

Beredskap ved tunnelbrann & ubemannet teknologis innvirkning på rammebetingelsene

En behovs- og mulighetsstudie



Universitetet
i Stavanger

Av:

Remi Ruben Sandberg

Masteroppgave Risikostyring

Universitetet i Stavanger - Det teknisk-naturvitenskapelige fakultet

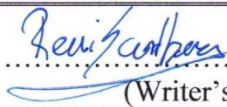
Våren 2016



University of
Stavanger

Faculty of Science and Technology

MASTER'S THESIS

Study program/Specialization: Risk Management / Offshore safety	Spring semester, 2016 Open
Writer: Remi Ruben Sandberg	 (Writer's signature)
Faculty supervisor: Eirik BJORHEIM ABRAHAMSEN, Professor, UIS	
Thesis title: Beredskap ved tunnelbrann & ubemannet teknologis innvirkning på rammebetingelsene	
Credits (ECTS): 30	
Key words: Beredskap Tunnelbrann Tunnelsikkerhet Ubemannet teknologi Usikkerhet Innsatsledelse	Pages: 61 Stavanger, 15. Juni 2015 Date/Year

Sammendrag

Brannvesenet og deres innsatsledere kan ved tilfeller av tunnelbrann stå ovenfor svært uoversiktelige, farlige og potensielt katastrofale situasjoner hvis ikke de håndterer den riktig. Moderne tunneler blir stadig bedre utformet og utstyrt for å gjøre dem sikrere ved en tunnelbrann, både med tanke på forebyggende og korrigerende virkning. Tunneler har samtidig blitt lengre, mer komplekse og høyere trafikkert. For å se hvordan brannvesenet kan i fremtiden løse tunnelbranner på en enda tryggere og mer effektiv måte, ser denne oppgaven på om ubemannet teknologi kan være en del av denne løsningen. For å kunne gi et svar på dette ser oppgaven nærmere på hvordan brannvesenet håndterer tunnelbranner i dag og hvilke utfordringer de har. Det ses nærmere på muligheter som finnes innenfor ubemannet teknologi. For så til slutt er det forsøkt å anslå hvilken effekt implementering av ubemannet teknologi vil ha for tunnelbrannberedskapen. Med bakgrunn i disse stegene kan det ut som det er mulig at ubemannet teknologi burde være en del av den fremtidige tunnelbrannberedskapen. Spesielt fokus for oppgaven er grad av usikkerhet i informasjonen som innsatsleder baserer sin håndtering av en tunnelbrann.

Innhold

Sammendrag	3
Forord.....	6
1. Innledning.....	7
1.1 Bakgrunn for valg av tema.....	7
1.2 Problemstilling.....	7
2 Teori/litteratur	9
2.1 Tunnelbrann Beredskap	9
2.1.1 Dagens brannberedskap ved en typisk tunnelbrann.....	9
2.1.2 Lover og forskrifter	10
2.1.3 Historikk.....	12
2.1.4 Tid til slukking	17
2.1.5 Krise håndtering	18
2.1.6 Definisjoner og begrepsforklaringer.....	19
2.1.7 Fundamental samhandling	21
2.2 Ubemannet teknologi.....	22
2.2.1 Lover og forskrifter	22
2.2.2 Utvikling og Forskning	23
2.2.3 Ubemannet teknologi i beredskapssituasjoner.....	24
2.2.4 Annen kommersiell nytte	25
3 Empiri	26
3.1 Kartlegging av rammebetingelser for innsatsleder ved tunnelbrann i dag.....	26
3.1.1 Metode	26
3.1.2 Informasjonskilder.....	29
3.1.3 Nødvendig informasjon	31
3.1.4 Tolking av informasjon og Avgjørelser	33
3.1.5 Sammendrag og resultat	35
3.2 Bruk av ubemannet teknologis innvirkning på rammebetingelser ved tunnelbrann	36
3.2.1 Datasamling (tilgjengelig teknologi).....	36
3.2.2 Bruksområder	36
3.2.3 Ubemannet teknologi for bruk ved tunnelbrannberedskap	36
3.2.4 Eksempler på eksisterende teknologi.....	36
4 Analyse og drøfting.....	38

4.1	Hvilke rammebetingelser opererer innsatsleder ved tunnelbranner med i dag, og hvilke utfordringer står dem ovenfor?.....	38
4.1.1	Oslofjordtunnelen	39
4.1.2	Ryfylketunnelen.....	40
4.1.3	Gudvangatunnelen:	41
4.2	Hvordan kan ubemannet teknologi brukes for å endre skadestedleders rammebetingelser i en slik setting?.....	43
4.2.1	Sensorer montert inne i tunnel	43
4.2.2	Lett farkost for innhenting av informasjon (fjernstyrt eller selvkjørende)	44
4.2.3	Arbeids robot.....	46
4.3	Hvilken effekt gir bruk av ubemannet teknologi på rammebetingelsene for skadestedsleder i en slik setting?	48
4.3.1	Sensorer i tunnel / Lett farkost for innhenting av informasjon	48
4.3.2	Arbeidsrobot, effekt analyse	52
4.3.3	Oppsummering, effekt ubemannet teknologi.....	55
5	Oppsummering og konklusjon	56
	Referanseliste.....	58
	Vedlegg.....	60
	Vedlegg 1: Intervjuguide	60

Forord

Proessen med utforme og tilegne meg kunnskap til denne oppgaven, har vært en spennende og lærerik prosess. Og jeg har i tillegg til å lære ny å spennende kunnskap, også fått gleden av å komme i kontakt med en rekke interessante, hyggelige og engasjerte mennesker.

En stor takk går til min veileder Eirik Abrahamsen, som med sin interesse og innspill har bidratt stort til veien mot en ferdigstilt masteroppgave.

En stor takk rettes til Nordic unmanned for god hjelp, inspirasjon, gjestfrihet og for å stille kontorplass til rådighet for meg.

Takk rettes også til dem ved brannvesenet i Follo og Stavanger som stilte velvillig og engasjerte til intervjuer.

Foruten overnevnte faglige støttespillere vil jeg i tillegg rette en stor takk til min familie for forståelse for mine prioriteringer denne våren, og i eksamensperiodene de siste 2 årene. Jeg har hatt stort læringsutbytte av studiet risikostyring, og det er med glede jeg setter siste punktum i denne oppgaven som markerer avslutningen på masterstudiet.

For dem som ikke har tid eller anledning til å lese hele oppgaven, er oppsummering og konklusjon plassert som siste kapittel i oppgaven.

Remi Ruben Sandberg, Stavanger 12.juni 2016

1. Innledning

1.1 Bakgrunn for valg av tema

Moderne tunneller har gjerne blitt lengre, mer komplekse, mer trafikkert og dermed mer sårbare enn tidligere. Dette har vi sett med en rekke større ulykker i tunneler den siste tiden. Det er derfor viktig å ha på plass en god beredskapsplan og riktig sikkerhetsutstyr i forkant av ulykkene som vil komme. Med bakgrunn i dette er tunnelsikkerhet høyst aktuelt for tiden, og bransjen fokuserer i mye høyere grad rundt dette nå enn tidligere.

Tradisjonell brannbekjempelse er dårlig egnet for brann i et tunnelmiljø. For at røykdykking skal gjennomføres trygt må mange faktorer oppfylles. I DSBs risikoanalyse av brann i tunnel 2014 (DSB, 2014c), delrapport til nasjonalt risikobilde 2014, fremgår det at det er kun unntaksvis at beredskapspersonell innehar presis informasjon vedrørende situasjonen inne i tunnelen før de rykker inn. Det har derfor vært interessant å tenke nytt og sett på hva ubemannet teknologi kan gjøre her.

Ubemannet mobil teknologi som droner og førerløse fly og biler har i mange tiår vært i bruk og blitt utviklet i militær sammenheng, men det er i de siste årene vi har sett dette også har utbredt seg hyppig i det private og kommersielle markedet. Det dukker stadig opp nye ideer hvor ubemannet teknologi kan gi et billigere og eller et risikoreduserende alternativ. Dette være seg f.eks. i filmproduksjon, autonome biler, landmåling og inspeksjoner av høye byggverk.

Ubemannet teknologi er et relativt nytt fagområde innen kommersiell bruk, og det er dermed lite vitenskapelig litteratur og studier rundt tematikken. I dette tilfellet hvor det skal sees nærmere på ubemannet teknologi i bruk ved beredskapssituasjoner ved tunnelbrann er det tilnærmet ingen vitenskapelig litteratur å bygge videre på.

1.2 Problemstilling

Overordnet problemstilling:

"Kan ubemannet teknologi være en del av fremtiden innen brannberedskapen i norske tunneler?"

Underordnede problemstillinger:

For å svare på hovedproblemstillingen, har jeg valgt følgende underproblemstillinger.

Rammebetingelser: Hvilke rammebetingelser opererer skadestedsledere ved tunnelbranner med i dag, og hvilke utfordringer står dem ovenfor?

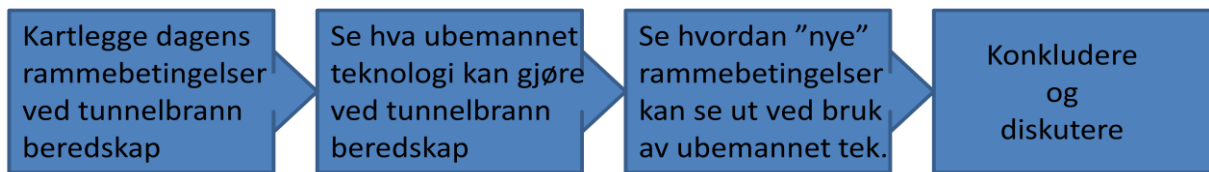
Ubemannet teknologi: Hvordan kan ubemannet teknologi brukes for å endre skadestedsleders rammebetingelser i en slik setting?

Risikoreduserende effekt: Hvilken effekt gir bruk av ubemannet teknologi på grad rammebetingelsene i en slik setting?

For å kunne svare på hovedproblemstillingen er det viktig å se nærmere på hvilke behov og problemstillinger som er aktuelle i en beredskapssituasjon ved tunnelbrann, og dermed kunne se på om ubemannede systemer kan dekke behovene bedre eller mer utfyllende enn eksisterende systemer. Jeg har derfor valgt og først å kartlegge rammebetingelsene brannberedskapen ved

tunnelbranner baserer seg på i dag. Temaer som jeg vil fordype meg i med bakgrunn i problemstillingen er informasjon som er viktig å innente for å gjennomføre en effektiv og sikker beredskap ved tunnelbrann og hvordan denne informasjonen innhentes i dag. Hva av informasjon mangler, hvor nøyaktig er den innhentede informasjonen og under hvor stor grad av usikkerhet utføres avgjørelser. Ved å gjøre denne kartleggingen kan man få et bedre bilde om hvilken informasjon som er nødvendig og hvor det er rom for forbedringer. Kartleggingen baseres på intervjuer med innsatsledere med erfaringer fra tidligere tunnelbranner. En kan dermed få et bedre utgangspunkt for hvilke egenskaper man skal se etter når det gjelder ubemannet teknologi.

Andre del av oppgaven vil da se nærmere på eksisterende relevant ubemannet teknologi, og se om denne kan være til hjelp ved beredskaps situasjoner ved tunnelbrann. For så å se nærmere på hvordan denne teknologien eventuelt kan endre rammebetingelsene for beredskapen.



Figur 1: Flytskjema for "fremgangsmåte" for å besvare problemstilling

2 Teori/litteratur

I dette kapitlet skal jeg se nærmere på to hovedteorisett; tunnelbrann beredskap og ubemannet teknologi.

Første delkapittel tar for seg teori og praksis som er gjeldende i dag når det gjelder beredskap i tunnelbrann situasjoner. Her ser vi nærmere på tidligere hendelser og hvilke relevante momenter/svakheter dagens beredskap potensielt innehar, behovet og viktigheten av tunnelbrannberedskap, definisjoner og begrepsforklaringer, prinsipper og regelverket som setter premissene for tunnelbrannberedskapen.

Andre delkapittel ser på hvilken forståelse vi i dag har for bruk av ubemannet teknologi og noen eksempler på bruk i andre typer beredskap situasjoner og relevante egenskaper for bruk ved tunnelbrann beredskap. Gjøre en rask analyse om det er egenskaper her som vil kunne fylle hullene i dagens beredskap eller potensielt sette scenen på en helt ny måte angående rammebetingelsene for beredskapsleder for brannberedskapen.

2.1 Tunnelbrann Beredskap

2.1.1 Dagens brannberedskap ved en typisk tunnelbrann

For å få kunne sette seg inn i problematikken rundt beredskapen ved en tunnelbrann, har jeg ved hjelp av brigadesjef ved Sør-Rogaland brannvesen satt opp punkt for punkt hvordan brannberedskapen er planlagt/gjennomført ved en tunnelbrann i en undersjøisk enløpstunnel, type Renfast tunnelene utenfor Stavanger og Oslofjordtunnelen. Ved melding om brann i et kjøretøy inne i en slik tunnel og andre lengre tunneler, er følgende fremgangsmåte den "vanlige":

1. Vei trafikk sentralen (VTS) mottar som regel den første meldingen om brannen, enten via nødsamtale fra tunnelen eller via deteksjon/kamera.
2. VTS stenger innkjøringsfilene til tunnelen øyeblikkelig. (bom eller lys)
3. VTS melder fra til brannvesen
4. Brannlaget som er på vakt rykker ut
5. VTS starter brannventilasjon, i predefinert styrke og retning.
6. VTS melder ifra om situasjonen til billistene gjennom trafikk melding på FM.
7. VTS fortsetter å samle informasjon, ved hjelp av kameraer og ved å "pumpe" mest mulig informasjon ut av innringere.
8. Første brannbil mottar informasjon fortløpende fra 110 mens de er på vei til ulykkes stedet.
9. Brannbilene tar opp "objektplan" for den aktuelle tunnelen på skjerm i bilen.
10. Når første brannbil når tunnellopet er det brannmesteren på denne bilen som er fungerende innsatsleder/fagansvarlig brann frem til overordnet brannkonstabel ankommer.
11. Brannmester/utrykningsleder melder over nødnett til alle nødetater om hva som er situasjonen, basert på mottatt informasjon og melder hvilken aksjon som igangsettes. F.eks. 100 m fra tunnel, lastebil i full fyr, ingen biler eller personer i nærheten, ingen umiddelbar fare for eksplosjon, vi går inn i slukkeinnsats nå.
12. Angrepsretningen er predefinert og brannbilen kjører da inn i tunnelen mot brannen med ventilasjon i ryggen.

13. Ytterligere brannvesen som kommer til ulykkestedet sammen med politi og helse etablerer et samvirke (KO) utenfor tunnelen hvor alle beredskapsgrenene på stedet blir koordinerte fra.
14. Når innsatspersonell når brannen blir slukkeinnsats påbegynt umiddelbart.
15. Når brannen er stort sett slukket forsetter brannbilen videre inn i tunnelen etter røykproppen for å lete etter trafikanter som har vært fanget i røyken. Noen fra brannlaget blir igjen ved brannstedet for å forsette kjøling av dette.
16. Når brannbilen har kommet ut i andre enden av tunnelen med eventuelle evakuerte skal brannen være slukket, tunnelen tømt for trafikanter og situasjonen være under kontroll.

Dett er en typisk handlings prosedyre ved en tunnelbrann, men det er flere forutsette og uforutsette faktorer som kan endre fremgangsmåten.

2.1.2 Lover og forskrifter

Temaene berørt i denne oppgaven som er detaljstyrt av regler og forskrifter er hovedsakelig tunnelsikkerhet og brannberedskap. Jeg gir her en kort introduksjon til hvilke lover, forskrifter og veiledninger disse hovedsakelig blir dekket av.

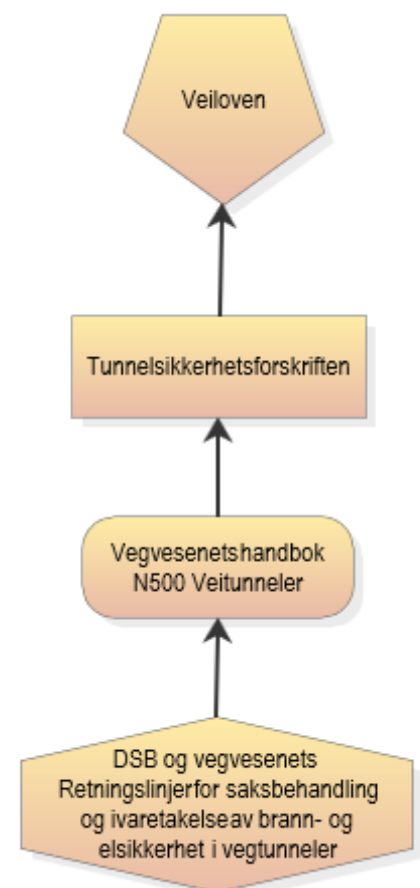
2.1.2.1 Tunnelsikkerhet

("Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften).", 2007), med hjemmel i("Lov om vegar (veglova)," 1964), ble satt i kraft fra 15. mai 2007. Forskriften er basert på "Europaparlamentets- og Rådsdirektiv 2004/54/EF av 29. april 2004 om minimum sikkerhetskrav til tunneler på det transeuropeiske vegnettet (tunneldirektivet)".

Forskriften gjelder for tunneler på riksvegnettet som er lenger enn 500 meter og skal sørge for minimum sikkerhetskrav for disse.

Når EUs tunneldirektiv ble implementert i Norge i 2007 ble tydeligheten og fokuset rundt rammene for sikkerhetsarbeid og utforming av tunneler betydelig bedret. Det jobbes fremdeles med å tolke og tilpasse seg den forskriften, spesielt med tanke på eksisterende tunneler som ble bygget før forskriften trådte i kraft i 2007. Utbedringen av eksisterende tunneler for å innfri kravene til forskriften er fremdeles under arbeid, og Norge har forpliktet seg til at alle tunneler som forskriften omfatter skal være i henhold innen 31.april 2019. I de fleste tunneler er det bare mindre oppgraderinger som må til, men det er også tunneler som krever store utbedringer. De eldre undersjøiske tunnelene slik som Oslofjordtunnelen, er nok blant de som trenger mer omfattende utbedringer.

I henhold til §8 i ("Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften)," 2007)skal minstekravene til sikkerhet som er satt i vedlegg 1 oppfylles. I vedlegg 1, detaljspesifiseres minstekravene for sikkerhet ved utforming og utrustning av infrastrukturen og driftsmessige tiltak av tunneler. Dette inkluderer det meste innen



Figur 2: Hierarki som viser lov, forskrift og retningslinjer som ivaretar tunnelsikkerhet

infrastruktur som blant annet størrelsesmål, rømningsveier, ventilasjon, kontrollsentral, brannmotstand, m.m. og organisatorisk føring rundt beredskapsplaner, drift av kontrollsentral, arbeid i tunneler, ledelse ved ulykker, m.m. På grunn av relevans i forhold til oppgaven legger jeg ved avsnittet i forskriften som omhandler ledelse ved ulykker og hendelser.

Vedlegg 1, Kap 3.4. Ledelse ved ulykker og hendelser

Ved en alvorlig ulykke eller hendelse, skal alle berørte tunnellop umiddelbart stenges for trafikk.

Dette skal gjøres ved samtidig aktivering av ikke bare ovennevnte utstyr foran portalene, men også stillbare meldingsskilt, trafikklys og eventuelle mekaniske bommer inne i tunnelen, slik at all trafikk kan stanses så snart som mulig utenfor og inne i tunnelen. Tunneler på mindre enn 1.000 meter kan stenges på annen måte. Trafikken skal styres på en slik måte at kjøretøy som ikke er berørt, raskt kan forlate tunnelen.

Atkomsttiden for redningstjenestene i tilfelle en hendelse inne i en tunnel skal være så kort som mulig og skal måles ved jevnlig øvelser. I tillegg kan den måles ved hendelser. I større toveistunneler med stort trafikkvolum skal en risikoanalyse i henhold til § 10 avgjøre om det skal posteres redningstjenester ved tunnelens to ytterpunkter.

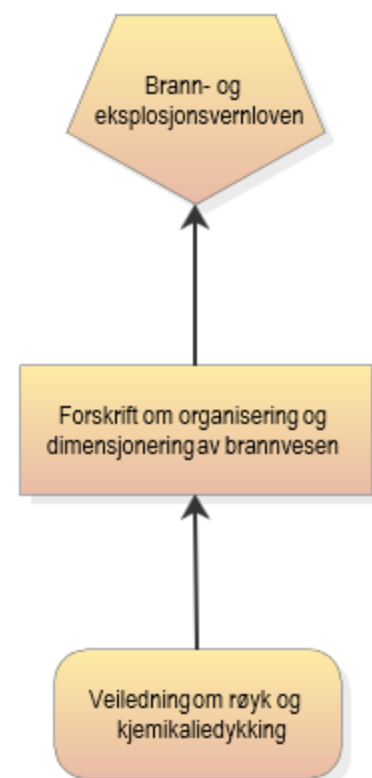
Håndbok N500 Vegtunneler (vegvesen, 2014) er statens vegvesens standard for utforming av alle typer vegtunneler, og det presenteres her praktiske løsninger til sikkerhetsutforming og sikkerhetsutstyr, for å oppnå kravene som er gitt i Tunnelforskriften. Normalen gjelder for nye tunneler, den skal også legges til grunn ved oppgradering av utstyr i eksisterende tunneler. For å tilfredsstille tunnelsikkerhetsforskriften, har vegvesenet satt som mål at alle eksisterende tunneler som er omfattet av forskriften skal tilpasses kravene satt i denne håndboken

2.1.2.2 Brannberedskap

("Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen," 2002), med hjemmel i ("Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven)," 2002), skal sikre at enhver kommune har et brannvesen som er organisert, utrustet og bemannet, slik at oppgaver pålagt i lov og forskrifter blir utført tilfredsstillende. Videre skal forskriften sikre at brannvesenet er organisert og dimensjonert på bakgrunn av den risiko og sårbarhet som foreligger. Den legger også føringer angående organiseringen ved innsats, som spesifiseres ytterligere i veiledningen til forskriften. Her finner man hvilket ansvar og oppgaver innsatsleder skal ha.

Utdrag fra veiledning til ("Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen," 2002) §4-10 Overordnet innsatsledelse. Overordnet innsatsleder skal:

– ta beslutninger på grunnlag av forholdene på stedet, utrykningslederens løpende vurderinger og tilbakemeldinger, de



Figur 3: Hierarki som viser lov, forskrift og retningslinjer som ivaretar brannberedskap

materielle og personellmessige ressurser som er til rådighet samt hensynet til personelletts sikkerhet m.v.

– til enhver tid være oppdatert om gjeldende samarbeidsavtaler, bistandsavtaler, planer for innsats i spesielle risikoobjekter, instruksjoner og annet som kan være av betydning for å gjennomføre slagkraftig og sikker innsats

– ha samband med utrykningsleder, nødalarmingsentralen, skadestedsleder, fagleder sanitet m.fl.

