

Mari Eggan

**NTNU**  
Norges teknisk-naturvitenskapelige  
universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for bygg - og miljøteknikk

Mari Eggan

## Tilstandsregistrering av renhold i en vegtunnel

Juli 2020



# Tilstandsregistrering av renhold i en vegtunnel

**Mari Eggan**

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: Juli 2020

Hovedveileder: Alex Klein-Paste

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for bygg - og miljøteknikk



# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved Institutt for Bygg- og miljøteknikk(IBM) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet(NTNU) våren 2020. Oppgaven har fordypning veg og er skrevet i samarbeid med Risa og Nye Veier.

I mars 2020 opplevde vi at Norge stengte ned, ingen kunne oppholde seg på NTNUs campus, og masteren måtte skrives på hjemmekontor. Dette opplevde jeg som meget utfordrende, og fremdriften til masteren ble sterkt redusert. En annen konsekvens av nedstengningen var at forsøkene som skulle gjennomføres med Risa i forbindelse med tunnelvask i Torsbuåsen tunnelen i Arendal kommune ikke kunne gjennomføres. Dette ble løst med å ta kontakt med entreprenøren som har tunnelvaskekontrakt i Trøndelag, Vakumentreprenøren, og jeg fikk være med på en tunnelvask i Strindheimtunnelen.

Masteroppgaven omhandler tilstandsregistrering av renhet i tunnel. De viktigste temaene er å se på bildetaking og hvordan dette kan gjennomføres fra en bil, kjørende gjennom en tunnel. I tillegg analysering av bildene tatt forskjellig tid etter tunnelvask. Det har vært veldig spennende og lærerikt arbeid, og særlig gøy var det å få være med på en tunnelvask. Tusen takk til Harald Kvaløy fra Vakumentreprenøren for at jeg fikk være med på det, og takk til Hans, det var gøy å vaske skilt.

Jeg vil gjerne rette en stor takk til veileder Alex Klein-Paste for god veiledning, og hjelp når jeg har stått fast med oppgaven. En stor takk går også til Thea Ingeborg Skrede som har fått dette til å bli en ordentlig masteroppgave.

Tusen takk til Thomas Hauan Lamo fra Statens vegvesen som har svar på mange spørsmål drift av tunneler, Terje Engstrøm som viste meg tidligere arbeid med dokumentering av tunnelvask, Erling Dragsholt fra Vegtrafikksentralen som forklarte lysstyringssystemer i tunneler. Tusen takk til Vegtrafikksentralen som har svart på spørsmål.

Tusen takk til Aurora Flataker som jeg bor med, og har delt mange herlige stunder med i skog, mark og på kjøkkenet. Takk til verdens beste lekegruppe Amalie, Ingeborg og Petter for flotte måltid, fine turer, og hyggelig samvær i gummiått på Nidelva, dere gjorde koronatiden så mye bedre. Takk til Ted talks og Norman faite des vidéos som hjalp meg med franskeksamen.

Tusen takk til familie og venner for teamsmøter med kviss og hygge, for oppmuntring og støtte, og til alle de som har vært interessert i å høre mer om tunneler og tunnelvask.

Og sist men ikke minst, tusen takk til H.M. Aarhønen - Bygningslinjens forening og Studen-

tersamfundet i Trondhjem for 6 fantastiske år der jeg har fått lært alt fra radioteknikk til jazzimprovisasjon, sunget i kor, satt opp revy og møtt fantastiske mennesker.

# Sammen drag

Det finnes over 1100 vegtunneler i Norge i dag. Tunnelvask er en viktig del av driften av tunnelene da det holder tunnelene lyse i tillegg til at det forlenger levetiden på teknisk utstyr. I dag styres hyppigheten av tunnelvask periodisk i henhold til krav fra Håndbok N500. Det er ønskelig å se på om en tilstandsregistrering av renhet kan danne grunnlaget for tilstandsbasert tunnelvask. Dette gjør at man kan planlegge vask etter behov, noe som kan redusere kostnadene knyttet til vask og stengte tunneler.

Det er gjennomført en litteraturstudie som omfatter tunneler og krav til renhold, kamera og lysmåling. Deretter har det blitt utviklet en metode for analysering av renhet basert på bilder. Metoden er implementert i Strindheimtunnelen i Trondheim der det ble utført forsøk ved å ta bilder med et speilreflekskamera gjennom frontruta på en bil kjørende i forskjellige hastigheter igjennom en tunnel både i forbindelse med og i etterkant av tunnelvask. Bildene i forsøkene er tatt med ulike kamerainnstillinger: ISO, lukkertid og blenderåpning. Hensikten med forsøkene har vært å finne områder i tunnelen som er egnet for analyse samt en optimal kombinasjon av kamerainnstillinger.

I studiet er det foreslått lysstyrkehistogram som metode for analysering av renhet, og det ble gjennomført renhetsanalyser på vegg, lysarmatur og skilt ved hjelp av denne metoden. Det kom frem at det kun var ved å se på lysarmaturene at det var mulig å stadfeste at det var blitt mer skittent etter fire uker drift i tunnelen. Resultatene fra analysene på tunnelvegg og skilt viser at tunnelen hadde blitt lysere. Det er også funnet at værforhold og tid på døgnet har stor påvirkning på resultatene.

Forskningsarbeidet viser at god bildekvalitet avhenger av flere parametre og at om et bilde er brukbart til analyse avhenger både av valgt område og bildekvaliteten. Ved å bestemme analyseområde kan kamerainnstillinger og hastighet optimaliseres for det gitte området.

Resultatene fra denne studien viser at metoden kan brukes til å vurdere renhet og dermed danne grunnlaget for tilstandsbasert tunnelvask. Det er flere faktorer som begrenser metoden før den kan gjennomføres i praksis, som utfordringer med belysning og stedfesting av bilder. Disse utfordringene kan eksempelvis løses ved å ha kunstig belysning på analyseområdet, og etablere dedikerte felt i tunnelen til bildetaking. Dette er områder det kan forskes videre på.

# Abstract

This study has developed a method to assess cleanness of road tunnels using a camera mounted in a moving vehicle. Tunnel cleaning is necessary from both a safety and a maintenance perspective, but is expensive and cumbersome to the public. The goal of the proposed method is to optimise the frequency to the need. A series of attempts have been performed in Strindheim tunnel in Trondheim, where a SLR camera mounted in a moving car has been used to take pictures through the windshield. Pictures have been taken during cleaning of the tunnel, and then after two and six weeks. In total photos were taken at ten different points in time. The pictures have been assessed based on two factors: picture quality and area of interest for analysis. An image histogram generated using Adobe Photoshop and a visual evaluation have been used to evaluate the picture quality to determine the ideal speed and camera settings such as ISO, aperture and shutter time. The areas of interest in this study have been the light fixtures, the traffic signs, and an area on the tunnel wall. Through analysis of the image histograms it was found that there are several uncertainties related to assessing the cleanness, such as variable lighting during the day and a changing distance from the camera lense to the objects. However, comparison of image values on light fixtures in photos taken two and six weeks after the cleaning gave promising results. A decrease of the mean value was observed, indicating an increase in dirt on the surface. More studies are needed to investigate the impact of the different sources of error.

Keywords: Assessment of cleanness, Picture analysis, Road tunnel, Tunnel cleaning



# Innhold

<b>1 Innledning</b>	<b>2</b>
1.1 Bakgrunn . . . . .	2
1.2 Rapportens struktur . . . . .	4
<b>2 Litteraturstudie</b>	<b>5</b>
2.1 Søke- og utvelgesesstrategi . . . . .	5
2.2 Renhold . . . . .	5
2.2.1 Utførelse . . . . .	5
2.2.2 Krav . . . . .	6
2.3 Tunnelbelysning . . . . .	6
2.3.1 Mål . . . . .	7
2.3.2 Krav . . . . .	7
2.4 Renholdsforsøk og målemetoder . . . . .	8
2.4.1 Målinger . . . . .	8
2.5 Kamera . . . . .	9
2.5.1 Speilreflekskamera . . . . .	9
2.5.2 Histogram . . . . .	10
2.5.3 Eksponeringsverdi . . . . .	10
<b>3 Formål med oppgaven</b>	<b>11</b>
3.1 Formål . . . . .	11
3.2 Avgrensninger . . . . .	11

<b>4</b>	<b>Metode</b>	<b>12</b>
4.1	Område for gjennomføring av forsøk . . . . .	13
4.2	Forsøksgjennomføring . . . . .	13
4.2.1	Forsøksoppsett . . . . .	14
4.2.2	Bildekvalitet og område . . . . .	15
4.2.3	Utføring av forsøk . . . . .	18
<b>5</b>	<b>Resultater</b>	<b>21</b>
5.1	Bildekvalitet . . . . .	21
5.1.1	ISO . . . . .	22
5.1.2	Blenderåpning . . . . .	25
5.1.3	Lukkertid . . . . .	26
5.1.4	Hastighet . . . . .	28
5.2	Område . . . . .	30
5.2.1	Lysarmatur . . . . .	30
5.2.2	Skilt . . . . .	31
5.2.3	Tunnelhvelvingen . . . . .	33
5.2.4	Vegbanen . . . . .	35
5.3	Effekt av variabel tunnelbelysning . . . . .	35
<b>6</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>37</b>
6.1	Bildekvalitet . . . . .	37
6.2	Områder . . . . .	38
6.3	Variabel belysning . . . . .	39
6.4	Brukbarhet . . . . .	40
6.5	Feilkilder . . . . .	40

6.6	Utfordringer og erfaringer . . . . .	41
6.7	Virkninger . . . . .	42
6.8	Videre arbeid . . . . .	44
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>45</b>
	<b>Bibliografi</b>	<b>47</b>
<b>A</b>	<b>Oversikt over bilder brukt til analyse</b>	<b>48</b>

# Figurer

2.1	Tunnelvaskefrekvens angitt i Håndbok R610 . . . . .	6
2.2	Krav til midlere kjørebaneluminans gitt av tabell 9.1 fra Håndbok N500 (Vegdirektoratet 2016a) . . . . .	7
2.3	Illustrasjon av ISO-verdi, blenderåpning og lukkertid ( 2020) . . . . .	9
4.1	Flytskjema for utarbeiding av metode . . . . .	12
4.2	Kartutsnitt av Strindheimtunnelen, markert med rosa stiplet linje, med illustrert innløp/utløp i øst og vest (Kartverket 2020) . . . . .	14
4.3	Bilde fra Strindheimtunnelen, og illustrasjon av et innvendig belyst skilt, som benyttet i Strindheimtunnelen . . . . .	17
4.4	Asfalten med gulstripe inn mot banketten . . . . .	18
4.5	Plassering av havarinisje, figur 4.5 fra håndbok N500 (Vegdirektoratet 2016a). . .	18
4.6	Flytskjema for gjennomføring av forsøk . . . . .	19
5.1	Over: bildene tatt med ISO-verdiene brukt i forsøkene, lukkertid 1/100, blender f/5. Under: tilhørende lysstyrkehistogram . . . . .	22
5.2	Bilde med ISO 6400, lukkertid 1/250, blender f/5 og tilhørende lysstyrkehistogram	23
5.3	Bilder fra forsøk 5 med blender f/5, lukkertid 1/160 og hastighet 50 km/t, om natten figur 5.3a ISO 3200 i vestgående løp og figur 5.3b ISO 6400 i østgående løp	23
5.4	Bilder fra forsøk 5 med blender f/5, lukkertid 1/160 og hastighet 50 km/t, om natten figur 5.3a ISO 3200 i vestgående løp og figur 5.3b ISO 6400 i østgående løp	24
5.5	Bilde med tilhørende lysstyrkehistogram. ISO 1600, blender f/5, lukkertid 1/250, hastighet 60 km/t, vestgående løp tatt på dagtid . . . . .	25
5.6	Bilder med følgende innstillinger: ISO 6400, figur 5.6a lukkertid 1/160, hastighet 50 km/t blender f/5, figur 5.6b lukkertid 1/200, hastighet 30 km/t, blender f/10	25

5.7	Lysstyrkehistogram og utsnitt av bakgrunn fra figur 5.6 . . . . .	26
5.8	Bilder fra forsøk 1 med ISO 1600, blender f/11 og lukkertid 1/25, hastighet 70 km/t i østgående løp tatt på dagtid . . . . .	27
5.9	Bilde fra forsøk 10 og utsnitt av skilt med følgende parametere: ISO 6400, blender f/8, lukkertid 1/200, hastighet 40 km/t, tatt om natten i østgående løp . . . . .	27
5.10	Bilde fra forsøk 3 med ISO 6400, blender f/10, lukkertid 1/500 og hastighet 30 km/t . . . . .	28
5.11	ISO 3200, blender f/5, lukkertid 1/160, på natten i østgående løp, 40 km/t . . . . .	28
5.12	ISO 3200, blender f/5, lukkertid 1/160, på natten i østgående løp, 50 km/t . . . . .	29
5.13	ISO 3200, blender f/5, lukkertid 1/160, på natten i østgående løp, 60 km/t . . . . .	29
5.14	Bilder med følgende innstillinger: ISO 1600, blender f/11, lukkertid 1/250, 70 km/t, dagtid, vestgående løp . . . . .	30
5.15	Utsnitt og lysstyrkehistogram fra figur 5.14 . . . . .	31
5.16	Innvendig belyste skilt i Strindehimstunnelen . . . . .	32
5.17	Bilder med følgende innstillinger: ISO 6400, blender f/6.3, lukkertid 1/200, 50 km/t, nattestid, vestgående løp . . . . .	32
5.18	Utsnitt og lysstyrkehistogram til figur 5.17 . . . . .	33
5.19	Bilder ISO 6400, blender f/6.3, lukkertid 1/200 sek, fart 50 km/t, to og seks uker etter vask ca. kl. 02.00 . . . . .	34
5.20	Utsnitt og lysstyrkehistogram av figur 5.20 . . . . .	35
5.21	Bilder av tunnelen dag og natt med samme innstillinger: ISO:3200, lukkertid:1/100, blenderåpning: f5, og histogram av lysstyrke fra Adobe Photoshop . . . . .	36
6.1	Strindheimtunnelen under vask i mai 2020 . . . . .	43

# Tabeller

2.1	Hvilke kamerainnstillinger som gir mye og lite lys . . . . .	10
4.1	Kameraspesifikasjoner (Canon INC. 2016) . . . . .	14
4.2	Parametere endret for optimalisering av bildekvalitet, og vurderingsmetode . . . . .	15
4.3	Oversikt over utførte forsøk . . . . .	20
5.1	Tid på døgnet og antall bilder tatt i forsøkene . . . . .	21

# 1. Innledning

Denne oppgaven omhandler tilstandsregistrering av renhet i vegtunnel, og ser på om det er mulig å gjennomføre behovsstyrt tunnelvask i stedet for periodisk tunnelvask.

## 1.1 Bakgrunn

Norge er et vakkert land med mange fjell og fjorder. På grunn av landskapets utforming har fremkommelighet vært en utfordring i generasjoner. Da nordmenn først begynte å bygge veger over fjellene snirklet de seg oppover fjellsidene, og stupte ned mot fjorden på den andre siden.

De første vegtunnelene i Norge ble bygget på 1890-tallet, selv om man siden 1850-tallet hadde bygget tunneler for jernbane([Frøholm 1970](#)). De første tunnelene var korte og smale og bygd for hest og kjerre, uten møtende trafikk. I dag er det over 1100 vegtunneler i Norge med en samlet lengde på over 800 km. Dette utgjør nesten 1 % av et vegnett på 95 166 km([Statens Sentralbyrå 2020](#)).

