



PSO 343-064 B



Slagelse LED-Armatur

Indholdsfortegnelse

01 Forside	18 Energieffektivitet
02 Indholdsfortegnelse	19 Tilbagebetalingstid
03 Note	20 Tilfredsheds-undersøgelse
04 Energieffektiv og blændfri belysning på Slagelse Sygehus.	21 Spørgeskemaer
05 Akutafsnit (Orange gang)	22 Faktiske tal og oplevelse af lyset
06 De eksisterende lys-armature	23 Delte meninger
07 Krav til renlighed	24 konklusioner på brugerundersøgelse
08 Test af diffuserende materialer	25 Design funktionalitet
09 Valg af lys-setup	26 EL-forsk betydning for projektet
10 Krav og behov for mere lys	27 Nedtagning af gammel belysning
11 Mere Intelligent lys	28 Opsætning af Slagelse Armaturet - DUO
12 24 timer - tre skiftehold	29 Størrelser og mål
13 Dynamisk dagslysstyring	
14 Farvegengivelse	
15 Spektralfordeling	
16 Karakteristik af armaturet DUO på DTU	
17 Karakteristik af armaturet DUO på DTU	

NOTE

PSO 343-064 B - (del 02)

Fra blændfri og energieffektiv belysning for-
udendørs brug, til blændfri og energieffektiv
belysning til **indendørs brug**.

Intentionen med PSO 343-064 A ”Udvikling af blændfri og energieffektiv belysning til sti-/park”, var at bruge erfaringerne fra pullert-armaturet og overføre dem til næste del af studiet, belysning indenfor gade-/vej.

Desværre måtte producenten Louis Poulsen melde at de pga. nedskæring i stab, ikke havde mulighed for at lægge flere forskningstimer til en del to.

Efter flere forgæves forsøg på at finde alternative muligheder for at fortsætte studiet i blændfri- og energieffektivbelysning i udendørsmiljø, opstod en mulighed for et samarbejde med Slagelse Sygehus.

EL-Forsk viste stor forståelse og imødekommenhed, og projektets sidste del kunne derfor udvikles i et samarbejde mellem, elektronikvirksomheden LEDlight Components, sygehusets energikoordinator, to belysningsdesignere, samt slutbrugerne læger og sygeplejersker på Slagelse Sygehus.

Projektgruppen omfattede også Statens Byggeforskningsinstitut (SBI-AAU) og DTU-Fotonik, der bidrog med brugerundersøgelser, specialviden om sygehusbelysning samt lystekniske tests og dokumentation.

Projektet beskrives i følgende delrapport af PSO 343.064 B under titlen: ”**Energieffektiv og blændfri belysning på Slagelse Sygehus.**”

Energieffektiv og blændfri belysning på Slagelse Sygehus.



Slagelse Sygehus (Region Sjælland)
Teknisk Afd. - Ingemannsvej 18
4200 Slagelse.



Test område for projektet:
Akutafdelingen på Slagelse Sygehus ligger i den nord/vest lige ende af bygningskomplekset og er markeret med orange. fig. 01

Munk, K., Clausen, V., 2009. Krav til elforbruget i belysningsanlæg i offentlige og private bygninger 2008-2020. Dansk Center for Lys. Accessed the 20-12-11 at: http://www.ebst.dk/file/28030/energianalyse_belysning.pdf

Ny energieffektiv og blændfri loftsbelysning på Slagelse Sygehus.

Som andre offentlige institutioner i Danmark står Slagelse Sygehus også for udfordringen at skulle renovere deres belysningsanlæg og samtidigt leve op til nye krav om reduceret elforbrug. (Dette uden at det går ud over lyskvaliteten og at belysningskravene i DS/EN12464-1 er overholdt).

- Slagelse Sygehus har årligt brugt 2.000.000,- kr på strøm til belysning. Størstedelen (ca. ¾ dele af det samlede energiforbrug til lys går til den overordnede orienteringsbelysning i syghusets lofter.

- En del af armaturerne i det loftsbelysningssystem, som er implementeret på Slagelse Sygehus, er i så dårlig stand, at flere ikke kan repareres, serviceres og dermed ikke længere kan indgå i den daglige drift.

Tekniske afdeling på Slagelse Sygehus indbyder tre-fire teams til at komme med bud på et nyt indbygningsarmatur, der skal erstatte de gamle lysstofrørsarmaturer.

Deltagerne i vores team og samtidigt projektgruppen for anden etape af PSO 343-064 (B) (pr. dato 1/1/2013) var:

Bevillingsgiver og kontaktperson
Projektleder/designer
Statens Byggeforsknings Institut
DTU Fotonik
Udvikler/Modelmager
Led Light Component
Slagelse Sygehus
Slagelse Sygehus (tek. Souschef)

EL-Forsk, Jørn Borup
Christian Flindt
SBI, Jakob Markvart
Dennis D. Corell
Morten Lyhne
CEO, Kristian Henckel
Jesper Nielsen
Kim Bruhn

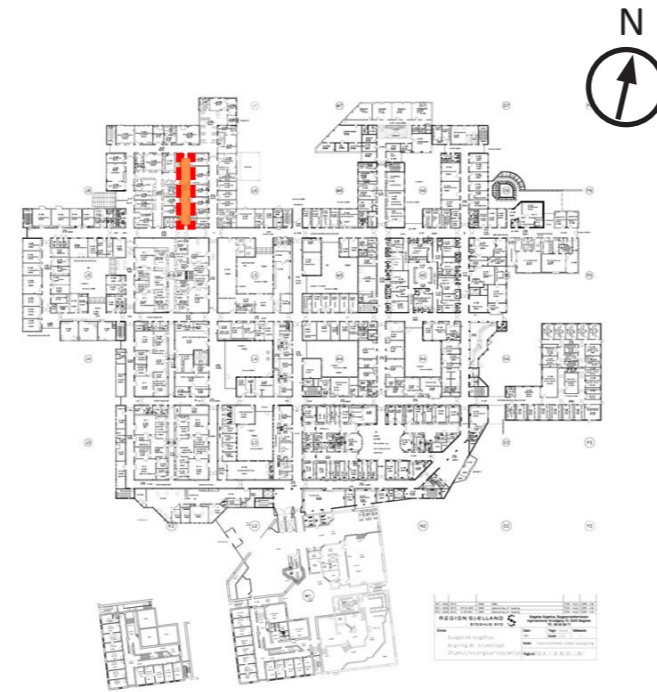
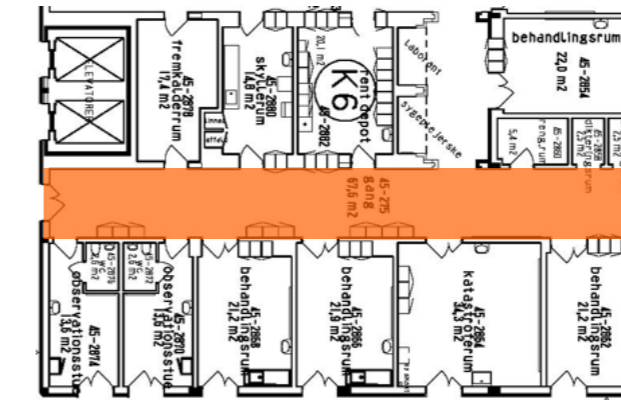


Fig. 01

Akutafsnit (Orange gang)



Fysiske rammer for den nye loftsbelysning:

Erstatningen til den eksisterende overordnede belysning på Slagelse Sygehus er dikteret af de eksisterende armaturhuller i loftet. De nye lysarmaturer skal monteres i loftet og være designet på en måde, så de dækker for den groft skåret afslutning på disse armaturhuller i loftspladerne.

Armaturene må meget gerne være så lette som muligt, da materialet de skal monteres i en let akustisk blød masonit.

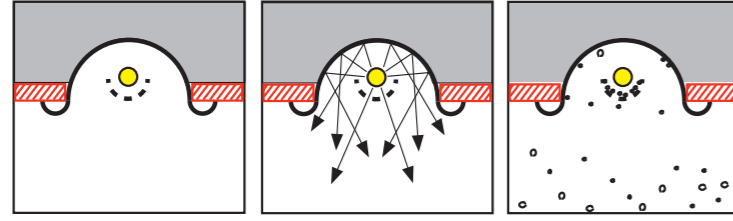
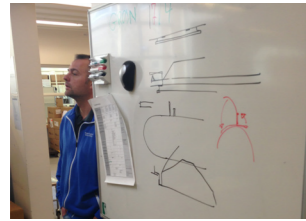
Designet på armaturet skal ikke nødvendigvis mimes det gamle design fuldstændigt, da der jo også er lagt op til at bruge helt anden belysnings teknologi. Men så vidt muligt, skal den nye belysning passe naturligt ind i den eksisterende arkitektur og den designretning, der ellers præger Slagelse Sygehus.



Målet var at udvikle en totalløsning som:

- A) Ved brug af LED giver et mindst lige så godt lys for både patienter og ansatte, som den eksisterende loftsbelysning.
- B) De nye armaturer skal have en højre energieffektivitet.
- C) De skal være nemme at sætte op og montere.
- D) Kræve mindre vedligehold og være nemme at servicere.
- E) Gældende regler og krav om lav EMC støj på sygehuse skal overholdes.
- F) Armaturene skal kunne leveres i 3 længder (900mm, 1200mm, og 1500mm)
- G) Armaturene skal være dæmpbare.
- H) Armaturene skal kunne leveres i to versioner; en med fast farvetemp (kelvin). Samt en med variabel farvetemp. (dynamisk dagslysstyring).
- I) Armaturene må ikke blænde.
- J) Prisen skal være god.

Afblændingsprincippet i det eksisterende lys-armatur



Det nuværende belysningssystem på akutgangen på Slagelse Sygehus består af 8 ens lysstofrørsarmaturer, (Phillips TBS 901_138/10F - Lyskilde TLD 36/-, Ra84). Hvert armaturet bruger afskærmning, som er en kombination mellem:

- 1) - En gitter-afskærmning som beskytter lysstofrøret rent fysisk mod slag. Samme hullede metalgitter blokerer for noget af lyset, hvilket tager den værste luminans.
- 2) Et organisk formede plast-badekar, som lysstofrøret sidder i bunden af, reflekterer det meste af det lys, som ikke går igennem metal-gitteret.

