

Valg av styrestrategier for veilysanlegg

Skjold Hogne Haugstad

Master i energi og miljø
Oppgaven levert: Juni 2011
Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen, ELKRAFT

Oppgavetekst

Lys er et viktig sikkerhetstiltak for trafikken på veier og gater. Samtidig er imidlertid belysning kostbart, både for investering, vedlikehold og energibruk. Det er flere forhold som påvirker lysbehovet, og behovet kan variere både over døgn og år, og med ulike vær- og føreforhold.

Det finnes data fra tidligere forsøk med luminans som styreparameter fra testanlegget i Høgskoleringen, men siden datamengden er begrenset, ønskes det å utvide med flere forsøk over tid.

Fremtidens belysnings installasjoner, hvis man ikke ser alt for langt inn i fremtiden, er de samme som finnes i dag. Hvor mye man kan spare i forhold til dagens forbruk bare ved å bytte styrestrategi og ikke hele installasjonene er derfor en interessant problemstilling som bør undersøkes nærmere i f.eks. en case studie.

Kandidaten skal:

- Gjennomføre forsøk med styring basert på luminansmeter i testanlegget i Høgskoleringen, for å finne spare potensialet i forhold til dimming.
- Undersøke det nåværende styresystemet og belysningssituasjonen i Trondheim kommune, ved målinger med luminaskamera og innhenting av styredata.
- Gjennomføre analyser av nåverende system sammenlignet med alternativer med og uten dimming med tanke på sparepotensiale.

Oppgaven gitt: 17. januar 2011

Hovedveileder: Eilif Hugo Hansen

Forord

Denne rapporten omhandler masteroppgaven “Valg av styrestrategier for veilysanlegg” og er en fortsettelse på fordypningsprosjektet mitt fra høsten 2010. Problemstillingen gikk ut på å finne sparepotensialet for alternative styringsmodeller for med fokus på Trondheim kommunes veilysanlegg. Det ble i den forbindelse både utført målinger av dagens situasjon og innhenting av relevant referansedata. Det var også meningen at det skulle gjennomføres forsøk i på forsøksstrekningen i Høgskoleringen, for å finne potensialet med tanke på dimming.

I løpet av arbeidet oppstod det problemer særlig med tanke på forsøksstrekningen i Høgskoleringen, innlegging av de egen programerte enhetene for luminansdatainnsamling og styring i dataprogrammet Unilon, fungerte nemlig aldri etter ønske. I ettertid er det klart at Unilon da på et tidlig stadium burde vært kassert til fordel for et annet program. I korthet fungerte aldri anlegget etter formålet noe som har resultert i vesentlig høyere usikkerhet i forhold til sparepotensialet ved dimming.

Rapporten er utarbeidet vårsemesteret 2011 ved Institutt for elkraftteknikk, Norges teknisknaturvitenskaplige universitet. Veileder: Eilif Hugo Hansen. Fagkode: TET 4900

Jeg vil gjerne få takke følgende personer:

Førsteamanuensis og veileder Eilif Hugo Hansen, for veiledning, undervisning og andre innspill.

Medstudent Jørgen Anker-Rasch Heide, for diverse hjelp og innspill.

Prosjektingeniør Tor-Eirik Brun, Trønderenergi, for data om Trondheims gatelys og styring.

Verkstedet, for diverse hjelp i forbindelse med målinger.

Ingeniør Rolf Magne Brødreskift, Trondheim kommune, for fremskaffing av snøbrøytingsdata.

Doktorgradsstipendiat Pål Johannes Larsen, for fremskaffing av data, Jevnhetsutregningsprosedyre og diverse innspill.

Jeg vil også takke alle andre som har bidratt, både til denne masteroppgaven, men også resten av masterstudiet mitt

Trondheim, 21. juni 2011

Skjold Hogne Haugstad

Sammendrag

Denne masteroppgaven har som formål å finne sparepotensialet for styrestrategier for veilysanlegg, som samtidig oppfyller kravene i veinormalen. Analysen går i hovedsak ut på en case studie av det nåværende veilysanlegget til Trondheim kommune med tilhørende målinger og innsamling av data for beregninger. Det er gjort målinger av både den nåværende situasjonen og av behovet.

For den nåværende situasjonen er det foretatt målinger med luminanskamera ved syv forskjellige lokasjoner under tre distinkte føreforhold; snødekke, våt veibane og tørr veibane. De syv lokasjonene er Festningsgata, Wedels gate, Tyholtveien, Klæbuveien, Elgeseter gate, Udbyes gate og Osloveien.

For å finne behovet er det foretatt referansemålinger med lyset slukket ved en av de syv, Klæbuveien. Målingene ble sammen med logget forbruk og annen innhentet (data, snø, regn, og astronomiske forhold) brukt til å komme frem til optimalt tenntidspunkt for gitt belyningsklasse.

I forhold til dagens styring vil optimalisering av tenntidspunktene kunne spare 4,5% for belyningsklasse WEM4, som benyttes for veier uten midtrekkverk med årsdøgntrafikk under 1500 biler, og 3 % for belyningsklasse MEW3, som benyttes for alle veityper med årsdøgntrafikk fra 1500-4000.

Det største sparepotensialet ligger i dimming, pga problemer med integreringen inn i eksisterende programvare i forsøksanlegget i Høgskoleringen har tallene noe større usikkerhet en ønsket, men totalt sett ble det funnet et sparepotensiale for belyingsanlegget installert i Elgeseter gate på 43% i forhold til dages forbruk.

Disse beregningene har noen forutsetninger knyttet til seg, at effektforbruket ved neddimming tilsvarer anlegget installert i Høgskoleringen og at man velger å redusere belyningsklassen, slik veinormalen åpner for pga lav trafikkmengde i tidsrommet fra 00:00 til 05:30 på hverdager og 03:30 til 07:00 i helgene er her hoverforutsetningene.

Årsakene til at sparepotensialet ved dimming er såpass stort ligger både i det å reduserte belyningsklassen, men også snømengden vinterstid i Trondheim. Ved snødekke på veien kan man nemlig, uten at det går ut over belyingskvaliteten, redusere lysutbyttet fra armaturene til 20%.

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
2	Belysningsbehov for vei- og gater	2
2.1	Historisk utvikling	2
2.2	Dagens belysningskrav	3
2.2.1	Inndeling av veiklasser og krav om belysning	3
2.2.2	Valg av belysningklasse	4
2.2.3	Kravene til hver av belysningsklassene	5
3	Styrekonsepter	5
3.1	Av/på styring	5
3.2	Styring med dimming	6
3.3	Valg av datakilde for styringen	6
3.3.1	Fotocelle	6
3.3.2	Astronomisk ur	7
3.3.3	Luminansmeter.....	7
3.3.4	Kombinasjon av flere datakilder.....	7
4	Testanlegget i Høgskoleringen	9
4.1	Unilon	9
5	Målemetode luminanskamera	11
5.1	Måleoppsett	11
6	Analysemetoder, luminanskamera	12
6.1	Jevnhetsanalyse.....	12
7	Måleresulater forskjellige føreforhold	13
7.1	Festningsgata.....	13
7.2	Wedels gate.....	17
7.3	Tyholtveien	21
7.4	Klæbuveien.....	25
7.5	Elgeseter gate.....	29
7.6	Udbyes gate.....	33
7.7	Osloveien	37
7.8	Sammenligning mellom de forskjellige føreforholdene	41
8	Målinger i Klæbuveien, med lyset slukket.....	43
8.1	Observert sparepotensiale fra målingen uten lys	44

9	Nåværende styring for Trondheim kommune	45
9.1	Nåværende forbruk	46
10	Beregning av sparepotensiale for Trondheim kommune.....	47
10.1	Beregnet nødvendig tenntidspunkt for de forskjellige belysningsklassene.....	47
10.2	Sparepotensiale ved dimming.....	49
11	Diskusjon	51
12	Konklusjon	53
	Biografi	54
	Vedleggsliste.....	55

1 Innledning

Vei- og gatebelysnings hovedformål er å øke trafikkikkerheten, både for motorkjøretøy og myke trafikanter. Det bidrar også til den generelle trygghetsfølelsen for beboerne i området rundt anlegget.

For å oppnå sikkert trafikkavvikling stilles det en rekke krav til belysningsanleggenes dets egenskaper, belysningen skal være jevn og sterk nok (høy nok liminans) uten at den blander og gi god visuell føring for veiens videre forløp. I tillegg til disse kravene spiller økonomien også en viktig rolle, veilysanlegg har lang levetid, så drifts og vedlikeholdskostnader har stor innvirkning på helhetsbildet.

Med dagens kommuneøkonomi velger enkelte å slukke anleggene helt deler av tiden for å redusere driftskostnadenen, det har de anledning til fordi den enkelte kommune selv kan velge hvilke krav de vil sette til sitt anlegg. For statlige veier er dette derimot ikke aktuelt. Generelt er kravene til vei- og gatebelysningsanlegg spesifisert i håndbøker fra statens vegvesen, kommunene velger også i hovedsak å følge disse retningslinjene.

Dagens armaturer har klar overvekt av damplamper, mes hoveddelen av disse igjen som høytrykknatriumlamper. Høytrykknatriumlamper har lenge vært dominerende pga sin høye effektivitet. Men de gir dorlig fargegjengivelse pga gul-orange lys.

Styringsmessig, som er fokusområdet for denne rapporten, er dagnes installasjoner hovedsaklig kontaktorstyrt, med kun av/på styring, gjerne med en enkelt fotocelle som styreparameter. Det finnes også enkelte anlegg med trinnvis og enkelte med trinnløs dimming. Dimming gir mulighet for å redusere energiforbruket vesentlig fordi forholdene som er dimensjonerende for installasjonene, gjerne mørke våte høstnetter, totalt sett er en liten andel av det totale behovet.

2 Belysningsbehov for vei- og gater

Behovet for belysning av vei og gater er i dagens samfunn åpenbart, det skyldes hovedsakelig sikkerhetskrav i forbindelse med trafikkavvikling. Ulykkesrisikoen for motorkjøretøy er 1,5-2 ganger så høy i mørket som i dagslys (Statens vegvesen håndbok 264).

Belysningen bidrar også til forebygging av kriminalitet og trygghetsfølelsen til beboerne og fotgjengere i området rundt belysningen.

2.1 Historisk utvikling

Hovedkilder til underkapittel Statens veivesen håndbok 237 og Bowers B. (1998). Lengthening the day: a history of lighting.

Gate og veibelysning har ikke vært utbredt i tidligere tider. Enkelte byer i midtøsten var tidlig ute, men i Europa kom de først forsøkene med faste installasjoner først ut på 1400-tallet. Formålet den gangen var hovedsakelig kriminalitetsforebygging, men utbredelsen var minimal.

De aller første gatelysene var basert på stearinlys, deretter kom oljelamper i bruk. Og i elektrisitetens spede barndom var gasslamper ganske utbredt.

På verdensmessen i Paris i 1878 ble flere typer lysbuebaserte lamper introdusert og fikk raskt suksess som en av de tidligste elektriske utendørslampene, til tross for problematikk med blandt annet flimring, fordi karbonelementene som stod i lysbuegapet brandt opp.

Frem til ca 1930 konkurrerte gass og elektrisitet, med blant annet lysbuebaserte lamper, på noenlunde jevne vilkår, men i løpet av midten av 1900 tallet gjorde kvikksølv- og natrium-damplampene sitt inntog, og utkonkurrerte det meste annet, pga sin høye lysutbytte. I første omgang var det lavtrykslamper, men høytryksnatriumlamper fulgte etter noen år.

Høytryks natriumdamplamper, som ble kommersielt tilgjengelige på 1970-tallet, er fortsatt dominerende pga sin høye effektivitet, og gjenkjennes lett på sitt karakteristiske gule-orange lys.

De mest benyttede lampetyper i dag er høytryksnatrium-damplamper. De har lenge vært overlegne når det gjelder lysutbytte, og dermed økonomi. De har dog dårlig fargegjengivelse, siden de har gule-orange ikke hvitt lys. I sentralfeltet av synet har forsøk vist at det er enklere å oppfatte bevegelse med denne typen lys, mens det i sidesynet, som gjerne er det man oppdager hindringer som beveger seg inn på veien med er en fordel med hvitt lys. (Pål Larsen)

Metall halogen lamper benyttes også, særlig i byer og andre steder der hvitt lys er å foretrekke pga stor andel myke trafikkanter. Hvitt lys oppleves også gjerne som mer behagelig. I forhold til dimming kan det dog ha utfordringer siden metall halogen lamper har vist seg å gi forholdsvis grønt lys ved neddimming.

LED til gatebelysning er noe det forskes på. Hittil er det få installerte anlegg og de er foreløpig ikke konkurransedyktige når det gjelder pris.

I forhold til styrbarhet og belysningskrav har det også vært utvikling. For de tidligste anleggene var kravene ikke veldig klare, men utbredelsen av biltrafikk var også lav. Fram til de siste revisjonene av veinormalen var sikkerheten ensidig fokus, mens det nå også er mer fokus på energiforbruket. Belysningskravene til enkelte veityper er redusert og det er kommet inn krav om nye installasjoner skal kunne nedreguleres i tidsrom med redusert behov (alternativt LCC analyse som viser at det ikke er lønnsomt).(Håndbok 264, kapittel 3.3)

2.2 Dagens belysningskrav

Hovedkilde for underkapittel Statens vegvesen håndbok 264

Trafikksikkerheten er det som er hoved i fokus ved dagens installasjoner, hva som kreves er derfor avhengig av både utformingen av veien og dimensjonert trafikkmengde.

For statlige veier er kravene spesifisert i Statens vegvesen sine håndbøker, disse går gjerne under betegnelsen veinormalen. Selv om kommunene kan sette kravene til de kommunale veiene fritt følges disse i stor grad også her, gjerne som en integrert del av kommunens krav. Dette er tilfelle i Trondheim (Veglysnorm Trondheim kommune).

Det er flere aspekter som spiller inn i forhold til valg av belysning:

- Luminansnivå og luminansjevnhet er avgjørende for å oppdage hindringer og myke trafikanter. Faktisk luminans er avhengig av veidekke og skiftende vær og føreforhold, det er derfor gunstig å regulere med tanke på dette, men det gjøres i liten grad i dag.
- Belysning av veiens sideområder er avgjørende for å kunne oppdage hindringer som er på vei ut i veibanen.
- Kontraster er avgjørende for å oppfatte hindringer. Stor differanse mellom luminansen til hindringen og bakgrunnen er her å foretrekke, men siden bakgrunns luminansen kan variere og refleksjonsegenskapene til hindringer på ingen måte er konstant, er det en utfordring å ta hensyn til.
- Spektralfordelingen, avgjør hvor lett det er å oppfatte farger på f. Eks. Fotgjengere, hvitt lys er normalt å foretrekke for å enklest mulig kunne se enhver farge.
- Blending. Veibelysningsanlegg unngår normalt å selv være årsak til blending, men å øke luminansnivået vil redusere problemet fra andre kilder, f.eks møtende trafikk.
- Veidekke, dvs selve veiens refleksjonsegenskaper, de kan endres over tid, pga blandt annet oppskraping fra piggdekk og polering fra andre dekktyper.
- Visuell føring, belysningens bidrag til å synliggjøre veiens videre forløp, dette er spesielt viktig ved nedsatt sikt, som ved tåke eller kraftig snøfall.

2.2.1 Inndeling av veiklasser og krav om belysning

I Norge indeles veiene i 4 forskjellige dimensjoneringsklasser, hver med underklasser:

- Stamveier, S med underklasser fra 1-9

- Andre hovedveier, H med underklasser fra 1-2
- Samleveier, Sa med underklasser fra 1-3
- Adkomstveier, A med underklasser fra 1-3

Hvorvidt det er krav/anbefaling om å installere belysning i normen eller ikke avhenger av dimensjoneringsklasse, års døgn trafikk (ÅDT) i dimensjoneringsåret, som oftest 20 år frem i tid ved bygging, fartsgrense, vegbredde og antall felt, se Tabell 2.1.