I Veiledning om røyk og kjemikaliedykking (DSB, 2009) som gir anbefalinger til blant annet all form for røykdykking, gis det i vedlegg 1 (innsats i tunnel) følgende anbefalinger om hva som bør være på plass i forkant av brannberedskapsinnsats i en tunnel, hvordan innsatsen bør gjennomføres og kriterier for å kunne iverksette innsats inne i en tunnel:

- beredskapsplan skal være utarbeidet av objektets eier og være kjent for alle
- tunnelen og det tekniske utstyret i den, bør være beskrevet for alle. Herunder samband, ventilasjonsprinsipp osv.
- detaljert varslingsplan, utrykningsplan og innsatsplan koordinert med alle aktuelle aktører, skal være utarbeidet
- innsatsmaterieill bør være tilpasset oppgaven, eller dekket opp gjennom innsatsavtale med annen beredskapsstyrke
- mannskapenes vernebekledning bør være tilpasset forventet type innsats

(...), men innrykk bør normalt ikke skje når;

- samband blokkeres umiddelbart etter innrykk i objektet
- det ikke er kvalifisert eller tilstrekkelig med mannskap til å iverksette røykdykkerinnsats
- innsats må skje mot vinden
- det ikke er utarbeidet beredskapsplan og innsatsplan for objektet
- (...)

Innrykk ved ukjent skadeomfang

- vurdering, om nødvendig stopp minst for hver 500 m (avstandsmål annenhver nødtelefon)
- innsatsplan skal være utarbeidet og godt kjent for innsatsmannskapene
- innsats med kvalifiserte røykdykkere med verneutstyr og reserveluft
- beredskapsplan utarbeidet og godt kjent for utrykningsleder
- samband og slokkevann tilgjengelig
- ventilasjon installert og innrykk med vind i ryggen mulig

2.1.3 Historikk

Det har i Norge aldri gått liv tapt direkte på grunn av tunnelbrann. Det har gått liv tapt som følge av trafikkulykker som har ført til tunnelbrann, men det var i disse tilfellene trafikkulykken som forårsaket dødsfall, ikke brannen. Det har derimot vært flere hendelser som potensielt kunne resultert i en katastrofe. Å lære av tidligere hendelser, deres forløp, hvordan de ble håndtert og hvilken effekt ulike avgjørelser kan ha, er en viktig del av utviklingen av beredskap.

Jeg vil i dette kapitlet gjøre et tilbakeblikk på noen av de større tunnelbrannene som har funnet sted de siste 20 årene. Jeg har valgt å se nærmere på fire relevante hendelser, to tunnelbranner i Norge; Gudvangatunnelen (2013) og Oslofjordtunnelen (2011), og to hendelser i henholdsvis i Mont

Blanc tunnelen (1999) på grensen mellom Frankrike og Italia og i St. Gotthard tunnelen (2001) i Sveits. Jeg vil gjøre en grov gjenfortelling av hva som skjedde i hver av ulykkene, og trekke frem momenter som er relevante for tunnelbrannberedskap. Det vil her bli vektlagt aspekter angående informasjonskilder, informasjonsflyt og usikkerhet.

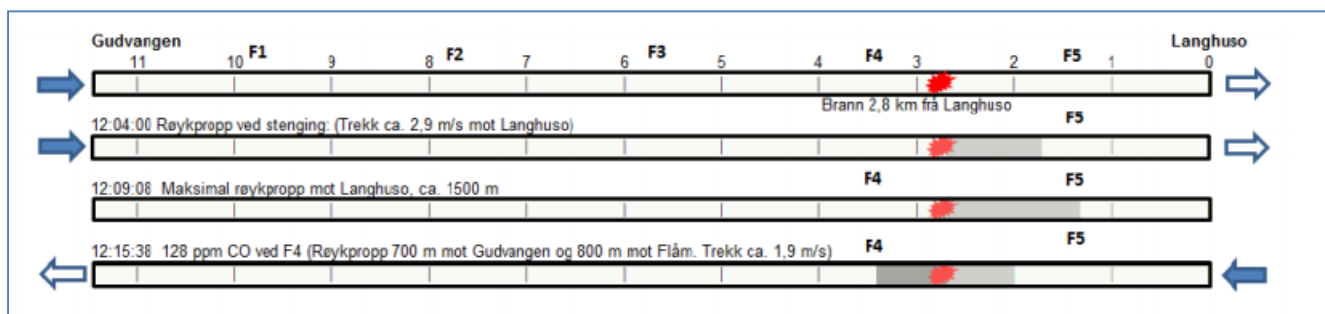
2.1.3.1 Gudvangatunnelen 2013

Brannen i Gudvangatunnelen i Sogn og Fjordane 2013 var en middels stor tunnelbrann på cirka 30–40 MW. 88 personer ble evakuert ut av tunnelen i løpet av to timer og 66 personer ble behandlet for røykskader. (DSB, 2014b)

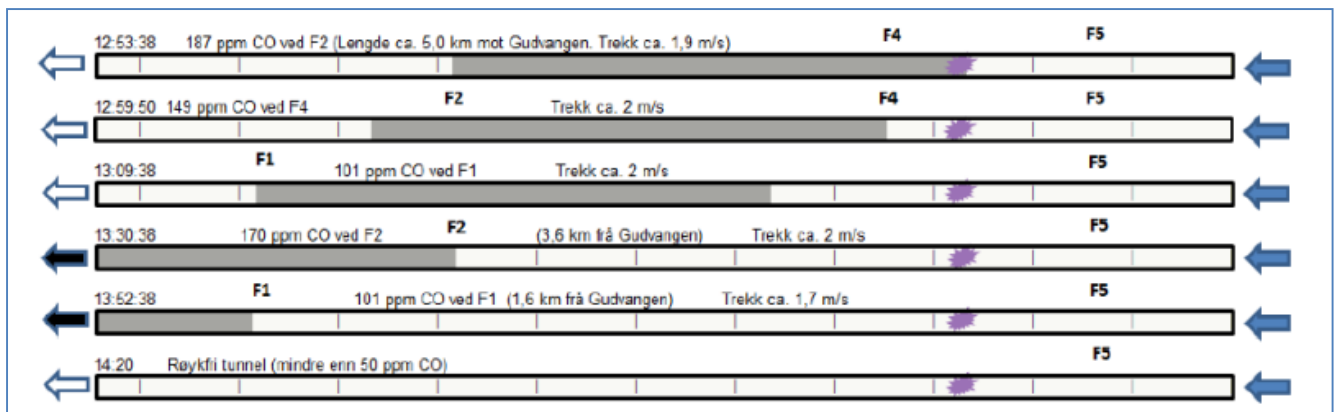
Gudvangatunnelen er en av Norges lengste tunneler på 11,4 km, det er en ettløpstunnel og ble åpnet i 1991. Når det gjelder sikringstiltak, så hadde Gudvangatunnelen på daværende tidspunkt mobildekning, radiosamband, i tillegg til 18 havarinisjer, 42 brannslukkingsapparater, 20 nødtelefoner og 92 vifter. (DSB, 2014a). Brannen startet i en trailer på grunn av tekniske problemer, 2,8km inn i tunnelen. Brannen ble varslet av trafikant på mobiltelefon, og det ble umiddelbart iverksatt utrykning, brannventilasjon og stenging av tunnelen. Informasjon fra trafikant på mobiltelefon inne i tunnelen; brann 2,8km inn i tunnelen, oppfattet av overordnet vakt å være 2,8 km inn fra gudvangen siden av tunnelen, men det viste seg å være fra Langhuso siden. Det er ukjent hvor i informasjonsflyten denne informasjonen ble feiltolket. Første brannbil kjørte inn i tunnelen og forventet å møte brannen etter 8 km, men ble overasket når dem møtte den etter 2,8km. Dem hadde da vinden i ryggen på grunn av forhåndsdefinert brannventilasjon og kunne iverksette slukkearbeid. 8 km av tunnelen ble da fylt med røyk, og trafikanter som befant seg her ble fanget i den røykfylte delen av tunnelen. Voss brannlag ved gudvangen siden av tunnelen, forsøkte, men kom seg ikke inn med atv pga. av for mye røyk, de besluttet da å vente til røykdykkere fra Bergen ankom med røykdykkerutstyr med lang brukstid (4 timer). (DSB, 2014a)

Etter brannvesenet som hadde rykket inn fra Langhuso hadde slukket brannen, fulgte dem røyken gjennom tunnelen og plukket opp trafikanter. 1,5 time etter brannen var slukket og 2,5 time etter brannen ble varslet hadde brannvesenet jobbet seg gjennom hele tunnelen og fått alle ut av tunnelen. (DSB, 2014a)

Figur 4 og 5 nedenfor viser hvordan røyken bevegde seg i tunnelen i startfasen av brannen og etter brannen var slukket.



Figur 4: Illustrasjon av røykens bevegelse i begynnelsen av brannforløpet og når brannventilasjon ble startet. 1500m lang røykpropp mot Langhuso før ventilasjonen ble snudd. (Eidsnes, 2016)



Figur 5: Illustrasjon av røykens bevegelse gjennom tunnelen etter brannen var slukket. (Eidsnes, 2016)

2.1.3.2 Oslofjordtunnelen 2011

Brannen i Oslofjordtunnelen mellom Hurum i Buskerud og Frogn i Akershus 2011 var på 70–90 MW. 25 trafikanter kom seg ut på egen hånd og 9 ble evakuert av redningsmannskap etter to timer. (DSB, 2014b)

Oslofjordtunnelen er 7,2km lang undersjøisk ettløpstunnel, den har ingen nødutganger men er utstyrt med brannventilasjon, nødnett, nødtelefoner og kameraovervåkning. Brannen oppsto i et polsk vogntog 1,7km inn i tunnelen fra Frogn siden, brannårsak var en teknisk feil. Brannen ble detektert av veitrafikksentralen(VTS) via kameraovervåkingen i tunnelen. Tunnelen ble da stengt og etter fire minutter senere ble brannventilasjonen igangsatt, denne var predefinert fra Frogn mot Hurum. Dette resulterte i at 5,5 km av tunnelen ble fylt med tykk, sort røyk i en hastighet på 2-3 m/s. Flere trafikanter fikk ikke informasjon fra VTS over bilradio i tide til å snu før de ble fanget i røyken. (SHT, 2013)

Føreren ringte 112, og hadde også kontakt med VTS via nødtelefon i tunnelen. Engelskkunnskapene hans var imidlertid ikke tilstrekkelige til å få utnyttet samtalen. Føreren besluttet å evakuere og begynte å gå i kjøreretning mot Drøbak, i motbakke. Det utviklet seg store mengder røyk i tunnelen også i denne retningen før brannventilasjonen fikk full effekt, og føreren måtte legge seg ned på asfalten for å få tilgang på oksygen. Han lå der til det kom små tilsig av luft for å kunne fortsette flukten ut av tunnelen. Han ble etter en stund evakuert av en av politiets kjøretøyer. Føreren hadde sikret transportdokumentene fra trekkbilen slik at brannvesenet kunne få informasjon om at det ikke var farlig gods i vogntoget. Det viste seg derimot at det var en propanflaske i førerhuset som ikke ble informert om, denne eksploderte og slo ut bakveggen på førerhuset. Ingen brannmenn kom til skade, og slukningsarbeidet ble vellykket gjennomført av brannvesenet fra Follo/Frogn. Ni trafikanter ble senere evakuert fra tunnelen av redningsmannskap.(SHT, 2013)

Brannlaget fra Hurumsiden besluttet også å ta seg inn i tunnelen, men måtte forlate kjøretøyet når dem møtte røykproppen. De fikk store problemer som følge av røykutviklingen, fare for påkjørsler og avstanden til brannobjektet. Etter nesten å ha blitt påkjørt av evakuerende trafikanter klarte dem tilslutt å evakuere ut av tunnelen den veien dem kom fra. Det var også fare for påkjørsel av de trafikantene som hadde forlatt bilene sine og evakuerte til fots. Etter en rekke små kollisjoner med objekter inne i tunnelen, samt flere tilfeller av motorstans, valgte seks trafikanter som var i en bil å fortsette til fots. De møtte brannlaget fra Hurumsiden og evakuerte sammen med disse. (SHT, 2013)

VTS hadde gjennom sitt videoovervåkingssystem en viss oversikt over de trafikantene som befant seg inne i tunnelen før denne ble røyklagt. Det ble i ulykkesrapporten konkludert med oversikten VTS hadde gjennom kameraovervåking av tunnelen og direkte kontakt med trafikantene i SOS-boksene, i tillegg til nødetatens brann- og redningsinnsats, reddet liv denne dagen. Havarikomisjonen ytret

også i ulykkesrapporten sin bekymring for brannsikkerheten i ettløpstunneler som kun sikrer minimumssikkerhetsnivå. (SHT, 2013)

2.1.3.3 *Mont Blanc tunnelen 1999*

Brannen i Mont Blanc-tunnelen på grensen mellom Frankrike og Italia 1999 hadde en antatt brannstyrke på over 200 MW. Krevde 39 menneskeliv. Et tungt kjøretøy lastet med mel og margarin får tekniske problemer og tar fyr midt i tunnelen. Brannslukkingen pågikk i to dager. (DSB, 2014b)

Tunnelen bygd i 1965 er en lang ettløps fjelltunnel på 11,6km. Den var utstyrt med 18 tilfluktsrom for brann, kontrollrom ved hver utgang, nødtelefoner, kameradekning, røykdeteksjon og hadde et eget dedikert redningslag. I løpet av de 35 årene den hadde vært i drift hadde alle branntilløp blitt håndtert raskt uten å få utvikle seg, tunnelen var til da ansett som svært trygg.(Society, 2004)

Brannen utvikler seg raskt og trafikanter i kø bak brannobjektet som er den retningen ventilasjonen går mot, blir så raskt omhyllt av røyk at deres biler vil ikke starte og dem finner ikke veien til tilfluktsrommet i nærheten av dem. Brannmannskap som kommer kjørende inn fra denne siden, kjenner lite til situasjonen og treffer plutselig røykproppen og motoren på deres brannbil blir kvalt. Brannmennene rømmer så til et vedlikeholdsrom og blir fanget her i over 5 timer. Pga. av en svært kraftig brann, ugunstig vind og dårlig styring av ventilasjonssystemet møter også brannmenn som kommer inn i tunnelen fra motsatt side røyk lenge før dem kommer til brannen. Disse må søke ly i et tilfluktsrom, og blir reddet ut av tunnelen gjennom en ventilasjonssjakt. Brannmannskapene gir da opp all innsats i tunnelen.

Overvåkningskameraene ble ubrukelige etter kort tid pga. røyk. Uten sikt visste ikke operatørene eller beredskapspersonell om de 38 trafikantene fanget i tunnelen. Disse 38 og en brannmann omkom, og flere andre brannmenn hadde store problemer.

Viktige punkter fra brannen identifisert i artikkel i det norske fagmagasinet brannmannen. (Falck-Ytter, 2001)

- Det var ingen rømningsveier utenom tunnelåpningen.
- «Sikre rom» ble benyttet av få. Brann dørene holdt bare i to timer.
- Ventilasjonsanlegget sørget for at brannen fikk rikelig lufttilgang.
- Det var ingen felles ledelse for den italienske og franske kommandosentralen.
- Det var ikke holdt felles øvelser.
- Detektorene ga ikke alarm til den italienske siden. Mange biler ble derfor sluppet inn i tunnelen etter at brannen oppsto.
- Første brannbil rykket ut fra fransk side ved tunnelåpningen ca. 2 minutter etter brannstart og måtte gi seg 750 meter fra brannstedet ca. 6 minutter senere. Neste brannbil som kjørte inn etter ca. 4 minutter, kom ikke nærmere enn 1050 meter. Tredje brannbil kjørte inn etter 17 minutter og stoppet 2700 meter fra brannen. Fjerde brannbil kjørte inn etter 43 minutter og måtte stoppe 4800 meter fra brannstedet.
- Første brannbil fra italiensk side var ved tunnelåpningen 20 minutter etter brannstart og møtte røykfronten ca. 900 meter fra brannstedet.
- Ikke alle i brannbilene hadde bærbart røykdykkerutstyr.

2.1.3.4 St. Gotthard-tunnelen 2001

Brannen i St. Gotthard-tunnelen i Sveits 2001 skjedde etter kollisjon mellom to vogntog. Brannen hadde en antatt brannstyrke på over 200 MW, og beregnet maksimum temperatur var på 1200 grader. Brannen krevde 11 menneskeliv.

Kollisjonen og brannen oppsto 1,2 km fra den sørlige tunnelåpningen i den 16,3km lange tunnelen. Tunnelen består av et løp med to kjørefelt i hver retning, og en parallelt tunnellop som kun brukes som rømningsvei med gjennomslag mellom løpene hver 250m for rømning. I etterkant av kollisjonen var det lekkasje fra en av vogntogenes drivstofftank, denne ble antent og forårsaket brannen. Sjøføren i det ene vogntoget fikk raskt snudd trafikken som kom in til ulykkestedet, som gjorde at brannvesenet hadde fri vei til å komme seg raskt til brannen i tunnelen (ca 7 min etter antennelse). Brannen var allerede på det tidspunktet allerede fullt utviklet, som man kan se på bildet (figur) som ble tatt av de første brannmennene på stedet. Brannmennene klarte ikke komme seg nærmere enn 20m av brannen på grunn av varmestrålingen, slukningsarbeidet ble også avbrutt på grunn av en eksplosjon ca 30 min inn i slukningsinnsatsen . (Alan Beard, 2005)



Figur 6: Bilde tatt av de første brannmenn på ulykkestedet ca 7 min etter antennelse.(Alan Beard, 2005)

Brannen spredde seg så gradvis til flere andre tyngre kjøretøy som sto på rekke bak(nord for) ulykkestedet, og det var tilslutt syv tunge kjøretøy som bidro til brannen. Ventilasjonen som gikk mot nord, gjorde at det også var vanskelig for brannmennene som prøvde å nå brannen fra den siden også. Det ble dermed gjort forsøk å angripe brannen fra siden, gjennom rømningsvei dørene fra sideløpet. Dette var også gjennomført med bare delvis hell siden varmen var så intens, eksplosjonen og at deler fra tunnelens takkonstruksjon kollapset gjorde at dem måtte trekke seg tilbake underveis. På tross av at brannen ble forsøk slukket i fra flere hold, hadde alle slukningsforsøkene kun en marginal effekt på brannen, men de klarte å stoppe spredningen videre mot nord. Brannen varte i 24 timer, og når brannen var under kontroll ble det funnet 11 omkomne på nord siden av brannen.(Alan Beard, 2005)

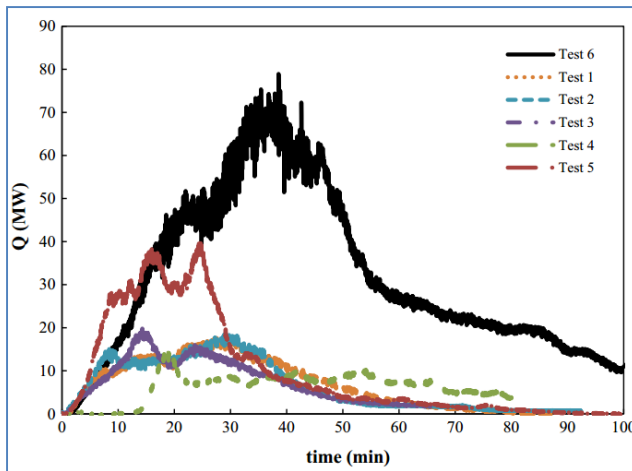
2.1.4 Tid til slukking

For å illustrere viktigheten med slukkeinnsats, å starte slukking så fort som mulig og for å se hvilket tidsaspekt det kan være snakk om, vil jeg vise til tester som ble gjennomført av svenske forskere i samarbeid med svensk transport administrasjon ved Runhamar tunnel. (Haukur Ingason, 2014)

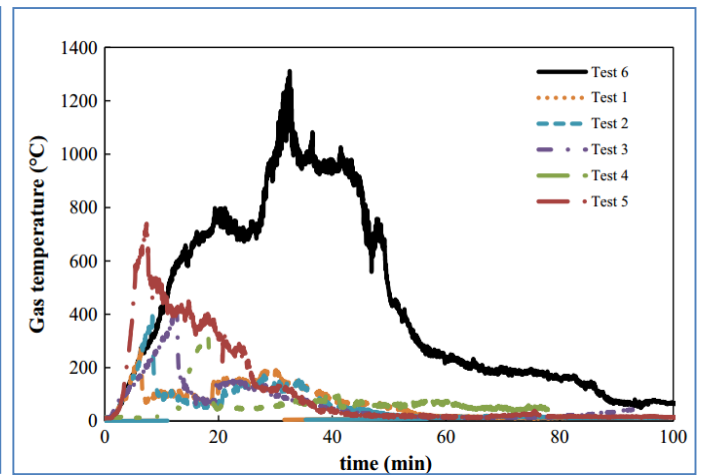
Testene ble gjennomført som en studie i forkant av flere større tunneler som planlegges i nærheten av Stockholm. Dette er fullskalatester med trepaller som brensel i en størrelsesorden sammenlignbart med en trailer, teoretisk potensial til å kunne gi en 100 MW brann. Slokkesystemet som ble brukt var et enkelt fastmontert anlegg, som besto av parvise dyser hver 6. meter. Dysene var plassert i nærheten av taket på tunnelen og hadde spray retning horisontalt mot hver sin tunnelvegg, med stor dråpestørrelse. Hver dyse gir 375 ltr./min, omtrentlig samme vannmengde som brannmann med brannslange. Slokkemiddel var rent vann uten tilsetninger.

Tabell 1: Kort beskrivelse og utdrag fra resultat, av de ulike testene (Haukur Ingason, 2014).

	Beskrivelse	Tid fra antennelse til vann på brann	Q_{\max} (MW) "max effekt" av brannen	q'' (kW/m ²) på target 5 meter fra enden av brannobjekt. Forventet eskalering ved 20 kW/m ² eller mer.
Test 1	Aktivering 2 min etter deteksjon (tak =167°C)	6min	17,7	0,5
Test 2	Aktivering 4 min etter deteksjon	8min	18,5	0,5
Test 3	Aktivering 8 min etter deteksjon	13 min	15,2	0,6
Test 4	Pressenning som dekket brenselet, senere deteksjon og brann dypere i brenselet.	18 min	11,0	0,6
Test 5	Ingen stålplate i forkant av pallene, derfor fri sirkulasjon av luft gjennom brenselet.	7 min	39,6	2
Test 6	Slokkesystemet feilet, derfor svært lite vann på brannen.	Brant fritt	78,9	39 (rundet 20 kW/m ² etter ca 28 min.)



Figur 8: Effekt kurve for testene(Haukur Ingason, 2014)



Figur 7: Temp. ved tak 9m nedstrøms brann(Haukur Ingason, 2014)

Her ser man tydelig effekten vann har på brannen, og hvor viktig det er og tidligst mulig i brannforløpet få tilført vann eller annet slukkemiddel. Ved å tilføre vann tidlig, vil man ikke nødvendigvis slukke brannen øyeblikkelig, men hindre brannen i ekspandere og eskalere til andre objekter. Hvis man klarer å starte slukkingen innen 20 minutter vil man i mange tilfeller kunne hindre brannen å nå kritiske temperaturer og brannrater, og dermed kunne unngå et potensielt katastrofe scenario. Eksperimentet viste også at ved tidlig aktivering av slukkesystemet, ble det generert mindre mengder røyk og giftige gasser.

