



University
of Stavanger

Henrik Bjelland & Ove Njå

**Tilfluktsrom i ettløps vegtunneler –
kunnskapsstyrke, norsk sammendrag**

RAPPORT NR. 130, UNIVERSITETET I STAVANGER

FEBRUAR 2024

Rapporter fra UiS

Rapport no. 130
Publisher Universitetet i Stavanger
ISSN (online) 2387-6662
ISBN 978-82-8439-222-6
DOI <https://doi.org/10.61265/USPS.273>

Lisens: [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



RAPPORT

Prosjekt:	Kapasitetsløft tunnelsikkerhet (KATS)		
Prosjektnr.:	280532		
Kunde:	Statens Vegvesen Vegdirektoratet, att: Inger Lise Johansen		
Tema:	Tilfluktsrom i ettløps vegtunneler: en studie av kunnskapsstyrke – norsk sammendrag		
Dato:	29. februar 2024		
Utarbeidet av:	Henrik Bjelland	Kontrollert av:	Ove Njå
Signatur:		Signatur:	

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	4
2	Sammendrag og innblikk i hovedrapport	4
	2.1 Studiens formål og forskningsspørsmål	4
	2.2 Direktiv og TSF: Systemtenkning og risikobasert tilnærming i en storulykkekontekst	4
	2.3 Bakgrunnen for forbudet om tilfluktsrom	5
	2.4 Hvilke funksjonskrav må stilles, og hvilken kunnskap har vi om disse?	7
3	Konklusjoner	8
	3.1 Hovedkonklusjon: Tilfluktsrom er et viktig og relevant tiltak	8
	3.2 Hva er sikkert nok?	9
	3.3 Behov for juridiske vurderinger	10
	3.4 Alternative tiltak, alene eller i kombinasjon, må ikke utelukkes	10
4	Anbefalte aksjoner	11
	4.1 Modell for kunnskapsutvikling	12
	4.2 Pilotprosjekter: hva bør tunneleierne gjøre?	13
	4.3 Hva bør SVV VD gjøre?	14
	4.4 Hva er gode kriterier for valg av «risikotunneler»?	14

1 Introduksjon

Denne rapporten omtales som *tilleggsrapport* til hovedrapporten; *Shelters in single-tube road tunnels: a study of the strength of knowledge* (UiS-rapport nr. 129). Tilleggsrapporten gir et kort norsk sammendrag av sentrale tema fra hovedrapporten. I denne rapporten fremmer vi noen utvidede konklusjoner for den norske tunnelmassen og beskriver anbefalte aksjoner for å styrke kunnskapsgrunnlaget knyttet til tilfluktsrom i ettløps vegtunneler. Det henvises generelt til hovedrapporten for detaljert argumentasjon, diskusjoner og referanser. I teksten viser vi til «studien» og mener da hovedrapporten.

2 Sammendrag og innblikk i hovedrapport

2.1 Studiens formål og forskningsspørsmål

En rekke tidligere analyser og ulykkesundersøkelser peker på manglende tilrettelegging for trafikantenes selvredning i eksisterende, lange ettløps vegtunneler med toveistraffikk. Flere norske studier har trukket fram at tilfluktsrom bør vurderes som en del av sikkerhetskonseptet for de kritiske tunnelene. Denne studien bygger videre på dette datagrunnlaget og er gjennomført for å undersøke og styrke kunnskapsgrunnlaget knyttet til tilfluktsrom som et element i sikkerhetskonseptet. Vi har vært like opptatt å hente informasjon som er kritisk til tilfluktsrom som sikkerhetselement, som informasjon som understøtter bruken av dem. Hensikten er både å vurdere behovet for regelverksendringer og å bidra med tiltak for å styrke læringseffekten av to igangsatte pilotprosjekter hvor tilfluktsrom tas i bruk, hhv fylkesvegtunnelene Flekkerøytunnelen i Agder og Frøyatunnelen i Trøndelag. Fire forskningsspørsmål ble lagt til grunn for studien:

1. Hva vet vi om bakgrunnen for forbudet om tilfluktsrom i Direktiv 2004/54/EC (EU-direktivet) og hvordan har oppfølgingen av direktivet vært?
2. Hvilken kunnskap finnes om tilfluktsrom som sikkerhetstiltak fra norske tunnelsystemer, tidligere storulykker og forskningsaktiviteter?
3. Hva tilfører nyere vitenskapelige studier eksisterende kunnskapsgrunnlag?

I hvilken grad understøtter eksisterende kunnskapsgrunnlag vurderinger av styrker og svakheter ved tilfluktsrom som en del av sikkerhetskonseptet i lange ettløps vegtunneler, og hva er hensiktsmessige steg for å styrke kunnskapen ytterligere?

2.2 Direktiv og TSF: Systemtenkning og risikobasert tilnærming i en storulykkekontekst

Et grunnleggende premiss for studien er EU-direktivets og den norske tunnelforskriftens (TSF) systemtenkning og risikobaserte tilnærming til planlegging. TSF er en ren oversettelse av EU-direktivet og vi oppfatter at EU-direktivets underliggende tenkning om sikkerhetsstyring også gjelder for TSF.

Systemtenkning handler om at visse egenskaper, som sikkerhet, må forstås ved å se på tunnelsystemet i sin helhet. Tunnelsystemets evne til å unngå skader og tap knyttet til ulykker er et resultat av samspillet mellom trafikanter, kjøretøy, tunnelinfrastrukturen, tunneloperatører og brann- og redningstjenesten. Ulykker, skader og tap betraktes som svikt i samhandlingen. Sikkerhet blir et kontrollproblem, hvor forventninger til systemets delelementer må avklares og balanseres mot hverandre. For eksempel må lave forventninger til lokalt brann- og redningsvesens kapasitet balanseres med å forsterke tunnelinfrastrukturen (eksempelvis deteksjon, kommunikasjon, belysning og tilfluktsrom). Et annet eksempel kan være at identifikasjon av forhøyet risiko i tunnelsystemet balanseres med midlertidige operasjonelle

tiltak, som nedsatt fartsgrense, farevarsling eller andre restriksjoner. Det vesentlige er å ha kunnskap om hva som bidrar til farlige situasjoner, oppdatert situasjonsforståelse og evne til å kontrollere (balansere) situasjonen. Tenkningen er relevant i alle faser fra planfase til operasjonell drift, og forutsetter en aktiv sikkerhetsstyring.

