

2017:00523 - Åpen

Rapport

Litteraturundersøkelse -Selvredning i vegtunneler

Erfaringer med bruk av redningsrom

Forfattere

Gunnar Deinboll Jenssen

Isabelle Roche Cerasi

Åsa Snillstveit Hoem

Eivind Grøv



Rapport

Litteraturundersøkelse -Selvredning i vegtunneler

Erfaringer med bruk av redningsrom

EMNEORD:
Tunnelsikkerhet
Selvredning
Redningsrom
Atferd
Fullskalaforsøk
Simuleringer
Vegtunnel**VERSION**
4**DATO**
2017-10-20**FORFATTER(E)**
Gunnar Deinboll Jenssen
Isabelle Roche Cerasi
Åsa Snillstveit Hoem**OPPDRAUGSGIVER(E)**
Statens Vegvesen**OPPDRAUGSGIVERS REF.**
Harald Buvik**PROSJEKTNR**
102012115-3**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**
73+ vedlegg**SAMMENDRAG****Selvredning i vegtunneler**

Statens Havarikommisjon for Transport (SHT) har i rapportene etter branner i norske vegtunneler stilt spørsmål ved om forholdene er tilstrekkelig lagt til rette for selvredning

I den forbindelse har SINTEF gjennomført en litteraturundersøkelse om erfaringer med bruk av redningsrom og kunnskap som kan styrke trafikantenes mulighet for selvredning. Det er dokumentert at bruk av redningsrom har økt overlevelsesmulighetene i Oslofjordtunnelen betraktelig ved selvredning til fots. Styrker og svakheter ved de etablerte redningsrommene og ledessystem fram til rommene er avdekket. Det gir grunnlag for design av mer optimale ledessystem og inngangsdører og rednings rom. Den viktige rollen redningsrom kan ha for selvredning i krisesituasjoner er dokumentert innen gruve-industrien og i byggefasen av tunnel der hele 22 personer har reddet livet siste i perioden 2007-2017 ved bruk av redningsrom.

Plassering av redningsrom, antall og kapasitet må dimensjoneres for den enkelte tunnel basert på identifiserte risikoscenarioer og trafikk. Bruk av eksisterende modeller for evakuering kan være svært misvisende. De er ifølge eksperter utgått på dato og ikke egnet til bruk i utsatte norske ett-løps tunneler. De tar blant annet ikke hensyn til ganghastighet i røyk, stigningsgrad eller røykens mulige giftighet. Hvor giftig røyken er vil kunne påvirke når udyktiggjøring inntreffer.

Erfaringer fra brannen i Oslofjordtunnelen, mai 2017 viser at redningsrom også kan ha en viktig funksjon for brannmannskapenes innsats. Både for kommunikasjon i et støyfritt miljø, til å ta seg igjen og til å få nye oksygenflasker uten å begi seg helt ut av tunnelen.

UTARBEIDET AV
Gunnar Deinboll Jenssen

SIGNATUR

KONTROLLERT AV
Trond Foss

SIGNATUR

GODKJENT AV
Terje Reitaas

SIGNATUR

**RAPPORTNR**
2017:00523**ISBN**
978-82-14-06762-0**GRADERING**
Åpen**GRADERING DENNE SIDE**
Åpen

Historikk

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
0,8	2017-09-27	1.Første utkast for intern diskusjon
0,9		2. Oversendt oppdragsgiver for kommentarer
0,95		3. Innarbeidet kommentarer fra oppdragsgiver og Eivind Grøv

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	11
2	Sentrale begreper og definisjoner.....	11
2.1	Selvredningsprinsippet	12
3	Rapportens målsetting.....	15
4	Metode	16
5	Erfaringer med bruk av redningsrom	17
5.1	Generelt	17
5.1.1	Norske branner i utsatte vegtunneler	17
5.1.2	Erfaringer med redningsrom i Oslofjordtunellen	19
5.2	Selvredning i ett løps tunneler.....	23
5.3	Erfaringer fra større branner i utlandet.....	27
5.3.1	Fullskala studier og simuleringer.....	28
5.3.2	Skilt og evakueringssystem.....	29
5.3.3	Synlighet av skilt og ledesystem	30
5.3.4	Oppsummering - Utenlandske tunnelbranner og fullskalaforsøk	34
5.3.5	Jernbane/metro.....	35
5.3.6	Oppsummering (Jernbane /metro)	36
5.4	Redningsrom brukt under bygging av tunneler	36
5.4.1.1	Oppsummering - redningsrom brukt i byggefase.....	39
5.5	Redningsrom brukt ved arbeidsplasser under bakken	39
5.5.1	Bruk av redningsrom innen gruveindustri	40
5.5.1.1	Oppsummering - Gruveindustri.....	41
5.5.2	Bruk av redningsrom i byggverk under bakken	42
5.5.2.1	Sivile og militære anlegg i fjell, under dagen.....	44
5.5.2.2	Forskningssenter i fjell, under dagen	48
5.5.2.3	Oppsummering – Byggverk under bakken	51
5.6	Bruk av redningsrom innen andre sektorer.....	51
5.6.1	offshore oljeindustri	51
5.6.2	Høye bygg	53
5.6.3	Oppsummering- redningsrom brukt innen andre sektorer.....	57
5.7	Systemer for ledning til redningsrom, nødutgang og portal	58
6	Modeller	59

7	Diskusjon	61
7.1	Kunnskap om selvredning fra branner og fullskalaforsøk	62
7.2	Overførbar kunnskap?	63
7.3	Kontinuerlig vegvisning til trygt sted	63
7.4	Utforming av rømningsveg/dør	63
7.5	Geografiske forutsetninger for selvredning og bruk av redningsrom	63
7.6	Ventilasjon, røykskader og selvredning	64
7.7	Utforming av redningsrom.....	65
7.8	Opplæring i selvredning og adferd i tunnel ved kritisk hendelser	65
8	Konklusjoner	66
9	Referanser	69

Forord

Denne rapporten beskriver resultat av en litteraturundersøkelse av selvredning i vegtunneler

Rapporten er basert på søk i internasjonale databaser, egne arkiv, telefonhenvendelser til større entreprenører innen tunnelbygging og leverandører av redningsrom og andre sikkerhetsteknologier for selvredning i tunnel.

Hensikten med denne rapporten er å fremskaffe kunnskap og sammenstille kunnskap som kan styrke trafikantenes mulighet for selvredning i tunnel gjennom effektive tiltak. Litteraturundersøkelsen omfatter erfaringer med bruk av redningsrom innen transportsektoren og sammenlignbare virksomheter.

For transportsektoren er det samlet kunnskap og erfaringer med bruk av redningsrom fra jernbanetunneler, mmetro, vegtunneler og byggefasen av vegtunneler. Bruk av redningsrom innen sammenlignbare virksomheter er avgrenset til bruk av redningsrom eller tilsvarende trygge områder innen gruvedrift, andre underjordiske og arbeidsplasser, offshore industrien og i høye bygg.

Rapporten er utarbeidet av Gunnar Deinboll Jenssen, SINTEF Teknologi og samfunn, avdeling Sikkerhet og mobilitet. Isabelle Roche-Cerasi, Åsa Snillstveit Hoem, fra samme avdeling og Evind Grøv fra SINTEF Byggforsk bidratt med verdifull tekst, innspill og kommentarer undervegs i arbeidet. Trond Foss har kvalitetssikret rapporten.

Trondheim 20 oktober 2019

Terje Reitaas

Forskningsleder

Sammendrag

Nødsituasjoner i tunnel på grunn av kollisjoner, branner, farlige væsker, flyktige gasser, eller terroristvirksomhet kan være spesielt farlig når de forekommer i lange underjordiske eller undersjøiske tunneler. Det lukkede miljøet i tunnel kan konsentrere varme, røyk eller andre giftige gasser som følge av hendelser. I en ett løps tunnel med begrenset kjørebredde betyr det at selv et delvis blokkert kjørefelt eller brann kan fange kjøretøy og hindre tilgang for redningsmannskaper. I tett røyk er det vanskelig å snu i en smal tunnel. Kjøretøy kolliderer med tunnelveggen, med hverandre eller andre objekter. Som et resultat er evakuering til fots mot utgang, nødutganger redningsrom eller andre trygge områder ofte eneste alternativ.

Denne litteraturundersøkelsen søker å fremskaffe kunnskap og sammenstille kunnskap som kan styrke trafikantenes mulighet for selvredning i utsatte ett løps vegtunneler. Studiens fire hovedmål var å:

1. Redegjøre for erfaringer med redningsrom innen transportsektoren og andre sammenlignbare virksomheter
2. Redegjøre for geometriske og atferdspsykologiske forutsetninger for at slike rom tas i bruk
3. Redegjøre for hvilke krav som bør stilles til plassering, utforming og utrustning av redningsrom
4. Redegjøre for aktuelle tiltak og systemer for ledning mot portaler, rømningsveger og redningsrom

Litteraturundersøkelsen omfatter erfaringer med bruk av redningsrom innen vegtunneler jernbane, metro, byggefasen av tunneler og underjordiske anlegg, gruveindustrien, og sammenlignbare virksomheter der veien ut eller til trygt område er lang som i offshore oljeinstallasjoner og høye bygg.

Erfaring og kunnskap er hovedsakelig basert på kunnskap fra faktiske hendelser, fullskalaforsøk eller simuleringer.

I kjølvannet av en rekke større branner i norske lange og undersjøiske ett løps tunneller har Havarikommisjonen (SHT), Vegtilsynet og Riksrevisjonen etterlyst tiltak som kan øke sikkerheten og legge forholdene til rette for effektiv selvredning til et trygt sted.

Trygge områder er redningsalternativ som tillater evakuerende å finne beskyttelse inntil en krise-situasjon er over eller redningstjenester kan evakuere dem. Denne typen trygge områder benyttes hovedsakelig i gruver og på byggeplasser under jorden, i byggefasen av tunneler, og også i ferdige underjordiske anlegg som et supplement til selvredning. Strategier om bruk av trygge områder i høye bygg, og i form av redningskapsler offshore har etter hvert også fått godt fotfeste.

Bruk av redningsrom eller lignende er hjemlet i nasjonale og internasjonale lover og retningslinjer for:

- Byggefasen av tunneler
- Gruveindustrien
- Underjordiske anlegg (sivile, og militære)
- Offshore oljeinstallasjoner
- Høye bygg

Krav og retningslinjer kan variere fra land til land og redningsrom kan enten ha faste plasseringer eller opptre i form av et mobilt redningsrom.

Redningsrom er i dag ikke tillatt i norske vegtunneler i henhold til tunnelforskriften. Det er i tråd med EU sine retningslinjer for sikkerhet i tunnel som heller ikke tillater bruk av redningsrom. Det er primært to årsaker til at redningsrom ikke er tillatt i EU og i de norske forskriftene. To trafikater omkom i et redningsrom under brannen i Mont Blanc tunnelen 1999 og i henhold til rapport fra etterundersøkelser vil trafikanter ikke søke nødutganger eller redningsrom hvis ikke de er ledsaget av personell. Grunnen til at to trafikanter omkom i Mont Blanc brannen var at redningsrommene ikke var dimensjonert for den virkelige

brannbelastningen de var utsatt for, men en langt mindre brann med 2 timers varighet og temperaturer kun inntil 800 grader. I stedet for å oppjustere kravene til redningsrom, ble det innført forbud mot bruk av dem.

Litteratursøket for foreliggende rapport viser midlertid at mange personer reddet livet i Mont Blanc tunnelen ved bruk av redningsrom lenger unna brannen. Alle disse, inklusive de to som omkom, fant fram til redningsrom. Norske tunnelbranner viser at trafikanter som rømmer til fots famler seg fram langs tunnelveggen og søker inn i rom de finner. To personer fant fram til og reddet sannsynligvis livet ved bruk av redningsrom ved brann i Oslofjordtunnelen mai 2017.

Hverken i Mont Blanc tunnelen eller i Oslofjordtunnelen ble folk ledsaget til redningsrom av personell. Dette viser at konklusjonene som ble trukket i etterkant av tunnelbrannen i Mont Blanc er misvisende. Utfordringen synes større mht. å få folk til å skjønne alvoret og forlate bilen enn til å søke etter et trygt sted når de først er ute av bilen.

Å gi støtte til denne søkeprosessen ved utforming av gode ledesystem som også fungerer i tett røyk er likevel viktig slik at folk raskest mulig når et trygt sted, uten nødvendigvis å finne veien helt ut. Både profesjonelle brannmenn og vanlige sindige trafikanter mister lett retningsansens og føling med om de går opp eller ned i en stresset situasjon, slik det er dokumentert gjennom intervju av trafikanter og redningsmannskaper som var fanget i røyken under brann i Oslofjordtunnelen 2011 og Gudvangatunnelen 2013.

Litteraturen gir indikasjoner om at meldinger via ulike informasjonskanaler, radio, mobiltelefon, skilt, dynamiske ledelys, godt merkede dører kan være en god støtte til selvredning. Likevel er det ikke sikkert det er tilstrekkelig i tett røyk. Når visuelle holdepunkter er vanskelig å finne i røyken, kan hørbare meldinger i bilen, tunnelrommet, og akustiske kallesignal som leder trafikanten til nødutganger og redningsrom være et godt supplement.

Trafikantene i Gudvangatunnelen famlet seg fram i en gruslagt grøft inntil tunnelveggen og kunne knapt se en håndslengde framfor seg. I en slik situasjon er det viktig at tunnelgulvet er plant og lett å gå på, at det ikke stikker ut skilt og andre installasjoner i hodehøyde som de kan skade seg på og en håndlist som de kan støtte seg til, en følbar rettesnor mot et trygt sted. Slike kombinasjoner av tiltak som tar hensyn til at vi kan orientere oss ved hjelp av flere sanser er ennå ikke utprøvd for bruk i utsatte norske ett løps vegtunneler, til støtte for selvredning.

Det er dokumentert at bruk av redningsrom har økt overlevelsesmulighetene i Oslofjordtunnelen betraktelig ved selvredning til fots. Styrker og svakheter ved de etablerte redningsrommene og ledesystem fram til rommene er avdekket. Det gir grunnlag for design av mer optimale ledesystem og inngangsdører og redningsrom. Den viktige rollen redningsrom kan ha for selvredning i krisesituasjoner er dokumentert innen gruve-industrien og i byggefasen av tunnel der hele 22 personer har reddet livet i perioden 2007-2017 ved bruk av redningsrom.

Plassering av redningsrom, antall og kapasitet må dimensjoneres for den enkelte tunnel basert på identifiserte risikoscenarioer og trafikk. Bruk av eksisterende modeller for evakuering kan være svært misvisende. De er ifølge eksperter utgått på dato og ikke egnet til bruk i utsatte norske ett-løps tunneler. De tar blant annet ikke hensyn til ganghastighet i røyk, stigningsgrad eller røykens mulige giftighet. Hvor giftig røyken er vil kunne påvirke når udyktiggjøring inntreffer.

Erfaringer fra brannen i Oslofjordtunnelen, mai 2017, viser at redningsrom også kan ha en viktig funksjon for brannmannskapenes innsats. Både for kommunikasjon i et støyfritt miljø, til å ta seg igjen og til å få nye oksygenflasker uten å begi seg helt ut av tunnelen.

Avslutningsvis er behov for videre forskning er identifisert.

Summary

Emergency situations in tunnels due to collisions, fires, hazardous liquids, volatile gases, or terrorist activities may be especially dangerous when occurring in long underground or subsea tunnels. The closed environment in the tunnel can concentrate heat, smoke or other toxic gases resulting from events. In single tube tunnels with limited lane width, it means that even a partially blocked lane or fire can potentially trap vehicles and prevent access for rescue personnel. In dense smoke, it is difficult to turn in a narrow tunnel. Vehicles collide with the tunnel wall, with each other or other objects. As a result, evacuation on foot to exits, rescue rooms or other safe areas is often the only alternative.

This literature survey seeks to acquire knowledge and compile knowledge that can enhance self-rescue for persons in vulnerable bi-directional single tube road tunnels. The four main objectives of the study were to account for:

1. Experiences with rescue rooms in the transport sector and other comparable businesses
2. Geometric, behavioural and psychological requirements for using such rooms
3. Requirements for the location, design and equipment of rescue rooms
4. Potential measures and systems for emergency exit, wayfinding and guidance to portals, escape routes and rescue rooms

The literature survey includes experiences with the use of rescue rooms in road tunnels rail, metro, construction phase of tunnels and underground workplace facilities, mining industry, and comparable businesses where distance to safe area is long, as in offshore oil installations and high buildings. Experience and knowledge are mainly based on knowledge of actual fire incidents, full scale tests or simulations.

In the wake of a series of six major fires in Norwegian long underground and subsea tunnels bi-directional tunnels, the Accident Investigation Board of Norway (AIBN), Road Inspectorate (Vegtilsynet) and the Norwegian National Audit (Riksrevisjonen) have called for measures that can increase safety and provide conditions for efficient self-rescue to safe areas in road tunnels. Safe areas are rescue options that allow evacuees to find protection until a crisis situation is over or rescue services can evacuate them. These types of safe areas are used mainly in mines and underground construction sites, in the construction phase of tunnels, and also in finished underground facilities as a supplement to self-rescue. Strategies for the use of safe areas in high-rise buildings, and in the form of rescue capsules offshore have gradually become well accepted solutions.

Use of rescue rooms or similar facilities is regulated by national and international laws and guidelines for:

- Construction phase of tunnels
- Use in the mining industry
- Underground work facilities (civilian and military)
- Offshore oil installations
- High Rise buildings

Requirements and guidelines may vary from country to country and rescue rooms may either have fixed placements or be mobile installations. Rescue rooms are currently not allowed according to Norwegian tunnel regulations. This is in line with the EU's tunnel safety directive, which does not allow the use of rescue rooms. There are primarily two reasons why rescue rooms are not allowed in the EU and in the Norwegian regulations. Two people died in a rescue room under the Mont Blanc tunnel in 1999, and according to a post-fire report, - road users will not seek emergency exits or rescue rooms unless they are accompanied by personnel. The reason two people died in the Mont Blanc fire were that the rescue rooms were not dimensioned for the fire load they were exposed to, but a far lesser fire load with max. 2 hours

duration and temperatures only up to 800 degrees. Instead of upgrading the rescue room requirements, a ban was imposed on the use of them in road tunnels.

The literature survey for the present report shows that many people saved their life in the Mont Blanc tunnel by use of rescue rooms further away from the fire. All of these road users, including the two people who died, found their way into rescue room by themselves without assistance. Experience from recent Norwegian tunnel fires show that road users escape on foot, stumbling along the tunnel wall and search into rooms they find (even into phone booths or behind the tunnel lining). Three people also found their way into a phone booth in the Tauern incident and were later rescued. Two truck drivers found their way into a rescue room and probably saved their lives by using the rescue room during the Oslofjord tunnel fire , May 2017.

Neither in the Mont Blanc tunnel nor in the Oslofjord tunnel, were people escorted by personnel to rescue rooms. They searched for them and made way into them by themselves. This shows that the conclusions drawn after the tunnel fire in Mont Blanc are misleading. The challenge seems to be greater in terms of making people understand the severity of the situation and leave the car than to search for a safe place when they are out of the car.

Providing support for this search process by designing emergency exit signs and systems which also function well in dense smoke is imperative for efficient egress to a safe place. Both professional firefighters and ordinary sensible road users easily lose their sense of direction when stressed. They even do not know whether they walk up or down in subsea tunnels with high gradient 7%), as documented through interview of road users and rescue personnel caught in the smoke during the Oslofjord tunnel fire 2011 and the Gudvanga tunnel fire 2013.

The literature indicates that messages via different information channels, radio, mobile phone, signage, dynamic led light, well-marked doors can be a good support for self-rescue. Nevertheless, it may not be sufficient in dense smoke. When visual cues are obscured and hard to find, audible in-car messages, over loudspeakers in the tunnel, and acoustic beacons that lead the people to emergency exits and rescue rooms can be a good supplement.

In the Gudvanga tunnel fire 2013 people fumbled their way in a gravel ditch by the tunnel wall, barely seeing more than an arm's length ahead. For safe and efficient egress it is important that the tunnel floor is flat and easy to walk on, that there are no signs or other obstacles that they can hit their head on. Likewise, a tactile guidance by an internally lit handrail may ease self-rescue. Such combinations of measures which take into account the fact that we can orientate ourselves with multiple senses have not yet been tested for use in Norwegian bi-directional road tunnels, as support to wayfinding and self-rescue.

It is documented that use of rescue rooms in the Oslofjord tunnel fire May 2017 may have saved lives. Good and bad design aspects of the established rescue rooms and wayfinding system has been uncovered. It provides input to designing of more optimal wayfinding systems, rescue rooms and entrance to them. The important role rescue rooms have for self-rescue is confirmed and documented in the mining industry and in the construction phase of road tunnels where 22 people have saved their lives by use of rescue rooms in the period 2007-2017.

Location of rescue rooms, number of rooms and capacity must be dimensioned for individually for each tunnel based on identified risk scenarios traffic type and density. Using existing egress models can be very misleading. According to experts, they are outdated and not suitable for use in long Norwegian bi-directional tunnels. Among other things, they do not consider realistic walking speed in smoke, gradient or new knowledge about the possible toxicity of smoke.

Experiences from the Oslofjord tunnel fire in May 2017 show that rescue rooms also can have an important function for firefighter efforts. Both for communication in a otherwise noisy tunnel environment, to recover and to get new oxygen bottles without traveling a long way out of the tunnel.

Finally, the need for further research is identified.

1 Innledning

Denne rapporten beskriver datafangsten fra en litteraturundersøkelse og -studie av forståelsen og gjennomføring av selvredning i vegtunneler. Fokus er spesielt rettet mot å beskrive bruk av redningsrom. Erfaringer fra faktiske hendelser, fullskalaforsøk, simuleringer og forutsetninger for at redningsrom tas i bruk innen transportsektoren er tatt med og vi har også sett på erfaringer fra andre sammenlignbare virksomheter. Utredningen vil bidra til å dokumentere hvorvidt sikkerheten er ivaretatt ved bruk av denne typen tiltak. Undersøkelsen er en del av Vegdirektoratets arbeid med trafiksikkerhet i tunneler. Hovedmål for deres arbeid er å finne løsninger som styrker trafikantenes mulighet for selvredning gjennom effektive tiltak.

Oppgaven SINTEF er gitt går ut på å forberede og gjennomføre en litteraturinnsamling, og en etterfølgende gjennomgang, evaluering og sammenstilling av de funn innsamlingen gir. Datainnsamlingen skal gjøres ved sammenstilling av SINTEF sine egne prosjekterfaringer, søk i vitenskapelige databaser, relevant faglitteratur og forespørsler blant relevante kilder i SINTEF sitt nasjonale og internasjonale nettverk. Det vil også bli samlet inn erfaringer og kunnskap om systemer for ledning mot redningsrom, portaler og rømmingsveger, for å avdekke effekter på selvredning.

2 Sentrale begreper og definisjoner

Det brukes mange ulike begrep for å beskrive trygge områder eller redningsrom brukt til selvredning i tunneler, gruver og andre anlegg over og under bakken. Definisjon og bruk av de mest sentrale begrepene er forklart i tabell 1.

Tabell 1. sentrale begrep og definisjoner

Norsk begrep Synonym i parentes	Engelsk begrep Synonym i parentes	Norsk definisjon
Selvredning (Selvberging)	<i>Self rescue</i>	Vi bruker her konsekvent begrepet <i>selvredning</i> . Selvredning innebærer i vegtunnel at trafikantene skal finne fram til et trygt sted eller ta seg ut, enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy. I prinsippet er det å stoppe utenfor tunnel, når den er stengt med signal og/eller bom, også en form for selvredning, men handler mer om å respektere signal enn selvredning. Redning kommer av der norrøne <i>hjarga</i> eller å berge eller gammel høytysk "hjelp, redning, beskyttelse". Begrepene selvredning og selvberging er synonymer, men <i>selvberging</i> brukes mest innen jordbruk og gir assosiasjoner til det.
Evakuering (Rømning)	<i>Evacuation</i> (<i>Emergency Escape</i> <i>Emergency Egress</i>)	Flytting av personer fra et farlig område til et trygt område. I tekniske sammenhenger brukes begrepet om personers mulighet til å flykte fra en nødsituasjon i en bygning eller lignende. I det internasjonale regelverket for bygninger (IBC) refererer <i>Emergency evacuation</i> og <i>Emergency egress</i> til forflytning ut av et bygg. De fleste land har lovgiving som regulerer krav om rømningssikkerhet. Dette innbefatter i all hovedsak rømmingsveier til trygt sted i det fri i dagen.
Trygt område (Trygg etasje, Redningsetasje)	<i>Safe haven</i> (<i>Safe area, Area of refuge, Safety floor</i>)	Et område personer kan søke tilflukt til og finne beskyttelse mot fare. Det engelske begrepet <i>safe haven</i> er opprinnelig brukt om å søke nødhavn (trygg havn). Innen brannsikkerhet i høybygg brukes begrepet om dedikerte redningsetasjer og redningsrom i disse.
Redningsrom	<i>Rescue room</i> (<i>Refuge chamber</i>)	Et rom personer kan søke tilflukt til og finne beskyttelse mot fare. Rommet brukes midlertidig ved krisesituasjoner, inntil faren er over eller en blir reddet ut av redningsmannskap (<i>assistert redning</i>) Redningsrom har en fast og permanent posisjon.

Norsk begrep Synonym i parentes	Engelsk begrep Synonym i parentes	Norsk definisjon
Redningskammer (Tilfluktskammer, Rednings kapsel)	Rescue chamber (Rescue capsule)	Redningskammer er mobile containere i stål. De flyttes i en gruve eller i byggefasen av tunnel ettersom stoffen/arbeidsflaten og oppholdssted for de fleste arbeiderne endrer posisjon Begrepet er mest brukt innen gruveindustrien og i byggefasen av tunnel og andre anlegg under bakken. <i>Redningskapsel</i> brukes mest om midlertidige og mobile redningsrom offshore eller i høybygg.

2.1 Selvredningsprinsippet

Evakuering av tunnel ved brann, eksplosjoner (varm hendelse) eller kollisjon, gasslekkasje o.l. (kald hendelse) har som utgangspunkt prinsippet om selvredning. Selvredningsprinsippet innebærer i vegtunnel at trafikantene skal ta seg ut enten til fots eller ved hjelp av eget kjøretøy (Søvik og Henning 2015). En forutsetning er at de som er involvert i en situasjon som krever selvredning må kjenne til dette prinsippet og den faktiske faren vedkommende befinner seg i.

Selvredningsprinsippet er i samsvar med EU-direktivet og den norske tunnelsikkerhetsforskriften. I tunneler skal det være lagt til rette at folk skal kunne komme seg ut av tunnelen på egen hånd, eller overleve i tunnelen dersom det oppstår en brannsituasjon (Garathun, 2015).

En av de farligste scenariene som kan oppstå i en tunnel er en stor brann (100MW eller større). Ved en slik brann i en tunnel, viser erfaringen at det vanligvis er omtrent 10 minutter tilgjengelig for evakuering før trafikantene er fanget i en kritisk situasjon. I løpet av denne tiden må trafikantene som er berørt, rømme tunnelen til et trygt sted. Tunnelens sikkerhetsutstyr er planlagt med formål om å gjøre selvredning mulig (Kim et al 2007, Buvik 2004, Søvik 2015).

Det er viktig å merke seg at selvredningsprinsippet er generelt akseptert i samfunnet og det gjelder alle byggverk over og under bakken. Spørsmålet som er legitimt å stille er hvorvidt dette prinsippet er allment kjent blant publikum og likeledes om kunnskapen knyttet til hva den enkelte skal gjøre i en selvredning er bekjentgjort i det samme publikummet. En studie omkring opplevd trygghet i tunneler (Vatsvåg 2016) viser at deltakere i fokusgruppen uttrykte bekymring, spesielt for dårlig kunnskap angående sikkerhet i gamle og lange ettløpstunneler. Økt kunnskap om evakuering for ulike tunneltyper ble etterlyst. Dette antyder at myndighetene ikke har informert nok om sikkerhetstiltak og evakueringsatferd i norske tunneler.

