstrationselementer i energikonceptet, hvilket har medført en markant ekstraudgift. Da bygningen desuden er meget lille, kommer de store meromkostninger til at veje meget tungt, og bygningen har kostet omkring 39.000kr/m<sup>2</sup> i anlægssum. Den høje initiale m<sup>2</sup>-pris lægges til grund for alle vedligeholdelses-omkostninger gennem en 50årig beregningsperiode, også selvom disse falder i pris.

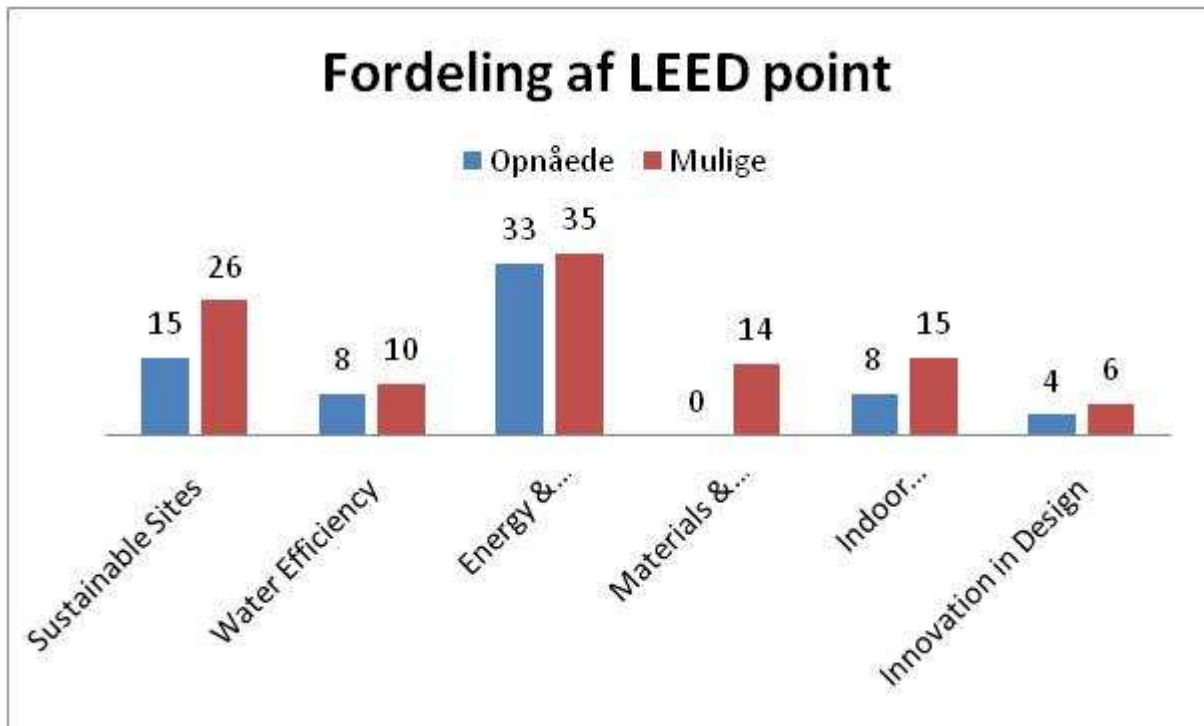
I et forsøgsbyggeri hvor der i et omfang som i Green Lighthouse afprøves nye teknologier og løsninger, vil anlægsomkostningerne typisk være markant højere. I efterfølgende projekter med tilsvarende løsninger, har løsninger ikke betydet mere end en 3-5 % højere anlægssum.

<sup>9</sup> Life Cycle Analysis. Begrebet dækker over en analysemetode, til beskrivelse af bygningens miljøpåvirkning i hele dens levetid, inklusiv opførelse og nedrivning.

## 6.2 LEED

Green Lighthouse har i LEED-certificeringen opnået 68 point, hvor der skal 60 til for at få guld og 80 til for at få Platinum.

Det ses på figuren nedenfor at projektet klarer sig rigtig godt i alle kategorier på nær Materials & Resources. Det er blandt andet fordi at en række af pointene i denne kategori er umulige for et nybyggeri, men også fordi det har været svært at dokumentere materialerne på den rigtige måde i forhold til LEED.



