

2018:01000 - Åpen

# Rapport

## Simulering av evakuering i tunnel

### Forfattere

Gunnar Deinboll Jenssen

Jo Skjermo

Åsa Snilstveit Hoem

Petter Arnesen

Håkan Frantzich

Daniel Nilsson





# Rapport

## Simulering av evakuering i tunnel

**EMNEORD:**

Tunnel

VR

Selvredning

Evakuering

Varsling

Nødutgang

**VERSION**

Versjonsnummer

**DATO**

2018-10-24

**FORFATTER(E)**

Gunnar Deinboll Jenssen

Jo Skjermo

Åsa Snilstveit Hoem

Petter Arnesen

Håkan Frantzich

Daniel Nilsson

**OPPDAGSGIVER**

Statens vegvesen

**OPPDAGSGIVERS REF.**

Harald Buvik

**PROSJEKTNR**

102016696

**ANTALL SIDER OG VEDLEGG:**

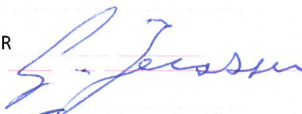
46+ vedlegg

**SAMMENDRAG****Overskrift sammendrag**

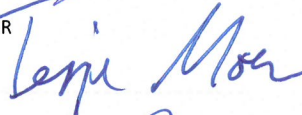
Se sammendrag på neste side.

**UTARBEIDET AV**

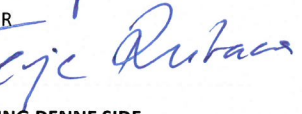
Gunnar Deinboll Jenssen

**SIGNATUR****KONTROLLERT AV**

Terje Moen

**SIGNATUR****GODKJENT AV**

Terje Reitaas

**SIGNATUR****RAPPORTNR**

2018:01000

**ISBN**

978-82-14-06915-0

**GRADERING**

Åpen

**GRADERING DENNE SIDE**

Åpen

# Historikk

---

VERSJON	DATO	VERSJONSBEKRIVELSE
Utkast	2018-09-05	[Tekst]

# Sammendrag

Objektive atferdsdata fra denne VR studien av selvredning i en 3D modell av en lang ett-løps tunnel med 81 personer fra 8 ulike nasjoner viser at:

- **Avstand mellom redningsrom** påvirker tid til redning i betydelig grad. Tid til redning er mer enn 4 ganger så lang når avstand mellom redningsrom er 500m versus 250m. En økning i tid fra 2 minutt til 8 minutt.  
**Merk!** valg av retning er gjort i starten når trafikanten forlater bilen til fots og har egentlig ingenting med avstanden til utgangen å gjøre. Det er vurderingen som gjøres i det øyeblikket basert på tilgjengelig informasjon (brann, røyk, avstandsskilt, lyslist m.m.) som blir viktig. Vurderingen av å kunne nå den nærmeste utgangen/redningsrommet selv om den er i brannens retning, - hvis det er mulig å gå den veien. Det blir viktigere (spart tid) enn å velge en potensielt sikrere utgang/redningsrom 500 meter unna.
- **Usikkerhet øker når det blir langt til nærmeste redningsrom:** Nær halvparten (46%) gikk i feil retning, det vil si mot brannen i scenario 6 med 500m avstand mellom redningsrom og 0.5m sikt. Til sammenligning var andelen fra 4-11 % i de øvrige scenariene. Valget av retning du går/løper er gjort i starten. Beslutningen initialt fattes på bakgrunn av tilgjengelig informasjon (avstandsskilt, brannens posisjon, brannens stryke, røykens bevegelser osv.) Avstand til utgang er en av flere holdepunkt for atferd. Vurderingen av muligheten til å kunne nå den nærmere utgang i brannens retning, blir for mange viktigere enn å velge en sikrere utgang 500 meter unna når avstanden vekk fra brannen blir veldig lang.
- **Visuelle ledesystem med bruk av Exit skilt med "pil ned":** En stor andel trafikanter forstår ikke skiltet. Forbedret skilting og eventuelt ledelys på tvers av vegbanen ved ensidig plassering av redningsrom er en mulig løsning. Exit skilt med pil ned bør ikke anvendes. Akustiske ledesystem (stemme over høyttaler) leder folk effektivt på tvers av tunnelen når feil side/vegg følges og visuelle ledesystem. Kontinuerlig lyslist er en bedre løsning for å ta riktig valg av side i starten og lede folk til redningsrom. Kontinuerlig lyslist) på samme side som redningsrom er plassert gir intuitivt valg av rett side og en eksplisitt ledelinje fram mot redningsrom.
- **Effekt av Kontinuerlig ledelys:**
  - **Orienterbarhet** - 97% av trafikantene velger rett side med kontinuerlig lyslist
  - **Ganghastighet** trafikantene går 10-20 sekund raskere til nødutgang, redningsrom
- **Visuelle ledesystem med avstandsskilt til redningsrom:** I tett røyk med siktavstand 0.5m ser trafikanten ofte bare det ene av to skilt som angir retning og avstand til nødutgang/redningsrom. Det øker usikkerhet og mulig feilhandling.
- **Ensidig versus tosidig plassering av redningsrom:** Resultatene viser at:
  - Folk finner raskere fram til redningsrom om de er plassert på begge sider
  - Alle som gikk vekk fra brannen (i riktig retning) fant dør til redningsrom når de var plassert på begge sider (scenario 1 og 2).
- **Akustiske ledesystem:** Av de som gikk vekk fra brannen (i riktig retning) i scenario 6 var det hele 97% som fant redningsrom på motsatt side. Det var kun 3% som bommet på dør. Scenario 6 er det eneste med både lyd og skilt for nødutgang (redningsrom) på motsatt side.

- **Hvor tett røyken er** påvirker tid til selvredning. Tettere røyk påvirker negativt. Ganghastigheten går ned med inntil 0.3m/s i scenarier med sikt på 0.5m versus 1m sikt. Tid til redning er kortest i scenarier med 250m avstand og 1m sikt i røyk.
- **Leter etter utvei.** 20% av trafikantene prøver å åpne alle dører de oppdager. Også til dør til teknisk rom, uansett scenario.
- **Validitet:** Resultatene i denne studien er validert med hensyn på indre, ytre og økologisk validitet. Resultatene viser overveiende høye skårer for opplevd realisme og stort samsvar mellom ganghastighet i virkelig miljø og virtuell tunnel under gode siktforhold.

### Videre forskning

Denne studien en simulering av evakuering i tunnel i VR og i 3D omgivelser gir gode holdepunkter for hvilke tiltak som med stor sannsynlighet kan lede trafikanter raskt og riktig fram til utgang/redningsrom. Videre forskning bør fokusere på simulering av opphold i redningsrom uten utgang til det fri og i hvilken grad trafikanter føler seg trygge og ivaretatt i slike rom. Utredningen bør ta hensyn til både fysiske funksjonelle og psykologiske forhold som kan knyttes til oppfatning av rommet

#### a) Utforming av redningsrom med hensyn til:

- Brukervennlighet
- Sosialpsykologiske forhold
- Kommunikasjon
- Førstehjelp
- Verdighet
- Trygghet
- Sikkerhet

Redningsrom vil i en kritesituasjon benyttes av trafikanter i alle aldersgrupper, funksjonsnivå og nasjonaliteter. Redningskonteinere brukt i gruveindustrien og i byggefasen av tunneler benyttes av profesjonelle som har opplæring i bruk av redningskontainere. Hvordan et representativt utvalg trafikanter opplever og bruker fasiliteter i ulike typer redningsrom bør studeres og dokumenteres.

# Innholdsfortegnelse

<b>1</b>	<b>Innledning .....</b>	<b>7</b>
1.1	Målsetting .....	8
1.2	Partnere og roller i prosjektet.....	9
<b>2</b>	<b>Metode .....</b>	<b>10</b>
2.1	Simulering av evakuering i tunnel.....	10
2.2	Utstyr .....	10
2.3	VR modellen .....	11
2.4	Scenario og tiltak for selvredning .....	12
2.5	Sikt i røyk.....	12
2.6	Opplevd kontekst.....	13
2.7	Testscenarier og ledesystem.....	13
2.8	Suksess kriterier .....	19
2.9	Gjennomføring av studien .....	19
2.9.1	Valideringsprosedyre.....	20
2.9.2	Belønning for deltakelse.....	20
2.10	Utvalg.....	20
<b>3</b>	<b>Resultater .....</b>	<b>25</b>
3.1	Utvalg.....	25
3.2	Feil retning .....	25
3.3	Feilet – fant ikke dør .....	27
3.4	Ganghastighet i røyk og total tidsbruk.....	29
3.5	Distanse.....	32
3.6	Effekt av Kontinuerlig ledelys .....	33
3.7	Trafikantenes reaksjon på tiltak.....	34
<b>4</b>	<b>Hvor realistisk er den virtuelle tunnelen? .....</b>	<b>36</b>
4.1	Validitet.....	36
4.1.1	Objektive mål på validitet i .....	37
4.2	Subjektive mål på validitet.....	38
4.3	Simulatorsyke.....	42
<b>5</b>	<b>Diskusjon.....</b>	<b>43</b>
<b>6</b>	<b>Videre forskning.....</b>	<b>48</b>
6.1	Utforming av redningsrom.....	48
6.2	Varslingsfasen .....	48
<b>7</b>	<b>Konklusjoner .....</b>	<b>49</b>

**8    Referanser.....50**

-----

-----



## 1 Innledning

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

Skal selvredning fungere og trafikanten ha en reell sjanse til å gjennomføre evakuering i røykfylte omgivelser på egen hånd må tunnelen være konstruert og utstyrt med tekniske installasjoner som vil gi hjelp støtte til trafikantene i en nødssituasjon. Eksempel på tiltak som vil styrke evnen til selvredning er bruk av automatisk deteksjon av hendelse slik at man sikrer oppdagelse av brann tidlig i forløpet. Bruk av innsnakk (talemelding) med høyttalere som sikrer at trafikantene får tidlig varsling av hendelse og hvilke farer de befinner seg, samt starte evakuering. Selvredningsprinsippet gjelder for alle vegtunneler. Det er generelt akseptert i samfunnet og det gjelder for alle typer byggverk.

Innsatstiden for redningsetater kan i mange tilfeller være lang. Særlig ved hendelser i lange og bratte ettløpstunneler i avsidesliggende strøk (ofte undersjøiske) der trafikantene ikke kan rømme over i et parallelt røykfritt tunnellopp, slik som i tunneler med to løp.

Alvorlige hendelser som utfordrer selvredningsprinsippet er først og fremst hendelser med høy branneffekt og sterk røykutvikling. Tunneler er et lukket rom og røyken har ingen sted å ta vegen. De fleste norske tunneler har naturlig trekk eller langsgående ventilasjon. Det innebærer at røyken blir værende i tunnelen eller trekker gradvis mot en portal i tråd med hastighet på iverksatt ventilasjon. Er brannventilasjonen satt til 3 m/sek vil trafikanter nedstrøms brannen raskt bli innhentet av røykfronten. Hendelser som i hovedsak involverer tyngre kjøretøy. Brann i personbil eller i kortere vegtunneler utfordrer prinsippet i mindre grad enn brann i tyngre kjøretøy i vegtunneler med lengre avstand for evakuering. Sterk stigning kan vanskeliggjøre evakuering og påvirker derfor muligheten for selvredning.

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

Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften 2007) vedlegg I, 1.1.1., sier blant annet at: *"Sikkerhetstiltak som skal gjennomføres i en tunnel, skal være basert på en systematisk vurdering av alle sider ved systemet som utgjøres av infrastrukturen, bruken, trafikantene og kjøretøyene"*

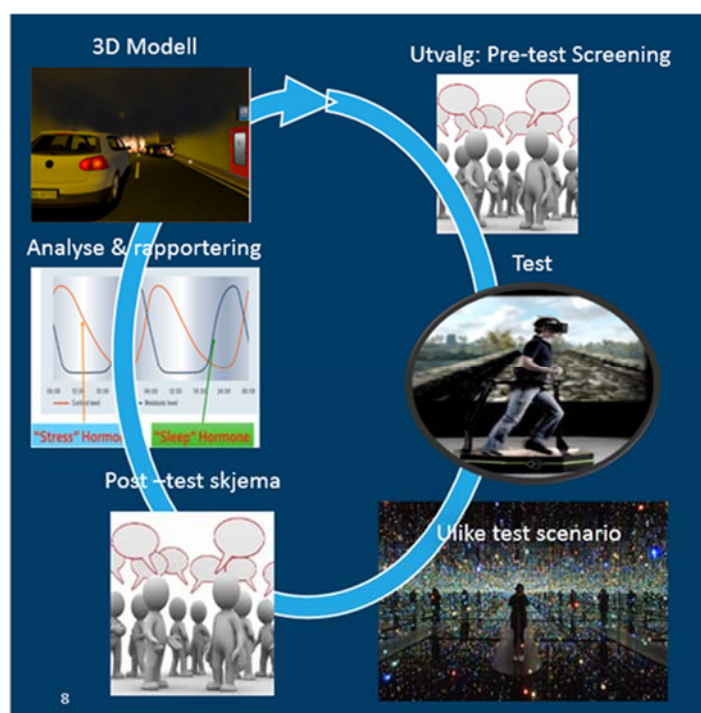
Dette betyr at tiltak må vurderes basert på hva trafikanter faktisk vurderer og gjør i ulike faser av en hendelse og ikke bare hva de burde gjøre. Sikkerhetsutrustning skal gjøre det lettere å evakuere i røykfull tunnel og lede trafikanter til ønsket adferd. Hvordan tunnelen er utformet og utrustet kan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

Redningsrom er en av flere tiltak Statens Vegvesen vurderer for å bedre forutsetningene for selvredning. Særlig for utsatte vegtunneler med lav trafikk, der det ikke er aktuelt at et nytt parallelt tunnelløp vil bygges ut. Det er derfor behov for å kvantifisere funksjonskravene til redningsrom, særlig fordi EUs tunneldirektiv (2004) i utgangspunktet ikke tillater slike rom uten tilgang til det fri i dag. Direktivet har imidlertid en åpning for nye og innovative løsninger som kan kompensere for kravet, som gir en tilsvarende eller høyere grad av beskyttelse enn gjeldende løsninger. Som nevnt i kravspesifikasjon for tilbudet, er reell utprøving av redningsrom som dokumentasjon av at de oppfyller funksjonskrav, derfor en del av det nødvendige forsknings – og utviklingsarbeidet for å kunne dokumentere behov for avvik fra EU-direktivet.

I mange tidligere VR-forsøk har forsøkspersonene beveget seg ved hjelp av håndkontroller. Denne typen interaksjon er imidlertid ikke så realistisk som når deltakerne i stedet kan gå på en tredemølle. Det er flere forskjellige gå-plattformer på markedet, men modellen som anses å ha den mest realistiske forflyttingen, er Cyberith Virtualizer. Den er utviklet for forskningsformål og brukes nå av Fraunhofer (DE), University of Cambridge (UK), Lunds universitet (SE) og SINTEF (NO). I Virtualizer kan deltakerne gå på en rett overflate mens de er festet i en sele. Det gir i mange henseende et gange som ligger nært opp til folks normale ganglag. En annen fordel med Virtualizer er at folk kan bevege seg i en retning mens de ser i en annen retning, fordi det er kroppen og ikke hovedretningen som styrer bevegelsen. Dette er spesielt viktig for VR forsøk i tunneler fordi fysiske fullskalaforsøk har vist at trafikantene i stor grad beveger seg langs tunnelveggen, noe som betyr at utgangene eller dører til redningsrom er plassert i 90 graders vinkel i forhold til gå-retningen. Enklere typer gåplattformer mangler vanligvis denne funksjonaliteten.

## 1.1 Målsetting

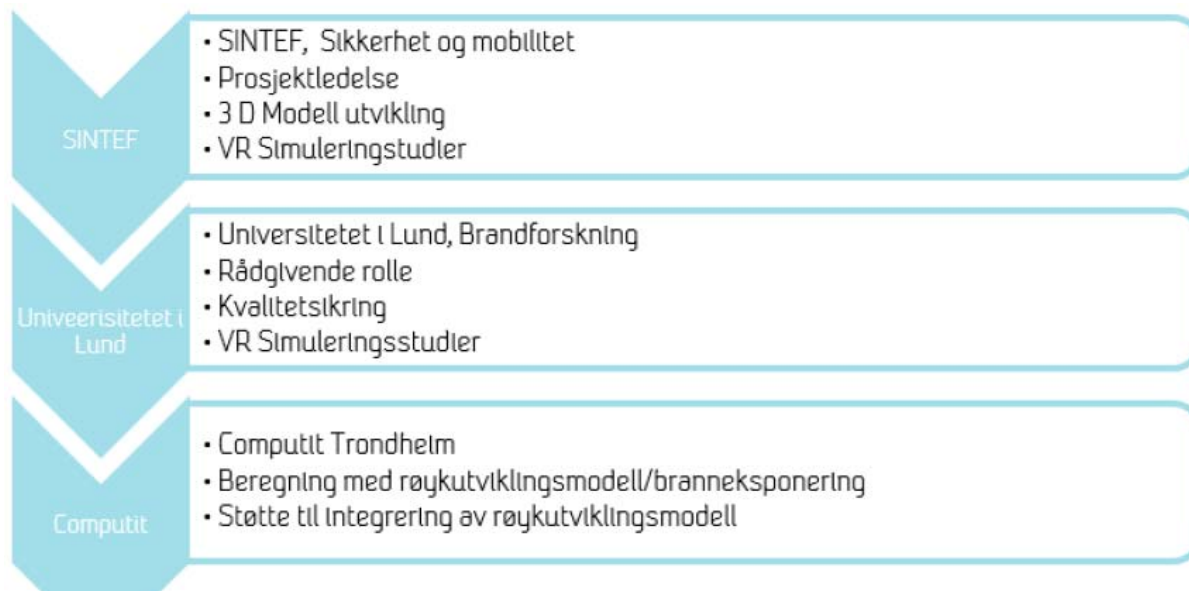
Prosjektet innebærer en simulering av evakuering i vegtunnel. I henhold til konkurransegrunnlaget er hovedhensikten med simuleringen er å dokumentere at sikkerheten i tunnelen blir ivaretatt ved at trafikantene finner fram til redningsrom uten utgang til det fri. Prosjektet vil gjennomføres med en fullskala laboratoriesimulering med gå plattformer for bruk i kombinasjon med Virtual Reality (VR) og 3D modellering av virkeligheten av en evakueringssituasjon i en lang og bratt undersjøisk vegtunnel.



