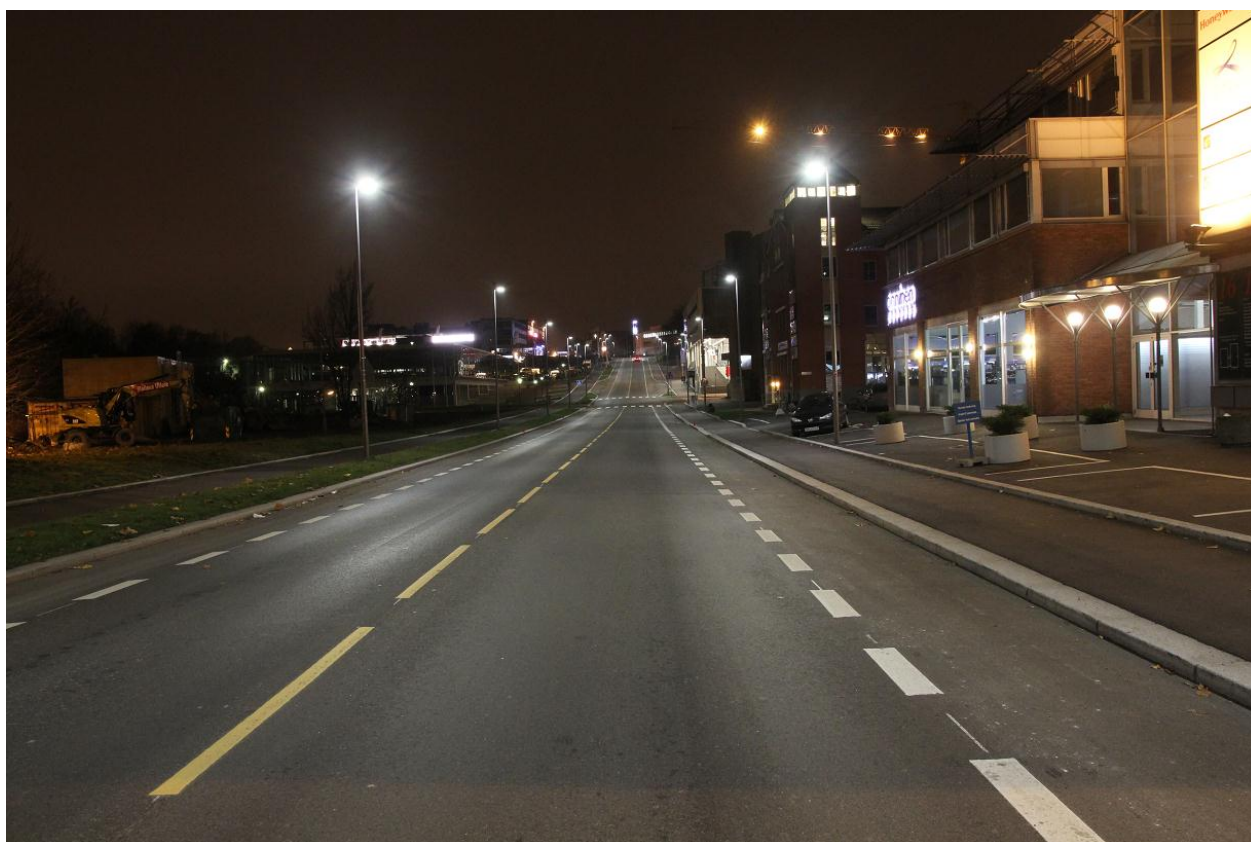


Lysmåling i Ensjøveien



D04	2013-05-22	For godkjenning – tilføyd tabell 5 og 8	PJL		PJL
D03	2013-05-02	For godkjenning	PJL	TM	PJL
D02	2013-01-25	For godkjenning	PJL	TM	PJL
D01	2012-03-06	For godkjenning	PJL		PJL
B01	2012-03-05	For intern fagkontroll	PJL	TM	PJL
A01	2011-11-10	For intern fagkontroll	PJL	TM	PJL
Rev.	Dato:	Beskrivelse	Utarbeidet	Fagkontroll	Godkjent