Selvredning gjelder som hovedprinsipp i alle norske vegtunneler (Buvik et al., 2012), men er særlig utfordrende i lengre tunneler med ett løp og bratte tunneler med stor stigningsgrad (Søvik & Henning, 2015). Bratte tunneler er kraftig overrepresentert når det gjelder branner fordi stigningsforholdene kan føre til varmgang i motor og bremses særlig i tunge kjøretøy. Det viser seg at 44 % av alle tunnelbranner skjer i de 4 % av tunnelene som har stigningsgrad mer enn 5 %. Dette gjelder 30 undersjøiske og 10 andre tunneler (DSB, 2014).

Ved brann i tunnel må mennesker i utgangspunktet redde seg selv. Å vente på hjelp fra redningsetatene kan bli fatalt ettersom det kan ta tid før redningsetatene kommer fram til brannstedet ved tunnelbranner (Garathun, 2015). I beredskapsplaner for tunnel er første prioritet at brannventilasjonen skal gi støtte for slukking av brannen. Erfaringer fra større branner i vogntog er at de er vanskelige å slukke. I alle de 6 siste brannene med vogntog i norske vegtunneler har det stått i loggen at brannen var slukket på et gitt tidspunkt. Bilder i media av brannobjektene viser imidlertid at i 5 av 6 siste tunnelbrannene er vogntog og last helt utbrent.

Kun ved den siste brannen i Oslofjordtunnelen lykkes det å slukke brannen før vogntog og last var helt utbrent. Spørsmål som er legitimt å stille er hvorvidt:

- a) Prioriteringen til brannvesenet er riktig?
- b) Brannvesenet har riktig utstyr til å håndtere større branner i norske vegtunneler?
- c) Om beredskapsplanene bør endres?

Brannvesenet tilknyttet Oslofjordtunnelen (Follo og Drøbak) har med erfaringer de har fra en rekke branner i vogntog i Oslofjordtunnelen anskaffet en brannbil med CAFTS (Compressed air foam system), 11000 liter vann, 500 liter skum med kanon i fronten og på taket og termisk kamera. Ved brannen i Oslofjordtunnelen juni 2017 greide brannvesenet for første gang å slukke brann i lasten (papir) før den var utbrent. Brann i vogntog kan nå en branneffekt på 100-200MW innen 10-15 minutter og de største brannene (75-200MW) er i praksis svært ofte vanskelig å slukke. Data om innsatstiden til brannvesenet er sparsommelig, men i en gjennomgang av data fra et 20-talls internasjonale tunnelbranner er det bare i ett tilfelle dokumentert at brannvesenet greide å slukke brannen med en innsatstid på 20 minutter (Brandposten 2005, Ingason et al 2005, Hak et al 2010). Tidlig intervensjon i løpet av de første 10 -15 førte minuttene ser ut til å være avgjørende for vellykket slukking. I Oslofjord brukes nå store mengder vann innledningsvis. Vann kjøler ned brannen og brukes i kombinasjon med skum som under trykk trenger inn i materialet slik at det er større mulighet for å slukke brann i lasten. De prioriterer samtidig med slukking, søk etter trafikanter med røykdykkere som kjører inn i røykfylt tunnel med ATV (Larsen 2017). Eksterne redningsmannskaper kan bare i unntakstilfeller komme til unnsetning tidsnok ved en hendelse i en tunnel. Dette må også trafikantene kjenne til og det påhviler et ekstra ansvar på vegmyndighet og redningstjeneste at denne forutsetningen er gjort kjent (Søvik & Henning 2015 SHT 2013). DSB i sine risikobetraktninger om innsatser ved store branner i tunneler (Løfqvist 2012), stiller selv spørsmål om brannvesenet har utstyr som vil kunne bidra til en mer effektiv håndtering av branner i tunnel, om tunnelene er så forskjellige at det skal differensieres, og om det er grunn til å endre konseptet med brannventilasjon og selvredning?

Skal selvredning fungere og trafikantene ha en reell sjanse til å gjennomføre evakuering i røykfylte omgivelser på egen hånd, må tunnelen være konstruert og utstyrt med tekniske installasjoner som vil gi hjelp og støtte til trafikantene i en nødsituasjon. Eksempel på tiltak som vil styrke evnen til selvredning er bruk av automatisk deteksjon av hendelse slik at vi sikrer at vi oppdager brann tidlig i forløpet. Bruk av innsnakk med høyttalere sikrer at trafikantene får tidlig varsling av hendelse og hvilke farer de befinner seg, samt instruksjon om å starte evakuering.

Innsatstiden for redningsetater kan i mange tilfeller være lang. Særlig ved hendelser i lange og bratte ettløpstunneler i avsidesliggende strøk (ofte undersjøiske) der trafikantene ikke kan rømme over i et parallelt røykfritt tunnellop, da mange av disse tunnelene har liten trafikk tetthet og derav kun ett løp. I tunneler i bystrøk og med høy trafikk tetthet er det etter hvert flere og flere tunneler som bygges med to tunnellop og som gir mulighet for evakuering til naboløpet..

Hendelser som utfordrer selvredningsprinsippet er først og fremst de med høy branneffekt og sterk røykutvikling (50 MW branner og høyere). Disse involverer i hovedsak tyngre kjøretøy og når brannene finner sted i lange tunneler som gir lang evakueringstid. Brann i personbil eller i kortere vegtunneler utfordrer prinsippet i mindre grad. Sterk stigning kan vanskeliggjøre evakuering og påvirker derfor muligheten for selvredning.

Det er viktig å ta med seg erfaringer fra virkelige hendelser. Sikkerhetsarbeidet har historisk lagt mer vekt på hvordan trafikanter bør oppføre seg (normativ) enn hvordan trafikanter faktisk oppfører seg ved hendelser i tunnel. Vektlegging av hva trafikanter faktisk vurderer å gjøre og reell atferd ved hendelser kan avdekke forutsetninger for plassering av utstyr og utforming av disse samt ledning av trafikanter enten det er å kjøre ut eller finne veien til nærmeste nødutgang, redningsrom eller portal.

Tunnelsikkerhetsforskriften sier blant annet at:

"Sikkerhetstiltak som skal gjennomføres i en tunnel, skal være basert på en systematisk vurdering av alle sider ved systemet som utgjøres av infrastrukturen, bruken, trafikantene og kjøretøyene"

Dette betyr at tiltak må vurderes basert på hva trafikanter faktisk vurderer og gjør i ulike faser av en hendelse og ikke bare hva de burde gjøre. Sikkerhetsutrustning skal gjøre det lettere å evakuere i røykfull tunnel og lede trafikanter til ønsket atferd. Hvordan tunnelen er utformet og utrustet kan påvirke den reelle muligheten til selvredning. Geografisk avstander, ventilasjon, skilting og ulike ledesystem vil være avgjørende, enten det er å kjøre ut, evakuere til fots eller finne veien til nærmeste nødutgang, redningsrom eller tunnelportal.

Redningsrom er blant annet brukt i gruveindustrien, for arbeidsplasser under bakken, i jernbanetunneler, mm metro anlegg, under byggefasen i vegtunneler og i enkelte operative vegtunneler. I Norge er det foreløpig bare etablert slike rom i Oslofjordtunnelen, som et midlertidig avbøtende tiltak etter en alvorlig brannepisode i 2011. Eventuell bruk av redningsrom forutsetter godkjenning i Samferdselsdepartement og i EFTA's overvåkningsorgan (ESA) ettersom tunnelsikkerhetsforskriften og EU direktivet som kom i 2004 (TEN-T) ikke åpner for dette i dag. Redningsrom er ett av flere tiltak Statens Vegvesen vurderer for å bedre forutsetningene for selvredning. Særlig for utsatte vegtunneler med lav trafikk, der det ikke er aktuelt at et nytt parallelt tunnellop vil bygges ut.

Foreliggende litteraturstudie vil forhåpentligvis bidra til å avdekke og eventuelt dokumentere om sikkerhetskravet er ivarettatt ved bruk redningsrom eller andre tiltak for å bedre selvredning.

Tabell 2 viser en oversikt over fokuserte selvredningstiltak, anvendelsesområder, og en kort beskrivelse.

Tabell 2: Tiltak som er gjenstand for litteraturgjennomgang i prosjektet.

Tiltak	Anvendelse	Beskrivelse
Redningsrom brukt i tunneler	Veg, mm metro og jernbane	Vi har søkt og samlet litteratur og benyttet relevant prosjektarbeid som kilde i innsamling av data fra virkelige hendelser (tunnelbranner), simuleringer og fullskalaforsøk.
Redningsrom brukt under bygging av tunneler	Veg, metro og jernbane	SINTEF har søkt og samlet litteratur om redningsrom brukt i byggefasen av tunnelprosjekt samt tatt direkte kontakt med større utbyggere for å innhente erfaringer
Redningsrom brukt ved arbeidsplasser under bakken	Gruveindustri, laboratorier, kjernekraft, elforsyning, forsvaret,	Erfaringer med forutsetninger for selvredning og bruk av redningsrom ved arbeidsplasser under bakken er nylig innhentet i litteratursøk

Tiltak	Anvendelse	Beskrivelse
		og besøk ved slike anlegg flere steder i Norden USA og Asia. Relevante data fra dette arbeidet inngår i undersøkelsen
Redningsrom brukt innen andre sektorer	Offshore, skyskrapere maritim sektor o.l.	Det er søkt og samlet litteratur om forutsetninger for selvredning og bruk av redningsrom der det har relevans
Systemer for ledning ved hendelser i tunnel	Systemer for ledning til redningsrom	Vi har i tillegg bygget på litteratursøk og erfaringer fra arbeid med forslag til tiltak etter brannene i Oslofjordtunnelen 2011/2017 Gudvangatunnelen 2013 og i forbindelse med fullskalaforsøk med trafikanter i røyk med ulike skilt og ledningssystem for evakuering i tunnel på oppdrag for amerikanske vegmyndigheter (NCHRP studie)
	Systemer for ledning til nødutgang og portal	

3 Rapportens målsetting

Målet med foreliggende rapport er å sammenstille kunnskap som kan øke forståelsen av hvordan selvredning håndteres og redningsrom kan anvendes innen ulike transportområder og lignende anvendelsesområder. Det legges vekt på å identifisere hvilke forutsetninger det er for bruk av redningsrom og lignende tiltak samt for rømning ut eller til sikker plass. Fokus er her på geometriske og designmessige forutsetninger for redningsrom og hvilke krav som må stilles til plassering, utforming og utrustning. Litteraturundersøkelsen prioriterer sammenstilling av litteratur og erfaringer fra faktisk bruk av redningsrom og/eller hendelser fullskala forsøk eller simuleringer.

Undersøkelsen er en del av Vegdirektoratets arbeid med trafiksikkerhet i tunneler. Det overordnede målet med Vegdirektoratets prosjekt på selvredning i vegtunneler er å øke sikkerheten ved uønskede hendelser i tunnel. Statens vegvesen Region midt har tidligere fått utført en litteraturgjennomgang på *"Utrymning och tekniska installasjoner i vegtunnlar med dubbelriktad trafik"* (Frantzich, Nilsson og Rød, 2016). Denne rapporten gir en god innføring omkring teorier for atferd, risiko og krisekommunikasjon. Vi vil ikke gå så mye inn på disse aspektene i denne rapporten. Rapporten gir også en god oversikt over teknologi og installasjoner som kan bedre tunnelsikkerhet og gi en effektiv evakuering. En del av disse teknologien og tekniske installasjoner er relevant også for tunnelsikkerhet i utsatte ett løps tunneler, andre ikke. SINTEF vil legge til grunn dette arbeidet og utvide kunnskapen eller tette hull i kunnskapen som den nevnte rapporten ikke dekker ved å bruke vår egen erfaring og kompetanse på dette feltet.

Fokuset i litteraturstudien er å beskrive bruk av redningsrom innen transportsektoren og andre sammenlignbare virksomheter:

1. Basert på erfaringer fra faktiske hendelser, fullskalaforsøk, og simuleringer
2. Forutsetninger for at de tas i bruk (menneskelige forutsetninger, atferd, skilt, ledningssystem osv.)

Studien vil bidra til å avdekke og dokumentere om sikkerheten er ivaretatt ved bruk av denne typen tiltak. Hovedmål her er å finne løsninger som styrker trafikantenes mulighet for selvredning gjennom effektive

tiltak. Denne målsetningen kan nås med økt kunnskap om hvordan selvredning håndteres innen transportområdet og lignende anvendelser og på konkrete erfaringer med atferd ved hendelser i tunnel, hendelser der det er redningsrom tilgjengelig og tilhørende selvredningstiltak og atferdspsykologiske forutsetninger for at redningsrom tas i bruk. Eksempelvis plassering, avstand mellom redningsrom, ledning til rom, utforming og utrustning av inngangen til rommet og selve redningsrommet.

4 Metode

Metodikken i vårt oppdrag har gått ut på å forberede og gjennomføre en litteraturinnsamling, og en etterfølgende gjennomgang, evaluering og sammenstilling av funn. Datainnsamlingen er gjennomført ved en sammenstilling av relevant faglitteratur, SINTEF sine egne prosjekterfaringer, søk i vitenskapelige databaser og forespørsler blant relevante kilder tunnelbransjen (selvredning i byggefasen) og i SINTEF sitt nasjonale og internasjonale nettverk. Det er også blitt samlet inn erfaringer og kunnskap om systemer for ledning mot redningsrom portaler og rømmingsveger, for å avdekke effekter på gjennomføringen av selvredning. I gjennomgang av litteratur og erfaringer fra faktiske hendelser, fullskalaforsøk og simuleringer er det søkt å avdekke om

funn og erfaringer er:

- Nedfelt i retningslinjer på området
- Kulturspesifikke eller allmenngyldige
- Overførbare til bruk i norske tunneler
- Valide for reelle anvendelser i utsatte norske tunneler

Arbeidet med datainnsamlingen og litteraturinnsamlingen er utført ved søk i en rekke internasjonale databaser, med relevante nøkkelord.

Beskrivelsen av dagens situasjon vil bestå av en kartlegging innen transportområdet, gruveindustrien, arbeidsplasser under bakken, og under byggefasen av tunneler innen veg, jernbane og metro samt erfaringer fra relevante SINTEF prosjekter. Vi kjenner situasjonen innen gruveindustrien godt både nasjonalt og internasjonalt. Blant annet fra arbeid med risikoanalyser og tiltak for chilenske myndigheter etter redningsaksjonen av gruvearbeidere i Chile (Jenssen 2011) og arbeid for norske aktører.

Litteraturinnsamlingen består av følgende datakilder:

- Søk i nasjonale, nordiske og internasjonale databaser med utvalgte nøkkelord
 - Emneområder for søk vil være vegtunneler, jernbanetunneler, metro system, gruveindustri, byggefasen av tunnelprosjekt eller andre bygg under bakken, arbeidsplasser under bakken og andre relevante anvendelsesområder (maritimt, militært o.l for selvredning, redningsrom og ledningssystemer.
- Relevante SINTEF prosjekter
 - Uptun "Human respons", NCHRP "Emergency exit signs and systems", SHT -Intervju av trafikanter fanget i røyk, VD -Strategi, Singapore UG Science City, Rogfast, Ferhman Belt med mere (omtalt i CV for nøkkelpersoner og referanseprosjekt tabell 3)
- Andre relevante kilder
 - Relevante publikasjoner fra TØI på hendelser og ulykker i tunnel (eks. ulykker og hendelser i tunnel)

- Relevante publikasjoner fra Universitetet i Lund (eks. selvredning og erfaringer med redningsrom i forskningssenteret CERN)
- Relevante NORDFOU publikasjoner (eks. evakuering i vegtunneler)
- Relevante PIARC rapporter (f.eks. PIARC 2008: R17 Human factors and road tunnel safety regarding users)
- Relevante rapporter fra Statens Vegvesen, Statens Havarikommisjon (SHT), Vegtilsynet og Riksrevisjonen

5 Erfaringer med bruk av redningsrom

5.1 Generelt

Litteraturstudien viser at en form for redningsrom brukes for å understøtte selvredning på en rekke områder. Felles for disse redningsrommene er at de beskytter aktørene ved brann, gasslekkasje, eksplosjon eller andre kritiske hendelser. Vi har søkt og samlet litteratur og benyttet relevant prosjektarbeid som kilde i innsamling av data fra virkelige hendelser (tunnelbranner), simuleringer og fullskalaforsøk.

5.1.1 Norske branner i utsatte vegtunneler

Norge har om lag 1.130 vegtunneler og vi bygger årlig en rekke nye tunneler. Det er i dag 50-60 vegtunneler under bygging og 150-200 tunneler er under planlegging. Tunneler binder landet sammen, kutter reisetid og det er viktig både transportpolitisk og for et bærekraftig næringsliv. Hvert år transporteres om lag 270 mill. tonn på norske vegger. Lastebilens fleksibilitet favoriserer vegtransport. Raske leveranser ned til kontinentet utvider markedet for eksport av fersk fisk. Og oljeindustri m.m. krever tilførsel av gods fra kontinentet. (Brede godsanalyser, NTP 2015). Omtrent halvparten av de eksisterende vegtunnelene i Norge er å finne i region Vest.

Vi har bygget opp stor nasjonal ekspertise og internasjonal anerkjennelse gjennom utstrakt bygging av tunneler for jernbane, vannkraft og vegtransport. Norge ligger på topp internasjonalt i trafikksikkerhet der vi er best i klassen målt i drepte og skadde pr kjørte km. 0-visjonen om null drepte eller hardt skadde i trafikken er grunnleggende for sikkerhetsarbeidet.

Flere alvorlige tunnelulykker i Norge og Europa har medført et nytt sikkerhetsregime både i EU-området og i Norge med økt fokus på samfunnssikkerhet og beredskap generelt. Sett i lys av 0-visjonen og den posisjon Norge har innen trafikksikkerhetstenkning og erfaring med bygging og drift av tunneler, burde langt færre hendelser inntruffet i norske vegtunneler enn de vi har. Enkelte av disse hendelsene, som det fremgår under, har hatt potensial for en storulykke og burde derfor vært unngått.

I perioden 2011 til 2017 har vi hatt seks tunnelbranner med katastrofepotensial (Søvik 2016, SHT , 2013, 2015, 2016a, 2016b, Amundsen 2017).

Figur 1. Seks store og alvorlige tunnelbranner som påvirker sikkerhetsnivået i tunnelene



Oslofjordtunnelen Mars 2011



Oslofjordtunnelen Juni 2011



Gudvangatunnelen August 2013



Skatestraumtunnelen Juli 2015



Gudvangatunnelen August 2015



Oslofjordtunnelen Mai 2017

- Etter brannen i Gudvangatunnelen i 2013, der 67 personer ble fanget i røyken, fikk vegvesenet kraftig kritikk på flere punkter i Havarikommisjonens rapport (SHT 2015).
- En svensk turistbuss tok fyr i samme tunnel i august 2015, uten at tiltak for å bedre selvredning var på plass. Bare noen mindre oppgraderinger var gjennomført (SHT 2016 b).
- Til sammenligning ble det etter brannen i Oslofjordtunnelen der 32 trafikanter ble fanget i røyken etablert redningsrom og dynamisk visuell ledning av trafikanter inn mot redningsrommene. Busspassasjerene ble tilfeldigvis plukket opp i en varebil og kjørt ut i sikkerhet.
- Ved brannen i Skatestraumtunnelen 2015 så vi en langt raskere og mer eksplosjonsartet brannutvikling, enn de man har erfaring med tidligere, med stort influensområde der 18000 liter drivstoff rant nedover den bratte tunnelen. Heldigvis var det få kjøretøy i tunnelen og de som var der greide å evakuere ved å kjøre ut (SHT 2016 a).
- I august 2015 var det igjen en alvorlig brann i Gudvangatunnelen. Denne gangen var det brann i en buss med kinesiske turister. Et scenario med mange gående fanget i røyken i tunnelen, tilsvarende brannen i Gudvangatunnelen i 2013, ble unngått fordi alle 32 busspassasjerene fikk plass i en tom varebil som tilfeldigvis kom til stedet. 19 kjøretøy klarte å snu i tunnelen. Tre kjøretøy med totalt fem personer ble fanget i røyken i tunnelen, men mobilkommunikasjon med nødetatene bidro til at ingen personer forlot sine kjøretøy i tunnelen (SHT, 2015). En utførlig beskrivelse og vurdering av disse brannen er gitt i havarikommisjonens rapporter (SHT, 2013, SHT 2015, SHT 2016a, SHT 2016b) og av vegvesenet (Amundsen 2017).

- Havarikommisjonens undersøkelse av brann i Oslofjordtunnelen 5 mai 2017 er en pågående undersøkelse. Foreløpige funn viser at det er flere likhetstrekk med den store brannen i 2011. Kunnskap om denne brannen gjengitt her er fra Brannvernleder i Statens Vegvesen Region Øst (Larsen 2017)

Etablering av redningsrom ble foreslått som avbøtende tiltak etter hendelser i 2004 og 2011 (Alteren et.al 2004, Skogvang et al 2011)

5.1.2 Erfaringer med redningsrom i Oslofjordtunnelen

Bruk av redningsrom ved brann

2 personer reddet sannsynligvis livet ved bruk av rommene under brannen i vogntog med papir mai 2017 i henhold til Brannvernleder (Larsen, 2017)

Et av de 25 rommene ble brukt ved brannen i Oslofjordtunnelen Mai 2017. Det var to utenlandske vogntogsjåførere som fant veien inn i redningsrom og sannsynligvis reddet livet. De to var sjåførere fra to kjøretøy som kjørte inn etter at tunnelen ble stengt. Sjåførene slapp unna med lettere brannskader i ansiktet. Varmeutviklingen var så sterk at speil og annet plastmateriale på de to vogntogene som sto 200-300m unna brannobjektet smeltet. I alt to vogntog og fem biler kjørte inn etter tunnelen ble stengt. Det siste av disse kjørte inn mens bommen gikk ned.

Vi ser ved de fleste større brannene i Norge de siste fem årene at en del trafikanter kjører inn etter at tunnelen er stengt og også under eller forbi bommen.

Ledesystem

De to trailersjåførene sier i intervju at røyken var så tett at det i praksis var null sikt. De fant likevel fram til redningsrom på grunn av synlige kontinuerlige dynamiske ledelys til redningsrom og til markering av inngangsdør til redningsrom. For en av sjåførene beskrives forholdene for selvredning slik:

Person D: fulgte veggen og ledelyset nedover frem til han kom til de pulserende pilene. Disse hadde han merket seg når han kjørte nedover i tunnelen, og visste at det var en dør der. Han slet med å finne dørhåndtaket på grunn av all røyken.

Det er i tråd med resultatene av en fullskala brannøvelse i Oslofjordtunnelen i 2012 der en buss med ungdommer ble kjørt inn i tunnelen, og tunnelen ble fylt med røyk, for å se om de handlet intuitivt og fant fram til redningsrom ved å følge skilting. Passasjerene på bussen hadde ikke fått noen instruksjoner på forhånd. Øvelsen viste at passasjerene fant fram til redningsrom i øvelsesrøyken. Målinger av siktlengder og tid de brukte på å finne fram ble dessverre ikke gjort.

Ved flere av de større brannene i norske vegtunneler de siste fem årene er det dokumentert at folk som rømmer tunnelen til fots, i stor grad famler seg fram i røyken ved å følge tunnelveggen (SHT 2013, SHT 2015)

Folk som følger tunnelveggen på motsatt side av redningsrom vil sannsynligvis ikke ha mulighet til å finne fram til redningsrom uten kontinuerlig visuell eller akustisk ledning fram mot redningsrom.

Tiltak for å sikre at alle trafikanter som er fanget i røyk ved brann i tunnel finner fram til redningsrom utredes nå av Statens Vegvesen.

Skadene som ble påført de evakuerte (brannskader i ansikt) under evakuering til evakueringsrommet kan tilsi at en avstand på 250m mellom evakueringsrommene i Oslofjordtunnelen er berettiget.

Brannvesenets bruk av redningsrom

Brannvesenet prøvde å bruke redningsrom ved tidskritisk kommunikasjon og for å restituere seg. Nødnettet fungerte imidlertid ikke i rommene. Det at brannvesenet kan bruke rommene for å sende og motta informasjon, vil kunne bidra til forbedret innsats.

En røykdykker har vanligvis kapasitet til ca. 15 min innsats av gangen. Hvis redningsrom kan brukes til å ta seg igjen og skifte oksygenflaske vil verdifull tid bli spart, som ellers vil gå med til transport ut og inn av tunnelen.

Registrerte avvik

VTS fikk melding om at totalt 8 rom var i bruk. De så bare personer i ett rom. Redningsrom kan ha blitt åpnet og brukt midlertidig av brannvesenet. Nødnettet fungerte imidlertid ikke i redningsrom. Brannvesenet har behov for å bruke de til å formidle tidskritisk informasjon ved innsats. Støy fra ventilasjon, pumper og aggregater i tunnelrommet hindrer kommunikasjon

En person fikk i tillegg til skader i ansiktet, brannskader i hånd pga høy temperatur på dørhåndtak- Utskifting av materiale vurderes nå.

Tid til assistert redning

Etter ca. 30 min, når varmen i tunnelrommet tillot det, ble alle 3 assistert ut i fri luft av brannvesenet

Drift og vedlikehold

Pustesystemet: Lekkasje på flaske og feil på ventiler, plomberinger og rust på deler påvist april 2017
Hyppighet på vedlikehold/inspeksjon vurderes.

Kritikken om mangelfulle forutsetninger for selvredning går igjen i alle SHT sine rapporter (SHT, 2013, 2015, 2016a, 2016b) og i kritikk fra Riksrevisjonen, 2014; Vegtilsynet, 2015; forskningsmiljø; Jenssen 2016, Svela, Njå, & Berg, 2016.

Sentralt for den norske filosofien nedfelt i retningslinjer for bygging av vegtunneler (N500) er prinsippet om at krav til tunnelbygging og tunnelsikkerhet skal basere seg på Årsdøgntrafikk (ÅDT) der sikkerhetskravene øker med økende gjennomsnittlig trafikk over året. Den norske filosofien fungerer så lenge trafikken er lav, og risikoen er liten for at mange skal bli involvert i en storbrann. Men de siste tiårene har næringstransporten økt kraftig langs kysten, der det er mange tunneler, og det samme har turisttrafikken. Det er økt andel tunge kjøretøy, busser og økt sommertrafikk som øker risikoen for storbrann med mange drepte og skadde.

Brannårsakene er knyttet til teknisk svikt, varmgang i bremses og motor. Ved fem av de seks brannene har det vært utenlandske kjøretøy og sjåfører involvert. Vegdirektoratet har nylig gjennomgått de større brannene i norske vegtunneler og laget en god oversikt som viser hvordan brannene har oppstått, hvilke konsekvenser de har hatt og hva som er gjort for å redusere faren for tilsvarende branner (Amundsen 2017).

Vegdirektoratet refererer til SHT sine granskningsrapporter der de påpeker:

AIBN is of the opinion that self-rescue conditions have not been present in the case of a number of the fires. Therefore, it is important to discuss what conditions must be in place to allow self-rescue to work. Assisted rescue is a principle that ought to be discussed. In the case of these tunnel fires, how quickly people – both road users and rescue workers – lost their sense of direction in smoke-filled surroundings was also seen. Safe evacuation was then even more demanding a task.

Det tas fram at betingelser og tilstrekkelige forhold for selvredning ikke har vært tilstede i en rekke branner. Viktige forhold som trekkes fram i diskusjonen er:

- Forhold som må være på plass for å hjelpe selvreddende i situasjonen
- Assistert redning
- Hvor vanskelig det er å orientere og finne fram i ved røykfylte omgivelser i slike tunnelbranner, for både trafikanter og redningsarbeidere.