Tunneler bygges for å lette fremkommeligheten og øke sikkerheten. De bygges gjennom fjell i stedet for en veg over fjellet eller store omveger rundt. De bygges i byer for å lette trafikkavvikling, for å unngå biltrafikk gjennom sentrum og gjøre det hyggeligere for gang- og sykkeltrafikk og de som bor i byene. Tunneler bygges også for å sikre fremkommelighet. Mange høye fjell betyr også mange bratte fjellsider. Dette betyr fare for ras og skred. Derfor bygges det mange steder tunneler for å hindre at ras eller skred medfører stengte veger, eller verre, tap av liv ([Bjordal & Helle 2011](#)).

Veg og tunneler krever vedlikehold. Dette er kostbart og tidkrevende, på grunn av omfanget på vegnettet, og fordi dette ofte medfører stengte veger, som er til hinder for trafikken. Det kommer stadig nye tall på hvor stort vedlikeholdsetterslepet på det norske vegnettet er, og tallene varierer fra 70 til 600 milliarder kroner. Særlig i tunneler er vedlikehold kostbart, på grunn av dyre installasjoner og at stengte tunneler ofte medfører lange omkjøringer eller lang ventetid for de berørte, som gir samfunnsøkonomiske kortnader.

Til tross for at tunneler hovedsakelig er et effektiviserings- eller sikkerhetstiltak har mange bilister negative assosiasjoner med tunneler. I en undersøkelse gjennomført av TNS Gallup fra 2004 svarer 15 % av nordmenn at de føler seg utrygge når de kjører igjennom en tunnel([Pedersen 2004](#)). Det er særlig i lange tunneler og undersjøiske tunneler mange opplever å føle seg utrygge. De negative opplevelsene forsterkes av at tunnelene er trange, glatte, uoversiktlige, mørke og lukter vondt

(Jenssen et al. 2006). I undersjøiske tunneler er det faren for at det kommer inn vann og den bratte stigningen som gjør at folk føler ubehag. Tiltak som kan bøte på noe av dette er lysere farge på tunnelhvelvet, monotonibrytere og bredere tunneler.

Det er flere grunner til at tunneler oppleves som mørke. Noen tunneler har ikke tilfredsstillende belysning, som gjør at tunnelen oppleves veldig mørk. Andre grunner kan være tunneloverflaten. Tunneler med råsprenget fjell oppleves mørkere på grunn av den mørke fargen på fjellet og den ujevne overflaten. Dette kan forbedres ved å male tunnelvegger lysere. På grunn av vegstøv og eksos vil overflaten på alle tunneler bli mørkere over tid, da skitt og støv samler seg på vegger, tak, skilt og i vegbanen. Et tiltak mot dette er tunnelvask.

Tunneler vaskes jevnlig, alt fra 12 ganger i året til en gang hvert 5. år basert på trafikkmengde (Vegdirektoratet 2016a). Når tunneler vaskes fjerner man støv og skitt, og tunnelen vil etter vask oppleves som lysere og renere. En ren tunnel vil gi en bedre kjøreopplevelse. En annen grunn til at man vasker tunneler er at det øker levetiden på det tekniske utstyret ved å fjerne skitt som legger seg på installasjoner og kabler. Dette gjør det også lettere ved vedlikehold, som bytting av lys og kabler.

En ulempe med tunnelvask er at tunnelene må stenges for å kunne vaskes. For lengre tunneler så kan dette medføre nattestenging en hel uke. Dette medfører store samfunnsøkonomiske kostnader på grunn av trafikken som blir forsinket. De siste årene har søkelyset vært rettet mot kostnaden og hvordan man kan begrense den. Nye Veier har på sine veier premiert driftsentreprenør med høy åpentid på sine tunneler.

Det er ikke beskrevet en standard metode for utførelse av tunnelvask i Norge. Vaskemetode for tunnelene er beskrevet i de forskjellige regionenes tunnelvaskekontrakt. Det er derfor heller ingen standard metode for å sjekke tilstanden før og etter vask. Det har blitt gjennomført flere vaskeforsøk de siste årene der det har blitt utført omfattende analyse av tunnelområdet før og etter vask. I forbindelse med oppstart av tunnelvaskekontrakten i Trøndelag i 2016 ble det laget serie med rapporter etter hver tunnelvask. Rapportene tok for seg områder før og etter vask, for å se på endringen i støvmengde (Engstrøm 2016).

Tilstandsregistrering av infrastrukturen er viktig for å kunne bidra til god fremkommelighet. Å automatisere denne tilstandsregistreringen er et viktig satsningsområde når 95 000 km veg og 800 km tunnel skal driftes og vedlikeholdes. Da rapportene fra tunnelvask ble utformet i 2016 ble det tatt bilder manuelt i forbindelse med stengning av tunnelen, eller ved å stoppe i havarinisjer. En meget tidkrevende måte å bedrive tilstandsregistrering.

Hvis man kan automatisere tilstandsregistreringen i tunneler kan dette bidra til å gjennomføre vedlikehold og vask etter behov. Ved å ta bilder fra en bil mens man kjører igjennom tunnelen vil det lette arbeidet for den som tar bildene. Det vil også være sikrere, da det ikke hindrer annen trafikk, eller man utsetter seg for fare ved å stoppe i tunnelen. Hvis bildene tatt i fart kan brukes til å vurdere renheten i tunnelen vil man kunne styre renholdsfrekvensen basert på behovet,



noe som kan bety mindre stengte tunneler.

## 1.2 Rapportens struktur

Rapporten er strukturert som følgende. Kapittel 2 tar for seg relevant litteratur, der det er gjennomført et litteratursøk som baserer seg på håndbøker av Statens Vegvesen og fagartikler. Kapittel 4 beskriver utarbeiding av metode og gjennomføring av forsøk. Kapittel 5 presenterer resultatene fra forsøkene. Kapittel 6 diskuterer fordeler og ulemper med metode og kommentarer til resultatene. Kapittel 7 gir en oppsummering av funn i oppgaven. I vedlegg er det bilder og excelfiler. Deter i tillegg et elektronisk tillegg med bilder og filer for å tilrettelegge for videre forskning.

## 2. Litteraturstudie

I litteraturstudiet er det sett på relevant litteratur innenfor fagfeltet. Mange av kildene er upubliserte resultater, som anses som grå kilder, men de er tatt med siden mange av disse har mange verdifulle resultater og metoder for det aktuelle temaet.

### 2.1 Søke- og utvelgesesstrategi

Siden denne oppgaven går ut på tilstandsregistrering i tunneler bygd i Norge var det naturlig å starte med å gå gjennom håndbøkene til Statens Vegvesen, for å se hvilke hva som er beskrevet rundt tunnelrenhold, frekvens, belysning og andre forhold. Disse håndbøkene finnes på nettsidene til Statens Vegvesen, og er tilgjengelig for alle ([Statens Vegvesen n.d.](#)). Søk etter artikler har blitt gjort i Oria og Google Scholar. For å finne relevant litteratur er følgende søkeord og -setninger brukt: *lighting, road tunnel, dirt in tunnel, lighting conditions, requirements lumen, measure light road tunnel, cleanliness in road tunnel, camera settings, picture analysis road tunnel, image analysis.*

### 2.2 Renhold

Renhold i tunneler er beskrevet i Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger ([Vegdirektoratet 2014](#)). Hensikten med tunnelvask er å bidra til at trafikantene skal få en positiv kjøreopplevelse gjennom å ha en sikker og estetisk tiltalende tunnel. Man vil gjennom riktig vedlikehold opprettholde en god effekt av tunnellys og en klar sikt og visuell ledning for trafikanter. I tillegg vil god vask bidra til forlenget levetid fordi det minsker støvkonsentrasjon i tunnelen, og fjerner støv og skitt som legger seg på elektriske installasjoner. [Zatari et al. \(2005\)](#) viser at den viktigste faktoren for bestemming av renholdsfrekvens er skitt på lysarmatur.

#### 2.2.1 Utførelse

Utførelse av renhold gjennomføres etter krav fra Håndbok R610, etter instruks som foreligger for hver tunnel, og eventuelle spesielle bestemmelser. Spesielle bestemmelser kan for eksempel være angitt i Prosjektrapport fra [Vegdirektoratet \(1997\)](#).

Det er beskrevet tre typer tunnelvask i R610. Helvask, halvvaske og teknisk rengjøring, der helvask er den mest omfattende. For å rengjøre tunnelene bruker man en kombinasjon av spyle- og feiebil. Hastighetene som brukes kan være nede i 1-2 km/t for vaskebilene, som betyr at vasking av lengre tunneler kan ta en hel uke.

## 2.2.2 Krav

Krav til renholdsfrekvens er gitt av Vegdirektoratet (2014) i Håndbok R610. Basert på ÅDT må tunnelene vaskes mellom 1 og 12 ganger i året. Denne frekvensen er angitt i en tabell fra Vegdirektoratet, se figur 2.1.

Trafikkvolum ÅDT pr tunneløp	Renhold: Hel	I tillegg: Renhold: Halv	I tillegg: Renhold: Teknisk
0 - 300	Hvert 5. år	---	1 pr år i år uten Renhold: Hel
301 - 4000	1 pr år	---	1 pr år
4001 - 8000	1 pr år	1 pr år	2 pr år
8001 - 12000	1 pr år	2 pr år	3 pr år
12001 - 15000	2 pr år	3 pr år	5 pr år
15001 -	2 pr år	4 pr år	6 pr år

Figur 2.1: Tunnelvaskefrekvens angitt i Håndbok R610

Kvaliteten på renholdet styres gjennom en detaljert beskrivelse av utføring, eller gjennom målinger i etterkant av renholdet (Vegdirektoratet 2014). Her beskrives mange krav og fordeler med vasking, men det også ulemper forbundet med vasking. Meland (2012) setter lys på at vannet som blir igjen etter vasking av tunneler inneholder mye forurensning i form av kjemikalier fra konstruksjonen, kjøretøy, teknisk utstyr og mikroplast.

## 2.3 Tunnelbelysning

I følge Håndbok N500 Vegtunneler skal tunnelbelysning: “bidra til økt kjørekomfort, bedre fremkommelighet og trafiksikkerhet samt bidra til å øke trivsel ved kjøring i tunnel gjennom å øke synsinformasjonen og komfort for trafikantene.” (Vegdirektoratet 2016a).

I en rapport fra Jenssen et al. (2006) oppgir mange personer at de opplever et ubehag når de kjører gjennom tunneler. Hele 30 % svarer at de synes det er farlig å kjøre i lange tunneler. Denne rapporten omhandler undersjøiske tunneler, og om stigning har en stor påvirkning på opplevelsen

av at tunneler er farlige. At en tunnel oppleves som mørk trekkes frem som en av de forsterkende negative effektene ved å kjøre gjennom en undersjøisk tunnel.

### 2.3.1 Mål

For å måle lys er det tre typer lysmålinger som er vanlig å utføre i tunnel:

- Vegens refleksjonsfaktor
- Luminans
- Vegbanens illuminans

**Vegbanens refleksjonsfaktor** er angitt som et forholdstall mellom 0 og 1, som beskriver hvor mye lys reflekteres fra en flate (Larsen 2017). **Luminans** er målt i candela per kvadratmeter ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). Dette er et mål på virkningsgraden til lyskilden. Altså, det beskriver mengden lys som treffer en flate. **Illuminans** er det lyset som faller direkte inn mot en flate, oppgitt i lux. I tunnel vil dette ha både en direkte og en indirekte komponent, fra annet reflektert lys.

### 2.3.2 Krav

Kravet til luminans varierer ut i fra fartsgrense, tid på døgnet og ÅDT. Kravet til midlere kjørebaneluminans kan på det meste være  $4,0 \text{ cd}/\text{m}^2$  på dagtid for tunneler med over 12 000 i ÅDT (Vegdirektoratet 2016a). Mellom kl. 00 og 05 er kravet til luminans på  $0,5 \text{ cd}/\text{m}^2$  for tunneler med ÅDT under 12 000. Tabell 9.1 fra håndbok N500 er gitt i figur 2.2.

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
Innkjøringssone dag	2,00 %	3,00 %	3,00 %	4,00 %	5,00 %	7,00 %
Indre sone dag	2,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	2,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	2,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	2,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	4,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	4,00 $\text{cd}/\text{m}^2$
Alle soner natt	1,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	1,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	1,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	1,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	2,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	2,00 $\text{cd}/\text{m}^2$
Alle soner kl. 00–05	0,50 $\text{cd}/\text{m}^2$	0,50 $\text{cd}/\text{m}^2$	0,50 $\text{cd}/\text{m}^2$	0,50 $\text{cd}/\text{m}^2$	1,00 $\text{cd}/\text{m}^2$	1,00 $\text{cd}/\text{m}^2$

Figur 2.2: Krav til midlere kjørebaneluminans gitt av tabell 9.1 fra Håndbok N500 (Vegdirektoratet 2016a)

Innkjøringssone er definert som stoppsikten målt fra tunnelportalen og innover i tunnelen (Vegdirektoratet 2016a). Dette punktet inne i tunnelen er målepunktet for adaptasjonsluminans.

## 2.4 Renholdsforsøk og målemetoder

På slutten av 1990-tallet ble det mer og mer vanlig å bruke støpte betongelement og sprøytebetong som vegger og tak i tunneler i stedet for råsprengt fjell. Dette førte til et behov for mer effektivt renhold (Vegdirektoratet 1997).

I et renholdsforsøk gjennomført av Vegdirektoratet (1997) var de viktigste funnene at tunnelveggene ikke blir rene hvis det ikke brukes såpe eller kjemikalier. I 2016 ble det gjennomført et renholdsforsøk i Strindheimstunnelen. Oppdragsgiver var Vegdirektoratet, og forsøket ble gjennomført av Statens väg- og transportforskningsinstitut (VTI) (Järhlskog et al. 2016). I dette forsøket ble det målt støv- og lysmengde i tunnelen natten før og etter vasken ble gjennomført. Et lignende forsøk ble gjennomført i Freifjordtunnelen ved Kristiansund året etter (Vegdirektoratet 2017).

### 2.4.1 Målinger

I rapporten fra Vegdirektoratet (1997) blir renheten vurdert ved hjelp av et referansefelt. Referansefeltet blir ved jevne mellomrom målt mot en fast referanseflate, for å vurdere økningen av tilsmussingen.

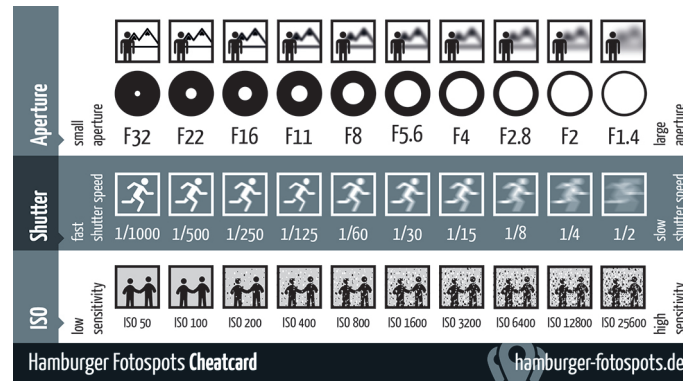
I forbindelse med forsøkene i Strindheimstunnelen ble det gjennomført lysmålinger i tunnelen. Larsen (2017) gjennomførte statiske målinger av målinger av luminans, illuminans og refleksjon. Det ble også gjennomført like målinger i tunnelen i 2015. Målingene viste at lyset i tunnelen var svakere i 2016 enn i 2015 både før og etter vask. Larsen mener at dette kan komme av tilbakegang for lyskildene, men også at overflatene har blitt påført irreversibel slitasje.

