

Bruk av hvit overflatebehandling av tunnelvegger for å øke kjørebaneluminansen

Christian Forsmo

Master i veg og jernbane

Innlevert: mai 2018

Hovedveileder: Helge Mork, IBM

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg- og miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven er den avsluttende delen for det erfaringsbaserte masterprogrammet Veg og jernbane, som er utviklet i samarbeid mellom NTNU, Statens vegvesen og Jernbaneverket. Statens vegvesen har dekket alle mine kostnader i gjennomføringen av dette studiet, og jeg retter en stor takk til min arbeidsgiver for å gitt meg denne muligheten. Oppgaven er skrevet på deltid høst 2017-vår 2018. Hovedveileder hos NTNU har vært Helge Mork.

Oppgaven tar for seg betydningen av lys overflatebehandling på tunnelvegger, og i hvor stor grad dette påvirker kjørebaneluminansen i tunneler.

En stor takk rettes til gode og engasjerte kollegaer i Statens vegvesen som har hjulpet meg med feltarbeidet og bidratt med mange gode diskusjoner om problemstillingen underveis i arbeidet.

Bodø 15. mai 2018

Innhold

Forord	I
Sammendrag	III
Summary	IV
Liste figurer	V
Liste tabeller	V
Definisjoner og forkortelser	VI
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	1
2. Metode	3
3. Teori	4
3.1 Tunnelsikkerhetsforskrift	4
3.2 Statens vegvesens håndbøker	4
3.3 Standarder	6
3.4 Publikasjoner og rapporter	6
4. Forsøk i tunneler	9
4.1 Opplysninger om forsøktunnelene	9
4.2 Overflatebehandling av tunnelene	10
4.2.1 Valg av produkt	10
4.2.2 Forarbeid og utførelse	13
4.2.3 Kostnader totalt	13
4.3 Måling av luminans	14
4.3.1 Målemetode	14
4.3.2 Måleresultater	15
5 Resultater og diskusjon	21
6 Avslutning	26
Litteraturliste	27
Vedlegg	29

Sammendrag

Håndbok N500 Vegtunneler og V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning angir krav til belysningsnivå i vegtunneler. Som funksjon av adaptasjonsluminansen utenfor tunnelen, hastighet og trafikkmengde på stedet angis påkrevd kjørebaneluminans (cd/m^2). I nyere tids revisjon av håndbøkene er det åpnet for å medregne bidrag fra reflektert lys fra tunnelveggene.

For å undersøke i hvor stor grad hvit overflatebehandling på tunnelvegger (fjell og sprøytebetong) kan påvirke kjørebaneluminansen i tunneler, er det i denne studien gjennomført forsøk med luminansmålinger før- og etter slikt tiltak i to tunneler i Nordland.

Basert på resultatene av forsøket konkluderer denne studien med at valgte overflatebehandling har en begrenset effekt på kjørebaneluminansen, og ikke kan sies å gi noen netto besparelse sett i forhold til energikostnader for belysning. Tiltaket har likevel flere positive virkninger for subjektiv opplevelse av tunnelrommet, og gir økt synbarhet av objekter i tunnelen.

Det anbefales at de to undersøkte tunnelene følges videre over tid for å skaffe erfaringsdata om tiltakets varighet. Det anbefales videre at det utføres grundige studier med tanke på valg av refleksjonskoeffisienter og vedlikeholdsfaktorer som kan benyttes i dimensjoneringen av belysningsanlegg i tunneler.

Summary

Handbook *N500 Vegtunneler and V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning* (design manuals for road tunnels and lighting) states the current requirements and design rules for lighting i road tunnels. The required road luminance (cd/m²) is given as a function of adaption luminance, traffic volume and speed limit. The newly revised handbooks now allow for adding reflected light from the surroundings in the design.

To find to what degree white surface treatment of tunnel walls (rock and sprayed concrete) affects the road luminance, this study has done measurements of luminance before- and after applying such treatment in two tunnels in Nordland.

Based on the results from the research this study concludes that white surface treatment has a limited effect on road luminance, and thus no apparent potential for reducing energy costs for tunnel lighting. The study further concludes that white surface treatment of tunnel wall enhances the subjective experience of the tunnel space, and leads to increased visibility of objects, such as pedestrians, in the tunnel.

The study recommends that the two inspected tunnels are followed up with further measurements over a longer period of time, to get experience regarding maintainability and life-span of the applied treatment. The study also recommends that more thorough research should be carried out regarding the values of reflection- and maintainance factors to be used in the design og tunnel lighting.

Liste figurer

Figur 1 Tunnelprofil T8,5 (Vegdirektoratet, 2006)	9
Figur 2 Tunneltverrsnitt T7,5 (Statens vegvesen Region nord, 1983).....	10
Figur 3 Gjennomsnittlig utslag på gråskala for prøvefeltet (Vegdirektoratet, 2011)	11
Figur 4 Refleksjonsfaktor før og etter vask i Askimporten tunnel (Vegdirektoratet v/ Per Ole Wanvik, 2013) .	12
Figur 5 Sprøyting i Sundsfjordtunnelen 25.10.2018 (foto: Alf Magne Helland, Statens vegvesen).....	13
Figur 6 Oppsett for forenklet punktmåling av luminans	15
Figur 7 Vethaugtunnelen før overflatebehandling	18
Figur 8 Vethaugtunnelen etter overflatebehandling	18
Figur 9 Sundsfjordtunnelen før overflatebehandling	19
Figur 10 Sundsfjordtunnelen etter overflatebehandling	19
Figur 11 Nærbilde av overflatebehandling på sprøytebetong i Vethaugtunnelen	20
Figur 12 Nærbilde av overflatebehandling på fjell i Sundsfjordtunnelen.....	20

Liste tabeller

Tabell 1 Krav til midlere kjørebaneluminans som funksjon av trafikkmengde, fartsgrense, tunnelsone og klokkeslett. (Vegdirektoratet 2016)	5
Tabell 2 Anbefalte verdier for forskjellige veggflaters reflektans (Vegdirektoratet, 2013)	6
Tabell 3 Teoretiske verdier av sammenheng mellom veggens reflektans og resulterende kjørebaneluminans	7
Tabell 4 Opplysninger om forsøktunnelene	10
Tabell 5 Målte luminansverdier før- og etter hvit overflatebehandling i Vethaugtunnelen	16
Tabell 6 Målte luminansverdier før- og etter hvit overflatebehandling i Sundsfjordtunnelen	17

Definisjoner og forkortelser

Forskrift – «generell bestemmelse om borgernes rettigheter eller plikter, fastsatt av forvaltningsmyndighetene som ledd i utøving av offentlig myndighet.» (Store norske leksikon)

Håndbok – Publikasjon utarbeidet av Statens vegvesen Vegdirektoratet som er hjemlet i lovverket. Gir føringer og retningslinjer for blant annet planlegging og utførelse av veganlegg og tilhørende utstyr.

Reflektans – «Refleksjonsfaktor, reflektans, den brøkdel av en bølges energi som reflekteres når bølgen faller inn mot en grenseflate» (Store norske leksikon)

Luminans – Begrepet luminans er innført som mål for hvor lys en flate er. En flate som selv sender ut lys, eller som reflekterer lys, vil ha en bestemt lysstyrke i retningen vinkelrett på flaten. Ved å dividere lysstyrken målt i candela med flatearealet målt i m^2 , får vi lysstyrke per m^2 flate. Dette er et mål på hvor lys flaten er, og kalles flatens luminans i denne bestemte retningen. Økende luminans gir føreren bedre kontrastfølsomhet, synsskarphet og forbedrede blendingsforhold. (Håndbok V124)

Kjørebaneluminans, midlere – Gjennomsnittlig luminans fra vegdekkets overflate. Målearealet vil være hele kjørebanelens bredde og mellom 2 lyspunkter i lengderetning. (Håndbok V124)

Adaptjonsluminans - Luminansforholdene utenfor tunnelen i førerens synsfelt i en gitt avstand fra tunnelportalen og som er dimensjonerende for de luminansnivåene som kreves i innkjøringssonen og overgangssonen inne i tunnelen. (N500)

ÅDT - Årsdøgntrafikk. Det totale antall kjøretøy som passerer et snitt på vegen (i begge retninger) i løpet av ett år, dividert på 365

1. Innledning

Kapitlet gir en kort introduksjon slik at leseren skal kunne sette seg inn i bakgrunn og valgt problemstilling.

