



Room-light 1:1

Ny Psykiatri Bispebjerg

Elforsk 350-050

Carlo Volf og Klaus Martiny, Region H, New Interventions in Depression (NID-Group)
Carsten Dam-Hansen og Paul Michael Petersen, DTU Fotonik
Kjeld Johnsen og Jakob Markvart, BUILD AAU-København

Room-light 1:1

Ny Psykiatri Bispebjerg

Elforsk 350-050

Carlo Volf og Klaus Martiny, Region H, New Interventions in Depression (NID-Group)
Carsten Dam-Hansen og Paul Michael Petersen, DTU Fotonik
Kjeld Johnsen og Jakob Markvart, BUILD AAU-København

Indhold

Resumé	4
Summary	5
Introduktion	7
Formål	8
Metode: 1:1 drejbar mockup, Ny Psykiatri Bispebjerg	9
Resultater	10
Lysregistreringer	11
Lysmålinger	11
Temperaturmålinger	17
Analyse af behov for ventilation	19
Analyse af elbesparelse til belysning	22
Konklusion	23
Perspektivering – anvendelse af resultater	24
Formidlingsaktiviteter	25
Referencer	25

Tak til

Rapporten er støttet af Elforsk, projektnummer 350-050. Rapporten er offentliggjort januar 2021. Eksperimenter er endvidere støttet og finansieret fra Region H, Psykiatri samt Velfac A / S. ChromaViso, Velfac, Tripplex, Troldekt og Swedoor.

Resumé

Projektet udvikler og etablerer en fuldskala drejbar 1:1 mockup af en patient sengestue på det kommende Ny Bispebjerg Hospital. Igennem registreringer af dagslys og temperaturer i patient sengestuen, søger projektet, at afdække de naturlige forskelle og begrænsninger, forårsaget af den geografiske orientering og undersøge de udendørs døgnvariationer og deres indvirkning på indeklimaet, med henblik på, at skabe en balance mellem på den ene side dagslys og behov for dynamisk LED-belysning og på den anden side kravet om aktiv og passiv køling ved hjælp af mekanisk og naturlig ventilation. Analysen ser i den forbindelse også på de potentielle sundhedsmæssige aspekter af dagslys og frisk luft og foreslår en ny strategi for dynamisk kunstig belysning og dynamisk mekanisk ventilation, kaldet *Geographical Orientation Compensated Architectural Planning*, GOCAP. En strategi, som inddeler dagen i henholdsvis en morgenperiode og et aftenperiode, med henblik på, at reducere bygningens samlede energiforbrug. Rapporten analyserer i den forbindelse muligheden for, at udnytte naturligt lys og naturlig ventilation, baseret på to hovedparametre.

1) Den geografiske orientering (N, S, Ø og V)

2) Årstid (sommer og vinter).

Fysiske målinger i 1:1 mockup suppleres med computersimuleringer for at vurdere behovet for ventilation og for at vurdere, hvordan naturlig ventilation kan supplere og erstatte mekanisk ventilation på forskellige tidspunkter af året. Baseret på målinger og analyser foreslår rapporten en ny metode for projektering af indeklimaet, der kan reducere energiforbruget til belysning med 20 – 40 % og energiforbruget til ventilation med minimum 40 %.

Summary

This project designs and establishes a rotatable full scale mockup of a patient room at a coming hospital; the New Psychiatry Bispebjerg. Through registrations and analyses of daylight, temperatures and natural ventilation in the patient room, the project seeks to uncover how the natural differences of the building, caused by geographical orientation and outdoor diurnal variations affect the indoor environment, in order to create a balance between on the one hand, daylight and the need for artificial lighting and on the other hand the demand for active and passive cooling, using mechanical and natural ventilation. The analysis also looks at the potential health aspects of daylight and fresh air and proposes a new strategy for dynamic artificial lighting and dynamic, mechanical ventilation, called *Geographical Orientation Compensated Architectural Planning*, GOCAP. The new strategy divides the day into a morning scenario and an evening scenario, in order to reduce the total energy consumption. In this context, the report uncovers the indoor climate and daylight conditions based on two main parameters.

- 1) The geographic orientation (N, S, E and W)
- 2) The season (summer and winter).

Physical measurements in the patient room are supplemented with computer simulations to assess the need for ventilation and to see how natural ventilation can supplement and substitute mechanical ventilation at different times of the year. Based on these data, the article proposes a new way to plan the indoor environmental quality, which can reduce the total energy consumption for lighting with 20 - 40% and the total energy consumption for ventilation with minimum 40%.



Figur 1. Rapporten er en del af planlægningen af Ny Psykiatri Bispebjerg, Fase 1, som består af Bygning 51, med i alt 72 patient sengestuer

Introduktion

I de senere år har der været fokus på at optimere bygningers energimæssige ydeevne. Dette har primært ført til øgede krav til bygningens isolering og tæthed samt krav til fuldt mekanisk ventilerede bygninger. For nye hospitaler i Danmark blev disse krav endda gjort strengere end de gældende bygningskrav BR18 (1), da de skulle opfylde krav, som i dag kun fungerer som den frivillige lavenergi-klasse, BR20. Disse strenge krav har haft stor indflydelse på, hvilke løsninger rådgiverne vælger, og hvilke forudsætninger de benytter ved projekteringen, herunder intern varmelast og naturlig ventilation. I hospitalets projekteringsfase er der ofte stor fokus på, at undgå for høje temperaturer i forhold til de meget strenge krav til det termiske indeklima. I praksis fører dette f.eks. ofte til brug af vinduesruder med lav soltransmittans for, at begrænse passiv solvarme, samt mekaniske ventilationsløsninger med store luftmængder, og aktiv køling for, at håndtere forventede belastninger fra intern og ekstern varmelast. Samtidig skal kravene til tilstrækkeligt dagslys være opfyldt, hvorfor vinduesstørrelser med solbeskyttende ruder eksempelvis skal være større end vinduer med klart glas og høj lystransmittans.

Konflikten mellem krav til det termiske indeklima og optimal dagslysudnyttelse synes dårligt løst, når man vælger statiske parametre, som ikke kan tilpasse sig de dynamiske, daglige og årstidsmæssige variationer i udeklimaet og skiftende behov over tid. Samtidigt peger nyere forskning (2,3) på at vi, i stedet for at have ensidig fokus på energi, bør fokusere på de gavnlige virkninger af et helende miljø (4,5). Herunder de sundhedsmæssige fordele ved et helbredende miljø - som potentielt sagtens kan overstige energibesparelserne (6).

Formålet med dette projekt er at etablere et fokus på sundhedsaspekterne i planlægningen af hospitaler og studere, hvorvidt sundhedsaspekterne ved dagslys og frisk luft, bedst muligt kan tilgodeses og samtidigt bidrage til, at reducere det samlede energiforbrug. Undersøgelsen analyserer i den forbindelse betydningen af den geografiske orientering for bedre dagslysudnyttelse, som kan bidrage til, at reducere energiforbruget til LED-kunstlys, samt muligheden for brug af naturlig ventilation, der kan bidrage til, at reducere overophedning og derved reducere energiforbruget til mekanisk ventilation.

Formål

Formålet med projektet er at udvikle en ny metode til styring af dynamisk LED-belysning og dynamisk mekanisk ventilation. En metode, der bedre kan drage nytte af de forskelle og begrænsninger som bygning og rum, samt forskellige årstider skaber, når det gælder dagslys og indeklima. Baseret på målinger, registreringer og beregninger søger metoden at tage højde for disse forskelle med henblik på, at optimere dynamisk LED-belysning og ventilation. Metoden inddeler dagen i to scenarier, henholdsvis et morgenscenarie (kl. 06:00 – 14:00) og et aftenscenarie (kl. 14:00 – 22:00) (7,8,9). Projektet inddrager i den forbindelse naturlig ventilation som et supplement til dynamisk mekanisk ventilation og undersøger de energimæssige gevinster ved den nye metode.