Innhold

1	Sammendrag/resultat	4
2	Måleprosedyre	6
3	Detaljer fra måling	7
3.1	Registrerte detaljer	7
3.2	Måleresultat	9
3.2.1	Detaljer måling av luminans [cd/m^2] 2011 og 2012	9
3.2.2	Detaljer måling av illuminans [lux], 2011 og 2012	10
3.2.3	Detaljer måling av fargekvalitet 2011	11
3.2.4	Detaljer måling av fargekvalitet[Ra] og [K], 2012	11
3.2.5	Detaljer kontroll av nedsmussing av armaturer	12
4	Evaluering teknologi.....	13
4.1	Lystilbakegang	13
4.1.1	Luminans [cd/m^2]	13
4.1.2	Illuminans [lux]	14
4.1.3	Farge 15	15
4.2	Lyskalkulasjon	15
4.3	Energibetraktning	15
4.4	Kostnader sett over levetiden	15
4.4.1	Se bort fra reinvestering	16
4.4.2	Fremtidig utvikling	16

1 Sammen drag/resultat

Målte verdier luminans - 2011					Målte verdier luminans - 2012				
	Mean	Min	Max	Uo		Mean	Min	Max	Uo
Kjørefelt 1	0,84	0,52	1,78	0,62	Kjørefelt 1	0,66	0,42	1,26	0,64
Kjørefelt 2	0,58	0,41	1,43	0,71	Kjørefelt 2	0,53	0,40	1,37	0,75
Krav MEW4	<0,75	-	-	<0,4	Krav MEW4	<0,75	-	-	<0,4

Målte verdier illuminans - 2011					Målte verdier illuminans - 2012				
	Mean	Min	Max	Uo		Mean	Min	Max	Uo
Høyre Kjørefelt	13	7	20	0,54	Høyre Kjørefelt	11,5	7	17	0,59
Krav CE4	<10	-	-	0,40	Krav CE4	<10	-	-	0,40

[Type]	Armaturløst kost per km	Energikost per år	Lyskildeskift/4 år	Armaturskift/20 år	LCC etter 25 år
LED	278 167	13 011	-	278 167	881 600
NaH	76 853	12 245	10 667	-	446 987

- Målt luminans viser en større reduksjon i kjørefelt 1 enn i kjørefelt 2 fra 2011 til 2012. Forskjellen antas å skyldes veibanen, begge kjørefelt ligger ved måling 2012 under kravet til luminans.
- Målt illuminans viser en gjennomsnittlig nedgang på ca. 10 % fra 2011 til 2012. Verdiene tilfredsstiller fortsatt kravene. Hvis utviklingen videre den nærmeste tiden fortsetter lineært vil man ha nådd vedlikeholdsfaktoren på 0,8 om ca. 1 år, dvs 11000 t brenntid. Men siden vi ikke har en måling ved installasjon kun en lysberegning å forholde oss til har vi kun 2 punkter på utviklingskurven, og kan derfor ikke si noe sikkert om den videre utviklingen.
- Ved kontroll av påvirkningen på lystilbakegang fra nedsmussing av armatur, viste det seg å stå for ca. 4 % av lystilbakegangen etter 2 år. Korrigert for nedsmussing var den totale lystilbakegangen ca. 7,7 % over de 2 årene.
- Jevnhet på belysninger er godt over kravet, med en jevnhet på 0,62.
- Registrert fargetemperatur og Ra-faktor viser godt samsvar med produktets spesifikasjoner, men viser en viss forandring i fargetemperatur over tid.
- Ved sammenligning av data for dette prosjektet, tekniske data for armatur og innkjøpskostnader viser det at over en 25 års periode vil dette LED anlegget ha en levetidskostnad lik 2 ganger hva man kunne ha fått ved å benytte et standard høytrykksnatrium (NaH) anlegg.
- Installert effekt blir marginalt høyere ved LED anlegget enn ved et sammenlignbart NaH anlegg. 4,53 mot 4,27 kW/km.

- For å se på en framtidssituasjon er det sett på en situasjon hvor LED har 20 % lavere energiforbruk enn NaH og man har muligheten til å skifter innmaten i LED armaturer. Da må LED ha en armaturkostnad på ca. 5000 kr for å være lik i LCC med et NaH alternativ.