1.1 Bakgrunn

Norge er et av de landene i verden som har flest vegtunneler, i dag 1191stk på riks- og fylkesvegnettet. Over tid har det gradvis oppstått et betydelig forfall i disse, sett i forhold til anbefalt standard. Kostnaden for å fjerne forfallet i tunneler er tidligere anslått til å være 15,1 mrd. kr på riksveg (Vegdirektoratet, 2012) og 10,5 mrd. kr på fylkesveg (Vegdirektoratet, 2012)

Etter innføringen av tunnelsikkerhetsforskriftene for riks- og fylkesvegtunneler, er arbeidet med å oppgradere tunnelene intensivert. Store deler av oppgraderingskostnadene er knyttet til de elektrotekniske anleggene, herunder belysning i tunnel. Regelverket har åpnet for å kunne medregne reflektert lys fra tunnelvegger, og i den sammenheng er det behov for erfaringer av refleksjonsøkende tiltak.

Statens vegvesen region nord, avd Nordland, har sporadisk utført hvitmaling av utvalgte tunneler. Da kun i tunnelenes innkjøringssoner, de første 250 meter. Tilbakemeldingene fra publikum har vært gode, men det aggressive miljøet i tunneler gjør at refleksjonsevnen til malte flater avtar raskt. Det kreves hyppig vask og regelmessig oppmaling for at det skal holde effekten. Siden hvitmaling av tunneler som regel ikke ligger inne som rutinemessig oppgave i vedlikeholdskontraktene, blir dette kun utført når det er disponible midler til overs. (Birkeli, 2018)

I senere tid har det kommet flere hvite mørtelprodukter på markedet, som har en betydelig lengre levetid sammenliknet med maling. Det er primært mørtelbasert overflatebehandling som ønskes undersøkt i denne oppgaven

1.2 Problemstilling

Det er for oppgaven utarbeidet tre forskningsspørsmål:

- I hvor stor grad påvirker hvit overflatebehandling på tunnelvegger (fjell og sprøytebetong) kjørebaneluminansen i tunneler?

- Kan man ved målinger av luminans tallfeste bidraget av reflektert lys fra tunnelveggene, og kan dette bidraget resultere i en reduksjon i antall lysarmaturer som må til for å ivareta håndbøkens krav til kjørebaneluminans?
- Kost-/nytteanalyse: Gitt at hvite vegger bidrar til at belysningskravene kan oppnås med færre lysarmaturer enn normalt; Kan hvit overflatebehandling av tunnelvegger, inkludert nødvendig vedlikehold for å opprettholde tunnelveggenes reflektans, gi en total besparelse over tid?

2. Metode

Oppgaven besvarer spørsmålene i problemstillingen hovedsakelig ved hjelp av egne forsøk og analyse av resultatene derfra. En mer detaljert beskrivelse av forsøkene er omtalt i kap. 4.

Videre er det undersøkt tilgjengelig litteratur om temaet. Hoveddelen av dette er håndbøker, rapporter og studier utført av Statens vegvesen. Opplysninger om forsøktunnelene og utrustning er hentet fra Nasjonal Vegdatabank (NVDB) via nettstedet www.vegkart.no, samt Statens vegvesen sitt interne arkiv for forvaltning-, drift- og vedlikeholdsdokumentasjon for tunneler. Det er i tillegg utført samtaler med relevante fagpersoner i Statens vegvesen for opplysninger om tidligere erfaring med belysning og overflatebehandling i tunneler.

3. Teori

Dette kapittelet gir en innføring i regelverk, teori og forskning som er relevant for problemstillingen

3.1 Tunnelsikkerhetsforskrift

Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften) trådte i kraft i 2007, og stiller en rekke minimumskrav til sikkerhetsutrustning og organisering av sikkerhetsforvaltning av riksvegtunneler med lengde over 500m. Tilsvarende forskrift for fylkesvegtunneler kom i 2015. Kravene som stilles til henholdsvis riks- og fylkesvegtunneler er bortimot identiske, med unntak av noen organisatoriske forskjeller og at fylkesvegtunneler med ÅDT¹ mindre enn 300 ikke er omfattet av forskriften. Forskriftenes vedlegg 1, pkt 2.8.1 Belysning, angir at «det skal finnes normal belysning for å sikre hensiktsmessig sikt for sjåførene dag og natt i tunnelåpningene og inne i tunnelen.» Vegdirektoratet har tolket at dette kravet for eksisterende anlegg som regel medfører utbedring etter utskifting i henhold til dagens krav til ytelse, og at montering av ny belysning (første gang eller utskifting) skal tilfredsstille kravene i Statens vegvesens håndbøker. (Vegdirektoratet, 2012) Forskriftenes krav skal være oppfylt innen mai 2019 på riksveg (Samferdselsdepartementet, 2007), og januar 2020 på fylkesveg. Det gis åpning for 5 års fristforlengelse til fylker med stor tunnelmasse. (Samferdselsdepartementet, 2015)

3.2 Statens vegvesens håndbøker

Vegbelysning anslås å kunne gi en reduksjon i antall ulykker i mørke på hele 52% (Transportøkonomisk institutt, 2013). Vegbelysning er et vesentlig trafiksikkerhetstiltak, og vies dermed mye plass i Statens vegvesens håndbøker.

Krav til tunnelbelysning er angitt i Statens vegvesens håndbøker N500 Vegtunneler og V124 Teknisk planlegging av veg- og tunnelbelysning. Hovedregelen fra N500 er at vegtunneler lengre enn 100m skal ha belysning. Det stilles en rekke krav til belysningsanleggets utforming, funksjon, ytelse og levetid. Det stilles forskjellige krav til belysningsnivå (kjørebaneluminans) ut i fra tunnelens trafikkmengde, fartsgrense, tunnelsone og klokkeslett.

¹ Årsdøgntrafikk

ÅDT (10) Sone \ Fartsgrense	< 4 000		4 000–12 000		> 12 000	
	60 km/t	80 km/t	60 km/t	80 km/t	80 km/t	110 km/t
Innkjøringszone dag	2,00 %	3,00 %	3,00 %	4,00 %	5,00 %	7,00 %
Indre sone dag	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	4,00 cd/m ²	4,00 cd/m ²
Alle soner natt	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²	2,00 cd/m ²
Alle soner kl. 00–05	0,50 cd/m ²	0,50 cd/m ²	0,50 cd/m ²	0,50 cd/m ²	1,00 cd/m ²	1,00 cd/m ²

Tabell 1 Krav til midlere kjørebaneluminans som funksjon av trafikkmengde, fartsgrense, tunnelsoner og klokkeslett. (Vegdirektoratet 2016)

Videre er det gitt følgende kommentarer til tabellen:

- Krav til luminans ved annen fartsgrense finnes ved ekstrapolering/interpolering
- I tunneler uten gang- og sykkeltrafikk og ÅDT(10) < 2500 tillates midlere luminans 0,5 cd/m² om natten og i indre sone om dagen
- I svært lange tunneler kan midlere luminans reduseres til 50 % av kravet i tabellen etter 60 sekunder kjøreavstand fra tunnelinngangen. Midlere luminans skal ikke i være lavere enn 0,5 cd/m²
- Luminansnivå i innkjøringssonen skal ikke være under 50 cd/m² (Vegdirektoratet, 2016)

Håndbok N500 henviser til håndbok V124 Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning for valg av faktorer og beregningsregler.

Håndbok V124 angir at lysberegninger skal utføres i henhold til CIE 189:2010 Calculation of tunnel Lighting Quality Criteria. Den angir videre at det tillates å ta med reflektert lys fra tunnelveggene som bidrag til kjørebaneluminansen. Reflektansen vil være variere for forskjellige materialer og overflater. Det oppgis at mørke fjellvegger har et neglisjerbart bidrag, men at hvite og glatte flater kan reflektere så mye som 80%. Det må tas høyde for reduksjon av reflektansen på grunn av tilsmussing og aldring, og det skal derfor ikke medregnes en større reflektans fra hvitmalte vegger enn 20-60% avhengig av veggtype (fjell, sprøytebetong, betongelement, fliser) dersom annet ikke kan dokumenteres. Skal slikt bidra medregnes i dimensjoneringen forutsettes det at tunnelen vaskes regelmessig.

Veggbehandling	Refleksjonskoeffisient [%]
Ubehandlet fjellvegg	5
Hvitmalt fjellvegg	20
Hvitmalt hvelv av sprøytebetong	30
Hvitmalt betonghvelv	50
Element av hvit betong	50
Hvite fliser	60

Tabell 2 Anbefalte verdier for forskjellige veggflaters refleksjon (Vegdirektoratet, 2013)

Håndbok V124 definerer midlere luminans, L_m som gjennomsnittlig luminans fra vegdekkets overflate. Målearealet vil være hele kjørebanelens bredde og mellom 2 lyspunkter i lengderetning (Vegdirektoratet, 2013).

