

A black and white photograph of several dandelion seed heads. The seeds are fine and radiating, creating a delicate, web-like pattern. The heads are in various stages of focus, with some in sharp foreground and others blurred in the background.

Carlo Volf
Kjeld Johnsen

Sunderere dagslys og kunstlys

Nye veje mod
lavenenergiarkitektur 2020

Sundere dagslys og kunstlys

Nye veje mod lavenergiarkitektur 2020

Uden for serierne

1. udgave, 2016

Forfatter: Carlo Volf MAA og Kjeld Johnsen SBI

Sprog: Dansk

Sidetæl: 40

Emneord: Dagslys, kunstlys, sundhed, Bygningsklasse 2020, lavenergi, sygehuse.

Design og tilrettelægning: Grethe Bruun

Omslagsfoto: Shutterstock

Udgiver Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet,
A.C. Meyers Vænge 15, 2450 København SV
E-post sbi@sbi.aau.dk
www.sbi.dk

Der gøres opmærksom på, at denne publikation er omfattet af ophavsretsloven

Carlo Volf
Kjeld Johnsen

Sunderere dagslys og kunstlys

Nye veje mod
lavenergiarkitektur 2020



Indhold

Forord	6
Sammenfatning	7
Dagslys og sundhed s. 7	
Kunstlys s. 8	
Energi s. 9	
Baggrund	10
Metode	11
Dagslys og sundhed	13
Erfaringer fra praksis s. 13	
Erfaringer fra forskning s. 15	
Kunstlys	19
Erfaringer fra praksis s. 20	
Erfaringer fra forskning s. 22	
Energi	25
Erfaringer med dagslys og energi s. 26	
Hospitalsbyggeri og Bygningsklasse 2020 s. 27	
Begrænsninger og muligheder i Bygningsklasse 2020 s. 28	
Lavenergiarkitektur og dagslys s. 29	
Erfaringer med dagslys, energi og hospitalsbyggeri s.31	
Diskussion: Hvad skal der til for at få os derhen hvor vi gerne vil?	33
Perspektivering	37

Denne rapport er udarbejdet af: Carlo Volf MAA Ph.D. og Kjeld Johnsen,
seniorforsker SBI. Med støtte fra Realdania og Nyt Hospital Hvidovre

Forord

I de kommende år frem mod 2020 vil kravene til byggeriets energiforbrug blive skærpet i Danmark. Denne rapport tager udgangspunkt i Bygningsklasse 2020 og beskriver de udfordringer som vi rent sundhedsmæssigt står overfor, når det gælder dagslys, kunstlys og energiforbrug i det byggede miljø. Det er håbet at rapporten kan være med til at sætte fokus på lyskvaliteten og på hvordan vi undgår, at forringe dagslysets kvalitet i lavenergibyggeriet. Bygningsklasse 2020 træder i kraft i flere og flere byggerier, og vil i løbet af de kommende år komme til at præge arkitekturen i Danmark. I den forbindelse anviser rapporten hvordan lyskvaliteten i praksis kan forbedres og implementeres i 2020-byggerier, uden at gå på kompromis med energiforbruget. Samtidig er det rapportens hensigt, at diskutere hvordan Bygningsklasse 2020 udfordrer indeklimaet, hvilken betydning det har for sundheden og hvordan vi får tilgodeset både sundhedsmæssige og energimæssige aspekter indenfor det byggede miljø.

Rapporten er resultatet af en kortlægning og en sammenfatning af et forprojekt, der involverede arkitekter, læger, ingeniører, forskere, politikere og bygherrer. Formålet med rapporten er at samle teoretisk og praktisk viden indenfor planlægningen af dagslys og kunstlys og bringe denne viden ud i praksis. Med udgangspunkt i Nyt Hospital Hvidovre søger rapporten at skabe en fælles arkitekt-, ingeniør- og lægefaglig debat frem mod 2020 når det gælder kvaliteten af det byggede miljø og de nye energikrav, i håbet om at kunne bidrage til en sundere og bedre byggeskik i Danmark.

Sammenfatning

Dagslys og sundhed

- 1** Sundhedsmæssigt anbefales jernfattigt glas, som har en g-værdi på 0,65 (2-lags rude m. obligatorisk lavemissions-coating og en U-værdi på ca. 1,1 W/m²K). Det kan betyde at glasarealer og dermed udsigt, fordeles asymmetrisk i forhold til solens lys- og varmeindstråling.
- 2** At benytte glas med en lavere lystransmittans og g-værdi er ikke et alternativ, fordi det reducerer flere sundhedsmæssige aspekter ved dagslyset.
- 3** Dagslys kan blandt andet påvirke metabolisme, humør, kropstemperatur, puls, D-vitamin og blodtryk.
- 4** Alt taler for at det ikke kan lade sig gøre både at få store høje glaspartier/vinduer og samtidig fuldspektret dagslys og bedst mulig glaskvalitet.
- 5** Det er muligt i stedet at skabe god dagslyskvalitet og arbejde med udsigten fra enkelte, udvalgte zoner. På et hospital kan udsigten på den måde stimulere patienten til at komme op, sidde i vindueskarmen i et par timer hver dag og f.eks. spise sin morgenmad her.
- 6** Udsigt er relationel, den afhænger af hvor man befinder sig. Imens dagslyskvalitet er absolut. Det indvirker på os rent fysisk og mentalt, primært på det ubevidste plan.
- 7** Vinduets udformning, placering og orientering i forhold til verdenshjørnerne har indflydelse på dagslyset og sundheden. Dagslysåbninger kan både være løsningen og problemet når vi taler om forringelse af dagslyskvaliteten og udsættelse for meget/for sent/for tidligt lys - og varme.
- 8** Mørke er vigtigt om natten på Danmarks nordlige breddegrad. Vi har behov for afskærmning, gardiner, persiener, etc., særligt i sommerperioden.
- 9** Dagslyset kan have indflydelse på hygiejne og virke antiseptisk. Vi mangler viden og forskning indenfor området. Her kan nye hospitaler, som Nyt Hospital Hvidovre, blive praktiske case studier for nye, evidensbaserede undersøgelser.
- 10** Gangarealerne er i sammenhæng med enestuer et vigtigt, centralt mødested for patienter og for pårørende. Gangarealer bør belyses til adspredelse, socialt ophold, spadsereture, etc. og ikke kun som fordelingsareal til transport af senge.

- 11** Naturligt dagslys betyder vinduer, der kan åbnes. På hospitaler er naturligt lys og naturligt luft ikke kun relevant for patienter på særlige afdelinger såsom psykiatri, neonatal, gerontologi, men mere generelt for alle afdelinger, også for personalet.
- 12** Sammenlagt peger alt på at vinduet spiller en vigtig rolle for sundheden. På hospitaler kan vinduet påvirke patientens adfærd, oplagthed, træning og generelle heling samt sundhed, igennem vinduets udformning, placering og orientering i forhold til verdenshjørnerne.

Kunstlys

- 1** På hospitaler er der områder hvor der, på grund af dybden af bygningerne, ikke er direkte adgang til naturligt dagslys og som ikke kan ventileres naturligt. Her vil det være nødvendigt at supplere bedre dagslys med sunder LED-kunstlys og mekanisk ventilation, hvis belysningen og indeklimaet på hospitalerne skal blive bedre rent sundhedsmæssigt.
- 2** Kunstlys kan bidrage til at stabilisere sleep/wake cyklus, mindske stress, medicinforbrug og reducere liggetider, etc.
- 3** Kunstlys har direkte indflydelse på aktivitetsniveau og stemningsleje. Dæmpes lyset om aftenen, dæmper folk stemmer og det kan skabe mere ro i aften timerne.
- 4** Det er vigtigt at være bevidst omkring flere faktorer før man implementerer LED i et byggeri. Det er nødvendigt at kvalificere kravene til kvalitet af LED-kunstlys. Det gælder farvegengivelse, lysspredning, farvetemperatur over tid (MacAdams steps på <4).
- 5** LED skaber blænding, det er derfor hensigtsmæssigt at sætte lys indirekte, rettet mod sidevægge, etc., ikke direkte ned i nærheden af personer. Når vi taler om lysets betydning for sundheden, er de vertikale flader vigtige. I et mindre rum, sengestuer, etc. udgør de vertikale flader op til 80 % af synsfladen.
- 6** Det kan være en fordel at arbejde med at lyse flader materialer op, med indirekte reflekteret LED-lys, samt arbejde med alternativ placering/højde på kunstlyset.
- 7** Et vinduesparti for enden af gangen giver dagslys, men kan også skabe blænding og udfordringer for godt kunstlys på gangene i løbet af dagtimerne.
- 8** Det er en udfordring, at tilgodese den naturlige farvegengivelse, naturlig hudfarve og samtidig imødekomme krav om dynamisk lysstyring

- 9 Store samlede løsninger er ofte problematiske. I stedet kan det være en fordel at lave en prioritering imellem forskellige områder/behov og kombinere dem. Det er vigtigt at få en dialog på rumniveau.
- 10 Hvordan tilgodeser vi forskellige brugere? På et hospital drejer det sig om personale, patienter og pårørende. Det er komplekst og kræver prioritering.

Energi

- 1 At kombinere høje krav til dagslyskvalitet og sundhed med de høje krav til dagslys og energi i Bygningsklasse 2020 er afgørende. Lykkes det ikke, bliver fremtidens hospitaler ikke en succes.
- 2 Facaden er fuldstændig afgørende for energiforbruget, for indeklimaet, for oplevelsen af rummet, og for hvor meget lys der kommer ind i rummet.
- 3 Bygningsreglementet bør ikke kun støtte kvantiteten af dagslys men også kvaliteten, og skabe arkitektur som bedre tager højde for sollys, omgivelser, adfærd, etc.
- 4 Krav om en positiv E_{ref} kan være hensigtsmæssig i beboelse, hvor opvarmning er en stor post, men er et problem i hospitalsbyggeri, hvor overopvarmning snarere er problemet.
- 5 Det er ofte unødvendigt at ventilere en bygning mekanisk i sommerperioden i Danmark. I stedet for mekanisk ventilation kan vi åbne vinduerne i sommerperioden, hvor der er størst risiko for overtemperaturer.
- 6 Det er vigtigt at gøre sig klart, at energiforbruget på et hospital, kun udgør ca. 0,4 % af den samlede driftsøkonomi.
- 7 Det er en udfordring at benytte den bedste og sundeste glaskvalitet og samtidig imødekomme skærpede krav til overtemperatur. Det medfører større krav til solafskærmning, etc.
- 8 Bygningsklasse 2020 er ikke en bibel. Energikravet til hospitaler er til for at skabe state-of-the-art hospitaler og skabe nye og bedre hospitaler, men måske kan vi bygge noget, der er endnu bedre end Bygningsklasse 2020, hvis vi indarbejder sundhedsmæssige aspekter ved dagslys og kunstlys.