2 Måleprosedyre

Måling av veilysanlegget er gjort i henhold til rutiner beskrevet i EN-13201 del 4.

- For måling av luminans er det benyttet et CCD basert luminanskamera fra TechnoTeam. Kamera er et ombygd Canon EOS 550 D, digital speilreflekskamera. Kameraet er kalibrert for luminansmålinger, og kan ved analyse i tilhørende software, LMK Labsoft V. 11.5.2, gjengi skalerte luminansverdier i bildeområdet ned til hver enkelt pixel. Målenøyaktigheten for oppsettet antas å tilfredsstille nøyaktighetsklasse B som klassifisert i DIN 5032-7. Det gjøres oppmerksom om at luminans er avhengig av spesielt underlagets tilstand i forhold til reflekterende egenskaper. For vurdering i forhold til krav må luminans målinger vurderes i sammenheng med illuminansen.
- For måling av illuminans er det benyttet et håndholdt kalibrert Haegner luxmeter type BC1.
- For måling av Ra og fargetemperatur i [Kelvin] er det benyttet et mobilt spektroradiometer, av typen «Specbos 1201». Instrumentet har et måleområde på 2 grader. Måleresultat må anses som indikerende verdier og kan ikke uten videre benyttes som grunnlag for reklamasjon.
- Lyskalkulasjoner foretatt ved bruk av «Relux light simulation tools versjon 2012.1». Filer for armatur oversendt fra leverandør.

3 Detaljer fra måling

3.1 REGISTRERTE DETALJER

Måletidspunkt:

- 2011-11-09 Kl 23:00
- 2012-10-02 Kl 00:00
- 2013-04-09 Kl 23:30

Målested/observasjonspunkt:

- Adresse: Ensjøveien 14
- GPS koordinater: Nord 59,91644 Øst 10,78381

Værforhold:

- **2011:**
 - Overskyet vær
 - Lufttemperatur ca 5 grader celsius
 - Høy luftfuktighet og tilløp til tåke, men god sikt og tørre overflater
- **2012:**
 - Lett skydekke
 - Lufttemperatur ca 8 grader celsius
 - God sikt og tørre overflater
- **2013:**
 - Lett skydekke
 - Lufttemperatur ca 5 grader celsius
 - God sikt og tørre overflater

Stedlige forhold:

Rett stekning med synkende gradient fra nord mot sør. Kommersielt område med mange bygninger i omkringliggende område. Noe strølys fra bygninger men lite parkeringsplassbelysning. Målinger foretatt uten påvirkning av billys.

Armaturer:

- LED armaturer fra AEC levert av Multilux. ILO-STO-54-4k.

Drift/vedlikeholdsstatus:

- Anlegg satt i drift sommeren 2011, så antas å ha en brenntid lik ca. 2000 t ved måling i november 2011 og ca. 6000 t ved måling i oktober 2012. Sammenlignende lyskalkulasjon er foretatt med vedlikeholdsfaktor lik 1.
- Annet vedlikehold ikke registrert. Armaturer antas å ikke ha vært rengjort siden idriftsettelse.

Elektriske forhold:

- Ikke registrert

3.2 MÅLERESULTAT

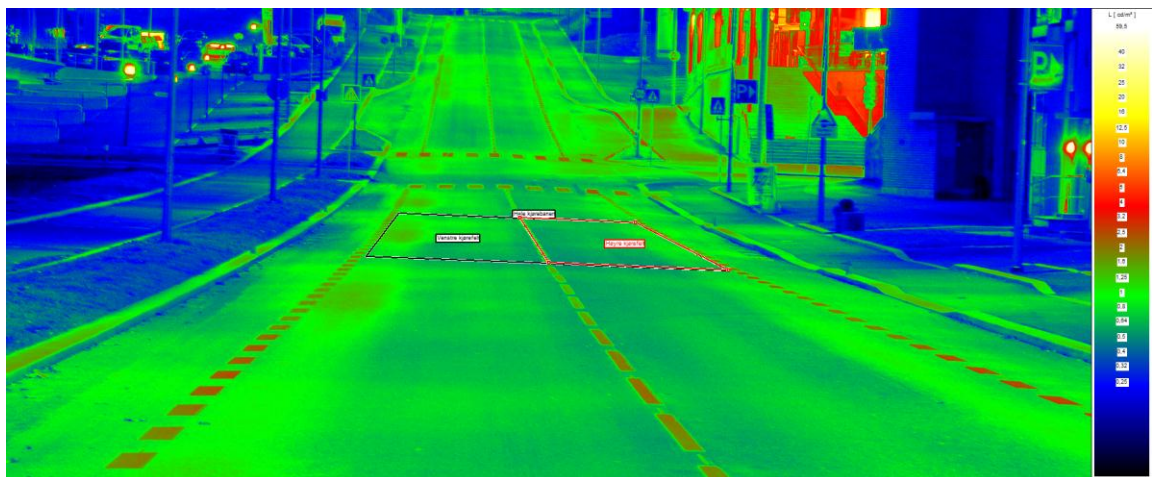
3.2.1 Detaljer måling av luminans [cd/m^2] 2011 og 2012

Målte verdier luminans - 2011				
	Mean	Min	Max	Uo
Kjørefelt 1	0,84	0,52	1,78	0,62
Kjørefelt 2	0,58	0,41	1,43	0,71
Krav MEW4	<0,75	-	-	<0,4

Tabell 1. Luminansmålinger i Ensjøveien 2011

Målte verdier luminans - 2012				
	Mean	Min	Max	Uo
Kjørefelt 1	0,66	0,42	1,26	0,64
Kjørefelt 2	0,53	0,40	1,37	0,75
Krav MEW4	<0,75	-	-	<0,4

Tabell 2. Luminansmålinger i Ensjøveien 2012



Figur 1. Luminansbilde av Ensjøveien

3.2.2 Detaljer måling av illuminans [lux], 2011 og 2012

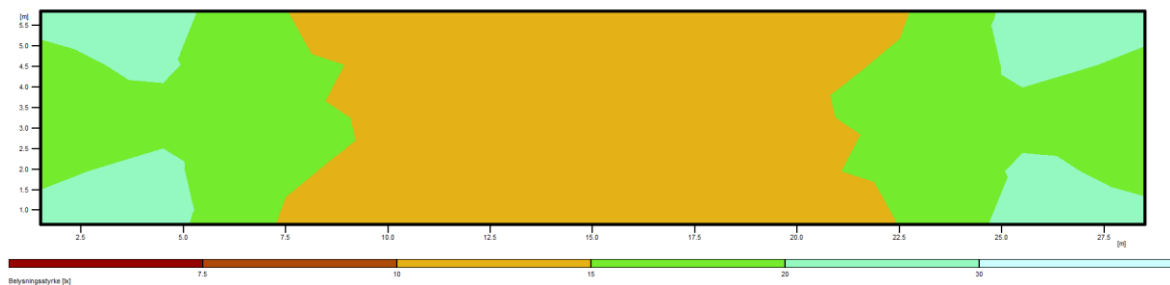
Registrering av illuminans i kjørebane, enkelte verdier i tabell 3 for 2011 er interpolert fra målte verdier og basert på antakelse om symmetrisk lysfordeling. På grunn av tosidig symmetrisk belysning er det valgt å kun referere måling i 1 kjørefelt.

Målte verdier illuminans - 2011				
	Mean	Min	Max	Uo
Høyre Kjørefelt	13	7	20	0,54
Krav CE4	<10	-	-	0,40

Tabell 3. Illuminansmålinger i Ensjøveien 2011

Målte verdier illuminans - 2012				
	Mean	Min	Max	Uo
Høyre Kjørefelt	11,5	7	17	0,59
Krav CE4	<10	-	-	0,40

