



# Statens Vegvesen

Trafikforvaltning

Utvikling av strømbesparende vegbelysning

Bilag 2 - Markedsundersøgelse og analyse af  
teknologier og produkter for styring og regulering

5176not002, Rev. 0, 26.3.2015

Udført: JEK/ASE

Kontrolleret: THA

## 1. Indledning

Dette bilag indeholder en analyse af udvalgte, repræsentative og aktuelle styringsprodukter, som kan danne grundlag for valg af styring til vejbelysning i Norge. Analysen tager afsæt i forskellige typer vejstrækninger og indeholder en gennemgang af de forskellige styringsløsningers styrker og svagheder.

Med afsæt i repræsentative vej- og gadestrækninger opsummerer bilaget, hvilken type styring, der giver optimal nytte eller på anden måde er bedst egnet til anvendelse på de forskellige typer af gader og veje.

Bilagets primære fokus er de opmærksomhedspunkter, der knytter sig til ønsket om at reducere energiforbruget og optimere funktionaliteten af styringen. Det primære formål med styring af vejbelysning er at opnå energibesparelser. Dette må imidlertid ikke gå ud over de specifikke behov, som lyset opfylder, nemlig at skabe fremkommelighed, sikkerhed og tryghed for alle type trafikanter. Derfor er både energiforbrug og funktionalitet primære størrelser i forbindelse med planlægning af en specifik styringsløsning.

At bestemme den optimale styringsløsning til en specifik vejstrækning, vil ofte ske ud fra en afvejning af forhold vedr.:

- Energi
- Funktionalitet
- Trafiksikkerhed
- Økonomi
- Fysiske forhold: vejtype, omgivelser og bebyggelse
- Vedligehold
- Komplexitet

I bilaget gennemgås de enkelte forhold og sammenhængen mellem dem. Når den optimale løsning til en konkret vejstrækning skal findes, kræver det at der tages hensyn til flere forhold.

Bilaget indeholder desuden en kort gennemgang af nogle af de teknologier og begreber, som danner grundlag for valg af styring.

Med henblik på at give overordnede anbefalinger, gennemgås udvalgte specifikke produkter.

Det skal pointeres, at præcise anbefalinger af specifikke produkter ikke giver mening. Én af pointerne i bilaget er, at udviklingen går så hurtigt at de produkter, som er aktuelle i dag, kan være uinteressante, når den endelige beslutning om teknologi- og produktvalg skal træffes.

## 2. Styringsteknologi og principper

### 2.1 Lyskilder

Bilagets eksempler og anbefalinger forholder sig alene til styring af belysningsløsninger med LED.

LED-baseret belysning har flere fordele. LED kræver ingen opvarmning, men tænder til fuld styrke med det samme, også selvom den lige har været slukket. LED tåler desuden mange tænd/sluk og er yderst velegnet til dæmning, forudsat at den driver, LED'en forbundet med, er beregnet til at kunne dæmpes. Med LED er det enkelt at justere belysningsniveauet afhængig af aktivitet, trafikmængde eller tidspunkt på døgnet. Det betyder blandt andet, at man kan anvende den dæmningsprofil, som passer bedst til trafikintensiteten i det pågældende område. Derved kan den størst mulige energibesparelse opnås.

De fremtidige styringsløsninger skal derfor være tilpasset armaturer med LED.

#### 2.1.1 Konventionelle lyskilder

De konventionelle lyskilder, der anvendes til vejbelysning, har en opstartstid. Det betyder, at de er et lille stykke tid (typisk nogle minutter) om at nå op på fuld styrke og lyse med den rette lysfarve. Dette gælder lysstofrør og damplamper (højtryksnatrium- og metalhalogenlamper). For damplamper gælder desuden, at lyskilden ikke bare kan slukkes og tændes uden pause. Gentænding af damplamper kræver, at lyskilden er afkølet.

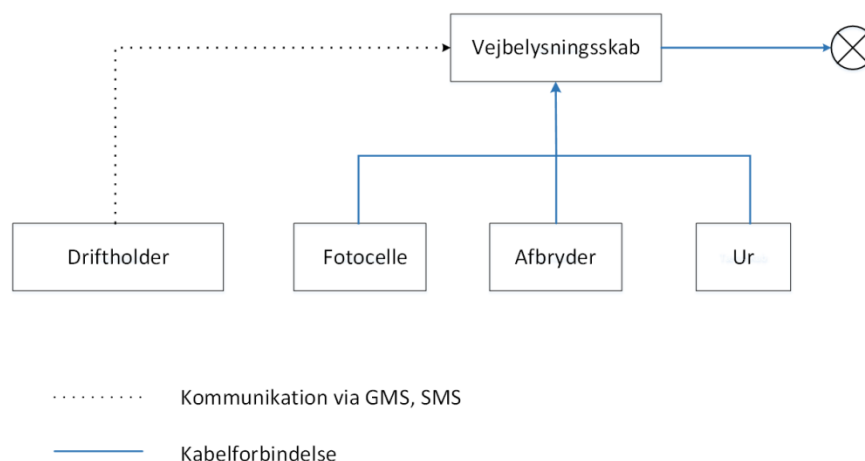
Ikke alle damplamper er velegnede til dæmning. Dæmning af metalhalogenlamper påvirker lyskildens lysudbytte og farveegenskaber i så høj grad, at leverandørerne ikke har indrettet metalhalogenlamperne til at kunne dæmpes.

Dæmning af natriumlamper ned til 50 % af lampens nominelle lysstrøm er teknisk mulig, hvis man nøje følger leverandørens forskrifter og anvender det korrekte udstyr samt passende neddæmningsfrekvenser. Dæmning har kun lille effekt på natriumlampens lysudbytte og ingen indflydelse på levetiden (se også bilag 3 Markedsundersøgelse og analyse af teknologier og produkter for spændingsmanipulation).

## 2.2 Overordnede styringsprincipper

### 2.2.1 Tænd/sluk-styring

Den simpleste form for styring er tænd/sluk. Denne form for styring er angivet som pkt. 1.1 i figur 1.



Figur 1. Simple styringsforme med tænd/sluk styret fra driftsholder.

Simpel tænd/sluk-styring kan udbygges med forskellige styringsinput, som via en simpel logik kan overstyre det lokale tænd/sluk-signal. I en mere avanceret styring kan fx indgå fotoceller, astronomisk ur og GSM (SMS) til fjernstyring. De forskellige input tænder eller slukker for en lokal dæmpning af armaturerne. Dette eksempel er vist i figur 1. Styringsprincippet benævnes 1.1 i det efterfølgende. Figuren viser de forskellige tænd/sluk situationer, som enkeltmuligheder, men disse kan også kombineres indbyrdes. Eksempelvis kan tænd/sluk-relæet kombineres med en ur-tænding.

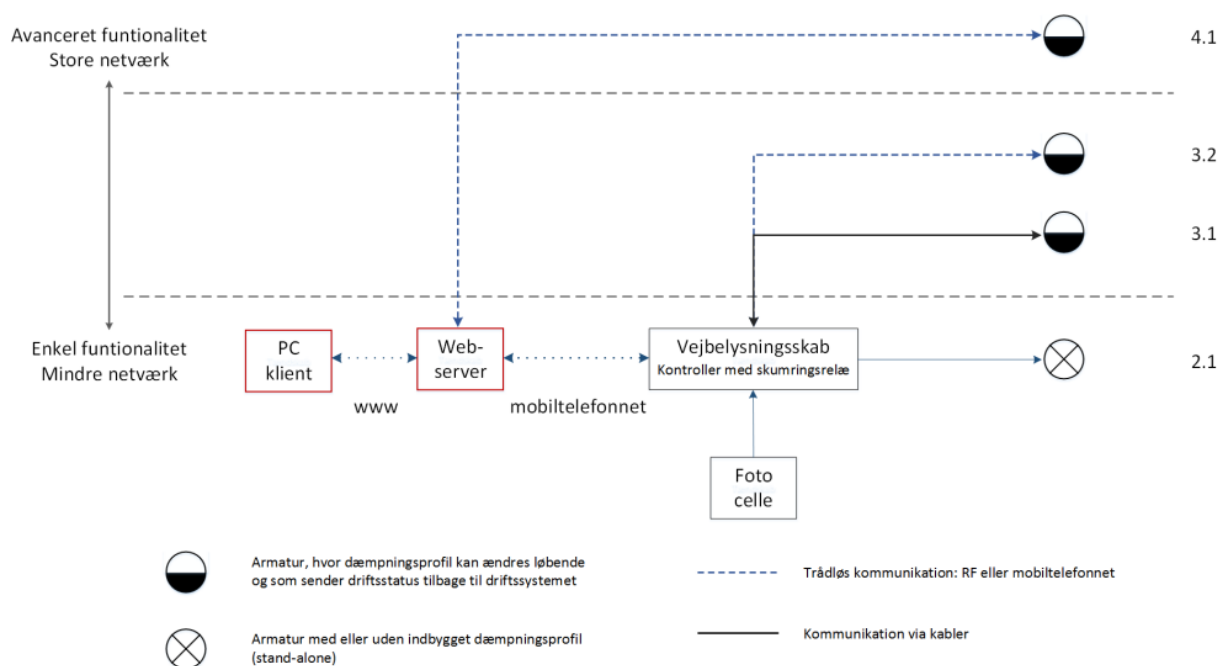
I styringsprincip 1.1 er LED-armaturerne typisk programmeret med en dæmningsprofil, når de kommer fra leverandøren. Det betyder, at belysningsniveauet er bestemt af den indbyggede dæmningsprofil, når styringen tænder for armaturet.

### 2.2.2 Styring via web-server

Dette system indeholder én eller flere Web-servere, som betjenes hos driftsholderen. Web-servere kommunikerer ofte med vejbelysningsskabene over mobilnettet eller via RF (Radiofrekvens). Hvis infrastrukturen er til stede, kan kommunikationen dog også foregå via kabler.

Belysningsmæssigt kan styringsprincipperne i figur 2 principielt det samme. For de styringsprincipper, der er baseret på trådløs kommunikation kan den fysiske installation dog være billigere.

De armaturer, der benyttes i forbindelse med styringsprincippet 2.1, vil typisk være med stand-alone dæmpning, men kan også være med kun tænd/sluk funktion. Armaturer, der anvendes i forbindelse med styringsprincip 3.1-4, vil typisk være de mest avancerede typer, som kan programmeres fra centralt hold og sende diagnosedata til en driftscentral.



Figur 2. De viste styringsprincipper 2.1-4 dækker enkeltinstallationer til store netværk.

Styringsprincipperne 1.1-4 har forskellige fordele og ulemper. De forskellige opmærksomhedspunkter gennemgås i afsnit 6.

