

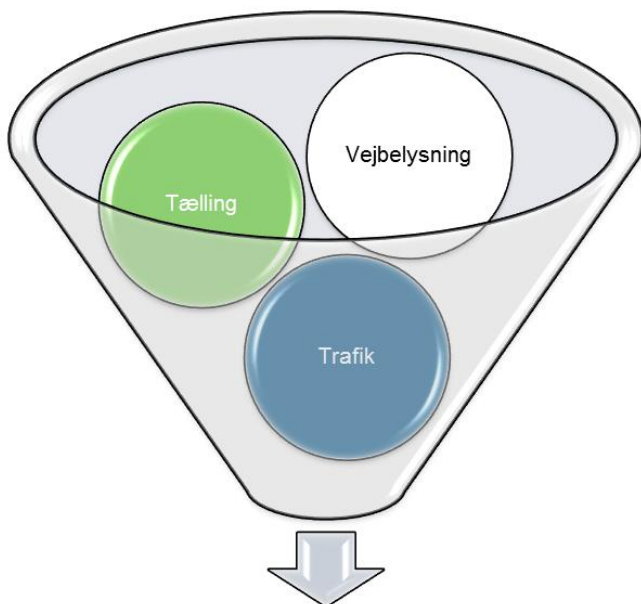


TEKNOLOGISK  
INSTITUT



Afsluttende rapport – april 2014

# EUDP 11-II, Energi- effektiv trafikstyring via vejbelysning



“ Projektet har modtaget støtte fra:  
Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP).  
J.nr. 64011-0339

# Projekt detaljer

**Titel: Energieeffektiv trafikstyring via vejbelysning**

**Journal nr. 64011-0339**

**Udarbejdet for: Energiteknologisk Udviklings- og Demonstrations Program (EUDP)**

**Projekt ansvarlig:**

Jens Fynbo  
Teknologisk Institut  
Forskerparken Fyn  
Forskerparken 10  
5230 Odense M  
Robotteknologi

e-mail: [jef@teknologisk.dk](mailto:jef@teknologisk.dk)

CVR: DK 5697 6116

**Projekt partnere:**

Teknologisk Institut  
Swarco Danmark A/S  
Teamtronic A/S

April 2014

Forfatter:

Karsten Thornø Ahrentsen og Oskar Funk, Teknologisk Institut  
Lars Kjær, Swarco Danmark A/S  
Poul Nellemose, Teamtronic A/S

## Indholdsfortegnelse

|   |    |
|---|----|
| 1. Kort beskrivelse af projektets mål og resultater.....    | 4  |
| 2. Short description of project objective and results ..... | 4  |
| 3. Indledning .....   | 5  |
| 4. Teknologisk udvikling .....                              | 7  |
| 4.1. Lamper .....   | 7  |
| 4.2. Sensorer .....   | 8  |
| 4.2.1. Vision .....   | 8  |
| 4.2.1.1. System konfiguration.....                          | 8  |
| 4.2.1.2. Detekterings algoritmer .....                      | 9  |
| 4.2.2. Simpel radar sensor .....                            | 10 |
| 4.2.3. Radarbaseret trafiktæller – TOPO box .....           | 11 |
| 4.3. Systemintegration .....                                | 11 |
| 5. Demonstrationsforsøg .....                               | 13 |
| 5.1. Beskrivelse af området.....                            | 13 |
| 5.2. Vejbelysning:.....                                     | 14 |
| 5.3. Trafiksikkerhed i forhold til hastighed.....           | 16 |
| 5.3.1. Potens-modellen .....                                | 16 |
| 5.4. Trafikregulering: .....                                | 17 |
| 5.5. Forsøgsplan .....                                      | 17 |
| 5.6. Indsamling af data .....                               | 18 |
| 5.7. Dataanalyse .....                                      | 19 |
| 6. Konklusion.....  | 22 |
| 6.1. Teknik .....   | 22 |
| 6.2. Demonstration .....                                    | 22 |
| 6.3. Energibesparelse.....                                  | 23 |
| 7. Kildehenvisning.....                                     | 25 |

## **1. Kort beskrivelse af projektets mål og resultater**

Det er projektets formål, at demonstrere hvorledes intelligent sensorstyret LED gadebelysning kan integreres med trafikstyring af signalanlæg, og dermed opnå en reduktion af energiforbruget til gadebelysning samtidig med at intelligent trafikstyring kan mindske udledningen af CO<sub>2</sub>. Ved at benytte gadelamper med integreret kommunikation kan der leveres data til signalanlæg, der sikre et miljørigtigt trafik-flow.

Det lykkedes i projektet at udvikle og teste forskellige teknologier, der kan anvendes i trafikstyringssystemer i fremtiden. Visse elementer er løbende implementeret i nogle af Swarco's produkter, men vigtigst af alt har projektet medvirket til afklaringer om muligheder og problemstillinger ved fremtidens intelligente trafiksystemer.

## **2. Short description of project objective and results**

The project aims to demonstrate how intelligent sensor controlled LED street lightening can be integrated with the traffic management by traffic lights. The goal is to achieve a reduction in energy consumption for street lighting while intelligent traffic management can reduce CO<sub>2</sub> emissions. Using street lamps with integrated communication ensures that sensor data given to traffic lights can result in environmentally friendly traffic flow.

The project has shown that different technologies that can be used in traffic management systems in the future. Some elements are implemented in some of Swarco's products, but most importantly, the project has contributed to the clarification of possibilities and problems in the future intelligent traffic systems.

### 3. Indledning

Projektet ligger sig i forlængelse af EUDP projektet "Energieffektiv Intelligent Gadelampe", der omhandlede udvikling og demonstration af det energibesparende moment ved brug af LED gadelampeteknologi i samspil med sensorteknologi. Her blev der udviklet kommunikationssystemer således at gadelamper kunne snakke sammen i et netværk. Deres styring var baseret på en lokal styring, hvor gadelampen automatisk varierer belysningen afhængig af aktiviteten på gaden. Resultater fra dette projekt har dog vist, at der er mere fornuft i at lave en decentral styring af gadebelysningen på et mere overordnet plan, og ikke styrer den enkelte gadelampe ud fra sensorer lige omkring denne lampe.

Det forgående projekt viste, at hvis lyset i en given lampe først tændes, når der er trafik i området giver det en følelse af at bevæge sig i en oplyst klokke, hvor man ikke kan se ud, men fornemmelse af at andre kan kigge ind. Det kan give fornemmelse af utryghed, hvilket bestemt ikke er formålet med gadebelysning.

I dette projekt er der derfor fokus på udvikling af decentral styring af gadebelysningen på længere strækninger ud fra mere overordnede trafikmængder. Målet er således ikke at slukke lyset helt ned, men at kunne regulere det i niveauer ud fra forskellige kriterier som trafikmængde, trafiktype, tid på døgnet, vejrforhold mm.

Desuden ønskes belysningen integreret med trafiksignaler således at informationer om aktuel trafik deles mellem belysning og trafikstyring for at skabe en samlet intelligent trafikstyring. Ved at integrere styring af gadebelysning med trafikstyring af signalanlæg til et komplet system opnås en helhed der giver energibesparelse på både belysning og trafikafvikling.

