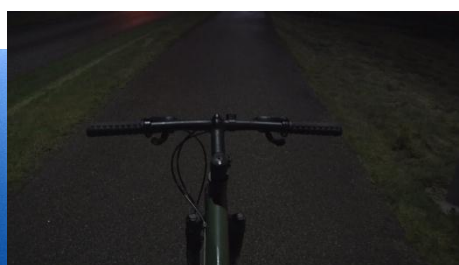


EUDP AFRAPPORTERING

ENERGIEEFFEKTIV INTELLIGENT GADELAMPE



Journal. Nr: 64010-0030

Afleverings dato: 16/01-2011



E L E C T R O T E X T U R E L A B



Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	1
1.1	BAGGRUND FOR PROJEKTET	1
1.2	OPDELING AF PROJEKTET.....	2
2	SYSTEMOVERBLIK	2
2.1	LAMPETEKNOLOGI BENYTTET I PROJEKTET.....	3
3	LAMPE KOMMUNIKATION	4
3.1	KOMMUNIKATIONSTEKNOLOGIER	5
4	POWERLINE KOMMUNIKATION	6
5	KOMMUNIKATIONSMODUL	7
6	BEVÆGELSESENSOR	9
6.1	STATE-OF-THE-ART SENSORER	9
6.1.1	<i>Ultralyd</i>	9
6.1.2	<i>PIR sensor</i>	9
6.1.3	<i>Mikrobølgesensor</i>	10
6.2	MOTIVATION FOR VALG AF TEKNOLOGI	10
6.3	BESKRIVELSE AF DETEKTERINGSALGORITME OG SENSORDESIGN	11
6.4	SENSOR DESIGN	12
6.5	MONTERING AF SENSORER	13
6.6	PROTOTYPE 2 SENSOR	15
7	SOFTWARE TIL LAMPESTYRING PÅ BY- OG GADENIVEAU	15
8	RESULTATER	18
9	FORMIDLINGSAKTIVITETER	22
10	KONKLUSION	23



1 Indledning

Dette dokument indeholder en beskrivelse af det samlede teknologiske bidrag fra alle partner i EUDP projektet "Intelligente Gadelamper". Dokumentet beskriver den samlede løsning udviklet i projektet.

Der er i dag stor fokus hos beslutningstager på, hvordan der kan opnås større besparelser på gadebelysning i Danmark og Europa. Der er generelt et stort ønske om at spare energi når gader i vores byer skal belyses. Udover miljøgevinsten, der ligger i at spare på energien, ligger der også et kæmpe besparingspotentiale for beslutningstagerne. I kraft af den finansielle krise er der bl.a. her i Danmark desværre opstået en tendens til at kommuner og regioner forsøger at spare på energien ved at slukke for dele af gadebelysningen i byerne. Konkret sker det typisk ved at hver anden gadelampe slukkes i villakvarterer og på andre mindre befærdede steder, hvilket går udover sikkerheden for især de svage trafikkanter. En anden konsekvens er at der opstår større utryghed for at færdes udendørs når belysningsniveauet halveres.

Dette EUDP projekt har haft til formål at udvikle gadebelysning og tilhørende systemer, der imødekommer beslutningstagers ønske om at spare energi og omkostninger på gadebelysning, samtidig med at sikkerheden og trygheden for specielt svage bilister øges.

Konkret har projektets parter udviklet en intelligent energibesparende gadelampe og tilhørende kontrolsystemer, der gør det muligt at justere lysintensiteten på gaden i forhold til mængden og typen af trafik.

Rapporten gennemgår i afsnit 2 det udviklede system som helhed. Afsnit 3 beskriver udviklingen af et styremodul til en LED gadelampe. Afsnit 4 beskriver den benyttede kommunikation mellem lamperne. Afsnit 5 beskriver det udviklede kommunikationsmodul og afsnit 6 beskriver den udviklede bevægelsessensor. Afsnit 7 beskriver den udviklede software platform, der binder alle lamperne sammen og gør at de kan reagere samlet på en gade. Afsnit 8 beskriver de opnåede resultater og Afsnit 9 beskriver nogle af de formidlingsaktiviteter, der er gennemført i projektet. Afsnit 10 giver en opsummering af projektet.

1.1 Baggrund for projektet

På baggrund af lovkravet fra EU omkring udfasning af kviksløvspæren i 2015 og stor vilje i kommunerne til at spare på energien er Teamtronic, Eletotexture Lab og Teknologisk Institut gået sammen i et konsortium med henblik på at udvikle morgendagens intelligente gadelampe.

Konsortiet er dannet på baggrund af en erkendelse af at der det europæiske marked mangler en energieffektiv løsning der intelligent kan justere lysintensiteten på en gade afhængig af trafikmængden og typen. Derudover skal alle eksisterende gadelamper med kviksløvs pærer udskiftes senest i 2015, hvilket betyder at Danmark står overfor en udfordring når godt 200.000 gadelamper skal udskiftes. Et så stort styktal giver muligheden for at redesigne hele byer til at benytte mere energieffektive og intelligent gadelamper¹.

Da belysningsmarkedet allerede nu har udviklet nogle få energieffektive gadelamper baseret på LED teknologien, er det nu blevet muligt at justere lysintensiteten uden brug kraftige transformatorløsninger der

¹ Ny lov kan betyde, at 200.000 gadelygter skal udskiftes inden 2015 - http://www.energy-supply.dk/article/view/56336/ny_lov_kan_betyde_at_200000_gadelygter_skal_udskiftes_inden_2015



ikke er energieffektive. Denne metode fungerer ved at indføre en transformator imellem lamperne og 230V nettet og dermed ændre spændingsniveauet fra 230V til f.eks. 190V, når lyset skal dæmpes. Denne metode er ikke energieffektiv da der altid vil være et tab i transformatoren - i større eller mindre grad.

Med introduktionen af LED belysningsteknologien er det blevet muligt at dæmpe lyset effektivt og uden brug af kraftige transformatorer. Et LED elementerne i en gadelampe benytter ikke 230V nettets vekselspænding (AC) direkte, men styres af en strømforsyning lokalt i lampen, der leverer en jævnspænding (DC) til LED elementerne. Det giver mulighed for *digitalt* at justere denne strøm internt i strømforsyningen og dermed ændre lysintensiteten på lampen vha. fjernstyring.

1.2 Opdeling af projektet

Projektet har fra starten være opdelt i tre dele som er blevet fordelt mellem de tre partnere. Det blev tidligt i projektet klart, at det var nødvendigt at designe en prototype af kommunikationsmodul i projektet da TeamTronics leverandør ikke kunne levere det ønskede kommunikationsmodul. Det var derfor naturligt at Teknologisk Institut varetog denne opgave i projektet. Da TeamTronic har stor erfaring og kompetencer indenfor vejbelysning har virksomheden stået for den overordnede kontrol af gadelamperne på gadeniveau. I kraft af Electrotecture Lab's arbejde og viden omkring interaktion i byrum har de forestået udviklingen af trafiksensoren.

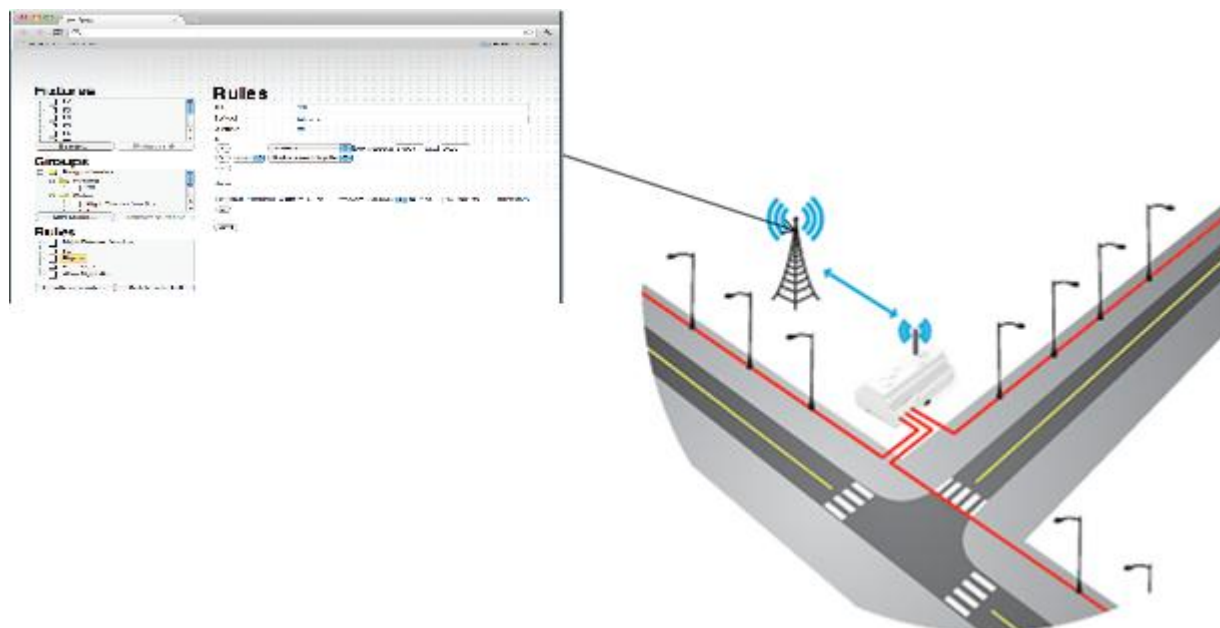
- **Teknologisk Institut** – Udvikling og integration af kommunikationsmodul til lampe samt kontrol af den enkelte gadelampe. Arbejdet er beskrevet i Afsnit 3,4 og 5.
- **TeamTronic** – Udvikling af master pc software og brugerflade til kontrol af gadelamper på gadeplan. Arbejdet er beskrevet i Afsnit 7.
- **Electrotecture Lab** – Sensor design og evaluering. Arbejdet er beskrevet i Afsnit 6.