Baggrund

Formålet med denne rapport er at indsamle praktisk og anvendelig viden indenfor tre områder; dagslys, kunstlys og energi. Indenfor alle tre områder er der sket en stor udvikling indenfor det seneste årti.

- Dagslys: Rapporten beskriver ny og gammel, evidensbaseret viden der har særlig betydning i planlægningen af hospitaler; indenfor døgnrytme, mental sundhed, D-vitamin, fysisk sundhed, samt hygiejne og hospitalsinfektioner (HI).
- Kunstlys: Rapporten ser på muligheden for at udnytte LED-teknologien og diskuterer de potentialer den ny teknologi giver rent energimæssigt og sundhedsmæssigt.
- Energi: Energirammen for byggeri reduceres fra 71 kWh/m² pr. år i BR 2010 til 41 kWh/m² pr. år i BR 2015 og vil falde helt ned til 25 kWh/m² pr. år i Bygningsklasse 2020. Alle fremtidige hospitaler forventes at overholde Bygningsklasse 2020. I det konkrete tilfælde Nyt Hospital Hvidovre, fordi bygherre har sagt ja til en merbevilling på 2,3 % af byggesummen forudsat, at de overholder Bygningsklasse 2020.

Rapporten kommer i den forbindelse med konkrete bud på hvordan det kan lade sig gøre at imødekomme de tre områder og hvilke udfordringer vi i praksis står overfor når vi skal investere 45 Mia. Kr. i 19 nye hospitaler i de kommende år.

Når vi i de kommende år står overfor at skulle bygge de mange nye hospitaler, er det en historisk mulighed for, at indsamle ny og gammel viden fra hospitalsbyggeri i praksis, så vi kan bygge videre på hinandens erfaringer, bygge klogere og samtidig undgå at gentage hinandens fejl.

På den måde søger rapporten at skabe en mere holistisk tilgang til det byggede miljø, hvor lysets betydning for sundheden inddrages tidligt i beslutningsforløbet. Både når det gælder planlægningen af facader og udformning af vinduer, valg af glastyper, og de nye muligheder der er, når det gælder LED-kunstlys, dynamisk lysstyring, etc.

Metode

Rapporten bygger på tre workshops afholdt i perioden 16. september - 4. november 2015 og refererer til forskellige indlæg i form af uddrag, efterfulgt af en diskussion omkring, hvordan lysets sundhedsmæssige potentialer udnyttes bedre indenfor byggeri af hospitaler.

Rent metodisk er rapporten inddelt i tre overordnede kapitler, et for hver workshop. Hvert kapitel kan læses uafhængigt og i vilkårlig rækkefølge. Rapporten beskriver *dagslys*, *kunstlys* og *energi* samt deres indflydelse på sundhed og samler undervejs nøgleord og begreber i den endelige konklusion.

Rapporten er udarbejdet af SBI og Carlo Volf og finansieret af Realdania og bygherre for Nyt Hospital Hvidovre.



Dagslys og sundhed

Lysets og arkitekturens betydning for sundheden er i disse år igen blevet aktuel. *Carlo Volf*, MAA har i Ph.D. afhandlingen "Lys, arkitektur og sundhed" analyseret, hvordan lys og arkitektur konkret anvendes i hospitalsbyggerier igennem de seneste 100 år. Fra såkaldte Nightingale Wards (1850 - 1939) der udnytter naturligt lys og luft direkte som designparametre i arkitekturen, til opdagelsen af lysets antiseptiske, bakteriedræbende virkning og Niels Finsens arbejde med lys på de danske sanatoriebyggerier, som Vejle Sanatoriet (1900), og den direkte linje videre til Alvar Aaltos arbejde med Paimio Sanatorium (1933) der på mange måder afrunder og samler al den viden der i dag betegnes som glemt viden. Fælles for disse byggerier er den sundhedsmæssige viden, som arkitekter gjorde brug af, blandt andet jernfattigt glas der transmitterer UVB-lys, messinghåndtag, der ad oligodynamisk vej, dræber bakterier på berøringsflader, krydsventilerede sengestuer med naturlig ventilation, trapperum tegnet til både ophold i dagslys og til fysisk motion.

Men i efterkrigshospitalerne (1945 - 2000) bliver lysets betydning for forebyggelse af sygdom og opretholdelse af sundhed overset. Arkitekturens og lysets betydning bliver glemt. Det betyder at dagslysets potentiale i dag ikke anvendes fuldt ud og at lys og arkitektur som vigtige sundhedsmæssige værktøjer ikke udnyttes godt nok. Af særlig betydning er morgensolen og vintersolen, altså bygningens generelle orientering i forhold til solen, samt dagslys- og glaskvaliteten, fra UVB (280 - 320 nm), UVA (320 - 380 nm), over synligt lys (380 - 700 nm) til IR varmestråling (>700 nm).

Nyt Hospital Hvidovre tager udgangspunkt i denne viden og benytter, ud fra nutidens krav om lavenergi, en ny metode udviklet for at få det bedste ud af solens lys rent sundhedsmæssigt. Derfor er dagslyset i sengestuerne tilrettelagt forskelligt, alt efter om de vender mod Ø, S, V og N. Disse nye, såkaldte differentierede sengestuer som skaber en asymmetrisk facade, med størst vinduesåbninger mod N, mindre mod Ø og V samt mindst åbninger mod S, er også blevet anvendt på Ny Herlev Hospital.

Erfaringer fra praksis

Glostrup Neurorehabiliteringscenter (GNC) bliver det mindste af de i alt 19 nye hospitaler i Danmark. Som det eneste af de nye hospitaler, er det disponeret med gangområder med direkte adgang til dagslys, baseret på en klosterhave-typologien. *Maj Seligmann*, bygherrens arkitekt, fortalte om processen med at realisere GNC, herunder planlægningen af dagslys. De oprindelige balkoner fra starten af konkurrenceprogrammet, er væk af økonomiske årsager, men til gengæld har haveanlægget fra starten været prioriteret højt. Marianne Levinsen Landskabsarkitekter står for haveanlægget, der bliver en vigtig del af behandlingsforløbet for patienterne.

Ligesom på de gamle sanatorier er ophold og ture/kurstier i parken igen blevet en vigtig del af behandlingsforløbet, det forventes at patienterne på GNC vil tilbringe en stor del af dagtimerne i det udendørs miljø.

Patienterne ligger gennemsnitligt fra 3 til 6 måneder, så det indendørs miljø, herunder særligt kunstlys, er prioriteret højt i det udbudte konkurrencemateriale. GNC har fået midler fra bl.a. kvalitetsfonden og Aarhus Kommune til et større forskningsprojekt. Sammen med Aarhus Kommune Hospital, skal de se på hvordan bedre dynamisk LED-kunstlys, sammen med automatiske mørklægningspersiener som lukker dagslys ude fra kl 20.30 - 06.30 indvirker på bl.a. patienternes døgnrytme og generelle sundhed. Til projektet er tilknyttet lægerne Anders Sude Vest og Helle Klingenberg Iversen. Projektet er implementeret i mindre omfang end først planlagt på grund af økonomiske besparelser. I alt deltager ca. 30 sengestuer i randomiserede, kliniske forsøg. Glostrup Neurorehabiliteringscenter og Aarhus Kommunehospital fungerer som test-afdelinger for implementeringen af ny dynamisk LED-belysning på bl.a. Åbenrå Sygehus, der bliver det første hospital i Danmark med fuldt integreret, dynamisk LED-lysstyring.

Alt i alt er projektforslaget for Glostrup Neurorehabiliteringscenter resultatet af en lang, kompleks proces med mange, tekniske faktorer. De fem grundsanser er anvendt som vigtige, basale grundelementer i processen. Centret er mere et "hus" end et hospital.

Det er intentionen at skabe et mere hjemligt hospital, og på den måde tage noget stress bort fra patienterne. Her har det rent lysmæssigt været en balance, imellem interne glasvægge og mulighed for privatliv på det forholdsvis lille hospitalsbyggeri.

Juliane Marie Centret (JMC) er et nyt hospital for spædbørn og fødende i København. Arkitekt *Naja Lynge* beskrev bygherrens strategier for et sundere hospital. JMC modtager ca. 645 patienter dagligt. 18 børn fødes hver dag og 36 operationer udføres dagligt. I alt er der plads til 212 indlagte patienter. Patienternes gennemsnitlige liggetid varierer, fra 2 dage og op til 2 måneder. Byggeriet bliver på i alt 50.000 m², i samme skala som Ny Herlev Hospital (55.000 m²) og Nyt Hospital Hvidovre (32.000 m²).

I processen med udviklingen af hospitalet har prof. Bent Ottesen arbejdet med brugerinddragelse igennem paneler for patienter og personale. Især patienternes oplevelse har vist sig, at være nyttig i planlægningen. Når de har en positiv oplevelse, lytter de ofte bedre og kommunikerer lettere med personalet. Procesforløbet har været præget af studieture og kvalitative interviews, baseret på oplevelser i løbet af et hospitalsophold, integreret leg og hverdagsdesign.

Byggeprocessen søger mere patient empowerment ved hjælp af overordnede temaer og begreber som; den gode rejse, klare zoner og nemmere wayfinding.

Nedenstående elementer har været bærende igennem processen:

- Forskning
- Analyse
- Vision og designprincipper
- Praktiske løsningseksempler, (koordinerede multisensoriske miljøer og atmosfæredesign, lyd, etc.)

Dagslys er blevet brugt som ét ud af flere elementer, som et hygiejnisk, atmosfæreskabende element, som samtidig kan understøtte patienten.

