



Lange og bratte tunneler - styring av brannventilasasjon

Etatsprogrammet Varige konstruksjoner 2012-2015

STATENS VEGVESENS RAPPORTER

Nr. 575



Foto: Per Egil Iversen



Tittel

Lange og bratte tunneler - styring av brannventilasjon

Undertittel

Forfatter

Harald Buvik, Statens vegvesen, og Rune Brandt, HBI Haerter

Avdeling

Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen

Seksjon

Tunnel og betong

Prosjektnummer

603242

Rapportnummer

Nr. 575

Prosjektleder

Synnøve A. Myren / Harald Buvik

Godkjent av

Synnøve A. Myren

Emneord

Varige konstruksjoner, fremtidens tunneler, strategi, brannventilasjon

Sammendrag

Vi har i dag erfaringer som tilsier at det er knyttet kjøretøYTEKniske utfordringer til kjøring med tunge kjøretøy i sterk stigning/fall. Samlet risikovurdering må vurderes ut fra samvirket mellom flere forhold hvor de viktigste er total tunnellengde, tunnel-tverrsnitt, trafikkmengde inkludert andel tunge kjøretøy og kjøretøyenes totalvekt. Det er en klar konklusjon at ventilasjonsretningen som hovedregel skal være den samme som den dominerende trafikketningen. Unntakelser gjelder for branner som inntreffer i nærheten av tunnelportaler. Ventilasjonsretningen skal dog bestemmes tidlig i brannforløpet, og det er under alle omstendigheter brannvesenet som skal ta beslutning om eventuell endring av ventilasjonsretning eller ikke ut i fra hensynet til evakuering.

Title

Long and steep tunnels - managing fire ventilation

Subtitle

Author

Harald Buvik (NPRA) and Rune Brandt (HBI Haerter)

Department

Traffic Safety, Environment and Technology Department

Section

Tunnel and concrete

Project number

603242

Report number

No. 575

Project manager

Synnøve A. Myren / Harald Buvik

Approved by

Synnøve A. Myren

Key words

Durable structures, future tunnels, strategy, fire ventilation

Summary

Today we have experiences that indicate that there is vehicle-technical challenges associated with driving heavy goods vehicles in strong ascent / descent. Overall risk assessment should take into consideration the interaction between several factors where the most important is the total tunnel length, tunnel cross section, traffic volume, including the share of heavy vehicles and the vehicle's total weight. There is a clear conclusion that ventilation direction as a rule should be the same as the dominant traffic direction. Exceptions apply to fires occurring near tunnel portals. Ventilation direction must however be determined early in the fire development, and it is under all circumstances the fire department to take a decision regarding any change in the ventilation direction or not based on considerations of evacuation.

Forord

Denne rapporten inngår i en serie rapporter fra **etatsprogrammet Varige konstruksjoner**. Programmet hører til under Trafikksikkerhet-, miljø- og teknologiavdelingen i Statens vegvesen, Vegdirektoratet, og foregår i perioden 2012-2015. Hensikten med programmet er å legge til rette for at riktige materialer og produkter brukes på riktig måte i Statens vegvesen sine konstruksjoner, med hovedvekt på bruer og tunneler.

Formålet med programmet er å bidra til mer forutsigbarhet i drift- og vedlikeholdsfasen for konstruksjonene. Dette vil igjen føre til lavere kostnader. Programmet vil også bidra til å øke bevisstheten og kunnskapen om materialer og løsninger, både i Statens vegvesen og i bransjen for øvrig.

For å realisere dette formålet skal programmet bidra til at aktuelle håndbøker i Statens vegvesen oppdateres med tanke på riktig bruk av materialer, sørge for økt kunnskap om miljøpåkjenninger og nedbrytningsmekanismer for bruer og tunneler, og gi konkrete forslag til valg av materialer og løsninger for bruer og tunneler.