2 Systemoverblik

Det udviklede system består af fire hovedkomponenter.

- En energieffektiv LED gadelampe
- Et kommunikationsmodul, der kan juster lysintensiteten når modulet får besked fra en master computer.
- En sensor monteret i gadelampen eller mastelugen. Sensoren registrer om det er en bil eller cykel/person, der passerer lampen.
- En master PC, der kontrollerer alle lamperne på en gade. Lysindstillingen på en hel gade kan kontrolleres via en hjemmeside ved at opsætte regler for hvordan lysets skal opføre sig. Et eksempel kunne være: hvis en cykel detekteres af en radar og klokken er mellem 18.00-08.00, da skru op for alle gadelamper i en radius af 250m til 80% lysstyrke.

På Figur 1 gives et overblik over princippet i systemet. Alle LED gadelamper kommunikerer med en central master computer, der via en hjemmeside kan kontrollere lyset.



Figur 1: System overblik. Hjemmesiden øverst til venstre benyttes til at konfigurere hele systemet. Dette web interface beskrives i afsnit 7.

2.1 Lampeteknologi benyttet i projektet

I projektet er Futurelux Head gadelampen fra Swarco A/S benyttet. Lampen er valgt til projektet da den har en strømforsyning, der er bygget til at man kan justere lysintensiteten via et interface. Det gør lampen ideel til indbygning af et eksternt kommunikationsmodul således at lampen kan kommunikere med en master computer og kontrollere lysintensiteten. I Swarcos strømforsyning er der ekstra plads i kabinettet så der er plads til det nødvendige kommunikationsmodul, hvilket har fritaget konsortiet fra at finde løsninger til at montere og beskytte kommunikationsmodulet i selve lampen.



Figur 2: Swarcos futurlux head armatur benyttet til projektet

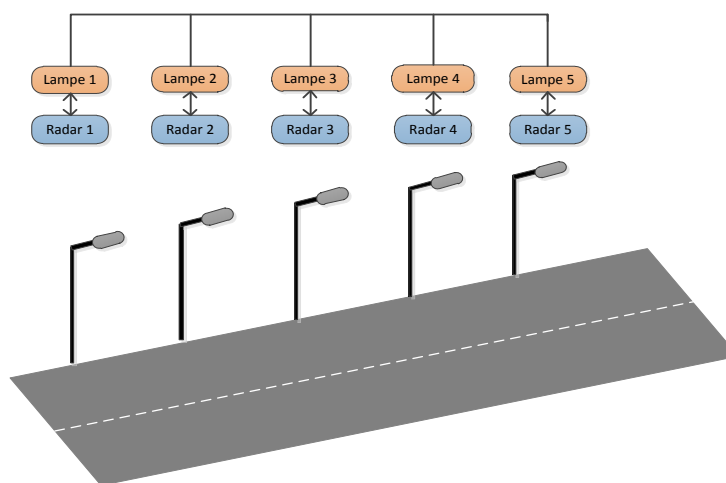
Kort fakta om gadelampen

- Strømforsyning kommunikerer via Swarco CDM interfaces på COM2 protokol, der gør det muligt at justere lysintensiteten.
- LED gadelampen kan dæmpes uden at reducere effektiviteten.
- Reduceret spændingsfaldet på 20V giver en lysnedgang på 50% hvilket bevirker at lampens effektivitet stiger
- Levetid på mere end 70.000 timer
- Indeholder 4 LED moduler og bruger 68W ved 100%

3 Lampe kommunikation

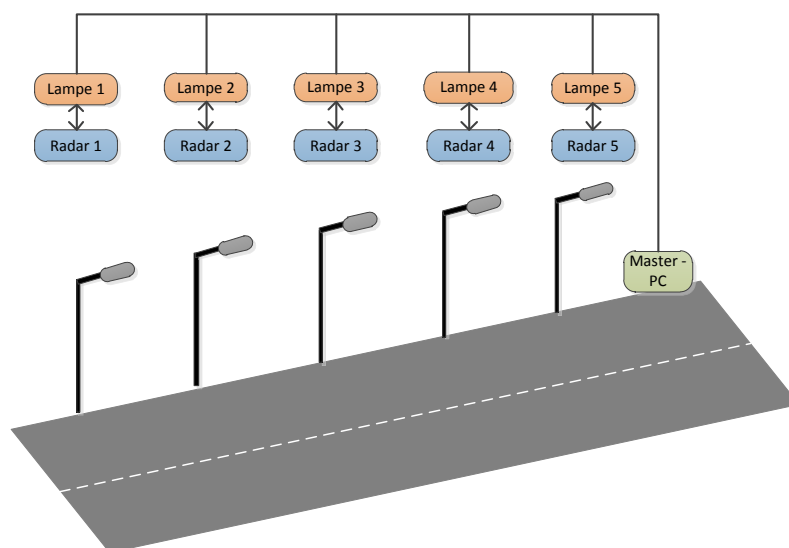
Der ønskes at opbygge en kommunikation mellem gadelamper for at give mulighed for at justere lysniveauet for gadelamperne individuelt eller samlet for hele gader. For at realisere dette skal det være muligt for lamperne at kommunikere med hinanden. Indenfor kommunikationsteknologien findes der to paradigmer hvorved en kommunikation kan opnås:

- **Peer-to-Peer (Figur 3):** Her kommunikerer alle lamper med alle lamper. Ved en sådan kommunikationsform kræves det at al information omkring, hvordan lyset skal sættes på gaden og hvor den enkelte lampe er i forhold til resten af gadelamperne, er gemt i hver enkelt lampe.



Figur 3: Peer-to-peer kommunikation

- **Master-Slave (Figur 4):** Hver enkel lampe kommunikerer med en master-computer, hvorefter masteren kommunikerer med de andre lamper på vejen. Denne kommunikationsform gør at al information om gade set up kun skal være tilgængelig på master computeren.



Figur 4: Master-slave kommunikation

Da master-slave princippet gør, at hver enkel lampe skal indeholde mindre "intelligens" og dermed kan fremstilles betydeligt billigere er denne kommunikationsform valgt. Det betyder dog at der skal benyttes et antal master-computere, der er monteret i et skab. Denne master-computer kan derefter dække kontrollen af lamperne i f.eks. et helt villakvarter. Samtidig vil master-computeren give mulighed for fjernadgang til hele kvarterets lamper via en sikker internetopkobling via mobilnettet. Funktionen gør det muligt for trafikplanlæggere at overvåge hele anlægget og justere tider og belyningsniveauer vha. fjernadgang. På den måde kan trafikmængden overvåges på de pågældende veje og energiforbruget justeres derefter.

3.1 Kommunikationsteknologier

I forbindelse med projektet er der foretaget en teknologiundersøgelse for at afdække hvilke kommunikationssystemer, der kan benyttes til kommunikation mellem lamperne.

- **Bluetooth:** En trådløs kommunikationsstandard, der benyttes til kommunikation mellem forskellige typer produkter. Bluetooth er en master-slave kommunikation med lav rækkevidde på op til 10 meter.
- **ZigBee:** En trådløs kommunikationsstandard med en lav datahastighed på maks. 250 Kbps. Rækkevidden for Zigbee er typisk ikke større end 30 meter.
- **Mobildata:** Trådløs datakommunikation, der benytter mobilnettet som transmissionskanal. Ingen begrænsning i rækkevidden, men der kræves dog et abonnement for at benytte nettet.
- **Powerline kommunikation:** Kablet kommunikation, der benytter lampens 230V kabel som kommunikationsmedium. Powerline kommunikation findes i to forskellige typer: narrow band og Broadband PLC, med datahastigheder på henholdsvis op til 2.5Kbps og 2.7Mbps.
- **WLAN:** Trådløs computer netværk med hastigheder op til flere Mbit pr. sekund.

En samlet oversigt over teknologierne kan ses i Tabel 1.