Dimensjonerings-klasse	ÅDT (kjt/døgn)	Fartsgrense (km/h)	Vegbredde (m)	Antal l felt	Krav om vegbelysning
S1	0-12000	60	7.5/8.5	2	Bør belyses dersom ÅDT > 1500
S2	0-4000	80	8.5	2	Ikke krav om belysning
S3	0-4000	90	8.5	2	Ikke krav om belysning
S4	4000-8000	80	10	2	Ikke krav om belysning
S5	0-12000	90	12.5	2/3	Bør belyses
S6	>12000	60	16	4	Bør belyses
S7	>12000	80	19	4	Bør belyses dersom ÅDT > 20000
S8	12000-20000	100	19	4	Skal belyses
S9	>20000	100	22	4	Skal belyses
H1	0-1500	80	6.5	2	Ikke krav om belysning
H2	1500-4000	50	7.5	2	Ikke krav om belysning
Sa1	<1500	50	6	2	Bør belyses
Sa2	>1500	50	6	2	Bør belyses
Sa3	>1500	80	6.5	2	Ikke krav om belysning
A1		30	3.5-5	1-2	Bør belyses
A2		50	7	2	Ikke krav om belysning
A3		50	4	1	Ikke krav om belysning

Tabell 2.1: Oversikt over når det er krav om belysning i følge veinormalen Kilde: (Statens vegvesen håndbok 264)

2.2.2 Valg av belysningklasse

For valg av belysningsklasse skiller det for lave trafikkmengder mellom veger og gater, i begge tilfelle er det trafikkmengde, ÅDT, som er hovedfaktoren som spiller inn, for veger er det i tillegg gjort skille i forhold til om det eksisterer midtrekkverk/midtdeler eller ikke se Tabell 2.2

ÅDT	<1500	1500-4000	>4000
Veger med midtrekkverk/midtdeler		MEW3	MEW3
Veger uten midtrekkverk/midtdeler	MEW4	MEW3	MEW2
Gater	MEW3	MEW3	MEW2

Tabell 2.2: Oversikt over belysningsklasse i forhold til vegtype og trafikkmengde Kilde: (Statens vegvesen håndbok 264)

For spesielt utsatte områder, grunnet f.eks. kompliserte kryss eller andre vanskelige trafikforhold bør belysningsklassen økes med ett nivå.

For komplekse kryss og gater med fartsgrense 30 km/t brukes CE-serien i stedet for MEW kalsser, dette går i korthet ut på at kravet her stilles som illuminans verdier i stedet for luminansverdier. Siden veinormalen inkluderer en omregningstabell benyttes det i denne rapporten videre bare luminansverdier, den laveste CE kalsser er CE5 som tilsvarer MEW5, med henholdsvis 7,5 lux og 0,5 cd/m²

2.2.3 Kravene til hver av belysningsklassene

Ved nye installasjoner må det tas hensyn til at lysutbyttet reduseres i løpet av levetiden med ca 20 %, som tilsvarer en vedlikeholdsfaktor på 0,8. Nye anlegg er dermed i utgangspunktet 20 % overdimensjonert, noe som åpner for ekstra sparing ved bruk av dimbare lamper.

Klasse	Luminans fra kjørebans vegdekke				Synsnedsettende blending	Belysning av omgivelsene
	Tørr tilstand			Våt tilstand		
	L_{mi} cd/m ² (minimum opprettholdt nivå)	U_o (minimum)	U_1 (minimum)	U_{ov} (minimum)	TI i % (maksimum)	SR (minimum)
MEW1	2,0	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW2	1,5	0,4	0,6	0,15	10	0,5
MEW3	1,0	0,4	0,6	0,15	15	0,5
MEW4	0,75	0,4		0,15	15	0,5
MEW5	0,5	0,35		0,15	15	0,5

Tabell 2.3: Belysningsnivå, jevnhets og blendingskrav for MEW klasse 1-5

Belysningsklassene har spesifiserte krav til belysningsnivå i, gitt som gjennomsnittlige luminansverdier, se Tabell 2.3, luminanskravene ligger i området 0,5 til 2 cd/m².

Normene åpner også for at man kan redusere belysningskravene helt ned til MEW 4 for veier uten midtrekkverk og MEW5 for veier med midtrekkverk og gater med fartsgrense 30km/t ved redusert trafikk, f.eks. nattestid, men spesifiserer ikke hvordan et redusert behov skal måles, dermed kan både trafikkellingsdata men også timerbasert dimming benyttes.

Det kreves også at hvis man velger å ikke installere et regulerbart anlegg, med dimming, skal dette begrunnes ut fra en LCC-analyse.

Det åpnes også for at luminansnivået kan reduseres med 10 % ved benyttning av hvitt lys, forsøk har nemlig vist at oppfattelsen av bevegelse i sidesynet er enklere med hvit lys. Mange oppfatter også hvit lys som penere, og det benyttes derfor gjerne i bykjerner til tross for at metallhalogenlampene har noe lavere lysutbytte.

3 Styrekonsepter

Hoveddelen av veilysanleggene i Norge er av eldre type, selv om de aller eldste ble byttet i forbindelse med forbud mot bruken av PCB. Styresystemene er også ofte av eldre årgang og gjerne basert på signal fra en enkelt fotocelle for styring av et stort område. Det er derfor potensiale for at det kan være en god del å spare på å bytte styresystem i mange av anleggene.

3.1 Av/på styring

Hovedkonseptet som benyttes er innkobling ved hjelp av kontaktorer i styreskap, her er det kun mulig å skru anlegget av og på. Variasjonen ligger her i hva man velger å legge til grund som behov for å tenne anlegget. Det finnes også noen forskjellige muligheter innen å kommunisere med innkoblingsenheten: powerline, tråddpar og GSM nettet er alle i bruk til en hvis grad, gjerne kombinert.

3.2 Styring med dimming

Enkelte nye anlegg, inkludert testanlegget i Høgskoleringen, har individuell styring med dimming ved bruk av OLCer (Outdoor Luminair Controller) installert i hver enkelt lysmast, noe som åpner for muligheten til å få tilbakemeldinger direkte fra den enkelte mast ved feil. Selve dimmingen skjer her ved hjelp av elektronsik forkobling som kommuniserer med OLCen, normalt ved 1-10 V spenningsstyring, enkelte produsenter har i stedet sine egne kommunikasjonsprotokoller, i fremtiden er det indikasjoner på at Dali protokollen også vil komme inn her.

Det er også mulig å oppnå dimming for lamper med magnetisk forkobling ved å redusere spenningen etter tenning, dette er i liten grad benyttet i dag, men kan være en billigere måte å oppnå dimming, siden det kun vil kreve nytt utstyr og installasjon i styreskapet, ikke hver enkel mast. De magnetiske forkoblingene er gjerne også mer robuste enn de elektroniske, men har noe høyere tap.

Begge konseptene for dimming har dermed både fordeler og ulemper. For nye installasjoner vil sannsynligvis OLC baserte systemer bli dominerende, blant annet fordi disse åpner for direkte tilbakemelding om vedlikeholdsbehov, selv om den økte mengden komponenter og elektronikk også øker det samme behovet.

3.3 Valg av datakilde for styringen

I forhold til de kontaktorstyrte anleggene varierer det hvilket konsept som er valgt for å bestemme når anlegget skal tenne og slukke. De enkleste anleggene benytter, som i Trondheim kommune, en enkelt fotocelle som styrer alle vei- og gatelysene.

Bruk av flere sensorer vil kunne redusere antall brenntimer og dermed forbruket, siden vær og føreforholdene vil variere over for eksempel en kommune. Men sensorene i seg selv er normalt en utsatt komponent. Å ha mange sensorer har derfor også utfordringer knyttet til seg. Her er særlig bruk av luminansmeter noe som kan tas med i fremtiden, men de som finnes på markedet i dag er forholdsvis dyre, størelsesorden 20 000 NOK. De brukes derfor stort sett kun i forbindelse med tunellbelysning der behovet for myke overganger til det naturlige lyset utenfor gjør det nødvendig. I fremtiden kan muligens bruk av kamerateknologi i stedet for spesiallaget instrumentering redusere denne prisen.

3.3.1 Fotocelle

Bruk av fotocelle for styring er ganske vanlig, men har sine begrensninger, belysningsbehovet blir nemlig målt generelt for området der fotocellen er montert, ikke direkte på veien. Fotocellens kalibrering får også stor innvirkning,

Veglysnormen anbefaler at fotoceller temmer ved 20-30 lux og slukker ved ca 20 lux, dette stemmer ikke overens med de billigste fotocellene på markedet, de slukker nemlig lyset ved ca dobbel luxverdi i forhold til tenning.

3.3.2 Astronomisk ur

Solens bevegelser på himmelen, inkludert når den står opp og går ned, er fult å regne ut ved hjelp av formler. Formlene er utviklet med basis i observasjonstabeller som tidligere ble benyttet til formålet. Astronomiske ur benytter seg av formlene som ved hjelp av posisjon og dato regner ut tidspunkt for soloppgang og solnedgang. De kan også benyttes til å regne ut tidspunktene for start og slutt på demring skumring og tussmørke både morgen og kveld, ved å ta med ønsket antall grader senter av solen er under horisonten.

I forhold til skumring kan det være aktuelt å benytte definisjonen for alminnelig tussmørke, som er at solens senter befinner seg 6 grader under horisonten. Under gode værforhold gir alminnelig tussmørke tilstrekkelig lys til de fleste gjøremål utendørs, inkludert trafikkavvikling.

I overgangen mellom solned- og -oppgang og tussmørket er det værforholdene som har størst innvirkning på behovet for kunstig lys, I teorien kan man hvis man har tilgang på værdata og tilstrekkelig referansemålinger, komme frem til antall grader solen kan passere horisonten under de gjeldende værforholdene før det er behov for å tenne belyningsanleggene.

En annen begrensning ved de astronomiske formlene er at de ikke tar hensyn til eventuelle hindringer på horisonten som fjell og bebyggelse. Dype daler vil dermed reelt sett ha et annet dagslysnivå enn formlene tilsier.

3.3.3 Luminansmeter

Siden veinormalen spesifiserer belyningskravet som luminansverdier målt på veien ville det selvsagt være ideelt å til enhver tid ha måledata av denne tilgjengelig som parameter for styringen.

Hovedbegrensningen som gjør at dette ikke er brukt i stor skala er prisen på dagens kommersielt tilgjengelige luminansmeters, som gjerne ligger på ca 20'000 kr. Dette er årsaken til at NTNU i samarbeid med Sintef har utarbeidet et enklere og billigere luminansmeter som foreløpig brukes innen forskning på veilystyring.

Foreløpig viser forsøkene med luminansmeteret utviklet av NTNU og Sintef blant annet at det ikke er nødvendig å tenne belysningen for å opprettholde veinormalens luminanskrav i forsøksanlegget i Høgskoleringen når det er snø på veien. Dette skyldes dog delvis den store mengden parklys og lys fra bygninger i området rundt forsøksstrekningen. Slukking ville hindret anlegget i å gi visuell føring og redusere blendingen fra andre lyskilder, det velges derfor å ha anlegget tent, men dimmet til et minimum ved snø.

3.3.4 Kombinasjon av flere datakilder

Bruk av luminansmeter gjør at man enkelt kan dimme belysningen ned til minstekravene i veinormalen, men har begrensninger hvis man måtte ønske å styre anlegget med andre parametere i tillegg. Å kombinere kombinere astronomisk ur og luminansmeter gir derimot både stor fleksibilitet til å og enkel dimming ned til kravet samtidig som det åpner for å f.eks. velge at belysningen skal stå på minimum 20 % etter tussmørke, selv ved snøforhold og annen belysning som treffer målefeltet til luminansmeteret. Dette for å opprettholde målet om visuel føring.

Trafikktellingsdata kan også benyttes hvis man ønsker å redusere belyningskravet slik veinormalen åpner for, men siden det ikke er et krav (i veinormalen) å måle det reduserte behovet kan antagelser om trafikkmengde basert på f.eks ukedag og klokkeslett benyttes.

Værdata f.eks måling av tåke kan også være relevant da visuell føring blir ekstra viktig ved nedsatt sikt, selv på dagtid da det normalt ikke er behov for å tenne belyningsanlegget. Sammen med relevante referansemålinger av luminans kan værdata bestemme hvor mange grader solen skal ha passert horisonten før det er behov for å tenne belyningsanlegget.

Bruk av flere datakilder gir også en økt sikkerhet for at anlegget tenner selv ved utfall eller feil på en av sensorene. Et luminasimeter kan f.eks få lov til å tenne og dimme anlegget ned til et gitt krav mellom solnedgang og soloppgang, mens anleggetminimum skal være tent, dimmet til 20 % mellom allminnelig tussemørke kveld og morgen. Signal fra luminasimeteret som ikke passer inn i dette styreområdet kan da registreres som feil.

4 Testanlegget i Høgskoleringen

I Høgskoleringen i bakken foran Realfagsbygget ligger det et forsøksanlegg for veily. Meningen var at denne oppgaven skulle komplementere de innsamlede dataene fra tidligere i forhold til styring med dimming og luminansmeter.

Prosjektoppgaven, som denne Masteroppgaven bygger videre på, gikk ut på å stykke opp styringen av dette anlegget til å ligge på to programmerbare enheter; en som kun tar inn måledataene fra luminansmeteret og en som står for selve styringen. I forbindelse med prosjektoppgaven ble disse testet og funnet i på utviklingsbenken i laboratoriet.

Installeringen av materiellet i Høgskoleringen ble gjennomført, og for å integrere styringen med det eksisterende oppsettet skulle de programerte enhetene, to PCUer, legges inn i dataprogramet Unilon, som er styresystemet fra Philips, som har vært benyttet på dette anlegget.

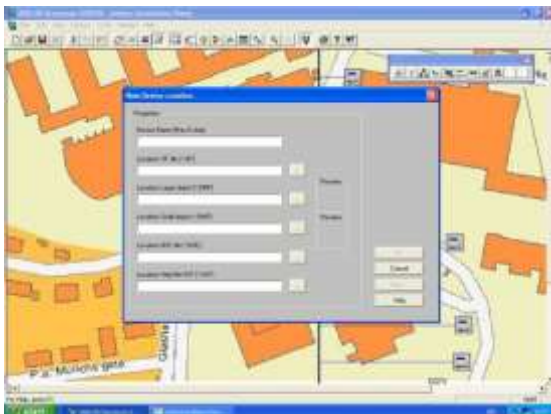
4.1 Unilon

Mye tid gikk med til å sette seg inn i Unilons funksjonalitet, som kan nevnes å være noe gammeldags og uoversiktlig. Syv forskjellige veiw modus bestemmer hva som er tilgjengelig av funksjoner. Hvordan egenprogramerte enheter kan legges inn var også utfordrende å komme frem til, men heldigvis var dette beskrevet i en tidligere masteroppgave.



Figur 4.1: Skjermbilde fra Unilons intallation view.

Error! Reference source not found. viser utsnitt av forsøksanlegget i Høgskoleringen i Unilon. Det gir et overblikk over enhetenes plassering og hvilke som er koblet på samme kommunikasjonsmedie. De fleste av enhetene er koblet via powerlinekommunikasjon, som også er viderekoblet via en ruter til datanettverk.



Figur 4.2: Skjermbilde fra Unilon; innlegging av egenprogramert enhet.

Figur 4.2 viser deler av prosedyren for å legge inn egenprogramerte enheter. Den går i korthet ut på at man benytter XIF og NXE filene, som er de samme som ligger på den fysiske enheten. I dette tilfelle ble disse lastet tilbake fra de programerte PCUene etter disse ble installert via LonBuilder.

Av årsak som fortsatt ikke er helt klar siden Unilons feilmeldinger er noe intetsigende, aksepterte Unilon kun den ene av de to enhetene, den som tok inn måledataen fra luminansmeteret.

Forsøk på innlegging av kontrollerenheten i programmet Unilon ble gjort med nøyaktig samme prosedyre, men ga flere forskjellige feilmeldinger.

Rapporter fra tidligere forsøk med Unilon, samt tips fra Pål Larsen, tilsa at å bare prøve gjentatte ganger kunne fungere. Det viste seg dog etter mange forsøk å ikke nytte, da Unilon til slutt endte opp med å gi samme feilmelding hver gang:

“CONTR imported device is not present on server PC. You cannot see device till it is loaded on server. To see the device, close this application, import device on server and restart this application.”

Etterfulgt av:

“Unable to delete this device from the database C:\UNILON\Wizdev “

Å benytte importfunksjonen krevde filtyper det ikke var tilgang på, og hadde ikke vært nødvendig for den andre enheten.

Til slutt ble det forsøkt å benytte programmet NodeBuilder i stedet for Unilon, dette også uten hell, men NodeBuilder ga noe bedre feilmeldinger som tilsa manglende kompatibilitet med filene generert via LonBuilder, som var utviklingsverktøyet som ble benyttet under prosjektoppgaven.

5 Målemetode luminanskamera

For å analysere den nåværende situasjonen for gatelys i Trondheim, ble det valgt å foreta målinger av luminansnivået med et luminanskamera ved tre forskjellige veityper på tre forskjellige steder, under forskjellige føreforhold.

Av praktiske årsaker ble de tre stedene valgt i gangavstand til hverandre, og på grunn av økende snøfall ved siste lokasjon, Byåsen, ble det valgt å avslutte målingene der etter måling på bare en vei, Osloveien, for å ikke utsette måleutstyret for unødvendig risiko.

Totalt ble det foretatt målinger under tre forskjellige føreforhold: snø, våt vei og tørr vei, på hver av de syv veiene; Festningsgata, Wedels gate, Tyholtveien, Klæbuveien, Udbyes gate, Osloveien og Elgeseter gate.

Av praktiske årsaker ble det valgt å kun foreta målinger i ett felt. Siden hovedmålet var sammenligning av forskjellige føreforhold antas dette å ha liten innvirkning.

Alle målingene ble foretatt med NTNUs Luminanskamera, et Canon EOS 350D (N03-0059).

Bildene ble behandlet i LMK2000, for å finne luminansnivåene, og jevnheten i henhold til NS-EN 31201-3. For å redusere måleusikkerheten ble tre bilder tatt fra samme plassering, med forskjellig lukkertid.