Dette taler for å ha systemer tilstede som bidrar til å enklere og raskere få startet slukkingen.

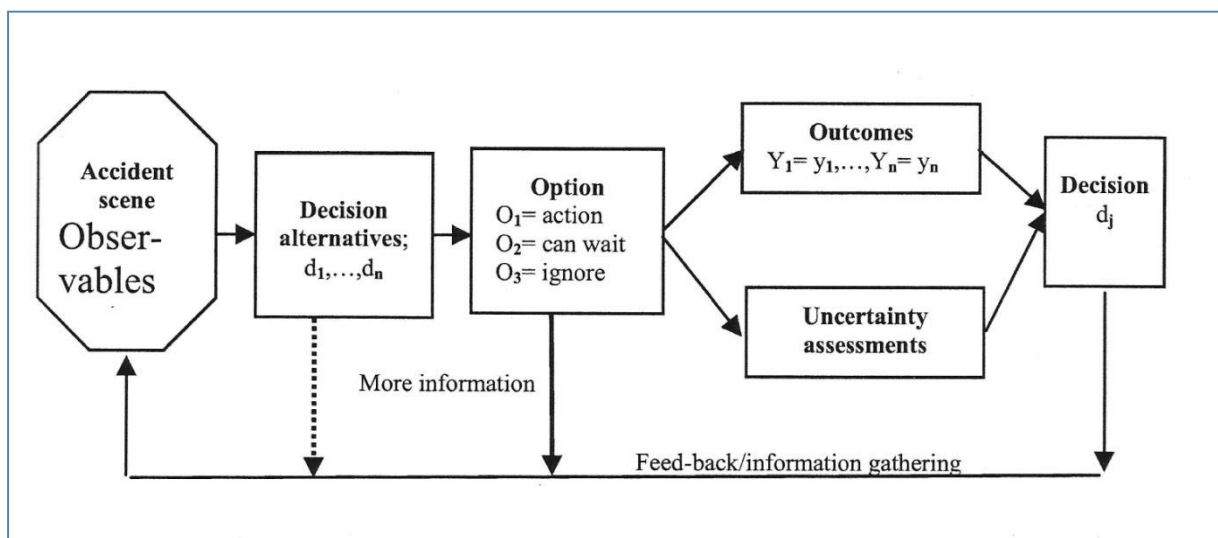
2.1.5 Krise håndtering

Jeg vil her belyse elementer som er viktige ved beslutningstaking ved faktiske ulykker/nødsituasjoner, slik at man bedre forstår viktigheten med redusere og håndtere usikkerhet ved blant annet å innhente pålitelig og lett håndterbar informasjon og bruke all tilgjengelig informasjon.

For å være i stand til å håndtere ulykkes situasjoner er det viktig å være godt forberedt, ha god beredskapsstyring og god beredskapsledelse i felt. Bruk av risikoanalyser, scenario beskrivelser, beredskapsplan for objektet, trening/øvelse av innsatspersonell og ha en god organisasjon på plass er gode redskap for å komme langt på vei. Det er i tillegg til dette nødvendig for å gjennomføre en effektiv og sikker håndtering av en ulykke/krise situasjon at det blir gjennomført raske og gode avgjørelser av beslutningstagerne i felt. Det er da essensielt at avgjørelsene baseres på tilstrekkelig sikker og nøyaktig informasjon.

I Eivind Rakes PhD thesis "Crisis management" (Rake, 2008) ser han nærmere på lederskap og beslutningstaking som blir utført av beslutningstakere i felt, som brannberedskapsledere. Han ser da blant annet nærmere på håndtering av usikkerhet og på prinsipper som "risikobasert beslutningstaking" og "risikoinformerte beslutningsprosesser" opp mot den faktiske gjennomføring av beslutningstaking av erfarne innsatsledere. For å danne et bilde av hvordan beslutningsprosessen er i virkelige hendelser ble det gjennomført mer en 40 intervjuer av innsatsledere fra politi, ambulans og brannvesen, det ble også gjennomført observasjoner fra 22 reelle hendelser.

Det ble konkludert med i denne studien at beslutninger gjort av beslutningstakerne i felt ble hovedsakelig basert på egne erfaringer, prosedyrer og standard scenarioer som har blitt øvd på. Dette ble ansett som uheldig siden usikkerhet er den mest utfordrende funksjonen i en krise situasjon. Usikkerhet håndteres best ved bruk av dynamiske risiko informerte/baserte beslutningsprosesser som evaluerer ulike tiltak og ikke kun bruk av "gjør det slik vi pleier" innstilling. Med å innarbeide for eksempel metoder for risiko informert beslutningsprosesser (se figur 9) vil man kognitivt bruke all tilgjengelig informasjon til å raskt prosessere hvilke avgjørelser som må tas raskt, hvilke som kan vente og ulike alternativer. Man kan dermed være mer tilpasningsdyktig og gjøre bedre avgjørelser i dynamiske situasjoner med stor grad av usikkerhet (unormale situasjoner). (Rake, 2008)



Figur 9: Eksempel på metode for risiko informert beslutningsprosess(Rake, 2008)

Man ser tydelig ut fra flytdiagrammet viktigheten av informasjons innhenting i forkant av og under en beredskapssituasjon. Med mer pålitelig informasjon tilgjengelig vil man kunne ha bedre alternativer, lettere se hva som er de riktige valgene og forutse konsekvensene av tiltak/avgjørelser med mindre grad av usikkerhet.

2.1.6 Definisjoner og begrepsforklaringer

For å gi klarhet av hva som menes med og ligger bak begreper som blir brukt i denne oppgaven gir jeg her en kort introduksjon til enkelte begreper jeg mener trenger det i denne settingen. I denne oppgaven står begrepene innsatsledelse, rammebetingelser og usikkerhet sentralt, og de vil her defineres slik:

Innsatsledelser

Ved større ulykker hvor sikkerheten til mennesker er i fare, er det politiets oppgave (hvis tilstede) å ha den overordnede innsatslederen for alle nødetatene. Det er likevel øverste leder for brannvesenet på stedet som tar avgjørelsene for beredskapspersonellet fra brannvesenet, hans tittel er da fagleder brann. I denne oppgaven er det brannvesenets beredskapsinnsats som er i fokus, og referering til innsatsleder vil her mene den som leder brannberedskapen. Hvem som leder brannvesenets innsats og har rollen som innsatsleder/fagleder brann beskrives som følgende i *Veiledning til forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen §4-10*

Overordnet ledelse av brannvesenet under innsats ivaretas av brannsjefen eller overordnet vakt. Der overordnet vakt ikke er etablert, og brannsjefen eller dennes stedfortreder ikke er tilgjengelig, ivaretas brannsjefens myndighet av utrykningsleder.

Ved større branner og ulykker bør brannsjefen og/eller stedfortreder alltid vurdere om han skal rykke ut til skadestedet, inngå i etablert kommandosentral (KO) eller etablere egen KO når politiet ikke er tilstede. Brannsjefen/stedfortreder behøver ikke overta ledelsen når disse ikke har overordnet vakt, men om brannsjefen/stedfortreder overtar ledelsen, må han klart tilkjenne dette overfor øvrige ledere.(Ref.

Veiledning til forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen)

Rammebetingelser: Rammebetingelser for innsatsleder kan være en et noe vidt begrep. I denne oppgaven er definisjonen noe snevret inn og tilpasset oppgavens kontekst. Rammebetingelser for innsatsleder ved en tunnelbrann er hva informasjon innsatslederen har tilgjengelig som utgangspunkt og kan innhente underveis i beredskapsinnsatsen ved en tunnelbrann. Dette danner grunnlaget for de raske avgjørelsene som innsatsleder må ta.

Usikkerhet

Det finnes også flere definisjoner av begrepet usikkerhet. Definisjon av usikkerhet presentert nedenfor er hentet fra Society of Risk Analysis glossary (SRA, 2014). Denne ordlisten er laget av en internasjonal komité for å lage en felles definisjon av ulike termer og begrep brukt innenfor risikofaget.

Overordnet kvalitativ definisjon(SRA, 2014)

- Ikke vite den sanne verdien av en mengde eller fremtidige konsekvenser av en aktivitet
- Ikke perfekt eller ufullstendig informasjon / kunnskap om en hypotese, en mengde, eller forekomst av en hendelse

Begrepet usikkerhet er også i senere tid blir anerkjent som en viktig del av begrepet risiko. Blant annet har Petroleurstilsynet laget et notat(PTIL, 2016) hvor dem definerer risikobegrepet, usikkerhet om konsekvensene er her kjernen i risikobegrepet. Her beskriver dem begrepet usikkerhet slik:

Usikkerhet dreier seg om mangel på informasjon, manglende forståelse eller kunnskap. Usikkerheten om konsekvensene relaterer seg gjerne til:

- Hva er mulige effekter av virksomheten som drives, og av beslutninger som tas?
- Hvilke tilstander eksisterer og kan inntreffe?
- Hvilke hendelser kan inntreffe, og hvor ofte?
- Forstår vi situasjonen vi står overfor?
- Er det noe spesielt med situasjonen vi står ovenfor?
- Har vi gode modeller?
- Har vi tilstrekkelig informasjon og hva - forutsetter vi?
- Hvor gode vil de risikoreducerende tiltakene være?

Type usikkerhet, om det er stor eller mindre usikkerhet, og om usikkerhet kan reduseres, er viktige momenter. Slike vurderinger kan stimulere til et mer reflektert forhold til om det er behov for å være særlig forsiktig, særlig forberedt, særlig beskyttet, særlig robust eller særlig fleksibel.

Å ta hensyn til usikkerhet påvirker altså hvordan en forholder seg til risiko. Typiske spørsmål når usikkerhet skal tas hensyn til kan være:

- Har vi tilstrekkelig kunnskap til å ta en god beslutning?
- Hvordan ta gode beslutninger i lys av usikkerheten som eksisterer?

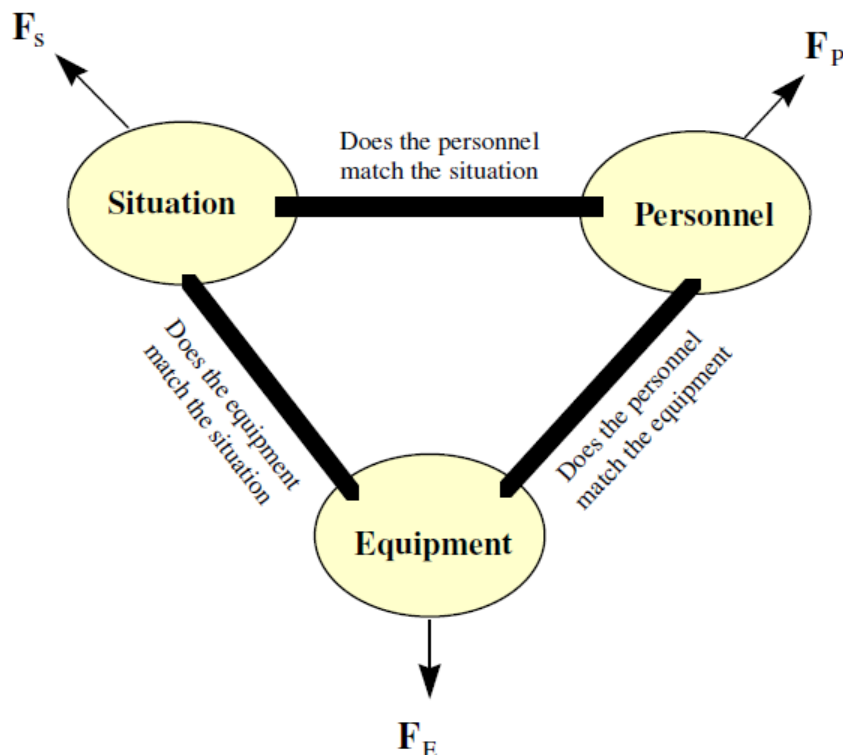
Usikkerhet og kunnskap er beslektede begreper, og vi ser at begrepet «kunnskapsstyrke» ofte brukes for å beskrive grad av usikkerhet i de vurderinger og beskrivelser som er gjort når det gjelder hvilke konsekvenser virksomheten kan føre til. (PTIL, 2016)

I denne oppgaven vil bruken av begrepet usikkerhet dreie som om den grad av usikkerhet innsatsleder gjør beslutninger, og graden av usikkerhet bygget inn i informasjonen innsatsleder mottar.

2.1.7 Fundamental samhandling

I denne oppgaven evaluerer jeg mulighetene ved å implementere ubemannede systemer som en del av verktøyboksen ved tunnelbrannberedskap, men ved å implementere et nytt beredskapssystem er det flere forhold man må ta til betraktning.

Ved valg av systemer for bruk under beredskap eller ved innføring av nye typer beredskapssystemer må man være observant på å ikke se seg blind på detalj nivå, men huske å ta et skritt tilbake å se det store bildet. For å ha et beredskapssystem som er tilgjengelig når det virkelig trengs, er det flere faktorer som spiller inn. Professor Ove Njå ved universitet i stavanger har sett nærmere på dette og vektlegger viktigheten av den fundamentale samhandlingen mellom beredskaps personell, nødssituasjon og beredskapsutstyr som er planlagt å bruke (se figur 10). (Njå, 1998)



Figur 10: Samhandling mellom elementer i beredskapsplanlegging (Njå, 1998)

For at brannberedskapen i tunnelene skal fungere best mulig ved en ulykkesituasjon, er det viktig at grunnelementene er på plass og tilpasset hverandre. I figuren over er det illustrert hvordan man kan se for seg disse. I dette tilfellet illustrerer "Situation" de brannscenarioene man kan se for seg i en tunnel, disse kan variere noe i de ulike tunnelene avhengig av forventet type og mengde trafikk og tunnelens utforming. "Personnel" er det aktuelle brannmannskapet og deres egenskaper og kunnskap. "Equipment" kan være utstyr dem tar med seg eller utstyr plassert i/ved tunnelen.

Dette er viktig å huske på når man ser på "nye" verktøy å bruke i en beredskaps situasjon. I dette tilfellet er relevansen å se viktigheten med at systemet er tilpasset de situasjonene som det er ment det skal fange og at det er tilpasset brannmannskapets behov og kompetanse. Hvis man feiler allerede her i det fundamentale, kan systemet forøvrig være så "bra" det vil, uten at det vil kunne utføre sin hensikt.

Gode og godt kommuniserte risikoanalyser og god kommunikasjon med bruker av systemet er viktige virkemidler i planleggingsfasen for å sikre seg et godt fundament for å designe et beredskaps system.

2.2 Ubemannet teknologi

Ubemannet teknologi er i en kommersiell setting et ungt fagområde, men det har spesielt i det siste tiåret blitt forsket og utviklet mye på området og vi ser stadig nye og bedre løsninger komme på markedet. Teorigrunnlaget for den spesifikke bruk av ubemannet teknologi som ses på i oppgaven er derimot ikke veletablert. For å sette den teoretiske rammen rundt ubemannet tematikken i denne oppgaven vil jeg i dette kapitlet se overordnet på dagens forskning og bruk av ubemannet teknologi i ulike andre beredskapssituasjoner og kommersielle settinger. Jeg vil også se nærmere på noen utvalgte relevante bruksområder for å kunne dra paralleller og dermed lettere kunne se mulig nytte dette kan ha i beredskapssituasjoner ved tunnelbrann. Først skal jeg se på det juridisk perspektivet ved bruk av ubemannede farkoster.

2.2.1 Lover og forskrifter

Som nevnt tidligere er bruk av ubemannede systemer forholdsvis nytt, og det er dermed ikke blitt etablert et regelverk som dekker dette fullendt. For å få en oversikt over det juridiske aspektet har jeg diskutert problemstillingen rundt bruk av flygende eller kjørende ubemannede systemer i tunneler med en advokat som har erfaring rundt nyvinning innen ubemannet teknologi.

Utvikling av ny teknologi har i moderne tid hatt enn akselererende hastighet, og historisk sett har denne utviklingen nesten alltid vært noen steg foran gjeldende lovverk. Det har dermed blitt gjort tilpasninger av lovverket i etterkant av at ny teknologi har etablert seg i nye bruksområder. Innen lovverket er tilpasset og tydeliggjort for å dekke nyvinningen, må man bruke den eller de lover og forskrifter som er nærmest og plukke ut de delene av dette som er relevante. I dette tilfellet, hvis man ser på bruk av flygende eller kjørende ubemannede systemer inne i en tunnel med personer i, vil man måtte se på hvilke regelsett som er relevante for ubemannede luftfartøy og for kjøretøy på vei.

Når det gjelder flygende ubemannede systemer er lovverket allerede på vei etter, og det ble i desember 2015 kunngjort en ny forskrift "Forskrift om luftfartøy som ikke har fører ombord" ("Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv.," 2015). Forskriften har hjemmel i

("Lov om luftfart (luftfartsloven)," 1994) så den er dermed mye rettet mot bruk av luftrom som ikke er relevant i dette tilfellet, men inneholder også deler om krav til pilotens og fartøyets flyvedyktighet og sikkerhet ved nærhet til mennesker. Det nevnes også følgende angående beredskapssituasjoner:

§ 55. Flyging når det har skjedd ekstraordinære hendelser

Flyging over eller i nærheten av et sted nødetatene eller Forsvaret har etablert et innsatsområde i forbindelse med ulykke eller annen ekstraordinær hendelse, er kun tillatt med tillatelse fra innsatsleder.

Når det gjelder kjørende ubemannede løsninger vil man måtte se mer mot ("Forskrift om krav til kjøretøy," 1990), ("Forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (kjøretøyforskriften)," 1995), ("Forskrift om godkjenning og registrering av utrykningskjøretøy," 2002) og ("Lov om vegtrafikk (vegtrafikkloven)," 1965) som disse forskriftene har hjemmel i. Det nevnes ikke i disse noe angående bruk av ubemannede systemer, men setter føringer for tekniske krav til kjøretøy, krav til fører og godkjenninger av utrykningskjøretøy.

For å konkludere må man kunne si at regelverket per dags dato ikke er modent eller tilpasset å dekke bruk av denne form av ubemannet teknologi. Og det må skje noe med lovverket før ubemannet teknologi kan tas i bruk på måter som diskuteres i denne oppgaven eller andre bruksområder innenfor vei og trafikk, men det kan kanskje i denne sammenhengen være mulighet for dispensasjoner siden brannvesen vil kunne være eneste bruker. Dette er selvfølgelig en høyst spekulativt påstand.

2.2.2 Utvikling og Forskning

Utvikling og nyvinning innen ubemannet teknologi har stor fokus internasjonalt, hvor store internasjonale forskningsmiljø og bedrifter investerer både tid og penger for å bli best på sin del innen teknologien. For eksempel forsker flere av de store bilprodusentene på selvkjørende biler. Tilnærmingen har vært gradvis, hvor sensorer og egenskaper gjør at biler på markedet i dag blant annet selv kan kontrollere hastigheten i henhold til trafikken, lukeparkere og nødbremse for fotgjengere. Teknologien er i dag kommet så langt at det flere steder er testbiler som kjører rundt uten hjelp av menneskelig inngrep, men disse overvåkes av en sjåfør som er klar til å gripe inn hvis det skulle være nødvendig. Også datagiganten Google har utviklet sin helt egen selvkjørende bil, og teknologien har nå blitt testet i trafikken i over 2,5 millioner kilometer. (Google.com, 2016)

Militær og romfart er miljøer som kanskje lengst har holdt på med og forsket på bruk av ubemannet teknologi. Dette er naturlig siden både krigssoner og det ytre rom er lokasjoner som er forbundet med høy risiko for mennesker å bevege seg i.

Også i Norge er det stor fokus på forskning og utvikling av ubemannet teknologi. Ved NTNU (Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet), som innehar et av Norges fremste forskningsmiljø er det opprettet et senter for autonome marine operasjoner og kontrollsystemer, kalt AMOS. Senteret ble opprettet 2013 og består i dag av i overkant av 100 medvirkende forskere, med Statoil, Det Norske Veritas og SINTEF-gruppen som hovedsamarbeidspartnere. De samarbeider også med flere andre norske industribedrifter og internasjonale selskaper som blant annet NASA. Senteret har som mål å bli verdensledende på autonome marine operasjoner og systemer. Forskningsresultatene vil bli brukt til å utvikle intelligente skip og havkonstruksjoner, selvstyrte ubemannede fartøy (under, på og over

vann) og roboter for høy presisjon og sikkerhetskritiske operasjoner i ekstreme områder. Disse skal fungere enten som hjelpemiddel for mennesket, eller som helt selvstyrte systemer. Og skal kunne operere der menneske ikke kan eller vil være, siden det enten er for farlig, for skittent, for kaldt eller for tidskrevende og kjedelig. Dette er ansett som nødvendig for å møte utfordringer knyttet til miljø og klima, trygg sjøtransport, kartlegging og overvåking av store hav og kystnære områder, offshore fornybar energi, fiskeri og havbruk samt havfiske og arktisk olje og gassleting. (NTNU, 2016)

2.2.3 Ubemannet teknologi i beredskapssituasjoner

Som en del av søken etter hvordan kan ubemannet teknologi kan brukes ved tunnelbrann beredskap, ser jeg her nærmere på bruk og nytte av ubemannet teknologi i ulike andre beredskapssituasjoner.

Ubemannet teknologi, spesielt droner har fått oppmerksomhet til bruk beredskap. Bruk i beredskapssituasjoner kan være attraktivt pga. av flere forhold: (Abrahamsen, 2015)

- For å få oversikt i kaotiske nødssituasjoner
- I mange beredskapssituasjoner stilles beredskaps personell i potensiell fare
- Ugjestmilde miljø for menneske
- Tid er som oftest kritisk
- Høy usikkerhet og liten grad av verifisert bakgrunnsinformasjon
- Informasjon kommer fra flere hold
- beslutningstakere er posisjonert et stykke fra ulykkesområdet og får ved hjelp av ubemannet teknologi klarere innblikk i situasjonen.
- Behov for å dekke store områder og distanser
- Dynamisk utvikling av situasjonen som må kontinuerlig monitoreres

Nedenfor ser man eksempler på hvordan ubemannet farkoster kan utstyres med forskjellige sensorer og utstyr for å være med på å bidra ved ulike beredskapssituasjoner.