Baseret på målinger og efterfølgende analyser opstiller rapporten konklusioner og råd, der kan benyttes i planlægning af drift og regulering af dynamisk LED-belysning og mekanisk/naturlig ventilation. Det er målet at rapportens resultater efterfølgende skal udnyttes i hovedprojektet for Ny Psykiatri Bispebjerg. Konklusioner og råd inkluderer:

- Dagslysniveauer og sundhedsmæssige aspekter afhængig af orientering
- Supplement til manglende dagslys ved styring af dynamisk LED-belysning
- Tids- og dagslysstyring af LED-belysning med henblik på energibesparelse
- Indendørstemperaturvariation og varmebelastning afhængig af orientering
- Naturlig ventilation som supplement til mekanisk ventilation for at reducere overophedning
- Naturlig ventilation med henblik på at spare energi

Metode: 1:1 drejbar mockup, Ny Psykiatri Bispebjerg

Projektet tager sit udgangspunkt i planlægningen af et nyt hospitalsbyggeri Ny Psykiatri Bispebjerg, bestående af Bygning 51, 52 og 53, se Figur 1. Hver bygning har i alt 72 sengestuer, alle udstyret med separat toilet og badeværelse. Projektet og undersøgelsen er en del af hospitalets planlægningsproces og fokuserer på sengestuer i Bygning 51, i Fase 1 af byggeprojektet. Undersøgelsens resultater anvendes efterfølgende i programmering af det planlagte indeklima på Ny Psykiatri Bispebjerg med henblik på, at forbedre indeklima og samtidigt reducere energiforbruget på Ny Psykiatri Bispebjerg der indvies 2022.

Som grundlag for de fysiske undersøgelser blev der opbygget en 1:1 drejbar fuldskala mockup af en sengestue på Ny Psykiatri Bispebjerg, se Figur 2. Mockup'en blev konstrueret på øverste dæk af det eksisterende parkeringshus på Bispebjerg Hospitals matrikel.

Målinger sker fortløbende gennem registrering af temperaturer, dagslys, samt spektralfordeling af dagslys i mockup'en. Undersøgelsen indsamler data over et sammenhængende år og analyserer data fra repræsentative uger i sommer- og vinterperioden for orienteringer imod de fire verdenshjørner Ø, S, V og N. Henholdsvis i sommerperioden d. 02.07.2018 - 02.09.2018 og i vinterperioden d. 10.12.2018 - 03.02.2019. En oversigt over måleperioderne er vist i Tabel 1.

Tabel 1. Oversigt over måleperioder i den drejelige 1:1 NPB mockup. Tabellen viser perioder for de fire orienteringer i henholdsvis sommer- og vinterperioden.

Periode af året Orientering	Sommer	Vinter
Øst	16.07.2018 – 06.08.2018	24.12.2018 – 07.01. 2019
Syd	09.07.2018 – 16.07. 2018	28.01.2019 – 06.02. 2019
Vest	02.07.2018 – 09.07. 2018	08.02.2019 – 19.02. 2019
Nord	21.08.2018 – 02.09. 2018	28.11.2018 – 17.12. 2018

Lysregistreringer

For at visualisere de skiftende lysforhold i mockup'en blev der optaget fotografiske registreringer af lyset. Optagelserne skete ved hjælp af et radiostyret Canon EOS 550D-kamera og blev foretaget ved henholdsvis sommersolhverv (21.06.2018) og vintersolhverv (21.12.2018) for hver orientering af facaden V, S, Ø og N. Den fotografiske gengivelse af lysforholdene blev registreret på to måder. Dels som målbart lysniveau i sengestuen i løbet af dagen, se Figur 3 og dels som oplevede lysforhold i sengestuen, se Figur 4. Som det fremgår af resultaterne, er der en markant forskel mellem på den ene side det, vi oplever når vi opholder os i et rum, og på den anden side den reelle lysmængde vi reelt får. Foto optagelserne viser en markant forskel mellem Ø, S, V og N i løbet af dagen. N og V modtager meget lidt dagslys om morgenen, og Ø og S modtager lidt dagslys om aftenen. En markant forskel ses også fra sommer- til vinterperioden. I vinterperioden modtager Ø kun dagslys om morgenen, mens S modtager størstedelen af dagslyset i løbet af dagen. N og V modtager den mindste del af dagslyset i vinterperioden. Samlet set registreres kun 8 timers dagslys i vinterperioden, mens der observeres i alt 16 timers dagslys i sommerperioden.

Lysmålinger

I undersøgelsen er lysforholdene målt over en periode på fire uger i både sommer- og vinterhalvåret, hvor orienteringen af mockup'en er som beskrevet i Tabel 1. Lysmålinger er foretaget fire steder i mockup'en, som illustreret med sensorernes placering på Figur 2. Resultatet af illuminans målingerne er vist for at beskrive den daglige variation af lys i og omkring mockup'en for de fire orienteringer, i henholdsvis sommer- og vinterperioden. Målingerne for sommerperioden er vist i Figur 5.

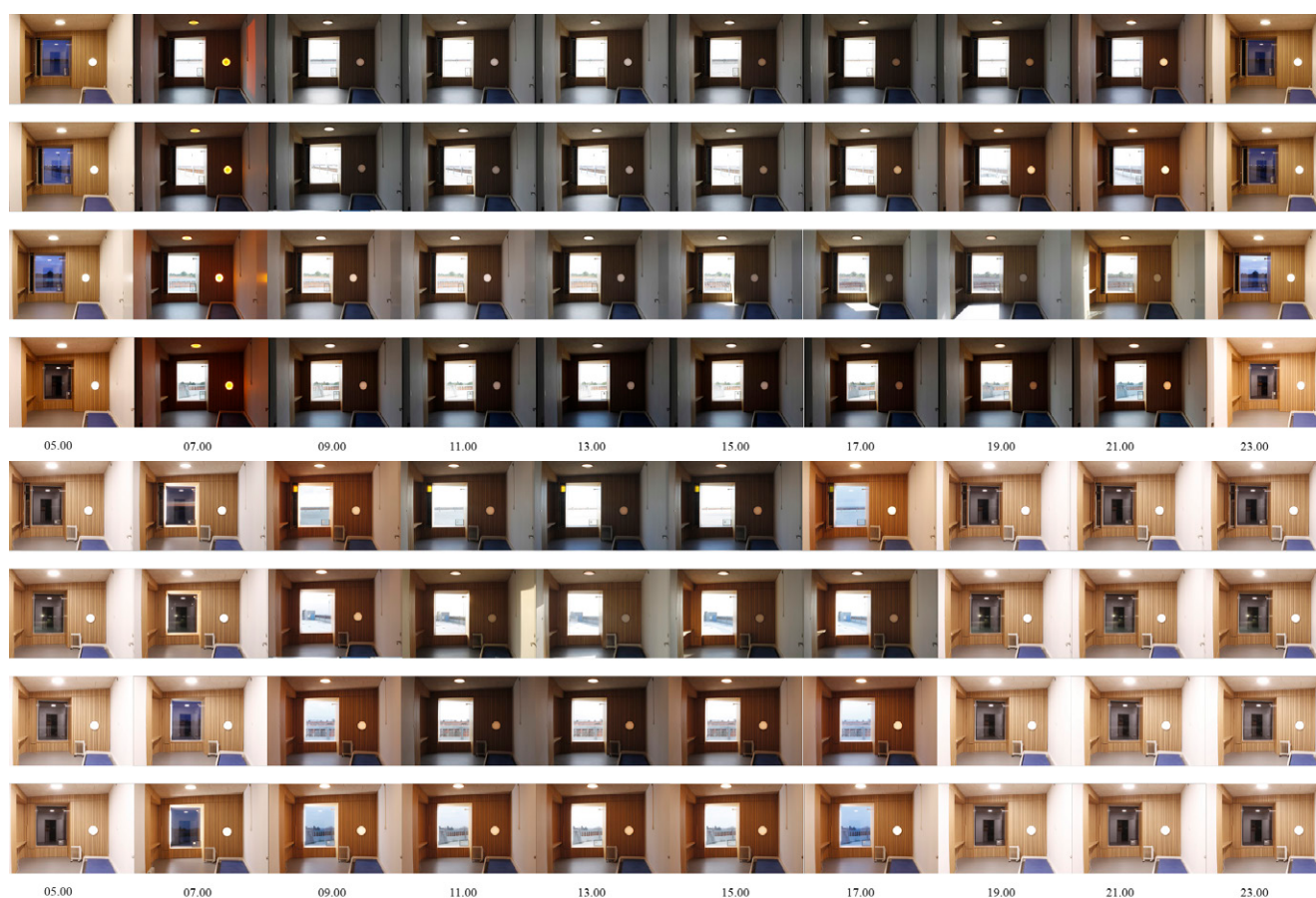
Illuminansen målt vandret på taget (sort linie) viste at der var solskin fra en klar himmel for næsten halvdelen af dagene, som f.eks. den 2. juli og, at illuminansen når op på ca. 100 klux. Delvist overskyede dage er karakteriseret ved kraftige variationer i den målte kurve som f.eks. den 8. juli. Resultaterne af målingerne i vinterperioden er vist i Figur 6. Orienteringerne af mockup'en er vist i samme rækkefølge som i Figur 5.