Varige konstruksjoner består, i tillegg til et overordnet implementeringsprosjekt, av fire prosjekter:

- Prosjekt 1: Tilstandsutvikling bruer
- Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler
- Prosjekt 3: Fremtidens bruer
- Prosjekt 4: Fremtidens tunneler

Varige konstruksjoner ledes av Synnøve A. Myren. Mer informasjon om prosjektet finnes på vegvesen.no/varigekonstruksjoner

Denne rapporten tilhører **Prosjekt 4: Fremtidens tunneler** som ledes av Harald Buvik. Prosjektet skal bidra til at fremtidige tunneler bygges med materialer, utførelse og kontroll bedre tilpasset det miljøet konstruksjonene er utsatt for. Prosjektet skal bygge videre på arbeidet i Moderne Vegtunneler, samt innspill fra Prosjekt 2: Tilstandsutvikling tunneler, med hovedfokus på tunnelkonstruksjonen i et levetidsperspektiv. Prosjektet skal resultere i at installasjoner i fremtidige tunneler oppnår tiltenkt levetid med reduserte og mer forutsigbare drift- og vedlikeholdskostnader.

Rapporten er utarbeidet av *Harald Buvik*, Statens vegvesen, og *Rune Brandt*, HBI Haerter.

Innhold

1	DAGENS SITUASJON	2
2	STIGNINGSGRAD I VEGTUNNELER	2
3	DRIFTS- OG VEDLIKEHOLDSMESSIGE VURDERINGER	4
	3.1 PROBLEMSTILLING.....	4
	3.2 ANALYSE AV NORMAL VENTILASJON.....	5
4	VENTILASJON – BRANNVENTILASJON	8
	4.1 PROBLEMSTILLING.....	8
	4.2 ANALYSE AV BRANNVENTILASJON.....	9
5	HVOR SIKKERT SKAL DET VÆRE?	10
6	FØLT RISIKO VED KJØRING I LANGE OG BRATTE TUNNELER.....	11
7	BRANNSIKKERHETSMESSIGE VURDERINGER.....	13
8	KONKLUSJON	15
9	REFERANSER.....	17

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. Vi skyver med andre ord grensene foran oss. Dette handler i liten grad om konstruksjonsmessige utfordringer. Det er ulike sikkerhetsmessige aspekter ved ivaretagelse av selvredningsprinsippet som gir de største utfordringene ved spesielt lange ett løps tunneler.

2 Stigningsgrad i vegtunneler

Gjennom "Tunnelsikkerhetsforskriften" er stigningsgraden i vegtunneler nå begrenset til 5 %. Ved bygging av undersjøiske vegtunneler har det tidligere blitt benyttet en tilleggsbestemmelse som sier at en kan øke stigningsgraden der det er geografisk umulig å bruke lavere stigningsgrad. Det har betydd at det er bygd undersjøiske tunneler med stigningsgrad på inntil 10 %. I dag er dog det generelle kravet 5 % på riksvegtunneler mens det kan fortsatt gjøres unntak for fylkesvegtunneler.

Valg av stigningsgrad er viktig ut fra at den ofte er avgjørende for tunnelens lengde. Høy stigningsgrad gir dessuten 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 5 %.

I den senere tid har vi fått mer kunnskap om risikoen ved å kjøre i tunneler med sterk stigning/fall og spesielt gjelder dette for tunge kjøretøy. Vi har ikke minst fått erfaringer gjennom de mange uhell som har skjedd med brann i tunge kjøretøy som har inntruffet i tunneler med stigninger over 5%. Vi kan i hvert fall i dag ikke si at vi ikke kjenner risikopotensialet i slike tunneler.

Begrepet «geografisk mulig» må imidlertid sees i sammenheng med den byggetekniske gjennomførbarheten av en slik tunnel. At en tunnel blir lenger fordi den bygges slakere er kun et rent økonomisk anliggende og kan ikke knyttes mot det byggetekniske. 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. Bruk av redningscontainere er akseptert under bygging. I denne fasen er det kun en utgang av tunnelen 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 uklarheter for grensesetting. Hvor lang eller hvor dyp en tunnel kan være må bli styrt av den sikkerhetsmessige utfordringen for

trafikanter. 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.

Ut fra det vi i dag vet om kjøretøytekniske 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 maksimal fall/stigning på 5 % uten at kjørelengden med slikt fall/stigning er begrenset.

3 Drifts- og vedlikeholdsmessige vurderinger

3.1 Problemstilling

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. For kortere tunneler styrer brannventilasjon det generelle ventilasjonskravet, men dette er ikke alltid tilfellet for lange bratte tunneler.