Green Lighthouse har fået afvist otte point, der bl.a. drejer sig om, at der ikke er givet point for innovation i brugen af PCM-materialerne. Der er heller ikke givet point for cykelparkering, selvom der er mange pladser og fine muligheder for omklædning. Det er partnerskabets holdning at de afviste point kunne og burde være tildelt, men man valgte ikke at gå efter en langtrukken appelproces. Hvis disse point havde været tildelt, havde Green Lighthouse ligget på 76 point og dermed været tæt på en platinum-certificering.

Green Lighthouse er ikke i planlægning og design blevet optimeret efter at opnå flest mulige point i LEED-systemet, men fortrinsvis efter de reelle behov i bygningen.

For at opnå de sidste point skulle Green Lighthouse også installere ladestandere til elbiler og købe grøn strøm til bygningen over to år. Men ikke alle krav i LEED-certificeringen er med til at gøre bygningen mere bæredygtig efter danske forhold. De amerikanske krav afviger en del fra den danske måde at gribe tingene an på. Det har derfor været partnerskabets beslutning ikke at installere de nødvendige ekstra tiltag udelukkende for at opnå en højere LEED score.

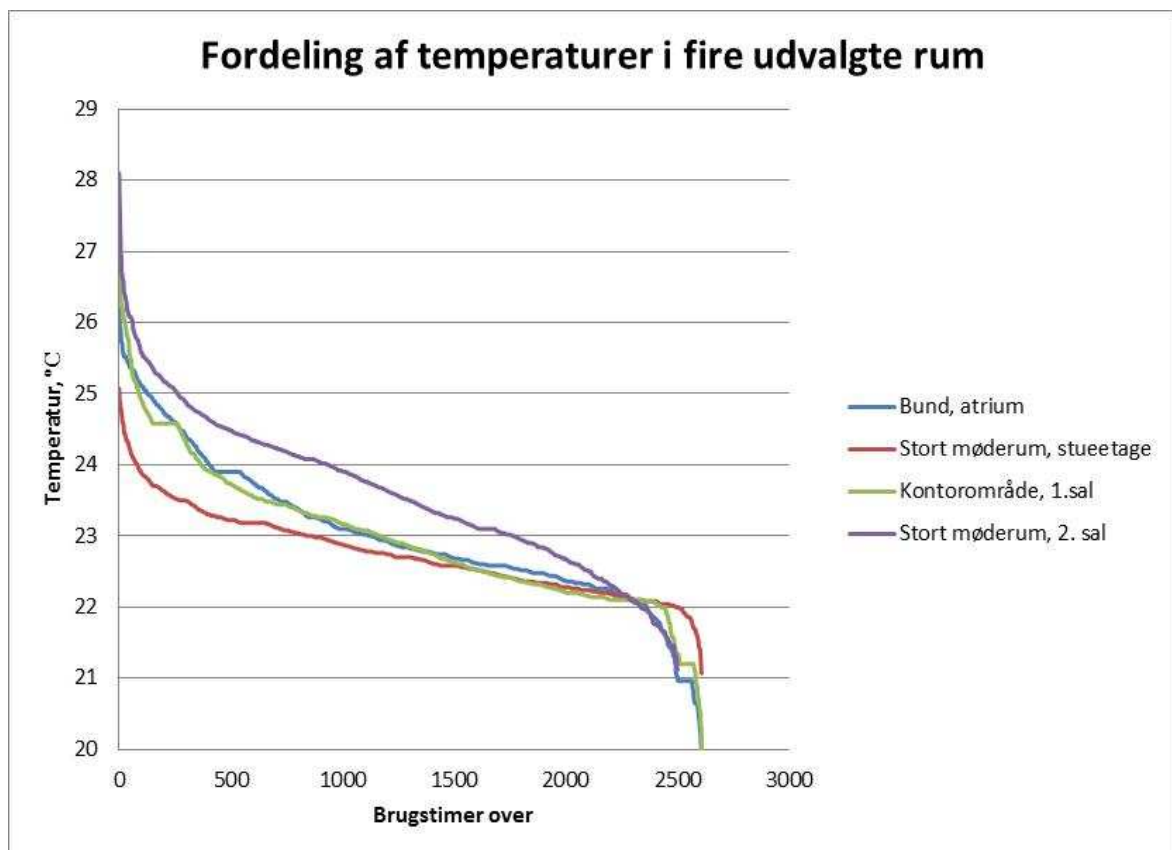


## 7 Målt indeklima

Som en del af afrapporteringen er indeklimaet i bygningen blevet analyseret ud fra standarden DS/EN 15251, hvilket følger i de næste afsnit. Bygningen blev projekteret efter et krav om maksimalt 100 timer i brugstiden over 26 °C og 25 timer over 27 °C. Figuren nedenfor viser hvor mange timer der er over en given temperatur. F.eks. kan man se at der er ca. 300 brugstimer over 25 °C i Det store møderum på 2. sal.

Der er ingen af rummene der har for mange timer over 26 °C. Det store møderum på 2. sal har flest med omkring 60 timer, mens det store møderum i stueetagen slet ingen timer har over 26 °C.

Der er heller ingen af rummene der har for mange timer over 27 °C. Det store møderum på 2. sal har som den eneste timer over 27 °C, men dog kun omkring 8 timer.



### 7.1.1 Temperatur

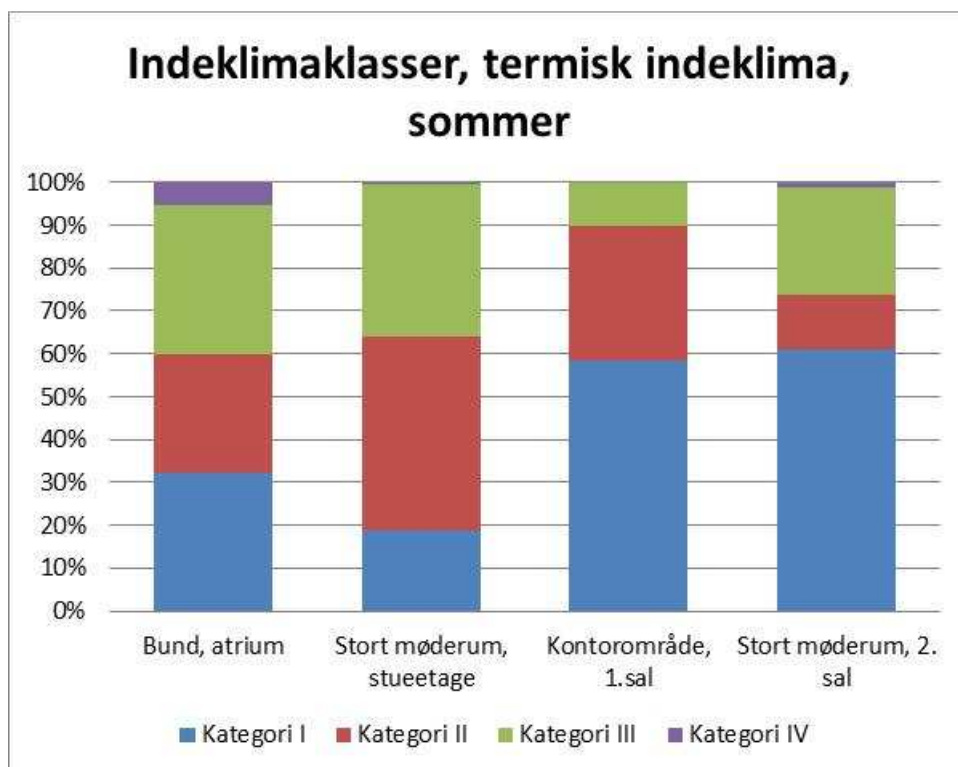
Der er lavet analyser af hvor stor en procentdel af brugstiden (mandag til fredag fra kl. 8-17) der opfylder de forskellige indeklimaklasser i DS/EN 15251. For at klassificeres som en bestemt klasse skal mindst 95 % af timerne overholde kravene til denne klasse.