**Figur 1** Forsknings prosessen fra 3D modellering, utvalg, test med VR utstyr i ulike scenario, analyse og rapportering.

## 1.2 Partnere og roller i prosjektet

Prosjektet er organisert som et arbeidsfellesskap mellom SINTEF, Lunds universitet og Computit.

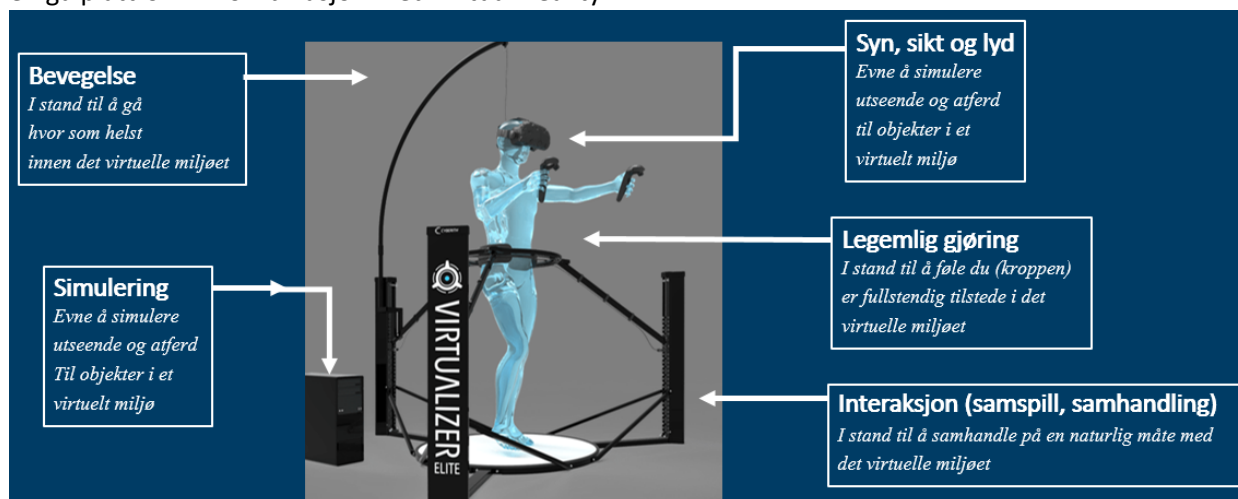


**Figur 2. Partnere og roller i prosjektet**

## 2 Metode

### 2.1 Simulering av evakuering i tunnel

Studien er en fullskala laboratoriesimulering ved hjelp av Virtual Reality (VR), basert på 3D-modellering av en evakuerings situasjon i en lang og bratt undersjøisk vegtunnel. Fokus er på evalueringsfasen fra trafikanten har forlatt kjøretøyet og står utenfor denne. For å kunne gå i den virtuelle 3D-modellen av tunnelen benyttes en gå plattform i kombinasjon med Virtual Reality.



Figur 3. Fordeler med bruk av VR i kombinasjon med gå-plattform

### 2.2 Utstyr

Forsøket utføres i et vanlig rom med Cyberith Virtualizer utstyr (gå plattformen) og HTC Vive (VR-briller). Posisjonering registreres ved sensorer montert i taket over rundt gå plattformen. Sensorer i gå plattformen registrerer retning kroppen er vendt og ganghastighet. Forsøk utføres ved VR -laboratorier ved SINTEF i Trondheim og ved Lunds universitet. Identisk utstyr er brukes ved begge VR- laboratorier. SINTEF har utviklet en 3D modell av en lang ettløps tunnelen i et arbeidsfellesskap med Brandteknik ved Lunds universitet i Lund og Computit i Trondheim. 3D-modellen og vitenskapelig metodikk er kvalitetssikret av Lunds universitet. Samsvar i funksjonalitet er sjekket før oppstart av studien. Computit sin anerkjente modell for brannutvikling er brukt som basis for brann og røykutvikling i VR-modellen av tunnelen. Implementering av brannutvikling og røykspredning er kvalitetssikret av Computit.



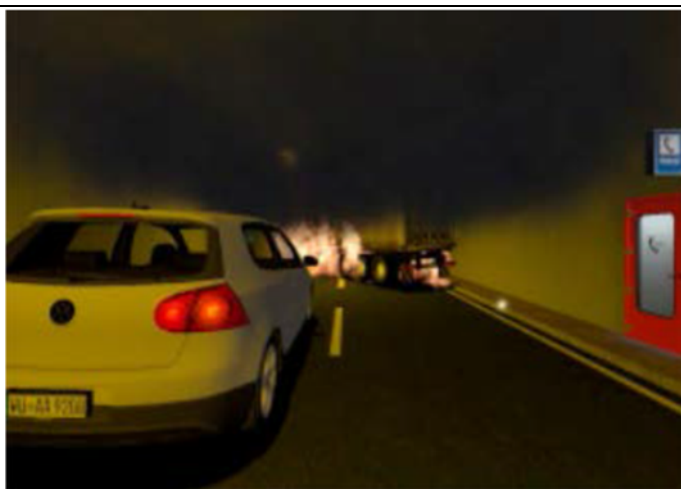
**Figur 4. HTC Vive head sett for VR med hodetelefoner.**



**Figur 5. Cybereth Virtualizer utstyr (gå plattform). Bilde fra SINTEF VR-Lab. Identisk utstyr brukes i VR -Lab ved Universitetet i Lund.**

## 2.3 VR modellen

Simulering i VR i gjøres i en tunnel tilsvarende en lang ettløps tunnel. 3D-modell av tunnelen er utstyrt med normale installasjoner i form av havarilommer, brannslukkere, nødtelefoner og skilt. 3D-modellen er i likhet med den virkelige undersjøiske tunnelen 7.3km lang. Det dypeste punktet i tunnelen er 134m under havet og største stigning i tunnelen er 7%. 3D-modellen har i likhet med en del undersjøiske tunneler ett løp med et kjørefelt i hver retning i bunnen, og et ekstra krabbefelt i stigningene i 3D modellen er videre utstyrt og framstår interiørmessig bygd med sprøytebetong og betongelement langs veggene, ca. 3,5m høye.



**Figur 6. Brann røyk kjøretøy og nødstasjoner er en del av tunnel interiøret som trafikantene møter og har mulighet til å se og interagere med i testsituasjonen. Screendump fra VR modell.**



**Figur 7. Dør til teknisk rom. Den er låst og kan ikke åpnes. Slik den vil være i en virkelig tunnel. Screendump fra VR modell.**

I 3D-modellen av tunnelen er dører utplassert som korresponderer med dør til teknisk rom. Denne døren er i virkeligheten vanligvis låst og skal ikke åpnes. I 3D-modellen var det derfor ikke mulig å åpne denne, selv om det er et håndtak her.

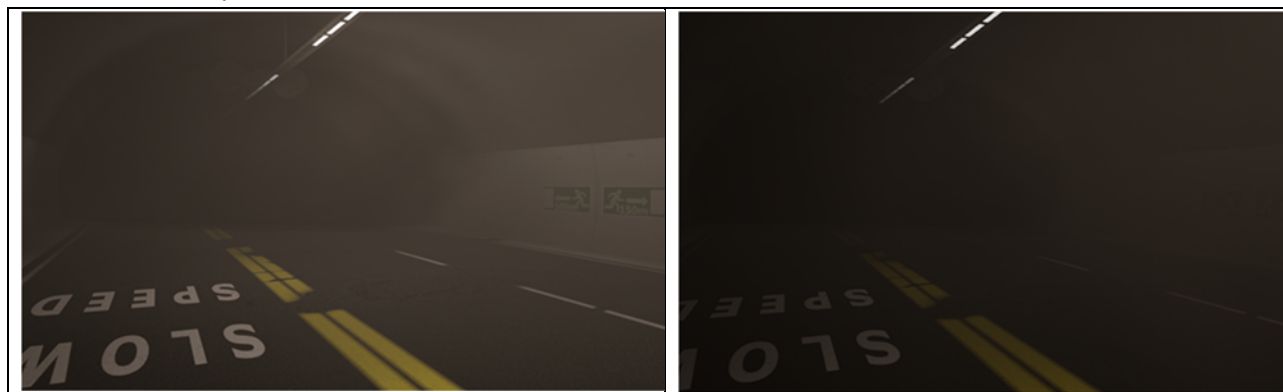
## 2.4 Scenario og tiltak for selvredning

Redningsrom plasseres i henhold til prosjektplanen på 250 meter avstand (scenario1-5) og på 500 meter avstand i scenario 6. I VR-miljøet kan plasseringen være forskjellig hvis dette er en forutsetning for å undersøke et bestemt scenario eller om flere scenarier undersøkes i samme VR-modell. Plasseringen av redningsrommet (hvilken side av tunnelen) avhenger av tilstanden (betingelsene) i det respektive scenariet. Plasseringen er alltid på "den andre siden" i forhold til den side som forsøkspersonen velger å gå på (styres i 3D-modellen). Forsøkspersonene får se en "*primingvideo*" av innkjøring i tunnelen, fram mot trafikal stans og sikt til selve brannen med parkerte og tilsynelatende forlatte personbiler. Under innkjøringsfasen er redningsrommet plassert på alternerende sider. Det er av hensyn til primingeffekt. Priming (fra engelsk) eller forhåndspåvirkning er i psykologien det fenomenet at små, ofte ubevisste inntrykk fra enkeltord, bilder, lukter, gester, handlinger og annet planter forventninger hos en person og påvirker hva personen husker etterpå. Trafikanter vil normalt kunne ha en aning om hvilken side evakueringsrom befinner seg på etter å ha passert og sett dører til redningsrom i forkant av en brann. Av hensyn at ensidig eller alternerende plassering av evakueringsrom ikke er vedtatt i Norge var det i innkjøringen plassere et par evakueringsrom på alternerende side.

Det innebærer at forsøkspersonen kan ha en forutanelse av rommenes tilstedeværelse, men ikke hvilken side de befinner seg på. Selv om rommene plasseres tett (mindre enn 250m) i innledende forsøk, er det likevel mulig å få data på ganghastighet når vi tester de beste tiltakene i tett røyk (0.5m sikt). Om trafikantene finner fram til rommene og på hvilken måte ("*trajectory/walking path*") registreres i alle forsøksrundene.

## 2.5 Sikt i røyk

Sikt i røyk vil i en reell brann variere fra god sikt innledningsvis ned til null sikt. Trafikanter kan ved brann i tunneler med langsgående ventilasjon oppleve at sikten varierer noe. Fra en håndlengde eller kortere, om ventilasjonsretningen snus, slik det skjedde i ved brann i Gudvangatunnelen i 2014 (Jenssen et al. 2017, 2018). Sikten i det røykfylte miljøet bør normalt være omtrent en meter sett mot et opplyst objekt. Dette tilsvarer en avstand på ca. 3 meter til en lys gjenstand (reflekterende lys). Det innebærer at trafikantene ikke vil se visuelle tiltak før de har krysset halve kjørebane. Scenarier utføres i noen tilfeller (scenario 5-6) med dårligere sikt, ca. 0,5 meter mot opplyste gjenstander. Dette er for å undersøke betingelser for selvredning også under dårligere forhold, som vi vet kan opptre ved større brann. Logikken er at å teste en rekke ledesystem (visuelle og akustiske). De antatt beste løsningene testes så i ekstremt dårlig sikt (0.5 m). Hvis tiltaket fortsatt fungerer (leder folk til evakueringsrom) har man funnet fram til den beste løsningen. Siktavstanden i røyken skal være konstant under hvert forsøk, men kan variere noe lokalt.





**Figur 8.** Etter hvert som røyken når trafikanten (i utgangsposisjon) forsvinner sikt til kjøretøy og skilt, skjermdump fra VR modellen.

## 2.6 Opplevd kontekst

Alle fikk som innledning til forsøket se en priming video. Priming videoen viste innkjøring mot brann i tunnel, sett fra førerplass i kjøretøy (for nærmere beskrivelse av prosedyre se pkt 2.9).

Når røyken kommer og omslutter bilen, tones bildet ned, og i neste trinn står trafikanten utenfor sin egen bil på høyre side av bilen mellom bil og vegg. I denne posisjonen begynner eksperimentet.



**Figur 9** Brann og røyk er synlig når trafikanten står i startposisjon. Foto SINTEF



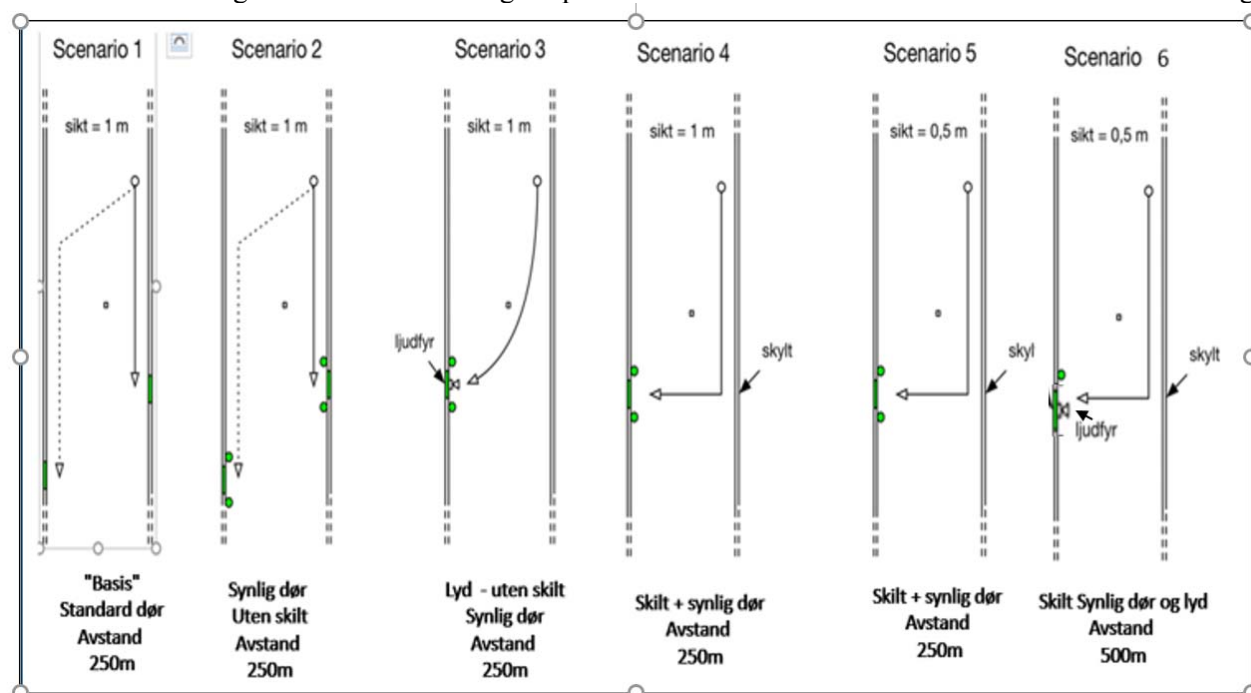
**Figur 10** Avstandsskilt er plassert hver 50m. Skilt for begge retninger på begge sider av tunnelen er synlig for trafikant i startposisjon. Merk! skilt i startposisjon viser 100m mot og 150m vekk fra brannen i scenario 1-5. I scenario 6 er tilsvarende visning 50m og 450m. Skjermdump fra VR modell. For nærmere beskrivelse av scenarier se pkt 2.7

Lyd, lydnivå og retning på lyd er viktig både for realisme og orienterbarhet. I VR-miljøet brukes lyd og forsøkspersonen bærer stereohodetelefoner for å kunne vurdere retning og lydstyrke av forskjellige lyder. Støy fra vifter og brannventilasjon er til stede (ca. 60db), og denne lyden kommer fra flere steder i tunnelen, det vil si fra stedene der det er vifter montert.

## 2.7 Testscenarier og ledessystem

Seks forskjellige scenarier er undersøkt der et grunnleggende scenario utgjør basis forutsetninger (tunnel uten spesielle tiltak) med enkel form for installasjon og design av dør til redningsrom. Vi gjør oppmerksom på at startposisjon i figuren (figur 11) er prinsipiell og døren kan i 3D-modellen kan plasseres på andra siden om forsøkspersonen først velger å gå på "motsatt side". I scenario 1 og 2 var det redningsrom plassert på begge sider av tunnelen, mens dør til redningsrom alltid var plassert på motsatt side av den tunnelveggen forsøkspersonen valgte å følge. Dette ble gjort for å kunne teste effekt av akustiske og visuelle ledessystem når

dør til redningsrom befant seg på motsatt side av den trafikanten følger.







**Figur 11. Testscenarier anvendt i studien.**




Tabell 1 viser variabler som er studert i hvert testscenario med detaljert informasjon om hvert enkelt tiltak.