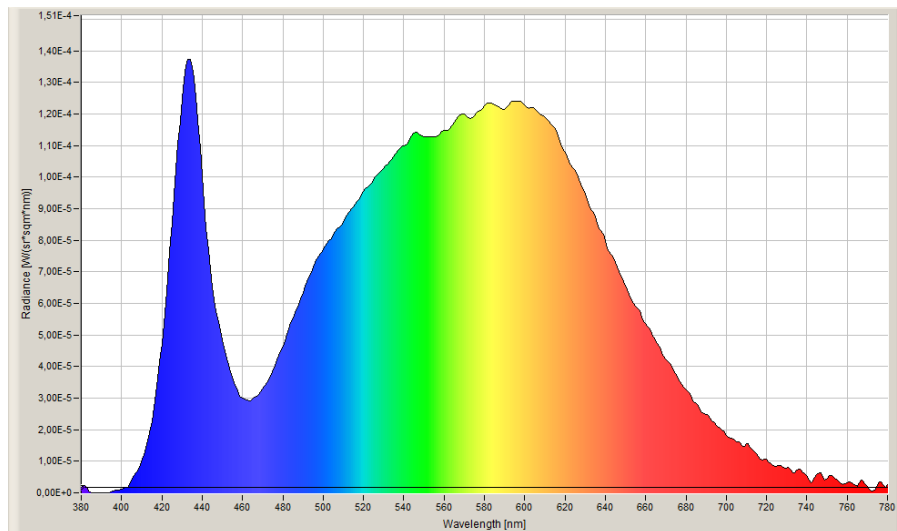
Tabell 4. Illuminansmålinger i Ensjøveien 2012



Figur 2. Fordeling av illuminansnivåer mellom 2 stolper i Ensjøveien (hentet fra lyskalkulasjon)

3.2.3 Detaljer måling av fargekvalitet 2011

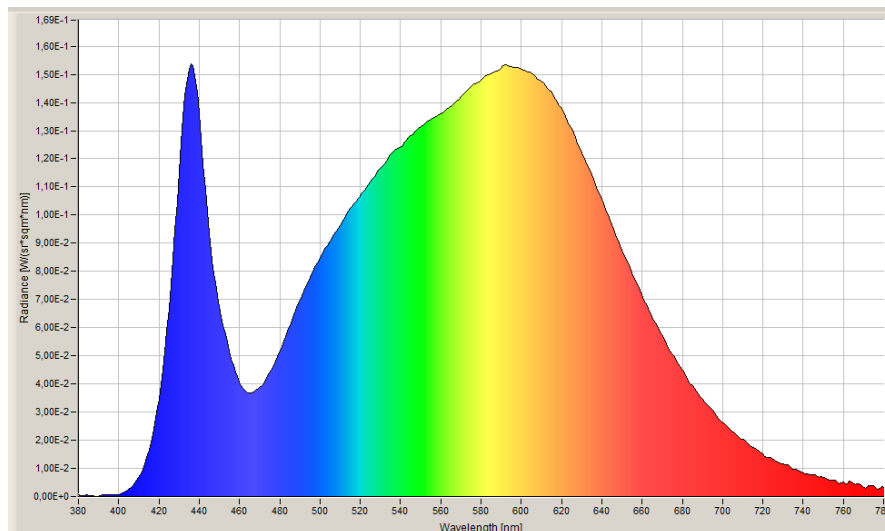
Det ble registrert en fargetemperatur på ca 4200° Kelvin, og en Ra faktor på ca 82 for enkeltarmaturer (det er trukket et gjennomsnitt basert på måling av 3 armaturer).



Figur 3. Registrert fargespekter for LED armatur i Ensjøveien i 2011

3.2.4 Detaljer måling av fargekvalitet[Ra] og [K], 2012

Det ble registrert en fargetemperatur på ca 3900° Kelvin, og en Ra faktor på ca 82,5 for enkeltarmaturer (det er trukket et gjennomsnitt basert på måling av 3 armaturer).



Figur 4. Registrert fargespekter for LED armatur i Ensjøveien i 2012

3.2.5 Detaljer kontroll av nedsmussing av armaturer

Det ble gjort en sjekk av 10 punkter på midtstripen av veien mellom 2 armaturer, før og etter vask av de fire aktuelle armaturer (tosidig belyst) samt de tilstøtende 8 nærmeste armaturer.

