



Statens vegvesen

# Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008 - 2011

Grensesprengende tunneler - lange og dype, går det en grense?

Statens vegvesens rapporter

Nr. 136



Vegdirektoratet  
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen  
Tunnel og betong  
Juni 2012

### Tittel

Etatsprogrammet Moderne vegtunneler  
2008 - 2011

### Undertittel

Grensesprengende tunneler - lange og  
dype, går det en grense?

### Forfatter

Harald Buvik

### Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-  
lingen

### Seksjon

Tunnel og betong

### Prosjektnummer

602182

### Rapportnummer

Nr. 136

### Prosjektleder

Harald Buvik

### Godkjent av

### Emneord

Etatsprogram, Moderne vegtunneler, Tun-  
nel, Strategi.

### Sammendrag

Hvor lang eller hvor dyp en tunnel kan  
være må bli styrt av den sikkerhetsmessige  
utfordringen for trafikantene. Kjøring med  
tunge kjøretøy og evakuering ved en hen-  
delse er eksempel på slike utfordringer. En  
skadesituasjon som krever redningsinnsats  
blir mer utfordrende jo mer man strekker  
grensene for lengde og ikke minst dybde.

### Title

Major Research and Development Project:  
Modern Road Tunnels

### Subtitle

The Limit of our Knowledge about Tun-  
neling - Lengths and Depths

### Author

Harald Buvik

### Department

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavde-  
lingen

### Section

Tunnel og betong

### Project number

602182

### Report number

No. 136

### Project manager

Harald Buvik

### Approved by

### Key words

Major R&D Projects, Modern Road Tunnels,  
Tunnel, Strategy.

### Summary

The depth and the length of a tunnel  
should be depended of the safety chal-  
lange for the tunnel users. Heavy vehicles  
and evacuation situations are examples of  
safety challenges. Risk of fire in the breaks  
of heavy vehicles driving in steep tunnels  
is a major problem. Evacuation procedures  
are increasingly more challenging in longer  
and deeper tunnels.

# Innhold

1	DAGENS SITUASJON .....	3
2	STIGNINGSGRAD I VEGTUNNELER.....	3
3	DRIFTS- OG VEDLIKEHOLDMESSIGE VURDERINGER .....	4
4	VENTILASJON - BRANNVENTILASJON .....	4
5	SIKKERHET ELLER KONSEKVENSER - HVOR SIKKERT SKAL DET VÆRE? .....	6
6	TRAFIKKSIKKERHET VS STIGNING/FALL .....	6
7	FØLT RISIKO VED KJØRING I LANGE OG BRATTE TUNNELER.....	8
8	BRANNSIKKERHETSMESSIGE VURDERINGER .....	10
9	TUNGE KJØRETØY: KJØRETØYTEKNISKE UTFORDRINGER .....	11
10	BYGGETEKNISKE UTFORDRINGER .....	13
11	GRUNNUNDERSØKELSER PÅ STORE DYP .....	13
12	TUNNELER MED ETT LØP OG TOVEIS TRAFIKK.....	14
13	TUNNELER MED TO LØP OG ENVEIS TRAFIKK .....	15
14	KONKLUSJON: NÅR ER LANGT LANGT NOK OG DYPT DYPT NOK? .....	17
15	REFERANSER .....	20

<blank side>

## 1 Dagens situasjon

Vi bygger og planlegger flere tunneler enn mange andre land i verden, og mange av våre tunneler er også lengre enn i de fleste andre land. Dette betyr at vi strekker våre kunnskaper og erfaringer utover det en ville kunne kalle god faglig praksis. Det som i Norge for noen år siden var sett på som dristig, kanskje umulig, er i dag under planlegging og bygging. Stadig ser vi i Vegdirektoratet at vi blir involvert i prosjekter hvor vi må basere våre vurderinger på godt faglig skjønn. Vi skyver med andre ord grensene foran oss.

I håndbok 021 Vegtunneler er det i tabellen for sikkerhetsutstyr/utforming satt en grense for tunnellengde på 10 km. Der det planlegges tunneler som er lengre, skal det foretas spesielle vurderinger. Denne grensen er litt tilfeldig valgt i og med at den ikke kan dokumenteres å representere en faregrense eller teknisk grense. Basis i 90-årene var at vi vel mente at tunneler ikke burde være lengre enn dette. Siden har det blitt åpnet to tunneler som er lengre og hvorav en er vesentlig lengre enn 10 km. Meningen med denne grensen var i sin tid at alle slike tunnelprosjekter skulle vurderes spesielt, men vi har ikke lagt opp til hva en slik vurdering skal inneholde eller hvordan den skal gjøres.

I den samme håndboka er det inntatt at prinsippet for evakuering baserer seg på selvberging, det vil si at trafikantene skal ta seg ut enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy.

I de siste årene har vi også sett at kravene til tunnelenes sikkerhet har blitt skjerpet, både i Europa og her i Norge. I EU har man innført et eget sikkerhetsdirektiv for vegtunneler på TERN-vegnettet som også er implementert i Norge gjennom en egen forskrift til vegloven. Denne gir klare føringer/krav til stigning, utforming og utstyr, men sier lite og ingenting om lengde og dybde.

## 2 Stigningsgrad i vegtunneler

Gjennom ”Tunnelsikkerhetsforskriften” er stigningsgraden i vegtunneler begrenset til 5 % for de fleste tunneler. Ved bygging av undersjøiske vegtunneler er det benyttet en tilleggsbestemmelse som sier at en kan øke stigningsgraden der det er geografisk umulig å bruke lavere stigningsgrad. I Norge har vi i den senere tiden begrenset muligheten for brattere tunneler ved å legge oss på et maksimalt nivå på 7 %. Tidligere er det bygd undersjøiske tunneler med stigningsgrad på inntil 12 %.

Valg av stigningsgrad er viktig ut fra at den ofte er avgjørende for tunnelens lengde. Høy stigningsgrad gir økt drivstofforbruk og mer forurensing særlig fra tunge kjøretøy, økt stigningsgrad gir også større problemer ved evakuering særlig for barn og eldre. Fordelen er at tunnelene blir kortere. Ut fra de evalueringer som er gjort, særlig av undersjøiske vegtunneler, synes det å være riktig totalt sett å begrense stigningsgraden til 7 % for undersjøiske vegtunneler og til 5 % for andre tunneler.

*I etterkant av den siste tids hendelser er det imidlertid grunn til å vurdere maksimum stigningsgrad på nytt og kanskje spesielt de utfordringer som dette medfører for tunge kjøretøy.*

### 3 Drifts- og vedlikeholdsmessige vurderinger

Drift og vedlikehold av tunneler vil stort sett omfatte de samme arbeidsmessige utfordringene uavhengig av både lengde og dybde. Omfanget vil imidlertid være forskjellig og kostnadene vil avhenge av både dybde og lengde. Spesielt dype og derigjennom også lange undersjøiske tunneler vil kreve store energimengder for å pumpe ut innlekkasjevann. Mye energi kreves også til ventilasjon og kostnadene øker med økt lengde og dybde. Kravet til brannventilasjon vil styre det generelle ventilasjonskravet.

