



Statens vegvesen

Dugg i tunneler

Prosjektrapport 2004-2006

RAPPORT

Veg- og trafikkavdelingen

nr: 6/2007



Vegdirektoratet
Veg- og trafikkavdelingen
Trafikksikkerhetsseksjonen
Dato: 2007-05-31



Statens vegvesen

Statens vegvesen Vegdirektoratet
Postboks 8142 Dep
N - 0033 Oslo
Tlf. (+47 915) 02030
E-post: firmapost@vegvesen.no

ISSN 1503-5743

RAPPORT	REPORT
Tittel Dugg i tunneler – prosjektrapport 2004 - 2006	Title Windshield fogging in tunnels – project report 2004 - 2006
Forfattere Gry Rogstad et al.	Autors Gry Rogstad et al.
Avdeling/kontor Veg- og trafikkavdelingen Trafikksikkerhetsseksjonen	Department/division Roads and Traffic Department Traffic Safety Section
Prosjektnr 600949	Project number 600949
Rapportnr TS 06/2007	Report number TS 06/2007
Prosjektleder Gry Rogstad	Project manager Gry Rogstad
Etatssatsingsområde/oppdragsgiver	Project program/employer
Emneord Dugg, kondensasjon Tunneler	Key words Dew, condensation, windshield fogging, tunnels
Sammendrag Som følge av flere uheldige hendelser i tunneler, der man mente at dugg kunne være en medvirkende årsak, ble det i 2004 startet et prosjekt "Dugg i tunneler". Prosjektets opprinnelige mål var å kartlegge problemets omfang og om mulig å finne løsninger for å redusere problemet med kondensdannelse i tunneler. Det skulle også sees på muligheten for å finne effektive måter for å varsle trafikantene på dersom sannsynligheten for duggdannelse var høy. Denne rapporten oppsummerer det som så langt er gjort i prosjektet.	Summary Accidents have occurred in Norwegian road tunnels where windshield fogging could have caused or at least influenced the incident, therefore a project was started in 2004 – "Windshield fogging in tunnels". The goal of this project was to identify the size of the problem, to find solutions to reduce problems caused by windshield fogging and hopefully find effective ways to inform the road user if the problem was to be expected. This report summarizes the work done in this project so far.
Språk Norsk	Language of report Norwegian
Antall sider 18	Number of pages 18
Dato Mai 2007	Date May 2007
ISSN 1503-5743	

Forord

Som følge av flere uheldige hendelser i tunneler, der man mente dugg kunne være en medvirkende årsak, ble det i 2004 startet et prosjekt "Dugg i tunneler". Denne rapporten oppsummer arbeidet som er gjennomført i prosjektet i tidsperioden 2004 – 2006, og sammenfatter erfaringer vi har fått her i Norge samt erfaringer fra andre land.

Prosjektgruppen har vært sammensatt av følgende personer fra Statens vegvesen:

Gry Rogstad - Vegdirektoratet
Anette H. Mahle - Vegdirektoratet
Hans Olav Lien - Region sør
Dag Relling - Region vest
Arnfinn Løvik - Region midt
Asbjørn Martinussen - Region nord

I tillegg har det vært en ressursgruppe bestående av Mona Lindstrøm, Tore Braaten, Karl Melby og Harald Buvik – alle fra Statens vegvesen.

Samtlige har bidratt til innholdet i denne rapporten.

Oslo, mai 2007
Veg- og trafikkavdelingen
Trafikksikkerhetsseksjonen



Finn Harald Amundsen
Seksjonsleder

Sammendrag

Det er registrert flere hendelser i tunneler hvor nedsatt sikt i form av plutselig dugg- eller rimdannelse på bilens frontrute eller motorsyklisters hjelmvisir har vært direkte eller medvirkende årsak til ulykken. Statens vegvesen har derfor etablert et prosjekt for å utrede hvilke forhold som påvirker kondensdannelsen og se på mulige tiltak som kan redusere problemet og bedre trafikksikkerheten. Denne rapporten oppsummerer prosjektets arbeid fra 2004 - 2006.

Det første som ble gjennomført var en kartlegging av faktorer som kan ha betydning for kondensdannelse i tunneler (Sintef, 2005). Hovedkonklusjonene herfra var at duggfenomenet ser ut til å kunne opptre i alle tunneler ved alle årstider, men først og fremst i tunneler lengre enn 1 km og i tunneler med tovegstrafikk.

Det neste som ble gjennomført var en spørreundersøkelse der 3000 personer fra et landsrepresentativt utvalg ble spurt om deres erfaringer og kjennskap til duggproblematikk ved kjøring i tunnel (Statens vegvesen, TS-05/2007). Resultater herifra viser at publikums erfaringer med duggproblemet og også kjennskap til hva som kan redusere problemet er variabelt. Det kan synes som om trafikanter i områder med mye tunneler oppfatter duggfenomenet som en naturlig bit av trafikkbildet og derfor ikke som et stort problem. Kort oppsummert kan vi derfor si at opplæring og informasjon vil være noe av det viktigste. Det er en stor andel av trafikantene som ikke vet hva som skal til for å hindre/ redusere duggproblemet. Informasjon og opplæring blir derfor sett på som de viktigste tiltakene som kan settes i verk for å redusere problemet og dermed hindre at alvorlige hendelser inntreffer.

Duggproblemet er også kjent fra andre land. I Sveits har man gjort en del forskning på fenomenet (Bopp et al., 2004) og kommet fram til at blant annet type ventilasjon er av stor betydning. Det viser seg at sjaktventilering har positiv effekt i forhold til dugg. Duggdannelsen kan forhindres ved at luftstrømmen styres innover i tunnelen fra begge tunnelåpningen.