Teknologi	Bluetooth/IEEE 802.15.1	Zigbee /IEEE 802.15.4	WLAN/802.11a/b/g	Powerline Kommunikation (Narrowband-PLC)
Rækkevide	10(50-100m)	30m	50-100m	Flere kilometer
Datahastighed	723 Kbit/s	125 Kbit/s	30.6Mbit/s (Ethernet), 2.6 Mbit/s (60 bytes payload)	2.5Kbit/s (Narrowband) 2.7Mbit/s(Broadband)
Energiforbrug	Meget lav	Lav	medium	medium
Retransmission	Ja	Ja	Ja	Ja

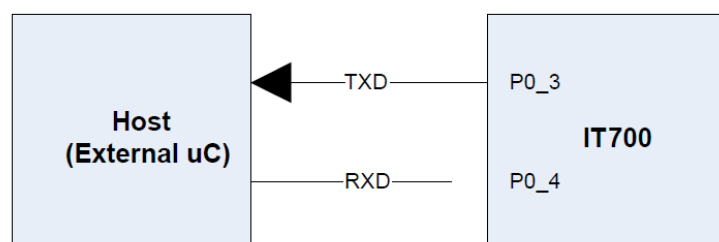
Tabel 1:Teknologioversigt

I projektet er det valgt at benytte Powerline kommunikation som kommunikationsmedie da der ikke ønskes en trådløs protokol af hensyn til sikkerheden. Derudover benytter Powerline kommunikation allerede eksisterende infrastruktur i form af 230V kablet til lamperne og er en rentabel løsning. Der er i tidligere projekter benyttet Zigbee teknologi til at kommunikere med én lampe, men i kraft af den dårlige rækkevide og at der ikke eksisterer en færdig og rentable løsning, der understøtter netværk, er denne teknologi fravalgt, trods tidligere kendskab².

4 Powerline kommunikation

Løsningen er baseret på narrowband Powerline kommunikation der benytter el-forsyningsnettet til at distribuere data mellem gadelamper og en central enhed i form af en industri pc.

Der er i projektet blevet benyttet produkter fra firmaet Yitran - nærmere specifikt: IT-700 chippen. Chippen gør det muligt at benytte Powerline kommunikation ved at tilkoble en mikrokontrollers (uC) serielle forbindelse med chippen. På den måde kan kommunikation via Powerline tilgås direkte i mikrokontrollerens software.



Figur 5: Kommunikation vha. powerline opnås igennem applikationsspecifik software på en mikrokontroller, der kommunikerer med Yitran IT-700 chippen.

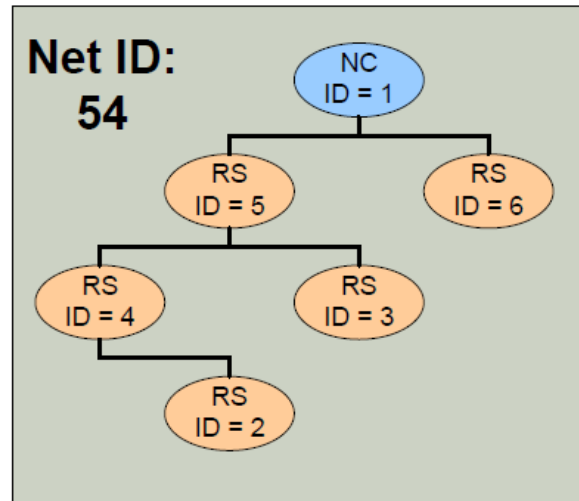
Netværksprotokollen i Yitran modulerne gør det muligt at lave enkeltstående netværk hvor hvert netværk har en netværkskoordinator. I et netværk kan der tilsluttes op til 1400 noder. Denne opbygning tilgodeser ønsket i

² Zigbee Mesh modules - <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/zigbee-mesh-module/>



projektet om at lave en hierarkisk opbygning af gadelamperne i en by, således at hver gade kan opbygges i et antal grupper hvor hver gruppe er et Powerline netværk. Dermed kan systemet udbygges til at dække større byer.

Netværket er opbygget på følgende måde.



Figur 6: Netværks opbygning.

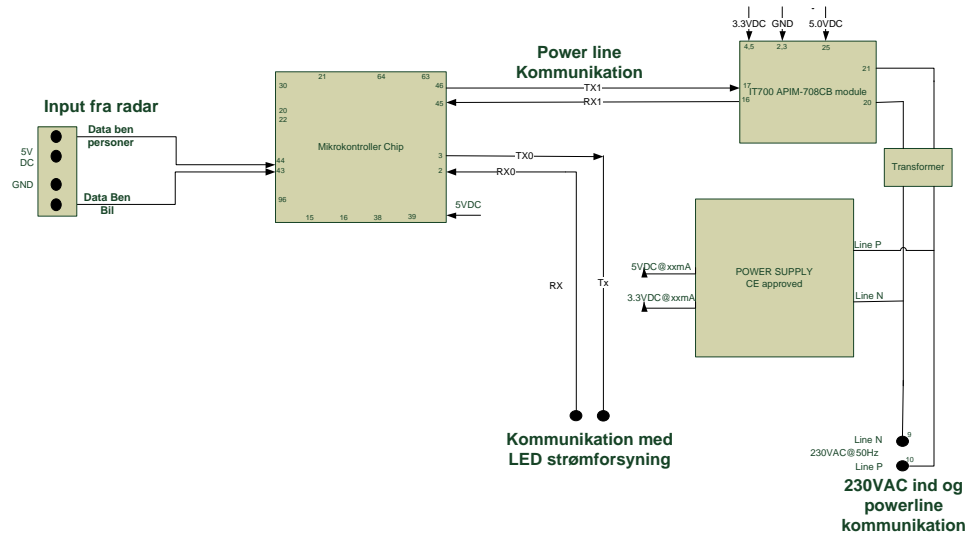
5 Kommunikationsmodul

Dette afsnit beskriver funktionaliteten af styremodulet udviklet i projektet. Formålet med modulet er at gøre lampen i stand til at sende og modtage kommandopakker til og fra master PC'en samt at justere lysintensiteten på den enkelte lampe.

Modulet er et fuldt funktionsdygtigt kommunikationsmodul, der indeholder følgende elementer:

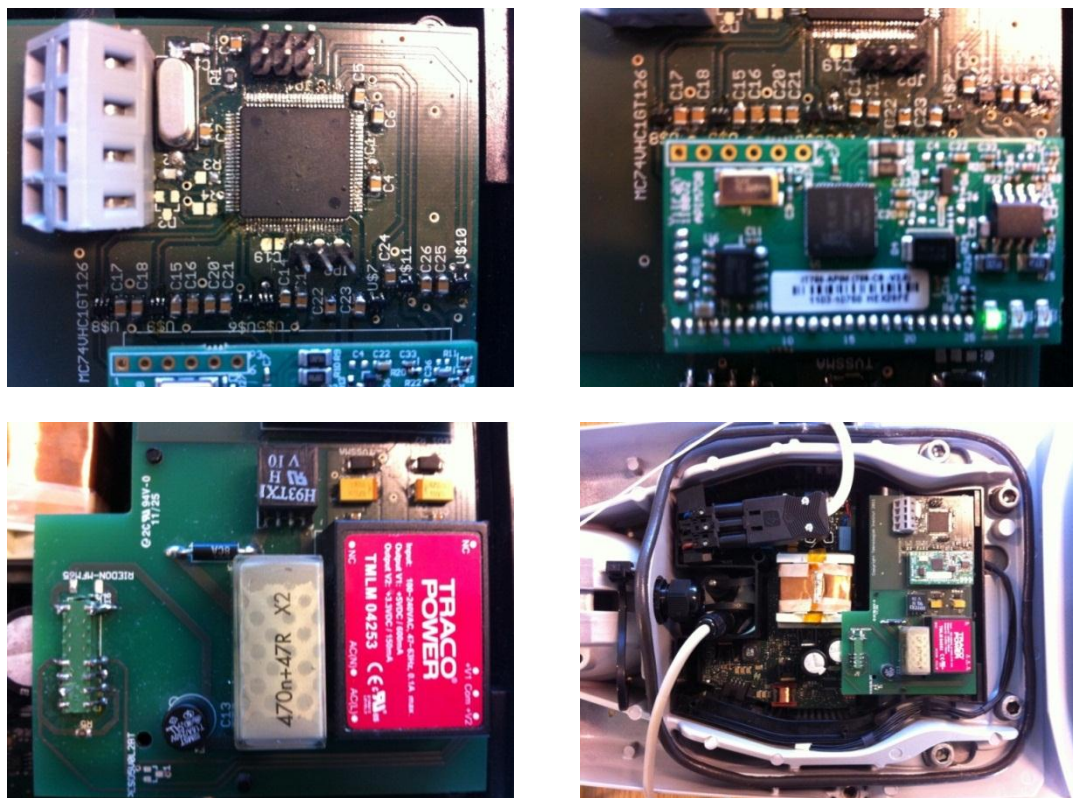
- Strømforsyning til at levere strøm til modulet og radaren monteret i lampen eller mastelugen.
- Modul til Powerline kommunikation.
- Mikrocontroller til kontrol af kommunikation og lampe med tilhørende software. Softwaren "flash'es" ned på chippen.
- Level-shifter til at sikre korrekte signalniveauer på printet.
- Kommunikation til lampen via et pinheader stik.
- Kommunikation fra radar og levering af strøm til radaren via en Wago klemrække.

På Figur 7 se et blokdiagram over styremodulet.



Figur 7: Blokdiagram over styremodul

Powerline protokollen til kommunikation og protokollen til kommunikation med lampen er implementeret på mikrokontroller chippen. Desuden er der lavet fejlhåndtering i softwaren, der sikrer en optimal drift af lampen. På Figur 8 ses de enkelte del-komponenter til styremodulet.