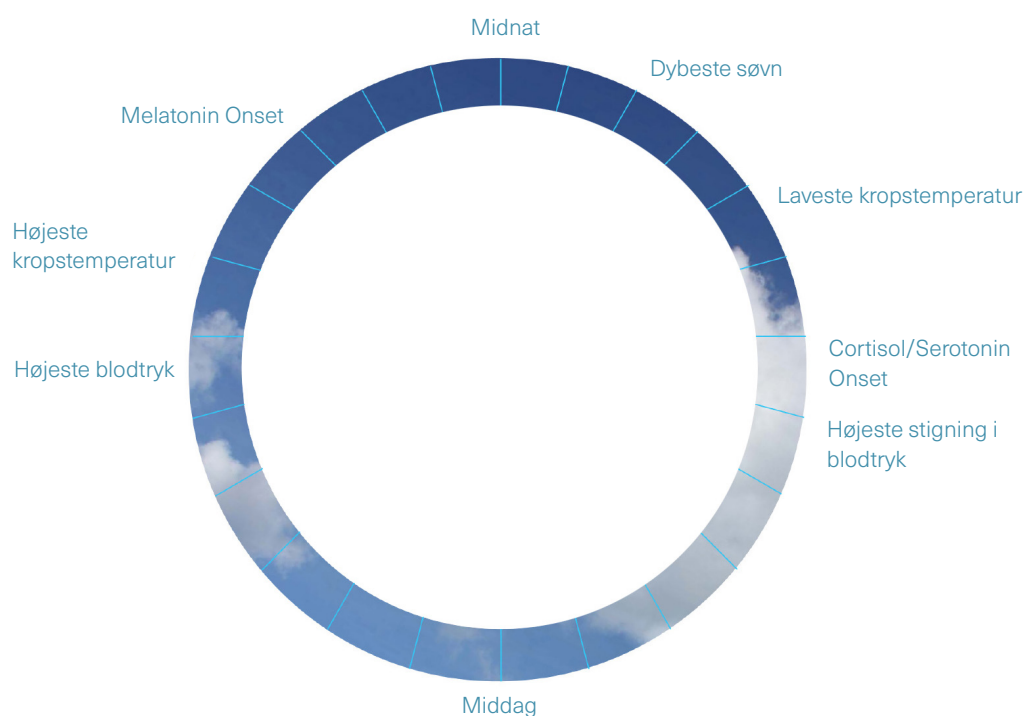
Erfaringer fra forskning

Der er i dag flere og flere publikationer omkring dagslysets betydning for sundheden. Med udgangspunkt i publikationen "Daylight and Health", præsenterede seniorforsker *Kjeld Johnsen* SBI et review baseret på i alt 56 publikationer om dagslys og sundhed publiceret på to medicinske databaser PubMed og Scopus. Daylight and Health er udarbejdet af den hollandske forsker *Myriam Aries*, baseret på søgeordene: dagslys, naturligt lys, sollys og sundhed. Myriam Aries når frem til fem overordnede retningslinjer når det gælder en sundere planlægning af dagslys og arkitektur:

- Dagslysåbninger bør åbnes for at tillade lejlighedsvis eksponering for det fulde dagslysspektrum, herunder ultraviolet og infrarød stråling.
- Bygningers grundplan bør udformes sådan at den stimulerer folk til at gå udendørs, uafhængigt af vejrforholdene, enten via stueetagen eller via overdækkede verandaer, balkoner, etc.
- Rum bør udformes med høje dagslysniveauer og give mulighed for afskærmning mod sollys (persiener, m.m.) i alle dagslysåbninger. Mulighed for at kontrollere dagslysmængden kan reducere stress i øjnene, hovedpine, migræne, ubehags- og synsnedsættende blænding og lysfølsom epilepsi. Samtidig giver det muligheden for at fastholde god dagslyskvalitet og høj intensitet til ældre personer, etc.
- Automatisk styring af den fysiske afskærmning, bør tillade adgang til fuldt dagslys. Især i perioden imellem solopgang og solnedgang i arbejdstiden, og i vinterperioden, hvor brugere bør udsættes for variationen i dagslyset i løbet af dagen. Brugere bør på alle tidspunkter være i stand til at overstyre den automatiske kontrol for, at imødekomme krav om personlig komfort og andre sundhedsmæssige kriterier.
- Glastyper der tillader transmission af dagslysets naturlige spektralfordeling bør anvendes, så det fulde spektrum er repræsenteret. Interaktion imellem forskellige bølgelængder og intensiteter bør uhindret finde sted i det indendørs miljø.

Lys påvirker os ikke kun rent fysisk...det påvirker os også mentalt

Overlæge og lektor *Klaus Martiny* fra Psykiatrisk Center O arbejder bl.a. med hvordan lys påvirker døgnrytmen og hvordan lys kan understøtte mental sundhed. Vi er som mennesker udviklet til en 24 timers cyklus, kroppen har mere end 200 klokkegener og klokkeceller, der hver især synkroniserer kroppens funktioner og tilstande i forhold til jordens rotation. Alle klokkecellerne styres af den supra-chiasmatiske nucleus (SCN), som synkroniserer de enkelte cellers ure, så de går i takt. SCN styres eksternt af lys, primært af kortbølget lys, svarende til naturligt dagslys, med størst lysfølsomhed omkring 480 nm. Uden dagslys vil døgnrytmen løbe frit og være "free-running" med en længere og mere ustabil sleep/wake cyklus på ca. 24'20. Det skyldes at de forskellige ure løber uafhængigt af hinanden og resulterer i en ubalance, mentalt og fysisk, der kan minde om jetlag og som kan undgås når de forskellige ure er i entrainment.



Undersøgelser viser, at threshold for døgnrytmen/det cirkadiske system starter under 100 lux, så selv relativt lave belysningsstyrker kan påvirke døgnrytmen. Se tabel 1.

Belysningsstyrke	Lyskilde
10.000	Lys terapi
100.000	Sommer sol
1.000	Solopgang
10 - 300	Kunstlys
50 - 100	Grænse for cikadisk effekt
0,2	Fuldmåne
0,0001	Stjernelys

Tabel 1. Forskellige naturlige variationer i belysningsstyrke

Lysets betydning for mental sundhed er forholdsvis ny, oprindeligt opdaget af Al Lewi, og senere suppleret af bl.a. Rosenthal, som primært har fundet en ny relation imellem sæsonmæssige udsving og subdepression, kaldet seasonal affective disorder (SAD). I Danmark ligger prævalensen af SAD relativt højt, sammenlignet med vores nordiske nabolande, svarende til 1- 2 % af befolkningen, imens vintertræthed (subSAD) ses hos op til 10 - 12 % af befolkningen.

De forskellige SAD-depressionsgrader kan f.eks. måles på en skala (0-4) ved hjælp Seasonal Pattern Assessment Questionnaire (SPAQ). Stort set alle mennesker viser tegn på humørmæssige udsving i løbet af året. Især unge har en forsinket døgnrytme og udviser tegn på såkaldt "social jetlag", men ældre, som i mindre grad opholder sig udenfor i naturligt dagslys, udviser også tegn på søvnproblemer og problemer med døgnrytmen.

Læge *Elsebeth Tvenstrup* Jensen fra Statens Serum Institut arbejder med at bryde det som betegnes chain of transmission på hospitaler, både hos patienter og hos personale. Statens Serum Institut fokuserer primært på to faktorer; dels på smitte som spredes direkte via kontakt og dels på smitte via droplets. De typer som i dag udgør en stor risiko er bl.a. Staphylococ Aureus/Methylen Resistant S. Aureus/MRSA, der smitter via hud, hænder, åbninger/mund/næse, samt CPO, VRE, som smitter via omgivelser, bl.a. igennem feces (gastrointestinalt) og som kan overleve i lang tid. Især C. Difficile, der kan overleve i bl.a. i støv i op til flere måneder.

Lys har en antiseptisk virkning og kan have en positiv betydning når det gælder de hospitalsinfektioner (HI) som idag udgør 8 - 10 % af alle indlæggelser i DK

Flere studier viser, at lys har en antiseptisk effekt på bakterier, blandt andet på M. Tuberculosis, Pneumococci, Streptococci, Meningococci og Staphylococci. Men der mangler studier af de konkrete bølgelængder og deres betydning for bakterier. I dag anvendes kunstigt UV-C lys til desinfektion af OP og UB-rum, instrumenter, samt til desinfektion af luft og vand, men også UVB og UVA har DNA-muterende, antiseptisk virkning.



Kunstlys

Hospitalernes udvikling op igennem tiden viser et øget energiforbrug til kunstig belysning og i de senere år også til mekanisk ventilation. På de nye, store hospitaler er der områder, som ikke har direkte adgang til naturligt dagslys og som heller ikke kan ventileres naturligt, på grund af dybden i bygningerne. Her vil det være nødvendigt at implementere dynamisk LED-kunstlys og effektiv mekanisk ventilation med varmegenindvinding, hvis indeklimaet skal blive bæredygtigt rent sundhedsmæssigt og rent energimæssigt.

Nyt Hospital Hvidovre (NHH) er ingen undtagelse. Arkitekt *Mads Kaltoft* fra Schmidt, Hammer & Lassen er med til at projektere Nyt Hospital Hvidovre, fra hospitalets interiør og til dets eksteriør. Hospitalet er på i alt 32.000 m² og er bygget op som et basehospital, med fire centrale gårdhaver med adgang til det fri. Hospitalet består af tre etager med sengestuer og OP-rum fordelt jævnt over hele bygningsmassen, med fordelingsarealer fra den nye, centrale hovedindgang, til det eksisterende hospital. Facaderne er fordelt med 25 % mod hvert af de fire verdenshjørner. Fra de lokale receptionsområder bliver der adgang til de forskellige gangområder, med sengestuer og OP-rum på begge sider af gangen. Et centralt vinduesparti for enden af gangene giver dagslys, men skaber samtidig blænding og nødvendiggør godt kunstlys på gangene, ikke kun om aftenen men også i dagtimerne.