Risikobasert tilnærming til planlegging handler om at sikkerheten for hver enkelt tunnel skal vurderes på særskilt grunnlag og måles ved å anvende relevant risikoinformasjon. Risiko kan måles på flere måter, men begrepet består av fremtidige hendelser, utfall og tilhørende usikkerheter. Risikoanalysens hensikt er å fremskaffe best mulig kunnskap for å vurdere behovet for tiltak utover laveste tillatte standard, tilpasset det *spesifikke tunnelsystemets* sikkerhetsutfordringer. Usikkerhet forbundet med det spesifikke tunnelkonseptet er kjernen i valg av risikobasert tilnærming til planlegging og utforming av tunnelsikkerheten. Unntaket er helt vanlige tunneler med ingen eller få særtrekk hvor kunnskap om risiko må forventes å være kjent, der risikoanalysen ikke kan bidra med å fremskaffe ny kunnskap.

Fare for storulykke er kjernen i EU-direktivet og den norske tunnelsikkerhetsforskriften. Vektlegging av storulykke som dimensjoneringsgrunnlag kommer til uttrykk gjennom regelverkets skille mellom *kritiske hendelser* og *ulykker*. Begrepet *kritiske hendelser* må gjerne forstås i lys av storulykkene i Sentral-Europa rundt tusenårsskiftet, som initierte utviklingen og implementeringen av direktivet. Kritiske hendelser står i motsetning til mindre alvorlige trafikkulykker, de er sjeldne og datagrunnlaget er som regel mangelfullt. Tunneler må dermed betraktes som systemer på linje med industrianlegg, lager av farlige stoffer, kritiske bygningskonstruksjoner eller samfunnsviktige funksjoner. Potensialet for storulykke skal inn som designforutsetning. Formålet med regelverket er først og fremst å forebygge at kritiske hendelser inntreffer, men også «å sørge for vern i tilfelle av ulykker». Et kunnskapsgrunnlag som vektlegger ulykkesstatistikk og forventningsverdier har en tendens til å undervurdere kritiske hendelsers bidrag til risiko. De fleste vil være enig i at en hendelse som ligner Skatestraumulykken er lite sannsynlig. Likevel, den er plausibel og konsekvensene kan bli svært store hvis en lignende hendelse skjer i en annen tunnel. Hvis vi er interessert i å forebygge at kritiske hendelser skal oppstå, må metodene som brukes til å analysere og beskrive risiko tilpasses denne utfordringen. I hovedrapporten peker vi på behovet for å bruke et bredere risikoperspektiv der usikkerhet vektlegges sterkere. Det kan være fornuftig å se til oljebransjens rammeverk for barrierestyring, eller å benytte metoder for system- og resiliens-tenkning.

Se ellers hovedrapportens kap. 9.3.5 for en grundigere diskusjon av disse temaene og referanser til relevante metoder.

2.3 Bakgrunnen for forbudet om tilfluktsrom

Studien omfatter en gjennomgang av sentrale dokumenter som ble utviklet i tiden før det forelå en endelig utgave av Direktiv 2004/54/EC, samt artikler som i etterkant beskriver den samme prosessen. Materialet dokumenterer en situasjon på 1990-tallet der tunnel- og brannsikkerhet stod høyt på agendaen i academia og blant faginstanser. Brannene i Mont Blanc-tunnelen (1999 – 39 drepte), Tauerntunnelen (1999 – 12 drepte) og St. Gotthard-tunnelen (2001 - 11 drepte) bidro til et sterkt politisk engasjement og synliggjorde behovet for handling. Forarbeidet til EU-direktivet la til grunn at det var store variasjoner i tunnelsikkerhetsarbeidet på tvers av nasjoner innad i EU, mange eksisterende tunneler var utdaterte med hensyn til sikkerhetsstandard og flere nye og omfattende tunnelprosjekter lå på tegnebrettet.

Direktiv 2004/54/EC forutsetter, som nevnt ovenfor, en grunnleggende systemtenkning og risikobasert tilnærming til tunnelsikkerhet på tvers av EU, og i Norge gjennom EØS-avtalen. Direktivets Annex I gir et sett med sikkerhetstiltak, som skal fortolkes som minimumskrav. Annex I inneholder i all hovedsak påbud, men i pkt. 2.3.4 fremmes det også et forbud: «*Shelters without an exit leading to escape routes to the open shall not be built.*»

Anbefalingene om et slikt forbud finner vi igjen i sentrale dokumenter helt tilbake fra 2001, som en direkte årsak av Mont Blanc-brannen. Granskningen etter Mont Blanc-brannen beskriver en svært alvorlig hendelse med 39 omkomne personer. Brannen varte i over 53 timer med brannsmitte over lange avstander. Hele 34 kjøretøy, hvorav 20 tunge kjøretøy, var involvert i brannen. To ulike driftsorganisasjoner fra to ulike land (Italia og Frankrike) hadde ansvaret for beredskapen sammen med brannvesen på hver side av grensen. Driftsorganisasjonene hadde hver sine driftssystemer og ulik tilnærming til styring av bl.a. røykventilasjon. Lacroix¹ gir informasjon om bruk av tilfluktsrom under brannen i Mont Blanc-tunnelen i 1999:

- To personer, hhv. en tunnelbruker og en ansatt fra den italienske operatøren (motorsykkelpatrulje), søkte tilflukt i rom 20. Begge omkom, da det ikke var mulig å komme frem med redningsinnsats gjennom nesten hele det 53 timer lange brannforløpet.
- Seks personer, redningspersonell fra fransk operatør (ATMB) ledet av en profesjonell brannmann, søkte tilflukt i rom 17. Alle ble reddet ut etter mer enn 7 timer.
- Seks personer fra offentlig brannvesen på fransk side måtte, etter flere mislykkede forsøk på å snu og kjøre ut, søke tilflukt i et teknisk rom ved havarinisje 12. Brannbilen var utstyrt med pusteutstyr for fire personer, da innsatsleder og sjåfør normalt ikke har behov for slikt utstyr. Innsatsleder døde kort tid etter evakuering fra tunnelen etter ca. fem timers opphold i det tekniske rommet. Til forskjell fra tilfluktsrommene var det tekniske rommet ikke trykksatt med friskluft.
- Personell (ukjent antall) fra en brannbil fra fransk offentlig brannvesen måtte søke tilflukt i tilfluktsrom 5.
- Personell (ukjent antall) fra en brannbil fra italiensk offentlig brannvesen i Courmayeur måtte, sammen med to brannmenn fra Aosta, søke tilflukt i tilfluktsrom 24. Alle ble reddet ut etter ca. 3 timer.

Antallet personell på brannbilene som kjørte inn i tunnelen blir ikke konsekvent oppgitt, men dersom vi antar at tallet var mellom 4 og 6, får vi at mellom 21 og 25 personer ble reddet ut etter å ha søkt midlertidig beskyttelse i enten et tilfluktsrom eller et teknisk rom. Tre personer omkom, hvorav to oppholdt seg i tilfluktsrom 20 gjennom nesten hele den 53 timer lange brannforløpet og én i teknisk rom ved nisje 12 i ca. fem timer. Det er ikke entydig beskrevet om personene i tilfluktsrom 20 omkom som følge av røykpåvirkning eller høy temperatur, og vi har heller ikke klart å avdekke eksakt teknisk utforming av rommene i studien.