Det er fire sentrale tilrådinger som går igjen i alle SHT sine granskningsrapporter av branner i norske vegtunneler. Det er:

1. Statens Vegvesen må forbedre informasjon til trafikanter i tilfelle brann. Skilting, varsel over radio og tekstmeldinger bør blant annet vurderes.
2. DSB og Statens Vegvesen må revidere strategien for brannslukning, redning og røykkontroll i lange ettløps tunneler, slik at brannventilasjon så langt som mulig ikke kommer i konflikt med muligheten for trafikantenes selvredning.
3. Berørte beredskapstjenester (brannvesenet, helsetjenesten, politiet) må koordinere planene for varslings, hendelsesstedkommando og informasjonsdeling for å sikre tilstrekkelige ressurser.
4. Statens Vegvesen og brannvesenet må samarbeide om oppdatering av beredskapsplaner og hendelses responsplaner for å forbedre muligheten for selvredning

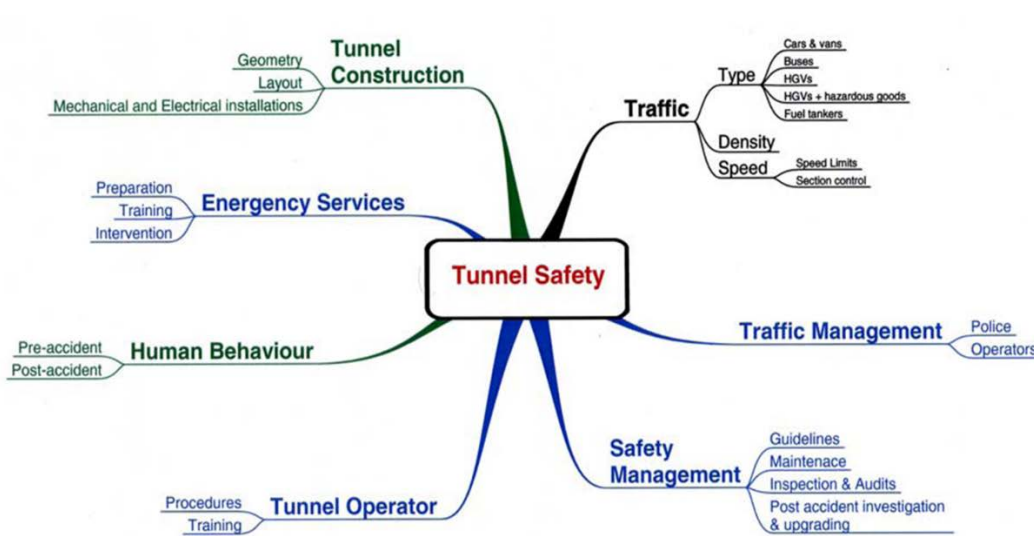
Tyngre kjøretøy er brannobjekt i alle katastrofebranner i vegtunneler internasjonalt og sentralt i tunnelbranner med storulykkes potensial i norske vegtunneler (Martens 2008, Jenssen 2016, Nævestad 2016). – *"Når vi vet at det er brann eller branntilløp i en buss hver tredje dag, og i et vogntog annenhver dag, så kan vi slå fast at vi frem til nå rett og slett har hatt flaks som har unngått en katastrofebrann i norske vegtunneler."* (Brandposten 2004, IF forsikring, 2012).

Rapporten fra Transportøkonomisk institutt fra april 2012 (Nævestad et al 2012), påviser en mye klarere sammenheng mellom bratte tunneler og brannhyppighet enn tidligere antatt. Blant annet så påviser den at de 4 % med tunneler med brattere stigning enn 5 %, har 40 % av brannene. Det gir 18 ganger overhyppighet for brann i bratte tunneler. Videre så påviser den at antallet tunnelbranner i Norge er mye større enn tidligere antatt, med et snitt på 21 branner hvert år, for årene 2008-2011.

En bilbrann (5MW) gir begrenset røyk og strålingsvarme og er stort sett håndterbar i tunnel, de fleste av disse brannene stanses raskt ved bruk av utstyret som er å finne i tunnelene. For dimensjonering av sikkerhetstiltak i tunnel benytter Statens vegvesen prinsippet om trafikkmengde og prinsippet om selvredning ved en eventuell hendelse.

Det kan stilles spørsmål om forutsetningene for selvredning er til stede i alle tunneler. Lange, og dels bratte ettløpstunneler har vi både i små og store kommuner med svært ulike forutsetninger for redningsinnsats fra kvalifiserte redningsetater. Fravær av tiltak som fremmer rask evakuering, eksempelvis ut av tunnel eller til redningskammer, bidrar til å øke risikoen for hardt skadde og/eller drepte kan finne sted. Det savnes tiltak som raskt kan gi et overblikk over situasjonen for de som styrer tunnelen, raskt kan gi varslings til trafikantene og tvinge trafikantene til å stoppe utenfor tunnelmunningene, kjøre utenom en brann eller kollisjonssted, lede trafikantene til nødutganger/redningsrom eller til å be trafikantene om å snu og kjøre ut om de er fanget nedstrøms i røyken. Skrekkscenariet for et evakueringsstilfelle er om brann oppstår i et vogntog i en undersjøisk tunnel samtidig som det er en rekke fullastede busser på vei til eksempelvis Geiranger i samme undersjøiske vegtunnel. Dette kan f.eks. være busser fra turistskip i Ålesund eller Molde og med lokale rutebusser eller utenlandske busser og sjåfører.

Det er viktig å skille mellom trafikksikkerhet og brannsikkerhet. En tunnel kan være trafikksikker, men risikoen ved brann kan være uakseptabel. Store og katastrofale ulykker kan inntreffe, og slike scenarier er man nødt til å vurdere, og så langt det er mulig prøve å forebygge gjennom konstruksjonsmessige-, teknologiske, opplæring/informasjontechniske og utrustnings-/organisatoriske tiltak. Tunnelsikkerhet er et komplekst felt, og er et samspill mellom en rekke ulike disipliner og elementer, som omfatter fysiske forholdene, teknologi overvåking, varsling, beredskap mv., og vil involveres en rekke aktører; se figuren nedenfor.



Figur 2. Viktige element i tunnelsikkerhet, fra Uptun (Kohury et al 2008)

Det er ikke slik at én faktor alene avgjør sikkerheten i veggutunneler. Fagfeltet innebærer mye tverrfaglighet. Samarbeid mellom vegeier, forskningsmiljø, industri og leverandørleddet, og konsulenter er ofte nødvendig for finne gode løsninger som dekker alle de viktige områdene for tunnelsikkerhet og selvredning spesielt.

De viktigste faktorene er:

1. Tunnelens utforming: Den innebygde sikkerheten i selve tunnelutformingen, og heri vil inngå geometri, tverrsnitt, kjørefelt og sideareal samt tekniske installasjoner (vifter, belysning mm). Videre inngår lengde dels ved valg av antall løp, to parallelle løp med ensrettet trafikk eller ett løp med toveis trafikk. Det er med andre ord hovedsakelig trafikkmengde (estimert gjennomsnittlig årsgjennsnitts trafikk – ÅDT 20 år etter tunnelåpning) som avgjør kategorisering i tunnelklasse og tilhørende krav til teknisk standard. Lengden av tunnelen har den betydning at om ÅDT overstiger ÅDT=12000 og tunnelen blir mer enn 2500 m lang så blir løsningen 2 i stedet for 1 løp.

Valg av tverrsnitt har stor betydning for opplevd og virkelig sikkerhet. Et trangt tunnelprofil med krappe kurver, stor stigning/fall (gradient) dårlig belysning og ingen eller begrenset overvåking, vil øke risikoen for trafikkuulykker. Et trangt profil gir lite slingsingsmonn til å rette opp førerfeil eller unngå hindre. Et trangt profil gir økte hastighetsforskjeller og økt sannsynlighet for uventet

atferd. Dårlig belysning, skarpe kurver med mere vil ytterligere øke risiko for trafikkulykker. Størrelsen på tverrprofilet påvirker også røyktetthet og røykspredning.

Statens vegvesen Håndbok N500 er det styrende dokumentet for bestemmelse av tunnelklasse og derigjennom en tunnels utforming og utrustning.

2. Trafikk: Type trafikk (andel tunge kjøretøy, farlig gods, busser, biler) trafikk tetthet og hastighetsnivå, og fartskontroll. Eksempelvis utgjør den økende andelen av trafikk som er relatert til transport utført av andre enn norske speditører, eksempelvis sjåførere/biler fra Øst-Europa med svak motor og sjåfører som mangler erfaring fra lange og bratte tunneler, en spesiell risiko.

3. Sikkerhetsstyring: Vedlikehold av tunnelen og tekniske installasjoner. Inspeksjonsrutiner, utskifting av utstyr og retningslinjer for eventuell oppgradering er viktig for sikkerheten.

4. Trafikkstyring: Tekniske installasjoner for å styre trafikk i og utenfor tunnelen ved hendelser er viktig for både å hindre ulykker og redusere konsekvenser ved hendelser.

5. Overvåkning: Tekniske installasjoner som gjør det mulig for tunnelleier (vegtrafikksentralen) å få tidligst mulig varsel om hendelser i eller like utenfor tunnelen og identifisere fare (posisjon, type, antall kjøretøy osv.) og sette i verk riktige tiltak. Dette er så langt regulert av N500.

6. Trafikantatferd: Tekniske installasjoner som støtter effektiv selvredning og stopper og hindrer at flere trafikanter kjører inn i tunnel/farlig sone. Tekniske installasjoner for å muliggjøre kommunikasjon med trafikanter og tiltak som leder trafikanter ut eller til sikkerhet enten de rømmer tunnelen ved å kjøre ut eller evakuerer til fots

7. Redningstjenester: Teknisk utrustning redningstjenester (helse, brann, politi) disponerer samt nærhet til tunnelen (innsatstid kan redusere konsekvenser av hendelser i tunnel både ved trafikkulykker og brann). Beredskapsplaner, samordning og øvelser er avgjørende for kvaliteten på tjenester

5.2 Selvredning i ett løps tunneler

Selvredning i ett løps vegg-tunneler kan i prinsippet skje på fire måter:

1. Ved å stoppe utenfor stengt tunnel
2. Ved å kjøre forbi brannobjektet
3. Ved å snu og kjøre ut
4. Ved å forlate bilen og gå til nærmeste utgang, nødutgang eller redningsrom

Tabell 2 nedenfor oppsummerer de viktigste tiltakene vi kan gjøre i forhold til menneske, teknologi, styring og konstruksjon av tunneler for å bedre betingelsene for selvredning. Problemet eller utfordringen er å få trafikanter til å forstå alvoret slik at de stopper utenfor tunnelen, vite om de bør kjøre forbi, skjønner at de må snu og kjøre ut fordi det er brann eller evakuere til fots til nærmeste utgang redningsrom eller nødutgang. Dette er tiltak på et overordnet nivå (tabell 2). Litteraturen gir holdepunkter for den detaljerte utformingen og funksjonskrav. Eksempelvis er det påvist at aktivisering av et skilt med teksten "snu og kjør ut" ikke er tilstrekkelig for å endre atferd i ønsket retning. Teksten "Brann / Fire i tillegg, vil øke sannsynligheten for riktig atferd, fordi de skjønner alvoret i situasjonen.

Tabell 3. Tiltak for effektiv selvredning, basert på litteraturgjennomgangen

Selvredningsatferd	Tiltak			
<i>Problem</i>	<i>Menneske</i>	<i>Teknologi</i>	<i>Styring</i>	<i>Konstruksjon</i>
Stoppe utenfor tunnel	Opplæring Informasjon Informasjon på stedet om fare på flere språk	F.eks. AID system, videoovervåkning og sensorer o.l. som raskest mulig detekterer brann og andre farlige hendelser i tunnel med pålitelighet og mest mulig info om brannobjekt og hvor folk er. Nye ITS tjenester og bilen som sensor kan gi rask formidling av kritisk informasjon til VTS (C2I) eller direkte til andre bilister med bil til bil kommunikasjon. Og/eller toveis kommunikasjon via mobiltelefon løsninger osv.	VTS styring av bommer og signal og skilt. Info om hendelse til trafikanter på ulike plattformer	Bedre signal, skilt og raskere bommer eller lignende.
Kjøre forbi brannen	Kunnskap om risiko forbundet med atferds valg	Kjøretøy får i økende grad førerstøttesystem og sensorer i bilen som kan assistere føreren om røyk plutselig hindrer sikt ved forbikjøring. F.eks. radar, lidar og ultralyd sensorer (AEB, ACC, LKS)	Råd/beskjed til trafikanter via ulike teknologier	Tunnel/Veibredde FFFS som demper varmeutvikling
Snu og kjøre ut	Ikke bare info om hva du bør/skal gjøre, men hvorfor Eks <i>Brann/Fire</i>	Skilt, innsnakk, kommunikasjon på flere plattformer f.eks DAB, mobil	Råd/beskjed til trafikanter via ulike teknologier	Snumulighet ved å legge havarilommer på samme sted eller økt veibredde
Evakuere til fots	Alarmer og meldinger i situasjonen som får deg til å forstå alvoret og reagere	Ledesystem (visuelle/akustiske)	Råd/beskjed til trafikanter via ulike teknologier	Redningsrom Nødutgang til det fri

Studier basert på innsamling av erfaringsdata fra VTS viser at ca. 20% av trafikantene kjører inn selv om tunnelen er stengt. Dette er ikke bare et norsk fenomen, men også erfaring fra utenlandske tunneler.

Litteraturstudien gir grunnlag for å finne fram til effektive tiltak som kan hindre at flere kjører inn i tunnel ved brann og andre alvorlige hendelser. Mer inngående redegjørelse for mulighet for å bedre selvredning med anbefalte tiltak er gitt av Statens Vegvesen i rapporten "*Tiltak for å bedre brannsikkerhet i utsatte vegtunneler Sikkerhetsforvaltning av vegtunneler*", Søvik, A. P., & Henning, J. E. (2015).

Erfaring med redningsrom i Oslofjordtunnelen

De 25 redningsrommene etablert i Oslofjordtunnelen etter brannen i 2011 er den første og foreløpig eneste etablering av redningsrom i norsk vegtunnel. Utførlig rapport om erfaringer fra brannen i mai 2017 gir holdepunkt for hvor vellykket tiltaket er (Larsen2017).

Redningsrom er installert hver 250m etter brannen i Oslofjordtunnelen 2011. Erfaringer og karakteristika ved redningsrom brukt i norske vegtunneler er oppsummert nedenfor i tabell 4.

Etablering

Etablering av redningsrom i Oslofjordtunnelen ble foreslått som avbøtende tiltak etter hendelser i 2004 og 2011 (Altern et al 2004, Skogvang et al 2011). Rommene stod klare for bruk i 2012. Redningsrom er kun et midlertidig tiltak som på sikt skal erstattes av en permanent løsning. Bakgrunnen for denne forutsetningen er at evakueringsrom uten tilgang til det fri ikke er tillatt i henhold til tunnelsikkerhetsforskriften.

Forskriften får anvendelse på tunneler med lengde på over 500 meter på det transeuropeiske vegnettet (TERN) og på andre riksveger.

Bruk av redningsrom ved brann

To personer reddet sannsynligvis livet ved bruk av rommene under brannen i vogntog med papir juli 2017. Det var så sterk varmeutvikling at trafikantene 200-400m unna fikk brannskader i ansikt og hender før de nådde inn i redningsrom. Brannskade på hender oppstod når dør til redningsrom ble åpnet (Larsen 2017).

Skadene som ble påført de evakuerte under rømning til evakueringsrommet kan tilsi at en avstand på 250m mellom evakueringsrommene i Oslofjordtunnelen er berettiget.

Det at brannvesenet kan bruke rommene for å sende og motta informasjon, vil bidra til forbedret innsats. En røykdykker har vanligvis kapasitet til ca. 15 min innsats av gangen. Hvis redningsrom kan brukes til å ta seg igjen og skifte oksygenflaske vil verdifull tid bli spart, - tid som ellers vil gå med til transport ut og inn av tunnelen.

VTS fikk melding om at totalt 8 rom var i bruk. De så bare personer i ett rom. 7 av 8 rom kan ha blitt åpnet og brukt midlertidig av brannvesenet. Nødnettet fungerte ikke i redningsrom. Brannvesenet har behov for å bruke de til å formidle tidskritisk informasjon ved innsats. Støy fra ventilasjon, pumper og aggregater i tunnelrommet hindrer kommunikasjon.

En person fikk som nevnt brannskader i hånd pga. høy temperatur på dørhåndtak- Utsifting av materiale vurderes (Larsen 2017).

Størrelse, utforming og utrustning

Rommene er i størrelse 3x3m-8x8m, med plass til mellom 30-50 personer. Rommene er utstyrt med trykkluft som skal være tilstrekkelig for 30-50 personer i inntil 3 timer. Kameraovervåking fra VTS og toveis nødtelefon til VTS sikrer kommunikasjon. Infoskilt om dette er montert på vegg til de evakuerte.

Inn til rommene er det en sluse bestående av to røyktette dører. Hvert rom er utstyrt med belysning, førstehjelpsutstyr, termotepper, øyeskyl og vann. Videre er det kameraovervåking og nødtelefon. Hvert rom har også IR-detektor som tenner lyset når personer entrer rommet, samtidig som gult LED-lys i tunnelrommet utenfor døren til aktuelt rom blir aktivert for å effektivisere redningsinnsatsen til brannvesenet.

Informasjon om brann og ledesystem

Det er montert heltrukket ledelys i hele tunnelens lengde som blir aktivert ved hendelser – dette er for å lede personer ut eller til nærmeste evakueringsrom «Snu og kjør ut» -skilt er etablert ved hver snusje med ca. 1000 meters avstand. Disse kan aktiveres fra Vegtrafikksentralen ved behov.

Drift og vedlikehold

Pustesystemet i redningsrommet er viktig for overlevelse og trygghet. Lekkasje på flasker og feil på ventiler, plomberinger og rust på deler ble påvist april 2017. Feil er rettet. Hyppighet på vedlikehold/inspeksjon vurderes.

Tabell 4. Oppsummering, erfaring med redningsrom i norske vegtunneler

Redningsrom	Anvendt i tunnel	Erfaringer	Utforming og utrustning	Ledesystem	Hjemmel i lover og forskrifter
Oslofjord tunnelen	25 Redningsrom etablert i 2012 Første og foreløpig eneste etablering i norsk vegtunnel	2 personer reddet sannsynligvis livet ved bruk av rommene under brannen i vogntog med papir juli 2017 Skadene som ble påført de evakuerte under rømning til evakueringsrommet kan tilsa at en avstand på 250m mellom evakueringsrommene i Oslofjordtunnelen er berettiget Brannvesenet brukte redningsrom under brannen rommene for å sende og motta informasjon. Det bidrar til forbedret innsats. En røykdykker har vanligvis kapasitet til ca. 15 min innsats av gangen. Hvis redningsrom kan brukes til å ta seg igjen og skifte oksygenflaske vil verdifull tid bli spart, som ellers vil gå med til transport ut og inn av tunnelen TID TIL ASSISTERT REDNING var ca. 30 min Varmen i tunnelrommet tillot da at alle ble assistert ut i fri luft av brannvesenet	STØRRELSE Rommene er i størrelse 3x3m-8x8m, med plass til mellom 30-50 personer TRYKKLUFT Rommene er utstyrt med trykkluft som skal være tilstrekkelig for 30-50 personer i inntil 3 timer. KOMMUNIKASJON Kameraovervåking fra VTS, toveis nødtelefon til VTS. Infoskilt er montert på vegg til de evakuerte. SLUSER Inn til rommene er det en sluse bestående av to røyktette dører. UTSTYR Hvert rom er utstyrt med belysning, førstehjelpsutstyr, termotepper, øyeskyll og vann.	Det er montert heltrukket ledelys i hele tunnelens lengde som blir aktivert ved hendelser – dette er for å lede personer ut eller til nærmeste evakueringsrom «Snu og kjør ut» - skilt er etablert ved hver snunisje med ca. 1000 meters avstand. Disse kan aktiveres fra Vegtrafikkentralen ved behov.	Evakueringsrom er kun et midlertidig tiltak som på sikt skal erstattes av en permanent løsning. Bakgrunnen for denne forutsetningen er at evakueringsrom uten tilgang til det fri ikke er tillatt i henhold til tunnelsikkerhetsforskriften. Forskriften får anvendelse på tunneler med lengde på over 500 meter på det transeuropeiske vegnettet (TERN) og på andre riksveger.

Forskrifter og retningslinjer på området

Redningsrom uten tilgang til det fri ikke er tillatt i henhold til tunnelsikkerhetsforskriften.

Forskriften får anvendelse på tunneler med lengde på over 500 meter på det transeuropeiske vegnettet (TERN) og på andre riksveger. Tunnelsikkerhetsforskriften er i tråd med krav i EU direktivet for minimum sikkerhetskrav til tunneler på TERN vegnettet. Norge står i prinsippet fritt til å bruke redningsrom i tunneler på riksvegnettet, men har her valgt samordnede retningslinjer på begge typer veg. Tunnelforskriften er i samsvar med EU sine gjeldende retningslinjer og forskrifter for sikkerhet i tunnel.

5.3 Erfaringer fra større branner i utlandet

En gjennomgang av 26 tunnelbranner (Fridolf, Nilsson og Franzich, 2013) som skjedde i perioden 1970 til 2003 viser en del fellestrekk ved atferd og responsen til trafikanter. Observasjoner fra disse hendelsene inkluderte følgende:

- I en nødsituasjon har folk en tendens til å vente på informasjon eller instruksjon snarere enn å oppsøke det.
- Bilister kjenner ofte ikke til at de er i fare. På åpen veg er saktegående kø eller trafikkstans ved en bilbrann vanligvis ikke en nødsituasjon for andre kjøretøy på vegen; Trafikanter uten tidligere opplæring/utdanning om tunnelbranner og faremoment ved brann i tunnel vil ikke gjenkjenne faresignal på en krisesituasjon før den kommuniseres med kunngjøringer (innsnakk o.l.), skilt, fritekst tavler eller andre signaler.
- Trafikanter vil nødig forlate sine kjøretøy og personlige eiendeler.
- Utgangen som folk med størst sannsynlighet vil forsøke å nå er hovedportalen, det vil si inngangen der de kjørte inn i tunnelen. Nødutganger kan bli oversett eller ignorert til fordel for den mer kjente tunnelportalen.
- Folk har en tendens til å overvurdere hvor lang tid de har til å evakuere i løpet av en brann (Shie Waterschoot and Bekkering 2008).
- Flere av disse observasjonene ble illustrert ved katastrofebrannene i Mont Blanc (Frankrike-Italia) og Tauern (Østerrike) tunnelbrann i 1999 og tunnelbrann i St. Gotthard (Sveits) i

Ved brannen i Mont Blanc tunnelen, som startet da en lastebil med mel og margarin tok fyr inne i den 7 kilometer lange tunnelen, resulterte det i en 53-timers brann som ødela 36 biler. 15 av disse var lastebiler og vogntog. Av de 39 menneskene som døde i brannen, ble 29 funnet inne i kjøretøyene sine; andre forsøkte å forlate kjøretøy, men for sent for å unnslippe brann og røykspredning, eller de flyktet til redningsrom i tunnelen. Flere berget livet i disse redningsromme, mens to omkom i et slikt rom, nær brannen, som til slutt sviktet på grunn av brannens varme og varighet. I ettertid viser det seg at redningsrommene ikke var dimensjonert for den varmeutvikling og varighet som kan oppstå ved slike branner. Det bekreftes at annenhver havarinisje var utstyrt med et redningsrom (safe area). Redningsrommene hadde frisk luft og var designet for å beskytte folk mot en brann i to timer. I en etterundersøkelse konkluderer Duffé og Marec (1999) at disse rommene reddet livet til mange mennesker som forsøkte å evakuere tunnelen. Men redningsrommene synes å ha vært noe vanskelig å finne for noen trafikanter.

Brannen i Tauern-tunnelen, var resultatet av en kjøretøykollisjon som i sin tur fikk en eksplosiv utvikling da en lastebil med spraybokser og maling tok fyr. Åtte personer døde i den innledende kollisjonen og fire andre i brannen som fulgte. Tre søkte in i en telefonkiosk og ble senere reddet ut derfra. Tunnelbrannen i St. Gotthard skyldtes også en kjøretøykollisjon inne i tunnelen. Den resulterte i 11 dødsfall. Igjen var det dødsfall blant noen som kanskje hadde mulighet til å unnslippe før brannen spredte seg. I alle tre tilfeller ble ikke alvoret i situasjonen umiddelbart forstått av andre sjåfører i tunnelen, særlig de som var lengre fra den første ulykken/brannen og ikke kunne se hva som hadde skjedd. Avgjørende rømningstid gikk tapt (Jenssen 2007, Eder et al 2013, OECD 2006).

5.3.1 Fullskala studier og simuleringer

I en kjøresimulering utført av den nederlandske organisasjonen for anvendt vitenskapelig forskning (TNO), observerte man reaksjonene fra sjåførene da de ble konfrontert med en trafikal kødannelse i tunnel, etterfulgt av røyk som nærmer seg. Bilistene i studien ble gitt en av tre forskjellige typer informasjon:

- Bilister i situasjon 1 ble overhodet ikke gitt noen informasjon om hvordan man skal reagere på den situasjonen de opplevde.
- Bilister i situasjon 2 ble gitt en brosjyre som inneholdt informasjon om sikker oppførsel i tunneler ved brann før simuleringen startet.
- Bilister i situasjon 3 ble gitt samme informative brosjyre før simuleringen og hørte også to meldinger fra en virtuell tunneloperatør under simuleringen. Den første av disse meldingene ("Slå av motoren") ble spilt av 2,5 minutter etter den simulerte trafikkulykken, som oppstod 1 minutt før røyk dukket opp i tunnelen. Den andre meldingen ("Gå til nødutgangene") ble avspilt 1,5 minutter etter den første meldingen, som var 30 sekunder etter røyk ble synlig.

Resultater fra studien viste at økt informasjon til trafikanter i betydelig grad påvirket deres beslutninger om å forlate (eller intensjon de oppga om å forlate) det simulerte kjøretøyet som svar på den situasjonen som utfoldet seg i tunnelen. Med ingen annen informasjon enn de visuelle holdepunktene som ble vist under simuleringen, viste 65 prosent av sjåførene i situasjon 1, til slutt, at de hadde tenkt å forlate bilen. Til sammenligning med 75 prosent av sjåførene i situasjon 2 og 94 prosent av sjåførene i situasjon 3.

Videre påvirket mengden og typen informasjon de fikk, tiden det tok for å bestemme seg til å forlate bilen. Målt fra det tidspunkt trafikken stoppet i den simulerte tunnelen, tok det førere i situasjon 1 (uten info.) i gjennomsnitt 3,16 minutter å forlate kjøretøyet (hvis de forlot det i det hele tatt), gjennomsnittlig tid for førere i situasjon 2 var 2,54 minutter og gjennomsnittlig tid det tok å reagere for førere i situasjon 3 var 2,23 minutter. Målt fra tidspunktet melding ble gitt over høyttaler for førere i situasjon 3 var evakueringstiden fra stemmemeldingen ble gitt til de reagerte bare på 0,23 minutter (Jenssen 2008).

I en lignende studie fra Sverige i 2007 ble trafikantenes atferd undersøkt når de ble konfrontert med et simulert brannscenario i en eksisterende tunnel. Virkningen av ulike typer evakueringsinformasjon ble undersøkt. De 29 deltakerne i eksperimentet kjørte alle (i en kø på 29 biler) inn i en to-løps tunnel der en simulert ulykke blokkerte vegbanen. To og et halvt minutt etter at det første kjøretøyet i køen stoppet, begynte informasjonsskilt å vise en melding som instruerte førere om å slå av motoren og evakuere tunnelen. En forhåndsinnspilt alarm begynte å gi en lignende melding på tre språk. Samtidig ble grønne blinkende lys aktivert ved nødutganger nær det simulerte ulykkesstedet. I dette forsøket forlot de 19 deltakerne som sto først i køen (dvs. med fri sikt mot ulykkesstedet) kjøretøyene sine. De nådde eller var på vei til nødutganger før alarmen og blinklysene ble aktivert. For denne gruppen, var det å se andre forlate bilen og begi seg mot nødutganger viktig i deres beslutning om å gjøre det samme.