**Merk! Scenario 8** (kontinuerlig lyslist) er ikke vist på figuren (figur 11), men var identisk med scenario 6 bortsett fra at en kontinuerlig lyslist befant seg på samme side som dør til redningsrom

**Tabell 1: Detaljert informasjon om testscenarier**

Scenario	Variabel	Sikt	Design	Ledesystem
<b>1.Basis</b> (250m)	Enkel dør til redningsrom uten spesielle tiltak	1.0m	Opplyst nødschild over dør (ISO 7010 "løpende mann" symbol og på hver side.  Redningsrom hver 250m	
<b>2.Visuell</b> (250m)	Ekstra synlig dør med statiske piler inn mot døren	1,0m	Grønne LED ramme rundt dør og store grønne piler inn mot døren på hver side Redningsrom hver 250m	
<b>3.Akkustisk</b> (250m)	Talemeldinger Utgang her, Exit here, Ausgang hier	1.0m	Retningsbestemte høyttalere plassert ved dør til redningsrom med en styrke på 60db. Lyden er hørbar ca. 30m fra redningsrommet. Dør dynamisk plassert på motsatt side	
<b>4.Visuell og skilt</b> (250m)	-Ekstra synlig dør statiske piler inn mot døren -Skilt for utgang på motsatt side av tunnelen	1.0m	Redningsrom hver 250m. Dør dynamisk plassert på motsatt side	



<b>5. Visuell og skilt</b>  (250m)	<b>Ekstra synlig dør</b> statiske piler in mot døren -Skilt for utgang på motsatt side av tunnelen	0.5m	Redningsrom hver 250m men dynamisk plasser alltid på motsatt side	
<b>6. Visuell og Akustisk</b>  (250m)	<b>Ekstra synlig dør</b> statiske piler in mot døren -Skilt for utgang på motsatt side av tunnelen <b>Talemeldinger</b> <i>Utgang her, Exit here, Ausgang hier</i>	0.5m	Redningsrom hver 250m men alltid dynamisk plasser alltid på motsatt side  Retningsbestemte høyttalere plassert ved dør til redningsrom med en styrke på 60db. Lyden er hørbar ca. 30m fra redningsrommet.	
<b>8. Kontinuerlig ledelys</b>  (250m)	<b>Kontinuerlig ledelys</b> synlig i starposisjon og fram til redningsrom  <b>Ekstra synlig dør</b> statiske piler in mot døren -Skilt for utgang på motsatt side av tunnelen <b>Talemeldinger</b> <i>Utgang her, Exit here, Ausgang hier</i>	0.5m	Redningsrom hver 250m men alltid dynamisk plasser alltid på motsatt side  Retningsbestemte høyttalere plassert ved dør til redningsrom med en styrke på 60db. Lyden er hørbar ca. 30m fra redningsrommet.	

I Basisscenarioet (scenario 1) er døren grønn og utstyrt med tegn som tilsvarer bilder fra reelle tunneller (skilt med N og T3, T4, etc.). Ingen evakueringsskilt er montert på døren. Døren er utstyrt med et standard dørhåndtak.

Døren belyses svakt som gjør at den ser ut som en dør i tunnelveggen, ingen ekstra sterke lys.



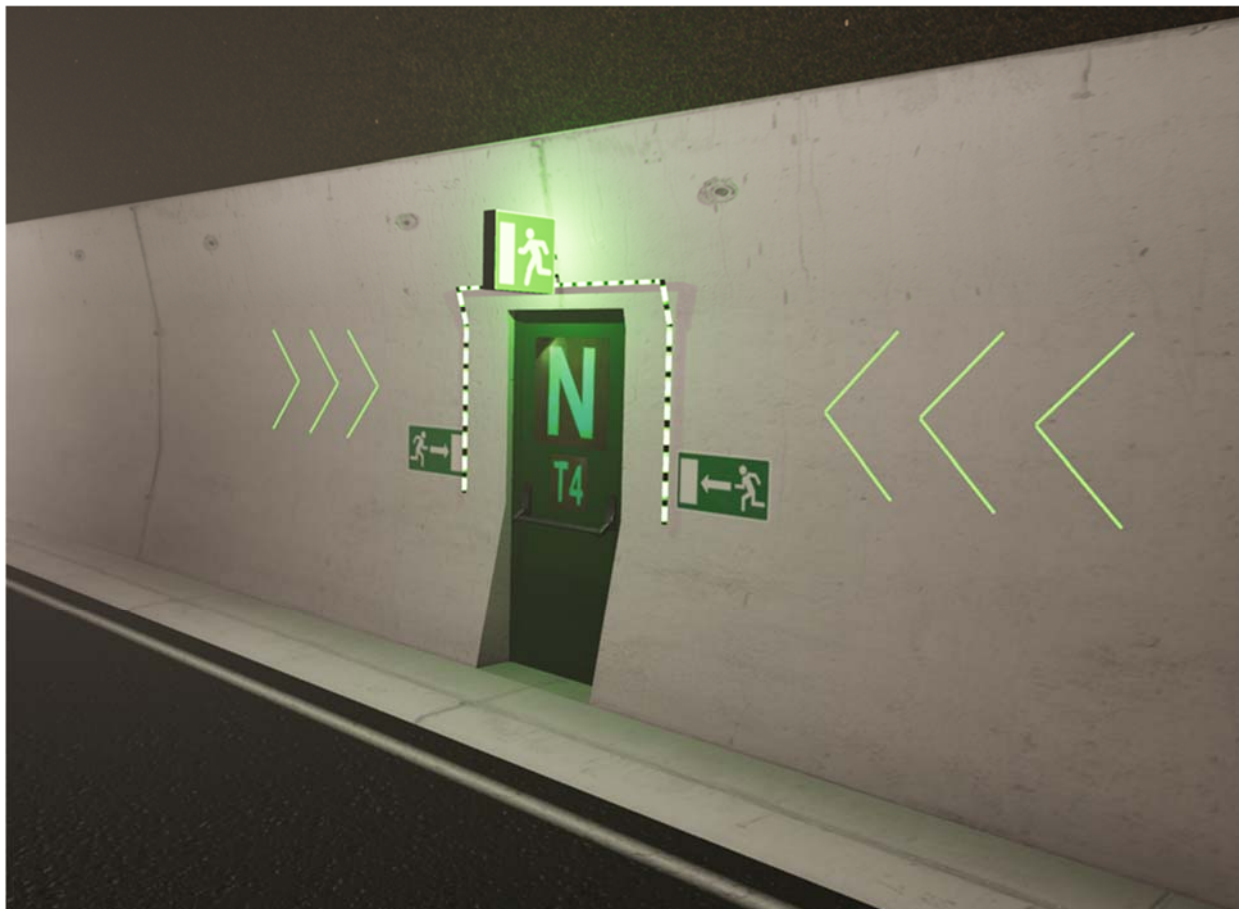
**Figur 12. Basisscenarioet har en enkel utforming av dør til redningsrom uten visuell forsterkning eller akustisk ledesystem. Betingelser: 250m avstand mellom redningsrom og 1m sikt i røyk. Skjermdump fra VR-modell.**

I Scenario 3 og 6 testes lokal akustisk alarm ved døren. Lyden er satt til være så høy at det høres fra ca. 30 meter fra døren i en tunnel med 60db bakgrunnsstøy fra vifter og lignede. Lyden kommer i form av en forhåndsinnspilt talemelding med Akustisk alarmsignal som er plassert ved dør til redningsrom og som da oppleves retningsbestemt. Lyden kommer fra en utgang, følg lyden som kommer ut" - akustisk melding kommer på norsk engelsk og tysk. Henholdsvis; "*Utgang her, Exit here og Ausgang hier*". Det er dynamisk plassering av dør i scenariene 3 og 6. Det innebærer at døren alltid er på motsatt side av veien forsøkspersonen følger.



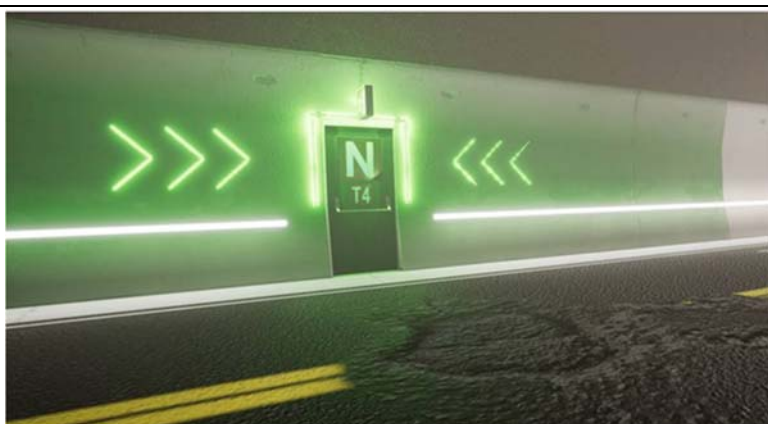
**Figur 13. Dynamisk plassert pil-ned skilt på motsatt side av tunnelen for dynamisk plassert dør til redningsrom (ikke benyttet i scenario 1-3). Skjermdump fra VR modell.**

Scenario med forbedret design av dør til redningsrom er scenariet 2, 4, 5. Døren er fortsatt grønn og utstyrt med et vanlig håndtak. Rundt døren er en grønn lysstrimmel med LED-lys som rammer inn døren. På hver side av døren er store hvite pilemerker tilsvarende de som tennes ved brann i Oslofjordtunnelen.



**Figur 14. Scenario, 2, 3, 4, 5 og 6 har visuell forsterkning med LED lys som rammer inn døren og dynamiske piler som leder inn mot døren på hver side. Skjermdump fra VR modell.**

Utgang til redningsrom i scenarier 1 og 2 dobles, dvs. de befinner seg på begge sider av tunnelen. Dette gjøres for å prøve installasjoner og tiltak selv om forsøkspersonen velger å bytte side av tunnelen (strek-linje i testscenarie-skissene 1-6 presentert i Figur 11. Testscenarier anvendt i studien.Figur 11.



**Figur 15. Skjermdump fra VR modell av tunnel med kontinuerlige ledelys**



**Figur 16. LED kontinuerlige ledelys installert i Granfosstunnelen. Bilde: Energy Optimal**

## 2.8 Suksess kriterier

Det primære målet med studien er å se om trafikanter finner fra til redningsrom som funksjon av tiltak for å styrke selvredning. Det vil si akustiske eller visuelle virkemidler styrker orienterbarhet og veileder trafikanter til nærmeste redningsrom på en rask og sikker måte.

- **Åpne dør:** Et vellykket valg av utgang til et redningsrom er at personen forsettlig (aktivt) forsøker å komme inn gjennom en slik dør. Eksakt indikator fra VR-miljøet er at forsøkspersonen trykker på en håndkontroller for å åpne døren til redningsrommet.
- **Vegvalg:** Hvilken retning du går og om du går korteste veg registreres (*trajectory / walking path*) i tunnelen for å se om det observerbare forskjeller mellom ulike scenarier og installasjoner.
- **Ganghastighet:** Hvor fort du går registreres som funksjon av visuelle og akustiske virkemidler ledesystem.

## 2.9 Gjennomføring av studien

Deltagere til studien ble rekruttert via utlysning på sosiale medier, SINTEF og Lund universitetets nettverk. Det ble tilstrebet å samle deltagere med ulike bakgrunn, kjønn og alder. Som ledd i screeningen ble personer som scoret høyt på apfelkriteriene for simulatorsyke ekskludert. Deltagerne meldte seg frivillig, og studiet ble gjennomført i uke 15-19 (scenario1-6) og uke 35 (scenario 8). Hver deltager brukte i mellom halvannen til to timer på å gjennomføre studiet. Prosedyre for gjennomføring:

1. Deltager ønskes velkommen og blir gitt et skjema "Pre-test" med generelle spørsmål og spørsmål om erfaring med og holdning til å kjøre i tunnel.



2. Tidtaking (validering av ganghastighet): Tiden deltagerne brukte på å gå en rett flat strekning på 30m ble målt. Før deltageren begynte å gå fikk han/hun beskjed om "å gå i et mot nødutgang i enden av gangen".
3. Simulatortrening: Deltageren fikk se en innføringsfilm i hvordan man gikk inn og ut av gå-plattformen (Virtulizer), samt hvordan man skulle gå og bevege seg i gå-plattformen. Deltagerne fikk hjelp til å entre plattformen og tilpasse VR-brillene. Det ble også opplyst om at man til enhver tid kan avbryte studien om man følte ubehag.
4. I simulatoren gjennomførte deltagerne så et treningsscenario i en virtuell modell av et fortau i en by, hvor de fikk instruksjoner om å gå til bestemte punkt og øve på å åpne dører.
5. Etter at deltagerne mestret gå-plattformen og lyktes med oppgavene i simuleringen, begynner gjennomføringen av selve scenarioene. Basert på en randomiseringsnøkkel hadde hver enkelt deltager en unik rekkefølge på scenarioene.
6. En priming video ble så vist til deltageren: Videoen viser innkjøringen i tunnelen, fram mot trafikal stans og sikt til en parkert lastebil som står i brann.
7. Tre scenarier ble kjørt, før deltageren fikk tilbud om en pause.
8. De siste tre scenariene ble så gjennomført.
9. Tilslutt fylte deltagerne ut et "Post-test" skjema ble spørsmål om blant annet hva de synes om de ulike løsningene i scenariene. De fulgte også ut et NASA TLX-skjema (Task. Load. Index) for å måle opplevd (subjektiv) arbeidsbelastning, mentalt og fysisk.

### 2.9.1 Valideringsprosedyre

Et viktig objektivt mål på validitet i denne studien er ganghastighet. For å si noe om ytre validitet har denne studien sammenlignet ganghastighet over 30m i en korridor innendørs (pkt. 2 ovenfor) i retning en nødutgang med ganghastighet i en virtuell 3D modell der trafikanten går på en gå-plattform. Ganghastigheten er målt under tre betingelser:

- a) Virkelig: 30m rett flat strekning i en korridor innendørs i retning en nødutgang
- b) Virtuelt-trening: 30m rett flat strekning i en virtuell modell av et fortau i en by, under tilvenning til bruk av gå-plattformen (Virtulizer)
- c) Virtuelt scenario 5: 30m rett flat strekning i en virtuellmodell av en tunnel etter en times erfaring med å bruke gå-plattformen (Virtulizer)

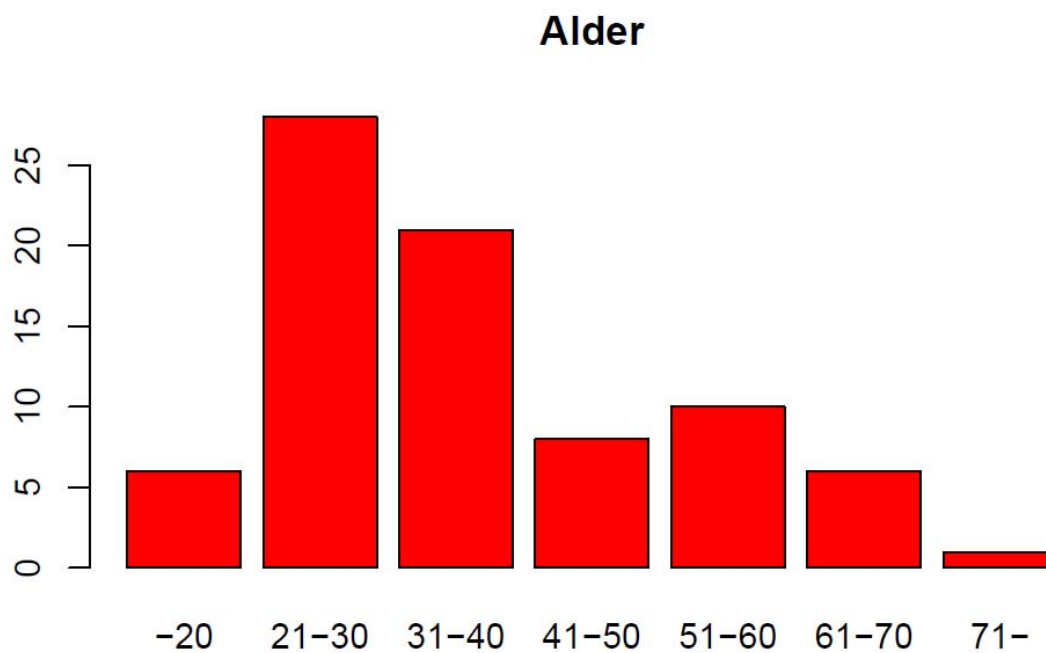
Subjektive mål på validitet ble innhentet med spørreskjema etter hver testrunde og samlet til slutt. Dette for å si noe om økologisk validitet er trafikantene ble spurt hvor realistisk de har opplevd den virtuelle situasjonen de er satt i, totalt sett og hvordan de har opplevd spesifikke element i de virtuelle tunnel scenariene etter erfaring med hvert enkelt scenarie.

### 2.9.2 Belønning for deltakelse

Kompensasjon til forsøkspersonene for å delta i studien er satt til to kinobilletter.