Styringsprincipper	
1.1	Den mest enkle form hvor tænd/sluk styres via GSM/SMS-kommunikation. Armaturerne kan være med eller uden indbygget dæmpningsprofil.
2.1	Som 1.1, men med kommunikation til vejbelysningsskabet via en web-server. Kommunikation til armaturer via kabler.
3.1	Armaturer med flere kommunikationsmuligheder, fjernstyrede dæmpningsprofiler og statutilbagemeldinger. Kommunikation til armaturer via kabler.
3.2	Armaturer med mulighed for fjernstyret dæmpning og statutilbagemeldinger. Kommunikation via RF med vejbelysningsskab.
4.1	Armaturer med mulighed for fjernstyret dæmpning og statutilbagemeldinger. Kommunikation direkte med web-server, forsyning via vejbelysningsskab.

Table 1. Beskrivelse af styringsprincipper, som vist i figur 1 og i figur 2.

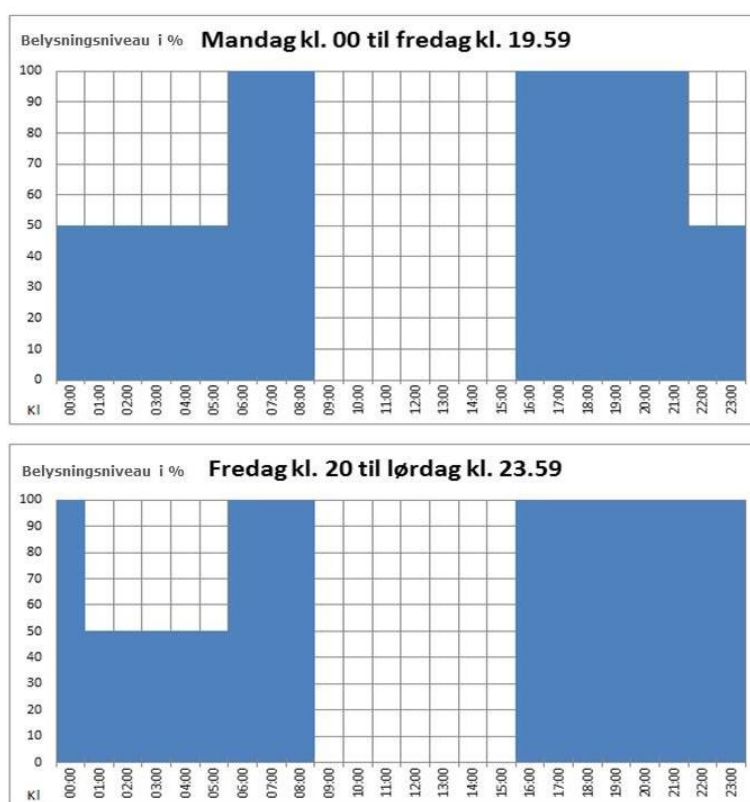
## 2.3 Styringsparametre

Styring af vejbelysning sker typisk ud fra én eller flere parametre, hvoraf de primære er tidspunkt på døgnet og trafikintensitet.

I det følgende gennemgås forskellige styringsparametre og -principper samt forhold vedr. selve udstyret.

### 2.3.1 Tidspunkt og trafikintensitet

En udbredt form for styring er dæmpning af belysningen til et lavere niveau på bestemte tidspunkter af døgnet, hvor trafikintensiteten er lav. I figur 3 er vist en typisk dæmningsprofil for en vejstrækning, hvor belysningen justeres efter tidspunkt på døgnet.



Figur 3. Typisk dæmningsprofil for vejstrækning, hvor belysningen justeres efter en fast dæmningsprofil. På hverdage er belysningen dæmpet til 50 % i 06.

Dæmningsprofilen kan være inddelt i flere perioder hen over døgnet, afhængig af hvilke specifikke behov, der ønskes opfyldt.

### 2.3.2 Styring efter konkrete forekomster af trafikaktivitet

Nogle leverandører tilbyder systemer, som styrer belysningsniveauet i forhold til konkrete forekomster af trafikaktivitet. Belysningen på stier kan fx justeres, så den ”følger” en cyklist, fodgænger eller anden type trafikant. Lyset tændes på den nærmeste strækning, fx 50-100 meter foran trafikanten og slukkes bagved

trafikanten efter et vist tidsrum. Dermed lyses vejens forløb op, der hvor der er behov for dette, mens lyset er slukket på resten af strækningen. (Der er etableret enkelte demonstrationsanlæg i Europa, hvor man er i færd med at indhente erfaringer).

Hvis belysningen skal styres efter konkrete forekomster af trafikaktivitet, skal belysningsanlægget være udstyret med sensorer, som registrerer disse forekomster, evt. ved anvendelse af en bevægelsessensor.

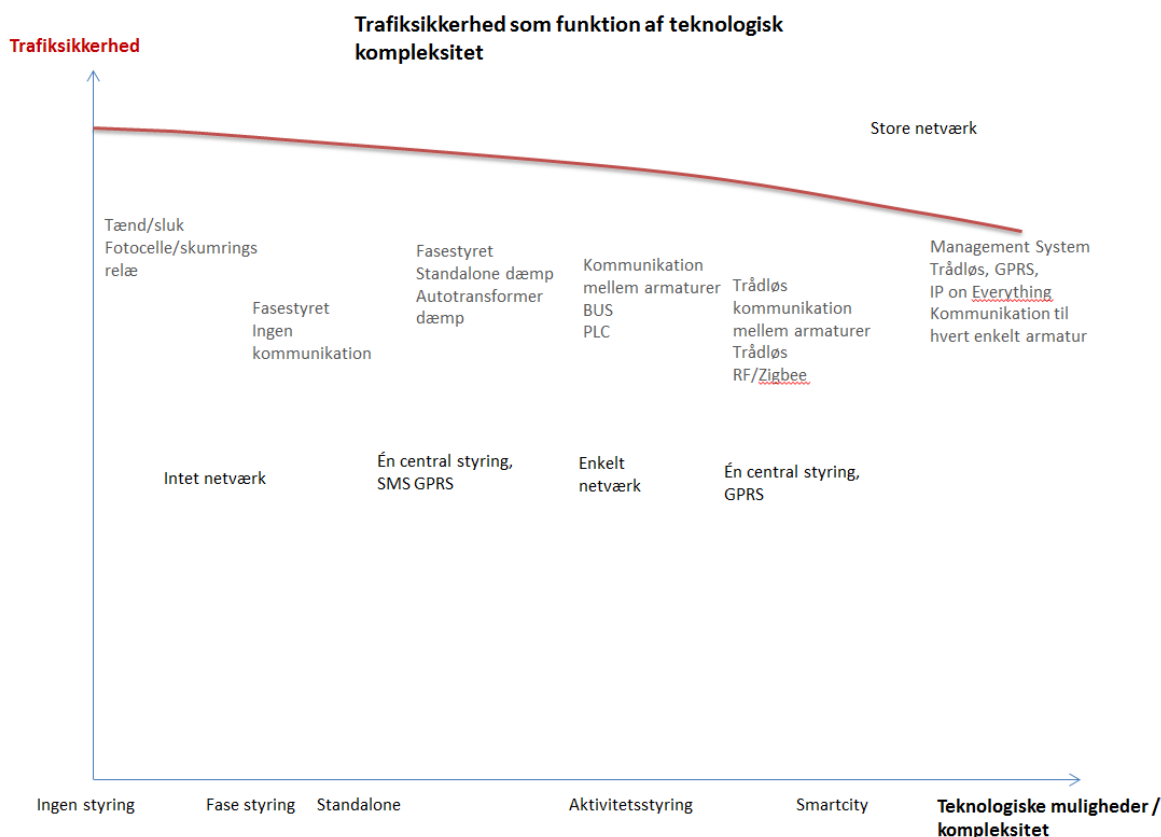
Denne type styring kan være kombineret med en styring efter tidspunkt og trafikintensitet, således at lyset fx kun tænder mellem kl. 22 og kl. 5, hvis der er trafik.

Dæmpningsprofilen lægges som regel ind i armaturets driver. Profilen kan lægges ind enten ved at den indkodes inden armaturet leveres, eller ved at driftsholderen selv forestår programmeringen af armaturerne.

Hvis belysningsprofilen er lagt ind i armaturet, inden det leveres, vil den som regel kun kunne ændres i selve armaturet eller det vejbelysningsskab, armaturet er tilsluttet. Afhængig af styringsprincippet sker den nødvendige kommunikation til programmeringsenheden via kabel eller trådløst.

Hvis driftsholderen selv kan foretage ændringer af dæmpningsprofilen, sker det via kommunikation med armaturet, enten trådløst eller via vejbelysningskablet. Hvis der er indbygget trådløs kommunikation i armaturerne, som er beregnet til kommunikation med andre armaturer eller med en central styringsenhed, sker programmeringen ofte ved at benytte denne kommunikation. Alternativt kan programmeringen ske ved hjælp af særligt udstyr, som kommunikerer med armaturet på kort afstand, f.eks. kan man stå lige under armaturet.

De mange muligheder giver risiko for flere fejl, hvilket kan påvirke trafiksikkerheden. I figur 4 er vist den tilnærmede sammenhæng mellem trafiksikkerhed og teknologisk kompleksitet. Som det fremgår, falder trafiksikkerheden svagt, når den tekniske kompleksitet stiger.



Figur 4. Kurven viser en tilnærmet sammenhæng mellem styringssystemets teknologiske kompleksitet og trafiksikkerheden. Trafiksikkerheden falder svagt, når den tekniske kompleksitet stiger.

Kurverne i figur 4 og figur i 11-16 viser tilnærmede sammenhænge mellem centrale parametre styringssystemets teknologiske kompleksitet. Kurverne viser således ikke absolutte sammenhænge men er baseret på den viden om og erfaring med styringsløsninger og LED, som er indhentet gennem de seneste årtier ved projektering, etablering og drift af vejbelystningsanlæg. Kurverne er et udtryk for de tilnærmede sammenhænge, der gælder i 2014, hvilket betyder. Det forventes, at disse sammenhænge ændrer sig gradvist afhængig af udviklingen af LED-belysning og styringsteknologi.

### 3. Behovsanalyse

Styringsmulighederne har ændret sig fra simple funktioner, hvor al vejbelystning tændes og slukkes i én operation, til at det i dag er muligt at tænde og slukke enkelte strækninger eller styre vejbelystningen på armaturniveau. Der er med andre ord mange muligheder.

Valg af styring bør derfor tage afsæt i en grundig analyse af den trafik- og færdselssituation samt aktuelle krav og behov.



