



Statens vegvesen

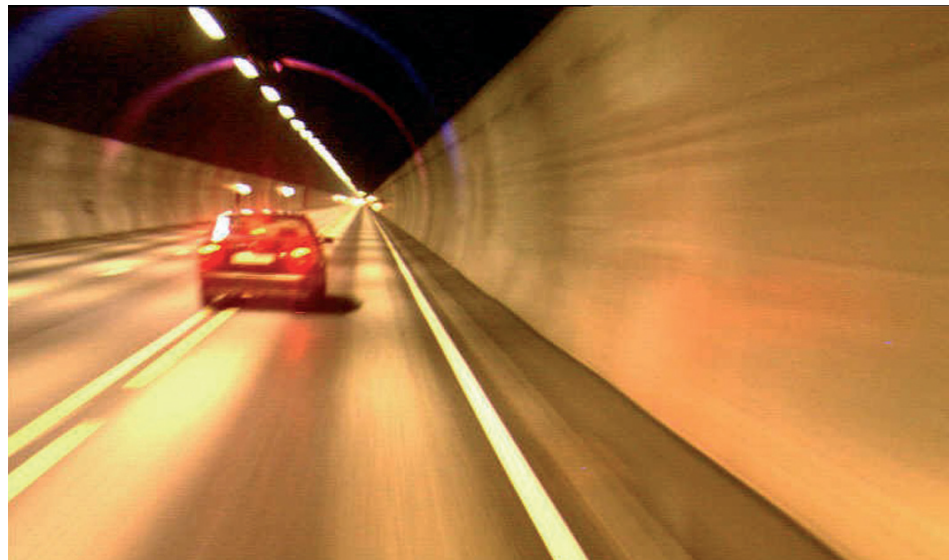
# Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler

## Traffic Accidents in Norwegian Subsea Road Tunnels

RAPPORT

Veg- og trafikkavdelingen

nr: 5/2005



## **Statens vegvesens visjon:**

**"På veg for eit betre samfunn"**

### **Vi vil**

- *ta ansvar og vise tillit*
- *vere opne og kundevenlege*
- *vere romslege og skape arbeidsglede*

Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler  
Traffic Accidents in Norwegian Subsea Road Tunnels

<b>RAPPORT</b>	<b>REPORT</b>
<b>Tittel</b> Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler.	<b>Title</b> Traffic Accidents in Norwegian Subsea Tunnels
<b>Forfattere</b> Finn H Amundsen, Per Ole Roald, Arild Engebretsen og Arild Ragnøy	<b>Authors</b> Finn H Amundsen, Per Ola Roald, Arild Engebretsen and Arild Ragnøy.
<b>Avdeling/kontor</b> Veg- og trafikkavdelingen Trafikksikkerhetsseksjonen	<b>Department/division</b> Department of Road and and Traffic Traffic Safety Section
<b>Prosjektnr</b> Internprosjekt	<b>Project number</b> No
<b>Rapportnr</b>	<b>Report number</b> TTS
<b>Prosjektleder</b> Finn H Amundsen	<b>Project manager</b> Finn H Amundsen
<b>Etatssatsingsområde/oppdragsgiver</b> Vegdirektoratet	<b>Project program/client</b> Norwegian Public Roads Administration
<b>Emneord</b> Trafikkulykker Undersjøiske tunneler	<b>Key words</b> Traffic Accidents Subsea tunnels
<b>Sammendrag</b>	<b>Summary</b>
<b>Språk</b> Norsk og engelsk	<b>Language of report</b> Norwegian and English
<b>Antall sider</b> 10	<b>Number of pages</b> 10
<b>Dato</b> 2005-09-22	<b>Date</b> 2005-09-22
<b>ISSN 1503-5743</b>	<b>ISSN 1503-5743</b>

## **Forord**

Norske undersjøiske vegtunneler er spesielle i internasjonal målestokk fordi de har stor stigningsgrad, har liten trafikk og ofte er lange. Mange vil nok også hevde at standarden ofte er lav, både når det gjelder utforming, linjeføring og utstyr.