Dessverre eksisterer det i dag et altfor dårlig datagrunnlag for å kunne etablere et dynamisk varslingsopplegg. Med bakgrunn i den første kartleggingen som ble gjennomført ble det plukket ut to tunneler som skulle følges opp spesielt: Strømsåstunnelen i Region sør og Innfjoldtunnelen i Region midt. I begge disse tunnelene er det plassert ut klimastasjoner utenfor og inne i tunnelen. I løpet av prosjektet har man også etablert rutiner for å registrere tidspunkt for når duggfenomenet inntreffer. Ved å analysere data og sammenstille det med tidspunkt for når plutselig duggdannelse faktisk har inntruffet ønsker prosjektet å se nærmere på om det kan utvikles algoritmer for dynamisk varslings.

Summary

Some incidents that might have been caused by reduced visibility due to abrupt windshield fogging have occurred in Norwegian road tunnels. The Norwegian Public Roads Administration therefore started a project in 2004 to consider different factors that can lead to condensation, and to look at possibilities to reduce problems related to windshield fogging. This report summarizes the work done in this project during the period 2004-2006.

Initially a survey of tunnels with observed condensation was made (Sintef, 2005). The main conclusion from this study was that the phenomena may occur in all tunnels regardless of the time of the year, but it happens most frequently in tunnels longer than 1 km, and in tunnels with traffic in both directions.

The next step in this project was a nationwide survey where the goal was to identify experiences and knowledge about windshield fogging when driving in tunnels (Statens vegvesen, TS- 05/2007). The result from this study shows that further information to road-users should be focused in our continuous work.

The abrupt windshield fogging is a known problem also in other countries. As a part of this project there have been done some literature studies of work done in other countries (chapter 3). In Switzerland there have been some research on this topic (Bopp et al., 2004), and they conclude that the ventilation system of the tunnels are of great importance. Good ventilation design, where air is drawn into the tunnel from both ends has a good effect on the windshield fogging problem.

In Norway only a small amount of data concerning the conditions inside and outside the tunnels where the fogging phenomena causes problems exist. Therefore it is not yet possible to establish a reliable warning system. As a result from the first part of this project, two tunnels were selected for more detailed studies. Hopefully, in the future, an analysis of these tunnels will help in making predictive warning systems.

Innhold

Forord	2
Sammendrag	3
Summary	4
1. Innledning / Bakgrunn.....	6
2. Fysiske forhold som gir dugg og rim	6
3. Internasjonale undersøkelser	6
3.1. Duggproblematikk i tunneler i Sveits.....	6
3.2. Opplysninger fra Internet	7
4. Erfaringer fra norske tunneler	9
4.1. Erfaringer og tiltak for Strømsåstunnelen	10
4.2. Erfaringer og tiltak for Innfjordtunnelen.....	11
4.3. Mulige undersøkelser av Helltunnelen.....	12
5. Forslag til framtidige tiltak.....	13
5.1. Informasjon (generell).....	13
5.2. Føreropplæring	13
5.3. Skilting	14
5.4. Ventilasjon	14
5.5. Vasking.....	15
5.6. Optisk ledning/belysning.....	16
6. Konklusjon og forslag til videre arbeid.....	17
Referanser.....	18

1. Innledning / Bakgrunn

Som følge av flere uheldige hendelser i tunneler der man mente dugg kunne være en medvirkende årsak til hendelsen ble det i 2004 startet et prosjekt – Dugg i tunneler.

Det opprinnelige prosjektet ble planlagt gjennomført i tre delprosjekter

- kartlegging av faktorer som kan ha betydning for kondensdannelse i tunneler
- Utvikling av pålitelige målemetoder/sensorteologi
- Utvikling av varslingsystem og opplæring

Etter gjennomføringen av det første punktet, kartlegging av faktorer som kan ha betydning for kondensdannelse i tunneler, ble det lagt nye føringer for prosjektet (Sintef, 2005). Behov for bedre kjennskap til trafikantenes kunnskap om kjøring i tunneler og deres kjennskap til duggproblematikk førte til en landsomfattende spørreundersøkelse hvor nettopp disse spørsmålene ble stilt – for å gi et bedre bilde av hvor informasjonsarbeidet bør settes inn.

Det ser ut til at arbeidet med utviklingen av et varslingsystem må trekkes ut i tid. Det finnes lite bakgrunnsmateriale omkring disse problemstillingene. Siden det er relativt få hendelser i tunneler trenger man lange måleserier for å kunne koble meteorologiske forhold til fare for hendelser relatert til duggproblematikk. Arbeidet med registreringer av hendelser og meteorologiske forhold inne i og utenfor utvalgte tunneler er i gang, men resultatene så langt er ikke analysert.

2. Fysiske forhold som gir dugg og rim

Ved en gitt temperatur kan luften kun inneholde en gitt mengde vanndamp før den når metning. Dette kalles luftens ”duggpunkt” eller ”metningspunkt”, og jo høyere temperatur luften har, jo mer vanndamp kan luften inneholde. Dersom luften avkjøles (for eksempel av en kald bilrute) eller tilføres fuktighet, kan metningspunktet overstiges, og overskytende vanndamp kan kondensere og observeres som dugg på kalde flater. Er temperaturen under frysepunktet vil vanndampen avsettes som rim istedenfor dugg.

En kald bil som kjører inn i en tunnel med relativt varm og fuktig luft vil derfor kunne oppleve dugg på bilruten. Dugg kan dannes både på innsiden og utsiden av bilruten.