- Det eksisterende armatur er altså et helt åbent lysarmatur.

Fordelen ved det er at det er forholdsvis nemt at komme til, når der skal skiftes lyskilde/lystofrør.

- Bagdelen er at støv og skit har fri adgang og varmen gør at støvet tiltrækkes, hvilket resulterer i tilstøvede gittere, der mindsker den direkte lysgennemgang og dermed effektiviteten på sigt.

Krav til renlighed i sygemiljø

Når effektivitet, blændfrit lys og renlighed skal forenes i et og samme armatur

At opnå et effektivt og samtidigt et behageligt belysningsarmatur, i forhold til blænding, er i bund og grund et kompromis.

- Ligeegyldigt om, det er et lysstofrørs-armatur eller en moderne løsning med LED - så opnår man naturligvis de største effektivitetstal, hvis man fuldstændigt dropper blændings-afskærmning foran lyskilden. - Et helt "nøgent" armatur vil dog virke dårligt for det menneskelige øje. - For jo højere blænding, jo sværere har øjet også ved at udnytte lysmængden.

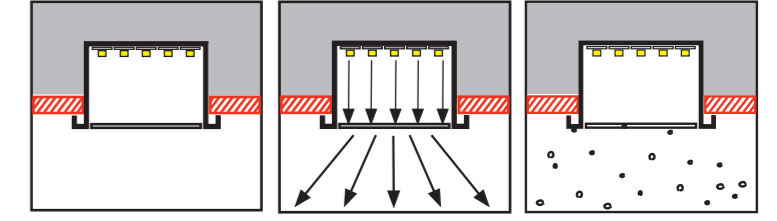
- Så at skabe et godt belysningsarmatur handler om at finde et gyldent kompromis eller balance mellem at afskærme mod blænding fra den direkte lyskilde, uden at det går for meget ud over armaturets effektivitet.

I forhold til at designe et nyt belysningsarmatur, overvejede vi følgende fire muligheder:

- A) Gitter afskærmning (som den eksisterende belysning)
- B) Reflekerende skærme (altså ikke direkte lys)
- C) Optisk-styring af lyset
- D) Diffuserende plast - opblødning af lyset.

A) - Valgt fra.

Pga. af LED-teknologiens lange levetider, er det ikke nødvendigt at have et åbent armatur for ofte at kunne komme til for at skifte lyskilde. Åbne armaturer tiltrækker og ophober støv og skidt hvilket er uforegørligt med at opretholde et klinisk rent miljø.



B) - Valgt fra.

Rent reflekteret lys er ikke så effektivt som direkte lys. Man mister hurtigt 20% effektivitet ved at sende lyset i modsat retning. Et lysstofrør er en lignende rundstråler og for at udnytte det lys som blev sendt op mod loft, sidder et lysstofrør derfor ofte i en armaturkasse som reflekterer det lys ned igen mod gulv. Moderne LED belysning er monteret på plader og lyser i en typisk 120 gradersvinkel ned herfra. Så at arbejde med LED til loftsbelysning og særligt indbygget, hvor man kun ønsker lyset ned af er helt ideelt.

C) - Valgt fra.

At bruge optik foran hver LED er typisk noget man bruger i spotbelysning, hvor der er behov for at samle LEDens naturlige 120 graders spredning til en smallere. Optik bruges også til vej belysning hvor man ønsker en asymmetrisk oplysning og på den måde har mulighed for at ændre en ellers symmetrisk rundstrålende lys spredning fra en LED til en helt anden, for at guide lyset fra nogle LED i et armatur til et andet sted på vejbanen, så alle LED'er ikke lyser samme sted lige under vejarmaturet. Hullerne i lofterne hvor de nye LED-erstatningsarmaturer skal indbygges, er placeret jævnt og med lille afstand, så der ikke er behov for at bruge penge på en fordyrende og i dette tilfælde ikke helt relevant teknologi.

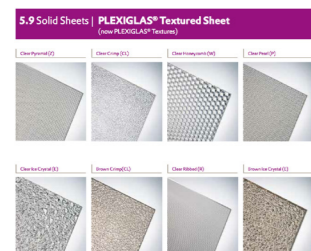
D) - Det valgte princip

Mest oplagte måde at kombinere god afblænding, høj effektivitet med kravet til stor hygiejne - i et lukket og helt støvtæt armatur.

Test af diffuserende materialer



Optiske spredningsfiltre



Diffuserende og prismatiske filtre

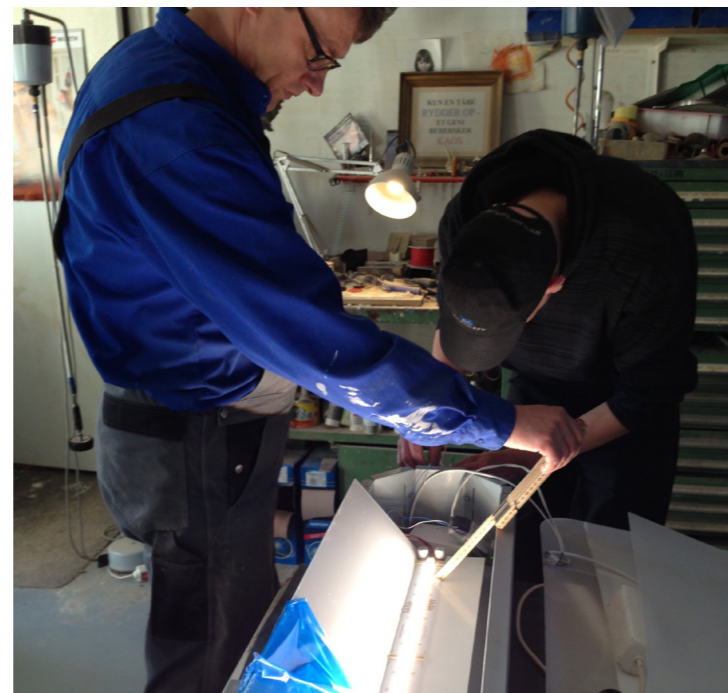
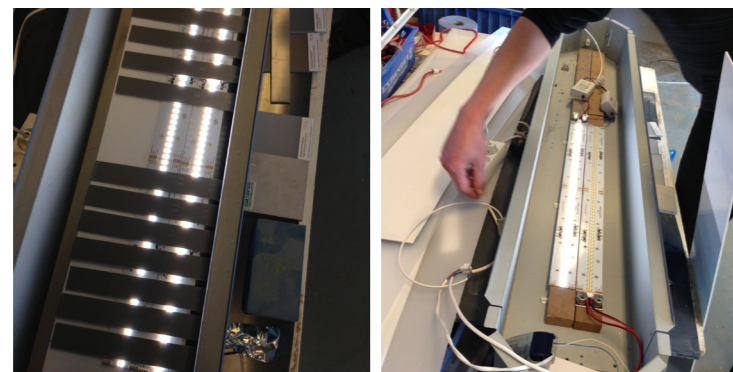
Med valget D) at lave et lukket armatur med en translucent plade i bund, som lyset skal diffuseres igennem - er der et hav af muligheder der her efter skulle tages stilling til og afprøves:

Der er forskellige plastmaterialer, forskellige tykkelser, forskellige leverandører, forskellige kvaliteter og priser.

I forhold til selve lys-brydnings- eller afblænding er der overordnet følgende 4 principper:

- 1) Opaliseret plastdiffuser
- 2) Optiske lyssprednings- eller samlende plasttyper
- 3) Mikroprismatiske folier/film
- 4) Diffuserende prismatiske plastfiltre

1) Opaliserede plastplader har typisk en lille del hvid pigment blandet i den ellers transparente plast. Sådanne plader bliver brugt i flere udedørs- og indedørs lysarmaturer og lysskilte og giver en pæn jævn hvid oplyst flade. Vi afprøvede flere, som var fine med bagdelen er dog at den type typisk stjæler op til 30% af lyset, hvilket ligger i den høje ende, og også var det de fladt på.



2) Optiske plastdiffusere afprøvede vi også. Med disse er det muligt at få præcist det lysbillede du ønsker under dit armatur. Det er også muligt med asymmetrisk optik at skyde lyset i en anden retning end armaturets - til eksempel en væg, frem for lige under armaturet. Diffuserne ligger i den dyre ende, specielt hvis man skal have nogle der reelt virker som tiltænkt. (Nogle af de bedre kommer fra det tyske firma Jung Becker). Men man skal derfor også have en god grund til at ville rette lyset så præcist, for at retfærdiggøre den ekstra udgift for denne funktion. På Slagelse Sygehus er loftsarmaturene så jævnt og godt fordelt, så det ikke var et issue.

Valg af lys-setup



Mikroprismatisk folie/film



Luminit: 30*5 - asymmetrisk



Luminit: 5 - symmetrisk



Luminit: 30 - symmetrisk

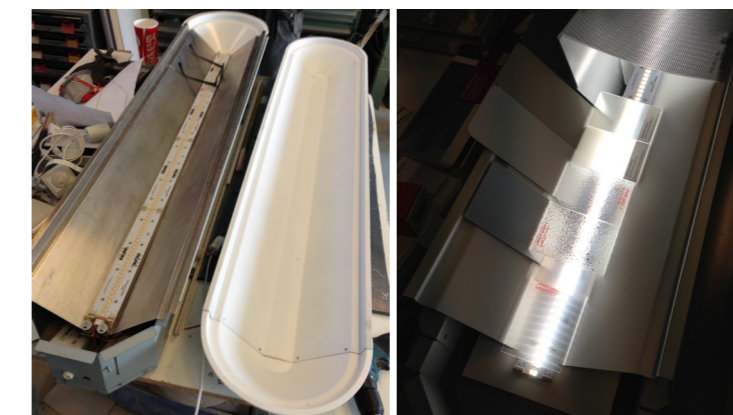


Luminit: 80 - symmetrisk

3) Mikroprismatiske folier/film

Fra den første del at vores EL-Forsk projekt omkring blændfrit lys til udendørsbrug i det offentlige rum havde vi testet en del Mikroprismatiske folier ud i forhold til at opnå asymmetriske oplysning af stier og veje. Var armaturene på Slagelse Sygehus placeret anderledes, med mindre lysåbning og større afstand armaturene imellem kunne det være oplagt at bruge denne asymmetriske prismatiske teknologi. Men igen vi oplevede at også disse meget tynde folier lå i den dyre ende også selv om vi blot ønskede en mere almindelig bred og helt symmetrisk lysfordeling.