Vegdirektoratet har derfor gjennomført en analyse av registrerte personskadeulykker i de 23 undersjøiske vegtunnelene som har vært i drift i noen år.

Data og andre opplysninger som er brukt i analysen er lagt til rette av Arild Engebretsen og Per Ola Roald i Trafikksikkerhetsseksjonen i Vegdirektoratet. Arild Ragnøy, Transportøkonomisk institutt, har gjennomført statistiske tester og kjørt regresjonsanalyser, mens rapporten er skrevet på norsk og engelsk av Finn H Amundsen fra Trafikksikkerhetsseksjonen.

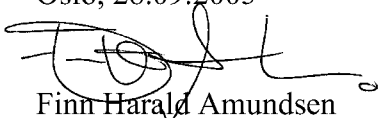
## ***Foreword***

Norwegian subsea tunnels are often seen as special by the international scientific community, because of their large gradients, low AADT and great length. Some will also argue that they have a low standard when it comes to design, alignment and equipment.

The Norwegian Public Roads Administration (NPRA) has therefore made an analysis of personal injury accidents for the 23 tunnels that has been in operation for some time.

Data and information on the tunnels and accidents that has been used in the study was organized by Arild Engebretsen and Per Ola Roald of the Traffic Safety section of the NPRA. Arild Ragnøy at Institute of Transport Economics has performed statistical tests and regression analysis. The report has been written in Norwegian and English by Finn Harald Amundsen, NPRA.

Oslo, 28.09.2005



Finn Harald Amundsen  
Trafikksikkerhetsseksjonen  
Veg- og trafikkavdelingen  
Vegdirektoratet

## 1. Bakgrunn

Norge er det land i verden som har flest undersjøiske vegtunneler og også har de bratteste stigningene i tunnelene. På internasjonalt hold er det derfor knyttet stor interesse til sikkerheten i disse tunnelene. Det er således av interesse å se om det skjer spesielt mange ulykker i slike tunneler, sammenlignet med vanlige vegtunneler og om andre forhold rundt ulykkene skiller seg ut.

Den første undersjøiske vegtunnelen i Norge ble åpnet i 1982. Den var 2 890 m og forbandt Vardø med fastlandet. Siden dette er det nå 23 undersjøiske vegtunneler, dvs. tunneler som forbinder øyer med fastlandet, eller går under fjordarmer. Den lengste er Bømlafjordtunnelen, med sine 7 931 m og den korteste er Kvalsundtunnelen med sine 1 630 m. Den samlede lengden er ca 91 km ( $91/23=3,9$ ), eller litt under 4 km i gjennomsnitt. De fleste har lengder mellom 3 og 4 km. Stigningsgraden i tunnelene varierer mellom 7 % og 10 %.

Trafikken i tunnelene er stort sett lav i Europeisk målestokk. Den gjennomsnittlige ÅDT for alle tunnelene er 2238 kjøretøyer pr døgn. Variasjonen er imidlertid relativt stor og trafikken varierer fra 150 i Skatestraumtunnelen i Sogn og Fjordane til 9 200 i Tromsøysundtunnelens to løp. Med en ÅDT på 4500 og en samlet lengde på 7390m er Oslofjordtunnelen den tunnelen hvor det daglige trafikkarbeidet (målt i kjøretøykilometer) er størst. Her går ca 15 % av det totale daglige trafikkarbeidet i alle undersjøiske tunnelene

Kun en av tunnelene, Bjørøytunnelen, ligger på fylkesvegnettet. Denne er så spesiell at vi har valgt å holde den utenfor i de gjennomførte analysene. For oversiktens skyld er den likevel inkludert i tabell 1, som viser en oversikt over de tunnelene som inngår. Ulykkesantallet som framgår av tabellen inkluderer selve tunnelen samt en sone på 50m utenfor tunnelen i hver kjøreretning.