Gjennom samtaler med sentrale europeiske fagpersoner på tunnelsikkerhet, forstår vi at Mont Blanc-brannen var en sterk øyeåpner. At noen skulle omkomme i et rom som var definert som et sikkert sted framstod som uakseptabelt. Uten henvisning til spesifikke sikkerhetsstudier, oppstod det enighet i det europeiske tunnelsikkerhetsmiljøet om at tilfluktsrom i vegtunneler måtte ha en rømningsvei som var uavhengig av trafikkkrommet. Forbudet har stått som en anbefaling gjennom tjue år, uten at vi finner noen diskusjoner utenfor Norge som utfordrer denne innstillingen.

¹ Lacroix, D. (2001). The Mont Blanc Tunnel Fire - What happened and what has been learned. Fourth International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels. 2001, Madrid, Spain. Side 7-9.

2.4 Hvilke funksjonskrav må stilles, og hvilken kunnskap har vi om disse?

Tilfluktsrommene i Mont Blanc-tunnelen ble bygget som en respons på en alvorlig brann i tunnelen i 1990. I ettertid har vi opplevd flere alvorlige tunnelbranner, både ute i Europa og hjemme i Norge. Teknologi for deteksjon, lede- og kommunikasjonssystemer som er tilgjengelig i dag, gir andre muligheter enn tiltakene tidlig på 1990-tallet. Det er utviklet bedre modeller for å forstå tunnelbranner og vi vet mer om konstruksjoners respons på brannlastene. Samtidig må vi innse at risikobildet er dynamisk, illustrert gjennom innfasing av nye energikilder og et trafikkmønster som utvikler seg i takt med samfunnets transportbehov.

I Norge finnes fortsatt mange lange ettløpstunneler hvor selvredning vil være utfordrende ved en stor brann, spesielt eskalert brann til flere kjøretøy. Det siste tiåret har et hundretalls personer vært fanget i røyk og de har kjent på utfordringene med å komme seg unna en alvorlig tunnelbrann. De involverte rapporterer om traumatiske opplevelser og vi ser både umiddelbare røykskader og tegn til langtidseffekter, men kunnskapsnivået om skadene er begrenset. Som en respons på den alvorlige brannen i 2011 ble det, i likhet med Mont Blanc-tunnelen, innredet tilfluktsrom i Oslofjordtunnelen. I 2017 kom de til anvendelse i forbindelse med en ny brann. To tungransportsjåfører søkte tilflukt i ett av rommene og ble reddet ut av brannvesenet. Sikkerhetssystemet i tunnelen omfattet et moderne ledesystem basert på led-lister langs tunnelveggen og markering rundt inngangene. Rommene var tilstrekkelig dimensjonert for branneksplosjonen i den gitte situasjonen, slik at verken røyk eller høy temperatur var en utfordring for brukerne. Samtidig vet vi at mer alvorlige branner kan oppstå, flere mennesker kan være utsatt for fare, planlagte barrierer kan feile og mennesker kan ta ugunstige valg, både som følge av stress og begrenset kunnskap om hensiktsmessige handlingsvalg.

Dersom tilfluktsrom skal inngå som et element i et velfungerende sikkerhetskonsept i vegtunneler, mener vi at minimum tre funksjonskrav må ivaretas, jf. Tabell 1.

Tabell 1. Funksjonskrav til tilfluktsrom og tilhørende kunnskapsbehov

Funksjonskrav	Temaer med behov for kunnskap
Tunnelen og tilhørende tekniske systemer må designes og bygges med tanke på tunnelbrukeres adferd i vegtunneler generelt og i ulykkesituasjoner spesifikt.	<ul style="list-style-type: none">• Generell kjøreatferd i vegtunneler.• Menneskelig atferd i ulykkesituasjoner i vegtunneler og situasjoner knyttet til store usikkerhetsmomenter og stress.
Tunnelbrukerne skal være oppmerksomme på og ha tilstrekkelig kunnskap om sikkerhetstiltakene i vegtunnelen ved en ulykke.	<ul style="list-style-type: none">• Tunnelbrukeres generelle kunnskapsnivå om tunnelsikkerhet.• VTS-operatørers evne til å få situasjonsoversikt og kommunisere relevant informasjon til tunnelbrukere.• Tunnelbrukeres evne til å forstå og følge instruksjoner under en dynamisk ulykkesituasjon.
Tilfluktsrommets konstruksjon må over tid tåle relevante ulykkeslaster i tilstrekkelig tid til å muliggjøre redningsaksjoner.	<ul style="list-style-type: none">• Relevante ulykkeslaster nå og i fremtiden.• Brannmotstand for individuelle konstruksjonselementer og kombinerte systemers effekt, for eksempel faste brannsløkkingssystemers kjøleeffekt på veggelementer.• Brann- og redningsvesens kunnskap og kapasitet til å håndtere relevante ulykkeslaster i vegtunneler, og deres evne til å tilpasse responstaktikk til en ny situasjon.• Drift, vedlikehold og degradering av sikkerhetstiltak i vegtunneler.

Funksjonskrav 1 og 2 er i utgangspunktet generelle for alle sikkerhetssystemer i tunneler, mens funksjonskrav 3 er spesifikt rettet mot tilfluktsrom. I studien har det derfor vært utfordrende å skille tydelig på hvilken kunnskap vi trenger for å sikre selvredning generelt, og hvordan vi kan bygge gode tilfluktsrom spesielt. Med utgangspunkt i funksjonskravene har vi identifisert temaer vi må ha kunnskap om for å vurdere om kravene kan innfris.

Hovedrapporten gir en oversikt over nyere forskning knyttet til temaene som er spesifisert i Tabell 1. Grovt sagt finnes det relevant forskning knyttet til de fleste temaene og vi vurderer at det er god oversikt over utfordringer og kunnskapshull. Generell kjøreatferd og menneskelig atferd i tunnelbranner er for eksempel beskrevet i flere studier. Studiene viser at det kan forventes store variasjoner i atferd, men samtidig at atferd kan påvirkes gjennom målrettede tiltak. Tiltak er gjerne testet isolert fra tunnelsystemet ellers, som gjør det utfordrende å bruke studiene til å vurdere samlet effekt på trafikantenes sikkerhet. Her kan pilotprosjektene spille en rolle, hvor det kan utvikles mer kunnskap omkring hvordan et sikkerhetskonsept fungerer som helhet. Vi har et «levende laboratorium», som vi kan benytte til kunnskapsbygging før, under og etter hendelser, uten at vi går på akkord med forskningsetiske prinsipper.