3. Internasjonale undersøkelser

3.1. Duggproblematikk i tunneler i Sveits

Innholdet i dette delkapittelet er tatt direkte fra den sveitsiske rapporten ”Duggdannelse på frontruter i veitunneler” (Bopp et al., 2004, oversatt til norsk).

Ved å innhente opplysninger fra de kantonale myndighetene i hele Sveits, ble det registrert i hvilke tunneler det dannes dugg på frontruter. Fenomenet er kjent i til sammen 19 sveitsiske vegtunneler. I ni tunneler meldes det om regelmessig dannelse av dugg på rutene. Spørreundersøkelsen viser at faren for dugg øker betydelig i tunneler med toveistrafikk med en lengde på over 1400 m. I tillegg oppstår det stadig dugg på frontrutene i

enveistrafikktunneler under saneringsarbeider mens det ene tunnellopet drives med toveistrafikk.

Fordi utslippene av skadelige stoffer stadig reduseres, må man også i fremtiden regne med mindre luftutskiftning i tunneler ved hjelp av mekanisk tunnellufting. Siden vanntilførselen med bilene holder seg tilnærmet konstant, må man dermed regne med økt forekomst av dugg på frontrutene.

Duggdannelse på rutene kan bare forhindres ved at luftstrømmen styres innover i tunnelen. Installasjon av duggpunktsstyring er derfor bare hensiktsmessig hvis det finnes sjaktventilasjon (evt. et variabelt punktavtrekk). For effektivt å forhindre duggdannelse på rutene, må det ved portalene skapes en luftstrømningshastighet innover i tunnelen på $> 0,5$ m/s.

En av de overordnede konklusjonene i rapporten er at duggdannelse på frontruter i vegtunneler utgjør et sikkerhetsproblem.

Tiltak:

Det foreslås forskjellige tiltak for å redusere sannsynligheten for ulykker forårsaket av duggdannelse på frontruten. Hvorvidt et tiltak er effektivt, vises av en forbedret reaksjon hos tunnelbrukeren og/eller ved en reduksjon i duggdannelsen på rutene. Tiltakene sammenfattes slik:

- *Opplæring av trafikantene: Integrering av emnet „Duggdannelse på frontruten ved innkjøring i tunneler“ i den obligatoriske trafikkopplæringen, aksjoner gjennomført av Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) [rådgivningskontoret for forebygging av ulykker, ”Trygg trafikk”], samt opplysning av befolkningen med publiseringer i fagtidsskrifter og andre medier (f.eks. dagsaviser).*
- *Varsling: For å advare tunnelbrukerne monteres det statiske eller dynamiske varselskilt foran portalene til den aktuelle tunnelen. Det dynamiske varselskiltet advarer tunnelbrukerne når klimamålingen viser at det er duggfare.*
- *Redusert hastighet: Innføring av en dynamisk hastighetsreduksjon (f.eks. fra 80 km/t til 60 km/t).*
- *Duggpunktslufting: Med duggpunktsstyrt ventilasjon kan dannelsen av dugg på rutene bekjempes effektivt. Dette gjelder imidlertid bare for tunneler med ventilasjonssystemer der uteluft strømmer inn gjennom portalene (sjaktventilasjon, variabelt punktavtrekk). Utsatte tunneler med andre ventilasjonssystemer bør bygges om tilsvarende i forbindelse med en sanering.*

3.2. Opplysninger fra Internet

Informasjon:

Den Østerrikske bilorganisasjonen ÖAMTC har på sine hjemmesider <http://www.oeamtc.at> en ganske omfattende del viet sikkerhet i vegtunneler som per 29/11-06 omfatter hele 73 oppslag/artikler (Utvidet søk etter ”tunnel” anbefales.)

Et oppslag "Achtung bei Tunnelfahrten" setter fokus på den fare det kan være for duggdannelse både utvendig og innvendig på frontruter ved innkjøring i vegtunneler og parkeringsanlegg. Værforholdene kan være slik at frontruter lynraskt blir dekket av dugg ved innkjøring. Det anbefales at man før innkjøring øker ventilasjonsanleggets viftehastighet mot frontruten og er beredt til, i gitte tilfeller, å betjene vindusviskerne.

Det settes fokus på at sikkerhetsavstand ved kjøring i tunnel samsvarende med de EU's tunnelbrosjyrer for lette og tunge kjøretøyer (Skilt: "Forbud mot å kjøre uten en minsteavstand" - Ikke tatt i bruk i Norge). ÖAMTC anbefaler en sikkerhetsavstand på minst 50 meter ved innkjøring i tunnel.

Det oppgis i en annen artikkel "Sicherheit: Verkehrstelematik" at førerstøttesystem som innebærer automatisk tilpasning av avstand til kjøretøyet foran (Adaptive Cruise Control (ACC)) vil kunne ha betydning for sikkerhet ved innkjøring i en vegtunnel.

Den tyske bilorganisasjonen ADAC har på sine hjemmesider <http://www.adac.de/> også noe fokus på sikkerhet i vegtunneler – med til sammen 20 oppslag som er tunnelrelevante. (Søk etter "tunnel"). Det settes fokus på sikkerhetsavstand "halber tacho" ved kjøring i tunneler. (Dvs. for eksempel avstand mellom kjøretøyer minst 40 m ved hastighet 80 km/t.)

Ved siden av de klare anbefalingene omkring faren for duggdannelse på ÖAMTC's hjemmesider er det viktig å merke seg at det er et klart fokus på sikkerhetsavstander mellom kjøretøyer ved innkjøring i tunnel – og ved kjøring i tunnel. (Ikke spesielt fokusert i Norge.)