### **1. Background**

*Norway is probably the country with most subsea road tunnels. These tunnels usually have steep gradients, and therefore, the international community is interested in safety aspects of these tunnels*

*The first subsea tunnel was opened at Vardø in the northern part of Norway in 1982 (length 2890 m). Today there are 23 such tunnels in our coastal areas. The longest one is the Bømlafjord tunnel (7931 m) and the shortest one the Kvalsund tunnel (1630 m). The gradients vary between 7 and 10 %. The mean AADT of all tunnels is 2240 (lowest 150 and highest 9200)*

*The Bjørøy tunnel is on a county road and is excluded from the study.*

## Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler Traffic Accidents in Norwegian Subsea Road Tunnels

Tabell 1: Data om de 23 undersjøiske tunnelene som inngår i undersøkelsen.

Bjørøytunnelen som ligger på fylkesveg er ikke tatt med i de videre analysene.

*Table 1: Information on the 23 sub sea tunnels used in the study. The Bjørøy tunnel is on a county road, and is excluded from the study.*

Fylke	Veg nr	Tunnel	Lengde km	Åpningsår	Størst stigningsgrad %	ADT	Ulykker
County	Road no		Length in km	Year of opening	Max gradient %	AADT	Accidents
Hordaland	FV207	Bjørøy	2,012	1996	10,0 %	475	2
Rogaland	EV39	Byfjord	5,875	1992	8,0 %	3200	9
Hordaland	EV39	Bømlafjord	7,931	2000	8,5 %	2900	0
Møre og Rom	RV658	Ellingsøy	3,520	1987	8,5 %	3700	8
Møre og Rom	RV64	Fannefjord	2,743	1990	9,0 %	1750	2
Vest-Agder	RV457	Flekkerøy	2,327	1989	10,0 %	3100	4
Møre og Rom	RV70	Freifjord	5,086	1992	9,0 %	2250	5
Søe-Trøndela	RV714	Frøya	5,305	2000	10,0 %	660	1
Møre og Rom	RV658	Godøy	3,844	1988	10,0 %	1050	5
Søe-Trøndela	RV714	Hitra	5,645	1994	10,0 %	1010	3
Østfold	RV108	Hvaler	3,751	1989	10,0 %	2100	9
Troms	RV848	Ibestad	3,396	2000	9,9 %	300	0
Troms	RV863	Kvalsund	1,630	1988	8,0 %	500	0
Rogaland	EV39	Mastrafjord	4,424	1992	8,0 %	3430	3
Troms	RV866	Maurusund	2,122	1991	10,0 %	600	1
Nordland	EV10	Nappstraumen	1,776	1990	8,0 %	700	2
Finnmark	EV69	Nordkapp	6,875	1999	10,0 %	320	0
Akershus	RV23	Oslofjord	7,390	2000	7,0 %	4500	2
Nordland	EV10	Sløverfjord	3,337	1997	8,0 %	160	0
Troms	EV8	Tromsøysund (lengste tube)	3,500	1994	8,2 %	9200	7
Møre og Rom	RV658	Valderøy	4,222	1987	8,5 %	3200	6
Finnmark	EV75	Vardø	2,890	1982	8,0 %	1000	3
Sogn og Fjordane		Skatestraumen	1,890	2002	10 %	150	0
Totalt/Total							72

Accident – only accidents with personal injury reported to the police.

## 2. Metode

Denne undersøkelsen er basert på personskadeulykker registrert av politiet og lagret i Statens vegvesens ulykkesdatabase STRAKS. Det er brukt ulykker fra og med 1990 til og med 2004, dvs. 15 år eller så lenge tunnelen har vært åpen for trafikk. For å kunne sammenligne med tidligere undersøkelser er ulykkene stedfestet i forhold til tunnelmunningene. Det er tatt med ulykker inntil 50 m utenfor tunnelmunningene (sone 1). I selve tunnelen er inngangssonene delt i en første sone på 50 m (sone 2) og deretter en på 100 m (sone 3). Resten av tunnelen er definert som indre sone, dvs. sone 4. Opplysninger om åpningsår, lengde, stigningsgrad og ÅDT er hentet fra Statens vegvesens registre. TØI har bistått med å analysere data, samt kjøre ut regresjonsanalyser.