De områdene vi vurderer som svakest med hensyn til forskningsbasert kunnskap er knyttet til beredskapssystemet som aktiveres ved en hendelse i tunnel. Dette omfatter for eksempel VTS-operatørens arbeidssituasjon, mulighet til å skaffe seg et godt situasjonsbilde og hvordan de best mulig kan påvirke situasjonen i tunnelen på en hensiktsmessig måte. Tilsvarende gjelder for brannvesenet. På dette området finnes det imidlertid mye erfaringsbasert kunnskap som vil kunne nyttiggjøres ved utvikling av nye sikkerhetskonsepter hvor tilfluktsrom er et element. Det finnes også mye erfaringsbasert kunnskap omkring drift og vedlikehold av sikkerhetssystemer i norske vegtunneler. Erfaringene inngir en viss bekymring omkring evnen til å opprettholde sikkerhetstiltakenes funksjon over tid, og eventuelt tilpasse funksjonsevne til endret risiko. På den annen side, både utfordringene og mulige løsninger er kjent, og manglende oppfølging vurderes som mer eller mindre bevisst prioritering som følge av ressursknapphet. Tilfluktsrom som et element i norske tunnelers sikkerhetskonsept vil ha stor betydning for måten beredskapen planlegges og etableres, som igjen vil måtte bety tilpasninger i VTS-operatørens rolleforståelse, brannvesenets innsatsstrategier og tunnelforvalters drift- og vedlikeholdsstrategi.

3 Konklusjoner

3.1 Hovedkonklusjon: Tilfluktsrom er et viktig og relevant tiltak

Tilfluktsrom er et svært relevant tiltak for å løse en høyst reell og prekær utfordring med manglende selvredningsmuligheter i et stort antall tunneler. I hovedrapporten konkluderer vi med at tilgjengelig kunnskap støtter en trinnvis utbygging av tilfluktsrom i utvalgte høyrisiko vegtunneler i Norge. Hensikten med den trinnvise utbyggingen er å sikre læring fra prosjekt til prosjekt. Slik læring må ivaretas gjennom hele tunnelsikkerhetssystemet og verdikjeden for tilfluktsrom, slik at funksjonskrav, tekniske løsninger, drift og vedlikehold, og trafikantrettede tiltak utfordres og utvikles i tråd med de erfaringer som høstes fra pågående prosjekter.

Det anbefales at det lages en helhetlig plan for utbygging av tilfluktsrom i norske tunneler hvor rekkefølgen bestemmes med utgangspunkt i tunnelens risikonivå mht. trafikantsikkerhet ved brann, vi viser til kap. 4.3 og 4.4. Faktisk utbyggingstakt må vurderes opp mot eksisterende planer for tunneloppgradering, og utforming av tilfluktsrom og samspillet med andre sikkerhetstiltak må vurderes særskilt i hvert enkelt tilfelle.

Når vi argumenterer for at tilfluktsrom framstår som viktig for å løse den utfordringen Norge står ovenfor, handler dette om å gi trafikantene mulighet til å komme seg unna røyk. Det er allment kjent at inhalering av røyk er årsak til de fleste skader og dødsfall i branner. At Norge ikke har hatt omkomne som følge av røykpåvirkning i vegtunneler vurderes ikke som et godt argument for å tillate at mennesker skal forventes å evakuere gjennom røyk. Usikkerhetene er simpelthen for store. Erfaringene fra de europeiske brannene rundt årtusenskiftet viser hvorfor. Den store usikkerheten knyttet til hvilke materialer som brenner og hvor fort en brann utvikler seg, tilsier at det er et rent sjansespill å satse på at mennesker skal evakuere gjennom røyk. Å tilrettelegge for selvredning må derfor handle om å unngå at mennesker blir eksponert for røyk. Likevel er det interessant å skaffe bedre kunnskap om røykkomposisjoner og konsentrasjoner av giftige stoffer i forbindelse med tunnelbranner, men at dette er for å øke kunnskapsgrunnlaget og ikke med tanke på å endre dimensjoneringsprinsippene. Første prioritet må være å få folk ut av tunnelen, og her ser vi et stort potensial knyttet til å bruke tiden i brannens startfase bedre. Deretter må det sørges for at mennesker som ikke har mulighet til å komme seg ut, for eksempel fordi de ikke klarer å snu kjøretøyet i en trang tunnel, gis mulighet til å komme seg unna røyk. Her kan tilfluktsrom være en egnet løsning. Tilfluktsrom gir også anledning til å komme seg unna andre ulykkeslaster enn brann og røyk, som påkjørsler, giftige lekkasjer og eksplosjon, gitt at rommet er designet for dette. Evakuering gjennom lange og bratte tunneler er også fysisk krevende, som begrenser en del trafikantgrupper.

Konklusjonene ovenfor er trukket i lys av *den norske tunnelsituasjonen*, kjennetegnet ved et stort antall eksisterende ettløps vegtunneler, mange med et begrenset trafikkvolum, men samtidig betydningsfulle for kritiske samfunnsfunksjoner og derigjennom samfunnsikkerheten og næringsgrunnlagene i lokalsamfunn. Europeiske pålegg om å ruste norske tunneler (tunneloppgraderingsprosjektet) gir anledning til å sikre at Norge også er foregangsland med hensyn til tunnelsikkerhet, som Norge er for generell trafiksikkerhet. Nyttekostnadstenkning tilsier at det bør prioriteres tiltak som gir en bred standardheving knyttet til storulykkesikkerhet, framfor tiltak rettet mot enkelttunneler.

3.2 Hva er sikkert nok?

Hva som er sikkert nok, eller akseptabel risiko, er ofte gjenstand for diskusjoner. Helt overordnet mener vi at svaret på dette spørsmålet er *det beste blant de mulige alternativer*. Uten føringer for hvordan alternativer skal evalueres med hensyn til «best» og «mulig», kan ethvert alternativ som gir den minste forbedring av sikkerheten regnes som sikkert nok. Slik kan det ikke være.

I forbindelse med lange norske eksisterende ettløpstunneler med selvredningsutfordringer, synes det å være bred enighet om at alternativet *å ikke gjøre noe* framstår som uakseptabelt. Alternativet *å bygge parallell rømningstunnel* blir ofte regnet som uakseptabelt av kostnads- og gjennomføringshensyn. Tilfluktsrom er et alternativ som både sikkerhets- og kostnadsmessig befinner seg et sted imellom disse ytterpunktene. Dette mener vi er tilstrekkelig for å si at tilfluktsrom som konsept må kunne regnes som en akseptabel løsning i Norge, selv om det finnes juridiske utfordringer som må utredes nærmere, jf. kap. 3.3.