Spørsmålet om dugg på frontruten ved innkjøring i tunnel er behandlet i en tysk kunnskapsweb ("Wer Weiss Was") innen området matematikk og fysikk. (2002). Svarene er i samsvar med rådene fra ÖAMTC ovenfor.

Norske bilorganisasjoner har ikke fokus på sikkerhet i vegtunneler med unntak av NAF, <http://www.naf.no/> som har en artikkel med referanse til de europeiske bilorganisasjonenes Eurotest-program.

Statens vegvesen <http://www.vegvesen.no> har på sine hjemmesider under "Trafikksikkerhet"/ "Tunnelinformasjon" en del tunnelstoff. Veiledning til trafikanter er avgrenset til den norske utgave av EU-brosjyren "Sikker kjøring i vegtunneler" (Utgaven for førere av lette kjøretøyer) som ligger som et noe bortgjemt vedlegg til oppslaget "Bilbranner, alvorlige trafikkulykker og andre hendelser i norske vegtunneler".

Anbefaling:

1. Det bør settes skarpere fokus på minsteavstand mellom kjøretøyer ved innkjøring i tunnel og ved kjøring i tunnel – for eksempel ved at det tas i bruk skilt "Forbud mot å kjøre uten en minsteavstand"
2. Det bør arbeides for å oppdatere de to EU-brosjyrene også med tanke på å gjøre trafikantene mer oppmerksom på dugghfare ved innkjøring i tunneler.
3. Statens vegvesens Internettssider bør kompletteres og informasjon om riktig kjøring i tunneler og parkeringshus gjøres lettere tilgjengelig enn nå.

Teknologi:

Søk på Internet gir også en del informasjon om aktiviteter innen området teknologi:

Bilindustrien med underleverandører arbeider for å bedre inneklimaet i kjøretøyet med tanke på komfort for førere og passasjerer under varierende forhold.

Eksempel på arbeid som også har fokus på teknologi for å motvirke duggdannelse på frontruten:

1. "Clear vision" Automatic Windshild Defogging System, M.Wang et. Al, Delphi Corporation (2004) USA.
2. Duggsensor utviklet av Preh GmbH. Tyskland eller Delphi Corporation, USA.
3. Flersoners klimaanlegg i kjøretøyets passasjerrom med mulighet for å tilpasse de ulike soner både i forhold til komfort for passasjerene og for å sikre sikt gjennom frontrute for fører. (Audi Q7)
4. Regnsensorer. (Bosch, Preh)

Av betydning kan det også være at det nå også er utviklet kombinerte sensorer som også styrer kjøretøybelysningen for eksempel ved innkjøring i en tunnel. (Bosch, Preh)

Klimapåvirkninger på kjøretøyer og hvordan disse kan møtes kan under laboratorieforhold studeres i vindtunneler og klimakammer som er utstyrt og instrumentert for dette formålet. (Eksempel ModineEurope GmbH, Tyskland.)

Moderne regnsensorer synes også å ha en viss evne til også å respondere på annen fuktighet enn regn (dugg) avsatt utvendig på frontruten. (Starte vindusviskere). (Audi).

Oppsummering:

Det ser ut til at FOU-virksomheten på dette området til nå i hovedsak har blitt rettet mot inneklima og komfort, men med et økende fokus også på sikkerhet.

4. Erfaringer fra norske tunneler

I 2004 ble det gjennomført en kartlegging av faktorer som kan ha betydning for kondensdannelse i tunneler. Hovedkonklusjonene fra denne kartleggingen var at:

- Plutselig kondensdannelse i form av dugg, rim eller tåke forekommer i en rekke tunneler på det norske vegnettet, og fenomenet oppleves som mer problematisk i enkelte tunneler enn andre.
- Plutselig duggdannelse er den typen kondensproblem som opptrer hyppigst og som oppleves mest alvorlig.
- Kondensdannelse opptrer fortrinnsvis i tunneler som er lenger enn ca 1 km, og problemet øker med økende tunnellengde.
- Kondensdannelse opptrer fortrinnsvis i tunneler med tovegstrafikk.
- Kondensproblemet opptrer både i tunneler med lite trafikk og tunneler med mye trafikk.
- Kondensproblemet forekommer både i tunneler med mekanisk ventilasjon og i tunneler med naturlig ventilasjon. Ventilasjon som gir effektiv utskifting av luften i tunnelen vil kunne redusere kondensproblemene, men i mange tunneler er det ikke tilstrekkelig å kjøre viftene slik at avgasskravene overholdes.
- Årstid, værforhold og tunnelens beliggenhet har ikke avgjørende betydning for at kondensproblemet skal opptre, selv om det er grunn til å tro at disse faktorene påvirker problemenes omfang når også andre forhold ligger til rette for kondensdannelse.

Følgende anbefalinger kom i etterkant av kartleggingen:

- Innføre en mer systematisk logging og registrering av kondensdannelse i tunneler – fokuser på tunneler som oppleves som problematiske.

- Øke trafikantenes kunnskap om duggproblematikk
- Fokuser på duggproblematikken framfor rim og tåke

Det ble i 2005 startet systematisk logging av klimaparametere (temperatur og fuktighet) inne i og utenfor to utvalgte tunneler, Innfjordtunnelen i Region midt og Strømsåstunnelen i Region sør. Disse dataene kan etter hvert analyseres og tolkes i et forsøk på å se på muligheter for direkte koblinger mellom værforhold og duggproblematikk som kan benyttes til informasjon til trafikantene.