- Trafikk ulykke, kjedekollisjon med flere biler involvert. Det ble her brukt drone med vanlig/infrarødt kamera. Det ble da lettere for innsatsleder å få oversikt over ulykken og hvor skadde befant seg. Og kunne dermed distribuere beredskapspersonell mer effektivt og følge med på utviklingen etter hvert som skadde ble tatt hånd om og fraktet vekk.
- Redningsaksjon på fjellet, i øvelsen var et offer fast i en bratt snøfylt dal og det ble brukt drone og bemannet helikopter. Det ble brukt vanlig kamera og resultatene var nokså like ved bruk av dronen og helikopteret. Når offeret var funnet kunne dronen gå nærmere offeret uten å virvle opp snø fra bakken. Den kunne da bedre se de lokale forholdene rundt offeret som var nyttig for planleggingen av å få redningspersonell ned til offeret. (Abrahamsen, 2015)
- Snøskred, en øvelse med ryggsekker med skredsøkere i "send" modus ble gravd ned i snøen. Dronen ble utstyr med skredsøker og ble brukt til å lokalisere "ofrene" under snøen. Det var her tekniske begrensninger som gjorde at dronen blant annet ikke kunne utstyres med kamera og skredsøker samtidig. Dette siden slikt utstyr ikke er ferdig utviklet og tilpasset bruk for droner, men viser mulighetene til å kunne bruke ulike sensorer på ubemannede fartøy. (Abrahamsen, 2015)
- Person gjennom tynn is på islagt innsjø. Det ble i denne øvelsen brukt en drone med påmontert mekanisk arm. Dronen ble brukt til å frakte en tau ende til personen ute på isen,

og beredskaps personellet kunne så dra offeret opp uten å selv bli påført risikoen med å gå ut på den tynne isen. (Abrahamsen, 2015)

- Søk etter personer i komplett mørke. Det ble her brukt en drone med påmontert IR-kamera, søkelys og laserpeker. IR-kameraet bruktes her til å se varme fra personer og menneskelige silhuetter, og kunne dermed ved bruk av IR-kamera og vanlig kamera med søkelys finne personene og ved bruk av den kraftige laserpekeren peke ut objekter for redningspersonellet på bakken. (Abrahamsen, 2015)
- Ved skogbrann, for å gi oversikt til beslutningstagerne ved å se utviklingen av brannen, se hvilke objekter som er i fare å bedømme behov for evakuering. Dette ved bruk av vanlig kamera og lyskaster og ved bruk av infrarødt kamera. Dette er en jobb et helikopter kunne gjort vel så bra, men som regel har man ikke tilgjengelig helikopter ved alle branner til alle døgnets tider.

Oppsummering: Nyttien av ubemannede systemer i de fleste av disse beredskaps situasjonene er at teknologien gir informasjon og oversikt for beredskapsleder/beslutningstaker. Dette på en måte som er mer effektiv, billigere og/eller risikoreduserende i forhold til konvensjonelle metoder.

2.2.4 Annen kommersiell nytte

Jeg skal her se på noen eksempler på bruk av ubemannede systemer og sensorer i mer tunnel lignende settinger. For å gi et innblikk i noen av mulighetene her

Ubemannet teknologi har også blitt implementert som en del av inspeksjons program for objekter som er vanskelig/risikofyllt å inspisere ved konvensjonelle metoder. Blant annet i vannfylte tunneler i forbindelse med et kraftverk i Australia. Her måtte tunnelene tidligere tømmes for vann før en eventuell inspeksjon, en operasjon som holdt kraftverket stengt i ca en måned. Dette har nå blitt løst med et ubemannet undervanns fartøy, som skanner tunnelen med bruk av flerstrålet sonar teknologi. De får da et detaljert bilde av tunnelen og tunnelveggene, som kan studeres for sprekkdannelser og sammenlignes med tidligere skanninger. (SnowyHydro, 2013)

Dette er relevant også i tunneler som ikke er vannfylte og det er under utvikling å bruke liknende teknologi i togtunneler for å se etter endringer i tunneloverflaten som en del av varslingssystem for å forutse rasfare i tunneler.

Det har i regi av blant andre USAs homeland defence blitt gjennomført forskning og forsøk med bruk av ubemannede ground vehicle (UGV) i tunnel systemer. (Jacoby Larson, 2014) Denne forskningen ble utført i den motivasjon av å finne en tryggere måte å kartlegge ulovlige flyktningtunneler under grensen mellom USA og Mexico. Forskingen ble lansert i 2011 og gjennomførte begrenset felt testing i 2013. En prototype "Counter Tunnel robot" ble designet for å gjennomføre leting, kartlegging og karakterisering av tunneler med høy autonomi, og for å gi en trygg og effektiv løsning for tredimensjonal (3D) lokalisering, kartlegging, og karakterisering av tunnel miljø. En av hovedmålsetningene for forskningen var å kunne stadfeste nøyaktig lokasjon uten tilgang på GPS signaler. (Jacoby Larson, 2014)

3 Empiri

I dette kapitlet som jeg har kalt empiri vil jeg presentere erfaringer og kunnskap som jeg har samlet gjennom intervju og samtaler med personer med lang erfaring innen de spesifikke tema som er aktuelle. Dette kan være noe avvikende fra hva empiri kapitler ofte inneholder, hvor data fra eksperimenter/spørreundersøkelser legges frem. Empiri stammer fra det greske ordet empeirikos = "erfaringsmessig", og jeg synes derfor empiri er en riktig kategorisering av dette kapitlet. Siden jeg her vil presentere eksperter erfaringer innenfor problemstillingen.

For innsamling av data og informasjonen som skal danne grunnlag til å kunne besvare problemstillingene i oppgaven, har jeg valgt å bruke uformelle intervjuer og samtaler med spesielt utvalgte personer og miljøer. Siden oppgaven dreier seg om snevre fagområder; tunnelbrann og ubemannet teknologi, vil bruk av mer strukturerte datainnsamlingsverktøy som spørreundersøkelser og strukturerte spørsmål og svar intervjuer kunne hemme dynamikken til å få med alle aspekter av fagområdene. Den innsamlede data ville da i større grad blitt begrenset til min forutbestemte oppfattelse og forkunnskap. Siden deler av oppgaven ser på en fundamentalt ny problemstilling er bruken av dialog og uformelle samtaler avgjørende for å få også ekspertene til omstille tradisjonell tankegang. Bruk av dialog i denne oppgaven er derfor mer på sin plass her enn det ville vært i mange andre vitenskapelige oppgaver. Ved å ha uformelle intervju/samtaler hvor jeg legger den røde tråden, men samtidig åpner for digresjoner vil erfaring/informasjons innsamlingen i dette tilfellet være mer fruktbar.

Kapitlet er delt inn i to hoveddeler. I første del (kap 3.1) vil jeg presentere resultater fra intervjuer med Follo og Stavanger brannvesen angående tunnelbrann beredskap, som vil gi direkte input til besvarelsen av den første underproblemstillingen "*Hvilke rammebetingelser operer skadestedsledere ved tunnelbranner med i dag, og hvilke utfordringer står dem ovenfor?*". Andre del (kap3.2) vil omhandle ubemannet teknologi og jeg vil her presentere erfaringer, løsninger og teknologi innhøstet gjennom samtaler med tekniske eksperter innenfor blant annet droner og undersjøiske arbeidsroboter. Denne delen vil være en viktig del av grunnlaget til å kunne svare på de to underproblemstillingene som omhandler bruk og effekt av ubemannet teknologi

3.1 Kartlegging av rammebetingelser for innsatsleder ved tunnelbrann i dag.

Kapitlet er delt inn i fem delkapittel. I første del kapittel 3.1.1 presenteres metoden for datainnsamlingen(intervju), intervjuguiden og hvordan jeg har tenkt å presentere og bruke data/informasjonen videre i oppgaven. De følgende delkapitlene er basert på de fire hovedelementene som intervjuene ble delt opp i og som man ser igjen i intervjuguiden.

3.1.1 Metode

3.1.1.1 Kvalitative intervju

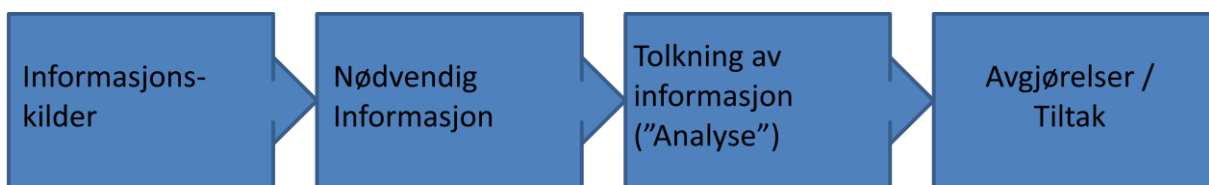
Som grunnlag for analyse er det lagt til grunn intervjuer med representanter fra brannvesen som har direkte erfaringer med å være beslutningstaker ved tunnelbrann og/eller har stor involvering i hvordan tunnelberedskap skal håndteres. Det er også lagt til grunn erfaringer fra brannrapporter fra historiske hendelser som nevnt i kapittel 3.1.2.

Intervjuene som ble gjennomført er kjennetegnet av følgende prefiks:

- Valg av intervju objekter: Strategisk utvelgelse, personer fra to ulike brannvesen distrikt som har dyp kjennskap og førstehåndserfaring med tunnelbranner og innsatsledelse.
- Type intervju: semi-strukturerte intervjuer (fleksibel intervjuguide)
- Hjelpemiddel under intervju: Intervjuguide med matrise og tankekart (se vedlegg A).

3.1.1.2 Intervjuguide

Intervjuguiden er delt inn i fire kategorier/hovedspørsmål for å få dekket hele informasjons flyten i en tunnelberedskaps situasjon, slik at intervjuet tar oss kronologisk gjennom situasjonen fra deteksjon til igangsatt redning/slukking. Hvor jeg i hver kategori har tatt med ledeord som jeg anså som relevante for å holde flyt i samtalen. For å kunne i samarbeid identifisere elementer og deretter diskutere kritikalitet og usikkerhet.



Figur 11: Illustrasjon av hovedkategorier i intervjuguide og hendelseskronologisk intervjuflyt

Valget av å ha såpass få direkte spørsmål var at dette passer best til den løse intervju formen som jeg var ute etter. Og på denne måten forsøke å unngå å låse intervju objektet for mye til mine ideer, men heller inspirere til å få frem nye aspekter og hva intervjuobjektet selv anser som viktig.

I tillegg inneholder intervju guiden en introduksjonsdel for å bli bedre kjent med intervjuobjektet og få klarhet i termer og begreper. Avslutningsvis har jeg lagt en del som omfatter ubemannet teknologi og høre hvilke tanker intervju objektene har rundt bruk av slike løsninger i en tunnelbrann beredskapssituasjon.

3.1.1.3 Presentasjon av og videre bruk av data

For å kunne svare på problemstillingen er jeg ute etter en metode som kartlegger og fremstiller data/informasjon om rammebetingelsene til brannvesenet ved en tunnelbrann i dag på en god måte. Samtidig for å kunne generalisere må fremstillingen lett kunne manipuleres til å kunne tilpasses ulike spesifikke tunneler og tunneltyper. I tillegg til dette er jeg ute etter at fremstillingen også kan manipuleres til å "vise" effekten ved å legge til ny teknologi, som bruk av ubemannet teknologi. For å få til dette har jeg opprettet en tilpasset modell/matrise som kan på god vei tilfredsstille nevnte behov (Figur 12).

		Informasjons-Kilder								
		Samlet info	Objektplan / Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme-deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt
Informasjon	Tunnel									
	Ventilasjon									
	Angrepsretning									
	Tunnel utforming									
	Trafikk situasjon									
	Rømningsveier									
	Brannfarlig isolasjon									
	Kommunikasjon									
	Brann									
	Lokasjon brann									
	Intensitet/størrelse									
	Hva brenner									
	Eksplisjonsfare									
	Eskalasjonspotensial									
	Røykutvikling									
	Trafikanter									
	Antall personer i tunnel									
	Lokasjon trafikanter									
	Bevegelsehemmede									
	Personskade									

Figur 12: Matrise: Info forventet av informasjonskilder, med tilhørende usikkerheter. (med et eksempel med info fra kamera)

Grønn Sikker informasjon - Gul: Noe usikkerhet - Rød: Stor grad av usikkerhet

For å forklare nærmere oppsettet av matrisen, hva denne kan gi og hvordan den kan brukes. I den horisontale aksene i matrisen vises de ulike kildene til informasjonen som danner grunnlaget til informasjonsinnhentingen ved en tunnelbrann. Den vertikale aksene i matrisen viser ulike typer informasjon som er relevant for beredskapsledelsen å ha for å best mulig kunne håndtere en tunnelbrann. Fargekodingen med definisjon under matrisen viser i hvilken grad denne type informasjon fra aktuell informasjonskilde er relatert til nøyaktighet og usikkerhet. Ingen farge betyr at informasjonskilden ikke gir informasjon for den informasjonskategorien. Matrisen kan da gi et bilde på hva informasjon som er forventet tilgjengelig, hvor den kommer fra og hvor stor grad denne informasjonen er å stole på. Man kan da gjerne se at flere ulike kilder kan gi samme type informasjon med ulik grad av usikkerhet og nøyaktighet, men hvis flere kilder gir samme type informasjon og denne stemmer overens vil dette senke usikkerheten til beslutningstakere.

I "samlet info" kolonnen vises all tilgjengelig informasjon akkumulert fra de ulike informasjonskildene, og viser den grad av usikkerhet som den "beste informasjonskilden tilgjengelig" har. Denne kolonnen vil i drøfting og analysekapittelet (kap. 4) endre navn fra "samlet info" til navnet til en spesifikk tunnel. Ved å "slå av" eller legge til akkurat de informasjonskildene som er gjeldende i den tunnelen, vil kolonnen vise den samlede informasjon tilgjengelig for akkurat denne tunnelen. Jeg vil også i analysen legge til "tenkte informasjonskilder" basert på de tre konseptene av ubemannet teknologi (presentert i kapittel 3.2.3), og deretter kunne se effekten de kan ha i "samlet informasjon" kolonnen.

Fargekodingen som brukes på "grad av usikkerhet" i matrisen er delt inn i tre nivåer. Denne rangeringen er en del av den kvalitative forskningsmetoden og brukes for å beskrive systemenes egenskaper og innsatslederens opplevelse og erfaringer, den er ikke basert på statistiske observasjoner.

- **Grønn:** Sikker informasjon. Informasjon med liten grad av usikkerhet og stor grad av nøyaktighet
- **Gul:** Noen grad av usikkerhet. Stort sett riktig og nøyaktig informasjon, men det kan forekomme feil eller unøyaktighet.
- **Rød:** Stor grad av usikkerhet Informasjonen er i flere tilfeller feil eller er ikke fullendt i forhold til informasjonsbehovet.

Det denne rangeringen skal presentere i matrisen er hvor sikker og nøyaktig er informasjonen fra akkurat denne informasjonskilden, når det gjelder den og den type informasjon. Dette kan forklares bedre ved bruk av eksempelet i matrisen over (figur 5). Den sier at informasjonskilden kamera kan gi oss informasjon angående brannens lokasjon, hva som brenner og om det er personskade. Siden VTS vet nøyaktig hvor kameraet som ser brannen er lokalisert, er informasjon angående "lokasjon brann" fra informasjonskilden "kamera" ansett som Grønn: Sikker informasjon. Kameraet kan se hva som brenner, for eksempel et vogntog fra Nor-Cargo. Hva dette vogntoget er lastet med er det derimot ikke sikkert at man kan se ved bruk av kameraet, dermed gir "kamera" informasjon om hva som brenner med "Gul: Noen grad av usikkerhet". Når det gjelder personskade kan kameraet ofte bare gi operatøren en indikasjon om det er personskade i forbindelse med en trafikkulykke, denne informasjonen er derfor Rød: Stor grad av usikkerhet.

Matrisemodellen ble presentert til intervjuobjektene, og det er deres innspill som har bestemt hvilken "informasjon" og "informasjonskilder" som er presentert i matrisens akser. Informasjon og erfaringer som ble samlet i intervjuet blir presentert i de følgende kapitlene og den ferdig utfylte matrisen presenteres i kapittel 3.1.5. *Sammendrag og resultat.*

3.1.2 Informasjonskilder

Informasjonskilder er ment å dekke hvem eller hva som fanger opp informasjonen og gir den videre direkte eller indirekte til beredskapsledelsen. Basert på intervjuene ble følgende informasjonskilder identifisert og diskutert, og vil bli brukt i denne formen videre i rapporten:

Objektplan og beredskapsplan: Disse danner grunnlaget for hvordan brannvesenet skal håndtere tunnelbranner. Beredskapsplanen sier hvordan tunnelbranner skal håndteres av dette spesifikke brannvesen på et generelt nivå. Objektplan er en egen plan for hvert særskilte brannobjekt, i dette tilfelle for hver enkelt tunnel. Denne spesifiserer tunnelens utforming, tilgjengelig beredskapsutstyr, brannventilasjon, angrepsretning, særskilte forhold, m.m. Denne er som regel tilgjengelig i brannvesenets utrykningskjøretøy, og kan gjennomgås under utrykningen.

Evakuerte trafikanter: Mange trafikanter som har observert brannen kjører eller løper ut av tunnelen og i sikkerhet før dem tar kontakt med nødetatene enten via mobiltelefon eller snakker med ankommet nødetat utenfor tunnelen. Disse kan gjerne ha noe informasjon rundt hva som brenner og hvor, størrelse på brannen og hvor mye folk som var i tunnelen, men denne informasjonen er gjerne utdatert og unøyaktig.

Trafikanter i tunnelen: Trafikanter inne i tunnelen som ringer inn mens det brenner i tunnelen. Disse kan enten ringe direkte til nødetatene (110, 112, 113) via mobiltelefon eller bruker nødtelefonene som er koblet direkte til VTS. Ved å bruke nødtelefonene vil VTS vite hvilken tunnel vedkommende er i og nøyaktig hvor i tunnelen. Trafikanter som er "fanget" av brann og røyk i tunnelen som ringer inn vil bidra til å kartlegge antall og posisjon av personer i tunnelen, som er viktig informasjon for

beredskapsledelsen. Disse vil også i likhet med evakuerte trafikanter kunne gi noe informasjon om brannen, men med noe mindre usikkerhet. Dette vil uansett ikke være nøyaktig informasjon siden disse som legfolk ikke har samme/riktig oppfatning av situasjonen.

Sjåfør brannobjekt: Informasjon rundt innhold i kjøretøy i brann belager seg hovedsakelig på samtaler mellom sjåfør og VTS eller 110 sentralen. I utgangspunktet skulle man tro at så lenge man har fått kontakt med sjåføren til brannobjektet, vil man ha full kontroll på innhold og eventuell umiddelbar eksplosjonsfare. Erfaringer tilsier derimot at sjåføren til brannobjektet ofte er utmattet og i en form for sjokk når han snakker med nødetatene like etter brannen oppstår, samtalen er dermed ofte ikke rasjonelle og bør behandles som usikker informasjon. Det er også erfaringer med at tynge kjøretøy ofte kan ha utenlandske sjåførere, og dermed kan språk problemer skape misforståelser og manglende informasjon. Dette skjedde blant annet ved ulykken i oslofjordtunnelen i 2011, hvor sjåføren fikk kommunisert hva lasten i lastebilen besto av, men ikke at det lå en 11kg propanflaske i førerhuset på kjøretøyet.

Kamera: CCTV system som dekker tunnelens fulle lengde. Systemet gir live bilder direkte til vei trafikksentralen (VTS) som er 24 timer i døgnet bemannet. Operatører ved VTS kan ved en rapportert hendelse gå inn på aktuelle kameraer for å verifisere og få en oversikt over situasjonen. Noen 110-sentraler har også fått etablert en link til VTS, hvor VTS kan sende et utvalgt skjermbilde til en skjerm på 110-sentralen slik at de får et bedre inntrykk av situasjonen. Ved en tunnelbrann kan kameraene gi viktig informasjon i forkant og under beredskapsinnsatsen. Kameraer som er i et område med røyk vil fort bli svarte siden kameraene er plassert høyt i tunnelen hvor røyken som regel befinner seg først.

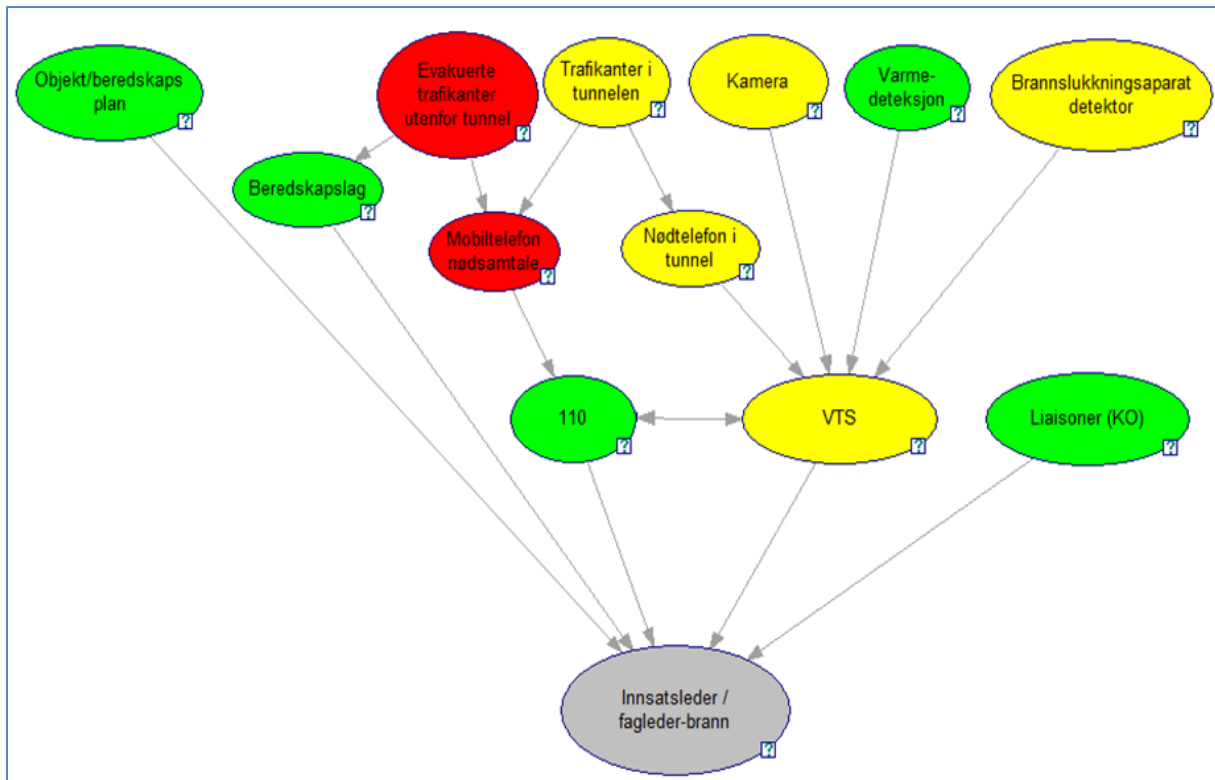
Varmedeteksjon: Gir alarm når temperaturen ved en føler plassert i taket på tunnelen når over en predefinert temperatur. Dette signalet gir alarm i VTS og gir også lokasjonen av sensoren som ble trigget.

Brannslukningsapparat detektor: Hvert brannslukningsapparatstativ i tunnelen detekterer når apparatet blir fjernet, og gir alarm ved VTS. Når en brann oppstår og nærmeste apparat blir tatt i bruk, kan VTS dermed lokalisere brannen.

Veitrafikksentralen (VTS): Vegvesenet har fem veitrafikksentraler geografisk spredt utover Norge. VTS oppgave er å overvåke og styre alle tunneler og vegstrekninger som er tilknyttet sentralen. I praksis mottar, samler, verifiserer og videreformidler VTS informasjon som mottas fra detektorer, kamera og trafikanter. VTS har også oversikt over hvilke arbeid og vedlikehold som finner sted til enhver tid, og har tilgang på alt av tegninger og informasjon av alle tunneler. Ved en tunnelbrann samarbeider/kommuniserer VTS tett med 110-sentralen.