### 2. Method

*The study is based on personal injury accidents reported to the police and recorded in the accident data base STRAKS. Accidents from 1990 to 2004 (max 15 years or the period after opening of the tunnel) are used. The tunnels are divided into four zones (50 m outside the tunnels, the first 50 m inside the tunnels, the next 100 m inside the tunnels and the rest of the tunnels).*

### 3. Resultater.

I alt er det registrert 75 vegtrafikkulykker i de 15 årene analysen omfatter (noe varierende fra tunnel til avhengig av åpningsåret). Tre av ulykkene er registrert i tunnelenes åpningsår (og er ikke tatt med i tabell 1), og 2 ulykker i Bjorøytunnelen er utelatt fra undersøkelsen. De tre ulykkene er ikke tatt med i regresjonsanalysene fordi vi ikke har korrekt dato for åpningen, fordi trafikken ofte varierer mye i åpningsåret og fordi det normalt vil ta litt tid før trafikantene blir fortrolig med kjøring i tunnelene. Det er for øvrig vanlig i denne typen undersøkelser å bruke hele år.

Av de 70 personskadeulykkene som inngår i undersøkelsen er 7 registrert i inngangssonen utenfor tunnelene, 3 i inngangssonene inne i tunnelen og 60 i midtsonen.

Av de 70 ulykkene (Bjorøy unntatt) gjelder langt de fleste personbil (ca 85 %). Motorsykler har imidlertid vært involvert i uforholdsmessig mange ulykker (10). Dette kan ha med høy kjørefart, sleipt vegdekke etc. å gjøre.

Av ulykkene har 31 % skjedd mellom kl 0600 og 1159, 33 % mellom kl 1200 og 1759, 22 % mellom kl 1800 og 2359 og hele 15 % mellom kl 0000 og 0559. Andel ulykker fra midnatt til kl 0600 er vesentlig høyere enn trafikken på denne tiden av døgnet skulle tilsi. Her kan faktorer som høy fart, trøtthet etc. være medvirkende faktorer.

Halvparten av ulykkene er eneulykker der et kjøretøy har kjørt inn i tunnelveggen. 23 % er ulykker mellom kjøretøy i samme kjøreretning (dvs påkjøring bakfra eller feltskifte) og 13 % har vært møteulykker. Resten er andre typer uhell, som for eksempel kryssulykker utenfor tunnelmunningene.

Det er registrert 9 personskadeulykker i Byfjordtunnelen (12 år) og i Hvalertunnelen (15 år). Ellers er det registrert 8 personskadeulykker i Ellingsøytunnelen (15 år), 7 personskadeulykker i Tromsøysundtunnelen (10 år), 6 ulykker i Valderøytunnelen (15 år), og 5 i Freifjordtunnelen (12 år) og i Godøytunnelen (15 år).

Ulykkesfrekvensen for tunnelen inklusive 50m sone utenfor tunnelen (dvs. antall ulykker dividert med trafikkarbeidet) er høyest i Nappstraumentunnelen ( $0,298 * 10^{-6}$ ), Godøytunnelen ( $0,221 * 10^{-6}$ ), Hvalertunnelen ( $0,203 * 10^{-6}$ ) og i Vardøtunnelen ( $0,183 * 10^{-6}$ ). I Byfjordtunnelen og Ellingsøytunnelen er ulykkesfrekvensen  $0,110 * 10^{-6}$ . Det bør her legges til at selv med et relativt lavt ulykkesnivå vil ulykkesfrekvensen kunne bli relativt høy når trafikken (nevneren) er liten. I 6 av tunnelene har det ikke skjedd ulykker i løpet av analyseperioden. For alle tunnelene samlet er risikoen  $0,092 * 10^{-6}$ , hvilket sammenliknet med veg i dagen er relativt lavt.