Den målte horisontelle illuminans på taget viser markant lavere værdier end i sommerperioden, med maksimale dag værdier varierende fra 3 til 15 klux, og et par enkle dage med 40 klux. For orienteringerne mod syd og vest ses det at den målte vertikale illuminans ved vindue er højere end den målte horisontale illuminans i tag, hvilket skyldes den lave solhøjde i vinterperioden.

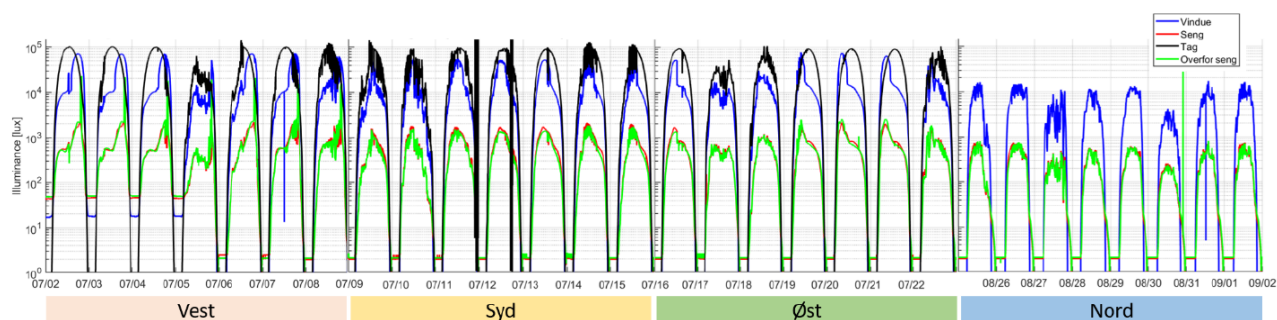
Det kan ses af lysmålingerne, vist i Figur 5 og Figur 6, at der er mest dagslys i orienteringen mod vest om eftermiddagen, midt på dagen for den sydlige orientering og om morgenen for den østlige orientering. For den nordlige orientering ses en lav illuminans gennem hele dagen. Disse resultater er i overensstemmelse med de fotografiske registreringer i Figur 3.



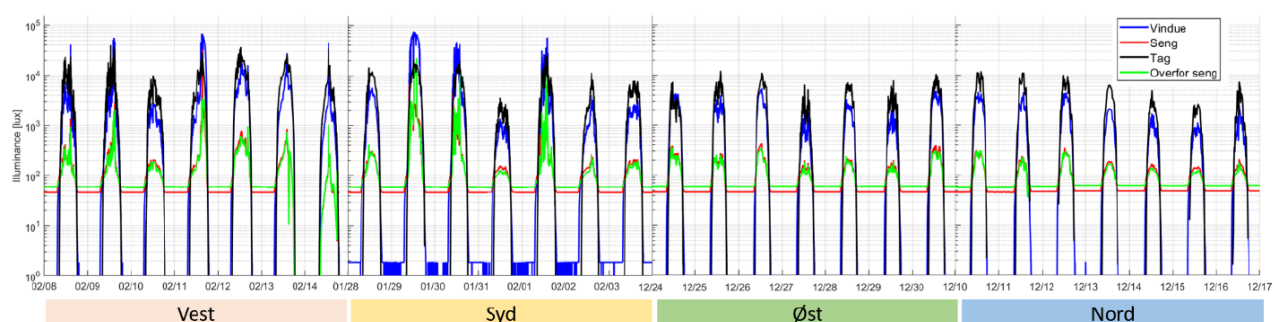
Figur 3. Fotografisk gengivelse af lysniveauer i 1: 1 mockup, optaget hver anden time i løbet af dagen fra 05:00, 7:00, 9:00, 11:00, 13:00, 15:00, 17:00, 19:00, 21:00 og frem til 23:00 for hver af de fire verdenshjørner, Ø (øverst), S, V og N (nederst) i sommer (øverst) og vinter (nederst).



Figur 4. Fotografisk gengivelse af den opfattede fordeling dagslys og kunstlys, optaget hver anden time i løbet af dagen i 1: 1 mockup fra 05:00 til 23:00 for hver af de fire verdenshjørner, Ø (øverst), S, V og N (nederst) om sommeren (øverst) og vinteren (nederst). Som vist dominerer kunstlyset rummet det meste af dagen i vinterperioden, mens dagslyset dominerer rummet hele dagen i sommerperioden.



Figur 5. Målt illuminans i sommerperioden ved de fire positioner i Mockup'en, ved vindue, ved seng, overfor seng og på taget, som funktion af tid over fire uger, hvor hver uge svarer til en given orientering af Mockup'en.



Figur 6. Målt illuminans i vinterperioden ved de fire positioner i Mockup'en, ved vindue, ved seng, overfor seng og på taget, som funktion af tid over fire uger, hvor hver uge svarer til en given orientering af Mockup'en.

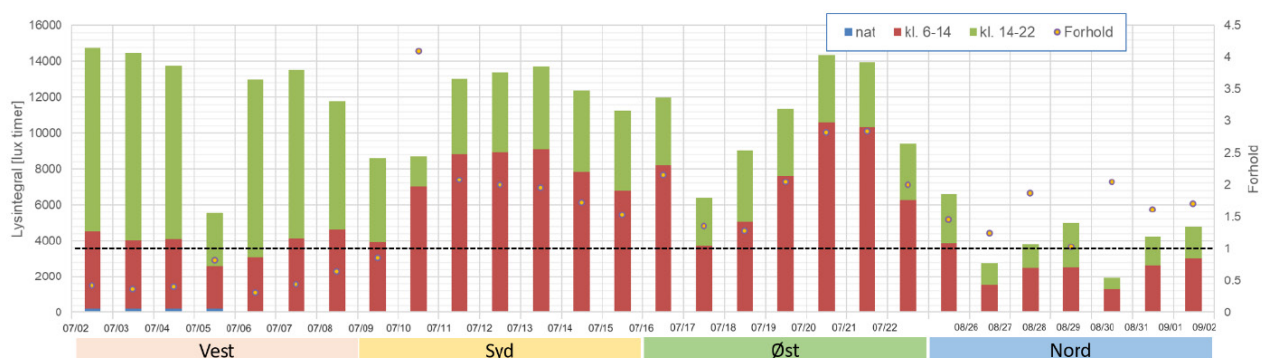
De spektrale målinger af lysets farvesammensætning er udført for enkelte dage og for hver orientering, og resultaterne er i overensstemmelse med illuminans målingerne. Med de spektrale målinger er det muligt at analysere de non-visuelle stimuli af lyset. Det gøres ifølge den internationale belysnings kommission CIE ved beregning af de alfa-optiske ækvivalente dagslys (D65) illuminanser (EDI) j.f. CIE S 026 (10). Her er den melanopiske EDI den vigtigste ifølge CIE, der har publiceret en holdningserklæring om det rette lys til den rette tid (11). Den siger at styring af melanopsin-baseret fotoreception er en nyttig strategi til at manipulere det overordnede lysinput og derved fremkalde en bestemt non-visuel respons. Det betyder, at specifikationer med hensyn til melanopisk EDI er en rimelig førstehåndsmetode som vejledning for, hvordan man manipulerer det menneskelige belysningsmiljø forskelligt, henholdsvis om dagen og om aftenen.

- En høj melanopisk EDI i løbet af dagen er normalt understøttende for årvågenhed, stabil døgnrytme og en god nattesøvn.
- En lav melanopisk EDI om aftenen og om natten fremmer tidlig søvnperiode og konsolidering af søvn.