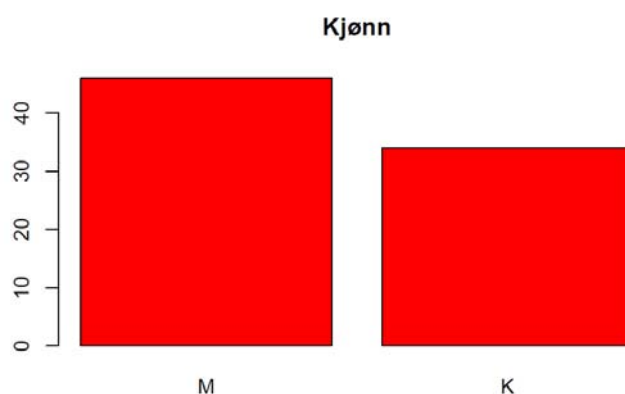
## 2.10 Utvalg

Studien er gjennomført med et representativt utvalg trafikanter i alderen 18-69 år av begge kjønn. Personer med kjente



Figur 17. Aldersfordeling i utvalget

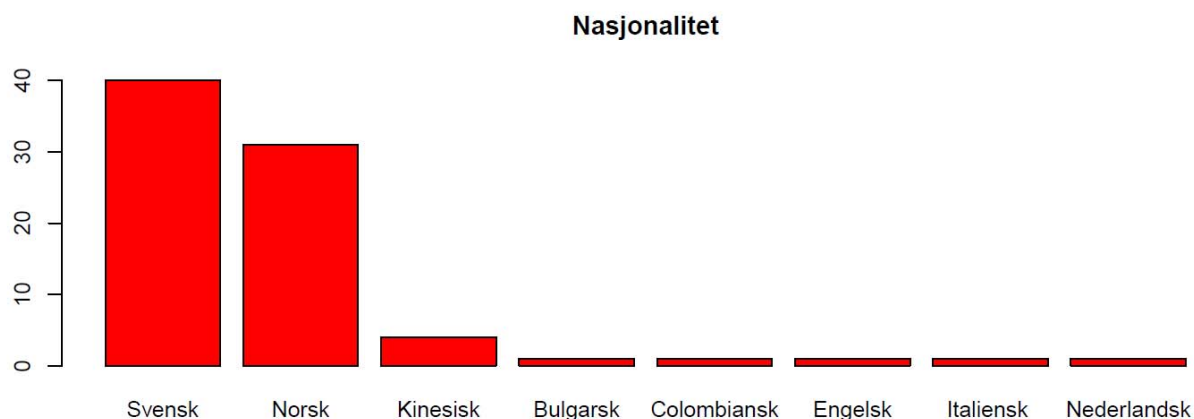
Majoriteten i utvalget var i alderen 20-40 år, hvor den yngste var 15 og den eldste 71.



Figur 18. Fordeling av kvinner og menn i utvalget

Figur 18 viser en relativt jevn kjønnsfordeling i utvalget, med en liten overvekt av menn.

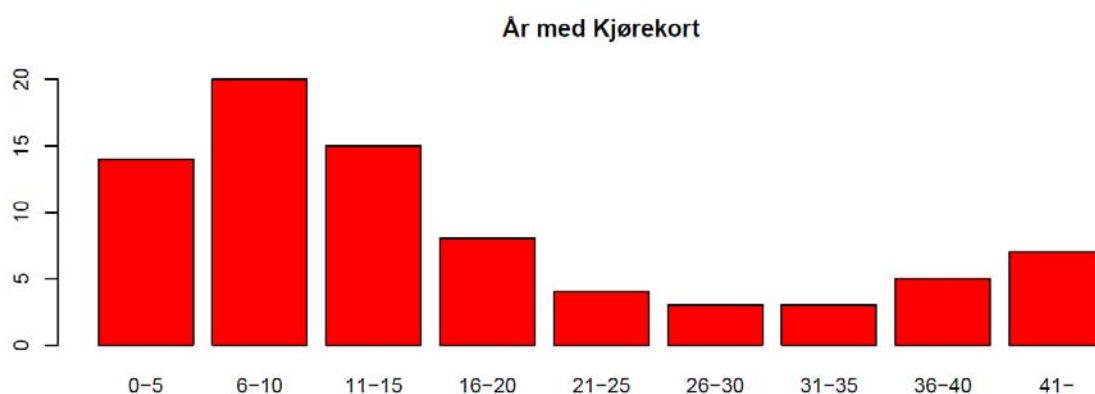
For å undersøke om tiltak for selvberging fungerer også opp mot utenlandske sjåførere er det i tillegg til de norske inkludert førere fra i alt 8 nasjoner (Figur 19).



**Figur 19. Antall deltakere fordelt på nasjonalitet.**

Figur 19 at nasjonalitet i utvalget er fordelt på 40 svenske, 30 norske 9 fra andre nasjoner. I alt er 8 nasjonaliteter representert i utvalget.

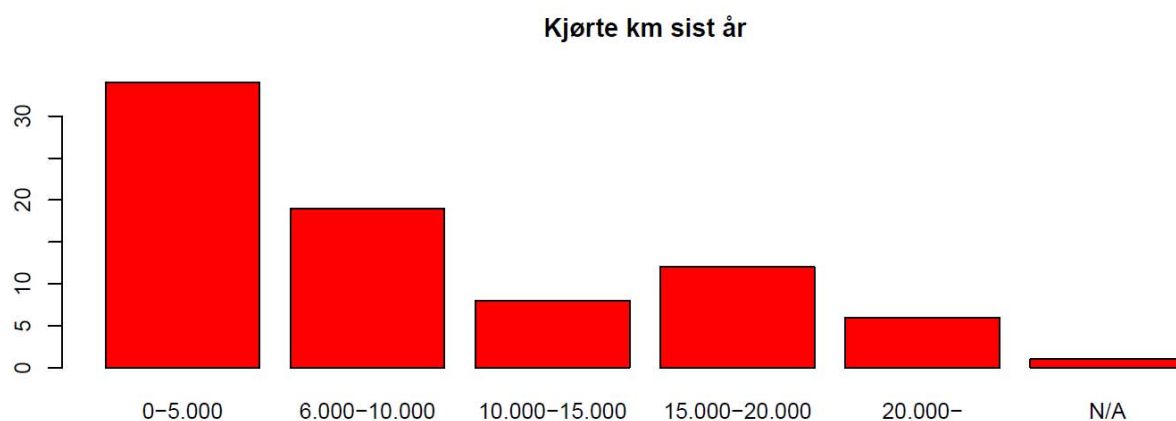
Alle i utvalget unntatt en ungdom på 15 år har gyldig førerkort klasse B. De fleste har hatt førerkort i mer enn 5 år.



**Figur 20. Antall år med førerkort fordelt på 6 års intervaller**

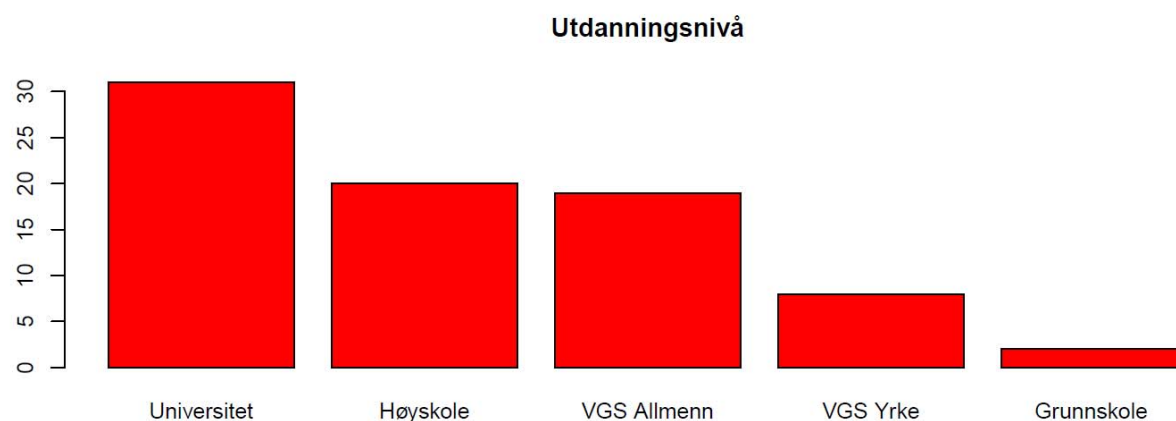


I screening før forsøket ble erfaring med kjøring i tunnel (frekvens), type tunnel og i hvilke land (lokasjon) undersøkt. Det forventes at de norske forsøkspersonene vil være mer vant med kjøring i tunnel enn de som rekrutteres i ved Lunds universitet og utenlandske borgere med midlertidig opphold i Norge.



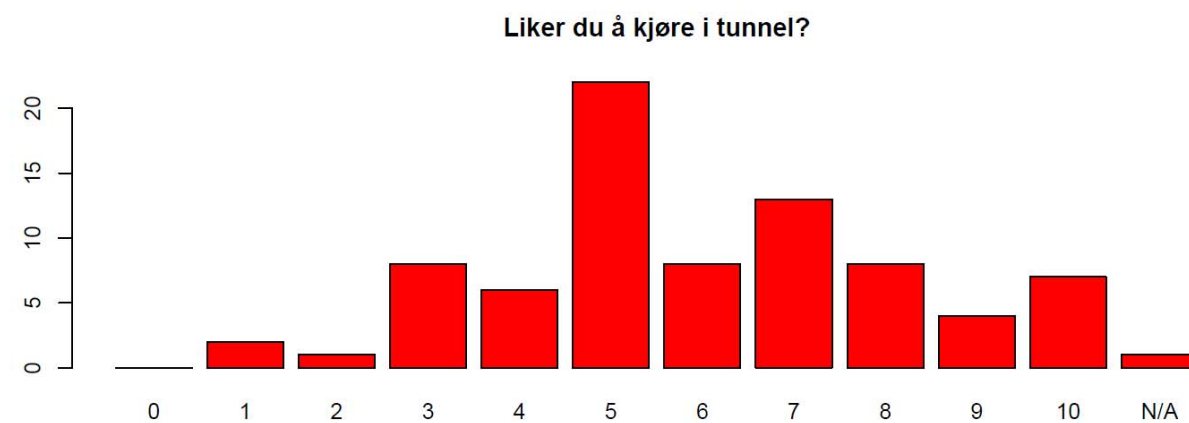
**Figur 21. Fordeling av kjørte km pr år i utvalget**

En overvekt av de som kjører lite (Figur 21) er yngre førere.



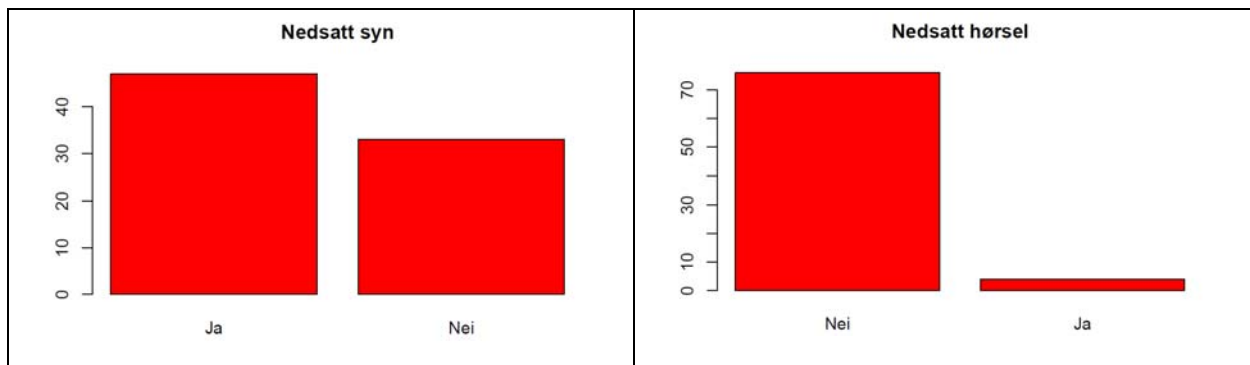
**Figur 22. Fordeling av utdanningsnivå i utvalget**

Fordeling av utdanningsnivå (Figur 22) i utvalget viser en rimelig bra fordeling av yrke og utdanning, med en liten overvekt av universitet og høyskole utdannede.



**Figur 23. Forhold til tunnel i utvalget**

Figur 23 viser en tilnærmet normalfordelt holdning til kjøring i tunnel, med en svak overvekt av personer som liker å kjøre i tunnel. Den tidelte skalaen går fra *misliker helt slik kjøring* = 0 til *liker absolutt slik kjøring* = 10.



**Figur 24. Fordeling av personer med nedsatt syn og hørsel i utvalget**

Figur 24 viser at det er i overkant av 30 personer i utvalget med nedsatt syn. Alle disse brukte briller eller kontaktlinser. Bruk av briller hindrer ikke forstyrrer bruk av VR head sett. En person hadde nedsatt hørsel på ett øre på grunn av sprukket trommehinne.

## 3 Resultater

### 3.1 Utvalg

Antall personer som har gjennomført den krysskulturelle studien og som er inkludert i analysen er:

- 41 Norsk studie fordelt på 30 norske og 11 fra andre nasjoner
- 40 Svensk studie

Antall fullstendige data per testscenario (1-6) er vist i tabell 1. Som det framgår i tabellen under, fullførte ikke alle personene studiet. Dette var blant annet på grunn av:

- Fysisk (kvalme og ubehag)
- Psykisk (blant annet ble en veldig skremt av å høre stemmer på et uforståelig språk)

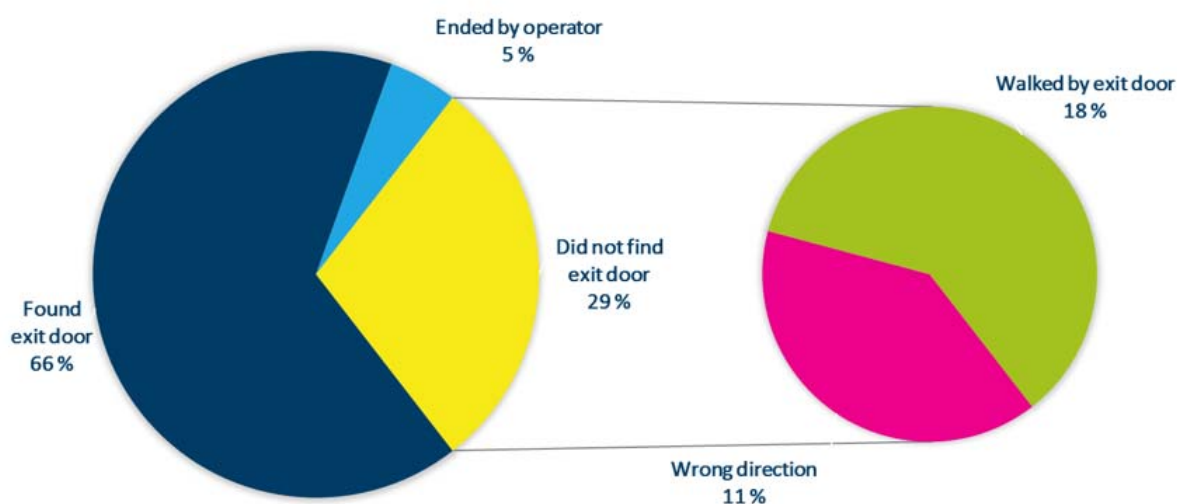
**Tabell 2. Antall personer med komplett datasett per testscenario**

Scenario	1	2	3	4	5	6	8
Antall	78	76	77	77	75	52	21

Merk! Antall personer med komplett datasett er lavere i scenario 6 og 8. Dette var en opsjoner og i henhold til avtale med oppdragsgiver var det ikke like mange som gjennomførte test i disse scenariene. Scenario 1-6 fikk testpersonene erfare fortløpende samme dag på forsommeren 2018. Scenario 8 ble testet og gjennomført etter sommerferien med flere ukers opphold i testingen.

### 3.2 Feil retning

Undersøkelser fra reelle branner viser at folk lett kan miste retningssansen når de blir stresset og fanget i røyk (Jenssen et al. 2017). Ledesystem og andre forhold ved kontekst kan påvirke dette.



**Figur 25. Andel som fant og åpnet dør til redningsrom totalt i alle scenarier**

Figur 25, viser at 66% fant fram til redningsrom og åpnet døren. 29% fant ikke fram til redningsrom. Av disse gikk 11% i feil retning mot brannen i en tidlig fase. 18 % passerte dør til redningsrom uten å oppdage det.

Det er viktig å merke seg at hele 97 % fant dør til redningsrom på motsatt side av de som gikk så langt at de kom innen rekkevidde til å høre en retningsbestemt stemme over høyttaler som sa *Utgang her, Exit here, Ausgang hier*, på norsk, engelsk og tysk.

Resultat presentert i tabell 2 viser at andel som snudde og gikk mot brannen i scenario 6 (46%) er større enn i de andre scenariene. Scenario 6 er det eneste scenariet med 500m mellom redningsrom.

Statistisk test utført på: *Differanser mellom binomisk fordeling*

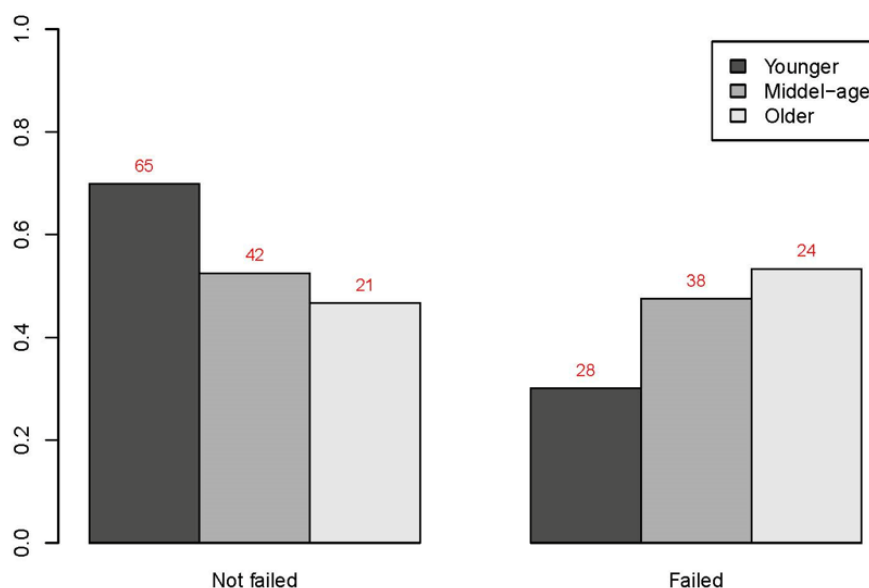
- Hovedresultat fra statistisk analyse er på 5 % signifikansnivå
  - Scenario 6 signifikant større enn de andre
  - Ellers ingen signifikans

Filtreringer: Tar bort observasjoner som avbrytes av operatør. Antall observasjoner i hvert scenario kan derfor variere. Scenario 6 ble testet med færre trafikanter både i Norge og i Sverige og har dermed naturlig et lavere antall gyldige observasjoner enn de andre.