Det viser sig at der er bedst overholdelse af indeklimaklasserne om sommeren, hvor huset fungerer med naturlig ventilation. Dette skyldes blandt andet at temperaturniveauerne om vinteren i DS/EN 15251 er lavere end komfort-ønsket fra brugerne i Green Lighthouse. Når der som udgangspunkt ønskes 23 °C om vinteren, er det ikke muligt at opnå indeklimaklasse I, som ligger fra 21 til 23 °C.

Kravene til de forskellige klasser er for sommersituationen:

- › Klasse I: 23,5-25.5 °C
- › Klasse II: 23-26 °C
- › Klasse III: 22-27 °C
- › Klasse IV: overskridelse af Klasse III

Sommeren er i denne analyse defineret som juni, juli og august.

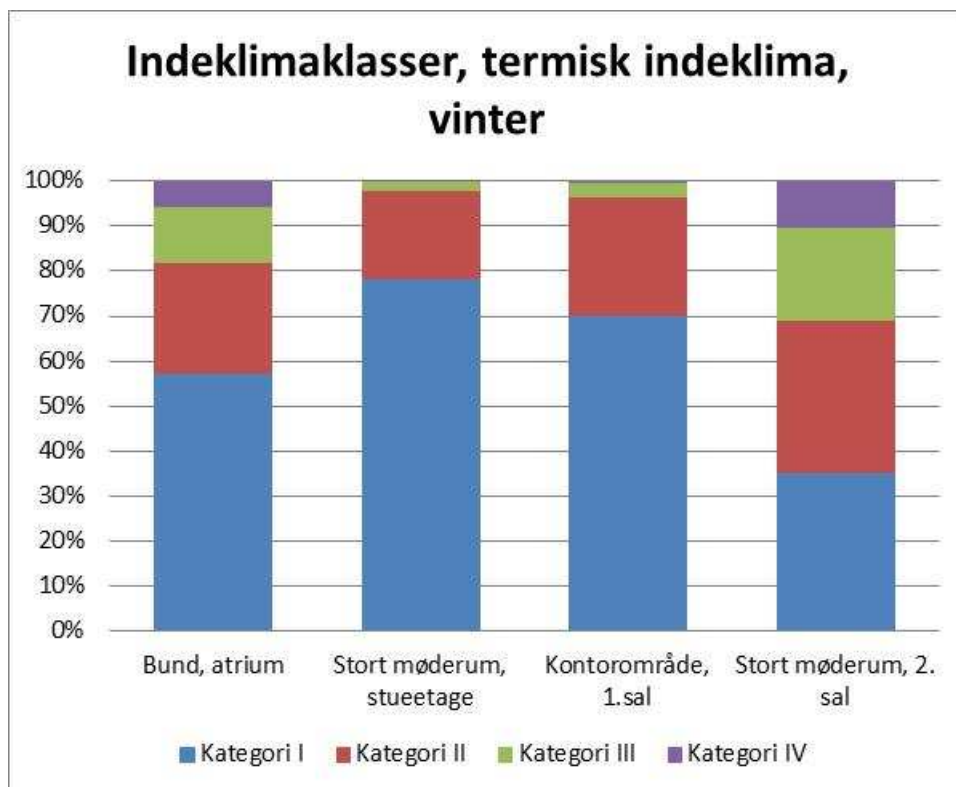


Det viser sig at alle rum er kategori III, da 95 % faktoren opfyldes af denne kategori.

Kravene til de forskellige klasser er for opvarmningssituationen:

- › Klasse I: 21-23 °C
- › Klasse II: 20-24 °C
- › Klasse III: 19-25 °C
- › Klasse IV: overskridelse af Klasse III

Opvarmningssæsonen er i denne analyse defineret som hele året, på nær juni, juli og august.



Om vinteren er bunden af atrium og møderummet på 2. sal er kategori IV, mens det store møderum i stueetagen og kontorområdet på 1. sal er kategori II.