Beredskapslag: Beredskapspersonell som først ankommer tunnelen og brannen inne i tunnelen, rapporterer tilbake deres observasjoner og vurderinger til beredskapsleder. Ofte blir en brannbil sent umiddelbart inn i tunnelen for å observere og evaluere situasjonen, som en del av informasjons innhenting. Beredskapslag er ikke tatt inn i matrisen som en del av informasjonskilder, siden å sende inn en brannbil for informasjon er en avgjørelse som er gjort med bakgrunn av manglende informasjon og kan sette beredskapspersonell i fare.

Liaisoner: Ved større hendelser vil det dannes arbeidsgruppe utenfor tunnelen som rådfører, kommuniserer og samhandler for å håndtere situasjonen best mulig, dette blir kalt KO. Her samles beredskapsledere fra politi, helse og brann. Gruppen kan også bestå av relevante representanter fra vegvesenet og transportselskap, og relevante spesialister. Eksempelvis spesialist på brann i tankbiler. Liaisoner er ikke tatt inn i matrisen som en del av informasjonskilder, siden disse ofte vil komme sent inn ulykkesforløpet når mesteparten av informasjonen av hva som skjer i tunnelen er samlet og vil nok være mer til nytte for analysen av denne informasjonen.



Figur 13: Informasjonsflyt oppsummert

Figuren ovenfor(figur 13) viser de ulike informasjonskildene, og hvordan informasjonen når innsatslederen. Fargekodingen i boblene skal illustrere hvordan kildene håndterer informasjonen med tanke på usikkerhet, og følger definisjonen som ble presentert i kapittel 3.1.1.3.

3.1.3 Nødvendig informasjon

Jeg vil i denne tabellen oppsummere informasjonskategorier som i løpet av intervjuene ble identifisert til å være viktig å ha i forkant av og under en tunnelbrannberedskap. Jeg har også satt opp kritikalitet for hver av informasjonskategoriene, denne illustrerer om denne typen informasjon har lav, medium eller høy viktighet for å kunne gjennomføre beredskapen forsvarlig.

Kritikalitetsvurderingen er kvalitativ og er basert på hva intervjuobjektene erfaringsmessig vurderer som viktig å vite, men hvor kritisk en type informasjon er varierer fra de ulike objekter, situasjoner og avgjørelser som må tas.

Kriterier for kritikalitetsnivå:

- Høy: Informasjon som er så essensiell at den må være plass for å gjennomføre innsats i tunnelen og/eller kan bety forskjellen på liv og død.

- Medium: Informasjon som er viktig å ha for å kunne gjøre en trygg og effektiv beredskapsinnsats
- Lav: Informasjon som kan være greit å vite, men ikke vil påvirke beredskapsinnsatsen

Tabell 2: Nødvendig informasjon, med tilhørende forklaring og kritikalitet

Nødvendig informasjon	Forklaring	Kritikalitet
Tunnel rammebetingelser		
Vindretning	For tunneler uten eller med svak ventilasjon har vind forholdene noe å si i forhold til røykventilasjons retning i tunnelen. For moderne/ lengre tunneler er mekanisk ventilasjon så sterk at vind har liten påvirkning.	Lav
Ventilasjon	Retning og styrke på brannventilasjonen er kritisk informasjon for beredskaps personell	Høy
Angrepsretning	Å entre tunnelen i mot ventilasjonsretninger er både farlig og ueffektivt.	Høy
Tunnel utforming	Kunnskap om tunnelens utforming og sikkerhetsutrustning	Medium
Trafikk situasjon	Antall biler, hastighet og eventuell kø dannelse.	Medium
Rømningsveier	Rømningsmuligheter inne i tunnelen, rømningsnisje, rømningsrom, parallelt løp...	Medium
Brannfarlig isolasjon	Tunnelvegger har tidligere blitt isolert med et materiale som kan bidra til brannen. Dette er ikke lengre lov og er fjernet fra de fleste tunneler.	Medium
Kommunikasjon	Tilgang til sambandssystem mellom beredskapspersonell inne i tunnelen og de utenfor <u>må</u> være plass for å kunne gjennomføre beredskap i en tunnel.	Høy
Brann		
Lokasjon brann	Hvor i tunnelen brannen er lokalisert.	Medium
Intensitet/størrelse	Hvor "kraftig" brannen er påvirker hvor stor avgasning brannen gir, varme produksjon og er direkte knyttet opp mot ventilasjonsviftenes kapasitet, fare for eskalasjon og hvor vanskelig den er å slukke.	Medium
Hva brenner	Å vite hva som brenner(personbil eller lastebil og hva denne er lastet med) sier mye om potensiell størrelse på brannen.	Medium
Ekspløsjons fare	Brann i og ved for eksempel tankbiler eller annet som kan føre til en eksplosjon. Ved mistanke om dette, vil ikke slukkeinnsats i tunnel bli gjennomført.	Høy
Eskalasjons potensial	Muligheter for at brannen sprer seg og vokser ut over det opprinnelig brannobjektet, som andre kjøretøy eller brennbar isolasjon.	Medium
Røyk utvikling	Sikt og gassutvikling inne i tunnelen.	Medium
Giftig atmosfære	Hvordan er forholdene for menneskene som	Lav

CO, CO2... Nivå	befinner seg i tunnelen. Denne informasjonen ble karakterisert som lav kritikalitet siden slik info ikke påvirker beslutninger i beredskapsinnsatsen.	
Trafikanter		
Antall personer i tunnel	Hvor mange og om det i hele tatt er mennesker fanget i tunnelen er kritisk informasjon i forkant av innsats.	Høy
Lokasjon trafikanter	Hvor i tunnelen er det folk befinner seg, spesielt med tanke på personer "fanget" i den røykfulle delen av tunnelen.	Høy
Bevegelseshemmede	Er det personer som ikke kan rømme selv uten assistanse.	Medium
Personskade	Er det personer som er skadet som trenger medisinsk hjelp og /eller trenger assistanse til rømning.	Medium

3.1.4 Tolking av informasjon og Avgjørelser

Ved en hendelse som tunnelbrann må beslutninger tas raskt, siden tid kan være forskjellen på en katastrofe eller ikke, med referanse til kapittel 2.1.4 *Tid til slukking*. Det er derfor viktig at informasjon som kommer fra ulike kilder siles, kvalitetbedømmes og analyseres effektivt slik at situasjonsbeskrivelsen og risikobilde er tilstrekkelig tegnet før viktige avgjørelser blir tatt.

Faktorer som er viktige for beslutningstaker (f.eks. brannmester ved først ankommet brannbil) er preliminært å vite hva som skal til for å kunne gå inn i tunnelen å gjøre en sikker innsats. Faktorer som har krystallisert seg som essensielle å ha på plass før å kunne rykke inn til brannen i tunnelen:

- Kommunikasjon
 - Det må være lagt opp for kommunikasjon for brannmannskap inne i tunnelen.
 - Dette er en forutsetning for å gjennomføre innsats i tunnelen.
- Eksplosjonsfare
 - Det må ikke være fare eksplosjonsfare i forbindelse med brannen inne i tunnelen, dette være seg brann i kjøretøy med eksplosiv last, eller kjøretøy med dette i umiddelbar nærhet som det er stor fare for at brannen kan eskalere til.
 - Dette er en forutsetning for å gjennomføre innsats i tunnelen.
- Utdannede røykdykkere
- Kjennskap til tunnelen
 - objektplan som setter premisser for bl.a. hvilken retning brannventilasjonen går, hvilken brannstasjon som skal gå inn i tunnelen og andre elementer som er viktig å vite i forkant av innsats.
 - øvelser bør ha blitt gjennomført i den aktuelle tunnelen for vite hvordan sikkerhetssystemene i tunnelen fungerer og for senke usikkerheten til innsatspersonell.

Erfaringer fra Follo og Stavanger brannvesen tilsier at de fleste umiddelbare aksjoner og tiltak blir utført på intuisjon. For å spare tid og fortrest mulig komme i gang med innsatsen iverksettes et sett

med standard aksjoner som har blitt indoktrinert med øvelser, dette stemmer overens med observasjoner gjort i Eivind Rakes studie Crisis Management, se kapittel 2.1.5 *Krise håndtering*. Dette være aksjoner som avsperring, sikring og sende inn i tunnelen en brannbil fra forhåndsdefinert angrepsretning til tunnelbrannen. Ved å sende kun en brannbil først inn i tunnelen vil man redusere konsekvensene for beredskaps personell ved en uforutsett hendelse og man vil raskt få en profesjonell vurdering av situasjonen inne i tunnelen. Første brannbil inn vil alltid ha ombord en erfaren utrykningsleder som vurder og melder tilbake til innsatsleder utenfor tunnelen om behov og sikkerhet for å sende inn ytterligere personell, men et slikt umiddelbart tiltak vil kunne være risikabelt for dem i denne første bilen.

Når de umiddelbare "standard" tiltakene er iverksatt kan beredskapsledelsen sette seg dypere inn i den spesifikke situasjonen dem står ovenfor. Gjennomgå og søke i all tilgjengelig informasjon, og dermed vurdere hvordan akkurat denne spesifikke hendelsen best kan håndteres. De fleste vurderinger på dette tidspunkt gjøres ut fra et ståsted om å sikre beredskapspersonell, aksjoner for hvordan slukke og redde trafikkanter er ofte i seg selv forholdsvis selvsagt. Aksjoner som kan måtte vurderes da omfatter blant annet; trekke ut personell allerede inne i tunnelen, sende inn ytterligere personell for å assistere slukningsarbeid, sende inn ambulanse for å hente ut skadede, når er det forsvarlig å sende røykdykkere inn i røykfyllt del av tunnelen for søk og redning, søke ytterligere informasjon som for eksempel kontakte eier av vogntog eller spesialister for transportkjøretøyets lastinnhold(Liaisoner).

3.1.5 Sammendrag og resultat

I matrisen nedenfor er informasjonen fra intervjuer og datainnsamlingsprosessen oppsummert. Matrisen begrenser seg til å gjengi aspektene rundt informasjonskilder, informasjon og graden av usikkerhet knyttet til informasjonen. Drøftingen og analysen i det følgende kapittelet (kapittel 4) vil hovedsakelig ta utgangspunkt i denne matrisen.

		Informasjons-Kilder								
		Samlet info	Objektplan/ Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt
Informasjon	Tunnel									
	Ventilasjon	Grønn	Gul		Rød	Gul			Grønn	
	Angrepsretning	Grønn	Grønn						Grønn	
	Tunnel utforming	Grønn	Grønn						Grønn	
	Trafikk situasjon	Grønn	Rød	Gul	Gul	Grønn				
	Rømningsveier	Grønn	Grønn						Grønn	
	Brannfarlig isolasjon	Grønn	Grønn							
	Kommunikasjon	Grønn	Grønn							
	Brann									
	Lokasjon brann	Grønn		Rød	Gul	Grønn	Grønn	Gul		Gul
	Intensitet/størrelse	Gul		Rød	Rød	Gul				Rød
	Hva brenner	Gul		Rød	Gul	Gul				Gul
	Ekspløsjons fare	Gul		Rød	Rød	Gul				Rød
	Eskalasjons potensial	Gul		Rød	Rød	Gul				Rød
	Røyk utvikling	Gul		Rød	Gul	Gul				Gul
	Trafikanter									
	Antall personer i tunnel	Gul		Rød	Gul	Gul			Rød	Rød
	Lokasjon trafikanter	Gul		Rød	Gul	Gul				Rød
	Bevegelseshemmede	Gul		Rød	Gul	Rød				Rød
	Personskade	Grønn		Rød	Grønn	Rød				Gul

Figur 14: Matrise som viser hvilken informasjon forventet fra informasjonskilder, med tilhørende usikkerheter.

Grønn: Sikker informasjon - Gul: Noe usikkerhet - Rød: Stor grad av usikkerhet

Ut fra matrisen kan man se at det krystalliserer seg to hovedkategorier hvor det kan tyde på at det trengs mer og sikrere informasjon. Dette gjelder informasjon om hva som brenner og farer i forbindelse med dette og informasjon angående trafikanter fanget i røykstrømmen.

3.2 Bruk av ubemannet teknologis innvirkning på rammebetingelser ved tunnelbrann

Når det gjelder ubemannet teknologi er data og kunnskap samlet inn ved at jeg hadde kontorplass hos et selskap som spesialiserer seg på ubemannet teknologi. Jeg har her gjennom flere samtaler og diskusjoner fått data og kunnskap om ulik teknologi, i tillegg til bruk av og potensiell bruk av denne. Dette gjelder både ulike ubemannede farkoster og sensor teknologi.

3.2.1 Datasamling (tilgjengelig teknologi)

For å få et innblikk i muligheter ved ubemannet teknologi har jeg vært i samtaler med tekniske konsulenter og "operation director" ved Nordic unmanned AS som er et selskap spesialisert på innovativ bruk ubemannet teknologi. Disse har bred og lang erfaring og et godt innblikk i den ubemannede bransjen/markedet, og har blant annet et nært samarbeid med selskaper som lockheed martin og saab defence som er pionerer innen utvikling av ubemannede systemer til profesjonell bruk.

3.2.2 Bruksområder

Ubemannet teknologi har potensielt en mengde ulike profesjonelle bruksområder. Det er flere industrier som allerede har brukt dette i mange år som blant annet droner i militær sammenheng, ROVer (fjernstyrt undervannsfarkost) i offshorenæringen. Det er også pågående forskning og testing for bruk i en mengde andre bransjer som blant annet skipstrafikk, personbiler, busser, og som nevnt ved inspeksjoner og beredskap. Dette er nok neppe en utvikling som vil stoppe og vi vil nok se flere nye bruksområder etter hvert som teknologien utvikles og eksisterende teknologi blir tatt i bruk til nye formål.

3.2.3 Ubemannet teknologi for bruk ved tunnelbrannberedskap

Ulike tilnærminger til bruk av ubemannet teknologi. Ubemannet teknologi kan være så mye. Når man hører ubemannet teknologi tenker man gjerne på fjernstyrte droner og robot gressklippere. Men det som gjør ubemannet teknologi anvendelig er sammensetningen og samhandlingen mellom sensorer, redskap/verktøy og hva disse monteres på.

De tre oppsettene/tilnærmingene til bruk av ubemannet teknologi som jeg gjennom dialog med fagpersonell har besluttet å se nærmere på opp mot problemstillingen er:

Sensorer montert inne i tunnel, dette vil være en videre utvikling av løsningene som allerede brukes i de fleste tunneler, som kamera og ulykkes deteksjon.

Lett farkost for innhenting av informasjon (fjernstyrt eller selvkjørende), denne være seg flygende, kjørende eller som beveger seg på en skinne i tunnelen. Denne er utstyrt med sensorer som vil gi informasjon direkte til innsatsleder utenfor tunnelen.

Arbeids robot, med påmontert nødvendige sensorer og verktøy for å kunne utføre deler av en brannmanns jobb inne i tunnelen.

Disse vil bli ytterligere presentert og diskutert i analyse og drøfting kapitelene 4.2 og 4.3.

3.2.4 Eksempler på eksisterende teknologi

For å gi et innblikk i muligheter ved bruk av eksisterende teknologi, vil jeg nå gi en kort introduksjon til ulik eksisterende løsninger og sensorer som kan ha relevans til bruk ved tunnelbrann beredskap.

Det er for meg kjent ingen direkte forskning om disse tekniske løsningene vil kunne være direkte adaptive til bruk i tunnelbrann beredskap, men gir et lite innsyn i hva teknologi som allerede finnes på området.

IR-kamera (infrarødt kamera): Også kjent som varmesøkende kamera, dette er kamerateknologi som kan skille mellom objekter i miljøet ut fra hvilken temperatur de har. Man kan dermed tydelig se konturer av blant annet mennesker i mørket eller i tett røyk, hvor man vanligvis ikke ser noe. Brukes allerede av brannmenn under røykdykking, og for lokalisere ulmebrann. Det finnes også flere dronemodeller som kan bytte mellom vanlig kamera og IR-kamera modus, og kan blant annet brukes til søk etter mennesker i mørket.

SAR (syntetisk appertur-radar): SAR er en type radar der en relativt liten antenne beveges over en kontrollert bane, hvorpå måledataene fra hele banen sammenstilles for å danne et to eller tre dimensjonalt bilde. Radaren er brukt blant annet plassert på fly for å ta bakkebilder av jorden, og er ikke avhengig av skyfri himmel.

Lidar: Er en fjernmålingsteknikk som brukes til hurtig måling av fysiske objekters posisjon. Ved å måle tidsforskjellen eller endringer i bølgefase mellom et lasersignal og et reflektert lys kan avstanden til og andre egenskaper ved objekter beregnes. Denne teknologien kan brukes til å generere høyoppløselige kart, og brukes allerede for å gjøre tre dimensjonale skanninger av tunneler. Dette brukes i dag til å lage 3d-kart av hver kvadrat centimeter av tunnelveggen inkludert spekker og ujevnheter, og med å skanne på nytt etter påføring av sprøytebetong gi nøyaktig tykkelse på betonglaget i hele tunnelen.

ROV: ROV er en forkortelse for Remotely Controlled Vehicle som dekker all form for fjernstyrte kjøretøy/fartøy, men betegnelsen brukes hovedsakelig på fjernstyrte undervannsfarkoster. I olje og gass industrien utstyres disse med kamera, lys og en mengde valgfritt utstyr som høytrykksspyler, trekkeverktøy, kutteverktøy, m.m. slik at de kan utføre arbeid under vann som man tidligere måtte bruke dykkere til. Disse kan være/er også i tillegg utstyrt med navigasjons systemer som er uavhengige av gps signaler etter de blir senket under vann.

Ballformet drone: Det er også utviklet små flygende droner med et ballformet gitter rundt dronen. Disse er designet med den hensikt at dem kan entre bygninger rør og konstruksjoner med mange hindringer, og kunne brukes til søk og redningsformål i slike omgivelser. De spesielle egenskapene et slikt konsept har er at dronen kan kollidere i obstruksjoner uten å ta skade og deretter bruke disse til å guide seg videre, den kan vekselvis fly og rulle langs tak vegger og gulv hvor gyro teknologien til enhver tid holder kamera i riktig posisjon. På grunn av beskyttelsen rundt dronen og den lave vekten vil den heller ikke gjøre skade på mennesker hvis den skulle treffe noen. (Griffiths, 2015)

4 Analyse og drøfting

For å kunne si noe ubemannet teknologiens fremtid innen tunnelbrann beredskap er det slik jeg ser det flere aspekter som spiller inn. Tidligere erfaringer jeg har gjort er hvis detaljerte løsninger ses på helt isolert, vil man kunne se seg blind på tekniske detaljer og dermed gå glipp av viktige momenter som for eksempel at dette behovet allerede er tilfredsstilt av andre og mindre komplekse løsninger, se kapittel 2.1.7 *Fundamental samhandling*. Slik jeg har bygd opp denne oppgaven har jeg forsøkt å ta et skritt tilbake for å reflektere på hvordan beredskapen håndteres i dag. Ved å se på litteratur og prate med brukere med hands-on erfaring først, og deretter sett på ubemannede konsepter for å kunne si noe helhetlig om problemstillingen. Dette er en tilfallsvinkel for å vurdere nye beredskapssystemer som i større grad legger opp til å tilfredsstille elementene som i kapittel 2.1.7 *Fundamental samhandling* skal sikre fundamental samhandling.

Jeg vil i dette kapittelet forsøke å svare på de tre underordnede problemstillingene presentert i kap. 1.2. Som samlet sett vil kunne danne et grunnlag til å konkludere rundt hovedproblemstillingen "Kan ubemannet teknologi være en del av fremtiden innen brannberedskapen i norske tunneler?". For å svare på de underordnede problemstillingene vil jeg bruke informasjon og observasjonene presentert i teori og empiri kapitlene, analysere og tolke denne informasjonen og observasjonene videre. Jeg vil også bruke mine egne analyser fra første underordnet problemstilling "kapittel 4.1 Hvilke rammebetingelser opererer skadestedsledere ved tunnelbranner med i dag, og hvilke utfordringer står dem ovenfor?" som en del av grunnlaget for å svare på de to øvrige underordnede problemstillingene som går på bruk og effekt av ubemannet teknologi, i kapittel 4.2 og 4.3.

Jeg vil i denne diskusjonen bevege meg innom flere ulike aspekter ved tunnelbrann beredskap, som samlet skal kunne gi et reflektert syn på behovet til brannvesenet ved tunnelbrannberedskap og hvilket potensielt bidrag ubemannet teknologi kan gi. Matrisen presentert i Empiri kapittelet (kap. 3.1.5) vil bli brukt i analysen i ulike varianter for å presentere forskjeller på tunneler og effekt av bruk på ubemannede systemer. Mye av diskusjonen i dette kapittelet vil bli gjort med utgangspunkt i informasjon gitt i disse matrisene.

4.1 Hvilke rammebetingelser opererer innsatsleder ved tunnelbranner med i dag, og hvilke utfordringer står dem ovenfor?

Hvilke rammebetingelser og utfordringer brannvesenet og deres innsatsleder opererer med i dag, er allerede delvis besvart i empiri kapitelet 3.1 Kartlegging av rammebetingelser for innsatsleder ved tunnelbrann i dag. For å unngå å repetere meg selv unødige, vil jeg heller i dette kapittelet bruke informasjonen samlet i kapittel 3.1, og forsøke å generalisere denne til å gi et bilde av rammebetingelsene til tre ulike faktiske tunneler/tunneltyper; Oslofjordtunnelen, Ryfylketunnelen og Gudvangatunnelen.

Informasjonen samlet ved intervjuene ved stavanger og Follo brannvesen er ment å være generell, men er basert hovedsakelig på deres erfaringer. Erfaring som hovedsaklig kommer fra branner og øvelser gjort i henholdsvis oslofjordtunnelen for Follo brannvesen, og Renfast tunnelene (mastrafjordtunnelen og byfjordtunnelen) for Stavanger brannvesen. Dette er forholdsvis like tunneler, aldrende ett løps undersjøisketunneler, men disse er svært relevante tunneler siden disse er regnet som noen av høyrisikotunnelene i Norge.

For å generalisere denne informasjonen for andre typer tunneler, vil jeg forsøke med utgangspunkt i den "generelle" matrisen tilpasse denne i forhold til Oslofjordtunnelen, Ryfylketunnelen og Gudvangatunnelen. Dette vil gi oss et innblikk i hvordan forskjellene i rammebetingelsene for informasjonsinnhentingen til beredskapsleder kan være for brann i disse tunnelene. Valget av Ryfylke- og Gudvangatunnelen er basert på at disse er at jeg anser disse som "ytterpunkter" i sikkerhetsmessig utforming og utrustning. Gudvangatunnelen som presenterer en eldre ettløps fjelltunnel med lavt nivå av sikkerhetsbasert utforming og liten grad av sikkerhetsfremmende teknologi. Ryfylketunnelen derimot er i skrivende stund under bygging og representerer fremtidens tunneler med høy fokus på sikker utforming og høyteknologiske sikkerhetssystemer.