En utfordring i forbindelse med å måle med snødekke og våt vei er at disse tilstandene ikke er klart definert i standardene for måling. Målingen med snødekke ble foretatt i løpet av en natt der det hadde snødd på kvelden og gjorde det igjen i løpet av måleperioden, noe som medførte heldekkende snølag både på veien og i området rundt. Det antas derfor å være representativt snødekke for målingene.

For våt vei var det derimot ikke tilførsel av mer regn i løpet av måleperioden, og selv om det hadde regnet kraftig tidligere samme kveld var det derfor ikke lenger rennende vann i veibanen på hoveddelen av målingene. Jevnheten ble dermed målt til å være bedre enn hva som ville vært tilfelle ved rennende vann i veibanen. Det gjennomsnittlige luminansnivået antas derimot å ha blitt mindre påvirket.

5.1 Måleoppsett

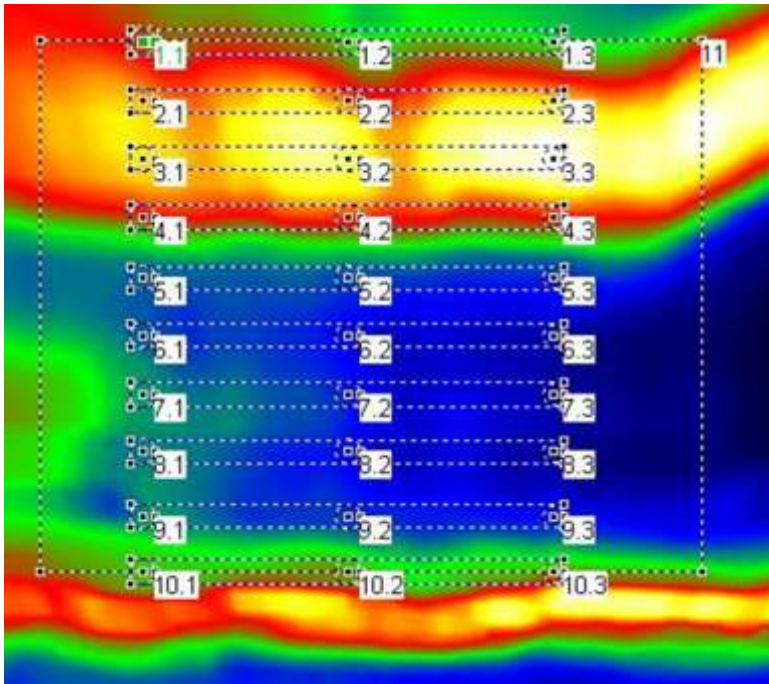
I henhold til NS-EN 13201-4 ble luminanskameraet plassert på stativ 1,5 meter over bakkeplan, $\frac{3}{4}$ ut i feltet det ble foretatt målinger av.

Av praktiske årsaker, for enklere å kunne plassere måleoppsettet på samme sted under alle målingene, ble det valgt å plassere oppsettet parallellt med en lyktestolpe. NS-EN 13201-4 spesifiserer at observasjonspunktet skal plasseres 60 meter fra måleområdet, Siden masteavstanden ved hoveddelen av målingene var 30 meter, antas dette uproblematisk, avvik fra 60 meters avstanden er kommentert under ved de tilfellene det er relevant.

6 Analysemetoder, luminanskamera

Bildeseriene ble analysert ved hjelp av dataprogrammet LMK2000 fra Tecno Team, målefelter ble markert, og jevnhetsanalyse ble gjennomført ved hjelp av analysefiler til LMK2000 og excel ark laget av Tecno Team i henhold til EN-31201-3, fått via Pål Larsen

6.1 Jevnhetsanalyse



For jevnhetsanalysene ble det markerte målefeltet overført til et nytt bilde som så fikk målepunkter utplassert i henhold til EN-31201-3.

Utrekningen av langsgående jevnhet ble så gjennomført ved eksport av dataen fra de markerte feltene til excelark med formlene for jevnhetsutregning.

Figur 6.1 Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, for beregning av jevnhet

7 Måleresulater forskjellige føreforhold



Måleresultatene er presentert etter geografisk plassering, da det antas at lokale værforhold kan ha innvirkning på målingene. Siden alle målingene er forholdsvis nær hverandre pga begrensningen om gangavstand vil tidsforsinkelsen mellom målingene også kunne påvirke hvordan været spiller.

Område 1 ligger rundt Festningen, nummer 2 rundt Elgeseter gate og nummer 3 rundt Osloveien, se Figur 7.1

Figur 7.1: Kart over måleområdenes geografiske plassering. Kilde (Statens kartverk).

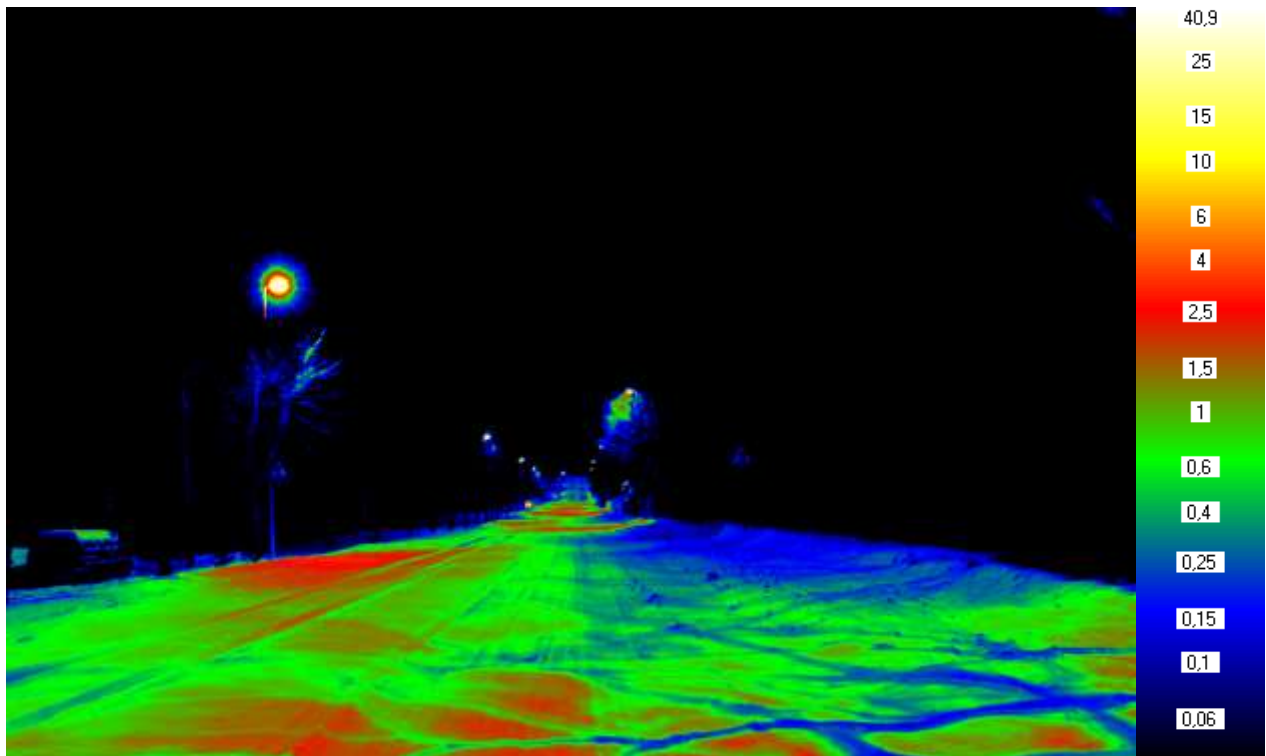
7.1 Festningsgata

I Festningsgata er mastestavstanden 30 m, med vekselvis mast på høyre og venstre side av veien. Mastehøyden er på 10m med 250w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).



Figur 7.2: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde: (Statens kartverk)

Festningsgata med Snødekke



Figur 7.3: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Festningsgata med snødekke

Bildedato og tid: 25.03.2011 01:50

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4219.CR2, IMG_4220.CR2 og IMG_4221.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 7,122 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 3,243 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 16,15 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 2, dvs gjennomsnittlig luminans på 1,5 cd/m²

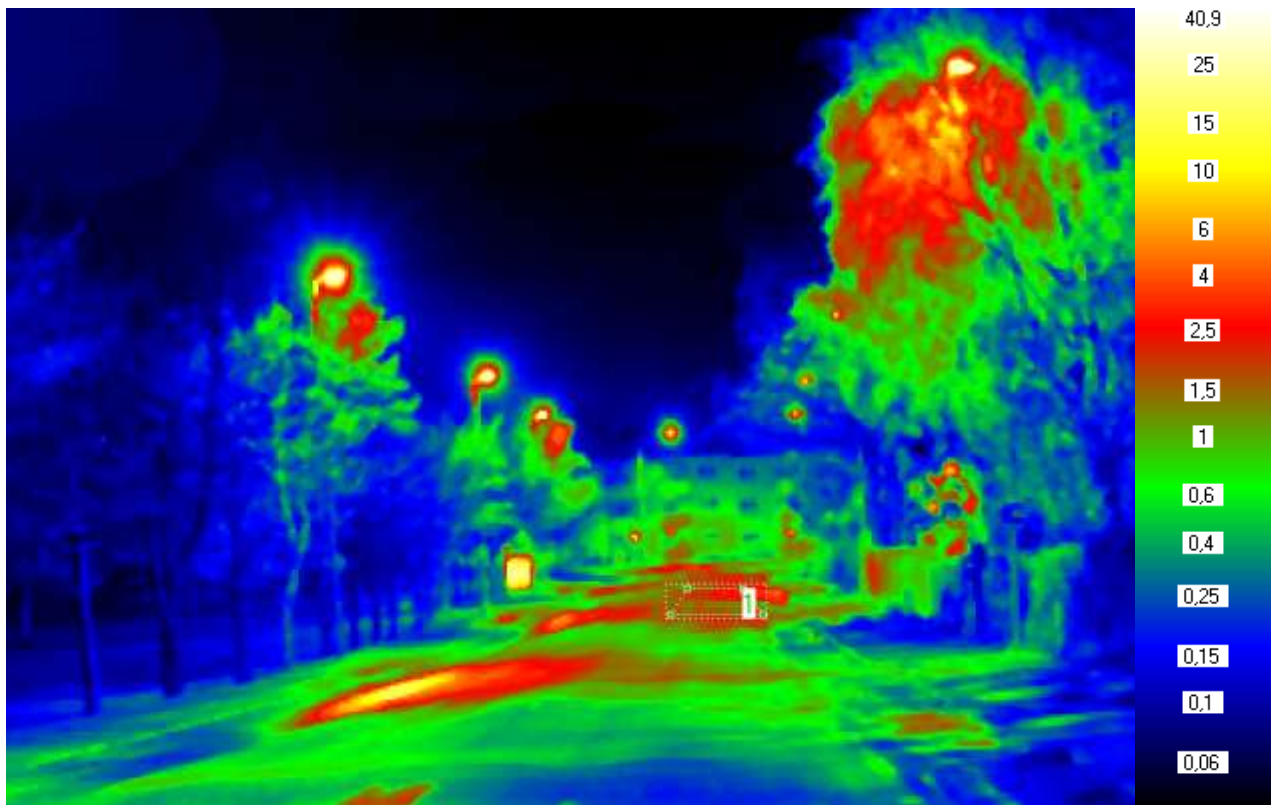
Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A1

Tabell 7.1 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	5,954	4,851	3,874
L max	13,09	14,14	16,11
L uni = L min / L max	0,45	0,34	0,24

Tabell 7.1: Resultater fra jevnhetsanalyse

Festningsgata med våt veibane



Figur 7.4: Luminansberegningssbilde generert av LMK2000, Festningsgata med våt veibane

Billedato og tid: 26.04.2011 01:49

Føreforhold: fuktiv veibane, uten rennende vann

Grunnlag: IMG_4770.CR2, IMG_4771.CR2 og IMG_4772.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 3,01 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 1,982 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 5,697 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 2, dvs gjennomsnittlig luminans på 1,5 cd/m²

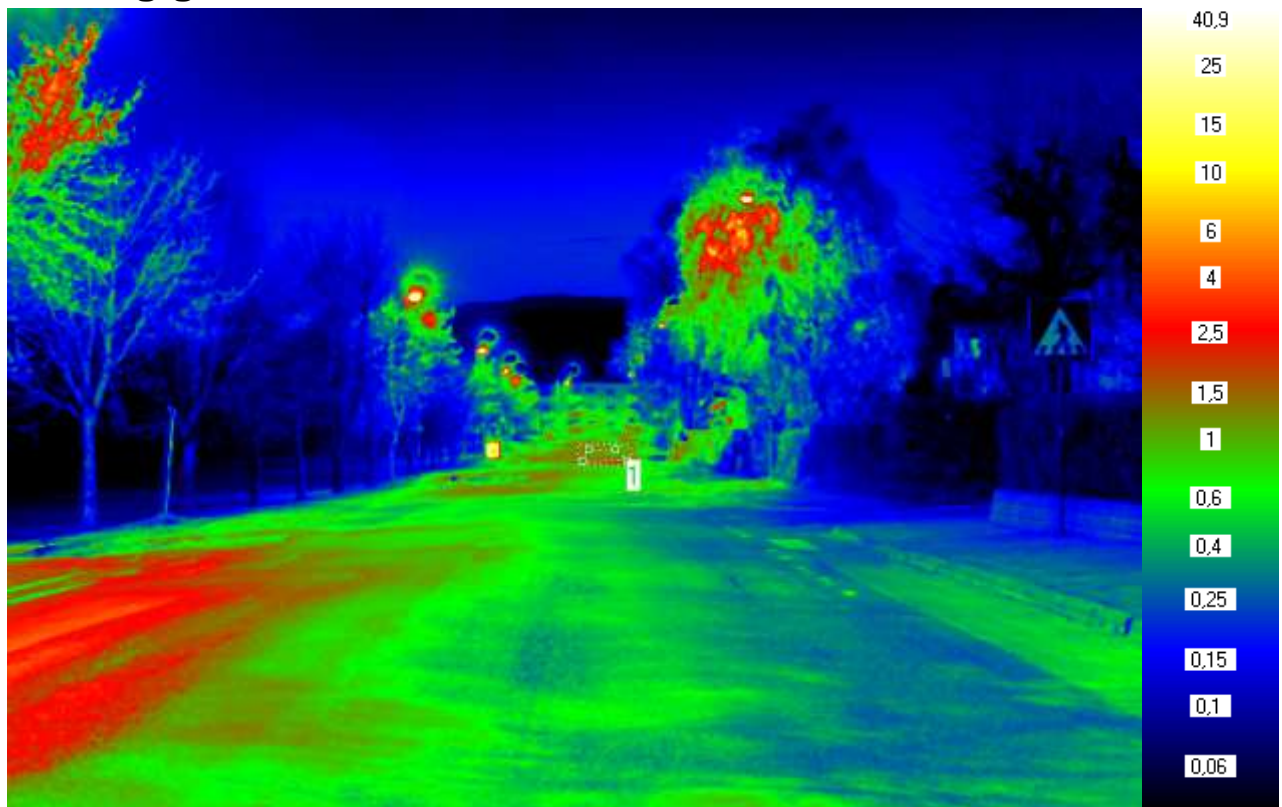
Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A2

Tabell 7.2 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	2,197	2,269	2,105
L max	3,318	3,942	4,495
L uni = L min / L max	0,66	0,58	0,47

Tabell 7.2: Resultater fra jevnhetsanalyse

Festningsgata med tørr veibane



Figur 7.5: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Festningsgata med tørr veibane

Bildedato og tid: 03.05.2011 01:39

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4860.CR2, IMG_4861.CR2 og IMG_4862.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 2,137 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 1,599 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 3,455 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 2, dvs gjennomsnittlig luminans på 1,5 cd/m²

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A3

Tabell 7.3 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	1,883	1,764	1,71
L max	2,739	3,179	3,29
L uni = L min / L max	0,69	0,55	0,52

Tabell 7.3: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.2 Wedels gate

I Wedels gate er masteavstanden noe varierende, fra observasjonspunktet ble det målt 29 meter til første lysmast og 37 meter mellom andtre denne lysmasten og målefeltets begynnelse, totalt var avstanden 66 meter fra observasjonspunktet til målefeltets begynnelse.