Når det gælder LED-kunstlys er der, ifølge professor *Paul Michael Petersen* fra DTU Fotonik både store potentialer og store udfordringer. Der ligger en stor arbejdsopgave i at karakterisere, harmonisere og forbedre LED-kunstlys, bl.a. når det gælder farvegengivelse, farvetemperatur, levetid og økonomi.

Det er vigtigt at være bevidst omkring mange faktorer før man implementerer LED-kunstlys i et byggeri.

I dag kan vi dele markedet ind i to lyskilder; i retrofit-lyskilder og i nye lyskilder. Retrofit-lyskilder har generelt lavere lumenudbytte (80 lumen/W), imens nye lyskilder ved hjælp af forskellige teknologier kan have forskelligt lysudbytte fra ca. 100 lumen/W og helt op til 305 lumen/W. Her spiller farvetemperaturen ind, lavere farvetemperatur medfører lavere lysudbytte. For den samme lyskilde kan fx 5.000 K svare til ca. 145 lumen/W, imens 2.700 K svarer til ca. 120 lumen/W. Når vi taler om High Output (HO) er der i dag ofte flere lyskilder samlet i én enhed. Levetiden for LED-lyskilder beregnes i dag til ca. 20.000 brændetimer (>70 % fungerende LEDs), men forventes at stige til ca. 100.000 brændetimer indenfor de nærmeste år.

I fremtiden vil laser-lys give et endnu større lumenudbytte, på 2100 lumen/W, og med tiden vil de nuværende LEDs erstattes af en ny generation indenfor LED-teknologien som kaldes "kvantum-dots". De kan ændre farvetemperatur

ved at ændre størrelse på farvede lysfelter og forventes både lysmæssigt og energimæssigt at blive en bedre teknologi.

Endelig kan nye LED-lyskilder skabe UV-stråling, herunder UVB-stråling, der virker antiseptisk overfor bl.a. *P. Aeruginosa* og *E. Faecalis*, to af de mest resistente bakterier på hospitalerne i dag. Samme lysbølgelængde-område som i øvrigt gør, at kroppen kan danne D3-vitamin.

Men LED-teknologien er ikke kun en bedre og mere energieffektiv lyskilde. Den skaber også flere udfordringer og problemer.

- Farvetemperaturen i LED-lyskilder er ikke konstant og kan ændre sig med tiden, imod varmere Kelvin temperatur (målt i MacAdams Steps).
- LED-lys kan dæmpes enten ved frekvensdæmpning (med konstant K) eller spændingsdæmpning (med varmere K), men flere LED-lyskilder giver problemer med flimmer ved frekvensdæmpning.
- Problemer med flimmer skyldes ofte dårlige drivere, der ofte udgør en begrænsende faktor når det gælder levetid.
- LED fungerer som en halvleder og afgiver synligt lys igennem et flourescende lag, der kan sammenlignes med CFL. Når vi taler om farvegengivelse, vil nogle farver – alt afhængigt af lyskilde – blive underrepræsenteret, imens andre vil blive overrepræsenteret.
- LED skaber blænding. Det kan derfor være hensigtsmæssigt at sætte lys indirekte og rette lyset mod sidevægge etc. og ikke i nærheden af øjnene. Her spiller afstand til flader, retningsbestemmelse og lysfordeling ind.

Erfaringer fra praksis

Dynamisk LED-belysning har muliggjort, at virksomheden Croma Viso arbejder med Ergonomic Circadian Lighting (ECL) og med døgnrytmestyret lys, primært indenfor sundhedsområdet og ældreplejen. *Torben Skov Hansen* fortalte hvordan dynamisk lys kan understøtte forskellige fysiske aktiviteter og situationer; afslapning, arbejde, koncentration, stabilisering af sleep/wake cyklus, etc.

[Dæmpes lyset om aftenen, dæmper folk automatisk stemmerne og det kan skabe mere ro i aften timerne.](#)

Firmaet har leveret dynamisk LED-belysning til otte større hospitalsafdelinger i Skandinavien. Heriblandt til Åbenrå Sygehus, i et ambulatorie på 20.000 m², hvor der er opsat i alt 1.200 DMX-styrede LED-lysarmaturer, fordelt på to etager med et samlet areal på 10.000 m². Systemet består af IP-baserede integra-

tionsløsninger med en IP-adresse for hvert enkelt armatur. Systemet kan give et dynamisk lys, fra 2.700 K til 6.000 K, fra dagslys til en varm, nærmest ildagtig, aftenbelysning.

Implementeringen af dynamisk lys sker typisk over en længere periode, hvor brugere og planlæggere mødes for at tilrettelægge og tilpasse det dynamiske LED-lys bedst muligt.

Inger Erhardt fra Esbensen Rådgivende Ingeniører arbejder med programmering og planlægning af LED-lys i tæt samarbejde med arkitekter, med udgangspunkt i arkitekturen og dagslyset.

LED-lyskilder er modsat glødepæren vidt forskellige når det gælder farvegengivelse og farvetemperatur, som varierer alt afhængigt af LED-producent. Når det gælder om at vælge bedst lys for pengene, kan det derfor være vanskeligt og her er samspillet imellem lys og farver (metameri) centralt.

Dynamisk LED-kunstlys dækker hele spektret og består ofte af RGBW (rød, grøn, blå, varmhvid) og RGBA (rød, grøn, blå, amber). Når det gælder den installerede effekt, benyttes en simpel tommelfinger regel til forskellige typer lysarmaturer, i forhold til kravene i den nye standard DS/EN 12464-1:

Direkte lys	ca. 4 W/m ²
Opal afskærmning	ca. 8 W/m ²
Uplight	ca. 12 W/m ²

Herudover er der de almindelige krav i bygningsreglementet. Glasarealet i facade (uden karme) skal minimum svare til 10 % af gulvarealet og 7 % af gulvarealet ved ovenlys. Et krav som i øvrigt forventes at stige til 15 % i Bygningsklasse 2020.

Når det gælder planlægning af kunstlyset, spiller dagslyset en vigtig rolle og her er der nogle helt faste regler i bygningsreglementet ved ibrugtagning af nybyggeri.

Be10 kan give stor frihed og gøre det muligt at inddele i flere zoner, med forskelligt energiforbrug. Når vi taler om BR10s energiramme på 71 kWh/m² pr. år, kan den nemt fordeles og designes vidt forskelligt i et byggeri. Men i Bygningsklasse 2020 bliver energirammen reduceret til blot 25 kWh/m² pr. år og her kan det blive sværere at fordele og designe kunstlyset. Det vil udfordre kunstlyset på nye måder og forudsætter rene LED-løsninger.

Når det gælder mere konkret projektering og sikring af belysningskvalitet og belysningsdesign, er det ofte nødvendigt at gå ind og kvalificere de helt klassiske begreber indenfor kunstlyset. Hvad er det vi snakker om? Hvilket belysningsudtryk? Hvilke stemninger: Dagslys – kunstlys – dynamisk lys – atmosfære – hjemlig stemning – arbejdsplads – kommunikation – etc.

Her er det vigtigt at få en dialog på rum-niveau. Hvad ønsker bygherre? Hvordan kan det udføres? Styring igennem én adresse eller flere adresser? Her handler det om at stille så konkrete og specifikke krav som muligt.

Erfaringer fra forskning

Den nyeste viden indenfor lys, døgnrytme og menneske stammer fra NASAs rumprogram. *George Brainard* arbejder for NASA og gør meget for at få kunstlys til at understøtte astronauternes døgnrytme, søvn og sundhed bedst muligt. Siden 1980 har man vidst at lys undertrykker dannelsen af søvnhormonet melatonin. Men først i 2002 fandt man (David Berson et al, Science) ud af hvordan systemet i praksis fungerer ved hjælp af ipRGC. I dag er lys frontline therapy når det gælder behandling af vinterdepression (SAD) og lys benyttes i stigende grad også når det gælder almindelig depression (Non-SAD), demens og spiseforstyrrelser.

NASA har forsket i menneskets søvn siden 1965, idet der ofte er store problemer med søvn og døgnrytme, når astronauter bevæger sig udenfor jordens rotationsbane. I stedet for de anbefalede 8 timers søvn får astronauter typisk kun ca. 6 timers søvn i gennemsnit ude i rummet.

71 – 75 % af astronauterne benytter sovemedicin for overhovedet at kunne sove, det giver en høj risiko for, at de ikke er veludhvilede og øger risikoen for fejl, fejl der kan være fatale for missionen.

Kunstlys kan både understøtte og aktivt ændre døgnrytmen og her kan LED-lys med RGB med Cool White (4.800 K), være med til at understøtte og forbedre døgnrytme og søvn.

Men LED-kunstlys kan vel at mærke kun understøtte døgnrytmen, hvis lysintensitet og farvetemperatur rammer øjets cornea, og ikke skrivebordet. NASA benytter følgende protokol for lysintensitet og farvetemperaturer