Ekrias et al. (2007) beskriver et forsøk der man har gjort bildeanalyser for å beskrive luminans og refleksjon på veg under forskjellige værforhold på natten om vinteren. De har brukt et luminanskamera for å ta bilder. De fremstiller resultatene som bilder med luminansdistribusjon for de forskjellige værforholdene. På grunn av at overflater med snø eller som er våte reflekterer mye mer lys, vil det være store muligheter for energibesparing hvis man tilpasser lysmengde etter værforhold. Luminanskamera kan også brukes til å styre belysningen i tunnel (Cattini & Rovati n.d.).

## 2.5 Kamera

### 2.5.1 Speilreflekskamera

Et speilreflekskamera har en rekke innstillinger som man stille manuelt for å oppnå ønsket effekt og kvalitet på et bilde. En oversikt over disse innstillingene er gitt i figur 2.3.



Figur 2.3: Illustrasjon av ISO-verdi, blenderåpning og lukkertid (2020)

#### ISO

ISO-verdien bestemmer sensorens lysfølsomhet. Jo høyere ISO-tall, jo mer følsom er sensoren for lys. Ved høyere ISO-verdier vil man også få mer støy på bildet. Hvor mye støy man får i bildet er svært avhengig av kamera (Mancuso & Battiato 2001).

#### Blender

Blenderen på et kamera er en fysisk åpning som bestemmer hvor stor åpningen som slipper lys inn på linsa skal være. Som figur 2.3 illustrerer vil en stor åpning gi lav dybdeskarpheit, men mye lys.

#### Lukkertid

Lukkertid handler om hvor lenge man slipper lys inn på sensoren. Ved lengre lukkertid slipper man inn lys over lengre tid, og hvis det er bevegelse i bildet kan dette bli uklart. Ved kortere lukkertid vil man kunne fange opp raskere bevegelse, og få til klare bilder selv om ting beveger seg fort. Lukkertid kan være mellom 1/1 sekund til 1/8000 sekund.

En oversikt over hvor mye lys de forskjellige innstillingene gir er vist i tabell 2.1.

*Tabell 2.1: Hvilke kamerainnstillinger som gir mye og lite lys*

<b>Innstilling</b>	<b>Mye lys</b>	<b>Lite lys</b>
ISO	Høy	Lav
Blenderåpning	Stor	Liten
Lukkertid	Lang	Kort

## 2.5.2 Histogram

Når bilder blir tatt kan man se et histogram over fordelingen til pikslene i bildet. Verdiene går fra 0 til 255 der 0 betyr helt svart og 255 er helt hvitt. Hvis det er snakk om RGB-fargesystem, så betyr 255 helt rødt, grønt eller blått, mens 0 er helt svart. Et slikt histogram kan også lages i forskjellige fotoredigeringsprogram, som Adobe Photoshop.

## 2.5.3 Eksponeringsverdi

For bilder kan man regne ut en eksponeringsverdi. Eksponeringsverdien er satt sammen av lukkertid, blender og ISO-tall og gir en verdi for summen av lys. I formel 2.1 ser vi sammenhengen mellom EV, eksponeringsverdi, N, blenderåpning og t, lukkertid.

$$EV = \log_2 \frac{N^2}{t} \quad (2.1)$$

## 3. Formål med oppgaven

### 3.1 Formål

Målet for oppgaven er å vurdere muligheter og begrensninger av et konsept for mål av renhet i tunnel. For å kunne gå fra periodisk til tilstandsbasert vask er det behov for tilstandsregistrering og ønskelig med en automatisert analyse av renheten i tunnelen. Tidligere undersøkelser gjort på tilstand i tunnel beskriver automatisert metode for å avdekke sprekkdannelser, og tilstand på bolter i fjellet. Det er funnet registrering av renhet gjort med stillbilder eller luminansmålere, som er metoder som krever at tunnelen stenges. Det er ikke funnet forskning som går på automatisert vurdering av renhet i fart. Derfor er det ønskelig å se på om det er mulig å ta bilder i fart for å vurdere renheten i en tunnel. For å evaluere dette målet er det formulert to forskningsspørsmål for denne oppgaven:

1. Er lysforholdene i en tunnel gode nok for å oppnå tilstrekkelig bildekvalitet i fart?
2. Hvilke områder eller elementer i en tunnel er best egnet til å vurdere tunnelens renhet?

### 3.2 Avgrensninger

Det er gjort flere avgrensninger for testmetoden. Bilder i tunnel tas kun i fart kjørende igjennom tunnelen. Dette er på grunn av sikkerhet, da det ikke er forsvarlig å stoppe i tunneler. Bildene i forsøkene er tatt innenfor et tidsrom på noen måneder, og det kan derfor være årsvariasjoner som ikke blir avdekket i denne oppgaven. Forsøkene er gjennomført på forskjellige tider på døgnet, men ikke kontinuerlig gjennom et helt døgn.

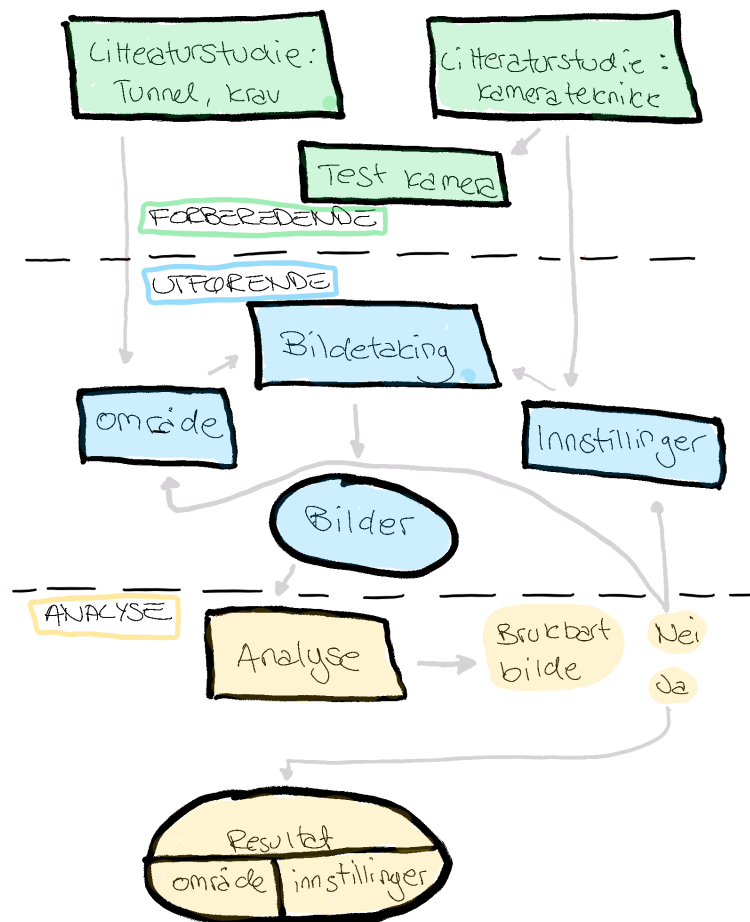
Bildene er blitt tatt manuelt, punktvis igjennom tunnelen, sånn at det er kun gjort analyse på enkeltområder, og ikke kontinuerlig gjennom tunnelen. Det er kun én tunnel som har blitt benyttet i forsøkene, som gjør at metoden kun er testet på en type overflate.

I denne oppgaven legges det vekt på bildetakingen, og optimalisering av den med bilder tatt i fart. Det er ikke gjort noen vurderinger på ventilasjonssystemets påvirkning på smussakkumulasjon i tunnel.



## 4. Metode

I etterkant av litteratursøket som er presentert i kapittel?? ble metode for forsøkene utviklet. De ulike stegene i metoden og andre spesifikasjoner er presentert i dette kapittelet. Formålet med oppgaven er å undersøke om bilder tatt fra bil kan brukes til å vurdere tilstanden på renhet i tunnel, og dermed brukes til å styre behovet for renhold. For å undersøke dette ble det først utført en test på kameraegenskaper. Deretter ble det gjennomført forsøk i en tunnel for for å teste og utvikle metoden. Figur 4.1 illustrerer prosessen for utarbeiding av metoden brukt i forsøkene.



Figur 4.1: Flytskjema for utarbeiding av metode

Utvikling av metoden kan deles inn i tre deler: forberedende, utførende og analyse som illustrert i figur 4.1. Den forberedende delen består av et litteraturstudium på tunnel og kamerateknikk, presentert i kapittel ???. Den utførende delen er forsøkene og forberedelse før hvert forsøk, presentert i delkapittel 4.1 og 4.2, og den siste delen er analyse. Det er gjennomført en vurdering av bildene etter hvert forsøk, som har blitt brukt til å forberede neste forsøk. Resultater fra en mer omfattende analyse er presentert i kapittel 5. Utarbeiding av metode kan derfor summeres opp i følgende steg:

1. Litteraturstudie på eksisterende krav, tilstand og metode for renhold i tunnel
2. Litteraturstudie på kamera og kamerateknikk
3. Test av spesifikke kameraegenskaper
4. Valg av interesseområder og kamerainnstillinger
5. Bildetaking
6. Analyse av bilder → steg 4
7. Resultat - metode for områder og innstillinger for tilstandsregistrering

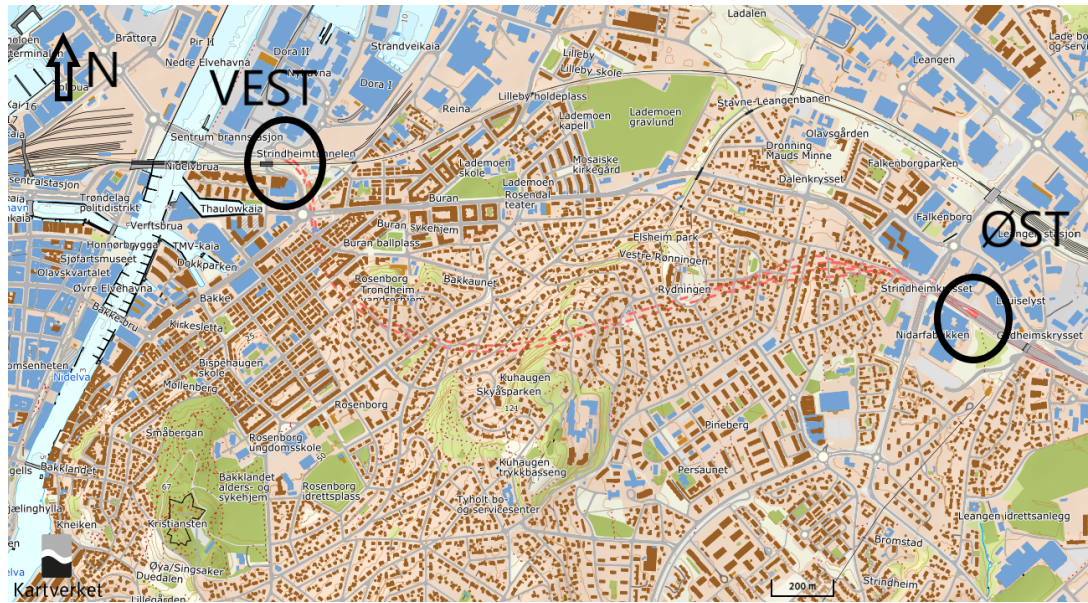
Den utarbeidede metoden kan brukes direkte fra steg 3 med et annet kamera eller steg 4 med samme type kamera.

## 4.1 Område for gjennomføring av forsøk

Forsøkene har blitt gjennomført i Strindheimtunnelen i Trondheim kommune. Tunnelen er valgt fordi den ligger i nærheten av Trondheim sentrum, sånn at det lett kan gjennomføres flere forsøk. Den har to løp, som er gunstig for å ta bilder uten møtende trafikk. Tunnelen ble åpnet i 2014, er 2,5 km lang og er klassifisert som tunnelklasse E, med fartsgrense 80 km/t. Årsdøgntrafikk(ÅDT) er 10 780 for østgående løp og 10 500 for vestgående (Statens vegvesen 2019). Andel tungtrafikk er 7 % for begge løpene. Værd data fra de siste 13 måneder viser at det har vært 197 dager med nedbør i Trondheim (Meteorologisk institutt 2019). Laveste punkt i tunnelen er 15 meter under havnivå. Figur 4.2 viser tunnelens plassering, og markerer tunnelens østre og vestre ende.

## 4.2 Forsøksgjennomføring

For å samle informasjon om renhet i en tunnel har bildetaking blitt valgt som metode. Det har vært viktig å bruke utstyr som er lett tilgjengelig for at metoden lett skal kunne gjenskapes. Derfor brukes det en privatbil med fartsholder til å kjøre igjennom tunnelen, og et vanlig speilreflekskamera til å ta bilder i fart. Bildene som tas blir brukt til å analysere smussakkumulasjon i tunnelen og behovet for vask.



Figur 4.2: Kartutsnitt av Strindheimtunnelen, markert med rosa stiplet linje, med illustrert innløp/utløp i øst og vest (Kartverket 2020)

## 4.2.1 Forsøksoppsett

### Utstyr

Utstyret som er brukt er en privatbil med fartsholder, og kamerautstyr tilhørende NTNU. Bilen brukt i første forsøk er en Mercedes Benz E-klasse, uten fartsholder, mens til de resterende forsøkene er det brukt en Tesla Model S. Til å ta bilder er det brukt et speilreflekskamera type Canon EOS 100D. Spesifikasjoner for kameraet er angitt i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Kameraspesifikasjoner (Canon INC. 2016)

Kamera	Canon EOS 100D
Objektiv	Canon zoom lense EFS 18 - 55 mm
Megapiksler	18
IOS	100 - 12 800
Lukker	30 - 1/4 000 sek

### Oppsett

Kameraet ble plassert midt på dashbordet for å ha et stødig underlag. Bildene er dermed tatt med lik høyde over bakken hver gang. Bildene er tatt gjennom frontruta, og frontruta har blitt

vasket med spylevæske før hvert forsøk.

## 4.2.2 Bildekvalitet og område

Målet med forsøkene er å undersøke hvilke faktorer som påvirker i hvilken grad et bilde er egnet for å bedømme renhet i tunnel og tidspunkt for tunnelvask. To hovedfaktorer har blitt undersøkt: bildekvalitet og område for analyse. Ulike parametre påvirker bildekvaliteten. Parametrene som er undersøkt i forsøkene er beskrevet i dette underkapittelet. Ettersom det finnes ulike områder og objekter i en tunnel som man potensielt kan fotografere og bruke i vurdering av tunnelens renhet, er det også relevant å undersøke hvilke områder som er best egnet for vurdering av renhet ved bildeanalyse. Områdene som er blitt vurdert i denne oppgaven er også beskrevet i dette underkapittelet.