**Tabell 3. Andel som gikk i feil retning (mot brannen) fordelt på de ulike testscenariene.**

Scenario	Andel feil retning	Antall observasjoner
1	0.082	73
2	0.042	72
3	0.068	73
4	0.067	75
5	0.111	72
6	0.469	49

Ser vi på hvordan aldersfordelingen viser Figur 26 at det er flest i gruppen eldre som ikke finner fram til redningsrom, mens det er størst antall yngre som finner fram. Her benyttes "*Contingency tables*" og Chi-kvadrat-test for å sjekke for forskjeller mellom grupper. Søyler er normalisert for hver gruppe, antall observasjoner vises med røde tall. Her er det for øvrig filtrert ut de som fikk testen avbrutt av operatør.



**Figur 26. Antall som fant fram til redningsrom fordelt på alder.**

Det var ingen signifikant effekt mellom de ulike scenariene av nasjonalitet, om du kjører ofte i tunnel, eller om du føler deg trygg-utrygg i tunnel i forhold til å finne fram til redningsrom.

### 3.3 Feilet – fant ikke dør

En viktig indikator på effekt av tiltak (ledesystem til redningsrom) er om folk finner fram til redningsrom i tett røyk ved selvredning. Resultat presentert i tabell 3 viser at andel som ikke fant dør til redningsrom i scenario 1 og 2 (henholdsvis 8% og 4 %) er signifikant mindre enn i de andre scenariene. Merk! I scenario 1 og 2 var det utgangsdør på begge sider av tunnelen, men for de andre var det lagt inn dynamisk plassering av døren. Det vil si at i scenario 3-6 var døren alltid på motsatt side av den veggen trafikanten fulgte i starten..

Statistisk test utført på: *Differanser mellom binomisk fordeling*

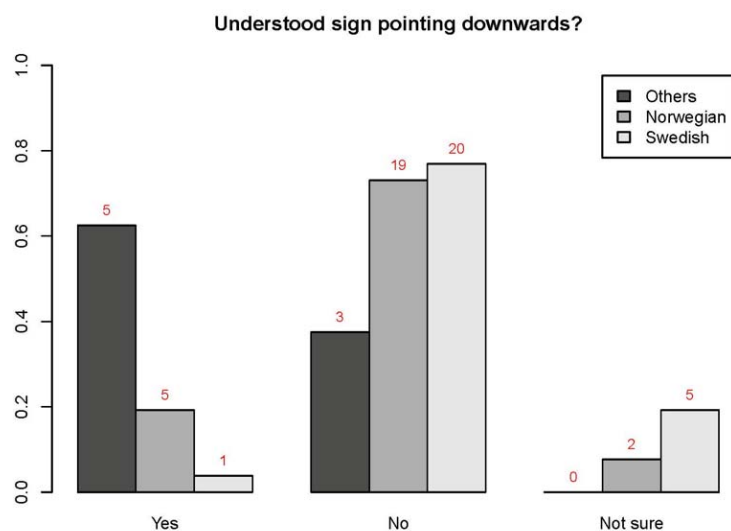
- Hovedresultat fra statistisk analyse er på 5 % signifikansnivå
  - Scenario 1 og 2 signifikant mindre enn resten
  - Ellers ingen signifikans innenfor disse to gruppene.

Filtreringer: Tar bort observasjoner som avbrytes av operatør. Antall observasjoner i hvert scenario kan derfor variere. Scenario 6 ble testet med færre trafikanter både i Norge og i Sverige og har dermed naturlig et lavere antall gyldige observasjoner enn de andre.

**Tabell 4. Andel som ikke fant fram til redningsrom (feilet) fordelt på de ulike testscenariene**

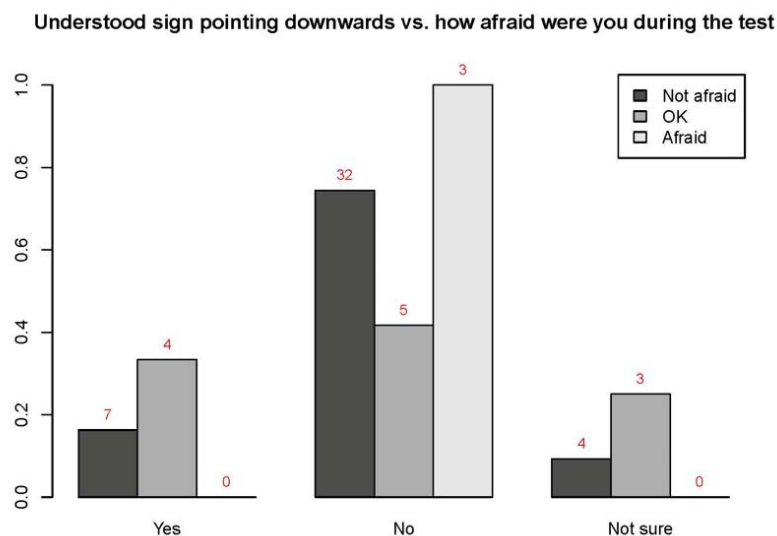
Scenario	Andel feilet	Antall observasjoner
1	0.082	73
2	0.042	72
3	0.411	73
4	0.373	75
5	0.444	72
6	0.490	49

Ved analyse av nasjonalitet ser man at det er signifikant flere som forstod "pil ned skiltet"



**Figur 27. Andel som forstod pil ned skiltet fordelt på nasjonalitet**

i gruppen "andre" nasjoner (Figur 27). Merk! Det er kun 9 personer i gruppen slik at små forskjeller gir store utslag på statistisk signifikans. Faktorer som kjønn, alder, hvor ofte du kjører i tunnel slo ikke ut som statistisk signifikant, men blant de som sier de opplevde å bli redd under testen ser man en tendens til signifikans på 10% nivå  $p=0.182$  (Figur 28). Merk! Lavt antall i gruppen som opplevde redsel påvirker signifikans nivå.



**Figur 28.** Andel som ikke forstod pil ned skilt, fordelt på om de opplevde å bli redd under testen eller ikke.

### 3.4 Ganghastighet i røyk og total tidsbruk

Ganghastighet i tett røyk er vesentlig lavere enn ved god sikt. Resultatene i tabell 7 viser gjennomsnittlig ganghastighet (m/s) trafikantene hadde mens de søkte seg fram til redningsrom i de ulike testscenariene. Ganghastighet er lavest i scenario 6 og 5 med henholdsvis 1.0 m/s og 1.1 m/s; dette er scenarier med tettest røyk og sikt på 0.5m. Ganghastigheten er høyere i scenarier (1,2,3 og 4) med en sikt i røyk på 1.0 m/s

Merk! I scenario 1 og 2 var det utgangsdør på begge sider av tunnelen, men for de andre var døren alltid på motsatt side av den vegg trafikanten fulgte. I Scenario 6 var avstand mellom redningsrom 500m, mens avstanden i de andre var på 250m.

Statistisk test: *T-test på par av observasjoner:*

- Hovedresultat fra statistisk analyse på 5 % signifikansnivå:
  - Scenario 6 og Scenario 5 signifikant mindre enn scenario 1, 2, 3 og 4.
  - Scenario 4 signifikant mindre enn scenario 1 og 2, samt nesten signifikant mindre enn scenario 3.

*Filtreringer:* Tar bort observasjoner som avbrytes av operatør. Antall observasjoner i hvert scenario kan derfor variere. Scenario 6 ble testet med færre trafikanter både i Norge og i Sverige og har dermed naturlig et lavere antall gyldige observasjoner enn de andre.

**Tabell 5. Gjennomsnittlig ganghast (m/s) i de ulike testscenariene.**

Scenario	Gjennomsnittlig ganghast. (m/s)	Standardavvik ganghast.	Antall observasjoner
1	1.229	0.539	67
2	1.281	0.599	69
3	1.244	0.518	68
4	1.191	0.551	70
5	1.139	0.468	64
6	1.005	0.468	26

**Tabell 5,** viser at gjennomsnittlig ganghastighet er lavest med 0.5m sikt (scenario 6 og 5) med henholdsvis 1.0 m/s og 1.1 m/s; dette er scenarier med tettest røyk. Ganghastigheten er høyere i scenarier (1,2,3 og 4) med en sikt i røyk på 1.0m.

En viktig indikator på effekt av tiltak (ledesystem til redningsrom) og kontekst (avstand mellom redningsrom) er tiden folk totalt bruker på å finne fram til redningsrom i tett røyk ved selvredning. Resultat presentert i tabell 5 viser at Gjennomsnittlig tidsbruk (s) i scenario 6 er langt større enn resten.

Tidsbruk i scenario 3, 4 og 5 er større enn i scenario 1 og 2.

Merk! I scenario 1 og 2 var det utgangsdør på begge sider av tunnelen, men for de andre var døren alltid på motsatt side av den vegg trafikanten fulgte. I scenario 6 var avstand mellom redningsrom 500m, mens avstanden i de andre var på 250m.

Statistisk test utført på: *Differanser mellom binomisk fordeling*

Hovedresultat fra statistisk analyse er på 5 % signifikansnivå:

- Scenario 6 signifikant større enn resten.
- Scenario 3, 4 og 5 signifikant større enn scenario 1 og 2.
- Ingen signifikans innenfor de to sistnevnte gruppene

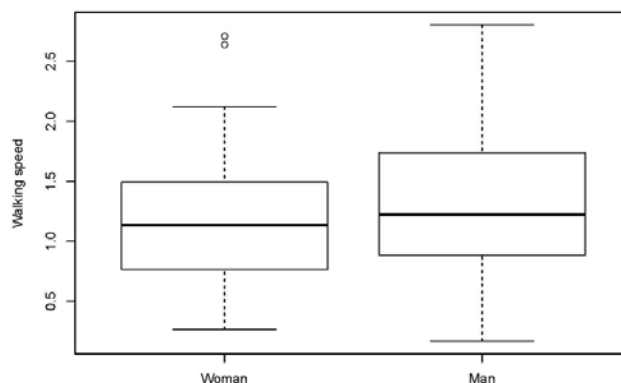
**Tabell 6.** Gjennomsnittlig tidsbruk (s) fordelt på de ulike testscenariene

Scenario	Gjennomsnittlig tidsbruk (s)	Standardavvik tidsbruk	Antall observasjoner
1	138	92	67
2	139	119	69
3	148	74	68
4	155	108	70
5	153	102	64
6	488	246	26

*Filtreringer:* Tar bort observasjoner som avbrytes av operatør. Antall observasjoner i hvert scenario kan derfor variere. Scenario 6 ble testet med færre testpersoner både i Norge og i Sverige og har dermed naturlig et lavere antall gyldige observasjoner enn de andre.

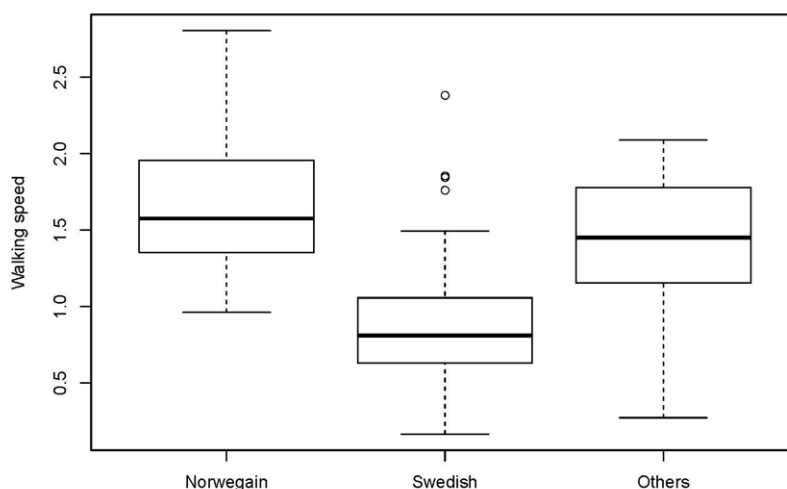


Ser man hvordan ganghastighet fordeler seg på kjønn, viser Figur 29 en tendens til at kvinner går litt saktere enn menn (signifikant på 10% nivå). Her er t-test brukt for å sjekke for ulikheter mellom grupper. Data fra Scenario 1, 2 og 3 er brukt.



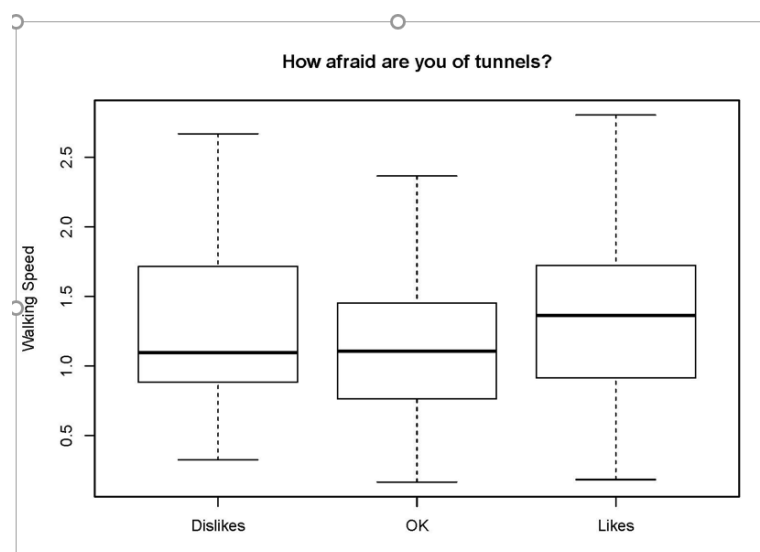
**Figur 29** Ganghastighet fordelt på kjønn.

Ser man ganghastighet fordelt på nasjonalitet viser Figur 30 at norske trafikanter går hurtigere enn svenske (5% signifikans). Norske går hurtigere enn andre (5% signifikans) og andre går hurtigere enn svenske (5% signifikans). Gjennomsnittlig ganghastighet for svenske deltakere er ca. 0.7m/sek mens ganghastighet for andre nasjoner og norske ligger på 1.5m/sek -1.6m/sek.



**Figur 30.** Ganghastighet fordelt på nasjonalitet

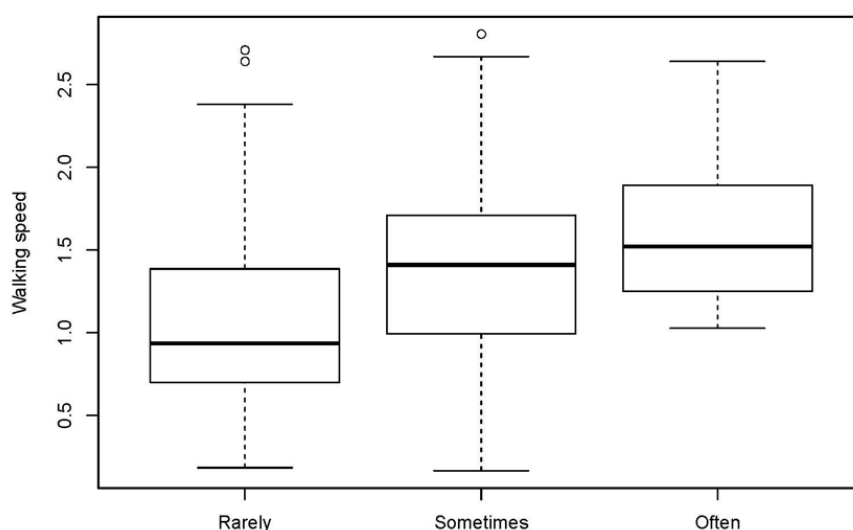
Ser man på hvor trygg-utrygg du føler deg i tunnel så er ganghastigheten høyere (signifikant 5% nivå) blant de som liker tunneler enn de som synes tunneler er ok. Gjennomsnittlig ganghastighet for de som misliker tunneler er på samme nivå som for de som synes tunneler er ok (1.1m/sek), men i denne gruppen er spredning i ganghastighet stor (ikke signifikant på 5% nivå).



**Figur 31.** Ganghastighet fordelt på om du misliker tunneler, synes de er ok eller liker tunneler

Ser man på hvor vant deltagerne er til å kjøre i tunnel viser resultatene (Figur 32), at de som kjører i tunnel av og til "*Sometimes*" er ganghastighet signifikant hurtigere (1.4m/sek vs. 0.9m/sek) enn de som sjelden kjører i tunnel "*Rarely*" (5 % signifikans) og at de som kjører ofte i tunnel "*Often*" har signifikant hurtigere ganghastighet (1.6m/sek vs. 0.9m/sek) enn de som sjelden kjører i tunnel "*Rarely*", (5 % signifikans)

During a normal week, how often do you drive through a tunnel?