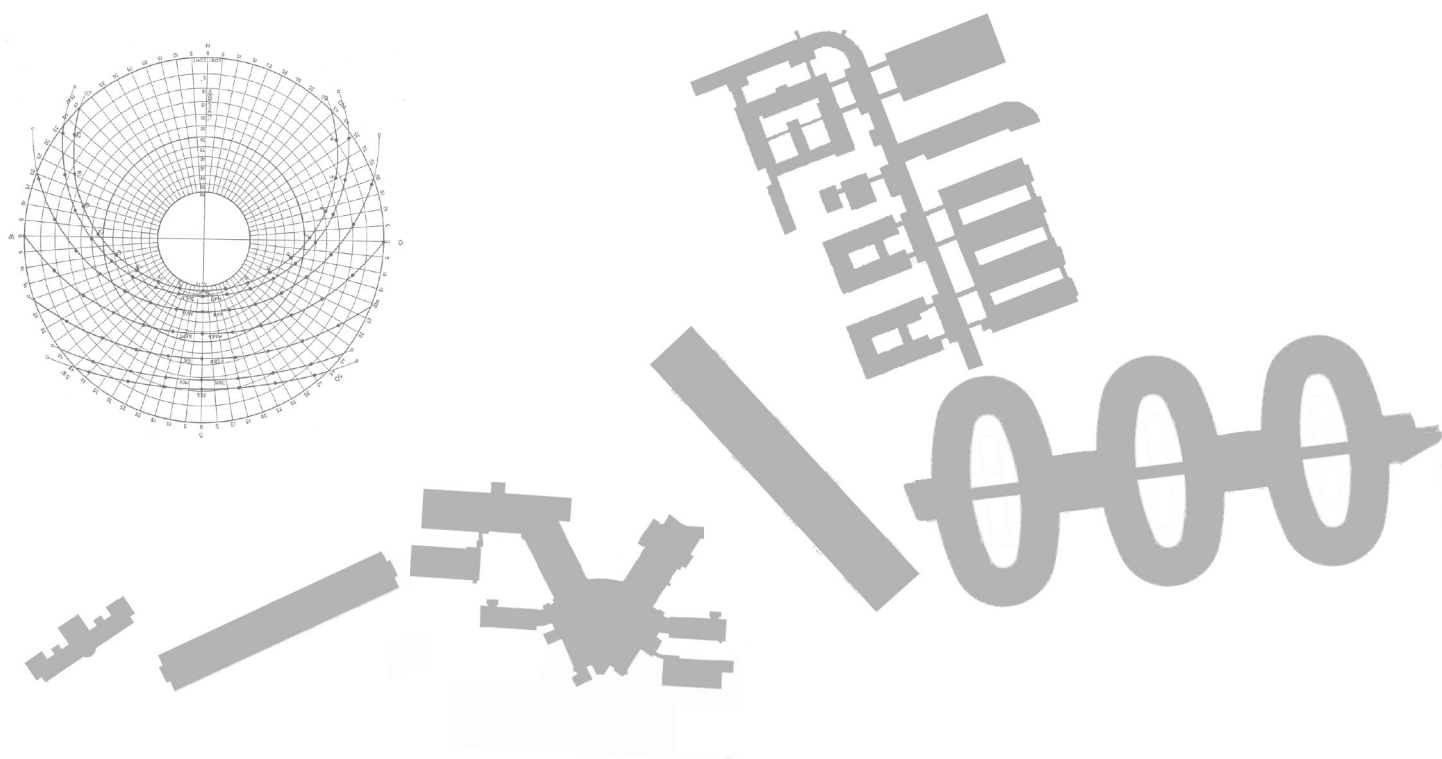
Generelt syn	238 lux, 4.800 K
Koncentration	1270 lux, 6.500 K
Afslapning/søvn (Presleep)	20 lux, 2.700 K

George Brainard arbejder i dag med sengestuer på hospitaler, hvor han monitorerer kropstemperatur, søvn (Actigraphy) og liggetid ved forskellig belysning. Ifølge Brainard muliggør LED-kunstlys en ny fase indenfor lys og lysterapi, idet LED kan kontrolleres mere nøjagtigt. Men det essentielle spørgsmål er, om vi kan kombinere visuel stimulation med stimulering af døgnrytme (cirkadisk homeostase). Det viser sig at være en stor udfordring.

Det kan være en udfordring at tilgodese den naturlige farvegengivelse, naturlig hudfarve og samtidig imødekomme krav om dynamisk lysstyring.

Brainard fortalte blandt andet om hvordan astronauterne efter endt mission i rummet, omhyggeligt bliver undersøgt for hydrozene, et giftigt og kræftfremkaldende raketbrændstof. Det sker i en test som er meget lys- og farvefølsom og hvor netop lys med naturlig farvegengivelse er essentielt. Et andet spørgsmål er, hvordan tilgodeser vi forskellige brugere? Og forskelle imellem deres behov for lys? Det kræver prioritering imellem svært forenelige interesser og kræver mere evidensbaseret viden om lys..

I NASA arbejder man videre indenfor både kunstlys og dagslys, bl.a. med studier af nye afskærmningssystemer med forskellige farver (sort og blå), som kan sænke intensiteten af lyset til under 20 lux. George Brainard, sætter også forskningsmidler af til forskning indenfor lys på skoler og undervisning. Han sluttede sit indlæg af med at konkludere "the door is very open to new technology".



1910

1930

1950

1970

1990

2010

Forskellige bygningstypologier fra henholdsvis Bispebjerg Hospital, Aarhus Kommune Hospital, Glostrup Hospital, Rigshospitalet, Skejby Hospital og New Birmingham Hospital

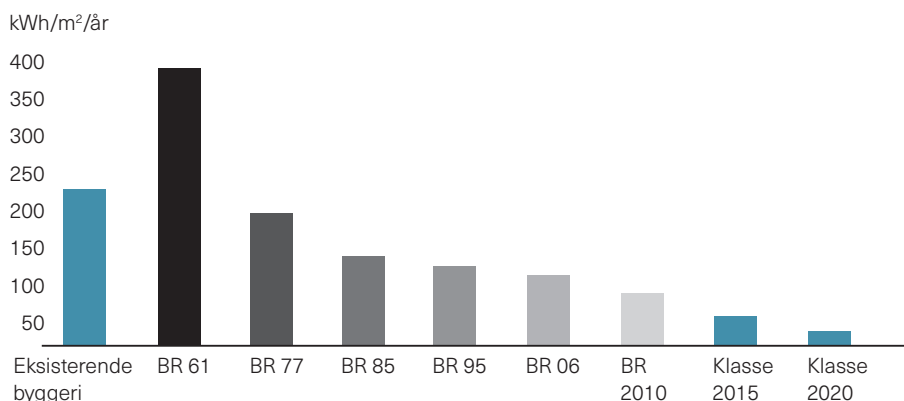
Energi

Udviklingen for hospitaler igennem de seneste 100 år generelt gået mod større og mere kompakte hospitaler, der alle i stigende grad bruger mere energi. Dels til ventilation, dels til elektrisk belysning og - igennem de seneste årtier - dels til køling. Udviklingen fra 1900-tallet og frem til i dag kan overordnet inddeles i to perioder; i førkrigs-hospitalerne fra 1900-tallet og frem til 1945, og i efterkrigs-hospitalerne fra 1945 og frem til i dag. Førkrigshospitalerne er karakteriseret af udpræget brug af naturlig ventilation og naturligt dagslys, klart jernfattigt glas, fokus på orientering i forhold til solens lys, øgede loftshøjder, der optimerede både lys og luft i det indendørs miljø.

Efterkrigshospitalerne er karakteriseret ved markant større hospitalsenheder, med mere kompakte bygningstypologier, lavere loftshøjde og øget bygningsdybde. I disse hospitaler bliver dagslysets kvalitet og sundhedsmæssige betydning overset og glemt, i stigende grad erstattet af bedre medicinsk behandling. Som et resultat af arkitekturen, stiger energiforbruget til ventilation og kunstlys.

Når vi i dag står og skal bygge nye hospitaler i Danmark kan vi følge to spor, eller rettere tage det bedste fra begge byggeperioder. Udfordringen bliver at kombinere de gamle sundhedsmæssige elementer med de nye krav til energiforbrug i Bygningsklasse 2020. Netop hospitalerne bliver de første byggerier, som skal overholde den nye, skærpede energiramme på 25 kWh/m² pr. år. Men rent energimæssigt er udgifterne til driften af et hospital langt mindre end udgifterne til sundhedsfremmende og forebyggende behandling, svarende til ca. 0,4 % af den samlede driftsøkonomi for et hospital. Ofte har disse sundhedsmæssige elementer været "The elephant in the glassbox", der ikke figurerer i beregningsarkene. Hverken i dag, eller for den sags skyld sidste gang vi planlagde store hospitalsbyggerier i Danmark tilbage i 1980'erne.

I dag står vi med mere solid og evidensbaseret viden og vi har i dag muligheden for at rette op på efterkrigstidens hospitalsarkitektur og tilføje et mere holistisk perspektiv når vi investerer 45 mia. kr. i sundhedssektoren.



Oversigt over udviklingen af energikrav i det danske bygningsreglement frem mod 2020.
Kilde Energi + Arkitektur, Solar City Copenhagens Forlag 2012

Erfaringer med dagslys og energi

Kjeld Johnsen fra SBI beskæftiger sig med facadeudformning og lavenergibyggeri og her er lyset - og hvordan lyset påvirker mennesket - et af de centrale elementer. Særligt hvordan man kan optimere facaden og få skabt det bedst mulige indeklima for brugerne.

Facaderne er fuldstændig afgørende for energiforbrug og for indeklima, for oplevelsen af rummet, og for hvor meget lys der kommer ind i rummet. Det er åbenlyst, men alligevel kan det være nødvendigt at gentage det flere gange. Når vi kigger på de igangværende hospitalsbyggerier, så bygges de på mange forskellige måder, og de er altså heller ikke lige vellykkede alle sammen. Nogle er bedre end andre, og de er måske også lidt dyrere, men måske kan det godt betale sig når sundhed også tages i betragtning.

Udviklingen i energikravene i Danmark har været meget markant og allerede fra BR2015 vil vi have store problemer med at opfylde energirammen. Hvis vi bygger efter alle gode forskrifter kan vi knapt overholde kravene i BR2015, som er 41 kWh/m² pr. år og slet ikke 25 kWh/m² pr. år som bliver kravet i Bygningsklasse 2020, når det er nået igennem den endelige høring i EU.

Derfor vil vi i disse år se en masse solpaneler på nye byggerier. Solcellepaneler kan godtgøre for det - uundgåelige - merforbrug udover de 25 kWh/m² pr. år. På den måde overholdes Bygningsklasse 2020, men det er ikke en egentlig reduktion i bygningens energiforbrug, blot en compensation for et for højt energiforbrug i forhold til Bygningsklasse 2020.

Hvordan skal hospitalerne i Danmark så overholde kravene i Bygningsklasse 2020? Hvordan vil fordelingen af energi se ud? Det er i den forbindelse centrale spørgsmål. Kjeld Johnsen mener slet ikke at det er muligt at overholde kravene i Bygningsklasse 2020 uden at have solpaneler eller lign. Det bliver en nødvendighed, ingen kan overholde kravene uden, ved blot at bygge en passiv bygning. Denne energimæssige udvikling har desværre ført til en situation, hvor ingeniøren i dag optræder som arkitektens "bogholder" og kun har fokus på, hvilke "kneb" der skal til, for at man kan holde grænsen på 25 kWh/m² pr. år. Svaret er, at det ikke er muligt. Det er kun muligt ved at tilføre solpaneler eller lignende, såsom køling fra havet, etc. Det er ærgerligt, når alle ved, at det ikke er måden, hvorpå vi skal tegne et bedre og sundere byggeri. Men ikke desto mindre er det det, der sker i dag.