I Norge brukes alltid langsventilasjon 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.



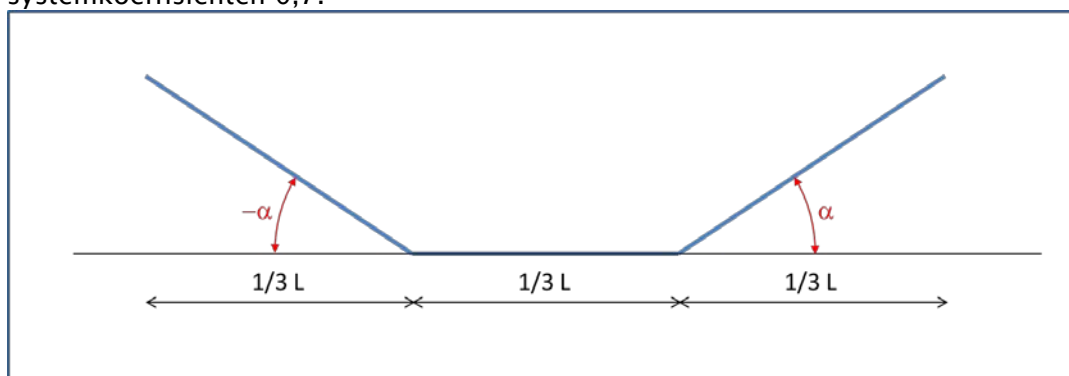
Figur 1: Forurenset luft følger luftstrømmen gjennom tunnelen fra portal til portal

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 trafikketretningen. I en to-veis trafikkert tunnel vil man måtte dimensjonere ventilasjonen slik at luften kan tvangsstyres ut av tunnelen i valgt retning. Stempeleffekt fra motgående trafikkstrømmer er en stor utfordring til en effektiv ventilerings av forurenset luft i slike tunneler.

3.2 Analyse av normal ventilasjon

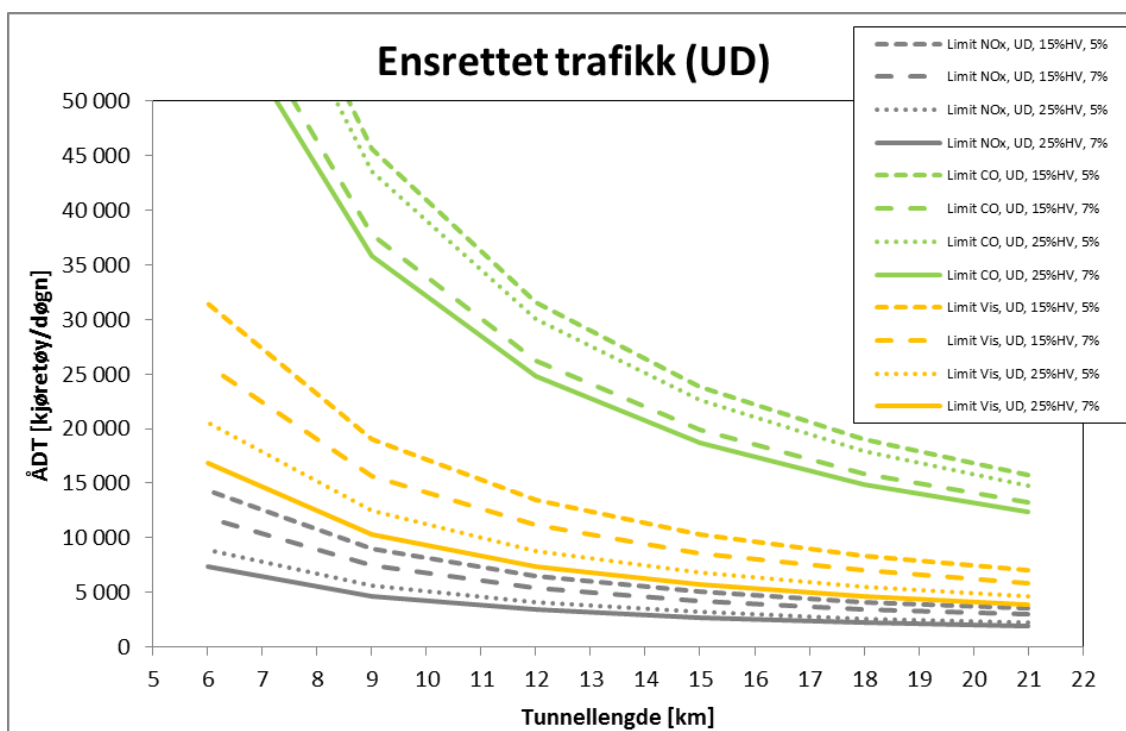
Ventilasjonen av en teoretisk tunnel med standardisert lengdeprofil med 1/3 nedover, 1/3 horisontal og 1/3 oppover (se figur) er analysert. Tunnellengder (L) på 6, 9, 12, 15, 18 og 21 km med et rå-sprengt tunnelprofil T9,5 (to kjørefelt). Stigning/fall (i) var på $-5\%/+5\%$ og $-7\%/+7\%$. Med en andel av tunge kjøretøy på 15 % og 25 % ble trafikken (ÅDT) variert fra 1000 til 10000 kjt/døgn med maks. timetrafikk på 10 % av ÅDT.