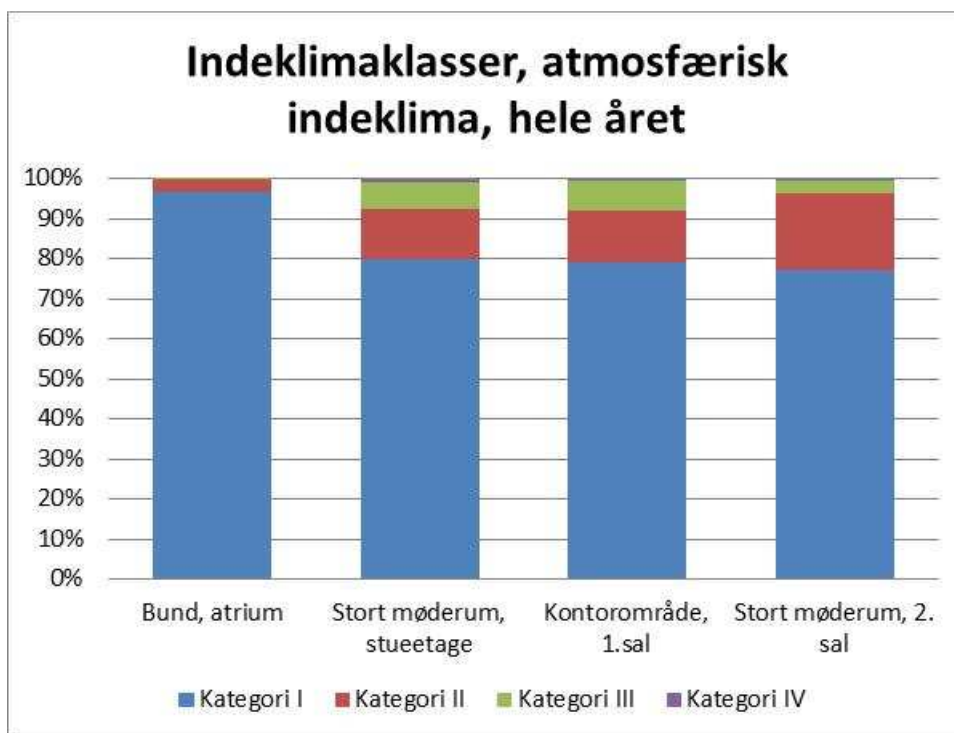
### 7.1.2 Luftkvalitet

Der er desuden lavet analyser af luftkvaliteten gennem CO<sup>2</sup>-målingerne for indeklima. Det skal dog bemærkes, at målingerne er ganske fejlbehæftede, og det har været nødvendigt at korrigere måleserierne for at få fornuftige resultater ud. Desuden har der ikke været formuleret specifikke designkrav til CO<sup>2</sup>, hvorfor det har været de almindelige krav på højst 1000 ppm, der har været dimensioneret efter, hvilket svarer til kategori III.

Kravene til de forskellige klasser er:

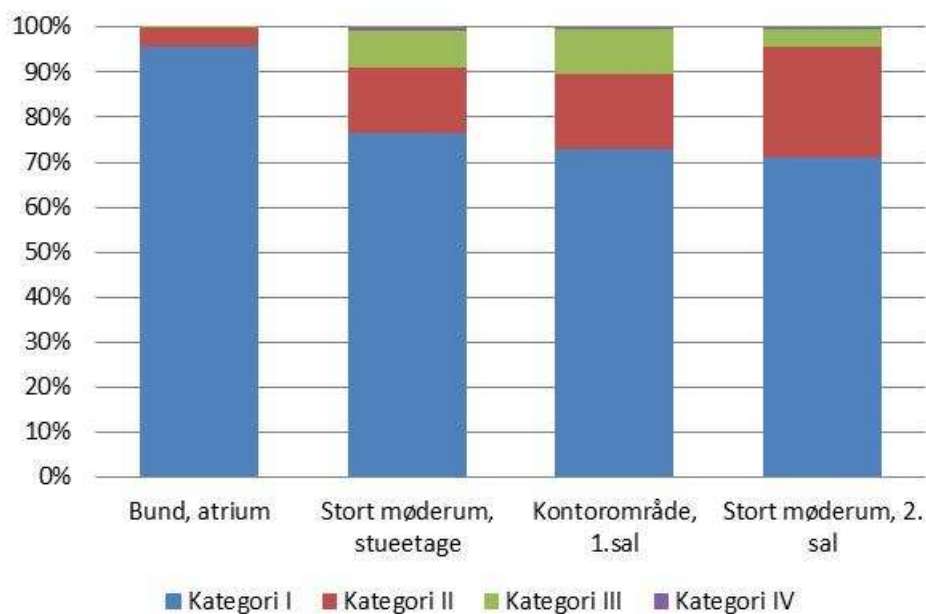
- › Kategori I: Under 750 ppm (parts per million CO<sup>2</sup>)
- › Kategori II: Under 900 ppm
- › Kategori III: Under 1200 ppm
- › Kategori IV: overskridelse af Kategori III