Neste utfordring er å utvikle et akseptabelt konsept til en akseptabel løsning i den gitte tunnelen, dvs. hvordan rommene faktisk utformes og spiller sammen med andre sikkerhetssystemer. Vi mener at svaret er det samme: vi må velge det beste alternativet blant de mulige alternativene. Utfordringen når vi går fra konseptnivå til spesifikk utforming, er at

det fortsatt mangler gode føringer på hvordan vi definerer «best» og «mulig». Direktiv 2004/54/EC og TSF gir imidlertid en viktig føring ved å kreve at vi skal forebygge kritiske hendelser, dvs storulykker. Utgangspunktet for regelverket var brannene i Mont Blanc- og Tauern-tunnelene, det vil si at slike scenarioer må vi forholde oss til. Samtidig må vi forholde oss til at regelverket er risikobasert, som betyr at vi også må vurdere om nye scenarioer kan inntreffe. Regelverket gir også andre føringer, for eksempel at «når det finnes nødutganger, skal avstanden mellom to nødutganger ikke overstige 500 meter». Dette er eksempler på føringer som definerer mulige alternativer når en spesifikk tilfluktsromløsning skal utformes, men eksisterende føringer er ikke tilstrekkelige.

I hovedrapporten diskuteres behovet for å utvikle funksjonskrav til tilfluktsrom. Dette mener vi er helt nødvendig for å kunne ta stilling til hva som er en sikker nok løsning i en gitt tunnel. Sentrale elementer som må belyses av funksjonskravene er for eksempel: hensikt med tilfluktsrommene, type kritiske hendelser de skal dimensjoneres for, og rommenes motstandsevne ved belastning over tid. Erfaringer fra tidligere branner, statistikk og vitenskapelige studier vil være et egnet underlag for å sikre at funksjonskravene er konsistente med overordnet regelverk og eksisterende kunnskap. Samtidig må det gjøres verdibaserte valg når for eksempel sikkerhetsmessige hensyn vektet mot kostnadshensyn. Gjennom konklusjonen i denne rapporten forskutterer vi at det vil finnes tilfluktsromløsninger som kan regnes som sikre nok, før vi kjenner funksjonskravene samfunnet vil stille til slike rom. Her er det selvfølgelig noe usikkerhet, men bakgrunnen er at vi mener det finnes tekniske løsninger for å svare ut usikkerheten i de utfordringene vi kjenner til. Tilfluktsrommet kan beskyttes bak flere og sterkere barrierer, utstyres med luft fra tanker eller utsiden, og kobles sammen to og to, tre og tre, osv. I ytterste tilfelle kan vi se for oss trafikkrestriksjoner eller at rommene kobles sammen med utsiden, en løsning som allerede er akseptert gjennom regelverket. Nøkkelen er at vi har metoder for å følge med på sikkerhetsnivået med og uten tilfluktsrom.

Pilotprosjektene som allerede pågår, og prosjektene som eventuelt følger, vurderes som nyttige kilder for utvikling av funksjonskrav og kalibrering av gode og mindre gode løsninger. I lys av forventningen om en aktiv sikkerhetsstyring, forventes det at sikkerhetsnivået måles og justeres ved behov, slik at funksjonskravene ivaretas over tid.

3.3 Behov for juridiske vurderinger

Vi ser det som nødvendig å gjøre *juridiske vurderinger* av å bygge tilfluktsrom i norske vegtunneler. Vurderingene må særlig gjøres opp mot tunneler som ligger på TERN-nettverket og som formelt sett ligger under Direktiv 2004/54/ECs virkeområde, men handlingsrommet ovenfor tunneler som ligger utenfor Direktiv 2004/54/EC bør også avklares. Generelle juridiske avklaringer, og eventuelle avklaringer ovenfor ESA, har ikke vært del av studiens omfang og må håndteres av MoR i SVV.

3.4 Alternative tiltak, alene eller i kombinasjon, må ikke utelukkes

Tilfluktsrom er ikke alene svaret på selvredningsutfordringene i norske tunneler, men kan være et viktig element i et helhetlig sikkerhetskonsept som tilpasses særtrekk ved det spesifikke tunnelsystemet. I tillegg til tilfluktsrom kan SVV og andre tunneleiere vurdere tiltak som:

Parallell rømmingstunnel er sikkerhetsmessig en god løsning, men kostnadsutfordringene, og til dels gjennomføringsutfordringer, er kanskje det viktigste insentivet for å se på alternative løsninger. En slik løsning vil ha mange av de samme utfordringene som tilfluktsrom, nemlig

trafikantenes evakueringskunnskap og gjenkjenning av rømningsveier og -dører.

Plassbygget rømningskorridor langs vegbanen i tunnelens opprinnelige eller utvidede tunnelprofil er en interessant løsning. I trange norske tunneler, ser vi for oss at dette krever omfattende utvidelse av tunnelprofilen, omfattende bergsikringsutfordringer og lang byggetid. Dette må imidlertid vurderes nærmere.

Automatiske slokkeanlegg kan være et alternativ, som bør vurderes nærmere. Et automatisk slokkeanlegg vil ikke alene kunne forhindre røykspredning, men vil kunne begrense effektutvikling i en brann og dermed begrense røykproduksjon og gjerne skadeligheten av røyken. I første rekke ser vi på automatiske slokkeanlegg som et tiltak som styrker effekten av andre tiltak, som brannmotstanden på en tilfluktsromkonstruksjon, effekten av røykventilasjonsanlegget og brannvesenets slokkeinnsats. Et automatisk slokkeanlegg gir, i motsetning til tilfluktsrom og andre rømningsveier, også en mulighet til å redde mennesker som er fastklemt i en ulykke hvor det oppstår brann. Det vil også være et hensiktsmessig tiltak i tunneler som har stor samfunnskritisk verdi, hvor nedetid etter brann er særlig ugunstig.

Avtrekkventilasjon (transvers ventilasjon) er ikke vanlig i Norge, men er en løsning som i teorien kan sikre røykfrie områder i lange tunneler. Utfordringen er at tunnelene ikke er bygget for dette, og det finnes begrenset plass til avtrekkskanaler. Undersjøiske tunneler kan normalt ikke utføres med sjakter. Løsningen bør eventuelt vurderes i sammenheng med automatisk slokkeanlegg, hvor dimensjonerende branneffekt reduseres.

Trafikkrestriksjoner er heller ikke vanlig i Norge, men er i teorien et tiltak som kan bidra til å styrke storulykkesikkerheten i norske tunneler. Brannutfordringen i vegtunneler er i stor grad knyttet til tunge kjøretøy i kombinasjon med mennesker i tunnelen. Vi utelukker derfor ikke at restriksjoner kan være aktuelt i noen tunneler for å skille brannkilde fra tunnelbrukere og på denne måten forebygge kritiske hendelser, eller bidra til å begrense størrelsen på dimensjonerende scenario for utforming av tilfluktsrom.