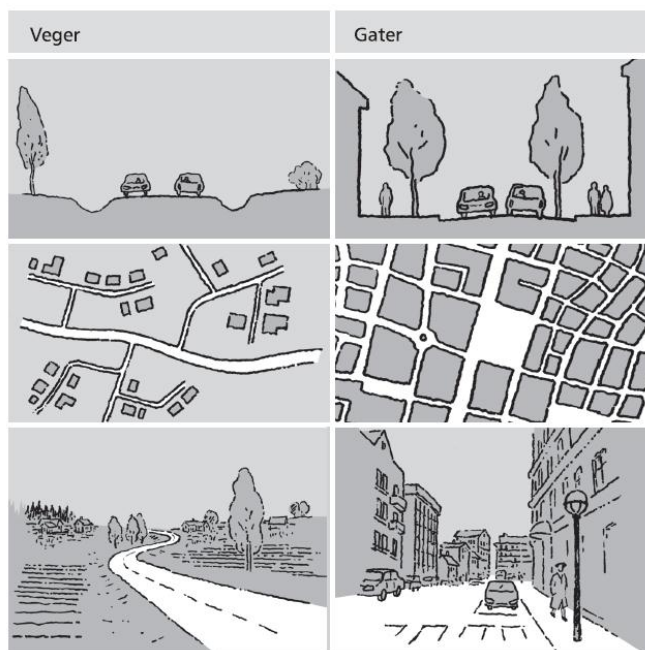
Hvilken styringsløsning, der er bedst egnet til en specifik vejstrækning, afhænger af flere forhold, herunder:

- ÅDT (Årsdøgns trafik)
- Trafik- og færdselssituation
- Omgivelser/bebyggelse
- Trafiksammensætning
- Tid på døgnet
- Dæmpning/dæmpningsprofil
- Evt. overvågning
- Vedligeholdelse
- Service
- mobildækning

Med en velegnet styring af belysningen er det muligt at dæmpe belysningsstyrken i trafiksvage perioder og dermed opnå en væsentlig energibesparelse.

#### 4. Kobling mellem vejtyper og styringsprincipper

Det følgende indeholder en gennemgang af hvilke typer overordnede styringsprincipper, der vil være relevante at anvende på de forskellige typer gader og veje.



Figur 5. Belysningen kan være opdelt i forskellige grupper. Et eksempel er vejarmaturer på master eller ophængt i wire, som belyser selve kørebanen, mens f.eks. pullerter eller gadearmaturer anvendes til belysning af fortovsarealet.

Kilde: Håndbok N100 Veg- og gateutforming.

Tabel 1 indeholder forskellige og repræsentative varianter af veje, gader og tunneler. De forskellige gade- og vejtyper er udgangspunktet for bilagets anbefalinger vedr. valg af styring. I det følgende beskrives de forskellige varianter kort.

Vejtyper		Belysning	Motoriseret trafik	Cyklister	Gående	Prioriteret trafikanttype
Motorveje		(x)	x			Motoriseret
Vejte i åbent land	Større hovedveje (H5, H7)	x	x	(x)	(x)	Motoriseret
	Mindre hovedveje (H1, H6, Sa1, Sa2)	x	x	x	(x)	Motoriseret
	Lokalveje (A1)	x	x	x	x	Alle
Vejte og gader i byer	Større hovedveje	x	x	(x)	(x)	Motoriseret
	Mindre hovedveje	x	x	x	x	Motoriseret
	Gader med blandet opdelt trafik	x	x	x	x	Alle
	Gader med ikke opdelt trafik, herunder gågader	x	x	x	x	Cyklister og gående
Tunneller u/ cykler og gående		x	x			Motoriseret
Tunneller m/ cykler og gående		x	x	x	x	Motoriseret

Tabel 1. Varianter af gade- og vejtyper samt tunneller. Et x indikerer om der er belysning på vejen og hvilke typer trafikanter, der anvender de forskellige typer strækninger. Et (x) indikerer at der evt. kan være belysning eller at denne type trafikanter evt. kan forekomme.

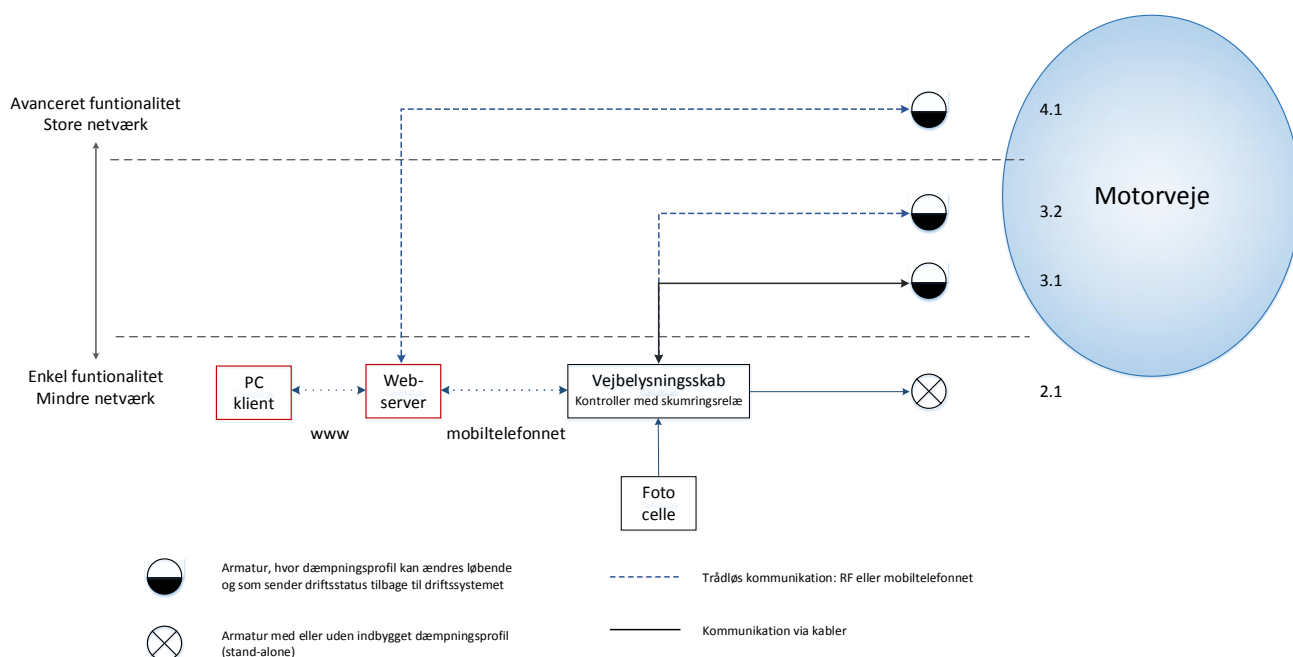
## 4.1 Motorveje

Motorveje er udelukkende beregnet til motoriseret trafik med høj hastighed. Motorveje i bymæssige områder vil som regel være belyst. Motorveje i åbent land kan være belyst, men er det ikke nødvendigvis. De til- og afkørsler, der forbinder motorvejene til det øvrige trafiknet, vil som regel være belyst, ligesom eventuelle tunneller, som motorvejen ledes igennem altid vil være belyst.

### 4.1.1 Valg af styring til motorveje

På motorveje kan man i visse tilfælde have gavn af avanceret styring, som kan tage højde for trafikintensitet (afsnit 2.3.2). Desuden kan selve udstrækningen af motorvejsnettet bevirke, at det simpleste vil være at anvende trådløs kommunikation. På motorveje vil

det derfor være relevant at benytte styringsprincipperne 3.1 til 4.1 i figur 6.



Figur 6. Afhængig af resultatet af behovsanalysen kan styringsprincipperne 3.1-4.1 være relevante for motorveje.

## 4.2 Lokal- og hovedveje i åbent land

### 4.2.1 Hovedveje i åbent land

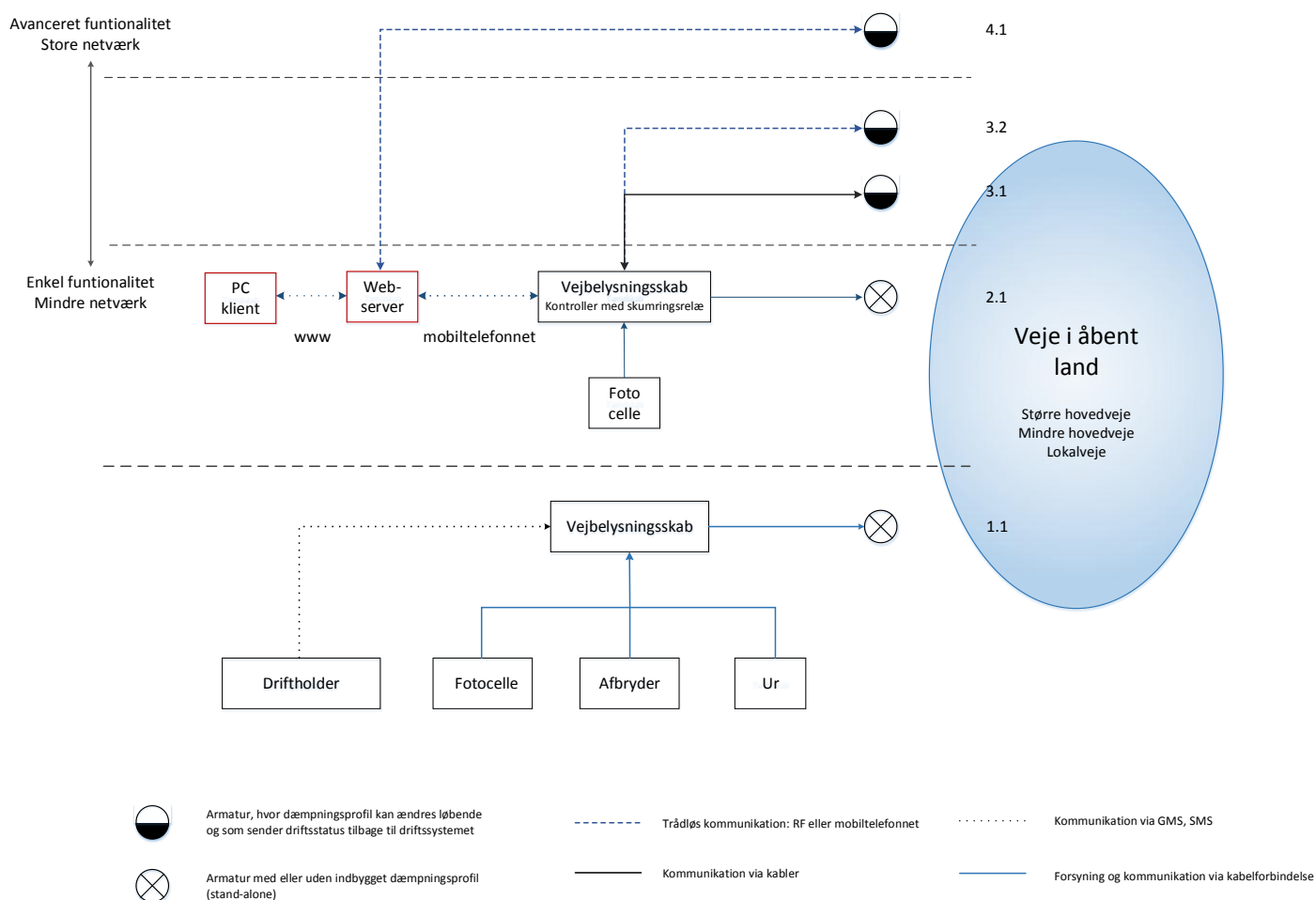
Hovedveje i åbent land kan være belyst, men er det ikke nødvendigvis. Hastigheden varierer afhængig af vejens størrelse. På større hovedveje er hastigheden typisk høj (80-90 km/t), mens den på mindre hovedveje typisk vil være middel (50-60 km/t). Vejen kan være opdelt i kørefelter og felter for cyklister og gående, i så fald vil felter for motoriseret trafik og felter for cykel- og gangtrafik typisk være adskilt af en trafikdeler eller grøfteskråning. Selvom der ikke findes særskilte felter for cyklister og gående, kan cyklister og gående benytte vejen, hvilket bør indgå i overvejelserne vedr. valg af styringsløsning. På både større og mindre hovedveje i åbent land har den motoriserede trafik højeste prioritet.