3.3 Standarder

Det er i håndbøkene henvisning til en rekke standarder angående veg- og tunnelbelysning.

Aktuelle krav fra disse er i hovedsak implementert i håndbokbestemmelsene, men det vises til standardene for mer detaljerte beskrivelser. Kort oppsummert gjelder dette:

- NS-EN 13201-2 Vegbelysning – Del 2: Ytelseskrav
- NS-EN 13201-3 Vegbelysning – Del 3: Beregning av ytelse
- NS-EN 13201-4 Vegbelysning – Del 4: Metoder for måling av belysningens ytelse
- CIE 189:2010 Calculation of Tunnel Lighting Quality Criteria
- CIE 194:2011 On Site Measurement of the Photometric Properties of Road and Tunnel Lighting

3.4 Publikasjoner og rapporter

Som en del av etatsprogrammet “Varige konstruksjoner” ble det i regi av Statens vegvesen utført en kartlegging av dagens kunnskapsstatus for utvalgte temaer innen tunnelbelysning i Norge. Rapporten «Kunnskapsstatus for tunnelbelysning i Norge» (Vegdirektoratet, 2016) var en litteraturstudie med utfyllende kommentarer for norske anlegg, med forslag til videre tiltak og forbedringer av dagens praksis. Et av temaene i rapporten er lyse tunnelvegger. Basert på en gjennomgang av 14 forskjellige studier og nasjonale retningslinjer konkluderes det i

rapporten med at manipulering av veggfargen i tunneler utvilsomt gir et direkte bidrag til kjørebaneluminans. Hvor stort bidraget er avhenger av en rekke faktorer (tunnelprofil, type og plassering av belysningsarmatur, type veggflate og hvor høyt opp på veggen overflaten har reflekterende egenskaper), men det fastslås at så mye som 25% av den totale kjørebaneluminansen kan komme fra reflektert lys fra veggene.

Rapporten konkluderer videre med at det ikke finnes gode studier på vedlikeholdsfaktorer som kan anvendes med hensyn til refleksjonstilbakegangen på overflatene.

Det nevnes videre i rapporten at studiene er entydige i at lyse tunnelvegger gir en økt kontrastvirkning og dermed økt synbarhet av objekter i tunnelen. Dette lar seg vanskelig kvantifisere, men det har utvilsomt en sikkerhetsgevinst.

I studiet ble det også laget en simuleringsmodell i Dialux (leverandøruavhengig lysberegningsprogram) som viser den teoretiske innvirkningen på kjørebaneluminansen av varierende overflatebehandling på vegger.

Resulterende illuminans på veibanen ved varierende veggbehandling			
Veggbehandling	Refleksjonskoeffisient [%]	Ruhet [%]	Lysnivå [%]
Nullnivå med ubehandlet betong	27 %	10 %	100 %
Medium reflekterende overflatebehandling til 2 m høyde	50 %	5 %	103 %
Høy reflekterende overflatebehandling til 2 m høyde	80 %	5 %	114 %
Medium reflekterende overflatebehandling til 3,5 m høyde	50 %	5 %	114 %
Høy reflekterende overflatebehandling til 3,5 m høyde	80 %	5 %	121 %
Referanse med ubehandlet fjell i hele tunnelen	7 %		90 %

Tabell 3 Teoretiske verdier av sammenheng mellom veggens reflektans og resulterende kjørebaneluminans

I rapporten «ENØK-strategi veggtunneler» (Vegdirektoratet, 2011) har man kartlagt energibruken i norske veggtunneler med sikte på å foreslå energireducerende tiltak. Her nevnes også lyse tunnelveggers positive bidrag til økt luminans og opplevelse av tunnelrom. Man så ikke videre på dette som tiltak for å redusere energibruk eller installert effekt i tunnelene, da dimensjoneringsreglene den gang ikke åpnet for å inkludere reflektert belysning. Dette ble først medtatt i revisjon av håndbok V124 i 2013.

En annen rapport som ble utarbeidet som del av etatsprogrammet “Varige konstruksjoner” er «Fremtidens tunnelbelysning» (Vegdirektoratet, 2016). Her omtales igjen lyse tunnelveggers bidrag til kjørebaneluminansen, og utfordringene med opprettholdelse av refleksjonsegenskapene. Det vises til forsøk hvor man har funnet at tilbakegangen i veggens

reflektans er raskere enn for vegbanen. Man har i enkelte tilfeller registrert en halvering av reflektans i løpet av et år. Renhold og vedlikehold er derfor avgjørende dersom reflektert lys skal kunne medregnes. Rapporten omtaler videre at siden det inn til nylig ikke har vært tillat å medregne reflektert lys fra omgivelsene i lysberegning, har dette antakelig har til at det har vært lite fokus på lystekniske egenskaper ved valg av materiale til tunnelvegger.

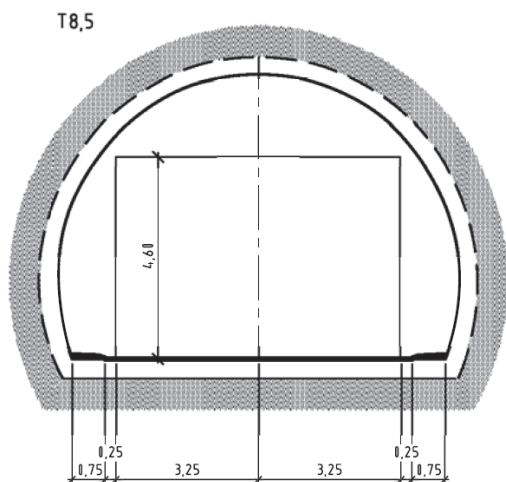
4. Forsøk i tunneler

For å kunne besvare de to første spørsmålene i oppgavens problemstilling ble det valgt å innhente egne måleresultater av kjørebaneluminans før og etter overflatebehandling.

4.1 Opplysninger om forsøktunnelene

Det ble det valgt ut to tunneler med forskjellige egenskaper (eksisterende belysningsnivå, konstruksjonstype, lengde m.m.).

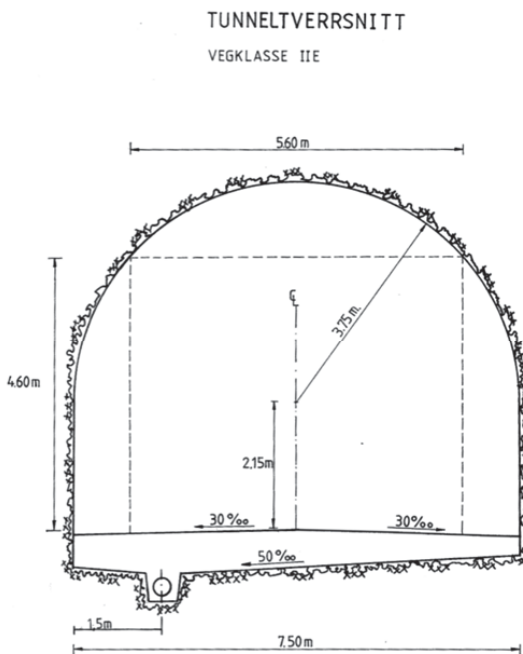
Fv 17 Vethaugtunnelen åpnet i 2009, og er en av de nyere tunnelene i Nordland. Den er bygget og styrt i henhold til den gang gjeldende tunnelhåndbok (Håndbok 021 Vegtunneler – 2006). Tunnelprofilen er T8,5. Tunnelen er 1266 meter lang, og i sin helhet utført med støpt betongrekkverk og isolert hvelv av sprøytebetong. Belysningsanlegget er dimensjonert for å gi en midlere kjørebaneluminans nattestid på 1 cd/m^2 i indre sone. I innkjøringssonene er belysningen økt. Totalt er det monter 312 lysarmatur med en samlet effekt på 41920W (Statens vegvesen Region nord, 2006). Tunnelen ligger på fv. 17 ca. 20km fra Bodø sentrum.