Endring i belysningsnivå ved vask av armatur			
Målepkt	Før [lux]	Etter [lux]	Endring [%]
Måle 1	14,1	14,3	1,4
Måle 2	13,7	13,9	1,4
Måle 3	9,6	10,0	4,0
Måle 4	7,3	7,7	5,2
Måle 5	6,7	7,2	6,9
Måle 6	7,1	7,5	5,3
Måle 7	8,1	8,6	5,8
Måle 8	11,1	11,6	4,3
Måle 9	13,8	14,0	1,4
Måle 10	14,2	14,6	2,7

Tabell 5. Illuminansmålinger for kontroll av nedsmussing i Ensjøveien 2013

Hvis man tar gjennomsnittet av de 10 målepunktene får man en gjennomsnittlig forbedring av belysningsnivå av ca. 4 % ved vask.

Det er gjort en tilsvarende måling av luminans, som viser en samsvarende forbedring resultatene er ikke presentert her.

4 Evaluering teknologi

4.1 LYSTILBAKEGANG

For å se på det opprettholdte utsendte lyset fra anlegget er det gjort to målinger med 1 år i forskjell. Det er gjort en lyskalkulasjon basert på detaljer om det leverte anlegget, videre er det gjort en registrering av luminans og illuminans etter ca. 2000 t brenntid og etter ca. 6000 t brenntid. Det må bemerkes at det som her registreres er hele anleggets ytelse. For illuminans er det armaturenes utsendte lys naturlig korrigert for evt tilsmussing som registreres i felt, mens det for luminans også tilkommer veioverflatens varierende refleksjon som ikke er sett nærmere på i denne rapporten. Slik sett er det illuminans verdiene som vil være mest relevante, og kan settes mest direkte i sammenheng med lystilbakegang.

4.1.1 Luminans [cd/m^2]

Det registreres en lavere luminans allerede ved måling i 2011 enn hva lyskalkulasjon viser. Dette er ikke oppsiktsvekkende i seg selv, da faktoren for veibanens refleksjon i en slik kalkulasjon er en standard verdi som benyttes for alle veier og ikke valgt spesielt for denne veien, men mer benyttes for et unisont sammenligningsgrunnlag mellom alternative løsninger.

Slik sett forutsettes det at en luminans måling mer gir et innblikk i det faktiske nivået på veien enn sammenlignet med kalkulasjonen. Kravet Oslo Kommune har satt til denne veien antas å være $0,7 cd/m^2$ noe som tilsvarer måling i 2011. Men for måling i 2012 kan vi se dette kravet underskrives. For å se om det er det innkommende lyset eller veioverflaten som er skyld i dette må illuminansmålingene i punkt 4.1.2 legges til grunn.

Uansett kan vi se en forskjell i luminansnivåer mellom måling i 2011 og 2012 på ca. 15 %.

	Målte verdier luminans [cd/m^2]			
	Mean	Min	Max	Uo
Lyscalc uten MF	0,95	0,73	-	0,76
Måling kjørefelt 1 2011	0,84	0,52	1,78	0,62
Måling kjørefelt 2 2011	0,58	0,41	1,43	0,71
Måling kjørefelt 1 2012	0,66	0,42	1,26	0,64
Måling kjørefelt 2 2012	0,53	0,40	1,37	0,75
Krav MEW4	<0,75			<0,4
Luminans forskjell 2011/2012 [%]	16	12	18	-

Tabell 6. Registreringer av luminans i Ensjøveien

4.1.2 *Illuminans [lux]*

Målte verdier illuminans				
	Mean	Min	Max	Uo
Lyscalc uten vedlikeholdsfaktor	16	10,0	22	0,62
Måling høyre kjørefelt 2011	13	7	20	0,54
Måling høyre kjørefelt 2012	11,5	6,8	17,3	0,6
Krav CE4	<10	-	-	<0,4
Lux forskjell calc/2012 [%]	29	32	21	-
Lystilbakegang 2011-2012 [%]	11	3	11	-

Tabell 7. Registreringer av illuminans i Ensjøveien

Siden vi ikke har noen måling fra installasjonstidspunkt er det vanskelig å si noe om sammenligningen med det opprinnelige annet enn å vise det kalkulerte for anlegget. Siden det er et såpass stort avvik etter 2000 t brenntid kan det antas at dette kalkulerte nivået aldri har vært tilstede i anlegget.