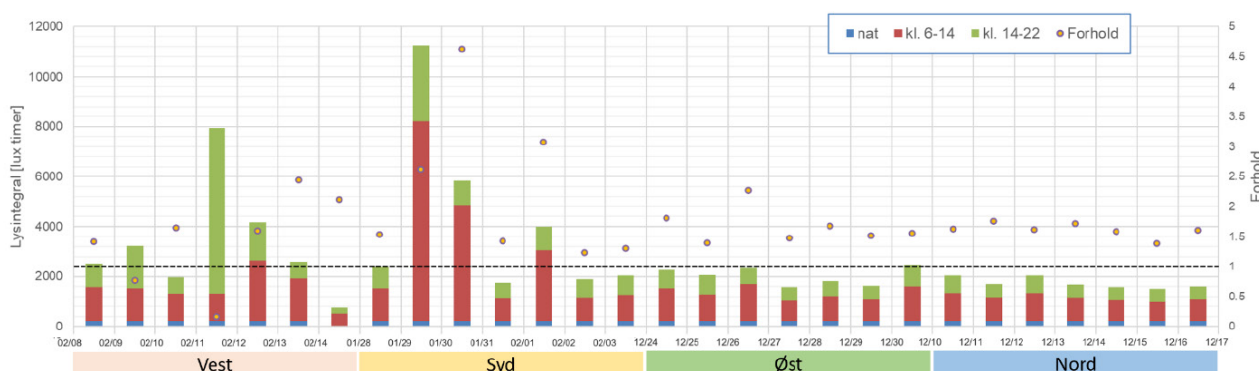
For målingerne i mockup'en hvor lyset domineres af dagslys, kan anbefalingerne omkring melanopisk EDI overføres til den målte illuminans. For at kunne få et

bedre overblik over det tilgængelige lys i mockup'en henholdsvis om morgenen og om aftenen, er der i GO-CAP lavet en definition af morgen- og aftenlys. Morgenlyset defineres som lysintegralet fra 06:00 til 14:00 og aftenlyset som lysintegralet fra 14:00 to 22:00. Lysintegralerne beregnes for de enkelte dage, hvor illuminansen er målt som funktion af tid, se Figur 5 og Figur 6, og har enheden lux timer. Forholdet imellem morgen- og aftenlyset er en vigtig parameter i GO-CAP's anbefaling. Forhold større end 1, svarer til at der er mere lys tilgængeligt i morgentimerne end i aftentimerne, imens forhold mindre en 1 omvendt betyder, at der er mere lys i aftentimerne end i morgentimerne.

De beregnede lysintegraler er vist i Figur 7 for sommerperioden for positionen ved sengen. De røde dele af søjlerne viser morgenlysintegralet og de grønne dele aftenlysintegralet. Der er også en blå del som viser lysintegralet om natten. Det viser at lyset har været tændt om natten nogle dage, men det har ikke nogen betydning her. Forholdet imellem morgen og aftenlys er beregnet og markeret med orange fyldte cirkler og værdien vist på højre akse.



Figur 7. Målte lysintegraler ved sengen (venstre akse) i sommerperioden, for morgen og aftenlys og forholdet imellem disse (højre akse). Dette er vist for fire uger, en uge for hver orientering af mockup'en. Den stiplede linie viser et forhold på 1, svarende til lige meget tilgængeligt morgen- og aftenlys.



Figur 8. Målte lysintegraler ved sengen (venstre akse) i vinterperioden, for morgen og aftenlys og forholdet imellem disse (højre akse). Dette er vist for fire uger, en uge for hver orientering af mockup'en. Den stiplede linie viser et forhold på 1, svarende til lige meget tilgængeligt morgen- og aftenlys..

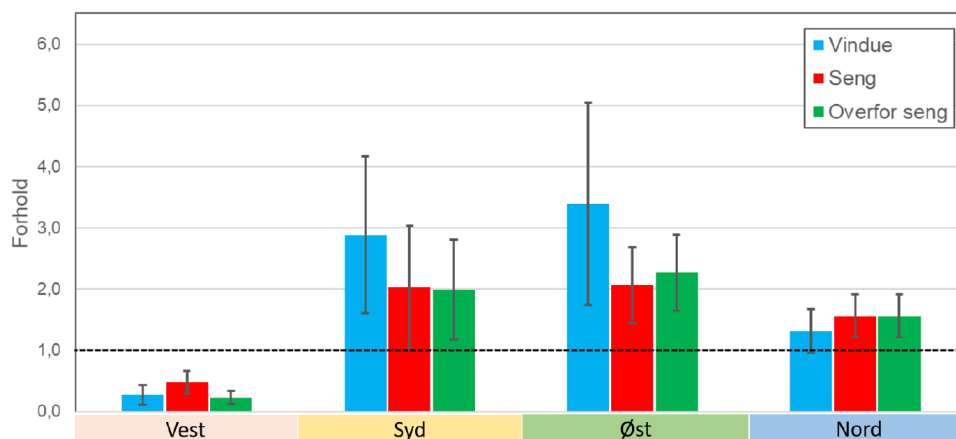
For den 3. juli ses et morgenlysintegralt på ca. 4 klux timer og et aftenlysintegralt på ca. 10.4 klux timer. Det giver et samlet lysintegralt på 14.4 klux timer og et forhold på ca. 0,38. Her er altså mest lys om aftenen som er kendetegnende for den vestlige orientering. Det observeres at der store variationer i det totale lysintegralt fra dag til dag for alle orienteringer og at de laveste værdier ses for den nordlige orientering. Tilsvarende målte lysintegraler og forhold er vist for samme position ved sengen for vinterperioden i Figur 8.

Det ses at lysintegralerne er lavere om vinteren end om sommeren og at store variationer i daglige værdier ses for den vestlige og sydlige orientering på grund af dage med klar himmel om aftenen, som f.eks. den 11. februar. For at få et bedre overblik over variationerne i det målte forhold mellem morgen- og aftenlys, angives middelværdierne i søjlediagrammet i Figur 9 og Figur 10 for hver retning og for hver af de tre positioner i rummet. Errorbars viser standardafvigelsen for det målte forhold for hver uge/orientering.

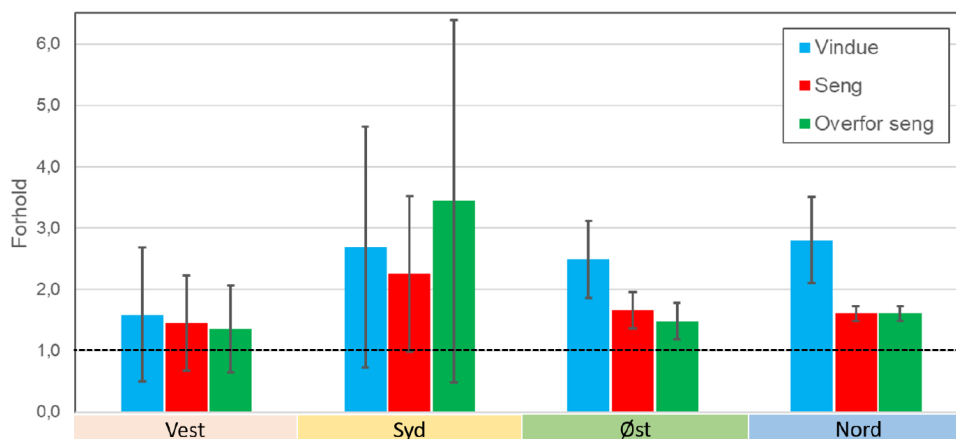
Som det fremgår af Figur 9 er forholdet imellem morgenlys og aftenlys i sommerperioden lavest for den vestvendte orientering, som har værdier omkring 0,2-0,3, hvilket betyder, at der er ca. 3-5 gange mere aftenlys end morgenlys. For de andre retninger er forholdet over 1, hvilket betyder at morgenlysintegralet er højere end aftenlysintegralet. For den sydlige og østlige orientering ses, at forholdet er omkring 2 for de to positioner, med en lidt højere forhold ved vinduet på 3, dog med en højere standardafvigelse. For nordvendt orientering er forholdet omkring 1,5 for alle positioner i rummet. Den tilsvarende analyse for det målte forhold mellem morgen- og aftenlys er udført i vinterperioden og i Figur 10 vises gennemsnitsværdierne og standardafvigelser for de tre placeringer i rummet.

Det målte forhold viser store variationer i vinterperioden for den vestlige- og sydlige orientering af mockup'en. Selvom middelværdierne er større end 1 for alle retninger, dækker variationen værdier højere og lavere end 1 for den vestlige orientering. Det betyder, at der er dage med mere aftenlys end morgenlys i vestvendte sengestuer. For den østlige- og nordlige orientering er variationen meget lille, og alle målte forhold er højere end 1 med en værdi på ca. 1,6 ved sengen. Sydvendte værelser har mest morgenlys og det højeste forhold på 2,2 ved sengen.