**Figur 32.** Ganghastighet fordelt på hvor ofte du kjører i tunnel

### 3.5 Distanse

Resultatene i tabell 6 viser gjennomsnittlig distanse (m) trafikantene gikk før de fant fram til redningsrom i de ulike testscenariene. Start posisjon var alltid mellom to dører der korteste veg alltid var mot brannen og lengste veg var vekk fra brannen. Skiltet avstand til redningsrom begge veier var alltid synlig i de første 10 sekundene før trafikantene ble omgitt av tett svart røyk.

Merk! I scenario 1 og 2 var det utgangsdør på begge sider av tunnelen, men for de andre var døren alltid på motsatt side av den vekk testpersonen fulgte. I scenario 6 var avstand mellom redningsrom 500m, mens avstanden i de andre var på 250m.

Statistisk test: *T-test på par av observasjoner*:

- Hovedresultat fra statistisk analyse på 5 % signifikansnivå:
  - Scenario 6 signifikant større enn resten.
  - Scenario 3 signifikant større enn scenario 1, 2, 4 og 5.
  - Scenario 4 og 5 signifikant større enn scenario 1 og 2

*Filtreringer*: Tar bort observasjoner som avbrytes av operatør. Antall observasjoner i hvert scenario kan derfor variere. Scenario 6 ble testet med færre trafikanter både i Norge og i Sverige og har dermed naturlig et lavere antall gyldige observasjoner enn de andre.

**Tabell 7. Gjennomsnittlig strekning (m) trafikantene gikk før de fant fram til redningsrom i de ulike testscenariene.**

Scenario	Gjennomsnittlig strekning (m)	Standardavvik strekning	Antall observasjoner
1	132	24	67
2	129	26	69
3	154	28	68
4	144	35	70
5	145	33	64
6	424	100	26

Tabell 7. Gjennomsnittlig strekning (m) trafikantene gikk før de fant fram til redningsrom i de ulike testscenariene. Avstanden trafikantene gikk i de andre scenariene der det var 250m mellom redningsrom varierer mellom 132m i Scenario 1 til 154m i Scenario 3. Avstanden trafikantene gikk i Scenario 3 signifikant større enn scenario 1, 2, 4 og 5.

### 3.6 Effekt av Kontinuerlig ledelys

I scenario 8 var en et kontinuerlig ledelys alltid montert på samme side som dør til redningsrom. Den kontinuerlige ledelinjen med hvitt lys var plassert en meter opp på veggen. Hovedresultat fra analysen viser at bruk av kontinuerlig ledelys påvirker:

- Orienterbarhet - 97% av trafikantene velger rett side umiddelbart med kontinuerlig lyslist
- Ganghastighet trafikantene går 10-20 sekund raskere til nødutgang, redningsrom

#### **Veivalg i scenario 8**

Sammenligner vi scenario 8 med scenario 6 med hensyn på det initiale valget av vegg å gå langs, venstre (med lyslist i senario 8), eller ikke gå langs venstre vegg viser resultatene at :

- 21 av 22 deltagere velger venstre side i scenario 8 (95.5 %)
- 56 av 76 deltagere velger venstre side i scenario 6 (74%)

Signifikant forskjell på 5 % signifikansnivå.

### Ganghastighet i scenario 8

Statistisk analyse med hensyn på ganghastighet i scenario 8 viser at det går fortere enn i scenario 6 (5 % signifikansnivå). Det er også en tendens for at det går fortere i scenario 4 og 5 (15 % signifikansnivå). Få observasjoner gir mindre statistisk sikkerhet, men det er tendens til at det går fortere i scenario 8 enn alle de andre scenarioene.

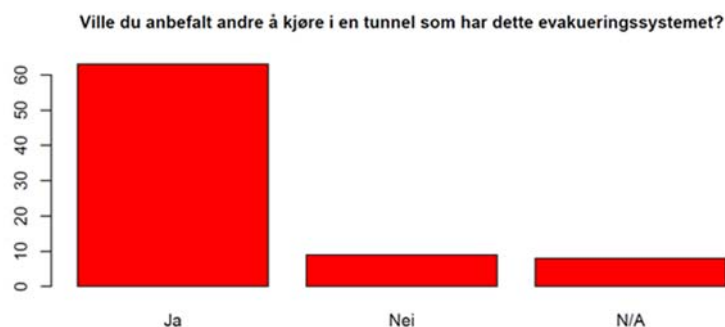
**Tabell 8.** Ganghastighet i de ulike scenariene med kontinuerlig ledelys

Scenario	Gjennomsnittlig ganghast. (m/s)	Standardavvik ganghast.	Antall observasjoner
1	1.229	0.539	67
2	1.281	0.599	69
3	1.244	0.518	68
4	1.191	0.551	70
5	1.139	0.468	64
6	1.005	0.468	26
8	1.358	0.462	13

.

### 3.7 Trafikantenes reaksjon på tiltak

Hvordan trafikanten opplevde ulike tiltak er beskrevet nedenfor



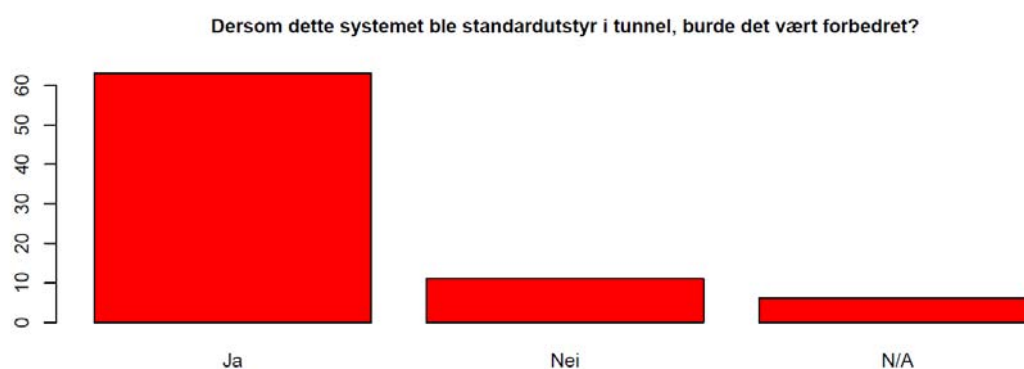
**Figur 33.** Trafikantenes holdning til selvredning i tunnel med visuelle og akustiske ledesystem

Figur 33 viser at 72% av trafikantene vil anbefale andre å kjøre i en tunnel med de visuelle og akustiske ledesystem de ble eksponert for i studien. 11% er negativ til slik anbefaling. Utdypinger i fri tekst viser at de som har en negativ holdning, overveiende er kritisk visuell ledning og spesifikt til utforming av skilt for utgang på motsatt side.



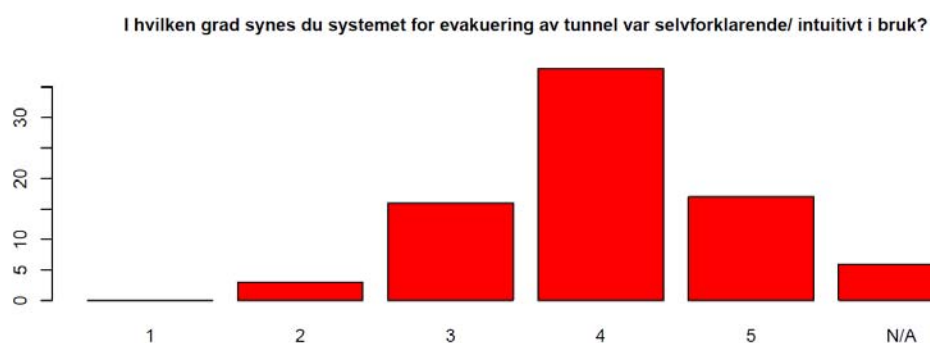
**Figur 34.** Timing av visuelle og akustiske signal

Figur 34 viser at 60% av trafikantene var fornøyd med tidspunkt for visuell og akustisk ledning til redningsrom. Utdypinger i fri tekst viser at de som har en negativ holdning, overveiende er kritisk til tidspunkt for akustisk ledning og spesifikt til at stemmen over høyttaler ble hørbar for sent i forhold til behovet i situasjonen. De ville ellers ikke ha snudd frem og tilbake, men funnet redningsrom raskere.



**Figur 35.** Behov for forbedring av visuelle og akustiske ledesystem

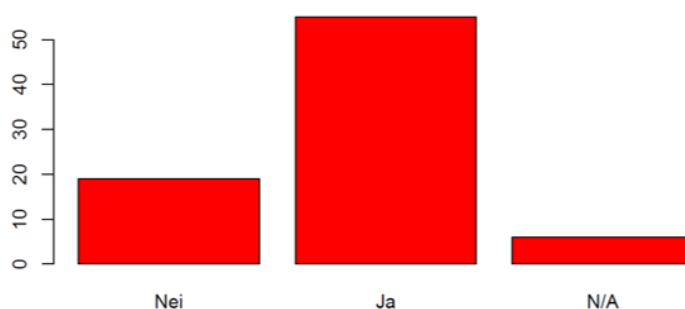
Figur 35 viser at 72% av trafikantene mener det er behov for å forbedre visuell og akustisk ledning til redningsrom, basert på de systemene de har erfart i denne studien. Utdypinger i fritext viser at de som mener ledesystemene bør forbedres både med hensyn til skilting (utgang på motsatt side) og med hensyn til tidspunkt stemmen over høyttaler ble hørbar i forhold til behovet i situasjonen.



**Figur 36.** Andel som opplevde systemer for visuell og akustisk ledning var enkelt å forstå

Figur 36 viser at 86% mente de visuelle og akustiske ledesystemene var nokså enkle til svært enkle å forstå. Kun 4% mente de var vanskelige å forstå.

Tror du du ville oppholdt deg i et brannsikkert og røyktett redningsrom uten utgang under brann?



**Figur 37.** Andel som ville brukt redningsrom under brann i tunnel

Figur 37 viser at 71 % (n=58) ville brukt redningsrom ved brann i tunnel. 21% (n=17) sier de ikke ville brukt slike rom som beskrevet (uten utgang). Merk! Ingen fikk erfare opphold i slike rom under denne studien, kun det å finne fram til redningsrom.

## 4 Hvor realistisk er den virtuelle tunnelen?

### 4.1 Validitet

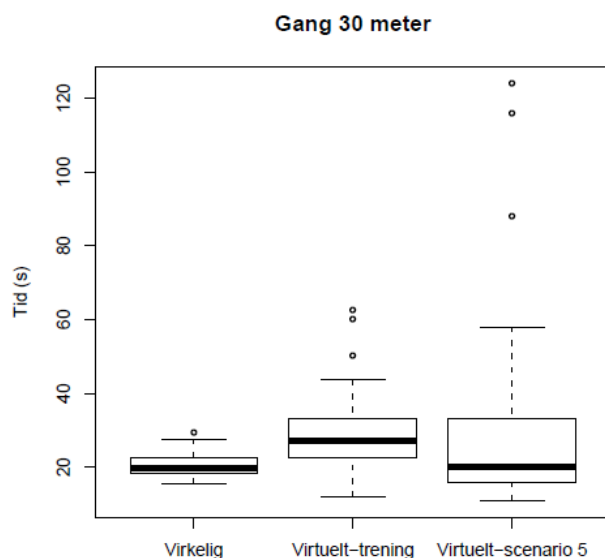
I forskning brukes validitet som betegnelse på hvorvidt en test måler det den er ment å måle (Rossiter 2011). Noen ganger kan en test intuitivt virke rimelig (*face validity*), men dette er et svakt holdepunkt for å avgjøre testens validitet. Innenfor eksperimentell forskning er særlig to former for validitet av interesse: *Indre validitet*, det at forskeren trekker en korrekt slutning om årsaksbetingelser i et eksperiment, og *ytre validitet*, det at resultatene fra et gitt eksperiment har generaliseringsverdi. En tredje form, økologisk validitet angår om undersøkelsen gjennomføres under betingelser som ligner situasjonen eksperimentet skal si noe om.

**Objektive mål på validitet:** For å si noe om ytre validitet har denne studien sammenlignet ganghastighet over 30m i en korridor innendørs i retning en nødutgang med ganghastighet i en virtuell 3D modell der trafikanten går på en gå-plattform. Ganghastigheten er målt under tre betingelser:

- Virkelig:* 30m rett flat strekning i en korridor innendørs i retning en nødutgang
- Virtuelt-trening:* 30m rett flat strekning i en virtuell modell av et fortau i en by, under tilvenning til bruk av gå-plattformen (*Virtulizer*)
- Virtuelt scenario 5:* 30m rett flat strekning i en virtuellmodell av en tunnel etter en times erfaring med å bruke gå-plattformen (*Virtulizer*)

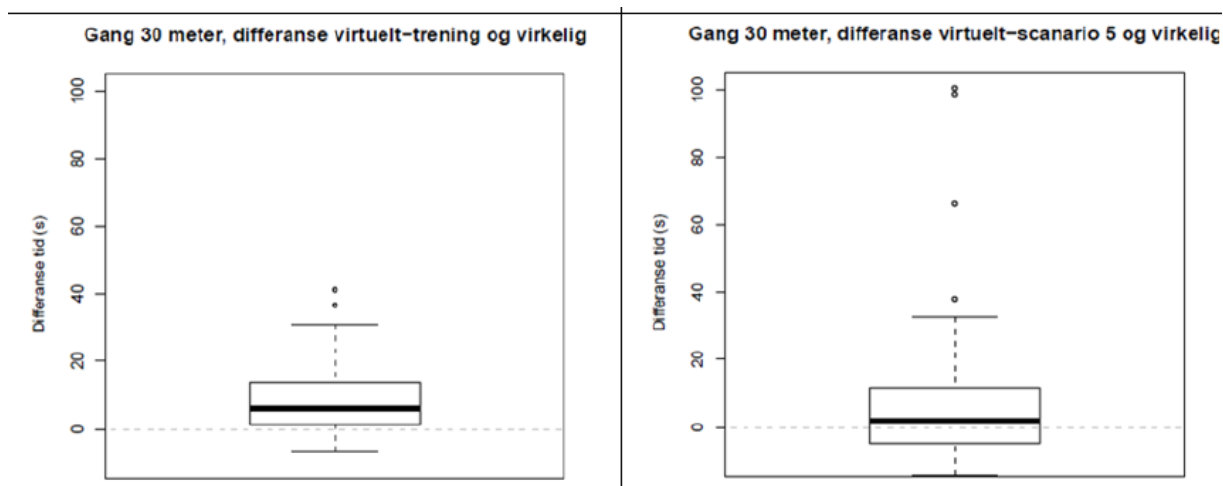
**Subjektive mål på validitet:** for å si noe om økologisk validitet er trafikantene spurt hvor realistisk de har opplevd den virtuelle situasjonen de er satt i totalt sett og hvordan de har opplevd spesifikke element i de virtuelle tunnel scenariene.

#### 4.1.1 Objektive mål på validitet i



**Figur 38.** Sammenligning av gangtid (s) brukt til å gå 30m i en virkelig gang sammenlignet med samme distanse i en virtuell bygate under trening og i en virtuell tunnel etter en times erfaring.

Figur 38 viser at gjennomsnittlig gangtid målt på å tilbakelegge en strekning på 30m i en virkelig korridor med nødutgang i enden (*Virkelig*) er tilnærmet lik tid brukt på å gå på samme distansen på en Virtulizer gåplattform i en VR modell av tunnel, under gode siktforhold, etter en times erfaring (*Virtuelt scenario 5*). Gjennomsnittlig tid brukt på å gå 30m i de to situasjonene er henholdsvis 19.9 sekunder og 20.0 sekunder, Gangtid er noe høyere (27.2s) under trenings scenario i en virtuell modell av en bygate (*Trening*). Spredningen i gangtid er noe større, i den virtuelle tunnel modellen (Virtuelt scenario 5) enn i en virkelig korridor.



**Figur 39.** Boxplot av observert differanse for gangtid der trafikantene sammenlignes med seg selv (*within-subjects*) i virkeligheten sammenlignet med treningsscenariet (figur til venstre) og virkelighet sammenlignet med virtuell tunnel (figur til høyre) etter en times erfaring med bruk av Virtulizer gåplattform.

Figur 39 viser at differansen mellom virtuell trening-virkelig: 6.1 s og virtuell femte scenario-virkelig: 2.0 s, nærmer seg null når trafikantene sammenlignes med seg selv etter en times erfaring med bruk av gå plattformen i et virtuell tunnel miljø.

## 4.2 Subjektive mål på validitet

Etter gjennomføring av studien ble alle trafikantene spurt om sin subjektive opplevelse av realisme tilknyttet ulike element i den virtuelle tunnelen.

Det første spørsmålet rettet seg mot totalopplevelsen av å være i den virtuelle tunnelen.



**Figur 40.** Fordeling av opplevd realisme for den virtuelle tunell modellen, totalt sett

Figur 40 viser at de fleste (97,6 %) opplever den virtuelle tunnel modellen som *realistisk* (skåre 5) til *meget realistisk* (skåre 10). En svært liten andel av trafikantene (2,4%) angir at opplever modellen som r mindre eller nokså realistisk.

På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde å gå i tunnelen (Figur 41) ser man den samme tendensen som for totalopplevelsen av den virtuelle modellen. De fleste opplever den virtuelle tunnel modellen som *realistisk* (skåre 5) til *meget realistisk* (skåre 10). Men noen flere av trafikantene angir at de opplever å gå i modellen som *nokså realistisk* til *mindre realistisk* (skåre 4-1) der skåre 0 = *ikke realistisk*.