I Norge brukes alltid langslufting som mekanisk ventilasjonsprinsipp. Dette betyr i praksis at forurenset luft og røyk i tilfelle brann transporteres gjennom hele tunnelen. Tunnelsikkerhetsforskriften (EU-direktivet) pålegger alle som langslufter tunnelene å gjennomføre en risikoanalyse for å vise om dette gir tilstrekkelig sikkerhet. I andre land er det satt lengdebegrensning for å kunne langslufte tunneler både med toveis trafikk og for tunneler med ensrettet trafikk. Dette gjelder i første rekke for brannventilasjon. Vi har ikke en slik grense i dag men et naturlig spørsmål vil nå være:

*Skal Norge også vurdere å sette en lengde- og ÅDT grense med hensyn på valg av ventilasjonsløsning?*



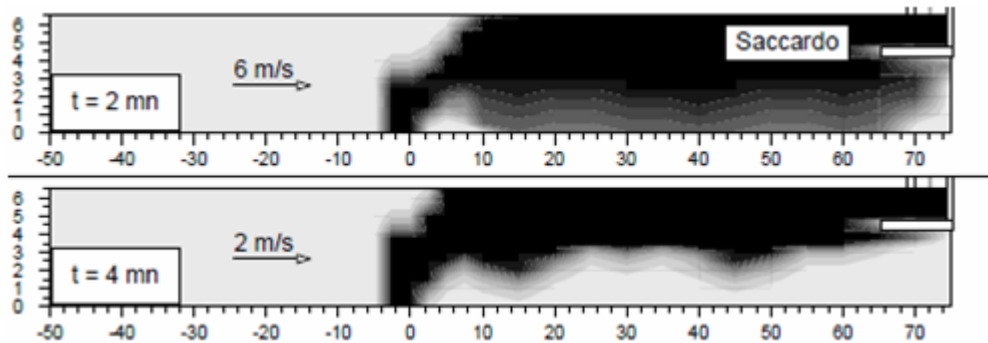
Figur: Forurenset luft følger luftstrømmen gjennom tunnelen fra portal til portal

I en normalsituasjon i tunnel med ensrettet trafikk vil mekanisk langsventilasjon tynne ut forurenset luft inne i tunnelen og føre luften ut av tunnelen i trafikkdirningen. I en to-veis trafikkert tunnel vil man måtte dimensjonere ventilasjonen slik at luften kan tvangsstyres ut av tunnelen i valgt retning. Stempeeffekt fra motgående trafikkstrømmer er en stor utfordring til en effektiv ventilering av forurenset luft i slike tunneler.

### 4 Ventilasjon - brannventilasjon

For å kunne kontrollere røykspredning i en eventuell brann i en tunnel med ensrettet trafikk kreves det en langsgående brannventilasjon på min. 3 m/s og opp mot 10 m/s for ”store” branner. Det er også flere andre faktorer som spiller inn på ventilasjonskravet, for eksempel stigningsforhold og klima. Tilstrekkelig brannventilasjonen vil da hindre at røyken sprer seg til oppstrøms side av brannen som er å betrakte som sikker side i en slik tunnel. Nedstrøms brannen skal i prinsippet trafikken kunne kjøre uhindret ut av tunnelen og i sikkerhet. Dersom det imidlertid oppstår trafikkstans nedstrøms brannstedet vil trafikanter som oppholder seg der være i alvorlig fare.

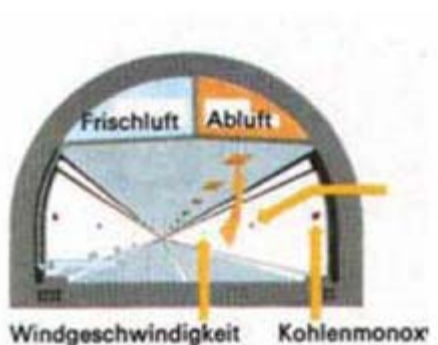
I to-veis trafikkerte tunneler vil man alltid måtte tvangsstyre røyken fra en eventuell brann med tilstrekkelig brannventilasjon. Da vil alltid "noen" være på nedstrøms side av brannen og i ventilasjonsretningen. Dette er en stor utfordring i slike tunneler og det forutsettes god kjennskap til trafikksituasjonen i tunnelen under en hendelse før man eventuelt tvangsstyrer brannventilasjonsretningen. I utgangspunktet er brannventilasjonsretningen valgt slik at redningsmannskaper skal kunne komme inn i tunnelen med ventilasjonsretningen i ryggen.



Figur: Røykspredning i tunnelrommet ved hhv. 2 og 6 m/s over tid.

Ovenstående prinsippskisse viser at 70 m av tunnelrommet nedstrøms en brann er fylt med røyk i løpet av 2 minutter med en ventilasjonshastighet på 6 m/s.

Både styring av brannventilasjon og kontroll med røykspredning vil møte stigende utfordringer både i lengderetning og ikke minst i kombinasjon med store og lange stigninger i tunnelene når man utelukkende baserer seg på langsventilasjon slik som vi gjør. Alternativet vil være halvtverr-/tverrventilasjon hvor luften blir styrt mot en eller flere sjakter for utlufting av forurenset luft. For effektiv røykkontroll blir luften punktavsugd til ventilasjonskanaler over falsk himling i tunnelrommet hvor både brukt luft fra tunnelen og frisk luft til tunnelrommet blir styrt med mekanisk ventilasjon.



Figur: Halvtverr-/tverrventilasjon: Luften blir styrt mot en eller flere sjakter for utlufting av forurenset luft.

Dette er en vanlig metode i mellomeuropeiske tunneler. Det krever imidlertid helt andre tverrsnittarealer og profiler enn det som er vanlig i våre tunneler.

*Spørsmålet vil være om det går en grense eller det skal settes en grense for når tunnelkonstruksjonene er så "grensesprengende" at langsventilasjon alene innebærer for store usikkerheter knyttet til sikker brannventilasjon og evakuering?*

## 5 Sikkerhet eller konsekvenser - Hvor sikkert skal det være?

For alle norske vegtunneler beregnes sannsynlighet for havarier, personskadeulykker og branntilløp. Når det gjelder branntilløp og havarier avhenger antallet av tunnelens geometriske utforming (linjeføring og bredde), samt av trafikken og tunnelens lengde. Jo lengre tunnel jo flere hendelser gitt at trafikk og utforming er den samme. Når det gjelder personskadeulykker viser det seg at frekvensen av ulykker ikke øker med lengden. Dersom vi sammenligner med en åpen veg vil lange tunneler komme meget positivt ut av sammenligningen, ja faktisk bedre jo lengre tunnelen er fordi ulykkesfrekvensen er høyest i munningene. En ren sikkerhetsvurdering gir således ikke alene grunnlag til å begrense tunnellengden. Det vi imidlertid vet, men sjelden tar hensyn til, er at konsekvensene ved ulykker i tunneler normalt er større enn for ulykker utenfor tunnelene. Skadegraden øker faktisk innover i tunnelen. Videre er det lett å tenke seg at konsekvensene for de som eventuelt skal rømme en vegtunnel blir større jo lengre tunnelen er. Problemer for utrykningsetatene vil også øke når tunnellengden øker.

Når det gjelder valg av tunnellengde er det således en klar konflikt mellom sikkerhet og konsekvenser. Dette må tillegges stor vekt i en slik vurdering. Problemet er selvsagt at mens vi kan beregne sikkerhetsdelen rimelig nøyaktig må vi foreta en mer faglig skjønnsmessig vurdering av konsekvensene. Vi ser imidlertid fra utlandet at mulige konsekvenser og evakuering tillegges stadig mer vekt når det gjelder sikring av vegtunneler.

Et annet dilemma vi må kjempe mot er at tunnelene generelt sett har lav risiko for trafikantene sammenlignet med vegtrafikken for øvrig. Rent økonomisk og faglig sett burde vi egentlig ha investert mer i vegsikkerhet generelt enn i tunnelsikkerhet spesielt. Siden trafikantene tross alt ikke har den samme mulighet for å komme seg unna i en faresituasjon, for eksempel ved evakuering, må vi som tunneleiere legge særlig vekt på å sikre evakueringsmulighet og redusere konsekvensene ved hendelser i vegtunneler. Dette betyr at vi her har et større ansvar og at det således er naturlig å bruke mer midler her.

## 6 Trafikksikkerhet vs stigning/fall

I arbeidet med etatsprogrammet Moderne vegtunneler har det vært stilt spørsmål om graden av fall og stigning som kan tillates for undersjøiske tunneler ut fra hensyn til trafikksikkerhet. Det pågår også for tiden en utredning om avbøtende tiltak for å kunne akseptere store kjøretøyer i Oslofjordtunnelen.

Det er minst fire forhold som må vurderes for å kunne avgjøre om de samlede påkjenninger ved kjøring i undersjøiske vegtunneler ligger innenfor et akseptabelt sikkerhetsnivå for å kunne tillate åpen ferdsel.

Disse forholdene er:

- graden av fall og stigning
- kjørelengden med fall og stigning
- kjøretøyenes bremsekapasitet og
- tyngden på kjøretøyene



### Graden av stigning og fall

EU tillater inntil 5 prosent fall og stigning på TERN-vegnettet. Det samme gjelder for oversjøiske riksvegtunneler i Norge. På grunn av Norges spesielle geografi med svært dype fjorder har EU akseptert at Norge kan ha andre bestemmelser for graden av fall og stigning i undersjøiske tunneler.