Lengdeventilasjonen bestod av maks 7 par impulsventilatorer per 1000 m (for å få plass til måleutstyr, spesielt anemometer, skilt osv.). Skjyvkraft i stillestående luft var 800 N og systemkoeffisienten 0,7.



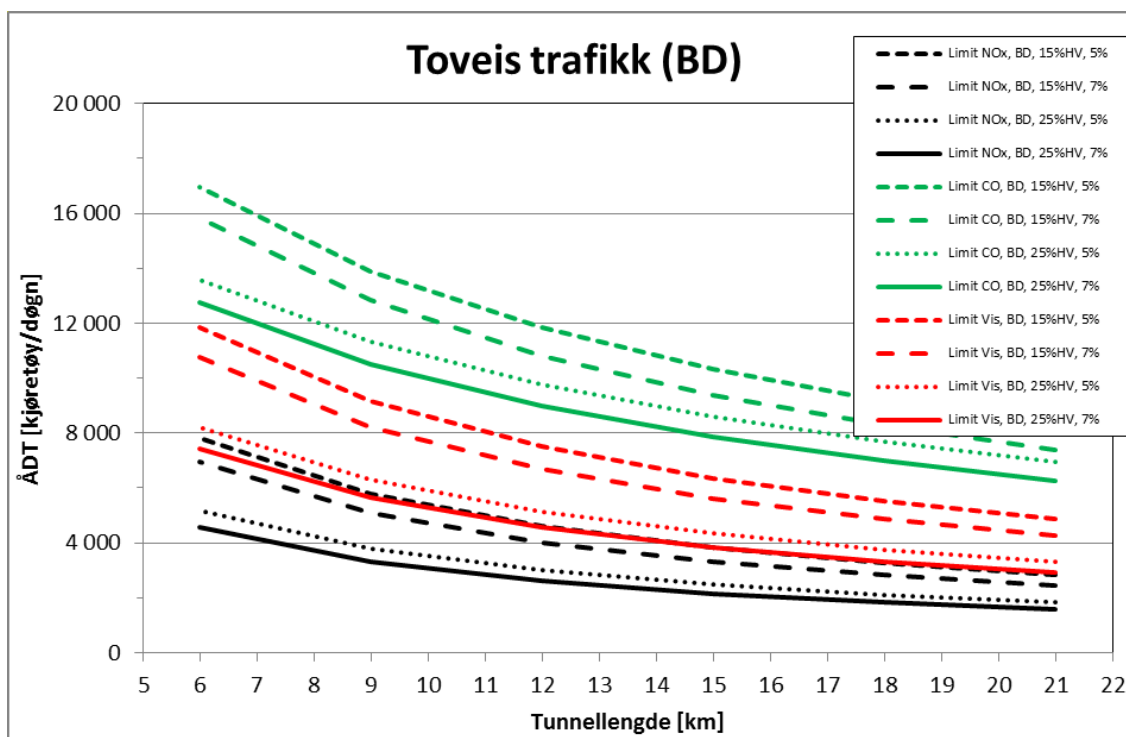
Figur 2: Lengdeprofil teoretisk tunnel

For ensrettet trafikk ventileres det alltid i kjøreretningen. NO_x er bestemmende for den normale ventilasjonen. Figuren viser at en 10 km lang tunnel med en stigning på 7 % og 25 % tung kjøretøy kan ha en maksimal ÅDT for ett tunnellop på ca. 4 000 kjt/døgn. Reduseres stigningen til 5%, så kan den maksimale ÅDT (for et T9,5 tunnellop) økes til ca. 5 000 kjt/døgn. Reduseres ytterligere andelen av tunge kjøretøy til 15 %, kan man komme opp på en maksimal ÅDT på ca. 8 000 kjt/døgn, hhv. en maks. timetrafikk for ett tunnellop på 800 kjt/h. Hvis det derimot ikke er krav til NO_x men bare til sikt, kan en trafikkbelastning nesten opp til kapasiteten av tunnelen håndteres for en 10 km lang tunnel.



Figur 3: Grense for bruk av normal ventilasjon ved ensrettet trafikk med 15% hhv 25% tung kjøretøy (HV) og stigning på rampen av $\pm 5\%$ hhv. $\pm 7\%$. «Vis» betyr sikt. (Selv om det vises her, er en ÅDT høyere enn mellom 20 000 og 30 000 kt/døgn ikke realistisk.) Antagelse: makstime = 10 % av ÅDT.

Ved toveis trafikk antas en trafikkfordeling så 2/3 av trafikken i dimensjonerende time kjører i en retning og 1/3 i den annen. Det ventileres alltid i den mest ugunstige retningen det vil si imot retningen med 2/3 av trafikken.



Figur 4: Grense for bruk av normal ventilasjon ved toveis trafikk med 15% hhv 25% tung kjøretøy (HV) og stigning på rampen av $\pm 5\%$ hhv. $\pm 7\%$. «Vis» betyr sikt. Antagelse: makstime = 10 % av ÅDT.

Liksom ved ensrettet trafikk er NO_x bestemmende for den normale ventilasjonen, men den maksimale ÅDT er en del lavere, se figur. Det fremgår at en 10 km lang tunnel med en stigning på 7 % og 25 % tung kjøretøy kan ha en maksimal ÅDT på ca. 3 000 kt/døgn. Reduseres stigningen til 5 %, så kan den maksimale ÅDT forøkes til ca. 3 500 kt/døgn. Reduseres ytterligere andelen av tunge kjøretøy til 15 % kan man komme opp på en maksimal ÅDT på ca. 5 800 kt/døgn.