### 4.2.2 Lokalveje i åbent land (A1)

Lokalveje i åbent land er typisk ankomstveje til boligområder. Disse veje er belyst og den motoriserede trafik kører med lav hastighed (30 km/t). Tværprofilen er typisk 5 meter uden opdeling. Trafikken er blandet og består af både motoriseret trafik, gående og cyklister, som alle har prioritet i forhold til sikkerhed og visuelle forhold.

### 4.2.3 Valg af styring til lokal- og hovedveje i åbent land

På de mindre veje i åbent land vælges typisk en simplere styring. De ovenfor beskrevne vejtyper i afsnit 4.2.1 og 4.2.2 relaterer til alle styringsprincipper 1.1 til 3.1 i figur 7.



Figur 7. Afhængig af resultatet af behovsanalysen kan styringsprincipperne 1.1-3.1 være relevante for lokal- og hovedveje i åbent land.

## 4.3 Gader og hovedveje i bymæssige områder

### 4.3.1 Større hovedveje i bymæssige områder

Større hovedveje i bymæssige områder vil som regel være opdelt i kørefelter for motoriseret trafik, som er adskilt fra fortovet for gående, derudover kan der være cykelfelter langs kørefelterne. Denne type veje vil altid være belyst. Belysningen vil være tilpasset den aktuelle gadeprofil og kan være opdelt i forskellige grupper, f.eks. én gruppe, som belyser selve vejen og én gruppe, som belyser for-

tovsarealet. På større hovedveje i bymæssige områder vil den motoriserede trafik ofte have højeste prioritet.

#### **4.3.2 Mindre hovedveje i bymæssige områder**

Mindre hovedveje i bymæssige områder vil som regel være opdelt i kørefelter for motoriseret trafik, som er adskilt fra fortovet for gående, derudover kan der være cykelfelter langs kørefelterne. Denne type veje vil altid være belyst. Belysningen vil være tilpasset den aktuelle gadeprofil og kan, ligesom for større hovedveje, være opdelt i forskellige grupper. På mindre hovedveje i bymæssige områder vil den motoriserede trafik ofte have højeste prioritet.

#### **4.3.3 Gader med blandet opdelt trafik**

Gader i bymæssige områder med blandet trafik vil altid være belyst. Trafikken vil være opdelt i kørefelter for motoriseret trafik, som er adskilt fra fortovet for gående, derudover kan der være cykelfelter langs kørefelterne. Belysningen vil være tilpasset den aktuelle gadeprofil og kan være opdelt i forskellige grupper. Den motoriserede trafik har lav eller moderat hastighed (30-50 km/t). I forhold til sikkerhed og visuelle forhold har alle typer trafikanter lige høj prioritet.

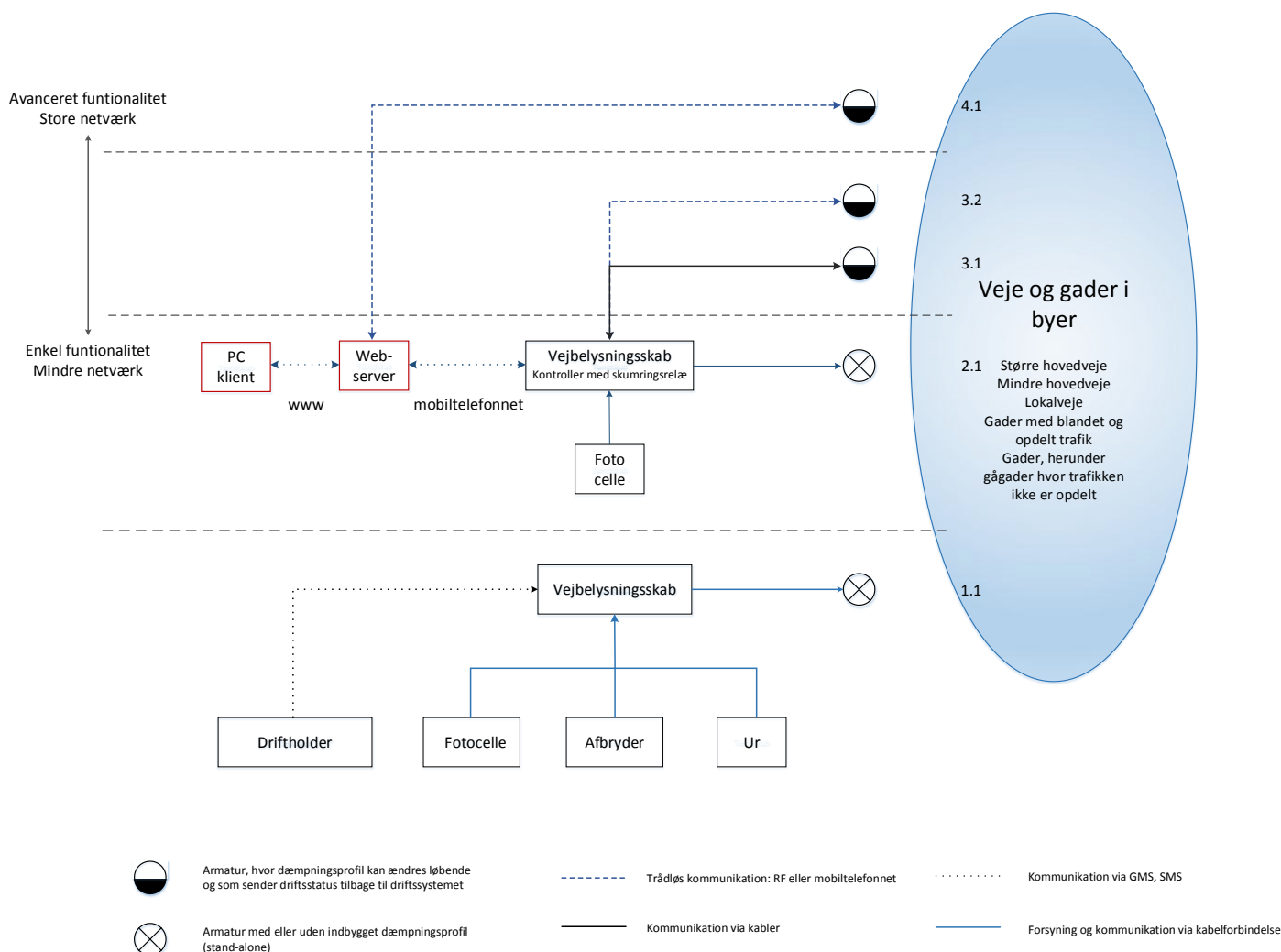
#### **4.3.4 Gader med ikke opdelt trafik, herunder gågader**

Gader i bymæssige områder, hvor trafikken ikke er opdelt vil altid være belyst. Belysningen vil være tilpasset den aktuelle gadeprofil og kan være opdelt i forskellige grupper. Trafikken er enten forbeholdt gående og eventuelt cyklister eller den er blandet og består af både cyklister og gående samt motoriseret trafik med lav hastighed (<30 km/t). Cyklister og gående har højeste prioritet.

#### **4.3.5 Valg af styring til gader og hovedveje i bymæssige områder**

Belysningen i byer og bymæssige områder kan være kompleks og der kan være mange forskellige ønsker og behov, lige fra simpel tænd/sluk til aktivitetsstyret belysning.

Som vist i figur 8, kan alle styringsprincipper være relevante for de vejtyper, der er beskrevet i afsnit 4.3.4- 4.3.4. Det rette styringsprincip vil afhænge af resultatet af den behovsanalyse, der altid bør danne grundlag for valg af styringsprincip og styringsløsning.



Figur 8. Afhængig af resultatet af behovsanalysen kan alle styringsprincipper være relevante for gader og hovedveje i bymæssige områder.