For å finne ut hva som bør være fokusområde for å øke trafikantenes kunnskap om duggproblematikk i forbindelse med kjøring i tunnel ble det i 2005 gjennomført en landsdekkende spørreundersøkelse for å kartlegge trafikantenes kunnskaper knyttet til duggdannelse ved kjøring i tunneler. Helltunnelen var den tunnelen som hyppigst ble nevnt av trafikantene som en problemtunnel mht. duggproblematikk. Resultatene fra dette ble tolket og analysert i løpet av 2006, og presentert i TS-rapport nr. 5, 2007. Hovedkonklusjonen fra denne rapporten er at fokusområdene i det videre arbeidet bør være

- opplæring og informasjon
- fokus på duggproblematikk i forbindelse med kartlegging av ulykker
- å vurdere kriterier for spesiell skilting utover vanlig tunnelskilting.

4.1. Erfaringer og tiltak for Strømsåstunnelen

Strømsåstunnelen ved Drammen i Buskerud er en ett-løps tunnel med ÅDT på 11500 og en lengde på 3496 m. Helt siden åpning av Strømsåstunnelen i oktober 2001 har det vært problemer med duggdannelse på frontruter og visir. Dette har resultert i flere ulykker i tunnelen. I perioden 2001-2005 var det registrert 6 personskadeulykker i Strømsåstunnelen (VDB). Regionen oppgir at det per i nov-06 har vært 13 politiregistrerte ulykker inne i tunnelen hvorav dugg har vært medvirkende eller mulig medvirkende årsak i 8 av hendelsene. Det var flest ulykker de første årene. Etter at det er satt i verk ulike tiltak har antallet hendelser blitt redusert til to i 2004, en i 2005 og en i 2006. Duggproblemene oppstår like innenfor tunnelmunningen for trafikken som kommer vestfra (ved Mjøndalen).

I løpet av de 5 årene siden tunnelen ble åpnet (okt-01) er det blitt gjennomført en rekke tiltak for å redusere problemer knyttet til dugg og for ellers også møte noen av de erfaringer Statens vegvesen har hatt med ordinær drift og trafikkavvikling i tunnelen:

- Skilting foran tunnelen ved – først et skilt et stykke foran tunnelen der bilistene opplyses om duggproblemet og oppfordres til å bruke viskere og sette på varmvifte. Her er teksten både på norsk og engelsk, se Figur 1 – så et nytt skilt rett utenfor tunnelen.
- Hastighetsreduksjon fra 80 km/t til 70 km/t
- Dobbel sperrelinje gjennom hele tunnelen med romlefelt på side- og midtstriper.
- Justert belysning i inngangssonene av tunnelen.
- Bruk av vifter etter vask.
- Reduksjon av støvmengde ved bruk av magnesiumkloridløsning.



Figur 1 - Skilt i forkant av Stømsåstunnelen

Magnesiumklorid

Det har vært spekulert i om støvmengden i tunneler kan være av betydning for faren for kondensdannelse. Det er gjort flere forsøk med bruk av magnesiumklorid for begrensning av svevestøv i tunneler, senest vinteren 2004 - 2005 i Strømsåstunnelen. Prosjektet ble gjennomført av Norsk Regnesentral på oppdrag fra Statens vegvesen, Region sør, mens Mesta gjennomførte den praktiske delen med salting, vasking og feiing. Hensikten var å tallfeste effekten av ulike tiltak.

Med salting 2 ganger pr uke med 20 g/m² samt feiing hver 14. dag ble i middel støvmengdene redusert med 45-60 % i forhold til situasjon uten tiltak. Effekten av vasking og feiing er uklar.

Vegvesenet arbeider nå med å undersøke eventuelle skadevirkninger på grunn av saltingen. Blant annet er det foreslått å undersøke korrosjon på ulike metaller og legeringer i tunneler som saltes med magnesiumkloridløsning kontra de som ikke saltes. Slike undersøkelser planlegges i Strømsåstunnelen vinteren 2006/2007. Elgskauåstunnelen er foreslått som referansetunnel uten salting.

Det er ikke noe som tilsier at bruk av magnesiumklorid har noen betydning for duggproblemene.

Det er også vedtatt å installere LED ledelys på bankettkant og midtlinje for bedring av den optiske ledningen for de som kjører inn i tunnelen vestfra. Tiltak ventes utført våren 2007, se for øvrig pkt. 5.6.

Det er gjennomfør et enkelt observasjonsprogram for sammenlignende registrering av klimaforhold utenfor og inne i tunnelen i vestre ende.

4.2. Erfaringer og tiltak for Innfjordtunnelen

Innfjordtunnelen på E 136 i Møre og Romsdal er en ett-løps tunnel på 6594 m og ÅDT på 1750. Det er satt opp tilsvarende klimastasjoner som ved Strømsåstunnelen, som registrerer temperatur- og fuktighetsforhold inne i og utenfor tunnelen. Klimaregistreringer foregår kontinuerlig og data lagres. Det er ikke registrert noen hendelser, men byggeleder på drift- og vedlikeholdskontrakten i området har fått en del henvendelser angående nestenulykker på

grunn av dugg på frontrute (hovedsakelig ved innkjøring fra Åndalsnes, men også fra andre siden). Det har også vært medieopplag om saken. Dette gjelder spesielt i vintersesongen ved lave temperaturer.

Vinteren 06/07 er det blitt opprettet daglige kontrollrutiner for registrering av friksjon. Her er det lagt inn et oppdrag som går på avkryssing på et skjema om det registreres dugg eller ikke. Disse skjemaene kan gjøres tilgjengelig for sammenligning med værdataene.



Figur 2 - Temperatur- og fuktighetssensor montert utenfor Innfjordtunnelen.