Projektet spiller en central rolle i at skabe morgendagens energieffektive trafiksystemer ved, at integrere LED belysningsteknologi med aktiv sensorteknologi til klassificering af trafik med trafikkontrol. Trafikregistreringssystemer og trafikkontrol systemer er netop nu på dagsorden i Danmark. Diskussionen går på om det kan lade sig gøre, at regulere trafikken i de danske byer på en mere miljørigtig måde. Der diskuteres løsninger som betalingsringe for at sikre, at der ikke lukkes for meget trafik ind i de danske byer. En rapport fra Vejdirektoratet<sup>1</sup> slår fast at der er et kæmpe stort samfundsøkonomisk og miljømæssigt potentiale ved at forbedre trafik-flowet i forbindelse med trafiksignaler (lyskryds).

Projektet vil kunne bidrage positivt til at skabe energi- og kosteffektive teknologier, der kan hjælpe med at regulere trafikken i danske og internationale byer, uden store ændringer af den eksisterende infrastruktur. Renovering af gadebelysning er i stor fokus og LED lamper er på vej frem med stormskridt. Desuden er der meget fokus på udvikling af adaptive trafikstyringer, der ud fra aktuelle trafikmålinger kan justere trafiksignalernes virkemåde således at der løbende optimeres efter at få det optimale flow i trafikken. Disse systemer har brug for trafikale måledata, som netop ideerne i dette projekt, kan hjælpe til med at skaffe. Desuden har projektet fokus på at kunne regulere trafik-flowet ved at ændre af lysmængden fra gadebelysningen og således medvirke til et optimalt flow.

Projektet er gennemført som kombineret udvikling og demonstrationsprojekt. Der er arbejdet med sensorteknologi til detektering og især kategorisering af trafik der i dag er på

et stadie, hvor det er muligt at bringe i anvendelse, og der er i projektet indhentet grundlæggende erfaringer med systemintegrationen og specielt test af sensorløsninger.

Der er i samarbejde med Roskilde kommune implementeret en forsøgsstrækning med gadelamper på Låddenhøj i Roskilde samt integration med trafikstyring for krydset Låddenhøj/Holbækvej.

Projektets partnere er Teamtronic A/S, Swarco Danmark A/S og Teknologisk Institut.

Swarco Danmark A/S er i samarbejde med Teamtronic ansvarlige for at integrer LED gadelampens kommunikation og kontrolsystem med det eksisterende signalanlæg samt koordinering i forhold til belyningskrav, trafiksikkerhed og test.

Teknologisk Institut varetager projektledelsen i projektet samt teknologiudvikling i forhold til sensor og algoritmedesign til detektering og kategorisering af trafik. Desuden udføres belynings test på demonstrationstrækningen i Roskilde i samarbejde med Swarco. Det undersøges her bl.a. hvordan belyningsniveau spiller ind på trafikafviklingen.

**Teamtronic A/S** er en lille virksomhed med fokus på LED teknologi

**Swarco Danmark A/S** er en mellemstor virksomhed der er producent af trafikkontrolsystemer. Det vil derfor være en stor markedsfordel, at være de først trafikkontrolsystem leverandører på marked der introducere en kobling mellem gadebelysning og trafikkontrol. På den måde kan Swarco Danmark A/S blive en stor spiller på det internationale marked som totalleverandør af trafikløsninger.

Her spiller udviklingen af et system der kombinerer gadebelysning og trafikstyring til et samlet system en kæmpe rolle for at virksomheden kan forsætte sin vækst. Det er specielt vigtigt for virksomheden at være i stand til at kunne levere LED gadelamper, der kan mere en konkurrenternes. Det anses derfor at have en stor effekt på det fremtidige salg af gadelamper at produktet har indbygget intelligent styring- og sensorteknologi, der kan benyttes til trafikkontrol. Gadelampen vil dermed kunne ramme et kundesegment der beskæftiger sig med trafiksystemer til mindre veje ved at udbyde et billigere alternativ til opgradering til miljø rigtige trafikkontrolsystemer.

## 4. Teknologisk udvikling

Det foregående projekt har vist hvorledes styring af gadebelysning og sensorer kan knyttes sammen via netværk. Dette projekt har modnet disse teknologier og knyttet forbindelser til styring af trafiklys og måling af trafik. Der er i projektet arbejdet med videreudvikling af en LED lampe med indbygget kommunikationsmodul, der gør det muligt at fjernstyre lampens lysniveau og tilkoble sensorer til lampen.

Desuden er der arbejdet med forskellige typer sensorer til simpel detektering og decideret trafiktælling.

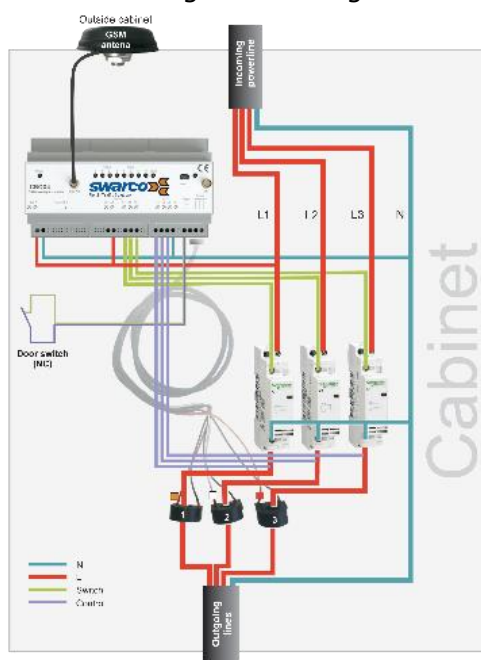
### 4.1. Lamper

I projektet har vi anvendt en LED gadelampe fra Swarco kaldet Futurelux Head. Denne lampe er kommerciel tilgængelig på markedet og kan også anvendes som retro-fit på eksisterende master, ved udskiftning af gammeldags belysning til LED teknik.

I det forgående EUDP projekt blev der til denne lampe udviklet et powerline kommunikationsmodul, som Swarco nu har videreudviklet og arbejdet på at gøre til et kommercielt produkt. Denne teknologi gør det således muligt at kontrollere lysniveau for lamperne ved at sende styringskommando over dette powerline kommunikationsnetværk.

Desuden er modulerne blevet udvidet således at de kan modtage simple input fra detektor-sensorer, der kan monteres direkte på/i lampen.

Kommunikation med en lampestrækning sker via et kommunikationsmodul der monteres i el-skabet der forsyner lamperne. Dette modul kan kommunikere videre med central styringssystem via GPRS-modem. Ved powerline kommunikation anvendes forsyningsledninger (230V) til også at overføre datakommunikation, og det er således ikke nødvendigt at udvide eksisterende infrastruktur med netværkskabler, hvilket er en stor fordel ved udskiftning til intelligente LED lamper.



## 4.2. Sensorer

Det grundlæggende for projektet er at integrere forskellige typer af sensorer med kommunikationssystemet i lamperne, således at indsamlet data kan anvendes til dels styring af belysning og regulering af trafiksignaler. Målet har været at finde sensorteknologier, der kan monteres direkte i den enkelte lampe, og således være en integreret del af lampen. Ønsket har således været at udvikle prisbillige og små sensorer, der kan fungere i de gængse mastehøjder lamperne monteres i.