Figur 8: Øverst venstre: Microcontroller og tilhørende level-shifter samt wago stik til kommunikation med radar. Øverst højre: Yitan powerline modul med tilhørende level-shiftern. Nederst venstre: Strømforsyning og Powerline koblingskredslob. Nederst højre: Lampe strømforsyning med styremodul monteret.

Modulet er testet og afprøvet i virkelige scenarier i sammenspil med master-computeren.



6 Bevægelsessensor

En bevægelsessensor til detektering af trafik skal kunne detektere forskellen på bløde og hårde trafikanter, således at lysstyringen kan optimeres til den pågældende trafikform.

Således er kravene til bevægelsessensoren at kunne detektere bevægelse fra:

1. bløde trafikanter (Cykler, gående, løbende.)
2. hårde trafikanter i bevægelse, (biler, knallert, lastbil, bus)
3. trafikanter i dag såvel som nattetimer

6.1 State-of-the-Art sensorer

I projektet er der lagt vægt på tre udvalgte sensorer til at opfylde detekteringsopgaven: Ultralyd, Mikrobølger og PIR.

6.1.1 Ultralyd

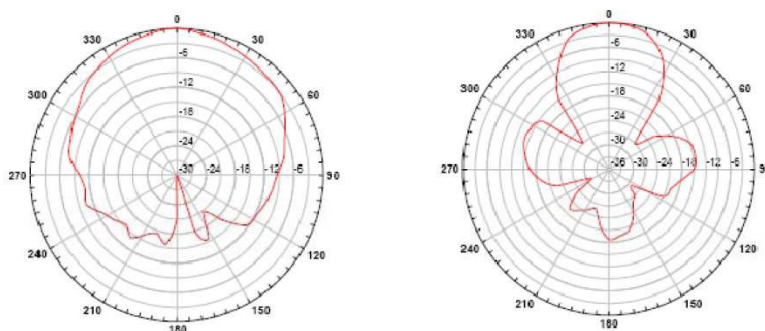
Denne type sensor udsender og måler ultralyd. Ved at måle forskellen på hvornår lyden blev afsendt og hvornår et eventuelt ekko returneres kan afstanden til et objekt bestemmes, meget på samme måde som med mikrobølgesensoren. Denne type sensor kan ikke sige noget om hvor i dens synsfelt der sker noget og den kræver at der ikke er noget som blokerer ultralyden foran den. Ved montering i samme plan som ex. en vej, vil man kunne skelne mellem objekter som færdes på fortov, cykelsti og vej, da disse vil have forskellig afstand til sensoren. Denne type sensorer er mest kendt for sin anvendelse som parkeringssensor i biler.

6.1.2 PIR sensor

Disse sensorer fungerer ved at observere et områdes afgivelse af infrarød stråling (IR). Denne afviger når en person eller et objekt passerer i sensorens synsfelt. Når sensoren detekterer en afvigelse er der detekteret bevægelse. Sensoren kan imidlertid ikke skelne mellem hvad eller hvor der er noget som passerer i dens synsfelt. Sensoren behøver frit udsyn og kan således ikke gemmes væk bag ikke-gennemsigtige materialer. Om dagen vil dagslys (som indeholder masser af IR) forstyrre sensoren. PIR sensorer anvendes dog med stor succes indendørs i alle døgnets timer, og udenpå bygninger om aftenen, i kraft af skumringsrelæer.

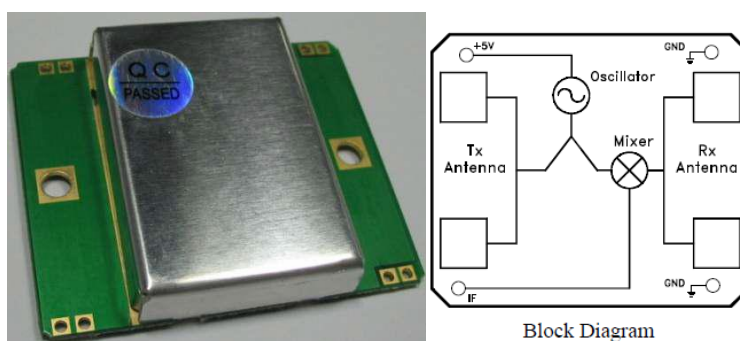
Test viste at deres anvendelse på lang afstand er begrænset, hvilket skyldes den type linser som bruges til at øge sensorens effektivitet på afstand ved at sprede strålingens felter. Der benyttes Fresnel linser som fokuserer lyset fra et område, hvilket bevirker at der findes "døde områder" i detekteringszonen. Dette bevirker at sensoren reagerer på punkter, og ikke et område som helhed, hvilket ville være et problem i denne kontekst da en cykel ikke fylder så meget og derfor kan smutte imellem de punkter som sensoren fokuserer på - specielt hvis sensoren placeres i lampen 8 meter over vejbanen.

6.1.3 Mikrobølgesensor



Figur 9: Udstrålingsdiagram for benyttede mikrobølgesensor. Billede til venstre: Vertikal udstråling Højre: Horisontal udstråling

Sensoren fungerer principielt ved at den udsender et mikrobølge signal i X-band spektret som reflekteres af omgivelserne. Sensoren samler så disse refleksioner op og lægger refleksionerne sammen med det signal den selv udsender. Resultatet kan aflæse på "IF" (Intermediate Frequency) udgangen. Man kan bruge dette resultat til at detektere bevægelse med da der vil være en doppler effekt når noget bevæger sig. Denne doppler effekt aflæses som et oscillerende signal hvis amplitude afhænger af størrelsen på det objekt, som skaber refleksionen (i forhold til sensorens synsfelt: et objekt tæt på, laver større amplitude end samme objekt langt væk), og objektets refleksionsevne (metal reflekterer for eksempel x-band stråling glimrende, mens det passerer meget let gennem plastik). Frekvensen i det oscillerende signal siger noget om hvor hurtigt objektet bevæger sig, og kigger man på hvorvidt frekvensen er stigende eller faldende kan man også evaluere om objektet bevæger sig imod eller væk fra sensoren. Begrundet i andre produkter af samme karakter havde mikrobølge sensoren en forventet rækkevidde på ca. 7 m. Et eksempel på en mikrobølgesensor kan ses på Figur 10.



Figur 10: Mikrobølgesensor

6.2 Motivation for valg af teknologi

På baggrund af vores state-of-the-art undersøgelse vurderede vi at mikrobølgesensoren var den mest interessante da den var:

1. Robust

- mikrobølgesensoren detekterer bevægelse i et felt som ikke er synligt lys; derfor har dagslys ingen påvirkning på signalet. Den vil også kunne skjules bag en akryl- eller træflade, således at sensoren ikke er blottet og derved sårbar overfor snavs, slag og andre mekaniske belastninger.



2. Mulighed for hastighedsbestemmelse
 - sensoren er typisk benyttet til hastigheds- og størrelsesbestemmelse i udendørsområder. Derfor forudsiger vi at vi kan bestemme størrelser og hastigheder på objekter, der bevæger sig omkring lampen, således er det ikke deres placering men deres volumen og hastighed der detekteres. Dette gør detekteringen mere præcis.

3. Lav pris
 - Sensoren havde en pris på ca. 40 kr. stk. med tilhørende forstærkerprint bliver den samlede komponent pris ca. 100 kr.

4. God rækkevidde
 - Sensoren kan række 7-8 meter.

Udfordringer

Det skal noteres at valget af mikrobølgesensoren medførte flere udfordringer bl.a. at projektgruppen skulle udvikle et kredsløb og software for at kunne udnytte sensorens kapaciteter. Se Afsnit 6.4 om sensordesign.

Fravalg af Ultralyd

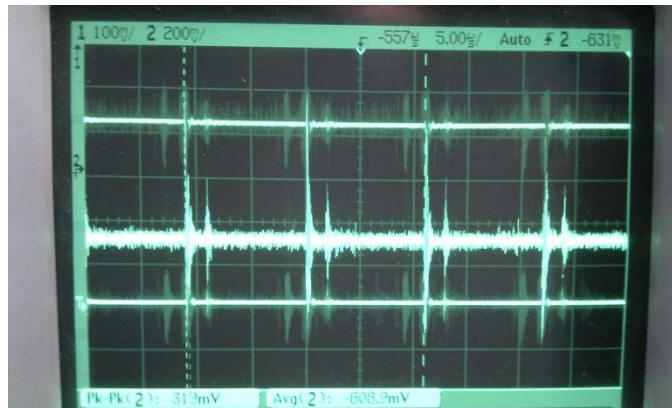
Da der opstod et ønske om at integrere sensoren i gadelampen og om at bestemme hvilken type trafik der færdes på vejen - uafhængig af kørebane - blev denne sensor ikke valgt i første omgang.

Fravalg af IR

IR sensoren fravælges da detekteringen kun kan udføres som punkter jævnfør Fresnel-linsen - dette er ikke tilfredsstillende hvis sensoren bygges ind i gadelampen i 7 meters højde. Test udført af gruppen viser at man ville kunne bevæge sig mellem punkterne og dermed ikke blive detekteret.