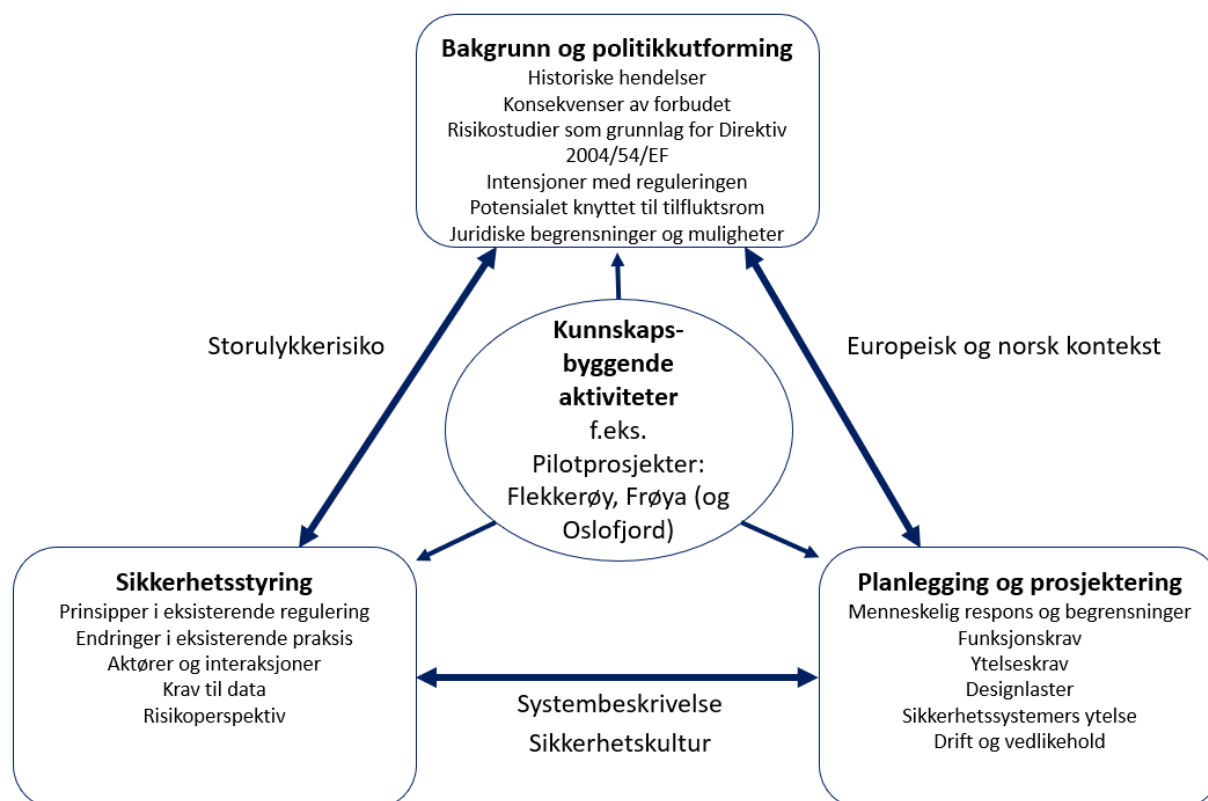
Forsterket kommunikasjon med trafikantene er en forutsetning for bruk av tilfluktsrom, men framstår også som et egnet tiltak i tunneler hvor selvredning kan løses uten å etablere tilfluktsrom eller nødutganger.

4 Anbefalte aksjoner

Studien angir en modell for å illustrere helhetlig datainnsamling i forbindelse med å styrke kunnskapen om tilfluktsrom i tunneler. Vi har oppsummert dette i kapittel 4.1. I kapittel 4.2 og 4.3 gir vi konkrete råd til prosjekter som knyttes opp mot pilotprosjektene og Vegdirektoratet, samt kriterier for utvelgelse av tunneler for trinnvis utbygging av tilfluktsrom i kritiske tunneler. Premisset er trinnvis utbygging av tilfluktsrom i alle kritiske tunneler, og da behøver vi et enkelt verktøy for å prioritere. Tunneloppgraderingsprosjektet pågår og vil kunne påvirke prioriteringen ved at det vil være lønnsomt å inkludere tilfluktsrom i den øvrige oppgraderingen som skal skje. Kriteriene vi presenterer i kap. 4.4 forutsetter at det er ordinære tunneler i drift som vurderes. Bakgrunnen for avgrensningen rettet mot eksisterende tunneler bygger på TSF kapittel 2.3, som skiller på oppnåelse av krav i nye versus eksisterende tunneler. Krav til nødutganger er absolutt for nye tunneler (kap. 2.3.6), mens det åpnes for en nyttekostnadsvurdering av nye nødutganger i eksisterende tunneler (kap. 2.3.7). Tilsvarende føringer finner vi i Forskrift om brannforebygging § 8, hvor oppgraderingsplikten for eksisterende bygninger «gjelder så langt den kan gjennomføres innenfor en praktisk og økonomisk forsvarlig ramme». Det henvises ellers til behovet for juridiske vurderinger (jf. kap. 3.3) for å avklare begrensninger og muligheter for ulike typer tunneler, eksempelvis eksisterende versus nye og TEN-T og riksvei versus fylkesvei.

4.1 Modell for kunnskapsutvikling

Figur 4-1 er studiens oppsummering av kunnskapsbyggende aktiviteter for å styrke implementering og drift av tilfluktsrom i norske tunneler. Vi viser til studien for mer inngående informasjon om modellen. Det er identifisert tre sentrale tema hvor det er behov for mer kunnskap og/eller endringer i praksis.



Figur 4-1. Modell for kunnskapsbyggende aktiviteter innenfor sentrale temaer

Bakgrunn og politikkutforming: Kunnskap om tidligere hendelser og beslutningsunderlag for gjeldende direktiv og forskrifter er nødvendig for å forstå rekkevidden av gjeldende beslutninger, og setter premissene for forslag til endringer. Dersom vi skal arbeide for endringer i regelverk, på nasjonalt og/eller på europeisk nivå, er det også hensiktsmessig å kjenne til framtidige utfordringer og prioriteringer. Det er for eksempel nødvendig å avklare om dette utelukkende er en norsk problemstilling, endringsvilje i sentrale EU-land og juridiske muligheter og begrensninger innenfor dagens regelverk og framtidige alternativer.

Sikkerhetsstyring: Etablering av tilfluktsrom i tunneler vil forsterke behovet for en proaktiv sikkerhetsstyring for å ivareta sentrale prinsipper som selvredning, selvregulering, samvirke og universell design. Eksisterende løsninger og beslutninger må utfordres i møtet med ny kunnskap, som igjen stiller krav til systematisk datainnsamling, oppdaterte risikoanalyser og justeringer ved behov. Studien vektlegger at det utvikles en mer proaktiv sikkerhetsstyring i de tunnelsystemene som omfatter tilfluktsrom, men rådet gjelder ellers for generelt tunnelsikkerhetsarbeid. Til tross for krav om en proaktiv sikkerhetsstyring, gjennom EU-direktiv og norske tunnelsikkerhetsforskrifter, oppleves dagens sikkerhetsstyring som reaktiv framfor proaktiv og virkemiddelbasert framfor målbasert.