I sommerperioden er forholdet større end 1 for alle retninger undtagen for den V-vendte orientering af rum. Et forhold på 0,2-0,3 betyder, at der er ca. 3-5 gange mere aftenlys end morgenlys i V-vendte rum. I S-vendte rum er dette forhold 2, hvilket betyder, at der er dobbelt så meget morgenlys som aftenlys. I N-vendte rum er dette forhold omkring 1,5. Da dagslys om sommeren udgør langt størstedelen af lyset, kan disse fund for lysstyrken oversættes direkte til melanopisk EDI. Dette betyder, at de V-vendte rum har for meget lys om aftenen og, at disse rum understøtter ikke den anbefalede variation i melanopisk EDI ifølge CIE.



Figur 9. Middelværdier for det målte forhold mellem morgen- og aftenlys for hver af de fire orienteringer af mockup i sommerperioden. Forholdet vises for de tre positioner i mockup, henholdsvis ved vindue, ved seng og overfor seng. Errorbars viser standardafvigelsen for det målte forhold i en uge. Den stiplede linje angiver forholdet 1, svarende til lige meget tilgængeligt morgen- og aftenlys.



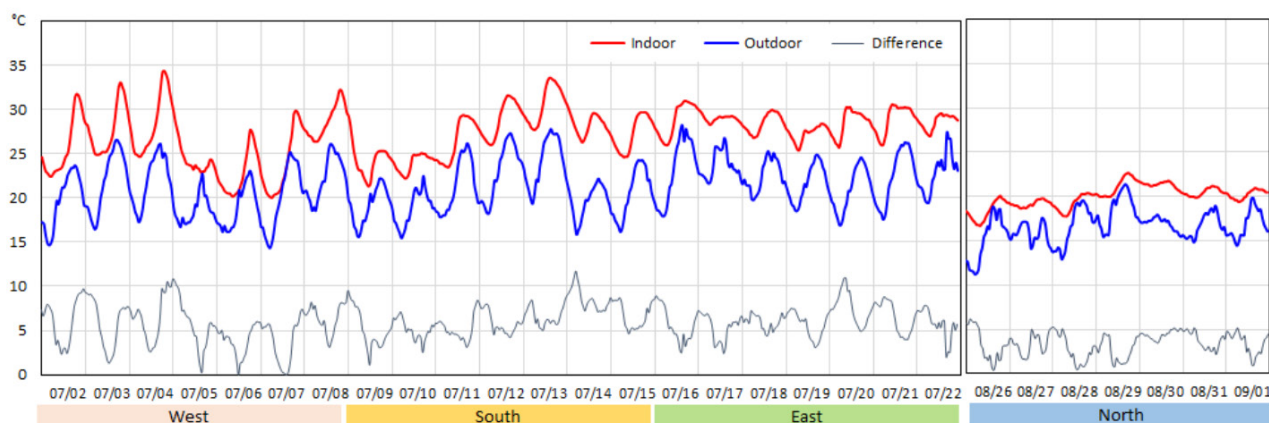
Figur 10. Middelværdier for de målte forhold mellem morgen- og aftenlysintegral for hver af de fire orienteringer af mockup i vinterperioden. Forholdet vises for de tre positioner i rummet, henholdsvis ved vindue, ved seng og overfor seng. Errorbars viser standardafvigelsen for det målte forhold i en uge. Den stiplede linje angiver forholdet 1, svarende til lige meget tilgængeligt morgen- og aftenlys.

I vinterperioden er lysintegralerne generelt markant lavere end i sommerperioden. Den lavere solvinkel betyder, at den vertikale lysstyrke nær vinduet lejlighedsvis er højere end den horisontale belysning i tag. Gennemsnitsværdien af forholdet er større end 1 for alle retninger. De S-vendte rum har mest morgenlys og det højeste forhold på 2,2, imens Ø- og N-vendte rum har det laveste forhold på ca. 1,6. Imidlertid observeres der store variationer for det V-vendte rum, her er forholdene både større og lavere end 1. Det betyder, at der er dage med mere aftenlys end morgenlys i V-vendte sengestuer. For det N-vendte rum observeres generelt en lavere belysningsstyrke gennem hele dagen og hele året, under 10.000 lux nær vinduet i vinterperioden og under 20.000 lux i sommerperioden.

Denne undersøgelses spektrale lysmålinger af alfa-optisk EDI understøtter, at Ø- og S-vendte rum fungerer bedre end V- og N-vendte rum. Resultaterne viser således, at Ø- og S-vendte rum understøtter dagsaktivitet, døgnrytme og god nattesøvn bedre end V- og N-vendte rum, samtidig med at de giver den laveste melanopiske EDI-respons i løbet af aften- og nattetimerne, hvilket understøtter søvninitiering og konsoliderer en god nattesøvn.

Temperaturmålinger

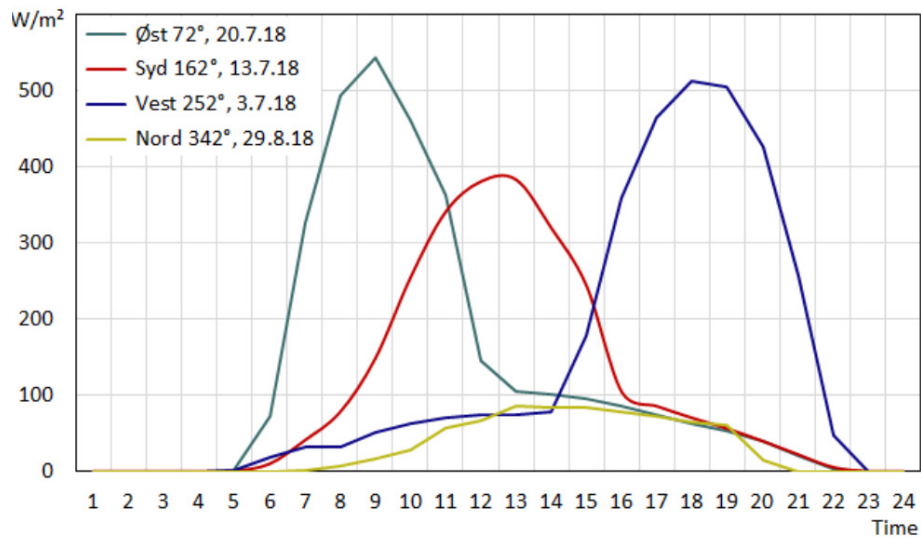
I den første dataindsamlingsperiode blev der indsamlet sommerdata. Mockup'en var orienteret med facaden mod hver af de fire verdenshjørner en uge ad gangen, først mod V, derefter S, Ø og N. Forløbet af inde- og udetemperatur samt forskelle imellem disse er vist i Figur 11. Figuren viser, at der var tale om en varm sommerperiode, dog med et fald i udetemperaturen fra de første 3 uger, hvor mockup'en vendte mod vest, syd og øst, og til den sidste uge, hvor mockup'en vendte mod nord.



Figur 11. Målte inde- og udetemperatur samt differens i sommerperioden for de fire hovedorienteringer af mockup'en.

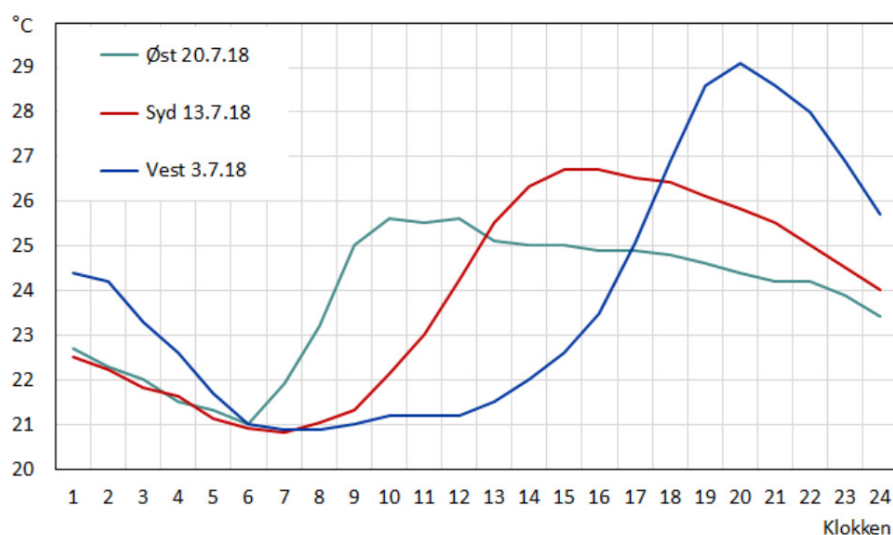
Formålet med temperaturmålingerne er dels at analysere orienteringens betydning for indetemperaturen i sengestuen, specielt på solrige sommerdage. Varmebelastningerne er dimensionerende for ventilationsbehovet og forskellen mellem ude- og indetemperatur er bestemmende for, hvor effektiv naturlig ventilation vil være til at sænke indetemperaturen og dermed begrænse overtemperaturer.