6.3 Beskrivelse af detekteringsalgoritme og sensordesign

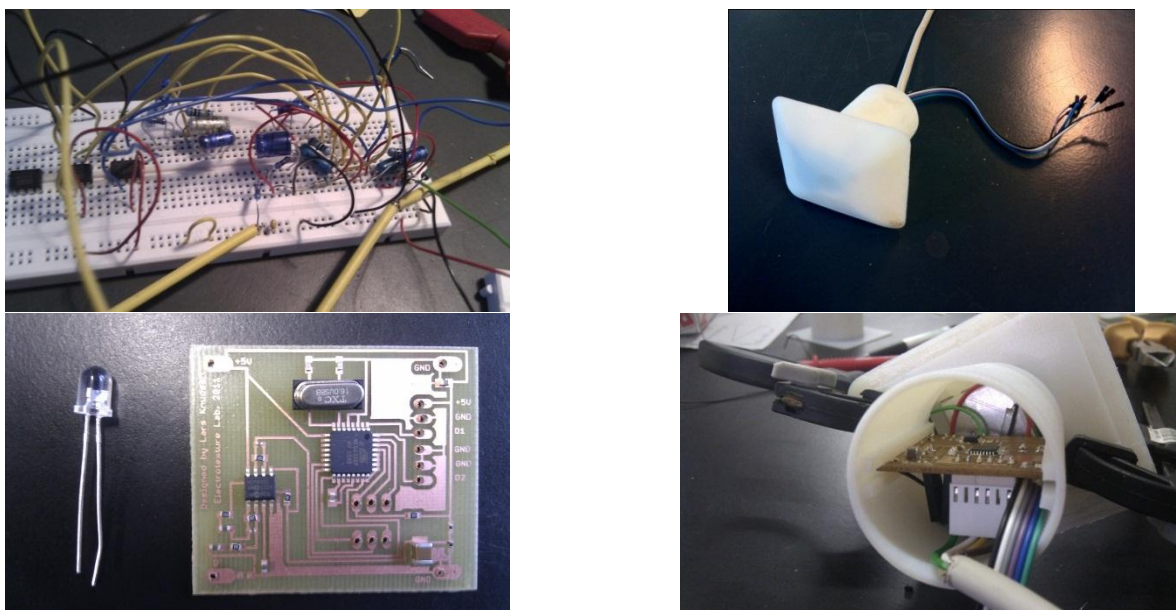
Signalet fra en mikrobølgesensor er i en meget lille størrelsesorden, da energien der reflekteres er meget svag. Derfor byggedes der en forstærker og filter for at fremhæve de frekvenser som er interessante i dette projekt. Dette blev gjort med to båndpas-filterforstærkere designet med brug af operationsforstærker. Det oscillerende signal blev herefter processeret med en *Fast Fourier Transform* (FTT), som nedbryder signalet til en række amplituder af forskellige frekvenser. Ved at filtrere forskellige amplituder og frekvenser var det projektets mål at skelne mellem bløde og hårde trafikanter.



Figur 11: Billede af sensor signal med udslag ved forbipasserende bil.

Sensoren virkede i kontrollerede forhold, men ved implementering i blandet trafik erkendte projektgruppen at den valgte mikrobølgesensor ikke levede op til forventningerne bl.a. på grund af manglende intensitet fra sensoren og en ikke-robust filtrering: det kunne ikke lykkes entydigt at skelne mellem bløde og hårde trafikanter. For at forbedre sensorens ydeevne blev sensorerne placeret på gadelygtens mast i 1.7 meters højde, hvor sensoren var effektiv. Herefter blev det valgt, at skelne mellem bløde og hårde trafikanter ved at observere hvor lang tid sensoren var aktiv, ud fra antagelsen om at bløde trafikanter bevæger sig langsommere end hårde trafikanter. Dette bevirkede at sensoren kunne detektere forskellen mellem bløde og hårde trafikanter. Dette resultat fortæller at det er muligt at kende forskel på bløde og hårde trafikanter vha. mikrobølgesensorer. Når sensoren skal monteres højere kræves der kun en kraftigere mikrobølgesensor end den benyttede i projektet.

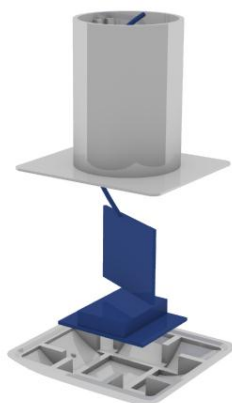
6.4 Sensor design



Figur 12: Sensor Design

På Figur 12 ses designfasen af sensoren fra breadboard opstilling øverst til venstre til den færdige sensor øverst til højre og nederst til højre. På billedet nederst til venstre ses det færdig udviklede sensorprint. Da sensoren skal monteres udendørs kræves der et vejrbestandig kabinet til at beskytte sensoren.

På Figur 13 ses en CAD tegning af kabinettet. Kabinettet er 3D printet i 6 stk. ud fra CAD tegningen.



Figur 13: Udviklet vejrbestandigt plastkabinet til sensor

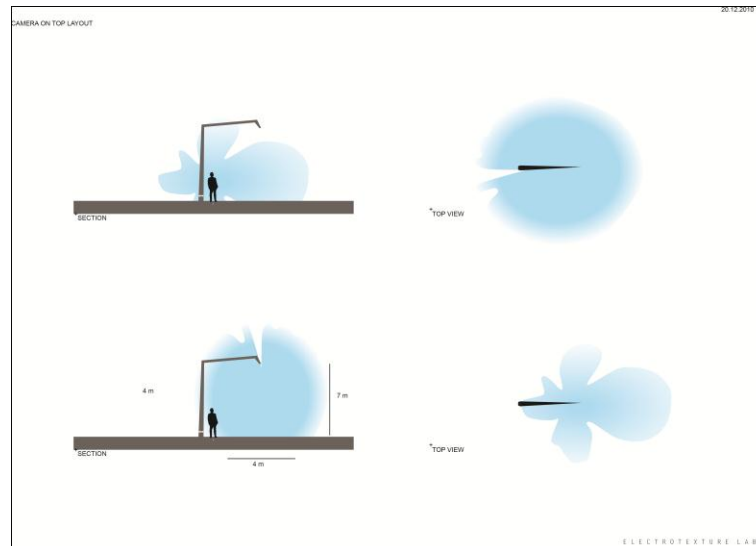
6.5 Montering af sensorer

Før sensoren blev monteret og integreret med kommunikationsmodulet, master-computeren og lampen er sensoren blevet testet lokalt på en gadelampe i Aalborg, hvor testen viste at det var muligt at genkende bløde og hårde trafikanter ud fra antagelsen om at hårde trafikanter har en højere hastighed en bløde trafikanter. På Figur 14 viser testopstillingen i Aalborg.



Figur 14: Prototypeopsætning i Aalborg

Sensoren blev opstillet og integreret med det samlede system på Kongens Kvarter i Fredericia d. 4. oktober 2011. For at finde den optimale placering af sensorerne er der i Kongens Kvarter lavet plads til sensorerne i en masteluge (vist øverst på Figur 15) samt integreret i lampen (vis nederst på Figur 15).



Figur 15: Billede af to radar placeringer: Placering på lysmasten, samt indbygget i lampen

På Figur 16 monteres sensorerne i lamperne. Sensoren kan ses nederst på Figur 16 indkapslet i blå plastik.



Figur 16: Montering af sensorer i lamper



Figur 17: Prototype 2 sensor monteret i mastelugen

Grundet problemer med rystelser i lampen samt styrken på sensor signalet var det ikke muligt at detektere trafik tilfredsstillende når sensoren var monteret i lampen så derfor er sensoren monteret i mastelugen.

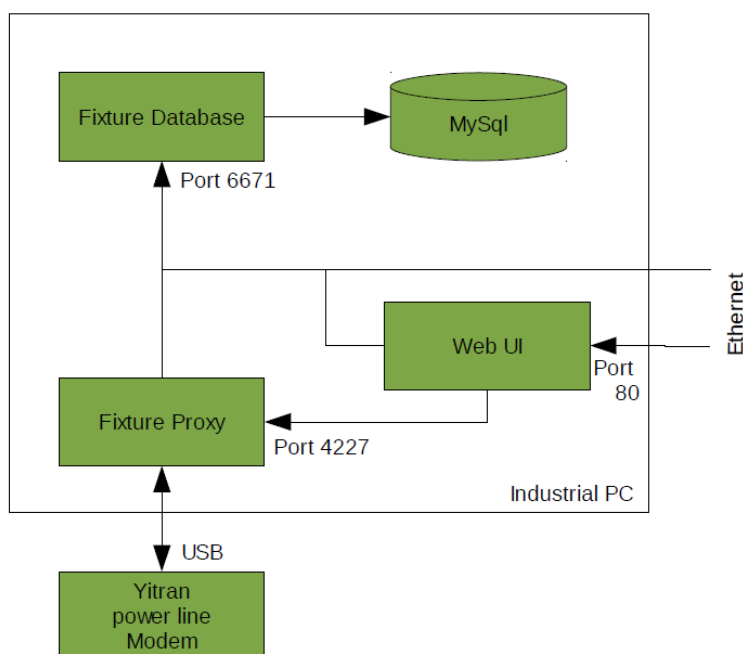
6.6 Prototype 2 sensor

For at skabe en mere robust trafikdetektering er der blev fundet en kraftigere vejrbestandig ultralydssensor som en passende erstatning. Denne sensor er valgt som et stabilt men dyrt alternativ som ligesom mikrobølgesensoren ville være i stand til at estimere trafik hele døgnet. Til denne sensor er der ligeledes designet en prototype med et vejrbestandigt cover. Prototype 2 sensoren kan ses på Figur 17.