Figur 1 Tunnelprofil T8,5 (Vegdirektoratet, 2006)

Fv 17 Sundsfjordtunnelen åpnet i 1975, og er i sin utforming og innredning representativ for mange av tunnelene i Nordland. Den er 772 meter lang og har tunnelprofil T7,5. Tunnelen består hovedsakelig av bart fjell med sporadiske felt av PE-skum med og uten sprøytebetong. Belysningsanlegget er dimensjonert etter datidens regler for redusert belysning i lavtrafikkerte tunneler. I Håndbok 017 Vegutforming fra 1975 (Vegdirektoratet, 1975) står det at

tilstrekkelig belysning vil være $0,2 \text{ cd/m}^2$, og at dette kan oppnås med montering av 40W lysrørarmatur med ca. 30 meters innbyrdes avstand i hele tunnelens lengde. I Sundsfjordtunnelen er det benyttet 35W armatur med ca 20meters mellomrom, i alt 37 lyspunkt med total samlet effekt på 1295W. Tunnelen ligger på fv. 17 ca. 78km fra Bodø sentrum.



Figur 2 Tunnelverrsnitt T7,5 (Statens vegvesen Region nord, 1983)

Tunnelnavn	Åpningsår	Lengde [m]	Trafikkmengde	Konstruksjonstype	Tunnelprofil	Antall belysningspunkt	Total installert effekt [W]
Vethaugen	2009	1266	3060	Hvelv av sprøytebetong	T8,5	312	41920
Sundsfjord	1975	772	886	Bart fjell	T7,5	37	1295

Tabell 4 Opplysninger om forsøktunnelene

4.2 Overflatebehandling av tunnelene

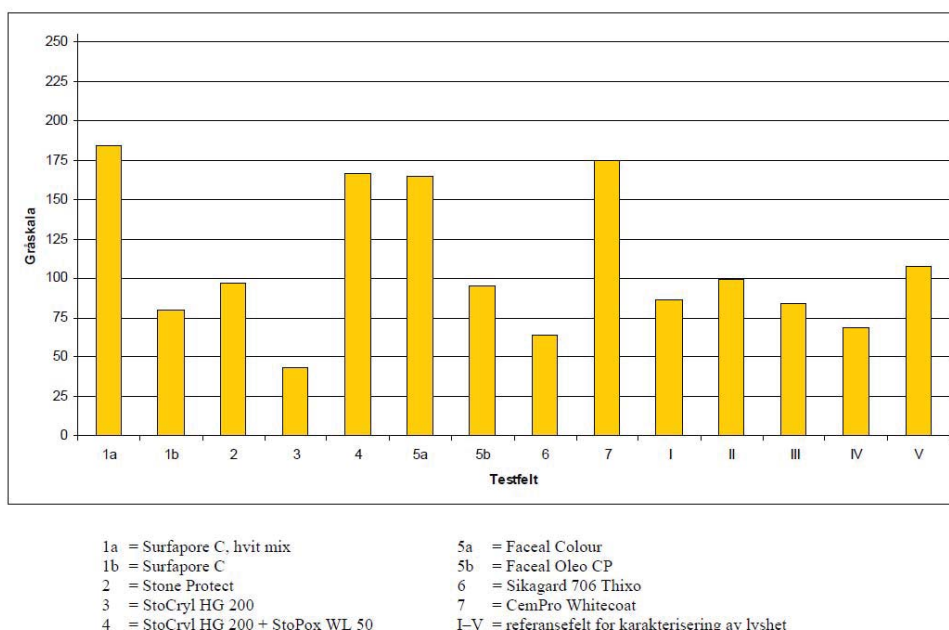
4.2.1 Valg av produkt

Statens vegvesen har tidligere utført hvit overflatebehandling i tunneler med forskjellige typer kalkbaserte malingsprodukter, også i Nordland. Flere av disse har vist seg å ha en begrenset

varighet. Ofte oppleves effekten av slike produkter å vare i kun 1-2 år (Birkeli, 2018). Det har derfor vært ønskelig å finne et produkt som i større grad er egnet til formålet. Man kan se for seg følgende grunnkriterier:

- Enkel å påføre. Må kunne sprøytes.
- Vaskbarhet. Må tåle vask med høyt trykk og eventuelle kjemikalier.
- Varighet. Må opprettholde farge og reflekterende egenskaper over tid.

Statens vegvesen opprettet i 2010 et forsøksfelt i Askimporten tunnel for test av forskjellige typer overflatebehandling av betongelementer. I alt 9 ulike produkter ble undersøkt. (Vegdirektoratet, 2011) I utgangspunktet var det produktenes kloridbremsende egenskaper som skulle undersøkes, men ved senere evaluering ble også de lystekniske egenskapene vurdert. (Vegdirektoratet, 2016). Etter påføring ble produktenes farge vurdert på en gråskala, der 0 er helt svart og 255 er helt hvit.

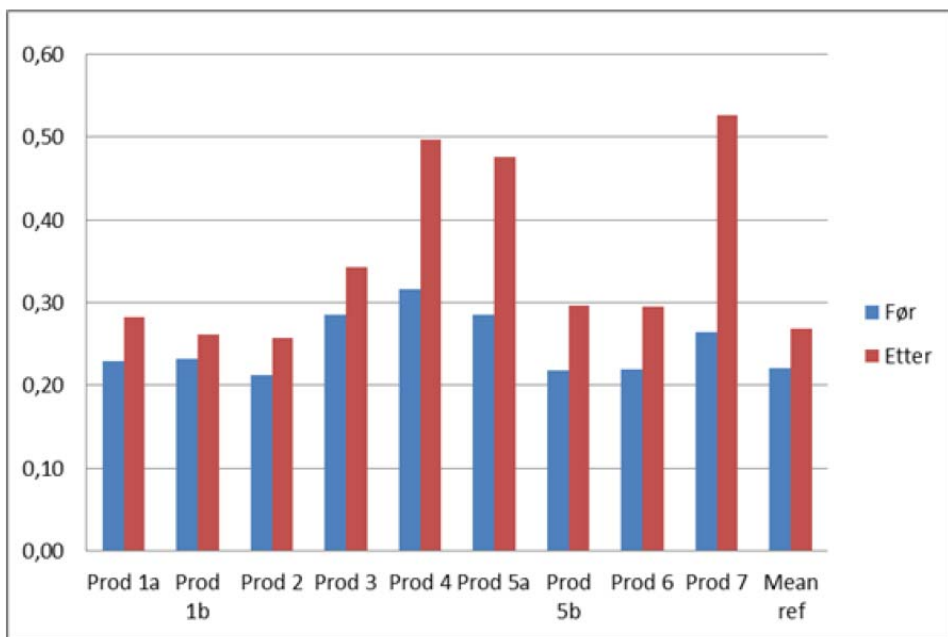


Figur 3 Gjennomsnittlig utslag på gråskala for prøvefelter (Vegdirektoratet, 2011)

Resultatene fra fargevurderingen viser at produkt 1a, 4, 5a og 7 skiller seg ut som lyse produkter.

Rapporten omtaler også hvordan produktene påføres, og hva som var nødvendig av eventuelle forarbeider. Produkt 4 måtte påføres i 3 lag og produkt 5a ble avrettet med pensel. Begge ansees derfor lite egnet til bruk i større omfang på overflater av fjell eller sprøytebetong

Forsøket i Askimporten fortsatte i 2013 med å måle prøvefeltenes refleksjonsfaktor før og etter vask. Resultatene ble presentert av Per Ole Wanvik under Teknologidagene i Trondheim 2013, og viser at også her er det enkelte produkt som er bedre egnet med hensyn til å gjenopprette reflektans ved vask etter tilsmussing.



Figur 4 Refleksjonsfaktor før og etter vask i Askimporten tunnel (Vegdirektoratet v/ Per Ole Wanvik, 2013)

Basert på funnene i de nevnte forsøk ble produkt 7 – CemPro Whitecoat valgt ut til forsøkene i denne oppgaven. Leverandøren oppgir at dette produktet i tillegg har minimum 10 års levetid (CemPro AS, u.d.)

4.2.2 Forarbeid og utførelse

Det ble innhentet tilbud fra CemPro på utførelse av hvit overflatebehandling av begge tunnelene (3,5 meter høyt i hele lengden), og dette ble videre bestilt gjennom en pågående samlekontrakt for tunnelarbeider i Nordland. I sitt tilbud stilte CemPro tydelige krav til vask av tunnelene før utførelse (minimum 150 bars trykk med jetdyser, 20-25 liter pr min/pr dyse og en avstand på 50 cm fra vegg). Vasking ble bestilt utført av driftsentreprenøren for området.