Som nevnt innledningsvis er ulykkene fordelt på soner i tunnelene. De 7 personskadeulykkene som er registrert 50 m utenfor tunnelmunningene gir en ulykkesfrekvens på  $0,385 * 10^{-6}$  (dersom vi bare ser på tunneler hvor det har skjedd ulykker er ulykkesfrekvensen  $0,443 * 10^{-6}$ ). Ser vi derimot på inngangssonene utenfor tunnelen og på de to sonene inne i tunnelene (dvs første 50 m og de neste 100 m) er ulykkesfrekvensen  $0,137 * 10^{-6}$  (dersom vi bare ser på tunneler der det er registrert ulykker er frekvensen  $0,158 * 10^{-6}$ ). I praksis betyr dette at ulykkesfrekvensen er 4 ganger så høy utenfor tunnelen i forhold til hele tunnelen og dobbelt så høy i inngangssonen som i selve tunnelen.

## Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler Traffic Accidents in Norwegian Subsea Road Tunnels

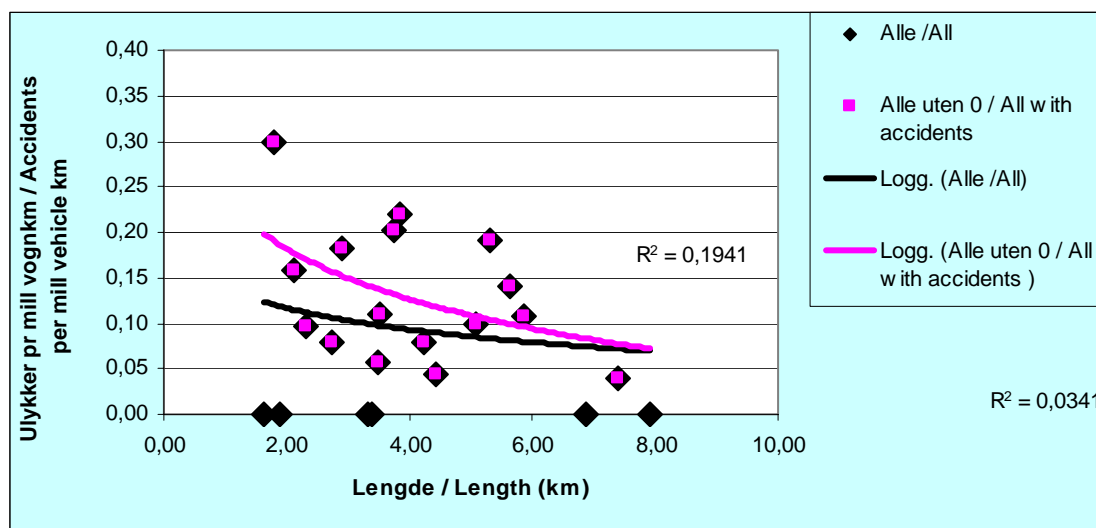
Som nevnt innledningsvis har TØI v/Arild Ragnøy kjørt statistiske tester og en lineær regresjonsanalyse på de innsamlede data fra tunnelen. Datamaterialet omfatter 22 tunneler med i alt 70 ulykker (Se tabell 1 som imidlertid også omfatter Bjørøy med 2 ulykker). Siden materialet er lite, samt at det for en del parametere (bla. største stigning) er liten variasjon i materialet har det ikke vært mulig å påvise noen entydige forklaringer på hvordan ulykkesantallet varierer mellom tunnelene. Selvsagt er imidlertid at både lengde og ÅDT (trafikkarbeidet) påvirker selve ulykkesantallet. Jo større trafikk jo større sannsynlighet for ulykker gjelder både for veg i dagen og for tunneler.