4) Vi endte altså med diffuserende prismatiske plastfiltre og prøvede en lang række fra forskellige leverandørers bud på sådanne. Vi endte med at udvælge nogle med så høj translucens, som muligt for ikke at gå på kompromis med effektivitet. Vi var også enige med hospitalets personale i valget af en type med en fin mat struktur frem for en grovere gnistreret, i forhold til et æstetisk roligere look. Dem vi stod tilbage med havde en translucens fra mellem 85% til

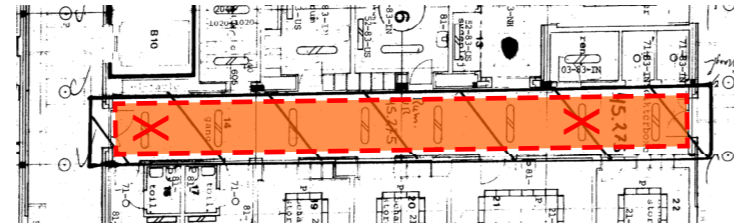
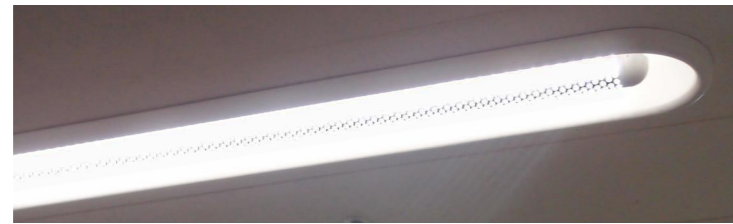


95%. Vi valgte en PMMA på 94% og alle var enige om af den rent faktisk syntes at diffusere lyset bedre og mere jævnt over hele plastfladen, end lignende prismatiske plader med lavere og altså dårligere translucens tal rent faktisk gjorde.

Vi accepterede at man igennem den valgte diffuser godt kunne fornemme lyskilden centralt placeret og at der blev en toneforskell i diffuser-fladen fra helt oplyst i midten til mindre oplyst mod kant. Skulle vi prioritere en væsentlig mere jævn udlysning i denne bundplade skulle vi samtidig acceptere et 10% mindre effektivitet armatur - hvilket vi ikke ønskede.

Krav og behov for mere lys

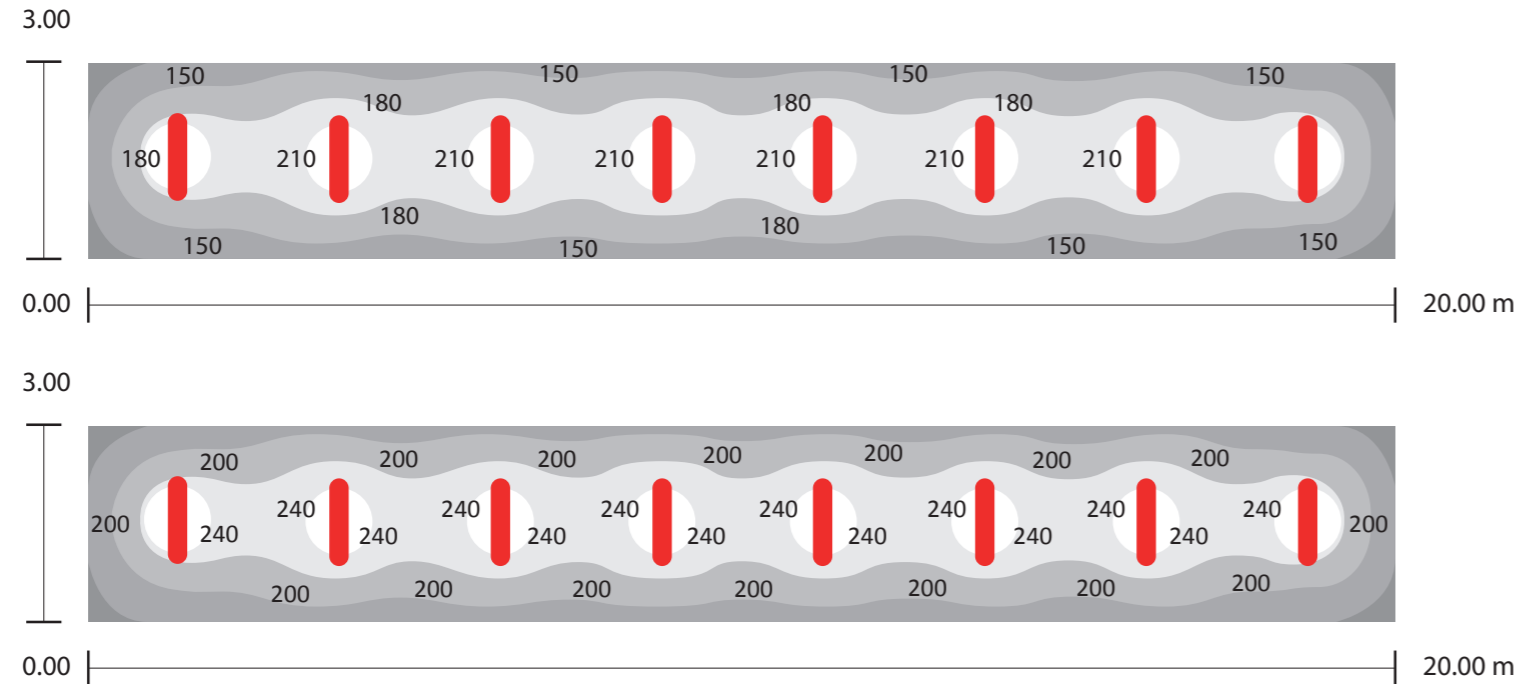
Ekisterende belysning på Slagelse Akut Afdeling, (orange gang):
Rumhøjde 3.0m
Montage højde 3.0m
(To loftsarmaturer lyst ikke).



Den gamle belysning på akutafdelingen Slagelse Sygehus, som største delen af belysningen på resten af hospitalet er bestået af lysstofrørs-armaturer med en effekt på 36W. - Den gennemsnitlige lysintensitet på gangen var 158 lux. De nye LED-armaturer er

designet til at give min. 200 lux på gulv i rum med en loftshøjde på ca. 3m (samme montagehøjde). Armaturerne leverer op til dagens krav for generel orienterings belysning, med en gennemsnitlig effekt på kun 25W.

Figur 3-4: Målinger af lysintensiteten på gangen. Gennemsnit før: 158 lux. Gennemsnit efter: 228 lux.

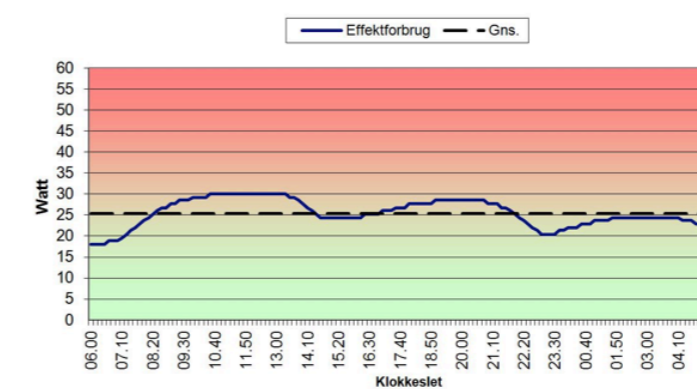


Figur 1: LED-armaturernes beregnede effektforbrug (inkl. forkobling). Med et gennemsnitligt forbrug på 25W forventes de nye LED-armaturer at modsvare de gamle lysstofrørs-armaturers 36W. (Kilde: Jakob Holmstrøm Jensen, LEDLIGHT Components Aps.)

Mulighed for mere intelligent lys

22 W med de nye LED-armaturer, svarer til det lysniveau lysstofrørsarmaturerne på 36 watt kunne give. Med 5 watt til altså blot 27 W kan armaturet levere de 200 lux, som belysningsstandarden foreskriver. Ud over at dette er en væsentlig lysforbedring fra de 158 lux de gamle lysstofrørsarmaturer gav, så er forbedringen, rent energiforbrugsmæssigt, faktisk på hele 45 %.

Effektforbrug pr. armatur



re personalets stress og sygefravær og gøre patienternes liggetider kortere, fordi belysningen bliver fremmende for helingsprocessen.

Da både SBI-AAU og DTU Fotonik havde været aktive i denne analyse, lå det lige til højrebenet at kombinere vores kompetencer, så vi ikke alene kunne tilbyde Slagelse Sygehus en energieffektiv og blændfri belysning, men også en innovativ løsning, der kan inspirere den samlede sygehussektor.

De nye installerede armaturers lysintensitet og lysfarve blev programmeret til at variere over døgnet som det ses i Figur 2 og Figur 3. på næste side. Dette for at forbedre lysforhold, døgnrytme og søvnkvalitet for de ansatte, der arbejder i vagtskifte med dag-, aften og nattevagter.