Overflatebehandlingen ble utført 24-25 oktober 2017. Først tildekkes alt av skilt og teknisk utstyr på veggen. Selve påføringen skjer i en kontinuerlig bevegelig prosess med en bilmontert sprøyterigg som sprayer på mørtelen i 3,5 meters høyde, bak denne en blandevogn og til sist en feiebil som rengjør vegbanen. En slik konvoi kan ifølge leverandøren påføre opptil 9000m² pr arbeidsskift.



Figur 5 Sprøyting i Sundsfjordtunnelen 25.10.2018 (foto: Alf Magne Helland, Statens vegvesen)

4.2.3 Kostnader totalt

Totale kostnader for prosjektet ble 2.450.000 kr inkl. mva. I dette ligger helvask av begge tunnelene, rigg og trafikkavviklingskostnader for overflatebehandlingen, selve overflatebehandlingen og trafikkavvikling i forbindelse med måling av luminans.

Trafikken har i forbindelse med alle arbeidsoperasjoner blitt avvirket med to trafikkvakter og ledebil. Av hensyn til HMS og rasjonell fremdrift, ble både utførelse av overflatebehandling og gjennomføring av luminansmålinger utført om kveld/natt når trafikkmengden er lav. Vask ble gjennomført dagtid.

4.3 Måling av luminans

4.3.1 Målemetode

Som utgangspunkt var det ønskelig å finne den midlere kjøraneluminansen, da det er dette håndbok N500 stiller spesifikke krav til. Dette viste seg ved nærmere vurdering å være en såpass komplisert og tidkrevende prosedyre, at det ble valgt å forenkle målemetoden. Om lysmåling i tunnel sier håndbok V124 følgende: «Måling etter den metode som er angitt i CIE 194:2011- En slik måling er tidkrevende og utføres bare når det er behov for særlig nøyaktige luminansmålinger. Luminansmålinger kan imidlertid ikke benyttes til å kontrollere beregnede luminansverdier, fordi vegdekkens refleksjonsegenskaper alltid vil avvike fra r-tabellene som ligger til grunn for beregningene.» I håndbok V124 avsnitt om lysmåling for vegbelysningsanlegg (ordinære gatelys – ikke tunnel) står det likevel at enkle punktmålinger i noen tilfeller kan være tilstrekkelig, men det er viktig at målingene gjennomføres på samme måte hver gang.

Etter nærmere vurdering ble det valgt å forenkle målemetoden. Da det er den relative differansen i målt verdi før- og etter, og ikke nødvendigvis den faktiske midlere luminansen, som var interessant å undersøke. Det ble heller vektlagt å etablere en målemetode som var enkel å replikere. Ved bruk av målehjul ble ca 300meter av tunnelenes indre sone oppmerket pr.10meter. Det ble ikke tatt hensyn til målepunktens plassering i forhold til belysningspunktene. Ved hvert av merkene ble det midt i kjørefeltet utført en punktmåling. Det ble benyttet et stativmontert luminanskamera (Konica Minolta nt-1^o), og målingene ble foretatt med fast vinkel og avstand ned mot kjørebanelen. For å utelukke virkningen av varierende forhold på dekket, ble det benyttet en gråmalt plate for å simulere kjørebanelen (fargekode 9937 / S7500-N).



Figur 6 Oppsett for forenklet punktmåling av luminans

4.3.2 Måleresultater

Målinger ble utført etter beskrevne metode i begge tunneler 16.10.2017 og 06.11.2017. Målingene ble utført om kveld/natt både av hensyn som omtalt i kap. 4.2.3, men også for å unngå lys utenfra. Værforhold var +10 °C og lett nedbør den 16.10, og +6 °C og moderat nedbør den 06.11. Resultatene fra målingene er sammenstilt i tabeller 5 og 6. Figur 7-13 er bilder fra tunnelene som gir et inntrykk av tunnelene før og etter overflatebehandling, samt en sammenligning av synbarhet av en mørkkledd person i tunnel før og etter overflatebehandling.

LUMINANSMÅLING I TUNNEL - KARTLEGGINGSSKJEMA				
Tunnel:	Fv17 Vethaugen			
Dato:	16.10.2017/06.11.2017			
Målepkt.nr.	Avstand fra nullpkt	Målt luminans før [Cd/m ²]	Målt luminans etter [Cd/m ²]	Differanse [%]
1	0	1	1	-
2	10	0,7	0,7	-
3	20	0,5	0,6	20
4	30	0,9	1,2	33
5	40	1	0,7	-30
6	50	1	0,9	-10
7	60	1,1	0,9	-18
8	70	0,9	0,7	-22
9	80	0,6	0,6	-
10	90	0,7	0,6	-14
11	100	1	0,9	-10
12	110	1,2	1	-17
13	120	1,1	1	-9
14	130	0,8	0,8	-
15	140	0,5	0,5	-
16	150	0,6	0,6	-
17	160	0,8	0,8	-
18	170	1	0,9	-10
19	180	0,9	0,9	-
20	190	0,6	0,6	-
21	200	0,5	0,4	-20
22	210	0,8	0,8	-
23	220	1	0,9	-10
24	230	0,8	1	25
25	240	0,6	0,6	-
26	250	0,5	0,5	-
27	260	0,7	0,7	-
28	270	0,9	0,9	-
Gjennomsnitt alle målinger		0,811	0,775	-4

Tabell 5 Målte luminansverdier før- og etter hvit overflatebehandling i Vethaugtunnelen

LUMINANSMÅLING I TUNNEL – KARTLEGGINGSSKJEMA				
Tunnel:	Fv17 Sundsfjord			
Dato:	16.10.2017/06.11.2017			
Målepkt.nr.	Avstand fra nullpkt	Målt luminans før [Cd/m ²]	Målt luminans etter [Cd/m ²]	Differanse [%]
1	0	1	1,2	20
2	10	1,1	1,2	9
3	20	1,2	1,3	8
4	30	1	1,2	20
5	40	1	1,1	10
6	50	0,3	0,3	-
7	60	0,4	0,4	-
8	70	0,7	0,7	-
9	80	0,2	0,3	50
10	90	0,9	1,1	22
11	100	0,3	0,3	-
12	110	0,4	0,4	-
13	120	0,5	0,6	20
14	130	0,2	0,3	50
15	140	0,9	0,9	-
16	150	0,3	0,3	-
17	160	0,3	0,4	33
18	170	0,6	0,7	17
19	180	0,2	0,3	50
20	190	0,8	0,9	13
21	200	0,3	0,3	-
22	210	0,4	0,4	-
23	220	0,5	0,5	-
24	230	0,2	0,2	-
25	240	0,8	0,9	13
26	250	0,3	0,3	-
27	260	0,4	0,4	-
28	270	0,7	0,7	-
29	280	0,2	0,2	-
30	290	0,8	0,9	13
Gjennomsnitt alle målinger		0,563	0,623	11

Tabell 6 Målte luminansverdier før- og etter hvit overflatebehandling i Sundsfjordtunnelen



Figur 7 Vethaugtunnelen før overflatebehandling



Figur 8 Vethaugtunnelen etter overflatebehandling



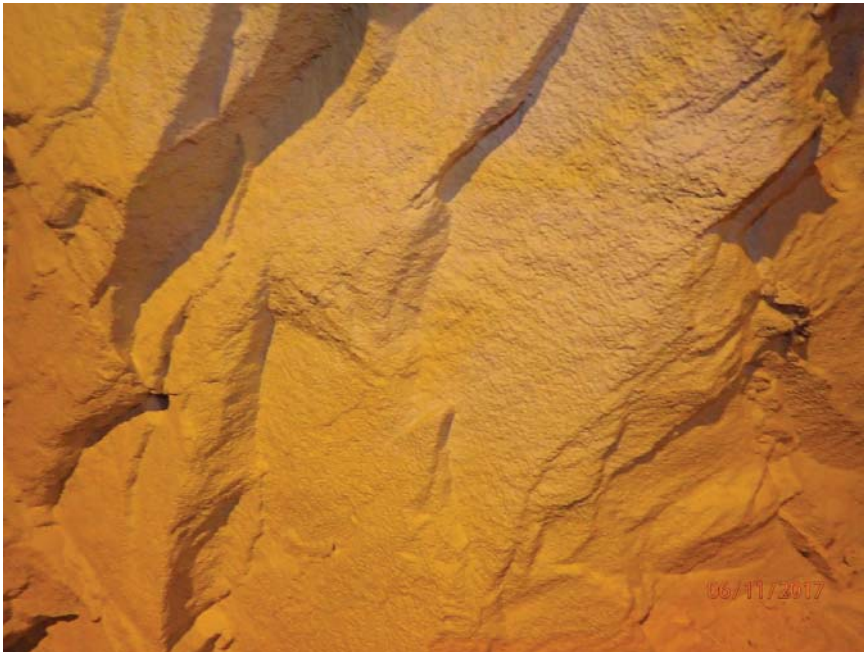
Figur 9 Sundsfjordtunnelen før overflatebehandling



Figur 10 Sundsfjordtunnelen etter overflatebehandling



Figur 11 Nærbilde av overflatebehandling på sprøytebetong i Vethaugtunnelen



Figur 12 Nærbilde av overflatebehandling på fjell i Sundsfjordtunnelen

5 Resultater og diskusjon

På forhånd var det forventet at overflatebehandlingen skulle gi en målbar økning i kjørebaneluminans. Forventningen var basert delvis på egne subjektive vurderinger av opplevd effekt av tidligere gjennomførte tiltak, og delvis med utgangspunkt i omtalte prøveprosjekt i Askimsporten. At Håndbok V124 åpner for å kunne medregne bidrag fra reflektert veggluminans bygde også opp under denne antakelsen.