## 4.4 Tunneller

### 4.4.1 Tunneller m/ cykler og gående (blandet trafik)

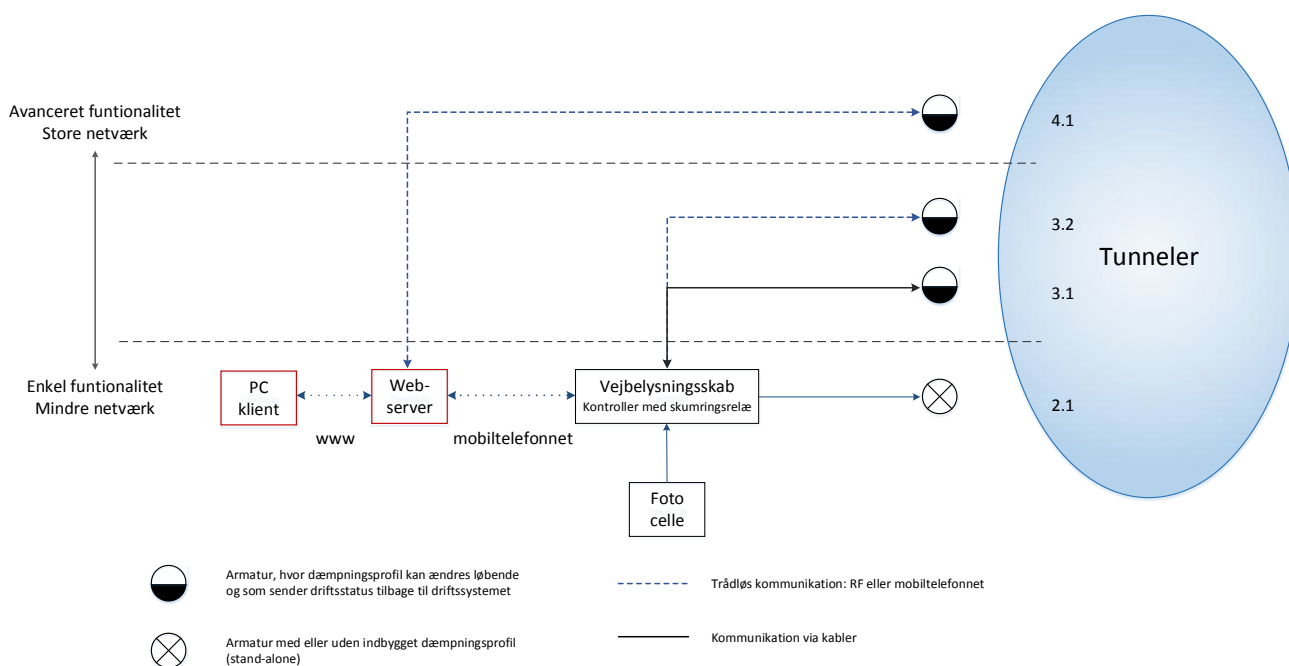
Denne betegnelse anvendes i dette bilag om tunneller, som benyttes af både motoriseret trafik og cykler og gående. Felter for cykler og gående er ofte adskilt fra den motoriserede trafiks kørefelter af et rækværk. Tunneller kan være ensrettede eller have tovejstrafik og hastigheden varierer (50-100 km/t) afhængig af ÅDT og andre forhold, der har betydning for sikkerheden for de forskellige typer trafikanter. Hvis tunnellens længde er over 25 meter, skal den være belyst, ligesom der stilles krav til luminansforholdene i tunnellers indkøringszone. I tunneller har den motoriserede trafik højeste prioritet.

#### 4.4.2 Tunneller u/ cykler og gående

Tunneller uden cykler og gående er udelukkende beregnet til motoriseret trafik og kan være ensrettede eller have tovejstrafik. Hastigheden varierer (50-100 km/t) og er blandt andet afhængig af ÅDT. Hvis tunnelens længde er over 100 meter, skal den være belyst, ligesom der stilles krav til luminansforholdene i tunnelens indkøringszone.

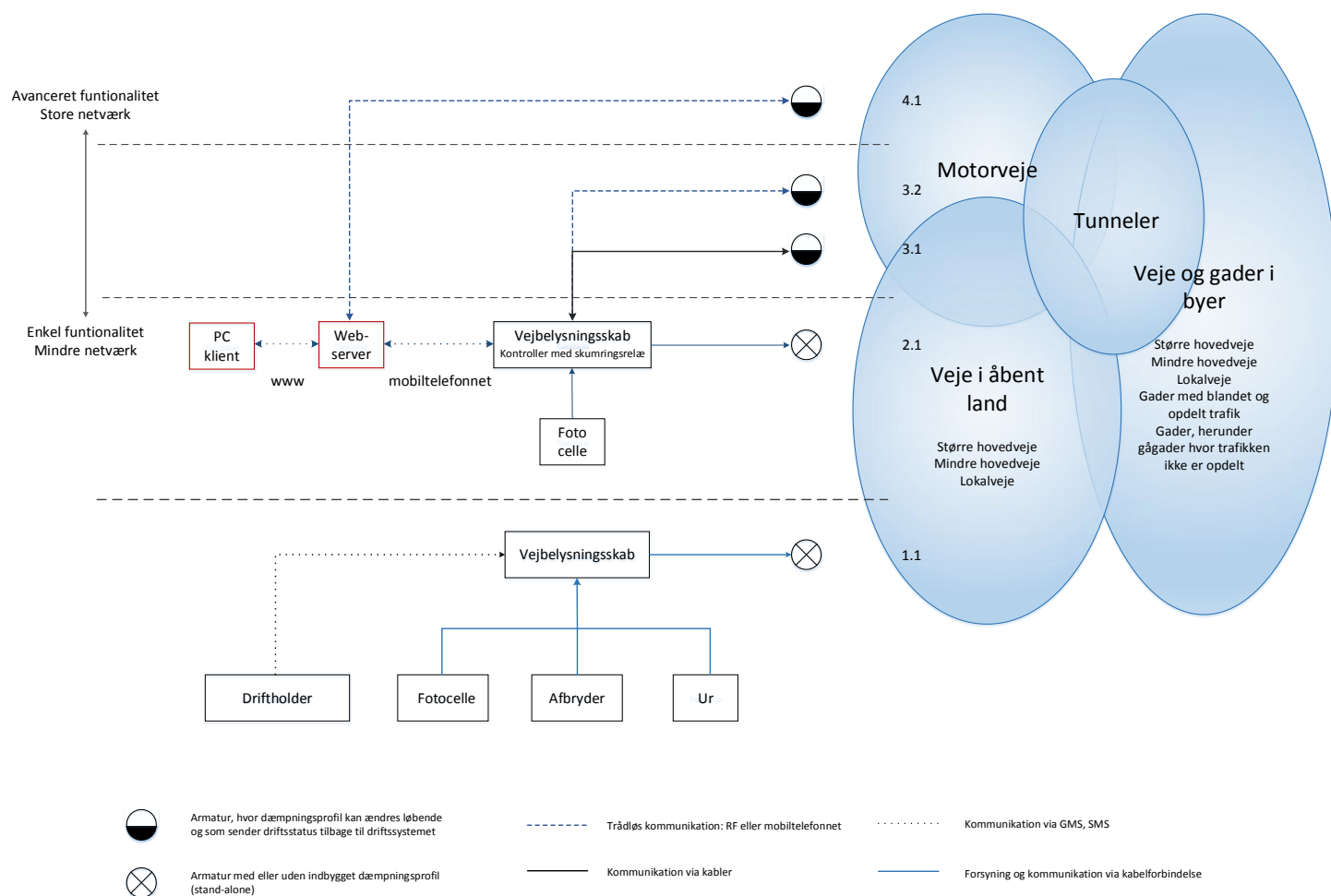
#### 4.4.3 Valg af styring til tunneller

I tunneller er lysforholdene særligt vigtige. Derfor giver det god mening at få data tilbage fra armaturerne om, hvorvidt de fungerer som ønsket. Samtidig er vedligehold i tunneller forbundet med større risiko og flere omkostninger end for andre vejtyper. Avancerede managementsystemer kan hjælpe med at optimere vedligeholdelsen af belysningen i tunneller. I tunneller bør derfor vælges blandt styringsprincipperne 2.1 til 4 i figur 9.



Figur 9. Afhængig af resultatet af behovsanalysen kan styringsprincipperne 2.1-4 være relevante for tunneller.

I figur 10 er de specifikke koblinger mellem vejtyper og styringsprincipper samlet i én figur. Figuren skal ikke læses som et entydigt billede, men give en indikation af, hvorledes vejtyper og styringsprincipper kan fordele sig. Der kan forekomme undtagelser og steder, hvor andre kombinationer af vejtype og styringsprincip ønskes.



Figur 10. Specifikke koblinger mellem vejtyper og styringsprincipper for alle gade- og vejtyper samt tunneller.

## 5. Produkter

I Norge har man erfaring med anvendelse af styringsprodukter fra bl.a. Philips (Holland), Thorn (Østrig), Siteco (Tyskland), Lumixnext (Belgien) og Datek (Norge). Produkterne er velbeskrevet i ”Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veilyssystemer” af Einar Jochum Rånes Tommelstad. I denne sammenhæng er det derfor valgt at redegøre for yderligere fire produkter.

Som nævnt findes der en række forskellige muligheder for styring af vejbelysning. Mange leverandører kan tilbyde løsninger, der opfylder de krav og ønsker, som er relevante for vejbelysning i Norge.

I det følgende gennemgås kort fire specifikke produkter, som dels er repræsentative for de forskellige muligheder for avancerede styringsløsninger, dels er valgt med henblik på direkte relevans for vejbelysning i Norge.



De fire produkter er CityTouch fra Phillips (Holland), Citylight fra SWARCO (Østrig), AmpLight fra Amplex (Danmark) og DATEK (Norge). Alle fire produkter er internationalt velafprøvede.

I CityTouch og AmpLight sker kommunikationen trådløst og direkte til armaturet. Datak Light Control kommunikerer både via kabel og trådløst til de enkelte armaturer. I Citylight sker kommunikationen pt. via kabel, udviklingen inden for styringsløsninger går dog så stærkt, at dette hurtigt kan ændre sig.

For alle tre produkter gælder, at web-serveren kan hostes hos leverandøren og oplysningerne tilgås af driftsholderen.

Betalingen for de enkelte produkter kan variere. Der betales typisk abonnement for software inklusive opgraderinger. Derudover kan der være betaling pr. armatur eller pr. vejbelysningsskab. Den endelige betalingsstruktur og pris vil bero på en forhandling med leverandøren.

De overordnede principper for de tre produkter er samlet i tabel 2.

Produkt	CityTouch	Citylight	AmpLight	Datek Light Control
Leverandør	Philips	SWARCO	Amplex	Datek Wireless AS
Funktionsprincip	Trådløs kommunikation til de enkelte armaturer.	Kommunikation via forsyningskabel eller trådløst til vejbelysnings-skabe.	Trådløs kommunikation til vejbelysnings-skabe.	Trådløs kommunikation til vejbelysnings-skabe eller armaturer.
Betjening	Web-baseret.	Web-baseret.	Web-baseret.	Web-baseret.
Fordele	Godt overblik og mulighed for styring af hvert armatur. God stabilitet.	Godt overblik og mulighed for styring af hvert enkelt armatur. Kan håndtere forskellige typer input. Armaturer fra forskellige leverandører kan tilkobles.	Enkelt og gennemprøvet. Styring af enkelte vejstrækninger. Godt overblik over driftsdata.	Godt overblik og mulighed for styring af hvert enkelt armatur. Kan håndtere forskellige typer input. Armaturer fra forskellige leverandører kan tilkobles. Grænsesnittene er standard.
Ulemper	Leverandørafhængigt. Abonnementer kan tvære forbundet med store omkostninger. Ikke alle armaturer kan kobles til systemet.	Leverandørafhængigt.	Leverandørafhængigt.	Leverandørafhængigt. Mindre leverandør.

Tabel 2. Overordnede principper for CityTouch, Citylight, AmpLight og Datek Light Control.

For de fleste produkter gælder det, at forudsætningerne for sammenligning hurtigt ændrer sig og nye muligheder kommer til. Samtidig ændres prisstrukturen på grund af konkurrence og individuelle

forhandlinger med leverandørerne. Købet af et styringsprodukt svarer til at købe en mobiltelefon, der skal holde i mindst 5 år og stadig følge med udviklingen i det omgivende samfund.