Bestemmelser for undersjøiske tunneler på riks og fylkesvegnettet i Norge er i følge Håndbok 021 (Tunnelhåndboken) side 25:

#### *“4.2.3 Vertikalkurvatur*

*Med unntak for undersjøiske tunneler skal ikke veg i tunnel bygges med mer enn 5 % stigning.*

*Veg i undersjøiske tunneler skal ikke overskride kravene til stigning gitt i tabell 4.2.*

*Tabell 4.2 Maksimal stigning for veg i undersjøiske tunneler*

	Toveis trafikk		Ensrettet trafikk	
	0 – 1 500	> 1 500	< 15 000	> 15 000
ÅDT (20)				
Maks. stigning	8 %	7 %	7 %	6 %

*Se punkt 4.4 Valg av tunnelklasse for definisjon av årsdøgntrafikk – ÅDT.*

*ÅDT-verdiene for ensrettet trafikk i tabell 4.2 gjelder begge tunnellop samlet.*

*ÅDT-verdiene i tabell 4.2 gjelder vegstrekninger med en normal trafikkfordeling over året og med en tungtrafikkandel jevnt fordelt over året på 10 – 15 %.*

*I bynære områder med typiske morgen- og ettermiddagsrush, hvor tungtrafikkandelen i maksimumstimen er mindre enn 7 %, kan ÅDT-verdiene i tabell 4.2 økes med 25 %.*

*Veg i undersjøiske tunneler, av lokal karakter og med små trafikkmengder, kan bygges med stigning opp til 10 %. Dette skal godkjennes av Vegdirektoratet i hvert enkelt tilfelle.”*

### Veglengden med fall og stigning

Tilsvarende hvor viktig stigningsgrad og fall er i en undersjøisk vegtunnel er kjørelengden i stigning og fall. For eksempel vil det ikke være problematisk med et fall på 7 prosent hvis høydeforskjellen som skal forseres begrenser seg til eksempelvis 50 meter. Dette medfører en kjørelengde med fall begrenset til om lag 700 meter. Derimot vil et fall på 7 prosent med høydeforskjell på 600 meter innebære en kjørelengde i fall på om lag 8.600 meter, hvilket ikke vil være akseptabelt.

Årsaken til at dette ikke vil være sikkerhetsmessig akseptabelt er risikoen ved at bremsesystemene ikke vil tåle belastningen over så lang strekning. Faren for varmegang og brann vil være betydelig.

### Kjøretøyets vekt

I Norge er det generelt tillatt med kjøretøy med inntil 50 tonn totalvekt for kjøretøy og last. Innenfor EU er det tilsvarende tillatt med inntil 40 tonns. Vi tillater med andre ord 25 prosent høyere maksimalvekt på tilsvarende kjøretøy som benyttes i EU.

I tillegg har både EU og Norge noen tilleggsbestemmelser. Høyeste tillatte vekt på et kjøretøy i EU er 44 tonn ved bruk av 44 fots containere, mens det i Norge er 60 tonn ved bruk av modulvogntog.

#### Bremsene på kjøretøy

Det er direkte sammenheng mellom et kjøretøys samlede vekt og belastningen på bremsesystemet. Desto tyngre, desto større belastning skal bremsene beherske.

For å bedre bremsesystemene på tunge kjøretøy er det vanlig i Norge å utstyre kjøretøy med såkalte retardere. Dette er mer vanlig i Norge enn i EU. Men både norske kjøretøyer og utenlandske kjøretøy kjører på det samme vegnettet, og de er derfor utsatt for de samme belastningene.

#### Risikobilde med norsk bruk av bratte tunneler i Norge

Norge er det land i verden som har flest undersjøiske tunneler, om lag 30.

På grunn av dype fjorder og for å redusere tunnellengdene bygger vi i Norge tunnelene med stor stigning og stort fall.

I tillegg til dette har Norge godkjent en langt større totalvekt på store kjøretøy enn det man har akseptert i EU. Med en større andel kjøretøy med retarder enn ellers i Europa har Norge en viss gevinst. Men gevinsten har ikke betydning for de kjøretøyene som ikke har retarder, eller de kjøretøyene som utsettes for faren fra kjøretøyer som ikke har retarder.

#### Anbefaling

Det er behov for å dokumentere hvilke kombinasjon av stigningsgrad og fall, kjørelengde med stigning og fall, tyngden på kjøretøy og bremsesystem som gir trafiksikkerhetsmessig forsvarlige løsninger.

Inntil det foreligger tilstrekkelig dokumentasjon på disse forholdene bør det ikke bygges undersjøiske tunneler med stigning og fall på over 5 prosent.

## **7 Følt risiko ved kjøring i lange og bratte tunneler**

Vegtunneler byr på særegne trafiksikkerhetsutfordringer under normale forhold og spesielle utfordringer ved kritiske forhold. Vegtunneler skiller seg fra veg i friluft på flere måter, blant annet fordi de ikke har noen sideaktivitet, har bra vegunderlag om vinteren, har samme lysforhold året rundt unntatt når tunnelinngangen ligger i skarpt sollys, en viss andel trafikanter opplever ubehag, det er vanskelig å bedømme stigning og fall, avgassutslipp og vanskelige forhold om det inntreffer ulykker.

Vegtunneler er vanligvis minst like sikre som eller sikrere enn tilsvarende vegstrekninger i fri luft uten vegkryss, avkjørsler, gang- og sykkeltrafikk. Vegtunneler fortjener likevel spesiell oppmerksomhet fra et trafiksikkerhetsperspektiv, både fordi de har særegne sikkerhetsutfordringer under normale forhold og ikke minst fordi de byr på spesielle utfordringer ved kritiske situasjoner.

Vegtunneler byr på særegne sikkerhetsutfordringene under normale forhold, fordi de har relativt høy ulykkesrisiko i inngangssoner, fordi de til forskjell fra veger i friluft mangler referanserammer, fordi en betydelig andel av befolkningen opplever frykt og ubehag knyttet til det å ferdes

i dem og fordi de kan gi trafikantar en opplevelse av monotoni og kjedsomhet, som kan medføre nedsatt oppmerksomhet.

De spesielle utfordringene som vegtunnelar byr på ved kritiske situasjonar er knyttet til stans i trafikken og trafikkopphopningar, at omtrent halvparten av trafikantene ikke vet hva de skal gjøre i kritiske situasjonar som for eksempel brann og at mange forholder seg passive i situasjonar som krever evakuering. Det kan generelt se ut til at norske trafikantar kan ha god nytte av opplæring og/eller informasjonstiltak som forklarar hvordan de skal oppføre seg i kritiske situasjonar i vegtunnelar.

Det finnes per i dag ikke sterkt begrunnede grenser for lengde og dybde eller eksplisitte kriterier for slike grenser for vegtunnelar. Spørsmålet om hvor lange og dype vegtunnelar kan være er først og fremst er et spørsmål om hvilke hensyn som må tas til brukerne. Fire lengde- og dybdebegrensende faktorer kan ha betydning: 1. frykt og ubehag, 2. monotoni, senket oppmerksomhet og ulykkesrisiko, 3. stigningsgrad i dype tunnelar som skapar fartsforskjeller mellom lette og tunge kjøretøy og 4. evakueringstid ved selvberging.

Det trengs mer forskning på følgende spørsmål relater til de to første kategoriene av lengde- og dybdebegrensende faktorer: Hvorvidt og i hvilken grad øker frykt og ubehag med vegtunnelars lengde og dybde? Hvor lange eller dype skal vegtunnelar være for at den andelen av befolkningen som føler ubehag i dem velger dem bort? Øker frykt/ubehag ved vegtunnelars lengde, avtar ubehaget over tid i lange tunnelar, eller holdes det konstant? Finnes det tiltak som kan redusere frykt og ubehag? Er det slik at trafikantene som heller velger en omveg enn å kjøre gjennom vegtunnelar velger bort alle vegtunnelar uansett lengde eller dybde, eller velger denne andelen trafikantar bare bort vegtunnelar av en viss lengde og dybde? Hvordan øker risikoen for sovning med vegtunnelars lengde, og hvilke tiltak kan iverksettes for å redusere risikoen for sovning? Hvor lang må en tunnel være før monotonien blir trafikkfarlig fordi man senker oppmerksomhetsnivået?