Ut fra de målte verdiene i Vethaugtunnelen (tabell 5) ser vi tvert imot en reduksjon på 4% i gjennomsnittlig målt luminans. Kun ved 2 av målepunktene ble luminansen økt. Halvparten av målepunktene viste uendret luminans, og hele 12 målinger viste en betydelig reduksjon. Resultatene var svært overraskende, da tunnelen subjektivt sett oppleves som lysere etter behandlingen.

I Sundsfjordtunnelen var derimot alle måleverdier etter påført overflatebehandling lik eller større enn førverdien. Totalt viser målingene en økning på 11% i gjennomsnittsluminans.

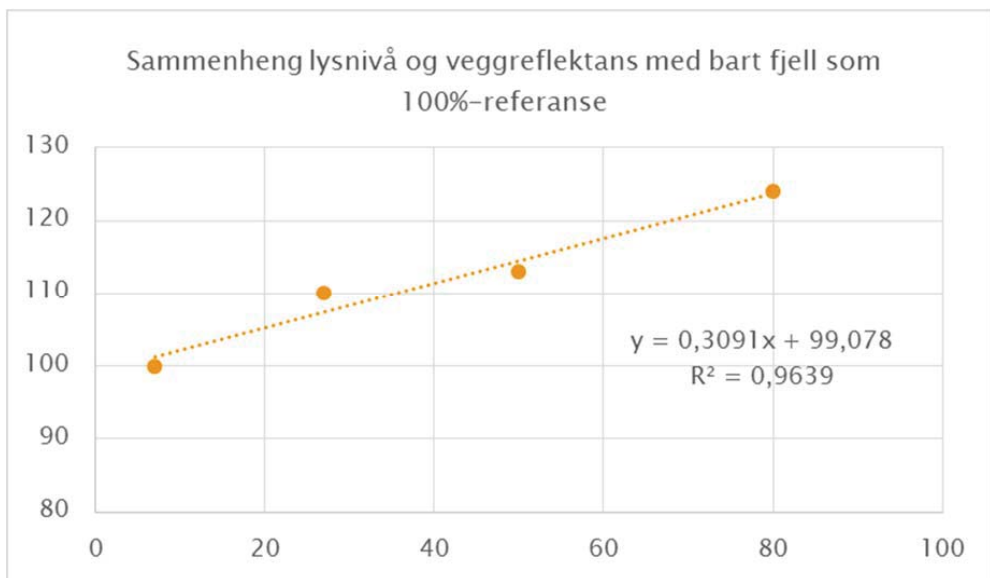
At effekten av behandlingen var størst i Sundsfjordtunnelen må antas å skyldes underlaget mørtelen ble sprøytet på. Det later til at et underlag av bart fjell gir en jevnere og mer dekkende overflate, mens sprøytebetongen har en ruere og mer åpen struktur som ikke reflekterer lyset i like stor grad. Dette samsvarer i så fall ikke med de anbefalte refleksjonskoeffisientene fra Håndbok V124 (tabell 2), som angir 20% refleksjon fra hvitmalt fjellvegg og 30% refleksjon fra hvitmalt sprøytebetong.

Selv om det ble lagt stor vekt på å gjennomføre før- og ettermålingene på samme måte, kan følgende feilkilder ha hatt innvirkning på resultatene:

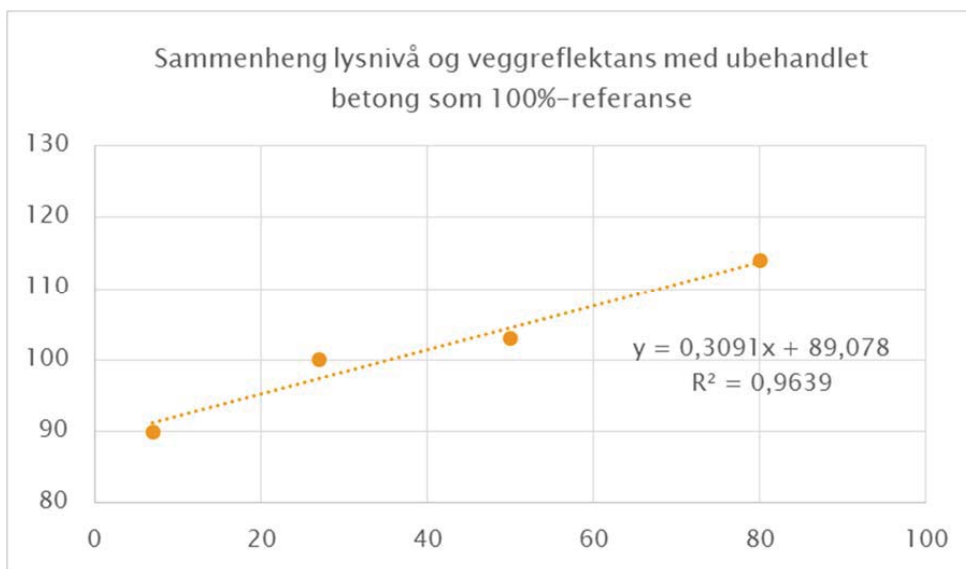
- Målemetoden: Valgt metode var betydelig forenklet sett i forhold til metoden angitt i NS-EN 13201-3 Vegbelysning – Beregning av ytelse. Mulig ble metoden for grovmasket til å fange opp alle variasjonene.
- Måleutstyret: Luminanskameraet som ble benyttet er en eldre modell, og kan ifølge instruksjonsheftet være følsomt for temperaturendringer.
- Tilmussing: Begge tunnelene ble vasket samme dag (27.09.2017), men siden Vethaugtunnelen har mer enn 3 ganger høyere trafikkmengde enn Sundsfjordtunnelen vil tilmussingen av både vegger og lysarmatur i forsøksperioden også ha vært større, og kan ha ført til at målt effekt av tiltaket ble lavere i Vethaugtunnelen.

- Forskjellig lysspredning på armaturene. Det kan tenkes at tunnelenes belyningsarmaturer har forskjellige egenskaper med tanke på spredning/skjerming. Nyere armatur har ofte lyskilden trukket lengre opp i armaturet for å hindre blanding.

I problemstillingen var det videre ønskelig å forsøke å tallfestet bidraget av reflektert lys, og vurdere om bidraget kunne resultere i en reduksjon i antall lysarmaturer som må til for å ivareta håndbøkens krav til kjørebaneluminans. Med utgangspunkt i verdiene fra simuleringen omtalt i rapporten «Kunnskapsstatus for tunnelbelysning i Norge» (Vegdirektoratet, 2016), er det under forsøkt å finne en korrelasjon mellom økning i reflektans og økning i kjørebaneluminans. Her var det forutsatt at bart fjell reflekterer 7% og at ubehandlet betong reflekterer 27%. En regresjonsanalyse av dette noe begrensede utvalget gir følgende sammenheng: $y=0,3091x+99,078$ med utgangspunkt i bart fjell som 100%-referanse, og $y=0,3091x+89,078$ med ubehandlet betong som 100%-referanse.



Figur 13 Resulterende kjørebaneluminans [%] som funksjon av tunnelveggenes refleksjonskoeffisient [%] – Ubehandlet fjell som 100%-referanse



Figur 14 Resulterende kjørebaneluminans [%] som funksjon av tunnelveggenes refleksjonskoeffisient [%] – Ubehandlet betong som 100%-referanse

For Sundsfjordtunnelen, antatt en refleksjonskoeffisient på 7% i utgangspunktet, hvor målingene tilsa en økning i luminans på 11% ($y=111\%$), vil dette ved bruk av regrederte formel gi en refleksjonskoeffisient på 38%.