Planlegging og prosjektering: Utførelsen av tilfluktsrommene og hvordan de innpasses med øvrige deler av tunnelsystemet er avgjørende for trafikantenes sikkerhetsnivå. Det må være

konsistens mellom ulykkeslastene som kan oppstå, trafikantenes forutsetninger, VTS-operatørenes kapasitet og ekstern beredskap på den ene siden, og tunnelens utførelse på den andre siden. Det må utvikles krav til hvordan tilfluktsrom skal fungere som et element i tunnelsikkerhetssystemet og hva som forventes av risiko- og beredskapsanalyser. Måleverktøyene for sikkerhet må stadig utfordres for å skape diskusjon om de tiltakene som er iverksatt og ytelsen av beredskapen som forventes.

Sentralt i modellen står aktiviteter for kunnskapsutvikling, og forslag til prioriterte aktiviteter i hhv pilotprosjekter og hos Statens Vegvesen Vegdirektoratet framgår av kap. 4.2 og 4.3. Vi har listet noen av foreslåtte prosjekter som er angitt i hovedrapporten. I vår oppsummering av prosjekter for prosjekteiere (tunneleierne) har vi vektlagt konkrete fremstillinger. Modellen i figur 4-1 indikerer også sammenhenger mellom de ulike temaene. Storulykketenkningen springer for eksempel ut av tidligere hendelser, som igjen påvirker hvordan sikkerhetsstyringen må utvikles, som igjen betyr noe for systemforståelse og sikkerhetskultur blant aktørene som planlegger, bygger og drifter tunnelsystemer. Norsk designpraksis må også sees i sammenheng med den norske konteksten, for eksempel mht. økonomiske rammebetingelser, trafikkvolum og organisering av trafikkstyring og ekstern beredskap.

4.2 Pilotprosjekter: hva bør tunneleierne gjøre?

Vi har ikke innhentet og vurdert søknadene fra henholdsvis Agder og Trøndelag fylkeskommuner, og har derfor ikke reflektert fylkeskommunenes egne planer for å bruke pilotprosjektene for å skape ny kunnskap. Fylkeskommunene har sine egne behov for datainnsamling og vurderinger. Vi vektlegger samfunnets og tunnelsikkerhetsnæringens behov for økt kunnskap om tilfluktsrommenes ytelse som del av styringen av tunnelsikkerheten og hva andre tunneler kan lære av pilotprosjektene. I så måte ville vi vektlagt følgende:

- Utvikle arrangement for datainnsamling i kritesituasjoner: Lag en konkret prosedyre/protokoll for datainnsamling basert på NDM-tenkning (Naturalistic Decision making). Det vesentlige er å etablere et grunnlag for å forstå handlingsvalgene hos alle aktører, dvs trafikanter og brukere i tunnelen, redningstjenesten, trafikkovervåkningen (VTS) med mer.
- Registrere informasjon i sanntid/normalfase: Se på muligheter for å involvere VTS i strukturert datainnsamling via tilgjengelige systemer i pilottunnelene. Dette vil omfatte identifikasjon av trafikkmengder, kjøretøytyper, energimengder/gods i trafikk, som vil påvirke en evakueringssituasjon i gitt scenario. Hensikten er å bygge kunnskap og påvirke løsninger for evakuering i tidligfase.
- Kontrollere og forbedre evakueringskompetansen blant tunnelbrukerne: Dette omfatter gjennomføring av surveyer, intervjuer med mer, som inkluderer kunnskap om tilfluktsrom, dets bruk og når og hvordan velge tilfluktsrom som løsning for selvredning.
- Gjennomføre øvelser med tunnelbrukere, brannvesen og øvrige nødetater: Her må risiko- og beredskapsanalysene brukes aktivt, for å skape best mulig læring mellom planverk og praksis og vice versa.
- Motta informasjon fra registrerte brannhendelser i norske tunneler (ca 20-30 i året) og analyser hvordan disse ville blitt håndtert i pilottunnelene: Hensikten med dette er å bygge opp en kunnskapsbase omkring sikkerhetssystemenes evne til å håndtere et bredt utvalg hendelser og bidra til en aktiv sikkerhetsstyring. Dette kan gjøres ved «table top»-øvelser, eller simpelthen å diskutere ytelsene av systemene som ville blitt iverksatt i pilotprosjektene.
- Gjennomføre en evaluering av sikkerhetsstyringen i de aktuelle tunnelene: Kan vi gå fra

reaktiv til aktiv sikkerhetsstyring? Hva må eventuelt til? Hva er overføringsverdien til andre tunneler? Evalueringen kan gjennomføres med utgangspunkt i en helhetlig studie av sikkerhetskonseptet for tunnelene som omfattes av pilotprosjektene, sett opp mot dagens sikkerhetsstyringspraksis. Det anbefales at sikkerhetsstudiene tar utgangspunkt i et systemperspektiv og omfatter elementer som funksjonskrav, ytelseskrav til de involverte aktørene og delsystemene, dimensjonerende scenarioer, alternative innsatsstrategier og interaksjoner mellom aktører i beredskapssituasjoner.

4.3 Hva bør SVV VD gjøre?

Hovedrapporten beskriver en rekke tiltak rettet mot både målsetningen om å bidra til gode pilotprosjekter i Flekkerøy- og Frøyatunnelen, og fremme regelverksendringer på Europeisk nivå. I denne rapporten har vi vektlagt den første målsetningen, hvor vi mener Statens vegvesen, Vegdirektoratet ved Myndighet og Regelverk (MoR) har en koordinerende rolle i forbindelse med å utvikle et hensiktsmessig regelverk, bidra til å styrke kunnskap og kontrollere dokumentasjonen som utvikles av tunneleier. I den forbindelse mener vi MoR bør forberede følgende aktiviteter:

- Sørge for at pilotene blir satt i en sammenheng: Det må lages en strategi for datainnsamling/komparasjon av tunneldesign. Målet er å avdekke alle svakheter med tilfluktsrom som løsning for selvredning. Hypotesen er at tilfluktsrom bidrar positivt til selvredning, og da påhviler det MoR et særskilt ansvar å avdekke alle svakheter.
- Forberede integrering av tilfluktsrom utover definerte pilotprosjekter, inkludert TEN-T-tunneler. Dette omfatter for eksempel å sørge for at det lages en prioriteringsliste og funksjonskrav til design, inklusiv et forankret regelverk.
- Validere kunnskap fra laboratorier (VR/AR) opp mot virkelige tunneler/situasjoner – utfordre eksisterende kunnskap.
- Tilrettelegging av regelverk for tilfluktsrom, inkludert funksjonskrav, og en generell overgang fra reaktiv til aktiv sikkerhetsstyring. Hva må eventuelt til?
- Avklare juridiske betenkeligheter: hvilke muligheter og begrensninger som ligger i eksisterende regelverk og mulige alternative regelverksdesign?
- Skape forståelse omkring eget regelverk, dvs. hensyn til storulykker. Hva innebærer TSF/EU-direktivet og hvordan kan MoR beskrive akseptkriterier for risiko (hvem skal etablere disse)?
- Stille krav til tunnelsikkerhetskompetanse blant aktører som jobber med tunnelsikkerhet (brannvernledere, tunnelforvaltere, brannvesen og rådgivere/utbyggere).