Meget tyder på at Bygningsklasse 2020 vil få konsekvenser for byggeriet. Ekstern solafskærmning vil blive en del af byggeriet, med mindre arkitekterne lærer at reducerer vinduesåbningerne og begrænse glasarealer mod S og V og differentierer facaderne med henblik på passiv køling. Fysisk afskærmning er også en god mulighed, men i den forbindelse er det vigtigt, at brugeren selv kontrollerer sollyset og at afskærmningen tager udgangspunkt i brugerens behov.

Den interne varmelast og dens betydning for indeklimaet beregnes med beregningsprogrammerne BSim eller IES-VE. Her er det afgørende, at den interne varmelast afstemmes nøje med virkeligheden og ikke estimeres for højt. Der

er eksempelvis stor forskel på om der beregnes ud fra én person eller to personer i et rum. Eller om personerne er gående og aktive med høj metabolisme (90 W), siddende (60 W) eller sengeliggende med lav metabolisme (40 W). Hvis der i varmelasten medregnes en sygeplejerske eller et familiemedlem, er de sandsynligvis heller ikke til stede hele tiden, ligesom det næppe er realistisk at antage, at belysning eller fjernsyn (60 W) er tændt fra kl 07.00 til kl 23.00.

Når det gælder den interne varmelast kan den nemt sættes for højt, worst case, og bør balanceres omhyggeligt ud fra et vægtet gennemsnit og ud fra sund fornuft.

Måske kan ingeniørernes beregningsmæssige hensyn, påvirke både glas- og dagslyskvalitet negativt og her bør man være forsigtig med at overestimere. Gangområder kan også være en bufferzone, der kan være med til at køle sengestuer/OB-rum, på en varm sommerdag med 24 °C, betyder en åben dør til gangområderne, at luft med en temperatur på 22,5 °C kan være med til at køle. Det er derfor vigtig at tænke hele bygningen igennem når det gælder BSim- og IES-VE beregningerne. En sengestue på et hospital kan i virkeligheden sammenlignes med et almindeligt soveværelse i hjemmet, altså uden den store interne varmelast og uden det store behov for fysisk solafskærmning.

Hospitalsbyggeri og Bygningsklasse 2020

Internationalt findes der ingen bygningsreglementer der er ligeså skrappe som Bygningsklasse 2020. Ifølge en af grundlæggerne af Bygningsklasse 2020, *Finn Lauritzen* fra Øresundskomiteen, blev Bygningsklasse 2020 til i 2009, som resultat af regeringens ambitiøse planer om en omfattende reduktion af energi på hele 75 % i forhold til BR06 frem imod 2020. BR20 bestemmelserne benyttes i dag som definition af Bygningsklasse 2020, som er et frivilligt tilvalg fra bygherren. De 16 hospitalsbyggerier, der er støttet af Kvalitetsfonden opføres alle som Bygningsklasse 2020, og kan som følge heraf søge om ca. 1 Mia. Kr. ekstra. Man forventede at det vil blive 5 - 7 % dyrere at bygge indenfor Bygningsklasse 2020 end BR10, men nu ser det ud som om det kun er ca. 2 - 3 % dyrere, og allerede i dag er der mange bygherrer, der vælger at følge Bygningsklasse 2020.

Når det gælder Bygningsklasse 2020 og bæredygtighed handler det ikke kun om den aktuelle energibalance, men også den langsigtede balance imellem bæredygtighed og bygningernes overordnede levetid og kvalitet. Ligeledes er sundhed et vigtigt emne, blandt andet PCB-giftstoffer i tætte byggerier, samt med lys, overtemperaturer og høj varmelast, på grund af flere dårlige eksempler med store, sydvendte glaspartier. Endelig var der også stor fokus på særlige krav til særlige bygninger, såsom hospitaler, og om hvorvidt de overhovedet skulle være underlagt Bygningsklasse 2020. Hvilket de alligevel blev.

Finn Lauritzen er i den forbindelse betænkelig og ked af at høre, at det næppe kan lade sig gøre at overholde energirammen i Bygningsklasse 2020. I den sammenhæng er det muligt, at søge om dispensation fra enkelte krav i Bygningsklasse 2020. Vi er på vej imod et paradigmeskifte, fra at betragte solen

som en kilde til nyttig passiv opvarmning, til i stigende grad, at forbinde sollyset med overtemperaturer og for høj ekstern varmelast. Lys er i hospitalsmæssig sammenhæng en meget vigtig faktor og i høj grad overset på hospitaler. Der er i dag tydelig og klar evidens på at lys, i flere sundhedsmæssige sammenhænge er endog meget vigtigt og helt centralt, når vi bygger hospitaler i dag.

Alt tyder på at 2-lags ruder med jernfattigt glas er den rette løsning for at få det rette spektrum af dagslys ind, som tidligere anvist af Carlo Volf. Ikke kun for psykiatriske patienter, hvor det rette dagslys kan forkorte deres sygdomsophold markant, men også somatiske patienter. En evt. merudgift kan tjenes hjem flere gange i løbet af hospitalets forventede levetid.

Det vigtigt at vi ikke mister overblikket i beregningsprogrammer og anser vinduet som en lukket del af facaden, men rent faktisk tager højde for, at vinduet kan åbnes og være med til at reducere overtemperaturerne i sommerperioden hvor de er højest.

Solcellepaneler er blevet en del af det samlede energiregnskab – uanset at det overordnet set, slet ikke er bæredygtigt at have mindre, decentrale solpaneler, og selvom man vidste fra starten, at det ville blive meget svært at overholde kravene uden brug af solpaneler. Man gjorde det fordi, at det ville være et klart signal og incitament til industrien om at udvikle og optimere energirigtige løsninger.

Begrænsninger og muligheder i Bygningsklasse 2020

Ifølge *Kim B. Witchen* fra SBI er Be10 et kalkulationsværktøj til, at dokumentere og sammenligne byggerier. Be10 indeholder almindelige standardværdier og faktorer, såsom intern varmelast, antal personer, udstyr, temperaturer, forbrug af varmt vand, timeforbrug, driftstid, etc. og gør det muligt at overskue og sammenligne bygningers energiforbrug på tværs af hinanden når et byggeri godkendes.

Energirammen i Bygningsklasse 2020 beskriver to bygningstyper, henholdsvis kontorer 25 kWh/m² pr. år og beboelse 20 kWh/m² pr. år (uden belysning). Det dækker de grundlæggende elementer; opvarmning, køling, ventilation samt varmt vand. Herudover kan man blande de to typer i "mixed use", samt udvide energirammen baseret på den aktuelle brug af bygningen, fra f.eks. 45 timer/uge til 168 timer/uge. Et hospital kan nemt ende med at have et tillæg til energirammen, som er højere end selve energirammen, f.eks. 75 kWh/m² pr. år.

De to bygningstyper har hver deres fordele og ulemper. Man kan med fordel se på mulighederne for frit at kombinere i zoneinddeling, men de forskellige zoner skal overholde den enkelte bygningstype. For bygningstypen beboelse er der (modsat kontorer) faste regler for overtemperaturer: 100 timer over 27 °C og 25 timer over 28 °C, altså 1 grad højere end angivet i indeklimastandarden.

Herudover er der krav om varmegenvinding ved ventilation, på min. 85 %, samt krav om godt indeklima, herunder velbelyste rum. I dag er det tilladt at dække en del af energibehovet ved brug af renewable energy sources (RES), men i Bygningsklasse 2015 (Be15) og Bygningsklasse 2020 må vedvarende energikilder maksimalt medregnes med 25 kWh/m² pr. år. På den måde virker Bygningsklasse 2020 positivt stimulerende for modernisering og nyudvikling af teknologier, materialer, komponenter, drift, etc, men vi skal passe på ikke at lave "technology fix", men i stedet skabe helhedsorienterede og kloge, samlede løsninger indenfor byggeriet.

Vi står i et paradigmeskift frem imod Bygningsklasse 2020 hvor vi i stigende grad kommer til at tale om varmelast i stedet for varmebidrag.

Lavenergiarkitektur og dagslys

Seniorforsker *Rob Marsh* har forsket i udviklingen af bygningsdesign op igennem 80'erne og 90'erne. I 1970'erne var langt størstedelen af husene dårligt isoleret med maksimum 150 mm isolering. Opvarmningen var baseret på olie-baseret opvarmning og langt den største del af energiforbruget gik til opvarmning. Siden 1977 og frem til 2005 har vi strammet op på energiforbruget til opvarmning, men i stedet øget energiforbruget til ventilation, airconditioning og belysning.

Det er et paradoks at vi har reduceret varmetabet markant, med bedre vinduer, øget isolering og varmegenindvinding, samtidig med at varmelastningerne fra ukontrolleret elektrisk udstyr er blevet øget og den termiske masse i bygningskonstruktionerne er blevet markant mindre. Det skaber en helt ny balance i byggeriet, hvor den mindre termiske masse medfører, at varme-balancen i byggeriet ændres med større energiforbrug og dårligere termisk indeklima til følge.

I 2005 blev energirammen introduceret for første gang på grund af et EU-direktiv. Men energibehovet til opvarmning fylder mindre og mindre, og er i dag ret beskedent i forhold til det store elektricitetsforbrug, der slet ikke medregnes i energirammen. Vi er nødt til at se på byggeriet i et mere holistisk perspektiv.

I takt med at vi har sparet energi og CO₂ til opvarmning, har vi siden slutningen af 1990'erne brugt mere og mere energi og CO₂ på mekanisk ventilation og belysning samt elektrisk udstyr som ikke medregnes.

Der bruges stadig mere energi på mekanisk ventilation af bygninger i Danmark, og det er unødvendigt i sommerperioden, hvor der er gode muligheder for at ventilere ved naturlig ventilation. Vi kan spare en masse penge, hvis vi i stedet ventilerer naturligt ved blot, at åbne vinduerne. På det eksisterende Hvidovre Hospital er det et faktum, at de ikke-oplukkkelige vinduer skaber problemer med overtemperaturer. Imens kombinationen af naturlig og mekanisk ventilation på Ny Herlev Hospital ikke skaber problemer med overtemperaturer.