Når det gjelder hvordan evakueringstid virker lengde- og dybdebegrensende anser man at evakueringssituasjonen i tilfelle brann kan være langt mer kritisk i vegtunnelar med ett løp enn i de lange vegtunnelene med to løp. I vegtunnelene med to løp kan man ved brann evakuere til det tilgrensede tunnellopet via nødutganger og slippe unna røyken. Det kreves to løp når vegtunnelen er lenger enn 10 km og ÅDT >12 000. Det betyr at tunnelar med ett løp kan være opp til 10 km lange. Gitt at dimensjonerende forflytningshastighet ofte kan være saktere enn røykspredningen, bør vi stille spørsmålet om katastrofepotensialet kan være større i lange vegtunnelar under 10 km med ett løp og tovegs trafikk enn i lengre vegtunnelar med to løp, envegs trafikk og mange tydelig merkede nødutganger. I vegtunnelar med to løp, mange og tydelig merkede nødutganger vil de involverte ha betraktelig bedre muligheter for å unnsnippe varme- og røykutvikling og overleve. Gitt at de involverte slipper unna røyken kan spørsmålet om hvordan evakueringstid kan virke lengde og dybdebegrensende i større grad bli et spørsmål om hvor langt man skal kreve at de involverte skal evakuere seg selv til fots ved nødssituasjonar. Å sette maksimal evakueringstid er derfor i stor grad et etisk spørsmål.

## 8 Brannsikkerhetsmessige vurderinger

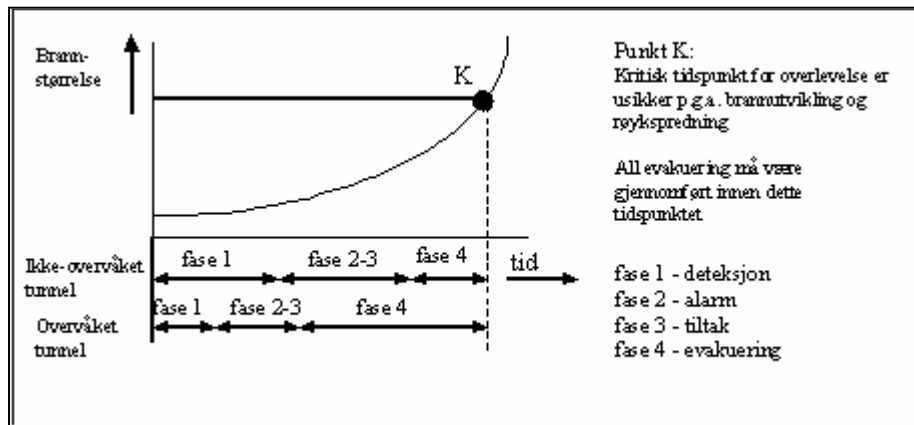
Brannsikkerheten i norske tunneler er ikke dimensjonert for å tåle en ekstrembrann, hva nå en ekstrembrann defineres som, 200 MW – 300 MW – ???. Fokus i sikkerhetsarbeidet har vært rettet mot personsikkerheten og mindre mot konstruksjonssikkerhet. Selve konstruksjonen skal være intakt slik at evakuering kan skje på en sikker måte. Krav til konstruksjonen er også at den ikke skal bidra til at en oppstått brann videreutvikles. Det utvikles stadig mer robuste brannsikringsmetoder og –utstyr. Det er et stadig økende press for å installere både mer utstyr og mer teknisk avansert utstyr. All bruken av sikkerhetsutstyr og bruken/prosedyrene for når og hvordan utstyret brukes må ha som utgangspunkt at dette skal fungere som forutsatt når behovet har oppstått. Det kan bety i praksis i løpet av de første 15 – 30 min etter at en hendelse/brann har oppstått skal alt skje riktig og i henhold til fastsatte prosedyrer.

Er det så realistisk å tro at de som blir omfattet av en slik hendelse vil reagere og opptre slik våre forutsetninger sier at skal gjøre i denne første og kritiske fasen av en hendelse? Svaret er nei, slik er ikke virkeligheten og det er godt dokumentert gjennom ulike hendelser og øvelser. Erfaringsmessig viser det seg at mange trafikanter kvier seg for å starte en evakuering. Det kreves at noen tar et initiativ. Branner ser for eksempel ikke alltid farlig ut i startfasen. Hvordan skal vi så forholde oss til dette? Det er to scenarioer som man da har for å ”håndtere” hendelsen videre:

- selvberging
- aktiv redning

Andre alternativer finnes ikke. Selvberging vil måtte gjelde fullt ut for ett-løps tunneler og en kombinasjon av selvberging og aktiv redning er det realistiske for to-løps tunneler. Men i den første og viktigste delen av hendelsesfasen vil også selvberging måtte gjelde i to-løps tunneler. Det er ingen som kommer til unnsetning i denne fasen. Uansett hvilke tunneler det gjelder og uansett mengde og type teknisk avansert utstyr så vil det aller viktigste være at de som blir omfattet av en slik hendelse klarer å oppfatte hva som er i ferd med å skje. Å klare å ta inn over seg at noe alvorlig er i ferd med å skje og at dette krever handling. Fra det øyeblikket vil det være en klar relasjon mellom det at man har tatt inn over seg at en hendelse er på gang og de forutsetninger som vi bygger inn i et sikkerhetskonsept om hva man skal gjøre når hendelser inntreffer. Det gjelder både for selvberging og om man forutsetter at en redningstjeneste skal rykke inn. Og i et slikt bilde vil utfordringene øke med både økende lengde og større dybde på tunnelene. Spesielt økende dybde vil være særlig krevende i et selvbergingsscenario. Det hjelper lite med enda mer teknisk avansert utstyr når avstandene blir lange og stigningene brattere. Og da har vi enda ikke omtalt funksjonshemmede sine mange utfordringer i en slik hendelse. Universell utforming er en egen utfordring ved selvberging.

Nedenstående figur illustrerer de ulike fasene som en tunneleier må forholde seg til i et hendelses-scenario og det sier også noe om tidsperspektivet både enkeltvis og i sammenheng i fasene. For de som blir omfattet av hendelsen gjelder det ”bare” å forstå hvilken situasjon som er i ferd med / har oppstått og ”forholde” seg til evakuering.



Figur: Faser i et hendessscenario

## 9 Tunge kjøretøy: Kjøretøytekniske utfordringer

Kjøretøyenes tekniske forutsetninger er et område som krever mer oppmerksomhet, spesielt knyttet til varmgang i bremses ved kjøring i helling nedover og økte avgass utslipp ved kjøring i helling oppover kombinert med mulig overoppheting av motor. Det er viktig at luft i lange tunneler har tilstrekkelig kvalitet slik at motorene til kjøretøyene fungerer tilnærmet optimalt.

Vurderingene vedrørende kjøretøy som kjøres i tunneler som har stor helling nedover/oppover og som er lastet til tillatt totalvekt utgjør derfor på den ene siden en sikkerhets utfordring og må på den andre siden inngå som en planforutsetning basert på kjøretøytekniske forutsetninger som det ikke har vært så fremtredende i de foretatte risikovurderingene for disse tunneltypene.

I vedlegg 1 punkt 2.2.2 til forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler er det om tunnelgeometri beskrevet at “*mer enn 5 % stigning i lengderetningen skal ikke være tillatt i nye tunneler, med mindre ingen annen løsning er geografisk mulig*”, og “*I tunneler med stigning på mer enn 3 % skal det treffes ekstra og/eller forsterkede tiltak for å forbedre sikkerheten på grunnlag av en risikoanalyse.*”

For at kjøretøy skal kunne tas i bruk på eller utenfor offentlig veg, må kjøretøyet tilfredsstillende en mengde tekniske krav, deriblant omfattende krav til kjøretøyets bremseanlegg og oppførsel i lange hellinger nedover. Det er kommisjonsdirektiv 98/12/EF som regulerer disse kravene. De tekniske kravene til kjøretøyene er tilnærmet like i hele Europa, og kravene må tas med i vurderingen om hvilke helling nedover/oppover den offentlige vegen kan ha for at kjøretøy og infrastruktur skal kunne brukes på en trafikksikker og miljøvennlig måte.