7 Software til lampestyring på by- og gadeniveau

Software til styring af alle lamper på en gade, afvikles på en industricomputer monteret i sikringskabet på den pågældende gade eller bydel. Software modtager informationer fra alle gadelamper omkring trafikken på gaden og ud fra informationen "tænder" softwaren for de omkringliggende lamper. Hvilke lamper der skal tændes når der detekteres trafik udfør en lampe bestemmes vha. et webinterface. I webinterfacet kan der opsættes regler for hvor meget en lampe skal skrue op for lyset når en bil eller cyklist detekteres.

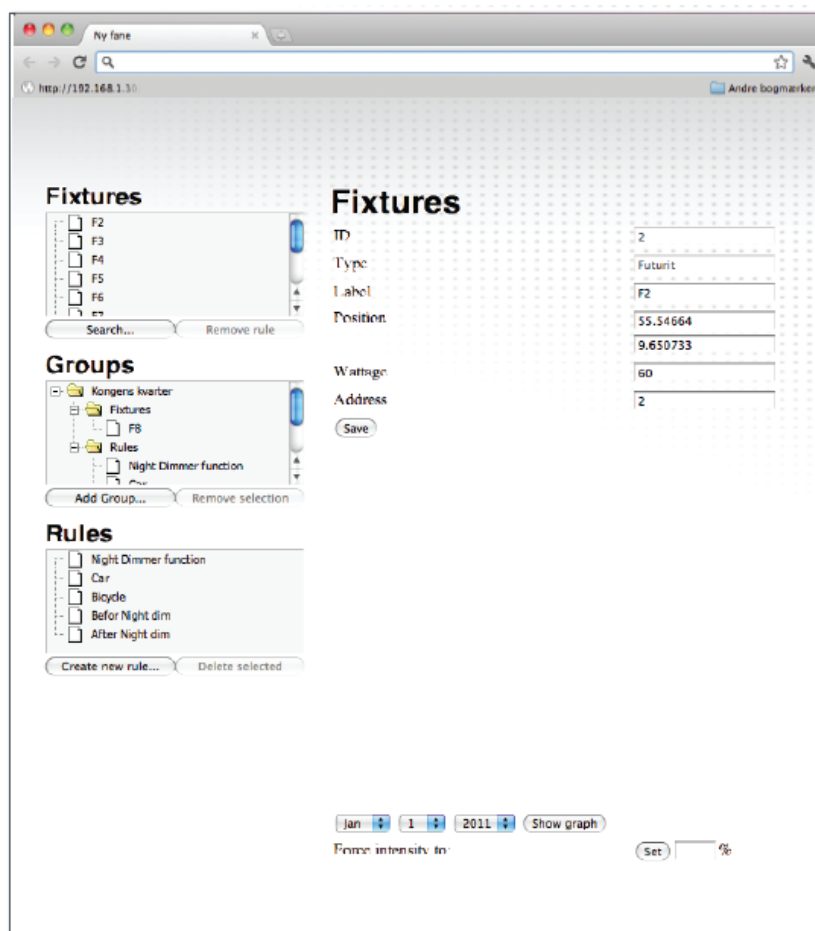
Selve softwaren består af fire blokke som vist på Figur 18. Web UI er skrevet i PHP og indeholder en webside som man kan logge på vha. en almindelig computer og en webbrowser. På denne webside kan der oprettes regler for hvordan gadelamperne skal reagere på detekteret trafik. Alle konfigurationer af lamper og regler gemmes på en Fixture Database med tilhørende MySQL database. Fixture Databasen virker som interface til MySQL databasen. Web interfacet kommunikerer ligeledes med en Fixture proxy der kontrollerer kommunikationen med hver enkelt lampe via et Powerline modem.



Figur 18: Softwarearkitektur til lampestyring på gadeniveau. Software er placeret på en industricomputer placeret i styreskabet. Softwaren kommunikerer med alle lamper på en gade.

På web interfacet som ses i Figur 19 har hver lampe en adresse som svarer til adressen på Powerline netværket og en fysisk placering i form af en længde- og breddegrad. Således kan softwaren holde styr på hvilke lamper der skal tændes hvornår.

Gadelamperne kan indeles i grupper så lamper kan deles i f.eks. gader eller bydele. Under hver gruppe kan der tilføjes det antal lamper der nu er på en gade og kobles et antal tilhørende regler på gruppen der beskriver hvordan lamperne skal reagere.

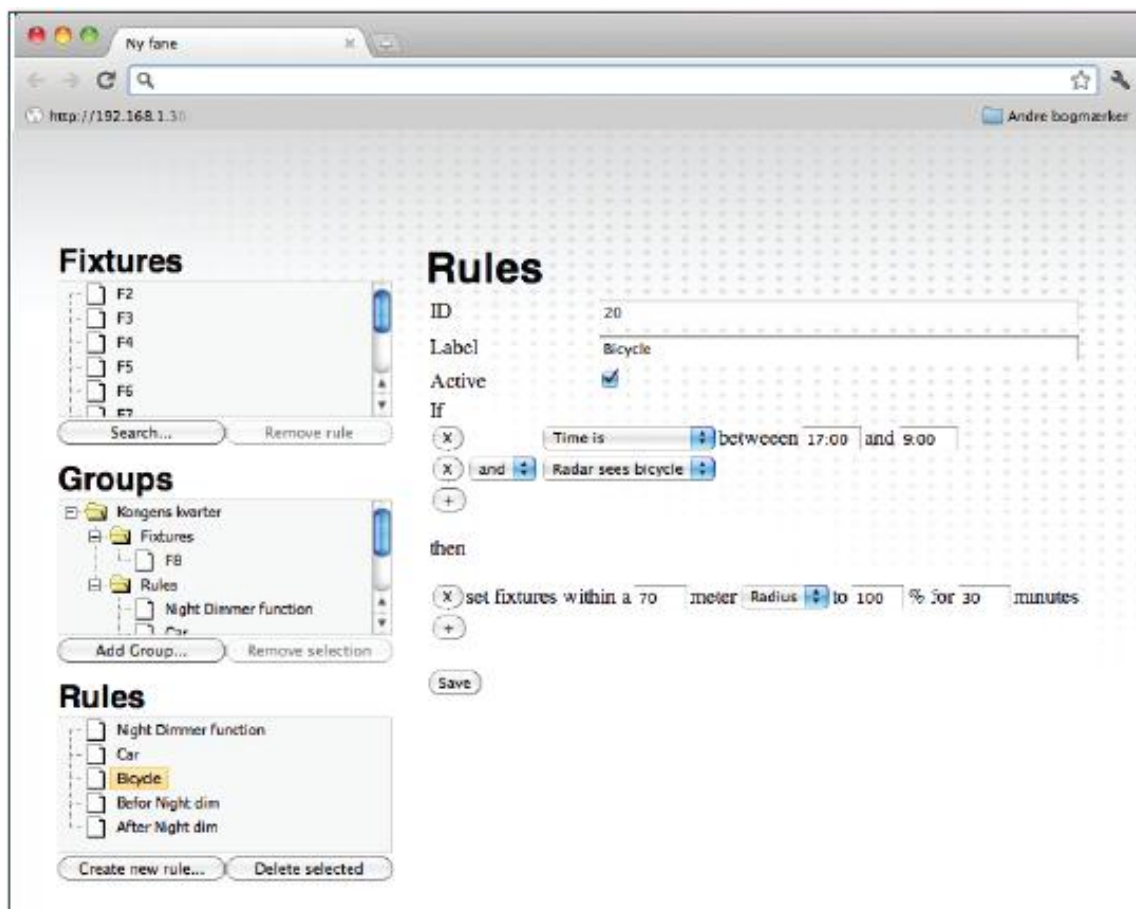


Figur 19: Web interface: Oversigt over lamper(Fixtures), grupper og regler

På web interfacet kan der defineres generiske regler der f.eks. beskriver lampens adfærd når der kommer en bil eller cykel. Disse regler trækkes derefter op under de rigtige grupper.