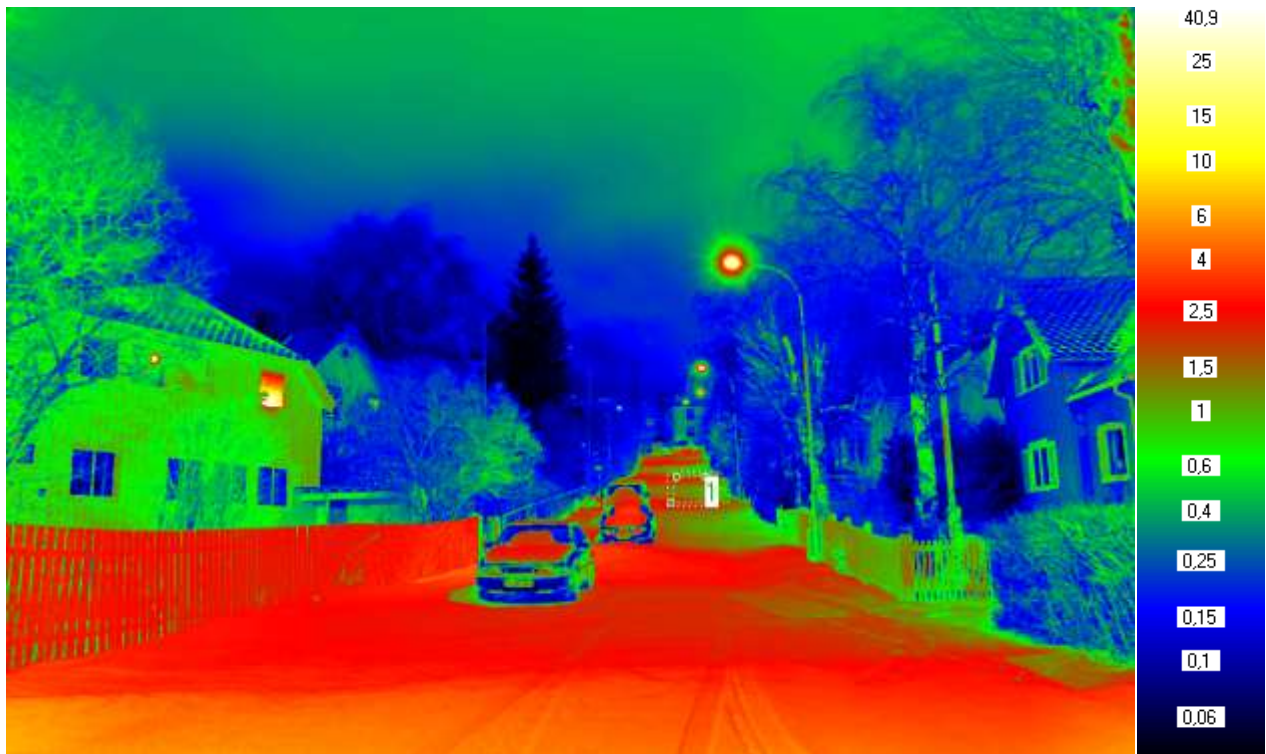
Mastehøyden er her 8m med 70w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).

Wedels gate ligger i en 30 sone og har dermed ikke belyningskrav spesifisert som luminans i veinormalen, men som illuminans, det antas likevel at luminansmålinger kan benyttes som relevant måleparameter ved bruk av tabellen i veinormalen over hvilken MEW klasse CE klassene tilsvarer.



Figur 7.6: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde: (Statens kartverk)

Wedels gate med snødekke



Figur 7.7 Luminansberegningssbilde generert av LMK2000, Wedelsgate med snødekke

Bildedato og tid: 25.03.2011 00:57

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4222.CR2, IMG_4223.CR2 og IMG_4224.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 2,527 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,7999 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 3,929 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er CE5, som tilsvarer MEW5

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A4

Tabell 7.4 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	2,162	1,954	1,684
L max	3,613	3,465	3,689
L uni = L min / L max	0,60	0,56	0,46

Tabell 7.4: Resultater fra jevnhetsanalyse

Wedels gate med våt veibane



Figur 7.8: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Wedelsgate med våt veibane

Billedato og tid: 26.04.2011 01:52

Føreforhold: fuktig veibane, med noe rennende vann

Grunnlag: IMG_4773.CR2, IMG_4774.CR2 og IMG_4775.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 0,4288 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,08678 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 1,664 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er CE5, som tilsvarer MEW5

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A5

Tabell 7.5 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,4845	0,181	0,1256
L max	1,066	0,6808	0,2519
L uni = L min / L max	0,45	0,27	0,50

Tabell 7.5: Resultater fra jevnhetsanalyse

Wedels gate med tørr veibane



Figur 7.9: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Wedelsgate med tørr veibane

Billedato og tid: 03.05.2011 01:42

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4863.CR2, IMG_4864.CR2 og IMG_4865.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 0,4329 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,2298 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 0,744 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er CE5, som tilsvarer MEW5

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A6

Tabell 7.6 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,4464	0,3356	0,288
L max	0,7181	0,61	0,5567
L uni = L min / L max	0,62	0,55	0,52

Tabell 7.6: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.3 Tyholtveien

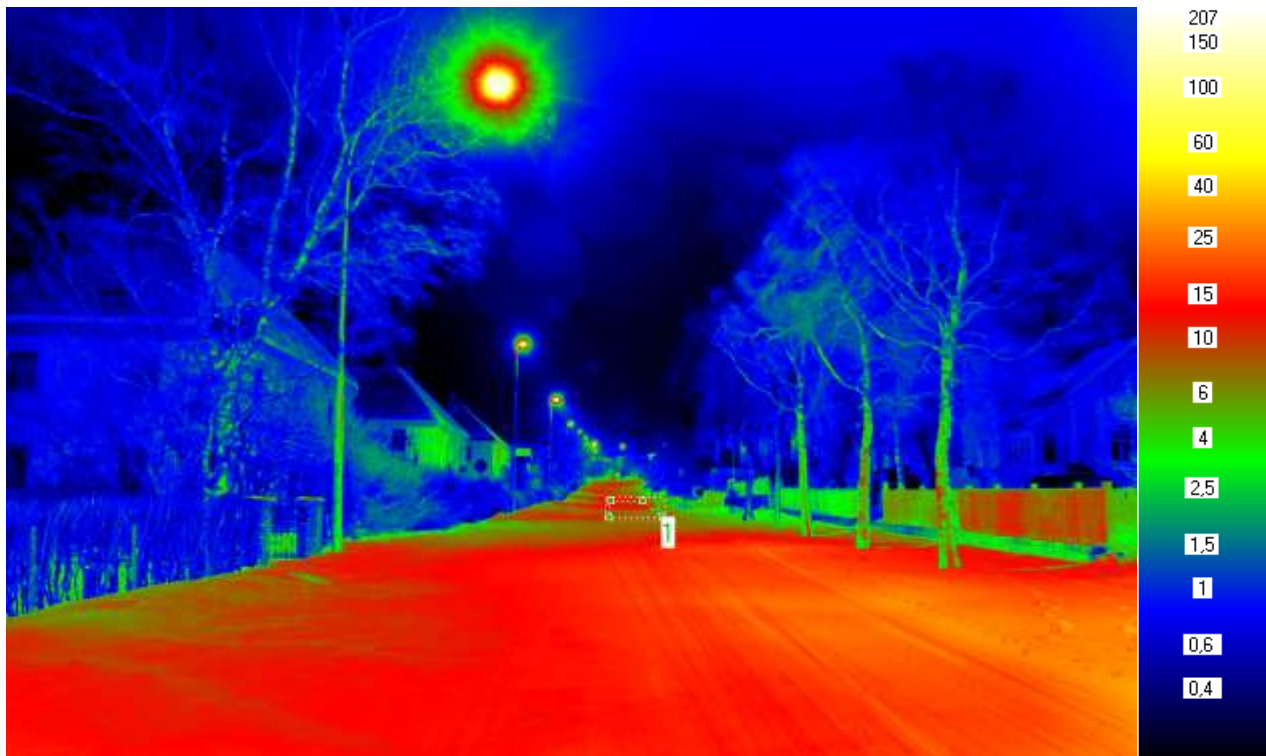
I Tyholtveien er masteavstanden noe varierende, fra observasjonspunktet ble det målt 23 meter til første lysmast og 41 meter mellom andre denne lysmasten og målefeltets begynnelse, totalt var avstanden 63 meter fra observasjonspunktet til målefeltets begynnelse.

Mastehøyden er her 10m med 250w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).



Figur 7.10: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde: (Statens kartverk)

Tyholtveien med snødekke



Figur 7.11: Luminansberegningssbilde generert av LMK2000, Tyholtveien med snødekke

Bildedato og tid: 25.03.2011 00:58

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4225.CR2, IMG_4226.CR2 og IMG_4227.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 9,543 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 5,967 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 13,78 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 2

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A7

viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	7,507	7,119	6,784
L max	13,36	13,23	11,8
L uni = L min / L max	0,56	0,54	0,57

Tabell 7.7: Resultater fra jevnhetsanalyse

Tyholtveien med våt veibane



Figur 7.12: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Tyholtveien med våt veibane

Bildedato og tid: 26.04.2011 01:52

Føreforhold: fuktiv veibane, med noe rennende vann

Grunnlag: IMG_4776.CR2, IMG_4777.CR2 og IMG_4778.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,614 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,6152 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 3,177 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW

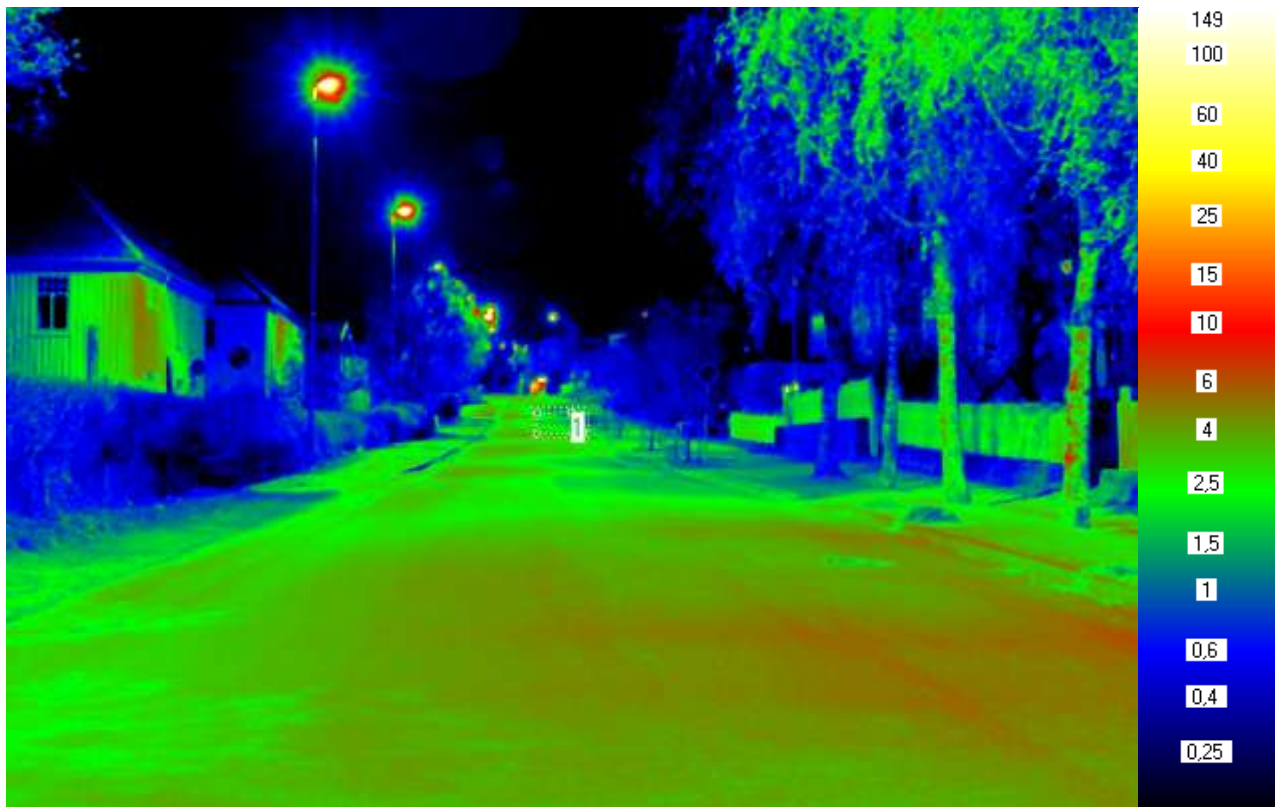
Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A8

Tabell 7.8 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	1,504	0,8011	0,8208
L max	2,459	1,993	1,701
L uni = L min / L max	0,61	0,40	0,48

Tabell 7.8: Resultater fra jevnhetsanalyse

Tyholtveien med tørr veibane



Figur 7.13: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Tyholtveien med tørr veibane

Billedato og tid: 03.05.2011 01:42

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4866.CR2, IMG_4867.CR2 og IMG_4868.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 2,132 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 1,175 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 3,39 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A6

Tabell 7.9 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

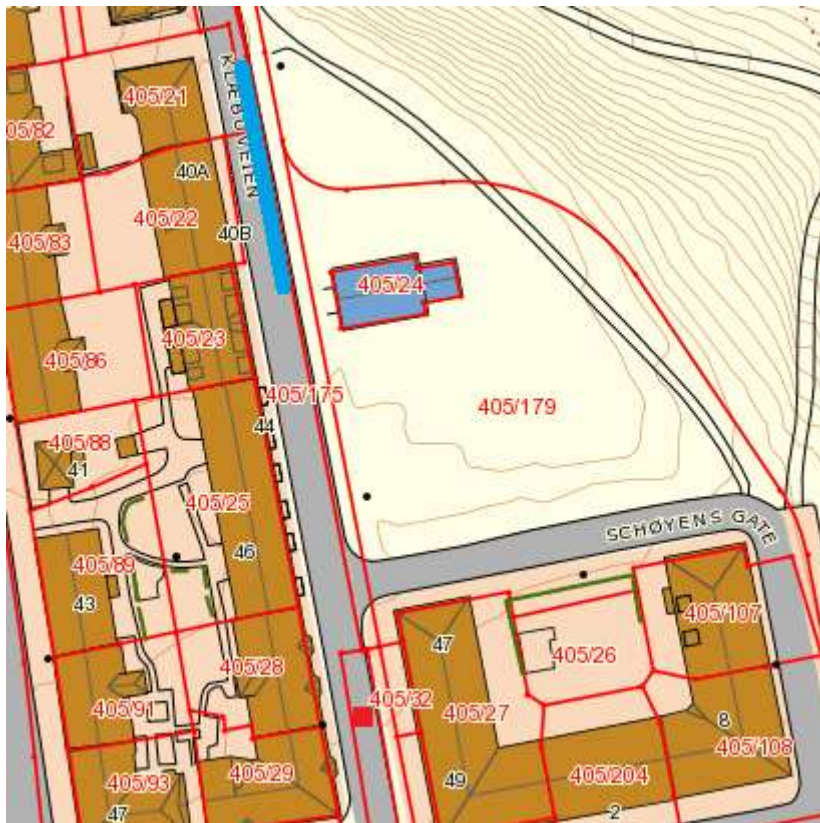
L min	1,879	1,547	1,347
L max	3,109	3,049	2,469
L uni = L min / L max	0,60	0,51	0,55

Tabell 7.9: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.4 Klæbuveien

Masteavstanden i Klæbuveien er på 30 m, med noe variasjon i forhold til hvilken side av veien mastene er plassert.

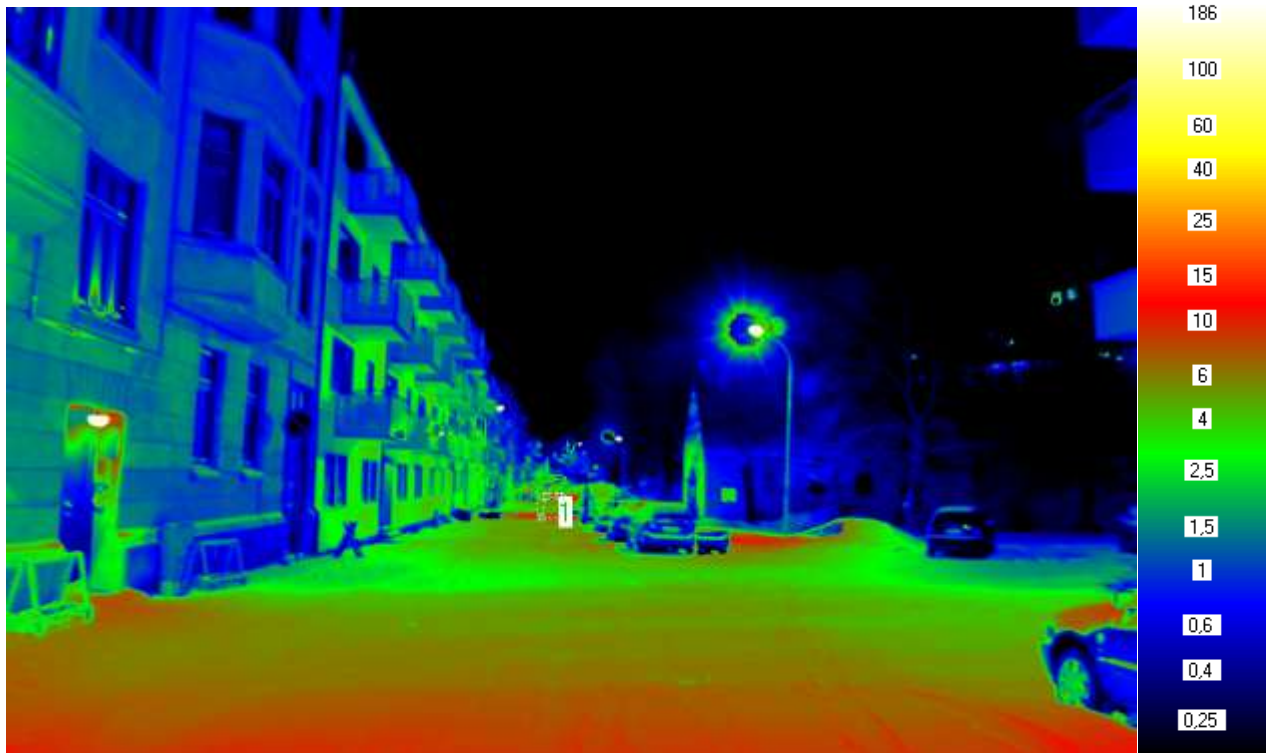
Mastehøyden er på 8m med 150w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).