I Vethaugtunnelen, antatt en refleksjonskoeffisient på 27% i utgangspunktet, hvor målingene viste en tilbakegang i luminans på 4% ($y=96\%$) gir formelen en ny refleksjonskoeffisient etter overflatebehandlingen på 22%.

Med bakgrunn i måleresultatene er det heller tvilsomt hvorvidt hvit overflatebehandling av tunnelvegger kan bidra til å redusere antall lysarmaturer i tunneler. Ved dimensjonering av belysningsanlegg stiller Håndbok V124 krav til at det legges inn en vedlikeholdsfaktor som blant annet tar høyde for nedsmussing av veggene over tid. Denne settes mellom 0,4 – 0,7 avhengig av vedlikeholdsintervaller og materialkvaliteter for tunnelen. Reflektert lys fra veggene kan dermed ikke medregnes i sin helhet. I tillegg stilles det krav til luminansjevnhet ($L_{\min}/L_{\max} \geq 0,4$) som ofte blir styrende for maksimal innbyrdes avstand mellom armatur, særlig for lavtrafikkerte tunneler.

Sist i oppgavens problemstilling skulle det vurderes om bidraget fra reflektert lys kunne besparelse i form av redusert energiforbruk. Det er mange faktorer som spiller inn i en slik vurdering, slikt som type lysarmatur, mengde reflektert lys, betingelser i energiavtaler med mere. I rapporten «ENØK-strategi veggtunneler» (Vegdirektoratet, 2011) påstås det at tiltak

som gir 100% økning i kjørebaneluminans, i denne sammenheng relatert til vegdekkets refleksjonsegenskaper, antas å kunne gi 30-40% reduksjon av energiforbruk. Overfører vi denne antakelsen til virkningen av hvit overflatebehandling vil man med resultatet fra Sundsfjordtunnelen (11% lumninansøkning) forenklet sett kunne forvente en energibesparelse på ca 3-4%. I samme rapport vises det til en kartlegging utført av ENOVA i 2010 hvor det anslås at det årlige samlede forbruk til belysning av tunneler i Norge utgjør ca. 60GWh. En energibesparelse på 4% vil i da utgjøre ca. 2,4GWh. Lagt til grunn en kostnad på 1kr/kWh gir dette en besparelse på 2.400.000 kr pr år. Overflatebehandlingen som ble utført i Vethaugtunnelen og Sundsfjordtunnelen kostet totalt 2.450.000 kr, eller ca. 1200 pr meter tunnel. I følge NVDB² er det i dag 1191 tunneler i Norge med en samlet lengde på 1 352 471 meter. Å skulle utføre overflatebehandling i alle tunneler til samme meterspris vil summere seg til 1,6mrd kr. Antar man at overflatebehandlingen må gjentas hvert tiende år for å opprettholde refleksjonsegenskapene, gir dette en årlig kostnad på 160 mill. kr.

Et moment som ikke var en del av oppgavens problemstilling, men som viste seg å være der den største gevinsten av tiltaket antakeligvis ligger, er økt synbarhet av objekter i tunnelen (gjenstander, myke trafikanter og lignende) grunnet økt kontrast. Ved å heve bakgrunsluminansen, som objekter i tunnel observeres mot, endres hele oppfattelsen av objektet betydelig. Dette er godt illustrert på figur 15, hvor en mørkkledd person sees mot forskjellig bakgrunn under de samme lysforhold.



Figur 15 Sammenligning - økt synbarhet av person i tunnel grunnet økt kontrast

² Nasjonal vegdatabank - offentlig tilgjengelig database med informasjon om statlige, kommunale, private, fylkes- og skogsbilveger.

For øvrig bidrar tiltaket til å heve det estetiske inntrykket av tunnelen, og antas også å ha positive effekter for se som lider av tunnelangst. (Vegdirektoratet, 2016)

Det må også nevnes at tiltaket vil ha en effekt i forhold til nytt krav om belysningsstyrke på tunnelvegg. I siste revisjon av Håndbok N500 (1.des 2016) ble det tatt inn en bestemmelse om at tunnelveggenes nederste 2 meter ikke skal ha lavere belysningsstyrke enn 60% av gjennomsnittlig belysningsstyrke på nærmeste kjørefelt. Dette var ikke kjent da problemstillingen for denne oppgaven var under utforming, og ble heller ikke fokusert på underveis i forsøket. Det ble kun gjort én måling av vegggluminans før og etter overflatebehandling i Sundfjordtunnelen. Målingen ble foretatt fra vegens midt mot tunnelvegg rett under lysarmatur. På ubehandlet fjell ble det målt $0,3 \text{ cd/m}^2$ og på malt vegg $3,5 \text{ cd/m}^2$. Da kravet er forholdsvis nytt, og det i løpet av oppgaven ikke er funnet eksempler på beregninger hvor dette ivaretas, er det ikke mulig på nåværende tid å si noe om betydningen av dette.

6 Avslutning

Basert på resultatene av dette prøveprosjektet er det ikke grunnlag for å anta at hvit overflatebehandling av tunnelvegger av fjell og sprøytebetong skal kunne gi noen besparelse i form av reduksjon av antall belysningspunkt og energibruk i tunneler. Effekten av slike tiltak ligger hovedsakelig i økt synbarhet av objekter i tunnel, og i følelsen av et lysere tunnelrom.

Litteraturstudie viser at selve temaet *lyse tunnelvegger* både i Norge og i andre «tunnel-land» er vurdert som et positivt tiltak, både med hensyn til heving av kjørebaneluminans og føreropplevelse, men det konkluderes som regel med at det ikke finnes gode studier med tanke på valg av ulike veggflaters refleksjonskoeffisienter og vedlikeholds faktorer.

Forslag til videre arbeider:

- De to tunnelene fra dette prosjektet bør følges opp over tid for å hente erfaringer om refleksjonstilbakegang og vaskbarhet.
- Det bør i regi av Vegdirektoratet igangsettes ytterligere studier for å fremskaffe gode erfaringstall for valg av refleksjonskoeffisienter og vedlikeholds faktorer.
- Det bør undersøkes om lyse tunnelvegger alene kan oppfylle kravet Håndbok N500 nå stiller til luminans på tunnelvegger.
- Regelverket knyttet til beregning og kontroll av tunnelbelysning bør kunne forenkles. Det kan i dag synes å ha blitt i unødvendig komplisert og fragmentert.

Litteraturliste

- Birkeli, R., 2018. *Byggeleder drift, Statens vegvesen avd. Nordland* [Intervju] (2 Mai 2018).
- CemPro AS, u.d. *Produktbrosjyre – CemPro Whitecoat, tryggere tunneler.*
- Samferdselsdepartementet, 2007. *Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften).* [Internett]
<https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517>
[Funnet 9 Mai 2018].
- Samferdselsdepartementet, 2015. *Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse tunneler på fylkesvegnettet og kommunalt vegnett i Oslo (tunnelsikkerhetsforskrift for fylkesveg m.m.).* [Internett] <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2014-12-10-1566>
[Funnet 9 Mai 2018].
- Statens vegvesen Region nord, 1983. *Planhefte Rv17 Glomfjord – Kilvik, Tunnelverrsnitt vegklasse IIE.*
- Statens vegvesen Region nord, 2006. *Rv. 17 – tverlandshalvøya –foreløpig lysberegning Vethaugen og Tverrlia tunneler.*
- Transportøkonomisk institutt, 2013. *Trafikksikkerhetshåndboken.*
- Vegdirektoratet v/ Per Ole Wanvik, 2013. *Tunnelbelysning – Presentasjon under Teknologidagene i Trondheim, okt. 2013.*
- Vegdirektoratet, 1975. *Håndbok 017 Vegutforming.*
- Vegdirektoratet, 2006. *Håndbok 021 Vegtunneler.*
- Vegdirektoratet, 2011. *ENØK strategi vegtunneler*
- Vegdirektoratet, 2011. *VD rapport nr. 16: Askimporten tunnel – Felteforsøk med overflatebehandling av veggelementer – Fase 1 – etablering av forsøksfelt,*
- Vegdirektoratet, 2012. *Notat om Handlingsprogram 2014–2017 – Tiltaksplaner for riksvegtunneler med vedlegg "Bestemmelser i Tunnelsikkerhetsforskriften som grunnlag for å vurdere tiltak i eksisterende tunneler – oversikt med forklaringer".*
- Vegdirektoratet, 2012. *Rapport nr. 75 – Hva vil det koste å fjerne å fjerne forfallet på riksvegnettet? Resultat av kartlegging*
- Vegdirektoratet, 2012. *Rapport nr. 76 – Hva vil det koste å fjerne forfall knyttet til bru, ferjekai og tunnel på fylkesveger? – Resultat av kartlegging*
- Vegdirektoratet, 2013. *Håndbok V124 Teknisk planlegging av veg- og gatebelysning.*
- Vegdirektoratet, 2016. *Fremtidens tunnelbelysning,*
- Vegdirektoratet, 2016. *Håndbok N500 Vegtunneler.*

Vegdirektoratet, 2016. *Kunnskapsstatus for tunnelbelysning i Norge*

Vedlegg

Vedlegg 1, Oppgavetekst

Vedlegg 2, Produktdatablad CemPro Whitecoat

Avtale om gjennomføring av masteroppgave i Veg og Jernbane

Denne avtalen bekrefter at tema for oppgaven er godkjent og at student og veileder er kjent med gjeldende retningslinjer for masteroppgaven og vilkår for veiledningsforholdet.