Isoleringen af byggeriet kan ikke øges mere end Bygningsklasse 2020. En U-værdi på 0,09 kan ikke blive lavere uden at bygningsareal reduceres, dagslysforhold forringes og byggeriet fordyres, samtidig med at materialeforbruget øges (beton, m.m.) uden at bidrage væsentligt til en bedre energi-performance. Der er lavet forsøg med isolering helt op til 900 mm og de sidste centimeter bidrager direkte negativt til det samlede energiforbrug, hvis bygningsmaterialer inddrages i CO2 regnskabet. I stedet handler det om at proportionere/dimensionere byggeriet rigtigt og få naturligt lys og luft ind i byggeriet, her handler det om ren geometri: dybde i forhold til højde, etc. På hospitaler gælder det om at have en særlig stor rumhøjde, for netop at skabe godt naturligt dagslys og god naturlig ventilation.

Byggeriet er generelt blevet meget mere komplekst, men der er mange forhold hvor teknologien skaber problemer på brugerniveau i praksis. Samtidig peger alle forskningsresultater på, at tilfredsheden med indeklimaet i bygninger med mulighed for at åbne vinduet er langt større end i bygninger drevet af teknologiske løsninger, uden mulighed for at ventilere naturligt.

Mere viden om naturlig ventilation og om naturligt dagslys er nødvendig, og til en vis grad overset og glemt igennem de seneste 20 års udvikling – som primært har været teknologidrevet. Vi bliver nødt til i stigende grad at starte med de grundlæggende og helt fundamentale, arkitektoniske forhold. At fokusere udelukkende på Bygningsklasse 2020 kan være et problem. Der skal overvejes omkring det eksterne energiforbrug ind.

Ligesom dagslyskvaliteten også bliver udfordret i Bygningsklasse 2020. Det sker ud fra en ensidig fokusering på energi og på øgede gennemsnitlige dagslysfaktorer på 3 %, baseret på uddrag fra Energistyrelsens frivillige høring. På den måde bliver dagslyskvaliteten udfordret, i forhold til den eksisterende Bygningsklasse 2015, som i højere grad tager højde for andre forhold; obstruerende bygninger, geografisk orientering, etc.

Erfaringer med dagslys, energi og hospitalsbyggeri

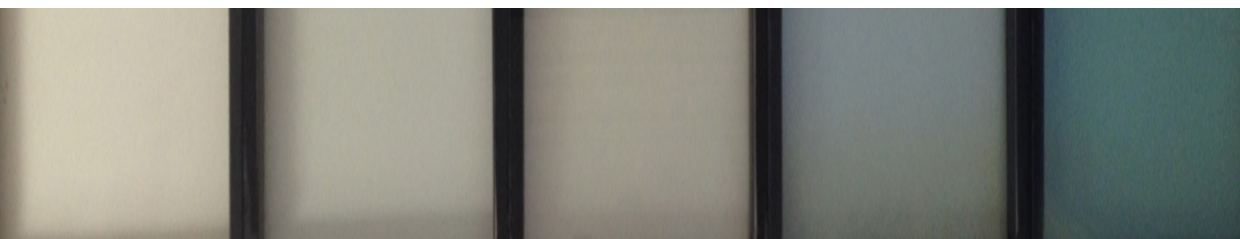
Jakob Strømmand Andersen, Henning Larsen Arkitekter arbejder med Ny Herlev Hospital. Ny Herlev Hospital skulle oprindeligt overholde Bygningsklasse 2015, men valgte at overholde Bygningsklasse 2020, for at få yderligere 2,3 % af den samlede anlægssum. Ny Herlev Hospital består af to runde bygninger med åbne gårdhaver i midten, bygningerne er inddelt i forskellige zoner baseret på bl.a. livscyklus og fleksibilitet. Sengestuerne er eksempelvis grebet anderledes an end andre områder, såsom base og OP-rum. Dagslys handler om meget mere end energi, og kan være med til at spare på sygedage og øge trivsel hos personale og på den måde skabe meget mere værdi end det reelt kan skabe i energimæssig besparelse. Det er vigtigt at gøre sig klart, at energiforbruget til drift af et hospital blot udgør 0,4 % af den samlede driftsøkonomi.

Udgangspunktet for dagslys på hospitaler er ikke energioptimering, men bedre restitueringsmiljø, højere effektivitet, bedre arbejdsmiljø.

Ny Herlev Hospital er inddelt i zoner med forskellig livscyklus/renoveringsgrad/ombygningsgrad, og det får direkte indflydelse på arkitekturen. På Ny Herlev Hospital er facaden differentieret, ud fra samme metode som Nyt Hospital Hvidovre som anvist i Carlo Volfs Ph.D.-afhandling "Lys, arkitektur og sundhed - en metode". Facaderne differentieres asymmetrisk så de virker passivt kølende for bygningen. Vinduesåbning er mindst mod S og V (B: 1,4 m) og størst mod N (B: 2 m). Det giver stort set ens dagslysmængde på alle sengestuer, målt i dagslysaugtonomi, baseret på vejrdato, for de forskellige verdenshjørner. På den måde undgås ekstern afskærmning, som er både svær og dyr at vedligeholde i etagebyggeri. På Ny Herlev Hospital er der derfor kun fysisk afskærmning i stueplan. Der er lavet en fysisk mock-up af en sengestue i 1:1. Vinduer kan kun åbnes ca. 30 grader, for at ventilere naturligt og samtidig undgå ulykker. Den mekaniske ventilation kører selvom vinduet åbnes, hvilket er muligt på grund af den beskeden størrelse på det åbenbare vinduesparti.

En af forskellene imellem Bygningsklasse 2015 og 2020 er kravet om positiv E_{ref} . Ny Herlev Hospital har p.t. valgt at benytte 3-lags jernfattigt glas i stedet for 2-lags jernfattigt glas. En 2-lags rude med træramme viser sig nemlig ikke at kunne overholde kravet om positiv E_{ref} i Bygningsklasse 2020, hvilket helt konkret betyder, ekstra 1.100 m² solpaneler på tagene for at kompensere for et ekstra energiforbrug til køling.

Ved vinduer under H: 86 cm fra gulv kræver Bygningsreglementet at der anvendes lamineret eller hærdet glas af sikkerhedsmæssige hensyn – ligesom der placeres en sikkerhedsbøjle i vinduet, der på Ny Herlev Hospital også fungerer som ryglæn. Fordi lamineret glas ikke transmitterer UVB-lys, faldt valget i stedet på hærdet glas. Vindueslysningen er iøvrigt vinklet for at øge udsigten fra sengeområdet og reducere kontraster imellem udenfor og indenfor. En kanopé over vinduet giver dagslys dybt i rummet og danner samtidigt mulighed for at placere LED-kunstlyset helt skjult, uden blænding.



Visualisering af en sengestue på Nyt Hospital Hvidovre (ø). Illustration: Schmidt, Hammer & Lassen Arkitekter. Forskellige glastyper (n) fra 2 lags jernfattigt glas (tv) til solafskærmende 3 lags floatglas (th). Foto Carlo Volf

Diskussion: Hvad skal der til for at få os derhen hvor vi gerne vil?

På baggrund af de tre workshops indgår i alt otte parametre og nøglebegreber som en del af problemerne og løsningerne når det gælder planlægning af sundere dagslys og kunstlys – med udgangspunkt i fremtidens krav om lavenergiarkitektur indenfor Bygningsklasse 2020.

Udvendig solafskærmning

Nyt Hospital Hvidovre har som udgangspunkt ikke villet have udvendig solafskærmning, men ender med at få det. Ny Herlev Hospital benytter ikke ekstern afskærmning. Det kan skyldes bl.a. at der er stor forskel imellem fordelingen af OP-rum i forhold til Nyt Hospital Hvidovre. Samt at Ny Herlev Hospital er zoneinddelt i områder. Men det kan også skyldes flere andre forhold.

Intern varmelast

Meget tyder på at beregningen af den interne varmelast er afgørende og kan resultere i forskellen imellem de to forskellige hospitaler. Selv med en højere total-højde på 4.6 m (på grund af mekanisk ventilation/rør samt bindinger i forhold til etagehøjden på eksisterende Hvidovre Hospital) projekterer Nyt Hospital Hvidovre, modsat Ny Herlev Hospital, med ekstern afskærmning. Nyt Hospital Hvidovre har en reel indvendig loftshøjde på 2,95 m imod 2,7 m på Ny Herlev Hospital. Forskellen kan skyldes at den anderledes fordeling imellem sengestuer og OP-rum skaber problemer i beregningerne med for mange mennesker (worst case/intern varmelast), og dermed skaber øget behov for ekstern afskærmning.

Det er vigtigt at der ikke estimeres unødvendigt højt når det gælder den interne varmelast. Det betyder eksempelvis meget, at der opholder sig færre mennesker/udstyr i OP-rum (3 prs i stedet for 4 prs) og på sengestuer (2 prs). En patient under en dyne afgiver stort set ingen varmeudstråling til rummet, imens en afslappet, hvilende patient afgiver 70W og personalet, som er mere aktivt kan afgive 90W. Tidsrummet på 48 timer for OP-rum og 168 timer for sengestuer, er også afgørende for den interne varmelast. Vi behøver at være meget specifikke for ellers kan vi ikke dimensionere/planlægge sundere dagslys og facade, og ingeniørerne planlægger ofte den specifikke temperatur ud fra laveste fællesnævner.

Worst case scenario placeres i alle rum på et nyt hospital.

En sengestue 19 m² ekviperes for en sikkerheds skyld med en masse udstyr. Det skyldes krav om fleksibilitet. Men kravet om fleksibilitet kan afviges, ligesom på Ny Herlev Hospital. Her estimeres alle sengestuerne til at forblive sengestuer i 30 år, ligesom de forskellige afdelinger differentieres ud fra specifikke erfaringer

fra det eksisterende Herlev Hospital. Sengestuer på Ny Herlev Hospital ændres kun hvert 30. år, hvorimod OP-rum udskiftes løbende i højere grad. Omtrent 10% af hospitalsbygningen estimeres, at blive ændret årligt.