Figur 7.14: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde: (Statens kartverk)

I forhold til kartet i Figur 7.14 er det i tillegg en lysmast parallelt med der målefeltet starter, på samme side av veien som kirken merket i blått.

Klæbuveien med snødekke



Figur 7.15: Luminansbilde generert av LMK2000, Klæbuveien med snødekke

Bildedato og tid: 25.03.2011 02:28

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4228.CR2, IMG_4229.CR2 og IMG_4230.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 6,546 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 3,963 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 13,26 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 4

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A7

Tabell 7.10 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	4,239	4,343	4,433
L max	10,83	10,98	10,82
L uni = L min / L max	0,39	0,40	0,41

Tabell 7.10: Resultater fra jevnhetsanalyse

Klæbuveien med våt veibane



Figur 7.16: Luminansbilde generert av LMK2000, Klæbuveien med våt veibane

Billedato og tid: 26.04.2011 02:32

Føreforhold: fuktiv veibane, med noe rennende vann

Grunnlag: IMG_4779.CR2, IMG_4780.CR2 og IMG_4781.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,511 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,5909 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 4,141 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 4

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A8

Tabell 7.11 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,996	1,061	0,7133
L max	3,864	2,216	1,446
L uni = L min / L max	0,26	0,48	0,49

Tabell 7.11: Resultater fra jevnhetsanalyse

Klæbuveien med tørr veibane



Figur 7.17: Luminansbilde generert av LMK2000, Klæbuveien med tørr veibane

Billedato og tid: 03.05.2011 02:17

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4869.CR2, IMG_4870.CR2 og IMG_4871.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,382 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,7537 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 2,782 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 4

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A6

Tabell 7.12 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,8227	0,9193	0,9801
L max	2,755	2,308	2,698
L uni = L min / L max	0,30	0,40	0,36

Tabell 7.12: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.5 Elgeseter gate

Masteavstanden i Elgeseter gate er på 30 m, med master på begge sider av veien, pga veiens bredde antas mastene på motsatt side å ha liten innvirkning på målt luminans.

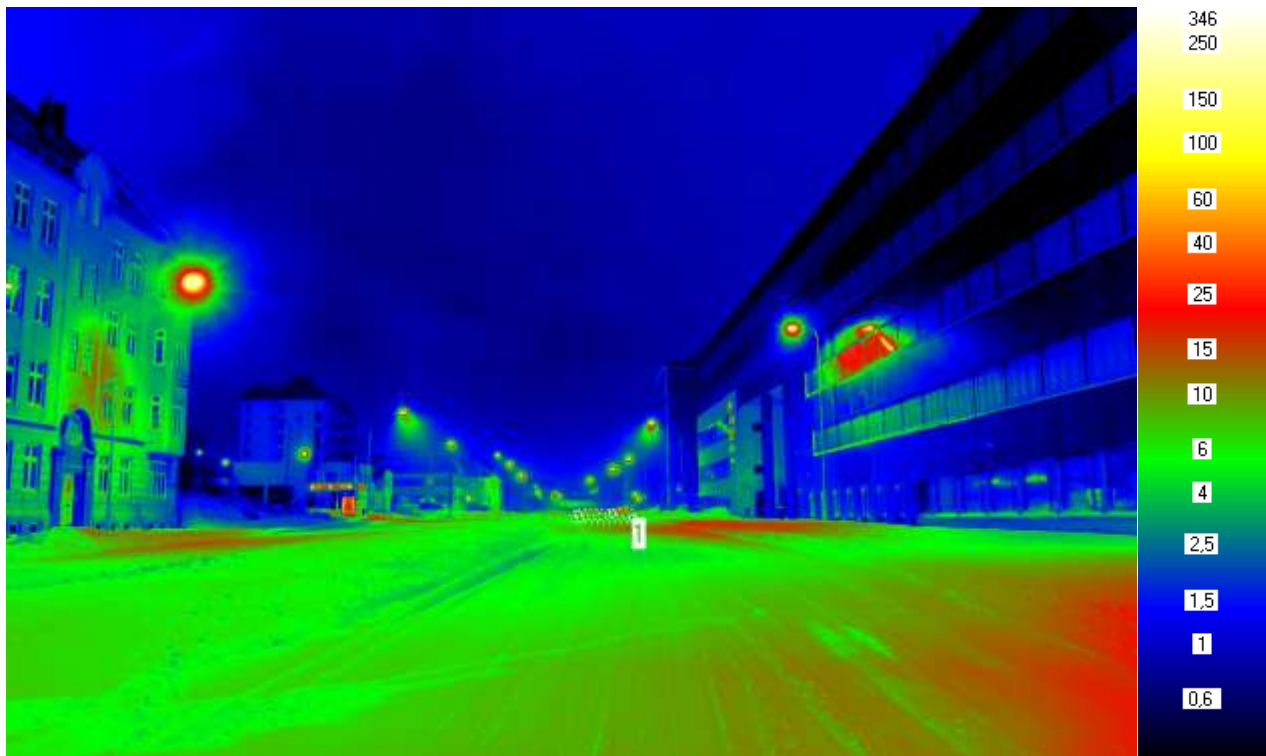
Mastehøyden er på 10m med 250w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).



Figur 7.18: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde (Statens kartverk)

Pga veiens helling ble målepunkten i elgeseter gate konsentrert over en mindre del av bildet enn for de andre målingen, i tillegg indikerer dette at observasjonspunkt og måleområdet burde vært valgt anderledes her.

Elgesetergate med snødekke



Figur 7.19: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Elgeseter gate med snødekke

Billedato og tid: 25.03.2011 03:34

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4242.CR2, IMG_4243.CR2 og IMG_4244.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 7,31 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 5,124 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 10,72 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW2

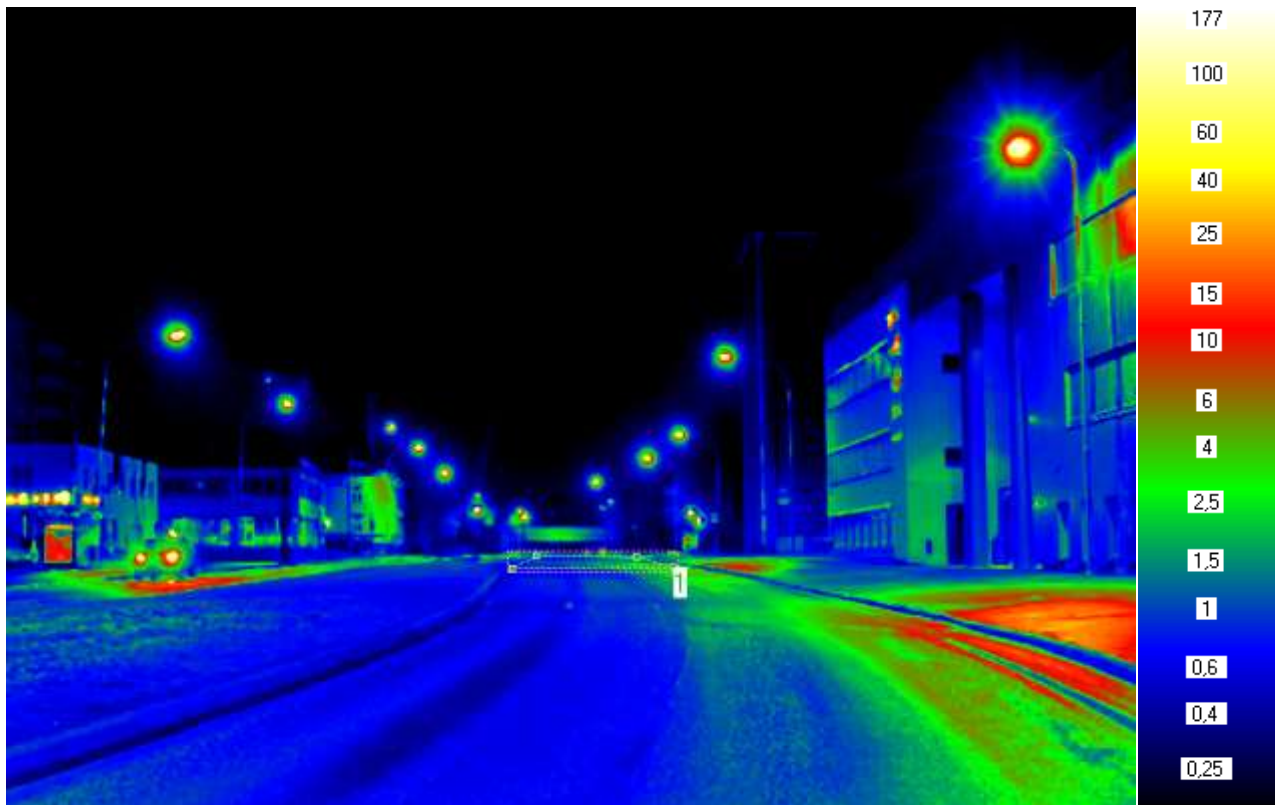
Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A7

Tabell 7.13 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	5,744	5,396	6,091
L max	7,759	9,242	10,05
L uni = L min / L max	0,740302	0,583856	0,60607

Tabell 7.13: Resultater fra jevnhetsanalyse

Elgesetergate med våt veibane



Figur 7.20: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Elgeseter gate med våt veibane

Bildedato og tid: 26.04.2011 03:31

Føreforhold: fuktiv veibane, uten rennende vann i måleområdet

Grunnlag: IMG_4788.CR2, IMG_4789.CR2 og IMG_4790.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,569 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,7233 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 4,861 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW2

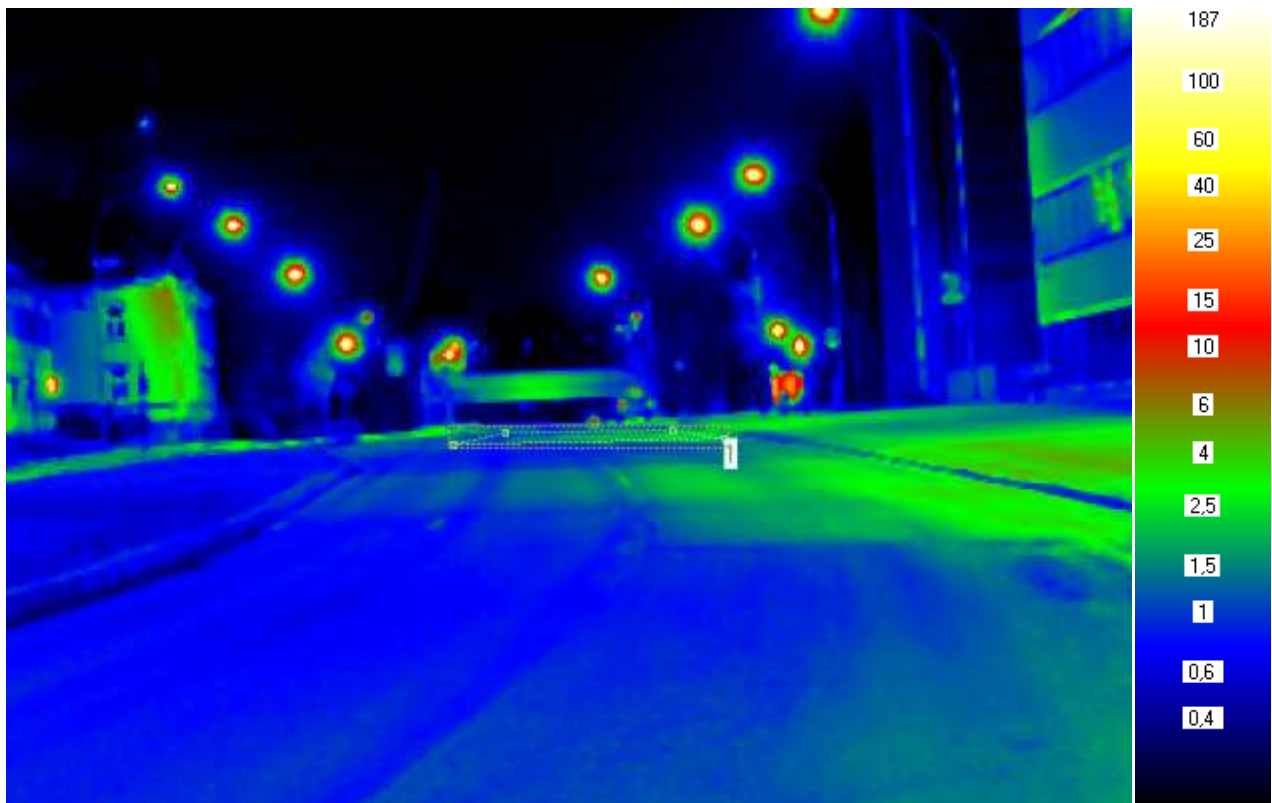
Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A8

Tabell 7.14 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,7576	0,9934	1,422
L max	1,118	1,821	3,816
L uni = L min / L max	0,68	0,55	0,37

Tabell 7.14: Resultater fra jevnhetsanalyse

Elgesetergate med tørr veibane



Figur 7.21: Luminansberegningsbilde generert av LMK2000, Elgeseter gate med tørr veibane

Billedato og tid: 03.05.2011 03:17

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4881.CR2, IMG_4882.CR2 og IMG_4883.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,73 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,8345 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 2,672 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW2

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A6

Tabell 7.15 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	1,087	1,237	1,488
L max	1,471	1,996	2,458
L uni = L min / L max	0,74	0,62	0,61

Tabell 7.15: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.6 Udbyes gate

Masteavstanden i Udbyes gate er på 30 m, med dekorative lysmaster som virker mer egnet til å gi et koselig bomiljø enn å effektivt belyse veien da lyset her går i alle retninger, ikke bare mot veioverflaten.

Mastehøyden er på 8m med 150w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).

Udbyes gate ligger i en 30 sone og har dermed ikke belyningskrav spesifisert som luminans i veinormalen, men som illuminans, det antas likevel at luminansmålinger kan benyttes som relevant måleparameter ved bruk av tabellen i veinormalen over hvilken MEW klasse CE klassene tilsvarer.