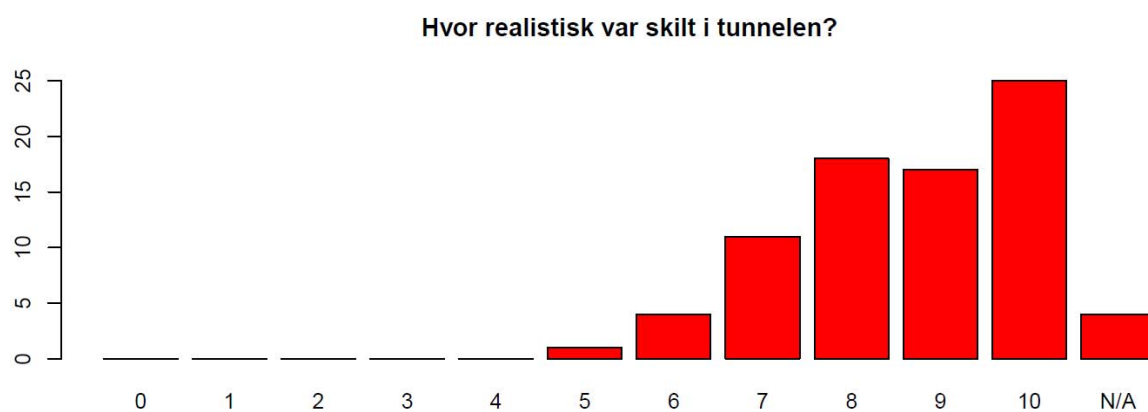
**Figur 41.** Fordeling på hvor realistisk trafikantene opplevde å gå i tunnelen, der skåre 10 = meget realistisk og skåre 0= ikke realistisk

På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde kjøretøy i tunnelen (Figur 42) ser man den samme tendensen som for totalopplevelsen og opplevelse av å gå i den virtuelle modellen. De fleste opplever den virtuelle tunnel modellen som *realistisk* (skåre 5) til *meget realistisk* (skåre 10). Men noen av trafikantene angir at de opplever kjøretøy i modellen som *nokså realistisk* Skåre 3-4 til *ikke realistisk* (skåre =0).





**Figur 42.** Fordeling på hvor realistisk trafikantene opplevde å gå i tunnelen, der skåre 10 = meget realistisk og skåre 0= ikke realistisk



**Figur 43.** Fordeling på hvor realistisk skilt var opplevd

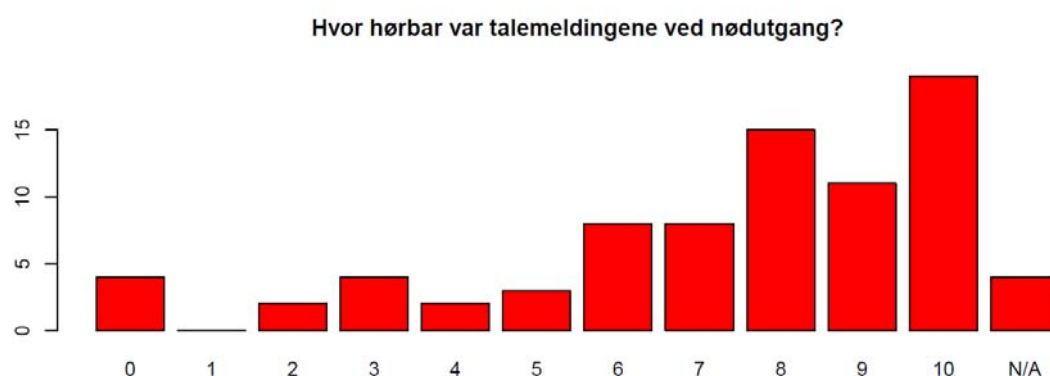
På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde skilt i den virtuelle tunnelen (Figur 39) ser man den samme tendensen som for totalopplevelse og spesifikke aspekter ved den virtuelle modellen. De fleste opplever den virtuelle tunnel modellen som *meget realistisk* (skåre 10) til *realistisk* (skåre 5).

På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde nødutgangene (dør til redningsrom) i tunnelen (Figur 44) ser man den samme tendensen som for totalopplevelse og spesifikke aspekter ved den virtuelle modellen. De fleste opplever den virtuelle tunnel modellen som *meget realistisk* (skåre 10) til *realistisk* (skåre 5). Men noen få trafikanter (n=3) angir at de opplever kjøretøy i modellen som *nokså realistisk* Skåre 3-4).



**Figur 44.** Fordeling på hvor realistisk trafikantene opplevde nødutgangene i tunnelen

Talemeldinger ble gitt i et akustisk miljø, med bakgrunnsstøy fra ventilasjonsvifter på 60db. På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde talemeldinger i den virtuelle tunnelen (Figur 45) ser vi den samme tendensen som for totalopplevelse og spesifikke aspekter ved den virtuelle modellen. De fleste opplever hørbarhet til talemeldinger i den virtuelle tunnel modellen som meget realistisk (skåre 10) til realistisk (skåre 5). Men noen trafikanter (n=15) angir at de opplever kjøretøy i modellen som nokså realistisk (skåre 3-4) til ikke realistisk (skåre =0).



**Figur 45.** Fordeling på hvor hørbare telemeldinger var ved nødutgang

Den svarte Røyken som kom mot og omsluttet trafikantene var tett med en siktstrekning på henholdsvis 1.0m og 0.5 m. På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde røyken i den virtuelle tunnelen (Figur 46) ser vi den samme tendensen som for totalopplevelse og spesifikke aspekter ved den virtuelle modellen. De fleste opplever hørbarhet til talemeldinger i den virtuelle tunnel modellen som meget realistisk (skåre 10) til realistisk (skåre 5). Men noen trafikanter (n=15) angir at de opplever kjøretøy i modellen som nokså realistisk (skåre 3-4) til ikke realistisk (skåre =0).



Figur 46. Fordeling på hvor realistisk røyken ble opplevd

På spørsmål om hvordan trafikantene opplevde støy fra vifter i den virtuelle tunnelen (Figur 47) ser vi den samme tendensen som for totalopplevelse og spesifikke aspekter ved den virtuelle modellen. De fleste opplever den virtuelle tunnel modellen som *meget realistisk* (skåre 10) til *realistisk* (skåre 5). Men noen få trafikanter (n=9) angir at de opplever støy fra vifter i modellen som *nokså realistisk* (Skåre 3-4).



Figur 47. Fordeling på hvor realistisk støy fra vifter var opplevd

Figur 48 viser at 51 av trafikantene (63%) svarer at de følte seg nokså trygg til veldig trygg når de ble fanget i røyken. Noen følte seg mer utrygg. Tretti deltakere (37%) oppga at de følte seg utrygge eller nokså utrygge når brannen startet og røyken veltet mot dem.

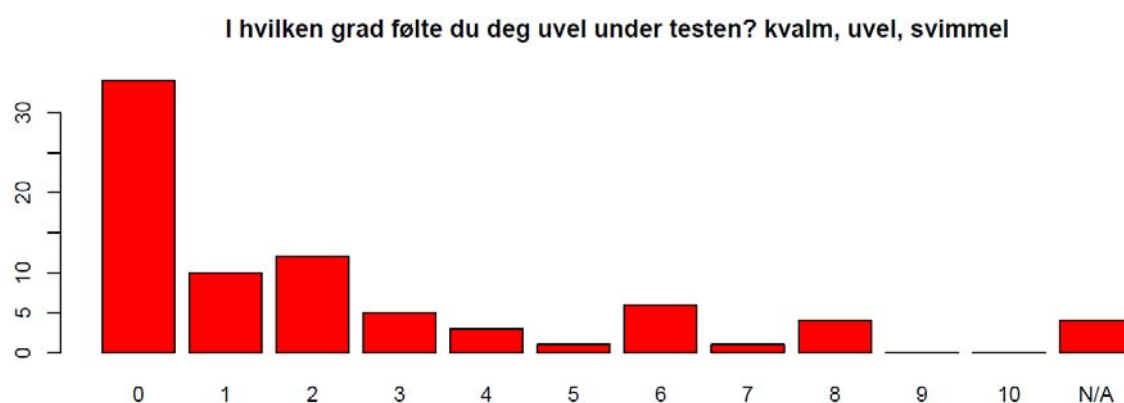


Figur 48. Fordeling av opplevd trygghet ved starten av brannen

### 4.3 Simulatorsyke

Det er et kjent fenomen at enkelte kan bli uvel i simulator. Det kan i verste fall, ved stor grad av kvalme, svimmelhet føre til avbrudd i simuleringen eller usikkerhet tilknyttet hvor gyldige resultatene er.

På spørsmål om i trafikanten følte seg uvel i den virtuelle tunnelen (Figur 49) ser vi at de fleste (86%) opplever simulatorsyke i *svært liten grad* (skåre = 0-2) til *i liten grad* (skåre = 3-5). Men noen få trafikanter (13%) angir at de følte seg uvel i *nokså stor grad* (skåre = 6-8). Den tekniske loggen viser at 3 personer ba om en pause før de fortsatte. Ingen avbrøt av forsøket på grunn av simulatorsyke. Merk! her er skalaen snudd i forhold til de foregående resultatfigurene.



Figur 49. Fordeling på opplevd simulator syke i den virtuelle tunnelen

## 5 Diskusjon

Studien har primært undersøkt om trafikanter finner fram til redningsrom med eller uten visuelle og akustiske tiltak for å ivareta selvredning. I etterkant av brannen i Mont Blanc tunnelen i 1999 ble hevdet at folk ikke finner fram til redningsrom med mindre en person følger de og viser vei til redningsrommet. Dette ble hevdet selv om det ikke er noe i rapporter fra hendelsen som indikerer at det var et problem (Jenssen et. al. 2017). Hvis det er slik at trafikanter ikke finner fram til redningsrom når de trenger kan det innebære to ting

1. Etablering av slike rom har de ingen effekt på selvredning
2. Ledesystem fram til redningsrom må forbedres, slik at trafikanter finner fram til de

Resultatene viser at sett under ett så fant 66% fram til redningsrom ved å gå i riktig retning, 11% gikk i feil retning (ble aldri eksponert for dør) og 18% av de som gikk i riktig retning passerte dør til redningsrom fordi de gikk fulgte tunnelveggen på motsatt side. Men når vi skiller mellom de ulike test scenariene (1-2 vs. 3-6) ser vi at de som passerte dør til redningsrom utelukkende gjorde det i scenarier med dynamisk plassering av dør til redningsrom på motsatt side av den tunnelveggen trafikanten fulgte (scenarie 3-6). Vi innførte slik dynamisk plassering av redningsrom for å teste om folk finner fram til redningsrommet når de følger motsatt veg i svart røyk med siktlengder på henholdsvis 1.0m og 0.5m som funksjon av visuelle og akustiske ledesystem. Dør til redningsrom var plassert på begge sider i scenario 1-2). Vi kan ikke se bort fra at det kan være en læringseffekt på individ novå her selv om reultatene samlet ikke bør være påvirket av læring med den randomisering i eksponering for scenarier som ligger i prosedyre for eksperimentet. Det er mulig vi kunne sett økt ganghastighet for hvert individ mellom første og siste scenarie hver enkelt ble eksponert for, men en slik analyse er ikke utført.

I scenario 6 med 500m distanse mellom redningsrom var hele 46% som snudde og gikk mot brannen på et eller annet tidspunkt. Her eer det viktig å merke seg at i en avstand av 48m var det mulig å høre retningsbestemte talemeldinger fra høyttalere plassert ved dør til redningsrom. Etter å ha gått i riktig retning i flere minutter begynte trafikantene i dette scenariet med 500m avstand mellom redningsrom, å bli usikker på om de var hadde passert et redningsrom dermed snudde. Noen snudde opptil flere ganger i leting etter redningsrom. Av de som fortsatte i riktig retning (53%) i dette scenariet (6) og kom innen hørbar avstand til høyttalere, var det hele 97 % som fant redningsrom på motsatt side av tunnelen. Det understreker betydningen av akustisk ledning når folk er på feil side av tunnelen i forhold til redningsrommet. Etterhvert som trafikantene nærmet seg redningsrommet økte volumet på stemmen i forhold til bakgrunnsstøy fra vifter i den virtuelle tunnelen. Om de gikk forbi redningsrommet langs motsatt vegg opplevde de at lyden kom bakfra.

I scenarier (#1-2) med redningsrom på begge sider fant alle fram til redningsrom enten døren hadde ekstra visuell forsterkning med store grønne LED piler inn mot døren fra begge sider og grønn LED stripe som omrammet døren eller ikke. Dette var scenarier med lengst sikt (1.0m). Resultatene tillater ikke slutninger om hvorvidt trafikanter ville funnet fram til slike redningsrom i 0.5m sikt.

At 11% total sett gikk mot brannen korrelerer bra med observasjoner basert på intervju av trafikanter som var fanget i røyken under brann i Gudvangatunnelen i 2013. Også i en reell brannsituasjon var det en tilsvarende andel som gikk mot brannen, selv om de på et tidlig tidspunkt var klar over i hvilken retning brannen var lokalisert (Jenssen et. al. 2017, 2018, SHT 2013). Intervjuene av trafikantene viste også at de som valgte å evakuere til fots, fant fram til en vegg og fulgte denne helt ut. Bilder tatt under havarikommisjonens befarung hvor fotspor i grøftekanter på begge sider av tunnelen understøtter dette.

Vi undersøkte om skilt for utgang på motsatt side kunne bidra at trafikanter fant fram til redningsrom om de fulgte feil vegg. Skiltet var sammensatt av ISO 7010 Løpende mann og pil ned. Det er i tråd med internasjonale og nasjonale retningslinjer for sammensetning av elementer i evakueringsskilt.

Et slikt skilt finnes ikke ennå hverken i nasjonale eller internasjonale retningslinjer for skilt i tunnel.

Vi så i studien at veldig mange hadde problemer med å forstå betydningen av skiltet. Flere bøyd seg ned og lette etter en trapp eller luke. Ved analyse av nasjonalitet ser vi at henholdsvis 25% og 23% av svenske og norske trafikanter ikke forstår betydningen av skiltet og ytterligere 9% er usikker på hva skiltet betyr. Andelen som ikke forstod skiltet blant trafikanter fra andre nasjoner er overaskende mye lavere (4%), men det lave antallet i gruppen *andre* (N=8) gir ikke grunnlag for bastante konklusjoner.

Stress kan potensielt påvirke evnen til å oppfatte og forstå skilt i en krisesituasjon. Ni stykker (11%) oppga de var *nokså redd* til *veldig redd* under testen. Ingen av de som oppga de var *veldig redd* (n=3) i testsituasjonen forstod betydningen av pil ned skiltet. Samtidig var det 32 stykker (40%) av de som ikke var redd i testsituasjonen som heller ikke forstod skiltet. Resultatene gir ikke grunnlag for at stress alene fører til at skiltets betydning misforstås. Svar i fritekst antyder at skiltet rett og slett er vanskelig å forstå. Pilen peker rett ned og flere søkte åpenbart etter en trapp eller luke i gulvet.

En amerikansk studie (Higgins et al 2015), viser at 35 % tror et identisk skilt med løpende mann og pil ned betyr at du er ved utgangen og at skiltet i dette tilfellet henger over døren du står foran. 11% trodde skiltet betød at du må fortsette videre i samme retning, mens de fleste (52%) trodde skiltet indikerte trapp, heis eller nedadgående helning. I en svensk studie ble et skilt med løpende mann og pil ned ledsaget av teksten *Utgång på motstående sida* og *Exit on opposite side*. Dette skiltet ble brukt for å sikre at trafikanter som fulgte veggens på høyre side, fant veien over til utgang på venstre side. Dessverre ble dette skiltet brukt i alle testscenariene sammen med andre akustiske og visuelle tiltak, slik at det ikke er mulig å si noe om effekten av skiltet anvendt alene (Nilsson et al 2017). Tanken med dette skiltet var egentlig ikke at pilen skulle være den dominerende komponenten i skiltet, men at det var skiltet som helhet dvs dørsymbolet, pilen og den springende mannaen som satte konteksten dvs rømning (i allmenhet) og at rømningsskiltet (som en enhet) ble komplettert med en forklarande tekst. Merk! Proporsjonene i figur



**Figur 50.** Skilt med pil ned og forklarande tekst utprøvd i forbifarten Stockholm (Nilsson et .al. 2017).

Videre antyder resultatene at ganghastighet påvirkes av:

- o Røykens tetthet (sikt lengde)
- o Alder
- o Erfaring med tunnel
- o Kjønn

Statistisk signifikante utslag på 5% nivå ser vi som for en rekke variabler. Siktstrekning forventet går ganghastigheten går som forventet betydelig ned ved tettere røyk og kortere siktstrekning.

Eldre går som forventet signifikant saktere enn yngre. At alder og siktstrekning påvirker ganghastighet er i tråd med tidligere forskning (Frantzich et al 2009, Higgins et. al 2015, Fridolf, et al 2015, 2016) Vi ser at erfaring med vegtunneler påvirker ganghastighet. Ganghastigheten er lavere blant de som har mindre erfaring med tunnel. Resultatene antyder at kvinner gjennomsnittlig går noe saktere enn menn, men denne sammenhengen har svakere statistisk signifikans.

Resultatene antyder at avstand mellom redningsrom påvirker tid til redning i betydelig grad. Tid til redning er mer enn 4 ganger så lang når avstand mellom redningsrom er 500m (scenario 6) versus 250m (scenario 1-5). En økning i tid fra 2 minutt til 8 minutt. Noe av økningen kan tentativt skyldes at det er kortere siktstrekning i scenario 6, men siktstrekning er lik (0.5m) både i scenario 5 og 6. Usikkerhet kan her spille en rolle. Vi ser at registrert bevegelsesmønster er annerledes i scenario 6 enn i de andre scenariene. De går mer frem og tilbake en i scenarier med 250m mellom redningsrom. Fritekst svar i post-test skjema antyder at trafikantene ble usikre på om de gikk i riktig retning eller om de hadde passert et redningsrom uten å oppdage det når avstanden økte til 500m. Resultatene indikerer at akseptabel distanse mellom redningsrom ikke bør overstige 250m for å ivareta mulighet til selvredning. I visse tilfeller bør den sannsynligvis være kortere. De amerikanske retningslinjene for vegtunneler (NFPA 501) anbefaler til sammenligning en avstand på 90m i visse typer tunneler.