### Bildekvalitet

Når bildekvalitet skal optimaliseres er det i denne oppgaven valgt å se på fire faktorer: ISO-verdi, lukkertid, blenderåpning og hastighet. Tabell 4.2 beskriver parameterene og hvordan de har blitt vurdert

Tabell 4.2: *Parametere endret for optimalisering av bildekvalitet, og vurderingsmetode*

Parameter	Vurdering
ISO	Lysstyrkehistogram + visuell
Blender	Lysstyrkehistogram + visuell
Lukkertid	Uskarphet i bildet + visuell
Hastighet	Uskarphet i bildet + visuell

### ISO

Det ble gjennomført et forsøk for å teste oppgavens kamera og hvordan bildekvaliteten med mengde støy endres ved høyere ISO-verdier. De ISO-tallene som har blitt brukt i forsøkene er 1600, 3200 og 6400.

### Blender

I forsøkene har det blitt benyttet en blenderåpning mellom  $f/3.5$  og  $f/16$ .

## Lukkertid

Da forsøkene er gjennomført i fart har lukkertid i kombinasjon med fart vært viktig for å optimalisere skarpheten i bildet. I første forsøk ble det benyttet en lukkertid på 1/25, og i de resterende ble det brukt en lukkertid på mellom 1/100 og 1/500.

## Hastighet

I Strindheimtunnelen er fartsgrensen 80 km/t i størsteparten av tunnelen, mens et lite stykke i vest før dagsonen har 60 km/t. Under forsøkene har det blitt kjørt i 30 km/t, 40 km/t, 50 km/t, 60 km/t og 70 km/t. Bildetaking i de laveste hastighetene har blitt gjennomført enten i forbindelse med stenging eller midt på natten, siden det bare da har vært vurdert som forsvarlig grunnet lite trafikk.

## Område

I forsøkene er det tatt bilder av følgende områder/objekter for å undersøke hvilke som er best egnet til bildeanalyse for vurdering av renhet i tunnel. For å vurdere hvilke områder som er best egnet er bildene av områdene blitt vurdert visuelt og med lysstyrkehistogram.

- Lys
- Skilt
- Tunnelhvelvingen - tak og vegg
- Vegbanen

## Lys

Funnene fra litteraturstudiet viser at det er forskjellige krav til lysnivået i tunnelen på dagtid, kveldstid og om natten. I tillegg er det overgangssoner for lyset i inn- og utkjøring for å tilpasse øynene til lyset på utsiden av tunnelen. Gjennom samtaler med Vegtrafikkentralen Midt ble det avdekket at det er vanlig med et fire- eller femtrinnsystem for lyset basert på luminansmålinger ved inn- og utløp, det er dette man finner i Strindheimtunnelen.

Strindheimtunnelen har lysarmaturer i midt i taket gjennom hoveddelen av tunneløpet. Ved inn- og utkjøringssone er tunnelprofilen firkantet, der er lysene festet i overgangen mellom tak og vegg. Lysarmaturene i taket var et av de første stedene det ble tenkt at det var lett å analysere renhet. Det er en glassplate under lyskilden som er en jevn overflate uten sjatteringer, den har god belysning. Det er i tillegg lys på banketten på utsiden av vegbanen, men disse er ikke studert i disse forsøkene.

## Skilt

Strindheimtunnelen har både innvendig og utvendig belyste skilt. I forsøkene har man sett på innvendig belyste skilt, som i figur 4.3b, da disse står 90 ° på tunnelveggen og er lette å identifisere i et bilde.



(a) Tunnelhvelving, Strindheimtunnelen



(b) Skilt 605 og 606(600.21)  
(Euroskilt 2020)

Figur 4.3: Bilde fra Strindheimtunnelen, og illustrasjon av et innvendig belyst skilt, som benyttet i Strindheimtunnelen

## Tunnelhvelving

Tunnelhvelving er i denne oppgaven regnet som tunnelprofilen, altså tak og vegger. Veggene er malt hvite (Vegdirektoratet 2016b). Dette gir et svært tydelig skille mellom vegg og tak, som man kan se i figur 4.3a.

## Vegbane

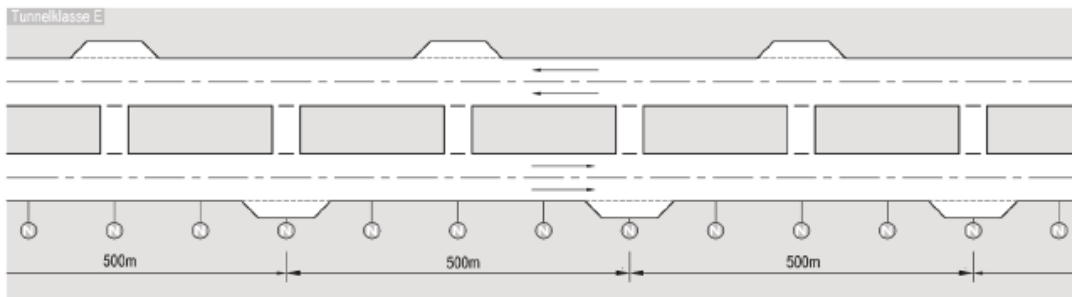
I Strindheimtunnelen består vegbanen av to felt, med hvitstripe på høyre side i kjøreretningen, og gulstripe på venstre side i kjøreretningen. Vegbanen er en plass man fort ser at det samler seg støv og skitt. I et renholdsforsøk utført av VTI i 2016, fant man at det samler seg mest støv i kanten mellom vegbanen og banketten (Vegdirektoratet 2016b). Derfor er det interessant å se på støvmengde i dette området, illustrert i figur 4.4. Dette bildet er tatt under tunnelvask, men før vegbanen har blitt vasket.



Figur 4.4: Asfalten med gulstripe inn mot banketten

### Havarinisjer

I Strindheimtunnelen (tunnelklasse E) er det en havarinisje hver 500 m i hvert løp, en tverrforbindelse mellom tunnellopene hver 250 m, og en nødstasjon hver 125 m, som illustrert i figur 4.5.

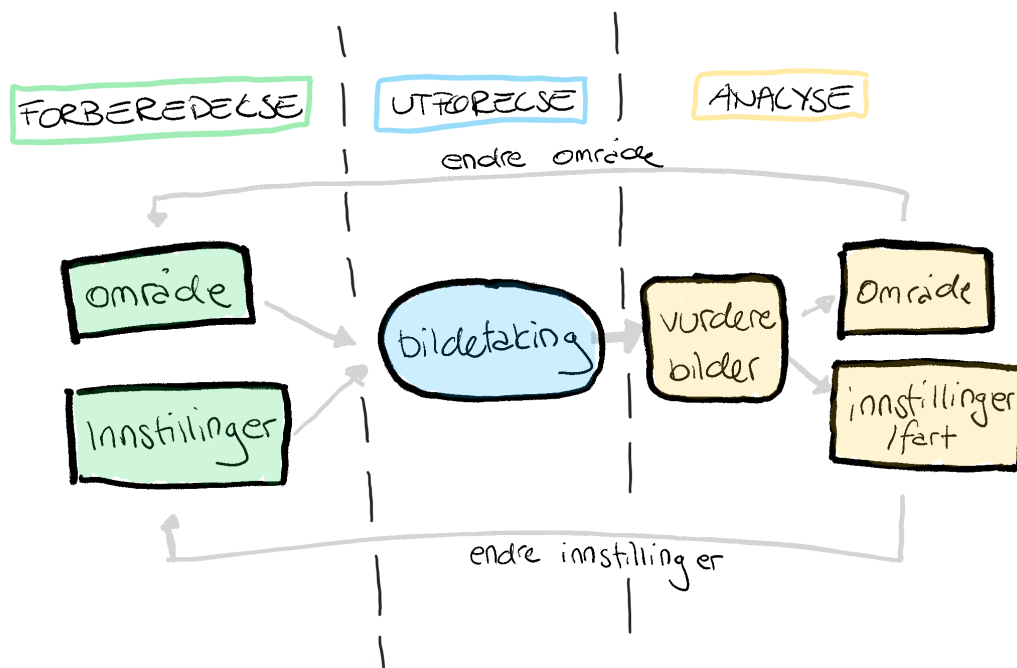


Figur 4.5: Plassering av havarinisje, figur 4.5 fra håndbok N500 (Vegdirektoratet 2016a).

### 4.2.3 Utføring av forsøk

Før hvert forsøk ble det bestemt hvilke innstillinger og områder som skulle brukes for forsøket. Det har etter hver gjennomkjøring blitt tatt en rask vurdering av bildene, før neste gjennomkjøring. Etter denne vurderingen har det blitt endret en parameter eller flere parametere. Hovedregelen har vært at det kun har blitt endret én kamerainnstilling mellom hver gjennomkjøring.

Forsøksstrukturen presentert i figur 4.6 beskriver rundene med forberedelse, utføring og analyse som er gjennomført i hvert forsøk. Før gjennomkjøring har det blitt gjort forberedelse i form av valg av kamerainnstilling, og eventuelt hvilket område det skal fokuseres på i bildetakingen. Deretter har det blitt foretatt en gjennomkjøring i ett av tunnellopene, før det har blitt foretatt en vurdering av bildene tatt i gjennomkjøringen. Etter denne vurderingen er gjennomført har det blitt gjort eventuelle endringer på kamerainnstillinger eller område, som forberedelse til neste runde med bildetaking.



Figur 4.6: Flytskjema for gjennomføring av forsøk

I forsøk 1 og 2 ble det tatt serier av bilder med kontinuerlig selvutløser, som tar 10 bilder etter 10 sekunder. I forsøk 3 og utover ble det brukt enkeltbilder. Programmet på kameraet var satt på manuell(M), for å kunne styre de aktuelle parameterene. Det ble benyttet autofocus og bildestabiliserer, men ingen blits.

Det har blitt gjennomført 10 forsøksrunder. I hver runde har det blitt utført minst to gjennomkjøringer i tunnelen. I forsøkene der det er kun sett parametere er det utført færre gjennomkjøringer. I forsøk der det er endret på flere parametere kan det vært opp mot 10 gjennomkjøringer i tunnelen. I tabell 4.3 presenteres oversikten over de forsøkene som er gjennomført.

Med resultatene fra forsøkene er målet å kunne vurdere optimale innstillinger og områder for brukbare bilder til analyse av behov for tunnelvask.



Tabell 4.3: Oversikt over utførte forsøk

Forsøk	Mål for forsøk	Parametere endret
1	Test	Ingen
2	Nye innstillinger	Blender, lukkertid
3	Bilder i forbindelse med vask	ISO, lukkertid, fart
4	Bilder i forbindelse med vask	Lukkertid, fart
5	Bilder etter vask	ISO, lukkertid, blender, fart
6	Referansebilder etter vask	Fart
7	Referansebilder etter vask	Ingen
8	Referansebilder etter vask	Fart
9	Referansebilder etter vask	ISO, lukkertid, blender, fart
10	Referansebilder etter vask	ISO, lukkertid, blender, fart

## 5. Resultater

I dette kapitlet presenteres resultatene fra forsøkene som er beskrevet i kapittel 4. I forsøkene har det blitt tatt bilder i tunnel med ulike kamerainnstillinger for å undersøke effekten av innstillingene på bildekvalitet og det er gjennomført analyser på områdene beskrevet i kapittel 4. I tillegg er det funnet andre faktorer som påvirker brukbarheten til bildet enn metoden identifiserer. Delkapittel 5.1 omhandler bildekvalitet og viser hvordan endringer i parametere påvirker bildekvaliteten. I delkapittel 5.2 beskrives resultater gjort på aktuelle områder og motiver for analyse, og i delkapittel 5.3 beskrives funn knyttet til variabel tunnelbelysning.

*Tabell 5.1: Tid på døgnet og antall bilder tatt i forsøkene*

<b>Forsøk</b>	<b>Antall bilder</b>	<b>Dag/natt</b>
1	19	Dag
2	55	Dag
3	41	Natt
4	67	Natt
5	93	Natt
6	6	Dag
7	7	Dag
8	11	Dag
9	51	Dag
10	118	Natt

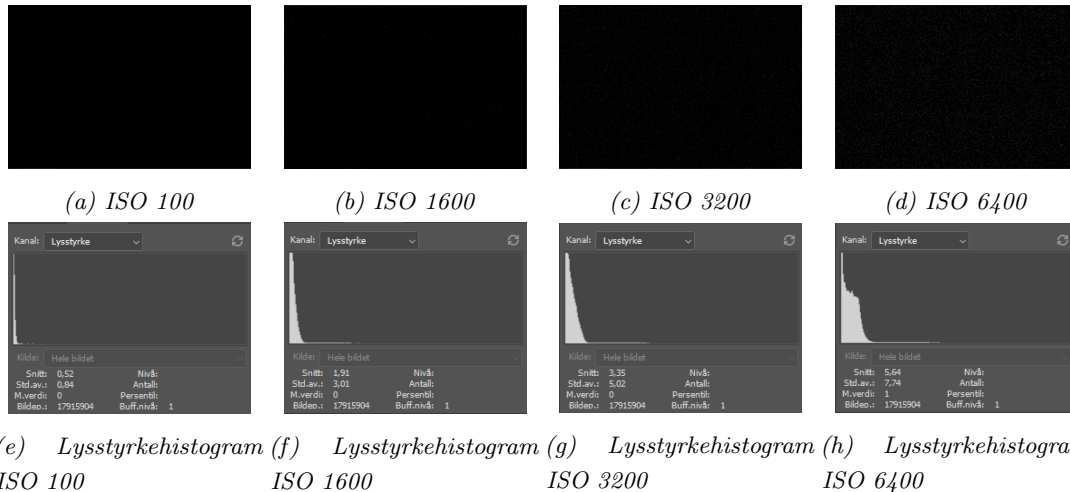
Det er totalt tatt 468 bilder i de ti forsøkene. Hvor mange bilder som er tatt i hvert forsøk, og hvilken tid på døgnet de er tatt er presentert i tabell 5.1. En oversikt over alle bildene brukt i analyse finnes i vedlegg A, og bildeinformasjon finnes i det elektroniske vedlegget.

### 5.1 Bildekvalitet

I dette delkapitlet presenteres funn vedrørende bildekvalitet. Det blir presentert bilder fra forsøkene og sett på hva de forskjellige parameterene ISO, blender, lukkertid og hastighet har å si for bildekvaliteten. Det blir gjort en visuell vurdering på bildekvaliteten på de forskjellige bildene med forskjellige innstillinger.

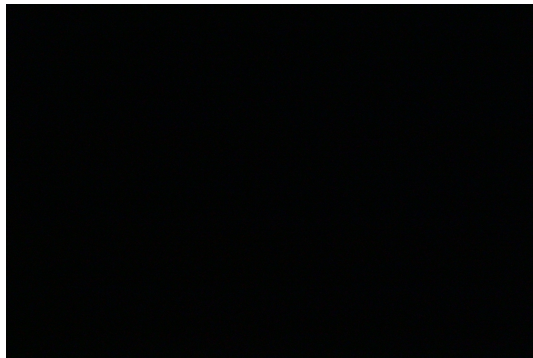
### 5.1.1 ISO

Resultat fra initielle forsøk for å avdekke støy ved ulike ISO-verdier på kameraet benyttet i forsøkene vises i figur 5.1. Her viser figur 5.1a, 5.1b, 5.1c og 5.1d bilder tatt med lokket på linsa, videre er disse bildene analysert i Photoshop for å se lyshistogrammene til de forskjellige ISO-verdiene. I figur 5.1e, 5.1f, 5.1g og 5.1h ser vi lysstyrkehistogrammene, og det kan tydelig vises at bilder tatt ved ISO 6400 har en mye større andel piksler med verdier over 0 enn bilder tatt med lavere ISO-verdier.