Begrensningen på bruk av lengdeventilasjon for lange tunneler kan forhøyes betydelig hvis tunnelen blir utstøpt (strømningstapskoeffisient $\lambda=0,025$) i stedet for å være rå-sprengt ($\lambda=0,050$).

4 Ventilasjon – brannventilasjon

4.1 Problemstilling

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 5 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 5: Røykspredning i tunnelrommet ved hhv. 0, 1 og 3 m/s over tid.

Ovenstående prinsippskisse viser hvilken effekt ulik ventilasjonshastighet har på røykspredning i en tunnel. Eksempelvis vil 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 langsgående ventilasjon slik som vi gjør.

4.2 Analyse av brannventilasjon

Samme grunnlag som for undersøkelsen av normal ventilasjon (se avsnitt 3.2) ble antatt for brannventilasjonen. Det antas at brannen blir detektert etter 15 minutter og at tunnelportalene på dette tidspunkt stenges for innkjørende trafikk.

For tunnelklasse C og E krever Håndbok N500 at brannventilasjonen dimensjoneres for en branneffekt på 50 MW og ventilasjonshastighet på min. 3,0 m/s. Undersøkelser har vist, at det er mulig å installere tilstrekkelig antall impulsventilatorer til å oppfylle dette krav.

Det nylig avsluttede NordFoU-forskningsprosjekt anbefaler derimot for tunneler som er lengre enn 3 km å dimensjonere for en 100 MW brann og for en ventilasjonshastighet på 5 m/s; idet fortykning av røyken bidrar til å forbedre evakueringsbetingelsene. Et parameterstudie har konkludert at det ikke umiddelbart synes mulig å oppfylle dette krav. Derimot er det mulig hvis kravet til ventilasjonshastighet blir redusert til ca. 4,5 m/s. Utføres tunnelen derimot med utstøpt betongvegg (dvs. glatt med en vegg) kan dimensjoneringskravet for brannventilasjonen (100 MW branneffekt og ventilasjonshastighet på 5 m/s) oppfylles.