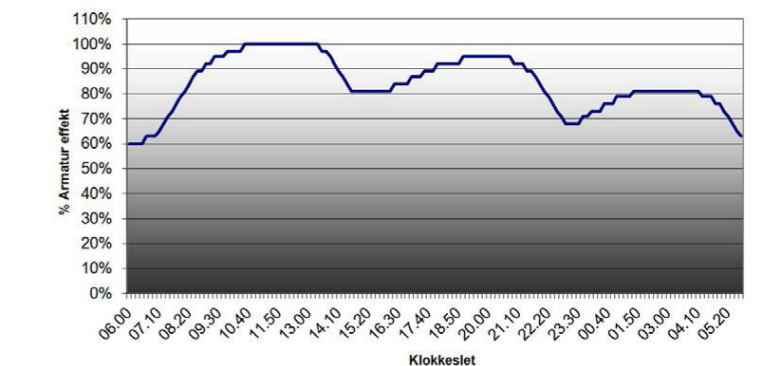
Intelligent lysstyring

Men ud over at udvikle et energieffektivt specialarmatur der skal passe i eksisterende loftshuller, så ville vi også gerne vise Slagelse Sygehus hvilke muligheder de nu vil kunne få med den nye teknologi.

Et forprojekt i ELFORSK-programmet (344-047) havde nemlig vist, at man med en intelligent styring af LED-belysning kan efterligne døgnrytmen i det naturlige udendørs lys - dagslyset. Resultaterne vidner om, at en sådan intelligent lysstyring formentlig kan reducere

Figur 2: Lysintensiteten varierer over døgnet med mellem 60% og 100% af armaturernes maksimale effekt. (Kilde: Jakob Holmstrøm Jensen, LEDLIGHT Components Aps.)

Intensitet

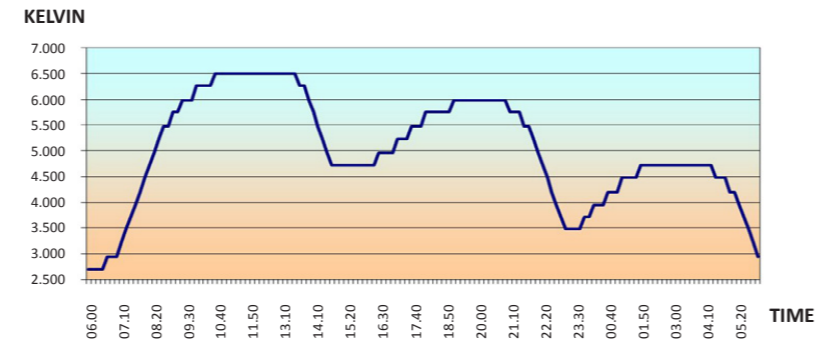


24 timer - tre skiftehold



Figur 2: Lysfarven varierer over døgnet mellem 2700 K og 6500 K. (Kilde: Jakob Holmstrøm Jensen, LEDLIGHT Components Aps.)

Når personalet f.eks. møder på natshift, vil lyset have en forholdsvis høj intensitet med en højere Kelvin-værdi, mens kunstlyset i løbet af natten gradvis bliver varmere. På stuerne, hvor sengeliggende patienter ikke kommer udendørs, kan kunstlyset tilsvarende justeres i løbet af dagen, så patienterne får en døgnrytme, der svarer til dagslysets variation.



01) DAGSHOLD



02) EFTERMIDDAGSHOLD



03) NATHOLD



Dynamisk Dagslysstyring



Programmet for den dynamiske dagslysstyring tilkobles de 8 belysningsarmaturer på akutafsittet på Slagelse Sygehus. Jakob Holmstrøm Jensen, LEDLIGHT Components Aps og Jakob Markvart SBI.



6000 K.



2700 K

Farvegengivelse

Udstyr anvendt:
Til målingen af lyset d18/3-13 blev en 2" integrerende kugle anvendt sammen med et spektrometer fra Avantes. Den integrerende kugles port åbning blev placeret i en højde af 85cm over gulv højde. Ved målingerne d28/5-14 blev et håndholdt spektrometer fra gamma scientific anvendt, i stedet, dette har også en lille integrerende kugle fastgjort på sig og kan derved også give gode spektral fordelings målinger som den integrerende kugle.

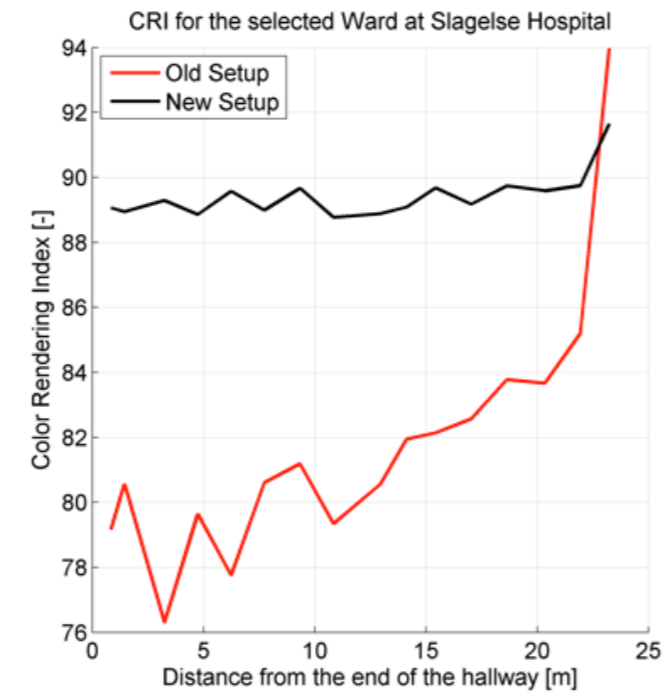
Betegnelsen for hvor god en lyskilde er til at gengive farver naturligt kaldes CRI (Color Rendering Index). Den bedste lyskilde til det er solen og den siger man har en CRI på næsten 100 (98-99).

Farvegengivelsen for de to lyssetup ses på Figur 3.

- Med sort streg ses at farvegengivelsen for den ny LED-belysning ligger på omkring CRI 89 for alle positioner, altså for kelvinspektret mellem 2700 k og 6500k.

- Med rød markering ses farvegengivelsen for det gamle lysstofrørs setup. Her ligger CRI på omkring 80.

Så det vil sige at den ny LED-belysning gengiver farver noget mere virkeligheds tro end lysstofrørerne gjorde. Ud over at det er rart at genstandes farver optræder forholdsvis ens, når man går fra ude til inde, så er dette også vigtigt på en hospital, hvor man har med mennesker at gøre og hvor hudtoner, åretegning mm, er daglige parametre man orientere sig efter. (Det store udsving til sidst, hvor graferne kommer over 90 for begge setups vedkommende, skyldes at døren var åben i den ende af gangen og at solen derved havde indflydelse på målingerne).

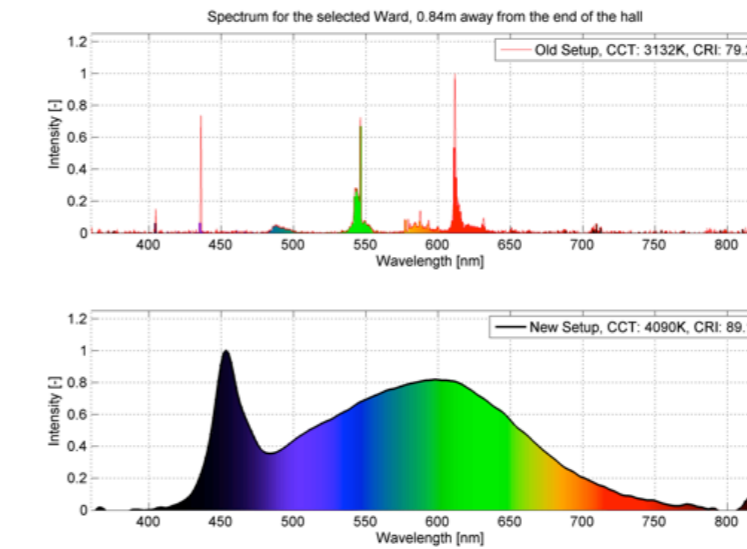


Figur 3: Viser farvegengivelse indekset som funktion af afstanden til enden af gangen for den nye og gamle belysning.

Spektralfordeling

Figur 4 Spektral-fordelingen for den gamle og den nye belysning 84 cm væk fra enden af gangen.

Spektralfordelingen kan man sige er en yderligere indzoomning på kvaliteten for gengivelsen af de enkelte farver. Kigger man på Figur 4, hvor spektralfordelingen for det gamle og det nye setup ses, så viser spektret for det gamle, enkelte stejle peaks, som udtryk for at enkelte, af de grønne og røde farver gengives fint, men at andre farver imellem (og selv lige ved siden af en bestemt rød eller en anden grøn) ikke gengives korrekt. Spektralfordelingen for den ny LED-belysning er derimod helt anderledes jævn og fyldig i stort set hele farvespektret.



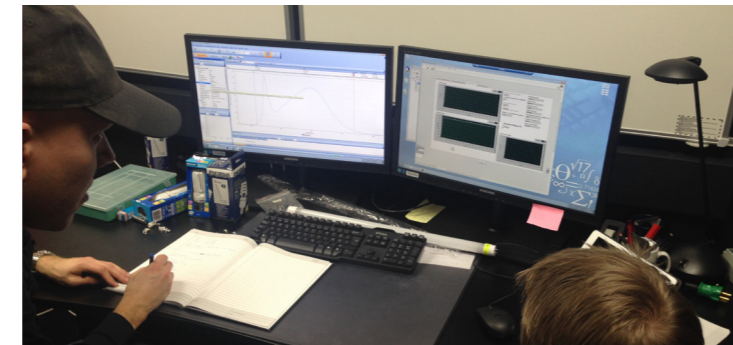
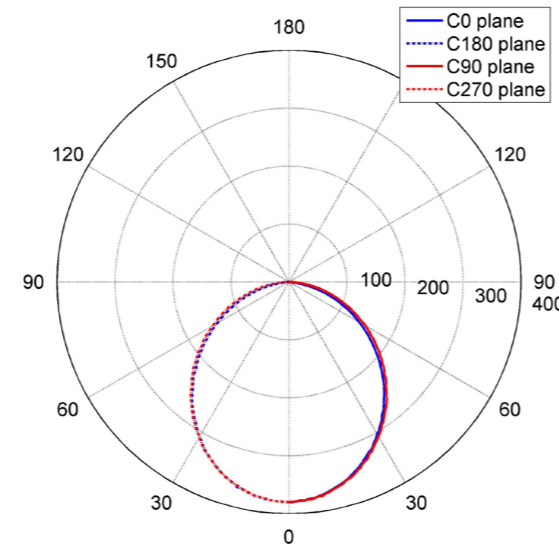
Karakteristik af armaturet DUO på DTU-Fotonik

Armaturet DUO måles den 07/02- 2014 - på DTU-Fotonik af Civilingeniør Dennis Dan Corell.