Da solindfaldet er den eneste varmebelastning i mockup'en, afspejler indetemperaturen størrelsen af solvarmebelastningen hen over døgnet. Figur 12 viser solindfaldet i mockup'en på udvalgte dage i sommerperioden i W/m² (beregnet ud fra målte belysningsstyrker lige bag ruden).



Figur 12. Solindstråling i mockup'en for de fire orienteringer for udvalgte solrige dage i sommerperioden.

Figur 13 viser de målte forløb af indetemperaturen på de samme dage. For at kunne sammenligne temperaturerne, er kurverne normaliseret til samme døgnmiddelværdi af udetemperaturen, her valgt til 20 °C. Kurverne viser tydeligt, hvordan solindfaldet hæver indetemperaturen forskelligt for de tre viste orienteringer. For den V-vendte sengestue begynder indetemperaturen først at stige omkring klokken 14, men den når op på betydeligt højere værdier sidst på dagen, med maksimalværdi klokken 20.

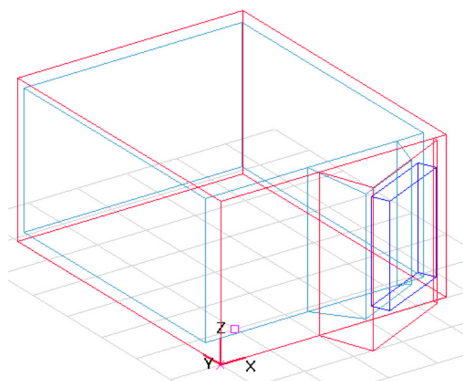


Figur 13. Målte forløb af indetemperaturen på de udvalgte sommerdage ved orientering af sengestuen mod øst, syd og vest. Temperaturkurverne er normaliseret til samme døgnmiddelværdi af udetemperaturen, her valgt til 20 °C.

Analyse af behov for ventilation

I de virkelige sengestuer på Ny Psykiatri Bispebjerg bliver varmebelastningerne fra solindstråling og interne varmelaste dimensionerende for ventilationsbehovet. I den tidlige designfase blev minimum luftvolumen til sengestuerne sat til 100 m³/h med maksimum på 190 - 220 m³/h, afhængig af orienteringen. Luftmængderne blev bestemt ud fra kravene til den operative temperatur, der maksimalt må overstige 25 °C i 200 timer, 26 °C i 100 timer, 27 °C i 25 timer. Luftmængderne svarer til luftskifter på 2,3 til 5,1 gange i timen, altså ganske høje luftskifter for ikke-somatiske sengestuer. Som led i analyserne af indeklimaet blev der installeret en udluftningsåbning i mockup'en for at undersøge, om passiv, ensidet, naturlig ventilation kunne supplere eller delvis erstatte mekanisk ventilation. Ventilationsåbningen og den udvendige rist kan ses på billedet på denne rapport's forside. Virkningen af ventilationsåbningen blev testet på dage i september og december 2018, og resultaterne viste en forøgelse af luftskiftet på mellem 2 - 4 gange i timen, når ventilationslemmen var helt åben.

Hvordan den naturlige ventilation indvirker på indeklima og temperaturniveau i de virkelige sengestuer, bliver analyseret gennem computersimuleringer af en sengestue ud fra de projekterede konstruktioner og varmebelastninger. Simuleringerne bliver gennemført med programpakken BSim (12) og det danske referenceår, DRY 2013 (13). Simuleringsmodellen og de anvendte forudsætninger er vist i Figur 14. Simuleringerne er gennemført for facadeorienteringer mod alle fire verdenshjørner.

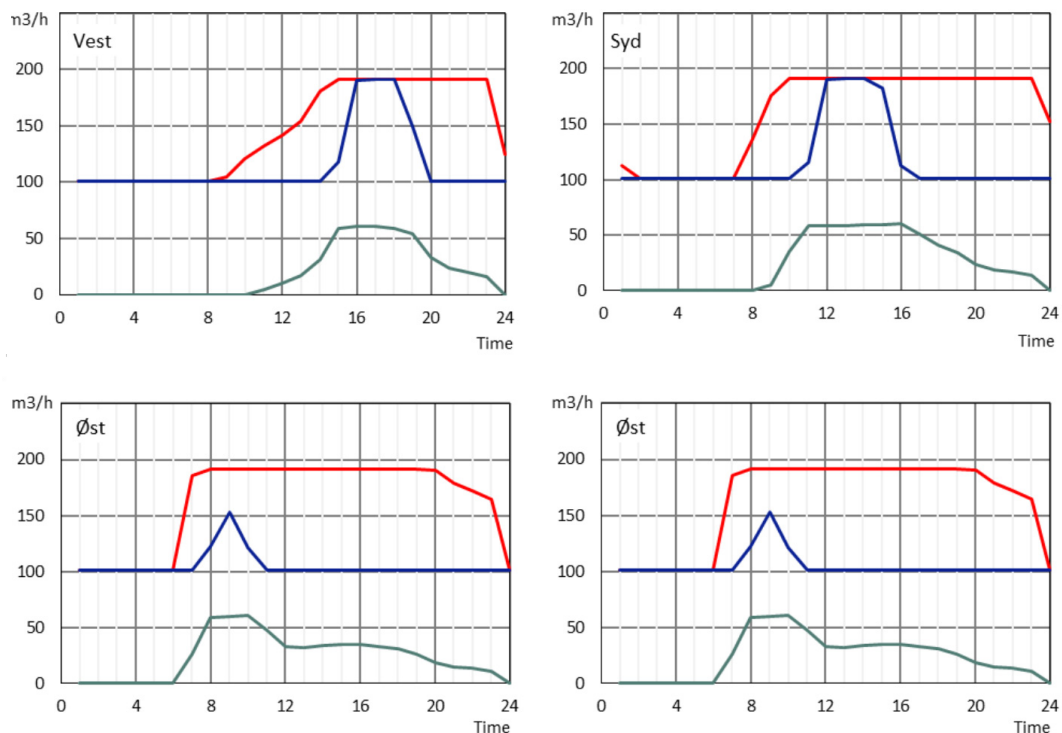


System	Varmelast	Time
Person last	98 W	1-24
Udstyr	100 W	8-23
Belysning	6 W/m ² ~ 96 W	8 - 23
Mek. Ventilation	100 - 190/220 m ³ /h	VAV 1-24
Naturlig ventilation	0 - 42 - 85 m ³ /h	1-2 h-1 når Top > 23 °C

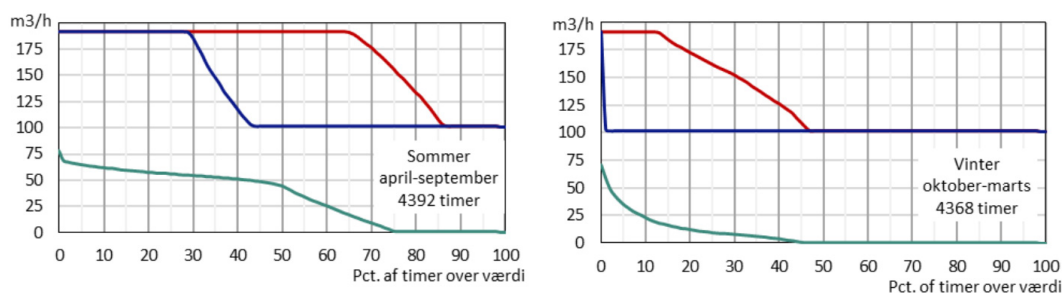
Figur 14. Simuleringsmodel af en sengestue på NBP med de tilhørende beregningsforudsætninger ved simuleringer med BSim. Indblæsningstemperaturen fra mekanisk VAV ventilation blev sat til minimum 18 °C og maksimum 21 °C, mens den naturlige ventilation aktiveres, når indetemperaturen kommer over 23 °C. Tidsangivelse er i hele timer, således at fx time 8 er kl. 7:00 - 8:00.