### 4.2.1. Vision

Kamerateknologi vinder mere og mere indpas som sensorer i forbindelse med trafikregulering. Ved udgangen af 2007 var blot 4% af alle Danmarks trafikstyrede lyskryds udstyret med videodetektering mens der ved de resterende typisk anvendes spoler, der er fræset ned i vejbanen<sup>2</sup>. Brugen af vision er dog meget hastigt voksende og der findes mange kommercielle systemer på markedet i dag, hvilket viser at selve sensorteknologi- en er brugbar og accepteret i branchen.

I dette projekt har vi afprøvet muligheden for at anvende avancerede vision-algoritmer til detektering af trafik på meget prisbilligt hardware. Vores grundopstilling består af et billigt computer modul sammen med billig kamerateknologi kendt fra mobiltelefoner og web-kameraer.

Målet er ikke kun at detektere at der er trafik, men også at klassificere og tælle trafikken i 4 hovedkategorier, hvor de 3 første svarende til de normale længdeklassifikationer<sup>2</sup> af køretøjer og den sidste kategori er cyklister. Ud over klassifikationen er det ønskeligt at måle hastighed for de enkelte køretøjer og dermed være i stand til at levere data til et overordnet trafiktællesystem som også kan ligge til grund for avancerede adaptive trafikstyrings systemer.

#### Længdeklasse Køretøjsart

**0 m - 5,80 m** Motorcykel, personbil og varebil.

**5,80 m - 12,50 m** Sololastbil, bus, stor varebil, person- og varebil med påhæng.

**12,50 m - 22,00 m** Lastbil med påhæng, sættevognstog og bus.

#### 4.2.1.1. System konfiguration

Vi har anvendt *Raspberry Pi* som er en lille og meget prisbillig (220 kr.) singleboard computer født med operativsystemet Linux. Computeren er født med netværk og USB tilslutning, mens lagerenhed i dette tilfælde blot er et hukommelses kort. Hertil er der lavet forsøg med flere forskellige USB kameraer.

#### System specifikation:

- Raspberry Pi Model B (256Mb Ram).
- Rasbian OS. Linux version 3.6.11+
- USB webcam HP Pavillion dv5
- YUYV (Video4Linux) video capture.
- OpenCV vision bibliotek.

Til at behandle indkomne billeddata anvendes et anerkendt open source software-framework kaldet OpenCV<sup>3</sup>. På trods af at OpenCV er udviklet til brug på mange forskel-



lige operativsystemer, har det været lidt af en udfordring at få systemet installeret og compileret til brug på den valgte platform.

Herefter har det været muligt at udvikle og afprøve forskellige typer af algoritmer til brug for detektering af trafik. Der findes i forvejen en række eksempler på brug af OpenCV til lignende opgaver, som er blevet tilpasset og afprøvet i vores opstilling.

#### **4.2.1.2. Detekterings algoritmer**

Detektering, klassificering, tælling og hastighedsmåling af trafikken er implementeret ved kombination af forskellige algoritmer, der behandler videoinputtet fra kameraet.

Første element i løsningen er at lave en baggrundseliminering af de statiske elementer som kameraet kan se og som ikke ændre sig over tid. Dette kan gøres med et temporal median filter, hvor det kendte baggrundsbillede uden trafik gemmes, og herefter "fratrækkes" alle efterfølgende billeder, således at kun nye elementer fremgår af det subtraherede billede.

En anden løsning er anvendelse af dobbelt differens algoritme, der løbende sammenligner flere på hinanden følgende billeder (frames) for at detektere bevægelse i billederne. Derved filtreres statiske baggrundselementer automatisk fra, da disse ikke bevæger sig eller ændre sig over kort tid.

Output fra denne billedbehandling vil være sorte pixels for statiske områder i billedet og lyse pixels for områder med bevægelse. For at kunne analysere nærmere på dette udføres efterfølgende en kontur-ekstraktions-algoritme, som finder omridset af bevægelige objekter. Således laves en gruppering af objekter, der bevæger sig sammen med samme hastighed.

Efterfølgende kan disse objekter følges over tid ved at anvende Kalmar filtre på forgående resultater.

En testopstilling med web-kamera og Raspberry Pi indbygget i et kamerahus blev testet ved indkørsels vejen til Teknologisk Institut i Odense, hvor data fra testen blev gemt til senere analyse.

Både temporal median filter og dobbelt difference algoritme blev testet for at lave baggrundseliminering og temporal median filteret gav mange problemer, da baggrundsbilledet ved udendørs optagelser kan variere en del over tid grundet lysniveau og andre fysiske forhold, for eksempel ved delvist overskyet hvor sol og skygge skifter hurtigt. Dobbelt difference algoritmen performer bedre, men har problemer med at detektere objekter der ikke er i fart f.eks. biler der holder i kø, eller meget store objekter, der fylder hele billedet f.eks. lastbiltrailer.



Efter at konturer er ekstraheret, er det muligt at anvende disse til klassifikation af objekter ud fra størrelsen og form af konturen. Sammen med analyser via Kalman filtre, kan hastighed og retning for en given kontur også hjælpe med til klassifikationen.

Resultater fra de udførte test viser at det er muligt at streamer billeder gennem systemet med en hastighed på 16FPS (billeder i sekundet) i opløsning 640x480 pixels og 30FPS med 320x240 pixels.

På tidspunktet for valg af Raspberry Pi som hardwareplatform, var der udsigt til, at der fra producenten kom et kamera med direkte tilslutning til en CSI bus, således at billeder ikke skulle streames via USB forbindelsen. Udvikling af dette kamera blev desværre så forsinket fra producentens side, at vi ikke nåede at få integreret en løsning med dette setup. Forventningerne er at det ville kunne give en væsentlig hastighedsforøgelse (30FPS ved 1920x1080 pixels). Desuden frigives mange CPU ressourcer til dekodning, som i stedet kan anvendes til de efterfølgende algoritmeberegninger, således at flere ressourcekrævende algoritmer kan eksekveres.

I det nuværende stadie er systemet i stand til at detektere trafik og måle hastigheden, mens klassificering og tælling er med nogen usikkerhed, der ligger over de generelle anbefalinger fra Vejdirektoratet. Dette har gjort, at vi til demonstrations-forsøgene på selve teststrækningen har anvendt et kommercielt og certificeret trafikmålingsudstyr og sat udviklingen af vores egen vision løsning i bero.

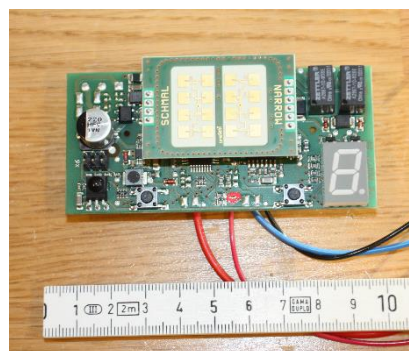
For at videreudvikle systemet til et robust og pålideligt system skal metoder til at sammensætte ikke sammenhængende konturer, der stammer fra samme objekt, forbedres på en måde, som stadig gør det muligt at separere flere trafikanter, der passer tæt efter hinanden med samme hastighed. Desuden kan det være nødvendigt at kombinere resultater fra både dobbelt differens og temporal median algoritmer, for at kunne detektere stillestående/langsomt-kørende trafik samtidig med at der skabes robusthed overfor hurtige ændringer i lysforhold.