### **Tilhenger med tillatt totalvekt mellom 750 kg og 3500 kg**

I kommisjonsdirektiv 98/12/EF er det blant annet beskrevet at alle tilhengere med en tillatt totalvekt mellom 750 kg og 3500 kg skal være utstyrt med et driftsbremseanlegg som enten er gjennomgående, halvt gjennomgående eller av påløpstypen. Påløpsbremseanlegg er den

dominerende driftsbremsen som benyttes på omtrent alle campingvogner og tilhengerer i den nevnte vektklassen. Det er i direktivet gitt konkret krav til når påløpsbremseanlegget skal begynne å virke (reaksjonsterskel).

Forenklete beregninger viser at driftsbremse vil begynne å bremse tilhengeren når bilen og tilhengeren kjører nedover en helling som er mellom 3 og 5 %. Det forutsettes da at tilhengeren er lastet til tillatt totalvekt og at påløpsbremseanlegget fungerer i henhold til nevnte direktiv. Føreren av bilen kan ikke forhindre at driftsbremsen på tilhengeren begynner å bremse når helling blir større enn 5 %.

### ***Lastebiler som er godkjent for å trekke tilhengere***

I kommisjonsdirektiv 98/12/EF er også gitt krav til prøving av kjøretøyets oppførsel i lange hellinger nedover. Kjøretøy med last skal prøves på en slik måte at energitilførselen svarer til den registrert i samme tidsrom for et kjøretøy med last som med en midlere hastighet på 30 km/h kjører nedover en helling på 7 % over en strekning på 6 km. Under prøvingen skal drifts-, nød- og parkeringsbremseanlegget ikke benyttes. Giret som er valgt, skal være slik at motorens turtall ikke overstiger den høyeste verdi fastsatt av produsenten. En integrert mellomakselbrems kan benyttes, forutsatt at den er hensiktsmessig justert på en slik måte at driftsbremseanlegget ikke påvirkes. (Hvis lastebilens største masse overstiger 26.000 kg, skal prøvingsmassen begrenses til 26.000 kg.)

Forenklete beregninger viser at vogntog lastet til maksimal tillatt totalvekt 44.000 kg (i henhold til direktiv 96/53/EF senest endret ved direktiv 2002/7/EF), og har en hastighet på 80 km/h i en helling nedover på 5 %. Vogntoget vil da klare å holde en tilnærmet konstant hastighet per kjørte 1000 meter, avvik i hastigheten er i underkant av 3 %. Dette oppnås kun med å benytte giret, motorbrems og eventuelt mellomakselbrems. Dersom tilsvarende vogntog benyttes i samme hastighet, men er nå lastet til maksimal tillatt totalvekt i henhold til nasjonale totalvekter, dvs. 50.000 kg og kjører nedover en helling på 7 %. I dette tilfellet vil hastigheten øke med ca. 40 % per kjørte 1000 meter. For å ivareta en konstant hastighet nedover denne hellingen på 7 %, må et bremsearbeid utføres for å kunne holde konstant hastighet. Bremsearbeidet kan utføres ved hjelp av tilgjengelig mellomakselbrems, eller driftsbrems. Det er ikke i dag krav om at kjøretøyene skal ha mellomakselbrems, men de fleste norske lastebilene har dette montert som tilleggsutstyr. Statens vegvesen har siden 2005 utført tilstandsundersøkelser på tunge kjøretøy. Disse undersøkelsene kartlegger blant annet tilstanden på bremsene. Resultatene fra 2009 viser at hele 22 % av de utenlandske registrerte tunge kjøretøyene og 15 % av de norskregistrerte tunge kjøretøyene har feil på bremsene. Feil på bremsene vil ha innvirkning på eventuell varmgang ved at andre aksler må gjøre et større bremsearbeid for å oppnå samme retardasjon når driftsbremsen benyttes.

### ***Økt drivstofforbruk på tunge kjøretøy***

Vogntog lastet til tillatt totalvekt i helling oppover krever både riktig kvalitet og rikelig mengde med luften for å få tilstrekkelig effekt og kjøling. Stort effektutak av lastebilens motor vil medføre store krav til bilens kjøleanlegg og eksosanleggets effekt for å rense avgassene. Dette på grunn av at kjøretøyene vil ha forholdsvis liten fart oppover hellingen, og derav liten luftstrøm rundt motoren og eksosanlegg for kjøling. Drivstofforbruket vil også øke betydelig, og i undersøkelsen “*Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems*” (ARTEMIS) er det gjennomført tester som viser at dersom et tungt kjøretøy på kun 20.000 kg kjører oppover en helling på 6 % (50 km/h), vil forbruket øke med ca. 420-445 % i forhold til

kjøring på horisontal veg (80 km/h). Avgassene NO<sub>x</sub>, Pm og HC vil øke noe men ikke riktig like mye som forbruket i %. Vi mener at disse opplysningene må være viktige parametere som inngår i vurderingene av “steady state” situasjonen til ventilasjonsanlegget i tunnelene.

### **Anbefaling**

Basert på disse kjøretøytekniske vurderingene foreslår vi at tunneler bygges med maks 5 % helling. Dette er også i samsvar med rådsdirektiv 2004/54/EF som omhandler minimum sikkerhetskrav til tunneler på det transeuropeiske vegnettet (tunneldirektiv).

## **10 Byggetekniske utfordringer**

Dagens kunnskap innen norsk tunnelbygging gir knapt noen begrensninger hvor lang en tunnel kan være. Dagens lengste tunnel er 24,5 km. Faglig sett er selve byggeprosessen uproblematisk, og bergsikringsprosessen er den samme uavhengig av lengde. Under selve drivefasen vil ventilasjonsforholdene som skal sikre et tilfredsstillende arbeidsmiljø være en forutsetning. Det vil dog ikke ha noen stor innvirkning på hvor lang tunnelen kan være. Konsekvensene for evt. redningsinnsats for byggepersonellet vil bli noe annerledes jo lenger avstanden er til friluft. I denne fasen er det kun en utgang i tilfelle evakuering. Der kan det hende det går en grense et sted, men denne kan heller neppe være styrende.

På spørsmålet om hvor dyp en tunnel kan være vil vi imidlertid raskt komme inn på faglige ingeniørmessige utfordringer hvor det i hvert fall er større uklareheter for grensesetting. Vi ser i dag at planer for undersjøiske tunneler på -650 m er på utredningsstadiet. Og flere kommer sikkert til, også på dypere nivå. De rent byggefaglige utfordringene vil i hovedsak være knyttet til vannlekkasjer og utfordringer knyttet til å stoppe slike lekkasjer med injeksjonsteknikk. Det vil være løsbart, men utfordrende og ikke minst kostnadskrevende.

## **11 Grunnundersøkelser på store dyp**

Geologiske forundersøkelser skal gi grunnlag for å avklare gjennomførbarhet, behov for sikring og kostnader forbundet med et tunnelprosjekt. Undersøkelsene skal gjennomføres i samsvar med de forutsetninger som er beskrevet i gjeldende regelverk. Det er avgjørende at en har best mulig kartgrunnlag både på land og i sjøen. Dette er spesielt viktig ved prosjektering av undersjøiske tunneler på store sjødyp.

Geologiske undersøkelser skal blant annet omfatte detaljerte geologisk og ingeniørgeologisk kartlegging. Denne kartleggingen suppleres med geotekniske, hydrogeologiske og geofysiske undersøkelser.

Bergmassen skal ved hjelp av kjerneboringer, feltkartlegging samt geofysiske undersøkelser klassifiseres etter Q- metoden (bergmasseklassifikasjonssystem) slik at en kan prognostisere nødvendig stabilitetssikring.

Usikkerheten knyttet til grunnundersøkelser vil være å finne riktig sammenheng mellom den refraksjonsseismiske hastigheten i bergmassen og bergmassekvaliteten på grunn av problemer med å få tatt realistiske prøver på store vanddyp. Det er vanskelig å få tilstrekkelig med kjerneboringer på de aktuelle stedene. Det er mulig å bruke boreskip, men kostnadene er store slik at vi må være helt sikre på at vi borer på riktig sted.