Duo havde ved måling i Goniometer og Sphere følgende data og karakteristik:

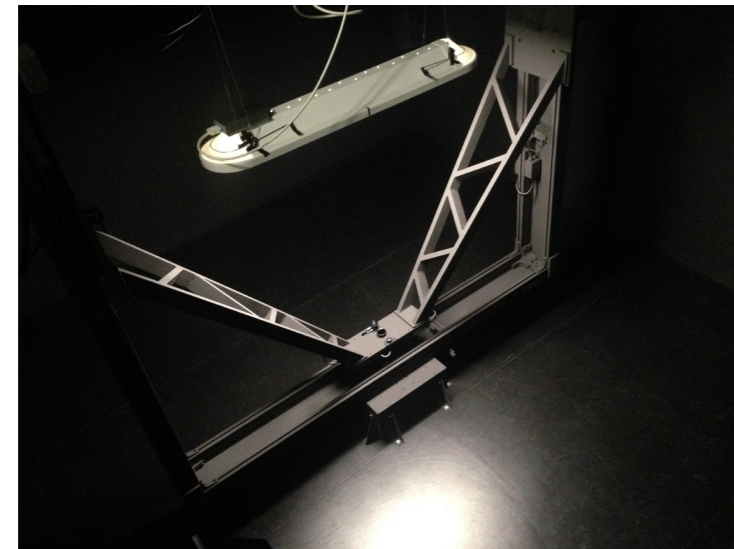
Ved et Watt-forbrug på 22,7W udsendte armaturet et samlet lumen output på 2091. Dette er i gennemsnit på 92.1 Lumen pr. Watt og måtte for tidspunktet for målingen betragtes som et særdeles tilfredsstillende resultat. Den valgte farvetemperatur, inden

for hvilken målingen blev foretaget var 3766 og er et godt bud på gennemsnits farvetemperatur for det dynamiske dagslysstyringsprogram, som kørte i forsøgsperioden på akutafdelingen og som er tiltænkt at skulle køre frem over på Slagelse Sygehus.



Figur 1 - Viser armaturets opmålte Photometriske lysudbredelse (en såkaldt IES fil) opmålt med Goniophotometer på DTU-Fotonik - Risø.

Billeder overfor viser DUO-armaturet ophængt i Goniophotometer.



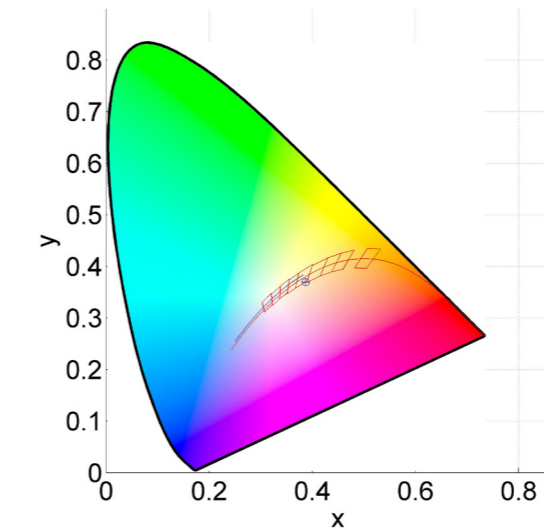
Det brugte måleudstyr:

Goniophotometer	RiGo-801 Near field goniophotometer, Type C
Spectrometer	Instrument Systems - CAS140 CT, SN: 347714213
Lens and Filter	VL filter on camera with 4.2 mm lens
	Total flux from photometer measurement ($\pm 5\%$)
Power supply	Elgar CW1251P ($\pm 0.1\%$ on applied voltage)
Power analyzer	Yokogawa - WT3000

Karakteristik af armaturet DUO på DTU-Fotonik

Den kontrollerede måling af armaturets evne til at gengive farver, gav et resultat på 87,8 CRI (Color Rendering Index). Hvilket, er meget tilfredsstillende og i tråd med hospitalets ønsker.

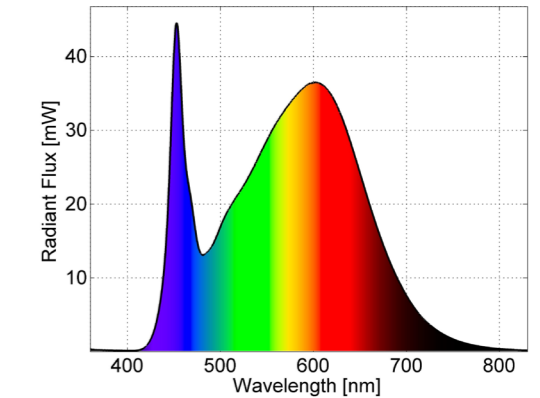
Tallet er igen taget ved en fastsat farvetemperatur på de 3766 grader kelvin og vil derfor kunne variere en anelse til den ene og den anden side efter ved hvilken kelvingrad, man foretager målingen i belysningen der spænder og variere mellem 3000k til 6500k.



Figur 3 - Spektral-fordelingen for den nye belysning viser tilsvarende brede og farve-kontinuitet, som også målt på akutgangen på Slagelse Sygehus. - Man kan dermed også slutte at den meget gode spektralfordeling ikke skyldes en opblanding af dagslysfald målt på akutgangen men armaturets egne udsendte bølgelængder og kvaliteten der af.

Figur 2 - Blackbody curve for armaturet målt ved 3788 k. Dette diagram er et andet udtryk for farvegengivelses og viser hvor i det totale spektre, farverne og bølgelængderne i det hvide lys er centreret.

Electrical Power [W]	22.7	Power Factor [-]	0.86
Luminous Flux [lm]	2091	Beam Angle [Deg]	**)
Luminous Efficiency [lm/W]	92.1	Duv	-5.25E-03
Minimum Stabilization Time [min]	31	Duv < $5.4 \cdot 10^{-3}$	TRUE
Correlated Color Temperature [K]	3766	CIE1931 (x , y) - coordinates	(0.387, 0.37)
Color Rendering Index [-]	87.8	CIE1960 (u , v) - coordinates	(0.232, 0.333)



Energieffektivitet

Udskiftning af 1640 LFL lysarmature med 1640 LED lysarmature giver følgende energibesparelse.

- 28% højere lysstrøm
- 33% energibesparelse
- 5,1 år tilbagebetalingstid.

Hospitalet påskynder de 28% mere lys de opnår ved den nye løsning. I forhold til en direkte sammenligning; havde lysstrømmen været uændret - ville tilbagebetalingstiden være mindre end 4 år.

Kort beskrivelse af tekniske belysningsystem:

Den nye LED-armatur DUO er gavnligt på følgende punkter:

- højere effektivitet
- afskærmning af lyskilderne uden blænding
- let at installere de nye armaturer i de eksisterende huller i loftet fra de gamle armaturer
- lukket og støvfri armaturer, der er let at rengøre
- kan lysdæmpes
- frit valg af farvetemperatur med DALI styring, der kan give dynamisk dagslysstyring - "Human Centered Lighting".

Gammel Teknologi	Antal	Information pr. armatur				Total pris €	Leve tid h	Brug pr uge h	Energy forbrug pr. år €
		Lm	W	Lm/W	€				
LFL 90 cm, 2400 lm, 30W + 3W (ballast), Luminaire LOR 57%	140	1368	33	41	8,0	1120	10000	168	8094
LFL 120 cm, 3350 lm, 36W + 4W (ballast), Luminaire LOR 57%	800	1910	40	48	7,9	5547	10000	168	56064
LFL 160 cm, 5240 lm, 58W + 6W (ballast), Luminaire LOR 57%	700	2987	64	47	8,0	5600	10000	168	78490
Total	1640	3809880				12267			142648

NY Teknologi	Antal	Information pr. armatur				Total pris €	Leve tid h	Brug pr uge h	Energy forbrug pr. år €
		Lm	W	Lm/W	€				
LED 90 cm, 20W + 2W (driver)	140	1980	22	90	433	60667	70000	168	5396
LED 120 cm, 24W + 2.4W (driver)	800	2376	26.4	90	527	42133	70000	168	37002
LED 160 cm, 39W + 3.9W (driver)	700	3862	42.9	90	660	46200	70000	168	52613
Total	1640	4881400				944000			95011

Elektricitets pris:
25 € cents/kWh

Tilbagebetalingstid

For enkelthedens skyld antages levetiden af driveren til at være den samme som for de to LED lyskilder. LOR antages at være den samme for både den gamle og ny teknologi.

Vedrørende vedligeholdelse af den gamle lysstofrørs-teknologi tager udskiftning af lyskilder 10 minutter/ armatur, og 50% ekstra tid blev brugt på vedligeholdelse, fordi 20% af de gamle skrøbelige armaturer brød pr. skift.

Sammenligner man med de ny de LED-lyskilder, vil prisen, i løbet af deres otte års levetid (= 70 000 timer med lys på døgnet rundt) på de gamle armaturer, antages at være 187 €. Timesatsen for firmaet der skal varetage udskiftningen er 45€/time.

Tilbagebetalingstid:

Hospitalet sætter pris på den 28% højere lysstrøm. Men i tilfælde at lysstrømmen havde været uændret, ville tilbagebetalingstiden have været mindre end 4 år.

- Ud over de 33% energibesparelser og en acceptabel 5,1 år tilbagebetalingsperioden, så skaber løsningen betydelige fordele i:
- Menneskelig velvære med hurtigere sundhed inddrivelse, ingen blænding, dæmpning plus lukkede støvfri armaturer.