#### **4.2.2. Simpel radar sensor**

En anden teknologi vi har gjort brug af i projektet er en simpel radar detektor, der igen er valgt ud fra at den er billig og lille, således at den kan monteres direkte i en lampe. Vi har testet et færdigt produkt fra Feig, der typisk bruges til automatisk døråbning ved butikker og i fabrikker.

Princippet i denne type sensor er at der udsendes radiobølger fra en transmitter, mens det reflekterede signaler modtages med en antenne. Bevægelige objekter vil reflektere, det udsendte signal, med en anden frekvens, afhængig af om det bevæger sig væk eller imod sensoren, den såkaldte dopplereffekt.

Den testede sensor er i stand til at detektere bevægelige objekter og give et puls signal for hvilken retning objektet bevæger sig, imod eller væk fra sensoren. Dette signal kan forbindes direkte til kommunikationsmoduler i lamperne, således at signalet kan sendes videre i netværket og anvendes som input for f.eks. styring af rød hvile i et trafiksignal.



Det er ikke muligt at klassificere typen af trafik, og frekvensen af signaler er heller ikke pålideligt til nøjagtig trafiktælling, men tællefunktionen vil dog kunne bruges som indikering for mængden af trafik.

Denne type radar er billig, og teknologien gør dem tillige mere driftssikre, og giver nye muligheder ift. placeringer, funktionalitet, m.m. i forhold til spoler, der er sårbare for vejsætninger, vejarbejde, samt omkostningstunge.

### 4.2.3. Radarbaseret trafiktæller – TOPO box

For at sikre pålidelige data ved test af lyssætning på demonstrationsstrækningen valgte vi at anvende en kommerciel tilgængelig trafiktæller som Swarco i forvejen har erfaringer med. Udstyret er baseret på radartechnologi og kan klassificere trafikken ud fra de gængse længdeklasser, samtidig med hastighedsregistrering for hver enkelt tælling.

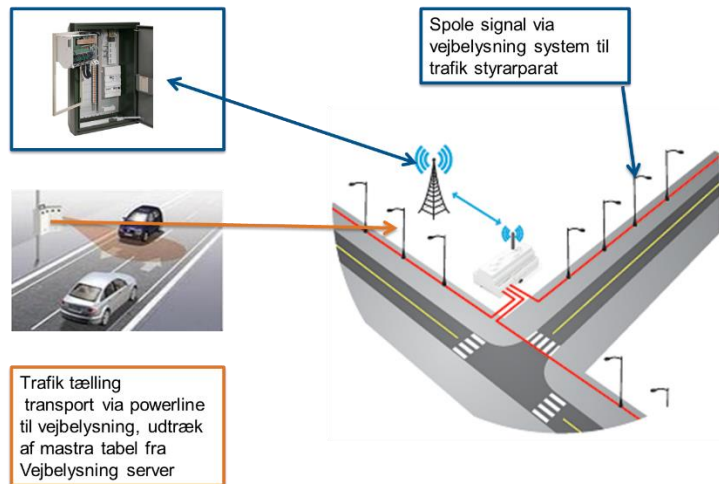


Systemet består af en lille plastkuffert, der monteres i siden af vejen i en højde på ca. 1 meter. Data transmitteres via GPRS-modem til central server, hvor data efterfølgende kan udtrækkes.

### 4.3. Systemintegration

En stor del af projektet har omhandlet udvikling og test af softwaresystemer til håndtering af data fra trafikmåling samt integrere IT-systemer med styring af trafiklys og gadebelysning. Herved er det muligt at sensordata og trafiktælling kan sendes til central server, hvor de gemmes og behandles i en database, således at de kan indgå som styringsparameter for lysniveauet i gadelamperne eller styring af trafiksignaler. Kommandoer for regulering af lysniveau og trafikstyring skal således retur fra central styring og sendes ud til el-skab og videre ud til hver enkelt lampe på strækningen.

Swarco's trafik controller protokol (STCIP) er blevet udvidet til at håndtere funktioner relateret til vejbelysningssegmentet, og der er lavet et specielt gateway-modul til håndtering af data til og fra den centrale server.



Projektet benytter og videreudvikler på nogle af Swarco's eksisterende system, og brugerflader for opsætning og overvågning implementeres som web-interface, der kan tilgås via en internetbaseret browser fra vilkårligt sted.

De udviklede interface gør det muligt for vej-medarbejdere at følge med i aktuelle måledata for trafik, sensorer og strømforbrug i lamper. Desuden er det muligt at opsætte kriterier for hvorledes gadebelysning skal indstilles f.eks. tidsindstillet natsænkning og/eller reguleret efter trafikintensitet.



## 5. Demonstrationsforsøg

Projektet Energieffektiv Trafikstyring via Vejbelysning, har til formål at teste et system der integrerer dynamisk vejbelysning og trafikregulering, og dermed medfører et lavere energiforbrug og lavere udslip af CO<sub>2</sub>. Denne besparelse opnås ved at anvende energieffektive LED-lamper, der kan tilpasse lysstyrken efter mængden af trafik, kombineret med et detekteringssystem der muliggør at regulere lyskrydset så unødige start og stop i trafikken forhindres, hvis det er muligt.

I denne rapport vil vi gennemgå hvordan trafikanters adfærd og oplevelse af byrummet påvirkes ved brug af dynamisk vejbelysning og trafikregulering. Rapporten vil behandle den data der opsamles fra forsøgsopstillingen i krydset ved Låddenhøj i Roskilde, og undersøge hvordan bilisternes adfærdsmønstre ændrer sig efter de forskellige lyssætninger, og ved dynamisk trafikregulering.

### 5.1. Beskrivelse af området

Strækningen, der er udvalgt, til at teste forsøgsopstillingen, er en strækning på ca. 350 meter nord fra krydset mellem Låddenhøj og Holbækvej på den ene side, og Holbækvej og Hyrdehøj på den anden. Strækningen består af en vej med en kørebane i hver side, med undtagelse af stykket op til krydset i sydgående retning, hvor der er yderligere et spor, der tillader venstresving vest ud af Holbækvej. Spor til cyklister og gående er en delt sti i begge retninger, der er separeret fra vejbanen med en græs-rabat på 2,4 meter i bredde. Gadelamperne er placeret i græs-rabatten længst mod stien for gående/cyklister, men med lamperne rettet ud på vejbanen. Lyset falder således ikke direkte på cyklister/gående. Vejen er omkranset af bevoksning og træer, og der er således ikke udsyn til vejen fra nogen bebyggelser, hvilket betyder at det ikke er muligt at undersøge hvordan den dynamiske lyssætning påvirker et boligområde.



Låddenhøj kendetegnes, ved at der er meget boligbebyggelse, hvorfor mange mennesker færdes på strækningen. Låddenhøj er en privat vej, og de tilstødende veje der leder ud til Låddenhøj er ligeledes private.

