

# MULIGHETER OG BEGRENSNINGER VED TILGJENGELIGE TEST- OG ØVELSESTUNNELER

---

Masteroppgave ved Universitetet i Stavanger

Forfatter: Tormod Tørresdal

Veileder: Ove Njå

Emneord:

Veisikkerhet, RogFast, øvelsestunnel, testtunnel, E39, tunnelbrann, Brann og redningsetaten.

**Forord**

Denne masteroppgaven setter sluttstrek for masterstudiet i Risikostyring og Sikkerhetsledelse ved Universitetet i Stavanger.

Professor Ove Njå ved UiS skal ha stor takk for at han tok på seg veilederoppdraget midt i sitt eget friår, og for jordnære råd underveis.

En stor takk til Brann og Redningsetaten ved Tormod Mehus for dybdeintervju og faglige innspill om øvelsestunneler.

En stor takk til min ektefelle Brynhild som har støttet meg gjennom studietiden og i tillegg lest korrektur.

Det har vært en opplevelse å skrive masteroppgave ved UiS. Det har også vært motbakker, mye ny kunnskap, a-ha opplevelser og mestringsfølelse.

Warszawa 24.09.2015

Tormod Tørresdal

## Sammendrag

Denne oppgaven handler om muligheter og begrensninger ved globalt tilgjengelige fullskala test og øvelsestunneler for veitunnelsikkerhet.

Bakgrunnen for oppgaven er det økende antallet lange tunneler i Norge og faren for store ulykker med tap av mange liv. Tunnelbranner i utlandet, som i Mont Blanc tunnelen i 1999 der 39 mennesker omkom, har vist at veitunneler har katastrofepotensialet i seg.

I Rogaland er et stort tunnelanlegg mellom Stavanger og Tau (RyFast) i ferd med å bli fullført. Neste prosjekt ut er RogFast, E39 i tunnel fra Randaberg til Bokn, en strekning på 27 km.

Henry Ove Berg, brannsjef ved Brann og redningsetaten i Rogaland, uttaler i Stavanger Aftenblad 14.01.15 at ”Det vil gå galt i RogFast” og henviser til katastrofale hendelser i lange veitunneler. Han ønsker en test og øvelsestunnel for å kunne møte risikoutfordringen med best mulig fremgangsmåte og profesjonelt opptrent personell.

Formålet med oppgaven er å finne, beskrive og vurdere tilgjengelige fullskala fasiliteter for veitunnelsikkerhet, både testtunneler og øvelsestunneler. Det er ikke gjort tilsvarende studier tidligere.

Det er gjort databasesøk etter tilgjengelige forskningsbaserte testtunneler og etter tilgjengelige øvelsestunneler. Søkemetoden ble utvidet til å omfatte direkte kontakt med nøkkelpersoner. Av alle testtunnelene som ble funnet er kun fem tunneler tilgjengelige i dag.

Det viktigste funnet er at tilgjengelige testtunneler opererer primært på høyre side av bow tie – at de omhandler fenomener og tiltak etter at ulykken er et faktum. Det er utført få tester som er av preventiv karakter. Det etterlyses forskning for å finne tiltak for å forhindre at ulykker oppstår.

De fleste tunnelbranntestene er foretatt som en del av et større, gjerne internasjonalt forskningsprosjekt. Resultatene er overførbare til andre tunneler. Lokal repetisjon av allerede foretatte tester har derfor lite for seg.

Testtunnelenes tilknytning til nærliggende forskningsmiljøer ser ikke ut til å være en kritisk faktor. Mange av de store forskningsprosjektene har vært foretatt i utrangerte tunneler eller i tunneler som har vært avstengt for anledningen. Det tyder på at testene kan foretas hvor som helst og at forskningsmiljøer ikke er avhengige av å ha egen testtunnel.

Det er funnet i alt syv øvelsestunneler. En øvelsestunnel er naturlig plassert på høyre side av bow-tie, ved at en ulykke er utgangspunktet for de ferdigheter som ønskes innøvd. En tunnelbrann er en ekstrem situasjon som det krever intensiv opplæring for å mestre – og jevnlig repetisjon for å vedlikeholde. Øvelsestunnelens tilgjengelighet blir da like viktig som realisme og sikkerhet.

Det er ikke funnet mye forskning som kan relateres til øvelsestunneler, kun noen forsøk på sluknings og evakueringsstrategier. Her er det behov for videre forskning for å finne best mulig metode for sikker og effektiv redning og brannslukning.

## Innholdsfortegnelse

Forord .....	2
Sammendrag .....	3
1 Innledning.....	8
1.1 Bakgrunn for valg av tema .....	9
1.2 Formålet med oppgaven .....	10
1.3 Oppgavens oppbygning .....	10
1.4 Problemstilling: .....	10
1.5 Avgrensninger .....	12
2. Begreper og definisjoner: .....	12
Forkortelser.....	13
3 Teori .....	14
3.1 Ulykkesperspektiv: .....	14
3.1.1 Barriereteori: .....	16
3.1.2 ”Man-Made” disasters - Informasjonsprosesseringsperspektivet .....	20
3.2 Risiko.....	21
3.2 Risikoanalyser .....	21
3.3 Øvelsestunneler og teori .....	22
4 Metode.....	23
4.1. Forskningsdesign. ....	23
4.2 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetodikk .....	23
4.3 Validitet og reliabilitet (22) .....	24
4.4 Systematiske feil.....	24
4.5 Triangulering: .....	25
4.6 Forskningsetikk .....	25
4.7 Koherens .....	25
4.8 Inklusjons- og eksklusjonskriterier .....	26

4.9 innsamlingsfasen.....	26
4.9.1 Passivt søk – litteratursøk. ....	26
4.9.2. Aktivt søk: Personlig henvendelse via e-post eller telefon.....	27
4.10 Analysefasen.....	29
4.11 Metodekritikk - begrensninger ved søkemetodene, svakheter ved utvalg / datatilfang. .....	29
5. Empiri.....	31
5.1 Tidligere forskning. ....	31
5.1.1 Anders Lönnemarks doktorgrad fra 2005, Ingason & Lönnemarks bok ”Tunnel Fire Dynamics fra 2015.....	31
5.1.2 Most Significant Full-Scale Fire Tests .....	36
5.2 Større forskningsprosjekter.....	37
5.2.1 EUREKA EU 499: FIRETUN - Fires in Transport Tunnels. ....	37
5.2.2 UPTUN – cost effective, sustainable and innovative UPgrading methods for fire safety in existing TUNnels.....	37
5.2.3 L-SURF.....	38
5.2.4 SOLIT2 – Safety Of Life In Tunnels (36). ....	38
5.2.5 Marioff (38) .....	38
5.3 Testtunneler .....	39
5.3.1 Testtunneler som ikke er i drift nå. ....	39
5.3.2. Aktive testtunneler .....	49
5.4 øvelsestunneler .....	53
5.4.1 Rogaland Brann og Redning IKS .....	53
5.4.2 PIARC – Veiledning for tunnelbrannøvelser.....	54
5.4.4 Funn av øvelsestunneler.....	55
5.5 Oppsummering test- og øvelsestunneler: .....	58
6 Drøfting .....	59
6.1 Innledning:.....	59

6.2. Testtunneler – et historisk sammendrag .....	59
6.2.1 Testtunneler likheter og ulikheter.....	60
6.2.2 Testtunneler og brann i bratte tunneler .....	61
6.2.3 Testtunneler og gransking av tunnelulykker .....	61
6.3 Mulige nye parametre for testtunneler: .....	63
6.3.1 Brannsenarioer som kan testes i en fullskala testtunnel: .....	63
6.3.2 Uttesting av forhold tunnel versus publikum:.....	65
6.4 Øvelsestunneler – drøfting av funn. ....	66
6.5 Andre forhold ved test- og øvelsestunneler. ....	67
7 Konklusjon .....	68
8 Referanser: .....	69
Bibliografi .....	69

## 1 Innledning

Mennesket har bygget veitunneler siden oldtiden. Keiser Augustus fikk bygget en 700 meter lang tunnel mellom Napoli og Pozzuoli, med bredde fra 4 til 6 meter og høyde fra 7 til 30 meter. Den første undersjøiske tunnelen sies å være en 2000 år gammel tunnel under elven Kizilirmak i Tyrkia. (1)

I moderne tid skjer en radikal endring når veinettet bygges ut. Tunnelene blir flere og lengre. Hest og kjerre erstattes av biler og trailere. Trafikktettheten øker. De skjer flere tunnelbranner. Det erfarer at disse arter seg annerledes enn tilsvarende brann i åpent lende. Tunnelen fylles med røyk og gass og det blir vanskelig å orientere seg og vanskelig eller umulig å puste. Tunnelveggene forsterker effekten av branner og eksplosjoner. I mange tilfeller viser det seg at rømning i lange tunneler er vanskelig eller umulig. Det oppstår et ønske om sikrere tunneler.

En av de første vitenskapelige branntestene foretas i Glasgow i 1965. Internasjonalt samarbeid i årene etterpå gir grunnlag for grundigere tester. Nye tester utdyper tidligere tester, ny teknologi gjør det mulig å undersøke flere forhold ved tunnelbranner.

Et effektivt veinett i Norge krever lange tunneler – gjennom fjell og under fjorder. BI-Handelshøyskolens forskningsrapport av 2014, "Ferjefri E39 – næringsøkonomiske gevinster ved fjordkryssing", (2) konkluderer med at tunnelinvesteringene vil gi milliardgevinst i form av økt verdiskaping i næringslivet. Det er verd å merke seg at forskningsrapportens konklusjon bygger på at tunnelene alltid er åpne og at ingen unngår å bruke dem, eller nekter å bruke dem.

Teknisk Ukeblad presenter i januar 2015 flere nye forslag til veiforbindelser mellom øst og vestlandet. Tittelen er; "20 prosent av hovedveiene mellom Oslo og Bergen vil gå i tunnel" (3). Hans Silborn, Fagdirektør i Vegvesenet, uttaler at målet å få en veiforbindelse som alltid er åpen (ikke vinterstengt). For å oppnå dette kreves tunneler i stor grad.

På verdensbasis er det i dag 24 tunneler på 10 km eller lengre. Den lengste pr i dag er Lærdalstunnelen i Norge med sine 24510 meter. (4)



## 1.1 Bakgrunn for valg av tema

Brannsjef Henry Ove Berg uttalte 14. januar 2015 til Stavanger Aftenblad; ”Mitt engasjement går ut på hva dersom det likevel går galt? – fordi det kommer til å gå galt! Der er en tunnel på 2,7 mil (Boknafjordtunneen). Folk skal reddes ut når brann inntreffer.” Berg er føre var og etterlyser en øvingstunnel for å utvikle kompetanse: ”Hvilken kompetanse skal brannmenn ha, og hvordan skal de læres opp?”

**– Det vil gå galt i Rogfast**

BRANNBEREDSKAP  
**Spørsmålet er når en tunnelbrann vil inntreffe. Derfor ber brannvesenet politikerne våkne.**

Brannsjef Henry Ove Berg i Brannvesenet i Sør-Rogaland ba under et møte med rogalandspolitikere på Stortinget om støtte til å sikre nødvendig kompetanse og penger til å kunne ivareta tunnelsikkerheten i fylket.

Opgavene vil, sammenlignet med i dag, bli formidable når ferjefrie forbindelser til Ryfylke (Ryfast) og under Boknafjorden (Rogfast) vil være en realitet i 2023-2024 (antatt årstall for åpningen av Boknafjordtunnelen).

– Vi vet om planene om å sette av milliarder til å bygge tunneler og gjennomføre sikkerhetstiltak inne i tunnelene. Mitt engasjement går på «hva dersom det likevel går galt». For det kommer til å gå galt. Det er en tunnel på 2,7 mil (Boknafjordtunnelen). Folk skal reddes ut når brann inntreffer. Hvilken kompetanse skal brannmenn ha, og hvordan skal disse læres opp? Husk på at vi har hatt flere

alvorlige ulykker, innledet Berg.

Han frykter kompetanseflukt dersom studietilbud ved Universitetet i Stavanger (UiS) og spesielt ved Høgskolen på Stord/i Haugesund, som har eget branningeniørstudium, ikke hegnes om i konkurranse med andre utdanningsinstitusjoner i Norge.

Brannsjefen vil styrke Samfunnssikkerhetssenteret i Rogaland (Sasiro) i Vagleleiren som i dag benyttes til øvelse og opplæring. I tillegg ønsker han at politikerne skal jobbe for å gjøre Rogaland til et nasjonalt øvings- og kompetansesenter på tunnelsikkerhet, inkludert en øvingstunnel på Randaberg-siden av Boknafjordtunnelen.

På sikt håper han på drahjelp fra (UiS) for å få på plass en doktorgrad og et akademisk miljø omkring tunnelsikkerhet. Han ber også stortingspolitikere tenke gjennom hvordan tunnelberedskapen vil tyngre kommunale budsjett, og vurdere hvor mye av dette som kan tas over statsbudsjettet.

**GEIR SØNDELAND**  
 geir.sondeland@aftenbladet.no

Berg etterlyser vitenskapelig fundamenterte løsninger: ”Hvilken kunnskap, hvordan skal de læres opp?”.

Sikkerhetsbildet i veitunneler er komplisert og er i kontinuerlig utvikling. Brann og redningsberedskap må nødvendigvis bygge på kunnskap som kommer fra granskinger av ulykker og eksperimenter i testtunneler.

UiS og Høgskolen Stord / Haugesund (HSH) har forutsetninger for å videreutvikle kompetansen innen tunnelsikkerhet. Et senter for samfunnsikkerhet er allerede etablert i Vagleleiren, Rogaland (Sasiro). Berg ønsker å videreutvikle dette med et senter for tunnelsikkerhet og en øvingstunnel på sørsiden av Boknafjordstunnelen.

## **1.2 Formålet med oppgaven**

Formålet med oppgaven er å finne, beskrive og vurdere tilgjengelige fullskala fasiliteter for veitunnelsikkerhet, både testtunneler og øvelsestunneler.

## **1.3 Oppgavens oppbygning**

Oppgaven innleder med en teoretisk analyse av veitunnelsikkerhet med vinkling mot test og øvelsestunneler. I metodekapitlet beskrives datainnsamlingen og mulige feilkilder med denne. Empirikapitlet presenterer innsamlet materiale, mens diskusjon og konklusjonskapitlene presenterer funn og videre forskning.

## **1.4 Problemstilling:**

Sikkerheten drives ofte frem av ulykker og målet for sikkerhetsarbeidet blir å avverge liknende ulykker. Dette betegnes som ”hendelsesbasert sikkerhetsstyring” (5) og er reaktiv ved at tiltak igangsettes på bakgrunn av ulykker som har skjedd. Ulykker får stor oppmerksomhet i media. TV bilder og bildereportasjer forsterker inntrykket av ulykkens viktighet. Det virker som om alt dreier seg om en gitt hendelse, før medias fokus dreier i en annen retning. En positiv effekt er at ulykkesfokusering kan gi start til systematisk sikkerhetsarbeid. De katastrofale tunnelbrannene i Mont Blanc tunnelen og i Tauern tunnelen i 1999, ga støtet til et omfattende fokus på brannsikkerhet og utvikling av tiltak for å forhindre tilsvarende hendelser. En av organisasjonene som systematiserte etterforskning av tunnelbrann var EU prosjektet SafeT som blant annet utarbeidet og publiserte retningslinjer for tunnelsikkerhet. (6)

Risikobasert sikkerhetsstyring (5) ønsker å oppdage fare i forkant og hindre at ulykker skjer. Perspektivet er ”proaktivt” - et ønske om å handle i forkant. I praksis betyr det å identifisere

farer for ulykker gjennom risikovurderinger, samt å iverksette tiltak. Ved hendelsesbasert sikkerhetsstyring tar en utgangspunkt i inntrufne hendelse og gransker disse, for om mulig kunne finne ut hvordan hendelsen oppsto og å dra lærdom av det. Kvaliteten på granskingen henger sammen med nøyaktigheten til rekonstruksjonen av hendelsen. Tunnelbranner, gassutslipp og andre hendelser i tunneler, der selve tunnelen har innvirkning på ulykkesforløpet, kan best rekonstrueres i en fullskala testtunnel

Både ved risikobasert og hendelsesbasert sikkerhetsstyring vil et laboratorium i form av en testtunnel kunne brukes i forskning på tunnelsikkerhet ved å bekrefte eller forkaste hypoteser og dermed gi ny kunnskap.

Utformingen av tunnelen påvirker testresultatet. For de fleste testene er det ønskelig at testtunnelen har mest mulig likhet med de tunnelene som testresultatene skal være gyldige for (tverrsnitt, veibredde, tunnelprofil, antall løp, stigning etc.). Drift og sikkerhetsutrustningen av tunnelen kan også ha innvirkning på testen. Det kan for eksempel være drenering av væske i veibanen ned i brannsikre kummer, eller graden av varmerefleksjon fra tak og vegger.

Øvelsestunneler har som formål å gi økt kompetanse til brann og redningspersonell. Gjentatt håndtering av relevante øvelsesbranner gir økt gjenkjennelse når det er alvor. Når en krise oppstår i en lang veitunnel skal redningspersonalet møte en situasjon som de kjenner igjen fra treningen. Det skal gi rask, riktig og sikker handling, og dermed bedre innsats ved brann/ulykker.

De prosedyrer som innøves i en øvelsestunnel kan ha bakgrunn fra branntester i en testtunnel der beste fremgangsmåte for redning og slukking er valgt etter uttesting av ulike fremgangsmåter.

For å innarbeide en ferdighet og vedlikeholde den, er det nødvendig med et tilstrekkelig antall øvelser. Øvelsestunnelen må være lett tilgjengelig, det må være rimelig å øve og sikkerheten må være ivaretatt for å unngå umiddelbare (brann)skader og mulige langtidsvirkninger av giftige branngasser.

Forskningsspørsmålet blir da:

**”Hva er mulighetene og begrensningene til tilgjengelige test- og øvelsesfasiliteter for veitunneler globalt, med vekt på fullskalafasiliteter?”**

## 1.5 Avgrensninger

Oppgaven omhandler kun testtunneler og øvelsestunneler som angitt i forskningsspørsmålet.

Med testtunneler menes tunnelfasiliteter for kontrollerte vitenskapelige forsøk. Det er mange andre forhold ved tunnelsikkerhet, men disse er ikke tema her. Det kan være; selve tunnelkonstruksjonen, vanninntrengning, teknisk drift, luftforurensning, terrorhandlinger og utstyr for detektering, begrensnig og slukking av tunnelbrann. Oppgaven omhandler heller ikke branntestkammer for testing av materialer ved brann eller høy temperatur ved varierende trykk eller strekkbelastning. Eksempelvis Shimizu Coporations Fire Testing Block. (7)

Med øvelsestunneler menes øvelsesfasiliteter for brann og redningspersonell som skal yte innsats ved ulykker i veitunneler. Oppgaven går ikke inn på det pedagogiske ved en øvelsestunnel, men baserer seg på det enkle fakta at øvelse (under trygge forhold) gjør mester.

Under arbeidet med oppgaven er det blitt kjent at EU angivelig ønsker å pålegger norske myndigheter å inkludere tunnelkjøring i det obligatoriske opplæringsprogrammet ved kjøreskolene. EU har allerede et direktiv som regulerer opplæringen for yrkessjåfører (2003/59/EC). Endringen eller nytolkningen av direktivet vil så være en videreføring av PIARC's anbefalinger om opplæring (8). Dette temaet er interessant fordi kjøreskolene kan bli brukere av øvelsestunneler - og dermed gi et bredere økonomisk grunnlag for slike fasiliteter, men temaet faller umiddelbart utenfor oppgavens forskningsspørsmål og følges ikke opp videre.

## 2. Begreper og definisjoner:

Bow- Tie:	En risikomodel som tar utgangspunkt i en uønsket hendelse og utvikler både årsakssiden og konsekvenssiden. Se illustrasjon under punkt 3.1.1.
Risiko:	Kombinasjonen av mulige konsekvenser (utfall) og tilhørende usikkerhet.
Risikoanalyse:	Strukturert bruk av tilgjengelig informasjon for å identifisere farer og beskrive risiko
RyFast	Veitunneler under bygging mellom Stavanger og Tau; fire felt (to løp á to felt) og totalt 20 km lengde.

RogFast Planlagt veitunnel for å føre E39 under Boknafjorden; fire felt (to løp á to felt). 27 km lang + en enløpstunnel på 4 km opp til Kvitsøy.

Sikkerhet: Beskyttelse mot risiko forbundet med utilsiktede uønskede hendelser

### **Forkortelser**

HGV "Heavy Goods Vehicle", trailer eller semitrailer.

HRR "Heat Release Rate: varmeutvikling, måles her i megawatt.

FFFS "Fixed Fire Fighting System", fastmontert brannslukkingsanlegg. Sprinkler, vanntåke, skumanlegg eller inertgassanlegg.

### 3 Teori

Masteroppgaven beskriver globalt tilgjengelige test og øvelsestunneler og muligheter og begrensninger med disse. Tunnelsikkerhet settes inn i teoretiske rammer for å kunne se testene i en systematisk sammenheng, og gjerne avdekke områder som bør testes eller ferdigheter som bør øves inn, før en ulykke avslører behovet.

For å finne best mulig innfallsvinkel til identifisering og drøfting av test- og øvelsestunneler, er det verd å se på ulike ulykkesperspektiv.

#### 3.1 Ulykkesperspektiv:

Ulike ulykkesperspektiv kan gi ulike svar på hvorfor ulykker oppstår i tunneler (9). Dette igjen vil kunne påvirke hva som velges som viktige faktorer som skal testes i fullskalaforsøk. Beslutningstakeres eget syn på saken, gjerne ubevisst eller ikke uttalt, kan påvirke resultatet eller tolkingen av testen. (10). Ved å bruke ulike ulykkesperspektiv som mal, økes muligheten til å se nye og ukjente sider ved tunnelsikkerheten.

Interessante perspektiv og vurderingen av disse:

**Energi og barriere – perspektivet.** Videre så omtales dette bare som Barriereperspektivet. Begrepet ble introdusert i 1961 av James J. Gibson og er mye brukt i litteratur som omhandler tunnelsikkerhet. Oppgaven har dette som sitt hovedperspektiv. Dette utdypes under punkt 3.1.1.