Desuden blev det eksisterende loft med akustiske egenskaber bevares, og det nye armatur blev lavet til at passe ind i de gamle armatur-huller.

Information pr. armatur		
Omkostninger over 70000 t svarende til 8 år	A1 New technology costs (€)	944.000
	A2 Old Technology (€)	85.867
Ekstra omkostninger	A3 Less maintenance Costa (€)	558.311
	A4 Grants, rebate or cash award (€)	
Energibesparelse	A5 = A1-A2-A3-A4	299.823
	Sparet elforbrug (kWh/år)	238.184
	A6 Sparet forbrug (€/år)	58.752
Total tilbagebetalings tid	A5/A6 år	5.1

Lysstyring:

DALI (Digital Addressable Lighting Interface) kontrol.

Farvetemperaturen kan dynamisk være varieres mellem 2700K og 6500K.

I fremtiden kan bevægelsessensorer også installeres hvilket yderligere kan give besparelser på op til 40%.

Tilfredshedsundersøgelse blandt brugerne

I dette projekt, hvor lysarmaturerne på 'orange' gang på Slagelse Akut-afdeling (Slagelse Akut) er blevet udskiftet, er der kigget på lysforholdene på gangen før og efter reoveringen. Undersøgelsen inkluderede målinger af lysforholdene på gangen, samt en spørgeskemaundersøgelse blandt brugerne af gangen.

Denne del af rapporten behandler primært brugernes besvarelser, og giver en beskrivelse af hvordan styringen af det nye dynamiske døgn-regulerede lys var da spørgeskemaerne blev besvaret, herunder nogle få specifikationer på de nye installerede lysarmaturer. Der præsenteres få målinger foretaget af lyset på gangen, men målingerne er foretaget på et tids-punkt efter at gangen var taget i brug af andet personale end de der besvarede spørgsmålene. Der er blevet udsendt tre spørgeskemaer til de ansatte på Slagelse Akut for at undersøge deres opfattelse og tilfredshed med belysningen på gangen. De kan ses i deres fulde længde i bilag 1-2.

Spørgeskema 1 angår generelle forhold hos respondenterne mens spørge-skema 2 og 3 er ens (bortset fra hvor der henvises til spørgeskema nummer), og de angår respondenternes opfattelse af lysforholdene på gangen henholdsvis før og efter installation af nye lysarmaturer.

Oplysninger om besvarelserne fremgår af Tabel 1.

	Antal Spørgeskema modtagere	Antal respondenter	Besvarelsesprocent	Besvaret i perioden
Spørgeskema 1 (Generelt)	77	22	29%	22/04-21/05-2013
Spørgeskema 2 (Generelt)	77	22	29%	22/04-21/05-2013
Spørgeskema 3 (Generelt)	77	22	17%	04/07-25/08-2013

Tabel 1: Svarprocent og svarperiode for de tre spørgeskemaer.

De beskedne besvarelses-procenter skal ses i lyset af at personalet på gan-gen, stod overfor en snarlig flytning til nye lokaler.



Resultat af luminans før reoveringen (sydende af gang, retning mod nord):

Forklaring af spørgeskema 1, 2 og 3

Spørgeskema 1: besvarelserne afdækker generel info om hvem der har deltaget i undersøgelsen. Den viser blandt andet at det hovedsageligt er kvindelige sygeplejersker med normalt farvesyn, der har besvaret spørgeskemaerne.

Spørgeskema 2 og 3: Besvarelserne (før og efter) er blevet sammenlignet for at få et overblik over hvorvidt respondenternes tilfredshed med belysningen har ændret sig efter installationen af de nye lysarmaturer.

De spørgsmål der især lægges vægt på i denne rapport er dem der angår

- Belysningsniveau
- Lysfarve
- Farver på objekter, inklusiv hudfarver
- Subjektiv beskrivelse af lyset
- Lysets egnethed til forskellige arbejdsopgaver
- Om lyset blinker, flimrer, blænder eller på anden måde generer

Fremhævede resultater - forskelle mellem før og efter reoveringen.

I dette afsnit opsummeres besvarelserne. En detaljeret oversigt over svarene kan ses i Resultat-del 2-5.

Efter installationen af de nye lysarmaturer opfattes belysningsniveauet af en større andel som tilpas og tilfredsstillende end før. Det vurderes at der generelt har været **for lidt lys på** gangen før reoveringen.

Der er en større andel, der svarer at lysfarven er lidt for kold eller for kold efter ændringen, men samtidig er der en større andel, der er tilfreds med **lys-farven** end der var før ændringen.



Afstand fra enden af gangen [m]	Illuminans [lux]	Ra-Index [-]	Farvetemperatur [K]
0.84	419.4	89.1	4089
1.44	462.6	88.9	4091
3.24	646.3	89.3	4108
4.74	647.0	88.9	4081
6.24	718.9	89.6	4106
7.74	687.9	89.0	4065
9.34	936.5	89.7	4130
10.84	706.5	88.8	4063
12.94	667.4	88.9	4055
14.14	725.8	89.1	4081
15.44	883.7	89.6	4122
17.04	674.7	89.1	4076
18.64	795.9	89.7	4147
20.34	697.8	89.5	4139
21.94	518.2	89.7	4160
23.24	568.2	91.6	4458

Faktiske tal og oplevelse af lyset

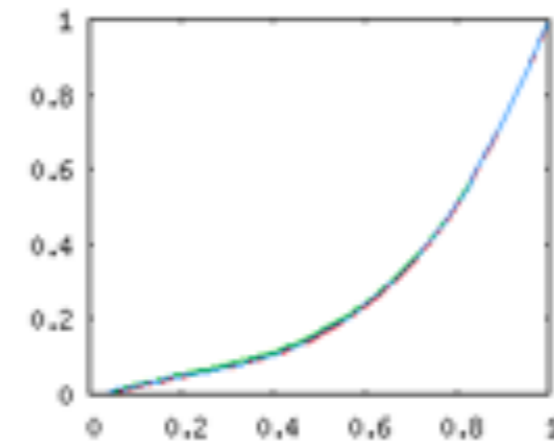
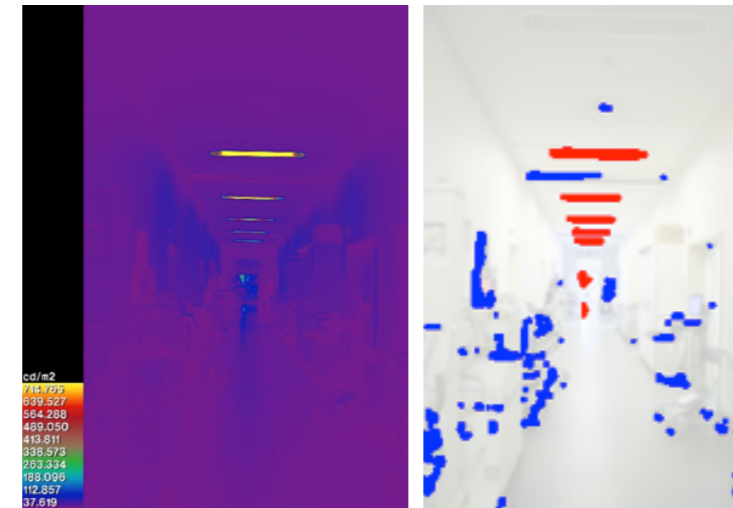
Hudfarver: Farvegengivelsen er vigtig da personalet skal kunne vurdere patienternes hudfarver. Respondenterne blev spurgt: *I hvor høj grad er du enig i følgende udsagn om lyset og loftsarmaturerne på gangen? "Farver på objekter (inkl. hudfarver) fremtræder na-turligt i arbejdsbelysningen."*

En større andel er uenig i dette udsagn efter ændringen end før; det vil sige at respondenterne generelt finder at farverne fremtræder **mindre naturligt** med de nye lysarmaturer end de gjorde før. Dette er en kendt utilsigtet egenskab ved LED lys, der ofte har en lav **R9-værdi** (gengivelse af røde pigmenter i huden).

Respondenterne blev bedt om fra en liste at vælge de tre tillægsord som bedst karakteriserer lyset. Der er her generelt ikke stor forskel på besvarelserne før og efter. Dobbelt så stor en andel i forhold til besvarelserne for den gamle belysning synes dog, at det nye lys er **ubehageligt**, men samtidig er der en gruppe der synes at det nye lys er **behageligt**. **Der er ikke længere nogen der synes at lyset er stressende.**

En faktor der er ændret er, at respondenterne svarer, at de foretrækker **forskelligt lys afhængigt af arbejdsopgaver**. Dette fremgår også af nogle af fri-tekstsvarene (se resultat-del 6). Det kunne tyde på at man i højere grad burde tilpasse lyset til arbejdsopgaverne der foretages end at anvende en generel belysning.

Færre gener: Med de nye armaturer er der markant færre der oplever at lyset **blinker eller flimrer** end der var før ændringen. Der er også færre der oplever **blænding og lyd** gener fra armaturerne. Dette lader derfor ikke til at være et problem.



Luminanser
Dokumentation for luminanserne på gangen blev foretaget i form af Lumi-nans-billeder og med kontrol her af ved måling med Hagner Universal-jusmätare, modellS2

Heat map
Red pixels are likely to have a luminance that is higher than indicated. Blue areas are likely to be lower than the HDR image suggests.

Response curves
plot of photometric re-sponse curves recovered from image sequence. The red, green, and blue channels are plotted separate-ly.

Tabel 3: Udsagnene, som respondenterne blev bedt om at tage stilling til.

Tabel 2: Svarmuligheder og oversættelsen til numerisk skala.

Respondenterne blev bedt om at vurdere en række udsagn om lyset på gangen. Svarmulighederne er oversat til en numerisk skala som det fremgår af Tabel 2 for at kunne beregne et gennemsnit af besvarelserne før og efter og derved få et overblik over ændringerne. Fremgangsmåden forudsætter at man går ud fra at der holdningsmæssigt er lige langt mellem de fem forskellige svarmuligheder.