Produkterne er indplaceret i figur 16 (afsnit 7) for vejtyper og styreprincipper.

## 6. Særlige opmærksomhedspunkter

Til valg af styring knytter sig en række opmærksomhedspunkter.

Der er en tilnærmet sammenhæng mellem de enkelte opmærksomhedspunkter og teknologien i det styringsprodukt, der vælges, herunder især produktets teknologiske kompleksitet. I de følgende afsnit vises forskellige tilnærmede kurver for disse sammenhænge.

Det skal understreges, at det ikke er muligt at uddrage et optimum for hver enkelt graf. Det betyder, at det heller ikke er muligt at lægge de forskellige grafers optimum sammen til ét samlet optimum, som kan læses som ét sandt billede af, hvilket styringssystem, der skal vælges. Det endelige valg af styringsløsning må bero på en detaljeret analyse af den konkrete trafiksituation.

### 6.1 Levetid og leveringsgaranti

En lysstyringsløsning indeholder mere eller mindre avancerede komponenter, som også involverer software. Dette har direkte indflydelse på forhold, der vedrører levetid og leveringsgaranti.

Ved anvendelse af den simpleste form for styring, vil det samlede vejbelysningsanlæg typisk have en levetid på 30 år. I løbet af denne periode skiftes LED-enheder og enkelte elektroniske komponenter løbende, uden at anlægget betragtes som udtjent.

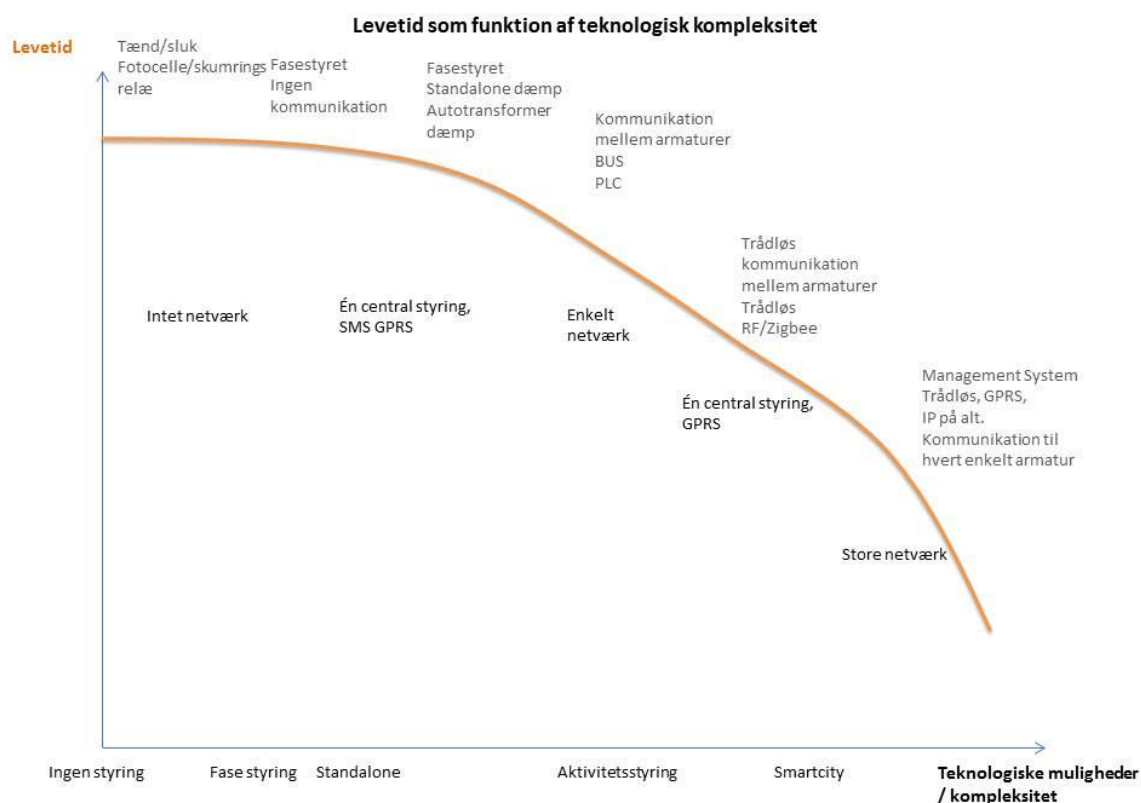
Hvis en styringsløsning involverer yderligere elektroniske komponenter, som indeholder software, reduceres levetiden og leveringsgarantien. Den reducerede leveringsgaranti skyldes en kombination af kundernes ønske om nye funktionaliteter og leverandørernes ønske om at levere nye produkter. Dette forhold er uafhængigt af, om de intelligente enheder sidder i armaturet eller i vejbelysningsskabet.

Hvis systemet endvidere udbygges med et web-baseret overvågningssystem, reduceres levetiden yderligere. I disse systemer er levetiden for det fysiske materiel (hardware) og netværk maksimum 5 år og leveringsgarantien endnu kortere. Software fra leverandøren opgraderes typisk årligt, mens selve styresystemet udskiftes hvert femte år, eller i forbindelse med udskiftning af servere.

Dertil kommer opdatering af firmware (firma-specifik software til specifikke komponenter) i armaturer, LED-drivere og Wi-Fi komponenter. Udskiftningerne skyldes typisk fejlretninger eller tilføjelse af nye faciliteter.

Jo mere avanceret et vejbelysningsanlæg er, jo kortere vil levetiden også være, ligesom leveringsgarantien for visse dele af anlægget kan være meget kort.

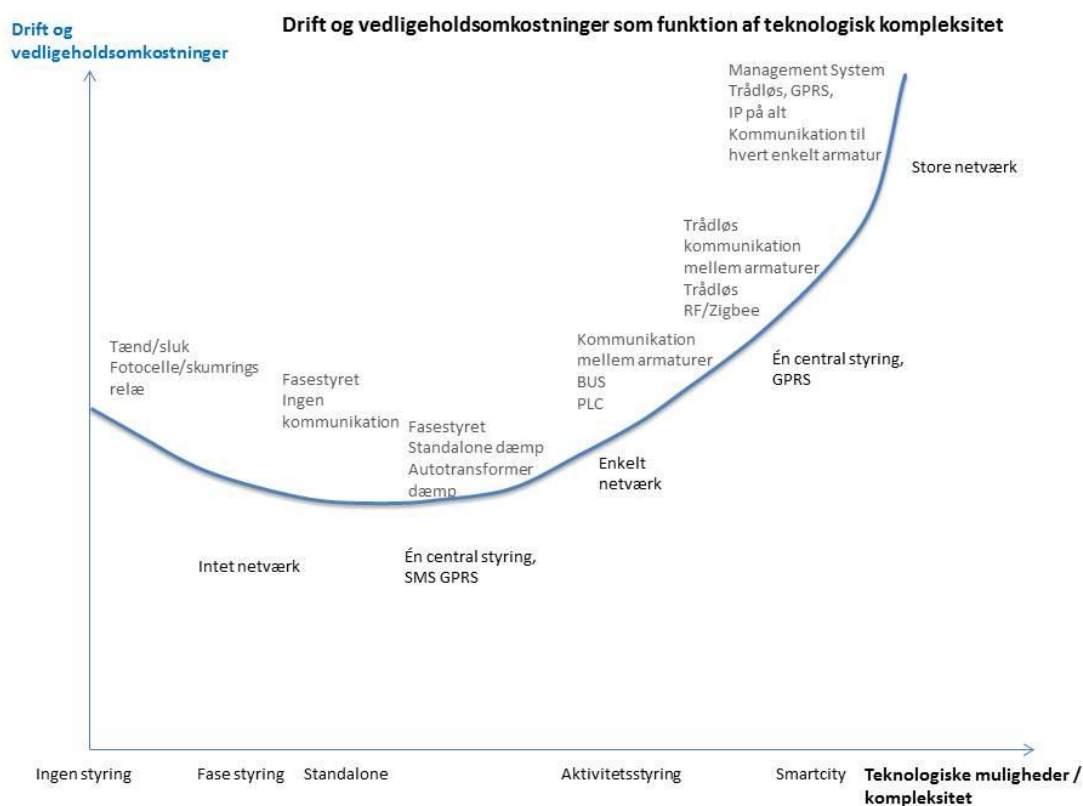
I figur 11 er vist en tilnærmet sammenhæng mellem levetid og teknologisk kompleksitet. Som det fremgår, falder levetiden af belysningsanlægget, når graden af teknologisk kompleksitet øges.



Figur 11. Kurven viser den tilnærmede sammenhæng mellem levetid og teknologisk kompleksitet.

## 6.2 Drift og vedligehold

Jo flere funktionaliteter et styringssystem indeholder, jo mere omfattende vil drift og vedligehold af belysningsanlæggene og den tilhørende managementsoftware blive. I figur 12 er vist den tilnærmede sammenhæng mellem drifts- og vedligeholdelsesomkostninger og teknologisk kompleksitet.



Figur 12. Kurven viser den tilnærmede sammenhæng mellem drift og vedligeholdelseskostninger og teknologisk kompleksitet.

I teknologisk kompleksitet indgår yderligere to funktionaliteter, geografiske informationssystemer (GIS) og identifikation af armaturerne, som omtales nærmere i det følgende.

### 6.2.1 Geografisk informationssystem

Mange af de nye centrale serversystemer til styring af vejbelysning kan kobles med et geografisk informationssystem (GIS). GIS-systemet har ofte en god visuel brugerflade, der er intuitiv og nem at tilgå, og giver samtidig mulighed for let at udtrække informationer om driftsstatus. Softwaren til styringen betegnes ofte Light Management System (belysningsstyringssystem). For at sikre, at systemet er validt, skal det opdateres løbende, hvorfor en klar ansvarsfordeling mellem leverandør og driftsholder for dette skal defineres.

### 6.2.2 Identifikation af armatur

Armaturer, der anvender LED som lyskilde, har egne identifikationsnumre. Det fungerer på samme måde som for en computer, der har en IP-adresse. Det betyder bl.a., at en belysningsprofil og et

koordinatsæt for placeringen af armaturet kan knyttes til identifikationsnummeret.

Dette giver nye muligheder, eksempelvis differentiering mellem armaturer i og før/efter et kryds og resten af vejstrækningen, men stiller samtidig yderligere krav til driftsholderen. Når et armatur skal installeres eller udskiftes er det vigtigt, at driftsholderen sikrer en fortsat overensstemmelse mellem identifikationsnummeret og de øvrige parametre, der kan knyttes til identifikationsnummeret. Dette skal sikre, at belysningsniveauet fra det enkelte armatur er tilpasset den vejstrækning med tilhørende optik og mastefastande, hvor armaturet er installeret.