På strækningen kører buslinjen 202A, der har vendepunkt ved Magrethehåbs-området lidt længere nede af Låddenhøj, altså endestationen. I Magrethehåbs-området, på Margrethehåbsvej, ligger der en integreret dagsinstitution, hvilket betyder at mange børn bevæger sig på strækningen om morgenen og om eftermiddagen, akkompagneret af deres forældre, både på cykler, gående og i bil. I krydset Låddenhøj/Holbækvej, standser buslinje 227, der kører mellem Kirke Hyllinge og Roskilde St, Sygehuset.

På den anden siden af krydset, over for Låddenhøj, ligger Hyrdehøj Bygade, hvor der er indkøbsmuligheder, det lokale fitnesscenter, samt posthus og bank. Derudover ligger der en børnehave, Børnehus Hyrdehøj, samt Klub Hyrdehøj, en fritids- og juniorklub på Hyrdehøj.

Hyrdehøj Skov grænser op, bag ved Hyrdehøjscentret, hvor der er løberuter, skovfitness-ruter og fitnessstationer.

Vi kan altså konkludere at Låddenhøj er placeret i konteksten af at være et bolig- og naturområde.

#### **Roskilde Kommunes trafikdata for Låddenhøj 2012:**

- Hastighedsgrænse: 50 km/t
- Køretøjer i døgnet: 4451
- Julidøgntrafik: 3748
- Hverdagsdøgntrafik: 4824
- Lastbiler i døgnet: 69
- Gennemsnitshastighed: 54,6km/t
- 85% Fraktil: 62,2 km/t (85%-fraktilen er den hastighed, som 85% af de registrerede køretøjer kører under)

## **5.2. Vejbelysning:**

Ved at anvende en dynamisk vejbelysning, vil det være muligt at tilpasse lysstyrken efter mængden af trafik.

Formålet med vejbelysning er at sænke risiko for ulykker ved at gøre det muligt for biler at navigere i omgivelserne og kunne identificere andre trafikanter, objekter og farer. Det nuværende dominerende princip, inden for design af vejbelysning, har ikke til formål at lyse et område op, men har til formål at skabe kontrast mellem vejenbanen og objekter på vejbanen. Måden til at opdage forhindringer og farer på vejbanen er at skabe en negativ kontrast mellem objekt og baggrund (Wanvik 2009<sup>4</sup>).

LED-lampers anvendelse er lidt i modsætning til dette, da LED-lamper anvender lys af en højere kvalitet (farvegengivelse). Dette medfører at synligheden på strækningen bliver større og det er desuden muligt at se længere, end ved det konventionelle belysnings-system. En forbedring af lyskvaliteten ved brug af LED lamper vil medføre en anden form for belysning på vejene. De belysningsstandarder der anvendes nu, er udarbejdet med

henblik på at skabe en kontrast mellem objekter på kørebanen og baggrunden, hvorimod belysning med LED-lamper giver bilister en anden mulighed for at orientere sig i forhold til andre trafikanter.



Gammel lampe på Lådenhøj



Ny lampe på Lådenhøj

Hvis en strækning er oplyst på en sådan måde, at bilisterne føler sig trygge og at de har et komplet overblik overstrækningen, vil bilisterne have en tendens til ubevidst at hæve farten på strækningen. Ligeledes vil en dårligt oplyst strækning medføre at bilister sænker farten. Som beskrevet tidligere, vil overgangen fra konventionelle gadelamper til LED-gadelamper medføre en markant stigning i lyskvaliteten, ved samme lysstyrker som anvendes nu.

Det centrale spørgsmål for denne del af rapporten er om der sker ændringer i hastigheden som følge af forandring i belysningen.

I Danmark anvender man forskellige belysningsklasser for forskellige vejtyper. Ordet "belysningsklasse" benyttes som betegnelse for et sæt lystekniske kvalitetskrav til belysningsanlæg.

Belysningsklasserne er opdelt i tre rækker: L-rækken, LE-rækken og E-rækken hvoraf L-rækken er den der gør sig gældende på trafikveje, som strækningen ved Låddenhøj er kategoriseret som. L-rækken er opstillet på grundlag af luminanser på kørebanen og anvendes på steder, hvor belysningen i det væsentlige udføres af hensyn til motortrafikanter, som har brug for at kunne orientere sig og opdage forhindringer på lang afstand.

De forskellige belysningsklasser i L-rækken, der anvendes på vejetyper som Låddenhøj, er L7a og L7b der er defineret ved en luminans på hhv.  $0,75\text{cd/m}^2$  &  $0,5\text{cd/m}^2$ . Disse er de laveste belysningsklasser der er tilladte på denne vejtype. Ud over luminans er farvegengivelse en vigtig parameter for vejbelysning. Til belysning af trafikveje bør der anvendes lyskilder med et farvegengivelsesindeks Ra på mindst 50, men ældre gadelamper har typisk Ra værdi helt nede på 30-40. Farvegengivelsesindekset er et tal, som tilnærmelsesvis angiver, hvor godt en lyskilde gengiver overfladefarver sammenlignet med glødelamper eller dagslys. Skalaen går fra 0 til 100 således, at 100 angiver bedste farvegengivelse. De anvendte LED lamper har en Ra værdi på mindst 75 og lyskvaliteten vil således være langt bedre.

### 5.3. Trafiksikkerhed i forhold til hastighed

Sikkerhed på vejene er afhængig af en masse forskellige faktorer, og det vil være umuligt at gennemføre en fyldestgørende undersøgelse af de forskellige faktorer for trafiksikkerheden på Låddenhøj. Risikoen for uheld er større om natten end om dagen, men der er ikke lavet nogle studier om hvordan lysniveauet påvirker risikoen for ulykker (Wanvik 2009). Generelt set er hastighed den faktor der har størst betydning for både risikoen for både ulykker, såvel som risikoen for dødelighed og graden af svære skader. For at vurdere hvilken indflydelse forandringen i lysstyrke og kvalitet ved brugen af LED lamper har på trafiksikkerheden, vil den primære parameter være forandringen i den gennemsnitlige hastighed på strækningen i mørketiden. Baggrunden for denne disposition er studier fra Norge (Elvik 2009)<sup>5</sup>, der gennem empiriske undersøgelser af data fra europæiske lande, opstiller en model for sammenhæng mellem hastighed og trafikuheld. Denne model, kaldet potens-modellen, kan relativt præcist viser sammenhængen mellem forandringer i gennemsnitshastighed med øget eller faldende risiko for uheld og forskellige typer skader som følge af trafik uheld.

#### 5.3.1. Potens-modellen

Potensmodellen angiver sammenhængen mellem forandring i gennemsnitshastighed på en strækning og antallet af uheld. Modellen er udtrykt ved funktionen:

$$LO_2 = LO_1(v_2/v_1)^x$$

( $LO_1$  = Antal af ulykker før hastighedsændring,  $LO_2$  = Antal af ulykker efter hastighedsændring,  $v_2$  = gennemsnitshastighed efter,  $v_1$  = gennemsnitshastighed før,  $x$  = potens afhængig af vejtype/type af ulykke)

Modellen blev revideret i 2009, og ved den lejlighed blev der udregnet mere præcise estimater for potensen i forhold til vejstrækningen. Der er forskel på forandringer i hastigheden på en motor- eller landevej og en vej i et urbant miljø. Derudover anvendes forskellige potenser til at estimere en hastighedsforandrings indflydelse på uheld med dødelig udgang, uheld med svære skader og uheld med lette skader. Her ser vi potenser for ulykker på veje i et urbant miljø, som Låddenhøj vurderes at tilhøre.

| Ulykkens omfang:              | Bedste estimat |
|-------------------------------|----------------|
| Fatal ulykke                  | 2,6            |
| Ulykke med seriøs personskade | 1,5            |
| Ulykke med mindre personskade | 1              |

(Kilde: Elvik 2009)<sup>5</sup>



Da strækningen på Loddenhøj, der bliver påvirket af belysningen, er relativt kort, giver det ikke mening at forsøge at beregne med de faktiske tal for uheld og skader. I stedet sætter vi det oprindelige antal af skader ( $LO_1$ ) til 1 og derigennem kan vi beregne den relative forandring i ulykker som følge af forandring i hastighed.