Figur 7.22: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde (Statens kartverk)

Udbyes gate med snødekke



Figur 7.23: Luminansbilde generert av LMK2000, Udbyes gate med snødekke

Bildedato og tid: 25.03.2011 02:32

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4231.CR2, IMG_4232.CR2 og IMG_4233.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,395 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 1,054 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 1,912 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er CE5, som tilsvarer MEW5

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A7

Tabell 7.16 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	1,205	1,062	1,128
L max	2,185	1,814	1,657
L uni = L min / L max	0,55	0,59	0,68

Tabell 7.16: Resultater fra jevnhetsanalyse

Udbyes gate med våt veibane



Figur 7.24: Luminansbilde generert av LMK2000, Udbyes gate med våt veibane

Billedato og tid: 26.04.2011 02:38

Føreforhold: fuktiv veibane, uten rennende vann i måleområdet

Grunnlag: IMG_4782.CR2, IMG_4783.CR2 og IMG_4784.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 0,1738 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,1269 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 0,1269 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er CE5, som tilsvarer MEW5

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A8

Tabell 7.17 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,1333	0,1498	0,1728
L max	0,1996	0,1917	0,3184
L uni = L min / L max	0,67	0,78	0,54

Tabell 7.17: Resultater fra jevnhetsanalyse

Udbyes gate med tørr veibane



Figur 7.25: Luminansbilde generert av LMK2000, Udbyes gate med tørr veibane

Billedato og tid: 03.05.2011 02:24

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4872.CR2, IMG_4873.CR2 og IMG_4874.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 0,2249 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,1321 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 0,1321 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er CE5, som tilsvarer MEW5

Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A6

Tabell 7.18 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,1586	0,1568	0,1813
L max	0,296	0,2837	0,2815
L uni = L min / L max	0,54	0,55	0,64

Tabell 7.18: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.7 Osloveien

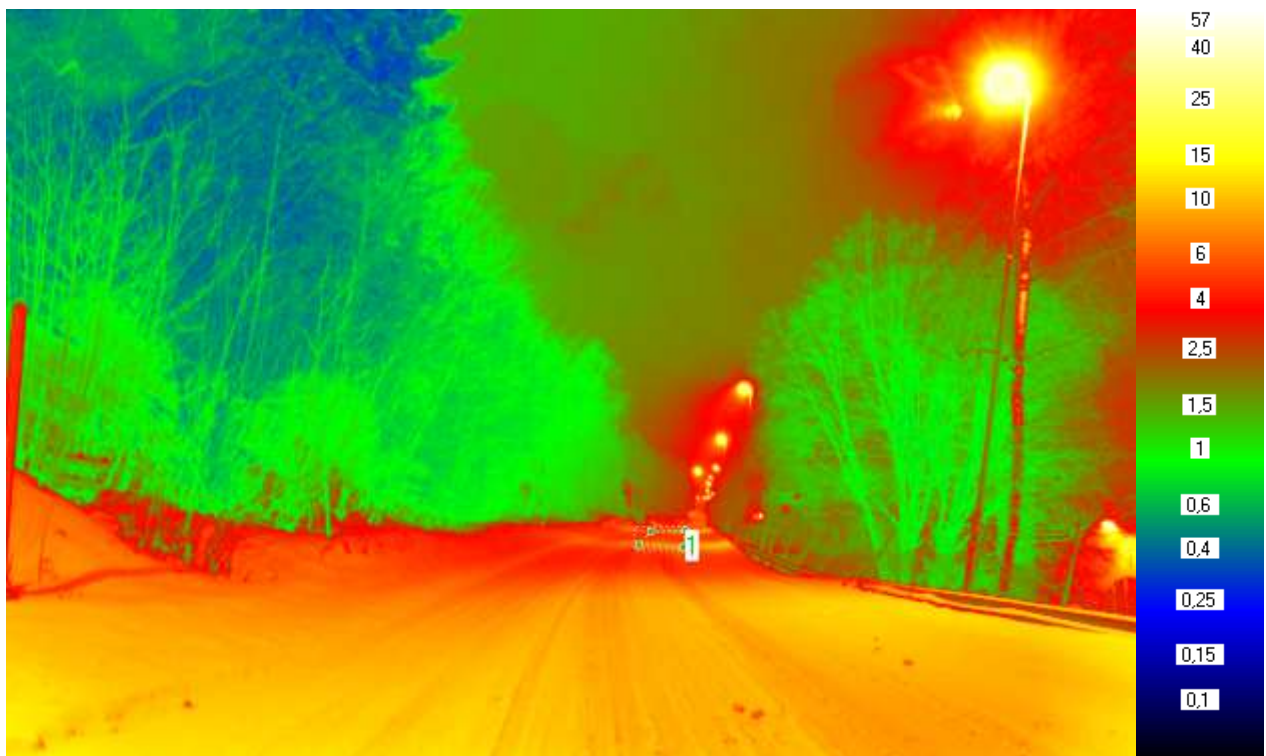
Masteavstanden i Osloveien er på 30 m og mastehøyden er på 10m med 250w armaturer (Tor-Eirik Brun, TrønderEnergi Nett).



I Osloveien ble det gjort avvik fra standarden for plassering av observasjonspunkt $\frac{3}{4}$ ut i feltet som måles fordi veien ved hadde en svak sving. Observasjonspunktet ble derfor plassert midt i veibanen for å få et målefelt med vanrette start og sluttlinjer.

Figur 7.26: Kart over måleområde og observasjonspunkt. Kilde (Statens kartverk)

Osloveien med snødekke



Figur 7.27: Luminansbilde generert av LMK2000, Osloveien med snødekke

Bildedato og tid: 25.03.2011 03:05

Føreforhold: snødekke

Grunnlag: IMG_4238.CR2, IMG_4239.CR2 og IMG_4240.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 6,092 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 4,713 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 9,328 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW 2

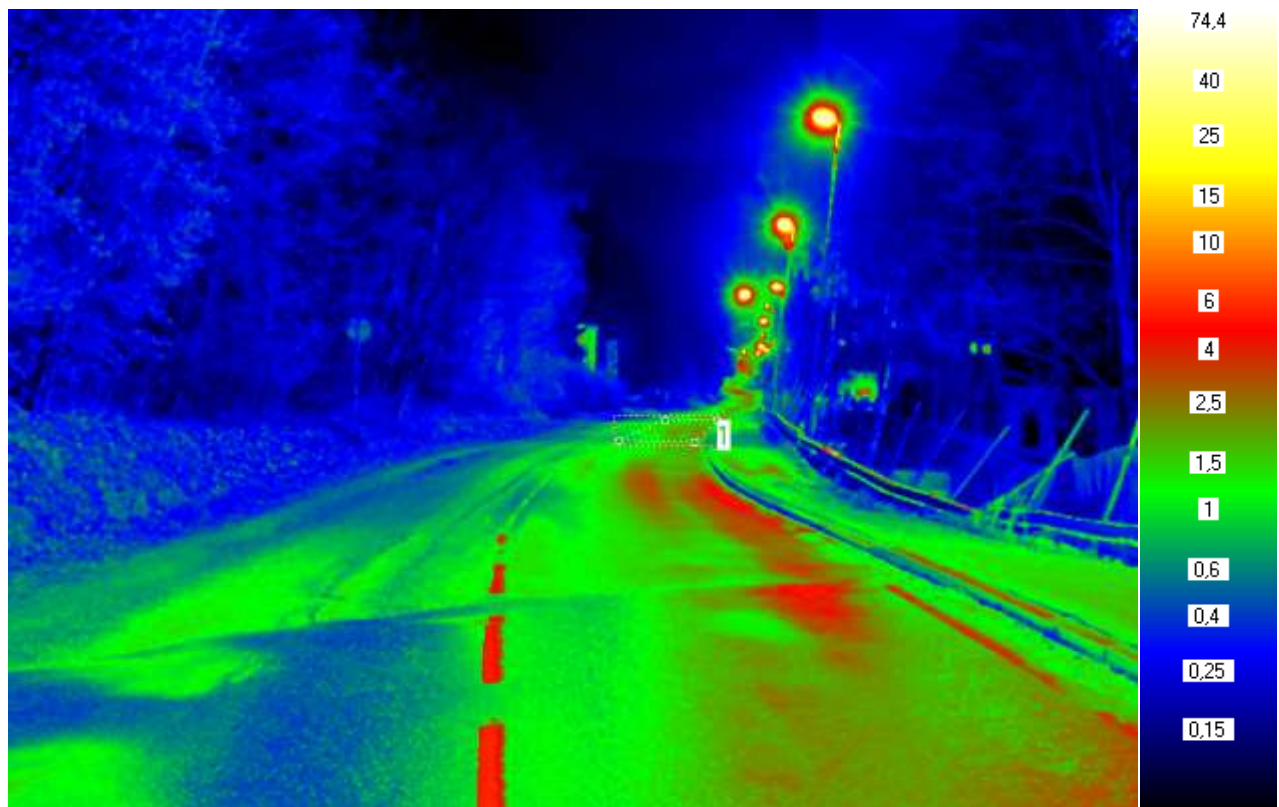
Fordetaljer se analyserapport, vedlegg A7

Tabell 7.19 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	4,816	4,952	5,046
L max	7,329	7,988	8,175
L uni = L min / L max	0,66	0,62	0,62

Tabell 7.19: Resultater fra jevnhetsanalyse

Osloveien med våt veibane



Figur 7.28: Luminansbilde generert av LMK2000, Osloveien med våt veibane

Bildedato og tid: 26.04.2011 03:03

Føreforhold: fuktiv veibane, uten rennende vann i måleområdet

Grunnlag: IMG_4785.CR2, IMG_4786.CR2 og IMG_4787.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,64 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,8267 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 2,412 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW

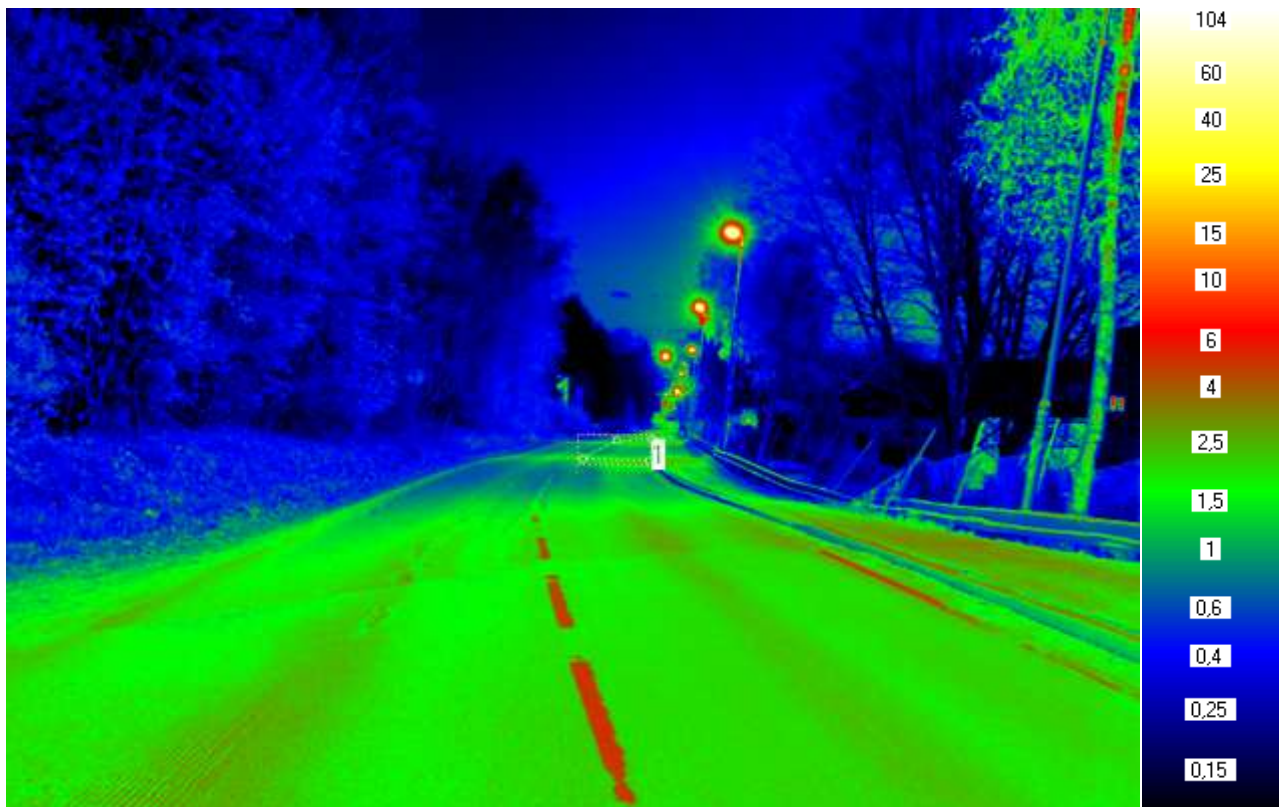
For detaljer se analyserapport, vedlegg A8

Tabell 7.20 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,8391	1,196	1,555
L max	1,508	2,051	2,044
L uni = L min / L max	0,56	0,58	0,76

Tabell 7.20: Resultater fra jevnhetsanalyse

Osloveien med tørr veibane



Figur 7.29: Luminansbilde generert av LMK2000, Osloveien med tørr veibane

Billedato og tid: 03.05.2011 02:50

Føreforhold: tørr veibane

Grunnlag: IMG_4875.CR2, IMG_4876.CR2 og IMG_4877.CR2

Skala: Logaritmisk 2

Gjennomsnittlig luminansnivå i målefeltet: 1,343 cd/m²

Minimum luminans i målefeltet: 0,8211 cd/m²

Maksimal luminans i målefeltet: 2,653 cd/m²

Dimensjoneringskravet for denne veien er MEW

For detaljer se analyserapport, vedlegg A6

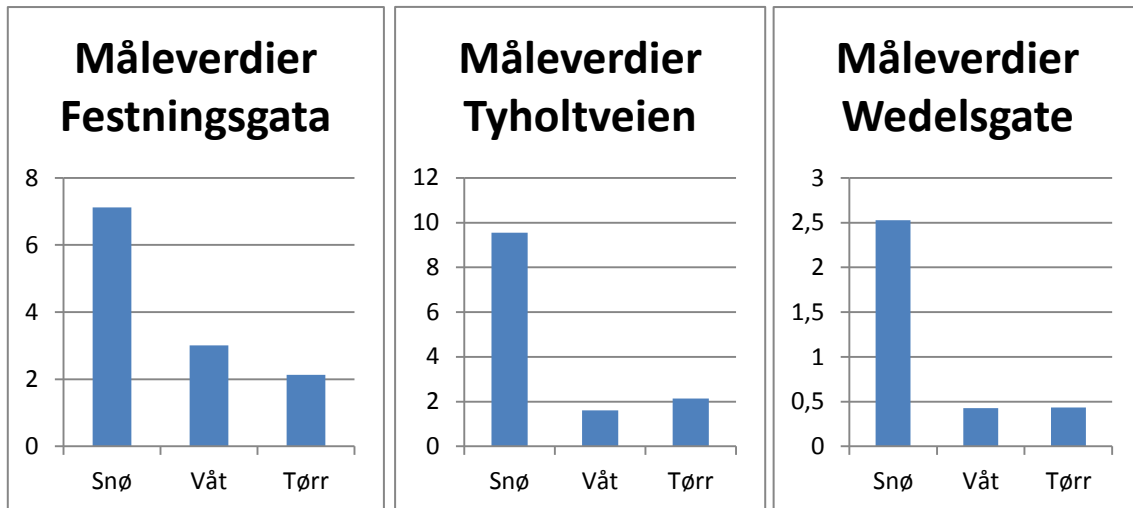
Tabell 7.21 viser resultatet av jevnhetsanalyse gjennomført i henhold til EN-31201-3, jevnhetskravet er her oppfylt

L min	0,9166	1,111	1,004
L max	1,712	2,045	2,187
L uni = L min / L max	0,54	0,54	0,46

Tabell 7.21: Resultater fra jevnhetsanalyse

7.8 Sammenligning mellom de forskjellige føreforholdene

For å tydeliggjøre eventuelle forskjeller mellom de forskjellige områdene er måledataene her gruppert i forhold til geografisk område. Kun gjennomsnittlig luminansnivå er tatt med i her, da det er det som har størst innvirkning på om anlegget kan dimmes og fortsatt opprettholde luminanskravene.



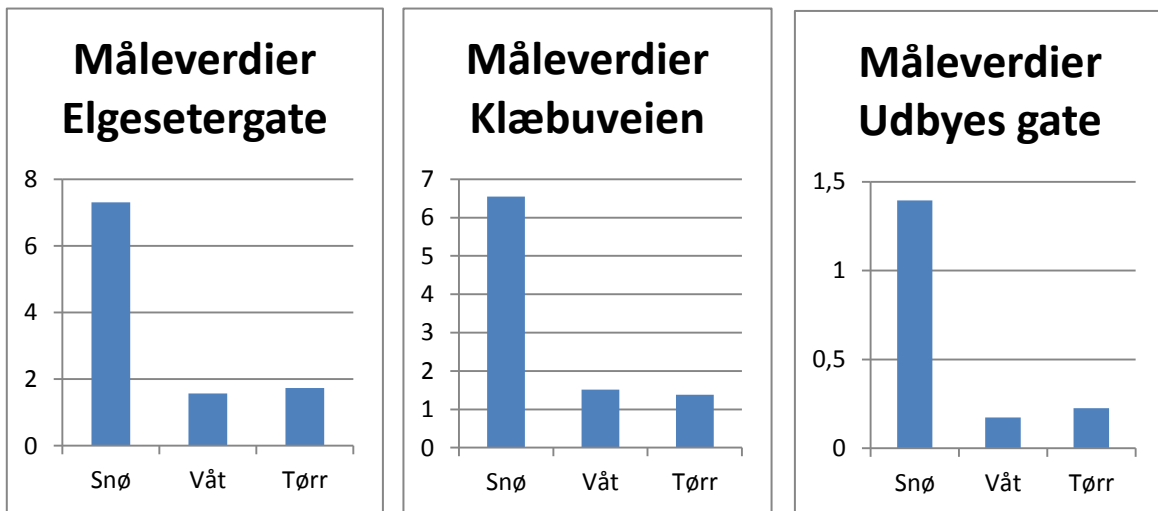
Figur 7.30: Grafisk presentasjon av målt gjennomsnittlig luminans for området rundt Festningen

For målingen ved Festningen er det størst usikkerhet er knyttet til målingen i Wedelsgate med våt veibane da det i dette tilfellet var en bil parkert i det originale måleområdet. Måleområdet ble derfor noe forskøvet.

Generelt viser målingen med snø størrelsesorden 4-5 ganger så høyt luminansnivå som de med våt og tørt føre, som stemmer godt overens med tilsvarende tidligere målinger som indikerte en at snø ga 5 ganger høyere luminansnivå (Augdall, A. Test report Narvik, unpublished (2006))

Lavest differanse fantes for Festningsgata der det med snøføre bare var 2,366 ganger så høyt luminansnivå som ved våt veibane. Men her var belysningsnivået på generell basis vesentlig høyere enn kravet for denne veitypen på $1,5 \text{ cd/m}^2$

For Wedelsgate, hvor normen tilsier et minimumskrav til gjennomsnittlig luminans på $0,5 \text{ cd/m}^2$, er dette kravet kun oppfylt i målingen med snødekke, med våt og tørt veibane på henholdsvis $0,4288$ og $0,4329$. Det er dog ikke vesentlig under kravet.