Frist for å levere signert avtale er 15. august. Signert avtale sendes IVT-fakultetet.

1. studentens personalia

Etternavn, Fornavn Forsmo, Christian Høydal	Fødselsdato 08.11.1982
E-post Christian.forsmo@vegvesen.no	Telefon 95 93 79 15
Ansatt hos Statens vegvesen, region nord	
Studieretning Vegteknikk	Spesialisering (jernbane)

2. Finnes det tilleggsavtale?

Ja	Nei	<input checked="" type="checkbox"/>
Hvis ja, hvilke?		

3. Masteroppgaven

Oppgavens (foreløpige) tittel	Bruk av hvit overflatebehandling av tunnelvegger for å øke kjørebaneluminansen.
Oppgavetekst/Problembeskrivelse (kort)	
<ul style="list-style-type: none">- I hvor stor grad påvirker hvit overflatebehandling på tunnelvegger (fjell og sprøytebetong) kjørebaneluminansen i tunneler? I utgangspunktet undersøkes mørtelbasert produkt. Om mulig undersøkes også kalk/malingsprodukter for størst mulig sammenlikningsgrunnlag.- Kan man ved målinger av luminans tallfeste bidraget av reflektert lys fra tunnelveggene, og kan dette bidraget resultere i en reduksjon i antall lysarmaturer som må til for å ivareta håndbøkenes krav til kjørebaneluminans?- Er det andre faktorer som spiller inn; type og tilstand på vegdekket og belyningsanlegg ?	

- Kost-/nytteanalyse: Gitt at hvite vegger bidrar til at belysningskravene kan oppnås med færre lysarmaturer enn normalt; Kan hvit overflatebehandling av tunnelvegger, inkludert nødvendig vedlikehold for å opprettholde tunnelveggenes reflektans, gi en total besparelse over tid?

Hovedveileder ved NTNU

Lokal veileder

Helge Mork

Ikke avklart

Merknader



Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi
Institutt for bygg, anlegg og transport

4. Underskrift

Student: Jeg erklærer herved at jeg har satt meg inn i gjeldende bestemmelser for mastergradsstudiet og at jeg oppfyller kravene for adgang til å påbegynne oppgaven.

Partene er gjort kjent med avtalens vilkår, samt gjeldende retningslinjer for masteroppgaven.

Bodø 15/8-17

Sted og dato

Sign hovedveileder

Sign student

CEMPRO WHITECOAT

SLEMMEMASSE

PRODUKTBESKRIVELSE

CemPro Whitecoat leveres som gjennomfarget hvit fiberarmert tørrmørtel. Mørtelen har vann avstøtende (dråpefrastøtende effekt) og er samtidig diffusjonsåpen. **CemPro Whitecoat** er sammensatt av portlandsement, sand opp til 0,5 mm, PP- fibre samt plastiserende, luftinnførende, tettende og heftforbedrende tilsetningsstoffer.

CemPro Whitecoat er ikke tilsatt bromerte flammehemmere.

CemPro Whitecoat er hvit og gjennomfarget.

CemPro Whitecoat skal kun tilsettes vann.

BRUKSOMRÅDE

CemPro Whitecoat er en spesialutviklet, vannavstøtende og diffusjonsåpen mørtel og som virker karbonatiseringsbremsende.

CemPro Whitecoat brukes der man trenger en sterk og lett vaskbar overflate. **CemPro Whitecoat** hindrer effektivt inntrenging av salt, olje, asfaltstøv o.l. og tåler fryse-/tinevekslinger.

BRUKSANVISNING

Forbehandling:

Underlaget skal være rent før påføring. Større riss og andre skader repareres før påføring. For å sikre heft må underlaget være fritt for alt løst materiale, tidligere overflatebehandling eller annet som kan redusere **CemPro Whitecoat** sine heftegenskaper.

En god overflatebehandling er sandblåsing og sandvasking, men høytrykks spyling eller annen mekanisk rengjøring kan også fungere bra.

Varmer overflater fuktes forsiktig for å unngå for rask herding.

Er man usikker på underlaget anbefales det å gjøre en prøve.

Blanding og påføring:

CemPro Whitecoat blandes i en tvangsblender i 5 - 10 minutter.

Det medgår ca. 5 - 8 liter vann pr. sekk á 25 kg avhengig av tykkelse, underlag og overflate. Tilsett ca 4 - 5 liter vann pr.25 kg sekk først i blandemaskinen og tilsett deretter **CemPro Whitecoat** forsiktig til en klumpfri masse. Tilsett resten av vannet til

ønsket konsistens, og bland ytterligere 2 - 3 minutter.

Bland aldri mer enn det som skal påføres i løpet av 30 minutter.

CemPro Whitecoat skal sprøytes med egnet utstyr. **CemPro AS** anbefaler en Putzmeister P11 Vario Worm Pump, Lancy Pump PH9 eller lignende.

Sprøyting / påføring skal begynne straks etter blanding. Dersom blandingen har stått så lenge i blandekaret at den begynner å herde, må den ikke benyttes eller spes ut, men kastes.

Et strøk er som regel tilstrekkelig (maks tykkelse 5 mm.) Normal tykkelse er 2 - 5 mm.

Herding:

Anvendes helst ved temperaturer over +5 °C, og aldri under +2 °C de første 48 timer etter påføring.

I tørt klima og på spesielt sugende underlag er det en fordel å ettervanne noen dager.

RENGJØRING AV UTSTYR

All redskap, utstyr og slanger og tilstøtende flater, må rengjøres umiddelbart med vann før **CemPro Whitecoat** herder.

VERNETILTAK

For helse, miljø og sikkerhetsinformasjon, se eget HMS-datablad.

MERK

De tekniske anbefalinger og detaljer som fremkommer i denne produktbeskrivelse representerer vår nåværende kunnskap og erfaring om produktene.

All ovenstående informasjon må likevel betraktes som retningsgivende og gjenstand for vurdering. Enhver som benytter produktet må på forhånd forsikre seg om at produktet er egnet for tilsiktet anvendelse. Brukeren står selv ansvarlig dersom produktet blir benyttet til andre formål enn anbefalt eller ved feilaktig utførelse.

Alle leveranser fra CemPro AS skjer i henhold til de til enhver tid gjeldende salgs- og leveringsbetingelser, som anses akseptert ved bestilling.

TEKNISKE SPESIFIKASJONER

Dokumentasjoner:

Farge:	Hvit
Trykkfasthet:	28 døgn. 20 MPa
Egenvekt:	1,70 - 1,90 kg/dm ³
Forbruk:	Ca. 1,4 kg/m ² pr. mm.
Luftinnhold:	4 - 8 %
Brukstid v/+20°C:	Ca. 1 time
Emballasje:	25 kg sekker og storsekk
Lagring:	Må lagres tørt, og i uåpnede sekker holdbar i 12 måneder.



Overflate CemPro Topcoat



CemPro Whitecoat i AGA tunnelen



Lysaker lokket E18. CemPro Topcoat på CemPro Fireshield 1150. Brannsikring av stålkonstruksjoner.

PRODUSENT:

CemPro AS
Ulsmågveien 7E, 5224 Nesttun

Tel. : +47 5513 5300

E-mai : post@cempro.no

Hjemmeside : www.cempro.no

01 2009