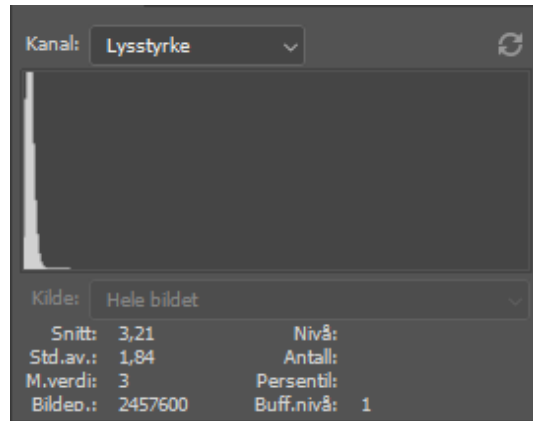


Figur 5.1: Over: bildene tatt med ISO-verdiene brukt i forsøkene, lukkertid 1/100, blender f/5. Under: tilhørende lysstyrkehistogram

Bildene i forsøkene er tatt med kameraets høyeste oppløsning, 5184 \* 3456 piksler. I figur ?? vises et bilde med ISO 6400 tatt med linselokket på, som i figur 5.1, men med lavere oppløsning, 1920 \* 1280 piksler, for å se om dette har noen innvirkning på støymengde. Hvis man sammenligner lysstyrkehistogrammene til bildene tatt med ISO 6400 ser man i figur 5.1h og 5.2b at figur 5.1d med lavere oppløsning har færre høye verdier enn 5.2a med høyere oppløsning.



(a) Bilde med ISO 6400, tatt med linselokket på, dimensjoner: 1920 \* 1280



(b) Lysstyrkehistogram til figur 5.2a

Figur 5.2: Bilde med ISO 6400, lukkertid 1/250, blender f/5 og tilhørende lysstyrkehistogram

I figur 5.3 er det presentert en sammenligning av to bilder med nesten helt like innstillinger, men to forskjellige ISO-verdier. Figur 5.3a viser et bilde med ISO 3200 og figur 5.3b viser et bilde med ISO 6400. De andre parameterene er blender f/5, lukkertid 1/160 og hastighet 50 km/t. Bildene er tatt med få minutters mellomrom, i forskjellige løp. Figur 5.3a kl. 02:23 i vestgående løp og figur 5.3b kl. 02:28 i østgående løp.



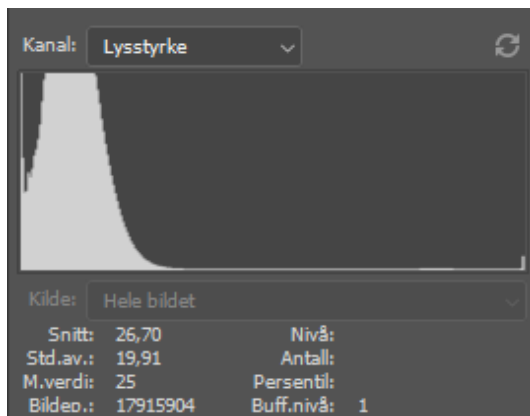
(a) Bilde med ISO 3200



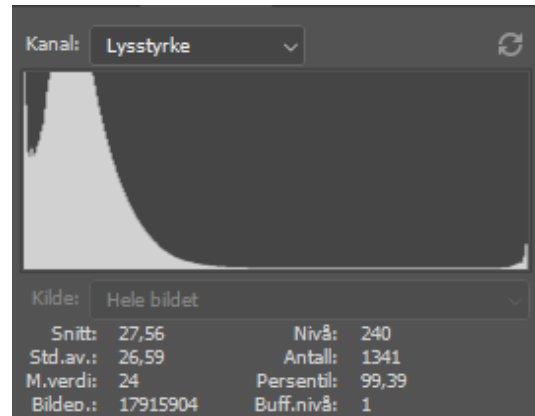
(b) Bilde med ISO 6400

Figur 5.3: Bilder fra forsøk 5 med blender f/5, lukkertid 1/160 og hastighet 50 km/t, om natten figur 5.3a ISO 3200 i vestgående løp og figur 5.3b ISO 6400 i østgående løp

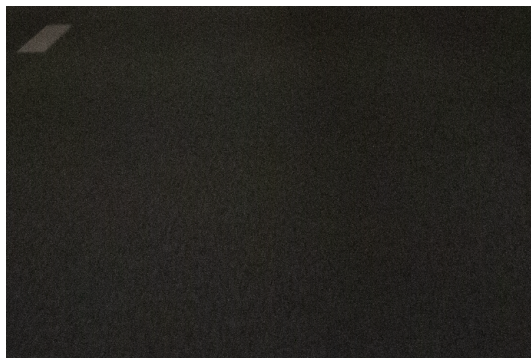
I figur 5.4 er det gjennomført en analyse på bildene i figur 5.3. Man kan se at standardavviket på lysstyrken er større på figur 5.3b enn på 5.3a. Dette kan også sees visuelt i utsnittet av vegbanen.



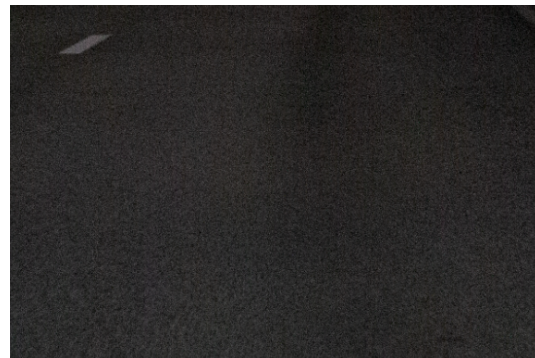
(a) Lysstyrkehistogram av figur 5.3a



(b) Lysstyrkehistogram av figur 5.3b



(c) Utsnitt av vegbane på figur 5.3a



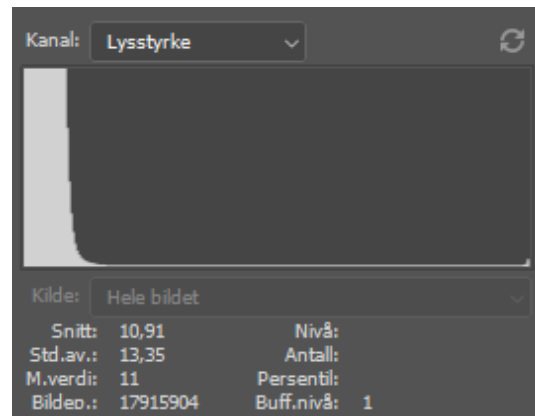
(d) Utsnitt av vegbane på figur 5.3b

Figur 5.4: Bilder fra forsøk 5 med blender  $f/5$ , lukkertid  $1/160$  og hastighet  $50 \text{ km/t}$ , om natten figur 5.3a ISO 3200 i vestgående løp og figur 5.3b ISO 6400 i østgående løp

I figur 5.5 ser vi et bilde tatt med samme blenderåpning som i figur 5.4, men en lavere ISO-verdi, 1600, og en kortere lukkertid  $1/250$  sekund. I figur 5.1b ser man verdiene i lysstyrkehistogrammet er svært lave, lavere enn i figur 5.4.



(a) ISO 1600



(b) Lysstyrkehistogram av bilde i figur 5.5a

Figur 5.5: Bilde med tilhørende lysstyrkehistogram. ISO 1600, blender  $f/5$ , lukkertid  $1/250$ , hastighet 60 km/t, vestgående løp tatt på dagtid

### 5.1.2 Blenderåpning

Bildene i figur 5.6 er begge tatt på natten med ISO 6400. Lukkertid og hastighet er ikke lik, men  $1/200$  i 30 km/t i østgående løp for figur 5.6a og  $1/160$  i 50 km/t i vestgående løp for figur 5.6b.



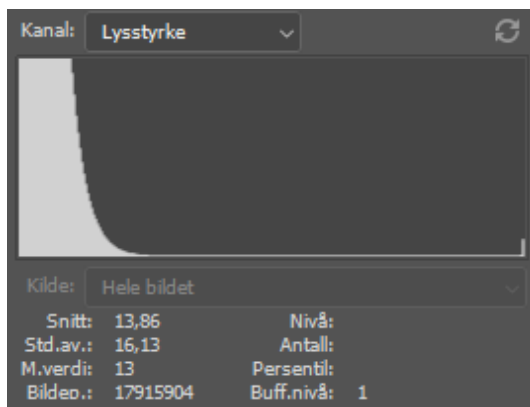
(a) Blenderåpning  $f/10$



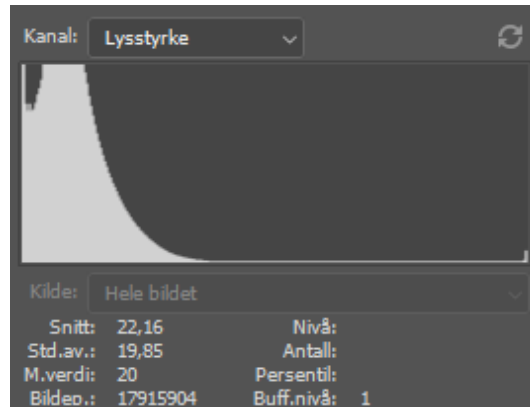
(b) Blenderåpning  $f/5$

Figur 5.6: Bilder med følgende innstillinger: ISO 6400, figur 5.6a lukkertid  $1/160$ , hastighet 50 km/t blender  $f/5$ , figur 5.6b lukkertid  $1/200$ , hastighet 30 km/t, blender  $f/10$

For å se på dybdeskarpheten i bildet, er det tatt et utsnitt av område lengre bak i bildet, vist i figur 5.7. Figur 5.6b som har større blenderåpning skal i teorien ha en mer uklar bakgrunn enn figur 5.6a, som har en mindre åpning. I figur 5.7c kan man se at nødutgangskiltet til venstre i bildet er mer tydelig enn tilsvarende nødutgangsskilt på figur 5.7d, selv om det er lenger bak.



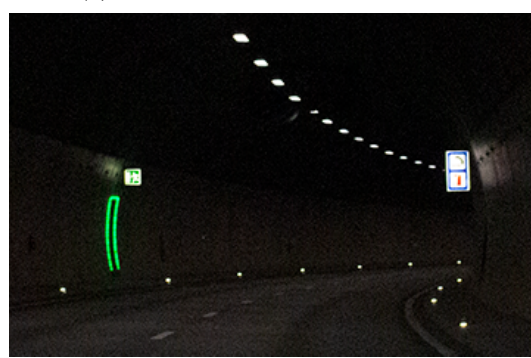
(a) Lysstyrkehistogram til figur 5.6a



(b) Lysstyrkehistogram til figur 5.6b



(c) Utsnitt av bakgrunn fra figur 5.6a



(d) Utsnitt av bakgrunn fra figur 5.6b

Figur 5.7: Lysstyrkehistogram og utsnitt av bakgrunn fra figur 5.6

### 5.1.3 Lukkertid

I første forsøksrunde ble lukkertiden satt til å være  $1/25$  sekund. I figur 5.8a vises et bilde fra dette forsøket, og figur 5.8b viser et utsnitt av nødstasjonsskiltet i bildet. Man ser tydelig at teksten som befinner seg på skiltet i figur 5.8b er uleselig.

Figur 5.9 viser et bilde tatt med lukkertid  $1/200$  sekund. Skiltet i figur 5.9b fremstår mye klarere enn tilsvarende utsnitt i figur 5.8b.



(a) Lukkertid 1/25 sek



(b) Utsnitt nødstasjonsskilt i figur 5.8a

Figur 5.8: Bilder fra forsøk 1 med ISO 1600, blender f/11 og lukkertid 1/25, hastighet 70 km/t i østgående løp tatt på dagtid



(a) Bilde med lukkertid 1/200



(b) Utsnitt av nødstasjonsskilt i figur 5.9

Figur 5.9: Bilde fra forsøk 10 og utsnitt av skilt med følgende parametre: ISO 6400, blender f/8, lukkertid 1/200, hastighet 40 km/t, tatt om natten i østgående løp

Den minste lukkertiden benyttet i forsøket er 1/500 sekund. I figur 5.10 vises et bilde fra dette forsøket, og et utsnitt av skiltet til høyre i bildet er vist i figur 5.10b. Bokstavene på skiltet fremstår som tydelige, men bildet er veldig mørkt sammenlignet med figur 5.9.

Ut i fra figur 5.8, 5.9 og 5.10 kan det anbefales en lukkertid på godt rundt 1/200, som ga klare områder i bildet i den hastigheten bildet ble tatt i.





(a) Lukkertid 1/500 sekund



(b) Utsnitt av skilt

Figur 5.10: Bilde fra forsøk 3 med ISO 6400, blender f/10, lukkertid 1/500 og hastighet 30 km/t

### 5.1.4 Hastighet

Lav lukkertid gjør at man kan benytte høyere hastighet. I forsøkene er det benyttet hastigheter på opp til 70 km/t. For å sammenligne hastighet er det valgt tre bilder med like innstillinger tatt i forskjellig hastighet. Figur 5.11, 5.12 og 5.13 viser bilder tatt med ISO 3200, blender f/5 og lukkertid 1/160 i 40, 50 og 60 km/t. Bildene er tatt i østgående løp på nattestid i forsøk 5.



(a) Hastighet 40 km/t



(b) Utsnitt

Figur 5.11: ISO 3200, blender f/5, lukkertid 1/160, på natten i østgående løp, 40 km/t

Ved å sammenligne figur 5.11 og 5.12 ser man ingen tydelig forskjell i klarheten på skiltet i utsnittet.



(a) Hastighet 50 km/t



(b) Utsnitt

Figur 5.12: ISO 3200, blender f/5, lukkertid 1/160, på natten i østgående løp, 50 km/t

Ved å sammenligne utsnittene, figur 5.11b, 5.12b og 5.13b kan man se at ved lukkertid 1/160 sekund blir ikke det analyserte området like klart i 60 km/t som i de andre. Dette tyder på at ved benyttning av lukkertid 1/160 sekund er 50 km/t en øvre grense for hastighet.



(a) Hastighet 60 km/t



(b) Utsnitt

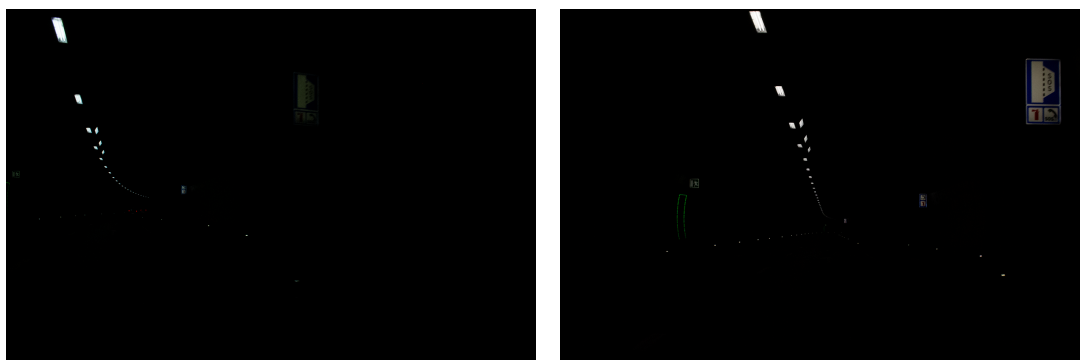
Figur 5.13: ISO 3200, blender f/5, lukkertid 1/160, på natten i østgående løp, 60 km/t

## 5.2 Område

For å bedømme de forskjellige aktuelle områdene har det blitt sett på hvor enkelt det er å få bilder med tilfredsstillende bildekvalitet og høy brukbarhet i fart. Det må være mulig å finne området på et bilde, og å kunne si noe om hvordan tilstanden på renhet er. Nevne fart

### 5.2.1 Lysarmatur

Funn knyttet til variabel belysning er presentert i delkapittel 5.3. I figur 5.14 er det tatt bilder der forholdene utenfor tunnelen skal være så like som mulig, og med like kamerainnstillinger og hastighet. Figur 5.14a er fra dagen etter lysarmaturene er vasket, og figur 5.14b er fra 6 uker etter vask.