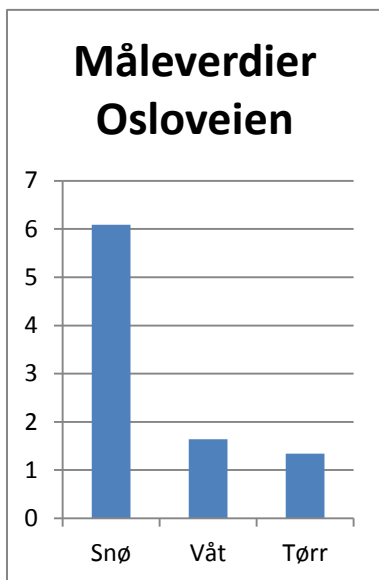


Figur 7.31: Grafisk presentasjon av målt gjennomsnittlig luminans for området rundt Elgesetergate

Målingene rundt Elgesetergate viste tilsvarende sammenheng mellom snøføre og de andre føreforholdene, med 4-5 ganger høyere luminansverdier ved snøforhold. For Udbyes gate er forholdet enda høyere med 8 ganger høyere luminansnivå ved snøføre sammenlignet med vått føre, her må det nevnes at luminansnivåene ved vått og tørt føre er ekstremt lave, på henholdsvis 0,1738 og 0,2249 cd/m². Dette er langt under minstekravet for MEW5 (CE5) på 0,5 (7,5 lux).

Til tross for de lave verdiene opplevdes ikke belysningsnivået som utrygt lavt som fotgjenger.

Målingene i Osloveien viste tilsvarende sammenheng som resten med størelsesorden 4 ganger høyere luminans ved snø enn ellers.



Figur 7.32: Grafisk presentasjon av målt gjennomsnittlig luminans for Osloveien

Forholdet mellom målt luminans på våt og tørt vei er mindre konsekvent enn forholdet mot snø. Det ser ut til at trær nær belysningsanlegget har en viss innvirkning da både Osloveien og Festningsata der dette er tilfelle har målinger som stemmer mer overens enn resten.

Hvilke som er målt med høyest luminans av vått og tørt føre virker nesten tilfeldig. Det kan til en vis grad skyldes endringer i skydekket under målingen, men også forskjeller i veidekket som følge av forskjellig slitasje. Å trekke generelle konklusjoner med basis i disse målingene om det endrede belysningsbehovet som følge av våt veibane er derfor umulig.

I ettertid er det klart at refleksjonsegenskapene til veidekket ved de ulike værforholdene i tillegg burde vært målt direkte. Sammen med slike målinger ville det nemlig vært mulig å konkludere i forhold til hvordan vått føre påvirker belysningsbehovet i forhold til tørt føre.

8 Målinger i Klæbuveien, med lyset slukket

Som referanse ble luminansnivået i Klæbuveien målt uten lyset tent natt mellom 24 og 25 mai. Værforholdene denne natten var lettskyet oppholdsvær.

Klæbuveien er en boliggate med forholdsvis lite trafikk, og har dermed i utgangspunktet belysningsklasse MEW 3. Noe som tilsvarer et gjennomsnittlig belysningskrav på 1 cd/m^2 . Som vist i 0 ble det gjennomsnittlige luminansnivået her, sent på natten med gatebelysningen tent, målt til $1,382 \text{ cd/m}^2$ på tørr vei. Til sammenligning åpner veinormalen som vist i 2.2 for å redusere belysningskravet til MEW 4, dvs $0,75 \text{ cd/m}^2$, ved lite trafikk. Under gjennomføringen av målingen med lyset slukket ble det kun observert biltrafikk 1 gang. At kravet her reduseres antas derfor uproblematisk.

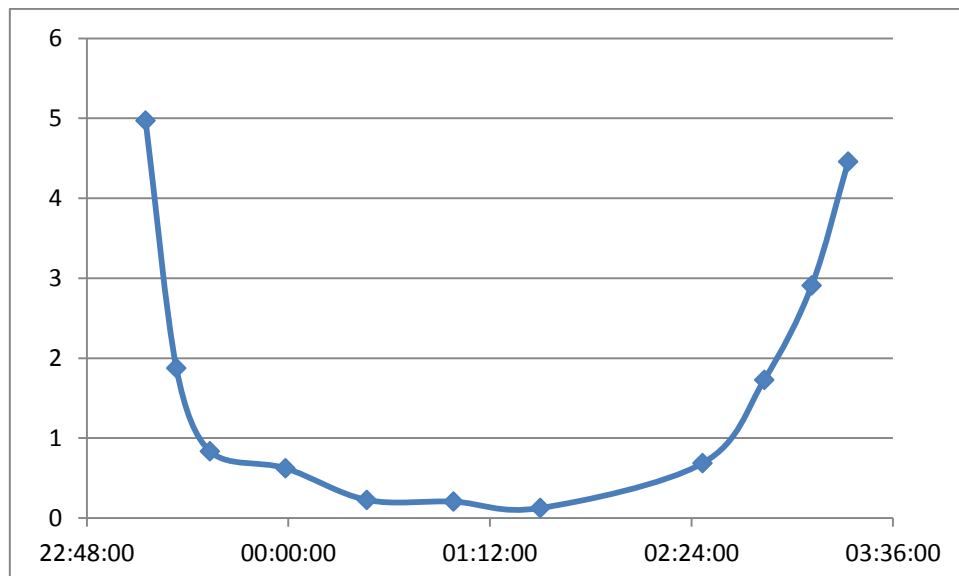
Tidspunkt	23:09	23:20	23:32	23:59	00:28	00:59	01:30	02:28	02:50	03:07	03:20
Målt nivå (cd/m ²)	4,970	1,875	0,836	0,624	0,227	0,206	0,126	0,687	1,729	2,911	4,459

Tabell 8.1: Måleresultater, Klæbuveien lyset slukket

Som det fremgår av Tabell 8.1 ble det foretatt målinger med jevn spredning gjennom hele natten, måleoppsettet var tilsvarende som for målingene av forskjellige værforhold, se 5.1. For rapporter fra utregningene se vedlegg B1-11.

Det ble valgt å ikke gjennomføre tilsvarende jevnhetsanalyse som for målingene under forskjellige føreforhold da mangel på jvenhet i dette tilfelle ikke vil ha årsak i belysningsanlegget som blir analysert.

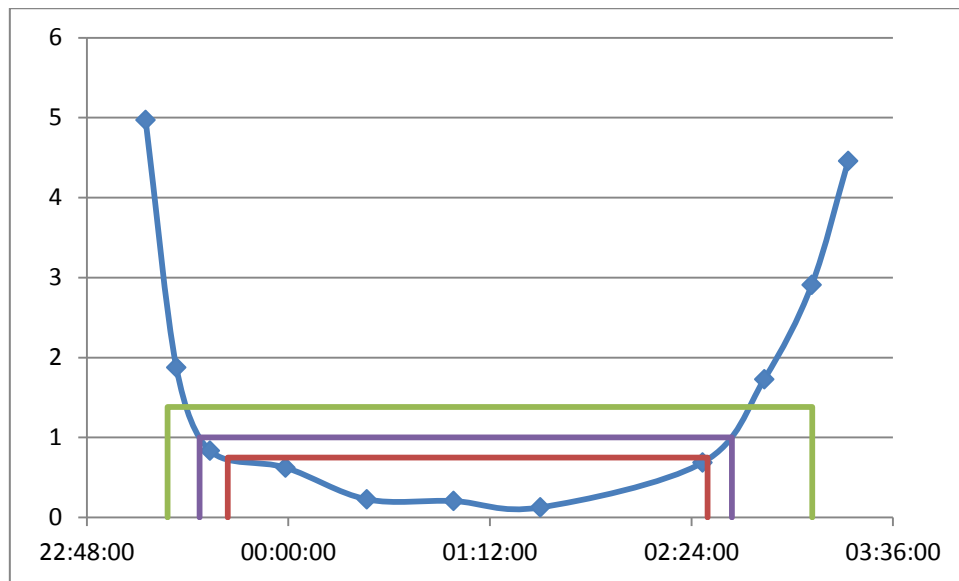
Resten av gatelyset tente klokken 2315 og slukket klokken 0317.



Figur 8.1: Måleresultater, Klæbuveien lyset slukket i cd/m²

Som det fremgår av Figur 8.1 gjorde behovet for for å tenne lyset seg først gjeldende like før 23:40, mens det godt kunne slukkes igjen ca 02:30. Dette hvis man forutsetter MEW 4, til sammenligning tente de kommunale gatelysene klokken 23:15 og slukket igjen 03:17, som er 30 % lenger.

8.1 Observert sparepotensiale fra målingen uten lys



Figur 8.2: Måleresultater med innskissert behov og nærværende belysning

Figur 8.2 viser sparepotensialet sammen med dagens styring og målt behov, målt luminansnivå uten belysning i blått, dagens styring i grønt, behov ved benyttning av belsningsklasse MEW 3 i lilla og behov ved belsningsklasse MEW 4 i rødt.

Dimming er ikke tilgjengelig i dagens styresystem, men selv uten dette er potensiale stort ved bruk av lokale målinger, i stedet for dagens system hvor hele Trondheim styres av en enkelt fotocelle.

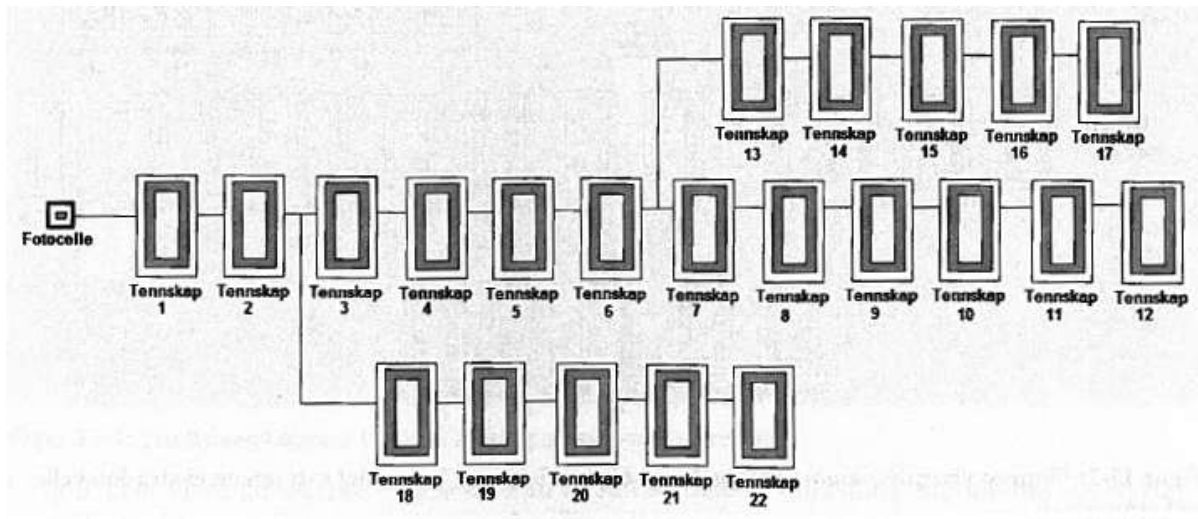
Selv uten å redusere belsningskravet fra MEW 3 til MEW 4 vil det å utsette tenning av anlegget til nivået er nede på 1 cd/m^2 , som er kravet ved dimmensjonerende trafikkmengder på denne veien, ved denne målingen ha redusert tenntiden med 40 minutter eller ca 16 %.

Sparepotensialet ved denne type lokale målinger vil selvsagt være årstidsavhengig med størst potensiale om sommeren når forskjellen mellom solnedgang og -oppgang og tussemørke er størst. Forskjellen ligger for Trondheim på like over 5 timer på det meste om sommeren, mens det er nede i ca 1,5 timer i månedskiftet september oktober og i mars.

Snødekke får også stor innvirkning ved at det lille sollyset som blir reflektert i atmosfæren etter solen har gått ned sammen med eventuelt månelys og andre lyskilder reflekteres som vist i 7.8 ca 4-5 ganger bedre med snødekke sammenlignet med bar og våt vei.

9 Nåværende styring for Trondheim kommune

Det kommunale veilyset til Trondheim Kommune består av ca 22000 lyspunkter, med ca 1100 tennskap, det har en total installert effekt, inkludert 10 % tap, på 3,25 MW. Styringsmessig er hele anlegget styrt av en enkelt fotocelle, med kombinasjon av direkte innkobling ved seriekobling av kontaktorene og kommunikasjon via GSM-nettet. Kilde: (Tor-Eirik Brun, Trønderenergi).



Figur 9.1: prinsippkisse for nåværende styringssystem. [Roberg A. Elektrotekniske forhold i Trondheim kommunes veilysnnett Masteroppgave]

En av utfordringen med å kun bruke én fotocelle er sårbarheten til anlegget, da fotoceller er relativt utsatte komponenter med tanke på blant annet overspenning og aldring.

I tidsrommet fra 01.05.2010 til 30.04.2011 som har blitt analysert i forbindelse med denne oppgaven, (Se vedlegg C1), var det blant annet 1 tilfelle av at lyset ikke tente i løpet av natten (natt mellom 01.07 og 02.07), 39 tilfeller av "ekstra" tenning, dvs tenning og slukking mer en en gang i løpet av samme døgn, og 9 tilfeller av tenning før solnedgang, sammenlignet med astronomisk tabell. En del av disse skyldes koblinger i forbindelse med vedlikehold, men noen skyldes også feil.

Et argument for at hele anlegget skal tenne sammen er at det reduserer brå overganger mellom områder med lyset tent og områder der det enda ikke har skjedd. Men i overgangsfasen mellom lyst og tussmørke, hvor solen fortsatt har et betydelig bidrag, har dette mindre innvirkning enn etter det har blitt helt mørkt.

9.1 Nåværende forbruk

Fra tennloggen for perioden 01.05.2010 til 30.04.2011 som har blitt analysert, er forbruket, når man ser bort fra de 39 tilfellene av eksta tenning, presentert i Tabell 9.1.

Måned	Antall brenntimer, i timer	Forbruk, i MWh
Januar	538,03	1748,608
Februar	410,03	1332,608
Mars	362,72	1178,829
April	249,20	809,9
Mai	154,78	503,0458
Juni	64,08	208,2708
Juli	138,20	449,15
August	222,52	723,1792
September	314,02	1020,554
Oktober	425,82	1383,904
November	495,83	1611,458
Desember	567,98	1845,946
Totalt	3943,22	12815,45

Tabell 9.1: Nåværende forbruk

Siden det kun er innkoblingstiden og ikke selve forbruket som er målt, er det noe usikkerhet i tallene. Hovedsakelig fordi tapene, som hovedsakelig ligger i forkoblingene, i forhold til installert lampeeffekt ikke nødvendigvis stemmer overens med de estimerte 10 %. Eventuelle feil som normalt medfører redusert forbruk blir heller ikke med i forbruksberegningen.

Måling av det faktiske forbruket vil medføre å installere måleutstyr i hvert av de ca 1100 tennskapene. Av praktiske årsaker er det forståelig at dette ikke er gjort, men med fremtidige revideringer av veinormalen og innfasing av målere med fjerneavlesing vil det trolig komme i fremtiden.

For anlegg uten OLCer kan man da tenke seg at loggført forbruk kan benyttes i forbindelse med automatisk registrering av feil i anlegget, siden de fleste feiltyper medfører reduksjon av forbruket.

10 Beregning av sparepotensiale for Trondheim kommune

Installasjonsmessig er det å beholde dagens hovedkonsept med innkobling av sløyfene med kun av/på styring via kontaktor klart enklest. Hvor stort sparepotensiale er under disse forutsetningene og i tillegg sparepotensiale ved dimming skal derfor undersøkes.

10.1 Beregnet nødvendig tenntidspunkt for de forskjellige belysningsklassene

For beregning av nødvendig tenntidspunkt er hovedkildene som er benyttet tennloggen fra det nåværende styringssystemet sammen med astronomiske tabeller og målingen uten tent belysning.

Størst usikkerhet er her knyttet til hvor representativ målingen uten tent belysning er for andre områder av Trondheim og kvaliteten på dataen fra tennloggen, I tillegg til utlukingen nevnt i 9.1 ble det også observert i forbindelse med beregningene at belysningen ved åtte tilfeller hadde tent før solnedgang.

Det ble tatt utgangspunkt i kvelden 24 mai, som var samme dato som målingen med lyset slukket ble gjennomført. Tennloggen som er benyttet i beregningen er fra 2010, og hadde nøyaktig samme tenntidspunkt som den observert under disse målingen. Og morgenen 26 mai hadde samme slukketidspunkt som under målingen med lyset slukket.