De resterende deltakerne, som stod lenger bak i køen og derfor ikke kunne se ulykkesstedet, åpnet dørene til sine kjøretøy først noen få sekunder etter alarmen ble aktivert. Disse deltakerne fant det vanskelig å forstå lydmeldingen. Men 9 av 10 nevnte det som en faktor i deres beslutning om å forlate sitt kjøretøy. Noen nevnte også skiltinformasjon som en faktor, mens andre indikerte at de ikke la merke til skilt. De blinkende lysene ved utgangsdørene ble bare sett av medlemmer av den sistnevnte gruppen (deltakere lenger bak i køen 20-29). Tre av disse mente de blinkende lysene var viktige for å finne døren, mens de andre ikke gjorde det (Nilsson, Johansson og Frantzich 2009).

5.3.2 Skilt og evakueringsystem

Litteraturen beskriver studier av hvordan folk finner fram til rømningsveier, nødutgang eller redningsrom i tunnel. Det omfatter evaluering av ulike typer skilt, synlige ledelys og talemeldinger og/eller lydsignal for å lede trafikanter. I en angstsituasjon med høyt stress er en persons fokus smalere og kognitive evne redusert. Av denne grunn er det viktig å gi enkle og klare instruksjoner om hva du skal gjøre og hvor du skal gå i nødstilfeller. Alarmer som inneholder spesifikke meldinger om å forlate biler og gå ut av tunnelen, kan bidra til å redusere responstiden. Godt synlige skilt og ledelys som er lett å se og forstå kan bidra til å lede folk til nærmeste nødutgang (Nilsson et al 2009, Morley og Corbett 1997). Siden de fleste tunnelbrukere ikke kan forventes å ha særlig kunnskap eller trening i å forlate sine kjøretøy og evakuere en tunnel ved brann, må veiledningen som tilbys av skilt, lysmarkeringer og auditive/akustiske meldinger være enkel og intuitiv. Folk søker ofte ut langs tunnelveggen og i tett røyk kan taktile (følbare) hjelpemiddel i form av en håndlist og flat uavbrutt bankett lette og påskynde selvredning.

ISO symbol 7010 for nødutgang (løpende mann ut dør) ble testet med flypassasjerer på Schipol flyplass i Amsterdam for å evaluere forståelsen av det grafiske symbolet, inkludert identifikasjon av utgangsdøren og indikasjon på forståelse av at en utgangsdør er plassert til venstre eller høyre for skiltet.

Skiltene ble testet med folk som reiser til og fra alle verdens regioner for å sammenligne forståelse på tvers av nasjonaliteter og språk. Forståelse av dette symbolet var på over 66 prosent for deltakere fra Vest-Europa, Nord Amerika og Australia/New Zealand, men lavere for folk fra øst Europa, Asia, Afrika, Latin Amerika og Midt Østen (Morely & Corbett 1997)



Figur 3. Nødutgang symbol med løpende mann, fra ISO 7010

I en lignende undersøkelse utført av Federal Aviation Administration identifiserte omtrent 50 prosent av deltakerne riktig betydning av ISO symbolet med løpende mann utgangstegn når tegnet ble alene. Hele 97 prosent kunne korrekt identifiserte betydningen av et skilt med teksten EXIT Symbol som angir retningen til en utgang. Dette ble korrekt identifisert av om lag 43 prosent av deltakerne. Når skiltene ble sett i kontekst (bilder som viser utgangsdørene fra det indre av et fly), ble skilt med løpende mann symbol i gjennomsnitt forstått av 70 prosent. I en fullskala studie som ledd i revisjon av amerikanske skilt og ledesystem for nødsituasjoner i Highway tunneler var andelen som forstod skiltet korrekt nær 100% når den løpende mannen (ISO 7010) ble kombinert med teksten EXIT (Higgins, Rozyckie og Jenssen 2015)



**Figur 4. Kombinert skilt med grafisk symbol og teksten EXIT.
Hentet fra Higgins, Rozyckie og Jenssen 2015**

Skiltet er nå tatt inn i amerikanske retningslinjer for skilt og ledesystem i vegtunneler. En serie eksperimenter i Sverige har evaluert ulike måter å markere nødutganger for tunneler. De fant blant annet at grønne blinkende lys ved utgangsdørene, som aktiveres ved brann, var de mest vellykkede for å fange

oppmerksomheten til deltakere og kommunisere det intenderte "utgang her" " budskapet. Oransje blinkende lys vekket også oppmerksomhet, men var ble ofte feiltolket av deltakerne som faresignal i stedet for signal til en sikker utgang (Nilsson 2009, Ronchi et al 2012).

I en serie svenske evalueringsstudier fra 2013 ble effektene av fem forskjellige kombinasjoner av ledesystem til nødutgang sammenlignet med hensyn på evakueringshastighet og valg av utgang i en røykfylt tunnel.

Utgangs markeringer som ble testet inneholdt følgende kombinasjoner:

- Et bakbelyst nødutgangsskilt
- EXIT skilt pluss grønne blinkende lys på hver side av døren.
- EXIT skilt, og et ikke-blinkende hvitt halogenlys over døren, og ikke-blinkende grønne og hvite lys på hver side av døren.
- EXIT skilt pluss en høyttaler som sender et lydsignal / melding som instruerer deltakerne om å gå vekk fra det stedet.
- EXIT skilt, pluss alle lysalternativene fra alternativ 2 og 3 (hvitt halogenlys over døren, grønne blinkende lys på hver side av døren, grønne og hvite ikke-blinkende lys på hver side av døren).

De fem forskjellige alternativene endret generelt ikke hvor hyppig riktig utgang ble valgt når deltakerne var på samme side av tunnelen som utgangsdøren.

Under betingelsene 1, 2, 4 og 5 ble nødutgangen funnet av alle deltakerne som befant seg på samme side av tunnelen som utgangsdøren. For deltakerne som startet langs den motsatte veggen i tunnelen (noe som betyr at de måtte krysse tunnelens bredde for å nå utgangsdøren), ble markering av utgangsdør mer avgjørende. De grønne blinkende lysene og lydsignalet ga resultater i tråd med EXIT skiltet alene eller EXIT skiltet med noen av de faste lysene. I betingelse 3 med faste lys (steady-state hvite og grønne lys) medførte markeringene at noen få deltakere overhodet ikke nærmet seg utgangsdøren enten det var fra samme side eller den motsatte veggen. Uttalelser fra deltakerne indikerer at noen trodde at arrangementet med grønne og hvite lys representerte et togs posisjon for stopp i stedet for en utgangsdør (Fridolf et al. 2013).

5.3.3 Synlighet av skilt og ledesystem

Skilt og system som er ment å lede trafikanter til fots til utganger i nødstilfeller, må være synlige for fotgjengere under potensielt ugunstige synsforhold, inkludert mørke og røyk. Fordi brann i tunnel kan gi svikt i elektriske systemer, bør nødskilt og systemer være i stand til å operere midlertidig på uavhengige strømkilder, eller operere uten behov for elektrisitet (for eksempel fotoluminescerende materialer).

En serie studier omkring synlighet av skilt sett gjennom ulike typer røyk viste at røyktykkelsen, lysspredning på grunn av røykpartikler og lysstyrken og kontrast mellom skilt og bakgrunn var de viktigste faktorene for å bestemme hvor langt unna skiltet kunne sees. Røykens irriterende virkninger, særlig ved høyere tetthet, påvirker også synligheten. Undersøkelser viser at synslengde av en gitt gjenstand i ikke-irriterende røyk var en lineær funksjon av røyktetthet, men og synligheten falt skarpt og ble ikke-lineær i irriterende røyk (Jin 1997).

En studie som sammenlignet laserdioder (LED), xenon rør og lysstyrker med høy intensitet som visuelle hjelpemiddel ved tunnelevakuering, viste at høyintensitets LED gir den beste synligheten gjennom røyk. Basert på resultatene ble et evakueringsstyringssystem utviklet som brukte høyintensitets LED konfigurert som en blinkende pil for å indikere retningen til en utgang (Ellis et al 2008). Lignende systemer er blant annet implementert i Østerrike, kombinert med lysdioder for å markere selve utgangsdøren. LED lys, striper og belyste skilt krever relativt lite strøm og kan betjenes ved hjelp av reservebatteri hvis hovedstrømmen i en tunnel svikter (Eigentler 2006).

En studie ved University of Reading i Storbritannia undersøkte synligheten og lesbarheten av nødutganger for personer med synshemming som makuladegenerasjon og grå stær. Deltakerne så på skilt under normale belysnings- og nødbelysningsforhold. I den første dataanalysen (sammenligning av fire av totalt 24 evaluerte skilt) var lesbarhetsavstandene større for to LED-skilt sammenlignet med to eksternt opplyste skilt (Cook et al 2005).

Etterlysende skilt og lederlinjer lades ved eksponering for en lyskilde, og når de er ladet, lyser de i mørket. Fordi de ikke har behov for strøm for å fungere, vil de også kunne fungere ved strømbrytning. En annen fordel med etterlysende skilt og lederlinjer er at de kan monteres helt inntil en vegg, i motsetning til strømkrevende skilt eller lys. Etterlysende skilt er påkrevd i Canada for rømningsveier i bygg og i New York for bygninger mer enn 23 m høye (Carss 2010, Windle 2005). Etterlysende skilt og lederlinjer kan imidlertid svikte, hvis de ikke er tilstrekkelig ladet av omgivende lys. Noen typer kan nedbrytes med eksponering for ultrafiolett stråling eller fuktighet (Amy 2008).

Ulike lyskilder og skiltmaterialer ble nylig testet i en fullskala test gjennomført i en oppbygd ett-løps tunnel under klare forhold og gjennom kunstig røyk. Deltakerne forlot et kjøretøy og måtte finne nødutgang under ulike betingelser. Testene ble gjennomført over en rekke røykthets nivåer (opasitetsnivåer) fra 4 til 23 prosent og i omgivelser med lav omgivelsesbelysning (10 lux) og mørke (Higgins, Rozytckie og Jenssen 2015).

Skiltene synlighet ble målt ved å registrere avstandene deltakere kunne oppdage og lese hvert skilt. Noen av skiltene var innvendig opplyst av lysdioder (LED), mens andre var etterlysende (PL). Samlet luminansnivå og kontrastforhold mellom skilt og tunnel veggen og mellom skilt symbol og bakgrunn ble kraftig redusert når skiltene ble sett gjennom røyk. Dette ga betydelig utslag for hvor langt unna skilt kunne ses. Røyken reduserte også kontrasten mellom lyse og mørke områder slik at tekst og symboler ble vanskeligere å lese.

De viktigste funnene fra studien er følgende:

- LED-skilt hadde mye høyere luminansnivåer enn de testede PL-skiltene, men forskjellene ble redusert ettersom røykthet økte.
- Kontrast mellom skilt og vegg ble kraftig redusert når røyktheten økte. Når det var omgivelsesbelysning i tunnelen, ble kontraster mellom skilt og vegg skarpere for LED-skiltene enn for PL-skilt. I mørke uten røyk viste PL-skilt høyere kontrast.
- Kontrast mellom tekst/symbol og tekst/symbol bakgrunn var konsekvent høyere for PL "løpende mann, ISO 7010" skilt enn for LED skilt med samme tekst/symbol.
- For alle skilt ble kontrasten betydelig redusert når røyktheten steg.
- Avstander deltakerne kunne oppdage og lese skilt var på samme måte som objektive målinger av kontrast, påvirket av røykthet. Synlighetsavstand ble redusert med inntil to tredjedeler når røykthet økte fra 5 prosent til 20 prosent.

Meldingsinnhold ble også testet. Basert på tilbakemeldinger fra deltakerne og observert atferd anbefales at meldingen skal minst inneholde følgende informasjon:

- En kort redegjørelse om type nødsituasjonen, f.eks. "Brann i tunnel" eller "Kjøretøy i brann lenger fram."
- Direkte instruksjoner om hva du bør gjøre f.eks. "Gå til utganger" eller "gå ut av kjøretøy, gå til utganger" hvis evakuering til fots er berettiget. Angi evakuerings retning (for eksempel "evakuer samme vei du kom inn") hvis det er aktuelt.



Figur 5. Eksempel på meldinger som ble testet i amerikansk fullskalaforsøk (higgins, Rozytckie og Jenssen 2015).

Visuelle ledesystem

Ledesystem for å angi korteste vei til utganger og redningsrom kan gi bekreftende informasjon til trafikanter under selvredning om at de går i riktig retning. Av de tre LED-ledelysformatene som ble testet, i den amerikanske studien, ble lysende / blinkende ledelys i en sekvens som indikerte en retning, den høyest rangerte og mest foretrukne av deltakerne. Lys som blinket samtidig langs rømningsveien var andrevalg og statiske lys (uten blinking) var tredjevalg.

Under dårlige siktforhold og røyk kan visuell markering av rømningsvei være spesielt nyttig ved å gi visuelle holdepunkt som forbinder skilt med nødutganger. Rømningsveier kan markeres med statiske eller dynamiske ledelys. Basert på observasjoner og kommentarer fra deltakere i den amerikanske studien gis følgende er anbefalinger:

- Hvis det er mulig, bør skilt og ledelys angi retning til en utgangsdør, redningsrom. Dette kan oppnås med en dynamiske lys som lyser sekvensielt for å indikere en retning. Den riktige retningen kan identifiseres og endres eksternt fra en trafikkentral, hvis kameradekning eller andre sensorsystem gir tilstrekkelig informasjon for at operatøren kan ta en slik beslutning.
- Hvis retningsbestemte / sekvensielle LED -ledelys ikke er et mulig alternativ, kan LED-ledlysene aktiveres til å blinke samtidig på begge sider av nødutgang. Det synes å være litt mer effektivt enn passive lys for å indikere en rømningsvei. Blinke-hastigheten i begge retninger eller samtidig blinking bør ikke overstige 2 Hz for å minimere risiko for å utløse anfall hos personer med lysfølsom epilepsi.
- Retning til nødutgang eller redningsrom kan også utføres med statiske ledelys hvis det inkluderer en retningspil.

Akustiske signal-talemeldinger

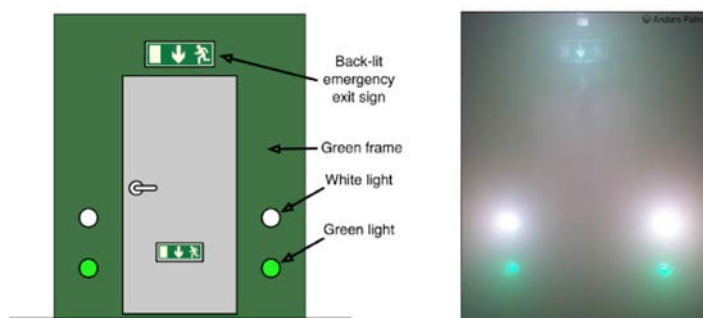
Hørbare signal eller talemeldinger kan være gunstig som et tillegg til visuelle holdepunkt (ledelys, belyst dør og skilting) for å identifisere og finne fram til nødutgangsdører. En hørbar talemelding med en gjentatt "exit here" kunngjøring ble i den amerikanske studien ansett som mest nyttig av et flertall av deltakerne, selv om noen ikke kunne fortelle hvilken retning lyden kom fra. Det skal bemerkes at akustikken til den simulerte tunnelen ikke var den samme som den ville vært i en virkelig vegtunnel.

Det anbefales bruk av hørbare signal for å støtte selvredning, hvis:

- Akustiske signal-talemeldinger brukes til å supplere (ikke erstatte) belyst utgangsdør.

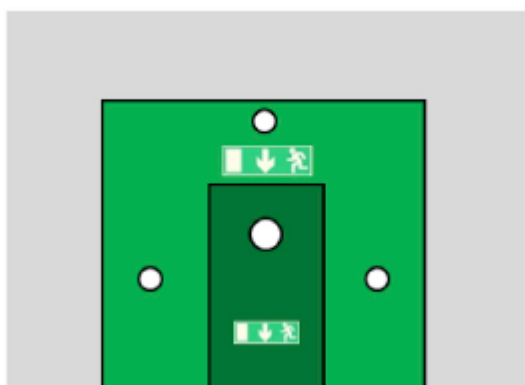
- Når det brukes, bør talemeldinger bare inneholde en enkelt melding, for eksempel "Gå ut her" eller "redningsrom" og formidles på mer enn ett språk i tillegg til engelsk.
- Lydsignaler skal overholde kravene i NFPA 72, Seksjon 18.4.1 og 18.4.3 (for ikke-tale signaler) og 18.4.10 (for talemeldinger). Av hensyn til stedsspesifikke forhold, anbefales at en støystudie gjennomføres in-situ for å bestemme funksjonelle alternativer.
- Den primære fordelene med en hørbar utgangsdør er at det kan redusere sannsynligheten for at trafikanter passerer en nødutgang eller redningsrom under selvredning.
- Det hørbare signalet/talemeldingen skal være hørbar i området nær døren og være mulig å høre om man følger tunnelveggen på motsatt side. Anvendt desibelnivå må kalibreres slik at det er hørbart for de som rømmer innenfor en relativt kort radius til selve døren (f.eks. ca 10 meter, eller bredden på tunnelen). Det må tas hensyn til at omgivelse støyen er relativt høy med brannventilasjon, støy fra brannaggregat med mere.

En lignende studie utført i en virkelig tunnel (nordre lenken, Stockholm) viser sammenlignbare resultat (Nilsson et al 2017).



Figur 6. Skisse av designalternativ brukt i forsøk (venstre) og bilde av faktisk nødutgang under forsøk i røykfylt tunnel (Nilsson et al 2017).

Resultatene fra forsøkene i den røykfylte tunnelen antyder det den testede designen for nødutgangsdører er vel egnet.



Figur 7. Anbefalt design på nødutganger (Nilsson et al 2017)

Videre indikerer resultatene at folk trenger noen form for rømningsveg informasjon om de må flytte fra høyre tunnelvegg til en nødutgang på venstre side av en tunnel. Skiltene med avstander til nødutganger ble ansett som like nyttige av deltakerne og den akustiske alarmen fungerte også svært bra.



Figur 8. Skilt som viser lokalisering av nødutgang på motsatt side av tunnelen (Nilsson et al 2017)

Resulterte fra eksperimentene resulterte også i verdifulle data om bevegelse og ganghastighet gjennom røyk i veggtunnel.



Figur 9. Skisse av skilt brukt i Gøta tunnelen i Sverige for å få trafikanter til å forlate sine kjøretøy og rømme tunnelen. Hentet fra Nilson et al 2017.

5.3.4 Oppsummering - Utenlandske tunnelbranner og fullskalaforsøk

Undersøkelser av tidligere tunnelbranner har vist at tunnelbrukere ofte ikke selv tar initiativ til å evakuere til fots, men i stedet velger å forbli i eller i nærheten av kjøretøyet sitt. Noen årsaker til slike potensielt fatale beslutninger om å bli i bilen eller nær den er mangel på bevissthet om faresituasjonen som utfolder seg, usikkerhet om riktig atferd, motvilje mot å forlate den tilsynelatende sikkerheten i kjøretøyet og motvilje mot å forlate en bil du har eierskap til. I en nødsituasjon har folk en tendens til å vente på informasjon eller instruksjon snarere enn å søke det opp. Hvis og når folk bestemmer seg for å gå ut av en tunnel i møte med en identifisert fare, er det vanlig å forsøke å nå hovedportalen som de kjørte inn gjennom i tunnelen, i stedet for å søke mot nødutganger for fotgjengere, som kan være nærmere. Faktisk kan trafikantene være uoppmerksom på eksistensen av nødutganger til det fri eller den parallelle tunnelen. De forstår derfor ikke formålet med utgangsdørene langs tunnelveggen. I tillegg har folk en tendens til å overvurdere hvor lang tid de har til de må evakuere under en brann, en potensielt dødelig feilslutning siden brann og røyk kan spre seg raskere i en tunnel enn i en bygning.

Dette stemmer bra overens med observasjoner der trafikanter har vært fanget i røyk bak en brann i norske veggtunneler. Mange blir sittende i sine kjøretøy. Noen går etter hvert ut. Noen går ut av bilen og inn i samme bil igjen eller andre kjøretøy fordi røyken er så tett.

At de som evakuerer til fots søker mot tunnelportalen de kom inn igjennom er ikke så overaskende, men ved brannen i Gudvangatunnelen (SHT 2015) rapporterte flere at de hadde bestemt seg for å gå den veien, men på grunn av stress og dårlig sikt ble de rask desorientert og beveget seg i stedet rett mot brannen. Mange av de utenlandske trafikantene fanget ved brannen i Gudvangatunnelen forventet at de ville bli reddet. Når det ikke skjedde søkte de etter nødutganger eller redningsrom, men forgjeves! Mye av den samme atferden ble observert ved brann i Oslofjordtunnelen 2011. Mange av trafikanten søkte inn i bak hvelvingen gjennom inspeksjonsluker, inn i rom for nødtelefon eller inn i andre kjøretøy. Mange ble værende i bilen svært lenge.

Vi ser at de utenlandske erfaringene fra tunnelbranner og fullskalaforsøk i mange henseende er valide for reelle hendelser i utsatte norske tunneler. Imidlertid er de utenlandske erfaringene og studiene i hovedsak basert på evakuering i flate to-løps tunneler.

5.3.5 Jernbane/metro

Redningsrom er lite utbredt i jernbanetunneler og metrosystem, sammenlignet med gruveindustrien. I nye tunneller er det vanlig å benytte to parallelle tvillingtunneler med en avstand på 30-40meter. I noen av de lengste jernbanetunnelene i Europa, 57km lange Gotthard-base tunnelen i Sveits (åpnet i 2016), Channel Tunnel i den engelske kanal (50,5 km) og Guadarrama i Spania (28, 4km), er det så kalte "*emergency galleries*" som er opplyste krysspassasjer til parallelle tunneller med midlertidig oppholdsrom for større grupper trafikanter (som også inneholder viktig operasjons- og kommunikasjonsutstyr).

I Guadarrame tunnelen er det "*emergency galleries*" hver 250m, og midt i tunnelen er det et redningsrom på 500 meter. Dette redningsrommet kan huse 1200 personer og ventilasjonssystemet sikrer frisk luft i opptil 48 timer. I Gotthard-base tunnelen er det installert to redningsstasjoner kalt "*multifunctional emergency stations*". Disse stasjonene er 600meter lange og fungerer som redningsrom for opptil 1000 passasjerer. Det er ikke et lukket rom med brannsikre dører, men ventilasjonssystem sikrer en røykfri redningsstasjon i tilfelle brann.

Under bygging av Follobanen (20km), som ble boret med drill og splitt metoden, blir prefabrikkerte redningsrom levert av Dräger benyttet. Når tunellen står ferdig (planlagt 2019) vil disse midlertidige redningsrommene mest sannsynlig fjernes, og metoden for evakuering/redning beskrevet over benyttet. Det er også planlagt en redningsstasjon på Åsland (midt på tunnelen) med røykavsug og brannvann, samt tilkomst for redningskjøretøyer og utgang til friluft. Ved brann skal togene i utgangspunktet kjøre ut, og ved stopp er det selvevakueing gjennom tverrforbindelse som er plassert per 480m med etablerte beredskapsplasser.

På Gjevingåsen i Sør-Trøndelag er det rømningsveg ut i det fri gjennom tverrslaget i Muruvika, ut gjennom redningstunnelen for vegtunnelen og et ekstra kort parallell-løp i Hommelvika.

Erfaringer fra brann i jernbane/metro tunneler

I en *review* rapport fra det svenske METRO prosjektet omkring branner i veg, jernbane og metrotunneler gis det en inngående beskrivelse av seks branner (Fridolf 2010). Disse er i kronologisk rekkefølge:

- King's Cross, 1987
- Zürich, 1991
- Baku, 1995
- Kaprun, 2000
- Daegu, 2003
- Rinkeby, 2005

Basert på studier av disse ulykkene/brannene konkluderer Fridolf (2010) at atferden er kompleks og for utenforstående kan den oppfattes som irrasjonell i ettertid. Han påpeker at i stedet for å skylde på panikk er det bedre å analysere hva konteksten var og hvilke holdepunkt i omgivelsene folk hadde for valg av atferd (*theory of affordances*). Fellestrekk ved faktorer i omgivelsene som kan forklare atferd er:

- At folk har en tendens til å opprettholde sine roller (f.eks. som passasjerer)
- Mangelen på rask, klar og sammenhengende informasjon
- Tvetydigheten av signalene fra farekilden (for eksempel en brann)
- Andres tilstedeværelse, det vil si sosial innflytelse

Han konkludere videre med at når evakuering er initiert så er det en rekke forhold som påvirker hvor effektivt evakuering foregår på grunn av:

- Problemer med døråpningsmekanismen på tog
- Den vertikale avstanden mellom toget og ned til skinnegangen
- At folk har en tendens til å evakuere gjennom kjente utganger
- Manglende belysning
- Ujevne overflater (grus) inne i tunnelene

Innen jernbane/metro-er det ikke funnet bruk av redningsrom, som sikre områder, kun bruk av såkalte *safety galleries*. Det er større samlingsplasser/rom i fjellet mellom jernbane og vegtunnel eller mellom parallelle jernbanetunneler, der folk kan oppholde seg midlertidig og eventuelt få førstehjelp.

Det har vært få branner i norske jernbanetunneler. Et tog stod i full fyr på Bergensbanen i nærheten av Finse stasjon for et par år siden. Der var det problematisk for redningsmannskap å komme til (8km fra nærmeste veg). Selvredning bestod i å rømme toget og vente lettkledd i snø og kulde midt på fjellet. Det var brann i et snøoverbygg og det er dermed ikke definert som en tunnel, men i prinsippet et lukket rom. Det illustrerer at selvredning kan være problematisk også i norske jernbanetunneler. Særlig der tunneler er vanskelig tilgjengelig og det er lang innsatstid enten det skjer via nærliggende veger eller med redningstog.

5.3.6 Oppsummering (Jernbane /metro)

Bruk av redningsrom er lite utbredt innen jernbane og metro. En form for midlertidige oppholdsrom er etablert i tilknytning til jernbanetunneler og metro system, men de har alle utgang til det fri på ulike måter.