Simuleringsresultaterne viser et stort potentiale for at reducere behovet for den mekaniske ventilation. Med den grundforudsætning, at minimum luftmængden ved mekanisk ventilation er 100 m³/h, er der gennemført simuleringer med og uden supplerende naturlig ventilation. Ventilationen bliver i begge tilfælde reguleret efter at holde den operative temperatur under 23 °C. Set-punkterne for at aktivere naturlig ventilation (åbning af ventilationslemmen) bliver sat til 22,9 °C og set-punktet for at øge den mekaniske luftmængde bliver sat til 23,0 °C.

Potentialet for reduktion af mekanisk ventilation er størst på solrige dage i forår og efterår, hvor naturlig ventilation har større køleeffekt, fordi udetemperaturen her er lavere end i sommersæsonen. Potentialet for reduktion af den mekaniske ventilation ved at indføre naturlig ventilation blev analyseret for alle fire orienteringer af sengestuen og for hele året. Figur 15 viser behovet for mekanisk ventilation med og uden supplerende naturlig ventilation for de fire orienteringer af sengestuen på en solskinsdag om foråret (april). Den røde kurve viser den mekaniske ventilation uden naturlig ventilation, mens de blå og grønne kurver viser ventilationen, når mekanisk ventilation (blå kurve) suppleres med naturlig ventilation (grøn kurve).



Figur 15. Behov for mekanisk ventilation henholdsvis med og uden supplerende naturlig ventilation for de fire hovedorienteringer på en solrig forårsdag (april). De røde kurver viser mekanisk ventilation uden naturlig ventilation, mens de blå og grønne kurver viser behovet for mekaniske ventilation (blå kurver), når der suppleres med naturlig ventilation (grønne kurver).



Figur 16. Kumuleret behov for mekanisk ventilation i sommerhalvåret og vinterhalvåret med og uden supplerende naturlig ventilation. De røde kurver viser mekanisk ventilation uden naturlig ventilation, mens de blå og grønne kurver viser behovet for mekaniske ventilation (blå kurver), når der suppleres med naturlig ventilation (grønne kurver).

Det kumulerede behov for mekanisk ventilation i det V-vendte rum med og uden supplerende naturlig ventilation er vist i Figur 16 for 6 måneder, for henholdsvis sommerhalvåret og vinterhalvåret.

Diagrammerne viser, at når der suppleres med naturlig ventilation, reduceres behovet for mekanisk ventilation drastisk. Grafen for vinteren viser, at den minimale mekaniske ventilationshastighed på 100 m3/h næsten er tilstrækkelig i hele vinterhalvåret, når der suppleres med naturlig ventilation. Analyser af temperaturforløbene med og uden naturlig ventilation viser, at temperaturerne er helt ens i de to tilfælde.

Reduktionen i mekanisk ventilation ved at supplere med naturlig ventilation blev estimeret ved simulation af sengestuen for de fire geografiske retninger og over hele året. Reduktionerne er vist i Tabel 2 for sommerhalvåret og vinterhalvåret, samt for hele året. De tilsvarende reduktioner i elektricitet til drift af ventilationen afhænger af, hvordan luftstrømmen reguleres. I Ny Psykiatri Bispebjerg reguleres luftstrømmen ved hastighedsregulering af ventilatorerne, hvilket som minimum giver de elbesparelser, der er beregnet i Tabel 2.

Tabel 2. Oversigt over potentiel reduktion af den mekaniske ventilation (luftstrøm) og den tilsvarende el-besparelse til drift under den forudsætning, at minimumsluftstrømmen er 100 m3/h for sengestuen.

Reduktion af luftmængde				
Ved mek. ventilation %	Vest	Syd	Øst	Nord
Sommer	22	21	22	20
Vinter	15	13	15	13
Året	21	20	22	19
El-besparelse	~45 %	~43 %	~47 %	~41 %

Det bør bemærkes, at reduktionen i mekanisk ventilation er potentialer for besparelser. På kolde vinterdage er det måske ikke ønskeligt eller behageligt at åbne ventilationsåbningen. På den anden side skal det også bemærkes, at det forudsatte grundluftskifte ved naturlig ventilation er sat så lavt som 1 h⁻¹ (moderat afhængig af vindhastighed og temperaturforskel mellem inde og ude). Målingerne ved at åbne ventilationslemmen i mockup'en viste luftskifter på op til ca. 4 h⁻¹, hvilket indikerer, at reduktionen i mekanisk ventilation ofte vil være højere end estimeret ved simuleringerne. Derfor er de anslåede reduktioner og el-besparelser ved mekanisk ventilation realistiske.

Analyse af elbesparelse til belysning

Der er flere måder at reducere energiforbruget til belysning på. For en psykiatrisk hospitalsafdeling vil det være indlysende at styre belysningen via en tilstedeværelsessensor, så lyset kun er tændt, når patienten er til stede i rummet. Ud fra et sundhedsmæssigt perspektiv, giver det god mening, at lysniveauer generelt reduceres i aften timerne, her bør den korrelerede farvetemperatur samtidigt heller ikke være for høj. I denne undersøgelse bliver to typer lysstyring simuleret. Ved den ene styring reduceres lysstyrkeniveauet fra 300 lux til 100 lux i eftermiddags- og aften timer (kl. 14:00-22:00). Den anden styring omfatter dagslysstyring over dagen (300 lux) og reduceret lysniveau (100 lux) i timer 14-22. Resultaterne er vist i Tabel 3.

Resultatet af simuleringerne i Tabel 3 viser, at der er et betydeligt besparelspotentiale ved, at følge GOCAP's inddeling i morgen- og aftenscenarier for belysningen i patientrum for alle orienteringer. Reduceres det ønskede lysstyrkeniveau i eftermiddags- og aften timer, i tidsrummet kl.14:00 – 22:00 fra 300 lux til 100 lux, spares der 20 – 22 % i alle retninger. Ved yderligere implementering af fuld dagslysstyring i løbet af dagen bliver den samlede besparelse op til 41 %.

Tabel 3. Beregnede reduktioner i brugen af elektrisk belysning sammenlignet med ingen styring. Setpunktet i referencen er indstillet til 300 lux. Ved at reducere denne værdi til 100 lux i timer 14-22 opnås der omkring 22 % besparelse, og med fuld dagslysstyring 300/100 lux i løbet af dagen og aftenen opnås reduktioner mellem 36 % og 41 %.

Energi til belysning og mulige reduktioner, kWh/år, %	Vest	Reduktion	Syd	Reduktion	Øst	Reduktion	Nord	Reduktion
Ingen styring	547		554		557		561	
Reduceret niveau time 14-22	438	19,9 %	430	22,4 %	434	22,2 %	437	22,1 %
Dagslysstyring + reduceret time 14-22	350	35,9 %	325	41,3 %	331	40,6 %	340	39,3 %

Konklusion

Data i denne rapport inkluderer belysningsstyrke målinger, spektrale målinger, samt indendørs og udendørs målinger af temperaturer. Data bliver indsamlet for alle fire orienteringer Ø, S, V og N for henholdsvis sommerperioden 2018 til vinterperioden 2018/2019. Målinger og data bliver suppleret med beregninger af termiske forhold og ydeevne, samt fotografiske registreringer af lysforholdene for hver orientering, henholdsvis i løbet af dagen og i løbet af året.

Resultaterne af undersøgelsen finder alt i alt grundlæggende forskelle i de dagslysmæssige og termiske forhold i sengestuen, afhængigt af den geografiske orientering og årstid. For at drage nytte af disse grundlæggende forskelle introduceres *Geographical Orientation Compensated Architectural Planning* GOCAP som et nyt planlægningsværktøj. GOCAP inddeler dagen i henholdsvis:

- En morgenperiode (kl. 06:00 – 14:00) med anbefalede højere lysniveauer.
- En aftenperiode (kl. 14:00 – 22:00) med anbefalede lavere lysniveauer.