#### 5.4. Trafikregulering:

CO<sub>2</sub>-besparelserne skal primært ses i forhold til lavere energiforbrug ved belysning, og rød hvile om natten. Hvis den opsatte radar kan detektere, at der fx kommer en lastbil, kan lyskrydset nå at skifte til grøn, inden lastbilen bremser ned og starter op, hvilket ultimativt vil give energibesparelser. Radaren skal således fungere som en billigere og mere fleksibel erstatning af de traditionelle spoler, og som vil koste i omegnen af en tiendedel af, hvad det koster at grave en spole ned. Grundet kommunikationsnetværket via lamperne, vil radar-detektering både praktisk og økonomisk kunne placeres længere ude af vejstrækningen end med en spole, og kan derfor i tidsrum med rød hvile, tilpasse lysregulering således, at biler vil kunne passere uden at skulle bremse ned.

Ved at bruge data fra TOPO-boxen, vil vi være i stand til at se om lysreguleringen kan indstilles så de biler der passerer, ikke bremser ned i samme omfang som før.

Den intelligente trafikstyring giver en mulighed for at regulere trafikken autonomt og lokalt, og ændre sig alt efter den aktuelle trafiksituation. Dette har potentiale både i forhold til en reduktion af CO<sub>2</sub>, men muligvis også i forhold til prioritering af kollektive transportformer og cyklister før privatbiler. Undersøgelser om reduktion af CO<sub>2</sub> må nødvendigvis baseres på andenhånds-kilder. Hvis systemet kan lave en effektiv prioritering af kollektiv transport og cyklister på bekostning af privatbiler, kan det have stor værdi for kommuner som forsøger at implementere progressiv trafikregulering.

#### 5.5. Forsøgsplan

Formålet med testen er at undersøge hvordan forskellige belysningsstandarder og belysningsindstillinger påvirker bilernes hastighed på Loddenhøj. Der er 5 forskellige testscenarier, tre er med fast vejbelysning og de sidste to er med trafikintensitetsstyret vejbelysning og trafikintensitetsstyret vejbelysning med trafikregulering af lyskurven, såkaldt "rød hvile". De tre første scenarier består af vejdirektoratets belysningsstandarder L6 (15 lux), L7a(10 lux) og L7b (5 lux)<sup>6</sup>.

I de to sidste scenarier er vejbelysningen styret af trafikintensiteten der foregår ved at der er fastsat en bestemt belysningsstandard i forskellige perioder, og at lysstyrken reguleres efter mængden af biler på strækningen. I de perioder hvor der er myldretid, vil belysningsstyrken være L6 som base, i tidspunkter hvor der er mindre belastning vil L7b være base og i tidspunkter med meget lav belastning vil belysningsstyrken være halvdelen af L7b (2,5 lux), dvs. under den laveste lovpligtige belysningsstandard jf. vejdirektoratet. Belysningen reguleres efter mængden af biler på strækningen i intervaller på 10 minutter. På de lavere indstillinger kan lysstyrken skrues op hvis der på 10 minutter er flere end 50 biler i minuttet, omvendt er der en hysteresis i forhold til at skrue ned, som

gør, at lysintensiteten først justeres ned, når der i en periode på 30 minutter er mindre end 50 biler per 10 minut.

”Rød hvile” består af et system hvor lyskurven vil justere sig efter trafikken på strækningen. I perioder med lav trafikintensitet vil lyskurvens udgangspunkt være rødt for alle retninger. Når et køretøj nærmer sig fra en hvilken som helst retning, vil radaren sende signal til lyskurven om at skifte til grønt for den retning, inden bilen når frem til krydset, for derefter at skifte tilbage til rød for alle retninger, når køretøjet er passeret. Når lyskurven viser rød for alle retninger, vil omløbstid i et skift til grønt være meget kortere, hvilket sikrer et bedre flow i trafikken i perioder med lav trafikintensitet. Yderligere vil denne form for regulering teoretisk sikre at køretøjer ikke øger hastigheden for at komme over for grønt, da skiftet til grønt vil være tilpasset det ankommende køretøjs hastighed. Dette forbedrer trafikikkerheden i og med at køretøjet ikke vil øge hastigheden i tilfælde af grønt for at ”nå at komme over”.

## 5.6. Indsamling af data

Dataindsamlingen sker gennem brugen af TOPO-boxen, der giver data om typen af køretøjer og hastighed fra en radar-sensor. Der blev opsamlet data i perioden november 2013 til og med marts 2014. Dataopsamlingen var inddelt i en kontrolperiode, hvor strækningen var belyst af eksisterende gadelamper med belysningsklassen L7b, og i en testperiode, hvor strækningen var belyst med LED lamper med forskellige indstillinger. Der blev indsamlet data fra strækningen under forhold med eksisterende gadelamper og standardbelysning i perioden fra 14/11-2013 til 27/11-2013.

Efter de nye LED-gadelamper blev monteret, gennemførtes 3 x 14 dages test med tre forskellige faste indstillinger for belysningsstyrke (Vejdirektoratets L6, L7a og L7b belysningsstandarder) i perioden fra 2/1-2014 til 12/2-2014. Derefter gennemførtes yderligere 14 dages test fra 13/2-2014 til 26/2-2014, hvor belysningsstyrken reguleredes efter trafikintensiteten. Afsluttende gennemførtes 14 dages test fra perioden fra 27/2-2014 til 12/3-2014, hvor belysningsstyrken reguleredes efter trafikintensiteten kombineret med regulering af lyskurven efter trafikken.

| <b>Testscenarie</b>                  | <b>Testperiode</b>      |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Kontrolperiode<br>(L7b gamle lamper) | 14/11-2013 - 27/11-2013 |
| L6                                   | 30/01-2014 - 12/2-2014  |
| L7a                                  | 16/01-2014 - 29/01-2014 |
| L7b                                  | 30/01-2014 - 12/02-2014 |
| Intensitetsreguleret                 | 13/02-2014 - 26/02-2014 |
| Intensitetsreguleret + Rød hvile     | 26/02-2014 - 12/03-2014 |

Datasættet, som TOPO-boxen genererer, er inddelt i 24 intervaller af en times varighed (f.eks. 6-7, 7-8 osv.). Derudover er der intervaller for de forskellige hastigheder, der løber fra 10-160 km/t med intervaller på 10 km/t. Data-sættets inddeling i intervaller af en time kan ikke justeres, og udgør et mindre problem i forhold til forandringer i tændtiden.