Det er ikke satt opp noen form for skilt som gir informasjon om duggdannelse og oppfordring til bruk av vifteanlegg og vindusviskere.

4.3. Mulige undersøkelser av Helltunnelen

Helltunnelen på E 6 mellom Sør- og Nord-Trøndelag er en 3910 m lang et-løps tunnel med ÅDT på 11400. Denne tunnelen har lenge hatt store problemer med duggdannelse i åpningspartiet mot Værnes.

Helltunnelen ble ikke rapportert inn som spesiell problematisk mht duggproblematikk i arbeidet med kartleggingen av faktorer som kan ha betydning for kondensdannelse i tunneler, men i den landsdekkende spørreundersøkelsen i 2005 var Helltunnelen den tunnelen som ble nevnt hyppigst av trafikantene på spørsmålet om i hvilke tunneler de hadde opplevd dugg.

Det har vært diskutert muligheten for å endre ventilasjonsretningen i denne tunnelen for å undersøke hvilke konsekvenser det kan ha på duggproblematikken. Det kan være aktuelt å få et konsulentfirma til å lage en utredning om å forandre ventilasjonsanlegget slik at vi får luftutkastet gjennom tverrslaget.



Figur 3 Helltunnelen

5. Forslag til framtidige tiltak

5.1. Informasjon (generell)

Informasjon ser ut til å være den viktigste, riktigste og kanskje også det enkleste tiltaket for å få redusert effekten av duggproblemet. Det er mye som tyder på at i tunneler der det hyppig oppstår dugg skjer det lite hendelser fordi lokale sjåførere er vant til fenomenet og handler deretter.

Aktuelle kanaler som prosjektgruppen mener kan brukes i denne forbindelse er:

Internett: SVV har egne ”tunnelsider” på internett. Disse er for lite oppdatert og lite i bruk. Her bør det legges ut informasjon om duggdannelse som et fenomen, tips om hvordan man bør handle og hva man kan gjøre for å redusere problemet. Med bakgrunn i den spørreundersøkelsen som ble foretatt sommeren 2005 viser det seg at trafikantenes kunnskap om dette er for dårlig. Generelt mener prosjektgruppen at det bør bli mer fokus på det å kjøre i tunnel og de utfordringer det gir for trafikantene.

Brosjyremateriell: Det finnes i dag flere brosjyrer i forbindelse med vegtunneler. Ved neste revisjon eller utarbeidelse av en ny brosjyre, er det et behov for at det inkluderes informasjon om duggfenomenet og faktorer som kan redusere / forhindre et problem.

5.2. Føreropplæring

I dagens kjøreopplæring er det liten fokus på tunnelkjøring og ulike utfordringer dette medfører. Det er også vanskelig å vite om det lar seg gjøre å få mer fokus på dette når læreplanene revideres. Tilbakemeldinger fra miljøet antyder at det må til en langsiktig innsats når det gjelder trafikantinformasjon. Veien å gå kan være å tilgjengeliggjøre for publikum generell informasjon om kjøring i tunneler der også duggproblematikk tas opp – og håpe at de ansvarlige for læreplanene og føreropplæringen fanger opp dette før neste revisjon.

5.3. Skilting

Det er ønskelig å komme fram til en enhetlig skilting i forbindelse med duggproblemer i tunneler. Som det pekes på i kapittel 5.2 har det vært liten fokus på tunnelkjøring under opplæring. Dette medfører at trafikanter ikke forbinder noe spesielt når man kommer til et tunnelskilt og tar derfor heller ikke de nødvendige forhåndsregler mht å redusere faren for duggdannelse.

Det å knytte ønsket om at sjåføren skal ha en beredskap i forhold til å raskt slå på vifte og vindusvisker, opp mot ordinær skilting synes i utgangspunktet vanskelig. For å få trafikantene til å ha denne beredskapen er det nødvendig med opplæring og informasjon. Å innføre dette i tunnelskiltets betydning vil ikke være mulig. I de tunneler der duggproblemet er stort bør det vurderes å plassere et definert ensartet skilt foran tunnelen.

5.4. Ventilasjon

Nesten alle norske tunneler er ventilert etter prinsippet som kalles langslufting. Luft trekkes inn i den ene enden og blåses ut i den andre enden. For å skyve luften nyttes mekaniske vifter. Når lufta passerer gjennom tunnelen (spesielt i vinterhalvåret) blir den i de fleste tilfeller varmet opp. Dermed kan mer fuktighet bli tatt opp i lufta. Dersom det er kaldere i utløpet av tunnelen vil lufta så igjen avgi fuktighet. Høy ventilasjonshastighet vil gi mer oppvarmet luft og også større mulighet for duggdannelse fordi det blir tilført mer fuktighet i tunnelen. Fuktighet kommer både fra bileksos, vann, snø/is (som tiner) og fra små vannlekkasjer i vegger og tak (i undersjøiske tunneler også pumpemagasin). I sommerhalvåret kan varm og fuktig luft utenfor tunnelen gi duggproblem fordi lufta blir avkjølt på veg gjennom tunnelen.

Håndbok 021 Vegtunneler oppgir tillatte maksimumskonsentrasjoner av CO, NO₂ og siktforurensning (målt midt inne i tunnelen).

Mekanisk ventilasjon dimensjoneres ut fra krav til luftkvalitet og brannventilasjon. Mekanisk langslufting baseres på bruk av impulsventilatorer. Ventilasjon gjennom ventilasjonstårn er bare unntaksvis aktuelt, for eksempel i lange eller sterkt trafikkerte tunneler eller hvor bestemte forurensningskrav er gjeldende rundt tunnelåpningene.