For tunneler med store gradienter (dvs. gradienter over 3 %), er det derfor særlig viktig at det er en kort deteksjonstid. Deteksjonstiden bør avpasses slik at backlayering og røykfrontens vekslende retninger ikke medfører et økt antall trafikanter som blir påvirket. Hvis brannen kan detekteres innenfor 60 s – 120 s etter at den har nådd en branneffekt på 5 MW, kan det antas at denne betingelsen er oppfylt.

En kort deteksjonstid på 60 s kan imidlertid kun forutsettes, hvis det er installert effektivt deteksjonsutstyr som brannkabler, videobasert automatisk branndeteksjon eller røykvarslere. Hvis dette utstyret ikke blir installert kan ventilasjonen (også i en overgangsperiode) programmeres slik at det er en konstant luftstrøm på minimum 1,5 m/s i den ønskede retningen.

Hvis det ikke er noen utpreget trafikketretning kan den beste løsningen alltid være å ventilere i samsvar med oppdriften i tunnelen. Dette gjelder spesielt i tunneler med en symmetrisk V-form. Også i slike tilfeller er det viktig å få startet ventilasjonen tidlig for å forsøke å redusere antall trafikanter som blir påvirket av røyken.

Det er selvfølgelig viktig at tunneler med store gradienter har dimensjonert ventilasjonsanlegget for store branner og at gradienten er medtatt i dimensjoneringen.

Ved en branneffekt som overstiger dimensjoneringsgrunnlaget vil ventilasjonsanlegget kunne håndtere brannen i startfasen, men senere vil oppdriften kunne være kraftigere enn ventilasjonseffekten. Dermed vil også røykfronten kunne snu og det kan forekomme at røyken også vil kunne snu en tredje gang. Dette kan resultere i at store deler av tunnelen blir røyklagt med de konsekvensene det medfører. Ved brannstørrelser på 100 MW vil også trafikantene kunne bli påvirket av kritisk temperatur nær brannen og i luftstrømmens retning i tillegg til kritisk røypåvirkning.

5 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.

Akseptkriterier er en måte å vurdere hvor vidt en tunnels sikkerhetsnivå er tilstrekkelig lavt for å kunne aksepteres. Det betyr i praksis at det bør investeres i sikkerhetstiltak inntil tunnelen ligger på et slikt akseptabelt nivå. Det finnes flere typer akseptkriterier. Det kan være et forventet antall drepte i tunnelulykker for et gitt eksponeringsnivå (per mrd kjtkm, per år). Det kan også være basert på et mulig investeringsnivå (as safe as possible). Problemet med akseptkriterier for tunneler er at det er meget stor variasjon i tunnelpopulasjonen. Det gjelder både trafikk og utforming. Et sett vil således ikke kunne dekke alle tunneler. Det er derfor mer snakk om en vurderingsmetode enn et gitt tall. Her må det legges opp til å vurdere nærliggende tunneler samlet. Valg av metode bør også kunne sees i sammenheng med de tiltak som er aktuelle. Det er også viktig at metoden tar hensyn til at en ønsker en positiv utvikling for tunnelene som bygges.

6 Følt risiko ved kjøring i lange og bratte tunneler

Vegtunneler byr på særegne trafikksikkerhetsutfordringer 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 trafikksikkerhetsperspektiv, 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 trafikanter en opplevelse av monotoni og kjedsomhet, som kan medføre nedsatt oppmerksomhet.

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

Det finnes per i dag ikke sterkt begrunnede grenser for lengde og dybde eller eksplisitte kriterier for slike grenser for vegtunneler. Spørsmålet om hvor lange og dype vegtunneler kan være er først og fremst 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 tunneler som skaper fartsforskjeller mellom lette og tunge kjøretøy
4. evakueringstid ved selvberging.