Da solen står op og går ned gradvist over testperioderne, mens trafik-data kun findes i hele intervaller, har vi valgt at dele optællingen op således at der i de måleperioder, hvor solen f.eks. går ned kl. 19:30 vil tændtiden svare til at starte kl.20 og dermed intervallet 20-21 og frem.

For at kunne sammenligne data-sættene bedst muligt, har vi valgt at sætte måleperioden ud fra tændtiden på testperiodens sidste dato. På denne dato står solen op kl.6:31 og går ned igen 18:09. Da det ikke er muligt at måle halve intervaller i data-sættet vælger vi at runde op, således at tændtiden i den samlede testperiode er fra kl. 18 om eftermiddagen til kl. 7 næste morgen. (I datasættet udtrykt som tidsintervallerne [00-01;06-07] og [18-19;23-00])

Dette betyder at tændtiden i testperioden gennemsnitligt ligger på 13 timer i døgnet. I løbet af et år er den gennemsnitlige tændtid for gadebelysningen 11 timer i døgnet. I forhold til det årlige gennemsnit er gennemsnittet for tændtiden i testperioden tilstrækkeligt lang, til at resultaterne kan siges at være repræsentative for resten af året.

## 5.7. Dataanalyse

Det indsamlede data blev behandlet i statistikprogrammet "R", og der blev udført en såkaldt t-test på datasættene i forhold til kontrolperioden, for at undersøge hvorvidt der forekom statistisk signifikante forandringer i bilernes gennemsnitshastighed ved de forskellige lyssætninger og trafikstyringer på Låddenhøj. Hvis p-værdien i en t-test er større end 0.05 er der ikke statistisk signifikant forskel på de to gennemsnitshastigheder. Hvis p-værdien er under 0.05 er forskellen i gennemsnitshastigheder statistisk signifikant, og dermed noget vi kan tilskrive forandringer på strækningen.

| <b>Test:</b>                                      | <b>P-værdi:</b> | <b>Forandring I hastighed ift. kontrolperiode</b> |
|---|-----------------|---|
| L6  | 0.9353          | N/A – ikke signifikant                            |
| L7a   | 0.2326          | N/A – ikke signifikant                            |
| L7b   | 5.131e-12       | 0.6464 km/t                                       |
| Trafik-intensitetsreguleret belysning             | 5.04e-16        | 0.76718 km/t                                      |
| Trafik-intensitetsreguleret belysning + Rød hvile | 2.2e-16         | 0.96988 km/t                                      |

Ved de to første belyningsstandarder er forandringen i hastigheden ikke statistisk signifikant i forhold til T-test mod kontrol-perioden. Ved belyningsstandarden L7b og testperioderne med trafikintensitetstyret belysning og trafikintensitetstyret belysning med rød hvile, kan vi observere en stigning i gennemsnitshastigheden på strækningen.

Som beskrevet tidligere, er det ved hjælp af potensmodellen muligt at beregne hvilken effekt stigningen i gennemsnitshastigheden har for øget risiko i forbindelse med trafiksikkerheden.

| <b>Scenarie:</b>                                 | <b>Forandring i hastighed</b> | <b>Fatal ulykke</b> | <b>Seriøs per-<br/>sonskade</b> | <b>Mindre per-<br/>sonskade</b> |
|--|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| L7b  | 0.6464km/t                    | 3.1%                | 1.7%                            | 1.1%                            |
| Trafikintensitetsreguleret belysning             | 0.76718km/t                   | 3.7%                | 2.1%                            | 1.4%                            |
| Trafikintensitetsreguleret belysning + Rød hvile | 0.96988km/t                   | 4.7%                | 2.6%                            | 1.7%                            |

Den formodede forandring i hastigheden som følge af ændring i belyningssystemet er relativt marginale, og det var forventet at den største hastighedsøgning ville være ved L6 (stærkest belysning), men da målinger i denne periode ikke gav signifikant ændring, må det antages at andre forhold som f.eks. vejret, kan have mindst lige så stor indflydelse på trafikhastigheden som belyningen.

Vi har desværre ikke vurderet vejrforholdene i de enkelte måleperiode og har derved ikke datagrundlag herfor, men må antage at nedbør og dårlig føre kan have indvirket på trafikken i måleperioderne.

Da teststrækningen er forholdsvis kort, er det desuden svært at vurdere hvilke konsekvenser det vil have for trafiksikkerheden, hvis det samme system implementeres på en længere strækning. Andre faktorer som forbedret farvegengivelse spiller muligvis mere positivt ind i forhold til trafikanternes evne til at kunne identificere andre trafikanter, objekter og farer, end den negative effekt af at hastigheden ubevist øges en smule. Ligele-

des er det nødvendigt at tage forbehold for usikkerheder i modellerne, da potensmodellen ikke er en 1:1 beskrivelse af virkeligheden, men en indikation på hvordan hastigheden påvirker trafiksikkerheden. Potensmodellen er udelukkende udviklet ud fra en hastighedsanskuelse og ikke ud fra at en eventuel hastighedsforøgelse kan skyldes forbedre trafikale forhold som f.eks. belysning.

## 6. Konklusion

Det lykkedes i projektet at udvikle og teste forskellige teknologier, der kan anvendes i trafikstyringssystemer i fremtiden. Visse elementer er løbende implementeret i nogle af Swarco's produkter, men vigtigst af alt har projektet medvirket til afklaringer om muligheder og problemstillinger ved fremtidens intelligente trafiksystemer.

Visionen er at få udbredt integrationen mellem gadebelysning og trafik-controllere og derved opnå en maksimal energireduktion, øget trafikikkerhed, mindre lysforurening, bedre brugeroplevelse, er således kommet et skridt nærmere.

Projektet endelige demonstration på Lådenhøj, i Roskilde blev noget forsinket undervejs og resulterede i at projektets oprindelige afslutning blev udsat. Ydermere har det været nødvendigt at foretage nogle af målingerne på strækningen efter projektets ophør, men disse resultater er medtaget i denne rapport.

### 6.1. Teknik

Udvikling af et trafiktælesystem baseret på visionteknologi, har vist at en løsning er mulig, med selv prisbillige kameraer og computer hardware. Forsinkelserne i hardwareleverancer satte udvikling lidt i stå, og løsningen er således ikke færdigudviklet i forhold til anvendelse i kommercielle løsninger.

Udviklingen inden for vision-teknologi til brug ved trafikdetektering er i rivende udvikling og andre er således også langt fremme med brugbare systemer. At lave teknologien så billig at den kan monteres direkte i mange gadelamper er måske ikke helt moden endnu, men forhåbentlig vil dette ændre sig i fremtiden.

Interessen for intelligente adaptive trafikstyringssystemer i byområder, gør det nødvendigt at indsamle detekteringsdata til at optimere trafikafviklingen efter. At anvende kommunikation via gadelampers netværk ses derfor som en oplagt mulighed, der burde kunne få stor udbredelse. Den simple radardetektor, der blot kan informere om der er trafik eller ej, vil i mange tilfælde være fyldestgørende for et adaptivt styringssystem, men ønsker om at kunne forfine trafikstyringen til også at kunne foretage specielle prioriteringer for lastbiler, kollektiv trafik, udrykningskørsel eller andet, vil yderligere sætter krav til anvendelse af sensorer og integration af disse med centrale styringer.