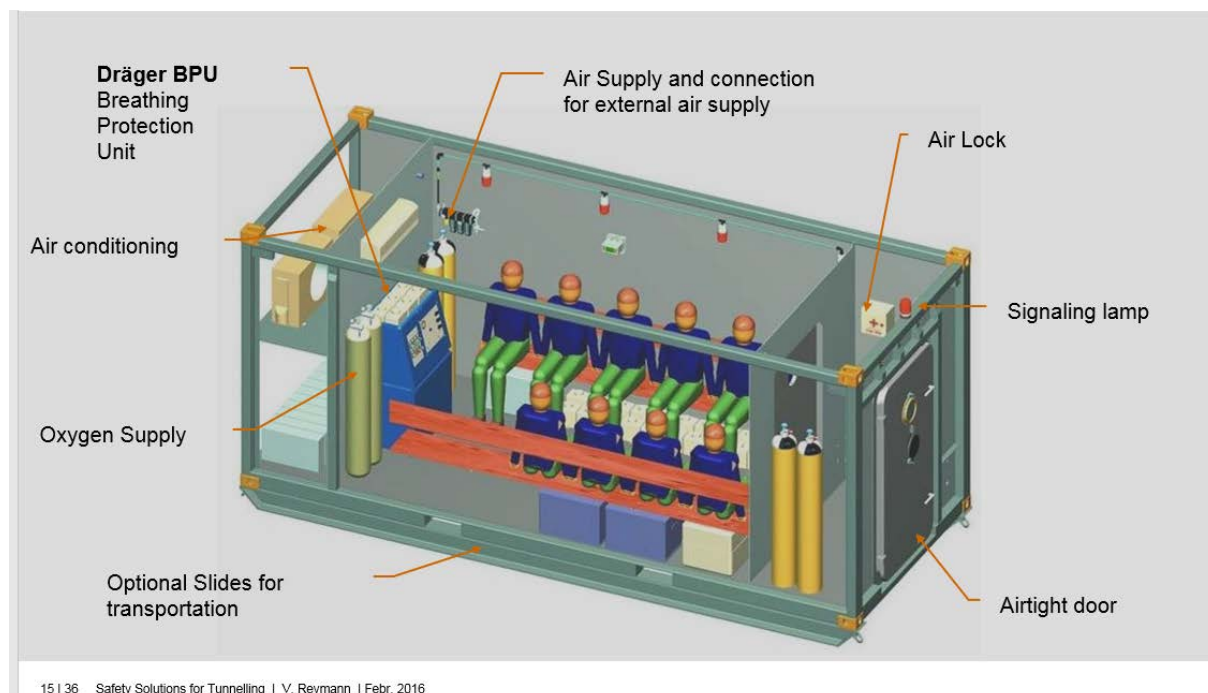
Kort oppsummert så er:

- Bruk av redningsrom er ikke nedfelt i retningslinjer på området
- Kunnskap om bruk av såkalte *safety galleries* er ikke direkte overførbare til bruk av redningsrom i norske vegtunneler
- Erfaringer fra atferd under evakuering ved reelle hendelser/branner, hva som skaper problemer og hva som gir effektiv evakuering er i større grad overførbare kunnskap. Det er imidlertid et par viktige forskjeller som gir andre betingelser for selvredning. Tog og metro framføres av profesjonelle togførere og det er profesjonelt personale som konduktører og togverter som kan ta ansvar styre en rednings situasjon. Det er det ikke i vegtunnel.
- Det er generelt minimalt lite brennbart materiell i vognsett for persontransport hvis en ser bort fra passasjerene selv og den bagasje de tar med inn i vognen.
- Redningstog brukes til evakuering. De har i noen grad likhetstrekk med redningsbiler (Mobile redningsrom) foreslått for bruk i vegtunnel.

5.4 Redningsrom brukt under bygging av tunneler

Redningsrom brukes i byggefasen av tunnelprosjekt og utbygging av underjordiske anlegg innen flere bransjer. I henhold til ITA - International Tunneling Association (2014) er det anbefalt bruk av redningsrom med minimum 24 timers beskyttelse. Det er i tråd med EU krav for bruk av Tunnelboremaskin TBM (EN 16191 Sec 5.14/Annex D) der det er krav til bruk av redningsrom i byggefasen som har et overtrykk på minimum 100 pa Pos. for å hindre at røyk trenger inn når noen åpner døren og går inn. Det er videre krav til lufttilførsel for minimum 24 timer. Redningsrommet skal kunne romme arbeidsgruppen + 2 personer. Retningslinjene i England (UK – BS 6164 er i tråd med EU og ITA, men krever i tillegg lufttilførsel for 24 timer + 4 timer og strømtilførsel for 30 timer og et klimaanlegg som kan hold temperaturen i redningscontaineren under 28 grader celsius. Krav til kapasitet er på arbeidsgruppen tilknyttet TBM

maskinen + 3 personer. De tyske retningslinjene for bruk av redningsrom i byggefasen av tunneler er omtrent identiske for de krav som er nevnt her.



15 | 36 Safety Solutions for Tunnelling | V. Reymann | Febr. 2016

Figur 10: Prinsipp skisse for redningskammer brukt i byggefasen av tunneler og i gruvedrift: Kilde: Dräger 2016

Dräger har levert to redningskammer i forbindelse med bygging av Follotunnelen på oppdrag fra Bane Nord.

Veidekke bruker redningsrom fra Containertech for å beskytte ansatte mot brann og eksplosjoner under byggefase av veitunneler. De er konstruert for å tåle trykk opp mot 0.5 bar og kan forsyne 8 personer med frisk luft i 8 timer.



Figur 11. Redningsrom brukes ved byggefase for alle tunnelprosjekt i Norge. Her fra en opplæringsvideo Veidekke AS bruker overfor sine ansatte. Produsent av redningsrommet på bildet er Containertech. Foto: <https://www.youtube.com/watch?v=esHroAciEsM&feature=youtu.be>

Modulen sikres med R-5000 som er innredet med sitteplass og oksygen til 8 personer og har følgende mål lengde x bredde x høyde = 5000 x 2025 x 2600 mm. De er alle utstyrt med pusteluftmasker type Dräger FPS 7000 med lungeautomat tilkoplede reduksjonsventil og flaskebank som består av 8 stk. (50l luftflasker). Dette gir luft til ca 5 timer per person. Maskene er lagret over sittebenkene klare til bruk med 2m slanger tilkoplede Cejn hurtigkoblinger. Veidekke sine ansatte har en annen type redningsmasker med seg som de kan benytte inntil de er ankommet redningsrommet.

Redningsrommet fra Contianertech bygges inn i en stålmodul med spesialdesignede profiler i vegger for å oppnå maks styrke til å tåle utvendig trykk opptil 0,5bar. For tilkomst til redningsrommet er det en spesialprodusert ståldør montert, og som er godkjent til formålet med opptil 50kPa. I ende vegg er 1stk. overtrykksventil montert som hindrer røykgasser i å komme inn i rommet så lenge rommet har overtrykk. Overtrykksmåler innvendig er montert for automatisk avlesning. Modulene leveres komplett med innredning montert og tilkoplede med lys og varme. Utvendig er det tilkopling for radio/telefon, elektrisk tilkopling 230V/16A og/eller 400V/16A. Innvendig er det gode sittebenker med galvaniserte beslag på begge langsider med et lite nedfellbart avlastningsbord montert på ende vegg. Det er montert opplegg for ladning av håndlykter etter behov.

Redningsrommet er innvendig isolert med brannklasse E60. Merk! Det er vanlig brannklasse for bygg og ikke tilstrekkelig for de brannlaster vi kan forvente ved brann i vegttunnel som er åpen for trafikk. Men de er heller ikke dimensjonert for den type brannbelastning og varighet (jamfør RWS kurven).

Videre er det innvendig oppmontert lysarmatur med standard rør og LED lys for backup over lengre perioder uten strøm. 12V batteri med batterilader er tilkoblet kontinuerlig. Det er varmeovn 800W med termostat samt dobbel stikk tilpasset innredningen. Eksempel på førstehjelpsutstyr er blant annet; armbåre med ullteppe, øyeskylleflasker, førstehjelpsskrin, brannslukningsapparat. 6kg ABE, spett og slegge montert på vegg, spjelkeutstyr PVC Hæl-arm-ben-pumpe. Jekk, brannbandasje for ansikt og branntepper.

Daglig leder i Containertech bekrefter at de leverer redningsrom til alle de større entreprenørene i Norge og at det brukes i alle tunnelprosjekt, også innen tunneler for kraftforsyningen. De leverer for det meste redningsrom for 4-8 personer, men kan også levere større enheter etter avtale.

5.4.1.1 Oppsummering - redningsrom brukt i byggefase

Bruk av redningsrom er nedfelt i internasjonale retningslinjer på området og gjennom HMS krav til prosjekteier og prosjektledelse omkring arbeidsmiljø og sikkerhet og forebygging av helseskade slik at målene i helse-, miljø- og sikkerhetslovgivningen oppnås. De brukes av alle større entreprenører i byggefase av tunnel, enten det er vegtunnel, jernbanetunnel eller tunneler i kraftforsyningen.

Redningsrom brukt i byggefase	Anvendelser	Erfaringer	Forankret i lovverk
Vegbygging	Ja, i alle vegtunneler under byggefase	Det er ikke funnet studier, rapporter fra hendelser der de ikke har fungert som tiltenkt. Vi har derimot heller ikke funnet studier, rapporter som beskriver hendelser der ansatte har berget liv og helse ved bruk av redningsrom i krisesituasjoner. Unntaket er Veidekke. De hadde en hendelse i 2013 ved Minnesund med brann i maskineri der han som brukte redningsrommet var uskadet, mens en som ble igjen utenfor, fikk røykskader (kilde: Containertech/Romerikes Blad)	a) ITA- International Tunneling Association (2014)
Jernbane	Ja, i alle jernbanetunneler under byggefase		b) Ved bruk av TBM
Kraftforsyning	Ja, i alle tunneler under byggefase		<ul style="list-style-type: none"> • EU-krav , EN 16191 Sec 5.14/Annex D • UK, krav – BS 6164
			c) HMS – Norsk lovverk

Redningsrom brukt i byggefase av tunneler er godt sikret mot eksplosjoner, men ikke nødvendigvis sikret mot de brannbelastninger som vi i dag kan forvente ved brann i vogntog med last i en vegtunnel, - åpen for vanlig trafikk.

Det bør eventuelt utvikles redningsrom/kammer som er:

- Tilpasset funksjonskrav bruk i vanlige vegtunneler stiller (brannbelastning, nye energibærere)
- Tilpasset brukere/trafikanter uten opplæring i bruk av slike redningsrom
- Tilpasset trafikanter fra ulike nasjoner
- Med en design som innbyr til bruk og som gir nødvendig fysisk og opplevd trygghet (kommunikasjons, vann førstehjelpsutstyr osv.)

Disse bør så testes med hensyn til om de er egnet for reelle anvendelser i utsatte norske tunneler.

5.5 Redningsrom brukt ved arbeidsplasser under bakken

Erfaringer med forutsetninger for selvredning og bruk av redningsrom ved arbeidsplasser under bakken er innhentet ved litteratursøk og besøk ved slike anlegg flere steder i Norden USA og Asia. Relevante data fra dette arbeidet gjennomgås her. Det gjelder erfaringer fra gruveindustri, laboratorier, kjernekraft, elforsyning, militære anlegg og andre arbeidsplasser under bakken.

5.5.1 Bruk av redningsrom innen gruveindustri

Bruk av redningsrom i gruveindustrien er generelt godt beskrevet og regulert. Spesielt i Canada, USA, Sør-Afrika, Australia og New Zealand. I Kina er det noe begrenset spesielt med hensyn til krav til utforming og innhold av redningsrom, og fokuset her vært på personlige selvbergingsutstyr, såkalte SCSR som typisk er en bærbar sylinder med komprimert oksygen som skal gi luft i en time (kilde: *Theory and Construction of Emergency Refuge System in Underground Coal Mine*). Innen gruveindustri har redningsrom vært i bruk i flere tiår. Utforming av kritiske selvrednings-system omfatter oksygenforsyning, tilfluktskamre/redningsrom, kommunikasjon og sporing.

Faktiske hendelser

- I en gullgruve i New Zealand i 2012 ble 28 gruvearbeidere reddet etter en brann 150 meter under jorden. De flyktet til tre redningsrom og ble reddet ut innen 24 timer.. Disse redningsrommene er prefabrikkerte redningsrom levert av Strata Safety Coal Refuge Chamber.

- I 2010 kollapset en kobber- og gullgruve i Chile og 33 arbeidere ble reddet etter 69 dager i fangenskap 700meter under jorden. De samlet seg i et redningsrom på 50kvm. De hadde også tilgang til en 2 km åpen tunnel der de kunne bevege seg rundt og få litt mer luft. Matforsyningen var sterkt begrenset (kun beregnet for 2-3 dager) og redningsrommet var i utgangspunktet en utgravd hule med en tung ståldør og ventilasjon. Rommet ble til vanlig brukt som pauserom.

I andre ulykker som i kullgruvene i Crandall Canyon (Utah, USA) og i Soma (Tyrkia) hvor 274 arbeidere omkom, er begge gruveselskapene kritisert for sikkerhetsbrudd, inkludert manglende nødvendige rømningsveier og redningsrom, som kan ha reddet liv. I 2006, etter en rekke ulykker i underjordiske gruver, ble det innført sikkerhetstiltak som *Mine Improvement and New Emergency Response Act of 2006 (MINER Act)*, hvor nødvendigheten av redningsrom/redningskapsler og nødkommunikasjonssystem ble trukket fram som en viktig del av *Emergency Response Program (ERP)* i flere land.

Ved en gjennomgang av faktiske hendelser i gruveindustrien og byggefasen av tunnel er det dokumentert at til sammen 22 personer har reddet livet ved bruk av redningskammer se siste 10 årene. Det refereres til 3personer som var fanget ved brann i en gruve i USA og 19 som reddet livet brann under byggefasen av A86 tunnelen i Paris (Corbee, 2016).

Utvikling av evakueringsløsninger er primært drevet fram av alvorlige ulykker. Reguleringer og lovverk setter strenge krav til utforming og verifisering av rømningsrom/kapsler, nødkommunikasjonssystem, trening og øvelser, sporing, tilførsel av frisk luft, mat og vann.

Krav til redningskammer

Det eksisterer som sagt sertifiserte prefabrikkerte rømningsrom/kapsler som leveres av blant annet Strata, Dräger, MineArc, og ShadongCCG. De leverer også tilpassede løsninger til globale tunell-byggeprosjekt og prosessindustrien. En standard løsning sikre et titalls arbeidere mat og frisk luft i 48 timer. De er bygget med eksplosjonsbestandige stålvegger og forsterkede dører, vinduer og hengsler, og kan motstå opptil 15 psi overtrykk. Det er geometriske og atferdsmessige forutsetninger (som kognitiv og sensorisk kapasitet) som er avgjørende for utforming og bruk, og det er derfor viktig at de leveres med trening-, vedlikeholds- og inspeksjonsplan for å sikre adaptiv sikkerhetsrelatert atferd og styring av sikkerhetsatferd.

Det er store variasjoner i størrelse, beliggenhet og komplekse gruveanlegg er. Alt fra type gruveoperasjon (mineralutvinning), til type gruvedriftsteknikker (overflateutvinning eller underjordisk gruvedrift). Retningslinjene som følger "*Mines Safety and Inspection Act 1994*" i Australia definerer utforming og bruk av redningsrom. Sør-Afrika, USA og Canada har lignende regelverk. Designprinsippene for redningsrom følger:

1. Rasjonell plassering: Redningsrommene skal plasseres i "*coal face*" og i "*heading face*" i umiddelbar nærhet til arbeidere. Midlertidige redningsrom er hovedsakelig plassert i evakuerings/rømningsveiene, mens permanente redningsrom plasseres nærme "shaft station".
2. Dekningsgrad: Antall redningsrom skal sikre at alle gruvearbeidere i arbeid har et tilfluktssted i sitt arbeidsområde når en katastrofe oppstår.
3. Evakueringstid: For å sikre at gruvearbeiderne kommer inn i tilfluktsstedet på kortest mulig tid skal rømningsavstand ikke være mer enn 1000m, og arbeiderne skal til enhver tid vite hvilket redningsrom de er nærmest.
4. Tilgang: For å få arbeidere raskt inn i redningsrommet, skal plasseringen merkes tydelig samt tilfluktsruten til redningsrommet.
5. Trening på selvredning: Uansett hvor omhyggelig redningssystemet er, er det avhengig av at folk tar ansvar selv. Så selvredningsutdanning for arbeidstakere er en viktig del av sikkerhetssystemet. Gruvearbeidere må være kjent med signaler/tegn på ulike hendelser, vurdere nærmiljøet og mulige uønskede hendelser, mestre førstehjelp, ha kjennskap til rømningsveiene og å bruke selvbergende utstyr, og ikke minst hvordan å finne redningsrommet og vente på hjelp når man ikke kan forlate gruen.

5.5.1.1 Oppsummering - Gruveindustri

Bruk av redningsrom er nedfelt i lover og retningslinjer på området. Erfaringer fra hendelser og branner er nødvendigvis ikke direkte overførbare til bruk av redningsrom i norske vegtunneler. Erfaringene er fra bruk av redningsrom innen en rekke ulike land og kulturer. Arbeidere er i motsetning til trafikanter gitt opplæring i selvredning og bruk av redningsrom. Det er likevel verd å merke seg hvilke geometriske forutsetninger for bruk som er nedfelt i retningslinjer og lovverk og hvilke krav til utforming og utrusting av treningsrom som er gitt ovenfor. Blant annet tilknyttet:

Rasjonell plassering: Redningsrommene skal plasseres i umiddelbar nærhet til arbeidere. Midlertidige redningsrom er hovedsakelig plassert i evakuerings/rømningsveiene, mens permanente redningsrom plasseres nærme sentrale utveier (*shaft stations*). Overført til vegtunnel innebærer det at det må være kort avstand til redningsrom. Det er spesifikke krav til at avstand innen gruveindustri skal være ca 200m unna selve arbeidsflaten, men ikke mer enn 1000m unna. Tilsvarende kan brannscenarier, karakteristika ved tunnel, tid tilgjengelig til selvredning og karakteristika ved trafikanter i vegtunneler gi holdepunkt for plassering og minimum avstand mellom redningsrom. I en Chilensk vegtunnel under planlegging (7 km lang og med 7-8% stigning) er det nylig foreslått bygging av redningsrom og plassering av disse på grunnlag av en risikoanalyse (Jenssen og Lacazano 2011).

Dekningsgrad: Antall redningsrom skal sikre at alle gruvearbeidere i arbeid har et tilfluktssted i sitt arbeidsområde når en katastrofe oppstår. Overført til vegtunnel innebærer det at redningsrommenes dekningsgrad må stå i forhold til viten om trafikk, andel av ulike typer trafikk (bil, buss, vogntog) og realistiske scenarier for hvilken dekningsgrad det er behov for ved uønskede hendelser.

Evakueringstid: For å sikre at gruvearbeiderne kommer inn i tilfluktsstedet på kortest mulig tid skal rømningsavstand ikke være mer enn 610m, og arbeiderne skal til enhver tid vite hvilket redningsrom de er nærmest (NFPA 520). Det eneste regelverket som sier noe om tid og ikke avstand i meter, er US MSHA (2008) som setter 30min gå tid som maks. grense. Australske retningslinjer baserer tid til trygt sted på en analyse og beregning av hvor langt det er rimelig å forvente at en frisk person kan gå før 50% av pustearbeidet er oppbrukt (DMP, 2013). Svenske retningslinjer setter 200-300m som maksimum avstand til redningsrom eller nødutgang avhengig av stigningsforhold (AFS, 2010).

Tilgang: For å få arbeidere raskt inn i redningsrommet, skal plasseringen merkes tydelig samt tilfluktsruten til redningsrommet. Overført til vegtunnel innebærer det at rømningsveier og tilfluktsruten til redningsrom også må merkes tydelig for trafikanter.

Trening på selvredning: Uansett hvor omhyggelig redningssystemet er, er det avhengig av at folk tar ansvar selv. Selvredningsutdanning for arbeidstakere er en viktig del av sikkerhetssystemet. Gruvearbeidere må være kjent med signaler/tegn på ulike hendelser, vurdere nærmiljøet og mulige uønskede hendelser, mestre

førstehjelp, ha kjennskap til rømningsveiene og å bruke selvbergende utstyr, og ikke minst hvordan å finne redningsrommet og vente på hjelp når man ikke kan forlate gruen. Overført til vegsektoren innebærer det krav til opplysningskampanjer om tunnelsikkerhet, selvredning, bruk av redningsrom og innføring av tunnelsikkerhet som tema i føreropplæring

Redningsrom brukt i byggefase	Anvendelser	Erfaringer	Forankret i lovverk
Vegbygging	Ja, i alle vegtunneler under byggefase	Det er ikke funnet studier, rapporter fra hendelser der de ikke har fungert som tiltenkt.	d) ITA- International Tunneling Association (2014)
Jernbane	Ja, i alle jernbanetunneler under byggefase		
Kraftforsyning	Ja, i alle tunneler under byggefase	Vi har derimot heller ikke funnet studier, rapporter som beskriver hendelser der ansatte har berget liv og helse ved bruk av redningsrom i krise situasjoner. Unntaket er Veidekke. De hadde en hendelse i 2013 ved Minnesund med brann i maskineri der han som brukte redningsrommet var uskadet, mens en som ble igjen utenfor, fikk røykskader (kilde: Containertech/Romerikes Blad)	e) Ved bruk av TBM • EU-krav, EN 16191 Sec 5.14/Annex D • UK, krav – BS 6164 f) HMS – Norsk lovverk

5.5.2 Bruk av redningsrom i byggverk under bakken

Retningslinjer for rømningsveier og bruk av redningsrom i byggverk under bakken er gitt av DSB i Temaveiledning for brannvern i kraftforsyningen (DSB 2003). Denne temaveiledningen omfatter alle objekter innen kraftforsyningen, både anlegg i fjell og utendørsanlegg, og er anerkjent av og veiledende for alle involverte myndigheter på ethvert nivå. Hovedfokus i utarbeidelsen av temaveiledningen har vært større anlegg i fjell/under dagen. Her nevnes bruk av redningsrom flere ganger.

Beredskapsplan og rømning

I regelverket som er hjemlet i en rekke sentrale lover og forskrifter lover at det et krav til beredskapsplanen for anlegg under bakken at det skal utarbeides en brann og rømningsplan som omfatter:

rømningsveier, utganger, nødutganger, redningsrom, branncelleinndeling, seksjonering, plassering av manuelle brannmeldere, slokkeutstyr, førstehjelpsutstyr og eventuelt nøddusj og jordingsutstyr, samt oppmøteplass ved branner og ulykker.

I forskrifter for elektriske anlegg - forsyningsanleggstilles det spesifikke krav til brannsikring av oppholdsrom, rømningsveier, redningsrom, lys/nøddlys og adgangsforhold/utganger

Funksjonelle krav til rømningsveier er at fluktveier, trapper og dører være tydelig merket og utstyrt med nøddlys. Der hvor det ligger til rette for det, kan det også monteres ledetau, lederekkverk, ledestokker eller andre hjelpemidler som gjør det lettere å finne veien ut. I anlegg i fjell og under dagen påpekes det at det er spesielt viktig at personell som ikke er kjent i anlegget, f.eks. turister, innleid arbeidskraft m.m. kan finne letteste vei ut. Det anbefales derfor at den vanligste adkomstveien (adkomsttunnelen) også er hovedrømningsvei. Alternative fluktveier som til redningsrom, åpent undervannsspeil el. l., merkes særskilt. For å unngå å lede personell eller gjester i anlegget unødig ledes til vanskelig tilgjengelige nødutganger (lange kabelganger, nødstiger, ledere og andre risikoutsatte rømningsveier), anbefales det at det skilles mellom utgang og nødutgang. Anbefalt merking av disse utgang og nødutganger er:

- Hovedrømningsvei(er) merkes med piktogram og tekst "UT"
- Nødutgang merkes med piktogram og tekst "NØD - UT"
- Henvisningsskilt som viser rømningsretning, merkes med piktogram og tekst UT / NØD-UT med pil som viser rømningsretningen og eventuelt avstand i lange utganger. Det anbefalers at dører i rømningsveier eller tilstøtende rom merkes med piktogram og tekst "UT" og at nødutgang merkes med piktogram og tekst "NØD-UT".

Redningsrom

For fjellanlegg under bakken og under dagen hvor det ikke er laget minst to uavhengige rømningsveier, er det krav om at det skal innredes to eller flere redningsrom i henhold til krav i forskrift (FEA-F §26).

Redningsrommet må være et reelt alternativ til hovedrømningsvei, og det forutsettes derfor at eier av anlegget skal gjøre en nøye vurderer plassering og utforming.

I henhold til forskrift om brannforebyggende tiltak og tilsyn for elektriske anlegg - forsyningsanlegg (FOBTOT kap.2 og FEA-F §26) skal dørene i rømningsveiene ikke låses i rømningsretningen, og utstyres med panikkbeslag eller nødåpnere. Dørene skal slå ut i rømningsretningen eller ha en utførelse som gir likeverdig funksjon, slik at evakuering ikke hindres eller hemmes. Forskriftene gir anbefaling om plassering av maskiner, avfall m.v. og forbud mot lagring av biler båter m.v. slik at fare for brann og brannspredning blir redusert, og at rednings- og rømningsmuligheter sikres best mulig.

Redningsrommenes plassering, utforming og utstyr

Redningsrommene skal gis en hensiktsmessig og sikker plassering i forhold til mulige skadesteder, og fortrinnsvis slik at det er tilfredsstillende adkomst med skadet personell på bære.

Redningsrom skal være røyktett og egen branncelle, og utformet slik at det er intakt etter en eksplosjon (jf. FEA-F § 26). Hvilken brannbelastning redningsrommene skal motstå og hvor lenge er ikke spesifisert.

Det anbefales alltid å ha døren til redningsrommet lukket, eventuelt med selvlukkende dør koblet til brannalarmanlegget for å minimere personellens eksponering for røyk og gasser. Bruk av overtrykk for å hindre innsig av røyk er ikke nevnt, men redningsrommene (jf. FEA-F § 26) skal være utstyrt med:

- Luftbeholdning som dekker minst 4 timers forbruk for det antall personer som rommet er dimensjonert for. Det skal tas hensyn til lokale forhold som lengde på adkomsttunnel, rommets plassering i anlegget, forventet tid før hjelp når frem mv.
- Førstehjelpsutstyr og bære
- Samband til utenforliggende bemannet vaktsted (f.eks. driftssentral) og til inngangen/portalbygg. Sambandsmidlene skal være uavhengig av stasjonsstrømforsyningen og må være beskyttet mot skade fra brann, overspenning mv.

Det anbefales at brannvesen/innsattpersonell har tilgang til kommunikasjonsutstyr som gjør det mulig å kommunisere i hele anlegget, også med redningsrommet og omverdenen.

Videre er det krav om at eier av anlegg i fjell, under dagen skal sikre besøkende mot skader og ulykker som kan inntreffe i et anlegg, etter samme krav som for sikring av egne ansatte. Det innebærer blant annet at antall besøkende pr. gruppe skal vurderes og at redningsrom skal være utstyrt og dimensjonert for maksimal besøksgruppe. Besøksområdet kan begrense for å ivareta sikkerheten. Fluktmasker/fluktapparat og redningsutstyr skal være tilgjengelig i tilstrekkelig antall.

I motsetning til vegtunneler som er åpne for alle trafikanter kan det i anlegg i fjell under bakken stilles krav til adgangskontroll med fortegnelse over besøkende med navn og adresse. Det kan også utpekes ledsagere (omvisere/guidere) som har god kjennskap til brann- og rømningsplan og trening i håndtering av brann- og personulykker, evakuering og førstehjelp. Ved besøk av større grupper turister, skoleelever, konserter og lignende arrangement i fjellanlegg, skal godkjenning fra lokal brannmyndighet foreligge (jf. brann- og eksplosjonsvernlovens § 7).

I veilederen anbefales for anlegg i fjell, under dagen opplæring for øremerket personell De skal fungere som kjentmenn til støtte for brannvesen ved innsats i anlegget. Det forutsettes at dette personellet har nødvendig røykdykkerkompetanse. Det vises til publikasjonen ”*Veiledning for røykdykking og kjemikaliedykking*”, utgitt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) i 2003. Alle ansatte i kraftforsyningen skal gis opplæring i førstehjelp og brannvern (jf. FOBTOT § 3-3). I veileder for røykdykking står det at redning prioriteres fremfor sløkking, men må vurderes i hvert tilfelle. Søk etter mennesker og dyr gjennomføres på planlagt måte.

Andre konsekvensreducerende tiltak kan være:

- Personer som arbeider i kraftforsyningsanlegg i fjell eller under dagen gis i tillegg opplæring i bruk av fluktmasker/røykdykkerutstyr, slik at de kan drive selvredning, kameratredning. (I kraftstasjoner med lange adkomsttunneler er det nødvendig med røykdykkerutstyr for å drive selvredning/kameratredning)

5.5.2.1 Sivile og militære anlegg i fjell, under dagen

Det eksisterer en rekke arbeidsplasser under bakken som er av typen kontor eller kontrollrom (figur 5). Vi vil her kort skissere karakteristika for utvalgte steder i Norden og tilhørende rømnings og redningsmuligheter.