4.4 Hva er gode kriterier for valg av «risikotunneler»?

Norge har et stort antall eksisterende ettløpstunneler med behov for å styrke mulighetene for selvredning og tiltak må prioriteres i tunneler hvor behovet er størst. Dette kapittelet gir noen innspill og tanker rundt prioriteringskriterier.

Innslagspunkter fra eksisterende regelverk

Tunnelsikkerhetsforskriften (TSF) gir føringer som kan benyttes til å begrense utvalget tunneler hvor tilfluktsrom er et egnet tiltak:

- Vedlegg 1, pkt. 2.3.5: «Det skal finnes nødutganger dersom en analyse av relevante risikoer, herunder hvor langt og hvor fort røyk beveger seg under forholdene på stedet, viser at ventilasjonen og andre sikkerhetsanlegg ikke er tilstrekkelige til å ivareta trafikantenes sikkerhet.»
- Vedlegg 1, pkt. 2.3.6: «I alle tilfeller skal det i nye tunneler finnes nødutganger dersom

- trafikkvolumet overstiger 2.000 kjøretøy per kjørefelt.»
- Vedlegg 1, pkt. 2.3.7: «I eksisterende tunneler på mer enn 1.000 meters lengde med et større trafikkvolum enn 2.000 kjøretøy per kjørefelt, skal det vurderes om det er gjennomførbart og virkningsfullt å lage nye nødutganger.»
 - § 8: Vegdirektoratet kan gjøre unntak fra krav om nødutgang for tunneler kortere enn 10 km og med en årsdøgntrafikk under 4.000 kjøretøy per kjørefelt dersom en risikoanalyse viser at tilsvarende eller bedre sikkerhet kan oppnås med alternative tiltak.

Tabell 2. Oppsummering av kriterier basert på TSF

Kriterium	Krav til nødutganger
ÅDT < 4000	Ikke minimumskrav til nødutgang, men vedlegg 1 pkt. 2.3.5 gjelder.
ÅDT > 4000, L > 1000 m	Minimumskrav til nødutgang i tillegg til portaler, hvis ikke risikoanalyse peker på andre tiltak, jf. vedlegg 1 pkt. 2.3.6 og § 8.
ÅDT > 8000, L > 1000 m	Minimumskrav til nødutgang i tillegg til portaler, jf. vedlegg 1 pkt. 2.3.6 og § 8.

Hvis vi ser for oss at tunneler kan skaleres med hensyn til kritikalitet, mener vi det kan det være hensiktsmessig å definere et utelukkelseskriterium for tilfluktsrom, både for lav og høy kritikalitet:

- Lav kritikalitet: Selvredning skal kunne ivaretas uten nødutganger til det fri eller tilfluktsrom. Tunneler med lengde < 1000 m bør for eksempel være utelukket, da avstand til portal er mindre enn 500 m.
- Høy kritikalitet: Det må bygges nødutganger til det fri for å ivareta selvredning. ÅDT > 8000 er for eksempel et tydelig kriterium i TSF og EU-direktiv for når nødutgang til det fri må kunne forventes.

Betydning av tunnelenes særtrekk

I en SVV-studie² fra 2015 defineres det et utvalg tunneler med særtrekk som tilsier behov for bedre tilrettelegging for selvredning på følgende måte: «ett løps vegtunneler med over 12000 kjøretøykilometer/døgn og lenger enn 3 kilometer og/eller ett løps vegtunneler over 1 km m/stigningsgrad over 5 % og/eller ett løps vegtunneler over 5 km». Videre anbefales det at «For lengre ett løps vegtunneler og vegtunneler med andre spesielle særtrekk, vurderes det å etablere redningsrom.»

Utover tunnelens lengde, ÅDT og stigning, vil vi trekke fram andelen tungtransport i tunnelen og tunnels tilgang på ekstern beredskap ved hendelse. Flere studier peker direkte på undersjøiske tunneler som kritiske. Basert på allerede nevnte kjennetegn, vil typisk undersjøiske tunneler vurderes som kritiske pga både stigning og lengde. Uavhengig av type tunnel kan Tabell 3 være et utgangspunkt for klassifisering av tunnelens prioritet mht behov for tilfluktsrom.

² Sjøvik & Henning (2015). Tiltak for å bedre brannsikkerhet i utsatte vegtunneler. Rapport 450, Statens Vegvesen, Veg- og transportavdelingen, Oslo.

Tabell 3. Forslag til grovprioritering av eksisterende ettløpstunneler med hensyn til behov for tilfluktsrom

		L = 1000 - 3000 m		L > 3000 m	
		ÅDT _{tung} < 15 %	ÅDT _{tung} > 15 %	ÅDT _{tung} < 15 %	ÅDT _{tung} > 15 %
ÅDT < 1500	Stigning < 3 %	4	4	4	3
	Stigning 3-5 %	4	3	3	2
	Stigning > 5 %	2	2	2	1
ÅDT 1500-8000	Stigning < 3 %	3	3	3	2
	Stigning 3-5 %	3	2	2	1
	Stigning > 5 %	2	2	1	1

Innad i hver kategori vil følgende trekk bidra til økt kritikalitet og enda høyere prioritering:

- **Ujevn ÅDT:** trafikken kommer i bølger, for eksempel pga ferjesamband i nærheten, betydelig rushtidpeak eller turismepåvirkninger.
- **Del av utfordrende strekning (særtrekk ved atkomstveiene):** tunnelen ligger på en vegstrekning med store høydeforskjeller eller andre utfordrende tunneler.
- **Ankomsttid for redningstjenestene:** lokalt brannvesen har lang innsatstid. Alt over 10 minutter må regnes som utfordrende mht å bidra til selvredning. Over 30 minutter regnes som særdeles utfordrende. Det må være en sammenheng mellom tilfluktsrommets ytelse (brannmotstand, luftmengde etc) og tiden det tar å få fram tilstrekkelige ressurser for redningsinnsats.



Februar 2024
ISSN 2387-6662
Report no. 130, University of Stavanger

University of Stavanger
N-4036 Stavanger
Norway
www.uis.no