Under antagelse om at nødvendig tenntidspunkt har samme prosentvis forskyvning i forhold til nåværende styring, siden værphenomenene som påvirker fotocellen vil påvirke luminansnivået på samme måte, ble tenntidspunktene så beregnet med basis i tidsforskjellen mellom allminnelig tussmørke og solned/oppgang og målt nødvendig tenning for de forskjellige belysningsklassene.

Astronomiske tabeller for både solnedgang og allminnelig tussmørke er hentet inn via nettet (http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneYear.php) De kunne selvsagt vært regnet ut via formlene, men det ble ansett som unødvendig merarbeid.

Belysningsklasse	MEW4 tenning	MEW4 slukking	MEW3 tenning	MEW3 slukking	MEW2 tenning	MEW2 slukking
Prosentvis forskyving	+17,5%	-17%	+10%	-12,5%	+5,5%	-8,5%

Tabell 10.1: forskyving av tenn og slukketidspunkt i forhold til dagnes styring, etter belysningsklasse

For detaljert oversikt over de beregnede tenntidspunktene se vedlegg C2, månedsvis oppsummering finnes i Tabell 10.2.

Måned	Antall brenntimer, nåverende styring	Beregnet antall brenntimer, MEW4	Beregnet antall brenntimer, MEW3	Beregnet antall brenntimer, MEW2
Januar	538,03	522,94	526,75	529,45
Februar	410,03	400,42	403,06	404,93
Mars	362,72	352,63	355,31	357,21
April	249,20	239,35	241,82	243,57
Mai	154,78	129,82	137,12	142,29
Juni	64,08	29,88	38,86	45,33
Juli	138,20	129,23	140,16	147,91
August	222,52	208,60	212,73	215,66
September	314,02	303,26	306,32	308,48
Oktober	425,82	414,17	417,34	419,58
November	495,83	482,46	486,14	488,74
Desember	567,98	552,97	557,48	560,68
Totalt	3943,22	3765,73	3823,10	3863,84
Prosentvis sparing		4,50	3,05	2,01

Tabell 10.2: anslått antall brenntimer og sparepotensial ved kun justert tenntidspunkt.

Sparepotensialet vist i Tabell 10.2 ligger kun på noen få prosent, men hvis man tar med i betraktningen den installerte effekten på 3,25 MW, utgjør det likevel økonomisk sett flere hundre tusen.

Oversikt over hvor stor andel av Trondheims belyningsanlegg som hører inn under hver av belyningsklassene var ikke mulig å fremskaffe, men det antas at MEW4 blir dominerende når man tar hensyn til at belyningsklassen kan reduseres i tidsperioder med lite trafikk.

For å kunne utnytte dette potensialet må antall sensorer økes, sensortype byttes til luminansmåling og styringsmessig oppstyking i forhold til belyningsklasse gjennomføres.

Siden det ikke er et lovmessig krav at kommunale veilysanlegg skal følge veinormalen er det også mulighet for å velge å slukke deler av anlegget helt, selv om belyningskravene da ikke vil være oppfylt. Det har tidligere blitt gjort på sommerstid. Tidsrommet mellom 24/5 og 21/7 er perioden hvor dette vil ha minst innvirkning siden allminnelig tussmørke ikke intrefør i denne perioden.

Å slukke anlegget helt kan også tenkes for deler av natten ellers i året, men vil vesentlig redusere sikkerheten både i forhold til trafikkavvikling og i forhold til trygghetsfølelsen til beboere og fotgjengere. En slik slukking bør derfor ha begrenset omfang til tider hvor det er minimal trafikk.

10.2 Sparepotensiale ved dimming

Insatallasjoner med dimming og styring ved luminansmåling er styringskonseptet som gir lavest forbruk samtidig som det oppfyller veinormalens krav til luminansnivå.

Potensialet for neddimming er særlig stort ved snøforhold og de langsame overgangene fra mørkt til lyst om morgenen om sommeren. Ved tenning krever nemlig de fleste lampetyper en viss tid på full effekt for å varme opp og oppnå stabilitet.

Pga problemene ved forsøksanlegget i Høgskoleringen ble hovedkilden til utregning av potensialet for dimming målingen ved forskejlige føreforhold i tillegg til værdata. For inn og utkoblingstidspunkt ble tidene fra 10.1. benyttet.

Dimmepotensialet for de tre målte føreforholdene, snødekke, våt veibane, og tørr veibane, ble utregnet ved å sammenligne de målte luminansverdiene med luminanskravene. Siden alle målingene ble foretatt på tidspunkt hvor solen ikke hadde noe bidrag til belysningsnivået vil det utregnede potensialet være noe lavere enn det reelle ved kontinuerlig regulering, særlig i morgentimene.

Sammenhengen mellom luminansnivået på veien og dimmingsgraden for armaturene antas lineær, slik at dimming til 50 % gir 50 % reduksjon i luminansnivået. De prosentvise anntagelsene er i så henseende med henblikk på armaturenes lysfluks, og ikke effektforbruk. For 50 % lysytelse oppnås normalt ca 30 % energibesparelse ved bruk av damplamper (Statens vegvesen Håndbok 264).

Labmålinger av armaturtypen installert i Høgskoleringen tilsier dog en mer direkte sammenheng enn se Tabell 10.3.

Målt lysfluks, som % av maks	100	97,79	91,70	83,59	74,96	65,83	56,16	46,12	35,62	24,38	17,10
Målt effektforbruk som % av maks	100	98,68	90,73	81,46	72,19	62,25	52,98	43,05	33,11	23,84	17,88

Tabell 10.3: Utdrag fra målinger av lysfluks vs effektforbruk for armaturtypen installert i Høgskoleringen, målingene er gjennomført av Jørgen Heide våren 2011.

Som indikasjon på når veiene har snødekke er data hentet inn fra brøytemannskapenes logger. Disse er delt opp for vest og østsiden av Trondheim, men viser ved gjennomgang ikke vesentlig forskjell for disse to grupperingene. Kvaliteten på disse loggene kan nevnes å være noe varierende, men i hovedsak var det mulig å komme frem til når det var snøfall. Kopi av brøyteloggene finnes i vedlegg C3. Det antas at snøen blir liggende på veien i 3 døgn fra brøytebehovet inntarff.

Værdata for nedbør og snødekke er også hentet inn via meteorologisk institutt (eklima.no). Disse dataene er hentet inn for nærmeste målestasjon, som befinner seg i Leinstrand. For snøforholdene viser målestasjonen her vesentlig mer snø enn brøyteloggene. Siden brøyteloggen er mer lokale og forholdene på vei er noe forskjellig fra forholdene ved en målestasjon, er det brøyteloggen som er lagt til grunn for å indikere snødekke. Det antas våt veibane ved nedbør over 5 mm i løpet av døgnet, når det ikke samtidig er snødekke.

I forhold til muligheten for å redusere belyningsklassen antas det at MEW4 kan benyttes fra 00:00 til 05:30 på hverdager og fra 03:30 til 07:00 i helgene, natt til lørdag og natt til søndag.

På grunn av utregningsmetoden som her benyttes, vil den gi samme antall timer i hver av de respektive bolkene for alle veiene med samme belyningsklasse. Det velges derfor å bare vise en enkelt av de målte veiene, Elgesetergate.

For Elgesetergate, som har belyningsklasse MEW2 under normale trafikkforhold, indikerte alle målingene vesentlig høyere luminansnivå enn belyningsklassen krever. Med snødekke ble det gjennomsnittlige luminansnivået målt til 7,31 cd/m². Under disse forholdene kan lysutbyttet reduseres til 20%, som også er satt som minimum for drift av anlegget.

Ved våt veibane ble luminansnivået målt til 1,569 cd/m². Det antas her at dimming er uaktuelt ved MEW2, mens lysutbyttet kan reduseres til 50% ved MEW4. For den tredje tilstanden, tørr veibane, tilsa luminansmålingen, som var på 1,73 cd/m², 10% reduksjon ved MEW2 og 55% reduksjon ved MEW4.

Prosent av normal lysfluks	Lengde oppvarming, 100%	Lengde tørr MEW2, 90%	Lengde våt MEW2, 100%	Lengde tørr MEW4, 45%	Lengde våt MEW4, 50%	Lengde snødekke, 20%
Januar	15,50	44,62	0,00	20,00	0,00	449,34
Februar	14,00	167,58	19,48	94,50	9,00	100,38
Mars	15,50	119,09	4,75	85,47	5,50	126,41
April	15,00	77,14	18,76	121,34	15,65	18,53
Mai	15,50	40,94	7,54	131,35	13,80	0,00
Juni	14,37	7,85	4,68	53,95	1,46	0,00
Juli	15,50	23,52	3,47	38,20	59,48	0,00
August	15,50	72,34	5,98	104,04	15,11	0,00
September	15,00	133,63	16,61	120,67	22,00	0,00
Oktober	15,50	221,59	32,00	128,50	22,00	0,00
November	15,00	212,71	0,00	94,50	0,00	166,54
Desember	15,50	211,62	0,00	85,50	0,00	248,06
Per år	181,86	1332,60	113,26	1078,02	164,00	1109,25

Tabell 10.4: Dimmepotensiale for Elgeseter gate. Presentert som antall driftstimer ved forskjellige dimmenivå.

Tabell 10.4 viser anslaget over dimmepotensialet for Elgeseter gate. Ved 59% av det totale antall brenntimer er behovet under 50% av full lysflux. Hvis man antar at effektforbruket reduseres i skala 1:1 tilsvarende det som er indikert i Tabell 10.3, vil effektforbruket reduseres med 43%.

11 Diskusjon

For å oppnå målet om å samle inn driftsdata med dimming fra forsøksstrekningen i Høgskoleringen er det i etterkant klart at Unilon på et mye tidligere tidspunkt burde vært tilsidesatt til fordel for f.eks. LonMaker, selv om det å legge inn den astronomiske klokken, som er blant de innebygde funksjonene til en styringsenhet fra Philips, her er noe mer utfordrende. Etter at snøen smeltet vekk ble integrering av denne enda mindre viktig.

For målingene med forskjellige føreforhold hadde det også vært en fordel hvis illuminansverdier hadde blitt målt i tillegg til luminansmålingne, siden det ikke var mulig å konkludere med sikkerhet i forhold til hvorfor noen av målingene viste høyere luminans ved våt veibane, mens andre viste høyere ved tørr veibane. Siden det ser ut til å være tilsvarende variasjoner ved begge områdene som hadde flere veier som ble målt, antas det at det er mer sannsynlig at det skyldes variasjoner i veidekket enn variasjoner i værforhold og lysforurensning.

For innkoblingstidspunktet funnet i 10.1 ville flere målinger, helst ved andre årstider, også vært en fordel, men resultatene totalt sett virker fornuftige. Det er et vist sparepotensiale ved å optimalisere tenntidspunktene for hver belyningsklasse, men krever flere og mer avanserte sensorer for å bli implementert. Hvis luminanssensorer skal brukes, uten at det er i forbindelse med dimming, kan de f.eks. plasseres i veiene med lavest luminanskrav. De kan dermed, forutsatt at de kontinuerlig sender inn måledata til en database, brukes til å tenne alle veilysanleggene i samme definerte sone når deres respektive minimum luminanskrav passerer etter solnedgang.

Hvis man velger at veinormalens krav til enhver tid skal opprettholdes, dvs minimum MEW4 for vanlige veier og minimum MEW5 for veier med midtdeler og gater med farsgrense 30 km/t, som laveste neddimningspunkt ved redusert trafikk, er det totalt sett lite å spare for veiene og gatene som allerede har disse belyningsklassene. Hovedvekten av dimmepotensialet ligger da i forhold til snødekke og eventuell overdimensjonering av belyningsanlegget. Nye anlegge vil alltid pga vedlikeholdsfaktoren i utgangspunktet være 20% overdimensjonert. Det ligger dermed et visst dimmepotensiale innebygget i nye anlegg, men den reduseres over tid.

Hvor mye som kan spares ved dimming er i stor grad avhengig av hvilket tidsrom man velger at belyningsklassen kan reduseres for utregningen i 10.2, der redusert krav ble valgt fra midnatt til halv seks om morgenen på hverdager, og halv fire om natten til syv om morgene i helgen, blir det totale forbruket tilsvarende 2283 brenntimer ved full effekt per år, hvis man forutsetter 1:1 sammenheng mellom lysflux og effektforbruk, noe som i henhold til Tabell 10.3 ser ut til å være en grei antagelse. Til sammenligning er dagens forbruk på 3943 brenntimer. Eksempelet i Tabell 10.4 viser dermed et sparepotensiale på å 43 %, sammenlignet med dagens styring.

Antagelsen om at Tabell 10.3 er representativ er dog ganske usikker da den kun er for dimming ved hjelp av den spesifikke elektroniske forkoblingen brukt i forsøksanlegget i Høgskoleringen. Dimming via f.eks. kun installasjon av spenningsreducerende enheter i styringsskapene kombinert med å beholde de eksisterende magnetiske forkoblingene, som antas å installasjonsmessig være billigere vil ha høyere tap. Dette fordi dimmingen her skjer ved at de magnetiske forkoblingene beveger seg ut av sitt normale arbeidsområde og derfor reduserer strømgjennomgangen i lyskilden ytteligere.

Undersøkelse av mulighetene for installasjon av denne typen sentralbaserte dimmeanlegg kan være interessant å se nærmere på for fremtidige oppgaver.

12 Konklusjon

Selv om det er mulig å spare opp til i størrelsesorden 5 % kun ved å optimalisert innkoblingstidspunktene ut fra den enkelte veis belyningsklasse og lokale værforhold er potensialet ved dimming vesentlig høyere.

Å optimalisere kun med tanke på å justere tenntidspunkt ved måling av luminans virker på nåværende tidspunkt urealistisk pga prisen på det nødvendige måleutstyret. En viss grad av justering er likevel mulig å få til uten å øke antall målepunkter ved kun å legge inn forsinkelser for innkobling av veistrekingen med lavest belyningsklasse.

Det store sparepotensialet ligger i dimming. Som vist i 10.2 kan sparepotensialet ligge over 40 % under de rette forutsetningene. For å oppnå et slikt potensiale må muligheten for å redusere belyningsklasse ved lav trafikk tetthet benyttes.

Enkelte kommuner velger i dag å slukke belysningen helt for deler av natten for å spare penger, men dette vil ha negative trafiksikkerhetsmessige følger, i tillegg til redusert trygghetsfølelse for beboere og fotgjengere. Dimming er derfor et mye bedre alternativ.

Biografi

- Statens vegvesen. (2008). Håndbok 264: Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning. Norge: Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Statens vegvesen. (2002). Håndbok 237: Veg- og gatelys. Norge: Statens vegvesen Vegdirektoratet.
- Bowers Brian (1998). Lenghtening the day: a history of lighting ISBN: 0198565488, Oxford University Press.
- Veglysnorm, Trondheim kommune , Revidert 22 februar 2010.
- Statens kartverk. (2011). Norgeskart, Statens kartverk. Hentet Juni 2011 fra Websidene til Statens kartverk: <http://kart.statkart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>.
- Astronomiske tabeller hentet fra Astronomical Applications Department, US Navy (http://aa.usno.navy.mil/data/docs/RS_OneYear.php)
- Brun, T.E. Diverse samtaler og epostkorrespondangse.
- Larsen, P. J. (2011). Diverse samtaler.
- Hansen, E. H. (2011). Diverse samtaler.
- Heide, J.A. (2011). Diverse samtaler og epostkorrespondangse.

Vedleggsliste

- A1: Analyserapport Fstningsgata med snødekke
- A2: Analyserapport Festningsgata med våt veibane
- A3: Analyserapport Festningsgata med tørr veibane
- A4: Analyserapport Wedels gate med snødekke
- A5: Analyserapport Wedels gate med våt veibane
- A6: Analyserapport Wedels gate med tørr veibane
- A7: Analyserapport Tyholtveien med snødekke
- A8: Analyserapport Tyholtveien med våt veibane
- A9: Analyserapport Tyholtveien med tørr veibane
- A10: Analyserapport Klæbuveien med snødekke
- A11: Analyserapport Klæbuveien med våt veibane
- A12: Analyserapport Klæbuveien med tørr veibane
- A13: Analyserapport Elgeseter gate med snødekke
- A14: Analyserapport Elgeseter gate med våt veibane
- A15: Analyserapport Elgeseter gate med tørr veibane
- A16: Analyserapport Udbyes gate med snødekke
- A17: Analyserapport Udbyes gate med våt veibane
- A18: Analyserapport Udbyes gate med tørr veibane
- A19: Analyserapport Osloveien med snødekke
- A20: Analyserapport Osloveien med våt veibane
- A21: Analyserapport Osloveien tørr veibane

B1-9: Analyserapporter Klæbuveien med lyset slukket

- C1: Tennlogg for det kommunale veilysanlegget og
- C2: Utrekning av nødvendig tenntidspunkt gitt belysningsklasse
- C3: Kopi av bøytemannskapenes i Trondheims logg for vinten 2010/2011
- C4: Utrekning av dimmepotensiale for Elgeseter gate

Alle vedleggene befinner seg i den vedlagte ZIP-filen, og kan lastes ned fra Daim systemet.,