Figur 12. "Mind map" over typer byggverk og anlegg i fjell under dagen (Jenssen 2017)

Verdens dypeste kontrollrom befinner seg i bunnen av Kiruna AB sine gruver i nord Sverige **1365 m** under bakken. Det går bilvei nedover i fjellet og inn til kontrollsentralen.



Anlegget har adgangskontroll og et sikkerhetssystem som til enhver tid gir oversikt over antall personer i anlegget og nøyaktig posisjon i gruen. Systemet inngår i beredskapsplanen for evakuering og rømningsveier for anlegget. Redningsrom er etablert. En video av adkomstvei og området tilknyttet selve kontrollrommet ligger på youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=Gsb6Chmieh0>

Oslo Kontrollsentral

SINTEF besøkte anlegget to ganger i 2016 og har hatt samtaler med ingeniører og arkitekter og flygeledere som var sentrale i design av anlegget. Oslo kontrollsentral Røyken ligger i fjell 40m under bakken. Det er arbeidsplass for 50 personer (flygeledere og administrasjon) døgntkontinuerlig med tre skift. Anlegget er bygget etter militær standard med en hovedatkomst og minst tre rømningsveier (Jenssen 2016). Det er ikke etablert egne redningsrom, men det er flere deler av anlegget som er brann celler med brann og atomsikker adkomst/dør. Innhold og utforming av i brann cellene er ukjent, men det antas at de er utstyrt med nødvendige artikler for overlevelse, førstehjelp og kommunikasjon. Det har ikke vært hendelser med brann eller lignende siden kontrollsentralen ble etablert for 20 år siden.



Banhof Pionen Datasenter, Stockholm

SINTEF besøkte anlegget høsten 2016. Datasenteret ligger i fjell 30m under bakken sentralt i Stockholm og er arbeidsplass for 25 programmere, ingeniører og administrasjon. Senteret har har rekke på rekke med data servere for "cloud" lagring av data. Senteret er bygget etter militær standard med brann og atomsikre dører. Anlegget har minst tre rømningsveier. Anlegget har minst en brancelle ssom kan fungere over lengre tid som redningsrom med alle fasiliteter for overlevvelse, førstehjelp og kommunikasjon. Det har ikke vært hendelser med brann eller lignede siden etablering av senteret i 2008.



Figur 13. Bahnhof Pionen datasenter i Stockholm

SOS Alarm – Stockholm

SOS Alarm AB ligger 36m under bakken sentralt i Stockholm under en nedlagt brannstasjon. Hovedatkomst med heis ned til øverste av tre plan i tilknytning til selve operasjonssentralen. Arbeidsplass for 30-40 ansatte som dekker brann, politi, ambulanse og sivil beredskap. Veitrafikksentralen vil om kort tid flyttes til senteret slik at alle nødetater og veg sentral samles i et kontrollrom. Anlegget er utstyrt med møterom for regjering og myndigheter i krisesituasjoner. Senteret 30m under bakken fungerer som en brann og atomsikker celle, med minst tre rømningsveier. En av disse er kjørbare ut til det fri i dagen. Senteret kan fungere som et stort redningsrom over tre plan med soveplasser, kjøkken og mulighet for lengre opphold. Det har ikke vært hendelser med brann eller lignende siden senteret åpnet i 1997. Under Tsunamien i 2004 der mange svenske statsborgere omkom eller var i nød, ble senteret brukt som operasjonssenter for myndigheter og regjering over en periode på 14 dager.



5.5.2.2 Forskningscenter i fjell, under dagen

Cern

CERN- European Organization for Nuclear Research (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*) er et forskningscenter for atomenergi etablert i 1952. Senteret ligger 70-100m under bakken og har hovedatkomst gjennom sjakt med heis og to trappeløp med overtrykk. Det planlegges en utvidelse av senteret.



Figur 14. Flyfoto av CERN anlegget der utvidelsen av anlegget ligger markert med blå stiplet linje i øvre høyre kvadrant av sirkelen. Illustrasjon Corbee 2016.

I forslaget til design for det nye senteret er det foreslått etablering av permanente redningsrom av hensyn til sikkerhet. Redningsrommene er tenkt som en opsjon til selvredning under skadelige/dødelige forhold hvor personell som rømmer kan stoppe og ta seg igjen før de rømmer videre eller vente på assistert redning (Corbee, 2016)

Brandforskningsenheten ved Universitetet i Lund har simulert ulike evakuering scenarioer av det nye anlegget og konkluderer med at et design med flere rømningsveier til fri luft i dagen er å foretrekke framfor et alternativ med redningsrom. Redningstjenestene foretrekker også et alternativ med flere rømningsveier som fra deres perspektiv også kan brukes som aksess og innsatspunkt.

Kost-nytte vurderinger eller risikoanalyse (ALARP) inngår ikke i studien.

Det må noteres at idet basis scenariet med redningsrom var det flere lange korridorer som endte opp som blindveier der personell kunne gå seg bort og bli fanget i røyk.



Figur 15 Illustrasjon av mulig lagdelt utnyttelse av areal under bakken i Singapore.
Kilde: www.ura.gov.sg

Singapore - Science city

Singapore er en bystat med 6 millioner innbyggere beliggende på en øy. Innenfor et begrenset areal må de finne plass til bolig, arbeidsplasser, skoler, søppelhåndtering og alle andre nødvendige samfunns funksjoner. De har tre flyplasser med innflygnings soner som setter grense for bygg i høyden ut over det de allerede har. Myndighetene har på den bakgrunn satt i gang en rekke FOU prosjekt for å se om det er mulig å utnytte arealet under bakken bedre.

SINTEF og andre norske aktører er involvert i flere av disse prosjektene. Blant annet omkring bygging av Arbeidsplasser for studenter og vitenskapelig personale inntil 200m under bakken (Science City).

Singapore søker her erfaringer med arbeidsplasser under bakken, fra hele verden. SINTEF har i den sammenheng videreformidlet norske og utenlandske retningslinjer på området vedrørende beredskapsplaner brannsikkerhet evakuering og bruk av redningsrom for arbeidsplasser under bakken. Hvilke løsninger de har valgt er for det meste dessverre konfidensielt. Men sikkerhet og HMS er høyt prioritert. Ut fra illustrasjoner som ligger åpent på nettet er rømningsveier både horisontalt og vertikalt en mulighet. Sikre brann celler eller redningsrom kan åpenbart etableres om ønskelig.



Figur 16. Illustrasjon av mulig design for Science City. Kilde: www.ura.gov.sg

5.5.2.3 Oppsummering – Byggverk under bakken

Bruk av redningsrom er nedfelt i norske og internasjonale lover og retningslinjer på området. For fjellanlegg under bakken og under dagen i Norge hvor det ikke er laget minst to uavhengige rømningsveier, er det krav om at det skal innredes to eller flere redningsrom.

Ett lps vegtunneler har som regel bare to rømningsveier (en i hver ende). Hvorvidt dette kravet utviklet anlegg i fjell under bakken er gyldig også for Norske vegtunneler er uvisst. Vi har ikke juridisk kompetanse til å vurdere det. Prinsippet er uansett regelverkets status, interessant å merke seg innenfor en diskusjon om etablering av redningsrom i utsatte Norske vegtunneler.

Redningsrom brukes også internasjonalt ved anlegg under bakken og vurderes etablert i en rekke anlegg. Eksempelvis ved Cern og i Singapore

Det er ikke funnet referanser til hendelser eller krisesituasjoner tilknyttet selvredning og bruk av redningsrom i byggverk under bakken. Slike hendelser i militære anlegg er beheftet med konfidensialitet.

Redningsrom brukt i anlegg under bakken	Anvendelser	Erfaringer	Forankret i lovverk
Kraftforsyningen	Ja, i alle større kraftanlegg under bakken	Det er ikke funnet studier, rapporter fra hendelser der de ikke har fungert som tiltenkt. Vi har derimot heller ikke funnet studier, rapporter som beskriver hendelser der ansatte har berget liv og helse ved bruk av redningsrom i krise situasjoner.	a) Temaveiledning for brannvern i kraftforsyningen (DSB 2003). b) FOBTOT kap.2 og c) FEA-F §26 d) HMS – Norsk lovverk
Sivile arbeidsplasser under bakken	Ja, i alle anlegg i en eller annen form		
Militære anlegg under bakken	Stort sett konfidensiell informasjon, men åpen informasjon fra sivile anlegg som har militær status i krigstid, tyder på at samme lover og regelverk som for sivile anlegg følges		

5.6 Bruk av redningsrom innen andre sektorer

5.6.1 offshore oljeindustri

Innen Offshore oljeindustri brukes rednings kapsler som slipes ned på havet under plattformen. Det er en lukket kapsel som også fungerer som motorisert og styrbar båt når den er på sjøen. I likhet med redningsrom i tunnel er det et lukket rom med fasiliteter for å overleve. Det beskytter personell og fjerner de fra hendelsens influensområde. Sannsynligheten for å overleve og bli reddet øker betraktelig, selv om assistert redning kan vanskeligjøres og forsinkes ved storm på det åpne hav.



Figur 17. Rednings kapsler som "Whittaker lifeboat capsule" er og har vært anvendt offshore. De inneholder mat, vann og rom for 28 personer. Foto norsk oljemuseum

Slike redningskapsler er en videreutvikling av marine redningsbåter benyttet inne skipsfart. Noen skip har fritt falls livbåter, lagret på en slipp/skråning normalt på fartøyets akterende. Disse faller i vannet når sikringen frigjøres. Slike livbåter er betydelig tyngre enn vanlige livbåter og er konstruert for å tåle kollisjonen med vannflaten. Fritt falls livbåter brukes fordi evakuering kan starte nesten umiddelbart med høy pålitelighet under alle forhold. Ved brann, eksplosjon eller lignede kritiske hendelser med katastrofepotensiale er evakuering tidskritisk om mannskap skal kunne berge liv. Eneste sikre rømningsvei på skip eller oljeinstallasjoner offshore er å skape avstand til brannobjektet ved å rømme på havoverflaten. Fra 2006 har det vært påbudt for bulkfartøy av en type som kan synke for fort til at konvensjonelle livbåter kan settes på vannet. Offshore oljeplattformer er vanligvis utstyrt med denne typen livbåt kapsler nettopp fordi tid til evakuering er kritisk ved en rekke risikoscenarier (blow-out, brann, eksplosjon, gasslekkasje). Det å skape avstand fra brannobjektet og raskt er her et viktig argument for bruk av rednings kapsler. Man får ikke plattformarbeiderne inn til land som ville være det tryggeste, men å få de ut på havoverflaten er det nest beste. Brukes det samme argumentet i en tunnel, så kan man si at det tryggeste er å få trafikantene ut til overflaten, det er det ikke sikkert er mulig i alle tilfeller, men å få de losjert inn i et redningsrom er det nest tryggeste, men trygt nok for en periode.

Oljetankere er pålagt å være utrustet med brannbeskyttende livbåter, testet for å tåle flammer fra olje eller andre utslipp av petroleumsprodukt fra tanken. Brannbeskyttelse av slike båter kommer i form av isolasjon og sprinklersystem. Et rørsystem på toppen av båten der vann pumpes opp og sprøytes over redningskapselen for å avkjøle overflaten. Dette systemet, er ikke 100% uten feil (motorsvikt), men det tillater at brannbeskyttende livbåt kapsler kan bli bygget av glassfiber. Størrelsen varier og tilpasses antall personer som må evakuere en båt eller offshore installasjon inne en gitt tidsfrist.



Figur 18. Fritt fall: Et Norsk båtbyggerfirma har verdensrekorden for det lengste fall en marin rømnings kapsel kan trygt tåle. GES50 falt 61.53 meter

Erfaring fra uønskede hendelser

I november 1975 falt en redningskapsel ukontrollert i sjøen under evakuering etter stigerørsbrudd og brann på Ekofisk. Redningskapsel ble låret for tidlig og falt

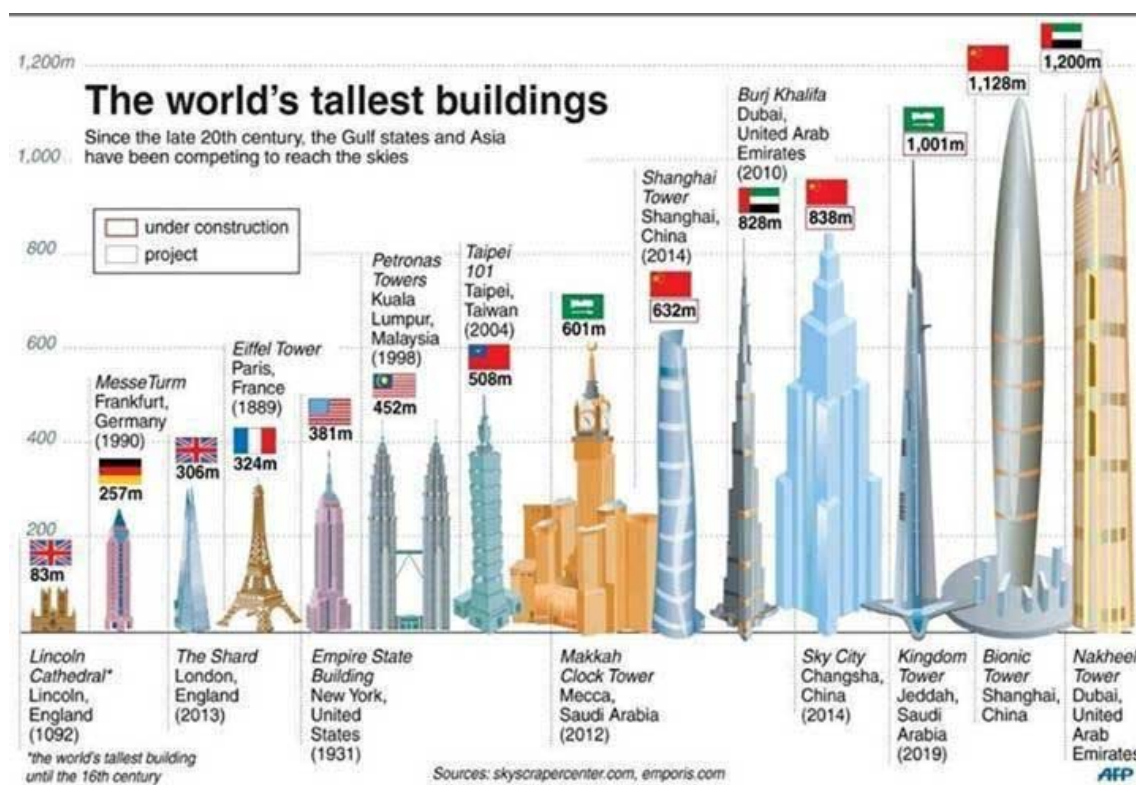
5.6.2 Høye bygg

I kjølvannet av 9/11 (2001) har det vært fornyet fokus på brann og bransikkerhet i høye bygg. Blant annet har det ført til nye retningslinjer for bredde på trappeløp. Redningsmannskaper på vei opp trapper i *Twin Towers* hadde problemer med å komme forbi folk som evakuerte ned samme trappeløp. Krav til bredde tar også hensyn til at amerikanere i snitt er blitt mer omfangsrike. Det har også ført til utvikling av innovative løsninger for selvredning som er av interesse i forhold til evakuerings strategi og diskusjoner omkring bruk av redningsrom.

En annen årsak til fornyet interesse for bransikkerhet og selvredning i høye bygg er at det stadig bygges høyere og planlegges bygg opp mot 1.2 km høye (Nair 2016). En god oversikt over branner og erfaringer med branner i høye bygg de seneste tiår er gitt av NFPA (Hall 2013).



Figur 19. Angrep på twin towers 9/11-2001. Kilde: Presstv.com



Figur 1. De høyeste eksisterende bygg og under bygging/planlegging

Selvredning fra høye bygg har tradisjonelt gått ut på at beboere evakuerer av seg selv, før beredskapsmenn har kommet på stedet, ved hjelp av tilgjengelige evakueringsheiser og trapper.



Figur 2. Kranbil med redningsstrømpe. Kilde:

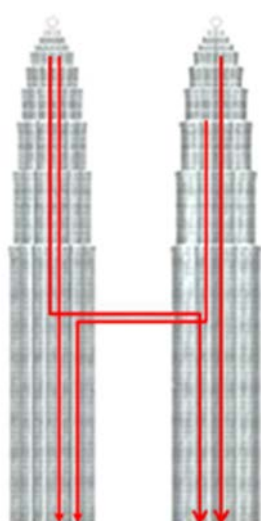
<https://timeguide.wordpress.com/2017/06/20/high-rise-external-evacuation/>

Utvendig eller innvendig evakuering i en permanent eller tilkjørt redningsstrømpe har etter hvert blitt et etablert alternativ for lavere høybygg.



Figur 20. Prinsippskisse for bruk av innvendig redningsstrømpe i høye bygg

Petronas Towers i Malaysia (452m) er det første med evakueringsmulighet til det parallelle bygget. Senere er dette prinsippet brukt i flere høye bygg, blant annet i Marina Bay, Singapore der det er tre høybygg på rekke med en felles toppetasje.



Figur 21. Skisse av Petronas Towers med rømningsveier via en skybridge som forbinder byggene på midten.

Kilde. Rashid-Shumar (2014).

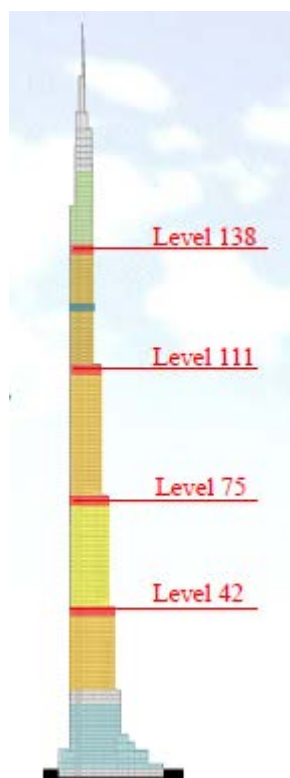
I Petronas Towers er det installert et aktivt brannslukningsanlegg som også kontrollerer røykspredning. En Sky Lobby fungerer som redningsetasje der folk kan samles og eventuelt redde seg ved å benytte en Sky bridge mellom byggene (figur 20). For høyere bygg er det utviklet rednings kapsler som senkes ned på utsiden av bygget. Disse kapslene står i beredskap på såkalte sikre etasjer. De mest avanserte løsningene er kapsler med hjul og motor slik at de kan kjøre vekk fra bygget når de når bakkenivå.



Figur 3. Redningskapsel med hjul stasjonert i sikker etasje. En bom felles ut og kapselen fires ned på utsiden av bygget.

Kilde: <http://www.technokontrol.com/en/products/pods.php>

Redningsetasjer er en form for ordningsrom og tilfluktsområde (*Safe heaven*) i høye bygg. Det er en etasje i en bygning som bygningsmessig er beskyttet strukturelt mot kollaps og mot brann gjennom et godkjent,



Figur 22. Skisse av plassering for fire redningsetasjer i Burj kalifa. Kilde: Rashid - Shumar 2014

automatisert sprinklersystem. I svært høye bygg er det ofte et krav at det ikke skal vær annen virksomhet i etasjen, slik at det er god plass og tilflukt for folk fra etasjene over.

Etasjen skal ha minst to tilgjengelige rom som er adskilt fra hverandre med overtrykk og andre tiltak for hindring av brann og røykspredning. Bruk av slike redningsetasjer er basert på en ny strategi for branninnsats og selvredning i høye bygg.

Defend in Place- Strategi

En beskyttelse-på-stedet-strategi (*Defend in place*) gir et virkemiddel til å holde seg trygt i bygningen under en brann. Beskyttelse-på-stedet strategier er vanlig innen helsetjenesten, der en stor andel av beboerne er sengeliggende eller har mobilitetssvikt. Denne strategien er nå blitt vanlig for høye bygninger

Valg av strategi for å evakuere eller beskytte seg på stedet er viktig for høye bygninger. Avhengig av type bygning og beskaffenhet, kan disse alternativene bidra til å gi et godt grunnlag for en bygnings ytelse i tilfelle brann.

Strategien med å beskytte seg på stedet er basert på tre faktorer:

- At høyhus er motstandsdyktige mot brann, og at beboerne kan oppholde seg i deler av bygningen uten å bli utsatt for røyk og brann
- At brannmenn ikke kan slukke en brann i et høyhus over en viss høyde
- At beboerne i høyhus kan følge brannsjefens instruksjoner

Dagens høybygg er ofte ikke motstandsdyktige mot brann fordi røyk sprer seg lett gjennom ventilasjonskanaler, heissjakter o.l. Eller fordi etasjene ligger utenfor brannmannskapenes rekkevidde med stiger og brannslanger. Ofte rekker disse ikke lenger enn opp til de første 9-10 etasjene. Brannslukking i høye bygg har derfor i praksis ofte blitt en kontrollert nedbrenning.

Burj Kalifa i Dubai (UAE) som er verdens høyest bygg i dag (825m), har fire redningsetasjer der folk fra etasjene over kan oppholde seg til brannen er slukket, til redningsmannskaper hjelper de ut. Eventuelt kan de kan fire seg ned i redningskapsler på utsiden.

Redningsheiser

Burj Kalifa har også separate redningsheiser spesielt beskyttet mot brann og røyk. USA var det første landet som innførte separate redningsheiser for selvredning. Det er det alternativ til rømningstrapp i henhold til amerikanske bygningsvedtekter (IBC 2012). Bruk av rømningheiser og sikre redningsetasjer er nå også en del av amerikanske retningslinjer for brannsikkerhet (NFPA 5000) europeiske retningslinjer (EN 81-72) og internasjonale retningslinjer (IBC 3008).

For Kingdom Tower (1.2km) i Jeddah, Saudi Arabia er det planlagt redningsetasjer for hver 20. etasje, der hele etasjen er en redningsetasje med overtrykk og strukturell forsterkning. I disse redningsetasjene er det mulig å oppholde seg over lengre tid med kommunikasjon, vann førstehjelpsutstyr osv. Det er også oppsamlingssted for redningsheiser og utvendig evakuering med redningskapsler (*Lifeboat elevators*) på utsiden av bygget. Kinesiske retningslinjer for bygg krever er strengere og krever etablering av redningsetasjer i høye bygg hver 15. etasje og at trappeløp skal separeres (diskontinuerlig) ved hver redningsetasje.

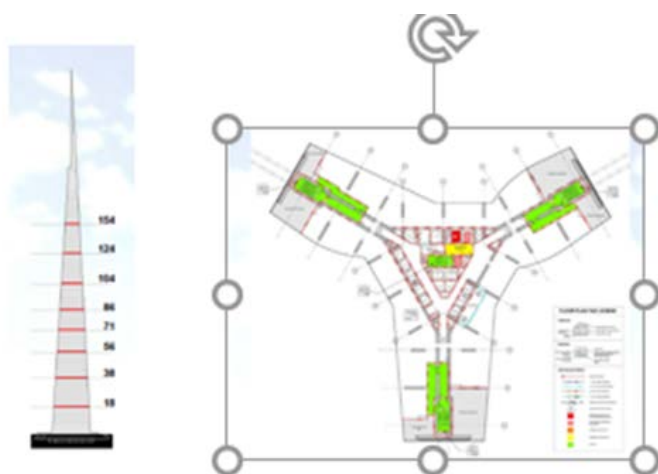


Figure 4. Skisse av redningsetasjer planlagt for hver 20. etasje i Kingdom Tower.

5.6.3 Oppsummering- redningsrom brukt innen andre sektorer

En form for redningsrom og trygge områder benyttes bde offshore og i høye bygg. Bruken av redningskapsler og sikre etasjer er nedflet i lover og retningslinjer på området.

Vi ser at det i etterkant av 9/11 er utviklet nye retningslinjer, strategier og teknologier for selvevakuerings, assistert redning og bruk av redningskapsler. Redningskapslene har mange likhetstrekk med livbåter og redningskapsler brukt i sjøfart og ved oljeplattformer offshore. Bruken av sikre etasjer med overtrykk og strukturell motstandsdyktighet ved brann er nedfelt nasjonale og internasjonale retningslinjer for høye bygg. Det er få holdepunkter for hvordan redningsetasjer, redningsheiser eller utvendige redningskapsler vil fungere i praksis. Det har vært en brann i Burj Kalifa i 2016, der ingen omkom, men rapporter fra hendelsen er ikke tilgjengelig.

Redningsrom brukt innen andre sektorer	Anvendelser	Erfaringer	Forankret i lovverk
Offshore	Ja, en form for redningsrom (redningskapsler brukes i alle offshore installasjoner) De gir ikke adgang til fritt sted, men er en midlertidig trygg plass når de når havoverflaten og har beveget seg tilstrekkelig langt bort fra oljeplattformen i en krisesituasjon	Det er ikke funnet studier, rapporter fra hendelser der de ikke har fungert som tiltent. Vi har derimot heller ikke funnet studier, rapporter som beskriver hendelser der ansatte har berget liv og helse ved bruk av redningsrom i krisesituasjoner. Unntaket er en redningskapsel som falt ukontrollert i sjøen under evakuering etter brann på Ekofisk i 1975.	a) Lover og regelverk for sikkerhet offshore b) HMS Norsk lovverk
Burj Kalifa (UAE)	Ja, fire redningsetasjer	Det er ikke funnet studier, rapporter fra hendelser der redningsetasjer ikke har fungert som tiltent. Vi har derimot heller ikke funnet studier, rapporter som beskriver hendelser der folk har berget liv og helse ved bruk av redningsetasjer.	a) NFPA 5000 b) Europeiske retningslinjer (EN 81-72) c) Internasjonale retningslinjer (IBC 3008).
Kingdom Tower (SA)	Ja, hver 20 etasje		
Petronas Tower (M)	Ja, en med rømning mellom bygg		
Kina, Singapore	Ja, i flere bygg bla Mandarine Bay 245m og Orient Suzhou 278m		

5.7 Systemer for ledning til redningsrom, nødutgang og portal

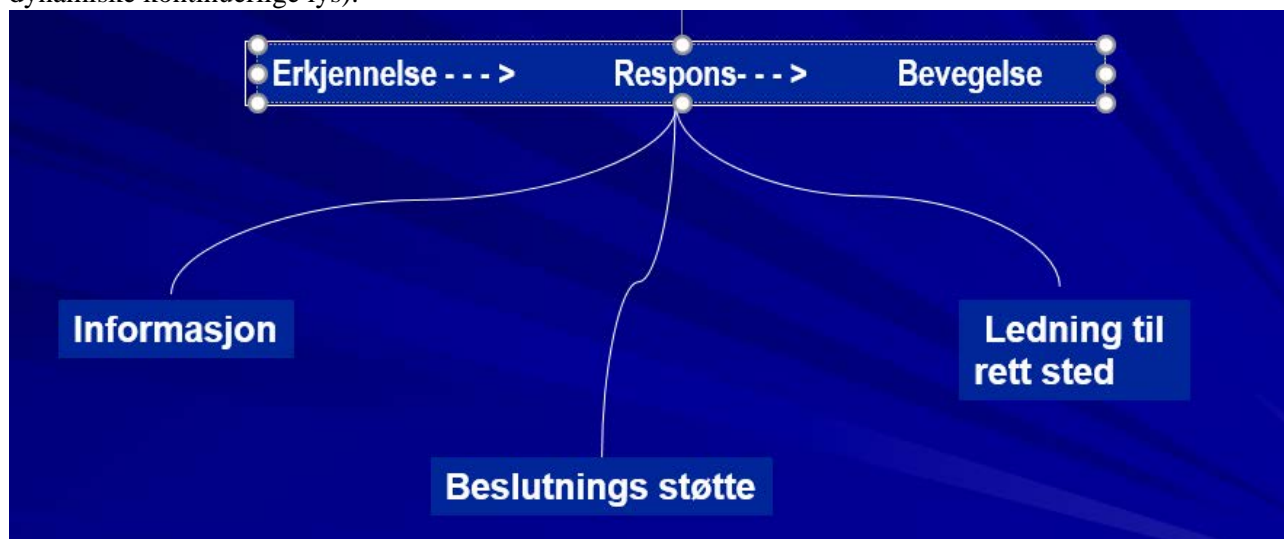
Det eksisterer en rekke teknologier for å lede folk til redningsrom eller nødutganger i tunnel.