Ser vi på målingen i 2011 mot den i 2012 ser vi en jevn nedgang med ca. 10 %. Det kan bemerkes at målingen i 2011 ble gjort forenklet slik at enkelte av målepunktene ble interpolert, men dette ses på som en plausibel antakelse uten vesentlig påvirkning av måleresultat utfra en antatt symmetri i lysfordelingen. Men en sammenligning av enkeltpunkter kan med dette utgangspunktet virke noe feil, slik at det er kun vist en sammenligning av totalen som er basert på 30 målepunkter per kjørefelt.

Til tross for denne nedgangen må det bemerkes at anlegget fortsatt yter bedre enn minstekravet til belysningsklasse CE4. Hvis lystilbakegangen for systemet fortsetter samme utvikling som registreringen viser sett i sammenheng med lyskalkulasjon vil vedlikeholdsfaktoren på 0,8 underskrides i løpet av ca. 1 år eller ytterligere 4000 brenntimer. For å kunne følge denne utviklingen anbefales derfor ytterligere en måling for å se denne utviklingen over tid. Når vi har 3 punkter på denne utviklingen vil vi kunne se mer på tendensen og kunne si noe om den videre utviklingen.

Hvis resultatet fra tabell 5 som viser nedsmussing av armaturene, overføres til måling gjort av hele målefelt som vist i tabell 7 vil vi få en noe justert sammenligning. Den korrigerte sammenligningen er vist i tabell 8 under.

Lystilbakegang korrigeret for nedsmussing [lux]				
	Mean	Min	Max	Uo
Lyscalc uten vedlikeholdsfaktor	16	10,0	22	0,62
Måling høyre kjørefelt 2011	13	7	20	0,54
Måling høyre kjørefelt 2012 korrigeret for nedsmussing	12	7	18	0,6
Krav CE4	<10	-	-	<0,4
Lux forskjell calc/2012 [%]	26	30	18	-
Lystilbakegang 2011-2012 [%]	7,7	0	7,7	-

Tabell 8. Lystilbakegang i Ensjøveien, korrigeret for nedsmussing

4.1.3 Farge

Måling av fargespekter, Ra og fargetemperatur viser godt samsvar med armaturens tekniske spesifikasjoner som tilsier 4000° Kelvin med en Ra>80. Registrering etter 6000 t brenntid viser en viss nedgang i fargetemperatur men fortsatt innenfor hva som kan anses som akseptabelt.

4.2 LYSKALKULASJON

Det ble basert på lyskalkulasjon gjort en sammenligning med hva man kunne ha oppnådd ved å benytte et konvensjonelt anlegg med høytrykksdamplamper. Det ble da valgt å benytte armaturer fra samme leverandør, og å bruke samme mastekonfigurasjon (samme lyspunkthøyde og tosidig arrangement). Det ble da funnet at man ville kunne øke masteavstand til 37,5 m ved benyttelse av en 70 W høytrykksnatrium lyskilde. Lysnivået ville med denne masteavstanden bli tilnærmet likt, mens noen av de andre kvalitetsparametrene ville blitt noe dårligere, men fortsatt godt innenfor hva man ser som minstekravene for veibelysning (se vedlegg for detaljer).

Lyskilde	System effekt	Masteavstand [m]	Installert effekt per km
[Type]	[W]	[m]	[kW/km]
LED	68	30	4,53
NaH	80	37,5	4,27

Tabell 9. Installasjonsdetaljer Ensjøveien

4.3 ENERGIBETRAKTNING

Basert på lyskalkulasjonene referert i kap. 4.1 ble det videre gjort en sammenligning av nødvendig installert effekt for de forskjellige lyskildetyperne. LED armaturen har en oppgitt systemeffekt på 68 W, mens en 70 W høytrykksnatrium lyskilde har en typisk systemeffekt på ca. 80 W. Kalkulert per kilometer vil det si at disse to variantene har tilnærmet lik installert effekt, systemet sett under ett.

Det er verdt å merke seg at dette resultatet er noe avhengig av effektstørrelsen for damplampen. For merke effekter høyere enn 70 W har damplampen en høyere energieffektivitet enn ved denne lave størrelsen. Dvs at ved 150-250 W vil damplampene fortsatt ha en større fordel energimessig i dag, men ved dette lave nivået, som kan betraktes som gate-belysning snarere enn vei-belysning er LED allerede en god arvtaker. Både i forhold til lyskvalitet og energi.