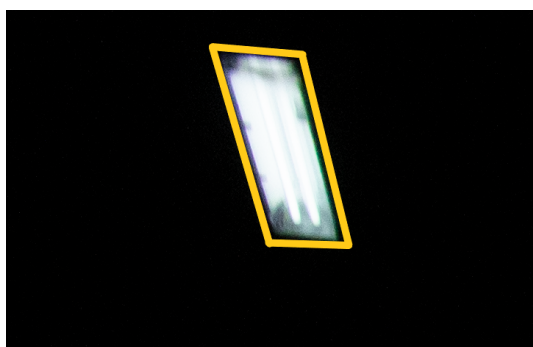


(a) Lysarmatur 1 dag etter vask

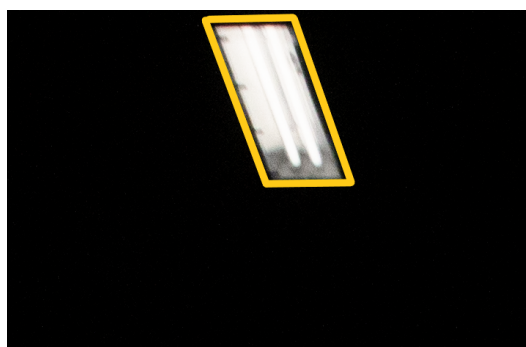
(b) Lysarmatur 6 uker etter vask

Figur 5.14: Bilder med følgende innstillinger: ISO 1600, blender  $f/11$ , lukkertid  $1/250$ , 70 km/t, dagtid, vestgående løp

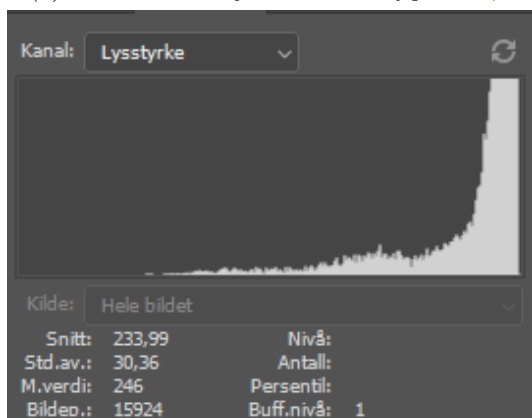
I figur 5.15 ser man at gjennomsnittsverdien til lysarmaturet på bildet tatt 1 dag etter vask er høyere enn gjennomsnittsverdien til lysarmaturet på bildet tatt 6 uker etter vask.



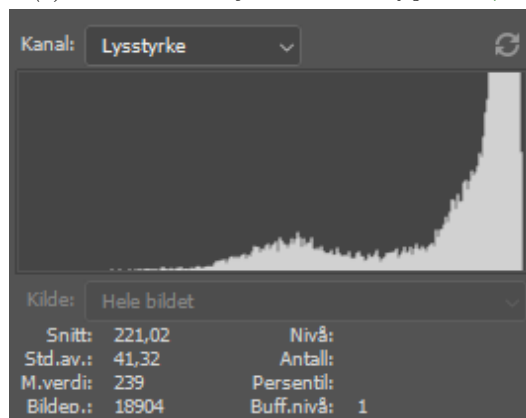
(a) Utsnitt av analysert område i figur 5.14b



(b) Utsnitt av analysert område i figur 5.14b



(c) Lysstyrkehistogram av utsnitt i figur 5.15a



(d) Lysstyrkehistogram av utsnitt i figur 5.15b

Figur 5.15: Utsnitt og lysstyrkehistogram fra figur 5.14

## 5.2.2 Skilt

Det har i forsøkene blitt fokusert på ta bilder av innvendig belyste skilt. Figur 5.16a viser hvordan skilt 600.21 nødsstasjon er utformet i Strindheimtunnelen. Skiltet i figur 5.16a er konstant belyst, og tilsvarende skilt er lett identifiserbare, på bilder som man kan se i figur 5.18. Skiltene i Strindheimtunnelen blir vasket for hånd med såpe, børste og spylt ved hel- og halvvaske. Figur 5.16b viser at skilt også kan bidra til ekstra belysning på tunnelhvelvingen, som de fullgrafiske skiltene i Strindheimtunnelen.



(a) Bilde av skilt 600.21



(b) Tunnelhvelving med lyspåvirkning

Figur 5.16: Innvendig belyste skilt i Strindehimstunnelen

Figur 5.17 viser bilder tatt 2 og 6 uker etter vask, med helt like innstillinger, ISO 6400, blender  $f/6.3$ , lukkertid  $1/200$  i 50 km/t på nattetid i vestgående løp, på samme sted i tunnelen.



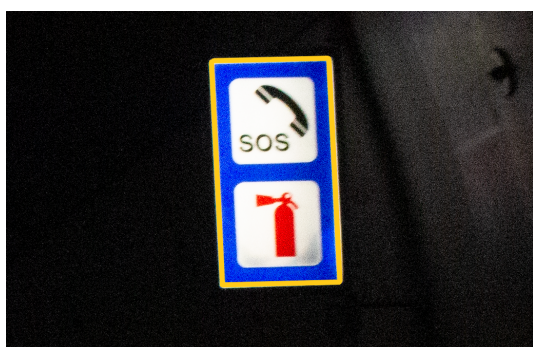
(a) Bilde tatt to uker etter vask



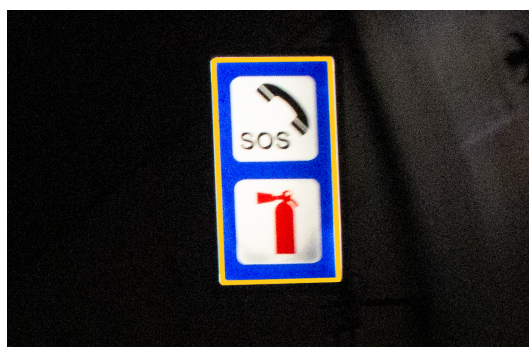
(b) Bilde tatt seks uker etter vask

Figur 5.17: Bilder med følgende innstillinger: ISO 6400, blender  $f/6.3$ , lukkertid  $1/200$ , 50 km/t, nattetid, vestgående løp

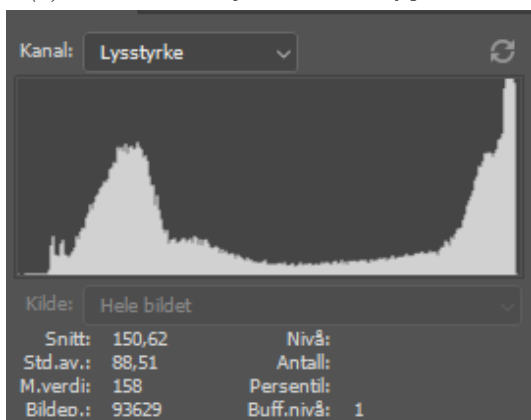
Ved å sammenligne bildene i figur 5.17, som vist i figur 5.18 ser man at gjennomsnittsverdien for lyset er høyere 6 uker etter vask. En liten forskjell mellom bildene er at skiltet i figur 5.17a er litt lenger unna kameraet enn skiltet i figur 5.17b. Dette gjør at når utsnittene er tatt, er figur 5.18a zoomet til 140 % mens figur 5.18b er zoomet til 127 %.



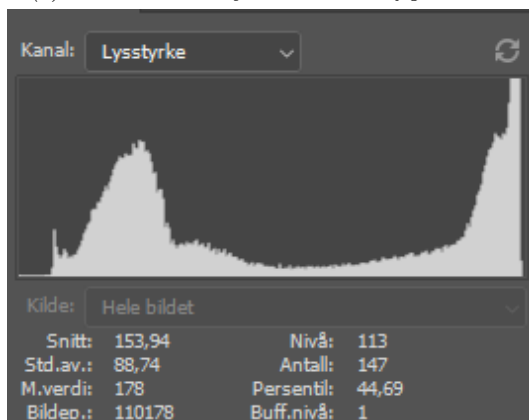
(a) Utsnitt av analysert område i figur 5.17a



(b) Utsnitt av analysert område i figur 5.17b



(c) Lysstyrkehistogram av utsnitt i figur 5.18a



(d) Lysstyrkehistogram av utsnitt i figur 5.18b

Figur 5.18: Utsnitt og lysstyrkehistogram til figur 5.17

### 5.2.3 Tunnelhvelvingen

#### Tak

Taket vaskes kun under helvask, som i Strindheimtunnelen er to av seks ganger i året. Det gjør taket interessant for målinger for hyppighet på helvask.

#### Vegg

I figur 5.19 ser man to bilder tatt nesten samme sted, med samme innstillinger, på natten, to og seks uker etter vask.



(a) 2 uker etter vask



(b) 6 uker etter vask,

*Figur 5.19: Bilder ISO 6400, blender f/6.3, lukkertid 1/200 sek, fart 50 km/t, to og seks uker etter vask ca. kl. 02.00*

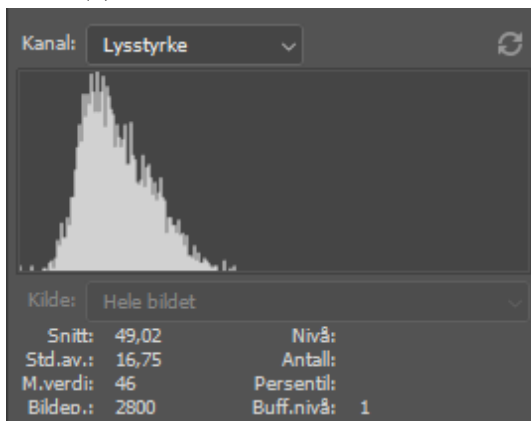
For å sammenligne bildene i figur 5.19 velges det et område. Området er like mange piksler, 70 \* 40 på begge bildene, og plassert så likt som mulig, dette er vist i figur 5.20a og 5.20b, der den oransje firkanten indikerer det aktuelle området. Deretter sammenlignes lysstyrkehistogrammene som vist i figur 5.20c og 5.20d.



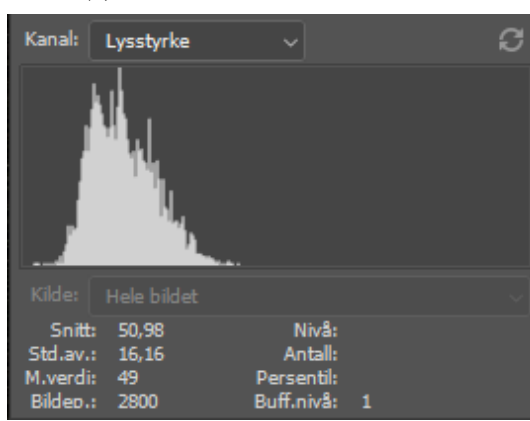
(a) 2 uker etter vask, valgt område



(b) 6 uker etter vask, valgt område



(c) Lysstyrkehistogram for område fra figur 5.20a



(d) Lysstyrkehistogram for område fra figur 5.20b

Figur 5.20: Utsnitt og lysstyrkehistogram av figur 5.20

## 5.2.4 Vegbanen

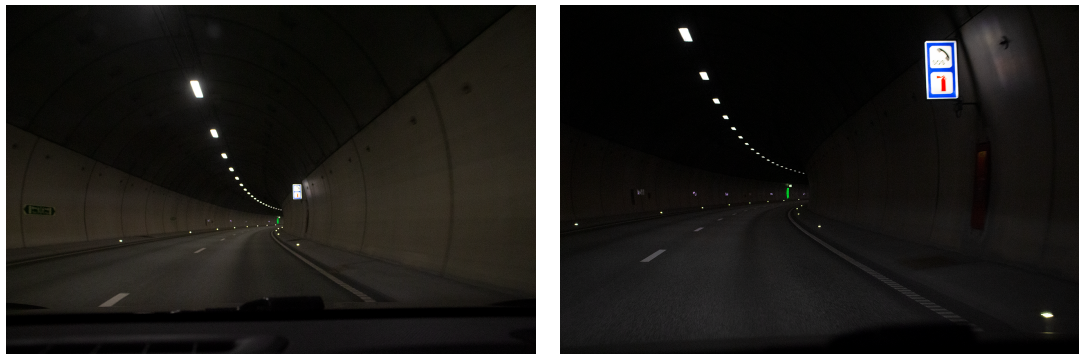
Fordi lysetnivået i tunnelen ikke er konstant, er det nødvendig å finne ut hvilken innvirkning dette kan ha for forsøkene og bruk av bilder til tilstandanalyse. For å se om lysmengden på bildene er forskjellig, er det blitt tatt bilder med samme innstilling på dagtid og nattetid, for å se om

## 5.3 Effekt av variabel tunnelbelysning

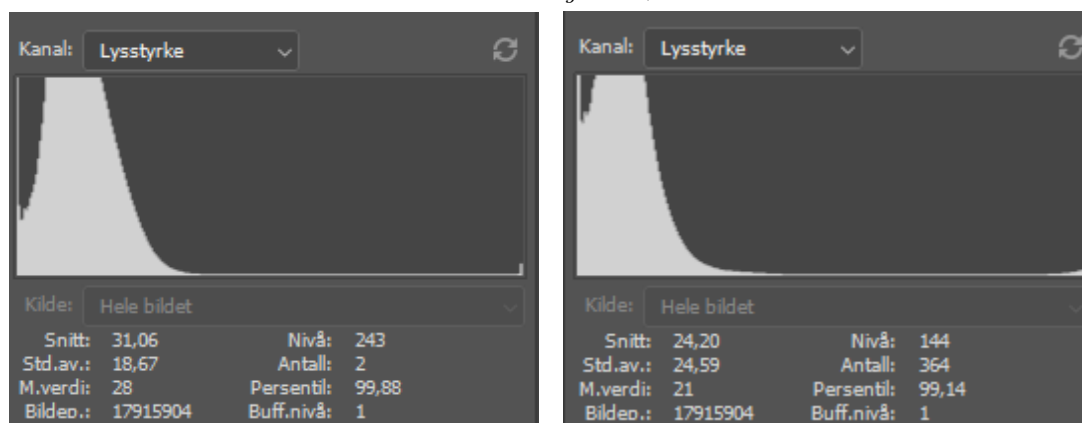
Fordi lysetnivået i tunnelen ikke er konstant, er det nødvendig å finne ut hvilken innvirkning dette kan ha for forsøkene og bruk av bilder til tilstandanalyse. For å se om lysmengden på bildene er forskjellig, er det blitt tatt bilder med samme innstilling på dagtid og nattetid, for å se om



lysmengden på bildene er forskjellig. I figur 5.21 ser vi to bilder tatt på forskjellig tid av døgnet på ulik dato. Bildet i figur 5.21a på dagtid med sterke lysforhold og full sol utenfor tunnelen. Bildet i figur 5.21b ble tatt på nattetid, uten fullstendig nattemørke (kilde).