Det er tre typer ledningsteknologier som kan benyttes alene eller i kombinasjon:

- Skilt
- Statiske lys (kontinuerlig)
- Dynamiske (kontinuerlig)
- Akustisk (for å gi beskjed om fare)
- Akustisk (for å lede til redningsrom/utgang)

Hvordan ulike tiltak og varianter av tiltak påvirker atferd i krisesituasjoner basert på hendelser /brann i tunnel og fullskalforsøk er gjennomgått i norske studier (Stene et al 2003, Jenssen et al 2006) og i utenlandske studier (Jenssen 2003, Jenssen 2007, Martens et al 2008, Fridolf 2010, Brandt et al 2013, Higgins et al 2015).

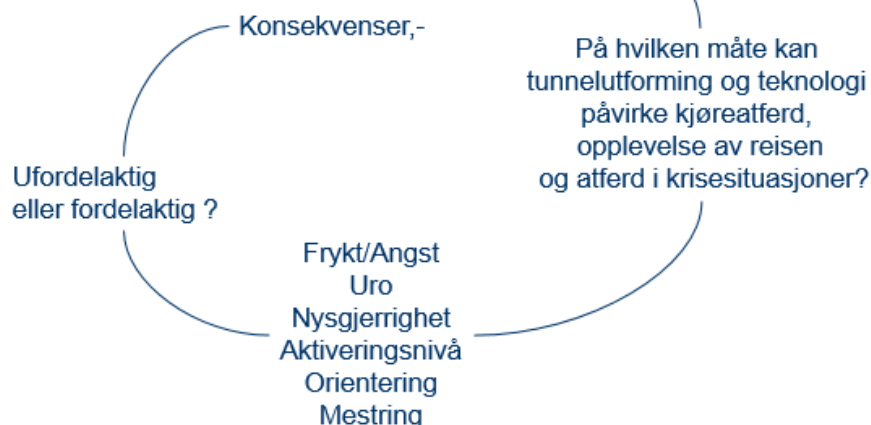
Et fellestrekk ved funn er at trafikantene trenger visuell og akustisk støtte for å kunne erkjenne hvilken fare de er i (eks. brann i tunnel) og iverksette handling raskest mulig (eks. gå ut av bilen). Se figur 23 . Deretter trenger de støtte til å beslutte riktig atferd (respons) og støtte for å lede de til bevegelse i riktig retning (eks. dynamiske kontinuerlige lys).



Figur 23. Modell for viktige element til støtte for ønsket evakueringsatferd

Uten tekniske installasjoner som støtter ønsket evakueringsatferd er det fare for at de blir sittende i kjøretøyet. Teknologien (info. og ledesystem) og tunnelutforming (redningsrom, nødutganger) kan påvirke atferden i riktig retning og ønsket konsekvens mens fravær av informasjon og ledesystem kan skape frykt, angst uro og ufordelaktige konsekvenser. Intervju med trafikanter etter branner i norske veggutganger gir støtte for det (SHT 2013, Roche-Cerasi et al 2017, Larsen 2017).

På hvilken måte kan teknologi endre vår oppfatning av verden og føre til bevegelse,



Figur 24. Model for hvordan tunnelutforming og teknologi kan påvirke trafikantatferd

En rekke fullskala studier, studier i kjøresimulator og rapporter fra reelle tunnelbranner gir indikasjoner om om hva som skal til for at trafikanter reagerer, i tide og med riktig respons og resultat (Martens et al 2008, Fridolf 2010, Higgins et al 2015). Det er likevel mangelfull kunnskap om hvilke tiltak og kombinasjoner av tiltak som fungerer best i utsatte norske ett-løps vegtunneler, lange, undersjøiske og ofte med sterk stigning/fall. Indikasjoner på at deler av teknologien og tiltak fungerer rimelig bra har vi fra brannen i oslofjordtunnelen mai 2017 der to trafikanter fant fram til redningsrom med baset på kontinuerlig og dynamisk visuell ledning (Larsen 2017).

6 Modeller

Kritikk mot eksisterende modeller for evakuering og evakuering i vegtunneler og kunnskapen disse baserer seg på, finner vi fra en rekke hold (Nilsson 2006, Fridolf 2010, Ronchi 2012). Nilsson et al (2015) stiller spørsmål om dagens modeller er utgått på dato?

Det er begrenset kunnskap om kjøretøyene som til enhver tid befinner seg i tunnelene; omfang og antall, kjøretøytyper og variasjon, og ikke minst tilstand, last og kjøreatferd knyttet til tyngre kjøretøy (Njå & Kuran, 2015). Samtidig finnes det store mengder data som samles inn gjennom vegtrafikksentralene, men som i liten grad er utnyttet i sikkerhetsarbeidet. Informasjon fra trykksensitive sløyfer i forbindelse med brannen i Gudvangatunnelen ble først analysert mer enn ett år etter brannen i 2011. Det ga en faktisk oversikt over hvor mange kjøretøyer og personer som kjørte ut forbi brannobjektet eller snudde og kjørte ut. Slik kunnskap er viktig for å kunne skape en realistisk og valid modell for selvberging med bil og til fots i lange og bratte ett-løps tunneller

Fra andre sektorer har vi modeller og verktøy med stor detaljgrad, brukt i den daglige og mer langsiktige sikkerhetsstyringen, for eksempel luftfart, olje og gassindustrien og kjernekraft. Forskning på tunnelsikkerhet har i stor grad vært knyttet til brannfenomener, tekniske systemer (ventilasjon, lys, aktiv og passiv brannbeskyttelse, og deteksjonssystemer), frykt, og evakueringsmodeller. Simuleringsverktøyene for termiske effekter og røykspredning har store mangler (Bubbico, Mazzarotta, & Verdone, 2014; Qu, Meng, & Liu, 2013), spesielt knyttet til simuleringer av lange tunneler. Rent umiddelbart så ser vi dette kan karakteriseres som best case - kontrollert evakuering vinter og sommer.

Ingen er forhindret fra evakuering på grunn av brann, røyk, terrorister eller bygningsdeler, utstillingsmateriell containere, blokkerte dører osv.

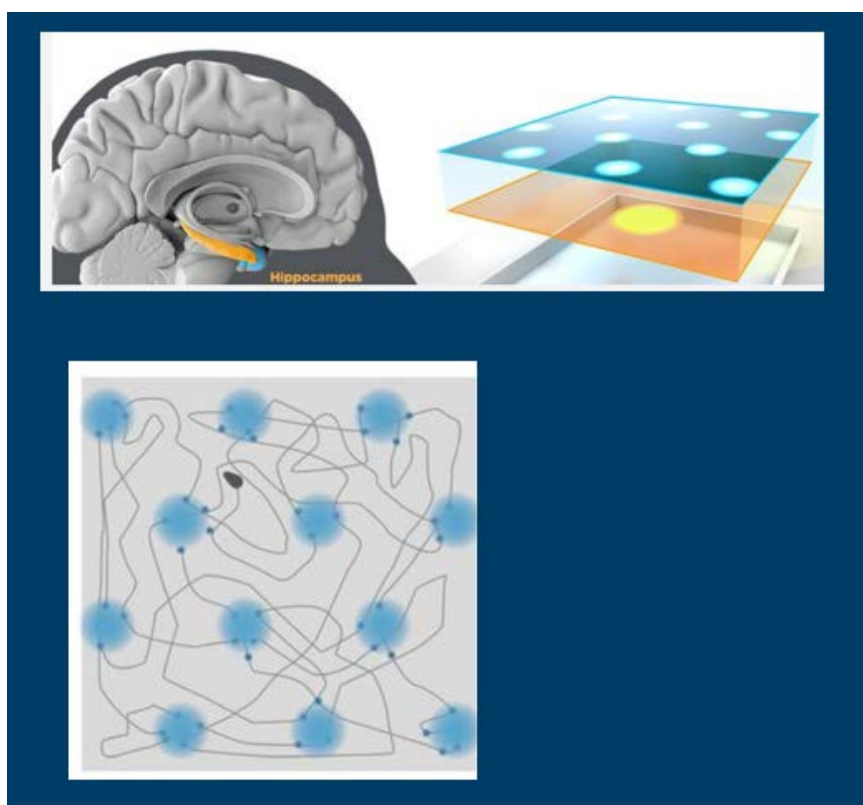
Ved røyk i tunnelen vil gangfart for alle som er fanget i den gå ned til 0,2 m/s. Folk famler og snubler seg fram. Det samme ser vi ved fullskalaforsøk i metro prosjektet (Ingason et al 2012) og fullskalaforsøk i USA (Higgins, Rozytckie og Jenssen 2016). Det bekreftes også i intervju med trafikanter som har vært fanget i røyken ved norske tunnelbranner (SHT 2013, Larsen 2017).

En rekke faktorer kan forverre evakuering og en del er nevnt som

- Personlighet
- Spredning av frykt og Panikk
- Alder
- Førlighet
- binding til gruppe og eiendeler
- Bredde på trapper dører
- At alle er åpne osv

Nyere forskning innen neurovitenskap viser at vi er utstyrt med gridceller som styrer hvordan vi normalt orienterer oss i rommet (Moser 2015). Men når vi blir stresset slutter disse gridcellene å fungere. Det bekreftes i intervju med trafikanter som ble fanget i røyken i Gudvangatunnelen og i Oslofjordtunnelen og av brannmenn som har kommet bort fra kolleger og er fanget i flammehav. I Gudvangatunnelen hadde trafikanter bestemt seg for å gå vekk fra brannen, men straks de gikk ut og rundt bilen gikk de i feil retning

Trafikanter og brannmenn i Oslofjordbrannen 2011 visste ikke om de gikk opp eller ned i en tunnel med 7% stigning. Evakueringshastigheten reduseres med 50% hvis folk har bagasje! Det viser studier fra flyplasser og tog og metro stasjoner. Ved byggmesse, antikkmesse o.l. har folk gjerne en del posser, bagger, pakker de vil ta med seg. Utstillere kan finne på å ta med pc vesker eller lignende.



Figur 25 Orienterings sansen. Grid celler i hjernen ved Hippocampus styrer vår evne til å orientere oss romlig. Buzsáki & Moser 2013, Osborne et al 2015.

Vi ser på bakgrunn av virkelige hendelser ved brann i tunnel og metrostasjoner at det er tre stadier i evakuering.

Ofte bruker folk veldig lang tid på å forstå at de må evakuere. Det Pathfinder simulerer er primært evakuerings tid fra folk har oppfattet fare og startet evakuering.

Å modellere menneskelig respons og atferd skaper også store utfordringer. Det eksisterer en rekke simuleringstøys for evakuering basert på forutsetninger om at mennesker er rasjonelle og tar riktige valg, de går med konstant hastighet og de evakuerer i henhold til skilt og prosedyrer (Alvear, Abreu, Cuesta, & Alonso, 2014; Caliendo, Ciambelli, De Guglielmo, Meo, & Russo, 2012; Capote, Alvear, Abreu, Cuesta, & Alonso, 2013; Mu, Song, Qi, Lu, & Cao, 2014; Ronchi, 2013; Ronchi, Colonna, & Berloco, 2013). Kobes med flere (2010) er skeptiske til grunnlaget for den klassiske simuleringstenkningen og viser at forutsetningene er feil. Det oppstår mange forstyrrelser i krisesituasjoner som påvirker evnen til evakuering, mennesker benytter kjente (dvs. hovedløpene i tunnelene) fremfor ukjente rømningsveier (for eksempel tverrslag), mennesker har en tendens til å overhøre lydsignaler, og de overser skilt. Nilsson og Johannessen (2009) studerte brannevakuering fra kinolokale. Sosial påvirkning var størst når alarmmeldingene var uklare, dvs da nølte menneskene og avvartet sidepersonens handlinger. Det er vel kjent at kjøring i vegtunnel eller opphold under bakken kan utløse frykt og angst og en klaustrofobisk følelse av å være innesperret (Sommer 1974; Hollon, Kendall, Norsted & Watson 1980; Wada & Sagukawa 1990, Jenssen 1997, 1998 & 1999). Dette påvirker atferd både ved normal ferdsel og i krisesituasjoner. Hensyn til slik atferd er ikke tatt inn i eksisterende modeller for evakuering i tunnel. Fra et teoretisk synspunkt er det ingen altomfattende teori som kan forklare menneskelig atferd i tunnel. Samlet sett gir nyere atferdsteori, økologisk psykologi med vektlegging av kontekst og "affordances" og sosiotechniske teorier om samspillet mellom teknologi og menneske og hvordan mennesket fungerer i samspill (*Joint cognitive systems*), gode holdepunkt for empiriske studier og modellbygging (Fridolf 2010, Nilsson 2017).

Kinateder med flere (2013) demonstrerte at evnen til selvevakuering blant trafikanter kan påvirkes gjennom informasjon og opplæring, det vil si at trafikantene i deres grupper forstod situasjonen raskere og valgte riktig evalueringsmetode vesentlig raskere enn kontrollgruppen uten opplæring.

Som enkeltstående elementer er trafikkflyten best modellert med mikromodeller, men også de tar i liten grad høyde for faktorer som påvirker risiko. I det hele behøves bedre kunnskap som må bygges fra trafikkstrømsmodeller via dataanalyser til risikoindikatorer og modeller som kan brukes i sikkerhetsstyringen i sann tid og mer langsiktig sikkerhetsstyring

Tunnelforvaltere, nødetater og forskere har stort behov for å forstå og bruke modeller for å utvikle og synliggjøre effekter av nye løsninger, enten det dreier seg om forebyggende eller skadeavbøtende tiltak. Det er da viktig at modellen er basert på solid kunnskap og valide for det de kan predikere.

7 Diskusjon

I Norge har vi siden 2011 hatt flere alvorlige tunnelbranner. Statens Havarikommisjon for Transport, Statens vegtilsyn, Riksrevisjonen og flere brannvesen har rettet skarp kritikk mot det lave sikkerhetsnivået og risikostyringen av norske tunneler (Riksrevisjonen, 2014; SHT, 2013, 2015, 2016a, 2016b; Svela, Njå, & Berg, 2016; Vegtilsynet, 2015).

Ved hendelser i tunnel må bilister kunne sette seg i sikkerhet før kritiske forhold oppstår på grunn av brann. Samtidig må tunnelens fysiske miljø tillate bilister å komme seg til et trygt sted (med bil eller til fots), så snart de velger å snu, kjøre forbi brannstedet eller forlater kjøretøyene sine. Dette innebærer at det stilles krav til både tunnelens fysiske utforming og at det er tilstrekkelige installasjoner og at de er riktig utformet slik at førerne kan unnslippe på en ønsket måte.

Viktige parametere er:

- Tunnelbredde
- Havarilommer
- Varsel om fare
- Ledningssystem
- Utforming av nødutganger
- Utforming av redningsrom
- Avstand mellom redningsrom

I utgangspunktet er det to typer av innretninger i en tunnel bilistene har en direkte nytte av i tilfelle av en brann, a) innretninger for å orientere seg om situasjonen og for å legge til rette for beslutningstaking (proaktivt) og b) innretninger som kan brukes for å lindre effekten (konsekvens av brann) og aktivt kommunisere med for eksempel en trafikksentral og nødetater. Begge typer installasjoner er nødvendige for at forholdene skal ligge til rette for selvredning. De øker sjansene for at brann vil få mindre konsekvenser når det skjer. Det grunnleggende kravet i selvredningsprinsippet er at all evakuering utføres som selvevakuering, og det må ligge til rette for at den er fullført før assistanse kommer.

I dagens høytrafikkerte tunneler er det en rekke installasjoner slik som elektroniske tavler (variable skilt, fritekst tavler) med såkalte tekstmeldinger VMS tavler og andre dynamiske trafikksignaler som blir brukt til å styre trafikken.

7.1 Kunnskap om selvredning fra branner og fullskalaforsøk

Hovedformålet med de proaktive installasjonene er å informere bilistene om riktig atferd i tunnelen og at de må forlate sine kjøretøy og evakuere tunnelen ved brann, når situasjonen krever det. I en serie tunnelulykker i Europa har det vist seg at en av de viktigste problemene i en brann er å få folk til å forlate sitt kjente miljø og forflytte seg/rømme/evakuere. Ved brannen i Mont Blanc-tunnelen, viste det seg at noen av de døde bilistene forble i sine biler med setebelter festet. Dette indikerer at de ikke tidsnok hadde innsett at de måtte forlate bilen og evakuere. Dette demonstrerer tydelig behovet for og fordelene med godt utformet informasjon til bilistene. Hvordan informasjonen best skal utformes er et annet spørsmål. Bare noe så enkelt som utformingen av teksten på en VMS tavle kan ha en avgjørende betydning for utfallet.

I Stockholm (Sødra-Lenken) brukes meldingen *'Evakuer tunnel'* som første setning. Ved en brann oppfattet flere bilister det som en beskjed om at de burde evakuere ved å fortsette å kjøre gjennom tunnelen og på den måten rømme. Ideen bak meldinger som ble designet i prosjekteringen var at bilistene først skulle stoppe bilen og deretter evakuere til fots gjennom rømningsveiene til det parallelle tunnelløpet, men det var ikke slik bilistene forstod situasjonen. Årsak til denne oppførselen kan spores til generelle teorier om menneskelig atferd i brann som blant annet hevder at mennesker handler på samme måte i en brann som de ville under normale forhold. Den naturlige oppførsel ved brann i Sødra-Lenken var å fortsette å kjøre gjennom tunnelen. Det viser at det er grunn for å undersøke hvordan informasjon til bilistene bør designes slik at det når fram og kan oppfattes riktig. Det ble nylig demonstrert i en amerikansk studie at akustiske meldinger *"Emergency -walk to exits* eller *Fire in tunnel - walk to exits"* ga raskere og mer målrettet atferd enn en tekst på VMS tavle alene (Higgins et al 2015). Den første meldingen er mer uspesifikk/generell og kan brukes ved kald hendelse (gassutslipp, terrorangrep osv.), mens den andre er spesifikk og forteller hvilken type kritisk hendelse de er utsatt for. Hvis det er kjent hvilken fare som har oppstått er det hensiktsmessig å fortelle eksakt hva som truer sikkerheten.

Det kan også være den andre måter å informere andre enn VMS tavler, og akustiske tale meldinger. For eksempel, forskjellige lyssignaler en teknikk for å informere trafikanter ved en hendelse i tunnelen.

Eksempelvis har dynamiske ledelys lenge vært brukt med hell innen luftfart. Der dynamiske ledelys viser retning til nærmeste nødutgang. Eksempelvis viste forsøk i Göta tunnelen (ref 2006) at hvor fordelaktig det er med blinkende lyssignaler som viser evakueringsruter til tydelig markerte nødutganger. Det samme ble nylig demonstrert under fullskalaforsøk i USA, der både pasive LED lys, etterlysende skilt og dynamiske LED lys ble testet (Higgins et al 2015).

7.2 Overførbar kunnskap?

I mange tunneler er evakueringsskilt plassert ved begge utgangene og med jevne mellomrom inne i tunnelen der de peker mot nærmeste rømningsvei og nødutgang. Nytt av disse har ikke blitt evaluert for norske vegtunneler, men fremtidige forsøk kan undersøke dette aspektet for vegtunneler. Universitetet i Lund har i METRO prosjektet gjort en serie forsøk med dette i jernbanetunneler. Det er bare i noen grad overførbart til evakuering i norske ettløpstunneler. All informasjon i toløpstunneler tar sikte på å få førere raskt til å bestemme seg for å forlate kjøretøyet og å evakuere tunnelen ved brann. Men det er ikke gjort studier på evakuering i ettløpstunneler med eller uten redningsrom. Det bør også undersøkes om det er en øvre grense for hvor mye informasjonskilder som kan være i en tunnel før mengden informasjon blir for stor. Forsøk har vist at utformingen av evakueringsalarm ikke bør være mer enn to forskjellige signaler, for ikke å overbelaste hjernen med for mye informasjon i en krisesituasjon.

7.3 Kontinuerlig vegvisning til trygt sted

Når føreren har forlatt kjøretøyet, trenger han/hun også veiledning for å kunne orientere seg. Nå framstår nytten av de tidligere evakueringskiltene langs tunnelen, og blinklysene ved nødutgangene/redningsrom enda tydeligere. Kontinuerlig vegvisning og ledning er også verdifullt dersom evakueringsprosessen kommer på et senere tidspunkt, og trafikantene tvinges til å evakuere i røyk. I så fall vil vegvisningen med skilt plassert et stykke fra hverandre i prinsippet ikke være synlig. Kontinuerlig vegvisning og bekreftelse på at trafikanten oppfører seg korrekt, er nødvendig. Dette betyr at det må stilles krav til den korteste avstanden mellom slike lyspunkter og plassert høyde over veg som kreves. Om skilt eller ledelys er plassert for høyt, vil de i prinsippet raskt komme utenfor synsvidde når røyken samler seg og synker mot vegbanen. Hvordan kontinuerlig ledelys i utsatte ettløpstunneler best kan utformes må bekreftes gjennom realistiske forsøk.

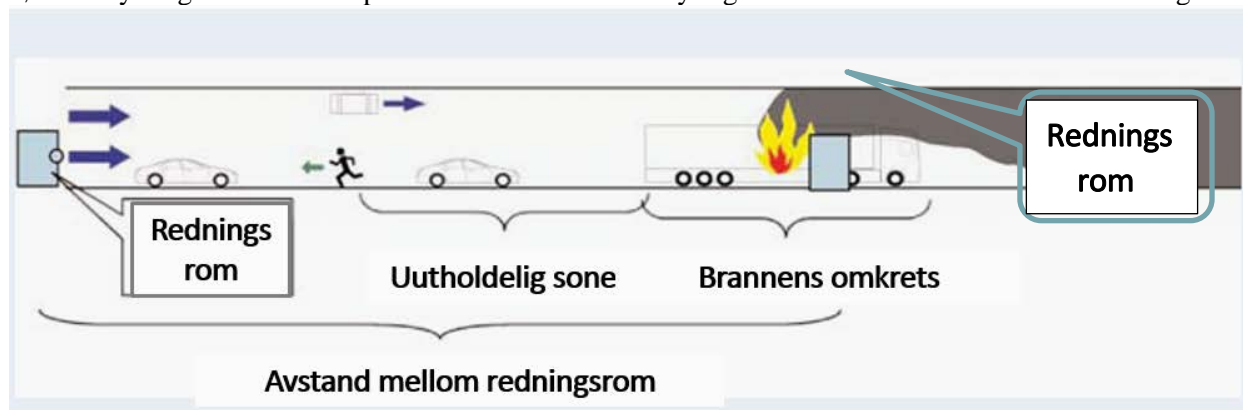
7.4 Utforming av rømningsveg/dør

Når trafikanten nærmer seg en rømningsveg eller en dør til et trygt sted, må det være tydelig at trafikanten har kommet til rett sted. Dørens utforming (åpningsmekanisme og design) og omgivelsene på et slikt sted er viktig for at personen skal forstå at en riktig beslutning er å bruke døren og komme til et trygt sted. I utgangspunktet har alle tunneler sin egen design på utseendet på døren, og en standardisering er ønskelig, men kan kanskje være vanskelig i praksis. Imidlertid bør det stilles minimumskrav for utformingen av døren og for dørens omgivelser slik at trafikantene skal kunne gjenkjenne seg, og hva som er nødutgang eller dører til et trygt sted, selv når de kjører gjennom forskjellige tunneler.

7.5 Geografiske forutsetninger for selvredning og bruk av redningsrom

I utgangspunktet ble det nevnt to hovedutfordringer, hvorav informasjon til trafikanter var den første. Det andre problemet er knyttet til tunnelens fysiske utforming for å muliggjøre sikker selvredning. Det finnes ganske mye forskning omkring menneskelig bevegelse, ganghastighet, men denne forskningen er ikke spesifikt rettet mot tunneler. Viktige aspekter i dette tilfellet er, i tillegg til det nevnte, avstanden til rømningsveien fra et gitt sted i tunnelen, eksempelvis om døråpningen til rømningsveien er bred nok og uten trapper og terskler som kan hindre brukere av rullestol. Rullestolbrukere kan ha vanskelig for å bevege seg

gjennom døråpningen hvis underlaget ikke er helt jevnt. Det er ikke bare terskler som kan hindre funksjonshemmede, men også stigningsforhold i tunnelen og mellom tunnelen og rømningsruter. Slike aspekter av universal utforming er avgjørende for sikker selvredning for alle, men noen ganger blir de glemt. For å unngå unødig hindring, bør dørene være lette å åpne og åpningsmekanismen skal være lett å forstå. Selv i dette tilfellet skal designen være basert på det som er normalt i andre sammenhenger, dvs. et felles normalt dørtrykk og dørhåndtak foretrekkes framfor mer sofistikerte løsninger. Selve dørhåndtaket eller døråpner mekanismen bør være utformet i et materiale som ikke blir varmt ved brann. Under brann i Oslofjordtunnelen (mai 2017) der to trailersjåfører benyttet seg av et redningsrom, fikk den ene som åpnet døren betydelige brannskader på hendene. De ville sannsynligvis ikke overlevd uten bruk av redningsrom.



Figur 26. Skisse av enkelte geografiske faktorer som påvirker selvredning og overlevelse ved brann i ett løps tunnel

Enkelte geografiske forutsetninger for geografisk plassering av redningsrom er skissert i figur 26 ovenfor. Antall redningsrom og kapasitet må dimensjoneres for den enkelte tunnel basert på identifiserte risikoscenarioer og trafikk. Et eksempel på et slikt "worst case"-scenario er en brann etter frontkollisjon mellom to vogntog med brannfarlige varer, og to fulle turistbusser med til sammen 80–100 passasjerer som blir fanget i røyken rett nedstrøms brannstedet.

Med ganghastighet 1,2 m/s (gjeldende retningslinjer) og 100 MW brann går en 15–60 m før udyktiggjøring (skjer etter 1–5 minutter). Hvor giftig røyken er vil også kunne påvirke når udyktiggjøring inntreffer. I realiteten famler folk seg fram langs tunnelveggen i en hastighet helt nede i 0,2 m/s slik det er dokumentert for de som gikk i røykproppen under brannen i Gudvangatunnelen 2013. Hvis en øker gjennomsnittlig ganghastighet til 1.4 m/s vil økt andel trafikanter ha mulighet til å nå redningsrom før de udyktiggjøres. Oslofjordtunnelen har i tillegg en stigning på 7 % over lengre strekning som kan gjøre rømning krevende. Eventuell installering av redningsrom hver 250 m er på den bakgrunn å anse som en minimumsavstand.

Svenske retningslinjer i gruveindustrien setter 200–300m som maksimum avstand til redningsrom eller nødutgang avhengig av stigningsforhold (AFS,2010). Overført til vegtunnel innebærer det at det heller ikke i vegtunneler bør være mer enn 200–300m mellom redningsrom. Men her må det tas hensyn til at tunneler er åpne for alle (ingen tilgangskontroll) og at trafikanter kan ha andre fysiske og mentale forutsetninger for å redde seg selv ved brann og andre krisesituasjoner i tunnel (f.eks at de har redningsmasker og pusteapparat). Enkelte undersjøiske tunneler har stigninger opp mot 10% som er en utfordring for selvredning både for friske og bevegelseshemmede med eller uten røyk.

7.6 Ventilasjon, røykskader og selvredning

Viftesystemer som prosjekteres og selges i dag baserer seg på beregninger av dødelighet ved røykskader som i stor grad er utført på 60-tallet, eller småskalaforsøk uten gyldighet. Både kunnskap om røykgasser,

legevitenskapen og hvilken type gods og mengde gods som fraktes, har endret seg. Det er høyst usikkert om dagens strategier for brannventilasjon fremmer effektiv selvredning.