Dersom vi bruker risiko (ulykkesfrekvens, dvs. ulykker/trafikkarbeid) som avhengig variabel kommer en del sammenhenger frem i regresjonsanalysene. Disse er gjennomført som enkle lineære analyser med ulykkesfrekvens som avhengig variabel og med ÅDT, lengde, største gradient og åpningsår som forklaringsvariable. Det er forsøkt med alle uavhengige variable samlet, enkeltvis og i grupper. Siden ÅDT og lengde inngår i beregningen av risiko, skal en være varsom med tolkingen av innflytelsen til disse variablene, som da i prinsipp forekommer på "begge sider" i regresjonslikningen. Siden tallene som nevnt er små har regresjonene generelt liten forklaringssevne. Vi skal derfor ikke gjengi resultatene direkte her. Fortegnene på koeffisientene foran hver av de uavhengige variablene gir imidlertid en viss tendens

- Risikoen synker med økende tunnellengde
- Risikoen øker med økende stigningsgrad
- Risikoen synker og flater ut med økende ÅDT
- Risikoen er noe høyere i de eldste tunnelene

For å illustrere de sammenhengene som er antydnet har vi i det følgende laget figurer som viser ulykkesfrekvens på den vertikale akse og henholdsvis lengde, største gradient, ÅDT og åpningsår på den horisontale akse. Ulykkestall og trafikkarbeid som inngår i disse beregningene omfatter kun selve tunnelen og ikke 50m sonene i hver munning.

Figur 1 viser sammenhengen mellom ulykkesrisikoen (antall ulykker pr mill kjtkm) og tunnelens lengde i km. Hvert punkt i diagrammet tilsvarer den enkelte tunnelen og kurvene er tegnet som beste tilpassning til punktene. Punkter vil kunne ligge "oppå" hverandre slik at det kan være vanskelig å påvise de 22 punktene som materialet omfatter.



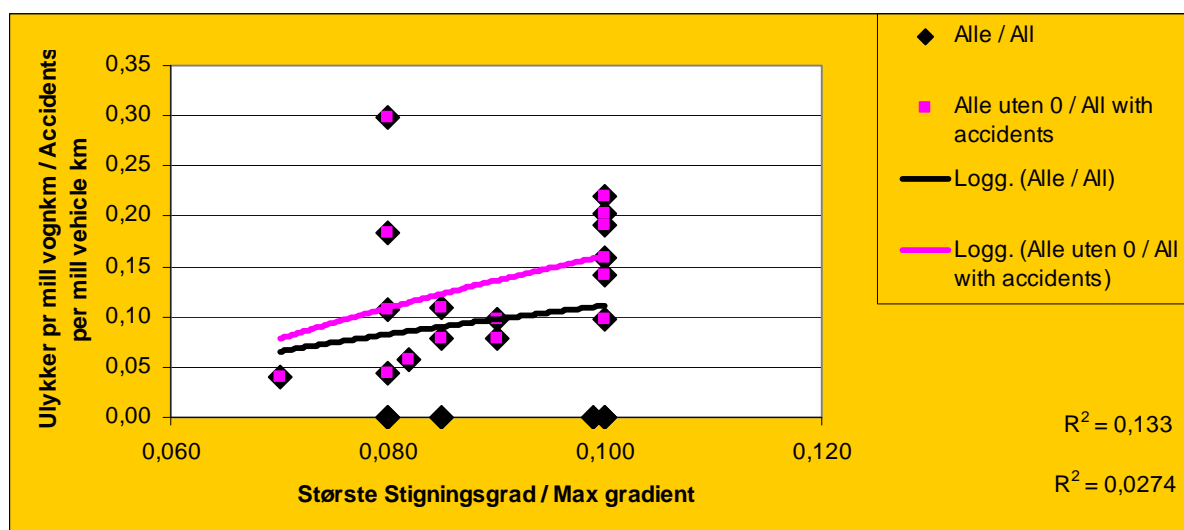
Figur 1: Ulykkesrisiko og tunnellengde  
Figur 1: Accident rate and tunnel length



## Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler Traffic Accidents in Norwegian Subsea Road Tunnels

Figur 1 viser en tendens til synkende risiko når tunnelens lengde øker. Den sorte kurven omfatter alle tunnelene. I 6 av tunnelene har det ikke skjedd ulykker i løpet av analyseperioden. Dersom disse holdes utenfor framkommer den rosa kurven som har en noe høyere forklaringsverdi og tydeligere sammenheng.