Ekstern varmelast

På en varm sommerdag (maj - august) ses en maksimal varmelast fra solen på ca. 600 W/m², men når det er overskyet kan den eksterne varmelast være nede på 50 W/m² eller mindre. Solens lys er altså en temmelig afgørende omend uforudsigelig faktor, som kun forsigtigt og groft kan estimeres. Ligesom der er store forskelle imellem de fire verdenshjørner Ø, S, V, N, afhængigt af tidspunkt på dag og tidspunkt på år. Hvis man vil gøre noget ved overtemperaturer og varmelasten er kontrol af sollyset en vigtig og central nøgle.

Naturlig ventilation

Ingeniørerne tager ofte ikke hensyn til muligheden for naturlig ventilation ved åbning af vinduer i beregningerne, men medtager kun det, som kaldes infiltration. Det betyder, at de ikke regner vinduet som en reel faktor i simuleringerne. Dette er et stort og helt afgørende problem, når vi taler om overtemperaturer, dagslys og indeklima generelt.

De bedste bygninger er dem helt uden vinduer, der kan åbnes, for de er nemmest at kontrollere (citater: unævnt professor, DTU).

Hvis de tager det med, vil deres simuleringstværværktøjer blive udfordret. Men uden naturlig ventilation vil solen meget hurtigt skabe overtemperaturer - selv i nordvendte sengestuer, som på den måde vil få problemer med overtemperaturer, når ingeniøren overser muligheden for at åbne vinduet.

Det oplukkelige vindue. Ingeniørerne på Nyt Hospital Hvidovre betragter blot vinduet som en komfort for patienten og slet ikke som en mulighed for køling, fordi det snarere kan belaste AC-anlægget negativt. Men et åbenbart vindue vil skabe mere komfort og bidrage til at reducere CO₂-niveauet i rum med flere personer. Bortset fra meget korte perioder om sommeren, vil et åbent vindue generelt virke kølende for et rum med temperaturer over 24° C. Ligesom muligheden for at åbne vinduet kan stimulere sanser; lyde, dufte, tidspunkt på dagen, forår, efterår, samt give mulighed for ren morgenluft.

AC-anlægget kan i den forbindelse automatisk gå på standby når vinduet åbnes eller reduceres fra 6x luftskifte til f.eks. 2x luftskifte i de perioder (i dagtimerne) hvor vinduet sandsynligvis åbnes. Det koster samlet set ikke ekstra, at vinduet åbnes og det er ikke et reelt problem for det samlede energiforbrug i en bygning, og kan omvendt ligefrem være med til at reducere energiforbruget til køling.

Luftskifte

Et andet problem er luftskifte. Der er planlagt 4x luftskifte i timen på Nyt Hospital Hvidovre. Det er ikke et krav i Be10 men blot en standard som Søren Jensen Ingeniører vælger at arbejde ud fra, og på DNU og OUH er den lidt højere, på x6 luftskifte. Det svarer til et luftskifte på 200 m³/time, hvor Ny Herlev Hospital er på 180 m³/time. Begge hospitaler varierer luftskiftet imellem sommer/vinter, således at der kun er halvt så stort luftskifte i vinterperioden (x2 luftskifte).

Overtemperaturer

Bygningsklasse 2020 stiller krav om maksimum 100 timer med temperaturer over 26 °C og maksimum 25 timer med temperaturer over 27 °C. Men kravene om overtemperaturer er ikke hellige, og kan ligesom alt muligt andet i byggeprojektet, differentieres imellem OP-rum og sengestuer. Bygherre kan dispensere; eksempelvis i OP-rum, hvor der opholder sig flere folk, i kortere tid ad gangen, og hvor det måske vil betyde mindre med overtemperaturer.

Positiv E_{ref}

Kravet om positiv E_{ref} udfordrer tolagsvinduer. E_{ref} består på den ene side af G_g , samt på den anden side U_w , i forhold til glasareal. Som vi har set, er det en ret fin balance om det lykkes at overholde Bygningsklasse 2020 eller ej med tolags jernfattigt glas. På Nyt Hospital Hvidovre ser det ud til at lykkes, imens Ny Herlev Hospital holder sig til trelags jernfattigt glas. Det afgørende i den sammenhæng er vinduesrammen og dens U_f -værdi; her kan rammer i træ være et problem. Det bør bemærkes, at der ifølge høringssvar vedr. fra BR15 (og hermed også for Bygningsklasse 2020), er mulighed for fritagelse for kravet om en positiv E_{ref} , hvis det kan retfærdiggøres, at der er en energimæssig gevinst ved det.

- Krav om en positiv E_{ref} giver mening når vi taler om et mindre hus hvor opvarmning er det primære problem, men det giver simpelthen ikke mening når vi taler om et hospital.
- Når vi taler om positiv E_{ref} , er der i dag en tendens til at tale om trelagsruder, men SBI har kigget på det, og kan sammen med Carlo Volf bekræfte, at det er muligt at anvende jernfattig 2-lags rude og opnå positiv E_{ref} . Vinduet får en samlet U -værdi på 1,2 W/m²K, der er markant højere end for et vindue med 3-lags rude (0,8 W/m²K), men samtidig øges solvarmetilskuddet med ca. 60 - 65 %.
- I den sammenhæng kan trelagsvinduer med lavere U -værdi betyde, at varmen forværres og forbliver længere tid inde i bygningen og dermed indirekte øger den samlede varmelast. Omvendt kan 2-lags rude være med til, at reducere varmelasten ved at virke kølende og på den måde indvirke positivt på indeklimaet.

Politisk dispensation

Hvordan kan vi bygge de bedst mulige hospitaler? Hvordan gør vi og kan vi løse de udfordringer vi står overfor? Hvis ikke, hvordan skal vi så dispensere for Bygningsklasse 2020? At holde fast i jernfattigt 2-lags rude synes at være et godt, velargumenteret udgangspunkt rent sundhedsmæssigt. Måske vil en løsning være at søge om en dispensation hos Trafik og Byggeministeriet fra den faste energiramme på 25 kWh/m² pr. år og på den måde undgå, at projektere en masse solceller på taget, hvilket alle parter er enige om virker uklogt og uhensigtsmæssigt. Vel at mærke uden at hospitalerne mister den ekstra bevilling på 2,3 % af byggesummen.

Bygningsklasse 2020 kravet til hospitaler blev sat for at skabe state of the art hospitaler og skabe nye og bedre hospitaler, men måske kan vi bygge noget der er endnu bedre end Bygningsklasse 2020 hvis vi bygger med sundhed som en driver. Baseret på en mere holistisk tankegang, hvor de i denne rapport nævnte sundhedsmæssige elementer og aspekter inddrages på lige fod med energikrav.

Det er muligt at søge om mindre dispensationer fra energirammen hvis der er gode argumenter herfor. Politikerne vil være lydhøre overfor dem og give dispensation fra Bygningsklasse 2020, hvis det betyder, at vi får bedre hospitaler i Danmark. Men det er en lang og politisk proces, som involverer både Trafik og Byggeministeriet og Indenrigsministeriet.

Perspektivering

På baggrund af denne rapport om lys og sundhed viser det sig, at Bygningsklasse 2020 udfordrer sundere glas/dagslyskvalitet og at LED-belysning rummer både udfordringer og muligheder når det gælder sundhed. Når det gælder lavenergiarkitektur udgør beregningsgrundlaget en udfordring. Især dynamiske faktorer såsom intern og ekstern varmelast samt naturlig ventilation er problematiske at beregne, men særdeles effektive i både forebyggelse og bekæmpelse af de overtemperaturer, der primært finder sted i sommerperioden. Da Bygningsklasse 2020 er baseret på beregningsprogrammer som BSim, IES-VE og Be15 udgør de dynamiske faktorer et reelt problem og der mangler simpelthen erfaring med hvordan ekstern varmelast og naturlig ventilation håndteres i praksis. I den forbindelse er det slet ikke udelukket at energioptimering og sundhedsoptimering kan gå hånd i hånd. Men det kræver flersidet fokus på sundhed, dagslys og energi når vi planlægger byggeriet. Ensidig fokusering på optimering af energiforbrug i Bygningsklasse 2020 skaber ikke de sundeste – og i længden mest bæredygtige – byggerier i Danmark og de nye krav til energi kan gøre det svært at arbejde i en fælles arbejdsproces og med en fælles målsætning om at udnytte dagslysets sundhedsmæssige potentialer bedst muligt.

Når vi taler om sundhed og lys har denne rapport eftervist flere tætte sammenhænge, omkring liggetid, D-vitamin, hospitalsinfektioner, søvn, humør, etc. I samarbejde med Realdania afprøves nu muligheden for i praksis, at se på hvordan det kan lade sig gøre, på basis af rapporten at få dagslys, kunstlys, sundhed og energi til at gå op i en højere enhed i facadeplanlægning. Det vil ske i følgende to faser:

1. Igangværende planlægning af facader på Nyt Hospital Hvidovre gennemføres med jernfattigt 2-lags glas, mekanisk ventilation og naturlig ventilation i form af åbenbare vinduer. I første omgang uden at aktivere den fysiske, eksterne afskærmning. I 1:1 mock ups testes forhold, såsom risiko for overtemperaturer – i forhold til facader uden vinduer der kan åbnes. Her vil betydningen af den naturlige ventilation dokumenteres for, at skabe den erfaring fra praksis med åbne vinduer der savnes i planlægningen af byggeriet i dag.

2. Evaluering af det færdige hospitalsbyggeri. Hvordan bliver indeklimaet på Nyt Hospital Hvidovre i praksis i 2020? Er der behov for ekstern solafskærmning og hvor ofte benyttes den? Hvordan påvirker det jernfattige glas overtemperaturer? Hvordan påvirker det naturlige dagslys sundheden? I postoccupancy undersøgelser ses på virkningerne i praksis og på hvorvidt der er behov for at optimere Bygningsklasse 2020. Sideløbende diskuteres og evalueres de beregningsprogrammer der ligger til grund for Bygningsklasse 2020 i forhold til målinger i praksis.





STATENS BYGGEFORSKNINGSINSTITUT
AALBORG UNIVERSITET KØBENHAVN



Region
Hovedstaden