Ud fra et sundhedsmæssigt perspektiv, introducerer GOCAP efterfølgende et forhold mellem målt lys i morgenperioden (06:00 – 14:00) over aftenperioden (14:00 – 22:00). Forholdet imellem morgen- og aftenperiodens lys er en vigtig parameter i relation til CIE's anbefalinger i CIE S 026 om lys og døgnrytme.

- Et forhold <1 betyder, at den kumulerede dagslysdosis (lysintegral) af aftenlys er højere end den kumulerede dagslysdosis af morgenlys.
- Et forhold på >1 betyder, at den kumulerede dagslysdosis for morgenlys er højere end for aftenlys.
- Et forhold på $=1$ betyder, at den kumulerede dagslysdosis er den samme for morgenlys og aftenlys.

Undersøgelsens resultater viser at dette forhold varierer meget, dels i forhold til orientering og dels i forhold til årstid. I V-vendte rum viser middelværdien for lysforholdet, at der er faktor 3-5 mere aftenlys end morgenlys i sommerperioden og, at V-vendte rum har mindst morgenlys i forhold til aftenlys (faktor 1,5) i vinterperioden. I S-vendte rum viser middelværdien for lysforholdet, at der er faktor 2-3 mere morgenlys end aftenlys, målt i sommerperioden, og endnu mere i vinterperioden (faktor 2,5-3,5). I Ø-vendte rum viser middelværdien for lysforholdet, at der er faktor 2-3,5 mere morgenlys end aftenlys i sommerperioden, og lidt mindre i vinterperioden (faktor 1,5-2,5). N-vendte rum viser middelværdien for lysforholdet, at der er faktor 1,5 mere morgenlys end aftenlys både sommer og vinter, men i N-vendte rum observeres generelt de laveste værdier af dagslys, i både sommer- og vinterperioden. I N-vendte rum er årstidsvariationerne også mindst.

Rent energimæssigt kan følgende konklusioner drages ud fra projektet:

- Resultaterne viser et betydeligt besparelspotentiale ved, at følge GOCAP's inddeling i morgen- og aftenscenarier for belysningen i sengestuer for alle orienteringer. Når det gælder aftenlyset, anbefales det generelt at reducere lysniveauerne, idet sundhedsaspekterne ved lyset reduceres i aftenperioden, fra 14:00 og fremefter, hvor lys kan forsinke og forringe nattesøvnen. Reduceres det ønskede lysstyrkeniveau i eftermiddags- og aftentimer, i tidsrummet kl. 14:00 – 22:00 fra 300 lux til 100 lux, spares der 20 – 22 % i alle retninger. Ved yderligere implementering af fuld dagslysstyring i løbet af dagen bliver den samlede besparelse op til 41 %.
- Reduktionen i mekanisk ventilation ved at supplere med naturlig ventilation blev estimeret ved simulation af sengestuen for de fire geografiske retninger og over hele året. Reduktionerne afhænger af, hvordan luftstrømmen reguleres og vil som minimum give elbesparelser på 41 - 47 %, størst i V-vendte rum og mindst i N-vendte rum.

Perspektivering - anvendelse af resultater

Alt i alt peger resultaterne på, at det giver god mening at inddrage forskellene forårsaget af den geografiske orientering, i planlægningen af dynamisk LED-belysning, termisk indeklima og dynamisk ventilation, både rent sundhedsmæssigt og rent energimæssigt. Resultaterne af undersøgelsen viser, at det er muligt at kompensere for de geografiske forskelle ved, at inddele dagen i henholdsvis en morgen- og en aftenperiode, som anvist i *Geographical Orientation Compensated Architectural Planning* (GOCAP). På den måde kan planlægningen af belysning og ventilation drage nytte af de naturlige forskelle i dagslys og temperaturer i løbet af dagen og i løbet af året, og derved bidrage til et godt indeklima, som bedre understøtter døgnrytmen og samtidigt reducerer omkostningerne til belysning og mekanisk ventilation/køling.

Ud fra resultaterne af denne undersøgelse anbefales det, at styring af det dynamiske LED-belysningssystem tager særligt højde for vinterperioden, da dagslyset er sparsomt i denne periode, og morgenlyset starter så sent som kl. 8:30. Ud fra denne undersøgelse anbefales, at supplere med dynamisk, kortbølget LED-lys med høj melanopisk EDI, i hele vinterperioden, særligt i morgenperioden (06:00 – 14:00) for alle orienteringer. I sommerperioden gælder dette kun V-vendte og N-vendte rum, hvor lysforholdet imellem morgen- og aftenlys på den måde kan forøges og optimeres.

Temperaturmæssigt anbefales det overordnet, at anvende supplerende naturlig ventilation, i både sommer- og vinterperioden. Når det gælder brugen af naturlig ventilation skal man huske på, at naturlig ventilation ikke kun kan reducere behovet for mekanisk ventilation og spare energi, men også forbedre patientens trivsel, ved, at give en følelse af frisk luft, tættere kontakt med naturen udenfor, samt kontrol over eget nærmiljø og indeklima i løbet af dagen. I V-vendte rum bør naturlig ventilation, sammen med solafskærmning planlægges nøje og aktiveres i timerne op til solnedgang i sommerperioden for, at reducere både dagslys og passiv solvarme i aftenperioden.

Formidlingsaktiviteter

Volf C, Johnsen K, Dam-Hansen C, Martiny K, Markvart J. Petersen PM., "Planning of Indoor Environment Quality using Geographical Orientation Compensated Architectural Planning (GOCAP) – a case study at New Psychiatry Bispebjerg".

Dam-Hansen, C., "Spectrometric Instrumentation For In-Situ Monitoring Of Spectral Components" foredrag ved CIE 13-14 Aug 2018, København.

Dam-Hansen, C., Thorseth, A., Volf, C., Hansen, T. S., & Martiny, K. CIE Copenhagen, Denmark.

Volf C, Martiny K, Dam-Hansen, C. SLTBR Konfernce, Groningen 2018.

ROOM-LIGHT 1:1 NY PSYKIATRI BISPEBJERG: Optimizing daylight and dynamic LED artificial light in a new building class 2020 construction using Latitude Compensated Architectural Lighting(psykiatri-regionh.dk).

Godt sygehusbyggeri - Ny Psykiatri Bispebjerg.

TV2 Nyheder d. 03 juli 2018 "Fremtidens Sengestue".

Referencer

1. Trafik- Bygge- og Boligstyrelsen 2018. Bygningsreglement.dk.
<https://bygningsreglementet.dk/>
2. Volf C, Natural Light, Natural Air and Natural Surroundings – in Different Hospital Typologies 1910 – 2010. 2016
3. Volf C. Light, Architecture and Health – a Method. Aarhus School of Architecture. 2013
4. Beachemin, KM & Hays, P. Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. Journal of Affective Disorders. 1996
5. Ulrich, R. "View Through a Window may Influence Recovery From Surgery." Science 224: 420-421. 1984
6. Publikation i forbindelse med Glostrup Neurohabiliteringscenter 2012
7. Lewy, AJ, Bauer VK et al. Morning vs evening light treatment of patients with winter depression. Arch Gen Psychiatry. 1998
8. Gbyl K, Madsen HØ, Svendsen SD, Petersen PM, Hageman I, Volf C, Martiny K. Depressed Patients Hospitalized in Southeast-Facing Rooms Are Discharged Earlier than Patients in Northwest-Facing Rooms. 2016
9. YongMin Cho, Seung-Hun Ryu, Byeol Ri Lee, Kyung Hee Kim, Eunil Lee & Jaewook Choi (2015). Effects of artificial light at night on human health: A literature review of observational and experimental studies applied to exposure assessment, Chronobiology International. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/07420528.2015.1073158>
10. CIE S 026/E:2018. CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light,
https://www.techstreet.com/standards/cie-s-026-e-2018?product_id=2030705
11. <http://cie.co.at/publications/position-statement-non-visual-effects-light-recommending-proper-light-proper-time-2nd>, last visited 15-11-2020.
12. Wittchen, K., Johnsen, K., & Grau, K. (2007). BSIm: Et integreret edb-værktøj til analyse af inde-klima og energiforbrug + vejledning. Hørsholm: Statens Byggeforskningsinstitut. <https://bsim.sbi.dk/bsim/>
13. Peter Riddersholm Wang, Mikael Scharling & Kristian Pagh Nielsen. 2001 – 2010 2001 – 2010 De-sign Reference Year for Denmark. <https://www.dmi.dk/fileadmin/Rapporter/TR/tr12-17.pdf>