Hvis det i tillegg tas med i betraktningen en styrestrategi inneholdende dimming, vil LED komme enda gunstigere ut, da LED har et tilnærmet lineært [lm/w] forhold ved dimming i motsetning til damplamper som har et synkende [lm/w] forhold ved dimming.

4.4 KOSTNADER SETT OVER LEVETIDEN

For å se på kostnader for et veilysanlegg vil tre faktorer være innvirkende; energikostnad, investeringskostnad og vedlikeholdskostnad (lampeskifte). I denne sammenheng er det valgt å kun inkludere investeringskostnader for armaturene, da alle andre investeringer vil være like (mer eller mindre). For energikostnad er det benyttet en kostnad lik 0,70 kr/kWh for hele kalkulasjonsperioden.

Som anbefalt i Statens Vegvesen håndbok 264 er det benyttet en kalkulasjonsperiode for LCC lik 25 år. For LED armatur er det antatt behov for utskifte av hele armatur etter 20 år, dvs ca. 80.000

timer brenntid. For NaH er det antatt nødvendig lyskildeskift hvert 4 år, og det er satt en total kostnad lik 400 kr per lyskildeskift. Det er ikke vurdert restverdi ved endt kalkulasjonsperiode.

Med forutsetningene nevnt over kommer alternativ med NaH klart mest gunstig ut. Den store forskjellen kommer som følge av den store forskjellen i investeringskostnader samt behovet for reinvestering i armaturer før utløp av kalkulasjonsperioden.

[Type]	Enhetspris armatur	Armatur kost per km	Energikost per år	Lyskildeskift/4 år	Armaturskift/20 år	LCC etter 25 år
LED	8345	278 167	13 011	-	278 167	881 600
NaH	2882	76 853	12 245	10 667	-	446 987

Tabell 10. LCC for Ensjøveien

4.4.1 **Se bort fra reinvestering**

Hvis man ser bort fra behovet for reinvestering i LED armaturer, vil fortsatt NaH komme ut klart gunstigst over 25 års perioden.

[Type]	Enhetspris armatur	Armatur kost per km	Energikost per år	Lyskildeskift/4 år	Armaturskift/20 år	LCC etter 25 år
LED uten reinvestering	8345	278 167	13 011	-	-	603 433

Tabell 11. LCC for Ensjøveien, uten reinvestering kostnader

4.4.2 **Fremtidig utvikling**

Når det gjelder energikostnad per år er det riktig å bemerke at denne analysen er korrekt for dette anlegget, men effektiviteten på LED lyskilden har hatt en god utvikling de siste årene og forutsettes å utvikles videre i positiv retning. Så ved installasjon i dag ville LED anlegget ha vært minst likt med NaH anlegg når det gjelder energiforbruk i et lignende anlegg.

Som en betraktning for å se på potensialet i LED teknologien og hvilket prisnivå armaturene må ned på for å være konkurransedyktige er det videre gjort en betraktning sett ut ifra en hypotetisk situasjon.

- Det forutsettes at LED teknologien i fremtiden vil ha 20 % lavere energiforbruk enn tilsvarende NaH anlegg. Det er benyttet 70 øre/kWh.
- Det vil gjøres mulig å kun skifte innmaten i LED armaturen og ikke hele armaturen. Det er for denne kalkulasjonen benyttet 1000 kr i nødvendig reinvestering etter 12 år.

Ved disse hypotetiske forutsetningene vil LED armaturen ikke måtte koste mer enn 5000 kr i fremtiden for å kunne være konkurransedyktig sett over levetiden med en NaH armatur som koster 3000 kr.

[Type]	Enhetspris armatur	Armatur kost per km	Energikost per år	Lyskildeskift/4 år	Armaturskift/20 år	LCC etter 25 år
LED med innmatskifte	5000	166 667	9 796	-	33 333	444 907

Tabell 12. LCC for Ensjøveien ved mulighet for skifte av innmat i LED armatur