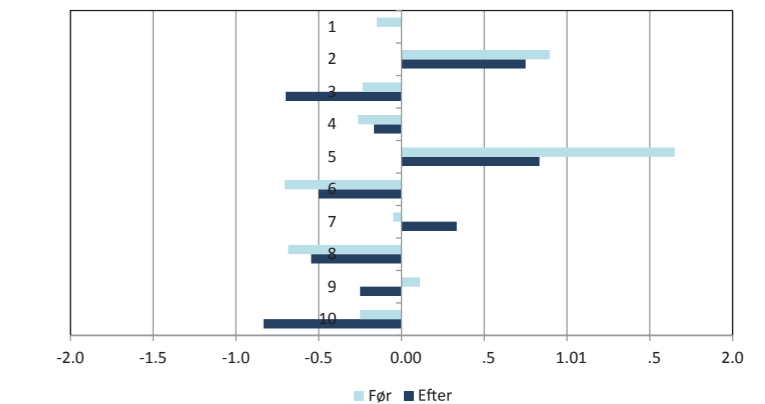
Svarmulighed	Helt uenig	Overvejende uenig	Hverken enig eller uenig	Overvejende enig	Helt enig
Svarmulighed	-2	-10		12	

Figur 5 illustrerer hvordan respondenterne i gennemsnit har vurderet udsagnene, som er listet i Tabel 3. Besvarelserne fra både før og efter installationen af nye armaturer er listet overfor/i forhold til hinanden. Besvarelser med en negativ værdi indikerer at respondenterne i gennemsnit har været uenige i udsagnet mens besvarelser med en positiv værdi indikerer at de har været enige.

Der bemærkes følgende (Figur 5):

- De nye armaturer giver en jævn fordeling af lyset (spørgsmål 7).
- Respondenterne i eftersituationen er ikke så enige i, at det er vigtigt selv at have mulighed for at justere lyset (Spørgsmål 5), hvilket kunne indikere at den automatiserede belysning er passende eller bedre end ved indstilling på et fast niveau som før renoveringen.
- Farver opfattes mindre naturligt med den nye belysning (spørgsmål 10).
- I fem af de ti udsagn vurderer respondenterne sig mere enige efter renoveringen og i de øvrige 5 mere uenige. Betydningen af udsagnet bør dog tages i betragtning, for om dette er positivt eller negativt.

1B	elysningen egner sig godt til mine arbejdsopgaver
2J	eg har generelt behov for ekstra arbejdslys ved arbejdsstationerne
3J	eg har problemer nok i forvejen, gider ikke tage stilling til lyset også
4J	eg foretrækker automatisk styring af lyset
5	Jeg synes det er vigtigt at have mulighed for at justere lyset
6J	eg synes at designet af loftsarmaturerne på gangen er attraktiv
7L	oftsarmaturerne giver en jævn fordeling af lyset på gangarealet
8L	ysfordelingen fra loftsarmaturerne er markant og spændende
9J	eg oplever lydgener fra loftsarmaturerne
10	Farver på objekter (inkl. hudfarver) fremtræder naturligt i arbejdsbelysningen



Konklusioner på brugerundersøgelse

Opfattelse før og efter

Det indsamlede materiale giver en indikation af hvordan brugernes opfattelse af og tilfredshed med belysningen er før og efter installationen af de nye lysarmaturer. - Der er få besvarelser til at kunne drage signifikante statistiske konklusioner.

- **Belysningsniveauet** opfattes af en større andel som tilpas og tilfredsstillende efter ændringen af lysarmaturerne.

På trods af at flere opfatter lysfarven som lidt for kold eller for kold med de nye armaturer, er der flere der svarer, at de er tilfredse med lysfarven.

- Der er færre **lyd- og blændingsgener** fra loftslyset, og færre respondenter oplever, at lyset blinker eller flimrer.

- Der er en tendens til, at farver, inklusiv **hudfarver**, opleves mindre naturtro med den nye belysning, og det nævnes af flere respondenter at en naturtro gengivelse af hudfarve er vigtigt for at kunne vurdere patienternes tilstand.

- Ingen fundne sammenhænge ml. lys ændring og **søvnkvalitet**
Respondenterne er også blevet spurgt til deres oplagthed og søvnkvalitet efter forskellige typer af vagter som det ses i resultatdel 2, der sammenligner spørgeskemaer udsendt før og efter renovering. Der kan på baggrund af besvarelserne ikke umiddelbart ses nogen sammenhæng mellem ændringen af belysningen og med hvor friske og oplagte respondenterne føler sig efter en vagt eller hvordan deres søvnkvalitet er.

Individ-data og begrænset datamateriale

Ni personer (svarende til 11,7 % af det samlede antal modtagere af spørgeskemaerne) har besvaret både spørgeskema 2 og 3. Der kan ofte drages stærkere konklusioner baseret på koblede besvarelser, så man ser på om de enkelte individer svarer mere positivt/negativt på de samme spørgsmål før/efter en ændring. Med det begrænsede datamateriale vurderes det ikke at give mening at koble besvarelserne.



Design og funktionalitet

Designet:

- Designmæssigt differentiere det ny LED armaturet sig fra det oprindelige armaturdesign, ved en lidt skarpere afslutning ned ad til.

- Den samlende alu-profil åbner armaturet designmæssigt op og understreger lysets spredning.

- På den måde er der skabt et enkelt og rent udtryk, der tydeligt referer til det gamle armatur, det skal erstattes, men samtidigt er nyt og tidssvarende.

- For at skabe et designmæssigt slægtskab til den fysiske udvidelse af Slagelse Sygehus, har den lakerede og samlende aluminiumsprofil en proportionering, som gør det muligt at lave beslægtede armaturer med andre former, som vil kunne passe til nye rumligheder og andre loftsmoduler.

Nemt at rengøre:

Armaturet fungerer som en lukket og støvtæt enhed. Det betyder at det er let at rengøre, da der ikke kan samle sig støv og skidt i armaturet. Ved indbygning er der heller ingen opadvendte frie flader hvor støv kan samle sig. Alle synlige overflader kan let tørres af med en fugtig klud nedefra uden brug af stige.

Lavt strømforbrug:

LED-armaturet kan ved et samlet forbrug på blot 27 Watt inkl.

forkobling, give den samme mængde lys som det eksisterende lysstofrørsarmatur med et samlet forbrug på 48 Watt inkl. forkobling. Altså en direkte energi besparelse på 45%. med samme lysudbytte og 33% ved at forhøje lysmængden så den overholder standarden på min. 200 lux.

De leverede LED-armaturet er dæmpbare så energi besparelsen let kan blive meget højere.

Den eksisterende belysning på Slagelse Sygehus giver kun ca. 175 lux middelværdi og ikke de 200 lux som der burde være ifølge SBI,

derfor giver LED-armaturet mulighed for mere lys end man tidligere har haft. Forsynes LED-armaturet med 27 Watt vil man opnå de 200 lux og lyset kan så dæmpes når der ikke er behov for 200 lux.

Lang levetid:

Hele armaturkassen er bukket i aluminium med formpressede aluminiums endestykker, hvilket gør at hele armaturets bagside virker som varmeafleder. Selvom LED lyskilden ikke bliver særlig varm, så tæller hver eneste varmegrad i negativ retning når det handler om levetid og effektivitet. Nemt at montere: Det har været vigtigt at skabe en så let op- og nedtagningsprocedure som overhovedet muligt. Armaturet tilsluttes derfor ved hjælp af et stik, således at der ikke behøves værktøj ved til/fra-kobling. Armaturet for indbygning har en skydebøjle i hver ende. Når disse bøjler skydes ud, fikses hele armaturet i loftet og dermed er det monteret, også her helt uden brug af værktøj.

Tilvalg:

Armaturet er i standardudgaven dæmpbar ved DALI styring og udstyret med en forudbestemt farvetemperatur (f.eks. 4.000k) efter ønske. Dette kan udbygges med en dynamisk styring af lyset, der udover i intensitet også kan veksle frit i farvetemperatur (fra 2.700K til 6.500K) henover døgnet.

Armaturet og dets variable lys vil på den måde kunne være med til at understøtte den cirkadiske rytme (døgnrytmen) hos såvel patienter som personale.

Armaturet kan desuden leveres med den særlige nødstrøm løsning, som tidligere er blevet udviklet til brug sammen med andre LED lyskilder på Slagelse Sygehus, denne har automatisk selvtest, benytter de mest miljøvenlige batterier på markedet og sørger for at batterierne lever meget længe.

EL-Forsk betydning for projektet

Fra elektronik virksomhed til belysningsproducent

Takket være projekttilskuddet fra EL-Forsk, har en forholdsvis mindre elektronik virksomhed i Rødby, fået mulighed for bruge mange ressourcer på at udvikle en moderne belysningsløsning. De har kunnet forfølge deres firmastrategi indenfor udvikling af LED-baserede løsninger. Og nu ikke kun som underleverandør til større producenter på belysningsmarkedet, men nu også som producerende leverandør af egne højteknologiske belysningsarmaturer med udgangspunkt i behov indenfor egen region og behov, der ikke allerede findes som hyldevarer på markedet.

Udvikling og videndeling.

Projektgruppen har haft mulighed for at trække på Danmarks bedste videnskabelige ekspertise inden for LED og lysstyring. Uden ELFORSK havde vi aldrig kunnet bringe os konkurrencemæssigt på højde med de store internationale producenter. Resultatet er blevet et blændfrit armatur i tre forskellige længder. Armaturet er designet, så det er nemt at montere og rengøre. Det er modstandsdygtigt med lang levetid og tilbyder en elbesparelse på ca. 45 procent.

Som et supplement til standardarmaturet har projektgruppen udviklet en lysstyring, der gør det muligt at afprøve LED-teknologiens potentiale for ikke energimæssige fordele (Non Energy Benefits – NEB). Den dynamiske styring kan variere ikke alene i lysintensitet, men også veksle frit i farvetemperatur fra varm hvidt (2.700 Kelvin) til en mere kold temperatur (op til 6.500 Kelvin). På den måde vil belysningsløsningen understøtte den naturlige døgnrytme

hos både patienter og personale. Armatur og styring er undervejs testet, målt og verificeret på DTU Fotoniks avancerede Quality Lab, så Slagelse Sygehus kan være sikker på at få en belysningsløsning, der er optimeret i forhold til de specifikke behov.