Ventilasjonsanlegg i tunnel (krav i tunneler lengre enn 1 km og ÅDT > 1 000) skal dimensjoneres ut fra krav til brannventilasjon. Det skal være mulig å kontrollere at røyken beveger seg i ønsket retning. Ventilasjonsretningen skal defineres i samarbeid med brannvernmyndigheter i forbindelse med beredskapsplan.

To-løps tunneler ventileres i samme retning som trafikken går. I ett-løps tunneler med to-vegs trafikk går en kjøreretning mot ventilasjonsretningen. Dette gir mye større sannsynlighet for dugg på frontruta for biler som kjører inn i tunnelen mot ventilasjonsretninga. Om vinteren trekker disse bilene også med seg kald luft utenfra slik at det kan oppstå en tåkepropp i møte med den varme lufta fra tunnelen.

Dersom det bygges en ventilasjonssjakt, kan tunnelventilasjonen kjøres på en annen måte. Da kan luft suges inn i begge tunnelåpningene og blåses ut gjennom ventilasjonssjakta. Dette er mye gunstigere for å unngå duggdannelse. I Drammen er det to tunneler som har vært i drift i ca 5 år, som lett kan sammenliknes. Det er Strømsåstunnelen og Bragernestunnelen. Noen data:

Tunnel	Lengde (km)	ÅDT (2005)	kWh pr km og år
Bragernes	3,2 km	12 700	513 000
Strømsås	3,8 km	12 500	482 000

Tunnelene er svært like bortsett fra at Bragernestunnelen har en ventilasjonssjakt med utblåsning, og tilsvarende innsuging av luft fra begge tunnelåpningene. I Strømsåstunnelen har det vært store problem med dugg, mens det i Bragernestunnelen er kun registrert dugg ved tunnelvask og noen få andre tilfeller. Strømsåstunnelen har en tverrsnittsutvidelse ved utløpet på Mjøndalensiden. Ved en slik utvidelse oppstår et trykkfall som påvirker strømmingen.

Lærdalstunnelen på 24,5 km har også ventilasjonssjakt. Om vinteren blir det trekt inn kald luft gjennom begge tunnelåpningene. Lufta varmes gradvis opp av fjellvarmen til ca. 17° C midt inne i tunnelen. Dette gir tørr luft i vinterhalvåret. På varme og fuktige sommerdager kan det oppstå kondens når lufta blir nedkjølt innover fra tunnelmunningene, men dette gir sjelden siktproblem. Det meste av fuktigheten avsettes i tak og vegger og blir ofte feilaktig registrert som vannlekkasjer. I biler med klimaanlegg oppstår det av og til plutselig duggdannelse på frontruta hvis det blåses kald luft mot frontruta.

I den sveitsiske undersøkelsen (kapittel 3.1) ble det også pekt på fordelene ved ventilasjon gjennom ventilasjonstårn (sjaktventilasjon). I Norge er mekanisk ventilasjon dimensjoneres ut fra krav til luftkvalitet og brannventilasjon. Mekanisk langslufting baseres på bruk av impulsventilatorer. Ventilasjon gjennom ventilasjonstårn er bare unntaksvis aktuelt, for eksempel i lange eller sterkt trafikkerte tunneler eller hvor bestemte forurensningskrav er gjeldende rundt tunnelåpningene. I en hovedoppgave gjennomført ved NTNU (Gjeldnes, 2000) konkluderes det også med at løsningen for å unngå tåke- og kondensdannelse i tunneler er ventilasjonssjakt.

I mange andre land nyttes prinsippet med tverrlufting, dvs. tilførsel og avsug av luft gjennom hele tunnelen. En slik ventilasjon vil som regel gi mindre duggdannelse, men kan gi en rekke andre problemer.

Konklusjon:

- Ventilasjon gjennom ventilasjonssjakt gir mindre dugg uten at energiforbruket øker.
- Grenseverdiene for gass- og partikkelkonsentrasjon i den enkelte tunnel bør vurderes for å minske behovet for ventilasjon.
- Resultater fra ulike undersøkelser (Sveits-rapport, Bopp et al. 2004) tilsier at ventilasjon ved bruk av ventilasjonstårn/-sjakt minsker duggdannelse i tunneler.
- Tunnelnormalen har sjakt som et alternativ. Det er imidlertid flere temaer i forbindelse med planlegging og bygging av tunneler som har betydning i forhold til dugg i tunneler, f.eks. plassering i forhold til lokalt klima / årsvariasjoner, tetting av lekkasjer i tunnelen.

5.5. Vasking

Det har vist seg at det ofte oppstår dugg i tunnelene etter vask. Dette gjelder også i Strømsåstunnelen, det er derfor gjennomført tiltak etter vask for å redusere risikoen for ulykker i tunnelen. Her følger instruksjonen som brukes i Strømsåstunnelen:

Instruks for vask av Strømsåstunnelen

- *Veien stenges mellom Bangeløkka og Mjøndalen i samarbeide med VTS ihht. godkjente varslingsplaner/vedtak*
- *Stengningstidspunkt er mellom kl. 2100 – kl 0500*
- *Etter avsluttet vask skal det kjøres en test mhp. duggsituasjon begge veier*
- *Det skal testes å reversere viftene slik at luftstrømmen går mot Bangeløkka , men settes tilbake i normal retning før trafikken settes på kl 0500*
- *Det skal uansett forhold iverksettes forvarsling av duggproblemer på begge skilt i Bjørklia*
- *Det skal også påsettes /aktiveres blinkende lys på begge skilt*
- *Inntil vi får andre erfaringer , skal vi sette ned hastigheten til 50 km/t på variabelt skilt*
- *Dette loggføres og endres når duggproblemene er borte*
- *Entreprenøren fører oversikt over vannforbruk*

Tenk trafikkikkerhet og gi tilbakemelding om instruksjonen bør endres til det bedre!