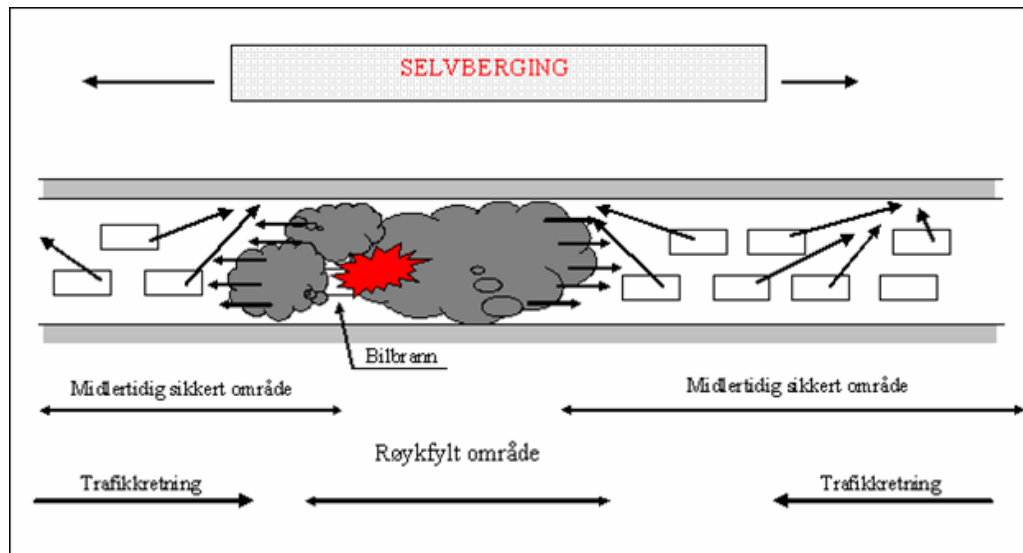
Nå ser det ut til at refraksjonsseismisk tomografi etter hvert kan bli en metode som i alle fall sier noe mer om sonebredde og forløp av den mot tunneltraseen. Denne metoden er imidlertid ennå på forsøksstadiet.

## 12 Tunneler med ett løp og toveis trafikk

Det er for slike tunneler at en lengdebegrensning vil kunne være mest aktuelt. Det er også her konsekvensene vil kunne bli store, men normalt vil trafikken være relativt lav. Det er også viktig å være klar over at mens sannsynligheten for at hendelser skal kunne oppstå først og fremst avhenger av antall kjøretøy, vil konsekvensene være avhengig av hvor mange personer som befinner seg i tunnelen til enhver tid. Utgangspunktet for vurderingene burde derfor være antall personer som samtidig kan befinne seg i tunnelens lengde.

Problemet er da at disse personene i verste fall må rømme hele eller deler av tunnellengden. I rolig gange uten stigning vil en normal person kunne gå ca 5 - 6 km på en time. Med en stigning på 7 % så vil den samme personen kunne gå under halvparten av denne lengden på en time. Dette er "normaltall" og vil variere mye avhengig av alder og tilstand til de trafikkantene som skal evakueres.

Selv i en liten brann (personbil) vil røykspredningen skje like raskt som gangfarten til en "normalperson" ved flat veg og ved 7 % stigning vil røykspredningen skje dobbelt så hurtig som gangfarten. Ved 5 % stigning, som er maksimal stigning i dagens retningslinjer, vil røykspredning fra en personbilbrann være hurtigere enn "normal" gangfart.



Dvs. at en "normalperson" har en gangfart som er lik hastigheten på røykspredningen. Tar man hensyn til tid som går med til å "forstå" situasjonen, vurdere hva man skal gjøre og evt. hvilken veg man skal gå, etc. vil man raskt kunne oppleve å bli tatt igjen og omhyllt av røyk. Og samtidig vite at man er kommet til en meget kritisk situasjon langt inne i fjellet og uten å vite hverken omfanget av eller kvaliteten på den redningsinnsats som måtte komme. At avstanden ut i friluft (og redning) er lang vil nok føles veldig forskjellig men alle vil nok oppfatte at jo lenger avstand er jo større er problemet. Hvor langt som da er langt nok vil kanskje avgjøres av hvor langt en person er nødt til å gå før ekstern redningsinnsats kan forventes å komme til unnsetning. Her vil



både tidsperspektivet på deteksjonsfasen og alarmfasen spille inn. Og så vil også avstanden som den eksterne redningsinnsatsen har til hendelsesstedet spille inn. I vårt land kan denne tiden bli svært lang.

I dagens regelverk er det krav om to løp når tunnellengden overstiger 10 km og ÅDT > 12000 og det skilles ikke på over- eller undersjøiske tunneler. En risikoanalyse over stedlige forhold og betingelser kan endre dette. Ut i fra selvbergingsprinsippet og med tanke på vanlig gangfart for ”normalpersonen” og ikke minst røykspredningshastigheten i undersjøiske tunneler med stigning opp til 7 % bør følgende spørsmål reises:

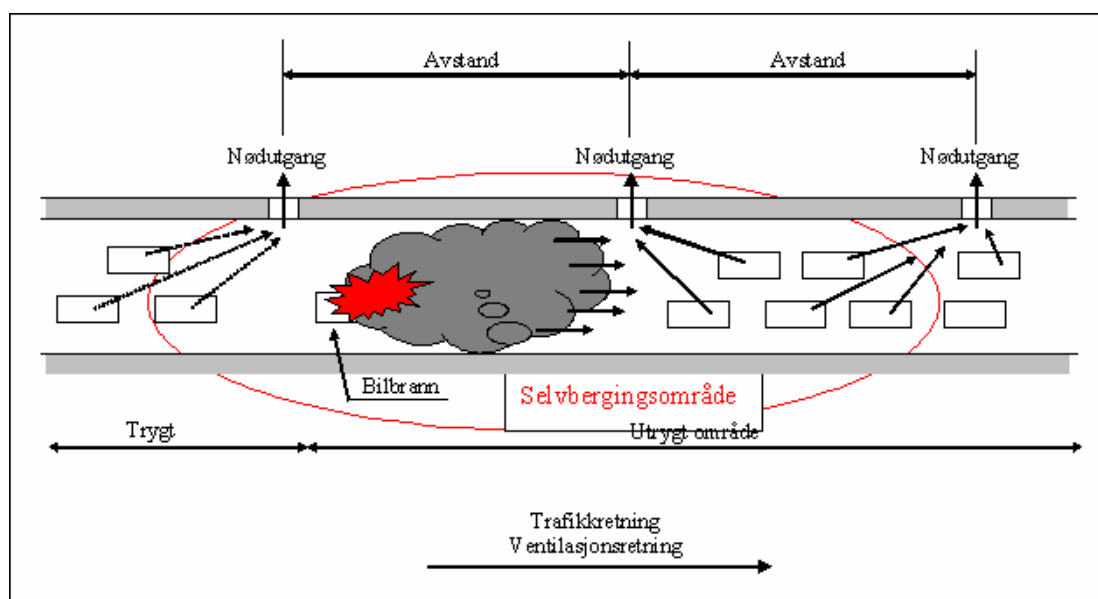
*Skal maksimal lengde for slike tunneler vurderes ut i fra evakueringshensyn og ikke utlukkende ut i fra trafikale kapasitetshensyn??*

*Bør det i så fall være forskjellige lengdebegrensning for over- og undersjøiske??*

### 13 Tunneler med to løp og enveis trafikk

Slike tunneler antas normalt og ha høy sikkerhet for hver enkelt trafikantog spesielle sikkerhetsanordninger med tanke på rømming kreves normalt ikke. Vi skal i denne forbindelse imidlertid være klar over at det kan være store mengder trafikanter i tunnelene samtidig og at det lett kan oppstå panikk.. Dette er en stor utfordring i seg selv og en evakuering må skje gjennom tverrforbindelsene over i det andre løpet. Avstanden mellom slike tverrforbindleser er etter dagens regelverk hhv. 500 m og 250 m avhengig av tunnelklasse. Det må også vurderes å gi angrepsmulighet for utrykningspersonell gjennom denne passasjen. En slik vurdering er gjort for Bjørvika/Ekeberg tunnelene. Det er en erkjennelse at jo mer stillestående trafikk som kan oppstå i en tunnel jo større blir utfordringen for en effektiv evakuering og man kan stille spørsmål om:

*Skal et maksimalt antall biler (og dermed mennesker) kunne oppholde seg i tunnelen samtidig regulert gjennom et aktivt tilfartskontrollsystem?*



I en 30 km lang og flat tunnel vil ”worst case” være evakuering 15 km fra tunnelutløpet. I et selvbergingsscenario (dette scenariolet vil uansett være det scenariolet som blir styrende i startfasen

av en hendelse) så betyr det at en ”normalperson” skal orientere seg om hva som har skjedd, vurdere situasjonen så man ikke kommer i den situasjonen at man er på feil side av brannen, finne ut hvor man tar veien og finne nærmeste nødutgang (som for eksempel kan være 200 m fra der man står). Det vil ikke være usannsynlig at tiden som medgår frem til man finner nødutgangen over til andre løpet kan settes til 15 min. I verst tenkelige tilfelle vil det kunne ta 2 timer før man er ute av tunnelen hvis man er nødt til å berge seg selv. I virkeligheten vil ekstern redningsinnsats komme i møte et eller annet sted på veien fra nødutgang ved hendelsesstedet og 15 km ut. Men virkeligheten vil også være den at de som blir omfattet av en slik hendelse ikke blir værende et eller annet sted på denne strekningen og vente på en ekstern redningsinnsats som de ikke vet noen ting om, verken om den i det hele tatt kommer eller i så fall når den kommer. De vil prøve å komme seg ut av tunnelen på egen hånd.

Det er også en ikke ubetydelig usikkerhet knyttet til en forutsetning at ikke det skjer røykspredning over til det andre tunnellopet. I en selvbergings situasjon (som det realistisk sett vil være til man er over i det andre løpet) vil det dreie seg om personer som naturlig nok ikke har (i hvert fall tilstrekkelige) kunnskaper verken om ventilasjonsbetingelser eller strømningsforhold i tunneler.

Det sentrale spørsmålet blir da:

*Hvor langt er det forsvarlig å forvente at en ”normalperson” skal gå for å redde seg selv?*

En tunnel som er 30 km lang og flat oppleves både som lang og den føles for de aller fleste som enda lengere selv å kjøre gjennom. Å forestille seg at man skal evakuere fra en så lang tunnel innebærer i verste fall å måtte gå i en-to timer gitt at ingen ekstern redningsinnsats kommer. Og det under press for å ”komme seg unna” og under stress gjennom at man ikke vet hva som skjer. Og da er det igjen ”normalpersonen” vi snakker om, alle de andre er ikke vurderte. Det er derfor all grunn til å anta at et slikt tidsperspektiv for selvredning innebærer at strikken er strekt langt nok og at det objektive ”eieransvaret” for sikkerheten til trafikantene i et lukket tunnelrom også er strukket langt nok.

I tunneler med stigning vil forholdene være enda verre for de evakuerende. Gangfarten er nesten halvert i en tunnel med 5 % stigning i forhold til flat veg. Og hastigheten på røykspredningen er steget kraftig grunnet pipeeffekten som stigningen medfører og selvsagt avhengig av brannstørrelse.

En undersjøisk to-løpstunnel som er 15 km lang innebærer i verste fall en evakueringsstrekning på 7,5 km med 5-7 % stigning. En ”normalperson” vil måtte bruke en-to timer for å komme seg ut av en slik tunnel på egen hånd. Selv om man vil oppleve at ekstern redningsinnsats vil komme i møte så representerer en slik lang undersjøisk tunnel en betydelig utfordring med tanke på sikkerheten. Kanskje vil den følte sikkerheten (eller snarere mangel på sådan) være den virkelige grensen for hvor dypt og langt man går. Bør vi ikke da stille oss følgende spørsmål:

*Skal ikke grensen for hva som er dypt nok (og dermed også automatisk langt nok) i realiteten være en grense i forhold til hva det er forsvarlig å forvente at trafikanter skal ”utsettes” for i et styrt sikkerhets- og selvbergingsperspektiv?*

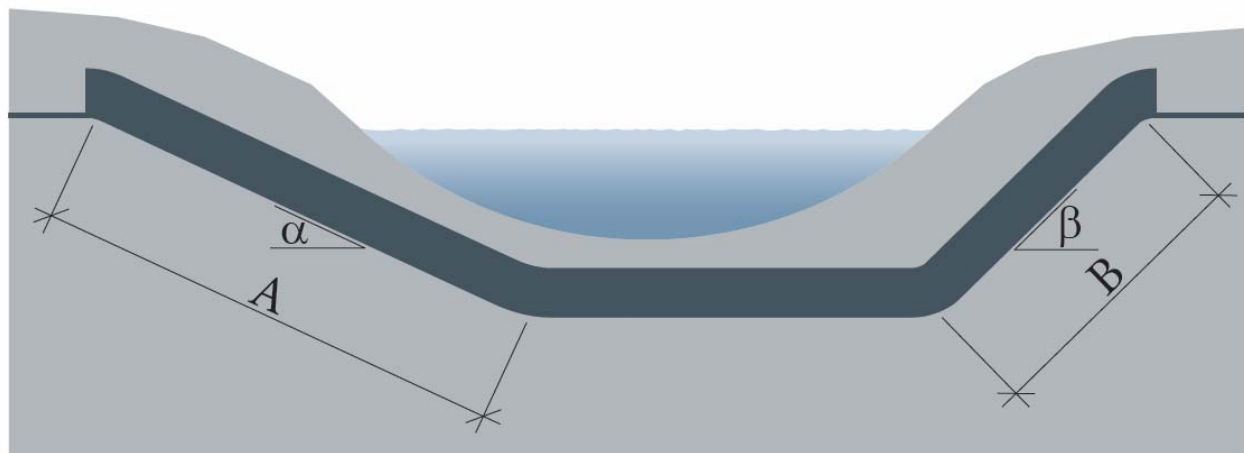
## 14 Konklusjon: Når er langt langt nok og dypt dypt nok?

Hvor lang eller hvor dyp en tunnel kan være må bli styrt av den sikkerhetsmessige utfordringen for trafikantene. Kjøring med tunge kjøretøy og evakuering ved en hendelse er eksempel på slike utfordringer. En skadesituasjon som krever redningsinnsats blir mer utfordrende jo mer man strekker grensene for lengde og ikke minst dybde.

Brannen i Oslofjordtunnelen sommeren 2011 startet ved varmgang i bremsesystemet i et tungt kjøretøy. Tunnelen 7,3 km lang og har stigning/fall på 7 % over 3,5 km lengde. På grunn av den geometriske utformingen som tunnelen har og som man har erkjent gir store utfordringer for tunge kjøretøyer, ble tunnelen inntil videre stengt for tunge kjøretøyer med totalvekt > 7,5 t. Det pågår også for tiden en utredning om avbøtende tiltak for å kunne åpne tunnelen igjen for tunge kjøretøyer. Dette arbeidet vil gi verdifulle bidrag for avklaring av de grensene som må settes for stigning/fall med tilhørende lengder i vegtunneler.