4.1.1 Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen representerer den tunneltypen som ble dekket under intervjuene og kartleggingen presentert i empiri kapittelet. Denne tunnelen blir tatt med i dette kapittelet siden den representerer kanskje den farligste type tunnel i Norge, undersjøiske ettløpstunneler, og på grunn av bruk i analysen som gjøres i kapittel 4.3 angående effekt av ubemannede systemer. I forhold til den generelle matrisen representerer denne de tilgjengelige informasjonskilder som er installert i tunnelen, med unntak av at det ikke er installert varmedeteksjon. Datagrunnlag for hvordan Oslofjordtunnelen er utstyrt og utformet er samlet med bakgrunn i granskningsrapporten av tunnelbrannen i 2011(SHT, 2013) og samtaler med Follo brannvesen.

Ut fra matrisen kan man se at det krystalliserer seg to hovedkategorier hvor det kan tyde på at det trengs mer og sikrere informasjon. Dette gjelder informasjon om hva som brenner og farer i forbindelse med dette og informasjon angående trafikanter fanget i røykstrømmen. Dette stemmer med erfaringene fra de tidligere tunnelbrannen i lange ettløpstunneler som ble presentert i kapittel 2.1.3 Historikk.

		Informasjons-Kilder							
		Oslofjord-tunnelen	Objektplan / Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	VTS
Informasjon	Tunnel						N/A		
	Ventilasjon	Grønn	Gul		Rød	Gul	N/A		
	Angrepsretning	Grønn	Grønn				N/A		Grønn
	Tunnelutforming	Grønn	Grønn				N/A		Grønn
	Trafikk situasjon	Grønn	Rød	Gul	Gul	Grønn	N/A		
	Rømningsveier	Grønn	Grønn				N/A		Grønn
	Brannfarlig isolasjon	Grønn	Grønn				N/A		Grønn
	Kommunikasjon	Grønn	Grønn				N/A		
	Brann								
	Lokasjon brann	Grønn		Rød	Gul	Grønn	N/A	Gul	Gul
	Intensitet/størrelse	Gul		Rød	Rød	Gul			Rød
	Hva brenner	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A		Gul
	Eksplisjonsfare	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A		Rød
	Eskalasjonspotensial	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A		Rød
	Røykutvikling	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A		Rød
	Trafikanter								
	Antall personer i tunnel	Gul		Rød	Gul	Gul	N/A		Rød
	Lokasjon trafikanter	Gul		Rød	Gul	Gul	N/A		Rød
	Bevegelseshemmede	Gul		Rød	Gul	Rød	N/A		Rød
	Personskade	Grønn		Rød	Grønn	Rød	N/A		Gul

Figur 15: Matrise som viser hvilken informasjon forventet fra informasjonskilder, med tilhørende usikkerheter. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3
Grønn: Sikker informasjon - **Gul:** Noe usikkerhet - **Rød:** Stor grad av usikkerhet

4.1.2 Ryfylketunnelen

Datagrunnlag for hvordan Ryfylketunnelen er utstyrt og utformet er samlet med bakgrunn av teknisk beskrivelse av Ryfastprosjektets Elektro prekvalifiserings anbud (Norconsult, 2015), informasjon funnet ved vegvesenets Ryfast internettside (Vegvesenet, 2016) og samtaler med prosjektingeniør ved Ryfast prosjektet. Endringer i utrustingen av tunnelen kan ha forkommet i etterkant av dataen jeg baserer meg på.

Ryfylketunnelen er en 1400m lang undersjøisk tunnel fra Hundvåg i stavanger til Solbakk i Ryfylket, tunnelen har to separate løp med muligheter for rømning mellom løpene. Dette gir trafikanter mulighet til å komme seg ut av tunnelen raskt ved brann og vil lette arbeidet til bredskapspersonell betydelig. Det er også andre store sikkerhetsfordeler med 2-løps tunneler relatert til at trafikken bare går i en retning i hvert av løpene. Den åpenbare sikkerhetsfordelen med dette er at man eliminerer muligheten for de kraftige front mot front kollisjonene. Det som er vel så viktig når man ser på tunnelbranner er at ventilasjonen i hvert av løpene går samme retning som trafikken. Ved en brann vil de som er foran brannobjektet kunne forsette ut av tunnelen, de som er bak brannobjektet og må stoppe opp er da alle på rett side i forhold til røykventilasjonen. Dermed vil "ingen" bli fanget i røykproppen, gitt at ventilasjonssystemet er tilstrekkelig dimensjonert. På denne måten vil kritikaliteten til blant annet informasjon angående lokasjon av trafikanter bli lavere. Trafikanter plassering i tunnelen relativt til brannobjektet og retningen på ventilasjonen så man tydelig viktigheten av ved tunnelbrannen i St.Gotthard-tunnelen som ble nevnt i kapittel 2.1.3.4. Tunnelen hadde trafikk i begge retninger i hovedløpet og et parallelt løp før rømning. Alle de 11 omkomne var lokalisert på feil side av brannobjektet med tanke på ventilasjonsretningen, dem maktet altså ikke å rømme enda de hadde lett tilgjengelig rømningsvei til det parallelle tunnelløpet. Med trafikk i kun en retning i hvert av løpene vil man kunne anta at de fatale konsekvensene ved denne ulykken kunne vært unngått. Dessverre så er det bare et fåtall av norske tunneler som har to parallelle løp, og med den lave trafikkmengden på de fleste norske tunneler vil det i de fleste tilfeller være vanskelig å forsvare kosten av å bygge to-løps tunneler.

Ryfylketunnelen vil i tillegg bli utstyrt med ny type sikkerhetsutrustning; varmedeteksjon hvor VTS kan lese av temperaturen gjennom hele tunnelen og AID system som ved hjelp av radarteologi kan detektere ulykkes situasjoner og varsle om disse med en gang det skjer, slik at VTS kan iverksette nødvendige aksjoner svært tidlig. Også ved bruk av radarene kan systemet ved en ulykkes situasjon gi antall og lokasjon av mennesker og biler, også når tunnelen er røykfyllt. Hvordan dette systemet kommer til å bli brukt er ikke helt avgjort, men det skal legges opp til skjerm med lokal betjening av anlegget i teknisk hus utenfor hver ende av tunnelen. Det skal fra disse skjermene være mulig å se "skjermbildet" fra en eller flere radarer samtidig for å muliggjøre overvåking av trafikken i tilfelle brann eller ved andre hendelser. Skjermbildet skal være tilpasset den aktuelle tunnelen og vise havarilommer, nødstasjoner o.l. med riktig meterangivelse samtidig som den i sanntid viser kjøretøy og personer som befinner seg i den aktuelle sonen(e). En løsning med fjernstyrt skjerm fra VTS vurderes også (Norconsult, 2015). I matrisen nedenfor tar jeg høyde for at systemet brukes som skissert ved tunnelbrannberedskap og at systemet fungerer etter hensikten med stor nøyaktighet og pålitelighet.

		Ryfast	Informasjons-Kilder									
			Objektplan / Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	Varme deteksjon/ temp måling	AID	VTS	Sjåfør brannobjekt
Informasjon	Tunnel											
	Ventilasjon											
	Angrepsretning											
	Tunnel utforming											
	Trafikk situasjon											
	Rømningsveier											
	Brannfarlig isolasjon											
	Kommunikasjon											
	Brann											
	Lokasjon brann											
	Intensitet/størrelse											
	Hva brenner											
	Ekspløsjonsfare											
	Eskalasjonspotensial											
	Røykutvikling											
	Trafikanter											
	Antall personer i tunnel											
	Lokasjon trafikanter											
	Bevegelseshemmede											
	Personskade											

Figur 16: Matrise som viser hvilken informasjon forventet fra informasjonskilder, med tilhørende usikkerheter. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3
Grønn: Sikker informasjon - **Gul:** Noe usikkerhet - **Rød:** Stor grad av usikkerhet

4.1.3 Gudvangatunnelen:

Datagrunnlag for hvordan Gudvangatunnelen er utstyrt og utformet er samlet med bakgrunn i granskningsrapporten av tunnelbrannen i Gudvangatunnelen 2013. Oppgraderinger og endringer i utrustingen av tunnelen kan ha forkommet i etterkant av dataen jeg baserer meg på, men dette anser jeg som mindre viktig med hensyn til oppgaven siden tunnelen her representerer en gruppe av tunneler.

Gudvangatunnelen er en ettløps fjelltunnel på 11,5 km med en maksimal stigning på 3,5%, den ble ferdigstilt i 1990. Tunnelen har hatt to tunnelbranner de siste årene, hvor sikkerhetsystemene ble kritiserte i etterkant for ikke å være gode nok. Sikkerhetsystemene vil nå bli oppgradert i denne tunnelen, men som nevnt vil disse oppgraderingene ikke bli tatt høyde for i denne oppgaven. Dette også for å gjøre resultatene mer allmenngyldige for denne typen eldre tunneler. Av Norges nærmere 1100 tunneler, vil majoriteten av disse ha samme eller et enda lavere utstyrsnivå enn det Gudvangatunnelen presenteres med i denne oppgaven.

Tunnelen har ikke installert kamera-system som dekker hele tunnelen, ei heller varmedeteksjon. Varsling av brann og lokasjon av denne avhenger av at trafikanter ringer inn ved mobil, nødtelefon eller at en løsner et brannslukkingsapparat ved brannen.

Dette fører til at brannvesenet stiller med betydelig mindre sikker informasjon hva gjelder brannens lokasjon, størrelse og eskalasjons potensial før dem sender egne mannskap inn i tunnelen. VTS har dermed også mindre informasjon å gi angående trafikk situasjon og antall personer/biler som var i tunnelen før og i startfasen av brannen.

		Gudvanga-tunnelen	Informasjons-Kilder							
			Objektplan/ Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt
Informasjon	Tunnel					N/A	N/A			
	Ventilasjon	Grønn	Gul			N/A	N/A		Grønn	
	Angrepsretning	Grønn	Grønn			N/A	N/A			
	Tunnel utforming	Grønn	Grønn			N/A	N/A		Grønn	
	Trafikk situasjon	Gul	Rød	Gul	Gul	N/A	N/A			
	Rømningsveier	Grønn	Grønn			N/A	N/A		Grønn	
	Brannfarlig isolasjon	Grønn	Grønn			N/A	N/A		Grønn	
	Kommunikasjon	Grønn	Grønn			N/A	N/A			
	Brann									
	Lokasjon brann	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A	Rød		Gul
	Intensitet/størrelse	Rød		Rød	Rød					Rød
	Hva brenner	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Gul
	Eksplisjonsfare	Gul		Rød	Rød	N/A	N/A			Gul
	Eskalasjonspotensial	Rød		Rød	Rød	N/A	N/A			Rød
	Røykutvikling	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Gul
	Trafikanter									
	Antall personer i tunnel	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A		Rød	Rød
	Lokasjon trafikanter	Gul		Rød	Rød	N/A	N/A			Rød
	Bevegelsehemmede	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Rød
	Personskade	Grønn		Rød	Grønn	N/A	N/A			Gul

Figur 17: Matrise som viser hvilken informasjon forventet fra informasjonskilder, med tilhørende usikkerheter. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3

Grønn: Sikker informasjon - Gul: Noe usikkerhet - Rød: Stor grad av usikkerhet

Ved at det er betydelig færre informasjonskilder i en slik type tunnel forhold til mer moderne tunnel med kamera, deteksjon og radar, vil man i større grad være avhengig av de få informasjonskildene man står igjen med. Det er heller ikke like stor anledning til å verifisere og dobbelsjekke informasjon fra flere hold for å minske graden av usikkerhet. Hvis man ved en tunnelbrann ikke har kontakt med trafikanter i tunnelen eller får feil informasjon, vil beredskapsinnsatsen måtte igangsettes uten essensiell informasjon tilgjengelig. Et eksempel på dette er fra brannen som fant sted i Gudvangatunnelen i 2013 (se kap. 2.1.3.3.1), hvor informasjon om brannens lokasjon var meldt til å være 2,8 km inn i tunnelen. Det viste seg at brannen var 2,8 km inn i tunnel fra motsatt side av hva som var meldt inn, dette ble ikke oppdaget før brannbilen møtte brannen mye tidligere antatt. Denne informasjonen kan også ha påvirket styringen av brannventilasjonsretningen.

Forenklinger og usikkerheter:

Min fremgangsmåte i oppgaven med bruk av denne matrisen er en modell for å kartlegge og fremstille rammebetingelsene for beredskapspersonell innen de starter beredskapsinnsats ved en tunnelbrann. Som alle modeller er disse en grov forenkling av den virkelige verden, og man må ved utformingen av modellen velge hvilke parametre man vil fremheve. Siden oppgaven er ment å være generell er parametre som menneskelig og organisatoriske forskjeller ikke vektlagt i stor grad her. Heller ikke ulik kvalitet av teknisk utstyr i ulike tunneler er vektlagt. Beredskapslagenes trening og tilgang på utstyr kan også være svært forskjellig i de ulike brannvesener i Norge.

Jeg har her valgt å bruke den generelle matrisen for å si noe om tunneler som intervjuobjektene ikke har erfaring med. Ved å bruke den generelle matrisen og tilpasse den til ulike tunneler, viser man litt av muligheten med modellen. Tanken er at denne modellen kan være en del av en rask evaluering til nesten hvordan som helst tunnel, også som en del av planlegging av nye tunneler. For Ryfylketunnelen som ikke er ferdigstilt må en slik analytisk fremgangsmåte brukes. Mens for

Gudvangatunnelen kunne analysen vært noe mer nøyaktig hvis man hadde basert kartleggingen på intervjuobjekter med erfaring fra Gudvangatunnelen. Det sagt så er erfaringer fra Gudvangatunnelen ivaretatt gjennom rapport fra brannen som var der i 2013. Resultatet av generaliseringen av matrisen samsvarer godt med funn og uttaleleser som kom frem i ulykkesrapporten. (DSB, 2014a)

4.2 Hvordan kan ubemannet teknologi brukes for å endre skadestedleders rammebetingelser i en slik setting?

For å gi et inntrykk av hvordan ubemannet teknologi kan brukes som en del av tunnelbrannberedskapen har jeg valgt å se nærmere på tre ulike tilnærminger for å bruke ubemannet teknologi, presentert i kapittel 3.2.3. Jeg vil her se nærmere på disse tre tilnærmingene, og hvordan disse vil kunne brukes som en del av beredskapen og deres antatte styrker og svakheter

4.2.1 Sensorer montert inne i tunnel

Sensorer montert inne i tunnelen vil være en videre utvikling av løsningene som allerede brukes i flere tunneler, som kamera og ulykkes deteksjon. Bruk av overvåknings kamera, branndeteksjon og støv målinger som i dag sender signaler ut av tunnelen og til vei trafikk sentralen kan vel knapt kalles ubemannet teknologi, men har allikevel mange av de samme egenskapene. Grunnen til at jeg har valgt å ta med denne kategorien i denne oppgaven er siden dette er tilnærming av ubemannet teknologi som man nå ser i økende grad allerede blir tatt i bruk i tunneler.

I utgangspunktet er dette er sensorer som kan kontrollere et område uten at noen fysisk er tilstede, men tradisjonelt må disse systemene må overvåkes manuelt og aksjoner må iverksettes ut fra observasjonene. Dette er hvis det ikke er programmert algoritmer som kan gi automatikk tilknyttet observasjonene. Det er når vi beveger oss i dette området at ubemannet sensorteknologi blir virkelig nyttig, ved bruk av algoritmer som gjenkjenner ulike parametre kan systemet prosessere store mengder informasjon og kun gi videre den informasjonen som er interessant for brukeren. Dette kan være for eksempel være radar eller et kamera infrarødt eller vanlig som gjenkjenner temperatur og form på mennesker og biler. På denne måten kan systemet for eksempel generere et dynamisk "kart" som viser antall og posisjon til biler og personer i tunnelen til enhver tid. På denne måten kan beredskapsleder raskt få den informasjonen som trengs og få oppdatert informasjon etter som situasjonen utvikler seg.

Det er klart store fordeler med å ha sensorer montert strategisk inne i tunneler. Systemet er tilgjengelig fra allerede før hendelsen inntreffer og kan bidra med innsamling av informasjon i forkant av at beredskaps mannskaper ankommer stedet. Dette gjør at analysering av situasjonen og risikoinformerte beslutningsprosesser (se kap. 2.1.5 *Krise håndtering*) kan startes tidlig og gjerne i forkant av at de umiddelbare tiltakene iverksettes. En annen stor fordel med et slikt system er at det kan overvåke hele tunnelen til enhver tid.

Ulempene med et slikt system er at det er mange sensorer som må installeres og som gir data som må prosesseres, i tillegg er installasjon og vedlikehold er både omfattende, dyrt og tidkrevende. Systemet er ikke fleksibelt i så måte at det kan brukes i andre tunneler, men kan derimot være en del av et system med andre typer funksjoner slik som AID systemet tidligere nevnt i forbindelse med Ryfylketunnelen i kap. 4.1.2.

På grunn av den videre analysen, som gjøres i kapittel 4.3 for å kunne si noe om effekten av slikt system, vil jeg her tilegne et sett med egenskaper for et tenkt slikt system. "Sensorer montert inne i tunnelen" vil da inneholde følgende komponenter og egenskaper; Kameraovervåking i hele tunnelen med infrarødtkamera, som kan gjenkjenne flammer og mennesker. Radar som "ser" gjennom røyk og kan gjenkjenne og kan skille mellom mennesker og biler. Sensorene er koblet opp mot skjerm på utsiden av tunnelinngang som kan brukes av beredskapsledelsen. Skjermen viser et oversiktskart over hele tunnelen, med brannen, mennesker og biler i bevegelse markert på kartet i sanntid. Det er også muligheter her å få sanntids videooverføring fra IR kameraene i tunnelen. Sensorene kan gi følgende informasjon:

Lokasjon brann: Systemet kan detektere og lokalisere brannen med høy nøyaktighet.

Inntensitet/størrelse på brann: Med bruk av IR kamera kan beredskapsledelsen til enhver tid se brannen/brannobjektet og få et innblikk i størrelsen på brannen. Ved bruk av IR kamera kan man også få et innblikk i temperaturen på objekter og røyklag.

Hva brenner & Eksplosjonsfare: Systemet kan ved bruk av IR-kamera få oversikt over hvilke objekter som brenner. Det er derimot ingen mulighet å kunne se hvilken last og utstyr brannobjektene innehar. Man kan dermed få en indikasjon hva som brenner og hvilken eksplosjonsfare man står ovenfor, men for å vite innhold i bil/last kan ikke vites med sikkerhet ved bruk av dette systemet.

Eskalasjonspotensial: Potensiell brannspredning kan overvåkes ved bruk av radar og IR-kamera for å se om det er objekter i umiddelbar nærhet. IR kamera kan også gi en kontinuerlig indikasjon på overflate temperatur på disse objektene, og dermed på et mer spesifikt nivå gi grunnlag for evaluering av eskalasjonspotensial.

Røykutviling: Med kamera og IR-kamera funksjon kan beredskapsledelsen få en direkte og dynamisk indikasjon på røyk tetthet og røykspredningen i tunnelen.

Antall personer i tunnelen & Lokasjon trafikanter: Både radar og IR-kameraer kan gjenkjenne omriss- og varmeprofil på mennesker. Mennesker som kan være vanskelige å lokalisere er personer som er gjemt inne i biler, biler kan også identifiseres og lokaliseres av disse systemene.

Bevegelsehemmede & personskade: Kamera kan gi en indikasjon på om det er personer i biler som er skadde eller trenger assistanse for å evakuere.

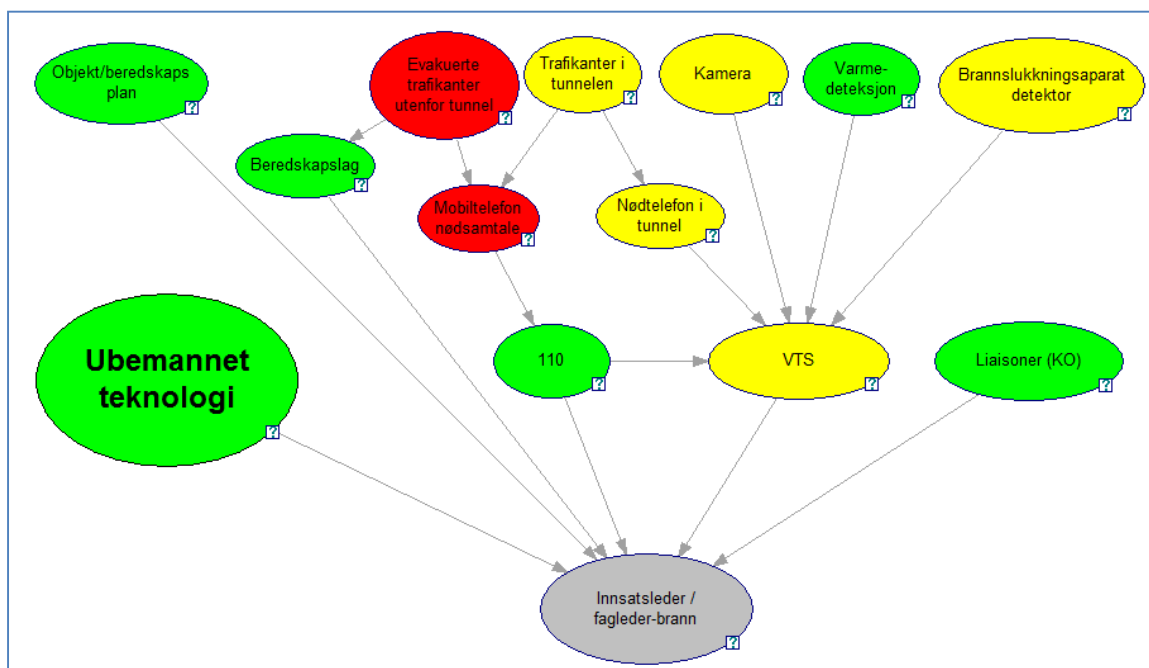
Denne løsningen er delvis fiksjon, men er ikke umulig med eksisterende teknologi.

4.2.2 Lett farkost for innhenting av informasjon (fjernstyrt eller selvkjørende)

Innenfor denne kategorien er det også flere forskjellige mulige konsepter. Som nevnt kan denne blant annet være seg flygende, kjørende eller noe som beveger seg på en skinne montert i tunnelen. Selv om det er mange mulige løsninger her er det gruppen av egenskaper som setter kategorien. Egenskaper er at dette er liten, lett og rask løsning som har som oppgave å hente informasjon gjerne direkte til innsatsleder utenfor tunnelen. Hvilken informasjon denne kan innhente avhenger av hvilke sensorer denne er utstyrt med. Sensorene kan være de samme som ble nevnt foregående avsnitt angående "sensorer montert inne tunnel". Det er også muligheter å utstyre med høyttaler og mikrofon slik at man kan kommunisere direkte med trafikanter som blir funnet i tunnelen.