Anbefaling

Instruksjonen for Strømsåstunnelen kan sees på som et eksempel. Tilsvarende rutiner og retningslinjer bør antagelig utarbeides, tilpasses og settes i verk i andre tunneler med samme problem. Dette foreslås som en oppgave for prosjektet videre.

5.6. Optisk ledning/belysning

Belysningsanlegg i tunneler er bygget for å gi lysforhold på kjørebanelen i inngangssoner og inne i tunnelen med tanke på å sikre førers tilpasning til belysningsnivået inne i tunnelen ut fra det hastighetsnivå som vegen er tillatt for og den trafikkmengde som vegen/tunnelen har. Ved siden av vanlig vegmerking (NB: Tofargesystem i tovegskjørte tunneler) vil optisk ledning kunne bestå av kantmarkører med refleks.

Det tilstrebes lyse vegger (malt eller fargepigment i betong) – men i mange tunneler har råsprenge vegger – eller veggene /fukt- og frostsikring er belagt med et lag sprøytebetong. Norske vegtunneler er sjelden rene. Støv og annen forurening av tunnelufta legger seg lett på skuldre og vegger samt belysning slik at lysforhold og optisk ledning blir redusert.

For førere av kjøretøyer som opplever duggdannelse på visir eller frontrute, speil og sidevinduer er det derfor som regel få referansepunkter i en tunnel – og førere vil derfor lett kunne miste retningen og komme over i motsatt kjørefelt – eventuelt komme nær vegg på høyre side.

For høytrafikk-tunneler utenlands (Sveits, Østerrike) er ledebelysning på skuldre og på midtlinja basert på LED-teknologi tatt i bruk for å bedre optisk ledning gjennom tunnelen. (Eksempel: Swaroline eller Levelite fra Swareflex, Østerrike). Det forventes at LED-lys kan øke trafikkikkerheten der det er behov for optisk ledning, enten som følge av kurvatur eller som følge av sikt.

Anbefaling, alternativer:

1. Optisk ledning ved innkjøring i tunnel bør sikres ved kantmarkører med refleks som løpende holdes rene.
2. Det installeres ledelys på skulderkant og i senterlinje (tovegs-tunneler) for å få synlige referansepunkter for kjørebanelen og midtlinja i innkjøringssonen. (Som en minimumsløsning.)

I E134 Strømsåstunnelen i Drammen planlegges en installasjon 500 m inn fra vestre ende med 12,5 m mellom hver LED i innkjørings- og overgangssonen, videre 25 m mellom hver basert på erfaring fra Sveits.

Dersom LED lysene skal ha den ønskede virkningen er det en forutsetning at de holdes rene gjennom systematiske renholdsrutiner.

6. Konklusjon og forslag til videre arbeid

Hovedkonklusjonen på arbeidet som er utført er at det å gi informasjon og opplæring er det viktigste som kan gjøres. Å gi trafikanten informasjon om at duggfenomenet eksisterer og opplæring i hva som kan forhindre at det blir et problem ser ut til å være det enkleste og beste. I tillegg til dette finnes det nå etter hvert noe materiale som kan analyseres fra de to tunnelene man har fulgt opp spesielt (Innfjord og Strømsås). Værdata må analyseres og sammenstilles med tidspunkt det er registrert dugg for om mulig å kunne komme fram et varslingsopplegg utover det statiske som brukes i dag med faste skilter.

Utover dette er det viktig å sette fokus på ventilasjon. Det har vist seg i andre land og også i Norge at ventileringsmetode er avgjørende for om duggdannelse oppstår eller ikke. Ventilasjonsmåte, -retning samt klimatiske forhold, og tilgang på fukt i tunnelen må vurderes ved rehabilitering og nybygging av tunneler. Kan det være mulig å bygge seg bort fra problemet?

Forslag til arbeid som bør utføres videre i prosjektet:

1. Analyse av data fra klimastasjonene både i Strømsåstunnelen og i Innfjordtunnelen.
2. Tilrettelegge informasjon for publikum (internett, brosjyrer...)
3. Etablere felles retningslinjer for skilting. Se på muligheten for å bruke variable skilt
4. Utarbeide retningslinjer i forbindelse med tunnelvask
5. Anbefalinger i forbindelse med bygging av nye tunneler (revisjon av Hb021)
6. Utrede muligheten til å endre ventilasjon i Helltunnelen.

Punktene 1-5 bør koordineres fra Vegdirektoratet.

Prosjektgruppen mener det kan være nyttig med forsøk knyttet til å se på endringer av ventilasjonsretningen i Helltunnelen men at denne type oppgaver må Region midt selv ta ansvar for.

Referanser

Statens vegvesen (2007)

Kartlegging av publikums erfaringer med dugg i tunneler.
Veg- og trafikkavdelingen. TS-seksjonen. 05/2007.

Lervåg, Lone-Eirin (2005)

Kartlegging av faktorer som kan ha betydning for kondensdannelse i tunneler.
SINTEF Teknologi og samfunn, Transportsikkerhet og –informatikk.

Bopp, Rudolf / Haag, Simon / Peter, Andreas (2004)

Fogging of windshields in roads tunnels – synthesis.
Gruner AG, Basel.

Gjeldnes, Roger (2000)

Siktreduksjon i vegtunneler på grunn av tåke- og kondensdannelse.
Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet, NTNU.