Der er regnet med en baggrundskoncentration på 400 ppm.

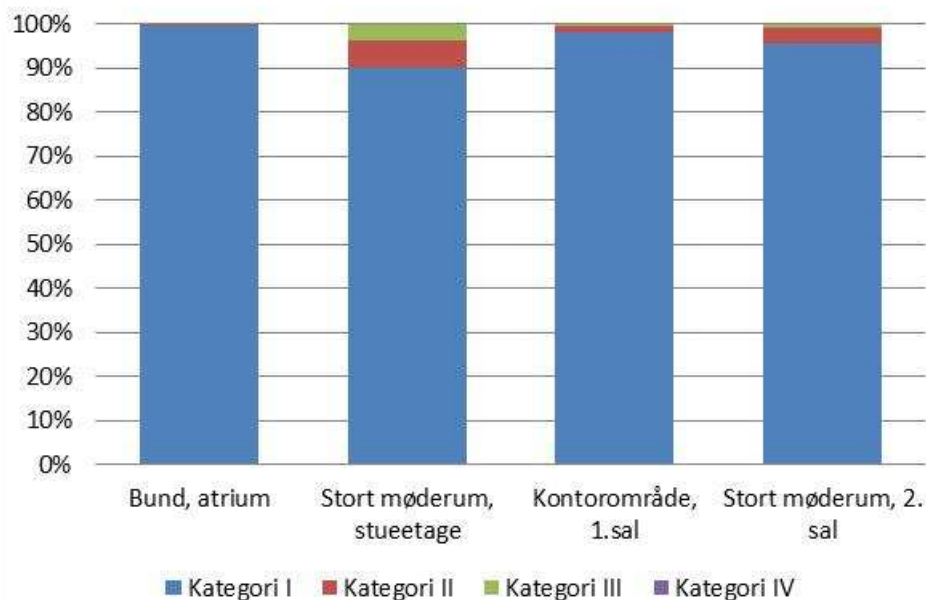


Det ses, at bunden af atriet er kategori I, det store møderum på 2. sal er kategori II, mens det store møderum og kontorområdet på 1. sal er kategori III. Af de to efterfølgende grafer ses det desuden, at der er markant lavere CO<sup>2</sup>-niveau om sommeren end om vinteren, hvilket hænger sammen med den øgede naturlige ventilation om sommeren.