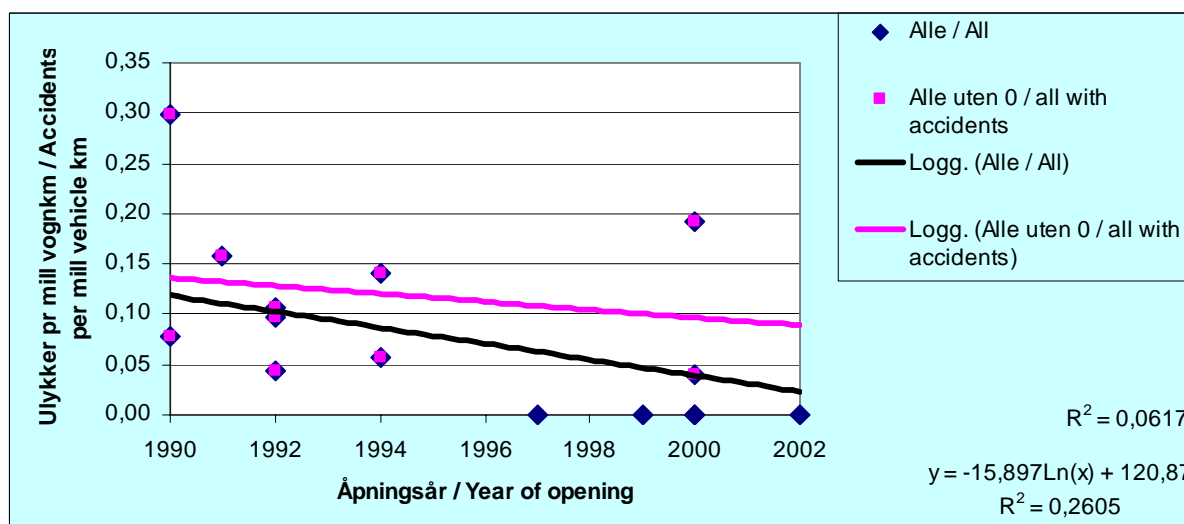
Figur 2 er laget på samme måte som den foregående. Her framstår tunnelens største gradient på den horisontale akse. (0,1 tilsvarer 10 % som største stigning)



Figur 2: Ulykkesrisiko og tunnelens største gradient.

Figure 2: Accident risk and max gradient.

Figur 2 viser en tendens til økende risiko når tunnelens største gradient øker. Den sorte kurven omfatter alle tunnelene, mens den rosa kurven igjen representerer resultatene dersom tunneler med 0 ulykker holdes utenfor. Også her øker forklaringsverdien dersom tunnelene med null ulykker holdes utenfor.



Figur 3: Ulykkesrisiko og tunnelens åpningsår.

Figure 3: Accident risk and the year of opening the tunnel

Den sorte kurven i figur 3 representerer alle tunnelene, mens den rosa representerer sammenhengen mellom risiko og åpningsår for de tunnelene hvor det har skjedd ulykker. Det



### 3. Results

70 accidents are used as basis for this study. Accidents in the opening years and in the Bjorøy tunnels have been excluded. Of the 70 accidents 7 are recorded in zone 1, 3 in zones 2 and 3 and 60 in zone 4. The accident rate (accidents per million vehicle kilometres) in all tunnels (all 4 zones) is  $0,092 \cdot 10^{-6}$ . The accident rate in zone 1 is  $0,385 \cdot 10^{-6}$  and in zones 2 and 3  $0,137 \cdot 10^{-6}$ .

85 % of the involved vehicles are private cars, 10 % are motorcycles and 5 % HGV. 31 % of the accidents are recorded between 0600 and 1159, 33 % between 1200 and 1759, 22 % between 1800 and 2359 and 15 % between 0000 and 0559. Night-time accidents seem to be overrepresented compared to the traffic. 50 % of the accidents are single vehicle accidents, 23 % are head to tail and lane change accidents and 13 % are head to head accidents.