Det trengs mer forskning på følgende spørsmål relatert til de to første kategoriene av lengde- og dybdebegrensende faktorer: Hvorvidt og i hvilken grad øker frykt og ubehag med vegtunnelers lengde og dybde? Hvor lange eller dype skal vegtunneler være for at den andelen av befolkningen som føler ubehag i dem velger dem bort? Øker frykt/ubehag ved vegtunnelers lengde, avtar ubehaget over tid i lange tunneler, 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 vegtunneler velger bort alle vegtunneler uansett lengde eller dybde, eller velger denne andelen trafikanter bare bort vegtunneler av en viss lengde og dybde? Hvordan øker risikoen for sovning med vegtunnelers 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 vegtunneler med ett løp enn i de lange vegtunnelene med to løp. I vegtunnelene med to løp kan man ved brann evakuere til det tilgrensede tunnelløpet via nødutganger og slippe unna røyken. Det kreves to løp når vegtunnelen er lenger enn 10 km og ÅDT >12 000. Det betyr at tunneler 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 vegtunneler under 10 km med ett løp og tovegs trafikk enn i lengre vegtunneler med to løp, envegs trafikk og mange tydelig merkede nødutganger. I vegtunneler 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 nødssituasjoner. Å sette maksimal evakueringstid er derfor i stor grad et etisk spørsmål.

7 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/prosedyrerne 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 at 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:

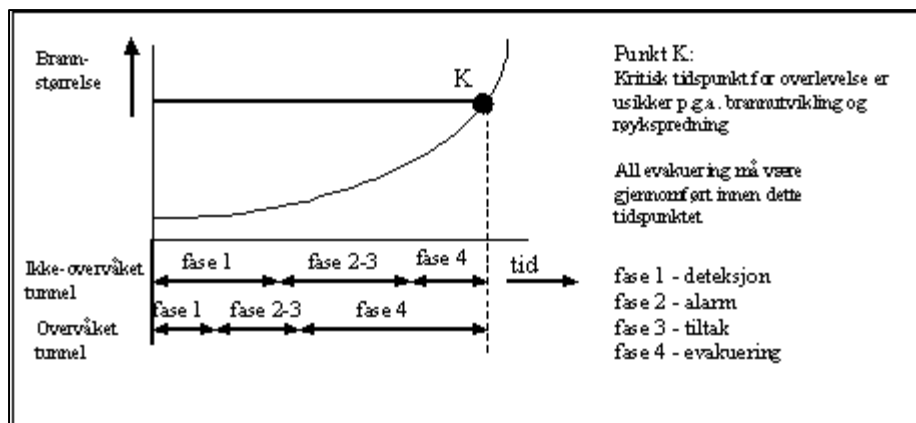
- selvberging
- aktiv redning

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.

I lange ettløpstunneler kan det imidlertid tenkes at redningsrom uten utgang til det fri kan være helt avgjørende for selvredning. Hendelser i slike tunneler medfører vanligvis lange evakueringsveier dersom alternativene fortsatt skal være å velge en av de to naturlige utgangene. To-løps tunneler med regulære tverrforbindelser vil kunne ivareta selvredning for trafikantene på en langt tryggere måte.

Nedenstående figur illustrerer de ulike fasene som en tunneleier må forholde seg til i et hendelsesscenario 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 å oppstå/har oppstått og "forholde" seg til evakuering.



Figur 6: Faser i et hendelsesscenario

Det er 34 undersjøiske vegtunneler i Norge. Disse har høy stigningsgrad, definert som stigning på over 5 %. Region øst har fire, Region sør har én, Region vest har 9, Region midt har 10 og Region nord har 10 undersjøiske vegtunneler. I tillegg finnes det 10 vegtunneler som ikke er undersjøiske, men som har høy stigningsgrad (definert som stigning på over 5 %) i Region vest. Siden stigningsgraden ser ut til å øke risikoen for brann og branntilløp, tar vi med disse 10 vegtunnelene i analysene.

Det finnes dermed minst 44 vegtunneler i Norge med høy stigningsgrad (>5 %). De utgjør til sammen omtrent 4 % av vegtunnelene i Norge. Disse hadde 41 % av brannene og branntilløpene i perioden 2008–2015. vVegtunneler med stigning på over 5 % er altså betydelig overrepresentert i statistikken over branner og tilløp i kjøretøy i norske vegtunneler i perioden 2008–2015.