Denne studien og erfaringer fra reelle branner i vegtunnel viser at trafikanter som blir fanget i røyk etter hvert finner fram til en tunnelvegg og følger denne (Higgins et al 2015, Jenssen et. al. 2017, Fridolf et.al 2015, 2016). Det behøver nødvendigvis ikke å være den veggen nødutgang eller dør til redningsrom befinner seg på. I henhold til retningslinjer for utforming av norske vegtunneler (N500) skal nødutganger (og eventuelt redningsrom) plasseres på samme side av tunnelen.

Resultatene viser at bruk av kontinuerlig ledelys eller såkalt håndlist med kontinuerlig belysning fører til at raskere og mer riktig adferd. 97% av trafikantene velger umiddelbart rett side med kontinuerlig lyslist og trafikantene går 10-20 sekund raskere til nødutgang, redningsrom. Resultatene antyder at når en brannsituasjon oppstår kan en kontinuerlig lyslist lette orienterbarheten slik at trafikanten velger å følge vegg med kontinuerlig lyslist/håndlist. Det gir trafikantene bevisst og intuitivt et fast holdepunkt som kan lede de raskere til nødutgang eller redningsrom enn uten slikt tiltak.

Et sentralt spørsmål er om resultatene fra en virtuell testsituasjon er gyldige og generaliserbare (valide). Innen eksperimentell forskning er de tre typer validitet som etterspørres.

- Indre validitet, estimerer om konklusjonene om kausale sammenhenger (årsak-virkning) kan gjøres basert på de målemetoder som er brukt. Det vil si om de er pålitelige og repeterbare.
- Ytre validitet, dreier seg om i hvilken grad resultat fra en studie er gyldig for andre lignende case. Det vil si om funn er generaliserbare.
- Økologisk validitet dreier seg om i hvilken grad forskningsresultat er overførbare til lignende situasjoner i det virkelige liv. Økologisk validitet er nært nytt til ekstern validitet, men dekker spørsmål om i hvilken grad eksperimentelle funn gjenspeiler og kan observeres i den virkelige verden. I denne studien vil det si om observert adferd i den virtuelle tunnelen gjenspeiler adferd som kan observeres i virkelige tunneler under lignende betingelser.

At resultatene samsvarer med det vi forventer ut fra erfaringer med adferd i virkelige branner og ut fra tidligere forskning (fullskala forsøk) gir en viss trygghet for at de har ytre validitet og økologisk validitet. Resultatene for effekt av alder og siktstrekning (røykens tetthet) styrker en slik konklusjon.

Objektive registreringer av ganghastighet styrker bildet av at funn gjenspeiler og kan observeres i den virkelige verden. Ganghastighet i virkelig og virtuell tunnel viser at det er tilnærmet null forskjell ved sammenligning av å gå mot nødutgang i en rett korridor sammenlignet med å gå på en gåplattform (*virtualizer*) i en virtuell 3D modell av en tunnel, - begge under gode siktforhold. Særlig når personers adferd sammenlignes med egen adferd under de ulike betingelsene (*within -subjects*) og ikke med gjennomsnittet for alle under de ulike betingelsene (*between - subjects*).

Hvor realistisk de virtuelle scenariene oppleves totalt sett og med hensyn på spesifikke forhold (røyk, kjøretøy, skilt, talemeldinger osv.) viser gjennomgående høye og gode skårer for realisme. Det styrker økologisk validitet. Observasjoner av adferd under forsøk registrert i forsøksprotokoll der eksempelvis personer sjekker kjøretøy for å redde andre, bøyer seg for unngå nødstasjoner, forsøker å åpne dører til teknisk rom og leter på bakken når de misforstår pil ned skilt styrker både *face validity* og ytre validitet.

Åpenbare begrensinger ved metodikken som påvirker ytre validitet er at trafikantene:

- Ikke utsettes for reell fare
- ikke utsettes for røyklukt
- Ikke utsettes for retningsbestemt varme og luftstrøm
- Ikke går i en gruslagt grøft langs tunnelvegen, men på en flat og slett bankett i en tunnel med veggelement av betong
- Ikke hører akustiske talemeldinger med samme gjenklang og bakgrunnsstøy som i en virkelig tunnel
- Skilt for avstand til nærmeste redningsrom var 10% større enn skiltnormalen tilsier

Vi ser at 51 av trafikantene (63%) svarer at de følte seg nokså trygg til veldig trygg når de ble fanget i røyken. Mange av disse ga likevel uttrykk for at de hadde fått respekt for hvor vanskelig det kan være å redde seg ut av en situasjon i en tunnel der du er faget i røyken. Noen følte seg mer utrygg. Tretti deltakere (37%) oppga at de følte seg utrygge eller nokså utrygge når brannen startet og røyken veltet mot dem. En person brøt av testen på grunn av at talemeldinger virket svært skremmende. Hun brøt av ville ikke fortsette når talemeldinger som ble spilt av på et språk hun ikke forstod.

Resultatene indikerer at deltakerne hadde ulik grad av innlevelse i scenariene. Selv om scenariene overveiende gis høy skåre på realisme sier 6 av 10 at de føler seg trygge, mens nær 4 av 10 føler seg utrygge. Det ble ikke målt psykofysiologiske indikatorer på stress og utrygghet i studien. Eksempelvis, hjerterate, elektrodermal respons (GSR) eller kortisolnivå i blodet.

Det er av etiske grunner ikke forsvarlig å utsette folk for reell røyk i testsituasjonen. Det innebærer at trafikantene ikke opplevde røyklukt, svie i øyne, sot på klær og briller eller varme slik de ville gjort i en reell brann. Vi kan på den bakgrunn anta at det er noe lettere å finne fram til redningsrom og lettere å gå i det virtuelle miljøet enn i en virkelig tunnelbrann. Det er ut fra valideringen likevel rimelig å anta at resultatene viser adferd og gyldige resultat for relative forskjeller mellom ulike ledessystem, selv om de ikke nødvendigvis gjenspeiler eksakt ganghastighet og prosent som finner fram til redningsrom i en reell situasjon. Resultatene gjenspeiler adferd under en tunnelbrann der trafikantene går langs tunnelvegg av betongelement på et flatt underlag under realistiske røyk og siktforhold, men uten de fysiske plager og skader røyk eller varme kan gi i reelle situasjoner. Hvor lett det er å gå langs veggen varierer i norske tunneler. I Gudvangatunnelen er det en gruslagt grøft langs en ruglete bergvegg dekt med sprøytebetong, mens det i andre tunneler er en god banket å gå på og en jevn overflate på veggelement av betong.

Røyklukt kunne vært tilført om forsøket ble flyttet til de ISO sertifiserte klimalaboratoriene ved SINTEF og ved Lunds universitet der det er mulig å rense luften mellom hver test slik at alle kan oppleve at røyklukten



kommer og blir sterkere, slik den gjør i en virkelig situasjon. Kostnader og tidsfrister tillot ikke det. I disse laboratoriene er det også mulig å sette opp varmepanel slik at trafikanten føler retningsbestemt varme og luftstrøm.

Simulatorsyke kan erfaringsmessig påvirke resultatenes validitet (Helland et al 2013, 2015) Resultatene er ikke nevneverdig påvirket av simulatorsyke. Trafikantene har i svært liten grad opplevd kvalme, svimmelhet eller følt seg uvel.

Utvalget av trafikanter som har deltatt i studien har god og representativ fordeling med hensyn til alder, kjønn, kjøree erfaring og yrke/utdanningsnivå. Det er som forventet kulturelle forskjeller mellom norske, svenske trafikanter og andre utenlandske, når det gjelder forholdet til vegtunneler og erfaring med kjøring i tunnel. Ganghastigheten er signifikant lavere i det svenske utvalget enn i det norske. Vi har undersøkt så langt det har vært mulig om dette kunne skyldes systematiske feil. Eksempelvis ulike oppsett i programvare eller test script og loggeprosedyrer. Vi har ikke funnet grunnlag for slike systematiske feil. Det er anvendt samme utstyr 3D modeller og script, og programvare ved begge laboratorier. Så kan man spørre seg om den svenske gå-plattformen var *"tregere"* enn den norske eller om det er fordi svenske sjeldnere er i tunnel at de går saktere Vi har ikke utført friksjonsmålinger av underlaget i de to gå-plattformene men kan ikke utelukke at ulik slitasje kan ha påvirket friksjonen. Det er brukt samme instruks tildeltakere, men oversatt fra norsk til svensk. Det er ikke grunnlag for at nyanser i språk kan gi ulik ganghastighet.

Det er imidlertid ulikheter i utvalgenes sammensetning. Det er en større andel yngre og en noe mindre andel kvinner i det norske utvalget enn det svenske. Yngre går raskere enn eldre. Samtidig ser vi at folk som ofte er i tunnel går raskere. Det er i denne studien påvist en tendens til at alder og kjønn påvirker tid til å finne fram til redningsrom uansett nasjonalitet. Svenskene er også signifikant sjeldnere i tunnel enn de norske, og derfor påvirker nok det resultatet. Så kan man spørre seg (om man ikke godtar at svenske gå-plattform var tregere enn den norske),- er det fordi svenske trafikanter er sjeldnere i tunnel at de går saktere? Plott for de 9 personene som var fra annet steder i verden viser at de som gruppe ikke går saktere enn de norske, men oppgir at de oppholder seg sjelden eller noen ganger i tunnel. Dermed kan det kanskje se ut som om den svenske plattformen ikke oppførte seg som den norske likevel, med mindre forskjell i alder og kjønn er årsak til lavere ganghastighet blant de svenske trafikantene.

Diskusjonen ovenfor er forhold som påvirker intern validitet. Den interne validiteten vil vi undersøke videre. Det er uansett fornuftig å anta at utenlandske trafikanter kan bruke noe lenger tid på å finne fram til redningsrom enn norske med de visuelle og akustiske ledesystem som er testet her.

## 6 Videre forskning

### 6.1 Utforming av redningsrom

I denne studien fokusert på fasen i selvredningsprosessen fra trafikanten har er i ferd med å forlate kjøretøyet fram til redningsrom er funnet og åpnet. Videre forskning bør fokusere på hvordan redningsrom bør utformes for å ivareta trafikanter som bruker redningsrom ved selvredning. Det gjelder blant annet:

- Brukervennlighet
- Sosialpsykologiske forhold
- Kommunikasjon
- Førstehjelp
- Verdighet
- Trygghet
- Sikkerhet

Redningsrom vil i en krisesituasjon benyttes av trafikanter i alle aldersgrupper, funksjonsnivå og nasjonaliteter. Brannen i Oslofjordtunnelen mai 2017 der to trafikanter sannsynligvis reddet livet i slike rom viste at de hadde problemer med å orientere seg i rommet og finne fram til førstehjelpsutstyr, telefon med mere. De hadde også problemer med å kommunisere med hverandre. Redningskonteinere brukt i gruveindustrien og i byggefasen av tunneler benyttes av profesjonelle som har opplæring i bruk av redningskontainere. Hvordan et representativt utvalg trafikanter opplever og bruker fasiliteter i ulike typer redningsrom bør studeres og dokumenteres

### 6.2 Varslingsfasen

I denne studien har vi kun undersøkt tiltak som kan bedre sikkerheten i forflytningsfasen av selvredningsprosessen. Det bør også undersøkes effekt av tiltak for å redusere tid brukt i oppdagelsesfasen (hesitasjonstid), fasen fra bilisten som kjører i tunnelen, blir klar over faremoment, til han eller hun velger å forlate bilen ved brann? Da dekker vi alle hendelser fra normal til personen som sitter i sikkerhet i redningsrommet.

## 7 Konklusjoner

Objektive atferdsdata fra denne VR studien av selvredning i en 3D modell av en lang ettløps tunnel med 81 personer fra 8 ulike nasjoner viser at:

- **Avstand mellom redningsrom** påvirker tid til redning i betydelig grad. Tid til redning er mer enn 4 ganger så lang når avstand mellom redningsrom er 500m versus 250m. En økning i tid fra 2 minutt til 8 minutt
- **Usikkerhet øker når det blir langt til nærmeste redningsrom.** Nær halvparten (46%) gikk i feil retning mot brannen i scenario 6 med 500m avstand mellom redningsrom og 0.5m sikt. Til sammenligning var andelen fra 4-11 % i de øvrige scenariene
- **Visuelle ledesystem med bruk av Exit skilt med "pil ned":** En stor andel trafikanter forstår ikke skiltet. Vi anbefaler talemeldinger over høyttaler som indikerer utgang på motsatt side!
- **Visuelle ledesystem med avstandsskilt til redningsrom:** I tett røyk med sikteavstand 0.5m ser trafikanten ofte bare det ene av to skilt som angir retning og avstand til nødutgang/redningsrom. Det øker usikkerhet og mulig feilhandling.
- **Ensidig versus tosidig plassering av redningsrom** Resultatene viser at:
  - Folk finner raskere fram til redningsrom om de er plassert på begge sider med 250 m avstand.
  - Alle som gikk vekk fra brannen (i riktig retning) fant dør til redningsrom når de var plassert på begge sider (scenario 1 og 2)
- **Akustiske ledesystem:** Av de som gikk vekk fra brannen (i riktig retning) i scenario 6 var det hele 97% som fant redningsrom på motsatt side. Det var kun 3% som bommet på dør. Scenario 6 er det eneste med både lyd og skilt for nødutgang (redningsrom) på motsatt side.
- **Hvor tett røyken er** påvirker tid til selvredning negativt. Ganghastigheten går ned med inntil 0.3m/s sekund i scenarier med sikt på 0.5m versus 1m sikt. Tid til redning er kortest i scenarier med 250 m avstand og 1m sikt i røyk.
- **Leter etter utvei.** 20% av trafikantene prøver å åpne alle dører de oppdager. Også til dør til teknisk rom, uansett scenario.
- **Validitet:** Resultatene i denne studien er validert med hensyn på indre, ytre og økologisk validitet. Resultatene viser overveiende høye skårer for opplevd realisme og stort samsvar mellom ganghastighet i virkelig miljø og virtuell tunnel under gode siktforhold.

## 8 Referanser

Apfel kriterier <https://sogc.org/wp-content/uploads/2013/07/gui209CPG0807E.pdf>

Tunnelsikkerhetsforskriften (2007). Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (FOR-2016-12-13-1597). Hentet fra <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517>.

Tunneldirektivet. Directive 2004/54/EC of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004. Hentet fra <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex:32004L0054>

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

Daniel Nilsson, Håkan Frantzich, Enrico Ronchi, Karl Fridolf, Anders Lindgren Walter, og Henric Modig (2017). *Integrating evacuation research in large infrastructure tunnel projects - Experiences from the Stockholm Bypass Project*. Fire Safety Journal 2017, 1-7.

Jenssen Gunnar Deinboll, Roche-Cerasi Isabelle, Hoem Åsa Snilstveit, Grøv Eivind (2017). *Literature review on self - rescue and use of emergency rooms in tunnels. Litteraturundersøkelse -Selvredning i vegtunneler Erfaringer med bruk av redningsrom*. SINTEF report. ISSN 1504-9795 <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/?pubid=CRISTin+1567338>

Jenssen Gunnar Deinboll; Isabelle Roche-Cerasi; Dagfinn Moe; Dag Eiliv Bertelsen (2018). *Self-rescue experience under a tunnel fire Analysis and recommendations*. Nordic Fire & Safety Days

Frantzich, H., and Nilsson, D., *Utrymning genom tät rök: beteende och förflyttning*, 75 p., Report 3126, Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden, 2003.

9. *Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac - Technical Reference and User's Guide*, VTT Working Papers 119. 2009.

Karl Fridolf, Daniel Nilsson, Håkan Frantzich, Enrico Ronchi, Silvia Arias (2016) *Människors gånghastighet i rök: Förslag till representation vid brandteknisk projektering*. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut AB

Fridolf, K. Ronchi E, D. Nilsson D, Frantzich H, *The relationship between obstructed and unobstructed walking speed: results from an evacuation experiment in a smoke filled tunnel*, in: Proceedings of the 6th International Symposium on Human Behaviour in Fire, 2015.

Arne Helland · Gunnar D Jenssen · Lone-Eirin Lervåg · Terje Moen · Thomas Engen · Stian Lydersen · Jørg Mørland · Lars Slørdal (2015). *Driving simulator sickness: Impact on driving performance, influence of blood alcohol concentration, and effect of repeated simulator exposures*. Accident Analysis and Prevention . Elsevier Publications.

Helland A. Jenssen G.D (2013). *Comparison of driving simulator performance with real driving after alcohol intake: A randomised, single blind, placebo-controlled, cross-over Trial*. Accident Analysis and Prevention. Elsevier Publications.

Higgins, L. Carlson P., Miles J., Rozyckie S., Averso M., Graham D., Seip B., and Jenssen G.D. (2015). *Emergency exit signs and marking systems for highway tunnels*. Final report, project No. 20-59 (47). Prepared for national Cooperative Highway Program. Transportation Research Board of National Academies. NCHRP Web-Only Document 216 at [www.trb.org](http://www.trb.org)

John R. Rossiter (2011) *Validity and Reliability. Measurement for the Social Sciences* pp 13-28. Springer  
Hentet fra [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-7158-6\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4419-7158-6_2)

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

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

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

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



Teknologi for et bedre samfunn

[www.sintef.no](http://www.sintef.no)