The Institute of Transport Economics have made some linear regression runs and statistical tests on the material. The results from these runs are shown in figures 1 – 4, and they show that:

- The rate decreases with increasing tunnel length
- The rate increases with increasing gradient
- The rate decreases and flattens out with increasing AADT
- The rate is somewhat higher in the oldest tunnels

### 4. Konklusjoner

Denne undersøkelsen er utført for å analysere sikkerheten i undersjøiske vegtunneler. De 22 undersjøiske vegtunnelene som inngår i undersøkelsen har stigningsgrad varierende fra 7 – 10 % og lengde varierende fra 1,6 km til 7,9 km. ÅDT varierer fra 160 til 9200. Siden undersøkelsen gjelder undersjøiske tunneler og et av hovedpoengene er å se hvordan ulykkesrisikoen påvirkes av stigningsgraden, er det å forvente at variasjonen i stigningsgrad er liten.

Undersøkelsen er basert på personskadeulykker rapportert til politiet. 70 ulykker inngår i undersøkelsen. Av disse har 7 skjedd de siste 50 m utenfor tunnelene, 3 i de første 150 m inne i tunnelene og 60 i resten av tunnelene, dvs midtsonene. Dette betyr at ulykkesrisikoen er (dvs ulykkesfrekvensen målt i personskadeulykker per år pre mill kjt) er fire ganger så høy de siste 50 m før tunnelen, dobbelt så høy i inngangssonen sett i forhold til midtsonen. Til tross for relativt stor stigningsgrad er forholdet mellom sonene omtrent som for vanlige vegtunneler.

Personbiler har vært involvert i 85 % av ulykkene, motorsykler i 10 % og tunge kjøretøy i 10 %. Det synes som om ulykkene er overrepresentert i forhold til trafikken om natten.

Regresjonsanalyser foretatt på materialet viser følgende sammenhenger:

- \* Risikoen synker med økende tunnellengde
- \* Risikoen øker med økende stigningsgrad
- \* Risikoen synker og flater ut med økende ÅDT
- \* Risikoen er noe høyere i de eldste tunnelene

## Trafikkulykker i undersjøiske vegtunneler Traffic Accidents in Norwegian Subsea Road Tunnels

Denne undersøkelsen antyder at en standardheving for eksempel med tanke på bedre belysning vil kunne redusere antall ulykker i de eldste tunneler. Nye tunneler bør ikke bygges med stigningsgrad over 8 % (eller fortrinnsvis 7 %).

### *4. Conclusions*

*The aim of this analysis is to study the safety of Norwegian subsea tunnels. 22 tunnels are included in the study and their gradient varies between 8 and 10 %, the length varies between 1.6 and 7.9 km and the AADT varies between 160 and 9200. The main objective of the study was to evaluate the safety of tunnels with such high gradients, as they all are subsea tunnels the variation in gradients is rather low. Only one of the tunnels has two tubes.*

*The study is based on 70 accidents with personal injuries reported to the police. Of these 7 are reported the last 50 m outside the tunnels, 3 in the first 150 m inside the tunnels and 60 in the rest of the tunnel. This means that the accident rate (accidents per year per 1 mill vehicle km) is four times as high outside the tunnel and two times as high compared to the interior of the tunnel. Despite the large gradients these results are comparable to ordinary tunnels.*

*Private cars are involved in 85 % of the accidents, motorcycles in 10 % and heavy goods vehicles in 5 %. Accidents during the night time are somewhat overrepresented compared to the traffic during the night.*

*A regression analysis gave the following results:*

- *The accident rate decreases with increasing tunnel length*
- *The accident rate increases with increasing gradient*
- *The accident rate decreases and flattens out with increasing AADT*
- *The accident rate is somewhat higher in the oldest tunnels*

*This study shows that there is a potential for accident reduction if lighting in older tunnels could be improved and when reducing the gradient to 8 % (or preferably 7 %) in new subsea tunnels.*



## **Statens vegvesen**

Vegdirektoratet  
Veg- og trafikkavdelingen  
TS-seksjonen  
Kontoradresse: Brynsengfaret 6A, Oslo  
Postadresse: Postboks 8142 Dep., 0033 Oslo  
Telefon: 22 07 35 00 – Telefax: 22 07 3308