Ordre på de første 100 armaturer leveret.

Slagelse Sygehus valgte i 2016 at bestille de første 100 armaturer med både DALI styring og den udvidet version med Dynamisk Dagslysstyring.

Slagelse Sygehus har i 2017 fået ny teknisk ansvarlig, og sygehuset er nu i gang med at se på, hvor vidt de kan blive nødsaget til at skifte hele deres akustiske loft ud, da leverandøren ikke længere findes på markedet. Det synes samtidig at knibe med at kunne fremskaffe loftpaneler i de pågældende størrelser. Led Light Component afventer hospitalets beslutning. Om det skal levere flere armaturer afhænger af Slagelse Sygehus vælger et helt nyt loftsystem eller om de beholder det system som armaturet DUO er designet til. LedLight Component er i kontakt med andre hospitaler som har samme lofter og armaturer og derfor står i samme situation.

Stort potentiale for intelligente LED-løsninger

Kombinationen af høj energieffektivitet, lang levetid, fleksibilitet og regulerbart giver os helt nye muligheder for at bidrage til et mere produktivt samfund. Der er skabt et enestående netværk mellem forskere, designere, producenter og slutbrugere, og vi råder på DTU-Fotonik over et af verdens mest avancerede laboratorier. Så vi har et fantastisk udgangspunkt for at kunne gøre en forskel, ikke bare for Danmark, men i hele Europa hvor de gammeldags lyskilder er ved at blive udfaset.

Nedtagning af gammel belysning

A) Nedtagning af gamle armaturer

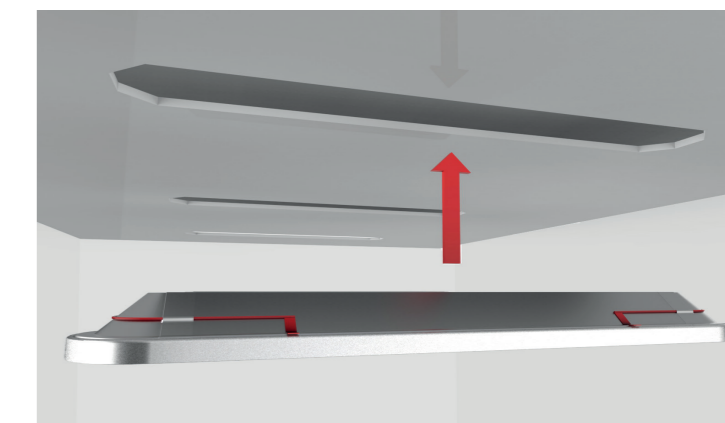


B) Etablering af DALI stik på eksisterende kabelender.

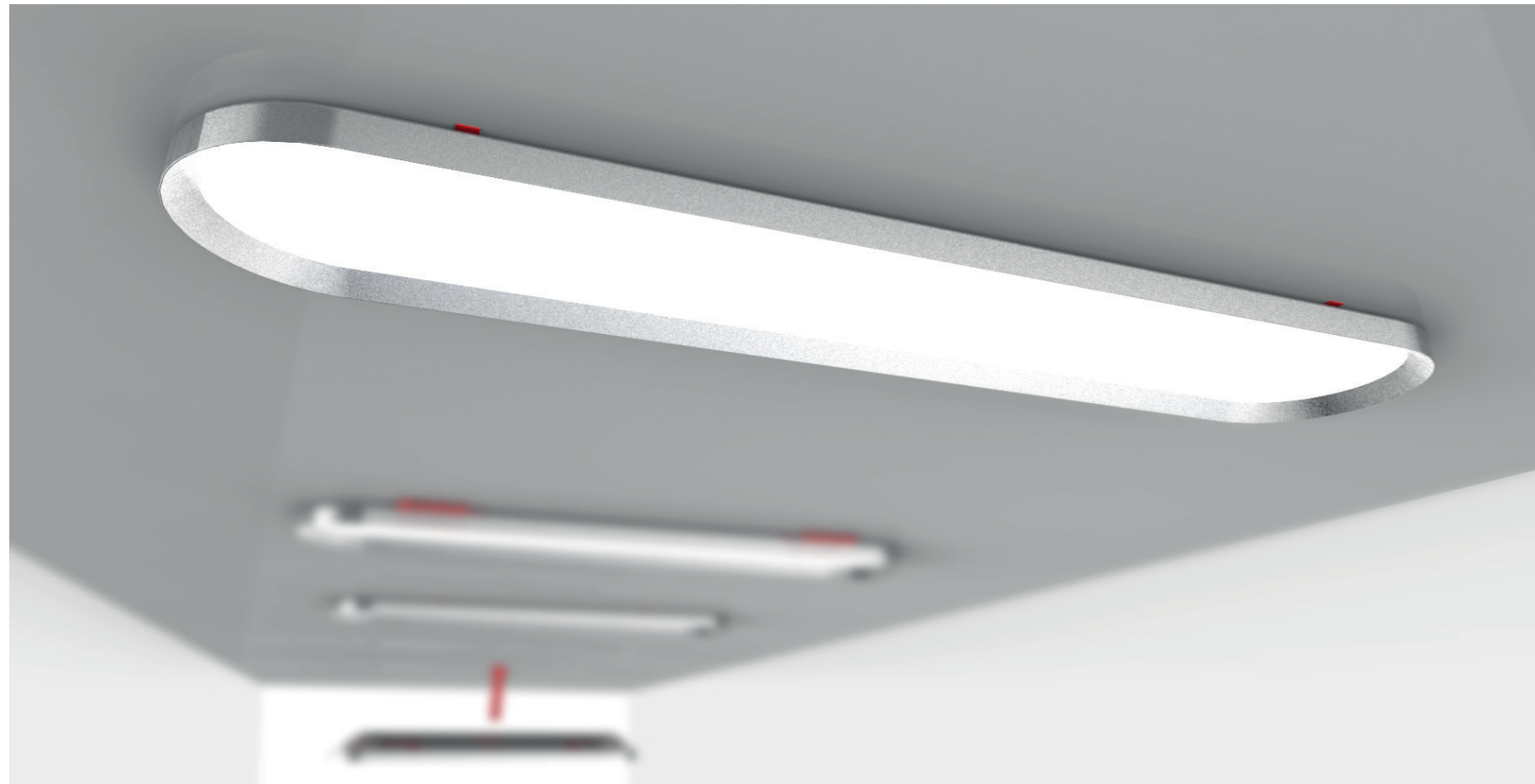


C) Kobling af de nye DALI stik med DALI stik på det nye armatur og før nyt armatur op i eksisterende hul i loft.

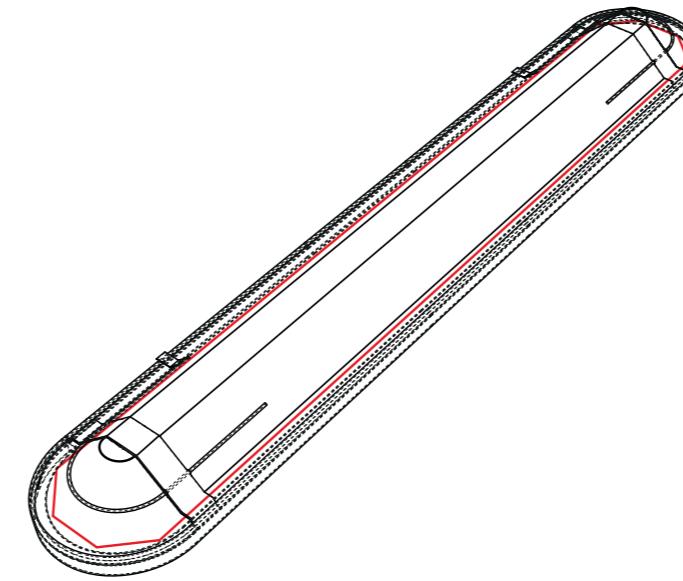
D) Skyd hver monteringsbøjle mod armaturets ender og armaturet er monteret.



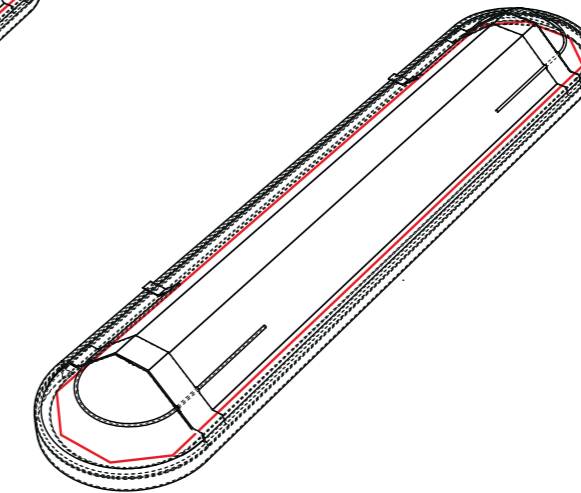
Opsætning af Slagelse Armaturet DUO



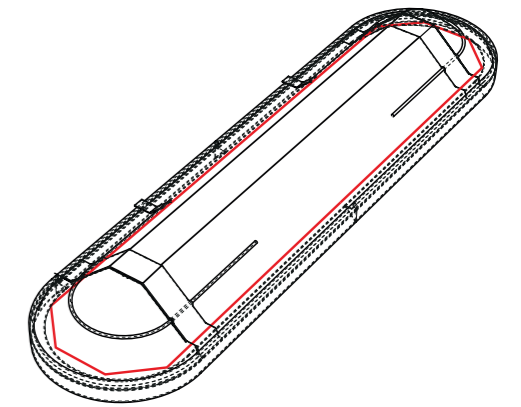
Slagelse Armaturet: Størrelser og mål



A) 1500mm



B) 1200mm



A) 900mm