7.7 Utforming av redningsrom

Litteraturstudien gir holdepunkt for eventuell utforming og utrustning av redningsrom. Det er særlig krav retningslinjer og argumentasjon for utforming av redningsrom innen gruveindustri og byggefasen av tunnel som kan være retningsgivende. Vi må likevel huske på at eventuelle redningsrom i veggutunneler må tilpasses bruk av ikke-profesjonelle aktører uten kunnskap og trening i bruk av redningsrom. Erfaringer fra en reell brann i Oslofjordtunnelen gir viktig kunnskap om bruk av redningsrom og indikasjoner på hva som fungerer bra og hva som bør forbedres.

Både fysiske og psykologiske forhold bør tas hensyn til. Utformingen av redningskammeret for uvante trafikanter må ta hensyn til at det er et ukjent tiltak, slik at trafikanten oppfatter miljøet i redningsrommet som trygt og akseptabelt. Hvis redningskammeret ikke oppfattes som trygt og akseptabelt, er risikoen høy for sjåførene å ikke vil benytte de.

Rikelig med plass er viktig. Rent fysiologisk og medisinsk medfører det økt risiko for blodpropp, slag, lunge emboli eller hjertestans ved å sitte stille lenge (jamfør lang flyturer). I tillegg er dette i en stresset situasjon. Stress i seg selv øker risiko for akutt helsesvikt. God ventilasjon og kjølig luft er viktig. Erfaringer med mange personer tettpakket i redningskammer er at det lett kan bli ganske fuktig og klamt. Det kan gi pustebesvær og øke psykisk påkjenning. De menneskelige aspekter som skal til for at folk føler seg trygge og ivaretatt i redningsrom må vektlegges og undersøkes slik at redningsrom fungerer slik intensjonen er, uten at det påfører trafikantene psykisk belastninger og uønskede ettervirkninger.

7.8 Opplæring i selvredning og adferd i tunnel ved kritisk hendelser

Arbeidere innen gruveindustri og andre arbeidsplasser under bakken er profesjonelle yrkesutøvere i god fysisk form. Bilister er i sin alminnelighet rene amatører uten nevneverdig opplæring i oppførsel ved en hendelse i tunnel og bruk av redningsrom ved slike tilfeller.

Forskning innen risiko og krisekommunikasjon (Rød 2015) og innen atferdspsykologi viser entydig at det er en myte at informasjon om risiko fører til angst og panikk. Folk oppfører seg stort sett rasjonelt i krisesituasjoner. Det er først når de føler seg helt fanget i en reel situasjon at de kan bli grepet av panikk (Fridolf 2012, Franzich, Nilsson og Rød 2016). Derimot gjør god informasjon om hva som kan skje i tunnel og hva folk bør gjøre ved kritiske hendelser, at trafikantene i stand til å håndtere situasjonen bedre. Opplevelse av kontroll og mestring i en situasjon, enten det er på grunn av kunnskap om slike situasjoner eller på grunn av gode holdepunkter for rett atferd i situasjonen (f.eks. skilt, ledesystem, redningsrom), vil minske sannsynlighet for psykologiske ettervirkninger/skade (posttraumatisk stress) betraktelig.

Riksrevisjonens (2016) undersøkelse som peker på behovet for økt kunnskap om tunnelsikkerhet blant trafikanter generelt. Denne rapporten i likhet med rapporten til Franzich, Nilsson og Rød (2016), redegjør for forskning som indikerer at utdanning og informasjon til trafikanter før en kritisk hendelse oppstår er viktig for handling når slike hendelser oppstår. Det er imidlertid ikke klargjort hvordan denne utdanningen og informasjonen kan eller bør formidles til trafikanter. Det et spekter av trafikanter som kan ha forskjellige behov og betingelser for å motta ny kunnskap, ikke minst utenlandske tungbil førere og turister. For norske bilister kan noe av opplæringen skje gjennom føreropplæringen, men det bør initieres FOU på ulike virkemidler som kan tas i bruk for å nå gjester i Norge og befolkningen generelt. Det omfatter hvordan de skal informeres om atferd ved brann i tunnel, hva de kan forvente i den situasjonen og eventuelt hensikt med og bruk av redningsrom.

8 Konklusjoner

Økt fokus på sikkerhet og sikkerhetstenking har økt etterspørselen av sikrere tunneler og underjordiske og arbeidsmiljø. Bruken av trygge områder (safe havens) som et redningsalternativ har økt. Trygge områder går under mange navn. Redningsrom, redningskammer, evakueringsrom, tilfluktskammer, trygg havn, redningsetasje, redningskapsel. Det er mange forskjellige typer og navn, men de er alle laget av samme grunn: Å skape et trygt område for arbeidere, trafikanter, eller beboere som ikke kan evakuere ut i dagen, ut i fri luft selv.

Trygge områder er redningsalternativ som tillater evakuerende å finne beskyttelse inntil krisen er over eller redningstjenester kan evakuere dem. Denne typen trygge områder benyttes hovedsakelig i gruver og på byggeplasser under jorden, i byggefasen av tunneler, men brukes også i ferdige underjordiske områder som et alternativ til selvredning. Strategier om bruk av trygge områder i høye bygg, og i form av redningskapsler offshore har etter hvert også fått godt fotfeste, hjemlet i nasjonale og internasjonale lover og retningslinjer. Disse typer trygge områder kan enten ha faste plasseringer eller opptre i form av et mobilt redningsrom.

Redningsrom er i dag ikke tillatt i norske vegtunneler i henhold til tunnelforskriften. Det er i tråd med EU sine retningslinjer for sikkerhet i tunnel. En hovedårsak til at de ikke er tillatt i EU og de norske forskrifter er:

1. At to trafikanter omkom i et redningsrom under brannen i Mont Blanc tunnelen 1999
2. I henhold til rapport fra etterundersøkelser vil trafikanter ikke søke nødutganger eller redningsrom hvis ikke de er ledsaget av personell:

Road users in tunnel fires will not seek emergency exits if not guided by personnel

Report of the Task Force for Technical Investigation of the 24 March 1999 Fire in the Mont Blanc Vehicular Tunnel, Duffé, P. 1999

Grunnen til at to trafikanter omkom var at redningsrommene ikke var dimensjonert for brannbelastning, brann med 2 timers varighet og temperaturer inntil 800 grader. I stedet for å oppjustere kravene til redningsrom, ble det innført forbud mot bruk av dem.

Denne rapporten viser midlertid at:

- Mange personer reddet livet i Mont Blanc tunnelen ved bruk av redningsrom lenger unna brannen
- Alle disse inklusive de fire som omkom fant fram til redningsrom
- Trafikanter som rømmer til fots famler seg fram langs tunnelveggen og søker inn i rom de finner. Jamfør dokumentert atferd ved brann i Gudvangatunnelen 2013 og Oslofjordtunnelen 2011 og 2017.
- To personer fant fram til og reddet sannsynligvis livet i ved bruk av redningsrom ved brann i Oslofjordtunnelen 2017

Hverken i Mont Blanc tunnelen eller i Oslofjordtunnelen ble folk ledsaget til redningsrom av personell. Dette viser at konklusjonene som ble trukket i etterkant av tunnelbrannen i Mont Blanc er misvisende.

Utfordringen synes større for å få folk til å skjønne alvoret og forlate bilen enn til å søke etter et trygt sted når de først er ute av bilen. Å gi støtte til denne søkeprosessen ved utforming av gode ledesystem som også fungerer i tett røyk er likevel viktig slik at folk raskest mulig når et trygt sted.

Den viktige rollen redningsrom kan ha for selvredning i krisesituasjoner er dokumentert innen gruveindustrien og i byggefasen av tunnel der hele 22 personer har reddet livet siste i perioden 2007-2017 ved bruk av redningsrom.

Rommene funksjon i tunneler er å gi trafikantene et midlertidig sikkert oppholdssted inntil de kan evakueres av redningsmannskaper. Rommene har et eget system for lufttilførsel med luft nok til 4-36 timer, og sluser og overtrykk med mere slik at røyk ikke trenger inn når døren åpnes. Størrelse og kapasitet kan variere.

Plassering av redningsrom, antall og kapasitet må dimensjoneres for den enkelte tunnel basert på identifiserte risikoscenarioer og trafikk. Bruk av eksisterende modeller for evakuering kan være svært misvisende. De er ifølge eksperter utgått på dato og ikke egnet til bruk i utsatte norske løps tunneler. De tar blant annet ikke hensyn til ganghastighet i røyk, stigningsgrad eller røykens mulige giftighet. Hvor giftig røyken er vil kunne påvirke når udyktiggjøring inntreffer.

Erfaringer fra brannen i Oslofjordtunnelen, mai 2017 viser at redningsrom også kan ha en viktig funksjon for brannmannskapenes innsats. Både for kommunikasjon i et støyfritt miljø, til å ta seg igjen og til å få nye oksygenflasker uten å begi seg helt ut av tunnelen. En røykdykker klarer normalt bare økter på 15 min. Det tar svært lang tid i lengre tunneler om de må helt ut for å ta seg inn og fornye utstyret.

Bruk av redningsrom i vegtunneler er omdiskutert etter at personer omkom i slike rom under brannen i Mont Blanc Tunnelen. Disse rommene var imidlertid ikke dimensjonert for mer enn 800 grader i 2 timer. Varmedevelopingen ved brann i vogntog med last er ofte på 100–300 MW og varmedevelopingen kan komme opp i 1500–2000 grader. Redningsrom er imidlertid et godt evakuerings tiltak hvis de dimensjoneres for å tåle slik varmedeveloping. Det kan gjøres ved valg av materialer, utforming og plassering.

Det er dokumentert at bruk av redningsrom har økt overlevelsesmulighetene i Oslofjordtunnelen betraktelig ved selvevakueering til fots. Styrker og svakheter ved de etablerte redningsrommene og ledessystem fram til rommene er avdekket. Det gir grunnlag for å designe mer optimale ledessystem og inngangsdører og redningsrom.

Den refererte studien av evakuering og tekniske installasjoner i to løps tunneler av Frantszich, Nilsson og Rød, lister opp og argumenterer for følgende forskningsbehov:

- Forflytning i tunneler med kraftig stigning
- Utforming av redningsrom
- Informasjon med enkle dynamiske vegskilt
- Kommunikasjon via VII
- Ledessystem gjennom tett røyk
- Utvikling av strategier for brann i tunnel
- Informasjon via smarte telefoner
- Forhåndsinformasjon og utdanning
- Tunnelens utforming
- Brannslukking
- Muligheter for å snu i tunnelen
- Egen bil som sikker plass

Basert på denne litteraturstudien med fokus på ett løps tunneler slutter vi oss til og bekrefter at det er FOU behov på disse områdene for å bedre tunnelsikkerhet ved kritiske hendelser i tunnel og betingelser for selvredning.

I tillegg har denne litteraturstudien har avdekket behov for FOU tilknyttet

- Bedre tiltak for å stoppe trafikanter utenfor tunnel ved hendelser/brann
- Utvikling av forskningsbaserte retningslinjer for avstand mellom redningsrom
- Utvikle skilt og ledsystem inn mot redningsrom som er universelle og konsistente - visuelle, hørbare og taktile
- Forskning tilknyttet utforming og utrustning av redningsrom slik at trafikantene opplever de er ivaretatt
- Evakueringsforsøk med ulike scenarier og ledsystem til redningsrom
- Tiltak og måter å informere trafikanter om hendelser i tunnel slik at de forstår alvoret og kan reagere raskere
- Utvikling av utdanningsprogrammer og infotiltak for føreropplæring og folkeopplysning om selvredning og bruk av redningsrom

9 Referanser

AFS, (2007). AFS 2007:7 *Rök- och kemdykning*. :Arbetsmiljöverket, Sverige

AFS, (2010). AFS 2010:1 *Berg och gruvarbeten*. Arbetsmiljöverket, Sverige

Alevar, D., Abreau, O., Cuesta, A., & Alonso, V. (2014). *A new method for assessing the application of deterministic or stochastic modelling approach in evacuation scenarios*. Fire safety Journal, 65(0), 11-18 doi <http://dx.org/10.1016/j.firesaf.2014.02.005>

Amundsen, F.H. (2017). The five great tunnel fires in Norway. Trafikksikkerhet, miljø- og teknologi-Avdelingen. Trafikksikkerhet. Rapport nr 340, Statens Vegvesen.

Amy, J. What is photoluminescent marking? Facilities.net website, July 2008.

<http://www.facilitiesnet.com/emergencypreparedness/article/What-is-Photoluminescent-Marking--9198> , downloaded May 2014.

Bryntse A., Carlberg T., Newlove-Eriksson L. & Palm A. (2012). *The metro project. Final report*. S.P., Fire Research Sweden

Buvik, H., Amundsen, F. H., & Fransplass, H. (2012). *Etatsprogrammet moderne vegtunneler 2008-2011: Strategi trafikkantsikkerhet og brannssikkerhet i vegtunneler* (SVV-rapport nr. 161/ 2012). Oslo: Publikasjonsekspedisjonen.

Buvik, H. 2004 Sikkerhettskonsept for vegtunneler NVF Rapporter 32 Bruer og tunneler.

<http://nvfnorden.org/lisalib/getfile.aspx?itemid=3858>

Brandposten 2004, Branner i Fordon, referert i Brandposten 25:2010. SP Sveriges Provnings- og Forskningsinstitut Brandteknik Box 857, SE-501 15 Borås

Brandposten 2005: 32 . Räddningstjänsten kan inte släcka en långtradarbrand i en tunnel BrandPosten nr 32, 2005 SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut Brandteknik Box 857, SE-501 15 Borås

Caliendo, Ciambelli, De Guglielmo, Meo, & Russo, (2012). *Numerical simulation of different HGV fire scenarios in curved bi-directional road tunnels and safety evaluation*. Tunneling and underground space technology incorporating Trenchless Technology Research, 31 22-50. doi <http://10.1016/j.tust.2012.04.004>

Capote, Alvear, Abreu, Cuesta, & Alonso, (2013). A real time stochastic evacuation model for road tunnels. Safety Science, 52(0), 73-80. doi: <http://dxdoi.org/10.1016/j.ssci.2012.02.0006>

Carss, B. (2010.) *Traditional signs to exit in favor of running man*, Online article, Canadian Property Management, October 2010. <http://www.canadianpropertymanagement.ca/TraditionalExitSignChangestoRunningMan.aspx>

Corbee J. (2016) A study of underground rescue chambers as alternative to several egress paths Report 5512, Brandteknik Lund University, Sweden

DSB-Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2014). *Risikoanalyse av brann i tunnel- delrapport til Nasjonalt risikobilde 2014*. Tønsberg: Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap.

DSB- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2003). *Temaveileder brannvern i kraftforsyningen*.

<https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/elsikkerhet-els/temaveiledning-om-brannvern-i-kraftforsyningen.pdf>

DSB- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2003). *Veiledning om røyk og*

kjemikaliedykking. <http://www.dsbinfo.no/DSBno/Tidligere/Veiledning/Veiledningirøykogkjemikaliedykking/?Page=60>

Duffé, P., & Marec, M. (1999). *Task Force for Technical Investigation of the 24 March 1999*

Fire in the Mont Blanc Vehicular Tunnel. (No. Report of 30 June 1999): Minister of the Interior
- Ministry of Equipment, Transportation and Housing.

Eder, S., Brütting, J., Mühlberger, A., & Pauli, P. (2009). Human behaviour in tunnel accidents. Fourth International Symposium on Human Behaviour in Fire. Hentet 28 oktober 2015 fra
http://134.147.230.146/skribt/090513_Uni_W%C3%BCrzburg_Paper_Conference_Camebridge.pdf

Eigentler, K. Experiences with LED-based visual guidance systems in tunnels. Tunnelling and Underground Space Technology, Volume 21, Issue 3-4, 2006, p. 325.

Ellis, J., Gibson, D., and Brenkley, D. (2008). *Innovative Evacuation System*, in Martens, M. (ed), *Human Factors Aspects in Tunnels: Tunnel User Behaviour and Tunnel Operators*, Ch 7. Produced as part of Workpackage 3, Human response D33, UPTUN, September 2008.
<http://www.curnet.nl/upload/documents/UPTUN/UPTUN%20WP3%20D33%20Human%20factors%20user%20and%20operator.pdf>, downloaded January 2013.

Frantzich, H., Nilsson D., og Rød, K. (2016). *Utrymning og tekniske installasjoner i veggutunnelar med dobbeltrettet trafikk*. Report 3199, Brandteknisk Lunds Universitet

Fridolf K. (2010). *Fire evacuation in underground transportation systems: a review of accidents and empirical research*. Report 3151. The Department of Fire Safety Engineering and Systems Safety, Lund University, Lund.

Fridolf K, Nilsson D, Frantzich H (2013). Fire Evacuation in Underground Transportation Systems: A Review of Accidents and Empirical Research. *Fire Technology*, 49, 451–475. DOI: 10.1007/s10694-011-0217-x

Garathun, M. G. (2015, 12.08.). *Brann i tunnel – selvbergingsprinsippet: Dette skal du gjøre når det brenner i en tunnel. Teknisk Ukeblad*. Hentet 15 november 2015 fra <http://www.tu.no/artikler/dette-skal-du-gjore-nar-det-brenner-i-en-tunnel/196852>

Ingason, H., Bergqvist, A., Lönnemark, A., Frantzich, H., & Hasselrot, K. (2005). *Räddningsinsatser i veggutunnelar*. Räddningsverket.

Gunnar Jenssen, Moen Terje and Cato Bjørkli (2008) In Martens M. (Ed.) Workpackage 3 *Human response D33 Human Factors Aspects in Tunnels: Tunnel User Behaviour and Tunnel Operators*. Official deliverable © version September 2008 Available at <http://www.uptun.net/downloads/finalreports>

Higgins L., Rozytkie S., Jenssen G.D., (2015). *Proposed Guidelines for Emergency Exit Signs and Marking Systems for Highway Tunnels*. NCHRP Web-Only Document 216 at www.trb.org

Higgins L., Carlson P., Miles J., Rozytkie S., Aversó M., Graham D., Seip B., Jenssen G.D., (2015). *Emergency exit signs and marking systems for highway tunnels. Final report*. NCHRP Web-Only Document 216 at www.trb.org

Jin, Tadahisa. *Studies on Human Behavior and Tenability in Fire Smoke*. Howard W. Emmons Invited Plenary Lecture, 1997.
<http://www.iafss.org/publications/fss/5/3/view>, downloaded February 12, 2014.

Martens M. (Ed.) *Workpackage 3: Human response D33. Human Factors Aspects in Tunnels: Tunnel User Behaviour and Tunnel Operators*. Official deliverable © version September 2008 Available at <http://www.uptun.net/downloads/finalreports>

Stene, Trine Marie. Jenssen, Gunnar D Bjørkli, Cato og Bertelsen, Dag (2003). *“Human response and behaviour to incidents, accidents, disasters in confined spaces and evacuation strategies for road tunnels: State-of-the-art study”*, SINTEF, Norway (UPTUN contribution). In Martens M. (Ed.) Workpackage 3 Human response D32. Human Behaviour in Tunnel Accidents and Incidents: End-

users, Operators and Response Teams. Official deliverable © version September 2008 Available at <http://www.uptun.net/downloads/finalreports>

Jenssen G.D. (2016). *Safety in long tunnels, do we need to revise models of Self Evacuation?* Keynote address. Tunnels Fire Safety Forum, . Amsterdam May, 2016

Jenssen G.D. (2011). *Global safety analysis and recommendations for underground Chuquicamata access tunnel and transport tunnels operation*. Chuquicamata project. SKV013-CDCVP-RP001 Romqan Diaz 587, Santiago Chile.

Jenssen, Gunnar. D. (2003). *"The Effects of Tunnel Design Characteristics on Driving Behaviour and Traffic Safety"*(UPTUN contribution). In Martens M. (Ed.) Workpackage 3 Human response D32. Human Behaviour in Tunnel Accidents and Incidents: End-users, Operators and Response Teams. Official deliverable © version September 2008 Available at <http://www.uptun.net/downloads/finalreports>.

Jenssen, G. D. (2007). *Way Finding, Signage, and Human Factors*. Presentation, NCHRP Workshop on Safety and Security in Roadway Tunnels. Irvine, California, 28-29 November 2007.

Jenssen G.D., Bjørkli, C. A., & Flø M. (2006) Vurderinger E39 Rogfast: Trygghet monotoni og sikkerhet i krisesituasjoner og ved normal ferdsel (STF50 A06109)

Retrieved <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/?pubid=SINTEF+A01006109>

Jenssen G.D. (1999). *Evaluation of interior design in the world's longest road tunnel*. First International Conference: Long Road and Rail Tunnels. Basel 1999

Jenssen G.D. (1998). *Vurdering av spesielle tiltak i Lærdalstunnelen: Tiltak for positiv opplevelse, trafiksikkerhet og reduksjon av monotoni. Fase 2: Utprøving av fysiske og interiørmessige tiltak i kjøresimulator*. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Samferdsel. STF22 F99550.

Jenssen et al. (1997). *Vurdering av spesielle tiltak i Lærdalstunnelen, Opplevelse av trygghet og monotoni*. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Samferdsel Notat 4/97

Kobes , M., Helslot, I., de Vries, B. & Post, J. G. (2010). *Building safety and human Behaviour in fire: A litterature review*. Fire safety Journal, 45 (1).1-11. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2009.08.005>

Larsen Anine Kalmo (2017). Rv. 23 Oslofjordtunnelen. Brann 05.05.17. Rapport etter hendelse Statens Vegvesen Region Øst.

Løfqvist H. (2012) Store branner i tunneler – risikobetraktning om innsatser. Brann og redning 2012. Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap – DSB

IF Forsikring (2012) - Personlig kommunikasjon

Buzsáki & Moser E. (2013). *Memory, navigation and theta rhythm in the hippocampal-entorhinal system*. Review, Nature Neuroscience. Nature Amererica.

Nair R.R. (2016) High Rise Building Emergency Evacuation.

Hentet fra: <http://www.ind-safety.com/high-rise-building-emergency-evacuation/>

Nilsson, D.,Frazich F. Rochi E., Fridolf K., LindgrenA., Modig W.H. (2017). *Integrating evacuation research in large infrastructure tunnel projects -Experiences from the Stockholm Bypass Project*. Fire Safety Journal. In Press.

Nilsson, D., & Johansson, A. (2009). *Social influence during the initial phase of a fire evacuation—Analysis of evacuation experiments in a cinema theatre*. Fire Safety Journal, 44(1), 71-79. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.firesaf.2008.03.008>

NTP (2015). Brede godsanalyser

Nævestad T.O. og Meyer S.F. (2012): *Kartlegging av kjøretøybranner i norske*

veggtunneler 2008-2011. TØI-rapport 1205/2012.

Nævestad.T.O., Ranestad,K., Elvebakk B. og Meyer S. (2016). *Kartlegging av kjøretøybranner i norske veggtunneler 2008 – 2015*, TØI report 1542/2016. Hentet fra www.toi.no/kjoretoybrannerivegtunneler2017

Martens M. (2008) Workpackage 3 Human response D32. *Human Behaviour in Tunnel Accidents and Incidents: End-users, Operators and Response Teams*. Official deliverable © version September 2008 Available at <http://www.uptun.net/downloads/finalreports>.

Morley, F.J.J. and Corbett, A.M. (1997). *An evaluation of the comprehensibility of graphical exit signs for passenger aircraft Phases 1 and 2*. COA Report No. 9706, Human Factors Technology Group, College of Aeronautics, Cranfield University, Bedford, England, 1997.

Mu, Song, Qi, Lu, & Cao, 2014; Ronchi (2013). *Simulation of evacuation in a twin bore tunnel: Analysis of evacuation time and egress selection*. Procedia Engineering, 71 (0), 333-342.

OECD (2006) *Studies in Risk Management: Norway—Tunnel Safety*. Organization for International Cooperation and Development, Paris, France, 2006.

Osborne, D.M., Pearson-Leary J. and Ewan C. McNay, E. (2015). *The neuroenergetics of stress hormones in the hippocampus and implications for memory*. Frontiers in Neuroscience.

PIARC (2008), *Human factors and road tunnel safety regarding users*. Report 2008R17. Tech comm. C3.3 Road Tunnel Operations. Word Road Association (PIARC)

Roche-Ceraci I., Jenssen G.D., Moe D., & Berntsen D. (2017). Incendie dans un tunnel en Norvege. Lecons apprises sur les strategies d'auto-evacuation des usagers. Securite Routiere Un defi a l'Aube du XXI Siecle , Gaymard S. & Tiplica T. (Eds), pp. 205-219

Ronchi, Colonna, & Berloco (2013). *Reviewing Italian Fire Safety codes for the analysis of road tunnel evacuations: Advantages and limitations of using evacuation models*. Safety Science. 52 (0). 28-36.

Rochi E. (2012). *Evacuation modelling in road tunnel fires*. Thesis › Doctoral Thesis (monograph).

Politecnico di Bari. [http://portal.research.lu.se/portal/en/publications/evacuation-modelling-in-road-tunnel-fires\(90c80bf8-dab5-4bad-b64e-df366adb3f00\).html](http://portal.research.lu.se/portal/en/publications/evacuation-modelling-in-road-tunnel-fires(90c80bf8-dab5-4bad-b64e-df366adb3f00).html)

Rød, S. K. (2013). Risk communication in relation to an imminent rockslide and tsunami. Doktorgradsavhandling, NTNU, Trondheim.

SHT. (2013). Rapport om brann i vogntog på Rv 23, Oslofjordtunnelen, 23. juni 2011 Rapport vei (online).

SHT. (2015). Rapport om brann i vogntog på E16 i Gudvangatunnelen i Aurland 5. august 2013. [Report on fire in a heavy goods vehicle in the Gudvanga tunnel on the E16 road in Aurland on 5 August 2013] Rapport vei (online).

SHT. (2016a). Rapport om brann i tanktilhenger i Skatestraumtunnelen i Sogn og Fjordane 15. juli 2015 Rapport vei (online), Hentet fra <https://www.aibn.no/Veitrafikk/Avgitte-rapporter/2016-05>

SHT. (2016b). Rapport om bussbrann i Gudvangatunnelen på E16 i Aurland 11. august 2015 Rapport vei (online). Hentet fra <https://www.aibn.no/Veitrafikk/Avgitte-rapporter/2016-03>

Skogvang Ø.S., Rokstad E.M., Værnes R., Øglænd E. og Jenssen G.D. (2011): *Risikoanalyse av Oslofjordtunnelen med omkjøringsveier*. Safetec dokument nr. ST-04121-4 på oppdrag for Statens vegvesen.

Søvik, A. P., & Henning, J. E. (2015). *Tiltak for å bedre brannsikkerhet i utsatte veggtunneler: Sikkerhetsforvaltning av veggtunneler* (SVV-rapport nr. 427/2015). Oslo: Publikasjonsekspedisjonen.

Van Schie HT, van Waterschoot BM, Bekkering H. (2008). Understanding action beyond imitation: reversed compatibility effects of action observation in imitation and joint action. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*. 2008 Dec;34(6):1493-500.

Vatsvåg N. (2016). *En undersøkelse av ulike faktorerers betydning i forhold til opplevd trygghet ved tunnelkjøring – en studie basert på fokusgruppeintervju og en spørreundersøkelse blant norske trafikanter*. Masteroppgave i samfunnssikkerhet. Universitetet i Stavanger

Vegtilsynet. (2015). Tilsynsrapport sak 2015-05. Risikoanalyse av vegtunneler. Voss: Vegtilsynet.

Windle, L. (2005). *Photoluminescent Technology: Reliable Emergency Lighting in Buildings*, *Facilities.net website*, March 2005. <http://www.facilitiesnet.com/emergencypreparedness/article/In-Case-of-Emergency-Show-Occupants-the-Door--2638>
Downloaded May 2014.



Teknologi for et bedre samfunn

www.sintef.no