### 6.3 Forenelighed (kompabilitet)

Forenelighed betyder i denne sammenhæng, at de forskellige systemer og teknologier kan fungere sammen. Det er afgørende for graden af forenelighed at styringssystemerne kan kommunikere med eksisterende og fremtidig software og hardware uden store ændringer. Derfor skal systemerne ikke være lukkede og bør kunne kommunikere med hinanden via gængse og anerkendte metoder.

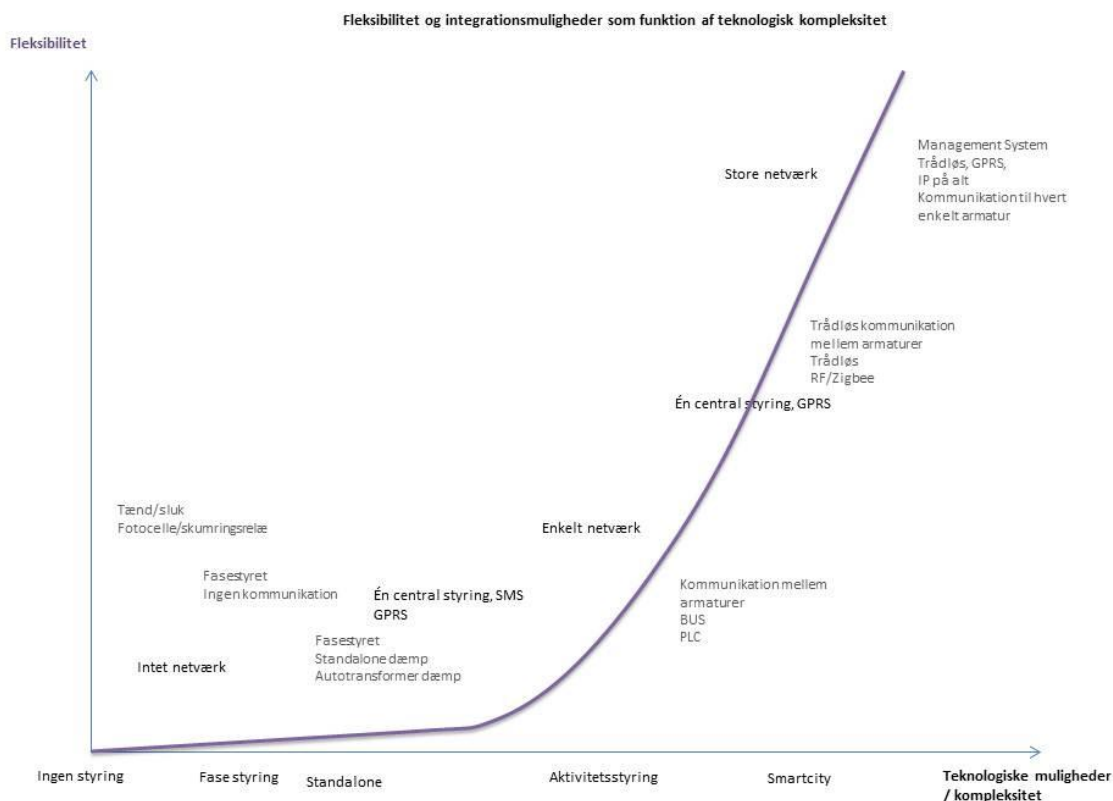
De simple styringskomponenter, der er placeret i og omkring veje, skal kunne integreres og sende informationer til styresystemet uden at det giver anledning til problemer. Også armaturer fra andre leverandører end styresystemets bør kunne integreres i styringssystemet.

Hvis komponenterne giver mulighed for at afgive diagnosedata, fx om der er fejl på armaturet, antal brandtimer og gennemsnitlig dæmpning, bør styresystemet også have mulighed for at aflæse disse.

Øvrige fokuspunkter:

- Hvordan overføres data til vedligeholdelsessystemet og centrale vejovervågningssystemer?
- Kan styresystemet fungere på forskellige platforme?
- Kan teknikere bruge Apple- eller Android-enhed eller andet mobilt styresystem i felten via en App og er det realistisk via telefon modem at arbejde på systemet?

I figur 13 er vist den tilnærmede sammenhæng mellem systemfleksibilitet som systemet kan levere og den teknologiske kompleksitet.



Figur 13. Kurven viser den tilnærmede sammenhæng mellem systemfleksibilitet som systemet kan levere og den teknologiske kompleksitet.

## 6.4 Brugervenlighed

Med henblik på at imødekomme flest mulige ønsker fra starten, bør repræsentanter for alle relevante grupper hos driftsholder inddrages i valget af styringssystem. Dette sikrer forankringen og accepten af systemet i organisationen. Derudover sikrer det, at eventuelle ønsker om ændringer af betjeningen og brugerfladens visuelle udtryk, er nemmere at imødekomme, da de er indeholdt i kravspecifikationen fra starten.

Jo mere avancerede systemerne bliver, jo flere forskellige brugere vil systemet have. Blandt disse er personale, som overvåger vejbelysningssystemerne og vedligeholdelsespersonale, som fejlfinder og tester systemet. Andre brugere er f.eks. trafikanter, som oplever ændringer i vejbelysningssystemerne og via App's eller lignende fejlmelder disse ændringer.

### 6.4.1 Inddragelse af trafikanter

Vedligeholdelsen af et vejbelysningsanlæg kan i nogle tilfælde gøres nemmere ved at involvere trafikanterne, dvs. bilister, cyklende gående mv. Via mobiltelefon eller driftsholders hjemmeside kan trafikanterne melde, når der er fejl på anlægget. Dette kan imidlertid både have fordele og ulemper. Fordelen er, at information om fejl kommer hurtigt efter at fejlen er opstået og at den vedligeholdelsesansvarlige kun behøver at køre ud, når det er nødvendigt. Ulempen er, at trafikanterne forventer, at fejlen bliver rettet hurtigt og at vejbelysningen altid virker som forventet. Hvis en fejl ikke lader sig rette hurtigt, vil fejlmeldingerne desuden fortsætte. Hvis man vælger at involvere trafikanterne, skal man derfor være parat til at kunne melde tilbage til dem.

## 6.5 Software

Avancerede styringsløsninger indeholder software i armaturer, vejbelysningssskabe eller centrale serversystemer. Denne software skal opdateres løbende henover de forskellige systemers levetid, hvilket kan være mere eller mindre omfattende. Udskiftning af software eller firmware, som er installeret i selve armaturet, kan være omkostnings- og tidskrævende, mens den software, der er installeret i vejbelysningssskabe typisk er mere håndterbar. Serversystemer skal sikkerhedsopdateres med jævne mellemrum, ligesom software og styresystemer som regel kræver en årlig opgradering.

Software til management-systemer, som opgraderes årligt, er afhængig af, at leverandøren har frigivet software til den nye version af styresystemet. Ved opgradering af management software skal det sikres, at egne lokale tilføjelser eller tilknyttede applikationer overføres til den opgraderede version.

Belysningsstyringssystemerne er i mange tilfælde udviklet og leveret af armaturleverandørerne, som desuden tilbyder mulighed for at softwaren er baseret på en web-plattform som enten kan hostes eller installeres lokalt. Det betyder, at al information i praksis administreres af leverandøren, mens driftsholderen har råderet over informationen og styringen. Dette kan være problematisk, hvis armaturer af andre fabrikater er koblet til systemet, fx fordi styringsleverandøren så får information om konkurrenternes produkter.

Der er i mange tilfælde et abonnement forbundet med adgangen til belysningsstyringssystemet. I enkelte tilfælde kan softwaren til belysningsstyringssystemet købes som en engangsinvestering.

Der er fordele og ulemper ved begge løsninger.

Fordelen ved abonnementet er, at opdateringer og drift af systemet påhviler leverandøren. Er der nedbrud på systemet, er det leveran-

dørens ansvar at få systemet til at fungere igen. Ulempen er, at man ofte binder sig til en enkel leverandør for en lang årrække, hvilket ofte har betydning for, hvilke armaturer der investeres i, da armaturer fra leverandøren ofte anses for at fungere bedst med armaturproducentens eget belysningsstyringsystem.

Fordelen ved at købe belysningsstyringsystemet som en engangsinvestering er, at der er fuld kontrol over al information vedr. vejbelysningen. Ulempen er, at man selv skal holde systemet opdateret og at opdateringer typisk skal tilkøbes. I tilfælde af nedbrud står driftsholder desuden selv for at få systemet til at blive operationelt igen.

For flere lysstyringsystemer gælder, at hvis internettet eller telefonnettet på den ene eller anden måde er utilgængeligt, kan systemet ikke tilgås af driftsholder. Til systemet knytter sig derfor en hvis afhængighed af en stabil internetforbindelse.

## 6.6 Kommunikationsomkostninger

Omkostninger til kommunikation omfatter dels energiomkostninger til transport af kommunikationssignaler, dels omkostninger til abonnement og licens hos tredje-part-leverandør af signaltransport. Signaltransport omfatter i denne sammenhæng følgende typer:

- Via ledning
- Via Wi-Fi eller lokalt trådløst netværk
- Via GSM mobil-net

Kommunikation via forsyningsledning eller separat kommunikationskabel har et lavt energiforbrug og medfører typisk ingen eller lave kommunikationsomkostninger.

Ved trådløs kommunikation mellem armatur, vejbelysningsskabe og centralt kontrolrum stiger energiomkostningerne. Trådløs kommunikation bruger typisk 2 til 20 watt pr. adgangspunkt med 6 watt som gennemsnitsværdi for en trådløs router. For 24 timers drift af en trådløs router, og en pris på 1 kr. pr. kWh, vil udgiften være 55 kr./år pr. adgangspunkt. Hvis vejbelysningen udstyres med trådløse routere i større skala, vil energiforbruget til kommunikation stige.

Aktivitetstyret belysning kræver, at lyset kan reagere tilstrækkelig hurtigt på de aktiviteter, der skal styre lyset. Der er dog grænser for, hvor meget det kan betale sig at nedsætte kommunikationshastigheden. Armaturer til aktivitetstyret belysning indeholder elektronik, der kan være aktivt hele døgnet, med mindre forsyningen afbrydes helt. Selvom lyset styres efter aktiviteter og kun er tændt, når der er behov for det, vil anlægget derfor alligevel bruge energi døgnet rundt.

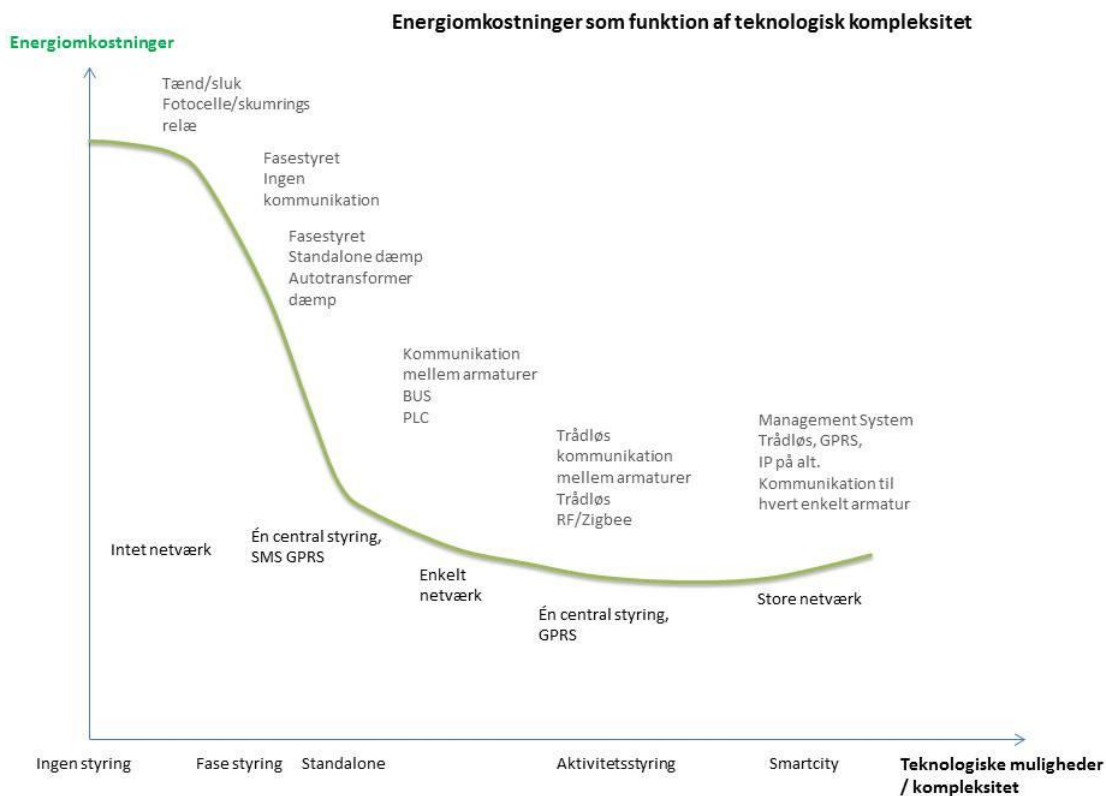


GSM-moduler i vejbelysningen har et lavt energiforbrug, forudsat at transmissionshastigheden er lav. Man skal dog være opmærksom på, at også abonnement til et teleselskab skal indregnes i driftsomkostningerne.

For alle kommunikationsformer nedsættes energiforbruget ved lave kommunikationshastigheder og korte afstande mellem modtager og sendepunkter. (Kilde: Energy Consumption Analysis for Bluetooth, Wi-Fi and Cellular Networks by Rahul Balani, Electrical Engineering, University of California at Los Angeles, <http://nesl.ee.ucla.edu/fw-documents-reports-2007-PowerAnalysis.pdf>)

I figur 14 er vist den tilnærmede sammenhæng mellem udgifter til energi og etablering og systemets teknologiske kompleksitet.

Som det fremgår af figuren, vil energiforbruget aftage, når systemets kompleksitet øges. Dette gælder imidlertid kun til en vis grænse. Herefter gælder, at jo mere avanceret kommunikation, der inkluderes i vejbelysningen, jo større vil effektforbrug og abonnementsomkostninger til kommunikation blive. Hvor store omkostningerne bliver, afhænger af den specifikke løsning.



Figur 14. Kurven viser den tilnærmede sammenhæng mellem udgifter til energi og etablering og systemets teknologiske kompleksitet.

## 6.7 Etableringsomkostninger

Ved stigende teknisk kompleksitet stiger omkostningerne til etablering. Infrastrukturen bliver mere kompliceret og omfatter flere komponenter, software og licenser. Selve idriftsættelsen af et kompliceret anlæg vil medføre øgede udgifter.

I figur 15 er vist den tilnærmede sammenhæng mellem etableringsomkostninger og teknisk kompleksitet.



Figur 15. Kurven viser den tilnærmede sammenhæng mellem etableringsomkostninger og teknisk kompleksitet.

## 7. Anbefalinger

Den teknologiske udvikling sker hurtigt. I modsætning til tidligere, svarer udviklingshastigheden af de mest teknologitunge systemer stort set til udviklingen inden for computere og mobiltelefoner.

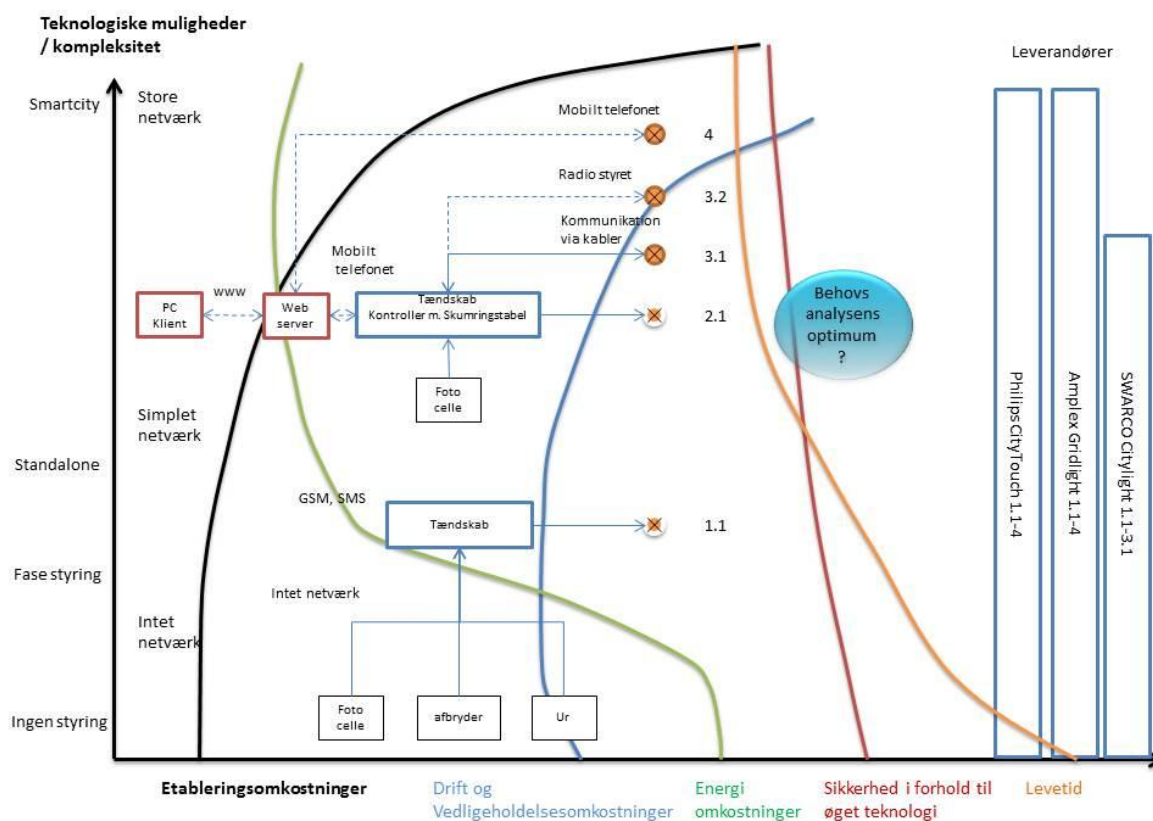
Kompleksiteten i valg af styringssystem bevirker, at der ikke kan gives entydige konsistente anbefalinger af bestemte produkter. Derimod anbefales det at bruge dette bilag som en rettesnor for den proces, der ligger forud for valg af et styringssystem.

Det anbefales, at der ved valg af styringssystem, tages udgangspunkt i specifikke vejtyper eller strækninger. De specifikke vejty-

per eller strækninger og deres trafikintensitet medfører i sig selv en række krav, ønsker og behov. Afhængig af det styringsprincip, der vælges, vil der være en række opmærksomhedspunkter, der bør undersøges nærmere. Vælges eksempelvis en radiostyret løsning frem for en stand-alone løsning, bør man undersøge, om de forventninger, man har til den samlede energibesparelse henover hele anlæggets levetid modsvarer de samlede udgifter, dvs. både anlægsinvesteringer og udgifter til drift, vedligehold, energiforbrug og styring.

Anlægsinvesteringen bør altid vurderes i forhold til driftsøkonomien. Investering i ny teknologi er ofte mere bekostelig end investering i konventionel teknologi. Derfor er det vigtigt at se på de samlede omkostninger gennem hele anlæggets levetid. Dette gælder særligt ved udskiftning på større strækninger, hvor en såkaldt TCO-beregning (Total Cost of Ownership) anvendes til at sammenligne de totalomkostninger over anlæggets levetid, der er forbundet med forskellige løsningsmuligheder.

I figur 16 er kurverne for de vigtigste de gennemgåede opmærksomhedspunkter samlet i én figur.



Figur 16. Figuren indeholder alle kurverne for de gennemgåede opmærksomhedspunkter i ét billede.

Bilaget har behandlet forudsætninger for valg af styringsprincipper, herunder er nævnt konkrete produkter, der kan være relevante i forhold til styring vejbelysning i Norge.

Som det fremgår af figur 16, er det samlede billede kompliceret. Hvis man skal bestemme et optimum for en specifik gade, vej- eller tunneltype, kræver det derfor, at der træffes beslutning om, hvilke opmærksomhedsområder, der har højest prioritet.

Inden man beslutter, hvilket styringsprincip der skal benyttes på en specifik vejstrækning, er det helt central, at man fortager en grundig behovsanalyse. I den sammenhæng bør man forholde sig til, hvilke krav, ønsker og behov der er de primære for den pågældende strækning. I den forbindelse kan man for eksempel tage udgangspunkt i de opmærksomhedspunkter, som er nævnt tidligere i dette bilag.

Først derefter kan man lægge sig fast på et styringsprincip og undersøge markedet for, hvilke produkter der er til rådighed, og eventuelt hvilke der er på vej. Produkterne sammenholdes herefter med de krav og ønsker man har til systemet.

## 8. Litteraturliste

Håndbok N100 Veg- og gateutforming, 2014.

”Energisparepotensiale ved bruk av intelligente veilyssystemer”, masteropgaven af Einar Jochum Rånes Tømmelstad ved NTNU, 2008.

“Energy Consumption Analysis for Bluetooth, Wi-Fi and Cellular Networks” af Rahul Balani, Electrical Engineering, University of California at Los Angeles, 2007.

”Sammenligning av styringsstrategier, og funksjonalitet med AMS i veglysanlegg” af Ståle Lio, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Institutt for elkraftteknikk, 2012.