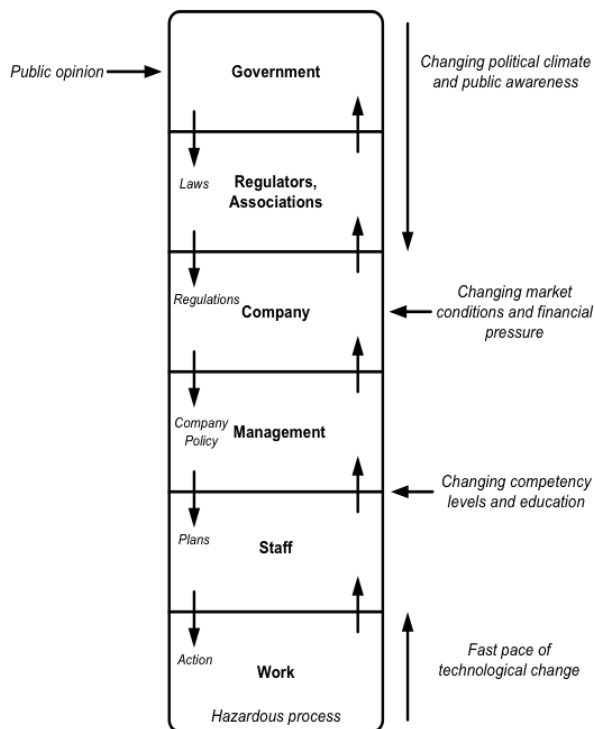
**Normal Accidents – perspektivet.** Begrepet ble introdusert av Charles Perrow i 1984 og fokuserer på systemets kompleksitet, tette koblinger mellom aktørene og katastrofepotensialet. Veitunneler har kompleksitet i form av ulikheter ved tunnelbrukerne og forskjellig utforming av tunnelene. Tette koblinger betyr for eksempel at et utfall (brann) for bil A gir en konsekvens for bil B, C, D osv. Katastrofepotensialet er åpenbart. Perspektivet har relevans i tunnelsikkerhet, men Barriereperspektivet er mer lettfattelig i en oppgave som denne.

**High Reliability Organisation (HRO) – perspektivet.** Dette perspektivet ble utviklet i et universitetsmiljø i California på 80 tallet. Perspektivet forklarer hvorfor ekstremt komplekse organisasjonen med høy risiko (som hangarskip) har et forholdsvis lavt antall ulykker. HRO kjennetegnes med at de opererer i miljø der feil får store følger, teknologien er risikabel og har høyt potensiale for feil, konsekvensen ved feil utelukker læring ved eksperimentering og

til sist, organisasjonen bruker komplekse prosesser for å håndtere det hele. En veitunnel er i utgangspunktet ganske enkel og perspektivet blir derfor ikke brukt aktivt i oppgaven.

**Informasjonsprosesserings – perspektivet.** Perspektivet krediteres Barry Turner som utga boken ”Man Made Disasters” i 1978 (nyutgivelse 1997) (11). Turner påpeker at ulykker har forstadier som har vært godt synlige, men som ikke er blitt oppfattet grunnet sosiale og kulturelle sperrer. Ulykker har en inkubasjonstid som kjennetegnes av manglende informasjonsformidling eller feiltolkning av fare/avvik. Perspektivet er utdypet i avsnitt 3.1.2 i teorikapitlet.

**Beslutnings og interessekonflikt - perspektivet.** Perspektivet krediteres dansken Jens Rasmussen (12). Perspektivet har fokus på motsetninger mellom ”nivåer” i beslutningsprosessen.



Rasmussens modell er relevant for produksjonsbedrifter og liknende enheter der profitt og sikkerhet er motsetninger. I tunnelsammenheng kan det argumenteres for at sikkerhet blir for dyrt og ofres til fordel for rimelige løsninger. Sånt sett passer perspektivet i en oppgave om tunneler og samfunnsøkonomi, men ikke så godt i en oppgave om tilgjengelige test og øvelsestunneler, og er derfor ikke brukt her.

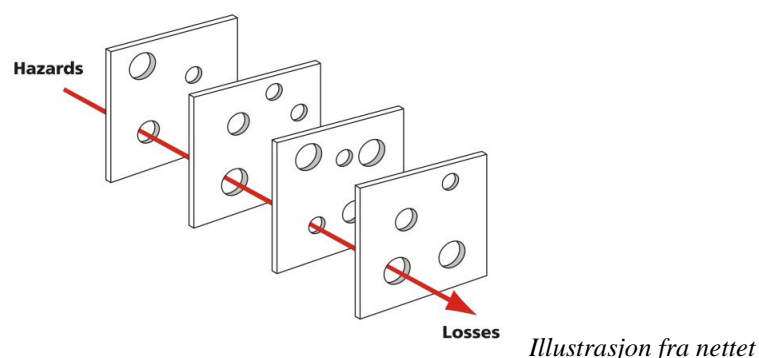
Likeens er Rasmussens Migrasjonsmodell vurdert, men funnet å være lite relevant i forhold til forskningsspørsmålet. Men det er verd å nevne at modellen viser forholdet mellom arbeidsbelastning og sikkerhet der grensene strekkes mot usikker adferd for å oppnå en gevinst. I tunnelsammenheng kan dette være bilføreren som bryter fartsgrensen for å komme fortere fram eller at tunnelen bygges billig for å spare penger, for eksempel med et løp i stedet for to, smale kjørefelt, lite belysning eller minimalt med overvåkning.

### 3.1.1 Barriereteori:

Begrepet barriere brukes som betegnelse på ”hindringer” som lages med det formål å stoppe den potensielle faren – eller lasten – slik at den ikke forårsaker en ulykke (13). Tiltak for å forhindre uhell i veitunneler, eller reduserer eller eliminerer de negative følgene av uhellet, er barrierer.

#### James Reasons Barriereteori.

Reason utviklet ”sveitserostmodellen” for å illustrere hvordan barrierer kan svikte”. Det er en generell modell som viser hvordan en uønsket hendelse kan finne sin vei gjennom lag med forsvar/ barrierer. Hvis barrierene er tette, vil farene ikke trenge igjennom og det oppstår ikke skade, likeens hvis barrierene utfyller hverandre og dekker opp hverandres svakheter. Ingen av tiltakene er perfekte og har permanente eller temporære hull. De åpnes og lukkes og er i stadig endring. Når disse hullene står på linje betyr det at det er åpent for hendelse.



Med uttrykket ”forsvar i dybden” peker han på at det kan stå flere uavhengige barrierer i veien for å forhindre skade. I en veitunnel samvirker de enkelte barrierer. Hver og en av disse barrierene har sine svakheter, men sammen utgjør de likevel et robust barrieresystem og en sikker tunnel.



Eksempelvis kan dette være:

- skilt som varsler om tunnel en kilometer fra tunnelåpningen.
- lyssettingen og utformingen av tunnelåpningen som gjør overgangen mellom friluft og tunnel så sikker som mulig,
- automatisk fartsovervåking: sikrer jevn trafikkflyt og forhindrer hasardiøs kjøring.
- Sprinkleranlegg som utløses ved detektorer eller via kameraovervåking / veisentral.

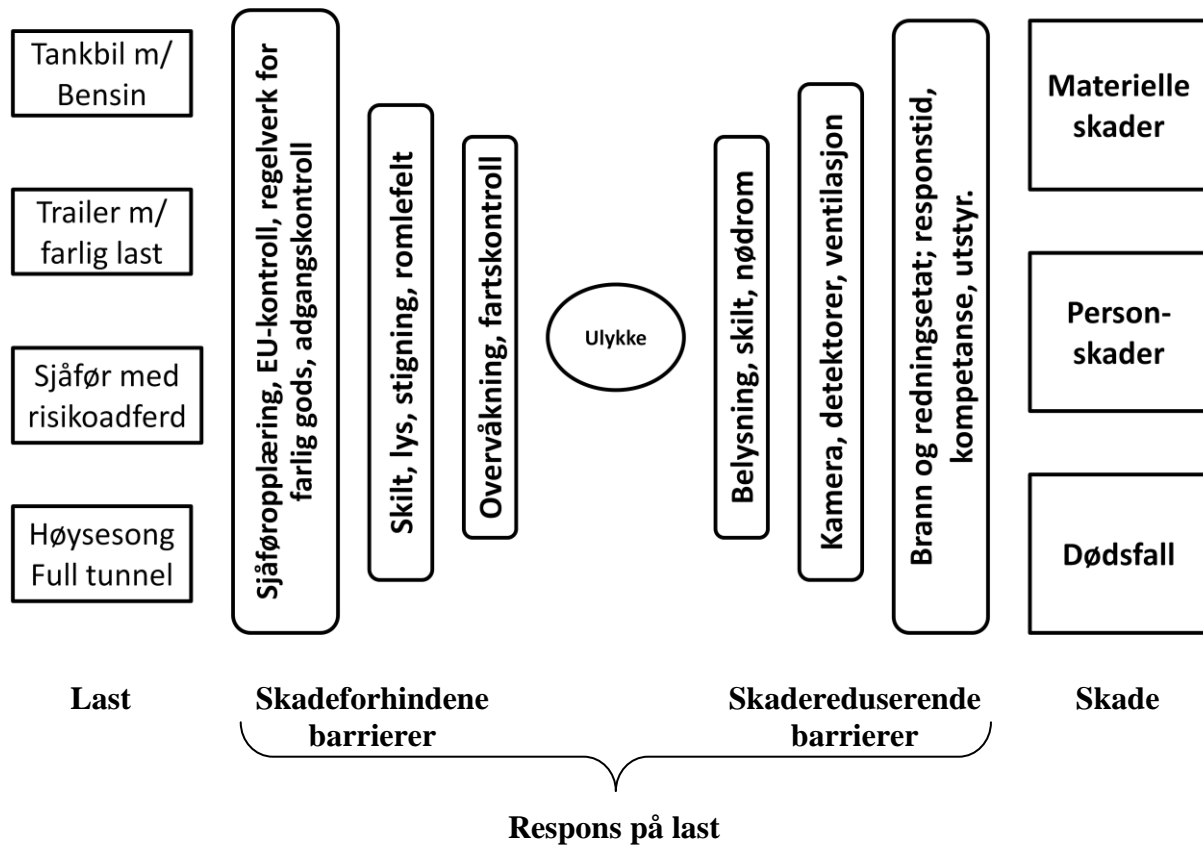
Reason ser på forsvar i dybden (flere barrierer etter hverandre) som en blandet velsignelse. Riktignok vil flere barrierer umiddelbart sørge for høyere sikkerhet fordi det er mange barrierer som må svikte for at skade skal oppstå, men et forsvar i dybden øker også kompleksiteten. I 2008 påpekte forskeren Steve Day at sikkerhetstiltak i veitunneler kunne gi nye faremomenter. Day nevner blant annet oversvømmelse fra brannhydranter, ventilasjonsvifter som faller ned (pga rust i innfesting), sprinkleranlegg som gir dårlig sikt ved branner og sprinkleranlegg som løses ut ved feil og gir dårlig sikt og glatt veibane. (14)

Reason har også satt fokus på forholdet menneske og system for å kunne se på hvordan systemene bidrar til menneskelige feil ved for eksempel være villedende, skape stress, eller skjule informasjon. Han bruker uttrykket "Human Factor" – menneskelig faktor. I tillegg at systemet "designes" slik at menneskelige feil unngås, bør systemet ha et forsvar eller barriere innebygget for å fange opp menneskelige feil.

### **Bow Tie**

Barrierene illustrert som en "Bow -tie" (herresløyfe) viser barrierer som forebygger trafikkuhell i veitunneler og tiltak som begrenser følgene av trafikkuhell. En bow-tie viser en ulykke eller hendelse i tid, lest fra venstre mot høyre. Forebyggende tiltak eller barrierer er da på venstre side, mens skadebegrensende tiltak eller barrierer listes på høyre side. Bow -tie kan utvides til å innbefatte logiske modeller, men det er ikke funnet nødvendig i denne oppgaven. I modellen som brukes i oppgaven, er tidsaksen utvidet ved at innledende belastning er plassert til venstre og endelig utfall plassert til høyre.

Her er det satt inn faktorer som kan være relevante for en større brann i en lang veitunnel:



Trafikantene ytterst til venstre utgjør den last som tunnelen utsettes for. Passive og aktive barrierer på venstre side skal forhindre ulykkeshendelsen. Barrierene på høyre side er tiltak som er iverksatt på forhånd for å minske eller eliminere effekten av ulykkeshendelsen. Barrierene utgjør den responsen som tunnelen møter lasten med.

Barriereteorien skiller mellom aktive og passive barrierer. Urban Kjellén (15) viser at aktive og passive barrierer må sees i sammenheng med Reasons harde og mye barrierer (se avsnitt neste side). Passive og aktive barrierer brukes ofte sammen som f eks adgangskontroll i en tunnel. Barrierer for å forhindre at et uønsket kjøretøy entrer tunnelen kan være:

*Passive barrierer* – som er uavhengige av operasjonelle kontroll og styresystemer:

- fysiske stengsler som hindrer eller vanskeliggjør tilgang som barriere over kjørebanelen eller midtdele
- Sluser som dirigerer trafikken i ønsket retning mot for eksempel en kontrollpost.
- Fartshumper for å begrense farten på et ønsket punkt.
- Brannsikre dreneringskummer (begrenser faren ved store bensinlekkasjer)

*Aktive barrierer* – som er avhengig av aksjon fra operatør eller kontroll- og styresystemet for å fungere;

- Menneskelige eller teknologiske sjekkpunkter for kjøretøyets høyde, bredde, vekt og fart.
- Automatisk skiltavlesning/kjøretøysidentifisering.
- Oppdaging av kjøretøy med varmgang i motor eller andre tegn på brann.
- Dynamisk skilting, dynamisk lyssetting, kameraovervåkning, branndetektorer og tilgjengeligheten av kyndig brannmannskap.

James Reasons barriereteori (16) skiller mellom harde og myke barrierer. Både den passive og aktive siden kommer innunder hans begrep ”Harde barrierer”, mens myke barrierer er:

- skriftlige rutiner, lover og forskrifter, revisjoner, normer og prosedyrer,
- redningsøvelser og orienteringer,
- trafikkopplæring og repetisjonskurs
- tillatelser, sertifiseringer, tilsyn
- holdninger og kunnskap hos ”operatører i første linje” – her sjåførere som bruker tunnelen

Erik Hollnagel (17) foreslår at barrierene klassifiseres i fire kategorier;

- Fysiske barrierer: Hindrer hendelser fysisk, f. eks adskilte kjørebaneer, manuell høydekontroll over kjørebaneen før innkjøring i tunnel.
- Funksjonelle barrierer: Hindrer hendelser ved menneskelige eller automatiske inngrep, f. eks. tunnelovervåkning med kamera, brann og røyksensorer og nødtelefoner. Mulige tiltak er nedsatt fart, lyssignaler og senking av bom for å stenge tunnel, tilkalling av nødteater.
- Symbolske barrierer: Avbryter/forebygger en hendelsessekvens hvis de tolkes riktig, f. eks skilter og signaler. Eksempelvis dobbel delelinje eller forbikjøring forbudt-skilt.
- Immaterielle barrierer: Avbryter/forebygger en hendelsessekvens ved å påvirke menneskers tenking og kunnskap, f. eks. trafikkopplæring, repetisjonskurs, utdeling av skriftlig materiale, årvåkenhet ovenfor medtrafikanter som har avvikende kjøreadferd.

### 3.1.2 ”Man-Made” disasters - Informasjonsprosesseringsperspektivet

Turner og Pigdeon (11) mener at organisatoriske forhold har skylden for tekniske ulykker og at alle slike ulykker derfor er menneskeskapt. Turner og Pigdeon har et samfunnsmessig perspektiv og mener at vår feil er at vi ikke evner å forutse ulykker. Vi tenker helst positivt og ignorerer faresignaler. Begrepet ”inkubasjonstid” eller ”inkubasjonsperiode” introduseres for å beskrive tiden der en serie med utilsiktede menneskelige feil, feilbarlige beslutninger, uheldige forsterkningseffekter og uriktige antakelser om risiko og fare, til slutt ender opp i en ulykke.

Brannsjef Henry Ove Bergs utsagn om at det kommer til å gå galt i RogFast, kan sees i lys av tankegangen til Turner og Pigdeon. Det er mulig å tenke seg at en ulykke i RogFast vil ha et forløp med koblinger til organisatoriske forhold. En fremstilling av Turner og Pigdeons modell, tilpasset en ulykke i RogFast, kan se slik ut:



Kulturell norm:

- Formelle regler som fartsgrenser i tunnelen, restriksjoner (eller mangel på slike) på frakt av farlig last, forbikjøringsbegrensninger, kontroll av utenlandske vogntog
- Uformelle regler som ”vanlig praksis” ved tolking av formelle regler eller praksis ved forhold som ikke er regulert: hva som deklarerer som farlig gods, avstand mellom kjøretøy, forbikjøringspraksis, reell hastighet i tunnelen for vanlig trafikk og spesielt reell hastighet for fullastede vogntog i bratte nedoverbakker.

Inkubasjonstid:

Den tid som den kulturelle (ugunstige) normalitet får utvikle seg fritt uten inngripen fra myndigheter, presse, ikke-offentlige organisasjoner eller delvis offentlige organisasjoner. Risiko blir normalt; høy fart, risikolast blandes med vanlig trafikk. Alt går (tilsynelatende) bra.

Utløsende hendelse:

Den uforutsette hendelsen, tilfeldigheten, som setter det hele i gang; varmgang i bremsen, farlig last som er dårlig sikret, høy fart/punktering, et hjul som løsner, en uvøren forbikjøring, en sjåfør som sovner eller er uoppmerksom.

Krise:

Ulykken/brannen/gassutviklingen, personskader, dødsfall

Redning/berging:

Tiltak som er tilgjengelige og som iverksettes. FFFS, skilting, nødrom, nødutganger, varsling, responstid, bemanning, kompetanse, utstyr.

Turner og Pigdeon ser på krisen / ulykken som en forstyrrelse eller sammenbrudd i kulturelle normer ved håndtering av farer og følgene av farer.

### 3.2 Risiko

Risiko er kombinasjonen av mulige konsekvenser (utfall) og tilhørende usikkerhet. I tunnelsammenheng er dette objektiv risiko som kan beregnes ut ifra modeller med parameter som dag/natt, trafikk tetthet, antall trailere, osv. Den objektive siden styres av sikkerhetskrav: offentlige krav og interne krav hos entreprenørene

Den subjektive risikoen er risiko slik den oppfattes av tunnelbruker. Den kan være basert på andre kriterier enn den objektive risikoen. I brukeres hode kan disse kriteriene styres av egen tendens til klaustrofobi, allmenn oppfatning i ens omgangskrets og tidligere hendelser som har fått stor oppmerksomhet i media. Brukeres subjektive risiko kan bli påvirket positivt eller negativt av opplevelsen han får før han kjører inn i tunnelen, mens han er i tunnelen og etter å ha kjørt igjennom tunnelen.

Oppgaven holder seg til objektiv risiko, med inntak av noen tanker til slutt om hvordan et synlig brann og redningskorps kan ha innvirkning på tunnelbrukernes oppfatning av (subjektiv) risiko.

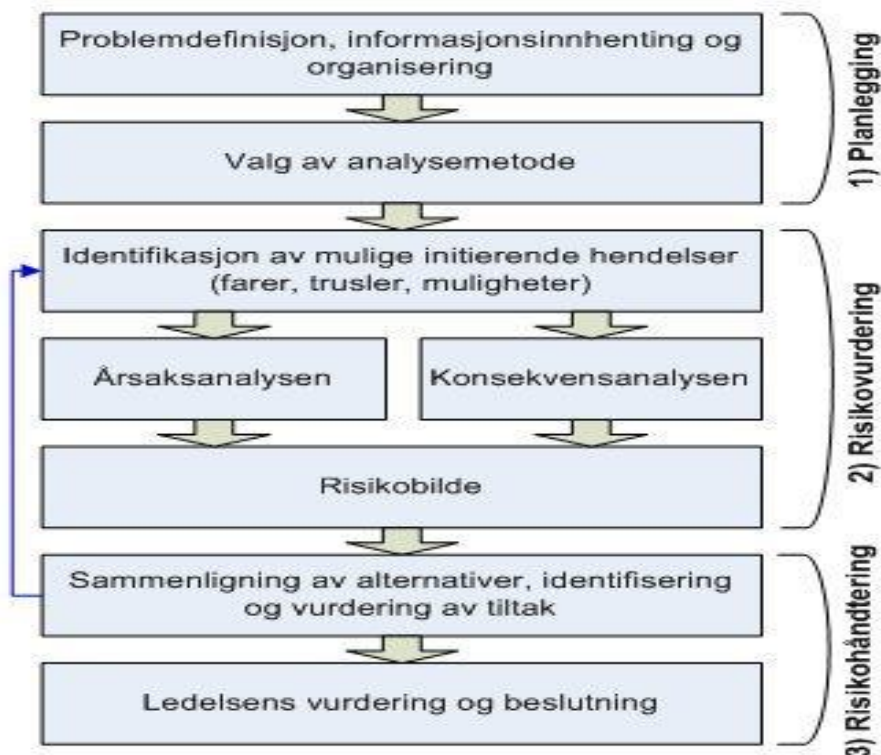
### 3.2 Risikoanalyser

Risikostyring er beslutningsstyring hvor formålet er å etablere et risikobilde (18) og få frem hvilken effekt ulike tiltak har på risikoen. Risiko kan enkelt uttrykkes som produktet av sannsynlighet og konsekvens. Sannsynlighet betinger en viss bakgrunnskunnskap og erfaring.

En risikoanalyse kunne avdekke mulige ulykkesscenario i veitunnelen. Hvilke muligheter har testtunnelen til å omsette dette til forskning? Hvilke scenario er det ikke mulig å forske på?

Det samme gjelder for øvelsestunneler. Hva er det mulig eller ikke mulig å øve på?

En strukturert risikoanalyse kan illustreres slik:



*Illustrasjonen fra boken "Risikoanalyse (Aven, Røed, Wiencke 2008)*

Den strukturerte risikoanalysemodellen viser viktigheten av eksakt problemdefinisjon, informasjonsinnsamling og organisering, da dette er utgangspunkt for risikoanalysen. En feilaktig problemdefinisjon vil gi feil analyse og dermed grunnlag for feilaktige beslutninger.

### 3.3 Øvelsestunneler og teori

En øvelsestunnel skal gi og vedlikeholde ferdigheter som er en del av barrierene i tunnelsikkerheten. Det er derfor ikke nødvendig med egen risikoteori for øvelsestunnelene.