### 6.2. Demonstration

Projektet har medvirket til implementering og afprøvning af datasystemer således at måledata kan overføres fra trafiktæller system og andre detekteringssensorer til central placeret server. Kommunikation via lampestrækningens netværksforbindelse er afprøvet og viser at informationer fra lampemonterede sensorer kan anvendes såvel i central trafikstyringssystemer som lokale trafiksignaler til f.eks. styring af rød hvile.

Desuden er det i projektet demonstreret, at lysniveauet i gadebelysningen kan justeres fra centralt sted, og at der kan laves regler for lysniveau på strækningen afhængig af trafikintensiteten eller efter andre kriterier som f.eks. tidsstyret natsænkning.

Måleresultaterne fra demonstrations-strækningen på Lådenhøj giver ikke entydige indikationer for hvordan gadebelysningen indvirker på trafikanternes hastighed. Dette kan der

være flere grunde til. Overordnet må det antages at strækningen har været for kort til at trafikanterne har vænnet sig til ændringen af lysniveauet og således ubevist også ændret hastighed herefter. Desuden er strækningen i forlængelse af en trafikregulering, hvor trafikstyringen har mere indflydelse på hastigheden på strækningen i forhold til gadebelysningen. Den største gennemsnitshastighed i forsøgsperioderne blev netop registreret, da der blev lavet forsøg med radardetektering til brug for rød hvile i trafikreguleringen, hvilket kunne indikere effekten af at anvende rød hvile regulering, når trafik intensiteten er meget lav.

### 6.3. Energibesparelse

Besparelser i energiforbrug og udledning af CO<sub>2</sub> ved indførelse af LED lampeteknologi i forhold til traditionelle belysningsarmaturer har været i fokus i lang tid, og de lovmæssige krav til udfasning af lyskilder indeholdende kviksølv<sup>7</sup>, har sat gang i udskiftning i rigtig mange kommuner landet over.

Der er tale om rigtig store investeringer og LED teknologien er stadig dyrere end den traditionelle belysning ved indkøb. En hovedregel er dog, at energiforbruget til belysning ved skift til LED giver en besparelse på mindst 50%. Levetiden på LED lyskilder er desuden mindst 3-4 gang længere, hvorved udgifter til service og vedligehold også er væsentlig lavere.

Teknologien med sænkning af gadebelysningen i perioder med lav trafikmængde, vil kunne give en yderligere besparelse på energiforbruget helt ned til 80% ift. traditionel lampe, afhængig af hvor lavt lyset justeres ned. Mange steder anvendes nat-slukning af gadebelysning på mindre veje og i boligkvarterer, men overgangen til LED lamper med lysdæmper-funktion, kan gøre det muligt at bibeholde belysning på et lavere niveau i disse områder uden at det koster væsentligt på energiforbruget. Til gengæld kan det øge den trafikale sikkerhed i dette tidsinterval samt øge trygheds- og bekvemlighedsfølelsen for trafikanter og borgere i området, hvilket bestemt også er meget væsentligt.

Justering af lysniveauet i gadebelysningen efter behovet, kan desuden minimere lysforurening, hvor unødigt lys udsendes i miljøet.

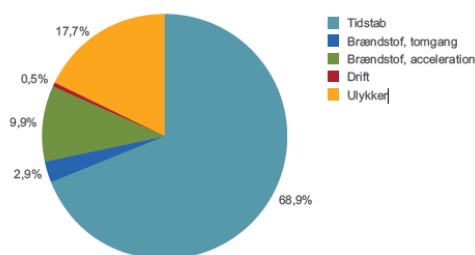
Undersøgelser viser at optimering af trafikflow i byområder har et meget stort potentiale for samfundsøkonomiske og miljømæssige besparelser, og tiltag med indførelse af intelligente trafikstyringssystemer forventes at have meget stor fokus fremover. Et projekt i Københavns kommune forventes at reducere den årlige CO<sub>2</sub> udledning med 25.000 tons ved udskiftning og renovering af trafiksignaler og indførelse af ITS.<sup>8</sup>

De samfundsmæssige besparelses-potentiale er kæmpe stort jævnfør Vejdirektoratets rapport *Bedre Trafiksignaler - Konsekvenser for trafikanter og samfund*.<sup>1</sup>, hvor følgende figurer er taget fra. Energiforbruget udgør dog kun knap 13% af de samlede udgifter for stop i regulerede trafikkrøds, mens samfundsværdien af tidtabet udgør ca. 70 %.

| Omkostning pr. år (1000 kr.) | Pr. anlæg    | For 2.803 anlæg   | %          |
|------------------------------|--------------|-------------------|------------|
| Tidstab                      | 3.381        | 9.478.000         | 68,9       |
| Brændstof for rødt lys       | 144          | 403.000           | 2,9        |
| Brændstof ved acceleration   | 487          | 1.366.000         | 9,9        |
| Trafikulykker                | 871          | 2.441.000         | 17,7       |
| Drift, el mv.                | 25           | 70.000            | 0,5        |
| <b>I alt</b>                 | <b>4.908</b> | <b>13.758.000</b> | <b>100</b> |

TABEL 1 Skønnede årlige omkostninger i danske signalanlæg i 2010.

SAMFUNDSØKONOMISKE OMKOSTNINGER I SIGNALANLÆG



FIGUR 8 Fordeling af de samfundsmæssige omkostninger i signalanlæg. De samlede årlige omkostninger i udgør kr. 4,6 mio. pr. signalanlæg. Driften udgør 0,5 % af omkostningerne.

Kilde: *Bedre Trafiksignaler - Konsekvenser for trafikanter og samfund*. Rapport nr.411. Vejdirektoratet, 2012.

Forbedring af eksisterende trafiksignaler og indføring af mere intelligente styringer med samordning af flere signaler (grøn bølge) forventes at kunne give besparelser på op til 20% af de samlede omkostninger for et givent lyskryds. Da det samlede samfundstab i Danmark i forbindelse med start og stop ved lysregulering anslås til 13 mia. kr. om året, vil selv små forbedringer kunne spare mange ressourcer.



## 7. Kildehenvisning

---

<sup>1</sup> *Bedre Trafiksignaler - Konsekvenser for trafikanter og samfund*. Rapport nr.411. Vejdirektoratet, 2012.

<sup>2</sup> *Trafiktælling - Planlægning, udførelse og efterbehandling*. Rapport nr.315. Vejdirektoratet, 2006.

<sup>3</sup> Open Source Computer Vision. <http://opencv.org/>

<sup>4</sup> Wanvik, P. O. (2009) *Road lighting and traffic safety*. Doctoral Thesis. Norwegian University of Science and Technology, Trondheim

<sup>5</sup> Elvik, R. (2009). *The Power Model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses*. TØI Report 1034/2009. Institute of Transport Economics TØI, Oslo.

<sup>6</sup> *Vejbelysning - Håndbog for tekniske forhold*. Vejdirektoratet, 1999.

<sup>7</sup> Udfasning af kviksølvholdige lyskilder senest i 2015 - EU-direktivet 245/2009.

<sup>8</sup> *Trimmede signaler vil spare København for 25.000 ton CO<sub>2</sub>*. Ingeniøren, 21. februar, 2014.