(a) Dagtid 28. juni kl. 16:24, værforhold: sol, skyfri (b) Natt 21. mai kl. 02:13, værforhold: klar himmel og tussmørke



(c) Skjermdump: graf av lysstyrke fra Adobe Photoshop av figur 5.21a (d) Skjermdump: graf av lysstyrke fra Adobe Photoshop av figur 5.21b

Figur 5.21: Bilder av tunnelen dag og natt med samme innstillinger: ISO:3200, lukkertid:1/100, blenderåpning: f5, og histogram av lysstyrke fra Adobe Photoshop

I figur 5.21c vises det at bilde 5.21a har en høyere snittverdi enn bilde 5.21b. Hele punktfordelingen i figur 5.21c ligger lenger mot høyre, som også viser at verdiene i bildet er lysere enn i figur 5.21b. På figur 5.21b er søylen helt til venstre, på 0, tykkere enn på figur 5.21a, som tyder på at bildet er mer undereksponert.

## 6. Diskusjon

I dette kapittelet diskuteres resultatene presentert i kapittel 5 opp mot formålet og forsknings-spørsmålene, som presentert i kapittel 3. I tillegg diskuteres feilkilder som kan ha påvirket resultatene, hvilke utfordringer som har oppstått og hvilke erfaringer som har blitt gjort med arbeidet. Det blir sett på hvilken påvirkning funnene kan ha og forslag til videre arbeid.

### 6.1 Bildekvalitet

“Er lysforholdene i en tunnel gode nok for å oppnå tilstrekkelig bildekvalitet i fart?”

For å vurdere bildekvalitet har det blitt sett på fire parametere som har påvirkning på denne. Tre av disse, ISO, blenderåpning og lukkertid er kameratekniske parametere. En fjerde parameter er hastigheten på bilen det blir tatt bilder fra.

Lukkertiden gir begrensninger på hvor høy hastigheten kan være for å få et skarpt bilde. Fra figur 5.12 og 5.13 ser man at 50 km/t i timen er begrensende hastighet ved lukkertiden 1/160 sekund. Ved kort lukkertid vil mindre lys slippe inn til linsa, og man er avhengig av å justere de andre innstillingene for å slippe inn mer lys, man ser i figur 5.9 og at det kan være tilstrekkelig med lukkertid 1/200 sekund, og at det ikke gir noen visuell fordel med kortere lukkertid som i figur 5.10.

Den lave kunstige belysningen i tunneler gjør at man må bruke innstillingene for å slippe inn mer lys til sensoren på kameraet. Siden lukkertiden må være lav nok for å få skarpe bilder må man gjøre blenderåpningen større og ISO-verdien høyere. Det er ikke definert en minimum lysmengde for brukbart bilde. Tilstrekkelige lysforhold vil avhenge av analyseområde. For analyse på lysarmatur vil man kreve mye mindre lys i resten av bildet enn ved analyse på vegg eller tak.

Ved å ha en større blenderåpning vil man få en mer uklar bakgrunn, som man kan se i figur 5.7. Høye ISO-verdier får man mye støy i bildet, som man kan se av ISO-forsøkene presentert i figur 5.1. En ting man kan gjøre er å justere ned dimensjonen på bildene, som i figur 5.2, der man ser at andelen støy er mindre enn ved tilsvarende bilde med høy oppløsning. Det er ikke gjort forsøk med å ta bilder med lavere oppløsning i denne oppgaven. En mulighet er å bruke utregning for eksponeringsverdi(EV) for å finne lik lysmengde med forskjellige innstillinger.

Kameraet og objektivet brukt i oppgaven er et Canon EOS 100D med et ESF 18-55 mm objektiv er utstyr som er relativt standard, dette for å lette brukervennligheten ved gjennomføring av forsøk,

og tilgjengeligheten til lignende typer utstyr.

Når for mye lys slippes inn i bildet vil det bli overeksponert, og ved for lite blir det undereksponert. I bildene fra forsøkene, som i figur 5.5 ser man at det er mer typisk at bildene blir undereksponert enn overeksponert. Det kan være områder som er overeksponert, som lysarmaturene i figur 5.7. Ingen av delene trenger å være en ulempe, det avhenger av analyseområde.

Etter å ha sett resultatene fra forsøkene er det klart at utfordringen med bildekvalitet er at alle kamerainnstillingene må spille sammen for å få nok lys, og at nok lys ikke er definert, det avhenger av analyseområde.

## 6.2 Områder

“Hvilke områder eller elementer i en tunnel er best egnet til å vurdere tunnelens renhet?”

Det er i 5.2 gjort analyse på renhet med skilt, vegg og lysarmatur. I tillegg er vegbane og tak vurdert som analyseområde.

I analysen gjennomført på et område på en vegg i en havarilomme 2 og 6 uker etter vask i figur 5.20 ser man at lysstyrkehistogrammene i figur 5.20c og 5.20d indikerer at veggen har blitt lysere tid etter vask, som er usannsynlig. Det kan være mange feilkilder til dette. En kan være at siden lyset på natten ikke blir like mørkt i juni som i mai er lysnivået i tunnelen høyere. En annen kan være plassering av utsnittet.

En faktor som kan legge begrensninger for valg av område er hastighet. I analysene er det ikke sett på hvordan hastighet og lukkertid spiller inn på andre områder enn skilt. Figur 5.13 viser at 60 km/t er for høy hastighet for lukkertiden 1/160 sekund, ved visuell bedømming av skilt. Dermed kan det være at man får forskjellige resultat ved å analysere et veggelement.

Ved å gjøre analysen på lysarmatur kan man redusere behovet for forsterking av lys til kameralinsen, som kan være en fordel med tanke på støy fra høy ISO-verdi. Det kan også lette arbeidet med bildetaking da det åpner for kortere lukkertid, og dermed kjøring i høyere hastigheter. I figur 5.15 ser man at analysen gjennomført indikerer at lysoverflaten er mørkere 6 uker etter vask enn dagen etter, dette kan bekrefte at lysarmatur kan være et bra område for gjennomføring av analyse. Her kan man da anta at ved å ta bildene på samme tid av døgnet har eliminert effekten av variabel belysning.

På forhånd var det tenkt at innvendig belyste skilt var aktuelt på grunn av den varierende belysningen i tunnelen. Antallet skilt i en tunnel er færre enn antall lysarmatur, som gjør det lettere å stedsbestemme bildet, og hvilket skilt for nøyaktig analyse. I figur 5.18 ser man av analysen av mørkheten på skiltet gir at det er lysere etter 6 uker etter vask, et funn som kan

betegnes som uventet. En mulig årsak til dette er at skiltet i figur 5.18a er litt lenger bak i bildet enn skiltet på figur 5.18b. En annen ulempe med skiltene er at det kan komme fukt i skiltet, noe som kan påvirke folien, som man kan se i figur 5.18a og 5.18b der skiltet er mørkere i nedre høyre hjørne.

En utfordring ved alle de gjennomførte analysene på område er at avstanden fra kameralinsen til det analyserte objektet kan ha påvirkning på lysmengden som objektet reflekterer. Selv om to bilder tatt på forskjellig tid kan være tatt på samme sted i tunnelen, skal det godt gjøres at bildene er akkurat helt like. Det kan være at fokuset er litt forskjellig, eller at man kjører på forskjellig sted i vegbanen eller at det er to meter mellom bildetakingspunktene. Ved å ha kjørt igjennom Strindeheimtunnelen mange ganger har det blitt lettere å identifisere sammenfallende sted på bildene, men dette bør ikke være et krav for gjennomføring av analyse.

En annen utfordring knyttet til valg av område er at i en tunnel med to løp vil trafikken stort sett ligge i høyre felt. Dette medfører at det vil bli mer skitt på høyre side av vegbanen enn på venstre side. Det har ikke blitt gjennomført analyser på dette, men det er en observasjon fra driftsentreprenør.

Et alternativ til de eksisterende omgivelsene i en tunnel er etablering av et eller flere testområder. For eksempel et malt felt på 1 ganger 1 meter, som kan identifiseres i bildene, der man vet hvilken fargeverdi området hadde da det ble etablert.

## 6.3 Variabel belysning

Det ble gjort funn knyttet til variabel belysning som presentert i delkapittel 5.3. Som man kan se basert på analysen i figur 5.21 har dette stor innvirkning på analysemetode. Det betyr at det ikke er vilkårlig hvilken tid på døgnet man gjennomfører forsøk. For å korrigere for denne effekten kan man gjennomføre analysen på objekter med konstant bakgrunnsbelysning som skilt.

På grunn av den variable belysningen vil adaptjonsluminansen i inn- og utkjøringssone være ugunstig for analyse. I forsøkene har det derfor ikke blitt tatt bilder helt ved inn- og utkjøringen ved tunnelen, for å unngå at dette påvirker analysene.

Lyset på natten i slutten av mai er mørkere enn lyset midt på natten i slutten av juni. Derfor kan dette ha hatt innvirkning på analysen der man har sammenlignet et bilde tatt på natten i juni med et tatt på natten i mai.

Andre forhold som ikke kan styres, som vær og fukt kan også ha en påvirkning på lysnivået. Luftfuktigheten har det ikke blitt sett på. Værforhold ute kan gi forskjellige nivå på lyset avhengig om det er overskyet eller sol, og ved regn kan nedbør som kjøretøy drar med inn i tunnelen påvirke både på lysnivået og smussakkumulasjon.

For å unngå problematikken rundt varierende belysning kan et tiltak være å skru tunnelbelysningen i indre sone til en gitt verdi, for eksempel på 100 %, hver gang det skal bli tatt bilder.

## 6.4 Brukbarhet

Brukbarhet er noe annet enn kun god bildekvalitet, det krever også et motiv som egner seg til analyse. Det er som presentert i resultater og diskutert i delkapittel 6.1 og 6.2 mange faktorer som påvirker om bildet kan analyseres. Brukbarheten til et bilde er derfor særlig avhengig av valgt område. Vet å bestemme analyseområde kan kamerainnstillinger og hastighet justeres sånn at valgt område kan bli riktig eksponert for lys.

For å vurdere bildene har det blitt brukt visuell evaluering og et lysstyrkehistogram. Ved å gjøre en visuell analyse vil resultatet i stor grad avhenge av hvem som gjennomfører analysen, dette er derfor ikke en ideell metode for analyse, og det bør undersøkes om andre mer objektive metoder kan brukes. Ved å vurdere områder ved hjelp av lysstyrkehistogram vil resultatene avhenge av hvordan området er avgrenset. I denne oppgaven er området tegnet ved hjelp av lassoverktøy i Photoshop, og det er derfor utfordrende å gjenskape et eksakt lik område for analyse.

## 6.5 Feilkilder

Det finnes noen feilkilder som kan ha påvirket resultatene fra forsøkene. Feilkildene som har blitt identifisert er beskrevet i dette kapittelet.

I forsøkene har det blitt benyttet autofokus. Dette er av praktiske årsaker da bildene ble tatt i fart. Man har da ikke mulighet til å styre fokus til ønsket sted, noe som kan føre til at områder man ønsker skal være i fokus ikke er det. Dette kan ha særlig innvirkning på bilder tatt med stor blenderåpning.

Før hvert forsøk har ruta blitt vasket med spylevæske og viskere. Dette vasker utsiden av ruta, men det er ingen garanti for at det ikke er flekker på ruta under forsøkene. Det ble ikke vasket på innsiden av frontruta, der det også forekommer støv.

I forsøkene har det være ønskelig å ta bilder uten forstyrrelse fra andre kjøretøy i tunnelen. Dette har flere ganger vært vanskelig å unngå. I disse tilfellene kan lys fra andre kjøretøy påvirke lysforholdene i tunnelen. Dette gjelder og lys fra kjøretøyet som ble brukt i forsøkene. Det har blitt benyttet samme bil, i forsøk 2 - 10, denne har LED-frontlykter som blir aktivert i en tunnel hvis lysene er på auto, men lysene kan også være satt på parklys, altså vanlige kjørellys på dagtid. Disse to lysinnstillingene vil gi et forskjellig bidrag til tunnelomgivelsene. Det er benyttet forskjellig bil i forsøk 1 og de resterende, dette vil kunne påvirke resultatene hvis man sammenligner bilder fra

forsøk 1 med bilder fra forsøk 2 - 10.

I løpet av 2019 har det vært gjennomført et renholdsforsøk i Strindheimtunnelen der vestgående løp har blitt vasket halvparten så ofte som østgående. Dette kan ha hatt påvirkning på analyser der bildene har blitt tatt i forskjellig løp.

Bildene i forsøkene har blitt tatt manuelt, i forsøk 1 og 2 i en serie på 10, men i de resterende har det kun blitt tatt enkeltbilder. På denne måten har man kunne velge interessante områder for bildetakingen og fokusere på disse, i stedet for at bildene ble tatt med et gitt tidsmellomrom under en gjennomkjøring. Dette er en dårlig egnet måte hvis man kun er en person til å gjennomføre forsøket.

Bildene tatt i forsøket er tatt punktvis og ikke kontinuerlig. Det er derfor lite praktisk gjennomførbart å ta bilder på eksakt samme sted når bildene tas i fart. Dette gjør at avstanden fra kamera til objekter kan variere og påvirke analysen. Noen bilder er tatt på nesten samme punkt, som i figur 5.18. Det at det ikke har blitt et fastmontert stativ til kameraet gjør også at vinkelen bildene og kameraplasseringen på dashbordet kan variere mellom forsøkene.

Lysforholdene i tunnelen kan påvirkes av mange faktorer som er vanskelig å styre, som utelys og luftfuktighet. Det er ikke tatt hensyn til luftfuktighet i oppgaven, og påvirkningen fra værforhold er det prøvd å eliminere ved å ta bilder på natten. I Strindeheimtunnelen er det fullgrafiske variable skilt, som utstråler mye lys. Dette kan gi et utslag i deler av tunnelen der disse er installert. I analysen er det unngått å bruke bilder tatt i disse områdene.

Deter noen feilkilder knyttet til tunnelhvelvet. Fordi tunnelveggen er malt hvit, kan område for analyse ha en påvirkning på resultatet ved at malingen har falmet forskjellig, eller at påføringen har vært ujevn. Det kan ha påvirkning på resultatene om tunnelen har tørket etter vask, og generell luftfuktighet. Dette har det ikke blitt sett på i denne oppgaven. Værforhold kan ha en påvirkning på lysnivå, men også på luftfuktighet og ved regn bidra til å dra fuktighet inn i tunnelen, som kan påvirke forholdene i innløpene.

## 6.6 Utfordringer og erfaringer

Det har blitt identifisert noen utfordringer i arbeidet med denne oppgaven. De fleste knytter seg til gjennomføring av forsøk. Det er også blitt gjort mange erfaringer underveis som har hatt innvirkning på resultatene og utføring av forsøkene.

Det har blitt gjennomført forsøk på dagtid og nattestid. På dagtid er trafikkmengden høyere enn om natten, og derfor har det ikke blitt tatt bilder ved lavere hastigheter enn 50 km/t for å begrense forstyrrelsen på annen trafikk. Om natten er det mindre trafikk, og det har derfor vært vurdert som gjennomførbart å kjøre i hastigheter ned til 40 km/t.