## 4 Metode

Oppgaven skal besvare forskningsspørsmålet om tilgjengelige test og øvelsestunneler på global basis. For å finne relevant informasjon velges en fremgangsmetode. Dette kapitlet drøfter styrke og svakheter ved forskjellige metoder og begrunner metodevalget.

I denne oppgaven er det anvendt litteraturstudie, telefonintervju, dybdeintervju og e-postsvar.

Kapittel 3 beskriver teorier i forhold til forskningsspørsmålet. Teoriene er relevante i forhold til den ”last” (eller risiko) som veitunneler utsettes for i form av ulik type og mengder trafikkanter, og i forhold til den ”respons” som tunnelen gir i form av fysiske betingede brannfenomener, samt tunnelens passive og aktive tiltak når en uønsket hendelse inntreffer. Valgte teorier er; Barriereteorier (inklusive Bow Tie) og Man Made Disasters.

### 4.1. Forskningsdesign.

Oppgaven bruker et deskriptivt design. Målet er å kartlegge et utvalg variabler og se på sammenhengen mellom dem. Deskriptivt design kan brukes når problemstillingen er klar og entydig. Den skal gi svar på forskningsspørsmålet; ”Hva er....”

Hadde problemstillingen vært uklar, kunne oppgaven hatt et eksplorerende design. Det betegnes også som en pilotundersøkelse. Man begynner å undersøke et fenomen uten at det foreligger en plan over hva en skal studere, eller at man vet på forhånd hva resultatet skal bli.

Med et kausalt design ville oppgaven søkt å finne et årsak – virkning forhold mellom to eller flere variabler. Som for eksempel sammenhengen mellom alder og demens.

### 4.2 Kvalitativ og kvantitativ forskningsmetodikk

Forskningslitteraturen beskriver i hovedtrekk to forskningsmetodikker; Kvalitativ (19) og Kvantitativ (20).

Kvalitativ forskningsmetodikk særmerker seg bl.a. ved at hver informant betyr mer, at det må utvises profesjonelt skjønn. (21) Fordelene med kvalitativ forskningsmetodikk kan være diskusjon med nøkkelpersoner for å klargjøre opplysninger eller hypoteser (19) og at nøkkelpersoner kan få utdype opplysningene. Ulemper med kvalitativ forskningsmetodikk kan være at utvalget er urepresentativt, eller ønsker å skjerme informasjon, og at det kan være vanskelig å trekke bastante slutninger.

Målet for oppgaven tilsier bruk av kvalitativ metode: ”hva” (er muligheter og begrensninger...). Oppgavens mål er å finne tilgjengelige fullskala test og øvelsestunneler, for så å finne muligheter og begrensninger ved disse. Etter at testtunnelene er identifisert, vil det være naturlig å se testtunnelene i forhold til hverandre. Hvordan er tunnelenes utforming og tilgjengelighet? Hvor mange vitenskapelige publikasjoner har testtunnelen å vise til? Hvor stor kapasitet har testtunnelen som øvelsestunnel?

Kvantitativ forskningsmetode knyttes til måling og innebærer ofte store datainnsamlinger som deretter bearbeides. For denne oppgaven er kvantitativ forskningsmetode ikke relevant da det i praksis er få tunneler som blir undersøkt.

### **4.3 Validitet og reliabilitet (22)**

Validitet betegner gyldigheten til resultatet av studien. Med ”intern validitet” menes at resultatene er gyldige for det en har undersøkt - hos det utvalget som er undersøkt. ”Ekstern validitet” betegner hvor allment gyldige resultatene er for andre utvalg. Men konstruksjonsvaliditet menes samsvar mellom det man undersøker og det man tror man undersøker.

Reliabilitet betyr målesikkerhet – at to eller flere målinger gir samme resultat. Begrepet består av to elementer: indre reliabilitet – som er i hvor utstrekning andre kan benytte begrepsapparatet på samme måte som det er gjort i oppgaven og få samme resultat, og ytre reliabilitet som betyr graden av at andre oppdager samme fenomen og lager et likt system for å beskrive fenomenet.

Oppgaven ønsker å vise en tilstand i nåtid (”Hva er...”), og funnene mister følgelig aktualitet over tid. Begrepet ”analytisk generalisering” betyr graden av gyldighet resultatene har for en annen setting. I denne oppgaven er funnene et tidsbilde ut ifra gitte kriterier. Oppgaven kan brukes som sammenlikningsgrunnlag for tilsvarende undersøkelser i fremtiden. Likheter og forskjeller kan da være interessante, gitt at omstendighetene ved datainnsamlingen er presist nok beskrevet.

### **4.4 Systematiske feil.**

Monica Dalen (22) advarer mot tre systematiske feil som kan oppstå ved kvalitative undersøkelser:



- Holistisk feilantagelse: forskeren er så kjent med fagfeltet at avvik fra egen oppfatning ikke registreres
- Elite ”bias”(skeivhet): enkelte informanter eller kunnskapskilder tillegges for stor vekt
- ”Going naive” – forskeren er så kjent med fagfeltet at det blir vanskelig å trekke ut særpreg.

Disse tre fallgruvene har vært i tankene da oppgaven ble skrevet og er forhåpentligvis unngått.

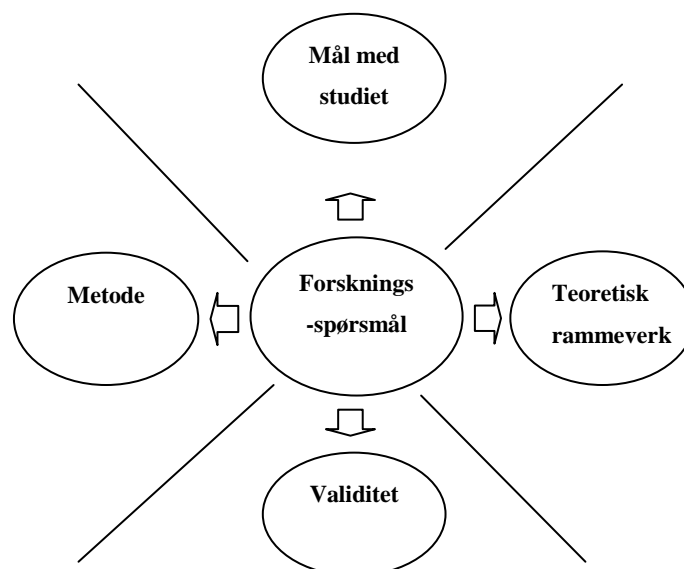
#### 4.5 Triangulering:

Bruk av flere kilder eller flere metoder (kvalitativ / kvantitativ). Undersøkelsen får da flere innfallsvinkler og det blir mulig å se ting på flere måter. Riktig brukt kan dette styrke undersøkelsens validitet og reliabilitet. I oppgaven ble det opprinnelige litteratursøket utvidet til telefonintervju, dybdeintervju og e-postsvar.

#### 4.6 Forskningsetikk

Det blir ikke gjort forskningsetiske vurderinger da oppgavetemaet ansees å være etisk uproblematisk.

#### 4.7 Koherens



*Illustrasjon tatt fra "Forskningsdesign og Kvalitativ metode" (21)*

Med Koherens menes sammenheng. Forskningsdesignet har god koherens når mål, metode, teori og validitet er underlagt forskningsspørsmålet.

#### 4.8 Inklusjons- og eksklusjonskriterier

Det er brukt inklusjonskriterier i søket. Med det menes søk der en leter etter funn som inkluderer et eller flere kriterier som det søkes etter. Det er ikke brukt eksklusjonskriterier. Med det menes at en ekskluderer funn som inneholder gitte kriterier. Et slikt søkekriterie ville kunne vært "tunnel AND NOT norwegian". Resultatet blir da en liste med alle rapporter som inneholder ordet "tunnel" og samtidig ikke inneholder ordet "norwegian".

#### 4.9 innsamlingsfasen

Oppgaven har som mål å finne testtunneler på global basis som er tilgjengelige for forskning på tunnelsikkerhet og / eller tilgjengelige for opplæring av brann og redningspersonell. Det betyr at de testtunnelene som markedsfører seg via nettsider, lett blir funnet. Noen er blitt brukt i forskningsoppdrag og nås via publisering av vitenskapelige funn.

Denne oppgaven var i utgangspunktet tenkt å bli gjennomført som litteraturstudie, men mangelen på relevante funn – og ikke minst mangelen av funn der det intuitivt skulle være noe – gjorde at søket etter empiri ble utvidet til å inkluderte direkte spørsmål (på mail og telefon) til institusjoner og nøkkelpersoner, samt et dybdeintervju med representant for Brannvesenet. Dette er ikke en uvanlig situasjon og fenomenet blir omtalt som "Mixed Method Design". Dette er ingen fast definisjon, men en beskrivelse av en pragmatisk tilnærming der en tar i bruk de metoder en finner hensiktsmessig. (23)

##### 4.9.1 Passivt søk – litteratursøk.

Med passivt søk menes søk i eksisterende tilgjengelig informasjon som fagbøker, fagartikler, nettsider, "googlesøk" og søk i databaser for faglitteratur ved UiS'Universitetsbibliotek. Dette omtales som litteratursøk.

Hva finnes av eksisterende publisert materiale og hvordan kan dette gi svar på forskningsspørsmålet? Et typisk søk i UiS Biblioteks database er: "Glasgow" AND "tunnel test" AND "Full scale" AND "Safe\*" AND "fire". Det betyr at søket avgrenses til de artiklene som er registrert med alle søkeordene. Flere ord i anførselstegn blir søkt på som et ord. Ved bruk av tegnet \* i slutten av et søkeord, søkes det etter funn som har søkeordet med ulike endinger.

Med å begynne å søke på "Glasgow" AND "tunnel test", vil databasen ScienceDirect (tilgang via UiS' bibliotek) finne 168 artikler. Når flere søkeord legges til med funksjonen AND, vil søket spisses og relevansen øke.

Automatisk søk i databasens søkefelt suppleres med rask gjennomlesing av artikkelens sammendrag for å sjekke om innholdet er relevant. Artikkelens referanseliste kan også gi ledetråder til nye funn. Gjennomlesing av artikkelen er tidkrevende og bare mulig hvis artikkelen har høy relevans.

Den artikkelen som gav mest informasjon var doktoravhandlingen til Anders Lönnemark (24). De tunnelene som er listet der, samt de tunnelene som er listet i boka "tunnel Fire Dynamics" (25) er gjengitt i empirikapitelet.

Databasesøk (UiS Biblioteks databaser ScoFus og ScienceDirect) og Googlesøk ble gjort for å avdekke om disse tunnelene er aktive i dag og hva de eventuelt kan tilby.

#### **4.9.2. Aktivt søk: Personlig henvendelse via e-post eller telefon.**

Litteratursøket avdekket navn og kontaktdetaljer til nøkkelpersoner som kunne sitte inne med relevant informasjon. Disse var enten forskere innen tunnelsikkerhet eller kontaktpersoner for leverandører av tunnelsikringsutstyr eller kontaktpersoner for testtunneler. Noen institusjoner ble kontaktet på generell basis.

Følgende er kontaktet:

Forskere:

- Gunnar D. Jenssen, SINTEF: e-post sendt, svar mottatt.
- Haukur Ingason, Universitetet i Lund, Sverige: e-post sendt, svar mottatt

Kontaktpersoner for testtunneler:

- Runehamar v/ Harald Buvik: e-post sendt, svar mottatt, telefonsamtale
- Dräger, generell forespørsel: e-post sendt, ikke mottatt svar
- Stuva v/Frank Leismann: e-post sendt, mottatt svar
- SP Sweden v/ Henry Persson: e-post sendt, ikke mottatt svar
- Xianmen Road Tunnel, Nanjing, Kina v/ Jungcheng Jiang: e-post sendt, ikke mottatt svar

- TST San Pedro De Anes v/Fernando Garrido: e-post sendt, svar mottatt, telefonsamtale.
- CTIF v/ Tore Ericsson: e-post sendt, ikke mottatt svar.
- Carleton University Ehab Zalok: e-post sendt, mottatt svar.
- Amberg Norge AS (representat for VSH Hagerbach) v/ Håkon Bratlien: e-post sendt, mottatt svar, telefonsamtale.
- Federal Highway Administration, USA, Benjamin Tang (team leader for bridge and tunnel technology): e-post sendt, ikke mottatt svar.
- Bundesfeuerwehrverband, generell forespørsel: e-post sendt, ikke mottatt svar.
- Service Public Interieur, Belgia v/Hugo Boeckarts: e-post sendt, ikke mottatt svar.
- Hviterusslands Branndirektorat, generell forespørsel: e-post sendt, ikke mottatt svar.

Til leverandører av utstyr til veitunneler:

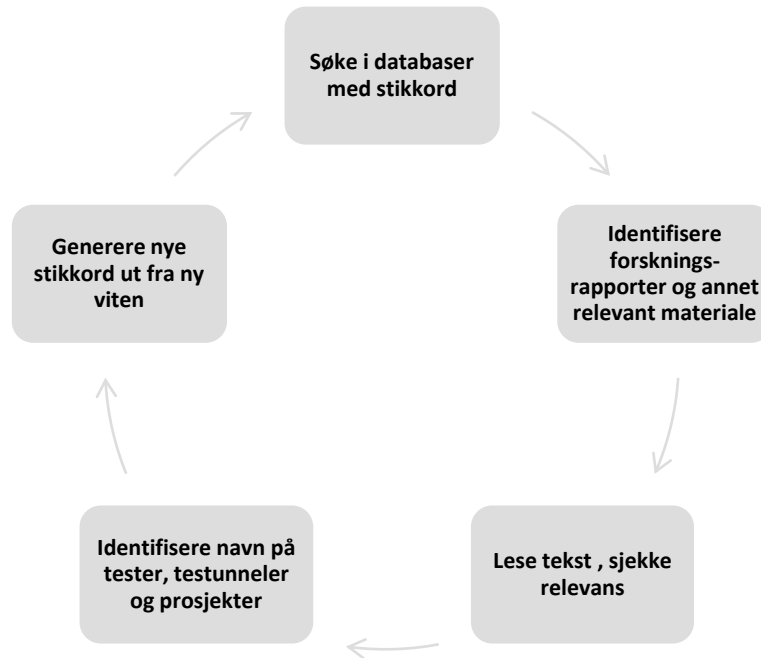
- HBI Haerter v/ Dr. Rune Brandt: (26) e-post sendt, svar mottatt.
- Fire Testing – leverandør av testutstyr v/Sean Gregory: (27). e-post sendt, svar mottatt.
- Hainzl Industriesysteme GmbH v/Mr. Helmut Kern: e-post sendt, ikke mottatt svar.
- Aquasys Technik GmbH v/ Justin Bear : e-post sendt, ikke mottatt svar.
- Marioff Corporation Oy v/ Dr. Maarit Tuomisaari: e-post sendt, svar mottatt.
- Jensen Hughes v/ Phil Rogers: e-post sendt, ikke mottatt svar.
- FogTec Brandschutz GmbH & Co. v/Rüdiger Kopp: e-post sendt, ikke mottatt svar.

Organisasjoner

- STUVA (Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.) v/Roland Leucker: (28) e-post sendt, svar mottatt.
- CTIF (International Association for fire and rescue service) v/Tore Ericsson: (29) e-post sendt, ikke mottatt svar.
- P.W.R.I. (Public Works Road Institute, Japan.)v/ Mr. Nobuharu Isago e-post sendt. Svar mottatt.
- Wuhan Universitet, Kina v/ Chen Juan-Juan: e-post sendt, svar mottatt.

### ”Sirkel-søk”

For å komme ”helt ut i hjørnene” ble søket gjentatt etter at ny informasjon var funnet. Ny informasjon ble brukt som stikkord – for å finne mer informasjon.



*Egen illustrasjon.*

#### 4.10 Analysefasen

For å kunne utføre konkrete sammenligninger av tunneler, ble disse evne til å teste barrierer vurdert. Det ble derfor brukt barriereteori i analysefasen.

#### 4.11 Metodekritikk - begrensninger ved søkemetodene, svakheter ved utvalg / datatilfang.

Et litteratursøk ser bakover i tid ved at kunnskap fanges opp når den er publisert, katalogisert og gjort allment tilgjengelig. Dette er en begrensning ved dagsaktuelle tema.

Identifisering av nøkkelpersoner og kontakt med disse, gir mulighet for nyere informasjon. Institusjonsledere vil gi ut informasjon som de ønsker skal bli spredd, med er samtidig tilbakeholdne i forhold til konkurrerende institusjoner. Miljøet for tunneltesting er internasjonalt. Testoppdrag utføres på tvers av landegrensene.

Ved å systematisk se på alle kjente tunneltester vil de være mulig å finne de av disse som ennå er aktive og som kan brukes i fremtidige tester. Videre vil det være mulig å finne testkriterier som kan belyse spørsmålet om ”muligheter og begrensninger”.

Branntekniske funn er trolig godt representert i form av forskningsdokumenter fra branntester, gjerne sluttdokumenter fra større forsøksserier

Det var en utfordring å få institusjonene i tale. En del av dem er forsiktige med hva de gir ut av informasjon. Vil det være urimelig å tenke at det foregår en kamp om kundene, kompetansestrid, eller kamp om plass på offentlige millionbudsjett?

Kinesiske testtunneler var svært vanskelig å få i tale. Det kan skyldes kulturforskjeller eller språkbarrierer.

På slutten av informasjonssamlingen ble det ikke funnet nye test- eller øvelsestunneler. Søket ble da avsluttet. Det er lite sannsynlig at en institusjon som åpent tilbyr test eller øvelsesfasiliteter til aktører på permanent basis, ikke er blitt identifisert.

## 5. Empiri

I dette kapitlet presenteres de funn som er gjort. Kapitlet innledes med funn av tidligere forskning som er relevant til forskningsspørsmålet, inklusive store forskningsprosjekter.

Test og øvelsestunnelene som ikke har vært aktive siden 2010 presenteres først. Hver tunnel kommenteres. Test og øvelsestunneler som har vært i bruk i 2011 eller senere, er ansett som tunneler som er tilgjengelige i dag.

Tunnelenes egnethet drøftes i kapittel 6 og konkluderes i kapittel 7. For oversiktens skyld presenteres testtunneler som ikke er i bruk først.

### 5.1 Tidligere forskning.

Det er ikke funnet masteroppgaver med liknende emne. De er heller ikke funnet annen presentasjon av fullskala testfasiliteter for veitunnelsikkerhet som besvarer forskningsspørsmålet.

Tidligere forskning på testtunneler vil gi et bilde av hvilke deler av tunnelsikkerhetsproblematikken som det er blitt forsket på. De som presenteres her er ansett å være sentrale.

Boken ”Tunnel Fire Dynamics” (25) av Ingason, Li og Lönnemark ble gitt ut våren 2015, og var først tilgjengelig etter at masteroppgaven var tatt ut. Boken presenterer systematisk en rekke fullskala tunnelforsøk frem til og med 2014 og de funn som er gjort. Det faller seg naturlig å bruke deler av dette materialet i oppgaven.

Tidligere tunnelbrannforskning settes inn i en bow-tie modell. Målet er å se om det finnes et mønster i testene. Er det områder som det fokuseres spesielt på, er det områder som er utelatt?

#### 5.1.1 Anders Lönnemarks doktorgrad fra 2005, Ingason & Lönnemarks bok ”Tunnel Fire Dynamics fra 2015

Lönnemarks doktorgrad ”*On the Characteristics of Fire in Tunnel*” er i stor grad bygget rundt funn fra tester i Runehamartunnelen i 2003. Som en del av bakgrunns materialet til doktorgraden, listes et utvalg fullskala tunneltester foretatt mellom 1965 og 2003 (24).

Elementer fra doktorgraden videreføres i boken ”Tunnel Fire Dynamics” av Ingason, Li og Lönnemark. (25). I denne listes vitenskapelige tester som er foretatt siden midten av

seksitallet og fram til 2011. Verken doktorgraden eller boken går dypere inn på forhold ved testtunnelene.

Innholdet er gjengitt som presentert i doktorgraden og/eller i boken. Testbegrepene er forklart i påfølgende avsnitt:



Lokasjon, land, årstall	Antall tester	Lengde [m]	Høyde [m]	Tverrsnitt [m <sup>2</sup> ]	Brannkilde	Målinger	Max HRR	Kommentar
Ofenegg, CH 1965	11	190	6	23	Petrol (6.6, 47.5, 95 m <sup>2</sup> )	T, u, CO, O <sub>2</sub> , smoke spread, mf (estimated)	11-80	Single track rail tunnel, dead end, sprinkler
Glasgow, UK, 1970	5	620	5.2	39.5	Kerosine (1.44, 2.88, 5.76 m <sup>2</sup> )	T, smoke spread	2-8	Disused railway tunnel
Zwenberg, AT 1974-75	30	390	3.9	20	Petrol (6.8, 13.6 m <sup>2</sup> ), wood, rubber	T, u, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , THC, visibility	8-21	Disused railway tunnel
TNO, NL, 1979-80	2	8	2	4	Petrol (~3 m <sup>2</sup> )	T, humidity		Experimental tunnel
P.W.R.I, Japan 1980	16	700	~6.8	57.3	Petrol (4, 6 m <sup>2</sup> ), passenger car, bus	T, u, CO, OD, mf, radiation	Pool: 9-14, cars and buses unknown	Special test tunnel, sprinkler
Kakeitou Tunnel, P.W.R.I, Japan 1980	8	3277	~6.8	58	Petrol (4 m <sup>2</sup> ), bus	T, u, CO, O <sub>2</sub> , OD, mf, radiation	Pool:9, bus: unknown	In use road tunnel, sprinkler
TUB-VTT, Finland, 1985	2	140	5	24-31	Wood cribs (simulating subway coach and collision of two cars)	T, u, mf, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , visibility, smoke height	1,8 – 8	Disused cavern system
Repparfjord, NO EUREKA 1990-92	21	2300	4.8-5.5	25-35	Wood cribs, cars, metro car, rail cars, heptane, HGV	HRR, T, u, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> , NO, OD, visibility, soot, smoke spread, PCDD/F, PAH, PBDD/F, mf	2 – 120	Disused transportation tunnel
Memorial, USA 1993-95	98	853	4.4 and 7.9	36 and 60	Fuel oil (4.5 – 45 m <sup>2</sup> )	T, u, CO, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , THC, mf, visibility, stratification	10 – 100	853 m, 8.8x4.3, foam
Shimizu No. 3, Japan, 2001	10	1120	8.5	115	Petrol (1, 4, 9 m <sup>2</sup> ), cars, bus	T, u, OD, radiation	2 – 30	New road tunnel, sprinkler
2nd Benelux, NL, 2002	14	872	4,7 - 5.1	50	n-heptane+toulene, car, van, wood pallets (HGV mock-up)	T, u, mf, CO, OD, radiation, smoke front, visibility, fire detection	3 – 26	New road tunnel, sprinkler

Lokasjon, land, årstall	Antall tester	Lengde [m]	Høyde [m]	Tverrsnitt [m <sup>2</sup> ]	Brannkilde	Målinger	Max HRR	Kommentar
Runehamar, NO 2003, 2013	4	1600	5-6	32-47	Cellulose, plastic, furniture	HRR, T, PT, u, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , HCN, H <sub>2</sub> O, isocyanates, OD, radiation	70 - 203	Disused road tunnel
Brunsborg, Sweden, 2011	2	276	6,9	44	Metro Car	HRR, T, PT, CO, CO <sub>2</sub> , radiation.	77	Disused rail tunnel
San Pedro Tunnel, Spain, 2012	1	600	5,2	37	HGV mockup	HRR, T, PT, CO, CO <sub>2</sub> , radiation.	150	Test Tunnel
Carleton Laboratory Facility, Can, 2011	2	37	5,5	55	Train and subway car	HRR, T, CO, CO <sub>2</sub> , O <sub>2</sub>	32 - 55	Laboratory facility

Til hver tunneltest er det listet ”measurements”. Dette kan oversettes med ”målinger” og er de parametre som er forsket på under testene. Dette gir informasjon om hva som kan være muligheter og begrensninger til nåværende tilgjengelige testtunneler.

Parametrene er, oppgitt i den rekkefølge de først forekommer i tabellen:

T Temperatur, gjerne på spesifikt sted og tidsperiode

u Velositet, hastighet (meter / sekund)

CO Karbonmonoksid, ofte betegnet som kullos.

O<sub>2</sub> Oksygen.

Smoke-spread: Oversatt: røykspredning, røykutbredning.

m<sub>f</sub> Mass Flow Rate (kg/sek)

CO<sub>2</sub> Karbondioksyd

NO<sub>x</sub> Fellesbetegnelse for mono-nitrogenoksider NO og NO<sub>2</sub> (nitrogenoksid og nitrogendioksid)

THC Forkortelsen forekommer hos Lönnermark i beskrivelsen av Memorial Tunnel-testene, men er ikke forklart i teksten. Forkortelsen står trolig for Total Hydro Carbons, eller totale hydrokarboner. Utslipp av THC skyldes ufullstendig forbrenning, fordunsting eller lekkasjer.

Visibility	Synlighet, sikt.
Humidity	Fuktighet, trolig luftfuktighet.
OD	Optical density - optisk tetthet (av brannrøyken)
Radiation	Stråling (trolig varmestråling)
Smoke height	Røykhøyde – høyden fra veibane til røyklaget
HRR	Heat Release Rate. Brannens momentane varmeutvikling, måles i megawatt – som tilsvarer en million watt.
SO <sub>2</sub>	Svoveldioksyd
CxHy	Hydrokarboner
Soot	Sot
PCDD/F	Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and –furans.- klorholdig gift (i røyk)
PAH	Polyaromatiserte hydrokarboner – kreftfremkallende stoff i røyk.
PBDD/F	Polybrominated dibenzo-p-dioxins and –furans. Bromidbasert gift (i røyk)
CH <sub>4</sub>	Metan
Stratification	Lagdeling (av røyk)
Smoke front:	Røykfront
Fire detection	Brannvarsling, branndetektering.
PT	Forkortelsen er ikke forklart av Lönnemark
HCN	Hudrogencyanid – blåsyre.
H <sub>2</sub> O	Vann
Isocyanates	Kjemisk stoff som blant annet forårsaker astma hos mennesker

Totalt listes 226 fullskala branntester fra 1965 til 2011. Testene har utviklet seg fra enkle fysiske målinger ved brann (varme, sikt, røykutvikling) til avanserte målinger med flere måleparametre og større nøyaktighet. Utviklingen i måleteknologi ga muligheter til å undersøke flere detaljer ved brannen; som enkeltkomponenter i brannrøyken, dynamikken i brannutviklingen, etc. Testene har også utviklet seg med introduksjonen av ventilasjon i tunnelene og har hatt som formål å gi grunnlag til rett ventilasjonsstyring ved tunnelbrann.

### 5.1.2 Most Significant Full-Scale Fire Tests

I artikkelen ”Fires in Tunnels: Experiments and Modelling” av Volfango Bertola og Emilio. Cafaro, listes de mest signifikante fullskala tunnelbranntestene - *Most Significant Full-Scale Tunnel Fire Tests* (30). Listen overlapper tunneltestene fra Lonnermarks doktorgrad og ”Tunnel Fire Dynamics”, men har i tillegg med to tester i Italia.

Name	Type	Year	Country	Fire source	Area	HRR	Ventilation
Ofenegg	Rail	1965	Switzerland	petrol pool	24 m <sup>2</sup>	15-25 MW	natural, longitudinal, semi-transversal
Zwenberg	Rail	1976	Austria	petrol pool	24 m <sup>2</sup>	15-25 MW	natural, longitudinal, semi-transversal
Repparfjord	Mining gallery	1990-92	Norway	train wagons, cars, HGV, calibrated fires	30-40 m <sup>2</sup>	15-100 MW	longitudinal, transversal
Memorial	Road	1993-95	USA	diesel oil pool	60 m <sup>2</sup>	10-100 MW	longitudinal, transversal
Colli Berici	Road	1999	Italy	petrol/diesel oil pools, car mockup	60 m <sup>2</sup>	2-5 MW	natural
Rosa	Road	2002	Italy	calibrated fires, cars, van	60 m <sup>2</sup>	2-20 MW	natural, longitudinal
Runehamar	Road	2003	Norway	pellets, plastic, tyres, HGV mockup	32.5 m <sup>2</sup>	70-200 MW	longitudinal

Tidligere tester og bow-tie:

Alle tidligere tester har til felles at de omhandler og utforsker forløpet etter den initierende hendelsen (ulykken som startet brannen), og skal plasseres på høyre side i bow tie.

Ingen av testene omhandlet preventive forhold og venstre side av bow tie er dermed tom.

## **5.2 Større forskningsprosjekter**

Tunnelbrannene i Mont Blanc og Tauern tunnelen i 1999 og i Gottharttunnelen i 2001 ga støtet til internasjonale forskningsprosjekter innen veitunnelsikkerhet:

### **5.2.1 EUREKA EU 499: FIRETUN - Fires in Transport Tunnels.**

Initiativet til EUREKA EU499 FIRETUN (benevnt som EUREKA) prosjektet kom fra et forskningsmiljø i Tyskland, men prosjektet kom til å involvere forskere fra Finland, Norge, Østerrike, Frankrike, Storbritannia, Italia, Sverige og Sveits. EUREKA kan sees på som en videreføring av europeiske fullskalatester i Ofenegg-tunnelen (1965) og Zwenberg-tunnelen (1976), som begge omhandlet brannrøykens adferd i tunnelen i forhold til ventilasjonen. (31). Hovedmålet for EUREKA var å avdekke hvordan ulike brannkilder oppfører seg i en tunnel. Branntestene ble flyttet til Norge grunnet protester fra miljøbevegelsen i Tyskland. 20 fullskalatester ble foretatt i Repparfjordtunnelen i 1992, og var de første fullskalatestene der "ekte" biler, lastebiler og busser ble brukt som brannlast i tillegg til åpne kar med heptan. Forsøkene konkluderte med at skadene på kjøretøy og tunnel var bestemt av brennbarheten til kjøretøyet. Brann i trailer lastet med brennbart materiale ble målt til 1300°C. Brannens størrelse ble beregnet til 100 MW (MegaWatt) (32). EUREKA ble avsluttet i 1995.

### **5.2.2 UPTUN – cost effective, sustainable and innovative UPgrading methods for fire safety in existing TUNnels**

UPTUN var et samarbeidsprosjekt mellom 14 land og totalt 41 aktører, koordinert av TNO, Nederland. (33) Formålet var å vurdere eksisterende teknologi for tunnelsikkerhet og om mulig utvikle ny teknologi innen; detektering, overvåkning, skadebegrensning, styring av publikumsreaksjoner og beskyttelse mot strukturelle skader i tunnelen. UPTUN hadde også som mål å utvikle prosedyrer for evaluering av sikkerhetsnivå, inkludert modeller for beslutningsstøtte og for kunnskapsoverføring.

Prosjektet UPTUN løp fra 2002 til 2006. Fase 1 testene ble foretatt i Deutsche Montan Technology (DMT)'s anlegg i Dortmund, Tyskland. Fase 2 testene ble foretatt i IF Sikkerhetssenter, Hobøl, Norge. I tillegg foretok UPTUN tester i Runehamartunnelen, Norge og i Virgolo-tunnelen, Italia. (34)

### 5.2.3 L-SURF

L-SURF står for ”Large Scale Underground Research Facility” og er en multinasjonal paraplyorganisasjon av organisasjoner; Ineris i Frankrike, SP Sveriges tekniska forskningsinstitut, STUVA i Tyskland, TNO i Nederland og VSH VersuchsStollen Hagerbach i Sveits. Intensjonen med L-SURF er å oppnå synergieffekt blant medlemmene og dermed kunne tilby mer kompetanse og et bredere spekter av tjenester, som; fullskala branntester, branntester i ordinære tunneler, testing av røyk og branndetektorer, evaluering av sikkerhet i tunneler, miljømessige utredninger og granskinger etter ulykker

L-SURF’s medlemmer har testfasiliteter i form av en stor (2000 m<sup>2</sup>) hall for branntester, TNO har simulator for tunnelbranner og VSH VersuchsStollen Hagerbach har et stort underjordisk test og øvelsesanlegg.

L-SURF var opprinnelig et EU-prosjekt med varighet fra 2005 til 2008, men fremstår nå som en permanent organisasjon med løpende prosjekter. (35)

### 5.2.4 SOLIT2 – Safety Of Life In Tunnels (36).

SOLIT2 var et samarbeidsprosjekt igangsatt av tyske myndigheter og med deltagere fra sprinkelleverandøren FogTec, det tyske tunnelforskningsinstituttet STUVA (Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. ), Ruhr Universitet og TÜV Süd (sertifiseringsselskap). Prosjektet løp fra 2009 til 2012 og hadde hovedfokus på FFFS. Det ble foretatt 30 fullskala branntester i regi av SOLIT2 i San Pedro, Spania. I tillegg ble det publisert materiale som blant annet listet alle kjente fullskala tunnelbranntester med fokus på FFFS (37).

### 5.2.5 Marioff (38)

Marioffs tester blir referert til i blant annet boka ”Tunnel Fire Dynamics”. Marioff er en kommersiell aktør og står bak Hi-Fog systemet, et vanntåkeanlegg som blant annet er montert i veitunneler. Marioff står bak tester i Runehamartunnelen og i IF Sikkerhetssenter, Hobøl.

## 5.3 Testtunneler

### 5.3.1 Testtunneler som ikke er i drift nå.

Gevinsten med å finne disse tunnelene ligger i de testene som er foretatt der og hva som det ble testet på. Et fenomen som er grundig uttestet, vil det være mindre behov for å teste ytterligere på. Videre så gir oppstillingen en indikasjon på utviklingen av fullskala tunneltester.

#### 1. Offenegg-tunnelen, Sveits - 1965

Testene ble foretatt i en nedlagt jernbanetunnel. Tunnelen er 6 meter høy og 4 meter bred. Kun 190 meter av tunnelen ble brukt under testene. Resten av tunnelen ble avsperrert med en skillevegg. Brannkilden var 130 meter fra tunnelåpningen (37).

Søk på tunnelen gir funn av 2 artikler i Scopus, som igjen er referert totalt 10 ganger. (39). Tilsvarende søk i ScienceDirect gir funn av 16 artikler. Disse testene var banebrytende – spesielt innen tunnelventilasjon.

Det er ikke funnet publiserte tester etter 1965. Tunnelen er ikke aktiv.

#### 2. Glasgow, Storbritannia - 1970

Testene i 1970 var opprinnelig designet for å forske på røykspredning ved brann i kjøpesenter. En nedlagt jernbanetunnel ble valgt da den hadde mål som gjorde den sammenlignbar (25). Det har ikke vært foretatt tester i tunnelen siden 1970 og tunnelen er følgelig ikke aktuell som testtunnel i dag.

#### 3. West Meon tunneltest, Storbritannia - 1970

Ingason, Lönnemark og Li (40) nevner en brann-test i en nedlagt jernbanetunnel i Hampshire UK. Testen er ikke med i oppstillingen over tunneltester. Den ble utført på begynnelsen av 70-tallet som en del av forberedelsene til tog-tunnelen under den engelske kanal. Tunnelen var 480 meter lang, 8 meter bred og 6 meter høy. Testen var enkel. Noen biler ble satt i brann 45 meter fra den ene åpningen, røyken ble styrt av naturlig ventilasjon (vind) på 2 m/s, og det ble gjort observasjoner av røktutviklingen og anslag av røyktykkelsen.

Det er ikke registrert tester etter denne og tunnelen er ikke aktiv i bruk som testtunnel.

#### **4. Zwenbergtunnelen, Østerrike - 1974/1975**

Zwenbergtunnelen er en jernbanetunnel på 361 meter, med et tverrsnitt på 24 m<sup>2</sup> og stigning på 2,5 %. Den ble brukt til 34 fullskala branntester i perioden 1974 -75. (41) . Hovedformålet var å finne den optimale mengde med frisklufttilførsel for å gi sikre forhold ved brann.

Testene tester på 70 tallet refereres ofte til i litteratur som omhandler tunnelsikkerhet. Databasen ScoPus refererer til tunnelen 17 ganger i vitenskapelige avhandlinger, da i matematiske beregninger av tunnelbranner som refererer til testene.

Det er ikke registrert tester i tunnelen etter 1975.

#### **5. TNO, Nederland - 1979**

TNO står for Nederlandse Organisatie voor Toegepast Natuurwetenschappelijk Onderzoek (Nederlandske Organisasjon for Anvendt Naturvitenskapelig Forskning – bestående av nederlandske bedrifter, offentlige etater og offentlige organisasjoner). Testene ble foretatt i forbindelse med et konkret tunnelprosjekt; Rijkswaterstaat Tunnel Curve, og ble foretatt i en nedskalert veitunnel; 8 meter lang, 2 meter høy og 2 meter bred.

TNO's tester faller dermed utfor oppgavens tema.

#### **6. Public Works Research Institute (P.W.R.I), Japan - 1980**

Instituttet har en fullskala testtunnel på 700 meter, med tverrsnitt på 57,3 m<sup>2</sup> og høyde på ca. 6,8 meter: Testtunnelen er utstyrt med ventilasjon og sprinkleranlegg.

Testene ble utført i to omganger; første i P.W.R.I s egen tunelltest, den andre i Kaeitou tunnelen – en operativ veitunnel.

På sin nettside markedsføres P.W.R.I. med:



- Forskning på og utvikling av effektive og økonomiske ventilasjonssystem, belysningssystemer og nødutrustning til tunneler
- Forskning på og utvikling av sikre og effektive evakueringssystemer for tunneler.

Dette er beFølgelig er P.W.R.I.s testtunnel ikke aktiv som testtunnel ut fra oppgavens angitte kriterier.

### **7. Kakeitou tunnel, Japan - 1980**

Testene ble utført i sammenheng med P.W.R.I's tester.

Kakeitou tunnelen er en del av Chugoku-motorveien i Japan. Tunnelen er 3277 meter lang, ca 6,7 meter høy, har et tverrsnitt på 58 m<sup>2</sup> og er utstyrt med ventilasjon og sprinkler.

Hovedformålet med testene var å fastslå forholdene for publikum (temperatur, sikt, giftig gass, etc.) under evakuering. (25) (42)

Det ble konstatert at sprinkleranlegget senket temperaturen på brannen og de umiddelbare omgivelsene, slik at det ikke oppsto overtenning. Videre ble det vist at sprinkleranlegget fikk røyken til å synke mot bakken slik at evakueringen ble vanskeligere fordi siktforholdene ble dårlige.

Ved søk i databaser som ScoPus og SienceDirect, ble det ikke funnet vitenskapelige artikler om Kakeitou-tunnelen. NB: Dette kan også komme av at japanske navn skrevet med japanske tegn, kan skrives på ulike vis med latinske bokstaver.

Det er ikke funnet nyere tester og tunnelen er trolig ikke i bruk som testtunnel.

### **8. Lappeenranta Tunnel, Finland - 1985**

Testene var et samarbeid mellom tyske Technische Universität Braunschweig (TUB) og finske Technical Research of Finland (VTT). Samarbeidet ble videreført i EUREKA prosjektet EU499. Testen ble utført i en enkel tunnel i et kalksteinbrudd. Et av hovedfunnene var at de teoretiske beregningene for overtenning ikke stemte med testresultatene.

Det er ikke funnet nyere tester og tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **9. Repparfjord Gruve, Norge 1990-92**

Tunnelen er 2,3 km lang gruvegang med en stigning på 1%. (43) Tunnelen ender i en 90 meter lang vertikal sjakt med tverrsnitt på 9 m<sup>2</sup>. Testene i Repparfjord var en videreføring av EUREKA prosjektet EU499 og det første der HRR ble målt nøyaktig. Dette ble oppnådd ved å bruke kalorimeter basert på oksygenforbruk (oxygen consumption calorimetry) og målbare brannkilder som trerammer eller heptan. (25).

Det er ikke funnet nyere tester og tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **10. INERIS fire gallery, Frankrike - 1992**

Ineris Fire Gallery er en stedbygd testtunnel som er 50 meter lang, med et tverrsnitt på 10 m<sup>2</sup>. Tunnelen har en eksosvifte som kan brukes til å lage forhold med tvungen ventilasjon. (44) Tunnelen ble brukt i EUREKA EU499 - samarbeidet for å supplere testene i Repparfjordtunnelen. Brannkilden under testen var åpne kar med ”hydrokarboner”, trolig bensin. (45)

Tverrsnittet for en veitunnel er tre til ti ganger større og tunnelen er dermed ikke ”fullskala” som veitunnel.

### **11. Memorial tunnel, USA – 1993 til 1995**

Memorial tunnel er en nedlagt veitunnel på 853 meter med varierende tverrsnitt fra 36,2 m<sup>2</sup> og rektangulær form, til 60,4 m<sup>2</sup> med tilnærmet hesteskoform. Tunnelen har et løp med to kjørebane og en gjennomsnittlig stigning på 3,2%.

Det ble utført 98 tester i ”Memorial Tunnel Fire Ventilation Test Program” – forkortet til MTFVTP. Testene ble utført med varierende type ventilasjon, brannlast og fastmonterte brannslukningsanlegg (FFFS).

Hovedfunnene var validering (bekreftelse) av dataprogram (46) (47) for;

- Simulering av selve tunnelbrannen og brannutviklingen,

- Beregning av påkrevd ventilasjon for røykstyring (critical flow)
- Varmestrålingsberegninger ved tunnelbrann.

Memorial Tunnel testene resulterte i økt sikkerhet i tunnelene og store besparelser ved bygging og drift av veitunneler. (48) Testprogrammet er avviklet og tunnelen brukes nå til opptrening av anti-terror styrker. (49)

Det er ikke funnet nyere tester og tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **12. Kabelbranntest, Auckland, New Zealand - 1997**

En serie tester ble foretatt i en 50 meter lang stadiontunnel i Auckland (tverrsnitt ukjent). Formålet var å teste ut ulike typer vanntåkesystemer. (50) Brannkilden var et ukjent antall kabler over et firkantet kar på 0,25 m x 0,25 m med en liter heptan som opptenning.

Det er ikke funnet nyere tester og tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **13. Shimizu No. 3, Japan, 2001**

10 tester ble foretatt i en ordinær trefelts veitunnel med tverrsnitt på 115 m<sup>2</sup>. Tunnelen er en del av "New Toumei Expressway". Testene var i stor grad repetisjon av tidligere tester, (25) men skilte seg ut ved at tunnelen hadde et stort tverrsnitt. Testen kunne da sammenlignes med P.W.R.I. testene. Det er ikke funnet nyere tester og tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **14. Felbertauerntunnel. Østerrike - 2000**

Tunnelen er 5282 meter lang og har seksjoner med ulik bredde og profil. Firmaet Listec GmbH testet sitt sensorsystem der i september 2000 med hjelp av tunnelbranner i full skala. Målet var å fastslå hvor nøyaktig sensorsystemet kunne lokalisere en brann ved høy ventilasjonshastighet i tunnelen. (51) Det foreligger ikke andre opplysninger om denne testen, som trolig var et engangstilfelle.

### **15. Second Benelux Tunnel – 2000/2001**

Tunnelen er en del av det offentlige veisystemet; 980 meter lang, to kjørefelt, rektangulær profil med 9,8 meters bredde og 5,1 meters høyde. Tunnelen er utstyrt med langsgående ventilasjon. Stigningen er maksimalt 4 %. (52)

I perioden 2000-2001 ble det foretatt 13 fullskala branntester. (53) Testene var i regi av det nederlandske transportministeriet og var viet til branndetektering, samt effekten av sprinkler under varierende forhold. (54) Testene hadde også fokus på å skape levelige forhold (varme, luft til å puste i, sikt) under evakuering ved brann i tunnel.

Det er ikke registrert tester i tunnelen etter at tunnelen ble tatt i vanlig bruk som kombinert sykkel, bil og jernbanetunnel i 2002. Tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **16. Mona-Lisa-Tunnel in Linz, Østerrike – 2003**

I artikkelen *“Fire fighting system for tunnels—a report about the practical experience with our water mist tunnel system”* av M. Hainzl og G. Reichsthaler på oppdrag for firmaet Linz Inc, ble det foretatt tester i en ikke navngitt østerriksk tunnel (55) i 2002. Testene var fullskala branntester av Linz Inc’s vanntåkesystem. Testene refereres til i litteraturen, men det har ikke vært mulig å oppdrive rapporten eller få andre opplysninger om testene. Trolig dreier det seg om testen som ble foretatt i Mona-Lisa tunnelen i Linz, Østerrike i 2003. Tunnelen er en 750 meter lang et-løps veitunnel for vanlig trafikk. Tunnelen har to motgående kjørebaneer. En fullskala test av et elektronisk varmedetekteringsystem LIST fra den australske leverandøren Fire Protection Technologies Ltd. (56) ble utført i oktober 2003. (57) Testen viste at LIST systemet ikke ble aktivert selv om varm last ble transportert i tunnelen, som f. eks. varm asfalt.

Tunnelen eller testen er ikke nevnt i annen litteratur og testen var trolig et engangstilfelle for å teste et gitt produkt. Tunnelen er ikke i bruk som testtunnel.

### **17. Dortmund DMT (Deutsche Montan Technologie), Tyskland - 2004**

Testtunnelen er 150 meter lang og har et tverrsnitt på 9,7 m<sup>2</sup>, og dermed for liten for fullskala veitunnel-tester.

Tunnelen ble brukt som en del av UPTUN 2008a – prosjektet for testing av FFFS systemer. (37)

### **18. Carré-Viger Tunnel, Canada - 2007**

Tunnelen er en vanlig veitunnel i sentrum av Montreal, Canada. Den er brukt 23.06.2007 til test av branndetekteringssystemer. (58) Seksjon A, som ble brukt i test, er 400 meter lang, 5 meter høy og 16,8 meter bred. Den har 4 kjørebaneer. Tunnelen er utstyr med 4 ventilasjonsvifter som ble brukt som nødventilasjon under testen. Tunnelen er senere ikke brukt som testtunnel.

### **19. Virgolo Tunnel, Italia - 2005**

Virgolo Tunnel, Syd Tyrol, Italia, (59) er en ordinær veitunnel på 887 meter. Selve tunnelen har to løp (60), hver med et tverrsnitt på 55 m<sup>2</sup>. I en kilde oppgis indre diameter til 5 meter og høyde til 6,5 meter. (61) Dette er trolig feil. Det er også en mulighet for at testene ble foretatt i en sidetunnel til hovedtunnelene. Tunnelen eies av Autostrada del Brennero S.p.A. (62).

Fullskala branntester ble utført i 2005 i regi av UPTUN prosjektet. I 2006 ble tunnelen oppgradert med vanntåkeanlegg (Fixed Fire Fighting System – FFFS) fra leverandøren FOGTEC.

Den nyeste aktiviteten i tunnelen var en fullskala evakueringstest 16 oktober 2014 i regi av Brennerautobahn AG, lokale politi og brannkorps og FOGTEC. (63). Øvelsesmuligheter for evakuering og brannslukking i to-løpstunnel med tverrforbindelse er meget relevant for RyFast og RogFast.

Evakuering av personer ved brann er en del av barrierene på høyre side av bow – tie, det vil si tiltak som hindrer skade etter at ulykken har skjedd. Evakuering, det vil si flukt fra

ulykkessted/brann, involverer både passive og aktive barrierer. Passive barrierer er skilting av nødutganger, nødbelysning og selve nødutgangene (tettheten av disse, hvor lett det er å betjene dørene, hvilken kapasitet de har). Aktive barrierer – som krever at de igangsettes enten automatisk eller av operatør – vil ved evakuering være; styring av brannrøyken, utløsning av FFFS, informasjon over høytaleranlegg eller aktive informasjonsskilt (som operatør kan styre) og publikums bruk av varslingsutstyr i tunnelen i sammenheng med evakueringen. Øvelsen i 2014 i Virgolo var primært rettet mot vanntakeanlegget til FOGTEC og undersøkte spesielt om ventilasjonen svekket virkningen av vanntåken.

Tunnelen er tilsynelatende en tilgjengelig fullskala testtunnel, men det er ikke avklart hvor aktivt eierne markedsfører tunnelen. FOGTEC testen kan ha vært et engangstilfelle. Uansett så var denne svært begrenset. Virgolo er dermed ikke å anse som en aktiv fullskala testtunnel.

## **20. Test i korridor, Sør-Kina - 2005**

En artikkel fra tidsskriftet "Tunnelling and Underground Space Technology" fra 2005 omhandler en angivelig fullskala testtunnel i Sør-Kina (64). Testen ble gjort i en 88 meter lang, 8 meter bred og 2,65 meter høy underjordisk korridor i et shoppingssenter. Korridoren har et rektangulært tverrsnitt på bare 21,2 m<sup>2</sup>, som er under halvparten av en typisk veitunnel. Denne tunnelen er derfor funnet irrelevant og ikke fulgt opp videre.

## **21. Xianmen Road Tunnel, Nanjing, Kina - 2007**

Tunnelen er en vanlig veitunnel, 1410 meter lang, med to løp - hver på 12,35 meter bredde (3 kjørebane) og 5,75 meter høyde. Tverrsnittet i hvert løp er 71 m<sup>2</sup>. Testområdene (fire areas) har en stigning på 0,8% . Andre deler av tunnelen har en maksimal stigning på 5%. Tunnelen administreres av Nanjing University of Technology, School of Urban Construction and Safety

Nanjing University of Technology test tunnel nevnes i artikkel fra Fire Safety Journal (2009): *Full-scale experiment research and theoretical study for fires in tunnels with roof openings*. (65) og i artikkel fra Tunnelling and Underground Space Technology *Full-scale experimental study on smoke flow in natural ventilation road tunnel fires with shafts* (66). Tre fullskala tester ble foretatt i 2007.

Denne testtunnelen har naturlig ventilasjon gjennom spalter i tunneltaket. I norske veitunneler er dette bare unntaksvis mulig, da hovedsakelig som del av veinett i byer. Dette begrenser tunnelens anvendelse. Det er heller ikke registrert branntester i tunnelen siden 2007 og tunnelen er trolig ikke tilgjengelig som testtunnel.

## **22. Brunsberg, Sverige – 2011**

Tre fullskala branntester ble utført i Brunsbergtunnelen ved Arvika, Sverige i 2011 (67). Tunnelen er en nedlagt del av jernbanenettet i området. Den er 276 meter lang og har en snitt bredde på 6,4 meter og en snitthøyde på 6,9 meter. I testene ble det brukt to utrangerte pendlertog.

Et mål med testene var å sammenligne tester i 1/3 skala og fullskalatester. Et annet mål var å undersøke effekten av brann i passasjerenes bagasje.

Tunnelen avviker fra veitunneler ved at høyden er større enn bredden. Tunnelen er følgelig ikke relevant som testtunnel for veitunneler.

## **23. Sichuan Fire Research Institute of Ministry of Public Security, Kina - 2013**

Instituttet har utført fullskala branntester i en testtunnelen “Southern Shallowly Buried Tunnel of Phase I Project of Chengdu Metro Line No. 1”, som er en 5,3 km lang undergrunnsbanetunnel. Testresultatene ble publisert I 2013 (68). Nøyaktig tidspunktet for testene er ukjent. Tunnelen har naturlig ventilasjon gjennom vertikale sjakter i tunneltaket. Sjaktene er 10×2.5 meter. Avstanden mellom sjaktene er 32.5 meter. Tunnelverrsnittet er ukjent.

Tunnelen gir mulighet for branntester under forhold med naturlig ventilasjon, som i noen bytunneler eller kulverter. Dette begrenser bruken og tunnelen er ikke en fullskala testfasilitet slik denne oppgaven ser det.

## **24. Törnskogtunnelen, Sverige - 2013**

Tunnelen er 2017 meter lang og har to løp med 2 kjørebaneer hver. Løpene har et tverrsnitt på 92 og 102 m<sup>2</sup>. Tunnelen ble ferdigstilt i 2008.

19.06.2013 foretok det svenske Trafikkverket (69) en fullskala funksjonstest i tunnelen av teknisk sikkerhetsutrustning ved brann:

- Bommer for avstenging av tunnelen
- Advarselskilt
- Ventilasjonsvifter
- Nødbelysning
- Radioinnbrytning (avbryte radiosending for å sende ulykkesmeldinger)

Tunnelen er en vanlig veitunnel der det nylig er utført tester. Tunnelen er ikke en tilgjengelig testtunnel slik denne oppgaven ser det.

## **25. Sun Yat-sen University, Wuhan, Kina - 2013**

Universitetet utførte en fullskala branntest i en avstengt undersjøisk veitunnel i 2013 (70). Tunnelen på 3630 meter har 2 løp, med 2 kjørebaneer hver. Løpene er utboret med en diameter på 10 meter. Kjørebaneene er 2 x 3,5 meter og det er montert himling 4,5 meter over kjørebaneene. Rommet over himlingen brukes som ventilasjonssjakt for å evakuere ut eksos. Testen ble utført med brannkilde på 3 MW (HRR) og fokuserte på ventilasjonens evne til å holde kjørebaneen fri for røyk slik at publikum fikk tid til å evakuere til nødutgangene.

I skrivende stund er det uklart om denne testen var et engangstilfelle. Tunnelen er ikke en tilgjengelig fullskala testfasilitet for brannsikkerhet.

## **26. Andre fullskala testtunneler**

En del tunneler er blitt brukt som testtunnel ved engangstilfeller eller for korte perioder. I litteraturen nevnes flere, blant annet Scheetunnel i Tyskland og Higashiyama i Japan. Begge ble brukt for fullskala testing av LIST sensorkabler i regi av produsenten Listec GmbH,



Tyskland. (51) Det foreligger ikke detaljer om testene og tunnelene er ikke nevnt som testtunneler i andre sammenhenger.

### 5.3.2. Aktive testtunneler

#### 1. Runehamartunnelen – fra 2003

Runehamartunnelen refererer til to nedlagte veitunneler. Den første tunnelen på ca. 400 meter, sto ferdig på 40 tallet. Tunnelen ble overflødig i 1965, da den ble erstattet med en lengre tunnel. Tidlig på 80 tallet ble den første tunnelen brukt til fullskala tester på brennbarheten til isolasjonsmaterialer i tunnelkledning (71).

Tunnelen fra 1965 ble stengt for vanlig trafikk etter et ras i 1989, og tatt i bruk som testtunnel i 2003.

Runehamartunnelen (72) består av gneis, en hard bergart. Den er ca. 1650/1550 m lang og har et tverrsnitt fra 47 m<sup>2</sup> til 50 m<sup>2</sup>. Bredden er ca. 9 meter, veibredden 7 meter og høyden ca. 6 meter. Profilen er som i en vanlig veitunnel, noe som gir realistiske testresultater (73).

Tunnelen skråner svakt nedover (1% - 3% i vestlig retning) og har en svak kurve i nordlig retning. Tunnelen er avstengt i begge ender og har nå tilkomst via port i Innfjordtunnelen.

Runehamartunnelen ligger uforstyrret til, langt fra bebyggelsen.

Runehamar er oppgradert med (74):

- Tilstrekkelig elektrisk kraft
- Tilstrekkelig ventilasjon
- Vannforsyning for brannslukking
- Bygninger for besøkende og for testpersonell.

Testene i 2003 var i regi av SINTEF (Norge), SP Fire Research (Sverige) og TNO (Nederland) og ble foretatt i et område i tunnelen der tverrsnittet er 32m<sup>2</sup>. Totalt ble 4 tester utført. Det ble registrert HRR fra 67 til 202 MW og temperaturer mellom 1250 og 1350°C. fra branner i ”ikke-rikofylt” trailerlast – som plast og tre. Det ble også registrert pulsering / oscillering under testene (75)

Det er utført tester etter dette og tunnelen markedsføres som testtunnel på Statens Vegvesens nettsider. I tilgjengelig litteratur om veitunnelsikkerhet refereres det ofte til tester i Runehamartunnelen, som for eksempel ved sikring av lange veitunneler på Taiwan (76).

I følge ledelsen kan Runehamar testtunnel utføre følgende tester:

- Branntekniske forsøk, hvor bl.a. tid-temperaturkurver over brannutvikling og effektmålinger oppstrøms og nedstrøms brannen under påvirkning av ventilasjonen, inngår.
- Slokketekniske forsøk; sprinkler / vanntåke
- Ventilasjonstekniske forsøk.
- Adferd hos folk som er i tunnelen ved brann; i forhold til evakuering og i forhold til slukking.
- Påkjenninger på tunnelkonstruksjonen med eller uten beskyttelse.

Runehamartunnelen er i følge leder Harald Buvik, kommersielt tilgjengelig for offentlige og private aktører. Ledelsen har registrert interesse for å bruke tunnelen til utvikling av vanntåkeanlegg.

Statens vegvesen har fortiden et FoU prosjekt ”tunnelutvikling”, med branntesting av nye materialer og konseptløsninger. Fullskalaforsøk i Runehamartunnelen er da kvalitetssikringen i utviklingsarbeidet.

Runehamartunnelen er en aktiv fullskala testtunnel.

## **2. VSH Hagerbach, Sveits – fra 2000**

Hagerbach ble startet opp i 1970 som et privateid forskningsområde for gruvedrift, tunnelbygging og andre underjordiske konstruksjoner. De første branntestene ble gjort i 2000. VSH Hagerbach har aktivitet på følgende lokasjoner:

- VSH Baustoff-Prüflabor Laboratory, Flüelen. Dette er primært et test laboratorium for materialtekniske tester.
- VSH Labor, Flums. Dette er primært et laboratorium for betongtester.
- VSH Prüftechnik Laboratory, Regensdorf. Laboratorium for enklere betongtester.

VSH Hagerbachs prisliste bekrefter at dette hovedsakelig er en gruppe forsøksanlegg for konstruksjons og materialtekniske tester.

Hagerbach har testtunneler med profil på; 9 m<sup>2</sup>, 25 m<sup>2</sup>, 64 m<sup>2</sup>, 82 m<sup>2</sup> og 225 m<sup>2</sup> tverrsnitt, men det er usikkert om alle disse er tilgjengelige for branntester. Hagerbach presenterer seg som testtunnel på sine nettsider (77), men det er usikkert hvor stor aktiviteten er.

Hagerbach er aktiv som testtunnel.

### **3. IF Sikkerhetssenter Testtunnel – fra 2002**

IF Sikkerhetssenter er en del av IF's skadeforebyggende arbeid. Testtunnelen er en del av anlegget, som også omfatter et branngalleri, utendørs øvingsområde og kurslokale. I følge IF er "tunnelen bygget for å trene tunnelbrukere og innsatspersonell. Tunnelen er 100 meter lang og har et tverrsnitt på 40 m<sup>2</sup> (34).

IF Sikkerhetssenters testtunnel har blitt brukt til testing av sikkerhetsinstallasjoner" (78). I UPTUN-testene i IF Sikkerhetssenter omhandlet høy og lavtrykks vanntåkeanlegg.

På nettsiden poengteres IF's rolle som forsikringsselskap og Sikkerhetssenteret som en del av IF's tilbud til forsikringskundene: ulike kurs og øvelser for privatpersoner, for bedrifter / organisasjoner og for brann og redningspersonell. Ingen av kursene er direkte relatert til brann i veitunnel.

IF Sikkerhetssenter er likevel en aktiv og tilgjengelig testtunnel, samt en aktiv og tilgjengelig øvelsestunnel.

### **4. Carleton University– Almonte / Mississippi Mill, Ontario, Canada. – fra 2005**

Testtunnelen er 10 meter bred, 6 meter høy og 50 meter lang. Den er en del av et større brannteknisk laboratorium som – i følge universitetets hjemmesider – skal være noe av det mest moderne i verden. Testtunnelen er fullt instrumentert, dvs. at nødvendige sensorer og datakabler er permanent montert. Den skal kunne brukes til tester som simulerer brann i veitunneler og flersporet jernbanetunnel/T-banetunnel.

26 ulike institusjoner, organisasjoner og firma involvert i anlegget. Disse er ulike universiteter, myndigheter og leverandørindustri fra Canada, USA og Sveits. Anlegget har totalt kostet 10 millioner canadiske dollar.

Under “International Road Tunnel Fire Detection Research Project” I 2005 var Mississippi Mill/Almonte brukt under del 2 av prosjektet; tester i fullskala testtunnel.

Det er utført en rekke eksperimenter som del av forskning på branndeteksjonssystemer – gjerne i aggressivt(korrosivt) miljø som en finner i vei og undergrunnstunneler.

Fremtidig forskning er planlagt å være innen beredskapsventilasjon, stasjonær brannkontroll (sprinkler, vanntåke, skum) og effektiviteten av sikkerhetsskilt. I neste trinn av forskningsprogrammet vil tunnelen bli brukt i fullskala brannekspirimeter.

Selv om utførte og planlagte tester ser ut til kun å omhandle forhold på høyre side av bow-tie, er dette anlegget trolig den mest avanserte fullskala testfasiliteten som er tilgjengelig på global basis.

NB: Dette anlegget presenteres på nettet også som Mississippi Mills Research Facilities, (79) drevet av NRC (National Research Council, Canada).

Tunnelen er en aktiv fullskala testtunnel.

### **5. Tunnel Safety Testing, San Pedro de Anes (80) – fra 2005**

Det spesielle med dette anlegget er at det bruker en støpt betongkølvert som tunnel. Denne plassert på bakkenivå, noe som gir lett tilgang til 2et hvilket som helst punkt fra utsiden. Det kan være montering av instrumenter, inspeksjonsglass for observasjon av tekniske fenomener eller adferd, dører for evakueringstester eller som ekstra sikkerhet for personer under tester eller øvelser.

Tunnelen er bygget tilsvarende en vanlig tunnel med to kjørefelt. Tverrsnittet er 66 m<sup>2</sup> inklusive rom for ventilasjon og fluktvei over tunnelhimlingen.

I tillegg til selve tunnelen har anlegget testkammer for testing av tunnelutstyr ved høy temperatur, som for eksempel ventilasjonsvifter.

Anlegget er et fullskala tilgjengelig testanlegg for tunnelsikkerhet.

## 6. Kinesiske testtunneler

Det er identifisert tre kinesiske fullskala testtunneler som angivelig er tilgjengelige for tester. Det har ikke lyktes å komme i direkte kontakt med noen av dem og de tas ikke med videre i oppgaven. Det er verd å merke seg at alle er forholdsvis korte, mellom 100 og 150 meter.

Eierne av tunnelene er:

- Tongtai Fire & Security co, ltd.: lengde 100 m., bredde 15 m.
- Folkerepublikken Kinas veidirektorat (Ministry of Communications of PRC): lengde 150 m.
- Chongqing Jiaotong Universitet: Lengde 100 m.

## 5.4 øvelsestunneler

Søket etter øvelsestunneler ble foretatt på samme vis som med testtunnelene. Det viser seg at øvelsestunneler ikke har vært gjenstand for samme vitenskapelige interesse som tilfellet er med testtunneler. Mulige grunner til dette skal ikke utdypes her.

### 5.4.1 Rogaland Brann og Redning IKS

Som en viktig del av søket etter øvelsestunneler ble det avtalt et intervju med representant for Rogaland Brann og Redning IKS. Dette intervjuet kom i stand etter kontakt med brannsjef Henry Ove Berg. Formålet med intervjuet var å få avklart hvilke øvelsesmuligheter som eksisterer i dag og hva Rogaland Brann og Redning IKS uttrykker behov for

Konstituert brigadesjef i brannvesenet, Tormod Medhus, ble intervjuet 13.06.15. Det ble klart at en følger PIARC's retningslinjer om øvelser i alle nye eller renoverte tunneler, og at disse er begrenset med hensyn til varme og røykutvikling. Tross dette er det deler av personalet som ikke har fått øve på brann i tunneler som ligger innenfor brannstasjonens ansvarsområde.

Medhus etterlyser en øvelsestunnel som har likhetstrekk med de nye lange tunnelene som bygges eller er vedtatt bygget; toløpstunneler med to kjørefelt i hvert løp og hyppige tverrforbindelser. Mulighet for å trene på ulike scenarioer ville vært en fordel; brann i trailer(e), brann i busser og håndtering av et større antall personer, gasslekasje, etc.

En slik øvelsestunnel kunne også bli brukt av publikum for demonstrasjon av riktig oppførsel ved nødsituasjoner og til en viss grad trening i brannslukking og evakuering. Medhus etterlyser også forskning på brannslukking og redning i tunneler, spesielt med hensyn på varierende kurvatur (stigning og svinger).

#### **5.4.2 PIARC – Veiledning for tunnelbrannøvelser**

PIARC har utgitt en 50 siders veiledning for tunnelbrannøvelser (81). Denne er hovedsakelig av administrativ art og forteller hvordan gå frem for å arrangere og administrere forskjellige typer tunnelbrannøvelser - fra skrivebordsøvelser til fullskala brannøvelser. Veiledningen er utfyllende med hensyn på administrative tiltak som varslinger og skjemabruk, men er sparsommelig med praktiske anvisninger for selve øvelsene. Den har heller ikke henvisninger til forskning innen feltet.

I veiledningen presenteres noen medlemslands reguleringer og praksis for tunnelbrannøvelser:

**Australia:** Ingen tunneler nevnt. I PIARC's presentasjon fokuseres det på "Incident Management Plan", som er en oversikt over mulige ulykkesscenario og hvordan de skal håndteres. Administrative krav listes opp og det er krav om jevnlig skrivebordsøvelser og praktiske øvelser for å teste at beredskapen er tilfredsstillende. Kravene er lite konkrete.

**Finland:** Før en ny tunnel settes i drift er det pålagt gjennomgang av beredskapen inklusive en fullskala øvelse som er realistisk med brennende kjøretøy, røyk og skadede personer. Videre så skal det i hver tunnel utføres en fullskala øvelse hver fjerde år i henhold til EU's tunnelsikkerhetsdirektiv (82). Minst et løp skal da være stengt for trafikk. Krever også øvelse i mindre skala hvert år eller hvert annet år. Dette kan være administrative øvelser som ikke involverer stenging av tunneler. Oppgir ingen navngitt øvelsestunnel.

**Frankrike:** Kravet for tunneler på 300 meter eller lengre, er en øvelse i året. Kravene er lite spesifikke. I praksis utføres det flest øvelser i de lange alpetunnelene. Øvelsene spenner fra skrivebordsøvelser til fullskala, realistiske øvelser. Lister ingen navngitt øvelsestunnel.

**Nederland:** Følger EU direktivet med fullskala øvelse i hver tunnel eller tunnelområde hver 4 år. Alle øvelsene er i lokale tunneler som blir avstengt for anledningen. PIARC's veiledning oppgir detaljer for treningen i 16 nederlandske veitunneler. Nederland har tydeligvis ingen dedikert øvelsestunnel tilgjengelig.

**Norge:** I følge PIRAC's opplisting foretas det årlig fra 50 til 100 tunnelbrannøvelser av forskjellig type. Hvert brannkops skal ha øvelse minst hvert annet år. Et er ikke krav om øvelse i hver enkelt tunnel da hvert brannkorps vanligvis har ansvar for 10 til 15 ganske like tunneler. De fleste fullskalaøvelsene viser personalet hvordan en brann i en eller to biler utvikler seg, og hvordan ventilasjonen håndterer røyken. Det øves ikke på å slukke brannen, men på å kontrollere varmen slik at tunneltaket ikke blir skadet. Fullskala øvelser er sjeldne: *Only seldom a full scale "carry and comfort" exercise is carried out.* Det er verd å merke seg at PIRAC ikke lister Runehamartunnelen eller IF's Sikkerhetssenter Hobøl som arenaer for tunnelbrannøvelser.

**Slovenia:** Har egne vedtekter (rule book) for brannøvelser i tunneler som er mer enn 500 meter lange. Denne samsvarer med EU direktivet av 2004/54/EC om tunnelsikkerhet. Slovenia har ingen dedikert øvelsestunnel.

**Sør-Korea:** Eget regelverk for sikkerheten i landets 281 veitunneler. Hovedkravet er at hvert brannkorpsdistrikt skal ha årlige øvelser. Øvelsene er varianter over fire tema; varmeutvikling (lav, middels, høy og svært høy), brannsted (nær tunnelinngang, midt i tunnelen, nær utløpet av tunnelen), branntype (vanlig, gass) og tilgjengelighet (mobiliseringstid fra alarm til ankomst årstedet). Sør-Korea har en øvelsestunnel for tunnelbranner ved Sumjin River. Dette er en nedskalert øvelsestunnel med fokus på evakuering fra brannområdet og bruk av brannhydranter. Det har ikke lyktes å finne informasjon om denne tunnelen.

**Storbritannia:** Som i Australia så ligger fokus på identifisering av mulige ulykkesscenario. (jmf. Risikoanalyse i punkt 3.2. i oppgaven) Strategier for å møte disse skal testes ut og godkjennes, før tunnelen åpnes for publikum. Det samme gjelder hvis en tunnel er renovert og skal settes i drift igjen.

PIARC nevner ingen øvelsestunneler, men presenterer utførlig direktiv og anbefalinger for brann og redningsøvelser i egne, lokale tunneler.

#### **5.4.4 Funn av øvelsestunneler**

##### **1. Nasjonalt Treningscenter for Brannvern, Nantou, Taiwan.**

Senteret har blant annet en øvelsestunnel for realistiske brannøvelser for brann og redningspersonell. (83) Tunnelbrann er her en av i alt 13 brann og katastrofekategorier, som igjen er oppdelt i 66 forskjellige treningsscenarioer. 4 av disse er relevante til tunneler. I følge nettsiden har treningssenteret mulighet til å lage realistiske scenarioer med slukking av branner og redning av personer. Det har ikke vært mulig å få utdype dette med grad av bruk (hvor mange som gjennomgår tunnelbranntrening årlig), treningsprogram og lignende. Nettsidene er, med få unntak, kun på kinesisk og senteret har ikke svart på henvendelser. Den listes under tilgjengelige tunneler, men tas ikke med videre til drøfting grunnet mangel på detaljer om tunnelen.

## **2. Runehamartunnelen**

Runehamartunnelen brukes aktivt i opplæring av Molde Brannvesen. I følge en reportasje i NRK er den også blitt brukt av andre brannkorps i Norge. (84) Det arrangeres kurs 2 ganger i året i regi av eier Statens Vegvesen. Selve øvelsen er trolig som beskrevet i PIARC's opplisting under punkt 5.4.2. Øvelsen fokuserer på opplevelsen av en stor tunnelbrann og inkluderer ikke selve brannslukkingen.

Runehamar ligger avsidesliggende til i forhold til de fleste brannkorps. Regelmessig trening blir da vanskelig. Tunnelen har også begrenset med utganger hvis noe skulle gå galt under en øvelse.

Runehamartunnelen er en aktiv, fullskala øvelsestunnel.

## **3. VSH Hagerbach, Sveits**

En del av VSH Hagerbach komplekset er dedikert til trening av brann og redningspersonell. International Centre for Safety in Tunnel har en 400 meter lang tunnel som er utstyrt for brannøvelser. Hagerbachs nettsider nevner spesielt treningen til nederlandske brannkorps. I tillegg har sveitsiske brannkorps brukt fasilitetene regelmessig.

I følge en rapport fra treningen, er Hagerbach velegnet på grunn av at treningen ligger så tett opp til en realistisk tunnelbrann som det er sikkerhetsmessig mulig. (85)

VSH Hagerbach er en aktiv, fullskala øvelsestunnel.



#### **4. IF Sikkerhetssenter**

Som nevnt tidligere så er ”tunnelen bygget for å trene tunnelbrukere og innsatspersonell” og det arrangeres jevnlig en rekke kurs. Likevel er det en svakhet at ingen av kursene er direkte relatert til brann i veitunnel. (86) På sin Facebookside viser IF Sikkerhetssenter til et spesiallaget kurs i for trafikklærere som ble kjørt i år. Kurset er til nå et engangstilfelle. Det vises ikke til at anlegget er i utstrakt bruk for å trene brannmannskap. Grunnen til dette er ukjent, men kan bunne i at anlegget ligger i relativt flate Østfold, mens de lange veitunnelene i hovedsak ligger på Vestlandet.

IF Sikkerhetssenter er en aktiv og tilgjengelig øvelsestunnel med potensial til flere øvelser.

#### **5. Carleton University– Almonte / Mississippi Mill, Ontario, Canada.**

Som nevnt så har anlegget fasiliteter til å simulere brann i veitunneler og flersporet jernbanetunnel/T-banetunnel. Anlegget brukes som ”training facility” av nærliggende brannvesen. ”Training facility” er en generell betegnelse og da det er ikke funnet presentasjon av kursvirksomhet som er rettet mot brann i veitunneler, er det usikkert om den har noe dedikert tilbud for tunnebrann i det hele tatt.

Tunnelen har potensial til å bli en aktiv fullskala øvelsestunnel.

#### **6. Tunnel Safety Testing, San Pedro de Anes**

Anlegget har et gjennomtestet kursprogram for opplæring og trening av brannpersonell i håndtering av branner og krisesituasjoner i veitunneler. De har kurs som spenner fra 3 til 5 dager. (87) I kursene er det er lagt vekt på realistiske øvelser i øvelsestunnelen i tillegg til undervisning i de tilhørende kurslokalene.

Anlegget er et fullskala tilgjengelig testanlegg for tunnelsikkerhet.

#### **7. IFA – International Fire Academy - Sveits**

IFA startet med tunnelbranntrening i 2009. Det er dedikert til brannslukking i tunneler og sånt sett unik. IFA har 2 lokasjoner. For jernbane og veitunneler Balsthal og kun veitunneler i

Lungern. Begge er fullskala anlegg med kursfasiliteter. I tillegg til å dekke Sveits, så tilbyr IFA trening til brannvesen fra hele Europa. (88)

IFA er et fullskala tilgjengelig testanlegg for tunnelsikkerhet.

### **5.5 Oppsummering test- og øvelsestunneler:**

Det har vist seg så godt som umulig å få detaljert informasjon om hvilke typer tester de forskjellige testtunnelene har kapasitet til å utføre, eller hva de har planer om å gjøre i nær fremtid. Men det er likevel klart at testene kan deles inn i:

- 1) forskning på fysiske forhold ved brann i en veitunnel
- 2) forskning på endringer ved fysiske forhold ved brann i en veitunnel ved menneskestyrte tiltak som ventilasjon eller FFFS.
- 3) Produktutprøvinger, gjerne betalt av produsenten av produktet.
- 4) Forsking på evakuering.

Virksomheten til alle testtunneler plassert til høyre i bow-tie modellen. Dette ser ut til å være regel uten unntak.

Øvelsestunnelene må nok oppleves i bruk for å kunne gi en mer detaljert beskrivelse av begrensinger og muligheter. Felles er at de alle søker å lage realistiske treningsscenario.

## 6 Drøfting

De funn som er presentert i kapittel 5 vurderes i lys av teorien fra kapittel 3.

### 6.1 Innledning:

Brannsjef Henry Ove Berg er bastant i sin uttalelse om at ”Det vil gå galt i RogFast”. Han slår fast at barrierene vil svikte en eller flere ganger og en storulykke er da blir et faktum. Hans bekymring ligger på håndteringen av ulykken.

For å kunne svare på forskningsspørsmålet i punkt 1.4, er drøftingen delt opp i separate avsnitt for testtunneler og for øvelsestunneler. Test og øvelsestunneler har tunnelsikkerhet som felles mål og dermed mange likhetstrekk. Men det viser seg at de brukes totalt forskjellige og dermed må vurderingen av muligheter og begrensninger tas separat.

### 6.2. Testtunneler – et historisk sammendrag

Det er utført et stort antall branntester. En god del er gjort nøyaktig rede for, mens andre er mer uklare i antall forsøk, hva forsøke gikk ut på og hva resultatet ble. Det er grunn til å tro at det til nå, på global basis, er foretatt ca. 400 - 500 fullskala vitenskapelige branntester.

De første tunneltestene beskrev de fysiske forholdene ved en tunnelbrann. Det ble avdekket forhold ved parameter som energiomsetning, røykens gang i tunnelen, giftighet i branngassene og spredningen av disse. Utviklingen gikk fra det enkle tester der hovedtrekkene ved tunnelbranner ble beskrevet, til detaljerte og nøyaktige branntester og tilsvarende nøyaktig beskrivelse av brannfenomener. Dette fremgår spesielt i Ingason, Li og Lönnemarks presentasjon av branntester i boka ”Tunnel Fire Dynamics” – gjengitt i punkt 5.1.1 i oppgaven.

Etter at de første branntestene hadde beskrevet fysiske fenomen ved branner i tunnelen, gikk en over i neste fase der en søkte å teste ut aktive og passive barrierer. Denne overgangen skjedde på 90 tallet. De viktigste testene var Memorial tunnel testene i USA der aktive barrierer som ventilasjon og dermed røykstyring, ble uttestet. Passive barrierer ble uttestet i blant annet Runehamartunnelen (203) i form av uttesting av forskjellige typer tunnelvegger og tunneltak.

Uttesting av ulike typer FFFS skøt fart på 2000 tallet. I tillegg til å måle effekten dette hadde på brannen, ble det også gjort forsøk der overlevelse og evakueringsmuligheter sto i sentrum.

Tendensen i forsøkene utover 2000 og 2010 tallet er at de dreier seg om test av tunnelsikkerhetsprodukter, overlevelse / evakuering, eller en kombinasjon av disse. Grunnforskningen på fysiske forhold ved brann i tunnel ser ut til å være et tilbakelagt stadium, med unntak av forskning på brann i bratte tunneler.

### 6.2.1 Testtunneler likheter og ulikheter.

	Runehamar	Hagerbach	IF Sikkerhets.	Carleton	San Pedro
Realistisk lengde	Ja	Ja	Nei	Nei	Ja
Tunneltype	Tunnel	Tunnel	Bygning	Bygning	Kulvert
Tunnelprofil	Hestesko	Alle	Rektangulær	Rektangulær	Hestesko
Brannforsøk med tid/tempkurver	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Filming av test	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Test av brannutvikling	Ja	Ja	Ukjent	Ja	Ja
Påkjenning på tunnelkonstruksjon med beskyttelse	Ja	Ja	Trolig nei	Kan ettermonteres	Kan ettermonteres
Påkjenning på tunnelkonstruksjon uten beskyttelse	Ja	Ja	Nei	Nei	Kan simuleres
Redning og evakuering i røykfylte tunnel - enkeltløp	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Redning og evakuering i røykfylte tunnel - dobbeltløp	Delvis	Ja	Nei	Nei	Delvis
Materialprøving i fullskalaforsøk, vanlig tunnel –høy temp.	Ja	Ja	Ukjent	Ukjent	Ja
FFFS forsøk	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Slukketeknikker med /uten FFFS	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

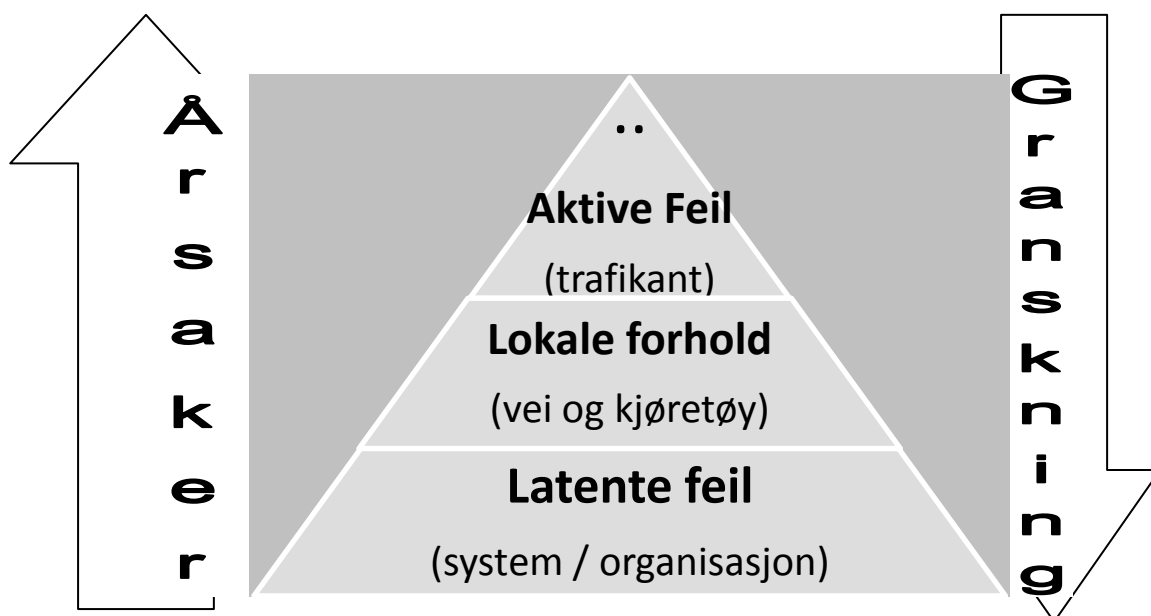
Det er verd å merke seg at det er lite forskjell på de forskjellige testtunnelene / testfasilitetene. Vilårene for ”testingen” kommer fra gjennomlesning av litteraturen om emnet og favner i grove trekk ulikheter og forskjeller. Det er verd å merke seg at tunnelene stiller likt på 5 av 13 kriterier. Hovedgrunnen er at Runehamar og Hagerbach er bygget i fjell, mens IF Sikkerhetssenter, Carlton og San Pedro de Anes er bygg eller betongkulvert.

### 6.2.2 Testtunneler og brann i bratte tunneler

Det er ikke funnet forsøk der stigningen har vært større enn 4%. Norske tunneler er brattere – opp mot 10%. For å forske på den ”skorsteinseffekten” som da trolig oppstår, kreves det en fullskala testtunnel med slik stigning. Ingen av de tilgjengelige testtunnelene kan tilby dette. Det finnes for øvrig et teoretisk grunnlag for å beregne kritisk ventilasjonshastighet i tunneler med opptil 16% stigning, publisert av Atkinson og Wu i 1996 (89). Atkinson og Wu utførte nedskalerte branntester for å verifisere sine funn; en nedskalert tunnel med bredde på 27,4 cm, høyde på 24,4 cm, 7 graders innskrående tunnelvegger og avrunding i topp.

### 6.2.3 Testtunneler og gransking av tunnelulykker

Vegvesenet bruker James Reasons beskrivelse av stadier i en ”organisasjonsulykke” (organizational accident) (16) (5) som ulykkesmodell. Ulykker beskrives som en samhandling mellom trafikant (aktive feil), forhold ved vei og kjøretøy (lokale forhold) og System/organisasjon (latente feil). Begreperne ”trafikant, vei og kjøretøy” forstås intuitivt. Med organisatoriske forhold menes forhold som kunnskapsnivået, handlekraften / handlingsrommet til organisasjonen som har ansvaret for en veitunnel. Er tunnelen bygget så sikker som mulig? Blir feil, for eksempel i signalanlegg, reparert umiddelbart? Blir tunnelen oppgradert ved første anledning når vesentlige forbedringer er tilgjengelige? Forholdet, som illustreres nedenfor, er at gransking begynner med individet som er involvert i ulykken og ofte ender med organisatoriske forhold, mens årsaken tar den motsatte vei.

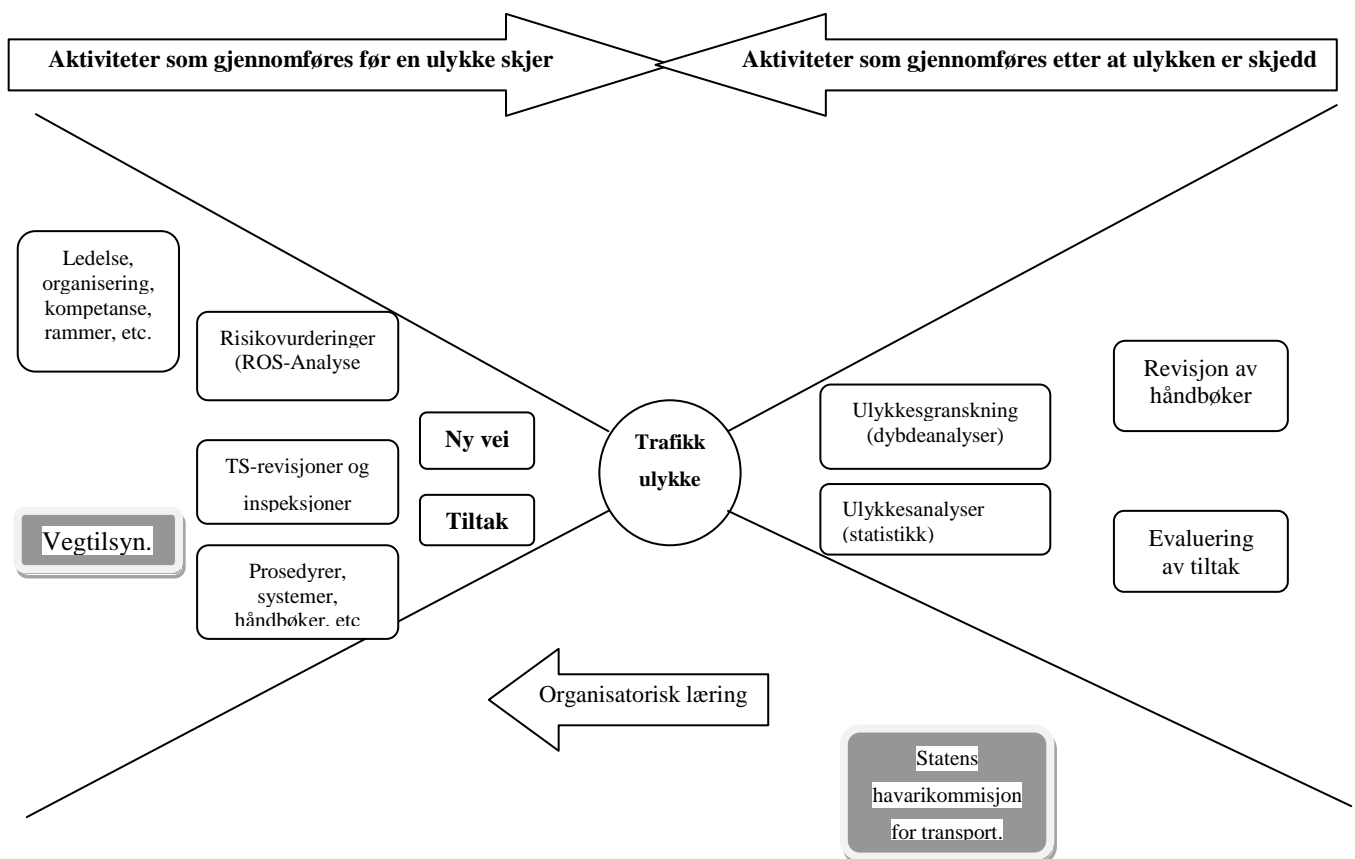


*Illustrasjon fra Statens Vegvesen, basert på James Reasons illustrasjon "Stages in the development and investigation of an organizational accident" (16)*

Ansvar for trafikkulykker plasseres ofte på enkeltindividet alene. (5), i motsetning til flyulykker og jernbaneulykker der skadeårsak oftere betegnes som systemsvikt eller organisasjonssvikt. Statens Vegvesen har tidligere uttalt at ”95% av dødsulykkene kan forklares med trafikkfeil” (5). Innføringen av nullvisjonstanken i Nasjonal Transportplan 2002 – 2011 (90) endret ulykkesforståelsen og plasserte ansvaret i større grad på systemutformerene.

Reason peker på at årsaken til ulykker har flere nivåer og at årsaken er å finne blant disse. Satt inn i Bow-Tie modellen (se punkt 3.1.1) så er dette plassert på venstre side av modellen som forhold ved årsaken til ulykken. Hendelsesforløp etter ulykken er et faktum, og barrierer for å minske eller hindre skade, er plassert på høyre siden av Bow-Tie.

Statens Vegvesen søker å redusere antall trafikkulykker og har tatt i bruk både reaktive og proaktive virkemidler for å nå målet. Bow- tie modellen viser hvordan de plasserer virkemidlene i forhold til en (tenkt) trafikkulykke (5):



Illustrasjon fra Statens Vegvesen.

Testtunnelene kommer stort sett til kort i forhold til hvordan ulykker sees på som organisasjonsulykker og som bidragsyter i Statens Vegvesens modell for å redusere antall trafikkulykker (i tunneler). Grunnen til dette er det ensidige fokuset testene har hatt på skadereduserende tiltak på høyre side av bow-tie.

Sett i sammenheng med "Man made disasters" teorien, så kommer også testtunnelene til kort ved at de kun forholder seg til høyre side av bow-tie. Dette var tilfellet ved testene etter katastrofebrannene på slutten av 90 tallet. Disse var nødvendige for å forstå hva som forårsaket katastrofen – etter at brannen var et faktum. Sett i lys av Turners modell så forsket man på to av i alt fem katastrofeelementer.

---

### **6.3 Mulige nye parametre for testtunneler:**

Testtunnelene skal gi ny viten om relevante forhold. Det betyr at forskjellige virkemidler og tiltak skal kunne manipuleres og testes under så realistiske forhold som mulig. Testene skal bekrefte eller avkrefte hypotese, og være basis for ny viten.

Som en del av analysemodellen vil det være naturlig å skille mellom "Last" og "Respons".

Med "Last" menes fenomener med den trafikken som tunnelen utsettes for. Som nevnt er kjøresimulatorer best egnet til slike tester, men fullskala testtunneler kan være hensiktsmessige for forskning på for eksempel evakueringstiltak.

Med "respons" menes skadeforhindrende og skadereduserende tiltak, og effekten av disse. Brann og redningstjenesten faller inn under skadereduserende tiltak. Forskning vil omfatte operasjonell teknikk og treningsmetoder.

Det er ikke intensjon i denne oppgave å lage en komplett liste over alle tenkelige parameter som påvirker sikkerheten i en veitunnel. Det er heller ikke mulig fordi det stadig kommer til ny teknologi og nye problemstillinger. De følgende faktorene er frembrakt ved gjennomlesning av litteratur om tunnelsikkerhet som og gir innspill om hva en testtunnel skal teste og hvilke scenario som er aktuelle for brann og redningsøvelser.

#### **6.3.1 Brannscenarioer som kan testes i en fullskala testtunnel:**

Brannens beskaffenhet:

- Brann i en eller flere personbiler

- Brann i el-bil
- Brann i trailere / busser
- Brann i trailer med brennbar last – fra trevirke til tank med bensin.
- Utvikling av forskjellige branner – spredning til andre kjøretøy

Fysiske element ved veitunneler:

- Brann i forhold til tunnelens areal i tverrsnitt
- Brann ved forskjellige tunnelprofiler (hestesko / kvadratisk)
- Brann i bratte tunneler - skorsteinseffekt (norske veitunneler har stigning opp til 8 %)
- Brann i forhold til tunnelens lengde.
- Brann og forskjellige tunnelveggenes varmereleksjon
- Brann i forhold til tunnelluftens temperatur og fuktighet.

Ventilasjon ved brann:

- Ventilasjonens påvirkning på brannutvikling
- Røysjikt og sikt på bakkenivå.
- Styling av røyk ved hjelp av ventilasjon
- Ventilasjon versus skorsteinseffekt ved brann
- Ventilasjon og lokale barometerendringer ved tunnelåpningene. Effekt av vind.

Brandetektering (oppdaging og lokalisering av branntilløp):

- Varmefølere (infrarød detektering)
- Optisk detektering; automatisk / manuell
- Ionebaserte sensorer
- Manuelle brannmeldere i tunnelen /automatisk brannmelding ved fjerning av brannslukningsapparat.
- Annen teknologi.

Brannslukking/brannbegrensning:

- Fastmontert brannslukningsanlegg og variabler ved disse:
  - Sprinkleranlegg (vann)
  - Vanntåke
  - Skumanlegg
  - inertgass



- Håndholdte brannslukningsapparater, veggmonterte i tunnelen, til bruk av publikum:
  - Pulver
  - Vann
  - Skum:

Inventar i tunnelen:

- Brannsikring av tunnelhimling og vegger.
- Tunnelveggens refleksjon av strålingsvarme og nedkjøling av branngasser.
- Veibanens brannbeskaffenhet,
- Brannsikkerheten til tilfluktsrom.
- Brannsikkerheten til branndører
- Brannbeskaffenheten til annet utstyr i tunnelen.

Alle disse scenarioer vil det være mulig å teste i de tilgjengelige testtunnelene.

### **6.3.2 Uttesting av forhold tunnel versus publikum:**

Med det menes ”brukergrensesnitt” eller ”man - machine relationship” og som beskriver hvordan tunnelen ”kommuniserer” med publikum og hvordan publikums adferd påvirkes av dette.

Publikums kunnskap om sikker kjøring i tunnel;

- Sikker fart.
- Sikker avstand til andre kjøretøy.
- Sikker skifting av fil
- Oppmerksomhet mot skilting, innstilling til eventuell tunnelradiofrekvens, holdning til instruksjoner fra tunnelledelsen.

Publikums kunnskap om rett oppførsel når publikum som ikke er involvert i ulykke, eller ser ulykken, blir varslet om ulykke med skilt, høytalere eller radio:

- Prosentandel som oppfatter budskapet – fordelt på hvordan ulykken varsles.
- Prosentandel som reagerer i tråd med budskapet (f. eks. reduserer farten, stopper opp eller snur)- fordelt på hvordan ulykken varsles.

Publikums reaksjon på ulykker:

- Prosentandel som reagerer i henhold til instruks (i forhold tid % andel som ignorerer instruks eller reagerer irrasjonelt på annet vis) ut ifra hvordan instruksene gis (radio, skilt, høytalere..)
- Prosentandel som rapporterer ulykker via veggmonterte telefoner
- Bevegelseshastighet til fots under evakuering.
- Effekten av veggmonterte brannslukningsapparater; blir de brukt – eventuell effekt ved bruk.
- Effekten av fastmontert brannslukking (sprinkel/tåke/skum) på publikums evne til evakuering.

Testtunnelene vil ha store problemer med å kunne teste disse scenarioene. Det har vært foretatt enkelte evakueringstester med fokus på bevegelseshastighet til fots og tester av muligheten til å overleve nær brannen (varme, sikt, luft til å puste i). Generelt sett så er har tilgjengelige tunneler svært begrenset testevne for forhold som involverer publikum. Nevnte scenario ligger stort sett på venstre side av bow-tie og skal forhindre at en ulykkeshendelse oppstår. Tradisjonelle testtunneler – slik de er utformet i dag, har store svakheter her.

#### **6.4 Øvelsestunneler – drøfting av funn.**

I søk etter øvelsestunneler har kriteriet vært fullskala fasiliteter med realistiske og sikre treningsforhold. Oppgaven skal ikke bedømme graden av øvelsestunnelenes realisme eller sikkerhetsnivå, men beskrive de funn som er gjort.

Det ble globalt funnet syv øvelsestunneler. Dette er et overraskende lavt tall med tanke på det økende antallet tunneler på verdensbasis. Grunnen til det lave antallet er ikke avklart og krever videre forskning, men mulige grunner kan være at det er kostbart å drive øvelsestunneler, eller at brannvernmiljøet er konservativt og det tar tid for at nye ideer etablerer seg som fast rutine.

De øvelsestunnelene som finnes har besøkende som til dels har reist langt. IFA, som kanskje er det mest utviklede senteret med to tilgjengelige tunneler, har kunder fra hele Europa. TST San Pedro de Anes tilbyr seminar med opptil 5 dagers lengde. Et grundig seminar der betyr høyere reisekostnader i forhold til tilsvarende seminar ved Runehamar eller IF Sikkerhetssenter. Kostnadene ellers er trolig ganske like.

Men er det godt nok for å trene opp alle norske brannkorps som har veitunneler innenfor sitt ansvarsområde? Og er det godt nok med tanke på jevnlig øving av en ferdighet som skal være inndrillet og perfektjonert til enhver tid? Denne oppgaven tar ikke mål på å svare på disse spørsmålene, men overlater det til videre forskning.

Det er nevnt øvelseslokaliteter for brannberedskap i tunneler, men det er til nå ikke funnet forskningsresultater fra storskala redningstester. Disse ville kunne ha fortalt noe om det er effektivt å trene på brannredning i tunnel, om hvilket utstyr og hvilke redningsmetoder som er tilrådelige og hvilke som bør unngås. Hvis det forelå slike forskningsdata ville det øke kvaliteten på både eksisterende og nye treningstunneler. Dette punktet kommer i skjæringspunktet mellom test- og øvelsestunneler. Men trolig er det sikrest å foreta en storskala redningstest i en øvelsestunnel der sikkerheten er ivaretatt.

### **6.5 Andre forhold ved test- og øvelsestunneler.**

Som avslutning på drøftingen er det verd å nevne at seniorforsker Gunnar D. Jenssen ved SINTEF anslår, etter forsøk utført ved SINTEFs kjøresimulator i Trondheim, at en skremmende høy andel av befolkningen føler ubehag eller sterkt ubehag ved å kjøre gjennom veitunneler. (91) Dette ubehaget arter seg forskjellig for den som er rammet. Det kan oppleves som angst og at tunnelveggen og veibanen synes å skrumpe inn. De som er hardest rammet er helt utmattet når de når tunnelåpningen.

Det er rimelig å anta at den visuelle utformingen av tunnelen og styring av tunnelbrukere har en innvirkning på oppmerksomheten til trafikkantene og dermed innvirkning på sikkerheten, men forskning på slik adferd lar seg vanskelig gjøre i en ”fast” testtunnel. Jenssens forskning, samt annen forskning på emnet (92), baserer seg i stor grad på kjøresimulatorforsøk da faste testtunneler ikke er egnet til formålet.

Brann og redningsetaten har mulighet til å bruke øvelsestunnelen som et redskap for å formidle til publikum at de har beredskap og utstyr i orden og er trent til å håndtere de verst tenkelige situasjoner. Vil dette kunne bidra til å dempe tunnelangsten? Her er det også behov for videre forskning.

## **7 Konklusjon**

### **Testtunneler:**

Studiet har vist at forskningsresultatene kretser om branntester i nedlagte tunneler eller i spesialbygde testtunneler. Det har vært en utvikling i tunneltestene, fra det enkle til det kompliserte. Resultatene er overførbare betinget at testtunnelen og den reelle tunnelen har fysiske likhetstrekk. Det er ikke nødvendig å gjenta alle forsøk.

Tilgjengelige testtunnelene stiller i hovedtrekk likt med muligheter og begrensninger jmf punkt 6.2.1.

Det viktigste funnet er at tilgjengelige testtunneler opererer primært på høyre side av bow tie – at de omhandler fenomener og tiltak etter at ulykken er et faktum. Det er utført få tester som er av preventiv karakter. Det etterlyses forskning for å finne tiltak for å forhindre at ulykker oppstår.

De fleste tunnelbranntestene er foretatt som en del av et større, gjerne internasjonalt forskningsprosjekt. Resultatene er overførbare til andre tunneler. Lokal repetisjon av allerede foretatte tester har derfor lite for seg.

Testtunnelenes tilknytning til nærliggende forskningsmiljøer ser ikke ut til å være en kritisk faktor. Mange av de store forskningsprosjektene har vært foretatt i utrangerte tunneler langt fra folk eller i operative tunneler som har vært avstengt for anledningen. Det tyder på at testene kan foretas hvor som helst og at forskningsmiljøer ikke er avhengige av å ha egen testtunnel.

Branntester i bratte tunneler (testing av skorsteinseffekt) kan ikke foretas i eksisterende tilgjengelige testtunneler.

### **Øvelsestunneler:**

Det er funnet i alt 7 øvelsestunneler. En øvelsestunnel er naturlig plassert på høyre side av bow-tie, ved at en ulykke er utgangspunktet for de ferdigheter som ønskes innøvd. En tunnelbrann er en ekstrem situasjon som det krever intensiv opplæring for å mestre – og

jevnlig repetisjon for å vedlikeholde. Øvelsestunnelens tilgjengelighet blir da like viktig som realisme og sikkerhet.

Brannetaten har etterlyst realistiske treningsmuligheter for slukking og redning i dobbeltløpstunnel. Begrunnelsen for dette er at teknikken og mulighetene skiller seg radikalt fra tilsvarende operasjoner i enkeltløpstunnel. Det er ikke funnet forskning på temaet.

Det er generelt ikke funnet mye forskning som kan relateres til øvelsestunneler, kun noen forsøk på sluknings og evakueringsstrategier. Her er det behov for videre forskning for å finne best mulig metode for sikker og effektiv redning og brannslukning.

## 8 Referanser:

### Bibliografi

1. **Wikipedia.** Tunnel. [Internett] Wikipedia, 14 08 2015. [Sisert: 16 08 2015.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Tunnel>.
2. **Torger Reve, Amir Sasson, Marius Nordkvelde.** *Ferjefri E39 – næringsøkonomiske gevinster ved fjordkryssing*. Oslo : Handelshøyskolen BI, 2014. ISSN: 0803-2610.
3. **Nikolaisen, Per-Ivar.** 20-prosent-av-hovedveiene-mellom-oslo-og-bergen-vil-gå-i-tunnel. [Internett] Teknisk Ukeblad, 23 01 2015. [Sisert: 16 05 2015.] <http://www.tu.no/samferdsel/2015/01/23/20-prosent-av-hovedveiene-mellom-oslo-og-bergen-vil-ga-i-tunnel>.
4. **Wikipedia.** Liste over verdens lengste veitunneler. [Internett] Wikipedia, 12 01 2015. [Sisert: 16 08 2015.] [https://no.wikipedia.org/wiki/Liste\\_over\\_verdens\\_lengste\\_veitunneler](https://no.wikipedia.org/wiki/Liste_over_verdens_lengste_veitunneler).
5. **Statens Vegvesen.** *Sikkerhetsstyring i Vegtrafikken - Utkast*. s.l. : Statens Vegvesen, 2013.
6. **D'Alessio, Christian, Matarese, Francesca og Neri, Ilaria.** Safe T Work Package, First Deliverable to EU - part 1. [Internett] TNO Nederlandsk Organisasjon for Anvendt Vitenskap, 05 2005. [Sisert: 14 08 2015.] [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/pdf/projects/safet\\_d4\\_5\\_i.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/pdf/projects/safet_d4_5_i.pdf).

7. **Shimizu Corporation.** Shimizu Corporation Research Facilities: Fire Testing Block. [Internett] Shimizu Corporation, 2015. [Sitert: 24 06 2015.] [http://www.shimz.co.jp/english/theme/sit/facilities\\_11.html](http://www.shimz.co.jp/english/theme/sit/facilities_11.html).
8. **Piarc.** Recommendations Regarding Road Tunnel Drivers Training and Information. [Internett] Piarc, 2011. <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/11386,WEB-2011R04.pdf>.
9. **Hovden, Jan, Sklet, Snorre og Tinnmansvik, Ranveig Kviseth.** I etterpåklokskapens klarsyn: Gransking og Læring av ulykker. *Fra flis i fingeren til ragnarokk*. Trondheim : Tapir Ak. Forlag, 2004.
10. **Dekker, Sidney.** *The Field Guide to Understand "Human Error"*. Aldershot : Ashgate Publishing Ltd, 2006. ISBN-13: 978-0754648260.
11. **Turner, Barry A. og Pigdeon, Nick F.** *Man-Made Disasters*. s.l. : Butterworth - Heinemann, 1997.
12. **Rasmussen, Jens.** Rasmussen's (1997) Risk Management Framework. [Internett] The UPLOADS Project, 2015. [Sitert: 30 08 2015.] <http://uploadsproject.org/rasmussens-1997-risk-management-framework/>.
13. **Neogy, P, et al.** Hazard and Barrier Analysis Guidance Document. *EH-33*. [Internett] USA's Department of Energy, Office of Operating Experience Analysis, 11 1996. [Sitert: 24 07 2015.] <https://www.wecc.biz/Administrative/2014%20HPWG%20Workshop%202%20Hazard%20and%20Barrier%20Analysis%20Guide.pdf>.
14. **Day, Steve.** The Hazards of Trying to Improve the Safety of Tunnels. [Internett] Pöyry Infra Ltd, Zurich, Switzerland, 4thInternational Conference 'Tunnel Safety and Ventilation' 2008, Graz, 2008. [Sitert: 20 09 2015.] [http://lampx.tugraz.at/~tunnel2014/history/Tunnel\\_2008\\_CD/Papers\\_Tunnel\\_2008/34\\_Day.pdf](http://lampx.tugraz.at/~tunnel2014/history/Tunnel_2008_CD/Papers_Tunnel_2008/34_Day.pdf).
15. **Kjellén, Urban.** *Prevention of Accidents Through Experience Feedback*. Boca Raton : CRC Press - Taylor & Francis Group, 2000. ISBN-13: 978-0748409259.

16. **Reason, Jamers.** Managing the Risks of Organizational Accidents . [bokforf.] James Reason. *Managing the Risks of Organizational Accidents* . Surrey : Ashgate Publishing Ltd, 1997.
17. **Hollnagel, Erik.** ACCIDENTS AND BARRIERS . [Internett] 1999. [Sisert: 20 08 2015.] <http://www.hhs.iup.edu/CJANICAK/SAFE541CJ/Barrier%20Analysis%20Paper.pdf>.
18. **Aven, Terje, Røed, Willy og Wienche, Hermann S.** *Risikoanalyse*. Oslo : Universitetsforlaget, 2008. ISBN 978-82-15-01185-1.
19. **Wikipedia.** Kvalitativ metode. [Internett] Wikipedia, 12 08 2015. [Sisert: 25 08 2015.] [https://no.wikipedia.org/wiki/Kvalitativ\\_metode](https://no.wikipedia.org/wiki/Kvalitativ_metode).
20. —. Kvantitativ metode. [Internett] Wikipedia, 12 08 2015. [Sisert: 25 08 2015.] [https://no.wikipedia.org/wiki/Kvantitativ\\_metode](https://no.wikipedia.org/wiki/Kvantitativ_metode).
21. **Krumsvik, Rune Johan.** *Forskningsdesign og Kvalitativ metode - ei innføring*. Bergen : Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS, 2014. ISBN: 978-82-450-1460-0.
22. **Dalen, Monica.** VALIDITET OG RELIABILITET I KVALITATIV FORSKNING. *Forelesningspresentasjon*. [Internett] Universitetet i Oslo. [Sisert: 26 08 2015.] [https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAAahUKEwj2k\\_GIyMvHAhUjvXIKHSTJAv0&url=http%3A%2F%2Fwww.uio.no%2Fstudier%2Femner%2Fuv%2Fisp%2FSPED4010%2Fh08%2Fundervisningsmateriale%2FValiditetReliabilitetKvalitativForskning.ppt&e](https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CCMQFjAAahUKEwj2k_GIyMvHAhUjvXIKHSTJAv0&url=http%3A%2F%2Fwww.uio.no%2Fstudier%2Femner%2Fuv%2Fisp%2FSPED4010%2Fh08%2Fundervisningsmateriale%2FValiditetReliabilitetKvalitativForskning.ppt&e).
23. **Wikipedia.** Multimethodology. [Internett] Wikipedia, 21 08 2015. [Sisert: 25 08 2015.] <https://en.wikipedia.org/wiki/Multimethodology>.
24. **Lönnemark, Anders.** *On the Characteristics of Fire in Tunnels - Doctoral Thesis*. Lund, Sverige : Lund University, 2005. ISBN 91-628-6637-0.
25. **Ingason, Haukur, Li, Ying Zhen and Lønnermark, Anders.** *Tunnel Fire Dynamics*. New York : Springer, 2015. ISBN 978-1-4939-2198-0.
26. *Tunnelventilation - miljöventilation, brand rökgasevakuering*. **Brandt, Rune.** Zürich : HBI Haerter, 2010.

27. **Fire Testing Technology Ltd.** Fire Testing Technology Ltd. [Internett] Fire Testing Technology Ltd. [Sisert: 29 05 2015.] <http://www.fire-testing.com/>.
28. **STUVA.** STUVA. [Internett] STUVA. [Sisert: 29 05 2015.] <http://www.stuva.de/en/about-stuva.html>.
29. **CTIF.** CTIF. [Internett] CTIF. <http://ctif.org/>.
30. **Bertola, E. Cafaro V.** Fires in Tunnels: Experiments and Modelling. *The Open Thermodynamics Journal*. 4, 2010.
31. **Haack, Alfred.** FIRE SAFETY CONCEPTS IN TRAFFIC TUNNELS. [Internett] Workshop "Sprengning av EGNATIA ODOS MOTORVEIEN" "EGNATIA ODOS S.a." & E.E.S.Y.E., 15 10 1999. [Sisert: 02 09 2015.] [http://www.eesy.e.gr/uploads/62/47/DOC\\_4.pdf](http://www.eesy.e.gr/uploads/62/47/DOC_4.pdf).
32. —. Fire protection in traffic tunnels: resu of EUREKA research project "EU 49 FIRETUN" . [Internett] 1998. [Sisert: 04 09 2015.] [file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/bse-re-003\\_1998\\_78\\_a\\_029\\_d%20\(2\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/bse-re-003_1998_78_a_029_d%20(2).pdf).
33. **Hejny, Horst.** The European project UpTun: . *results of four years of research to improve the level of fire safety in existing tunnels* . [Internett] Dr. Horst Hejny Consulting, Germany , 2007. [Sisert: 06 07 2015.] <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/SAFE07019FU1.pdf>. ISSN 1743-3509 (on-line), doi:10.2495/SAFE070191.
34. **CETU - Tunnel Study Centre.** Water Mist in Road Tunnels. [Internett] CETU - Tunnel Study Centre, 06 2010. [Sisert: 2015 06 2015.] [http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Cetu-water-mist-EN-2010-BD\\_cle1218bb.pdf](http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Cetu-water-mist-EN-2010-BD_cle1218bb.pdf).
35. **L-SURF.** L-SURF. [Internett] L-SURF, 2015. [Sisert: 20 09 2015.] <http://www.l-surf.se/en/about/Sidor/default.aspx>.
36. **Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie.** SOLIT - Safety Of Life In Tunnels. [Internett] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie. [Sisert: 26 06 2015.] [http://www.solit.info/en\\_index.htm](http://www.solit.info/en_index.htm).



37. SOLIT Safety of Life in Tunnels. *Engineering guidance for a comprehensive evaluation of tunnels with fixed fire fighting systems*. [Internett] 2012. [Sisert: 26 06 2015.] [http://www.fogtec-international.com/PDF/solit/SOLIT\\_EG\\_Annex1\\_EN.pdf](http://www.fogtec-international.com/PDF/solit/SOLIT_EG_Annex1_EN.pdf).
38. **Marioff**. Marioff. [Internett] Marioff, 2015. <http://www.marioff.com/>.
39. **Haukur Ingason, m.fl.** *The maximum ceiling gas temperature in a large tunnel fire*. s.l. : ESEVIER, 2011.
40. **Haukur Ingason, Ying Zhen Li, Anders Lönnermark**. Large Scale Tunnel Fire Tests. *Tunnel Fire Dynamics*. s.l. : Springer, 2014.
41. **Martin Ilg, Rune Brandt, Antonio Di Miele**. Optimal fire ventilation at congested traffic . [Internett] HBI Haerter Ltd Consulting Engineers. [Sisert: 10 05 2015.] [http://www.hbi.ch/fileadmin/downloads/pdf/publikationen/18\\_Optimal-fire-ventilation\\_12th-ISAAVVT-2006\\_Portoroz.pdf](http://www.hbi.ch/fileadmin/downloads/pdf/publikationen/18_Optimal-fire-ventilation_12th-ISAAVVT-2006_Portoroz.pdf).
42. **Apte, Viviek B.** *Flammability Testing of Materials Used in Construction, Transport and Mining*. Cambridge, England : Woodhead Publishing Ltd., 2006. ISBN-13: 978-1-85573-935-2.
43. **Grønhaug, Arne**. Utfører fullskala brannforsøk i Repparfjord tunnel. [Internett] Vegdirektoratet, 08 1990. [Sisert: 22 06 2015.] <http://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/id/200671/Repparfjord%20tunnel.pdf>.
44. **Marlair, Guy og Cwiklinski, Claude**. Large scale testing in the INERIS fire gallery - . *a major tool for both assessment and scaling up of industrial fires involving chemicals*. [Internett] 03 04 2014. [Sisert: 25 06 2015.] [https://hal.inria.fr/file/index/docid/971854/filename/1993-002\\_hal.pdf](https://hal.inria.fr/file/index/docid/971854/filename/1993-002_hal.pdf).
45. **Carvel, Richard og Marlair, Guy**. A history of experimental tunnel fires. [bokforf.] Richard Carvel og Alan N. Beard. *The Handbook of Tunnel Fire Safety*. London : Thomas Telford Ltd, 2005.
46. **D. Borello, G. Giuli, F. Rispoli**. A CFD METHODOLOGY FOR FIRE SPREAD AND RADIATIVE EFFECTS SIMULATION IN LONGITUDINAL VENTILATION: APPLICATION TO THE MEMORIAL TUNNEL . [Internett] 27 09 2002. [Sisert: 23 06 2015.] <http://www.powershow.com/view1/15a899->

ZDc1Z/A\_CFD\_METHODODOLOGY\_FOR\_FIRE\_SPREAD\_AND\_RADIATIVE\_EFFECTS  
\_SIMULATION\_IN\_LONGITUDINAL\_VENTILATION\_TUNNELS\_APPLICATION\_TO  
\_THE\_MEMORIAL\_TUNNEL\_powerpoint\_ppt\_presentation.

47. **Vistnes, Jamie.** Validation of Phoenics 3.5 for Modelling Tunnel Ventilation Systems Under Fire Conditions . [Internett] 03 2004. [Siter: 23 06 2015.]  
[http://www.cham.co.uk/puc/puc\\_melbourne/papers/Paper6\\_Vistnes.pdf](http://www.cham.co.uk/puc/puc_melbourne/papers/Paper6_Vistnes.pdf).

48. **LUCHIAN, SERGIU F.** Memorial Tunnel Fire Test Program - Research pays off. [Internett] 05 1997. [Siter: 09 05 2015.]  
<http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/trnews/rpo/rpo.trn190.pdf>.

49. **Wikipedia.** Memorial Tunnel. [Internett] [Siter: 09 05 2015.]  
[http://en.wikipedia.org/wiki/Memorial\\_Tunnel](http://en.wikipedia.org/wiki/Memorial_Tunnel).

50. *The Handbook of Tunnel Fire Safety.* **Carvel, Richard og Beard, Alan N.** London : Thomas Telford Limited, 2011. ISBN: 9780727741530.

51. **Schenkenhofer, Peter.** New Requirements for Automatic Fire Detection Systems in Tunnels. [Internett] 3rd International Conference 'Tunnel Safety and Ventilation' 2006, Graz, Østerrike, 2006.  
[http://lampx.tugraz.at/~tunnel2014/history/Tunnel\\_2006\\_CD/Papers\\_Tunnel\\_2006/32\\_Schenkenhofer.pdf](http://lampx.tugraz.at/~tunnel2014/history/Tunnel_2006_CD/Papers_Tunnel_2006/32_Schenkenhofer.pdf).

52. **Kenyon, Tony Lemaire and Yvonne.** Large Scale Fire Tests in the Second Benelux Tunnel. [Internett] Springer Science + Business Media, LLC, 15 05 2006. [Siter: 10 05 2015.] [http://download-v2.springer.com.ezproxy.uis.no/static/pdf/871/art%253A10.1007%252Fs10694-006-8434-4.pdf?token2=exp=1431278472~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F871%2Fart%25253A10.1007%252Fs10694-006-8434-4.pdf\\*~hmac=2b5527cebad9efbae8031157ee287f61a1b63de8bae963932](http://download-v2.springer.com.ezproxy.uis.no/static/pdf/871/art%253A10.1007%252Fs10694-006-8434-4.pdf?token2=exp=1431278472~acl=%2Fstatic%2Fpdf%2F871%2Fart%25253A10.1007%252Fs10694-006-8434-4.pdf*~hmac=2b5527cebad9efbae8031157ee287f61a1b63de8bae963932).

53. **m.fl., Haukur Ingason.** *Development of a test method for fire detection in road tunnels.* BORÅS : SP Technical Research Institute of Sweden, 2013. ISBN 978-91-88001-43-6.

54. **Huijben, I r. J.W.** Test Of Fire Detection Systems and Sprinkler in Road Tunnel. [Internett] Dutch Center for Tunnel Safety, 2002. [Siter: 30 06 2015.]

[http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Tests%20on%20fire%20detection%20systems%20and%20sprinkler%20in%20a%20tunnel\\_tcm174-330098.pdf](http://www.rijkswaterstaat.nl/images/Tests%20on%20fire%20detection%20systems%20and%20sprinkler%20in%20a%20tunnel_tcm174-330098.pdf).

55. *Fire fighting system for tunnels—a report about the practical experience with our water mist tunnel system.* **Hainzl M, Reichsthaler G.** s.l. : In: A international conference of tunnel safety and ventilation, Austria, April 2002 / Linz Inc., 2002.

56. **Fire Protection Technologies.** Micro Chip Linear Heat Detection - LIST Sensor Cable Fire Detection System. [Internett] Fire Protection Technologies. [Sisert: 21 07 2015.] [http://www.fire-protection.com.au/product-menu/fire-detection/linear-heat-detection-digital-\(1\)/listec-micro-chip-linear-heat-detection](http://www.fire-protection.com.au/product-menu/fire-detection/linear-heat-detection-digital-(1)/listec-micro-chip-linear-heat-detection).

57. **3rd International Conference ‘Tunnel Safety and Ventilation’ 2006, Graz.** New Requirements for Automatic Fire Detection in Tunnels with Stationary Fire Fighting Equipment. [Internett] 3rd International Conference ‘Tunnel Safety and Ventilation’ 2006, Graz, 2006. [Sisert: 21 07 2015.] [http://lampx.tugraz.at/~tunnel2016/history/Tunnel\\_2006\\_CD/Papers\\_Tunnel\\_2006/32\\_Schenkenhofer.pdf](http://lampx.tugraz.at/~tunnel2016/history/Tunnel_2006_CD/Papers_Tunnel_2006/32_Schenkenhofer.pdf).

58. **Z. G. Liu, G. Crampton, A. Kashef, G. Lougheed, E. Gibbs and S. Muradori.** *Task 4: Field Fire Tests on Performance of Fire Detection.* Ottawa : National Research Council of Canada, 2008.

59. **Taerwe, Luc.** Inovative technologies for upgrading fire safety of existing tunnels. *Proceedings of the 5th International Probabilistic Workshop: 28 - 29 November 2007 ...* s.l. : Dirk Proske Verlag, 2007.

60. **Structurae.** Structurae. *International Database for Civil and Structural Engineering.* [Internett] Structurae. [Sisert: 27 06 2015.] <http://structurae.net/structures/virgolo-virgl-tunnel>.

61. **Carvel, Richard.** Water Mist Systems in Tunnels - Some Unanswered Questions. [Internett] University of Edinburgh - BRE centre for fire safety engineering. [Sisert: 28 06 2015.] <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/3.pdf>.

62. **Autostrada del Brennero S.p.A.** . Autostrada del Brennero S.p.A. . [Internett] Autostrada del Brennero S.p.A. . [Sisert: 25 06 2015.] <http://www.autobrennero.it/en/>.

63. **FOGTEC Brandschutz GmbH & Co. KG.** FOGTEC attends successful emergency test in Virgolo tunnel. [Internett] FOGTEC Brandschutz GmbH & Co. KG, 03 11 2014. [Sisert: 10 05 2015.] [http://www.fogtec-international.com/news/PDF/2014%2010%2026%20PR\\_Emergency%20Test%20Virgolo.pdf](http://www.fogtec-international.com/news/PDF/2014%2010%2026%20PR_Emergency%20Test%20Virgolo.pdf)
64. **L.H. Hua, R. Huoa, Y.Z. Lia, H.B. Wang, W.K. Chowb.,** Full-scale burning tests on studying smoke temperature and velocity along a corridor. *Tunnelling and Underground Space Technology*. Mai, 2005, 20.
65. **Yanfu Wang, , Juncheng Jiang, Dezhi Zhu.** Full-scale experiment research and theoretical study for fires in tunnels. *Fire Safety Journal*. 2009, 44.
66. **Shi MingHeng, Gong YanFeng, He JiaPeng.** Full-scale experimental study on smoke flow in natural ventilation road tunnel fires with shafts. *Tunnelling and Underground Space Technology*. 6, 2009, 24.
67. **Mälardalen Universitet.** The Metro Project. [Internett] Mälardalen Universitet, 2012. [http://www.metroproject.se/Pubs/METRO\\_report%20\(final\).pdf](http://www.metroproject.se/Pubs/METRO_report%20(final).pdf). ISBN 978-91-7485-090-1.
68. **Zhong-ri, HU.** Development of Fire Engineering Technology Based on Fire Experiment Study. [Online] Sichuan Fire Research Institute of Ministry of Pubic Security, Chengdu 610036, China, 03 15, 2013. [Cited: 06 11, 2015.] [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813002397/1-s2.0-S1877705813002397-main.pdf?\\_tid=77eb1912-1020-11e5-9faf-00000aab0f02&acdnat=1434016914\\_799242dccb729b88a6e65ee16de22908](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813002397/1-s2.0-S1877705813002397-main.pdf?_tid=77eb1912-1020-11e5-9faf-00000aab0f02&acdnat=1434016914_799242dccb729b88a6e65ee16de22908).
69. **Trafikkverket.** Trafikverket testar tekniken i Törnskogstunneln. [Internett] Trafikverket, 10 06 2013. [Sisert: 26 05 2015.] <http://www.trafikverket.se/Aktuellt/Nyhetsarkiv/Nyhetsarkiv2/Lansvisan-nyheter/Stockholm/2013-06/Trafikverket-testar-tekniken-i-Tornskogstunneln/>.
70. **SUN Jia-yun, FANG Zheng, CHEN Juan-juan.** Full scale Experiment of Longitudal Ventilation Smoke Control System and Central Smoke Exhaust System in City Underwater Tunnel. [Internett] 02 2013. [Sisert: 27 05 2015.] <http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813002683/1-s2.0-S1877705813002683->

main.pdf?\_tid=6268a5fa-04b8-11e5-918d-00000aab0f27&acdnat=1432762747\_e8b7d68c278e7ed5b0bd61ff07570610.

71. **Statens Vegvesen.** Runehamar Test Tunnel . [Internett] [Sisert: 30 06 2015.] [http://www.vegvesen.no/\\_attachment/61891/binary/15102?fast\\_title=Informasjon+om+Runehamar+testtunnel](http://www.vegvesen.no/_attachment/61891/binary/15102?fast_title=Informasjon+om+Runehamar+testtunnel).

72. —. Runehamar Testtunnel. [Internett] [Sisert: 10 03 2015.] [www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Tunneler/Runehamar+testtunnel](http://www.vegvesen.no/Fag/Teknologi/Tunneler/Runehamar+testtunnel).

73. **Buvik, Harald.** Runehamartunnelen. s.l. : Telefonintervju, 17 03 2015.

74. —. Runehamartunnelen. s.l. : Telefonintervju.

75. **Kim, Mihyun Esther.** *A Study on Pulsation in Runnelhamar Tunnel Fire Tests with forced longitudinal ventilation - Master Thesis.* Worcester, Mass, USA : Worcester Polytechnic Institute, 2006.

76. **Falin Chen, Shen-Wen Chien, Yee-Ping Lee, Chi-Feng Lin, Huei-Ru Sie.** The integrated strategies for fire safety of long road tunnels in Taiwan. [Internett] The 9th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology, 2013. [Sisert: 06 07 2015.] [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813012241/1-s2.0-S1877705813012241-main.pdf?\\_tid=6b4ea360-23b5-11e5-824f-00000aab0f6c&acdnat=1436169960\\_891f968c77dfb1ae6e7b7badf6c900df](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813012241/1-s2.0-S1877705813012241-main.pdf?_tid=6b4ea360-23b5-11e5-824f-00000aab0f6c&acdnat=1436169960_891f968c77dfb1ae6e7b7badf6c900df).

77. **VSH Hagerbach.** VSH Hagerbach. [Internett] VSH Hagerbach, 2015. <http://www.hagerbach.ch>.

78. **IF Sikkerhetssenter.** IF Sikkerhetssenter. *Skadeforebyggende kurs og kompetansesenter.* [Internett] IF. [Sisert: 28 06 2015.] [https://www.if.no/web/no/bedrift/Ifsikkerhetssenter/Omoss/Documents/Om\\_Sikkerhetssenter.pdf](https://www.if.no/web/no/bedrift/Ifsikkerhetssenter/Omoss/Documents/Om_Sikkerhetssenter.pdf).

79. **National Research Council Canada.** [Internett] 18 02 2013. [Sisert: 02 05 2015.] [www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/solutions/facilities/fire\\_resistance.html](http://www.nrc-cnrc.gc.ca/eng/solutions/facilities/fire_resistance.html).

80. **Tunnel Safety Testing.** Tunnel Safety Testing. [Internett] Tunnel Safety Testing, 2015. [www.tunneltest.com](http://www.tunneltest.com).

81. **PIARC**. Best practice for road tunnel emergency exercises. [Internett] PIARC, 2012. <http://www.piarc.org/en/order-library/17604-en-Best%20practice%20for%20road%20tunnel%20emergency%20exercises.htm>.
82. **EU**. EU's tunnelsikkerhetsdirektiv 2004/54/EG, . [Internett] EU, 24 04 2004. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32004L0054&from=SV>.
83. **National Fire Training Center**. National Fire Training Center, Taiwan. [Internett] National Fire Training Center, 2015. <http://tc.nfa.gov.tw/english/>.
84. **NRK**. Rart at Brannskolen mener at de ikke kan øve på brann. [Internett] NRK, 12 08 2015. [http://www.nrk.no/mr/\\_-rart-at-brannskolen-mener-de-ikke-kan-ove-pa-tunnelbrann-1.12495704](http://www.nrk.no/mr/_-rart-at-brannskolen-mener-de-ikke-kan-ove-pa-tunnelbrann-1.12495704).
85. **VSH Hagerbach**. Fire Fighter Training in Enclosed Space - Experiences of Hagerbach Test Gallery, Switzerland. [Internett] VSH Hagerbach, 17 03 2010. [file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/570-573\\_Fire%20fighter%20training%20\(5\).pdf](file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/570-573_Fire%20fighter%20training%20(5).pdf).
86. **IF Sikkerhetssenter** . IF Sikkerhetssenter - Våre Kurs. [Internett] IF, 2015. <https://www.if.no/web/no/bedrift/ifsikkerhetssenter/kurs/pages/default.aspx>.
87. **Tunnel Safety Testing - San Pedro de Anes**. Training on fire in tunnels and galleries - Training programs. [Internett] TST. <http://www.tunneltest.com/metaspaces/portal/47632/49787-actividades>.
88. **IFA International Fire Academy**. IFA Kursvirksomhet. [Internett] IFA, 2015.
89. **Attkinson, G.T. og Wu, Y.** Smoke Control in Sloping Tunnels . *Fire Safety Journal* 27 (1996) 335-341 . [Internett] 22 07 1996. [Sisert: 28 06 2015.] [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S0379711296000616/1-s2.0-S0379711296000616-main.pdf?\\_tid=e1ca0748-1dcd-11e5-94bc-00000aab0f27&acdnat=1435520759\\_f757d5fa83ebf7aeaa909c58687f606d](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S0379711296000616/1-s2.0-S0379711296000616-main.pdf?_tid=e1ca0748-1dcd-11e5-94bc-00000aab0f27&acdnat=1435520759_f757d5fa83ebf7aeaa909c58687f606d).
90. **Statens Vegvesen**. Nullvisjonen. [Internett] Statens Vegvesen. [Sisert: 09 06 2015.] <http://www.vegvesen.no/Fag/Fokusomrader/Trafikksikkerhet/Nullvisjonen>.
91. **Jenssen, Gunnar D. og Flø, Marianne**. Drivers' perception of long tunnels. [Internett] SINTEF, 27 04 2007. [Sisert: 20 08 2015.]

file:///C:/Documents%20and%20Settings/Ronny/Mine%20dokumenter/Downloads/Tunnelkongress%20Papers\_Flo\_Jenssen.pdf.

92. **Kircher, Katja og Ahlstrom, Christer.** The impact of tunnel design and lighting on the performance of attentive and visually distracted drivers. [Internett] Elsevier B.V., 07 2012. [Sisert: 20 08 2015.]

<http://www.sciencedirect.com.ezproxy.uis.no/science/article/pii/S0001457512000334?np=y>.

93. **Larsen, Ingunn.** Bro og tunneler gir ikke økonomisk gevinst. [Internett] Kommunal Rapport, 12 09 1997. [Sisert: 16 05 2015.] [http://kommunal-rapport.no/artikkel/bro\\_og\\_tunneler\\_gir\\_ikke\\_okonomisk\\_gevinst](http://kommunal-rapport.no/artikkel/bro_og_tunneler_gir_ikke_okonomisk_gevinst).

94. **Z. G. Liu, G. Crampton, A. Kashef, G. Lougheed, E. Gibbs.** *International Road Tunnel Fire Detection Research Project Phase II*. Quincy : National Research Council of Canada / Fire Protection Research Foundation , 2008.

95. **Statens Vegvesen.** *Sikkerhetsstyring i Vegtrafikken - Utkast*. s.l. : Statens Vegvesen, 2013.

96. **Zhong-ri, HU.** Development of Fire Engineering Technology Based on Fire Experiment Study. [Online] Sichuan Fire Research Institute of Ministry of Pubic Security, Chengdu 610036, China , 2013. [Cited: 06 11, 2015.] [http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813002397/1-s2.0-S1877705813002397-main.pdf?\\_tid=77eb1912-1020-11e5-9faf-00000aab0f02&acdnat=1434016914\\_799242dcc729b88a6e65ee16de22908](http://ac.els-cdn.com.ezproxy.uis.no/S1877705813002397/1-s2.0-S1877705813002397-main.pdf?_tid=77eb1912-1020-11e5-9faf-00000aab0f02&acdnat=1434016914_799242dcc729b88a6e65ee16de22908).

97. **P.W.R.I.** P.W.R.I Tunnel Research Team website. [Internett] P.W.R.I, 2008. [Sisert: 17 06 2015.] <http://www.pwri.go.jp/team/tunnel/index-e.htm>.

98. **Statens Vegvesen.** Runehamar Testunnel. [Internett] Statens Vegvesen. [Sisert: 02 05 2015.] [www.vegvesen.no/\\_attachment/61891/binary/15102?fast\\_tittle=Informasjon+om+Runehamar+testtunnel](http://www.vegvesen.no/_attachment/61891/binary/15102?fast_tittle=Informasjon+om+Runehamar+testtunnel).

99. **Wikipedia.** Sikkerhetsbelte. [Internett] Wikipedia, 18 02 2014. [Sisert: 15 08 2015.] <https://no.wikipedia.org/wiki/Sikkerhetsbelte>.

100. **Krumsvik, Rune.** *Forskningsdesign og kvalitativ metode.* Bergen : Fagbokforlaget, 2007. ISBN 978-82-450-1460-0.

101. **Wikipedia.** Vitenskapelig Metode. [Internett] Wikipedia, 17 06 2015. [Sisert: 24 08 2015.] [https://no.wikipedia.org/wiki/Vitenskapelig\\_metode](https://no.wikipedia.org/wiki/Vitenskapelig_metode).

102. **Kruke, Bjørn Ivar.** Metode og veiledningsseminar for mastergradsstudenter. Risikostyring og Sikkerhetsledelse. Stavanger : UiS, 2015. Vol. 2015.

103. **Kunnskapscenteret.** Induktiv vs. deduktiv studier. [Internett] Kunnskapscenteret, 15 05 2015. [Sisert: 25 08 2015.] <http://kunnskapscenteret.com/induktiv-deduktiv/>.

104. **Bergene, Ann Cecilie.** Kritisk Realisme i praksis . [Internett] Universitetet i Oslo, 2007. [Sisert: 25 08 2015.] [https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAAAhUKEwjQraWCt8fHAhUHA3MKHUihB4M&url=http%3A%2F%2Fwww.uio.no%2Fstudier%2Femner%2Fsv%2Ffiss%2FSGO4000%2Fh07%2Fundervisningsmateriale%2FKritisk%2520Realisme%2520i%2520praksis\\_web.ppt&](https://www.google.no/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAAAhUKEwjQraWCt8fHAhUHA3MKHUihB4M&url=http%3A%2F%2Fwww.uio.no%2Fstudier%2Femner%2Fsv%2Ffiss%2FSGO4000%2Fh07%2Fundervisningsmateriale%2FKritisk%2520Realisme%2520i%2520praksis_web.ppt&).

105. **Renn, Ortwin.** *Risk Governance: Coping with Uncertainty in a Complex World .* London : Earthscan, 2008.

106. **Kratzmeir, Stefan (Fogtech).** Road tunnel protection by water mist systems - Implementation of full-scale fire test results into a real project. [Internett] Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 04 05 2008. <http://www-scopus-com.ezproxy.uis.no/results/results.url?editSaveSearch=&sort=plf-f&src=s&st1=training+AND+tunnel&nlo=&nlr=&nls=&sid=6768FFFF5EFB0E9A952C0ABB1EF2E8E.mw4ft95QGjz1tIFG9A1uw%3a890&sot=b&sdt=sisr&sl=34&s=TITLE-ABS-KEY%28training+AND+tunnel%29>.

107. **Wikipedia.** Pedagogikk. [Internett] Wikipedia, 2015. <https://no.wikipedia.org/wiki/Pedagogikk>.