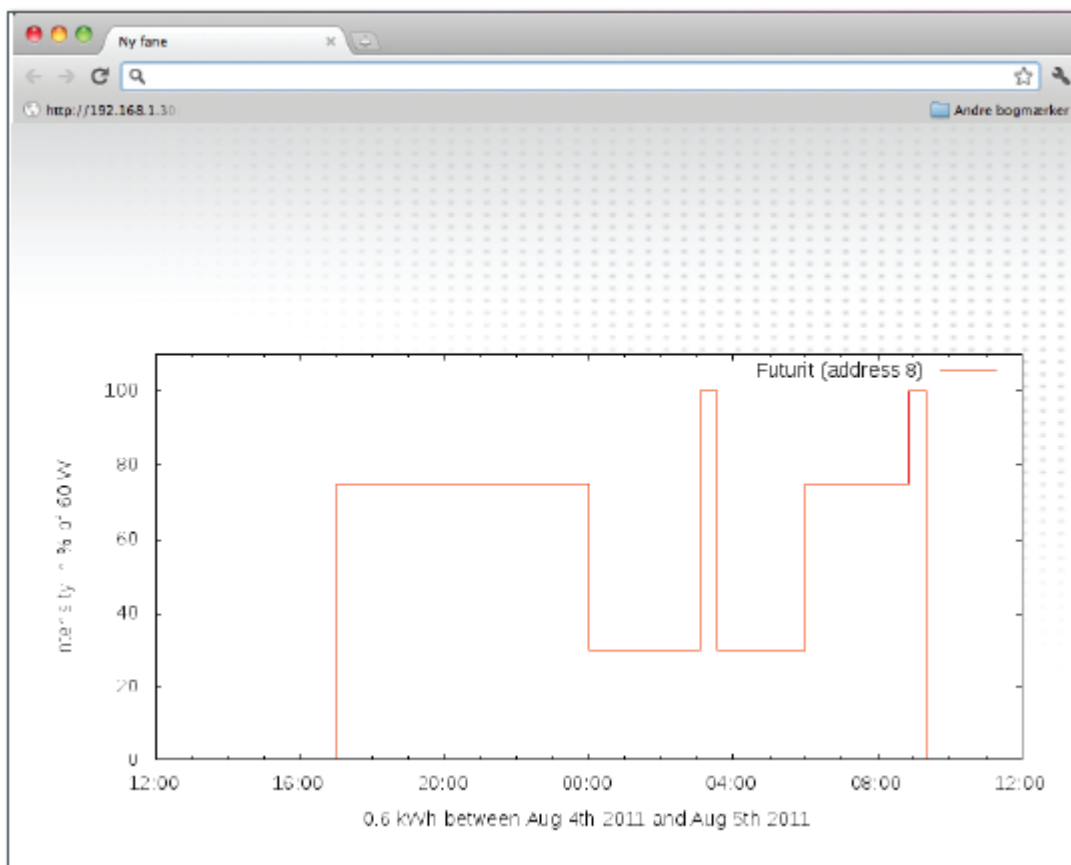
Når en regel skal oprettes vises et vindue som i Figur 20. Her kan der som vist f.eks. laves en generisk regel omkring lampers reaktionsmønster når en cykel detekteres.

Reglen nedenfor viser at hvis klokken er mellem 17.00 og 09.00 og en radar har detekteret en cykel så skal alle lamper i en radius af 70 meter tændes på 100 % lysniveau. Dette lysniveau skal gradvist falde til udgangspunktet inden for de næste 30 minutter.



Figur 20: Oprettelse af regler

Ud over opsætning af regler og inddeling af gadelamperne i grupper kan energiforbruget for hver gadelampe overvåges. På Figur 21 vises en kurve over energiforbruget for gadelampen med adresse 8 igennem et helt døgn. Det ses at der har været en svag bilist omkring kl. 03.00 hvorefter lyset har været tændt på 100% i en halv time. Ellers har lysniveauet fra 00.00 til 06.00 ligget på 30% af det maksimale kun afbrudt af en cyklist.



Figur 21: Energiforbrug i løbet af et døgn for gadelampe med adresse 8.

Dette værktøj vil hermed være i stand til at fortælle noget omkring trafik mængden på en vej.

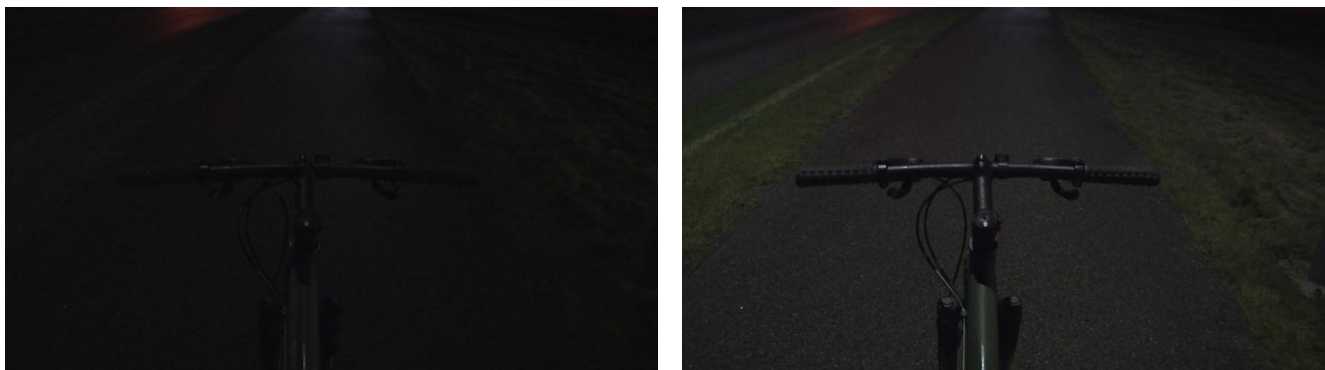
8 Resultater

I sidste del af projektet er der opsat 5 LED prototype gadelamper på Kongens Kvarter i Fredericia. Disse fem lamper har dannet grundlag for evalueringen af projektet.

De fem gadelamper er monteret i stedet for de eksisterende lamper på gaden og en industri-pc er monteret sammen med et Powerline modem i sikringskabet.

Resultatet af alle tests har vist, at der kan kendes forskel på cykler og biler/lastbiler, hvorefter gadelampernes lysniveau skifter i henhold til de oprettede regler på industri pc softwaren. Hele testen kan ses på filmen "**streetlight kongens kvarter**" der medfølger denne rapport.

På Figur 22 ses hvor stor gavn en intelligent gadelampe har for sikkerheden og trygheden blandt cyklister og andre 'svage' bilister. På billedet til venstre kan lysniveauet ses på gaden når lyset er sat til 30% af lysniveauet. Dette lysniveau vil være til stede, når der ikke er nogen trafik på gaden. Når der detekteres en cykel vil lysniveauet stige til 100 % hvilket er afbilledet på højre billede på Figur 22.



Figur 22: Lysniveauet for cykelister med og uden justering af lyset.

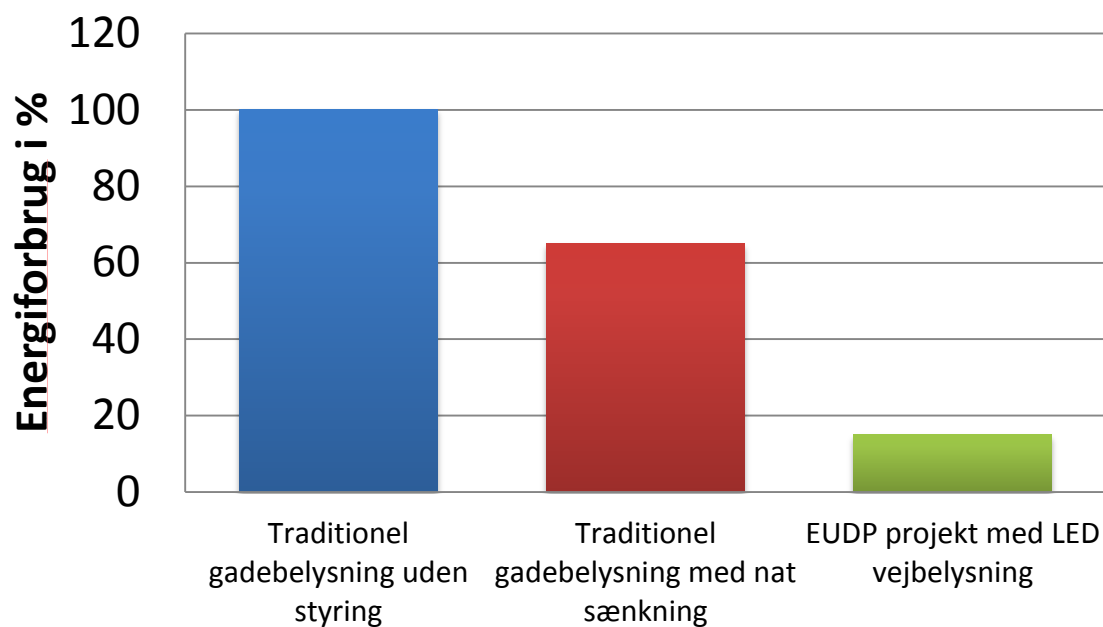
Det generelle lysniveau på gaden ved 30% og 100% lysintensitet kan ses nedenfor på Figur 23.



Figur 23: Generel lysniveau på gaden med og uden justering af lyset

Efter disse test er der lavet nogle beregninger på hvor stor en besparelse der kan opnås ved at skifte fra de traditionelle gadelamper med og uden natsænkning, til LED med trafikstyring. Resultatet har vist at der kan spares op mod **85%** af energien ved at gå fra traditionel gadebelysning til LED med trafikstyring afhængig af trafikmængden.