Forsøkene har blitt gjennomført i mai og juni. Lysforholdene i Trondheim er meget forskjellige på vintertid og sommertid, og det er derfor en utfordring å gjenskape like forhold på forskjellige tider av døgnet på forskjellige tidspunkt gjennom året.

Metoden brukt for gjennomføring av forsøkene i denne oppgaven er knyttet spesifikt opp mot forholdene i Strindheimtunnelen. Forholdene i tunneler vil variere ut i fra tunnelklasse, om lysstyringssystemet er nivåstyrt eller trinnløst, material og utføring av tunnelhvelv, og alder på tunnelen. Det må derfor mer forskning til før det utarbeides en generell metode.

For å veie opp for en skitten tunnel kan en mulighet være å øke belysningen generelt. På denne måten kan man få lysere tunneler uten å måtte gjennomføre tunnelvask.

Det er ugunstig å kjøre igjennom en tunnel i lavere hastighet enn fartsgrensen tilsier. Hvis det er nødvendig å kjøre i veldig lave hastigheter for å oppnå god nok bildekvalitet må det sees på om det da er bedre å stenge av ett felt i en tunnel med to løp, eller å stenge tunnelen en kort periode mens bildetakingen gjennomføres.

## 6.7 Virkninger

Denne oppgaven ser på bildetaking i fart i en tunnel. Forsøkene har vist at det er mulig å ta bilder som kan brukes til analyse. Det er mange feilkilder som kan ha påvirkning på resultatene som er funnet, men ett funn indikerer at man kan si noe om endringen i renhet basert på lysstyrkehistogram av området. Forsøkene og analysene har vist at tidspunkt på døgnet har stor påvirkning på resultatet, og det må tas høyde for dette under gjennomføring av forsøk.

Det har blitt funnet områder som er interessante for analyse. At analysen gjennomført på lysarmatur ga et forventet resultat er lovende for videre forskning, da dette området krever mindre lys i bildene enn ved analyse på andre områder i tunnelen. En ulempe er da at man må finne en metode for å eliminere belysningsvariasjon. Dette kan kanskje gjøres i samarbeid med VTS. I figur 6.1 ser man hvordan lysene fra lastebilen bidrar til belysningen av vegbane, tak og vegg og i området rundt, noe som indikerer at kunstig belysning påmontert forsøkskjøretøyet kan være en løsning for å skape konstant belysning.

Analysen på innvendig belyste skilt viste at lysmengden hadde økt lengre tid etter vask, noe som var uventet. Her er det aktuelt å gjennomføre flere forsøk, da det er et interessant område for analyse på grunn av skiltenes konstante belysning.



*Figur 6.1: Strindheimtunnelen under vask i mai 2020*

Arbeidet er interessant for videre forskning. Forsøkene i denne oppgaven har i hovedsak blitt gjennomført under og etter en tunnelvask, i videre arbeid kan det være interessant å ta bilder mer kontinuerlig mellom vask for å se hvordan tunnelens renhet utvikler seg i løpet av en vaskesyklus.

I analysene har det blitt brukt Photoshop. Området i hvert av bildene som har blitt valgt for å generere lyshistogram har blitt tegnet for hånd. Det er interessant å utvikle metoden videre slik at bildene kan analyseres med automatisk bildeanalyse med mindre behov for manuelt arbeid.

For å minske kostnadene med tunnelvask, og ulempene det medfører for trafikken i området kan det være interessant å se på om det er aktuelt å ha et halv tunnellop åpent i forbindelse med vask, selv om dette kan være utfordrende med tanke på sikkerhet.

At det er forskjellig overflate på tak og vegg, og at vaskefrekvensen er ulik kan være en metode for analyse, der man ser på hvordan overflatenes lyshet endrer seg i forhold til hverandre. Figur 6.1 viser Strindheimtunnelen der man ser at taket er tydelig mørkere enn veggen.



## 6.8 Videre arbeid

Denne oppgaven ser på optimalisering av bildeinnstillinger, her kan det benyttes flere verktøy enn de benyttet i oppgaven, som for eksempel utregning av eksponeringsverdi. Det har blitt sett på fire parametere, og gjort endringer på alle disse. I løpet av arbeidet har man funnet ut viktigheten av kun å endre en og en parameter.

Det har kun blitt benyttet en type kameraobjektiv, dette er noe som kan ha innvirkning på parameterene for god bildekvalitet og brukbarhet. Det er muligheter for å gjennomføre lignende forsøk med andre objektiver eller andre kameraer.

Det er interessant å gjennomføre forsøk med ekstra lys påmontert et kjøretøy for å se om dette kan kansellere effekten av variabel tunnelbelysning. Dette er særlig interessant da nyere tunnelbelysning er trinnløs, uten spesifikke nivå for belysningen. Man kan også se på om lysmengde kan styres slik at lysmengden blir lik hver gang man gjennomfører forsøkene. Annen forskning på belysning kan være å se på effekt av alder på lysarmaturene.

Det er mye forskning på ventilasjonsstrømmer i forbindelse med brann, kanskje dette også kan brukes til å forutse og jevne ut smussakkumulasjon i tunnelen. Dette kan være særlig interessant i tunneler med to løp der hoveddelen av trafikken går i høyre kjørefelt.

Det kan være aktuelt å gjennomføre analyser for å se om det er hensiktsmessig å gjennomføre tunnelvask på kun én side i tunneler der man ser at en betydelig del av trafikken benytter høyre kjørefelt.

En annen metode som kan vurderes bildetaking er å bruke bilder fra overvåkingskamera som finnes i mange tunneler. Det er også andre måter å sette opp kamera i tunneler som kan ta bilder mer eller mindre kontinuerlig til analyse.

Det er i oppgaven brukt kun et dataprogram for å analysere bildene. Det er interessant å se på andre programmer for å analysere områdene. Kan bruke infrarødt lys og ta bilder med infrarødt kamera, fungerer i nyere tunneler med LED-belysning.

## 7. Konklusjon

I denne oppgaven har det blitt utviklet en metode for å bruke bilder tatt i fart til å vurdere renhet i tunnel. Det har blitt brukt et speilreflekskamera til å gjøre forsøk ved å ta bilder gjennom frontruta på en bil kjørende i forskjellige hastigheter igjennom en tunnel. Deretter har bildene fra forsøkene blitt brukt til å evaluere renhet. Forsøkene har blitt gjennomført i forbindelse med tunnelvask og i ukene etter en tunnelvask.

Bildekvalitet og områder i tunnelen har blitt brukt for å vurdere brukbarheten til bildene fra forsøkene. Brukbarheten er et mål på om områdene vegg, lysarmatur og skilt er analyserbare på bildene. Fra forsøkene har man erfart at forskjellige kamerainnstillinger kan benyttes for å oppnå egnet bildekvalitet for analyse av forskjellige områder. I analysene har det blitt sammenlignet bilder tatt under så like forhold som mulig for å eliminere feilkilder.

Lysforholdene i en tunnel kan være tilstrekkelige til gjennomføring av analyse. Bildekvaliteten er avhengig av valgte hastigheter og kamerainnstillinger for ISO, blenderåpning og lukkertid, der ulempene forårsaket av kunstig belysning varierer etter valg av analyseområde. I løpet av dette forskningsarbeidet har det blitt gjort renhetsanalyser på vegg, lysarmatur og skilt. Fra analysen var det kun bilder av lysarmaturene som viste at tunnelen hadde blitt mer skitten etter fire uker. Dette betyr ikke nødvendigvis at de andre områdene er utelukket, men at det kan være mange feilkilder som påvirket resultatet.

Det er gjort funn knyttet til variabel belysning i tunnelen som bekrefter at ved å ta bilder på forskjellig tid på døgnet vil lysmengden variere. Dette gjør at bilder tatt med forskjellig belysningsnivå, altså til forskjellig tid på døgnet eller ved varierende vær ikke kan brukes til en sammenlignende analyse.

En overordnet konklusjon fra studien er at metoden kan brukes til å vurdere renhet og dermed danne grunnlaget for tilstandsbasert tunnelvask. Metoden er ikke feilfri, og det er en del begrensninger knyttet til forsøksmetode og analyse. I videre arbeid kan det fokuseres på å minimere begrensninger knyttet til belysning ved å benytte ekstra kunstig belysning for ønsket analyseområde. Det kan være aktuelt å lage et eller flere malte testfelt i tunneler for å lettere identifisere et område for analyse. Det kan testes andre analyseverktøy eller brukes andre metoder enn lyshistogram for å vurdere endring i lysmengde for områdene. Det kan gjennomføres forsøk med forskjellige typer kamera og objektiver, for å se hvordan dette påvirker bildekvaliteten.

# Bibliografi

(2020).

**URL:** <https://fotoleir.no/iso-lukkertid-og-blender/>

Bjordal, H. & Helle, T. E. (2011), 'Skred og flom på veg'.

Canon INC. (2016), *Canon EOS100D Instruction Manual*, Canon INC.

Cattini, S. & Rovati, L. (n.d.), 'journal=IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, title=Low-Cost Imaging Photometer and Calibration Method for Road Tunnel Lighting, year=2012, volume=61, number=5', pp. 1181–1192.

Ekrias, A., Eloholma, M. & Halonen, L. (2007), 'Analysis of road lighting quantity and quality in varying weather conditions', *LEUKOS* 4(2), 89–98.

**URL:** <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1582/LEUKOS.2007.04.02.001>

Engstrøm, T. (2016), Notat: Kontroll av helvask uke 23 i strindehimtunnelen.

Euroskilt (2020), 'Produktkatalog index tekniske årorodukter 1 compactsign'.

**URL:** <https://www.euroskilt.no/uploads/pages-from-tekniske-produkter-teknisk-katalog-0903020-compactsign.pdf>

Frøholm, G. (1970), *Med veg skal landet byggjast : Med bru og tunnel skal vegen kortast og tryggjast*, Frøholm-forlag.

Jenssen, G. D., Bjørkli, C. & Flø, M. (2006), *Vurderinger E39 Rogfast*, Sintef Teknologi og samfunn.

Järlnskog, I., Blomquist, G., Gustafsson, M. & Janhäll, S. (2016), 'Utvärdering av städmaskiners förmåga att reducera vägdammförrådet i gatu- och tunnelmiljöer: En fältstudie i trondheim 2016', *VTI rapport 953*.

Kartverket (2020), 'Norgeskart.no'.

**URL:** <https://norgeskart.no/?project=norgeskartlayers=100&zoom=12&lat=7042184.64&lon=272481.15>

Larsen, P. J. (2017), Strindheimstunnelen - lysevaluering etter rengjøring, Technical report, Norconsult.

Mancuso, M. & Battiato, S. (2001), 'An introduction to the digital still camera technology', *ST Journal of System Research* 2(2).

Meland, S. (2012), Tunnelvaskevann - en kilde til forurensning, Technical report, Statens Vegvesen.

Meteorologisk institutt (2019), 'Værhistorikk 2019, Trondheim'.

**URL:** <https://www.yr.no/nb/historikk/graf/1-211102/Norge/Trøndelag/Trondheim/Trondheim>

Pedersen, F. (2004), '500.000 er redd for å kjøre i tunnel'.

**URL:** <https://www.aftenposten.no/norge/i/q1G4o/500000-er-redd-for-aa-kjoere-i-tunnel?>

Statens Sentralbyrå (2020), 'Antall km riksveg, fylkesveg og kommunal veg'.

**URL:** <https://www.ssb.no/statbank/table/11842/tableViewLayout1/>

Statens vegvesen (2019), 'Trafikkmengde'.

**URL:** [https://vegkart.atlas.vegvesen.no/kartlag:geodata/@271597,7042429,15/hva:\(id 540\)/valgt:917225090:540](https://vegkart.atlas.vegvesen.no/kartlag:geodata/@271597,7042429,15/hva:(id%20540)/valgt:917225090:540)

Statens Vegvesen (n.d.), 'Håndbøker'.

**URL:** <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker>

Vegdirektoratet (1997), Renhold i tunneler: prosjektrapport, Technical report, Statens Vegvesen.

Vegdirektoratet (2014), *Håndbok R610 Standard for drift og vedlikehold av riksveger*, Statens Vegvesen.

Vegdirektoratet (2016a), *Håndbok N500 Vegtunneler*, Statens Vegvesen.

Vegdirektoratet (2016b), Renholdsforsøk: rapport nr. 432, Technical report, Statens Vegvesen.

Vegdirektoratet (2017), Renholdsforsøk: rapport nr. 536, Technical report, Statens Vegvesen.

Zatari, A., Dodds, G., McMenemy, K. & Robinson, R. (2005), 'Glare, luminance, and illuminance measurements of road lighting using vehicle mounted ccd cameras', *LEUKOS* 1(2), 85–106.

**URL:** <https://doi.org/10.1582/leukos.2004.01.02.005>

## A. Oversikt over bilder brukt til analyse

Bruksområde	Forsøk	Filnavn	Dato	Tid	ISO	Blender	Lukkertid	Hastighet	Retning	Program	Dager før/etter vask	IMG sammenligning	Filplassering
Blidekvalitet	ISO	8	3002	25.06.2020	19:13	1600 f/5	1/250	60 V		M	6 uker etter		0 resultat blidekvalitet iso
		5	2875	21.05.2020	02:23	6400 f/5	1/160	50 V		M	2 uker etter		2882 resultat blidekvalitet iso
		5	2882	21.05.2020	02:28	3200 f/5	1/160	50 Ø		M	2 uker etter		2875 resultat blidekvalitet iso
	Blender	4	2781	15.06.2020	02:01	6400 f/10	1/200	30 Ø		M	Natt 4 vask		2874 resultat blidekvalitet blender
		5	2874	21.05.2020	02:23	6400 f/5	1/160	50 V		M	2 uker etter		2781 resultat blidekvalitet blender
	Lukkertid	1	2534	07.05.2020	16:39	1600 F/11	1/25	70 Ø		M	4 dager før		0 resultat blidekvalitet lukkertid
		3	2687	13.06.2020	22:18	6400 f/10	1/500	30 Ø		M	Natt 3 vask		0 resultat blidekvalitet lukkertid
		10	3134	29.06.2020	01:40	6400 f/8	1/200	40 Ø		M	6 uker etter		0 resultat blidekvalitet lukkertid
	Hastighet	5	2884	21.05.2020	02:28	3200 f/5	1/160	50 Ø		M	2 uker etter		2889,2893 resultat blidekvalitet hastighet
		5	2889	21.05.2020	02:29	3200 f/5	1/160	60 Ø		M	2 uker etter		2893,2884 resultat blidekvalitet hastighet
	5	2893	21.05.2020	02:30	3200 f/5	1/160	40 Ø		M	2 uker etter		2889,2884 resultat blidekvalitet hastighet	
Område	Vegg	5	2843	21.05.2020	02:10	6400 f/6.3	1/200	50 V		M	2 uker etter		3154 resultat område vegg
		10	3154	29.06.2020	01:40	6400 f/6.3	1/200	50 V		M	6 uker etter		2843 resultat område vegg
	Lysarmatur	2	2572	12.05.2020	10:48	1600 F/11	1/250	70 V		M	Dag 2 vask		3035 resultat område lysarmatur
		9	3035	28.06.2020	16:40	1600 f/11	1/250	70 V		M	6 uker etter		2572 resultat område lysarmatur
	Skilt	5	2842	21.05.2020	02:10	6400 f/6.3	1/200	50 V		M	2 uker etter		3153 resultat område skilt
		10	3153	29.06.2020	01:40	6400 f/6.3	1/200	50 V		M	6 uker etter		2842 resultat område skilt