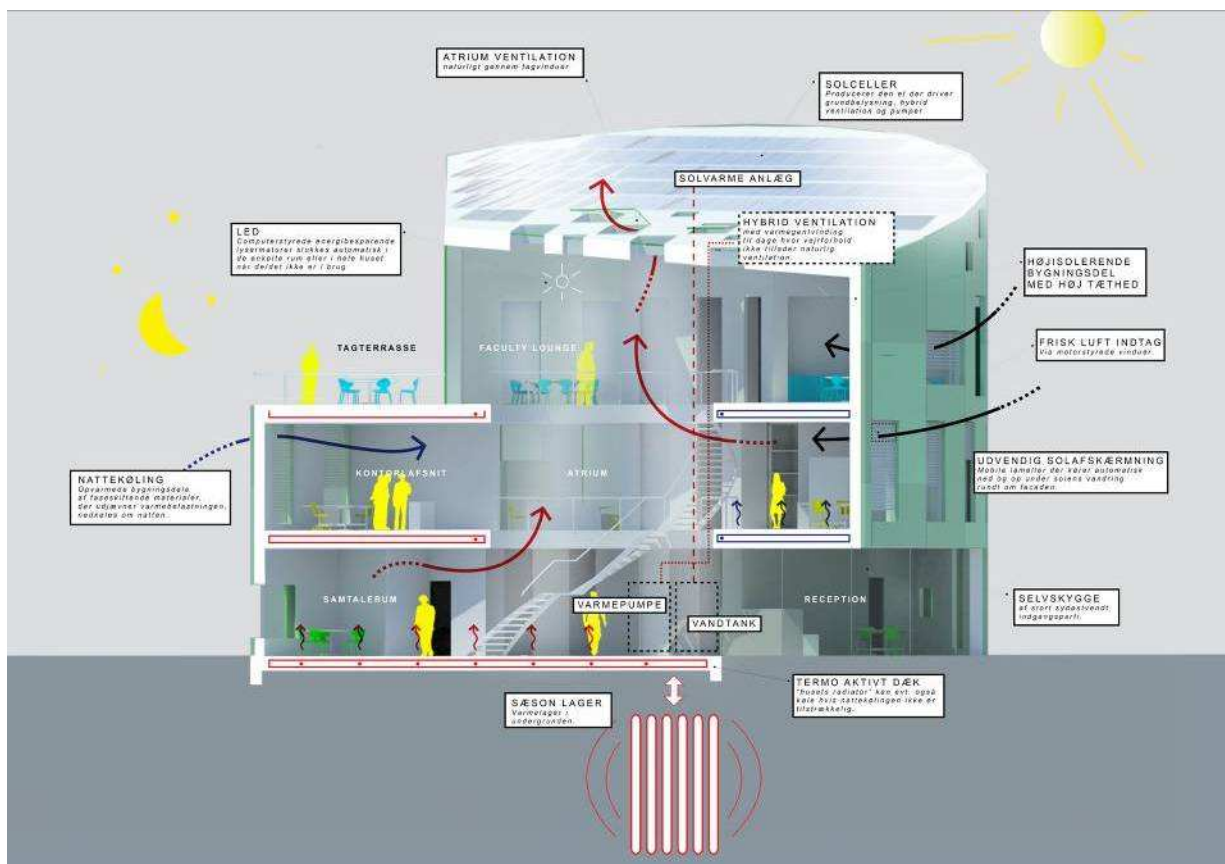
### Indeklimaklasser, atmosfærisk indeklima, vinter



### Indeklimaklasser, atmosfærisk indeklima, sommer



## Appendix: Energikoncept-diagram



## 8 Appendix: Active House

Active House is a vision of buildings that create healthier and more comfortable lives for their occupants without impacting negatively on the climate – moving us towards a cleaner, healthier and safer world.

The Active House vision defines highly ambitious long-term goals for the future building stock. The purpose of the vision is to unite interested parties based on a balanced and holistic approach to building design and performance, and to facilitate cooperation on such activities as building projects, product development, research initiatives and performance targets that can move us further towards the vision.

The Active House principles propose a target framework for how to design and renovate buildings that contribute positively to human health and well-being by focusing on the indoor and outdoor environment and the use of renewable energy. An Active House is evaluated on the basis of the interaction between energy consumption, indoor climate conditions and impact on the environment.

Comfort – creates a healthier and more comfortable life

- o An Active House creates healthier and more comfortable indoor conditions for the occupants, ensuring a generous supply of daylight and fresh air. Materials used have a neutral impact on comfort and indoor climate.
- o Energy – contributes positively to the energy balance of the building  
An Active House is energy efficient. All energy needed is supplied by renewable energy sources integrated in the building or from the nearby collective energy system and electricity grid.
- o Environment – has a positive impact on the environment  
An Active House interacts positively with the environment through an optimised relationship with the local context, focused use of resources, and its overall environmental impact throughout its life cycle.

Kilde: Activehouse.info



Fig. 9 viser Green Lighthouse performance på målt og beregnede indikatorer iht Active House kategorier – 1 = beregnet, 2= målt