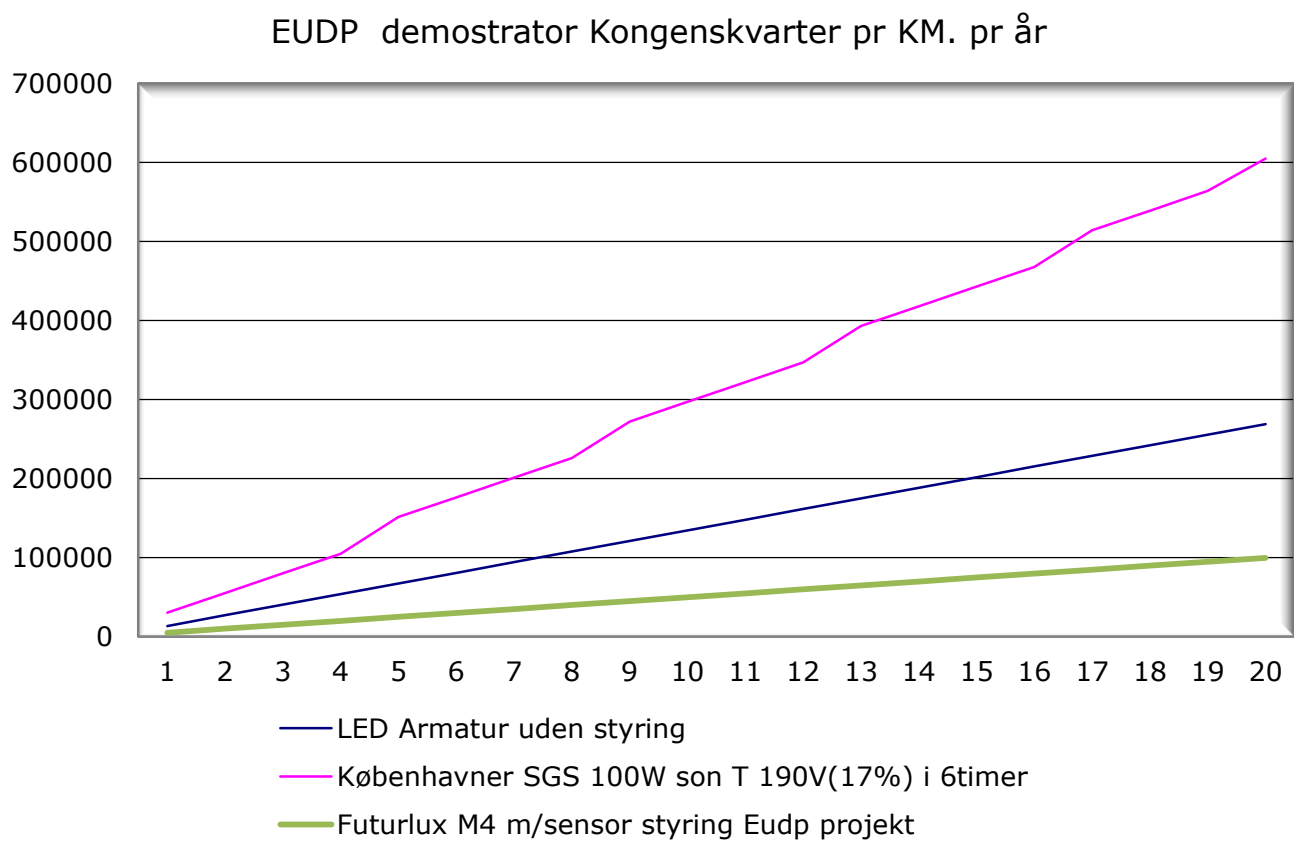
Forskellen mellem traditionelle vejbelysningsarmaturer og LED vejbelysning med sensorstyret intelligent kontrolsystem



Figur 24: Besparelse i procent mellem traditionel gadebelysning og LED m. trafikdetektering. Kilde: Teamtronic

Denne besparelse er en del større end ren LED belysning uden trafikdetektering der typisk giver en besparelse på 60 % i forhold til konventionelle belysningsformer.

For at sætte overstående i et økonomisk perspektiv er cost-benefit analysen i Figur 25 lavet som indikerer hvilken besparelse, der kan opnås pr. km, ved at skifte fra et standard københavner armatur med 17% natsænkning i 6 timer, til et LED system med trafikdetektering. På 20 år vil der kunne spares op mod 500.000 kr.



Figur 25: Sammenligning af eksisterende armatur, med Futurlux M4 med og uden sensor styring. Grafen viser den totale omkostningen pr. kilometer på y-aksen og antal år på x-aksen Kilde: Teamtronic.



9 Formidlingsaktiviteter

Der er i løbet af projektet blevet lavet en række formidlingsaktiviteter for at fortælle om projektet. De forskellige aktiviteter er listet nedenfor.

Titel	Type	Reference
IBC Euroforum 2011 23/11 2011	Oplæg v. trafikkonference	
Politikken d.23/10 2010	Artikel – <i>”Danmark skal have intelligente gadelamper”</i>	http://politiken.dk/videnskab/ECE930492/danmark-skal-have-intelligente-gadelamper/
Ingeniøren d. 21/10 2010	Artikel- <i>”Gadelamperne tænder kun når du går forbi”</i>	http://ing.dk/artikel/107352-gadelamperne-taender-kun-naar-du-gaar-forbi
P4	Radiointerview	
Magasinet Electra (Tekniq) November 2010	Artikel – <i>”Gadebelysning bliver intelligent”</i>	http://ipaper.ipapercms.dk/TEKNIQ/electra2010/electranovember2010/?Page=47
Nyhedsbreve v. Teknologisk Institut	Nyhedsbreve	www.teknologisk.dk/robot

Derudover fremvises gadelampen i Teknologisk Instituts robotlaboratorium der årligt besøges af mere end 15.000 gæster fra Danmark og resten af verden.



10 Konklusion

Projektet har haft til formål at demonstrere, hvorledes en gadelampe med integreret sensorstyring og central kommunikation kan skabe en markant reduktion af energiforbruget til gadebelysning, samtidig med at bibeholde den nødvendige funktion. Den udviklede gadelampen er baseret på en styring, hvor gadelampen automatisk varierer belysningen afhængig af aktivitet på gaden.

Projektet har været gennemført som et intensivt projektførløb, hvor der desværre opstod problemer med leverancen af de før-projektet lovede kommunikationsmoduler. Dette har konkret betydet at projektpartnerne var tvunget til at udvikle kommunikationsmodulet selv, hvilket har givet udfordringer i forhold til integrationen af systemet. Det er dog lykket at komme til et rigtig godt resultat hvor alle partnere er tilfredse med produktet.

Der er i projektet testet 5 gadelamper på Kongens Kvarter i Fredericia, som har vist at systemet er fuldt funktionsdygtigt. Systemet er i stand til at detektere trafikken og justere lysintensiteten ud fra hvilket køretøj der er detekteret. Trafikken detekteres ved at kigge på hastigheden af køretøjet. På den måde kan cykler skelnes fra resten af køretøjerne.

Udviklingen af kommunikationsmodulet har krævet en betydelig indsats, hvilket har betydet at LED gadelampen ikke på nuværende tidspunkt er helt så markedsmoden som projektets partnere havde håbet. Dog er lampen så tæt på markedet at Teamtronic allerede på nuværende tidspunkt har interesserede købere der ønsker at benytte systemet. I samarbejde med køberen vil Teamtronic gøre produktet 100% markedsmoden. Af ting, der skal modens yderligere før markedsintroduktionen, kan nævnes:

- Kommunikationsmodulet skal gøres mindre og billigere. Muligvis ved at få en version 2 produceret i Østen.
- Der skal laves mulighed for at få fjernadgang til industricomputeren i sikringskabet. Her kræves at et GPRS modem sættes på industricomputeren og at der laves en sikker netværks tunnel til computeren evt. vha. en VPN forbindelse
- Yderligere test af systemet er nødvendige for at sikre den nødvendige stabilitet.

Der er på baggrund af projektet opstået et ønske om at kunne detektere trafikken mere nuanceret end det er muligt med ultralydssensorer og mikrobølgesensorer for, at være i stand til at justere lyset mere individuelt end i dag. Samtidig kan en mere nuanceret trafikdetektering kobles op mod systemet til trafikstyringen af lyskryds og dermed drage nytte af de trafikdata der opnås i gadelampen til at styre lyskryds mere energivenligt.

På baggrund af dette ønske er der ansøgt og bevilliget et nyt EUDP projekt med navnet "*Energieffektiv trafikstyring via vejbelysning*" som vil koncentrere sig om at lave en nøjagtig kategorisering af trafikken lige fra personer til knallerter, motorcykler, biler, varebiler op til lastbiler og busser. Desuden vil hastigheden af køretøjernes som benyttes til trafikkontrollen blive detekteret - information som også benyttes til at lave et mere nuanceret belysningsbillede på en gade til gavn for miljøet og sikkerheden blandt borgere.