For å sikre at de samlede påkjenninger ved kjøring i undersjøiske vegtunneler ligger innenfor et akseptabelt sikkerhetsnivå ved åpen ferdsel må grensene for følgende forhold vurderes:

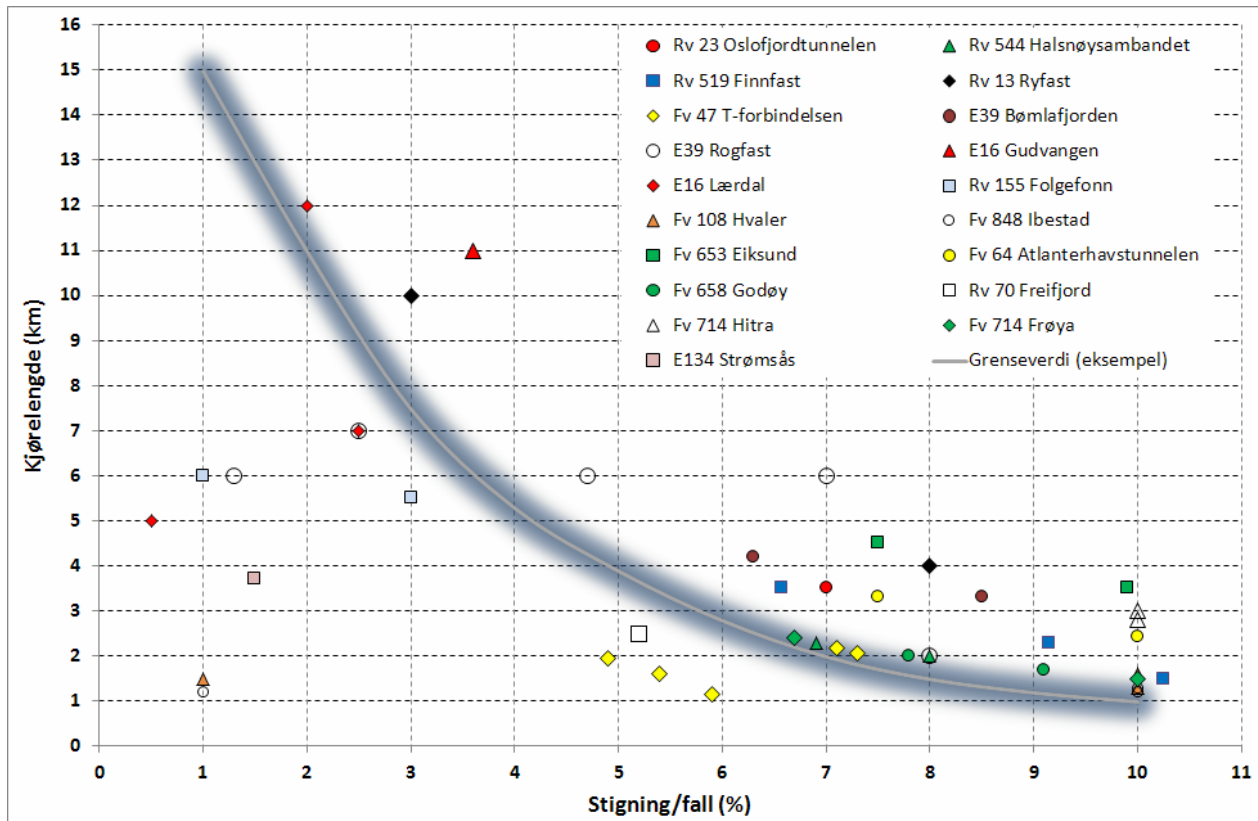
- graden av fall og stigning
- kjørelengden med et slikt fall og med en slik stigning



Undersjøisk tunnel:  : Tunnelløp  
 $\alpha$  og  $\beta$  : Grader av fall eller stigning  
 A og B: Kjørelengden med fall eller stigning

Det er behov for å dokumentere hvilke kombinasjoner av stigningsgrad/fall og kjørelengde som gir sikkerhetsmessig forsvarlige løsninger.

Ut fra de kjøretøyt tekniske utfordringene som både store og små kjøretøyer har ved kjøring i sterkt fall og stigning, synes det klart at det ikke skal bygges tunneler med fall/stigning over 5 % uten at det er begrenset kjørelengde med fall/ stigning. I figuren under er sammenhengen for noen eksisterende og planlagte tunneler vist.



Figur: Samsvarende verdier for stigning/fall og kjørelengde i eksisterende og planlagte vegtunneler (kjørelengde er lengde med sammenhengende fall/stigning i tunnelen, vanligvis forskjellig fra tunnallengden)

Oslofjordtunnelen er bygd med 7 % stigning og fall over ca 3,5 km fra hver side og med total høydeforskjell 230 m. Dette har i praksis vist seg å medføre problemer som krevet tiltak utover det som i dag er regulert i tunnelnormalene. 7 % over kjørelengde på 3,5 km kan derfor benyttes som referanse på hva som bør unngås. Som det framgår av figuren forekommer det et antall eksisterende og planlagte tunneler med kombinasjoner av stigning/fall og kjørelengde som er verre enn for Oslofjordtunnelen.

EU-direktivet for tunnelsikkerhet (2004) tilsier at tunneler kan bygges med inntil 5 % stigning/fall. Direktivet angir ingen lengdebegrensning for stigning/fall. Norge har fått innvilget fravik fra dette kravet med referanse til bygging av undersjøiske tunneler i vår spesielle topografi. Det innebærer at vi kan bygge undersjøiske tunneler med inntil 7 % stigning/fall og i spesielle tilfeller med stigning/fall helt opp til 10 %. Forutsetningen for fraviket er at risikoanalyser angir avbøtende tiltak for å ivareta tilstrekkelig sikkerhet. De utfordringene som tunge kjøretøy har ved kjøring i tunneler med stigning/fall over 5 % var ikke med i vurderingene da søknad om fravik fra EU-bestemmelsene (5 %) ble gjort.

Vi har i dag erfaringer som tilsier at det er knyttet kjøretøyt tekniske utfordringer til kjøring med tunge kjøretøy i sterk stigning/fall. På den annen side er det også en kjennsgjerning at kvaliteten på kjøretøyene er en viktig faktor som har stor betydning for denne problemstillingen. Og, ikke minst, kunnskapen til sjåførene som kjører de tunge kjøretøyene er kanskje den aller viktigste faktoren. Disse faktorene kan vi imidlertid ikke rå over og de vil være tilstede uansett hvilke betingelser de blir stilt overfor.

Vi kan imidlertid gjøre noe med de geometriske betingelsene for veger og tunneler som stilles til disposisjon for transporten og da må vi bygge konstruksjoner som kan ta imot kjøretøyparken og med den standarden som kjøretøyene har.

Denne problemstillingen må derfor utredes videre for å avklare hvilke kjørelengder som egentlig er akseptable for i første rekke stigning/fall på 5 % og i en totalsammenheng også med andre fall- og stigningsforhold.

Det er ikke kun kombinasjonen av fall/stigning og kjørelengde som er avgjørende for disse vurderingene. Samlet risikovurdering må vurderes ut fra samvirket mellom flere forhold hvor de viktigste er total tunnellengde, tunneltverrsnitt, trafikkmengde inkludert andel tunge kjøretøy og kjøretøyenes totalvekt. Og til slutt må det hele sees i sammenheng med redning og evakueringsmuligheter for trafikantene når hendelser oppstår.

Hvilke kombinasjoner av stigning/ fall og kjørelengder som kan aksepteres har vi således begrenset kunnskaper om. Som tidligere sagt bedømmer vi at kombinasjonen som er anvendt i Oslofjordtunnelen ikke er akseptabel. Vår vurdering er at ved stigning/fall på 7 % kan være akseptabelt med kjørelengde på inntil 1,5 km.

Hva gjelder stigning/fall på tre prosent eller lavere har Tunnelsikkerhetsforskriftene ikke restriksjoner. Mellom tre og fem prosent skal det i følge forskriftene foretas risiko og sårbarhetsanalyse.

Det kan også vises til innspill fra lastebilnæringen, bl.a fra Norges Lastebileierforbund avd. Møre og Romsdal 24.juni 2011 som uttrykker: *“økende bekymring for å kjøre i dype og bratte fjordkryssinger med tungt lastede vogntog”*. I en videre utredning bør derfor også denne næringen være sterkt representert.

Inntil det foreligger tilstrekkelig dokumentasjon på effektene av disse forholdene fraråder vi at det bygges tunneler med stigning og fall på over 5 prosent med tilhørende kjørelengde over 5 kilometer. Med et slikt krav er vi på linje med EU-direktivets krav hva gjelder stigning/fall men med en begrensning i tilhørende kjørelengde.

## 15 Referanser

- Kap. 7 Atferd i vegtunneler under normale forhold og i kritiske situasjoner – en litteraturstudie  
Tor-Olav Nævestad og Sunniva Meyer  
Arbeidsdokument av 9. august 2011 (revidert 05.09.2011), SM/2228/2011  
Transportøkonomisk institutt
- Kap. 9 Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler  
Notat  
Henning Fransplass  
25. november 2011



Statens vegvesen

Statens vegvesen  
Vegdirektoratet  
Publikasjonsekspedisjonen  
Postboks 8142 Dep  
0033 OSLO  
Tlf: (+47 915) 02030  
[publvd@vegvesen.no](mailto:publvd@vegvesen.no)

ISSN: 1893-1162