En av utfordringene med et slikt konsept er påliteligheten, selv om et slikt system kan redusere usikkerheten angående situasjonen inne i tunnelen kan det være usikkerhet om systemet fungerer slik som tiltenkt. Tid er essensielt i slike ulykkes situasjoner, jo lengre tid det tar jo større risiko utsettes trafikantene inne i tunnelen for (se kapittel 2.1.3 Tid til slukking). Et slikt system vil bruke noe tid til rigging og å dekke hele tunnelen, og det kan være raskere å sende inn en brannbil for å observere. Likevel vil et slikt system kunne sendes inn uten noen form for risikovurdering eller risiko eksponering av personell, og vil kunne utføre søk i røykfulle deler av tunnelen hvor brannmannskaper ikke vil bli sent inn før brannen er kontrollert. Og dermed kunne være både tidsbesparende, risikoreduserende og senke graden av usikkerhet ved avgjørelser.

Når det gjelder informasjonsflyt, vil skjermbildet av hva systemet ser være tilgjengelig utenfor tunnelen. Dette er også hvor beslutningstakerne for innsatsen befinner, dermed vil dem kunne ha tilgjengelig ufiltrert informasjon direkte fra situasjonen inne i tunnelen (illustrert ved figur 18). Så lenge dette ikke blir en distraksjonsfaktor for beredskapsledelsen, men brukes hensiktsmessig, vil dette kunne øke deres presisjon i oppfattelsen av situasjonen. Dette basert på uttalelser fra erfarne innsatsledere som sier at informasjon fortalt dem ikke gir dem samme trygghet som det dem selv har sett.



Figur 18: Informasjonsflyt oppsummert, med informasjonskilden "Ubemannet teknologi" lagt til.

En annen potensiell fordel med dette systemet er at det kan være lite og lett, det kan dermed være en del av nød-etatens portable utstyr og kan brukes i hvilken som helst tunnel. Med over tusen tunneler spredt rundt i Norge kan dette være en tiltalende egenskap. Det er også muligheter ved et slikt system for å bygge inn fleksibilitet slik at den også kan brukes til andre formål, som entre brennende industribygg, gassforurensede områder eller bygg og hvis en flygende løsning velges kan den også brukes til søk og oversikts bilde av uoversiktlige ulykkesituasjoner. Hvis man kan få til en løsning som kan være tilpasset mange bruksområder for nødetatene vil bruken av slikt system være lettere å forsvare både i et økonomisk og praktisk perspektiv.

Når det gjelder portable løsninger av "lett farkost for informasjonsinnhenting" og de mange lavt utstyrte "lav risiko" tunnelene, vil man kunne bedre holde tritt med teknologien med å oppgradere noen få slike enheter som kan dekke mange tunneler.

På grunn av den videre analysen, som gjøres i kapittel 4.3 for å kunne si noe om effekten av slikt system, vil jeg her tilegne et sett med egenskaper for et tenkt slikt system. "Lett farkost for innhenting av informasjon" vil da inneholde følgende komponenter og egenskaper; En lett fjernstyrt farkost som kan både flyge og rulle på veibanen. Anordningen er trådløs og gir data fra sensorer og kamera direkte til en skjerm utenfor tunnelen, hvor pilot og beredskapsledelsen kan se hva den "ser" og hvor den befinner seg. Av sensorer kan brukes til informasjonsinnhenting har den et IR-kamera og Radar som kan "se" gjennom røyk. Jeg har valgt å bruke de samme sensorene for dette systemet som for "sensorer montert inne i tunnel", slik at disse kan hente inn mer eller mindre samme informasjon. Dette gjør at jeg i analysen i kapittel 4.3, hvor jeg ser på effekten av ubemannede systemer, kan slå sammen disse tilnærmingene av ubemannet teknologi i deler av analysen.

Denne løsningen er delvis fiksjon, men er ikke umulig med eksisterende teknologi.

4.2.3 Arbeidsrobot

Vi skal her se nærmere på effekten av en "arbeidsrobot" med påmontert nødvendige sensorer og verktøy for å kunne utføre deler av en brannmanns jobb inne i tunnelen. I denne kategorien vil en typisk løsning kunne være en "ubemannet brannbil". Egenskaper som gjenkjenner denne kategorien er at det er her snakk om et tyngre kjøretøy, som kan gå inn i tunnelen å utføre en jobb uten å sette beredskapspersonell i fare. Hvilken jobb denne kan utføre ved en tunnelbrann avhenger av utformingen, hvilke sensorer som er påmontert og ikke minst hvilket utstyr som er påmontert. Sensorer det er snakk om her kan være mye av de samme som har vært nevnt i de foregående kategoriene. Verktøy som kan være relevante i tunnelbrannsetting vil kunne være vannkanon til slukking eller annet form for slukke medium som skum, pulver eller lignende, vinsj for å kunne trekke biler ut av tunnelen og puskemasker for å gi ren luft trafikanter fanget i røyken. Utformingen kan også være slik at trafikanter kan gå inn i eller sitte utenpå kjøretøyet og dermed få hjelp til å evakuere til trygt område.

Dette systemet til forskjell til de øvrige ubemannede kategoriene kan tilføre risiko siden et tyngre ubemannet kjøretøy kan skade trafikantene inne i tunnelen, det må derfor utøves stor forsiktighet hvis man velger å sende et slikt kjøretøy inn i tunnelen. Spesielt hvis den kjører inn i røyken hvor situasjonen er meget uoversiktlig. Klargjøring av kjøretøyet og at det må utøves stor forsiktighet ved manøvrering, gjør at det man kan tape noe tid i forhold til å sende inn en lett farkost eller en bemannet brannbil. Denne tyngre løsningen er heller ikke så fleksibel som en lett farkost som kan transporteres i en koffert.

Ved å bruke en ubemannet brannbil tar man ikke ned graden av usikkerhet ved innhenting av informasjon alene, slik som de andre ubemannede tilnærmingene gjør. Beslutningen om å sende inn en ubemannet farkost for å starte slukke arbeidet i stedet for personell, vil betydelig redusere følt grad av usikkerhet for beslutningstagere. Det er direkte i sammenheng med at hvis noe skulle gå galt (for eksempel en eksplosjon) vil eventuelt tap kun være av materiell verdi, og dermed konsekvensen betydelig redusert. Med redusert konsekvens og lik grad av usikkerhet og sannsynlighet for en uønsket hendelse vil risikoen være redusert. Når mindre står på spill kreves det dermed en lettere analyse og dermed mindre tid før avgjørelser tas. Ved å senke risikoen for aksjonen "start slukking"

vil man også senke kritikaliteten av nødvendig informasjon. Spesielt vil kritikaliteten av informasjon angående eksplosjonsrisiko og brannens intensitet reduseres, men også for annen informasjon som påvirker avgjørelser som må tas med tanke på brannmenns sikkerhet.

Systemets tilegnede egenskaper, for bruk i analysen i neste delkapittel (kap. 4.2.3): En ubemannet "brannbil" selvforsynt med slukkemedium (som for eks. egen vanntank), og fjernstyrt kanon for slukkeinnsats uten personell tilstedet. Utstyrt med sensorer som IR kamera, radar og avstandmåler for å kunne "se" og navigere i røykfylte omgivelser. Systemet kan enten være totalt fjernstyrt eller delvis autonomt, og kontrolleres av pilot utenfor tunnelen. Denne er også utstyrt med blant annet de samme sensorene som "sensorer montert inne i tunnel" og "lett farkost for innhenting av informasjon", og kan derfor hente samme type informasjon. Denne løsningen kan derimot ikke like godt dekke hele tunnelen, og jeg har derfor tilegnet denne større grad av usikkerhet på den informasjonen den gir i effekt analysen i kapittel 4.3.

4.3 Hvilken effekt gir bruk av ubemannet teknologi på rammebetingelsene for skadestedsleder i en slik setting?

For å illustrere en mulig effekt av bruk av ubemannet teknologi vil jeg ta utgangspunkt i matrisene fra kapittel 4.1 og de tre ubemannet teknologi konseptene jeg så nærmere på i kapittel 4.2. Ved å legge de inn de ulike konseptene av ubemannet teknologi som informasjonskilde i matrisen kan jeg illustrere og diskutere mulig effekt de ulike løsningene kan gi og forsøke å se for meg hvordan dette praktisk kan endre premissene til brannvesenets innsats i felt. Aspekter som tid, kritikalitet på informasjon, og risikoreduksjon som ikke dekkes av matrisen vil bli diskutert, og er vel så viktige som informasjonen i matrisene.

Ved å ta utgangspunkt i de tre tunneltypene illustrert av Oslofjordtunnelen, Ryfylketunnelen og Gudvangatunnelen, vil man kunne se effekten av de ulike konseptene av ubemannet teknologisk på ulike tunneltyper. For å forenkle noe har jeg i matrisene slått sammen "sensorer montert i tunnel" og "lett farkost for innhenting av informasjon" siden disse slik jeg ser det vil kunne belage seg på samme type sensorer og vil dermed gi tilnærmet lik informasjon med samme tilknyttet usikkerhet. Det er likevel praktisk store forskjeller på disse tilnærmingene som ikke kommer frem i matrisen, se kapittel 4.2 for mer detaljer.

Egenskapene tilegnet de ulike ubemannede tilnærmingene, angående informasjonsinnhenting og tilknyttet usikkerhet som presenteres i matrisen, er basert på de spesifikke egenskapene gitt "systemene" i kapittel 4.2.

4.3.1 Sensorer i tunnel / Lett farkost for innhenting av informasjon

Dette er løsninger som er konstruert for å hente inn informasjon, gjerne direkte til innsatsledelsen, og effekten av disse systemene vil illustreres godt ved å legges inn matrisemodellen som ble presentert i kapittel 3.1. Vi skal her se hvordan slike system vil kunne fungere sammen med eksisterende informasjonskilder i de tre ulike tunnel typene som ble sett nærmere på i kapittel 4.1.

Oslofjordtunnelen

		Informasjons-Kilder										
		Oslofjord-tunnelen	Objektplan/ Beredskaps- plan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukni ngsapparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt	Lett farkost/ sensorer i tunnel	
Informasjon	Tunnel						N/A					
	Ventilasjon	Grønn	Gul		Rød	Gul	N/A		Grønn			
	Angrepsretning	Grønn					N/A					
	Tunnelutforming	Grønn					N/A		Grønn			
	Trafikk situasjon	Grønn	Rød	Gul	Gul	Grønn	N/A					
	Rømningsveier	Grønn					N/A		Grønn			
	Brannfarlig isolasjon	Grønn					N/A		Grønn			
	Kommunikasjon	Grønn					N/A					
	Brann											
	Lokasjon brann	Grønn		Rød	Gul	Grønn	N/A	Gul		Gul	Grønn	
	Intensitet/størrelse	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A			Rød	Gul	
	Hva brenner	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A				Gul	
	Eksplisjonsfare	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A				Gul	
	Eskalasjonspotensial	Grønn		Rød	Rød	Gul	N/A			Rød	Grønn	
	Røykutvikling	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A			Gul	Gul	
	Trafikanter											
	Antall personer i tunnel	Grønn		Rød	Rød	Gul	N/A		Rød	Rød	Grønn	
	Lokasjon trafikanter	Grønn		Rød	Rød	Gul	N/A			Rød	Grønn	
	Bevegelseshemmede	Gul		Rød	Rød	Gul	N/A			Rød	Gul	
	Personskade	Grønn		Rød	Rød	Grønn	N/A			Gul	Gul	

Figur 19: Matrise for Oslofjordtunnelen med "lett farkost/sensorer i tunnel" inkludert. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3 **Grønn**: Sikker informasjon - **Gul**: Noe usikkerhet - **Rød**: Stor grad av usikkerhet

I en tunnel som oslofjord tunnelen hvor det er kamera installert i hele tunnelen vil hovedsakelig bidraget fra slike system være begrenset til å gi ny informasjon angående trafikanter fanget i røyken. Informasjon om hva som i utgangspunktet brenner, lokasjon av brann og annen informasjon som ikke er endrer seg i løpet av forløpet vil man få vel så god informasjon hvis man har gode kameraer installert, men bare inntil kameraene blir svarte på grunn av røyken. Ved bruk av radar og IR kameraer kan man derimot i tillegg overvåke parametere som endrer seg også etter hele tunnelen eller deler av tunnelen har blitt fylt med røyk. Ut fra min analyse presentert i matrisen, kan man se at beredskapspersonell stiller med betydelig sikrere informasjon når det gjelder "antall personer i tunnel", "lokasjon trafikanter" og "eskalasjonspotensial".

I praksis i en tunnel som oslofjordtunnelen så kan disse sensorsystemene overvåke brannutviklingen og dens eskalasjonspotensial. Vel så viktig kan systemet bekrefte og avkrefte at det er trafikanter i røykfylt del av tunnelen, og gi lokasjon av eventuelle trafikanter fanget i røyken som trenger assistanse for å evakuere. I oslofjordtunnelen og andre lange ettløps undersjøiske tunneler er assistert evakuering svært aktuelt, siden det kan være langt å komme seg ut til fots og det er oppoverbakke til tunnelåpningene. De undersjøiske tunnelene i Norge med toveis trafikk i ett løp (31stk per 2015), er på grunn av stigningsgraden ansett som høyriskotunneler når det gjelder tunnelbrann (Tor-Olav Nævestad, 2013). De er dermed forholdsvis godt utstyrte tunneler og har ofte allerede installert kameraer og noen har installert radar for ulykkesdeteksjon. Det kan derfor virke fornuftig at denne typen tunneler tilnærming til bruk av sensorteknologi ved brannberedskap vil være å installere/oppgradere sensorer fastmontert i tunnelen.

Ryfylketunnelen

		Ryfast	Informasjons-Kilder										
			Objektplan/ Beredskaps- plan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannsluknings- apparat deteksjon	Varme deteksjon/ temp måling	AID	VTS	Sjåfør brannobjekt	Lett farkost /sensoreri tunnel
Informasjon	Tunnel												
	Ventilasjon	Grønn	Gul		Rød	Gul					Grønn		
	Angrepsretning	Grønn									Grønn		
	Tunnel utforming	Grønn									Grønn		
	Trafikk situasjon	Grønn	Rød	Gul	Gul	Grønn							
	Rømningsveier	Grønn									Grønn		
	Brannfarlig isolasjon	Grønn									Grønn		
	Kommunikasjon	Grønn	Grønn										
	Brann												
	Lokasjon brann	Grønn		Rød	Gul	Grønn	Gul					Gul	Grønn
	Intensitet/størrelse	Grønn		Rød	Rød	Gul			Grønn			Rød	Gul
	Hva brenner	Gul		Rød	Gul							Gul	Gul
	Eksplisjonsfare	Gul		Rød	Gul							Gul	Gul
	Eskalasjonspotensial	Grønn		Rød	Rød	Gul			Gul			Rød	Grønn
	Røykutvikling	Gul		Rød	Gul				Rød			Gul	Gul
	Trafikanter												
	Antall personer i tunnel	Grønn		Rød	Gul	Gul				Grønn	Rød	Rød	Grønn
	Lokasjon trafikanter	Grønn		Rød	Gul							Rød	Grønn
	Bevegelseshemmede	Gul		Rød	Gul	Rød						Rød	Gul
	Personskade	Grønn		Rød	Grønn	Rød						Gul	Gul

Figur 20: Matrise for Ryfylketunnelen med "lett farkost/sensorer i tunnel" inkludert. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3 **Grønn**: Sikker informasjon - **Gul**: Noe usikkerhet - **Rød**: Stor grad av usikkerhet

Ryfylketunnelen, hvis tunnelen blir utstyrt slik som er skissert, har allerede innebygd mye moderne sensor teknologi. Hvis denne teknologien som temperaturovervåking gjennom hele tunnelen og AID radarteknologien blir brukt og fungerer ved brannberedskap, vil bruk av en "lett farkost for informasjonsinnhenting" ikke gi noen ny informasjon, og kan betraktes som overflødig. Det er selvfølgelig andre typer sensorer som IR-kamera og annen nyere teknologi som kan komme som kan gi ytterligere informasjon, men det vil da være naturlig å oppgradere/legge til sensor systemet i tunnelen. Når slike sensorer som kan gi store mengder informasjon er installerte i en tunnel, er det vel så viktig at hardware og software for å behandle denne store datamengden er på plass. Det er her som i alle andre systemer som skal brukes ved beredskap at output fra systemene er tilpasset formålet og beredskapspersonell som skal bruke denne (som nevnt i kapittel 2.1.7 *Fundamental samhandling*), for å kunne få utnyttet potensialet som ligger i systemene.

Gudvangatunnelen

		Gudvangatunnelen	Informasjons-Kilder								
			Objektplan / Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannsluknings-apparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt	Lett farkost/sensorer i tunnel
Informasjon	Tunnel					N/A	N/A				
	Ventilasjon					N/A	N/A				
	Angrepsretning					N/A	N/A				
	Tunnelutforming					N/A	N/A				
	Trafikk situasjon					N/A	N/A				
	Rømningsveier					N/A	N/A				
	Brannfarlig isolasjon					N/A	N/A				
	Kommunikasjon					N/A	N/A				
	Brann										
	Lokasjon brann					N/A	N/A				
	Intensitet/størrelse										
	Hva brenner					N/A	N/A				
	Eksplosjonsfare					N/A	N/A				
	Eskalasjonspotensial					N/A	N/A				
	Røykutvikling					N/A	N/A				
	Trafikanter										
	Antall personer i tunnel					N/A	N/A				
	Lokasjon trafikanter					N/A	N/A				
	Bevegelseshemmede					N/A	N/A				
	Personskade					N/A	N/A				

Figur 21: Matrise for Gudvangatunnelen med "lett farkost/sensorer i tunnel" inkludert. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3. **Grønn:** Sikker informasjon - **Gul:** Noe usikkerhet - **Rød:** Stor grad av usikkerhet

For Gudvangatunnelen som er en tunnel uten full kameradekning og annen sensor teknologi innebygd, ser man naturlig nok en betydelig større effekt med å inkludere systemer for innhenting av informasjon. Effekten er betydelig både angående informasjon om brann scenarioet og informasjon angående eventuelle trafikanter inne i tunnelen. Basert på denne analysen vil bruk av denne typen ubemannet teknologi for informasjonsinnhenting i dette tilfellet ville kunne gi beredskapspersonell og da spesielt deres beslutningstakere betydelig bedre rammebetingelser til å gjøre gode avgjørelser og håndtere situasjonen sikrere og mer effektivt.

Denne type tunneler med lignende utstyrsnivå inkluderer flere lengre fjelltunneler som Gudvangatunnelen og Lærdaltunnelen, men også de fleste av alle de halvlange og korte fjelltunnelene som er spredt rundt i Norge. For å sette dette i perspektiv er rundt 260 av de 1100 veitunnelene i Norge over 500 meter, som trigger at tunnelen dekkes av tunnelforskriften (se kap. 2.1.2 *Lover og forskrifter*). Cirka 75 av disse er over 3000 meter. Det vil virke over ambisiøst å se for seg at alle disse 260 tunnelene skal dekkes med sensor teknologi innebygd i tunnelen. Her virker det som en mobil løsning med en lett farkost for innhenting av informasjon som kan bli tatt med til tunnelen det brenner i, vil være en bedre løsning.

4.3.2 Arbeidsrobot, effekt analyse

Når man ser på løsninger som kan gå inn å gjøre en jobb som å slukke og assistere til evakuering, vil ikke matrisemodellen yte systemet full rettferdighet. Dette siden matrisen fokuserer på informasjonsinnhenting og beredskapsledelsens grad av usikkerhet, mens et "arbeidsrobot" system også direkte påvirker risikoen beredskapspersonell utsettes for ved innsats og kritikaliteten av informasjon (se kapittel 4.2.3 *Arbeidsrobot*, for mer informasjon). Når det er sagt vil jeg i diskusjonen her forsøke å belyse alle aspekter av effekten av et slikt system.

Oslofjordtunnelen

		Informasjons-Kilder									
		Oslofjordtunnelen	Objektplan/ Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt	Ubemannet brannbil
Informasjon	Tunnel						N/A				
	Ventilasjon						N/A				
	Angrepsretning						N/A				
	Tunnel utforming						N/A				
	Trafikk situasjon						N/A				
	Rømningsveier						N/A				
	Brannfarlig isolasjon						N/A				
	Kommunikasjon						N/A				
	Brann										
	Lokasjon brann						N/A				
	Intensitet/størrelse						N/A				
	Hva brenner						N/A				
	Eksplisjonsfare						N/A				
	Eskalasjonspotensial						N/A				
	Røykutvikling						N/A				
	Trafikanter										
	Antall personer i tunnel						N/A				
	Lokasjon trafikanter						N/A				
	Bevegelsehemmede						N/A				
	Personskade						N/A				

Figur 22: Matrise for Oslofjordtunnelen med "Arbeidsrobot" inkludert. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3. **Grønn:** Sikker informasjon - **Gul:** Noe usikkerhet - **Rød:** Stor grad av usikkerhet

Ved å implementere et slikt system som en del av beredskapen for en tunnel som oslofjordtunnelen med allerede installerte kameraer, vil man forvente å kunne få minimal effekt med tanke på informasjonsinnhenting. Dette er delvis sant, ved samtaler med erfarne innsatsledere for brannvesenet, kom det frem at når det gjelder informasjon fra skjermbilder som man selv ikke kunne se var det følt vanskeligere å stole på og nytte denne. På grunn av dette, kvaliteten på overvåkningsbildene og posisjonene til kameraene, ble det nesten hver gang sent en brannbil inn øyeblikkelig slik at erfarne brannmenn selv kunne gjøre en vurdering av situasjonen. Ved å sende inn en ubemannet brannbil som første brannbil istedenfor en bemannet, vil beredskapspersonell inkludert beslutningstakere kunne se skjermbilde av situasjonen selv uten å risikere eget personell. Informasjonen kommer da direkte til beslutningstager raskt, uten at informasjon mistes eller feiltolkes igjennom mellomledd.

I praksis vil denne kunne erstatte den første brannbilen som kjører inn for å gjøre vurderinger. Den vil kunne starte slukkearbeidet uten å risiko for personells helse, samtidig som informasjonsinnhenting og beslutningsprosesser gjennomføres. Når brannen er slukket eller slukningsarbeidet er under innsatspersonells kontroll, kan den ubemannede brannbilen sendes inn i den røykfylte delen av tunnelen for søk og redning av trafikanter. Dette dekker godt behovene innsatsleder for brannvesenet i Follo opplevde ved brannen i oslofjordtunnelen i 2011. Hvor de opplevde en farlig situasjon under slukkingen når det oppsto en uforventet eksplosjon i lastebilen

som brant, og hvor de hadde vanskeligheter og nær påkjørsel av beredskapspersonell ved søk i røykfyllt del av tunnelen.