Tunge kjøretøy er overrepresentert i branner og branntilløp i vegtunneler med høy stigning. Det er en signifikant sammenheng mellom høy stigningsgrad og andelen tungebiler involvert i branner og tilløp.

8 Konklusjon

Vi har i dag erfaringer som tilsier at det er knyttet kjøretøytekniske utfordringer til kjøring med tunge kjøretøy i sterk stigning/fall. På den annen side er det også en kjensgjerning 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.

Samlet risikovurdering må vurderes ut fra samvirket mellom flere forhold hvor de viktigste er total tunnellengde, tunnelvernsnitt, 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 fortsatt begrenset kunnskap om. Som tidligere omtalt bedømmer vi at kombinasjonen som er anvendt i Oslofjordtunnelen ikke er akseptabel. Vi har fastslått at som «normalsituasjon» skal stigning/fall ikke overstige 5 % men vi har ikke satt noen øvre grense for lengden på fallet selv om alle er enige om at dette ikke kan være uendelig. Hva gjelder stigning/fall på 3 % eller lavere har Tunnelsikkerhetsforskriftene ikke restriksjoner. Mellom 3 og 5 % skal det ifølge forskriftene foretas risiko- og sårbarhetsanalyse.

Ved en lengdeventilasjon blir veggfriksjonen av betydning når tunnelen er lang. Det er ikke i alle tilfelle mulig å få tilstrekkelig ventilasjonskapasitet for en lengdeventilasjon i en lang tunnel hvis tunnelveggen er rå-sprengt. Hvis veggen derimot er rimelig glatt f.eks. med utstøpt betong, vil det normalt være mulig å oppfylle NordFoU-prosjektets anbefaling til dimensjonering av brannventilasjonen: branneffekt på 100 MW og en ventilasjonshastighet på 5 m/s. Dermed vil ventilasjonskravene til den normale ventilasjonen også typisk bli oppfylt. Det store antall impulsventilatorer vil i alle tilfelle være et vedlikeholds-aspekt.

Dette kan man tolke slik at man skal ventilere med „full kraft“ i tilfelle en tunnelbrann. Det er under alle omstendigheter viktig å dimensjonere ventilasjonen for en kraftig brann og ta hensyn til tunnelgradienten i beregningen.

Det er en klar konklusjon at ventilasjonsretningen som hovedregel skal være den samme som den dominerende trafikkretingen. Unntakelser gjelder for branner som inntreffer i nærheten av tunnelportaler. Ved slike branner bør ventilasjonen gå mot den nærmeste portal. Skjæringspunktet for ventilasjonsretningen må bestemmes på bakgrunn av trafikk og

tunnellengde, men vil normalt være minst 500 m. Ved en tunnel med trafikkfordeling 60 % hhv. 40 % vil skjæringspunktet for tunnellengder over 2 km ligge ved ca. $\frac{3}{4}$ av tunnelens lengde.

Hvis den optimale ventilasjonsretningen ikke blir funnet, kan det resultere i betydelig større konsekvenser av brannen.

Ventilasjonsretningen skal dog bestemmes tidlig i brannforløpet, og det er under alle omstendigheter brannvesenet som skal ta beslutning om eventuell endring av ventilasjonsretning eller ikke ut i fra hensynet til evakuering.

9 Referanser

Langsventilasjon av lange og bratte tunneler

Rune Brandt og Patrick Altenburger
Rapport HBI 13-001-01 av 7. juni 2014
HBI Haerter for Statens vegvesen, Vegdirektorat

«Evakuering i vegtunneler», Forskningsrapport DP3

Niels Peter Høj (HOJ Consulting) og Rune Brandt (HBI Haerter)
Forskningsrapport HBI 11-004-04 av 20. august 2015
NordFou

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

Kjøretøytekniske utfordringer i tunneler

Notat
Henning Fransplass, Statens vegvesen
25. november 2011

Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008 – 2011

Transportøkonomisk Institutt (TØI) 2012

Kartlegging av kjøretøybranner i norske vegtunneler 2008 – 2015

Transportøkonomisk Institutt (TØI) 2016



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

ISSN: 1893-1162

vegvesen.no

Trygt fram sammen