Ryfylketunnelen

		Informasjons-Kilder											
		Ryfast	Objektplan/ Beredskaps- plan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannsluknings- apparat deteksjon	Varme deteksjon/ temp måling	AID	VTS	Sjåfør brannobjekt	Ubemannet brannbil
Informasjon	Tunnel												
	Ventilasjon	Grønn	Gul		Rød	Gul						Grønn	
	Angrepsretning	Grønn	Grønn									Grønn	
	Tunnel utforming	Grønn											
	Trafikk situasjon	Grønn	Rød	Gul	Gul	Grønn							
	Rømningsveier	Grønn	Grønn									Grønn	
	Brannfarlig isolasjon	Grønn											
	Kommunikasjon	Grønn	Grønn										
	Brann												
	Lokasjon brann	Grønn		Rød	Gul	Grønn	Gul	Gul	Gul			Gul	Grønn
	Intensitet/størrelse	Grønn		Rød	Rød	Grønn			Grønn			Rød	Gul
	Hva brenner	Gul		Rød	Gul	Gul						Gul	Gul
	Eksplisjonsfare	Gul		Rød	Rød	Grønn						Gul	Gul
	Eskalasjonspotensial	Gul		Rød	Rød	Grønn			Gul			Rød	Gul
	Røykutvikling	Gul		Rød	Gul	Gul			Rød			Gul	Gul
	Trafikanter												
	Antall personer i tunnel	Grønn		Rød	Gul	Gul					Grønn	Rød	Rød
	Lokasjon trafikanter	Grønn		Rød	Gul	Gul					Grønn	Rød	Rød
	Bevegelsehemmede	Gul		Rød	Gul	Rød						Rød	Rød
	Personskade	Grønn		Rød	Grønn	Rød						Gul	Gul

Figur 23: Matrise for Ryfylketunnelen med "Arbeidsrobot" inkludert. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3 **Grønn:** Sikker informasjon - **Gul:** Noe usikkerhet - **Rød:** Stor grad av usikkerhet

I en tunnel med ytterligere moderne overvåknings system som Ryfylketunnelen vil en ubemannet brannbil ha mindre funksjon som informasjonskilde, men bruk av IR-kamera tett på brannen vil kunne et bedre innblikk brann utvikling og eskalasjonspotensial. Hvis et slikt system skal tas i bruk i et tunnelsystem som Ryfast, vil det hovedsakelig være for å kunne gjøre slukkeinnsats med beredskapspersonell på trygg avstand. Den vil også kunne brukes til søk og redning i den røykfyllte delen av tunnelen, men med en tunnel med to løp, rømningsvei mellom løpene og ventilasjon i samme retning som all trafikk beveger seg er det gode forutsetninger for at det ikke skal kunne være trafikanter fanget i den røykfyllte delen av tunnelen.

Det sagt så er det vanskelig å si hvordan en tunnelbrannsituasjon i Ryfylketunnelen vil utarte seg, med tanke på at denne med sine 14km blir den lengste undersjøiske veitunnelen i verden. Den blir med det cirka dobbelt så lang og i tillegg over dobbelt så dyp som Oslofjortunnelen, med lokalt høyere stigningsprosent(brattere). Når vi vet at varmgang i motor og bremsler i bakker er hovedårsak til brann i vogntog (Tor-Olav Nævestad, 2013) vil det ikke være urimelig å fastslå at det vil forekomme brannforløp i årene som kommer for Ryfylketunnelen.

Gudvangatunnelen

		Gudvangatunnelen	Informasjons-Kilder								
			Objektplan / Beredskapsplan	Evakuerte trafikanter	Trafikanter i tunnel	Kamera	Varme deteksjon	Brannslukningsapparat deteksjon	VTS	Sjåfør brannobjekt	Ubemannet brannbil
Informasjon	Tunnel					N/A	N/A				
	Ventilasjon	Grønn	Gul			N/A	N/A		Grønn		
	Angrepsretning	Grønn	Grønn			N/A	N/A				
	Tunnelutforming	Grønn	Grønn			N/A	N/A		Grønn		
	Trafikk situasjon	Gul	Rød	Gul	Gul	N/A	N/A				
	Rømningsveier	Grønn	Grønn			N/A	N/A		Grønn		
	Brannfarlig isolasjon	Grønn	Grønn			N/A	N/A				
	Kommunikasjon	Grønn	Grønn			N/A	N/A				
	Brann										
	Lokasjon brann	Grønn		Rød	Gul	N/A	N/A	Rød		Gul	Grønn
	Intensitet/størrelse	Gul		Rød	Rød					Rød	Gul
	Hva brenner	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Gul	Gul
	Eksplisjonsfare	Gul		Rød	Rød	N/A	N/A			Gul	Gul
	Eskalasjonspotensial	Gul		Rød	Rød	N/A	N/A			Rød	Gul
	Røykutvikling	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Gul	Gul
	Trafikanter										
	Antall personer i tunnel	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A		Rød	Rød	Rød
	Lokasjon trafikanter	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Rød	Rød
	Bevegelseshemmede	Gul		Rød	Gul	N/A	N/A			Rød	Rød
	Personskade	Grønn		Rød	Grønn	N/A	N/A			Gul	Gul

Figur 24: Matrise for Gudvangatunnelen med "Arbeidsrobot" inkludert. Hvordan lese informasjonen i matrisen er forklart i kapittel 3.1.1.3 **Grønn** Sikker informasjon - **Gul** Noe usikkerhet - **Rød** Stor grad av usikkerhet

For Gudvangatunnelen som er en tunnel uten full kameradekning og annen sensor teknologi innebygd, vil også en ubemannet brannbil gi god effekt også når det gjelder informasjonsinnhenting. Effekten er derimot her mer synelig hva gjelder informasjon om brann scenarioet.

I praksis vil denne kunne ha samme bruken og nytten som tidligere ble diskutert angående dette systemet i Oslofjordtunnelen.

4.3.3 Oppsummering, effekt ubemannet teknologi

I figuren nedenfor fremstilles alle "samlet informasjon" kolonnene fra matrisene som ble presentert i kapittel 4.1 og 4.3. Det vises her rammebetingelser innsatsleder har for de tre ulike tunnelene, hvordan rammebetingelsene er der i dag og hvordan dem kan se ut ved implementering av henholdsvis ubemannet sensorteknologi og en ubemannet brannbil.

	Oslofjordtunnelen			Ryfylketunnelen			Gudvangatunnelen		
	I dag	Med ubemannet sensortek.	Med "Ubemannet brannbil"	I dag	Med ubemannet sensor tek.	Med "Ubemannet brannbil"	I dag	Med ubemannet sensor tek.	Med "Ubemannet brannbil"
Tunnel									
Ventilasjon									
Angrepsretning									
Tunnel utforming									
Trafikk situasjon									
Rømningsveier									
Brannfarlig isolasjon									
Kommunikasjon									
Brann									
Lokasjon brann									
Intensitet/størrelse									
Hva brenner									
Eksplisjonsfare									
Eskalasjonspotensial									
Røykutvikling									
Trafikanter									
Antall personer i tunnel									
Lokasjon trafikanter									
Bevegelsehemmede									
Personskade									

Figur 25: Sammendrag, analyse av effekt på informasjonsgrunnlag med bruk av ubemannedesystemer. For forklaring hvordan å forstå matrisen, se i kapittel 3.1.1.3 **Grønn**: Sikker informasjon - **Gul**: Noe usikkerhet - **Rød**: Stor grad av usikkerhet

Ut fra denne grove analysen og diskusjonen ovenfor, kan man få overblikk over den mulige effekten bruk av ulik ubemannet teknologi kan ha på rammebetingelsene til beredskapspersonell ved en tunnelbrann. I form av informasjonsinnhenting er det tydelig og muligens åpenbart at jo færre eksisterende informasjonskilder integrert i tunnelen, jo større positiv effekt vil man få på ved å implementere ubemannede løsninger. Man ser også at i tunneler med ett løp vil rammebetingelsene forbedres med systemer som kan identifisere og lokalisere mennesker som befinner seg i røyken. Dette gjelder også tunneler hvor kameraovervåking er installert i hele tunnelen som Oslofjordtunnelen, siden ordinære kameraer blir raskt sorte når det er røyk tilstede.

Når det gjelder bruk av ubemannede brannbiler som kan gjøre slukke- og søk&redningsinnsats, vil man i tillegg til å få ufiltrert informasjon direkte til beslutningstakere, også senke viktigheten av informasjon og direkte senke potensiell konsekvens ved enkelte avgjørelser gjort ulk grad av usikkerhet. Det vil si at når man for eksempel er usikker på eksplosjonsfaren ved brannobjektet, er det en lettere avgjørelse å sende inn en ubemannet bil til starte slukningsarbeid enn å eksponere personell for denne faren. Eller hvis innsatsledelsen ikke vet om det er mennesker fanget inne i den røykfylte delen av tunnelen, er det en lavere terskel for å sende inn et ubemannet system for å gjøre søk, enn å utsette personell for risikoen. Denne positive effekten ved bruk av "ubemannet brannbil" viser ikke igjen i matrisen.

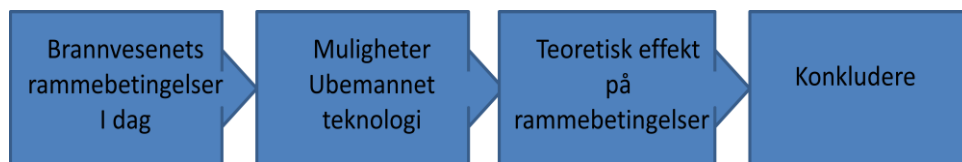
Forenklinger og usikkerheter:

Egenskapene til ulike konseptene av ubemannet teknologi som er lagt inn i matrisene og diskutert i dette kapitlet er teoretiske og basert på individuelle vurderinger, som videre er basert på den kunnskap om tunnelberedskap og ubemannet teknologi som jeg har tilegnet meg gjennom prosessen av skrive denne oppgaven. Det er stor grad av usikkerhet knyttet til disse vurderingene. For bruk av

denne analysen i videre arbeid, må en for et eventuelt foreslått produkt gjøre disse vurderingene på nytt i henhold til det spesifikke produktet.

5 Oppsummering og konklusjon

Brannvesenet og deres innsatsledere kan ved tilfeller av tunnelbrann stå ovenfor svært uoversiktelige, farlige og potensielt katastrofale situasjoner hvis ikke de håndterer den riktig. Moderne tunneler blir stadig bedre utformet og utstyrt for å gjøre dem sikrere ved en tunnelbrann, både med tanke på forebyggende og korrigerende virkning. Tunneler har samtidig blitt lengre, mer komplekse og høyere trafikkert. For å se hvordan brannvesenet kan løse tunnelbranner på en enda tryggere måte, ser denne oppgaven på om ubemannet teknologi kan være en del av denne løsningen. For å kunne gi et svar på dette ser oppgaven nærmere på hvordan brannvesenet håndterer tunnelbranner i dag og hvilke utfordringer de har. For så å se på muligheter som finnes innenfor ubemannet teknologi. Til slutt er det forsøkt å anslå hvilken effekt implementering av ubemannet teknologi vil ha for tunnelbrannberedskapen. Spesielt fokus for oppgaven er grad av usikkerhet i informasjonen som innsatsleder baserer sin håndtering av en tunnelbrann.



Figur 26: Flytskjema for "fremgangsmåte" for å besvare problemstilling

Brannvesenets rammebetingelser i dag.

Kartleggingen av dagens rammebetingelser er utført gjennom intervju med erfarne innsatsledere fra brannvesenet i Follo og Stavanger og rapporter fra tidligere hendelser. Fokuset her er hovedsakelig informasjonsgrunnlaget innsatsleder har tilgjengelig ved håndtering av tunnelbrannberedskap. Problemstillinger som krystalliserte seg som å være særlig vanskelige å håndtere ved dagens beredskap; informasjon om antall og lokasjon av trafikanter fanget i røykfylt del av tunnelen, og informasjon om hva som brenner og tilknyttet eksplosjonsfare.

Kartleggingen av dagens rammebetingelser ble generalisert og presentert for tre ulike tunneler. Oslofjordtunnelen som representerer undersjøiske ettløpstunneler, Ryfylketunnelen som er under konstruksjon representerer høyt utstyrte moderne toløpstunneler og Gudvangatunnelen som representerer eldre lavt utstyrte ettløps fjelltunneler. Det ble her tydelig at de ulike tunnelene har svært ulike rammebetingelser når det gjelder gjennomføring av tunnelbrannberedskap, og man stiller med svært mye bedre forutsetninger i moderne toløpstunneler enn i eldre ettløpstunneler.

Ubemannet teknologi

Ved å se på ulike teknologier innenfor ubemannet teknologi og sensorer som finnes i dag, på ulike andre bruksområder disse allerede brukes og med samarbeid med en bedrift som har ekspertise på ubemannet teknologi, har oppgaven dannet et inntrykk av hvilke muligheter som finnes innenfor ubemannede systemer og sensor teknologi. Og man kan konkludere med at det er et hav av ulike spennende teknologiske muligheter. Med bakgrunn i denne kunnskapen er det valgt å se nærmere på tre ulike tilnærminger av ubemannet teknologi for bruk ved tunnelbrannberedskap:

Sensorer montert inne i tunnel, dette vil være en videre utvikling av løsningene som allerede brukes i de fleste tunneler, som kamera og ulykkesdeteksjon.

Lett farkost for innhenting av informasjon (fjernstyrt eller selvkjørende), denne kan være flygende, kjørende eller beveger seg på en skinne i tunnelen. Denne er utstyrt med sensorer som vil gi informasjon direkte til innsatsleder utenfor tunnelen.

Arbeids robot, med påmontert nødvendige sensorer og verktøy for å kunne utføre deler av en brannmanns jobb inne i tunnelen. Som for eksempel en "ubemannet brannbil" med muligheter for å utføre slukking og redning.

Effekt ved bruk av ubemannet teknologi

For å kunne si noe om en eventuell effekt ved bruk av ubemannet teknologi på rammebetingelsene til innsatsleder ved en tunnelbrann. Er det tatt utgangspunkt i dagens rammebetingelser på de tre ulike tunneltypene, og lagt til egenskaper som de ulike tilnærmingene av ubemannet teknologi kan tilføre.

Det som er blant funnene i denne analysen, er at det ser ut som det kan være stor variasjon på effekten ved bruk av ubemannede systemer, avhengig av utstyret i og utformingen av tunnelen. Ettløpstunneler uten allerede installerte moderne overvåknings systemer, vil kunne ha stor effekt ved bruk av ubemannede systemer til informasjonsinnhenting. Moderne toløpstunneler som Ryfylketunnelen, ser ut for å kunne ha begrenset nytte av ytterligere systemer for informasjonsinnhenting, men kan dra nytte av systemer som kan utføre slukking i tunnelen uten å ha personell tilstede.

Kan ubemannet teknologi være en del av fremtiden innen tunnelbrannberedskap?

Med bakgrunn i funnene i denne oppgaven kan man se at det er et behov for forbedrede rammebetingelser for beredskapspersonell ved en tunnelbrann. Behovet varierer for ulike tunneler, og er klart størst i eldre lange ettløpstunneler. Identifiserte problemområder hvor det er størst behov, er relatert til lokalisering og redning av personer fanget i røykfyllt del av tunnelen og relatert til den uforutsette faren for eksplosjon under slukkeinnsats.

Videre studie av mulighetene innen ubemannet teknologi tilsier at det finnes allerede teknologi til å kunne utforme systemer som kan ivareta det identifiserte behovet nevnt ovenfor. Ved bruk av radarsystemer og IR-kamera kan man lokalisere trafikanter inne i røyken. Og ved bruk av ubemannede brannbiler til å utføre slukking kan man eliminere risikoen for eget personell hvis det skulle oppstå en eksplosjon under slukkearbeidet.

På bakgrunn av dette og den dypere diskusjonen utført i kapittel 4, vil jeg konkludere med at ubemannet teknologi kan være med å dekke behovet for den fremtidige brannberedskapen i norske tunneler.

Denne oppgaven dekker ikke problemstillingen fra alle vinkler, det er her fokusert på hva som er behovene og om eksisterende ubemannet teknologi kan bidra til bedre og tryggere tunnelbrannberedskap. Det er her liten fokus på det praktiske perspektivet som kost nytte og om det er praktisk gjennomførbart. Dette er aspekter som også må ses på for å kunne dra endelige

konklusjon i forhold til problemstillingen. I tillegg er det store usikkerheter tilknyttet egenskapene som er definert for de ulike tekniske løsningene, dette kan gjøres mer nøyaktig med en ferdig løsning og med utførte tester.

Videre arbeid

Denne oppgaven ser ikke på ferdige produkter innenfor ubemannet teknologi, men heller på behovet og de overordnede mulighetene. Oppgaven passer derfor som et design grunnlag, man kan bruke som en del av utgangspunktet for videreutvikle mer eksakte løsninger.

Det kan også jobbes videre på å gi et bedre svar på problemstillingen som er satt her. Det kan da brukes kvantitative modeller for å måle mer eksakt en potensiell effekt, som kan være grunnlag til kost effektivitet eller Alarp vurderinger for å forsvare eller ikke forsvare implementering av ubemannede systemer for tunnelbrannberedskap

Referanseliste

- Abrahamsen, H. k. B. (2015). A remotely piloted aircraft system in major incident management: concept and pilot, feasibility study.(Research article)(Report). 15, 12.
- Alan Beard, R. C. (2005). *The handbook of tunnel fire safety*. London: Thomas Telford publishing.
- DSB. (2009). *Veiledning om røyk- og kjemikaliedykking*.
- DSB. (2014a). *Brannen i Gudvangatunnelen; Læring og erfaringer*. Retrieved from DSB. (2014b). *Nasjonalt risikobilde 2014*. Retrieved from DSB. (2014c). Risikoanalyse av brann i tunnel – delrapport til Nasjonalt risikobilde 2014. *Nasjonalt risikobilde(2014)*.
- Eidsnes, H. (2016). *Tiltak for å bedre brannsikkerheten i vegtunneler*. Paper presented at the Brannvesenkonferansen, Gardemoen.
- Falck-Ytter, E. (2001). Katastrofen i Mont Blanc. *Brannmannen, Nr 4*.
- Forskrift om godkjenning og registrering av utrykningskjøretøy, (2002).
- Forskrift om krav til kjøretøy, (1990).
- Forskrift om luftfartøy som ikke har fører om bord mv., (2015).
- Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften), (2007).
- Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften). (2007).
- Forskrift om organisering og dimensjonering av brannvesen, (2002).
- Forskrift om tekniske krav og godkjenning av kjøretøy, deler og utstyr (kjøretøyforskriften), (1995).
- Google.com. (2016). Google self-driving car project. Retrieved from <https://www.google.com/selfdrivingcar/>

- Griffiths, S. (2015). The indestructible drone: Ball-shaped aircraft BOUNCES around buildings and disaster zones. *MailOnline*. Retrieved from <http://www.dailymail.co.uk/sciencetech/article-2947472/The-indestructible-drone-Ball-shaped-aircraft-BOUNCES-buildings-disaster-zones.html>
- Haukur Ingason, G. A., Ying Zhen Li. (2014). *Large scale fire tests with fixed fire fighting system in Runehamar tunnel*. Retrieved from Borås:
- Jacoby Larson, B. O., Tracy Pastore, David Hooper, Jim Edwards. (2014). Counter Tunnel Exploration, Mapping, and Localization with an Unmanned Ground Vehicle. *SPAWAR Systems Center (SSC) Pacific*.
- Lov om luftfart (luftfartsloven), (1994).
- Lov om vegar (veglova), (1964).
- Lov om vegtrafikk (vegtrafikkloven), (1965).
- Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (brann- og eksplosjonsvernloven), (2002).
- Njå, O. (1998). *Approach for assessing the performance of emergency response arrangement*. (Phd), Universitet i Stavanger, Stavanger.
- Norconsult. (2015). *Rv13 Ryfylketunnelen, Elektro og SRO Prekvalifisering, Teknisk beskrivelse*. Retrieved from
- NTNU. (2016). NTNU AMOS - Centre for Autonomous Marine Operations and Systems. Retrieved from <http://www.ntnu.edu/amos>
- PTIL. (2016). *Risikobegrepet i petroleumsvirksomheten*. petroleumstilsynet.
- Rake, E. L. (2008). *Crisis management : coping and decision making on-scene*. (no. 52), Faculty of Science and Technology, Department of Industrial Economics, Risk Management and Planning, University of Stavanger, Stavanger.
- SHT. (2013). *Rapport om brann i vogntog på rv 23, oslofjordtunnelen, 23. JUNI 2011*. Retrieved from Statens havarikomisjon for transport, Lillestrøm:
- SnowyHydro. (2013). Inspecting tunnels with high-tech unmanned submarine. Retrieved from <http://www.snowyhydro.com.au/blog/2013/12/19/inspecting-tunnels-with-high-tech-unmanned-submarine>
- Society, N. G. (Writer). (2004). Tunnel Inferno, Mont Blanc Tunnel fire [Series], *Seconds From Disaster*. United States: National Geographic Society.
- SRA. (2014). SRA glossary (Draft January 8, 2014), 4-5.
- Tor-Olav Nævestad, S. M. (2013). A survey of vehicle fires in Norwegian road tunnels 2008–2011. *Elsevier*.
- Vegvesenet. (2014). Håndbok N500 Vegtunneler.
- Vegvesenet. (2016). Ryfast prosjektet. Retrieved from <http://www.vegvesen.no/vegprosjekter/ryfast>

Vedlegg

Vedlegg 1: Intervjuguide

Intervjuobjekt

Hvem og hva er du?

Hvilke tunnel hendelser har du vært involvert i?

Hva var din rolle i disse situasjonene?

Informasjonskilder

Hvilken informasjonskilder er det

- Kart / plantegninger
- beredskapsplan
- detektorer
 - kamera
 - Mont Blanc tunnelen, ingen oversikt av kamera kort tid etter brannen startet pga. røyk i tunnelen, spesielt øverst hvor kameraene er
 - branndeteksjon
 - brannslukningsapparat deteksjon (tatt ut av holder)
- publikum
 - nødtelefon inne i tunnel
 - evakuert personell utenfor tunnel
- Beredskapslag
 - Visuell observasjon utenfor tunnel
 - visuell observasjon inne i tunnel

Informasjon

Hva av informasjon er nødvendig å ha/innhente for å ha en effektiv og sikker beredskap ved en tunnel brann?

Ledeord:

- Posisjon av brann
- hva brenner
 - eksplosjonsfare
 - Potensiell størrelse på brann
 -
- eskalerings potensial
- eskalasjons potensial

- brannfarlig isolasjons material
- kjøretøy i nærheten av brann
- antall personer i tunnel
 - lokasjon
 - personskade
- trafikk situasjon
- Vind retning
- Rømningsforhold
 - avstand

Tolkning av informasjon (Analyse)

Hva faktorer er viktig/typiske for analysen av tilgjengelig/innhentet informasjon.

- Situasjons beskrivelse
- Risikobilde
- Tids begrensning

Avgjørelser / Tiltak

Hvilke avgjørelser må tas og hvilke tiltak må/kan iverksettes på bakgrunn av innhentet informasjon?

- Angrepsretning?
- slukke / ikke slukke?
- Sende inn brannbil:
 - Hva må vites før dette tiltaket iverksettes?
- Søke mer informasjon
- Ventilasjon (øke el. snu)
- Sperre av området
- Sende inn beredskapslag?

Innsatsleder

Hva ligger i denne funksjonen?

Politi eller brannvesen i tilfelle av brann (tunnelbrann)?

Hvem styrer brannberedskapen når politi har innsatsleder?

Bruk av ubemannet teknologi

Hva ser du for deg ubemannet teknologi kunne vært til hjelp for dere ved tunnelbrann hendelser?

- Forventet opplevd grad av usikkerhet:
- Nivå av informasjon: