



Høgskulen på Vestlandet

Master Thesis (ING5002D)

ING5002D

Predefinert informasjon

Startdato: 09-04-2021 12:00 **Termin:** 2021 VÅR
Slutt dato: 23-04-2021 14:00 **Vurderingsform:** Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform: Masteroppgave
SIS-kode: 203 ING5002D 1 MOPPG 2021 VÅR1 HAUGESUND
Intern sensor: (Anonymisert)

Deltaker

Kandidatnr.:	204
---------------------	-----

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Dimensjonere røykventilasjon i tunnel
Antall ord *:	32284
Engelsk tittel *:	Dimension smoke ventilation in tunnels

Sett hake dersom Ja **Egenerklæring *:** Ja
besvarelsen kan brukes Nei
som eksempel i **Inneholder besvarelsen**
undervisning?: konfidensielt Nei
materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert Nei
oppgavetittelen på
norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Jeg godkjenner autalen om publisering av masteroppgaven min *

Ja

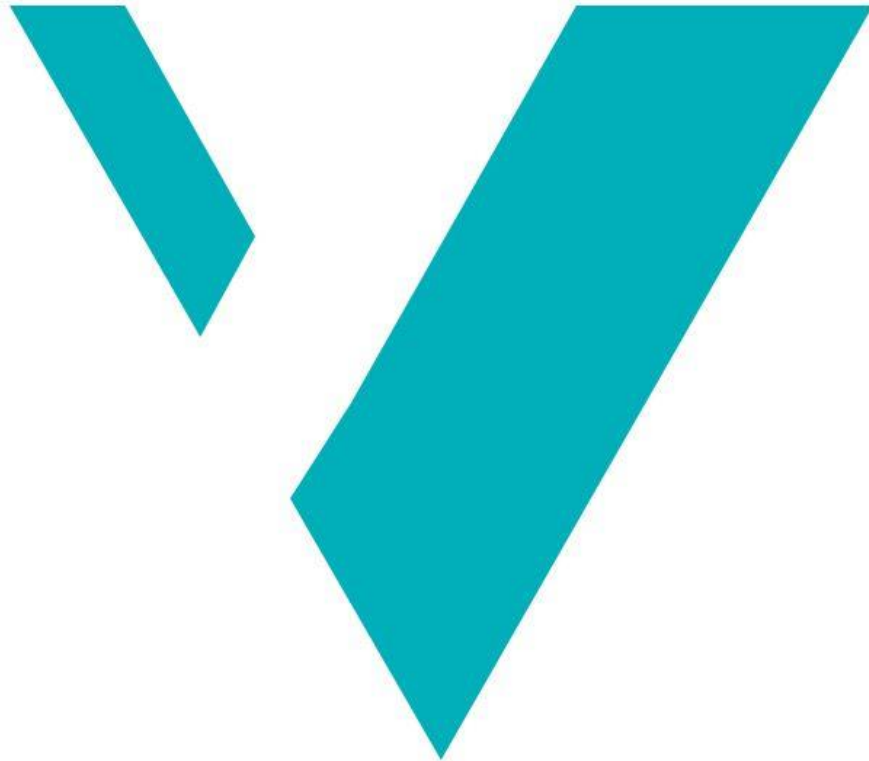
Er masteroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er masteroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Nei

Dimensjonere røykventilasjon i tunnel



Daniel Timenes

Høgskulen på Vestlandet

Masteroppgave i brannsikkerhet

Kristiansand

April 2021



Høgskulen
på Vestlandet

Dimensjonere røykventilasjon i tunnel

Masteroppgave i brannsikkerhet

Forfatter: Daniel Timenes	Signatur: 
Oppgaven uttatt: Vår 2021	Åpen oppgave
Veileder: Professor Sanjay Kumar Khattri Assisterende instituttleder Per Fredrik L. Hemmingsson	
Stikkord: <ul style="list-style-type: none">• Brannsimulering• CFD• FDS• Brann• Tunnel• Brannventilasjon• Brannsikkerhet• Pyrosim	Antall sider: 90 + Vedlegg: 44 Kristiansand, 23.04.2021
Dette arbeidet er gjennomført som ledd i masterprogrammet i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet. Studenten står selv ansvarlig for metodene som er anvendt, resultatene som er fremkommet og konklusjoner og vurderinger i arbeidet.	

Forord

Denne rapporten er det avsluttende arbeidet av et fireårig (deltid) masterstudie i brannsikkerhet ved Høgskulen på Vestlandet (HVL). Arbeid vedrørende rapporten som teller 60 studiepoeng strekker seg totalt over 4 semestre med avslutning våren 2021.

Masteroppgaven belyser bruk av det anerkjente simuleringsverktøyet Fire Dynamics Simulation (FDS) [1] for å dokumentere brannsikkerhet vedrørende brannventilasjon i tunnel. Temaet er ønskelig på bakgrunn av egen forkunnskap vedrørende bruk av FDS for å dokumentere brannsikkerhet i andre byggverk som for eksempel idrettshaller, kjøpesentre og skoler. Det er interessant å forske på muligheten for bruk av verktøyet for å dokumentere sikkerhet i tunneler.

Studieløpet for master i brannsikkerhet har vært kombinert med jobb som branningeniør hos Rambøll. Det er til tider en krevende kombinasjon, men samtidig et stort faglig utbytte å kombinere erfaringer fra rådgiverbransjen med kunnskapen fra studiene ved HVL.

Jeg vil takke interne veiledere Professor Sanjay K. Khattri og Per Fredrik Lennart Hemmingsson for innspill og veiledning gjennom oppgaven. Jeg vil også takke Hanne Loise Løver Thon, Trond Larsen, Jolanta Krocak og Jo Vegard Aardal hos Statens Vegvesen for invitasjon og hjelpelighet med informasjon og spørsmål vedrørende brannøvelse i Mælefjelltunnelen [2], samt invitasjon til fagdager for tunnelsikkerhet sammen med nødetater. Takk til Lars Berge ved System Air AS som har vært hjelpelig med spørsmål tilknyttet brannvifter i norske tunneler. Og takk til min arbeidsplass Rambøll som har støttet meg i å gjennomføre master i brannsikkerhet.

Kristiansand, 23. April 2021

Daniel Timenes

Sammendrag

I Europa er det mer enn 15 000 km med tunnel [3], bare i Norge er det over 1100 veitunneler med samlet lengde over 800 km. Minst 530 av veitunnelene i Norge er lengre enn 500 m [4]. Dagens regelverk krever at alle tunneler lengre enn 1 km skal ha brannventilasjon med minimum lufthastighet 3 m/s [5].

Opprinnelig ble tunnelventilasjon implementert i tunneler for å håndtere avfallsgasser og støv, men i senere tid har dette blitt en av de viktigste tiltakene under brann i tunneler. Frem til dags dato er ingen personer i Norge registrert omkomne som følge av brann i tunnel ifølge Statens Vegvesen [6] [7]. Men det er et stort tema i fagmiljøet om at det ofte har vært tilfældigheter som har ført til at personer overlever tunnelbrannhendelser. Om tilfældighetene slår i motsatt retning, kan det oppstå tunnelbrann i Norge med alvorlige konsekvenser for liv og helse.

Tall fra forsikringsbransjen viser at branntilløp inntreffer annenhver dag i vogntog på norske veier, og hver tredje dag i busser på svenske veier. Branner i slike kjøretøyer kan dermed forventes å fortsette i det norske veinettet, inklusivt i tunneler [8]. Videre angir tall fra Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap [9] at det har vært 124 branner i kjøretøy i norske tunneler fra og med primo 2016 til juni 2020. Det utgjør 2,34 branner per måned, eller i overkant av én brann annenhver uke i Norge (brann i kjøretøy inne i tunnel). 80% av tilfellene er brann i personbil og/eller lastebil.

Langsgående ventilasjon drevet med røykvifter i tak med tunnelportaler som tilluft og røykavkast er den mest utbredte ventilasjonsmetoden i langsgående tunneler i Norge. Bakgrunnen er i hovedsakelig knyttet til kostnader, og at det er ikke ønskelig med vertikale sjakter med røykavkast i befolkede områder og/eller natur. Det er også svært ugunstig for tunneler plassert under høye fjell og undersjøiske tunneler for så og røykventileres via vertikale sjakter.

I Norge i dag brukes blant annet ligninger for forflytning av masse i rør/tunnel for å dimensjonere brannventilasjonen i en kombinasjon med mye erfaring basert på brannøvelser og branntester. Denne oppgaven undersøker hvordan brannsimuleringer gjennomført i Fire Dynamics Simulation (FDS) [1] i kombinasjon med modelleringsprogrammet Pyrosim kan dokumentere nødvendig brannventilasjon i tunneler.

Resultater fra gjennomførte brannsimuleringer som representerer scenariene brann i bil, buss og lastebil i 100- og 1000 m lang tunnel viser at det er mulig å dokumentere hvilken ventilasjonseffekt som er nødvendig for å tilrettelegge for brannvesenets slokkemannskap og innsats. I 100 m lang tunnel med én brannvifte må ventilasjonseffekten ved brann i bil, buss og lastebil være henholdsvis 17,5 m³/s, 27,5 m³/s og 35 m³/s basert på gjennomførte brannsimuleringer. I 1000 m lang tunnel med ti brannvifter jevnt fordelt må ventilasjonseffekten ved brann i bil, buss og lastebil være henholdsvis 10 m³/s, 15 m³/s og 15 m³/s for å tilrettelegge for brannvesenets innsats basert på gjennomførte brannsimuleringer.

Brannøvelse i Mælefjelltunnelen viser hvordan brannventilasjon av tunnel fungerer i praksis. En brann ble tent på relativt sentralt i tunnelen som er i overkant av 9 km lang. Brannviftene klarte å føre røyken i én bestemt retning og dermed ivareta gode innsatsforhold til brannvesenet fra motsatt ende. I tillegg klarte brannventilasjonen ved å snu ventilasjonsretning å snu røykstrømmen i tunnelen.

Brannsimuleringer gjennomført viser at simuleringer gir oversiktlige, mer informasjon og gir en større fleksibilitet og nøyaktighet sammenlignet med håndberegner som er enkle å ta i bruk, men gir grovere resultater og er mindre fleksible. Basert på oppgaven vil brannsimuleringene medføre en større sannsynlighet for riktig dimensjonering av brannventilasjon i tunnel.

Abstract

In Europe there are more than 15,000 km of tunnel [3], and in Norway only there are over 1100 road tunnels with a total length over 800 km. At least 530 of the road tunnels in Norway are longer than 500 m [2]. Current regulations require that all tunnels longer than 1 km shall have fire ventilation with a minimum air velocity of 3 m/s [5]. Originally, tunnel ventilation was implemented in tunnels to deal with dust and gases, but in recent times this has become one of the most important measures to deal with fire in tunnels. To this day, no fatalities have been registered in Norway as a result of fire in a tunnel according to the Norwegian Public Roads Administration [6] [7]. However, it is an understanding among those in the profession that only coincidences that all people involved in tunnel fires have survived. If the coincidence strikes in the opposite direction, there can be tunnel fires in Norway with serious consequences for life and health.

Statistics from the insurance industry show that fires are occurring every two days in lorries on Norwegian roads, and every three days in buses on Swedish roads. Fires in such vehicles can thus be expected to occur throughout the Norwegian road network, including in tunnels [8]. Furthermore, statistics from the Directorate for Social Security and Emergency Preparedness in Norway [9] indicate that there have been 124 vehicle fires in Norwegian tunnels from the beginning of 2016 to present. This amounts to 2.34 fires per month, or just over one fire every other week in Norway. 80% of these cases are of fires in a passenger car and/or truck.

Longitudinal ventilation driven by smoke fans in ceilings with tunnel portals to supply air and smoke exhaust is the most widely used ventilation method in longitudinal tunnels in Norway. The reason is mainly related to costs, and that vertical shafts with smoke emissions in populated areas or woods are not desirable. Further, it is unfavorable for tunnels located under high mountains and underwater tunnels and smoke to be ventilated via vertical shafts.

In Norway today, equations are used to calculate moving mass in pipes/tunnels to dimension the fire ventilation, supplemented by information and experience from fire drills and fire tests. This thesis examines how fire simulations conducted in Fire Dynamics Simulation (FDS) in combination with the modeling program Pyrosim can strengthen the documentation for dimensioning fire ventilation in tunnels.

Results from completed fire simulations that represent the scenarios of fire in cars, buses and trucks in 100- and 1000 m long tunnel show that it is possible to document the necessary ventilation effect to facilitate the fire service's fire brigade and efforts. In a 100 m long tunnel with one smoke fan, the ventilation effect in the event of a fire in a car, bus and truck must be 17,5 m³/s, 27,5 m³/s and 35 m³/s, respectively, based on fire simulations. In a 1000 m long tunnel with ten smoke fans evenly distributed, the ventilation effect in the event of a fire in a car, bus and truck must be 10 m³/s, 15 m³/s and 15 m³/s, respectively, to facilitate the fire service's efforts based on these fire simulations. Fire drill in the Mælefjell tunnel shows how fire ventilation of a tunnel works in practice. A fire was lit relatively centrally in the tunnel, which is just over 9 km long. The fire fans managed to lead the smoke in one specific direction and thus ensure good response conditions to the fire service from the opposite end. In addition, by reversing the direction of ventilation, the fire ventilation managed to reverse the flow of smoke in the tunnel.

Fire simulations carried out show that simulations provide clear, more information and provide greater accuracy compared to hand calculators that are easy to use but gives coarser results and are less flexible. Based on the task, the fire simulations will lead to a greater probability of choosing the right effect for dimensioning fire ventilation in tunnels.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Innholdsfortegnelse	V
Figurer	VIII
Grafer	X
Ligninger	XI
Begreper og definisjoner	XII
1 Innledning.....	1
1.1 Problemstilling for oppgaven	2
1.2 Lovverk	2
1.3 Brannstatistikk i norske veitunneler.....	4
1.4 Brannvesenets innsats ved brann i tunnel	6
1.4.1 Brannventilasjonsprinsipp	7
1.5 Rømningsikkerhet i norske tunneler.....	8
1.6 Tunnelbranner i Norge	9
1.6.1 Brann i Oslofjordtunnelen	9
2 Teori.....	12
2.1 Brannforløp i tunnel	12
2.2 Kritisk ventilasjonshastighet.....	14
2.3 Computational Fluid Dynamics (CFD).....	23
2.3.1 Grunnleggende ligninger for CFD	23
2.3.2 Turbulens modellering	26
2.4 Fire Dynamics Simulation og Pyrosim	28
2.4.1 Valg av brannforløp	29
2.5 Brann og stigningsgrad i veitunneler.....	30
3 Metode	31
3.1 Simuleringer	31
3.2 Inndata til brannsimuleringer.....	31
3.2.1 Brannscenario.....	31
3.2.2 Brannventilasjon.....	33
3.2.3 Brannstørrelse og effektutvikling	34

3.2.4	Valg av brensel og forbrenningsmodell.....	41
3.2.5	Valg av materialer.....	41
3.2.6	Stråling.....	42
3.2.7	Mesh- og gridinndeling.....	42
3.2.8	Målepunkter.....	48
3.3	Forsøk – brannøvelse i Mælefjelltunnelen.....	49
3.3.1	Brannscenario.....	51
3.3.2	Brannvifter i Mælefjelltunnelen.....	52
3.3.3	Brannstørrelse, branninnhold og målepunkter.....	52
4	Resultater.....	55
4.1	Resultater fra brannsimuleringer.....	55
4.1.1	Branneffekt.....	55
4.1.2	Strømningshastighet uten røykventilasjon i 100 m lang tunnel.....	56
4.1.3	Strømningshastighet med røykventilasjon i 100 m lang tunnel.....	58
4.1.4	Strømningshastighet uten røykventilasjon i 1000 m lang tunnel.....	62
4.1.5	Strømningshastighet med røykventilasjon i 1000 m lang tunnel.....	64
4.2	Brannøvelse i Mælefjelltunnelen.....	69
4.2.1	Temperaturmåler plassert over brannen i underkant av kabelbro.....	69
4.2.2	Resultater knyttet til brannventilasjonen.....	71
5	Diskusjon.....	73
5.1	Metode for å dimensjonere brannventilasjon i tunnel.....	73
5.2	Bruk av brannsimuleringer.....	74
5.2.1	Tunneloppsett for brannsimuleringene.....	74
5.2.2	Resultater for brannsimuleringer uten brannventilasjon.....	75
5.2.3	Diskusjon av resultater for brannsimuleringer med brannventilasjon.....	77
5.2.4	Nødvendig effekt på brannvifte som følge av branneffekten.....	78
5.3	Sammenstilte resultater fra øvelse, håndberegninger og brannsimuleringer.....	80
5.4	Erfaringer fra brannøvelse, samt forekomst av fenomenet røykpropp i simuleringer og ved brannøvelse.....	82
6	Konklusjon.....	85
7	Referanser.....	86
	Vedlegg A.....	I
	Kritisk hastighet basert på NFPA 502 – 2020.....	I

Beregning for bilbrann – 8 MW branneffekt:.....	I
Beregning for bussbrann – 30 MW branneffekt:	II
Beregning for lastebilbrann – 50 MW branneffekt:	II
Vedlegg B.....	III
Kritisk hastighet basert på ikke-dimensjonal metode.....	III
Beregning for bilbrann – 8 MW branneffekt:.....	III
Beregning for bussbrann – 30 MW branneffekt:	IV
Beregning for lastebilbrann – 50 MW branneffekt:	V
Vedlegg C.....	VI
Begrense kritisk hastighet basert på «Critical Froude model»	VI
Beregning for bilbrann – 8 MW branneffekt:.....	VI
Beregning for bussbrann – 30 MW branneffekt:	VI
Beregning for lastebilbrann – 50 MW branneffekt:	VII
Vedlegg D.....	VIII
Temperaturmåler ved brannøvelse i Mælefjelltunnelen:.....	VIII
Vedlegg E	X
Tiltak gjennomført i Oslofjordtunnelen.....	X
Vedlegg F	XII
Program for «Fagdag tunnelsikkerhet».....	XII
Vedlegg G	XIII
Epost korrespondanse vedrørende pris på brannvifte:	XIII
Vedlegg H	XIV
FDS script av lastebilbrann i 1000 m tunnel med brannventilasjon 15 m ³ /s	XIV

Figurer

Figur 1 - Brann i kjøretøy i norske veitunneler f.o.m. 1.1.2016 [9]	5
Figur 2 - Antall branner per 10 000 innbyggere fordelt etter fylke [9]	6
Figur 3 - Skisse av videoovervåkning av tunnel, kilde [26]	7
Figur 4 - Oslofjordstunnelens vertikalprojeksjon og horisontalprojeksjon [28]	9
Figur 5 - Bilde fra hendelsen, kilde NRK.no [31].....	10
Figur 6 - Bilde fra hendelsen, kilde VG.no [32].....	11
Figur 7 - Skisse av termisk stråling ved brann i langsgående tunnel.....	12
Figur 8 - Tverrsnittsskisse av termisk stråling ved brann i tunnel.....	12
Figur 9 - Backlayering oppstrøms for brannen.....	15
Figur 10 - Tilstrekkelig ventilasjonshastighet for å unngå backlayering.....	15
Figur 11 - Fremvist forskjell mellom RANS og LES simulering i FDS	27
Figur 12 - 100 m tunnel modellert i Pyrosim.....	31
Figur 13 - 1000 m tunnel modellert i Pyrosim.....	31
Figur 14 - Tunnelprofil med angivelse iht Tabell 3 [5].....	32
Figur 15 - Brann/røykvifte i tunnel, modellert i Pyrosim	32
Figur 16 - Plassering av brannvifte i 100 m tunnel	33
Figur 17 - Plassering av brannvifter i 1000 m tunnel.....	34
Figur 18 - Bilde av brannscenarie 100A - brann i bil.....	35
Figur 19 - Bilde av brannscenarie 200A - brann i buss	36
Figur 20 - Bilde av brannscenarie 300A - brann i lastebil	36
Figur 21 - Bilde av brannscenarie 100B - brann i bil med røykventilasjon	37
Figur 22 - Bilde av brannscenarie 200B - brann i buss med røykventilasjon.....	38
Figur 23 - Bilde av brannscenarie 300B - brann i lastebil med røykventilasjon	39
Figur 24 - Meshinndeling i modell for 100 m tunnel.....	42
Figur 25 - Meshinndeling i modell for 1000 m tunnel.....	43
Figur 26 - Inndeling av mesh med forskjellig gridstørrelse i FDS [41]	44
Figur 27 - Plassering av målepunkter for temperatur og hastighet i tunnel med lengde 100 m.....	48
Figur 28 - Plassering av målepunkter for temperatur og hastighet i tunnel med lengde 1000 m.....	49
Figur 29 - Plassering av målepunkter for temperatur plassert over brann i alle brannscenarier	49
Figur 30 - Soneinndeling i Mælefjelltunnelen med angivelse av brannvifter	50
Figur 31 - Brannplassering i Mælefjelltunnelen under brannøvelsen.....	51
Figur 32 - Brann plassert i container i Mælefjelltunnel.....	52
Figur 33 - Branninnholdet for brannøvelsen i Mælefjelltunnelen	53
Figur 34 - Temperaturmålepunkter markert med røde sirkler ved brannøvelse i Mælefjelltunnelen	53
Figur 35 - Tunnelportal mot Notodden ved oppstart av brannøvelsen	54
Figur 36 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann	56
Figur 37 - Røykstrømning ved bilbrann fremstilt med fargekoder.....	56
Figur 38 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann.....	57
Figur 39 - Røykstrømning ved bussbrann fremstilt med fargekoder	57
Figur 40 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann	57
Figur 41 - Røykstrømning ved lastebilbrann fremstilt med fargekoder	57
Figur 42 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 17,5 m ³ /s røykvifteeffekt	59

Figur 43 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 17,5 m ³ /s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte	59
Figur 44 - Røykstrømning ved bilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder	59
Figur 45 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med 27,5 m ³ /s røykvifteeffekt	60
Figur 46 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med 27,5 m ³ /s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte.....	60
Figur 47 - Røykstrømning ved bussbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder	60
Figur 48 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 35 m ³ /s røykvifteeffekt	61
Figur 49 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 35 m ³ /s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte.....	61
Figur 50 - Røykstrømning ved lastebilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder	61
Figur 51 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann	63
Figur 52 - Røykstrømning ved bilbrann fremstilt med fargekoder.....	63
Figur 53 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann.....	63
Figur 54 - Røykstrømning ved bussbrann fremstilt med fargekoder	63
Figur 55 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann	64
Figur 56 - Røykstrømning ved lastebilbrann fremstilt med fargekoder	64
Figur 57 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 10 m ³ /s røykvifteeffekt.....	66
Figur 58 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 10 m ³ /s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte	66
Figur 59 - Røykstrømning ved bilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder	66
Figur 60 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med 15 m ³ /s røykvifteeffekt	67
Figur 61 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med 15 m ³ /s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte	67
Figur 62 - Røykstrømning ved bussbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder	67
Figur 63 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 15 m ³ /s røykvifteeffekt	68
Figur 64 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 15 m ³ /s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte.....	68
Figur 65 - Røykstrømning ved lastebilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder	68
Figur 66 - Bildeutsnitt fra video av brannforløpet, 20 minutter etter påsatt brann.	70
Figur 67 - Utsnitt fra evalueringsrapport om ventilasjon i brannøvelsen	71
Figur 68 - Brannrøyken ankommer Notodden tunnelportal ca. 30 minutter etter brannantennelse	71
Figur 69 - Brannrøyk som ankommer tunnelportal Notodden etter 40 minutters brannforløp	72
Figur 70 - Bilde av tunnelportal mot Notodden som viser at tunnelportalen er røykfri etter snudd ventilasjonsretning. Bilde er tatt 65 minutter etter brannantennelsen	72
Figur 71 - Temperatur i 100 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp	75
Figur 72 - Temperatur i 1000 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp	75
Figur 73 - Røykstrømning ved bilbrann i 100m lang tunnel fremstilt med fargekoder.....	76
Figur 74 - Røykstrømning ved bilbrann i 1000m lang tunnel fremstilt med fargekoder.....	76
Figur 75 - Temperatur i 100 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp	77
Figur 76 - Temperatur i 1000 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp	77
Figur 77 - Røykstrømning ved bilbrann i 100 m lang tunnel fremstilt med fargekoder.....	77
Figur 78 - Røykstrømning ved bilbrann i 1000 m lang tunnel fremstilt med fargekoder.....	77

Figur 79 - Fri sikt under røyklag ved bilbrann i 100 m tunnel. Utsnittet er tatt 15 minutter etter brannstart.....	82
Figur 80 - Røykpropp som dannes ved brann i lengre tunneler. Utsnittet er tatt 15 minutter etter brannstart.....	82
Figur 81 - CO-måling gjennomført av Kiwa Norge ved fullskalatest i Mastrafjordtunnelen [53]	83
Figur 82 - Måleresultater fra Kiwa Norge av CO i Mastrafjordtunnelen ved brannøvelse, vist med grå graf [53]	83

Grafer

Graf 1 - Temperaturkurver for ISO 834, HC og RWS [22] [33].....	13
Graf 2 - Kritisk hastighet i intervall 5-50 MW, basert på NFPA 502 – 2020 [37]	17
Graf 3 - Dimensjonsløs kritisk hastighet $U_c *$ versus dimensjonsløs branneffekt $Q_c *$ [25]	20
Graf 4 - Karakteristisk brannkurve for innelukket brann i rom eller tunnel [25]	29
Graf 5 - Branneffekt-tidsforløp for langsom, medium, rask og ultrarask brannutvikling [43]	30
Graf 6 - Branneffektkurver iht [25] og [44]	35
Graf 7 - Modellert branneffekt i brannsimuleringene	40
Graf 8 - Branneffekt for bilbrann med 20 cm, 40cm og 80 cm gridstørrelse	46
Graf 9 - Strømningshastighet ved tak for bilbrann med 20 cm, 40cm og 80 cm gridstørrelse	46
Graf 10 - Temperatur ved tak for bilbrann med 20 cm, 40cm og 80 cm gridstørrelse	47
Graf 11 - Branneffekt for bilbrann, bussbrann og lastebilbrann	55
Graf 12 - Strømningshastighet 20 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann	56
Graf 13 - Strømningshastighet 20 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann med røykventilasjon	58
Graf 14 - Strømningshastighet 200 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann	62
Graf 15 - Strømningshastighet 200 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann med røykventilasjon	65
Graf 16 - Temperatur over brann ved kabelbro.....	69
Graf 17 - Strømningshastigheter ved brann i tunnel uten ventilasjon.....	76
Graf 18 - Strømningshastigheter ved brann i tunnel med brannventilasjon	78
Graf 19 - Temperaturmåler rett over brann i brannøvelse i Mælefjelltunnelen	84

Ligninger

2.1.....	13
2.2.....	16
2.3.....	16
2.4.....	16
2.5.....	16
2.6.....	18
2.7.....	18
2.8.....	18
2.9.....	19
2.10.....	20
2.11.....	20
2.12.....	21
2.13.....	21
2.14.....	21
2.15.....	21
2.16.....	23
2.17.....	24
2.18.....	24
2.19.....	25
2.20.....	25
2.21.....	26
2.22.....	29
3.1.....	44
3.2.....	45
3.3.....	45

Begreper og definisjoner

Begrep	Definisjon	Kilde
Arnested	Sted der brannen har startet.	KBT.no
Backlayering	Bevegelsen av røyk eller en varm gass mot retningen av ventilasjonsstrømmen.	https://findwords.info/term/backlayering
Diffusjonsflamme	Flamme der forbrenning foregår i en sone der brensel og oksidasjonsmiddel blir blandet.	KBT.no
Fractional Effective Dose	Forholdet mellom eksponeringsdosen for et kvelende stoff og den eksponeringsdosen av det kvelende stoffet som er forventet å føre til en gitt effekt i et eksponert individ med gjennomsnittlig følsomhet.	KBT.no
Froudes nummer	Det ikke-dimensjonale Froude-tallet, betegnet Fr, brukes i hydraulikk når det beskrives væskestrømmer, men er også tilnærmet gjeldende for høye temperaturgasser i flammer.	Enclosure Fire Dynamics
Km	Kilometer	Store Norske Leksikon https://snl.no/kilometer
MW	Megawatt, 10^6 Watt.	Store Norske Leksikon https://snl.no/watt
m	meter	Store Norske Leksikon https://snl.no/meter
Nødvendig Rømningstid	Tiden fra brannstart til sikkert sted er nådd.	KBT.no
Overtenning	Overgang til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i en brann.	KBT.no
Passiv brannbeskyttelse	Overflatebehandling, kledning eller frittstående system som ved brann vil gi termisk beskyttelse som reduserer	KBT.no

	hastigheten for varmeoverføring til det beskyttete objektet eller området	
ppm	Symbolet ppm er en forkortelse for engelsk parts per million, som betyr «deler per million».	Store norske Leksikon https://snl.no/
Tilgjengelig rømningstid	Nødvendig rømningstid er tiden det tar å rømme en bygning.	KBT.no
ÅDT	Årsdøgnetrafikk - gjennomsnittstall for daglig trafikkmengde iløpet av 1 år.	https://www.vegvesen.no/fag/trafikk/trafikkdata

1 Innledning

Alle tunneler i Norge med lengde over 1000 m skal ha mekanisk ventilasjon for blant annet å kontrollere varme og røyk i tilfelle brann basert på tunnelforskriften [10]. Ventilasjonsanlegget skal styre røyken i ønsket retning i henhold til dimensjonerende brannbelastning. Håndbok N500 [5] utgitt av Statens vegvesen angir krav til at ventilasjonskapasiteten i tilfelle brann skal verifiseres gjennom beregninger med hensyn til beredskapssammenheng.

Norge har omlag 1.130 tunneler på riks- og fylkesveiene. 150-200 tunneler er under planlegging, hvor omtrent halvparten er på Vestlandet (Rogaland til Sogn og Fjordane). Norge er plassert øverst internasjonalt i trafikksikkerhet målt i drepte og skadde per kjørte kilometer. Flere alvorlige tunnelulykker i Norge og Europa har medført et nytt sikkerhetsregime både i EU-området og i Norge med økt fokus på samfunnssikkerhet og beredskap generelt [11]. Veitunneler skiller seg fra vei i friluft på flere områder. Blant annet fordi det i tunneler ikke er noen sideaktivitet, tunneler har et godt veiunderlag om vinteren og har samme lysforhold året rundt unntatt når tunnelinngangen ligger i skarpt sollys. En andel trafikanter opplever ubehag, har tunnelfobi og får en form for klaustrofobi i tunnel. Flere synes det er vanskelig å bedømme stigning og fall i tunnel, er redd for avgassutslipp, og er redd utfordrende forhold om det inntreffer en ulykke. De spesielle utfordringene som veitunneler byr på ved kritiske situasjoner er knyttet til stans i trafikken og trafikkopphopninger. Omtrent halvparten av trafikantene vet ikke hva de skal gjøre i kritiske situasjoner som for eksempel brann. Mange forholder seg passive i situasjoner som krever evakuering. Det kan generelt være at norske trafikanter kan ha god nytte av opplæring og/eller informasjonstiltak som forklarer hvordan de skal oppføre seg i kritiske situasjoner, også i veitunneler [12].

Fire Dynamics Simulation (FDS) er et anerkjent tredimensjonalt beregningsverktøy for å simulere branner med angitt branneffekt, brannareal, brannvekst, og beregner resultater for røykspredning, røyktemperatur, fri sikt for evakuerende og mer. FDS er mye brukt i Norge til å dokumentere brann- og rømningssikkerhet i bygninger som skolebygg, forsamlingslokaler, kontorbygg, salgslokaler, lagerbygg, idrettshaller og lignende. Denne oppgaven skal undersøke om beregningsprogrammet FDS kan brukes som verktøy til å dimensjonere brannventilasjon i tunnel.

Som en del av den praktiske delen av masteroppgaven er deltakelse med Statens Vegvesen og nødetatene på brannøvelse i tunnel. I utgangspunktet skulle det gjennomføres brannøvelse i Blødekjærtunnelen ved Arendal. Blødekjærtunnelen har samme tunnelprofil som er lagt til grunn for brannsimuleringene i oppgaven. Dessverre ble øvelsen kansellert/flyttet til noen år frem i tid etter forberedelser med brannsimuleringer av tunnelen. Men istede inviterte Statens Vegvesen til brannøvelse i Mælefjelltunnelen ved Seljord. Mælefjelltunnelen har større tunnelprofil (T10,5 profil) sammenlignet med mine kjørte brannsimuleringer (T9,5 profil), og det ble dessverre ikke mulig å kjøre brannsimuleringer av Mælefjelltunnelen på grunn av svært lang simuleringstid og krevende simuleringsskapasitet med tanke på at tunnellengden er 9355 m. Brannøvelsen er en veldig god erfaring for å se brannforløpet inne i tunnel og ventilasjonens påvirkning og evne til å føre røyken i forutbestemt retning for å ivareta sikkerheten til brannvesen og rømmende personer.

For ventilasjon ved brann i tunnel brukes både uttrykkene brannventilasjon og røykventilasjon om hverandre og er det samme, også i denne rapporten. Brann- og røykventilasjon i tunnel skal ventilere både røyk og brann ut til det fri slik at rømningssforhold og brannvesenets innsatsforhold ivaretas tilstrekkelig sikkerhetsmessig.

1.1 Problemstilling for oppgaven

I oppgaven skal det undersøkes hvordan brannsimuleringer i FDS kan dokumentere hvilken effekt på brannventilasjonen som er tilstrekkelig å unngå kritisk backlayering ved brann i bil, buss og lastebil i 100 m og 1000 m lang tunnel. I denne sammenhengen defineres «kritisk backlayering» som ventilasjonen evne til at brannvesenet kan effektivt transporteres til brannen og gjennomføre slokkearbeid. Ifølge «The Handbook of tunnel fire safety» konkluderte Eisner og Smith [13] at brannvesenet må ha mulighet til å ta seg 11-14 m fra brannen i tunnel for å gjennomføre effektiv slokking. Akseptkriterie for brannsimuleringene er dermed at brannventilasjonen i brannsimuleringene skal vise at brannvesenet kan gjøre en effektiv slokkeinnsats inntil 14m fra brannområde.

For brannsimuleringer avgrenses oppgaven til brann i bil, buss og lastebil i 100 m og 1000 m tunnel med og uten røykventilasjon. Påvirkning av vind, helning, svinger, eventuelle avkjøringsramper medtas ikke i oppgaven. Utover dette er oppbygging av modell i henhold til kapittel som beskriver inndata og simuleringmodeller i kapittel 3.2.

I tillegg vil oppgaven vise hvordan brannventilasjon fungerer i praksis på bakgrunn av deltakelse på brannøvelse sammen med Statens Vegvesen og nødetatene.

1.2 Lovverk

Dette kapitlet inneholder styrende regelverk for sikkerhet i tunneler i Norge. Sikkerhet i tunneler i Norge ivaretas ved nasjonale lover, forskrifter og veiledninger. I tillegg er det internasjonale europeiske regelverket med å dimensjonere sikkerheten i norske veitunneler.

Tunneler i Norge styres av Brann- og eksplosjonsvernloven [14], lover om veger (vegloven) [15] og Plan og bygningsloven [16]. Videre har lovene sine forskrifter, håndbøker og veiledere som angir forskriftskrav og ytelseskrav tunneler må oppnå og skal utføres etter. I tillegg ble det i 2004 vedtatt eget tunneldirektiv for Europa som fastsetter minstekrav om sikkerhet til tunneler på det transeuropeiske transportnett og tunneler over 500m [17].

EU direktivet

Europeiske Unions tunnelsikkerhetsdirektiv [18] skal sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler over 500 m på det transeuropeiske veinettet (TERN). Direktivets forord oppfordrer til å innføre samme sikkerhetskrav til tunneler som ikke omfattes av direktivet [19]. Direktivet omfatter både organisatoriske og tekniske krav og skal gjelde både for eksisterende og nye tunneler. Dette omfatter blant annet antall løp, ventilasjon, nødutganger, havarilommer og stigningsgrad. Videre settes krav til diverse utstyr som belysning, brannslukkere, tilgang til slokkevann, video-overvåking og kommunikasjonssystem.

EU-direktivet stiller krav til eier av tunnel i forhold til drift, oppgradering, risikoanalyser samt krav til dimensjonering ved bygging av nye tunneler. Arbeidet med EU-direktivet ble startet den 30.11.2001 da transportministrene i Østerrike, Frankrike, Tyskland, Italia og Sveits avholdt et møte og vedtok en felles erklæring for å anbefale justering av nasjonal lovgivning for å bedre sikkerheten i lange tunneler [20]. Direktivet gjelder for tunneler på det Trans-Europeiske veinettet og for tunneler over 500 m. Hensikten til direktivet er å forbedre sikkerhetsforhold for alle brukere, inkludert funksjonshemmede personer.

Kravet til en maksimal stigningsgrad på 5 % for nye tunneler blir sannsynligvis mest vanskelig og dyrt å tilfredsstille [20]. Andre kostbare krav vil være etablering av rømmingsveier for lengre ett-løps tunneler og krav til mekanisk ventilasjonssystem.

Ifølge artikkel fra veier24.no [21] skulle nye krav iht EU direktivet være innført innen 2014. Ettersom ikke det ikke var mulig å gjennomføre ble ny frist satt til 2019 som heller ikke var gjennomførbart. Nå er fristen om å oppgradere tunneler iht EU direktivet satt til 2025, men ifølge artikkelen er det mer sannsynlig at enkelte resterende tunnel som må oppgraderes kan rehabiliteres rundt 2030. Dette tyder på at planlegging og utførelse av tunneloppgradering er utfordrende og tar ofte lengre tid enn antatt. EU direktivet gir for øvrig mulighet for såkalte tekniske bytter. Dette betyr at man kan gjennomføre andre sikkerhetsfremmende tiltak som har tilsvarende eller bedre effekt. Kanskje brannsimuleringer kan styrke risikoanalysene og sikkerhetsdokumentasjonen for tekniske bytter i tunneler?

Lov om vegar

Lov om vegar [15] skal gjennom krav til planlegging, bygging, vedlikehold og drift av offentlige og private veier, sikre at trafikken kan avvikles på en måte som trafikantene og samfunnet er tjent med. Det er en overordnet målsetting for veimyndighetene å skape mest mulig trygg og god avvikling av trafikken [22].

Tunnelforskriften

Formålet med tunnelforskriften [23] er å sikre laveste tillatte sikkerhetsnivå for trafikanter i tunneler ved krav til å forebygge kritiske hendelser som kan sette menneskeliv, miljøet og tunnelanlegg i fare og til å sørge for vern i tilfelle av ulykker. Forskriften får anvendelse på tunneler med lengde på over 500 meter på det transeuropeiske veinettet og på andre riksveier. Forskriften gjelder for tunneler som er i bruk, under bygging eller på prosjekteringsstadiet. Her er et utklipp av relevante krav som fremkommer i tunnelforskriften [23]:

- «Tverrgående eller halvveis tverrgående ventilasjonssystemer skal brukes i tunneler der det er nødvendig med et mekanisk ventilasjonssystem og der ventilasjon i lengderetningen ikke er tillatt. Disse systemene må kunne fjerne røyk i tilfelle av brann.»
- «Tilfluktsrom uten utgang som fører til fluktveier til det fri, skal ikke bygges.»
- «Det skal finnes nødutganger dersom en analyse av relevante risikoer, herunder hvor langt og hvor fort røyk beveger seg under forholdene på stedet, viser at ventilasjonen og andre sikkerhetsanlegg ikke er tilstrekkelige til å ivareta trafikantenes sikkerhet.»
- «I alle tilfeller skal det i nye tunneler finnes nødutganger dersom trafikkvolumet overstiger 2 000 kjøretøy (ÅDT) per kjørefelt.»
- «I eksisterende tunneler på mer enn 1 000 m lengde med et større trafikkvolum enn 2 000 kjøretøy (ÅDT) per kjørefelt, skal det vurderes om det er gjennomførbart og virkningsfullt å lage nye nødutganger.»
- «Når det finnes nødutganger, skal avstanden mellom to nødutganger ikke overstige 500 m.»
- «Det skal være montert automatiske branndeteksjonssystemer i alle tunneler som ikke har kontrollsentral, når driften av mekanisk ventilasjon for røykkontroll er forskjellig fra den automatiske driften av ventilasjon for kontroll med forurensende stoffer.»

Brann- og eksplosjonsvernloven

Brann- og eksplosjonsvernloven [14] gjelder for tunneler i drift og gir blant annet brannvernmyndigheten hjemmel til å gi pålegg om brannsikringstiltak. Kommunen skal gjennomføre ROS-analyser av aktuelle objekter. Tulleiere skal sørge for nødvendig sikringstiltak for å forebygge og begrense brann, eksplosjoner o.l.

Plan og bygningsloven

Planlegging og bygging av veitunneler skjer med hjemmel i bestemmelsene i plan- og bygningsloven [16]. Dette innebærer at branntekniske krav til nye tunneler vil være ett av flere viktige forhold som skal søkes og avklares i plan- og byggesaksbehandlingen.

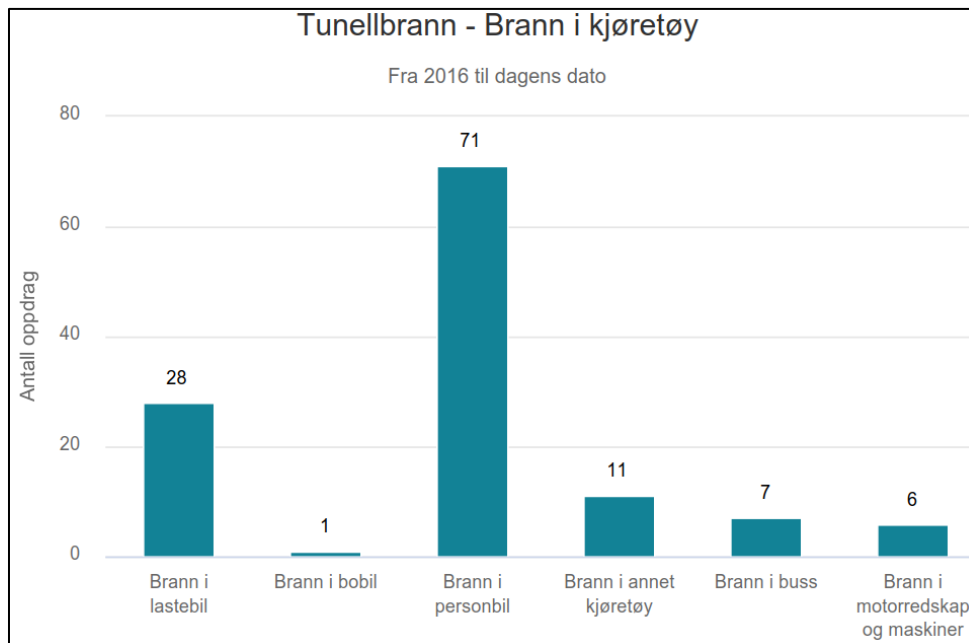
1.3 Brannstatistikk i norske veitunneler

Ifølge statistikk fra brannstatistikk.no [9], utlevert av Direktoratet for Samfunnssikkerhet og Beredskap, er det registret 124 branner i kjøretøy i norske veitunneler fra 1.1.2016 til 1.6.2020. Dette utgjør 2,34 branner per måned, eller i overkant av én brann annenhver uke i Norge (brann i kjøretøy inne i tunnel). 80% av tilfellene er brann i personbil og/eller lastebil. I tillegg er det registrert 28 branner i «selve tunnelen» (gjelder ikke brann i kjøretøy). Branntilfellene er oppsummert ved oppdragstype, antall oppdrag, prosentandel og med responstid som tilleggsinformasjon i Tabell 1.

Tabell 1 - branntilfeller i norske veitunneler fra 1.1.2016 til juni 2020

Oppdragstype	Antall oppdrag	Prosent	Responstid (MEDIAN)
Brann i personbil	71	57,3	00:14:15
Brann i motorredskap og maskiner	6	4,8	00:14:46
Brann i lastebil	28	22,6	00:14:15
Brann i buss	7	5,6	00:12:52
Brann i bobil	1	0,8	00:00:00
Brann i annet kjøretøy	11	8,9	00:13:37
Totalt	124	100	

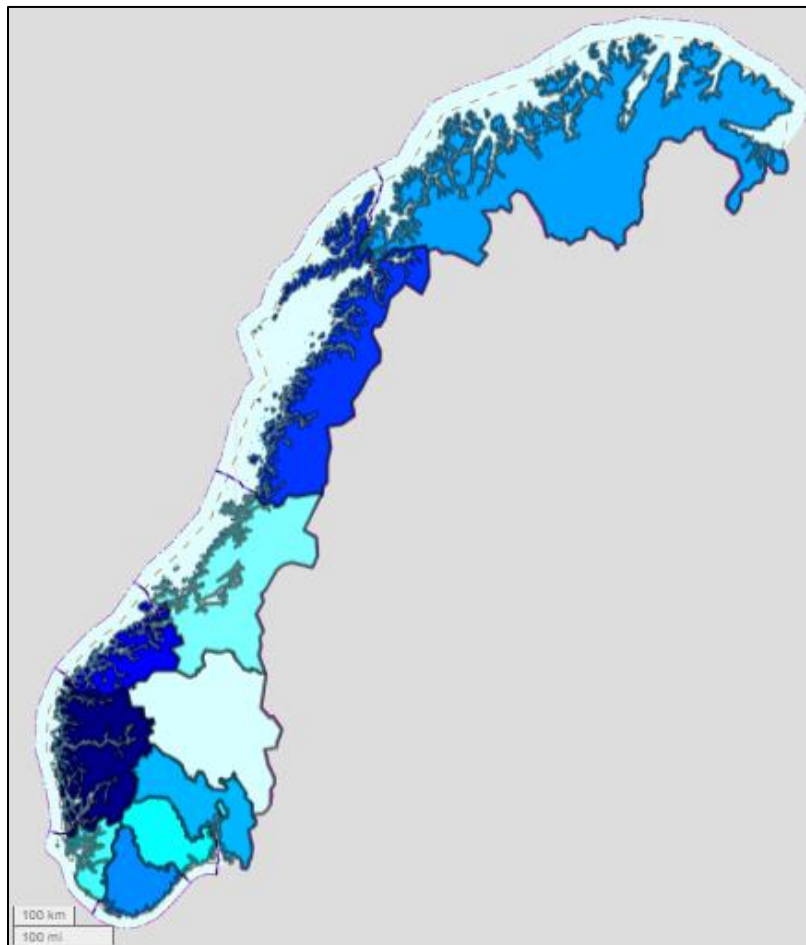
Diagram av branntilfellene fra Tabell 1 fremkommer i Figur 1.



Figur 1 - Brann i kjøretøy i norske veitunneler f.o.m. 1.1.2016 [9]

Basert på Figur 1 er det flest tilfeller av brann i personbiler etterfulgt av brann i lastebiler. Det er brann i lastebiler som har mest potensiale for større konsekvenser. Erfaringsmessig er det flere branner inne i byggverk (både tunneler og parkeringshus/-garasjer/-kjellere) som kunne vært unngått dersom føreren hadde valgt å stoppe kjøretøyet med en gang de merket noe var galt - på utsiden av byggverket. Men det finnes flere tilfeller av at føreren har kjørt inn i tunnelen eller parkeringshuset i god tro om at det skal gå bra. Informasjon om konsekvens ved brann i tunnel/parkeringsanlegg kan være hensiktsmessig å tillegges kjøreopplæring for å forsøke å redusere hyppighet og konsekvens ved brann i kjøretøy.

Det er 34 undersjøiske veitunneler i Norge, men det er flere under planlegging. Disse har høy stigningsgrad (definert som stigning på over 5 %). Region nord har 10 undersjøiske tunneler, region vest har 9, region midt har 10, region øst har 4 og region sør har 1 undersjøisk tunnel. I tillegg finnes det 10 veitunneler som ikke er undersjøiske, men som har høy stigningsgrad i Region vest. Stigningsgraden ser ut til å øke risikoen for brann og branntilløp. Det finnes dermed minst 44 veitunneler i Norge med høy stigningsgrad (>5 %). De utgjør til sammen omtrent 4 % av veitunnelene i Norge. Disse hadde 41 % av brannene og branntilløpene i perioden 2008-2015. Veitunneler med stigning på over 5 % er altså betydelig overrepresentert i statistikken over branner og branntilløp i kjøretøy i norske veitunneler ved perioden 2008-2015 [12]. Denne statistikken stemmer tydelig overens, og medfører en trend, for hvor man kan forvente hyppige branntilfeller i Norge. I Norgeskartet under, i Figur 2, fremstilles hvilke fylker som hadde flest branner i tunneler per 10 000 innbyggere. Mørkere farge angir flere antall branntilfeller fra 1.1.2016 til dags dato [9].



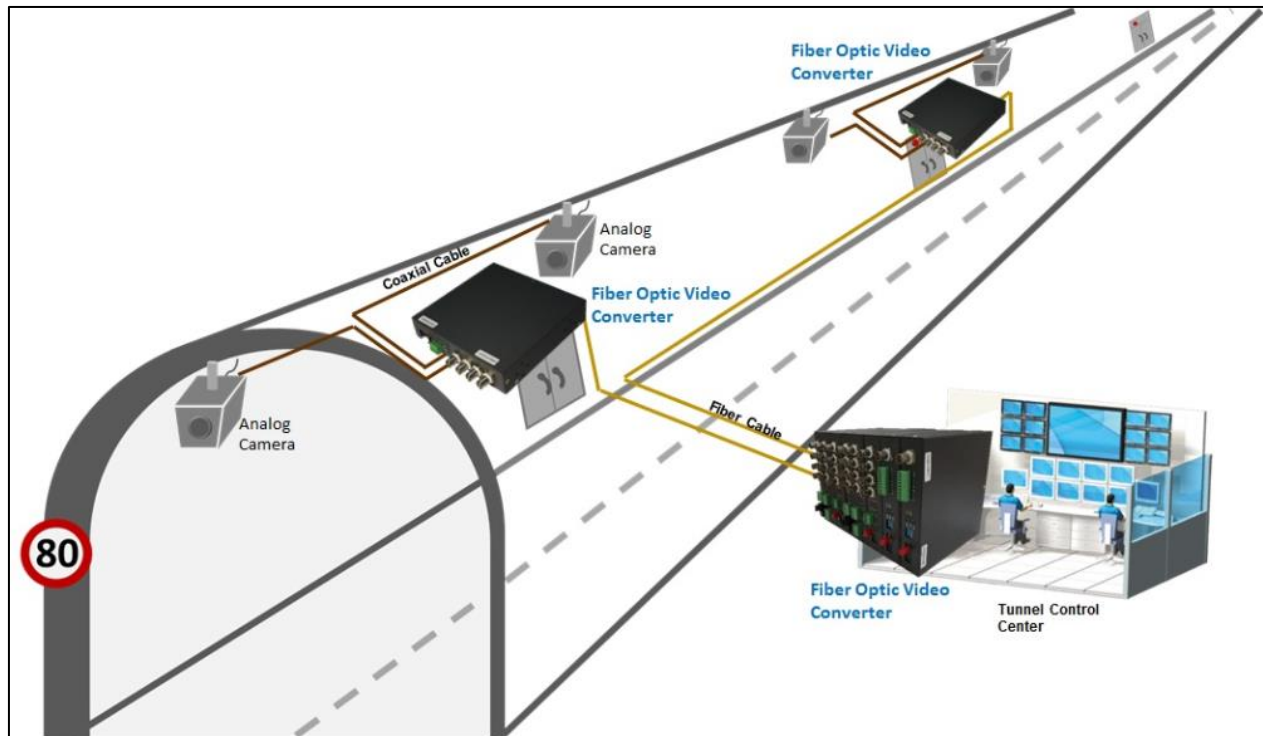
Figur 2 - Antall branner per 10 000 innbyggere fordelt etter fylke [9]

Som det fremkommer av kartet i Figur 2, basert på brannstatistikk fra 2016 til dags dato [9], ser man at det er flest branntilfeller Vest i Norge. Dette må ses i sammenheng med at Vest-Norge har en overrepresentativ andel tunneler med høy stigningsgrad (stigning > 5%). Dette har resultert i endring i tunnelregelverket som krever at nye tunneler skal ha maksimal stigningsgrad 5% [5].

1.4 Brannvesenets innsats ved brann i tunnel

Norske veitunneler over 500 m er i henhold til lovverket definert som særskilte brannobjekter [24]. Dette medfører at de skal ha en brannvernleder og at det skal føres tilsyn og arrangeres øvelser (også brannøvelser) i disse objektene.

Innsatsvurderingene for brannvesen er svært utfordrende ved brann i tunneler sammenlignet med brann i bygg. Ved brann i bygg har man gode innsatsforhold fra utsiden, og kan relativt enkelt lokalisere brannen, ofte fra utsiden på trygg lokasjon. Brannvesenet ønsker å håndtere en brannsituasjon mens brannen utvikler seg, altså før kritiske forhold inntreffer som for eksempel tykk røykfylling i tunnel og/eller overtenning. Røyken er i utgangspunktet kun synlig fra portaler, dersom tunnelen ikke har installert Close Circuit system (CCTV – videoovervåking med kontrollrom) som vises i Figur 3 [25].



Figur 3 - Skisse av videoovervåking av tunnel, kilde [26]

Røykstrømning i tunnel kan raskt endres på grunn av trykkendringer i tunnel og ved tunnelportalene. Rask endring av røykstrømninger med giftige og varme gasser er svært farlig for brannvesenets innsats. Dermed må tiltak som mekanisk røykventilasjon implementeres som brannsikkerhetstiltak i flere tunneler slik at innsatsforholdene er sikre. Ventilasjonsretning i tunnel ved brann er normalt basert på hvilken side av tunnelen brannvesenet kan ankomme først ved innsats, eventuelt om brannvesenet på den ene siden av tunnelen innehar bedre utstyr for å gjennomføre en sikker innsats for redning og slokking i tunnelen [27]. Dersom vindforholdene kan påvirke ventilasjonseffekten i tunnelen må dette medtas for dimensjonering av brannventilasjonskapasitet.

På bakgrunn av dette er dokumentasjon av brannventilasjonsdesign og effekt viktig for brannvesenets innsats i tunneler.

1.4.1 Brannventilasjonsprinsipp

I veitunneler i Norge er ventilasjonsprinsippet ved brann i utgangspunktet slik at ventilasjonsretningen fører røyk bort fra tunnelportalen hvor brannvesenet ankommer for innsats. Denne strategien tilrettelegger for brannvesenets innsats for å slokke brannen i tunnel, samtidig som det gir brannvesenet bedre evakueringsmuligheter av personer inne i tunnelen frem til brannen. Normalt kjøres ventilasjonsviften på full effekt fra start ved brann. Det er en pågående fagdiskusjon i Europa om det er mest hensiktsmessig å starte ventilasjonsviftene etter nødvendig rømningstid for at rømningsforholdene nedstrøms også ivaretas tilstrekkelig, slik at rømning mest sannsynlig kan forekomme uten kritisk eksponering av røyk. I dagens regelverk åpnes det for at brannventilasjonsretning kan bestemmes etter at brannen er detektert dersom tunnelen har fullverdig videoovervåking eller tilsvarende. I disse tilfellene kan brannventilasjonen styres mot den tunnelportalen som brannen oppstår nærmest om det vurderes mest hensiktsmessig [5].

1.5 Rømningssikkerhet i norske tunneler

Rømningssikkerhet i tunneler i Norge i dag er basert på selvbergingsprinsippet. I statens vegvesens rapport nr. 161 [28] beskrives det i kapittel 3.2 at:

«Selvbergingsprinsippet er generelt akseptert i samfunnet og det gjelder i prinsippet for alle typer byggverk.

All erfaring viser at i løpet av 10 – 15 minutter må trafikantene som er involvert i hendelsen ta inn over seg at noe er i ferd med å skje, orientere seg om nødutganger fra brannstedet og iverksette evakuering til sikker plass. I løpet av denne tiden må alt gjøres riktig hva gjelder selvbergning.

Selvbergning gjelder som hovedprinsipp i alle norske vegtunneler. Eksterne redningsmannskaper kan bare i unntakstilfeller komme til unnsetning ved en hendelse inne i en tunnel. Dette må også trafikantene kjenne til og det påhviler eier et ekstra ansvar at denne forutsetningen er kjent.

Hovedpoenget for at selvbergning skal kunne fungere i praksis er at tunnelen er utformet for og utrustet med tekniske installasjoner som fungerer i en nødsituasjon. All ekstern redningsinnsats skal planlegges og iverksettes i henhold til godkjent beredskapsplan. Men i startfasen av en hendelse vil det alltid være selvbergingsprinsippet som gjelder og som derigjennom påvirker omfanget av hendelsen.»

Et viktig poeng å fremheve fra rapport 161 [28] er at hovedpoenget for at selvbergning skal kunne fungere i praksis er at tunnelen er utformet og utrustet med tekniske installasjoner som fungerer i en nødsituasjon. Ved Gudvangenbrannen i 2019 var det en svært rask opptrapping av brann hvor det har vært kommentert kun 2 minutters tilgjengelig rømningstid ifølge Helene Roth i foredrag for brannsikkerhetskonferansen i 2019 [29]. Normalt er dette ikke tilstrekkelig, og det er tilfeldigheter som inntreffer for at det går fra økonomiske konsekvenser til at det også medfører katastrofale følger med flere omkomne personer.

Tall fra henholdsvis forsikringsbransjen og «Svensk Provnig» viser at branntilløp inntreffer annenhver dag i vogntog på norske veier, og hver tredje dag i busser på svenske veier [3]. Branner i slike kjøretøyer må dermed forventes å fortsette i det norske veinettet, inklusive tunnelene. Anerkjent norsk forsker ved RISE Fire research i Trondheim, Ragnar Wighus, mener følgende om dagens rømningssikkerhet i tunnel [30]:

«Det er mange myter om dette med brann i tunneler. En av disse mytene er at røyken legger seg oppunder taket og at det er en sone med frisk luft nede. Dette er imidlertid bare noe som skjer i korte tunneler. I lengre tunneler blir det ganske fort en massiv røykpropp som beveger seg...

Vi venter egentlig bare på at det skal skje en katastrofe. Før eller siden kommer den.»

Basert på uttalelsene er det viktig å få flere, mer presise, nye verktøy og hjelpemidler for å dokumentere sikkerheten ved brann i tunneler.

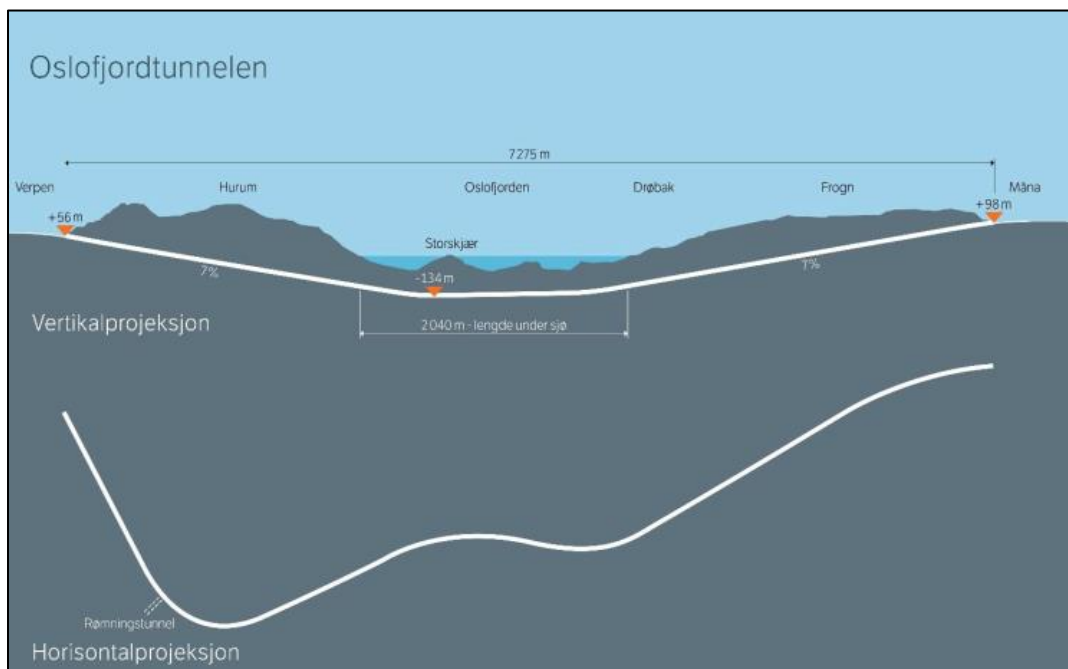
1.6 Tunnelbranner i Norge

I løpet av tidsrommet 2011-2016 var det 5 store branner i norske vegtunneler [4]. Det har vært to branner i Oslofjordtunnelen (og i tillegg en brann i nyere tid – 2017), to branner i Gudvangtunnelen og en brann i Skatestraumtunnelen.

I dette kapitlet fremkommer det et kortfattet sammendrag fra enkelte av tunnelbrannene i stor grad basert på Statens Vegvesens rapport «De fem store tunnelbrannene i Norge» [4].

1.6.1 Brann i Oslofjordtunnelen

Oslofjordtunnelen ble åpnet for trafikk i år 2000. Tunnelen er 7250 m lang med stigningskurve 7% som vist i Figur 4. Tunnelprofilen er ett løp T11 (tre kjørefelt), årsdøgnetrafikken i år 2010 var 7100 kjt/døgn hvorav tungtrafikkandelen var 15%. Det er en nødutgang via en tverrslagtunnel 1900 m fra vestre tunnelportal (Verpen tunnelportal).



Figur 4 - Oslofjordstunnelens vertikalprojeksjon og horisontalprojeksjon [28]

Brannforløpet 29. mars 2011



Figur 5 - Bilde fra hendelsen, kilde NRK.no [31].

Klokken 1305 ble VTS (Vegtrafikksentralen) i Oslo varslet om brann i vogntog i lavbrekket av tunnelen [4]. Vogntoget var en polsk registrert semitrailer med 30 tonn papirruller. VTS kunne se flammer ut av hjulbunnen på kjøretøyet via kamera i tunnelen og startet dermed brannviftene iht beredskapsprosedyren. Politi og brannvesen ble varslet kl 1306. Brannvesenet ankom tunnelen kl 1315 og ble møtt av sjåføren som hadde gjort flere slökkingsforsøk med brannslukkere fra tunnelen. Brannen spredte seg til lastebilhytten og lasten, men ble raskt sløkket av brannvesenet. Tunnelen var ferdig gjennomløst kl 1427, fire personer ble sendt til sykehus for behandling og to andre ble sjekket av ambulanspersonell på stedet. Figur 5 viser bilde fra hendelsen. Oslofjordtunnelen ble gjenåpnet dagen derpå kl 0600 [4].

Etter brannen ble det nedsatt en intern arbeidsgruppe i Statens Vegvesen som skulle foreslå brannforebyggende tiltak. Men det skulle inntreffe en ny brann i tunnelen før de fleste tiltakene var gjennomført.

Brannforløpet 23. juni 2011



Figur 6 - Bilde fra hendelsen, kilde VG.no [32]

Klokken 1436 startet det å brenne i et polsk registrert vogntog i Oslofjordtunnelen. Vogntoget stanset 1,7 km fra Drøbak/Follosiden. Brannventilasjonen ble igangsatt av Oslo VTS, og etter beredskapsplanen skulle Follo brannvesen ha frisk luft i ryggen å gjennomføre innsats ved brann i tunnelen. Dermed ble 5,5 km av tunnel røykfyllt. Brannvesenet fra Follo ankom brannstedet kl 1449 og slokkingsarbeidet umiddelbart. Etter 45 minutter hadde brannvesenet kontroll på brannen som ble estimert til å ha branneffekt 70-90 MW ifølge SINTEF [4].

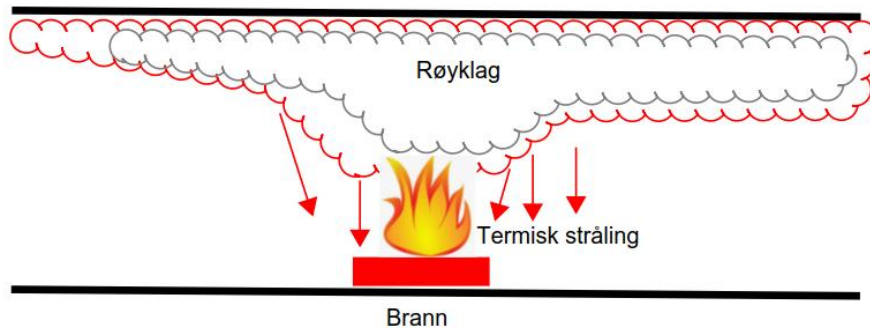
Det var 34 personer i tunnelen når brannen startet. 25 av de evakuerende tok seg ut mot Verpen (vestover), samme retning som brannventilasjonen styrte røyken. Redningspersonalet reddet de 9 resterende personene hvorav 8 personer søkte tilflukt i en SOS-boks og plasserte seg mellom betonghvelvet og fjellveggen. Etter to timer var alle evakuert fra tunnelen. 32 personer ble sendt til sykehus for behandling. Personskadeomfanget er ikke kjent [4].

Tunnelen ble stengt for trafikk frem til 8. juli 2011. Det ble utført risikoreduserende tiltak, konsekvensreduserende tiltak og tiltak for raskere og mer effektiv redningsinnsats [4]. Se Vedlegg E for detaljert informasjon om hvilke tiltak som ble utført.

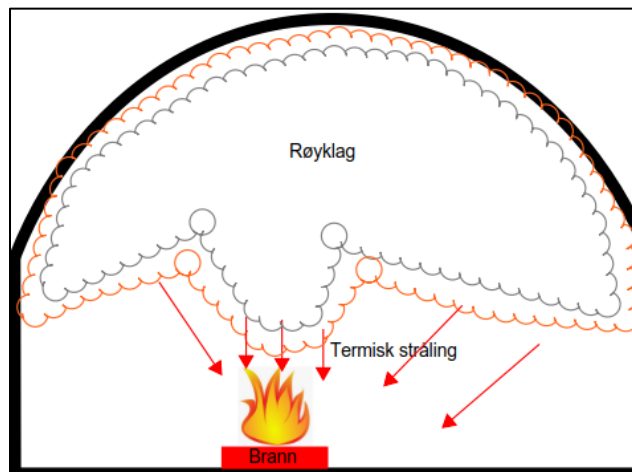
2 Teori

2.1 Brannforløp i tunnel

Brann i tunnel skiller seg fra brann i det fri på bakgrunn av flere momenter. Røyklaget som dannes under tunneltak gir økt tilbakestråling av varme til arnestedet som vist i Figur 7 og Figur 8. Dette medfører økt varmeproduksjon i brannen.



Figur 7 - Skisse av termisk stråling ved brann i langsgående tunnel

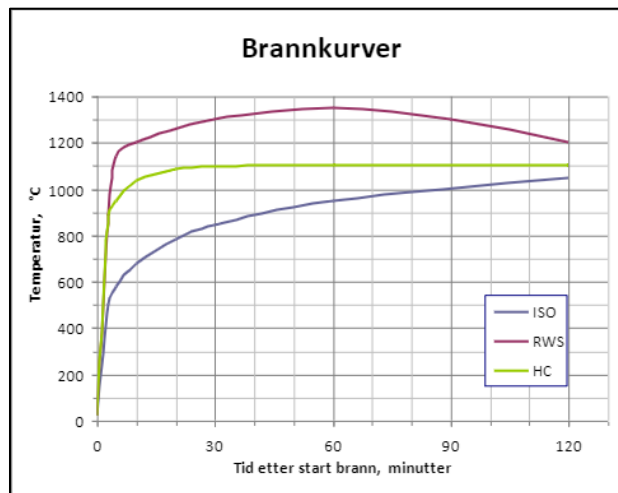


Figur 8 - Tverrsnittskisse av termisk stråling ved brann i tunnel

Som skissene i Figur 7 og Figur 8 understreker, vil røyklaget samles opp under tak i tunnel ved brann. Videre vil stråling mot arnesteder medføre at temperaturer og branneffekten blir svært høy. Høyere i tunnel enn sammenlignet med brann ute i det fri. Tunneler har annerledes geometri og innhold av brennbare materialer sammenlignet med normale byggverk. Dette gjenspeiles i lover og standarder tilknyttet tunneler eller byggverk. For eksempel ved analyse av brann i byggverk kan man ofte legge til grunn brannscenarier med branneffekt 5-10 MW ifølge byggforskblad 520.387 [19]. I tunneler legger man til grunn branneffekt 50-100 MW i Norge ifølge håndbok N500 [3]. Bakgrunnen for den høye branneffekten som legges til grunn i enkelte tunneler er tidligere erfaringer med at trailere kan ha last med svært høy brannenergi. Tilgang på store mengder brennbart materiale i tillegg til rik tilgang på oksygen i form av vind og trekk i tunnel, samt eksponering for varmestråling fra røyklag til brann på bakgrunn av tunnelutforming kan resultere i høy brannenergi og langvarig brann.

I bygningsbranner legges ISO 834-kurven [20] til grunn for temperaturpåkjenning for passiv brannbeskyttelse, i tunneler legges enten RWS- (Rijkswaterstaat) [33] eller HC-kurve (Hydrocarbon) [33]

til grunn for passiv brannbeskyttelse. ISO 834 er en standard brannkurve for brann i byggverk som hus o.l. og er basert på forbrenningshastigheten til materialene som finnes i generelle byggematerialer. HC-kurven representerer forbrenningshastigheten og temperatur ved brann i bensin, kjemikalier og petroleumsbranner. RWS-kurven er fremstilt av Rijkswaterstaat transportdepartementet i Nederland og er basert på brann i olje-, drivstoff eller bensintank. En vesentlig forskjell på RWS- og ISO 834 kurven er materialet/væsken som brenner. Brann i drivstoff gir høyere branntemperaturer sammenlignet med brann i trematerialer og lignende. En vesentlig forskjell mellom RWS- og HC-kurven er at HC-kurven fremstiller brann i et relativt åpent rom med brannspredning, mens RWS baseres på brann i et relativt lukket rom (tunnel) hvor varmen i liten grad forsvinner til den omgivende atmosfæren [33]. De tre kurvene fremstilles i Graf 1.



Graf 1 - Temperaturkurver for ISO 834, HC og RWS [22] [33]

Som beskrevet over forventes temperaturforholdene og temperaturøkningen ved brann i tunnel er høyere sammenlignet med brann i byggverk. Forskjellene er store, mye på bakgrunn av forskjellig geometri. Byggverks innhold av høye/små, åpne/lukkede rom vil tilgang på brensel, oksygen og brennbart materiale være avgjørende for branneffekt og temperatur i brannrom. I tunnelers geometri er det tilrettelagt med god tilgang på oksygen og en bilbrann (5-10 MW), bussbrann (13-36 MW) eller lastebilbrann (50-200 MW) gir rikelig tilgang på brennbart materiale [34]. I tillegg blir det på bakgrunn av takhøyden og utformingen til tak/himling mye varmestråling fra røyklag mot arnested.

Som beskrevet ovenfor skaper brann i tunnel høyere temperatur enn ved normale bygningsbranner ref. Graf 1. Den forventet høyere temperaturen ved tunnelbrann enn ved normale bygningsbranner kan forklares ved likning for massefluks ved forbrenning er diffusjonsflamme. Massefluks for diffusjonsflamme angis i boken «An introduction to fire dynamics» [35] og i ligning 2.1.

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L''}{L_v} \left[\frac{g}{m^2 s} \right] \quad 2.1$$

$$\dot{Q}_F'' = \text{Energi fluks fra flammene til brenseloverflaten} \left[\frac{kW}{m^2} \right]$$

$$\dot{Q}_E'' = \text{Energi fluks fra ekstern kilde til brenseloverflaten} \left[\frac{kW}{m^2} \right]$$

$\dot{Q}_L'' = \text{Energiflukt fra overflaten til omgivelse } \left[\frac{kW}{m^2} \right]$

$L_v = \text{Fordampningsvarme } \left[\frac{kJ}{g} \right]$

\dot{Q}_E'' angir energien som føres tilbake til brannen fra røyklaget ved tunnelbrann. Ved en brann ute i det fri vil denne faktoren være neglisjerbar, altså tilnærmet lik null. I tunnelbrann vil faktoren føre til økt masseflukt. Dette medfører at elementer som normalt brenner med lav intensitet i det fri vil kunne avgi mer energiproduksjon ved brann inne i tunnel [36].

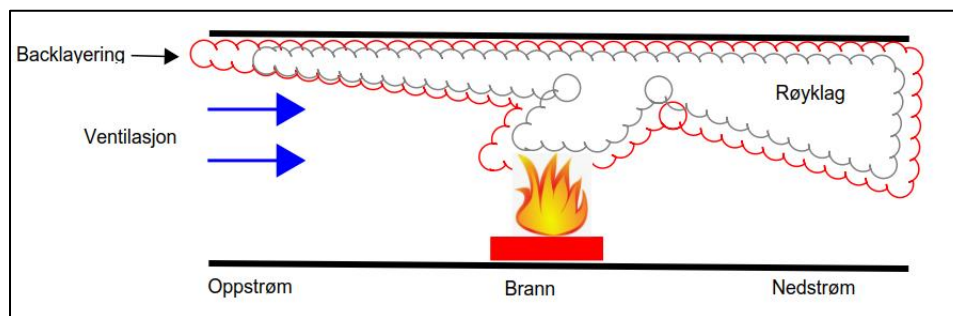
En brannutvikling i tunnel samhandler med ventilasjonsluftstrømmen som dannes og generer kompliserte luftstrømningsmønstre og turbulens i nærheten av brannen [22]. Utviklet varme i og rundt brannen oppvarmer omgivelsesluft, og på grunn av tunnelveggers helning vil det opprettes oppdriftskrefter langs tunneltak som kan styre bevegelsene til luftstrømmene inne i tunnelen. Dette kan medføre store endringer i strømningsmønsteret for hele tunnelsystemet. Dersom den langsgående strømningshastigheten til brannventilasjonen ikke er høy nok, vil det opprettes en omvendt strøm av varme gasser ved tak. Dette fenomenet er bedre kjent som backlayering som blir nærmere forklart i kapittel 2.2.

2.2 Kritisk ventilasjonshastighet

Den langsgående lufthastigheten inne i tunnelen må være høyere enn en kritisk verdi for å unngå backlayering. Normalt er denne verdien ca. 3-3,5 m/s for tunneler ifølge «Tunnel Fire Dynamics» [22] og Håndbok N500 [3]. Hovedutfordringen med mekanisk ventilasjon i tunneler er at ikke bare tunnelgeometrien, størrelsen og at beliggenheten av brannen styrer strømmen av varme gasser i tunnelen. Men vind og atmosfæriske forhold utenfor tunnelportalene kan ha stor innflytelse på ventilasjonssystemet, og brannforløpet. Ved å tilføye brannen mer oksygen vil brannutviklingen fortsettes og økes. Vind og/eller ventilasjon vil medføre at brannen raskere kan spre seg og dermed påvirke brannen til å få en raskere brannutvikling. Brannutviklingen påvirker videre tiden fra brannstart til maks branneffekt. Nærmere informasjon og valg av branneffekt, brannutvikling og tid til maks branneffekt fremkommer i kapittel 3.2.3. I tillegg til å påvirke brannutvikling og brannspredning, vil ventilasjon i tunneler påvirke rømningsforholdene for personer som evakuerer ved brann i tunnel. Det er en pågående diskusjon i fagmiljøet vedrørende tunnelsikkerhet og rømning om man skal starte ventilasjonen i tunnelen ved branneteksjon, eller om man skal avvente for å bedre rømningsforholdene for personer som evakuerer oppstrøms for brannen [23].

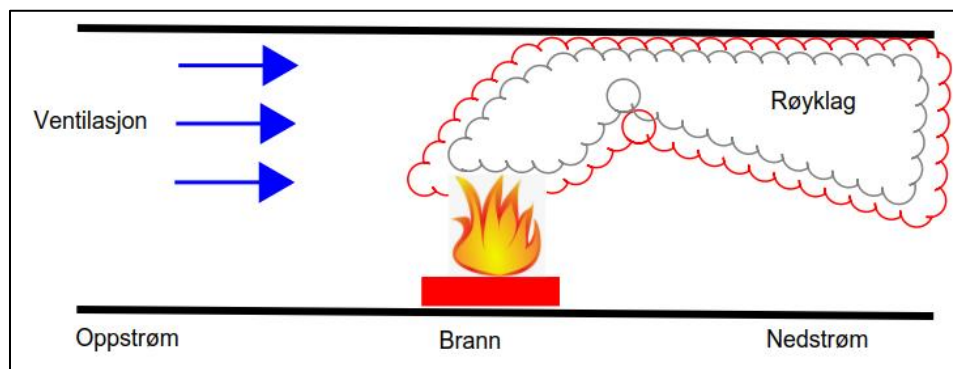
Ifølge trafikksikkerhetshåndboken kostet det i gjennomsnitt 150 000 – 200 000 kr per meter tunnel i Norge i 2016 [24]. Til sammenligning koster én brannvifte med den høyeste effekten tilgjengelig på markedet i dag ca. 200 000 kr, ref. mail fra System Air som er leverandør av brannvifter, se Vedlegg G. I tunneler kan det i snitt være én brannvifte per 100-400 m tunnel. Dermed anses branntiltak for sikkerhet i tunnel å koste relativt lite i sammenlignet med den totale meterprisen på 200 000 kr for å bygge en tunnel. Det er viktig å dimensjonere branntiltakene i tunnel slik at sikkerhetsnivået er tilfredsstillende for personer, brannvesen, miljø og verdier. En større tunnelbrann har ofte store økonomiske konsekvenser. Spesielt i ettertid av brannen dersom tunnelen blir stengt over tid med tanke på at tunneler er bindelegg i Norge for både mennesker og økonomi.

Som tidligere beskrevet ved naturlig/termisk røykventilasjon vil røyk fra brann i tunnel følge røyksøylen opp til tak og bevege seg langs takflate i tunnellopp. Dette skjer som følge av oppdriftskrefter i varm røyk og tetthetsforskjeller til luft. Dersom vi ønsker å føre røyken i én bestemt retning i langsgående tunnellopp må vi tilføre mekanisk ventilasjon. Dette er gjennomførbart dersom vi oppnår mekanisk ventilasjonsstrøm som er større enn kreftene til røykstrømmen, og eventuell vindstrøm. Dermed er kritisk ventilasjonshastighet den hastigheten som må oppnås for å tvinge røyken i én bestemt retning. Dersom ventilasjonshastigheten er mindre enn røykhastigheten vil fenomenet backlayering (tilbakestrømning av røyk) forekomme. Backlayering er røykstrømning som forekommer i motsatt retning av ventilasjonsretningen, som skissert i Figur 9. Dersom brannviftene ikke klarer å hindre backlayering vil det påvirke brannvesenets innsatsvei oppstrøms for brannen, og brannvesenets mulighet til å angripe og slokke brannen. Som beskrevet i kapittel 1.1 må brannvesenet ha mulighet til å ta seg 11-14 m fra brannen i tunnel for å gjennomføre effektiv slokking [13].



Figur 9 - Backlayering oppstrøms for brannen

Om ventilasjonshastigheten er større enn kritisk hastighet vil røyken bevege seg i ønsket retning, som vist i Figur 10.



Figur 10 - Tilstrekkelig ventilasjonshastighet for å unngå backlayering

Det er flere tilgjengelige metoder for å beregne kritisk hastighet. Videre skal det presenteres et utsnitt av teoretiske ligninger som er tilgjengelige for å beregne kritisk hastighet. Oppgaven skal i det videre undersøke hvordan man kan bruke brannsimuleringer i FDS for å dimensjonere tilstrekkelig ventilasjonshastighet.

Kritisk hastighet basert på NFPA

På Pyrosims hjemmesider er det tilgjengelig Excelskjema for å beregne kritisk hastighet i tunnel i henhold til NFPA 502 - 2020 [37] med følgende formler vist i ligning 2.2. Utklipp av excelskjema, rapporten og link til nettsiden fremkommer i Vedlegg A.

$$\frac{u}{\sqrt{gH}} = \begin{cases} 0,81 \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} \right)^{1/3} \left(\frac{H}{W} \right)^{1/12} e^{(-\frac{L_b}{18,5H})}, & \frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} \leq 0,15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4} \\ 0,43 e^{(-\frac{L_b}{18,5H})}, & \frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} > 0,15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4} \end{cases} \quad 2.2$$

u	=	Kritisk hastighet
g	=	Gravitasjonshastighet
H	=	Tunnelhøyde
\dot{Q}	=	Branneffekt
ρ_a	=	Densitet
C_p	=	Varmekapasitet
T_a	=	Omgivelsestemperatur
W	=	Tunnelbredde
L_b	=	Backalyering lengde

Beregningen må gjennomføres i to ledd ettersom kritisk hastighet baseres på om ligning 2.3 gir verdi enten mer eller mindre og lik $0,15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4}$.

$$\frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} \quad 2.3$$

Dersom ligningen gir verdi **mer enn** $0,15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4}$, brukes ligning 2.4 videre for å beregne kritisk hastighet.

$$0,43 e^{(-\frac{L_b}{18,5H})} \quad 2.4$$

Dersom ligningen gir verdi **lik eller mindre enn** $0,15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4}$, brukes ligning 2.4 videre for å beregne kritisk hastighet.

$$0,81 \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{5/2}} \right)^{1/3} \left(\frac{H}{W} \right)^{1/12} e^{(-\frac{L_b}{18,5H})} \quad 2.5$$

Excelark fra Thunderhead Engineering med ligning 2.3, 2.4 og/eller 2.5 viser kritisk hastighet for brannscenario i tunnel med bilbrann, bussbrann og lastebilbrann:

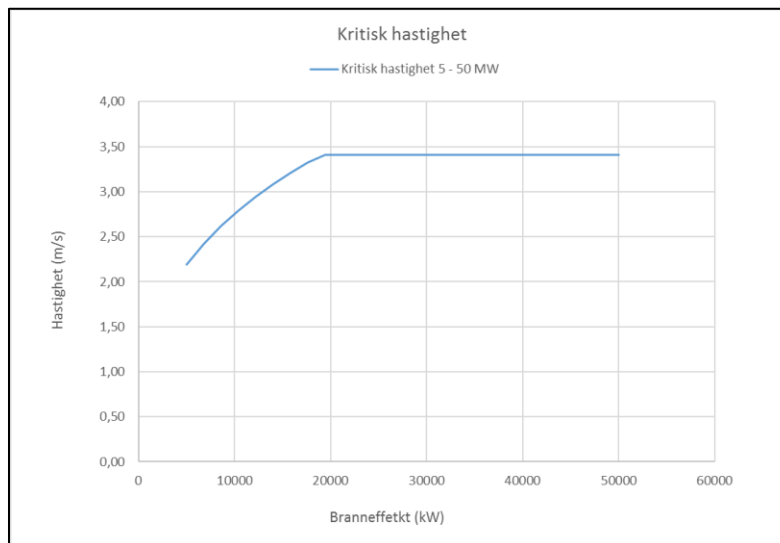
- Kritisk hastighet beregnet for bilbrann – branneffekt 8 MW: 2,56 m/s
- Kritisk hastighet beregnet for bussbrann – branneffekt 30 MW: 3,40 m/s
- Kritisk hastighet beregnet for lastebilbrann – branneffekt 50 MW: 3,40 m/s

Inputverdier baserer på brann- og tunnelstørrelse som gjennomføres i oppgaven, og er følgende:

ρ_a	=	1,2 kg/m ³ [38]	Densitet
C_p	=	1 kJ/kgK [38]	Varmekapasitet
g	=	9,81 m/s ²	Gravitasjonshastighet
H	=	9,6 m	Høyde
L_b	=	0 m	Backalyering lengde
T_a	=	293,15 K	Omgivelsestemperatur
\dot{Q}	=	Bil: 8 MW, Buss 30 MW, lastebil: 50 MW	Branneffekt
W	=	6,4 m	Tunnelbredde

Utrekningene for bilbrann, bussbrann og lastebilbrann fremkommer i Vedlegg A.

Ifølge resultatene oppnås en konstant øvre verdi av kritisk hastighet avhengig av branneffekten. Ved å gjennomføre flere beregninger oppnås konstant øvre verdi (steady state) ved ca. 19 MW brann, vist i Graf 2.



Graf 2 - Kritisk hastighet i intervall 5-50 MW, basert på NFPA 502 – 2020 [37]

Det fremkommer av Graf 2 at ved 5 MW brann er kritisk hastighet ca. 2,2 m/s. Videre blir kritisk hastighet konstant ved ca. 19 MW. Resultatet samsvarer til dels med Statens Vegvesen håndbok N500 [5] som angir krav til minimum lufthastighet 3 m/s ved dimensjonerende branneffekt 50 MW.

Kritisk hastighet basert på Critical Froude model

Kritisk ventilasjonshastighet basert på «Critical Froude model» er presentert i «Tunnel Fire Dynamics» [25] kapittel 13.3.1.1. William Froude utarbeidet et uttrykk for forholdet mellom treghetskrefter og gravitasjonskrefter som virker samtidig i en strøm. Ved brannsammenheng i tunnel kan dette relateres som at lavt Froude nummer rundt 1 tilsvarer liten brann i tunnel [25]. Større Froude nummer rundt 4,5 tilsvarer en stor brann i tunnel ifølge «Tunnel Fire Dynamics» [25].

Utgangspunktet er at Thomas P.H. foreslo at hastighet til frisk luft er sammenlignbart eller større enn oppdriftskrefter for røykstrømning for å forhindre tilbakestrømning av røyk. Dermed ble kritisk Froude-nummer (Fr_c) definert i henhold til ligning 2.6 [25].

$$Fr_c = \frac{\Delta\rho gH}{\rho_0 u_c^2} \quad 2.6$$

Videre antydte Thomas P.H. at tilbakestrømning forsvinner når kritisk Froude-nummer nærmer seg 1 [25]. Dermed ble ligning 2.7 utarbeidet for å forutsi kritisk hastighet (u_c).

$$u_c = \left(\frac{g\dot{Q}H}{\rho_0 C_p T_f A} \right)^{1/3} \quad 2.7$$

Danziger og Kennedy hevdet basert på eksperimenter gjennomført av Lee, ref. Tunnel Fire Dynamics [25] at kritisk Froude nummer er i område 4,5-6,7, hvor verdien 4,5 ble anbefalt. Bakgrunnen for anbefalt verdi 4,5 er at verdien korresponderer til en stor brann, som en bil-, buss- eller lastebilbrann i tunnel. Dermed er ikke froude nummer 4,5 anbefalt å bruke for alle typer branner, men det er en tilnærming for store tunnelbranner [25]. Videre anbefaling var å bruke den konvektive branneffekten (HRR) istede for den totale branneffekten. Basert på dette ble ligning for kritisk hastighet utviklet som vist i ligning 2.8.

$$u_c = \left(\frac{g\dot{Q}_c H}{\rho_0 C_p T_f A} \right)^{1/3} \quad 2.8$$

U_c	=	Kritisk hastighet	m/s
g	=	9,81 m/s ²	Gravitasjonshastighet
\dot{Q}_c	=	Bil: 5,6 MW, Buss: 21 MW, lastebil: 35MW	Konvektiv branneffekt 70% av branneffekt \dot{Q}
H	=	6,4 m	Høyde
ρ_0	=	1,2 kg/m ³ [38]	Densitet
C_p	=	1 kJ/kgK [38]	Varmekapasitet
T_f	=	515 K [25]	Gjennomsnittlig nedstrømstemperatur
A	=	53,61 m ²	Tversnitsareal
Fr_c	=	4,5 [25]	Kritisk Froude-nummer

Hvor gjennomsnittlig nedstrømstemperatur (T_f) er:

$$T_f = \frac{\dot{Q}_c}{\rho_0 C_p A u_c} + T_0 \quad 2.9$$

\dot{Q}_c	=	Bil: 5,6 MW, Buss: 21 MW, lastebil: 35 MW	Konvektiv branneffekt
ρ_0	=	1,2 kg/m ³ [38]	Densitet
C_p	=	1 kJ/kgK [38]	Varmekapasitet
A	=	53,61 m ²	Tversnitsareal
U_c	=	Kritisk hastighet	m/s

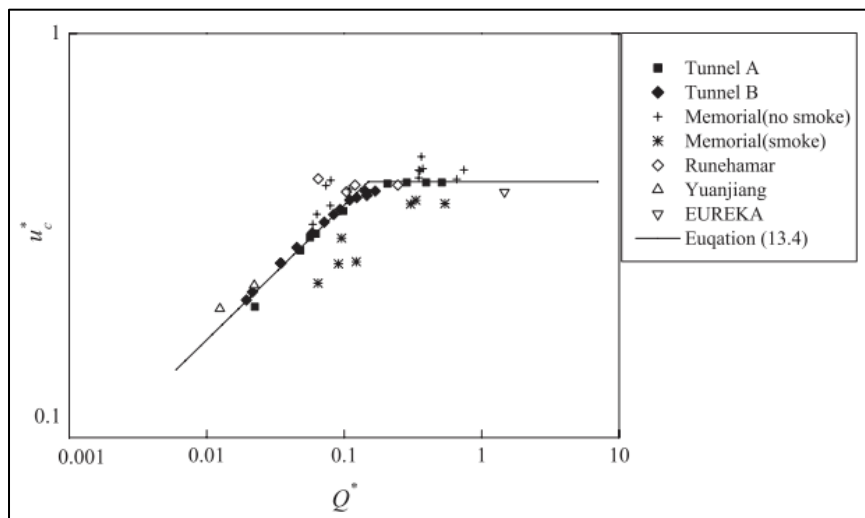
For å beregne den kritiske hastigheten er det nødvendig å gjennomføre en iterasjonsprosedyre ved å estimere kritisk hastighet. Når den estimerte kritiske hastigheten er tilsvarende som beregnet er svaret korrekt. Den kritiske hastigheten basert på ligning 2.9 er beregnet i Excel slik det fremkommer i Vedlegg C. For brannscenarie med branneffekt 8 MW (bilbrann), 30 MW (bussbrann) og 50 MW (lastebilbrann) i henhold til brannscenariene i brannsimuleringene gjennomført senere i rapporten:

- Kritisk hastighet beregnet for bilbrann – branneffekt 8 MW: 1,51 m/s
- Kritisk hastighet beregnet for bussbrann – branneffekt 30 MW: 2,17 m/s
- Kritisk hastighet beregnet for lastebilbrann – branneffekt 50 MW: 2,54 m/s

Verdiene fremstår lavere enn det som fremkommer av krav i Håndbok N500 [5]. Tunnel Fire Dynamics angir også at svarene ved bruk av «Danziger og Kennedy's ligninger» ikke er tilstrekkelig til å estimere kritisk hastighet i virkelighetens tunneler. Beregningene er likevel medtatt som et eksempel på beregning av kritisk hastighet ved bruk av formel.

Kritisk hastighet basert på ikke-dimensjonal metode

Ifølge «Tunnel Fire Dynamics» kapittel 13.3.1.2 [25] gjennomførte Ying Zhen Li, Bo Lei og Haukur Ingason i 2010 eksperimenter og teoretiske analyser for å forske på kritisk hastighet og tilbakestrømming av røyk. De fant ut at når den dimensjonsløse branneffekten (Q^*) oppnår verdi over 0,15, blir den dimensjonsløse kritiske hastigheten (U_c^*) tilnærmet konstant, vist i Graf 3.



Graf 3 - Dimensjonsløs kritisk hastighet U_c^* versus dimensjonsløs branneffekt Q^* [25]

En sammensatt funksjon ble utarbeidet på bakgrunn av forsøkene «Tunnel A» og «Tunnel B» for å korrelere de eksperimentelle data [25]. Funksjonen som har et skille ved $Q^* = 0,15$ ble etter forskning fastsatt til ligning 2.10

$$u_c^* = \begin{cases} 0,81Q^{*1/3}, & Q^* \leq 0,15 \\ 0,43, & Q^* > 0,15 \end{cases} \quad 2.10$$

Hvor den dimensjonsløse branneffekten Q^* og den dimensjonsløse kritiske hastigheten U_c^* er definert etter formel 2.11.

$$Q^* = \frac{Q}{\rho_0 c_p T_0 g^{1/2} H^{5/2}}, u_c^* = \frac{u_c}{\sqrt{gH}} \quad 2.11$$

Q	=	Bil: 8 MW, Buss: 30 MW, lastebil: 50MW Branneffekt	MW
ρ_0	=	1,2 kg/m ³ [38]	Densitet
C_p	=	1 kJ/kgK [38]	Varmekapasitet
T_0	=	293 K	Omgivelsestemperatur
g	=	9,81 m/s ²	Gravitasjonshastighet
H	=	6,4 m	Høyde
U_c	=	kritisk hastighet	m/s

Basert på Ying Zhen Li, Bo Lei og Haukur Ingason sin metode [25] og ligning 2.11 blir kritisk hastighet i brannscenario med branneffekt 8 MW, 30 MW og 50 MW:

- Kritisk hastighet beregnet for bilbrann – branneffekt 8 MW: 2,60 m/s
- Kritisk hastighet beregnet for bussbrann – branneffekt 30 MW: 3,40 m/s
- Kritisk hastighet beregnet for lastebilbrann – branneffekt 50 MW: 3,40 m/s

Beregningen er gjennomført i Excel og er presentert i Vedlegg B. Som beregningene viser, vil kritisk hastighet bli konstant når tunnelhøyde er lik, og Q^* er større enn 0,15. Dette er i tråd med kritisk hastighet i Håndbok N500 [5]. På bakgrunn av blant annet Håndbok 500 fremstår denne formelen for å beregne kritisk hastighet mer korrekt enn «Critical Froude model» i forrige delkapittel.

Kritisk hastighet basert på parametrisk modell

Den kritiske hastigheten i rapport [39] er basert på en laboratoriemodell for å unngå tilbakestrømming av røyk i rektangulær kanal. Ligning 2.12 er hentet fra rapporten [39] foreslår en dimensjonsløs formel for kritisk hastighet og branneffekt.

$$U_c^* = \frac{U_c}{\sqrt{g * h}} \quad 2.12$$

g	=	9,81 m/s ²	Gravitasjonshastighet
H	=	6,4 m	Høyde
U_c	=	kritisk hastighet [m/s]	

Videre i kilden [39] angis det en grenseverdi for den kritiske hastigheten, vises i ligning 2.13. For store verdier av branneffekt, blir kritisk hastighet uavhengig av branneffekten slik at den dimensjonsløse kritiske hastigheten blir:

$$U_c^* = 0,42 \quad 2.13$$

Ved å sammenstille ligning 2.12 med ligning 2.13, får vi følgende formel for å beregne kritisk hastighet [39]:

$$\text{Kritisk hastighet} = U_c = 0,42 * \sqrt{g * h} \quad 2.14$$

Tunnelhøyden er 6,4 m basert på modell for brannsimuleringer i oppgaven og T9,5 tunnellopp [5].

Gravitasjon er 9,81 m/s².

$$\text{Kritisk hastighet} = 3,33 \text{ m/s} \quad 2.15$$

Beregningen av kritisk hastighet ved ligning 2.12 inneholder tilnærminger basert på blant annet ideell gass og eksperimenter med rektangulær kanal. Dermed er det ikke direkte overførbart til tunnellopp, men det gir et teoretisk estimat på kritisk ventilasjonshastighet.

Oppsummering av teoretisk beregnet kritisk hastighet

Tabell 2 - Oppsummering av teoretisk beregnet kritisk hastighet

Brannscenarie	Kritisk hastighet [m/s] basert på NFPA 502	Kritisk hastighet [m/s] basert på Critical Froude model	Kritisk hastighet [m/s] basert på ikke- dimensjonal metode	Kritisk hastighet [m/s] basert på parametrisk modell
Bilbrann – 8 MW	2,56	1,51	2,60	3,33
Bussbrann – 30 MW	3,40	2,17	3,40	
Lastebilbrann – 50 MW	3,40	2,54	3,40	

Basert på teoretiske beregninger av kritisk hastighet gjennomført oppsummert i Tabell 2 er det NFPA 502 og ikke-dimensjonal metode som gir mest konservative resultater og dermed høyest sikkerhetsmargin. Kritisk hastighet basert på critical froude model gir lavest hastighet og dermed metoden med minst konservative resultater. Parametrisk modell metode gir samme resultat uavhengig av brannstørrelse på bakgrunn av at metoden kun bruker tunnelens høyde og gravitasjonskraft som parametre fordi den dimensjonsløse kritiske hastigheten blir konstant når branneffekten er høy. På bakgrunn av at parametrisk modell kun legger til grunn tunnelhøyde og gravitasjonskraft, og at metodens resultater fraviker øvrige metoders resultater i størst grad, vurderes denne metoden å gi kritisk hastighet med størst usikkerhet knyttet til resultatet.

Øvrige metoder presentert i oppgaven bruker branneffekten som parameter i tillegg til gravitasjonskraft og tunnelens høyde og/eller tunnelens tverrsnittsareal. Critical Froude model underestimerer kritisk hastighet sammenlignet med NFPA 502 og ikke-dimensjonal metode. Bakgrunnen er at Critical Froude model bruker den konvektive branneffekten som er kun 70% av branneffekten som legges til grunn for beregningene i NFPA 502 og ikke-dimensjonal metode.

NFPA 502 og ikke-dimensjonal metode er metodene som gir mest konservative resultater og dermed størst sikkerhetsmargin for å unngå backlayering. I tillegg samsvarer resultatene fra de to metodene med unntak av bilbrann hvor kritisk hastighet skiller 0,04 m/s som tilsvarer kun 1,5% differanse. Begge metodene legger til grunn branneffekt, tunnelhøyde, gravitasjonshastighet, densitet, varmekapasitet, omgivelsestemperatur for å beregne kritisk hastighet. Alle disse parametrene er viktige faktorer for å kunne beregne en sannsynlig strømning i en geometri utformet som tunnel eller tilsvarende, og hvordan den påvirkes av en brann. Det vil si brannens effekt og temperaturpåkjenning. På bakgrunn av dette vurderes metode NFPA 502 og ikke-dimensjonal metode som mest konservative, og i tillegg metodene som gir nærmest tilnærming, og dermed mest fortlørlige resultater.

2.3 Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD er et numerisk simuleringsverktøy for væskedynamikk knyttet til å beregne gass og væsketransport. Programvaren bruker styrende Navier Stokes ligninger for å analysere, forutse og løse verdier som hastigheter, konsentrasjoner, temperaturer og strømnings. Navier stokes ligningene blir også omtalt som bevegelsesligninger og består av differensialligninger som beregner strømnings av væsker. Område som skal simuleres/beregnes kan deles inn i flere nett (mesh) som består av celler (gridceller). Navier stokes ligningene løses i hver enkelt celle og resultater videreføres til omkringliggende celler og mesh. Slik danner CFD et simuleringsresultat som kan vises i 3D. Basert på simulering kan utforming eller inputverdier endres slik at løsningen kan optimaliseres.

CFD brukes for mange fagområder i dag. Programmet brukes i sykkelporten for å optimalisere utstyr og personers sittestilling med tanke på luftmotstand. Det brukes for å simulere værprognoser i fremtiden, og hvordan vind fungerer ved og rundt bygningskropper og på fly. Trykkbelastning for tog inne i, på vei inn og ut av tunneler. Listen over hva man kan bruke CFD til er lang. I denne oppgaven skal teknikker fra CFD brukes for å gjennomføres brannsimuleringer i tunnel. Å bruke CFD til brannsimuleringer er et alternativ til fullskala forsøk som er ofte kostbare. CFD er derfor et godt alternativ til å simulere branner. Bakdelen med CFD at det krever god datakraft som medfører at et simulert brannscenario tar ofte lengre tid å beregne/simulere enn lengden av brannscenario.

Fremgangsmetoden for å utføre CFD simuleringer er som følger:

1. Pre-prosess
Fastsett geometri og inndata. Velg fysiske inndata, kjemisk inndata, og eventuelle ytre påvirkninger. Egenskaper til strømnings og begrensninger må spesifiseres.
2. Solver
Simuleringsprosessen utføres i henhold til egenskaper gitt i pre-prosess.
3. Post prosess
Fremkalle og analysere resultater, se etter optimalisering.

2.3.1 Grunnleggende ligninger for CFD

CFD representerer de grunnleggende lovene for væskestrømninger gjennom flere bevaringsligninger for masse, momentum og energi.

Konserveringsligningen for masse [40] uttrykkes i ligning 2.16.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{u} = 0 \quad 2.16$$

$\partial \rho$	=	Endring i densitet	[kg/m ³]
∂t	=	Endring i tid	[s]
∇	=	Nabla/divergens	
ρ	=	Densitet	[kg/m ³]
\mathbf{u}	=	Hastighetsvektor	[m/s]

Masse innenfor et volum er ikke skapt eller nedbrutt ifølge ligning 2.16. Ligningen viser at endring av tetthet ved et gitt tidspunkt er lik massestrømmen innenfor grensene til punktet. I CFD tilsvarende dette inne i et volum. For brannsimuleringer er det nødvendig å redegjøre for bevaring av masse i form av forskjellige gassarter som brannprodukter og luft. Konserveringsligning for masse blir ofte skrevet som et sett av transportligninger for massefraksjonen til forskjellige gassarter, Y_α . Vist i ligning 2.17.

$$\frac{\partial(\rho Y_\alpha)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho Y_\alpha \mathbf{u}) = \nabla \cdot (\rho D_\alpha \nabla Y_\alpha) + \dot{m}_\alpha''' \quad 2.17$$

ρ	=	Densitet	[kg/m ³]
Y_α	=	Massefraksjon av arter α	[g/g]
∂t	=	Endring i tid	[s]
∇	=	Nabla/divergens	
\mathbf{u}	=	Hastighetsvektor	[m/s]
D_α	=	Materiell diffusivitet av arter α	[m ² /s]
\dot{m}_α'''	=	Masseproduksjon (ødeleggelse) av arter α per volumsenhet	[Kg/(s x m ³)]

Ved å summere de spesifikke ligningene vises at masse diffusjons- og produksjonsbetingelser er lik null, som angitt av den opprinnelige massekonserveringsligningen i ligning 2.16 [40].

Konserveringsligning for momentum er vist i ligning 2.18.

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad 2.18$$

ρ	=	Densitet	[kg/m ³]
\mathbf{u}	=	Hastighetsvektor	[m/s]
∂t	=	Endring i tid	[s]
∇	=	Nabla/divergens	
∇p	=	Trykk gradient	[Pa]
\mathbf{f}	=	Ytre kroppskrefter	[N]
$\boldsymbol{\tau}$	=	Viskøs spenningstensor	[N/m ²]

Ligning 2.18 referer til Newtons andre bevegelseslov [40] som sier at hastighet til et objekt endres når det utsettes for en ekstern kraft. Momentum er masse ganger hastighet, og kraft er masse ganger akselerasjon. Kraftene som styrer bevegelse av væskestrømmer består av trykkgradient ∇p , friksjon i form av den viskøse spenningstensen $\boldsymbol{\tau}$, og andre ytre krefter \mathbf{f} som oppdrift [40] (som for eksempel røykoppdrift).

Konserveringsligning for energi er vist i ligning 2.19.

$$\frac{\partial(\rho h)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho h \mathbf{u}) = \frac{Dp}{Dt} + \dot{Q}''' - \nabla \cdot \mathbf{Q} + \varepsilon \quad 2.19$$

ρ	=	Densitet	[kg/m ³]
h	=	Entalpi	[J]
∂t	=	Endring i tid	[s]
∇	=	Nabla/divergens	
\mathbf{u}	=	Hastighetsvektor	[m/s]
p	=	Trykk	[Pa]
\mathbf{Q}	=	Energi	[kJ]
\dot{Q}'''	=	Varmeavgivelseshastighet per volumsenhet	[kW/m ³]
ε	=	Spredningshastighet av turbulent kinetisk energi	[W/g]

Ligning 2.19 viser tilsvarende som i massekonserveringsligningen at den følsomme entalpien ved et gitt punkt eller innenfor et volum er lik netto energiflukt. I brannsammenheng er den netto energifluksen relatert til trykk, forbrenning, branneffekt, stråling, konduksjon og kinetisk energi dissipasjon, som vist på høyre side av ligning 2.19 [40].

Ligning 2.16-2.19 utgjør et sett med partielle differensialligninger for tetthet, hastighet, trykk og følsom entalpi av væsken. Ligning 2.18 for momentum er egentlig tre ligninger for de tre hastighetskomponentene u , v og w , og lager fem ligninger for seks ukjente. For å lukke systemet er det behov for tilstandsligning for å relatere trykk p , og følsom entalpi h .

Den følsomme entalpien er en funksjon av væskens spesifikke varme og temperatur er gitt ved ligning 2.20.

$$h = \int_{T_0}^T c_p dT \quad 2.20$$

h	=	Entalpi	[J]
c_p	=	Spesifikk varme ved konstant trykk	[J/(g × K)]
T	=	Temperatur	[K]
T_0	=	Starttemperatur	[K]

Ved brann er det tilstrekkelig å anta en perfekt gass [40], vist i ligning 2.21.

$$p = \frac{\rho \mathcal{R} T}{\bar{W}}; \quad \bar{W} = \frac{1}{\sum \frac{Y_\alpha}{W_\alpha}} \quad 2.21$$

p	=	Trykk	[Pa]
ρ	=	Densitet	[kg/m ³]
\mathcal{R}	=	Universal gasskonstant	[J/(K × mol)]
T	=	Temperatur	[K]
\bar{W}	=	Gjennomsnittlig molekylvekt	[g/mol]
Y_α	=	Massefraksjon av arter α	[g/g]
W_α	=	Molekylvekt for arter α	[g/g]

I ligning 2.21 er $\sum \frac{Y_\alpha}{W_\alpha}$ er den gjennomsnittlige molekylvekten til gassblandingen. De angitte styringsligningene danner grunnlaget for enhver CFD-kode, men ikke uten ytterligere forenkling av antagelser som er unike for hvert felt [40].

2.3.2 Turbulens modellering

Behandling av turbulens er en av de mest avgjørende aspektene ved beregninger i CFD. Turbulens er en av de mest beregningskrevende oppgavene å simulere, derfor er det behov for ytterligere forenklinger og antakelser. Transport av masse, momentum og energi skjer gjennom konveksjon og diffusjon. Konveksjon og diffusjon spiller en viktig rolle i CFD beregninger. Konvektiv modus for transport av varme og forbrenningsprodukter er den dominerende delen i stor skala brannscenarier [40].

Diffusiv prosess (viskositet og varmeledningsevne) er den dominerende delen i flammene og nær grensene til faste overflater. Det er simuleringsmessig krevende å beregne volum (cellestørrelse) og tidsmessige forskjeller mellom konvektive og diffusive prosess riktig sammen. Det er utviklet flere teknikker for å tilnærme seg den diffusive delen for å modellere turbulens i storskala branner. De vanligste modellene er Direct Numerical Simulation (DNS), Reynolds-Averaged Navier-Stokes (RANS), Large Eddy Simulation (LES) og Very Large Eddy Simulation [40]. Disse er kort beskrevet under, og valg av modell for simuleringer gjennomført i oppgaven fremkommer senere i kapittel 3.2.7.

DNS – Direct Numerical Simulation:

DNS er en direkte løsning av tids-avhengige Navier-Stokes ligninger for fullt turbulente strømmer og turbulens. Det tas ingen forenklinger for den diffusive prosessen, og ingen antagelser om turbulens. Dette krever derfor ekstremt fine geometriske grid (mindre enn 1 mm) og veldig små tidstrinn i simuleringene. På bakgrunn av at DNS har behov for svært fine beregningsvolum (cellestørrelse) og små tidstrinn, er DNS ikke egnet for storskala brannsimuleringer [40].

RANS – Random Average Navier Stokes:

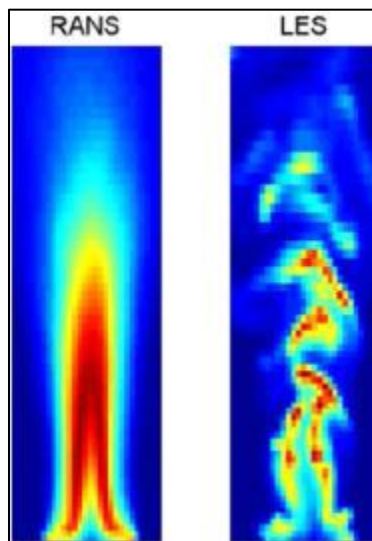
RANS er tidsgjennomsnittlige bevegelsesligninger for væskestrøm. Ideen bak likningene er Reynolds dekomponering, hvor en øyeblikkelig mengde blir dekomponert til dens tidsgjennomsnitt og svingende

mengder, en idé som først ble foreslått av Osborne Reynolds. RANS-ligningene brukes først og fremst for å beskrive turbulente strømmer. Disse ligningene kan brukes med tilnærminger basert på kunnskap om egenskapene til strømnings-turbulens for å gi omtrentlige tidsgjennomsnittlige løsninger på Navier–Stokesligningene [40].

LES – Large Eddy Simulation:

Hovedideen bak LES er å redusere beregningskostnadene ved å ignorere de minste lengdeskalaene, som er de mest beregningskrevende å løse, via lavpassfiltrering av Navier–Stokesligningene. En slik lavpassfiltrering fjerner effektivt småskalainformasjon fra den numeriske løsningen. Denne informasjonen er imidlertid ikke uten betydning, og dens virkning på strømningsfeltet må modelleres [1].

Den billedlige forskjellen mellom RANS og LES simulering fremkommer av Figur 11.



Figur 11 - Fremvist forskjell mellom RANS og LES simulering i FDS

VLES – Very Large Eddy Simulation:

FDS har i dag forhåndsinnstilt at simuleringer kjøres i VLES. Metoden som tilhører storskala simuleringskategori representerer et godt kompromiss mellom effektivitet og presisjon gjennom tester. Dermed brukes VLES til industrielle problemer der LES blir beregningsdyktige for høye til veldig høye Reynoldsnummer. Følsomhet for forskjellige beregningsparametere som rutenett, filterbredde, domenestørrelse og innstrømningsforhold er ifølge FDS user guide testet. Denne modelleringsstrategien er dokumentert å forutse strømninger som er variabler i flere dimensjoner, samtidig som det sparer beregningskostnader sammenlignet med LES [41].

2.4 Fire Dynamics Simulation og Pyrosim

CFD (Computational Fluid Dynamics) simuleringene er bygget opp i FDS (Fire Dynamics Simulator, versjon 6.6.0) med PyroSim 2019.3.1204 som modelleringsprogram. FDS er utviklet av National Institute of Standards and Technology (NIST) i samarbeid med VTT Technical Research Center fra Finland og er et anerkjent verktøy for simulering av brannforløp i kompleks geometri. FDS er et numerisk verktøy til beregning av tredimensjonale strømnings, varmetransport, gass- og røykspredning basert på Navier-Stokes ligninger. FDS er tilgjengelig som en gratis programvare som en CFD-kode for å utføre brannsimuleringer. Brann-drevne strømmer er vesentlig langsommere enn lydens hastighet, og derfor løser FDS konserveringsligningene for lave mach-tall med lavere hastighet (Mach-tall mindre enn 0,3) med vekt på røyk og varmetransport fra branner [41].

FDS egner seg bra til byggverk med geometriske forskjeller og flere rom, større høyder, og 3D geometri sammenlignet med 2 sone modeller. For en detaljert beskrivelse av programvaren, henvises det til FDS User Guide og PyroSim User Manual 2019. Begrensninger med simuleringene er at det kan ta veldig lang tid, og at det krever mye datakraft. Programmet er avansert og krever betydelig kunnskap og innsikt for inndata som benyttes. Det kreves en mer avansert brukerkunnskap om programmet, i forhold til håndberegninger og to-sone modeller.

PyroSim er utarbeidet av Thunderhead Engineering og er et modelleringsprogram for FDS. Det bygges en tredimensjonal modell av området/objektet som det er ønskelig å simulere i FDS. Denne modellen kan deles inn i et gitt antall nett (mesh) som brukes som oppdelingen i simuleringen. Ett nett består av kvadratiske gridceller der alle styrende ligninger for temperaturer, lufthastigheter og konsentrasjon av røyk løses numerisk. Når løsningene fra de enkelte cellene settes sammen får man et fullstendig tredimensjonalt bilde av resultatene, også i videoforformat. Sitat fra nettside [42]:

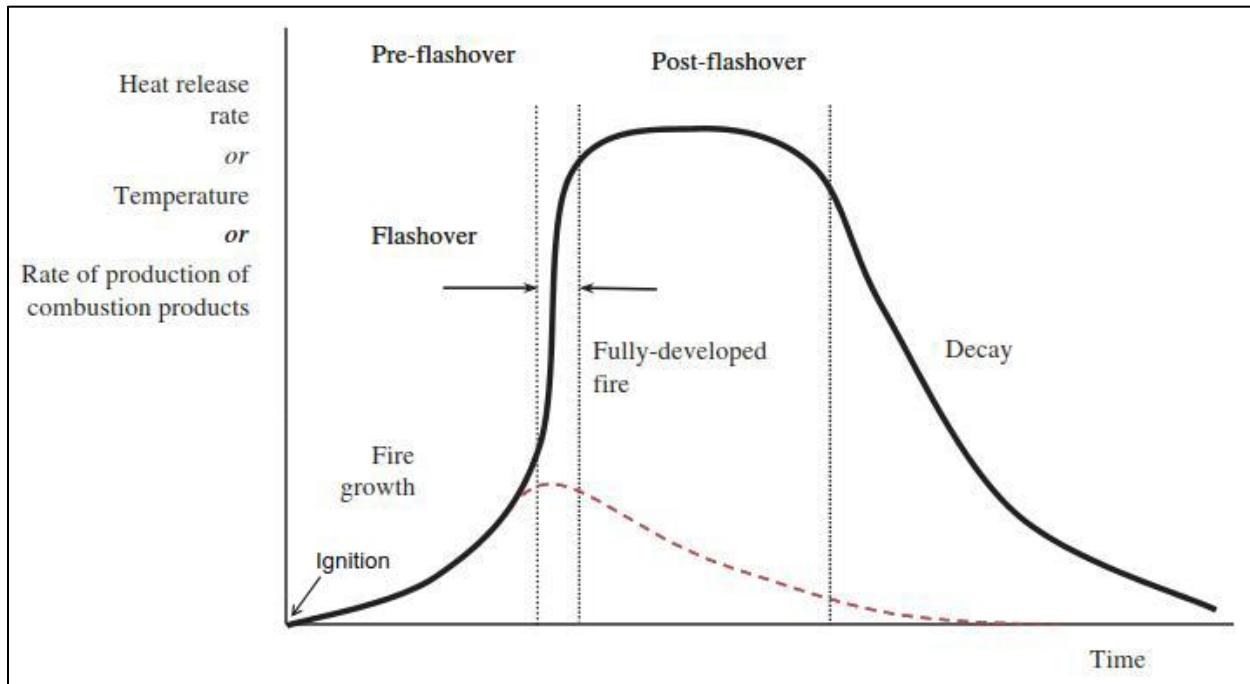
“Fire Dynamics Simulator (FDS) is a computational fluid dynamics (CFD) model of fire-driven fluid flow. The software solves numerically a form of the Navier-Stokes equations appropriate for low-speed, thermally-driven flow, with an emphasis on smoke and heat transport from fires.”

Pyrosim har utviklet egen resultatfremviser til å visualisere resultater av brann- og røykspredning. Modellene i Pyrosim og FDS blir delt inn i kubiske gridceller som beregner temperatur, sot, stråling, hastigheter, oksygeninnhold m.m. Dette begrenser programvaren til at modellert geometri må ta høyde for at resultatene blir kubiske. En tunnel med halvsirkelutforming i snitt vil for eksempel få en trappevis oppdeling i kuber i henhold til gridstørrelsen. Overflater i FDS modeller er ansett som relativt glatte, man kan ikke modellere en ruhet på overflater. Videre vil ikke sot e.l. feste seg til overflater i simulert modell. Valg av meshinndeling, gridstørrelse, overflater, geometri og brann blir nærmere forklart i kapittel 3.2.

2.4.1 Valg av brannforløp

Et brannforløp kan beskrives med følgende faser [35]:

- Antennelse
- Vekstfase
- Overtenning
- Fullt utviklet brann
- Avkjølingsfase



Graf 4 - Karakteristisk brannkurve for innelukket brann i rom eller tunnel [25]

Den karakteristiske brennvekstkurven som er vist i Graf 4 uttrykkes normalt ved følgende likning som stiger proporsjonalt med kvadratet av tiden:

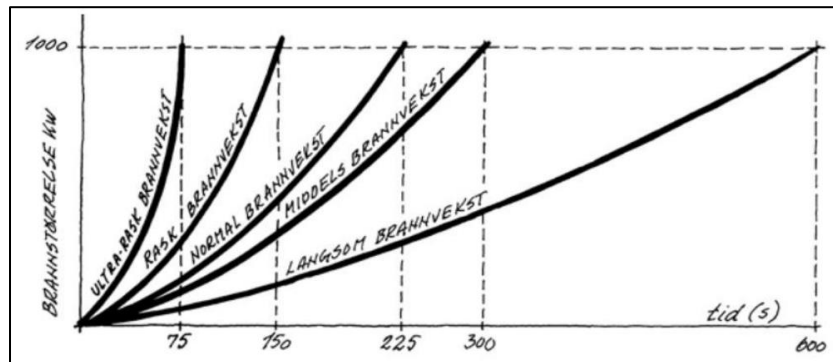
$$Q = \alpha t^2 \quad 2.22$$

Q	=	Branneffekt	[kW]
α	=	Brannutviklingshastighet	[kW/s ²]
t	=	tid	[s]

Hvor brannutviklingshastigheten (α) er avhengig av hvor rask brannveksten er før overtenning. Flammebranner deles inn i fire kategorier [43] ut ifra rommets/tunnelens innhold av brennbare materialer:

- Langsom
- Medium
- Rask
- Ultra-rask

Langsom brannvekst er definert som en brann som tar ca. 600 sekund fra antenning til varmeeffekten oppnår 1000 kW [43], for medium rask brannvekst er tiden 300 s, for en rask 150 s, og en Ultra-rask 75 s. De forskjellige brannveksthastighetene vises i Graf 5.



Graf 5 - Branneffekt-tidsforløp for langsom, medium, rask og ultrarask brannutvikling [43]

I FDS bruker man teorien beskrevet ovenfor til å vurdere og velge verdier for brannutviklingshastighet og branneffekt i brannforløpet som skal simuleres.

2.5 Brann og stigningsgrad i veitunneler

Stigningsgrad i veitunnel er en viktig faktor fordi den er ofte avgjørende for tunnelens lengde. Tunneler med høy stigningsgrad gir hyppigere branntilfeller på grunn av varmgang i bremsen på tunge kjøretøy. Høy stigningsgrad gir dessuten økt drivstofforbruk og mer forurensing, også medfører det vanskeligere evakuering av barn, eldre og personer med funksjonsnedsettelse. «Fordelen» er at tunnelen oftere blir kortere. Fordel settes i hermetegn da en kortere tunnel gir i utgangspunktet mindre risiko for brann og ulykke, men ved høyere stigningsgrad øker risiko for brann betraktelig basert på hendelser og erfaringer. Som det fremkommer av statistikken i kapittel 1.3, står brann i tunneler med høy stigningsgrad for omlag 41% av branntilløpene i norske veitunneler i perioden 2008-2015. Til sammenligning utgjør tunneler med høy stigningsgrad kun 4% av Norges veitunneler. En interessant tanke er å etablere dokumentasjon for økt risiko for brann og ulykker i tunnel dersom man øker stigningsgraden 1% kontra om man øker tunnellengden med for eksempel 1 km.

Ifølge Tunnelsikkerhetsforskriften [10] er stigningsgraden i veitunneler begrenset til 5%. Ved bygging av undersjøiske veitunneler har det tidligere blitt benyttet en tilleggsbestemmelse som sier at en kan øke stigningsgraden der det er geografisk umulig å bruke lavere stigningsgrad. Det har resultert i undersjøiske tunneler med stigningsgrad på inntil 10%. I dag er det generelle kravet 5% på riksveitunneler, men det kan fortsatt gjøres unntak for fylkesveitunneler [12].

3 Metode

Det gjennomføres brannsimuleringer i Pyrosim/FDS, og et forsøk i form av deltakelse på brannøvelse i tunnel.

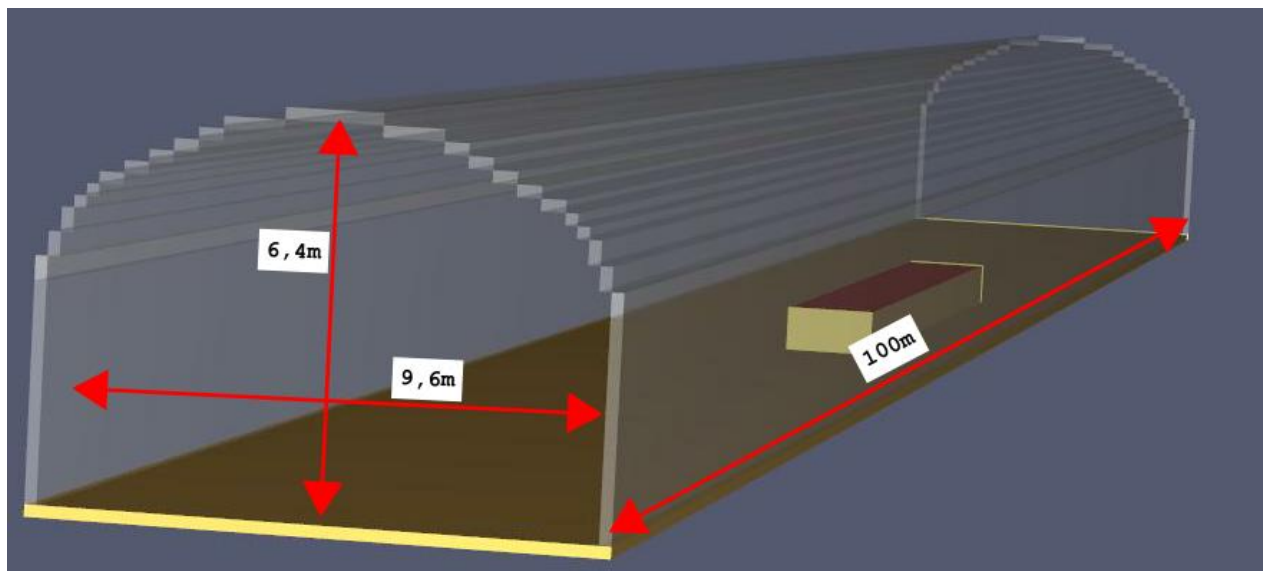
3.1 Simuleringer

I oppgaven skal brannsimuleringer i FDS dokumentere hvordan røykspredningen blir ved brann i tunnel. Påvirkning fra brannvifter skal i tillegg medtas i brannsimulering for å dokumentere hvilken effekt på brannvifte som er tilstrekkelig for å unngå kritisk backlayering med tanke på brannvesenets innsats. I de neste kapitlene fremkommer valg av geometri og inputverdier for simuleringene.

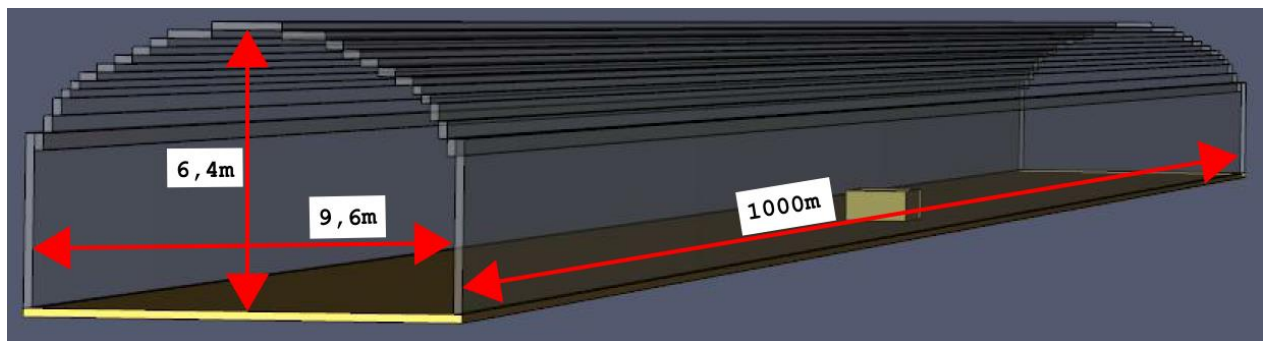
3.2 Inndata til brannsimuleringer

3.2.1 Brannscenario

Brannscenarioet er brann midt i 100 m og 1000 m lang tunnel med tunnelprofil T9,5 iht Håndbok N500 [5], vises i Figur 12 og Figur 13.



Figur 12 - 100 m tunnel modellert i Pyrosim

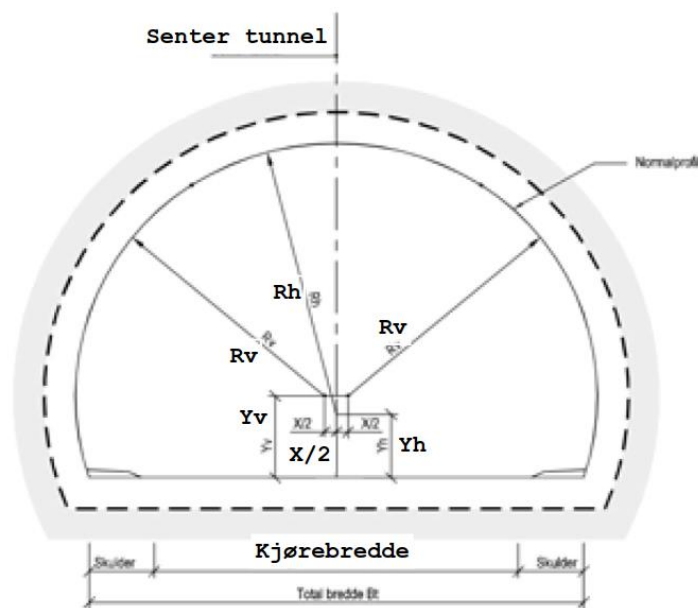


Figur 13 - 1000 m tunnel modellert i Pyrosim

Tunnelenes høyde er 6,4 m, bredden er 9,6 m og lengde på tunnel er 100 m og 1000 m slik det fremkommer av Figur 12 og Figur 13. Bredden på tunnel er utvidet med 10 cm i forhold til T9,5 profil i Håndbok N500 [5] på bakgrunn av gridstørrelse i FDS. Resultater i modell i forhold til en faktisk tunnel anses å være neglisjerbar på bakgrunn av dette. Det er valgt tunnelprofil T9,5 i simuleringene på bakgrunn av at brannøvelsen med Statens Vegvesen skulle i utgangspunktet gjennomføres i tunnel med tunnelprofil T9,5. I tillegg er tunnelprofil T9,5 en utbredt mulig tunnelprofil som kan benyttes i flere dimensjoneringsklasser i Håndbok N500 [5]. Egenskaper til tunnelprofil T9,5 iht Håndbok N500 oppsummeres i Tabell 3 og Figur 14.

Tabell 3 - Tunnelprofil T9,5 iht Håndbok N500 [5]

Profil	Total bredde	Kjørebanebredde	Senterhøyde	Veggradius	Senteravstand veggradier	Senterhøyde hengeradius	Hengradius
	Bt	Bk	Yv	Rv	X	Yh	Rh
T9,5	9,5 m	7 m	1,570 m	4,790 m	0,450 m	1,213 m	5,212 m



Figur 14 - Tunnelprofil med angivelse iht Tabell 3 [5]

Brannen er plassert midt i tunnelens lengde, altså 50 m/500 m inn i tunnel, i senter av høyre kjørefeltet ref. Figur 14 og Figur 12/Figur 13. Det skal gjennomføres brannsimulering av brann i bil, buss og lastebil. Det skal også etableres røykvifte i tunnel for å se på effekten av røykventilasjon ved brann, som vist ved skisse i Figur 15.



Figur 15 - Brann/røykvifte i tunnel, modellert i Pyrosim

Røykviften(-e) vil føre røyken mot en av tunnelportalen som er plassert nedstrøms for brannen, samtidig skal røykviften(-e) sikre at motsatt tunnelportal er røykfri. Strategien skal gi brannvesenet gode innsatsmuligheter i tunnel, samt gode rømningsforhold oppstrøms i tunnelen.

Følgende brannscenarier i tunnelene skal simuleres:

Brannscenarier i 100 m lang tunnel:

100A: Bilbrann i tunnel

200A: Bussbrann i tunnel

300A: Lastebilbrann i tunnel

100B: Bilbrann i tunnel med røykventilasjon

200B: Bussbrann i tunnel med røykventilasjon

300B: Lastebilbrann i tunnel med røykventilasjon

Brannscenarier i 1000 m lang tunnel:

1000A: Bilbrann i tunnel

2000A: Bussbrann i tunnel

3000A: Lastebilbrann i tunnel

1000B: Bilbrann i tunnel med røykventilasjon

2000B: Bussbrann i tunnel med røykventilasjon

3000B: Lastebilbrann i tunnel med røykventilasjon

Hvert brannscenario med røykventilasjon skal simuleres helt til tilstrekkelig ventilasjonskraft på røykviftene er dokumentert.

3.2.2 Brannventilasjon

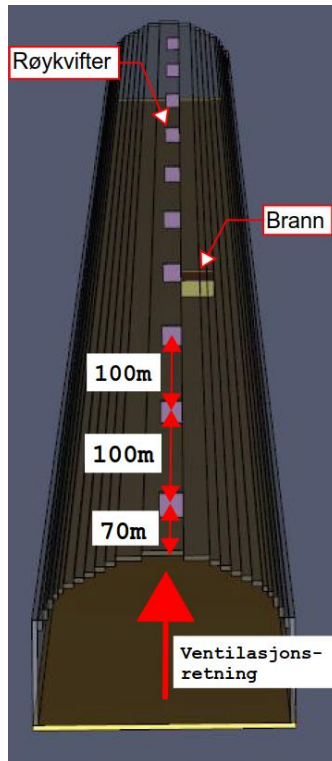
Ifølge Håndbok N500 [5] fra Statens Vegvesen skal avstanden mellom impulsventilatorene i tunnelens lengderetning være minst 60 m for å oppnå jevn og stabil luftstrøm mellom hver vifte eller viftegruppe. Ventilatorene bør monteres minst 30 m fra start av havarinisjer og andre utvidelser av tunnelprofilen. For å unngå redusert virkningsgrad når to eller flere ventilatorer monteres i samme profil, bør ikke senteravstanden mellom ventilatorene være mindre enn 2 x diameter på viftehjulet [5].

I modell med 100 m lang tunnel er brannventilasjonen plassert 20 m fra tunnelportal inne i tunnelen for å oppnå en avstand til senter av brann. Ved å plassere ventilasjonsvifte(-r) i direkte tilknytning til forkant av brann kan plassering være for gunstig i forhold til brannscenarier som kan oppstå i tunnel. På bakgrunn av at det bør være minst 60 m avstand mellom hver ventilasjonsvifte vurderes avstand 30 m fra vifte til brann å være et dekkende scenario for å dokumentere nødvendig brannventilasjon.



Figur 16 - Plassering av brannvifte i 100 m tunnel

I modell med 1000 m lang tunnel er første brannvifte plassert 70 m fra tunnelportal inne i tunnelen for å oppnå en tilsvarende avstand fra røykventilasjon til senter av brann som ved forrige scenario. Videre er det 100 m mellom alle røykventilasjonsvifter i tunnelen som skissert i Figur 17.



Figur 17 - Plassering av brannvifter i 1000 m tunnel

3.2.3 Brannstørrelse og effektutvikling

For å kunne vurdere effekten av en brann er det i oppgaven gjennomført flere forsøk med ulike branneffekter. Hvordan en brann i tunnel vil utvikle seg er avhengig av blant annet.:

- Type, mengde og fordeling av brennbart materiale.
- Størrelse og utforming av tunnel.
- Atmosfæriske forhold i og utenfor tunnel.
- Tekniske tiltak som f.eks. røykventilasjon.

Biler, busser og lastebiler utvikles hele tiden og utviklingen påvirker branneffekten ved brann i kjøretøy. Det er mange kilder på oppnådd branneffekt ved brann i biler, busser og lastebiler tilgjengelig. Brannsimuleringene gjennomført for denne oppgaven bruker følgende branneffekter modellert i Pyrosim:

- Bilbrann: 8 MW
- Bussbrann: 30 MW
- Lastebilbrann: 50 MW

Tildeling av branneffekt gjengis i Tunnel Fire Dynamics [25]. Valg av branneffekt 50 MW for lastebilbrann er også medtatt på bakgrunn av at flertallet av tunnelklassene i håndbok N500 [5] krever at brannventilasjonen skal kunne håndtere branner på 50 MW, for eksempel tunnelklasse A, B, C og E.

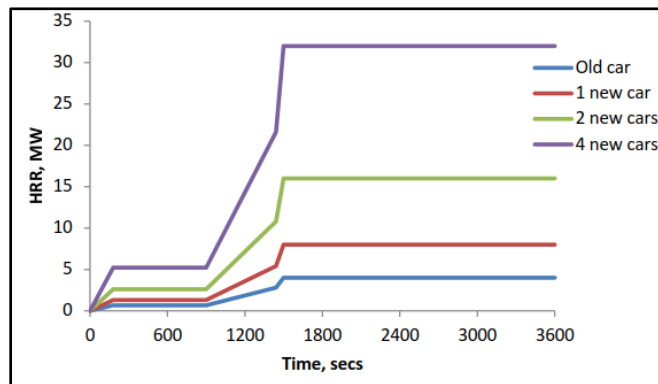
Det er vanskelig å forutse brannvekst ved brann i tunnel da det er mange kjøretøy med forskjellige egenskaper og laster. Brannscenariene i oppgaven er simulert med «rask brannvekst» i henhold til kapittel 2.4.1, basert på at resultatene skal være dekkende for flertallet av brannscenarier som kan

utvikle seg i tunnel. Dette samsvarer med tid til å nå maks brannvekst i kapittel 6.3.3 i «Tunnel Fire Dynamics» [25].

Oppsummert brannscenarier:

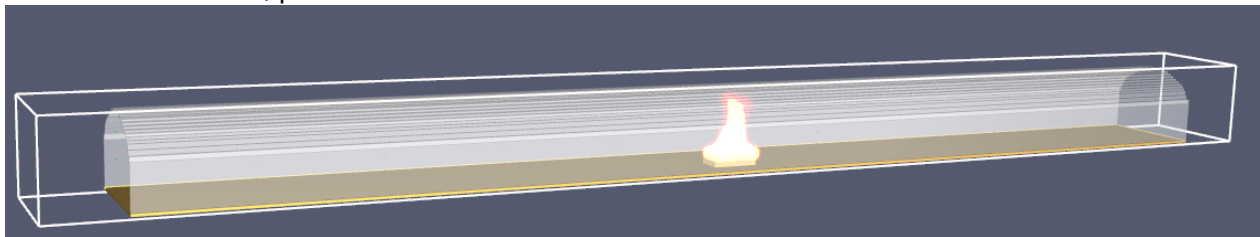
- Scenarie 100A og 1000A: Brann i bil i tunnel

Det er tatt utgangspunkt i branneffekt 8 MW på bakgrunn av branneffekt i nyere biler ifølge [44] og [25] som vist i Graf 6.



Graf 6 - Branneffektkurver iht [25] og [44]

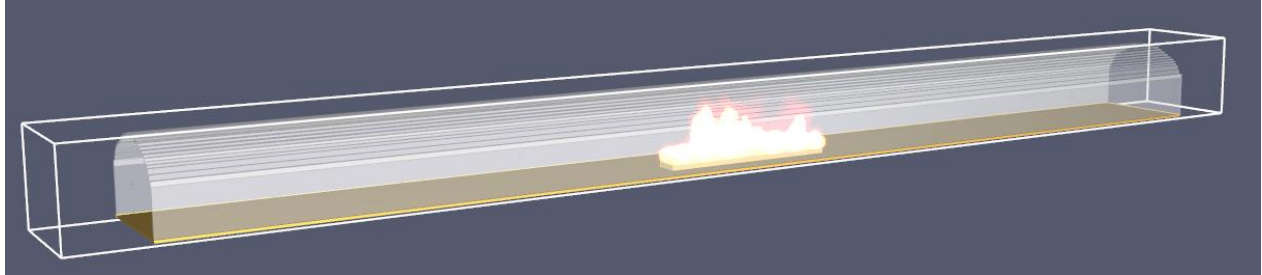
Basert på Graf 6 er det valgt brann i «1 ny bil». Grafer med flere biler gjelder når bilene er plassert i høyde over hverandre. Vekstfaktoren α er i scenariene satt til $0,047 \text{ kW/s}^2$, som tilsvarer «rask» brannvekst. Brannen har HRRPUA (Heat Release Rate Per Unit Area) = 1000 kW/m^2 fordelt på 8 m^2 . For en brann i FDS anbefales minste og største effektutvikling per. areal (HRRPUA) å ligge mellom 832 kW/m^2 og 4539 kW/m^2 [45]. HRRPUA er i tillegg vurdert i tråd med den dimensjonsløse branneffekten, se kapittel 3.2.7 for ytterligere informasjon. I Figur 18 fremkommer hvordan flammene utbreder seg i brannscenariet med bilbrann i 100m lang tunnel uten brannventilasjon ved full branneffekt (8 MW) etter 7 minutters brannforløp.



Figur 18 - Bilde av brannscenarie 100A - brann i bil

- Scenarie 200A og 2000A: Brann i buss i tunnel

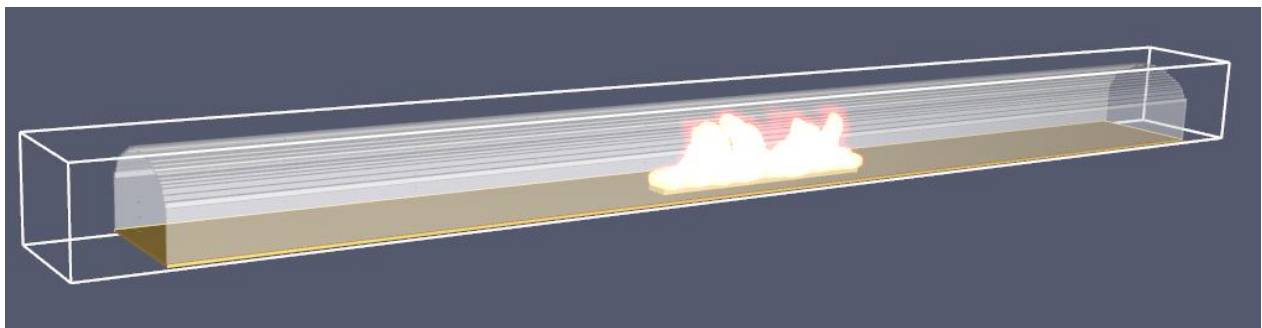
Det er tatt utgangspunkt i en 30 MW brann. Vekstfaktoren α er i scenariene satt til $0,047 \text{ kW/s}^2$, som tilsvarer «rask» brannvekst. Brannen har HRRPUA (heat release rate per unit area) = 1000 KW/m^2 fordelt på 30 m^2 . I Figur 19 ser vi hvordan flammene utbreder seg i brannscenariet ved bussbrann i 100m lang tunnel uten brannventilasjon ved full branneffekt (30 MW) etter 13 minutter og 20 sekunds brannforløp.



Figur 19 - Bilde av brannscenarie 200A - brann i buss

- Scenarie 300A og 3000A: Brann i lastebil i tunnel

Det er tatt utgangspunkt i en 50 MW brann. Vekstfaktoren α er i scenariene satt til $0,047 \text{ kW/s}^2$, som tilsvarer «rask» brannvekst. Brannen har HRRPUA (heat release rate per unit area) = 1250 KW/m^2 fordelt på 40 m^2 . I Figur 20 ser vi hvordan flammene utbreder seg i brannscenariet ved lastebilbrann i 100m lang tunnel uten brannventilasjon ved full branneffekt (50 MW) etter 17 minutter og 11 sekunds brannforløp.



Figur 20 - Bilde av brannscenarie 300A - brann i lastebil

- Scenarie 100B og 1000B: Brann i bil i tunnel med røykventilasjon

Scenarie 100B og 1000B tilsvarer Scenarie 100A og 1000A, men med røykvifte som skal hindre tilbakestrømming av røyk. I tunnel med lengde 100 m er brannvifte plassert 20 m fra tunnelportal, altså 30 m fra senter brann. Bakgrunnen for plassering av brannvifte er at den ikke skal plasseres mest mulig gunstig i forhold til brannplassering med tanke på å ventilere røyk i én bestemt retning. Dersom brannviften plasseres nær brannen anses løsning om å finne tilstrekkelig effekt på brannvifte til å ha lavere redundans enn dersom brannviften plasseres med en lengre avstand fra brannen. I tillegg plasseres brannviften i henhold til mesh, og gridinndeling i modellen.

I tunnel med lengde 1000 m er første brannvifte plassert 70 m fra tunnelportal, deretter er det 100 m mellom hver brannvifte. Plassering av brannvifte i tunnel er vurdert på samme grunnlag som beskrevet ovenfor for 100m lang tunnel. Dermed er det 30m fra brannvifte i forkant av brann til senter av brannplassering i brannscenarie for både 100m lang tunnel og 1000m lang tunnel som vurderes å gi et sammenlignbart grunnlag for å se nærmere på effekten av flere brannvifter i tunnel.

Brannviftene simuleres med forskjellige hastigheter for å finne den laveste effekten som hindrer tilbakestrømming av røyk tilstrekkelig for å sikre brannvesenets innsatsmuligheter. Første brannsimulering med brannvifter starter med en «best guess» tilnærming, altså at man velger en brannvifteeffekt og kjører brannsimuleringen. Underveis i brannsimulering ser man om effekten på brannvifte(-r) er tilstrekkelig for å hindre tilbakestrømming av røyk tilstrekkelig for slokkeinnsats. Dersom ventilasjonseffekten er for lav økes brannvifteeffekten i neste brannsimulering. Alternativt dersom ventilasjonseffekten viser seg å hindre tilbakestrømming av røyk så reduseres vifteeffekten for å dokumentere hvilken brannvifteeffekt som er tilstrekkelig. Denne tilnærmingen gir en optimal løsning med tanke på nødvendig effekt på brannvifte og kostnader ettersom krav om høyere effekt på brannvifte er kostnadsøkende.

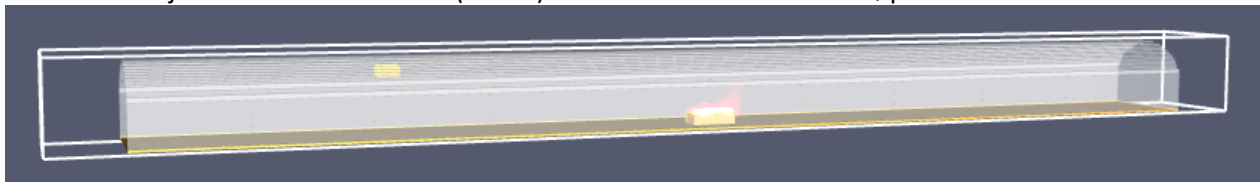
I brannscenarie 100B er følgende effekter på brannvifte simulert for å finne den optimale brannvifteeffekten for brannscenariet:

- 5 m³/s
- 15 m³/s
- 17,5 m³/s
- 20 m³/s
- 30 m³/s

I brannscenarie 1000B er følgende effekter på brannvifte simulert for å finne den optimale brannvifteeffekten for brannscenariet:

- 5 m³/s
- 7,5 m³/s
- 10 m³/s
- 15 m³/s
- 17,5 m³/s

Resultat av brannsimulering som viser tilstrekkelig effekt på brannvifte(-r) fremkommer i kapittel 4.1. I Figur 21 ser vi hvordan flammene utbreder seg i brannscenariet ved bilbrann i 100m lang tunnel med brannventilasjon ved full branneffekt (8 MW) etter 7 minutters brannforløp.



Figur 21 - Bilde av brannscenarie 100B - brann i bil med røykventilasjon

- Scenarie 200B og 2000B: Brann i buss i tunnel med røykventilasjon

Scenarie 200B og 2000B tilsvarer Scenarie 200A og 2000A, men med røykvifte som skal hindre tilbakestrømming av røyk. Plassering av brannvifter er som i forrige avsnitt (likt som scenarie 100B og 1000B).

I brannscenarie 200B er følgende effekter på brannvifte simulert for å finne den optimale brannvifteeffekten for brannscenariet:

- 17,5 m³/s
- 25 m³/s
- 27,5 m³/s
- 30 m³/s

I brannscenarie 2000B er følgende effekter på brannvifte simulert for å finne den optimale brannvifteeffekten for brannscenariet:

- 10 m³/s
- 15 m³/s
- 17,5 m³/s
- 20 m³/s

Resultat av brannsimulering som viser tilstrekkelig effekt på brannvifte(-r) fremkommer i kapittel 4.1. I Figur 22 ser vi hvordan flammene utbreder seg i brannscenariet ved bussbrann i 100m lang tunnel med brannventilasjon ved full branneffekt (30 MW) etter 13 minutter og 20 sekunds brannforløp.



Figur 22 - Bilde av brannscenarie 200B - brann i buss med røykventilasjon

- Scenarie 300B og 3000B: Brann i lastebil i tunnel med røykventilasjon

Scenarie 300B og 3000B tilsvarer Scenarie 300A og 3000A, men med røykvifte som skal hindre tilbakestrømming av røyk. Plassering av brannvifter er likt som scenarie 100B og 1000B.

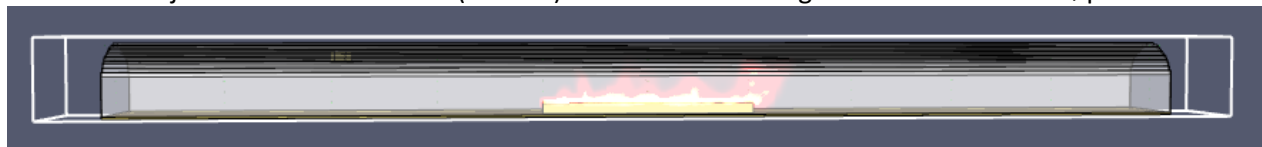
I brannscenarie 300B er følgende effekter på brannvifte simulert for å finne den optimale brannvifteeffekten for brannscenariet:

- 20 m³/s
- 27,5m³/s
- 30m³/s
- 35 m³/s
- 40 m³/s

I brannscenarie 3000B er følgende effekter på brannvifte simulert for å finne den optimale brannvifteeffekten for brannscenariet:

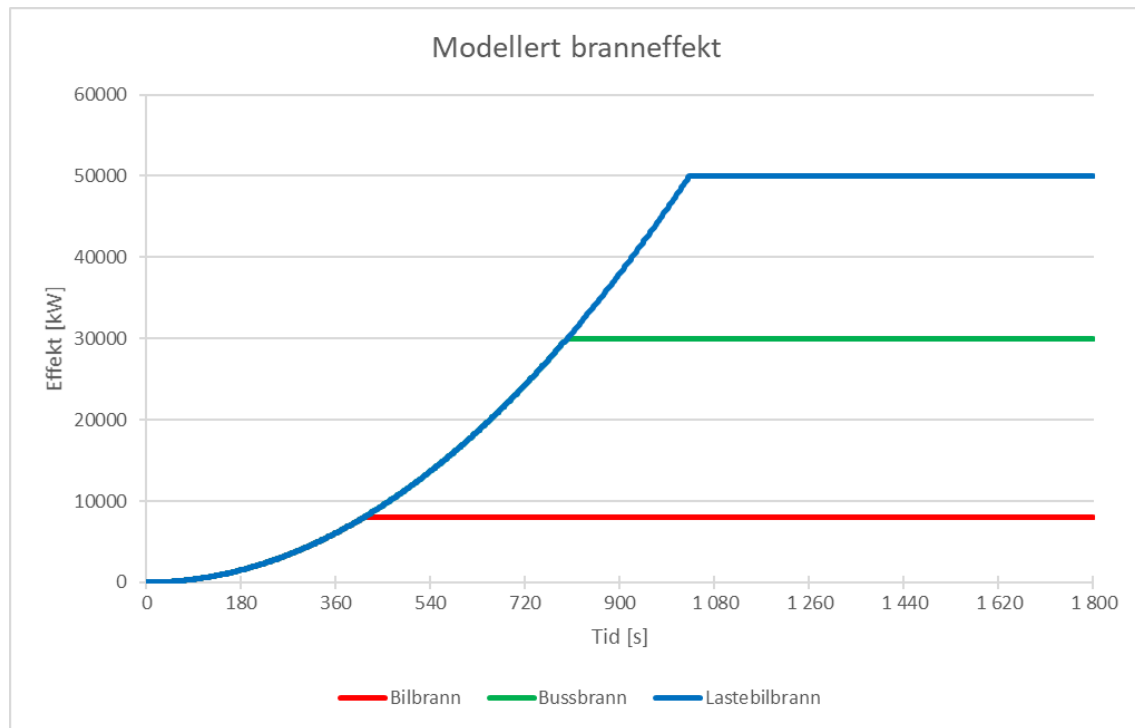
- 10 m³/s
- 15m³/s
- 20m³/s
- 25 m³/s

Resultat av brannsimulering som viser tilstrekkelig effekt på brannvifte(-r) fremkommer i kapittel 4.1. I Figur 23 ser vi hvordan flammene utbreder seg i brannscenariet ved lastebilbrann i 100m lang tunnel med brannventilasjon ved full branneffekt (50 MW) etter 17 minutter og 11 sekunds brannforløp.



Figur 23 - Bilde av brannscenarie 300B - brann i lastebil med røykventilasjon

De tre forskjellige brannene (bil, buss og lastebilbrann) skal ha forskjellige branneffektutvikling på bakgrunn av brannenergien de representerer. Som beskrevet tidligere i dette kapittel skal bilbrann oppnå en lavere branneffekt sammenlignet med buss og lastebil basert på at det er mindre brennbart materiale i en bil. Bussbrann skal oppnå høyere branneffekt på bakgrunn av høyere brannenergi, og lastebilbrann skal oppnå høyest simulert branneffekt basert på risiko for innhold av mest brennbart materiale. Alle brannscenarier modellert har «rask brannvekst», dermed vil brannutviklingshastigheten være lik for bilbrann, bussbrann og lastebilbrann frem til de oppnår maks branneffekt. Modellert effektutvikling i simuleringer for brann i bil, buss og lastebil oppsummeres i Graf 7.



Graf 7 - Modellert branneffekt i brannsimuleringene

Som det fremkommer av Graf 7 avsluttes brannsimuleringene etter 30 minutter. Brannscenarier i tunnel kan vare lengre enn 30 minutter, men oppgaven fokus er å dimensjonere tilstrekkelig brannventilasjon i tunnel. I tillegg forenkles brannsimuleringene ved å la branneffekten være konstant ut brannforløpet når brannen når maks branneffekt. Denne forenklingen er i tråd med byggforskblad 520.387 [46] og er en konservativ tilnærming basert på at branner ofte avtar etter at maks branneffekt er oppnådd som vist i Graf 4 i kapittel 2.4.1 om brannforløp. Forenklingene anses dermed å ivareta troverdige og tilstrekkelige brannscenarier for å dimensjonere brannventilasjon i tunnel.

3.2.4 Valg av brensel og forbrenningsmodell

Den kjemiske reaksjonen som styrer brannen defineres av forholdet mellom nitrogen-, oksygen-, hydrogen- og karbonatomer i brenselet. Forbrenningsvarmen påvirker massetapsraten til brenselet som styrer mengden sot som produseres av brannen.

BBRAD3 [47] angir verdier for forbrenningsvarme ut ifra bruk. Sotproduksjon og andre forbrenningsprodukter som CO og CO₂ bestemmes ut ifra forhåndsbestemte brannscenarier. Sammensetningen av brenselet som er benyttet valgt på bakgrunn av hvilke materialer som kan forventes å befinne seg i kjøretøy. Brenselet som er benyttet i analysen består av 100% polyuretan. Dette anses som en fornuftig og konservativ tilnærming til hva som kan forventes av tilgjengelig brennbart materiale i en bil, buss eller lastebil. For eksempel viser tester fra svensk forskningsinstitutt (SP rapport [48]) at bildekk kan ha sotfraksjon 0,8-0,16 g/g.

Verdien for den kjemiske sammensetningen er delvis hentet fra CFD Best Practice og BBAD3, hvor forbrenningsvarmen, sot-, CO- og CO₂- produksjonen er angitt i BBAD3, mens den kjemiske sammensetningen til brenselet er hentet fra CFD Best Practice [45]. CFD Best Practice er en publikasjon fra firmaer som Rambøll, COWI, Veritas, DBI og brannvesenet i Københavnområdet har samarbeidet om for å koordinere og vurdere input til simuleringmodeller.

Inputverdier for brensel i simuleringer gjennomført fremkommer av Tabell 4.

Tabell 4 - Brensel og forbrenningstabell

Parameter	Verdi	Kilde	
Materiale	100 % polyuretan	CFD Best Practice [45]	
Kjemisk sammensetning	C		6,3
	H		7,1
	O		2,1
	N	1,0	
Sotproduksjon	0,1 g/g	BBRAD3 [47]	
CO produksjon	0,1 g/g		
Forbrenningsvarme	20 MJ/kg		

3.2.5 Valg av materialer

Tunnelen er modellert med betongkonstruksjoner, som er normal materialbruk på tunnelvegger i Norge. De termiske egenskapene til betong modellen er basert på boken Enclosure Fire Dynamics [38] og fremkommer i Tabell 5.

Tabell 5 - Branntekniske egenskaper for betong

Parameter	Verdi	Kilde
Densitet	2100 kg/m ³	Enclosure Fire Dynamics [38]
Varmekapasitet	0,88 KJ/(kgK)	
Konduktivitet:	1,1 W/(mK)	
Emissivitet	0,9	
Absorpsjonskoeffisient	50 000 1/m *	Absorpsjonskoeffisient er default verdi i pyrosim for betong.

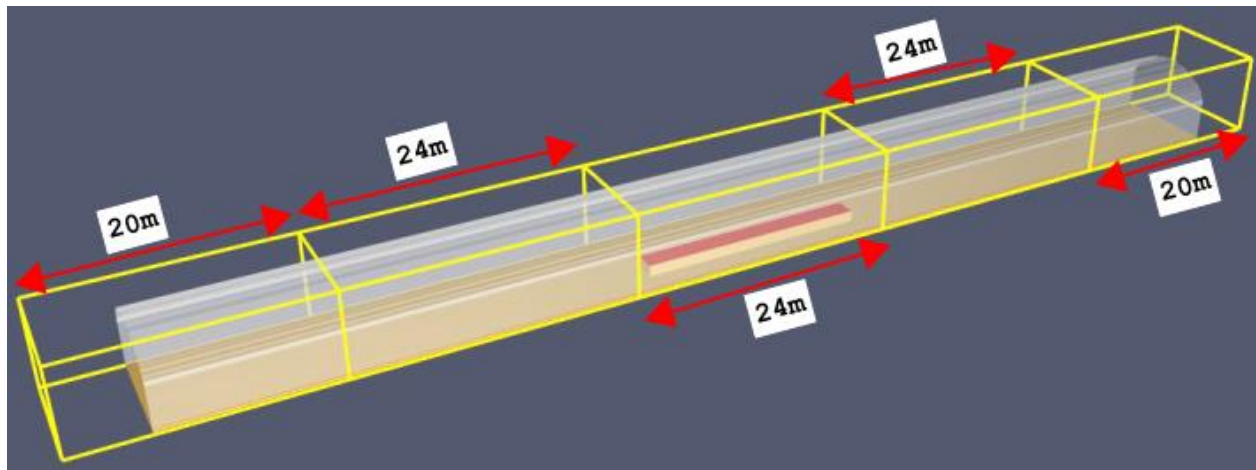
3.2.6 Stråling

Strålingsmodellen av brannen er radiaktiv fraksjon 0,35 (35% er default verdi i FDS) da hensikten med simuleringene er mest for røykspredningen sin del. Ved å bruke default strålingsverdi effektiviseres simuleringstiden. På bakgrunn av dette modelleres alle brannsimuleringene for oppgaven med radiaktiv fraksjon 0,35 i FDS.

3.2.7 Mesh- og gridinndeling

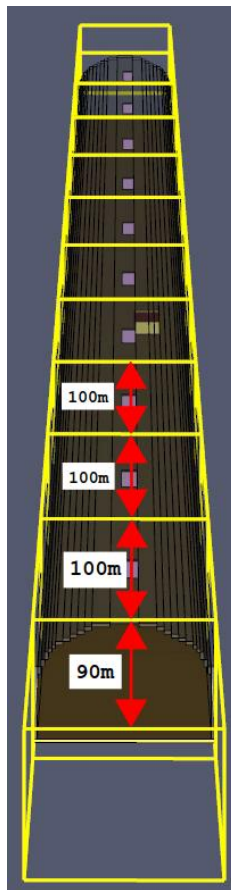
Modell for 100m tunnel er etablert med 5 mesh (nett) jevnt fordelt langsgående tunnelen vist i Figur 24. Brannen er plassert i et eget mesh sentralt i modellen, mens øvrige mesh på hver side er speilvendt utformet, det vil si at det er like mange mesh oppstrøms fra brannen som nedstrøms. Det er i tillegg medtatt 6 m fra begge tunnelportaler ut i det fri slik at røykstrømninger ut av tunnelen skal være tilsvarende som i en reell brann.

Alle mesh er satt til «open boundaries», slik at røykstrømmene forsvinner ut av modellen og tunnelen. «Open boundaries» medfører at alle mesh sine yttergrenser åpnes slik at røyk, stråling, luft- og andre strømninger beveger seg fritt ut av meshet [1]. Enten til neste mesh eller alternativt ut av modellen/simuleringen. Til sammenligning, dersom alle mesh sine yttergrenser er stengt, vil røyk, stråling, luft- og andre strømninger møte en «vegg» i meshets yttergrense og forbli inne i meshet. Alle mesh i modellene for 100m lang tunnel har bredde 10 m, høyde 7,6 m, og enten lengde 20 m eller 24 m som illustrert i Figur 24.



Figur 24 - Meshinndeling i modell for 100 m tunnel

I modell for 1000 m lang tunnel er alle mesh bredde 10 m, høyde 7,6 m. Ett mesh har lengde 90 m, øvrige mesh har lengde 100 m som vist i Figur 25. Det er kun nederste mesh som har lengde 90 m og er gjennomført for å tilpasse mesh grenser hensiktsmessig i forhold til viktige simuleringsfunksjoner som plassering av røykvifter og brann. Slike simuleringsfunksjoner skal ikke stå inne i- eller i direkte tilknytning til meshgrenser på bakgrunn av turbulens som oppstår og vil kunne føre til at simuleringene krasjer/stopper. Bakgrunnen for at brannsimuleringer stopper ved slike feil heter «numerical instability», og er som regel på bakgrunn av høyt trykk/høy hastighet og ved kombinasjon av dette [1]. FDS er ikke tilpasset for store hastigheter og er derfor sensitiv med dette ved meshgrenser. For eksempel skal man ikke simulere eksplosjoner med machverdi over 0,3 i FDS [41].

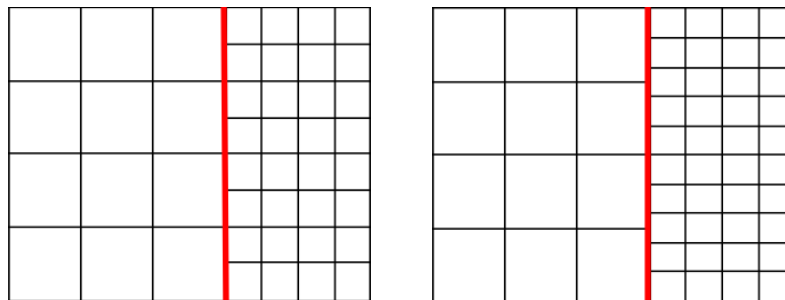


Figur 25 - Meshinndeling i modell for 1000 m tunnel

Hensikten for å dele inn modellen i flere mesh er å effektivisere simuleringstiden, som i utgangspunktet er krevende for brannsimuleringer i FDS [1]. Dette er en anerkjent utfordring med brannsimuleringer, da vi ikke har tilgjengelig verktøy i dag til å kjøre brannsimuleringer med stor andel gridceller på kort tid. Ved å fordele grid i flere mesh kan man knytte hvert mesh opp til datamaskinens kjerne, hvor hver kjerne simulerer sine grid parallelt med datamaskinens respektive kjerne. Flere mesh muliggjør det å ha forskjellige gridstørrelser i hvert mesh, som kan effektivisere simuleringstiden, og fortsatt angir gode resultater fra simulering.

Store gridstørrelser gir mindre antall gridceller og kortere simuleringstid, men kan også gi innvirkning på resultatene fra simulering. FDS sin metode for å beregne turbulens vil påvirkes av gridstørrelsen i modellen. Turbulensstrukturer som er mindre enn gridstørrelsen vil bli modellert i FDS istede for å bli direkte beregnet. Dermed må brukeren finne gridstørrelsen som gir tilfredsstillende resultater og samtidig overkommelig simuleringstid.

Det er hensiktsmessig å ha så lite grid som mulig rundt brannen for å få en tilstrekkelig modellering og simulering av brann og flammens inntrengning av luft og brensel. Inndeling av flere mesh med forskjellige gridstørrelser vil også effektivisere simuleringstiden. Det er likevel viktig at grid med forskjellige størrelser er korrekt sammensatt i modell slik at gridgrensene overlapper som vist i Figur 26.



Godkjent løsning av 2 mesh med forskjellig gridstørrelse i FDS.

Eksempel på 2 mesh med forskjellige gridstørrelse som **ikke** fungerer i FDS.

Figur 26 - Inndeling av mesh med forskjellig gridstørrelse i FDS [41]

Brannsimuleringer som gjennomføres i denne oppgaven beregnes ved VLES (very large eddy simulation). Teori tilknyttet valg av turbulensmodellering fremkommer i tidligere kapittel 2.3.2.

Den dimensjonsløse effektutviklingen og «plume resolution index»

Brannens areal i FDS må ha et forhold til brannens effekt som den utvikler. Ved for lite areal og høy branneffekt vil brannen kunne utvikle seg til jetflammer med store Froudes tall, som medfører stort nummer for den dimensjonsløse effektutviklingen \dot{Q}^* . Dette vil medføre at mengden bevegelse av brenselstrømmen styrer prosessen i stedet for tyngdekraftens påvirkelse [40].

Ved for lav branneffektutvikling på et stort brannareal blir flammene oppstukket og kun mindre flammer vil dannes. Jetflammer blir mindre påvirket av omgivelsesluftstrømmer og har en tydeligere struktur sammenlignet med rombranner. Cox & Sumar [49] angir at den dimensjonsløse effektutviklingen bør være mellom 0,3 og 2,5, og beregnes som i ligning 3.1.

$$\dot{Q}^* = \frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} c_p T_{\infty} \sqrt{g D D^2}} \quad 3.1$$

Hvor:

\dot{Q}	=	Effektutvikling	W
ρ_{∞}	=	Densitet på omgivelsesluft	kg/m ³
c_p	=	Varmekapasitet for luft	J/kgK
T_{∞}	=	Temperatur på omgivelsesluft	K
g	=	Gravitasjonskonstant	m/s ²
D	=	Ekvivalent brann diameter	m

Videre bør forholdet mellom brannens størrelse (ekvivalent brann diameter) og romhøyden vurderes. Ved D^*/H er mindre enn 0,5 anbefales det at gridoppløsningen tilsvarer «plume resolution index» (PRI)

til større enn 15 i brannområde [50]. «Plume resolution index» er forholdet mellom den karakteristiske brann diameter og antall gridceller av lengde x , D^*/dx , og beregnes ved følgende ligning 3.2

$$PRI = \frac{D^*}{\Delta x} \quad 3.2$$

Hvor:

D^* = Den karakteristiske brann diameter m

Δx = Bredden på gridceller i meshet til brannen m

$$D^* = \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_{\infty} C_p T_{\infty} \sqrt{g}} \right)^{2/5} \quad 3.3$$

Hvor:

\dot{Q} = Effektutvikling W

ρ_{∞} = Densitet på omgivelsesluft kg/m^3

C_p = varmekapasitet for luft J/kgK

T_{∞} = Temperatur på omgivelsesluft K

g = Gravitasjonskonstant m/s^2

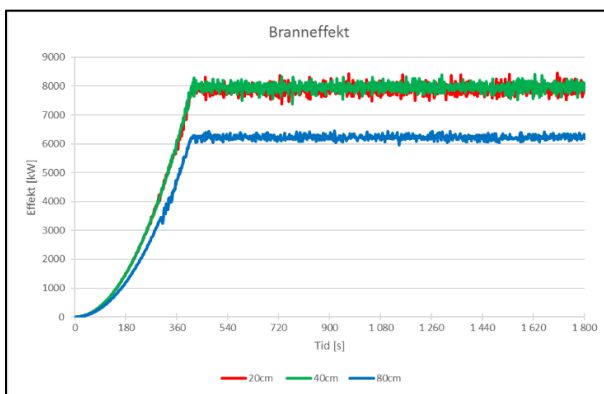
FDS user guide 6 [1] og CFD Best Practice [45] anbefaler D^*/dx -verdi i område 4 til 16. Høyere D^*/dx -verdi angir bedre løst brann dynamikk i simuleringene. Men «Plume resolution index» skal kun brukes som en indikator på gridstørrelsen ved brannen, det må gjennomføres sensitivitesanalyse av gridstørrelse for å dokumentere at valgt gridstørrelse er tilstrekkelig for brannsimuleringen i FDS.

Anbefalingene om dimensjonsløse effektutviklingen og «plume resolution index» må vurderes i forhold til hensikten med brannsimuleringen i forhold til hvilke verdier som er viktig for resultatene. En sensitivitesanalyse av gridstørrelse gjennomføres for å dokumentere mest hensiktsmessig gridstørrelse for brannsimuleringene.

Sensitivitetsanalyse av gridstørrelse

En brann i FDS vil gi bedre resultater ved mindre gridstørrelser. Bakgrunnen er at mindre gridstørrelser ved brannen medfører at flere antall gridceller vil dekke brannarealet og dermed løse brannodynamikken ved blant annet luftinnstrømning, turbulens og temperaturer i flammesonen bedre [40]. Derfor gjennomføres det en sensitivitetsanalyse av gridstørrelser til brannsimuleringene som skal gjennomføres for å finne gridstørrelsen som er mest hensiktsmessig å bruke. Hensikten er å løse brannodynamikken i brannen tilstrekkelig for simuleringen, samt at simuleringstiden (tiden for å kjøre brannsimulering) må være overkommelig.

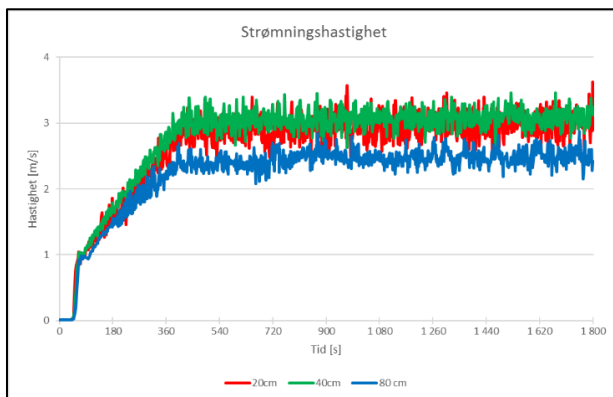
Sensitivitetsanalyse har fokus på at branneffekt, temperatur over brann, og røykhastighet på bakgrunn av formålet med simuleringene som er å undersøke tilstrekkelig røykventilasjon. Graf 8 viser branneffekten ved simuleringene for bilbrann som skal oppnå 8 MW branneffekt iløpet av 412 sekund (rask brannvekst).



Graf 8 - Branneffekt for bilbrann med 20 cm, 40cm og 80 cm gridstørrelse

Graf 8 viser at 20- og 40cm gridstørrelse oppnår branneffekt 8 MW i løpet av 412 sekunder. 80cm gridstørrelse oppnår i overkant av 6 MW som er mindre enn forutsatt for simulering. Basert på branneffekt vurderes 20 og 40 cm gridstørrelse å oppnå branneffekt som forutsatt for simuleringene.

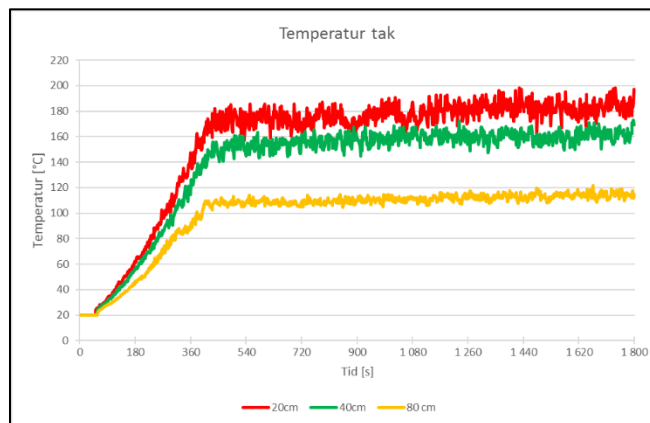
Hastighet av røykstrømning ved tak er en viktig faktor i simuleringene og skal dermed sensitivt vurderes. Graf 9 viser strømningshastigheter målt med målepunkt 5 cm under tak plassert 70 m inn i tunnel med 100m lengde, det vil si 20 m fra senter av brannen.



Graf 9 - Strømningshastighet ved tak for bilbrann med 20 cm, 40cm og 80 cm gridstørrelse

Som det fremkommer er resultat for strømningshastighet ved tak tilnærmet lik, ca. 3 m/s ved «steady state», for simulering med 20- og 40cm gridstørrelse. Simulering med 80cm gridstørrelse oppnår hastighet ca. 2,5 m/s ved steady state som er omtrent 0,5 m/s i underkant enn ved bruk av mindre gridceller. På bakgrunn av målt strømningshastighet vurderer gridstørrelse 20- og 40 cm å gi tilstrekkelige resultater. 80 cm gridstørrelse gir et avvik som medfører for stor usikkerhet omkring hastighet med tanke på vurderinger tilknyttet røykventilasjon og luftstrømning.

Temperatur under tak er ikke direkte en faktor som undersøkes i oppgaven, men det er likevel en relativt viktig faktor vedrørende brann i tunnel. Graf 10 viser temperatur målt med målepunkt 5 cm under tak i tunnel plassert 70 m inn i tunnelen med lengde 100 m.



Graf 10 - Temperatur ved tak for bilbrann med 20 cm, 40cm og 80 cm gridstørrelse

Gridstørrelse 20 cm resulterer i høyeste temperatur ved målepunktet, temperatur ved steady state er ca. 180 °C. 40 cm gridstørrelse oppnår temperatur ca. 160 °C ved steady state, det er ca. 20 °C lavere enn ved mindre gridceller. 80 cm gridceller oppnår kun ca. 110 °C ved steady state.

Bakgrunnen for svingene resultater for temperatur ved forskjellig gridstørrelse er at temperatursjiktene langsgående i tunnel er veldig varierende for høyden. Det vil si at rett opp under tak er det et sjikt på 10cm med relativ høy temperatur sammenlignet med temperatur i et sjikt f.eks. 50 cm under tak. Derfor blir resultater vedrørende temperatur varierende ved forskjellige gridstørrelser. 20 cm gridstørrelse angir gjennomsnittstemperaturen for sjiktet fra tak til 20 cm under tak. 40 cm gridstørrelse angir gjennomsnittstemperaturen for sjiktet fra tak til 40 cm under tak. Dermed vil temperatur ved tak i brannsimulering med 40cm gridceller ha lavere gjennomsnittstemperatur på grunn av at sjiktet er nærmere «kald» luft under røyklaget, og påvirkes mer av kjøligere innblandet luft.

Resultater vedrørende temperatur kan på bakgrunn av sensitivetsanalysen medtas som en usikkerhet for resultater. Men temperaturer fra simuleringene vurderes ikke å rokke ved resultater knyttet til dimensjonering av brannviftene. Dermed vurderes sensitivetsvurderingene å gi tilstrekkelige svar på brannventilasjon. Men dersom man ønsker å se nærmere på temperaturer i en annen sammenheng må man gjennomføre ytterligere brannsimuleringer og sensitivetsanalyser.

Oppsummering basert på sensitivitetsanalyse

Basert på sensitivitetsanalyse skal brannsimuleringer gjennomføres med gridstørrelse 40cm. På bakgrunn av vurderinger tilknyttet brannsimulering med lavest branneffekt (8 MW), er 40cm gridcellestørrelse tilstrekkelig vurdert for brannscenario med høyere branneffekt og brannareal i tunnelen.

Tabell 6 - Brannteknisk bakgrunnsinformasjon til brannsimuleringer i FDS

Simulering	Branneffekt	Gridstørrelse	Antall gridceller	D^*/dx	Q^*	D^*/H
100A	8 MW	20 cm	608 000	11	0,4	0,35
100A	8 MW	80 cm	18 200	2,75	0,4	0,35
100A & 100B	8 MW	40 cm	133 000	5,5	0,4	0,35
200A & 200B	30 MW	40 cm	133 000	9,4	0,28	0,6
300A & 300B	50 MW	40 cm	133 000	11	0,34	0,72

3.2.8 Målepunkter

Brannsimuleringene inneholder målepunkter for temperatur og hastighet. Alle brannsimuleringene inneholder også målepunkter for tetthet, sikt og FED (Fractional effective dose). Resultater for tetthet, sikt og FED kan gis ved forespørsel, men er ikke presentert i denne rapporten.

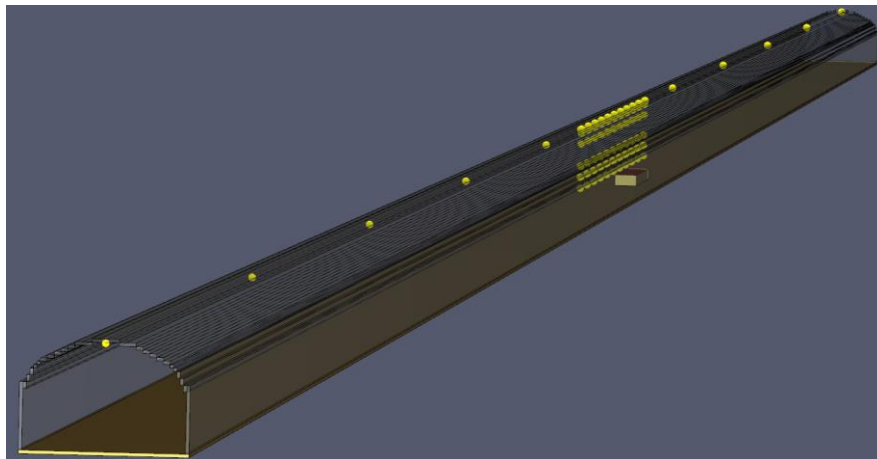
Temperatur og hastighet

Målepunkter for temperatur og hastighet er plassert ved tunnelportalene og for hver tiende meter inne i tunnelen i høyde 2 m, 3 m, 5 m, 6 m og 6,35 m (takhøyden er 6,4 m) over gulvnivå. Plassering i modell med 100 m lang tunnel fremkommer med gule sirkler i Figur 27.



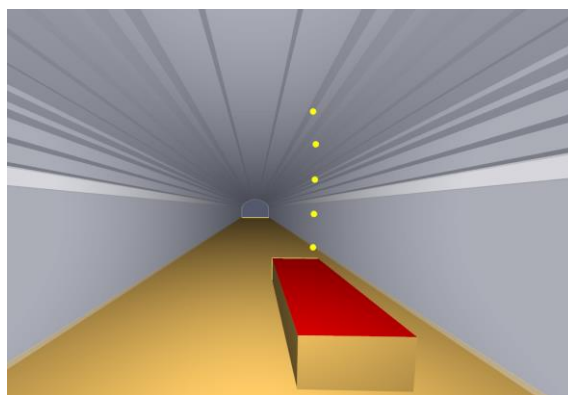
Figur 27 - Plassering av målepunkter for temperatur og hastighet i tunnel med lengde 100 m

Målepunkter for temperatur og hastighet i tunnel med lengde 1000 m er tilsvarende som over i 100 m området ved brannen, slik at resultatene er sammenlignbare i denne 100 m-sonen. Det vil si at målepunktene på Figur 27 er i området 450-550 m i simulering med 1000 m tunnel på bakgrunn av at senter brann er plassert midt i tunnelen (senter brann = senter tunnel = 500 m). I tillegg er det plassert målepunkter for hver 100. m i tunnelen som vist i Figur 28.



Figur 28 - Plassering av målepunkter for temperatur og hastighet i tunnel med lengde 1000 m

I alle brannscenariene er det plassert temperaturmålepunkter i senter over brann på høyde 1-6 m over gulvnivå for å verifisere branntemperatur. Bilde i Figur 29 er tatt fra innsiden i tunnel mot tunnelportal hvor temperaturmålepunkter fremkommer i senter over brann.



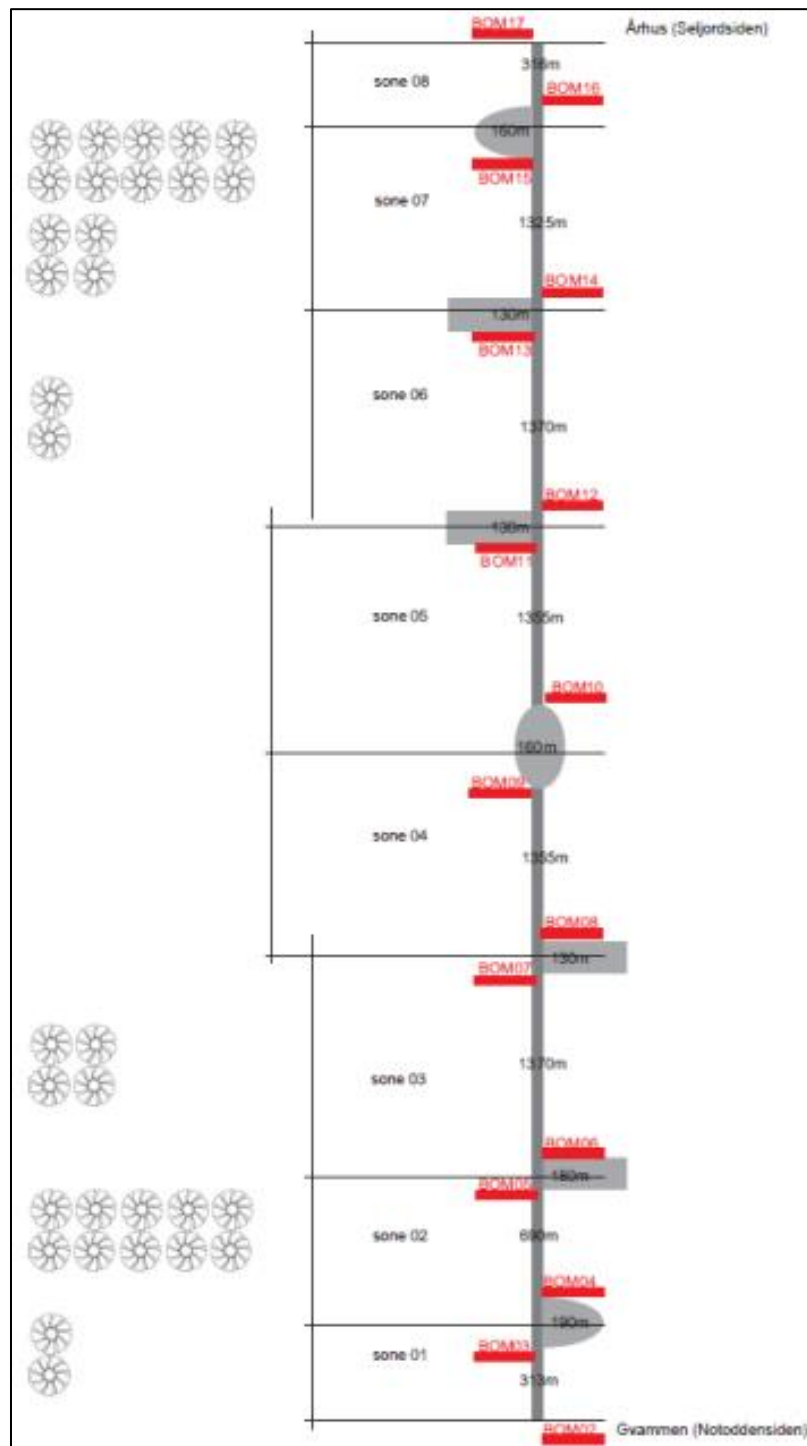
Figur 29 - Plassering av målepunkter for temperatur plassert over brann i alle brannscenarier

3.3 Forsøk – brannøvelse i Mælefjelltunnelen

Statens vegvesen arrangerte ulykke- og brannøvelse i Mælefjelltunnelen den 5. desember 2019. Øvelsen ble arrangert i forkant av at tunnelen ble åpnet for trafikk den 19. desember 2019. Hensikten var å teste sikkerhetsfunksjoner som høyttaleranlegg, videoovervåking, ledelist, brannventilasjon og samarbeid mellom nødetatene, samt veitrafikksentralen ved hendelser i tunnelen. I tillegg er det ifølge brann- og eksplosjonsvernloven [24] krav om å gjennomføre brannøvelse i tunnel som er et særskilt brannobjekt.

Tunnelen ligger på E134 mellom Gvammen i Hjartdal kommune og Århus i Seljord kommune. Nærmeste brannstasjon ligger i Seljord. Seljord brannvesen er et deltidsbrannvesen, Notodden brannvesen har døgnkontinuerlig beredskap med rullerende vaktlag. Ved ulykke eller brann i tunnelen skal både Seljord- og Notodden brannvesen varsles. Tunnellengden er 9355 m med tverrsnitt T10,5 og er plassert i Tunnelklasse C med årlig døgntrafikk 2500 kjøretøy hvorav tungtransport utgjør 18%. Fartsgrensen i tunnelen er 80 km/t. Dimensjonerende brannventilasjon er 50 MW med totalt 32 ventilasjonsvifter. Nødutganger i tunnelen er portalene, hele tunnelen er videoovervåket og har talevarslingsanlegg via høyttalere og på radio/DAB.

Mælefjelltunnelen er inndelt i 8 soner fra Århus (Seljordsiden) til Gvammen (Notoddensiden). Soneinndelingen med plassering av brannvifter fremkommer av tunnelens beredskapsplan. Et utklipp av soneinndelingen fra beredskapsplanen [2] vises i Figur 30.



Figur 30 - Soneinndeling i Mælefjelltunnelen med angivelse av brannvifter

Ved brann i sone 1-4 styres brannventilasjon mot Notodden.

Ved brann i sone 5-8 styres brannventilasjon mot Seljord.

Bakgrunnen for styring av ventilasjonen er å frakte røyken til nærmeste tunnelportal slik at lengst mulig del av tunnelen blir røykfri og dermed mer oversiktlig å evakuere i.

Når alle 32 viftene går for fullt vil lufthastigheten viftene genererer komme opp i 3 m/s ifølge beredskapsplanen [2]. Viftene kan fjernstyres fra VTS og lokalt fra nødstyrepener ved tunnelportalene.

Forventet kjøretid for brannvesenet til tunnelen er følgende under ordinære omstendigheter:

- Notodden siden hele døgnet: ca. 30 min.
- Seljord siden: ca. 10-15 min innenfor normal arbeidstid, ellers 15-20 min.

Tidsanslagene forutsetter at mannskap/utstyr ikke er ute på andre oppdrag.

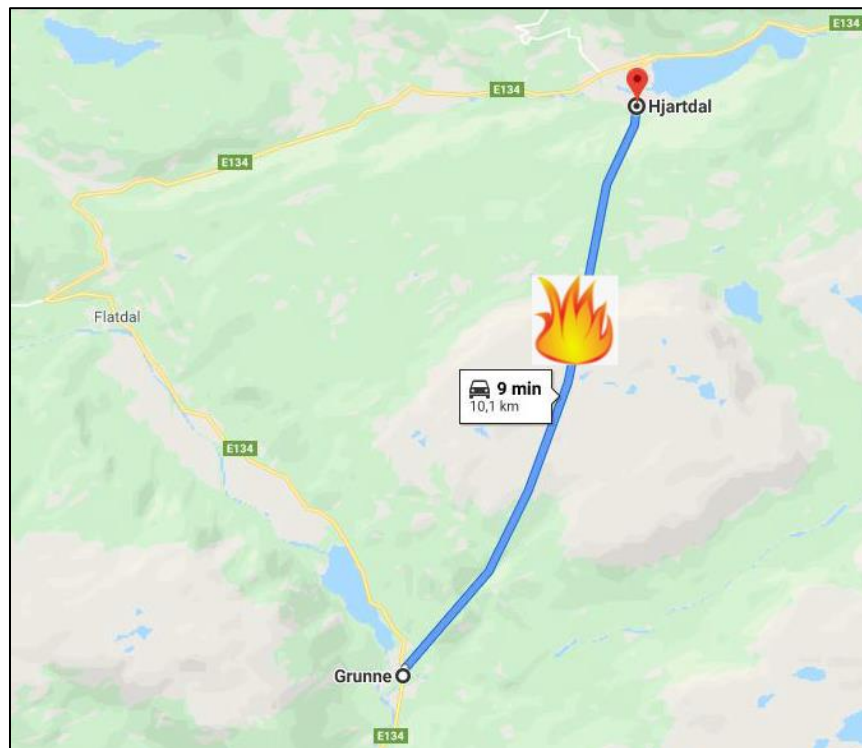
Innsatstiden for brannvesenet er definert som tiden fra meldingen mottas på alarmsentralen til utrykningsstyrken er framme på skadestedet.

Forventet kjøretid ved behov for omkjøring til motsatt side: 20-25 min ekstra.

I brannøvelsen ble det målt temperaturer ved tak i nærheten av brannen. Røykventilasjonen ble testet i forhold til om den klarte å føre røyken ut til tunnelportal og unngå tilbakestrømning av røyk (backlayering).

3.3.1 Brannscenario

Brannen ble plassert i container ca. 3950 m inn i tunnel fra Tunnelportal Notodden/Hjartdal, se Figur 31.



Figur 31 - Brannplassering i Mælefjell tunnelen under brannøvelsen

Det ble lagt gipsplater under container og foran installasjoner (skilt, brannskap o.l.) i nærheten av brannen for å skjerme asfalt, markeringslinjer og installasjonene for varmestråling og høye

temperaturer. Kabelbro og høyttaler i tak ble beskyttet med 50 mm steinull slik det fremkommer i Figur 32.



Figur 32 - Brann plassert i container i Mælefjelltunnel

3.3.2 Brannvifter i Mælefjelltunnelen

Det er 32 brannvifter fordelt parvis i Mælefjelltunnelen som vist ved soneinndelingen i Figur 30. Brannviftene er ifølge tunnelens beredskapsplan [2] dimensjonert for 50 MW brann med lik skyvekraft begge veier. Normal trekkretning i tunnelen er fra Seljord mot Notodden, men det varierer med årstid, tid på døgnet og utetemperatur. Effekt på brannviftene kan være inntil 1045N (tilsvarende ca. 29,3 m³/s og en utgangshastighet på 29,7 m/s dimensjonert på luftdensinitet 1,2 kg/m³) ifølge brannviftenes produktdatablad levert av System Air AS [51]. Brannviftene tåler inntil 250 °C i minst 2 timer basert på standard EN12101-3 [52] og kan ha inntil 1475 rpm (runder/omdreininger per minutt). Én brannvifte veier omtrent 750 kg [51].

Tunnelen er delt inn i 8 soner basert på beredskapsplanen [2] og som vist i Figur 30. Ved brann i sone 1-4 styres brannventilasjonen mot Notodden. Ved brann i sone 5-8 styres brannventilasjonen mot Seljord. Ved brannventilasjon starter viftene i *trinn 1* ved 8 brannvifter med minst driftstid. Dette innebærer at det er driftstiden som bestemmer hvilke av de 32 viftene som starter. Dersom alle 32 viftene går for fullt vil lufthastigheten viftene genererer lufthastighet 3 m/s. Vind og trekk i tunnelen vil kunne påvirke lufthastigheten negativt og positivt.

Brannviftene kan fjernstyres fra VTS og lokalt fra nødstyrepener.

3.3.3 Brannstørrelse, branninnhold og målepunkter

Brannscenariet representerer en «mindre bilbrann» med ca. 3 MW branneffekt ifølge presentasjon gjennomført av Statens Vegvesen. Bilbrann er normalt 5 MW, eller 8 MW for nyere større biler. Brannen ble påsatt ved å bruke ca. 0,5l bensin. Branninnholdet besto av europapaller i tre, papp, bensin og bildekk samlet i container som vist i Figur 33.



Figur 33 - Branninnholdet for brannøvelsen i Mælefjelltunnelen

Det var plassert målepunkter for temperatur 15 m til hver side (oppstrøms og nedstrøms) fra brannen(containeren), i tillegg var ett målepunkt plassert vertikalt rett over brannen. Temperaturmåler plassert mot Seljord(oppstrøms) fungerte ikke under øvelsen slik at det kun er tilgjengelig resultatdata for temperaturmåler rett over brann og 15m mot Notodden. Temperaturmålepunktene ble festet i steinull i underkant av kabelbro midt i tunneløpet 5,5 m over asfalt som vist i Figur 34.



Figur 34 - Temperaturmålepunkter markert med røde sirkler ved brannøvelse i Mælefjelltunnelen

Temperaturmålerne er av typen «EL-USB-1-PRO». Denne type temperaturmålere kan måle temperatur fra minus 40 °C til pluss 125°C med logging hvert sekund med nøyaktighet på $\pm 0,2-1,6^{\circ}\text{C}$. «EL-USB-1-PRO» kan måle temperaturforskjeller ned til 0,1°C, ytterligere informasjon er vedlagt i Vedlegg D.

Veitrafikksentralen målte vindhastigheter ved tunnelportalene, og hastighet på luft/røyk inne i tunnelen under hele brannøvelsen. Det ble i tillegg plassert et videokamera ca. 50 m oppstrøms fra brannen som filmet hele brannøvelsen med fokus på brannen og røykstrømningen. Videokameraet var plassert på et kamerastativ fordi all personell måtte ut av tunnelen da brannen ble påsatt. Observatørene til brannøvelsen ble plassert utenfor tunnelportal mot Notodden for å observere brann- og røykutvikling via veitrafikksentralens kameraer i tunnelen, og røyk som etter hvert trakk ut av tunnelportalen vist i Figur 35.



Figur 35 - Tunnelportal mot Notodden ved oppstart av brannøvelsen

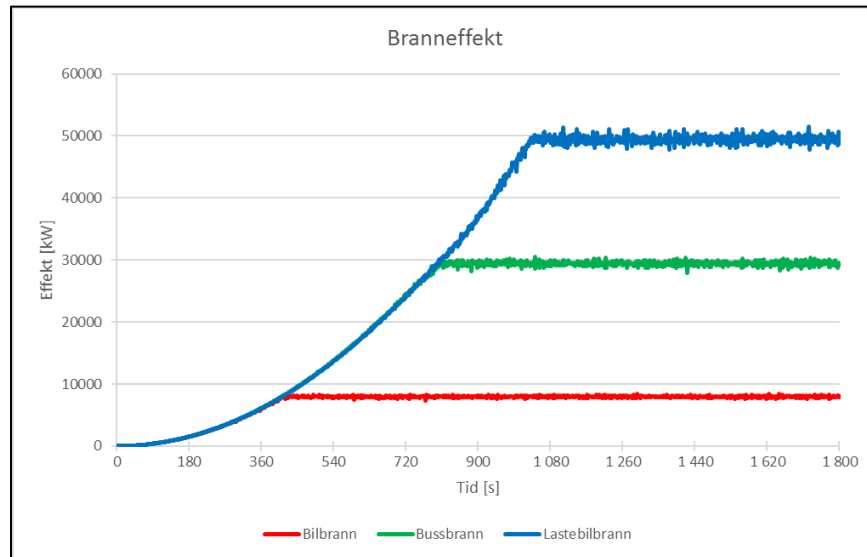
4 Resultater

Det er gjennomført brannsimuleringer i tunnel for å undersøke kritisk hastighet på røykstrømmen i langsgående tunnel med lengde 100- og 1000 m. I tillegg er det gjennomført brannøvelse i Mælefjelltunnelen hvor temperatur og strømningshastighet ble registrert under brannøvelsen.

4.1 Resultater fra brannsimuleringer

Gjennomførte brannsimuleringer er bilbrann, bussbrann og lastebilbrann i tunnel. Det er gjennomført brannsimuleringer med og uten røykventilasjon.

4.1.1 Branneffekt

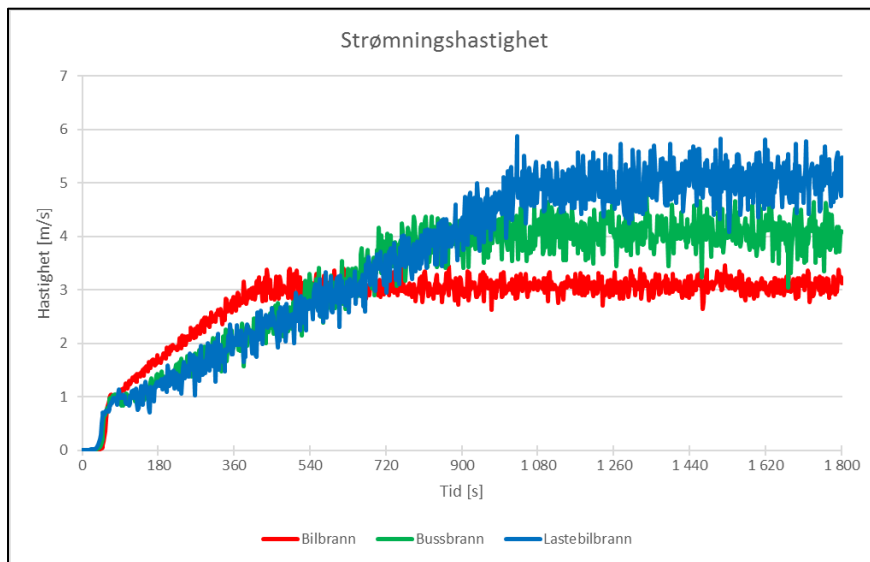


Graf 11 - Branneffekt for bilbrann, bussbrann og lastebilbrann

Branneffekten i brannsimuleringen er 8 MW for bilbrann, 30 MW for bussbrann, og 50 MW for lastebilbrann slik det fremkommer i Graf 11. Samtlige branneffekter er modellert som «rask brannvekst». Resultatene i Graf 11 viser at forutsetning i kapittel 3.2.3 vedrørende branneffekt er ivaretatt.

4.1.2 Strømningshastighet uten røykventilasjon i 100 m lang tunnel

Det er målepunkter for strømningshastighet for hver tiende meter i modellen. Det er valgt å vise resultater for strømningshastigheten plassert 20 m nedstrøms for brannen, altså 70 m fra inngang til tunnelportalen. Resultater for strømningshastighet fremkommer i Graf 12.



Graf 12 - Strømningshastighet 20 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann

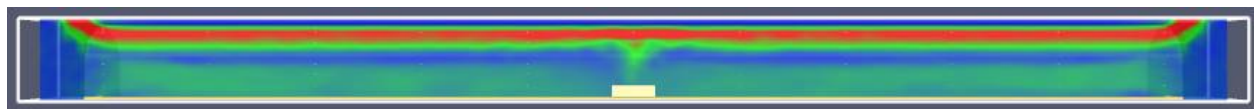
Ifølge brannsimuleringene er strømningshastigheten for røyken er opp mot 3 m/s ved bilbrann, 4 m/s ved bussbrann, og 5 m/s for lastebilbrann slik det fremkommer av Graf 12. Figur 36 - Figur 41 viser simuleringene 20 minutter (1200sekund) ut i brannforløpet. Figurene skal vise hvordan brannen og røyken er ved fullt utviklet brann i 100 m lang tunnel. Røyken blir ikke påvirket av ventilasjon i disse scenariene og det er dermed forventet at røyken strømmer langs tunneltak og ut av begge tunnelportalene.

Bilbrann

Som det fremkommer av Figur 36 og Figur 37 så dannes et røyklagsjikt ved bilbrann i 100m lang tunnel. Røyksøylen går opp til tak og strømmer langs takflaten ut av modell (ut til det fri). Strømningshastigheten 20 minutter ut i brannforløpet ved bilbrann fremkommer også av måleskive (Slice) plassert i senter av tunnel vist ved Figur 37. Rød farge angir hastighet mer enn 2,5 m/s, grønn farge tilsvarer 1-2,5 m/s, blå farge tilsvarer under 1 m/s. Strømningshastighet under tak uten påvirkning av ventilasjon blir 3 m/s basert på Graf 12 og fargekoder i Figur 37.



Figur 36 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann

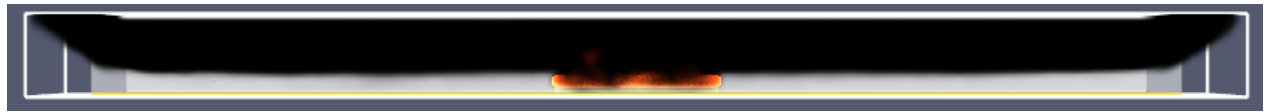


Figur 37 - Røykstrømning ved bilbrann fremstilt med fargekoder

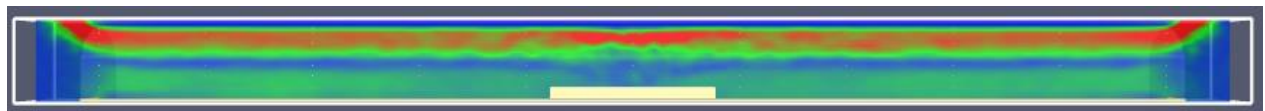
Bussbrann

Basert på Figur 38 og Figur 39 så dannes et røyklagsjikt fra brannen og ut til tunnelportalene ved bussbrann i 100 m lang tunnel. Strømningshastigheten fremstilt med måleskive angir hastighet minst 4 m/s med rød farge, 1-4 m/s med grønn farge, og under 1 m/s med blå farge i Figur 37.

Strømningshastighet under tak ved bussbrann uten påvirkning av ventilasjon er minst 4 m/s basert på Graf 12 og fargekoder i Figur 39.



Figur 38 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann



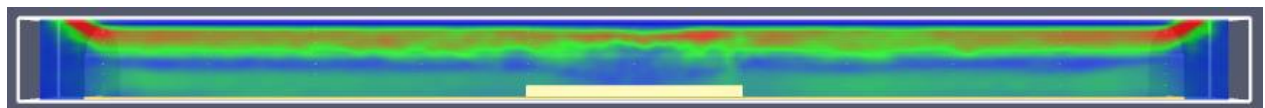
Figur 39 - Røykstrømning ved bussbrann fremstilt med fargekoder

Lastebilbrann

Som det fremkommer av Figur 40 og Figur 41 så dannes et røyklagsjikt ved bilbrann i 100m lang tunnel. Røyksøylen går opp til tak og strømmer langs takflaten ut til det fri. Strømningshastigheten fremstilt med måleskive angir hastighet minst 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2 m/s med blå farge i Figur 41. Strømningshastighet under tak uten påvirkning av ventilasjon er ca. 5 m/s basert på fargekoder i Figur 41 og Graf 12.



Figur 40 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann



Figur 41 - Røykstrømning ved lastebilbrann fremstilt med fargekoder

Oppsummering resultater av brann i bil, buss og lastebil i 100 m tunnel uten brannventilasjon

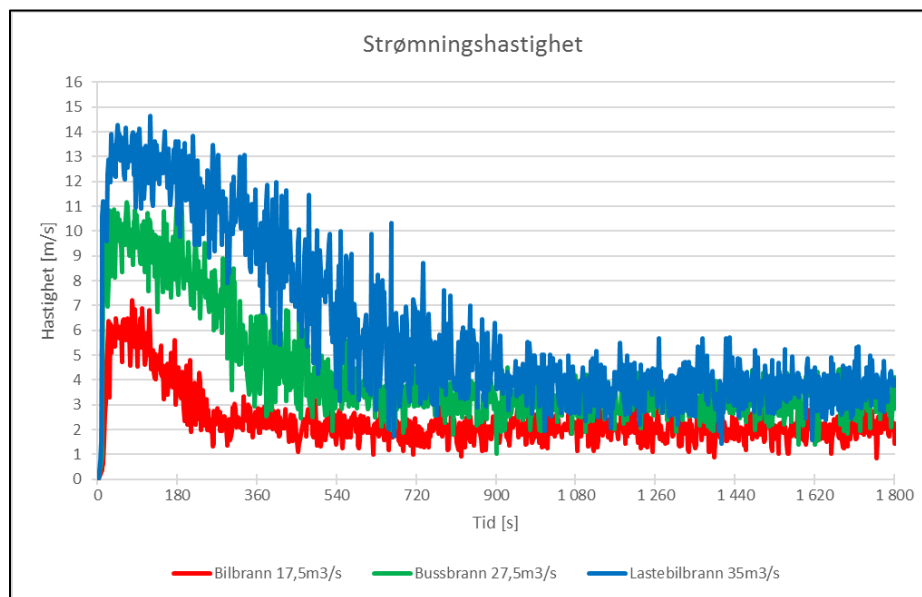
Figur 36, Figur 38 og Figur 40 viser hvordan brannforløpet, røykstrømmene og røyklagssjiktet er ved fullt utviklet brann i bil, buss og lastebil. Røyklagssjiktet senkes, og røyklagshastigheten øker som følge av større branneffekt, basert på figurene og Graf 12. Resultatene viser at uten påvirkning fra ventilasjon (eventuelt vind eller lignende), vil røykstrømninger føres mot begge tunnelportaler og vanskeliggjøre brannvesenets innsats.

4.1.3 Strømningshastighet med røykventilasjon i 100 m lang tunnel

Det er gjennomført brannsimuleringer med brannventilasjon for å dokumentere nødvendig kapasitet på brannvifte(-r). Resultatene er i 100 m lang tunnel med brannscenariene bilbrann med 8 MW branneffekt, bussbrann med 30 MW branneffekt, og lastebilbrann med 50 MW branneffekt. Hvert scenarie er gjennomført med flere variable effekter på røykventilasjonen for å finne tilstrekkelig brannventilering til å hindre tilbakestrømning av røyk (Bakclayering).

Basert på brannsimuleringer gjennomført i 100 m tunnel må røykventilasjonen ha følgende effekt for å ivareta brannvesenets mulighet for effektiv innsats:

- Bilbrann: 17,5 m³/s
- Bussbrann: 27,5 m³/s
- Lastebilbrann: 35 m³/s



Graf 13 - Strømningshastighet 20 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann med røykventilasjon

Som det fremkommer av Graf 13 er strømningshastigheten (ved tak i tunnelen 20 m nedstrøms fra brannen) høy i starten fordi røykventilasjonen er på full effekt, og blir lite påvirket av brannen. Når branneffekten øker så reduseres strømningshastigheten langs taket på grunn av motstand fra røyksøylen til brannen. Når branneffekten når full effekt blir strømningshastigheten konstant, såkalt «steady state». Konstant strømningshastighet når maks branneffekt er oppnådd er:

- 2,1 m/s ved 8 MW bilbrann og 17,5 m³/s røykventilasjon.
- 3,2 m/s ved 30 MW bussbrann og 27,5 m³/s røykventilasjon.
- 3,9 m/s ved 50 MW lastebilbrann og 35 m³/s røykventilasjon.

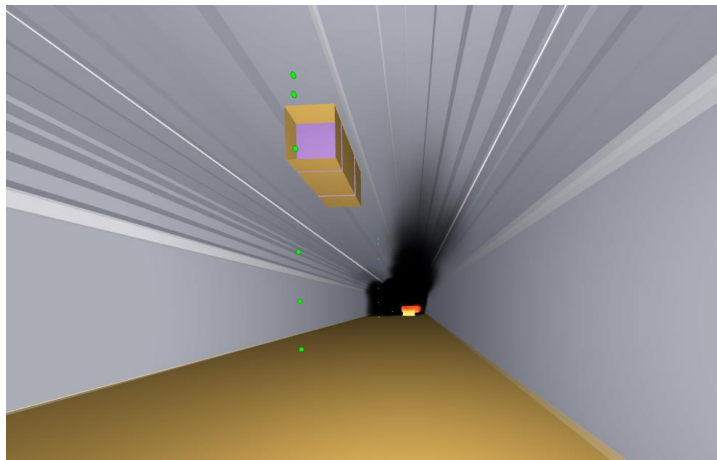
Figur 42 - Figur 50 viser simulering 20 minutter (1200sekund) ut i brannforløpet. Figurene skal vise hvordan brannen og røyken blir påvirket av brannventilasjon ved fullt utviklet brann i 100 m lang tunnel. På grunn av brannventilasjonen er det forventet at røyken strømmer opp til tunneltak og føres mot tunnelportal nedstrøms for brannen. Brannventilasjonen skal medføre at brannvesenet har tilstrekkelig sikret slokkeinnsatsmuligheter.

Bilbrann med røykventilasjon

Som vist i Figur 42 er det backlayering tilbake til plassering av brannvifte helt oppe ved tak. Men på bakkenivå, og opp 3-5m over bakkenivå, er det fri sikt frem til brannen for brannvesenets innsats. I Figur 43 ser vi hvordan sikten er frem til brannen fra brannvesenet innsatsvinkel i tunnelen ved adkomst. Det vurderes å være god sikt og fremkommelighet frem til brannen. Dermed vurderes røykventilasjonen å ha tilstrekkelig effekt for brannscenariet på bakgrunn av at brannventilasjonen ivaretar brannvesenets innsatsmuligheter.

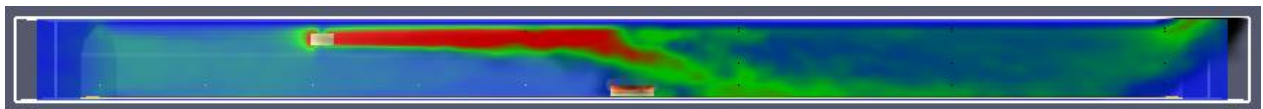


Figur 42 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 17,5 m³/s røykvifteeffekt



Figur 43 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 17,5 m³/s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte

Strømningshastigheten er i Figur 44 fremstilt med måleskive som angir hastighet minst 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2 m/s med blå farge. I Figur 44 fremkommer strømningsmønsteret og hvordan luftstrømningene etter brannviften avtar som følge av at brannens oppdriftskrefter påvirker brannventilasjonen. Oppstrøms for brannen skyver brannventilasjonen røyk fra brannen i bestemt retning med stor kraft for å unngå backlayering slik at brannvesenet kan gjennomføre slokkearbeid. Nedstrøms for brannen ser man at strømninger fra både brannvifte og brannen blir mer diffus og at hastigheten på strømningene avtar. Tunnelløpet fylles med røyk nedstrøms som følge av brannventilasjonen.



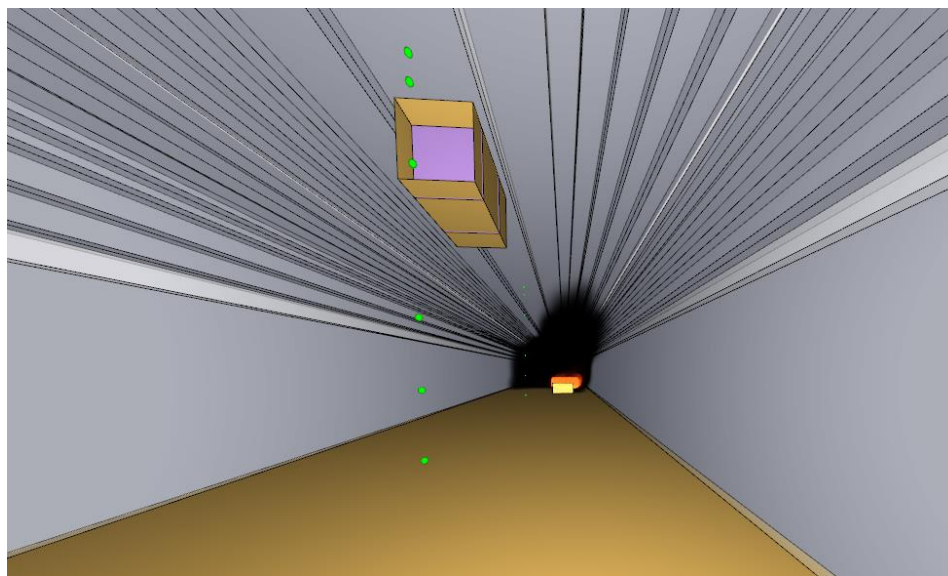
Figur 44 - Røykstrømning ved bilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder

Bussbrann med røykventilasjon

Basert på Figur 45 er det backlayering helt oppe ved tak tilbake til plassering av brannvifte. På bakkenivå og ca. 4-5m over bakkenivå er det fri sikt frem til brannen for brannvesenets innsats. I Figur 46 vises hvordan sikten er frem til brannen fra brannvesenet innsatsvinkel i tunnelen ved adkomst. Det vurderes å være god sikt og fremkommelighet for å gjennomføre slokkeinnsats. Figur 45 og Figur 46 viser at 27,5 m³/s røykventilasjon er tilstrekkelig slik at brannvesenets innsatsmuligheter vurderes å være ivarettatt av brannventilasjonen

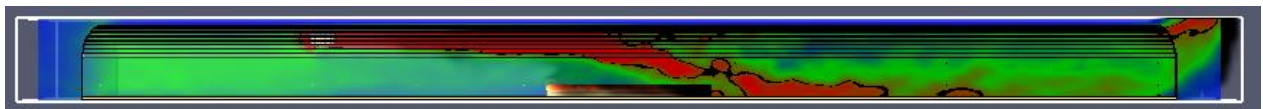


Figur 45 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med 27,5 m³/s røykvifteeffekt



Figur 46 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med 27,5 m³/s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte

Strømningshastigheten er i Figur 47 fremstilt med måleskive som angir hastighet minst 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2 m/s med blå farge. I Figur 47 fremkommer strømningsmønsteret og hvordan luftstrømningene etter brannviften avtar som følge av at brannens oppdriftskrefter påvirker brannventilasjonen. Oppstrøms for brannen skyver brannventilasjonen røyk fra brannen i bestemt retning med stor kraft for å unngå backlayering slik at brannvesenet kan gjennomføre slokkearbeid. Nedstrøms for brannen ser man hvordan kreftene fra brannventilasjonen og brannen sammen skaper turbulens som medfører at strømningshastigheten er høyest ved bakkenivå. Tunnelløpet fylles med røyk nedstrøms som følge av brannventilasjonen.



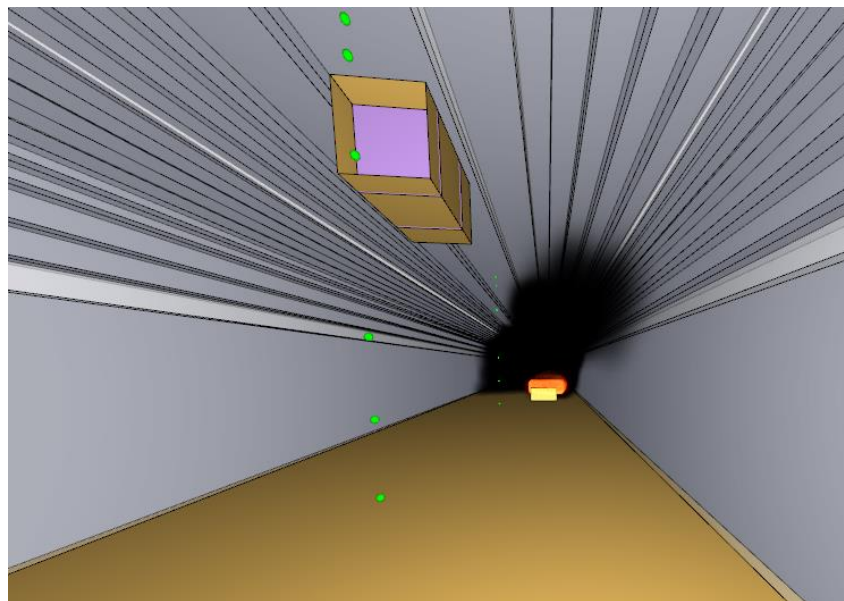
Figur 47 - Røykstrømning ved bussbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder

Lastebilbrann med røykventilasjon

Basert på Figur 48 er det backlayering tilbake til plassering av brannvifte helt oppe ved tak. På bakkenivå, og ca. 3-4m over bakkenivå, er det fri sikt frem til brannen for brannvesenets innsats. I Figur 49 ser vi hvordan sikten er frem til brannen fra brannvesenets innsatsvinkel i tunnelen ved adkomst. Det vurderes å være god sikt og fremkommelighet for å gjennomføre slokkeinnsats oppstrøms. Figur 48 og Figur 49 viser at 35 m³/s røykventilasjon er tilstrekkelig slik at brannvesenets innsatsmuligheter vurderes å være ivarettatt av brannventilasjonen.

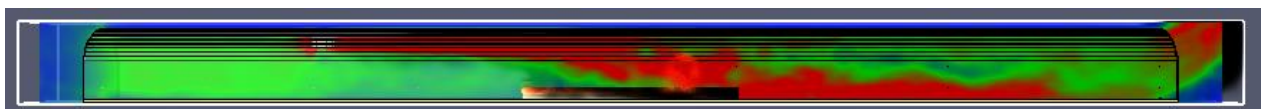


Figur 48 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 35 m³/s røykvifteeffekt



Figur 49 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 35 m³/s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte

Strømningshastigheten er i Figur 50 fremstilt med måleskive som angir hastighet over 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2 m/s med blå farge. I den samme figuren fremkommer strømningsmønsteret og hvordan luftstrømningene etter brannviften avtar som følge av at brannens oppdriftskrefter påvirker brannventilasjonen. Oppstrøms for brannen skyver brannventilasjonen røyk fra brannen i bestemt retning med stor kraft for å unngå backlayering slik at brannvesenet kan gjennomføre slokkearbeid. Nedstrøms for brannen ser man hvordan kreftene fra brannventilasjonen og brannen sammen skaper mye turbulens som medfører høye strømningshastigheter mellom bakkenivå og opp til midthøyden av tunnellopet. Tunnellopet fylles med røyk nedstrøms som følge av brannventilasjonen.



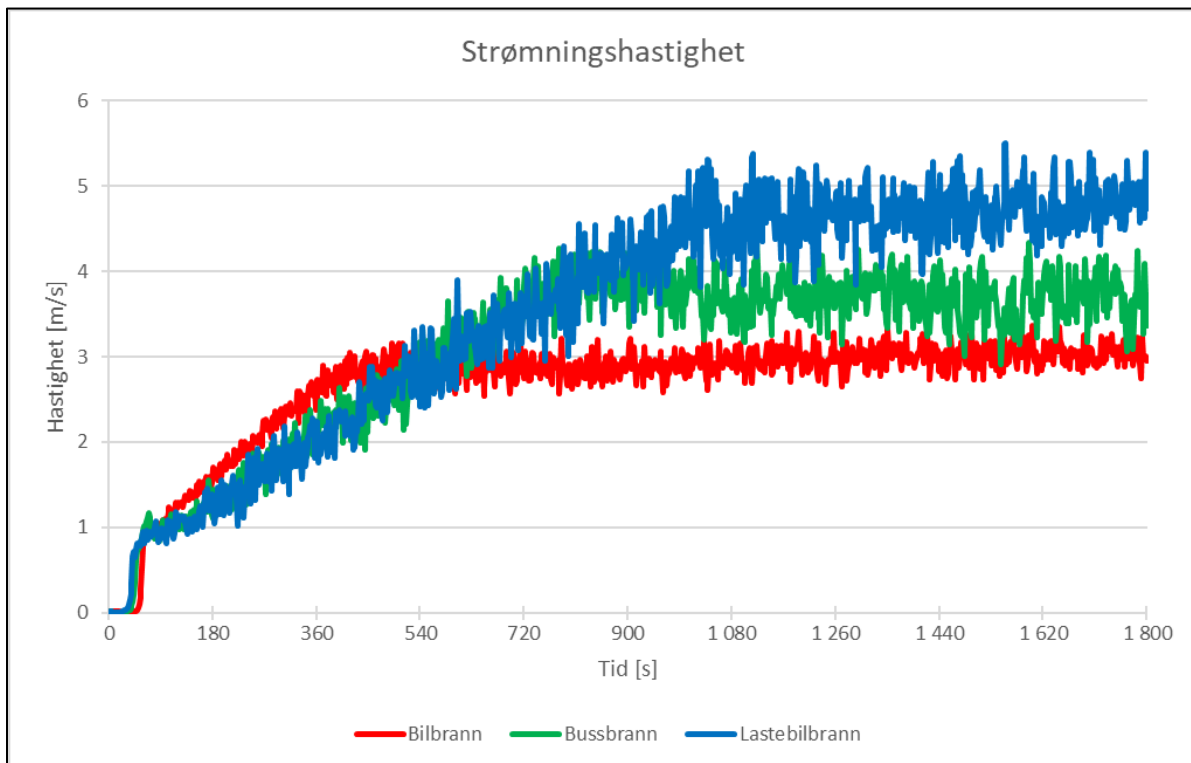
Figur 50 - Røykstrømning ved lastebilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder

4.1.4 Strømningshastighet uten røykventilasjon i 1000 m lang tunnel

Strømningshastigheten under tak i røyksjikt påvirkes av røykventilasjon. Resultatene fremkommer derfor med- og uten røykventilasjon.

Strømningshastighet uten røykventilasjon

Det er målepunkter for strømningshastighet for hver tiende meter i modellen. Det er valgt å vise resultater for strømningshastigheten plassert 200 m nedstrøms for brannen, altså 700 m fra tunnelportal. Bakgrunnen for dette er at i tunnel med lengde 100 m ble resultater vist for målepunkt plassert 70 m fra tunnelportal. Dermed vises resultater for strømningshastighet ved målepunkt som er plassert ved plassering 70% av tunnelens totale lengde i alle brannscenarier.



Graf 14 - Strømningshastighet 200 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann

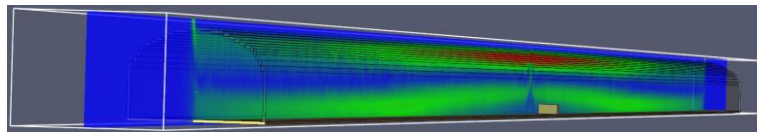
Ifølge brannsimuleringene viser resultatene at strømningshastighet for røyken ca. 3 m/s ved bilbrann, opp mot 4 m/s ved bussbrann og opp mot 5 m/s for lastebilbrann. Figur 51 - Figur 56 viser simuleringene 20 minutter (1200sekund) ut i brannforløpet. Figurene skal vise hvordan brannen og røyken er ved fullt utviklet brann i 1000 m lang tunnel. Røyken blir ikke påvirket av ventilasjon i disse scenariene. Det er dermed forventet at røyken strømmer langs tunneltak og ut av begge tunnelportalene.

Bilbrann

Som det fremkommer av Figur 51 blir hele tunnelloøpet fylt med røyk når det ikke er påført ventilasjonskrefter i tunnelen. Røyken følger røyksøylen fra brannen opp til tak og brer seg ut mot begge tunnelportalene som følge av oppdriftskreftene. I lange tunneler samler røyken seg slik at den dekker hele tunneltverrsnittet og presser seg ut til tunnelportalen ifølge presentasjon av Kiwa Teknologisk Institutt [53]. Bakgrunnen for dette er fenomenet «røykpropp», ytterligere informasjon om fenomenet fremkommer senere i diskusjonskapittel 5.3. Strømningshastigheten 20 minutter ut i brannforløpet ved bilbrann fremkommer av Figur 52 med måleskive (Slice) plassert i senter av tunnel. Rød farge angir mer enn 2,5 m/s, grønn farge tilsvarer 1-2,5 m/s, blå farge tilsvarer under 1 m/s. Som vist i Figur 52 er det relativt lave hastigheter i tunnelen som følge av at tunnelloøpet er langt, 500 m til hver side av brannen. Det er kun oppdriftskreftene fra brannen som driver røykstrømningene langs tak og ut av tunnelportalene. Det er ikke tilrettelagt for at brannvesenet kan gjennomføre slokkeinnsats i tunnelen uten brannventilasjon.



Figur 51 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann



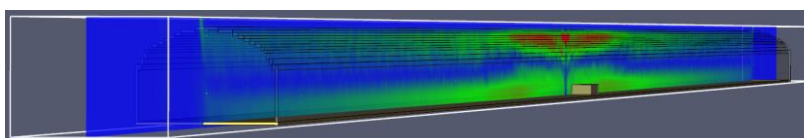
Figur 52 - Røykstrømning ved bilbrann fremstilt med fargekoder

Bussbrann

Basert på Figur 53 blir hele tunnelloøpet fylt med røyk når det ikke er påført ventilasjonskrefter i tunnelen. Røyken følger røyksøylen fra brannen opp til tak og brer seg ut mot begge tunnelportalene som følge av oppdriftskreftene. Strømningshastigheten framstilt i Figur 54 med måleskive angir hastighet minst 4 m/s med rød farge, 1-4 m/s med grønn farge, og under 1 m/s med blå farge. Som vist i Figur 54 er det relativt lave hastigheter i tunnelen som følge av at tunnelloøpet er langt. Det er kun oppdriftskreftene fra brannen som driver røykstrømningene langs tak og ut av tunnelportalene. Det er ikke tilrettelagt for at brannvesenet kan gjennomføre slokkeinnsats i tunnelen uten brannventilasjon.



Figur 53 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann



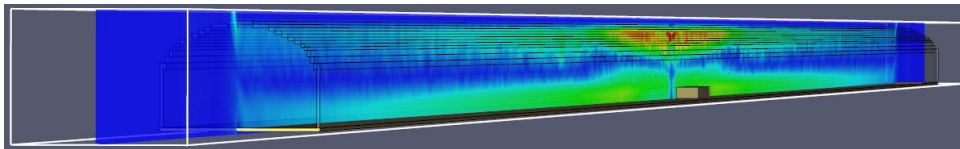
Figur 54 - Røykstrømning ved bussbrann fremstilt med fargekoder

Lastebilbrann

Basert på Figur 55 blir hele tunnellopet fylt med røyk når det ikke er påført ventilasjonskrefter i tunnelen. Røyken følger røyksøylen fra brannen opp til tak og brer seg ut mot begge tunnelportalene som følge av oppdriftskreftene. Strømningshastigheten fremstilt i Figur 56 med måleskive angir hastighet minst 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2 m/s med blå farge. Som vist i Figur 56 er det relativt lave hastigheter i tunnelen som følge av at tunnellopet er langt. Det er kun oppdriftskreftene fra brannen som driver røykstrømningene langs tak og ut av tunnelportalene. Det er ikke tilrettelagt for at brannvesenet kan gjennomføre slokkeinnsats i tunnelen uten brannventilasjon.



Figur 55 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann



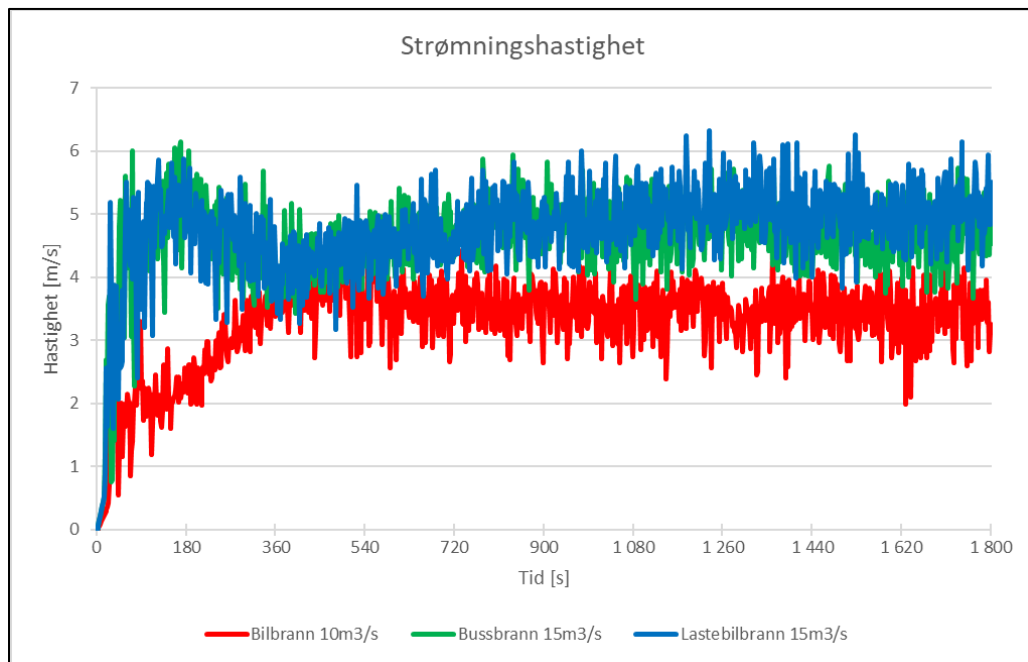
Figur 56 - Røykstrømning ved lastebilbrann fremstilt med fargekoder

4.1.5 Strømningshastighet med røykventilasjon i 1000 m lang tunnel

Det er gjennomført brannsimuleringer med røykventilasjon for å dokumentere nødvendig kapasitet på brannvifte. Resultatene er i 1000 m lang tunnel med brannscenariene bilbrann med 8 MW branneffekt, bussbrann med 30 MW branneffekt og lastebilbrann med 50 MW branneffekt. Hvert scenarie er gjennomført med flere variable effekter på røykventilasjonen for å finne tilstrekkelig brannventilering til å hindre tilbakestrømming av røyk (Bakclayering).

Basert på gjennomførte brannsimuleringer må røykventilasjonen ha følgende effekt for å unngå backclayering lengre enn røykvifte i forkant av brannen (oppstrøms):

- Bilbrann: 10 m³/s
- Bussbrann: 15 m³/s
- Lastebilbrann: 15 m³/s



Graf 15 - Strømningshastighet 200 m nedstrøms for bil-, buss- og lastebilbrann med røykventilasjon

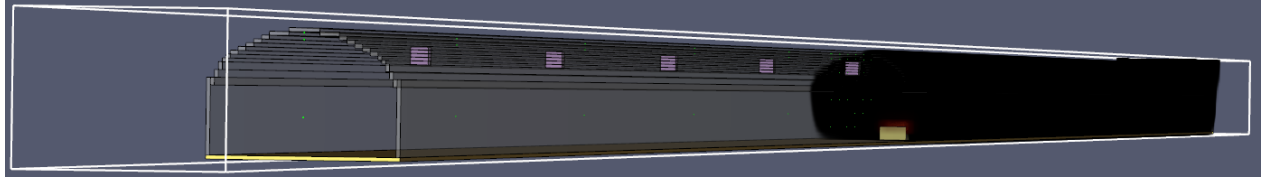
Som det fremkommer av Graf 15 er strømningshastigheten (ved tak i tunnelen 200 m nedstrøms fra brannen) høy i starten på grunn av at røykventilasjonen er på full effekt og blir i liten grad påvirket av brannen. Når branneffekten øker så reduserer strømningshastigheten langs taket på grunn av motstand fra røyksøylen til brannen. Når branneffekten når full effekt blir strømningshastigheten konstant, såkalt «steady state». Konstant strømningshastighet når maks branneffekt er oppnådd er:

- 3,6 m/s ved 8 MW bilbrann og 10 m³/s røykventilasjon.
- 4,7 m/s ved 30 MW bussbrann og 15 m³/s røykventilasjon.
- 4,9 m/s ved 50 MW lastebilbrann og 15 m³/s røykventilasjon.

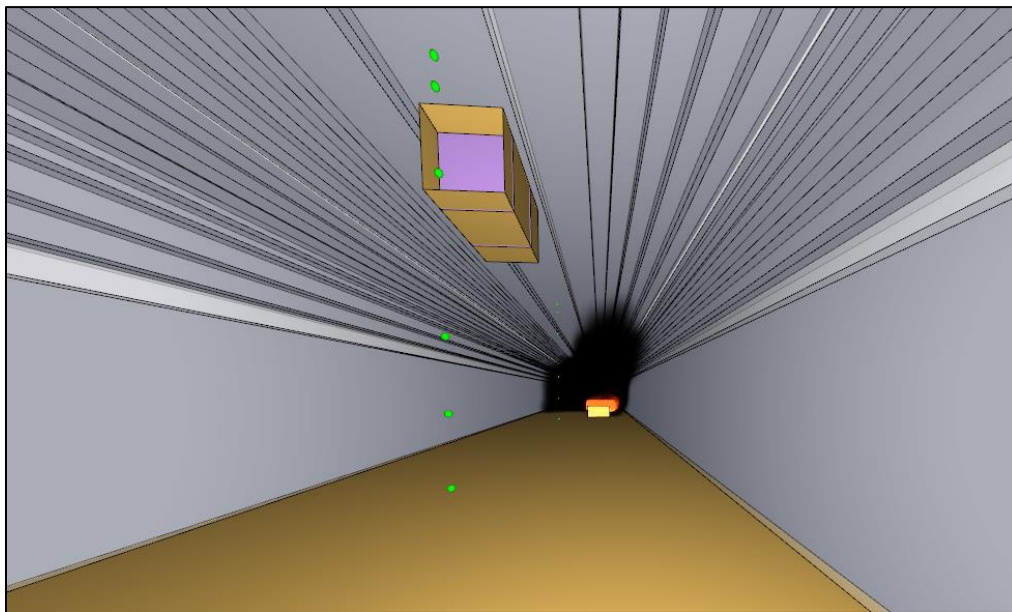
Figur 57 - Figur 65 viser simulering 20 minutter (1200sekund) ut i brannforløpet. Figurene skal vise hvordan brannen og røyken blir påvirket av brannventilasjon ved fullt utviklet brann i 1000 m lang tunnel. På grunn av brannventilasjonen er det forventet at røyken strømmer opp til tunneltak og føres mot tunnelportal nedstrøms for brannen. Brannventilasjonen skal medføre at brannvesenet har tilstrekkelig sikret slokkeinnsatsmuligheter.

Bilbrann med røykventilasjon

Som vist Figur 57 og Figur 58 er det ingen backlayering av røyk i tunnel som følge av brannviftene. Det er fri sikt frem til brannen for brannvesenets innsats. Dermed har brannventilasjonen tilstrekkelig effekt for brannscenariet for å ivareta brannvesenets innsatsmuligheter.

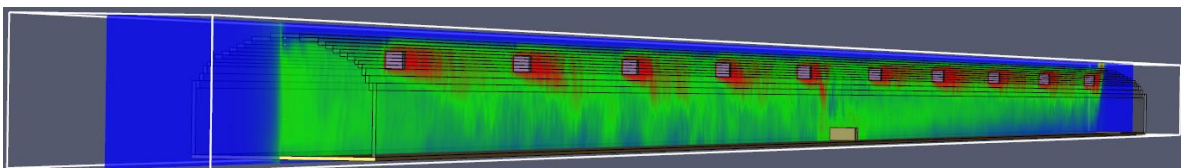


Figur 57 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 10 m³/s røykvifteeffekt



Figur 58 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bilbrann med 10 m³/s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte

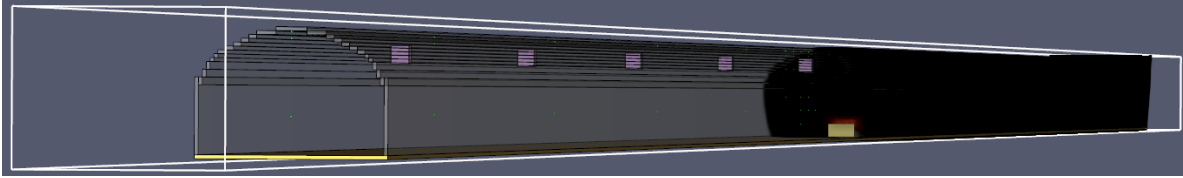
Strømningshastigheten er i Figur 59 fremstilt med måleskive som angir hastighet minst 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2m/s med blå farge. I Figur 59 fremkommer strømningsmønsteret med sterk skyvekraft umiddelbart etter brannviftene, og hvordan skyvekraften avtar ettersom avstanden til brannvifte blir lengre. Oppstrøms for brannen er strømningsmønsteret relativt likt med brannviftene som påvirker tilførsel av ren luft til brannområde. Nedstrøms for brannen ser man av måleskiven at brannviftene skyver røyken ut til det fri oppe ved tak, mens det er mer blåfarge og avtakende strømningshastighet nede på bakkenivå.



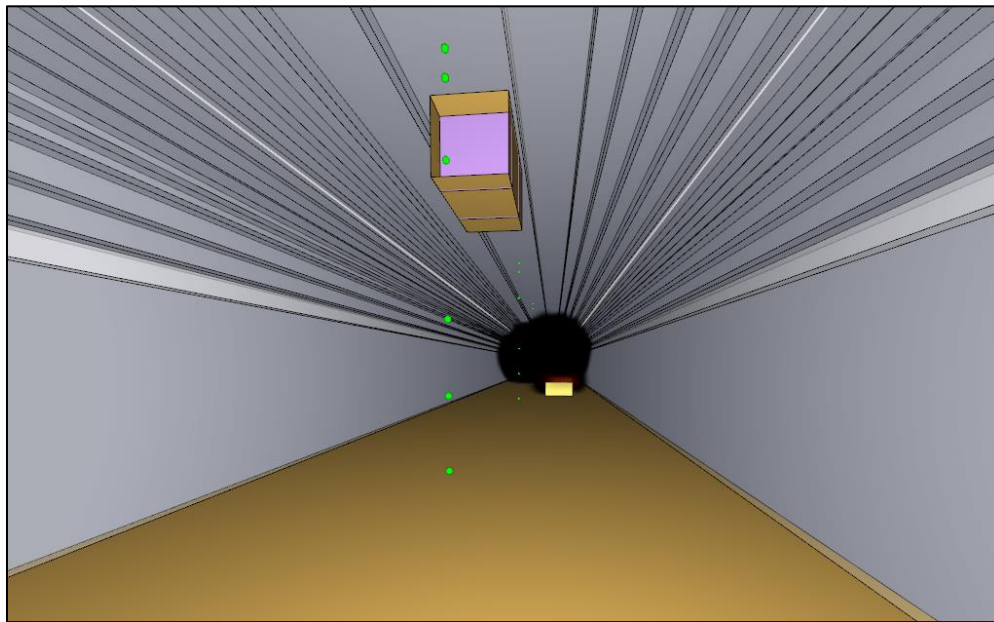
Figur 59 - Røykstrømning ved bilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder

Bussbrann med røykventilasjon

Basert på Figur 60 og Figur 61 er det ingen backlayering av røyk i tunnel som følge av brannviftene. Det er fri sikt frem til brannen for brannvesenets innsats. Dermed har brannventilasjonen tilstrekkelig effekt for brannscenariet for å ivareta brannvesenets innsatsmuligheter.

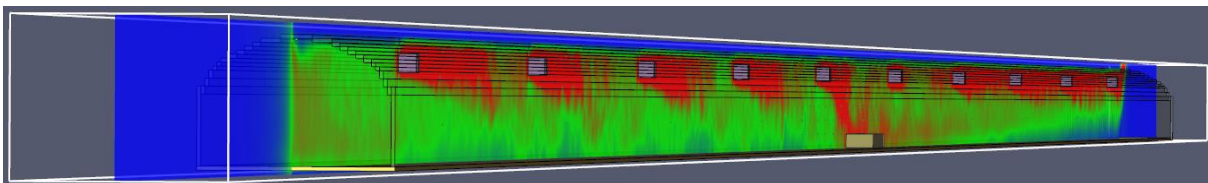


Figur 60 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med $15 \text{ m}^3/\text{s}$ røykvifteeffekt



Figur 61 - Røykstrømning etter 20 minutter ved bussbrann med $15 \text{ m}^3/\text{s}$ røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte

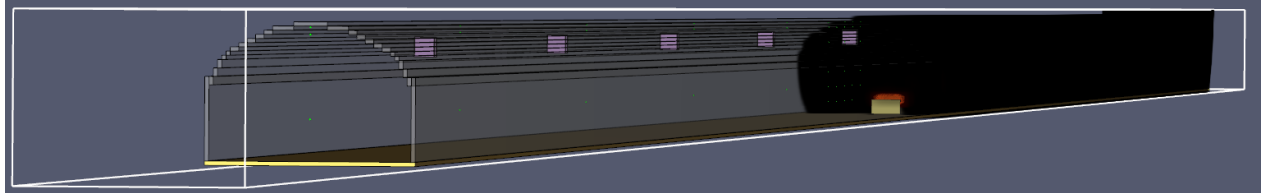
Strømningshastigheten er i Figur 62 fremstilt med måleskive som angir hastighet minst 6 m/s med rød farge, $2\text{-}6 \text{ m/s}$ med grønn farge, og under 2 m/s med blå farge. I Figur 62 fremkommer strømningsmønsteret med sterk skyvekraft etter brannviftene. Skyvekraften avtar ettersom avstanden til brannvifte blir lengre oppstrøms for brannen. Strømningsmønsteret relativt likt med brannviftene som påvirker tilførsel av ren luft til brannområde. Nedstrøms for brannen ser man av måleskiven at brannviftene skyver røyken ut til det fri oppe ved tak med høy hastighet. Figur 62 gir et godt bilde på at røykventilering av tunnelen fungerer effektivt.



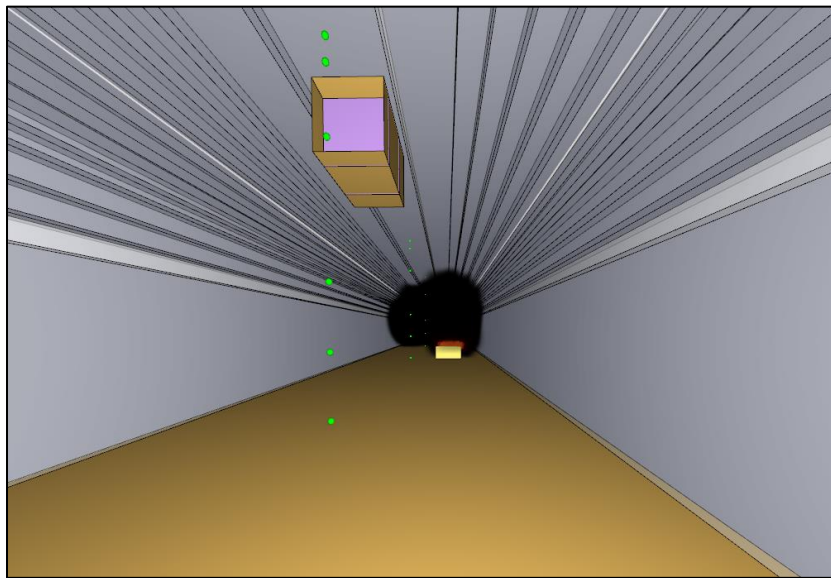
Figur 62 - Røykstrømning ved bussbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder

Lastebilbrann med røykventilasjon

Basert på Figur 63 og Figur 64 er det ingen backlayering av røyk i tunnel som følge av brannviftene. Det er fri sikt frem til brannen for brannvesenets innsats. Dermed har brannventilasjonen tilstrekkelig effekt for brannscenariet for å ivareta brannvesenets innsatsmuligheter.

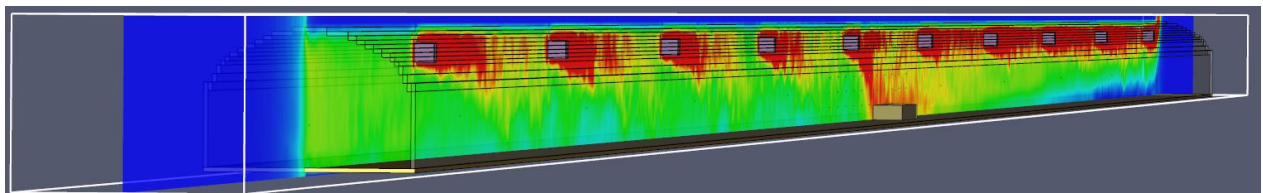


Figur 63 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 15 m³/s røykvifteeffekt



Figur 64 - Røykstrømning etter 20 minutter ved lastebilbrann med 15 m³/s røykvifteeffekt sett fra innsiden av tunnelen i underkant av røykvifte

Strømningshastigheten er i Figur 65 fremstilt med måleskive som angir hastighet over 6 m/s med rød farge, 2-6 m/s med grønn farge, og under 2m/s med blå farge. I Figur 65 fremkommer strømningsmønsteret med sterk skyvekraft etter brannviftene. Skyvekraften avtar ettersom avstanden til brannvifte blir lengre oppstrøms for brannen. Strømningsmønsteret relativt likt med brannviftene som påvirker tilførsel av ren luft til brannområde. Nedstrøms for brannen ser man av måleskiven at brannviftene skyver røyken ut til det fri oppe ved tak med høy hastighet. Figur 65 viser at røykventilering av tunnelen fungerer effektivt.

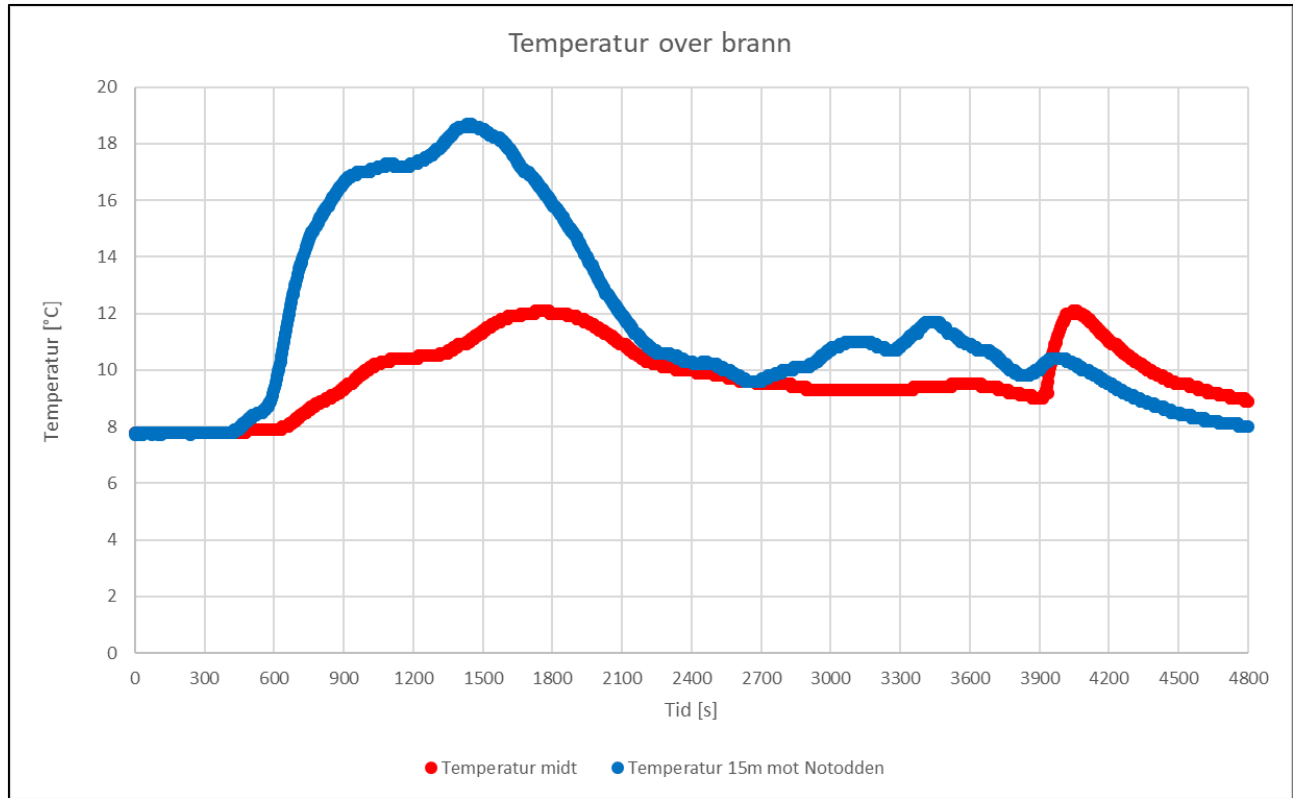


Figur 65 - Røykstrømning ved lastebilbrann med røykventilasjon fremstilt med fargekoder

4.2 Brannøvelse i Mælefjelltunnelen

Statens Vegvesen arrangerte brannøvelse i Mælefjelltunnelen 5. desember 2019. Brannen ble påsatt klokka 1300 og brannøvelsen varte i 1 time og 20 minutter. Det ble blant annet målt temperaturer og strømningshastighet for vind, luft og røyk under øvelsen.

4.2.1 Temperaturmåler plassert over brannen i underkant av kabelbro



Graf 16 - Temperatur over brann ved kabelbro

Graf 16 viser at registrert temperatur oppe ved kabelbro 15 m mot Notodden/Gvammen over brannen øker fra ca. 8 °C ved brannstart opp til 19°C ved tid ca. 24 minutter (1440s) ut i brannforløpet. Etter 24 minutter avtar temperaturen på bakgrunn av at det er mindre tilgang på brennbart materiale i containeren. Senere øker temperaturen fra ca. 10°C opp til 12 °C ved ca. 55-65 minutter (3300-3900s) ut i brannforløpet. Årsaken til temperaturøkning 65 minutter ut i brannforløpet er ventilasjonsretningen ble snudd i løpet av brannøvelsen. Det ble testet om røykviftene klarte å snu røykretningen. Ifølge resultatene for temperatur klarte ventilasjonsviftene å snu røyken. Temperaturøkningen 55-65 minutter ut i brannforløpet skyldes i tillegg at røyksøylen fra brannen i en periode står vertikalt opp fra brannen i containeren og opp til taket i tunnelen, basert på video fra brannøvelsen. I denne perioden er det «vindstille» i området ved brannen i tunnelen. 61 minutter (3660s) etter brannstart starter røyken og røyksøylen og drive mot tunnelportal til Seljord/Århus.

Årsaken til at temperaturmålingene generelt er relativt lave er en sammenheng med brannstørrelse, ventilasjon og brannscenario. Branneffekten var relativt liten (ca. 3 MW) i forhold til røykventilasjonen som er dimensjonert for inntil 50 MW brann i tunnelen. Dermed vil røyksøylen og røyksjiktet bli tilført

mye kald luft som kjøler en allerede begrenset brannstørrelse. Brannscenariet medførte at flammene og røyksøylen beveget seg raskt horisontalt, og i liten grad vertikalt, se bildeutsnitt fra video fra brannforløpet i Figur 66.



Figur 66 - Bildeutsnitt fra video av brannforløpet, 20 minutter etter påsatt brann.

Som det fremkommer av Figur 66, er det plassert en stålplate over brannen som medfører at flammene og røyksøylen blir ledet til hver sin side av åpningen og stålplaten på containeren. Det fremkommer tydelig at vinden/trekken i tunnelen går bort fra kameraet og mot Notodden/Gvammen tunnelportal. Den varme røyken blir så raskt transportert horisontalt mot Notodden/Gvammen tunnelportal at termometer rett over brannen kun blir eksponert for varmestråling fra røyksøylen. Dette resulterer i svært lave temperaturpåkjenninger for målepunkt rett over brannen. Figur 66 viser dermed hvorfor termometer rett over brannen registrer lave temperaturer med maksimum 12 °C i løpet av brannøvelsen.

Termometerpunkt mot Notodden/Gvammen ble plassert 15 m i retning nedstrøms for brannen, under kabelbro. Dermed blir denne i større grad eksponert for varme gasser og røyk (19°C), sammenlignet med termometer rett over brannen. Temperaturen vurderes likevel å være relativt lav i en brannsammenheng. Bakgrunnen for at temperaturene generelt er registrert relativt lave i brannøvelsen er på bakgrunn av brannstørrelsen, plassering av stålplate over brannen, høy vind/trekkhastighet i tunnelen med et stort volum (tverrsnitt T10,5). Brannen ble i tillegg avkjølt med kontinuerlig tilført vann nedenfra. Vannet skulle beskytte underliggende asfalt og veioppmerking.

4.2.2 Resultater knyttet til brannventilasjonen

Data for måling av hastigheter ble ikke lagret i/etter brannøvelsen, men det ble registrert følgende fra veitrafikkentralen:

Imponerende at vi greide å snu røyken så fort selv med 3,3 sekundmeter motvind. Etter kort tid meldte Notodden at røyken snudde og trakk seg ganske hurtig innover mot Seljord sida. 15-20 minutter etter at viftene blei snudd kunne de kjøre 2,5 – 3 km inn uten å se røyk. Da var trekken på over 4 sekundmeter mot Seljord, selv med 3,3 sekundmeter motvind. Tror også det er riktig å la VTS vente med å starte brannventilasjon til vi er sikre på vind hastighet og trekkretning. Dette vil slik jeg ser det være avgjørende for bilister som måtte være på feil side av brannen / hendelsen. De vil da få litt bedre tid til å kunne snu å kjøre ut. Her er det veldig viktig med god samhandling mellom VTS, brann og 110. Samvirke 2 vil her være det rette verktøyet slik jeg ser det.

Figur 67 - Utsnitt fra evalueringsrapport om ventilasjon i brannøvelsen

Evalueringsrapporten viser at forsøket med å først la brannventilasjonen gå mot Notodden tunnelportal på grunn av automatisk forutsatt ventilasjonsretning, for så å snu ventilasjonen og føre røyken mot Seljord var et vellykket forsøk. Ventilasjonsviftene i Mælefjelltunnelen klarte å føre røyken i valgfri retning, også i motvind. 30 minutter etter brannen ble påtent ble røyken observert ved tunnelportalen mot Notodden, vist i Figur 68.



Figur 68 - Brannrøyken ankommer Notodden tunnelportal ca. 30 minutter etter brannantennelse

Brannrøyken ble transportert 4 km på 30 minutter som tilsier at røyken har en snittfart på 2,22 m/s som tilsvarer 8km/t.

40 minutter etter brannen ble påtent ankommer røyk med større massetetthet og betydelig mer konsentrert av røykpartikler, vist i Figur 69.



Figur 69 - Brannrøyk som ankommer tunnelportal Notodden etter 40 minutters brannforløp

Ca. 55 minutter etter brannantennelse snur veitrafikksentralen ventilasjonsretningen mot Seljord for å teste om de klarer å snu røykstrømmen. 65 minutter etter brannantennelse er tunnelportal Notodden fri for røyk som vist i Figur 70. Dermed kan Notodden brannvesen etter hvert kjøre inn med brannbil og gjennomføre innsats fra Notodden tunnelportal.



Figur 70 - Bilde av tunnelportal mot Notodden som viser at tunnelportalen er røykfri etter snudd ventilasjonsretning. Bilde er tatt 65 minutter etter brannantennelsen

5 Diskusjon

Brann i tunnel kan raskt utvikle seg til å bli en farlig situasjon for personer i tunnelen og innsatspersonell. Røykgasser fra brannen har ofte føringsveier ut til det fri kun via tunnellopene som er rømningsvei for personer og innsatsvei for brannvesenet. Dette utgjør en stor fare for personell som oppholder seg i ettløpstunneler. I tunneler kan det oppholde seg mange personer på samme tid og det kan være svært lange rømningsavstander. Dette er risikomomenter som kan medføre store konsekvenser i form av alvorlige skader på personer og/eller omkomne. I Norge er det frem til dags dato ingen registrerte omkomne som følge av brann i tunnel [6]. Men det er eksempler fra andre land hvor brann i tunnel har fått katastrofale følger med tap av mange menneskeliv.

Å bygge tunneler medfører store kostnader. Det er tydelig at både kunnskap og investeringer knyttet til sikkerhet tidligere ikke har vært tilstrekkelig for planlegging av tunnellop på bakgrunn av at Norge i dag må oppgradere flere av sine eksisterende tunneler som følge av krav fra EU. Med 1120 tunneler på riks- og fylkesveier og 150-200 tunneler under planlegging er søkelys på nødvendighet for å bygge tunneler stort i dagens samfunn. Men søkelys og investeringsvilje for å undersøke farer og risikoreduserende tiltak i eksisterende tunneler må ha vært begrenset tidligere med tanke på at mange norske veitunneler må oppgraderes. Et begrenset fokus for risikoreduserende tiltak kan være et resultat av at Norge ikke har registrerte omkomne mennesker som følge av brann i tunnel. Men søkelyset må være å opprettholde den gode statistikken istedenfor å legge lista på at det går sikkert greit. Det bygges lengre og lengre tunnel i Norge og i verden som innehar en større risiko for personer og brannvesen, dermed er det viktig å ha fokus på risikoreduserende tiltak og da i tillegg metoder for å dokumentere risiko og risikoreduserende tiltak. Brannsimuleringer i FDS kan være en del av dokumentasjonen. Brannventilasjon i tunneler skal medføre at røyken føres i bestemt retning slik at innsatspersonell kan ta seg frem til brannen og utføre slokkeinnsats. I Norge brukes «alltid» langsventilasjon som mekanisk ventilasjonsprinsipp i tunnel når ventilasjon er påkrevd [12]. Dette betyr i praksis at forurenset luft og røyk i tilfelle brann transporteres fra brannsted og gjennom tunnelen nedstrøms. Tunnelsikkerhetsforskriften [23] og EU-direktivet pålegger alle som langsventilerer tunnelene å gjennomføre en risikoanalyse for å vise om dette gir tilstrekkelig sikkerhet. I andre land, for eksempel Tyskland, er det satt lengdebegrensning samt begrensning på ÅDT for å langsventilere tunneler både med toveis trafikk og for tunneler med ensrettet trafikk. Dette gjelder i første rekke for brannventilasjon. Denne rapporten belyser hvordan tredimensjonal brannsimulering i FDS kan være, og kanskje må være, en del av risikoanalysen som skal gjennomføres for å dokumentere sikkerheten ved bruk og dimensjonering av langsgående brannventilasjon i tunneler.

5.1 Metode for å dimensjonere brannventilasjon i tunnel

Som vist i kapittel 2.2 finnes det ligninger for å beregne kritisk ventilasjonshastighet i tunneler. Kritisk ventilasjonshastighet angir tilstrekkelig hastighet for å føre røyk i en bestemt retning. Ligningene vist i kapittel 2.2 er hovedsakelig basert på varierende inputverdi for branneffekt og tunnelhøyde/tverrsnittsareal. Håndberegninger er forholdsvis enkle å ta i bruk og krever lite arbeid i form av etterbehandling. Ulempen er at håndberegninger har begrensninger i forhold til geometriske utforminger og gir ofte grove resultater. I oppgaven er det dermed valgt å bruke CFD og FDS for å kjøre tredimensjonale brannsimuleringer. FDS gir mulighet til å gi mer presise – og svært detaljerte og nyanserte resultater, forutsatt at modellen er riktig utført. I tillegg kan FDS modeller håndtere komplisert geometri med store romvolum, kurvede flater og gjenstander eller geometri som kan påvirke for eksempel røykbevegelser. Utfordringen er at FDS modeller krever særskilt opplæring og erfaring for riktig bruk, samt at store modeller kan kreve mye datakraft slik at det tar en del tid å kjøre simuleringene [46]. Men, i denne oppgaven vises hvordan det er mulig å gjennomføre brannsimuleringene i tunnel

med lengde 100- og 1000m. Det er fullt mulig å få tak i maskiner med større datakraft enn maskinene simuleringene i oppgaven er gjennomført på. Dermed er det i tillegg mulig å ha mer kompleks geometri. CFD og FDS som metode for å gjøre brannsimuleringer og beregne brannventilasjon i tunnel har vært god i oppgaven. Resultatene er oversiktlig og oppklarende. Det gir resultatet som er enkelt for mange å forstå, samtidig som det gir et oversiktlig diskusjonsgrunnlag og en god dokumentasjon.

Ved å bruke FDS kan man håndtere kompleks geometri og simuleringene gir mer nøyaktige resultater sammenlignet med håndberegninger og 2-sone modeller for brannsimulering. Brannsimuleringer i FDS kan for eksempel håndtere inn og utkjøringsramper medtatt i modell. Dette er en egenskap som er vanskelig for håndberegninger å medta i sine parametere. I brannsimuleringene kan det beregnes hvordan inn- og utkjøringsramper påvirker luftstrømningene og røykbevegelser ved brann i tunnel. Det er i tillegg enklere å få ut viktig informasjon fra FDS, samt at man får mer informasjon fra en brannsimulering enn ved håndberegning/2 sone modeller. Men, større nøyaktighet og bedre resultater har som regel en pris. Brannsimuleringer i FDS kan ta tid å gjennomføre på grunn av beregnings/simuleringstid. Resultatene er ikke garantert korrekte fordi resultatene er basert på en persons/gruppes modellering. Det er viktig å ha god innsikt i brannndynamikk, lang erfaring og opplæring i programvaren med kunnskap om styrker og svakheter til programmet, samt vise god kontroll og dokumentasjon av simuleringene. Dersom man kan ivareta programvarens styrker og svakheter på en tilstrekkelig god måte vil brannsimuleringene i FDS gi en styrket dokumentasjon for brannsikkerhet i tunnel, samt dimensjonering av brannventilasjon i tunneler.

Dimensjonering av brannventilasjon ved bruk av tredimensjonale brannsimuleringer i FDS/Pyrosim gir prosjekterende, brukeren og tunnelforvalter en oversiktlig forståelse av hva som er tilstrekkelig effekt på brannviftene. Det er dog noen begrensninger i programvaren som medfører usikkerhet for enkelte løsninger i mer avanserte tunneler enn analysert i oppgaven. På bakgrunn av gridoppdelingen når man modellerer er gjenstander, elementer og beregninger gjennomført i rettlinjert kubiske grid. Dette medfører blant annet at brannventilasjonsvifte må skyve luft og røyk vinkelrett, altså enten 0°, 90°, 180° eller 270°. Det er måter å gjennomføre forenklinger på, for eksempel å overstyre gravitasjonskraften i modellen. Men slike relativt avanserte muligheter kan gi en forståelsesbegrensning for bruker og/eller tunnelforvalter. Likevel anses programvaren å kunne gi en veldig god dokumentasjon for prosjekterende for å fastslå tilstrekkelig brannventilasjon. Gjerne som komplettering til eksisterende analysemetoder og analyseverktøy for å fastsette brannventilasjon.

5.2 Bruk av brannsimuleringer

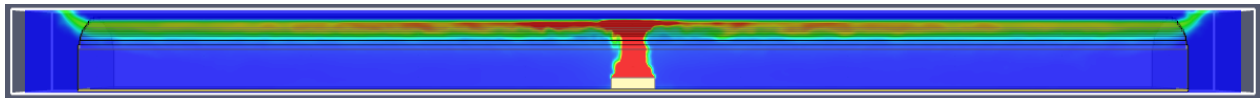
Resultater fra brannsimuleringer presentert i kapittel 4.1 diskuteres i dette kapitlet. Faktorer som brannstørrelse, effekt på brannvifter, vindpåvirkning er diskutert.

5.2.1 Tunneloppsett for brannsimuleringene

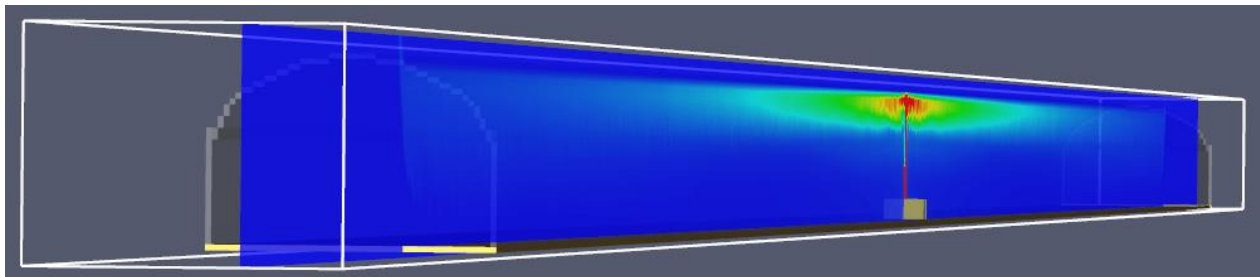
Brannsimuleringene er utført med 100- og 1000m lang tunnel med tunnelprofil T9,5 i henhold til Håndbok N500 [5]. Ifølge Håndboken dekker tunnelprofil T9,5 flest dimensjoneringsklasser for tunnel, variabler for årsgjennsnitttrafikk, og variable fartsgrenser. Dermed vurderes T9,5 å være tunnelprofil som er mest aktuell for tunneler og dermed dekker brannsimuleringer gjennomført i oppgaven mange tunnelprofiler som bygges i Norge. Ved større tunnelprofil vil luftvolumet i tunnelen øke som kan resultere i behov for ytterligere mer effekt på brannvifter for å tilrettelegge for slokkeinnsats og rømning oppstrøms. Ved mindre tunnelprofil vil luftvolumet i tunnelen reduseres slik at det kan bli behov for mindre effekt på brannvifter. Slike antakelser kan dokumenteres i form av ny korrigeret brannsimulering.

5.2.2 Resultater for brannsimuleringer uten brannventilasjon

Det er gjennomført brannsimuleringer av brann i bil, buss og lastebil i 100 m og 1000 m lang tunnel uten brannventilasjon for å vise utvikling av røyklagssjikt og røyklagsbevegelse i tunnelbrann. Forskjellen ved 100- og 1000 m lang tunnel er transportlengden for røykstrømningene før røyken når ut til det fri. Resultater fra brannsimuleringene viser at i lengre tunneler (1000 m lang tunnel) vil strømningshastigheten fra brann mot tunnelportal reduseres ytterligere sammenlignet med dersom tunnellengden er kortere (i denne oppgaven 100 m tunnel). Bakgrunnen for redusert strømningshastighet i lang tunnel er at røyken har oppdriftskrefter fra røyksøylen, og er varmere enn omgivelsesluften og vil derfor stige. Tunnelens tak medfører at røykstrømmen føres horisontalt istede for vertikalt. Røykstrømningens vertikale hindring medfører at strømmingen avtar som følge av tunnellengden. I tillegg vil temperaturen i røyksjiktet avta ettersom røyk føres gjennom tunnelløpet på grunn av kaldere omgivelsesluft. Figur 71 og Figur 72 viser hvordan temperaturen reduseres som følge av økt avstand fra brannen. Rød farge angir temperatur over 200 °C, mørkeblå farge angir temperatur 20 °C, øvrige farger angir temperatur 21-199°C.



Figur 71 - Temperatur i 100 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp

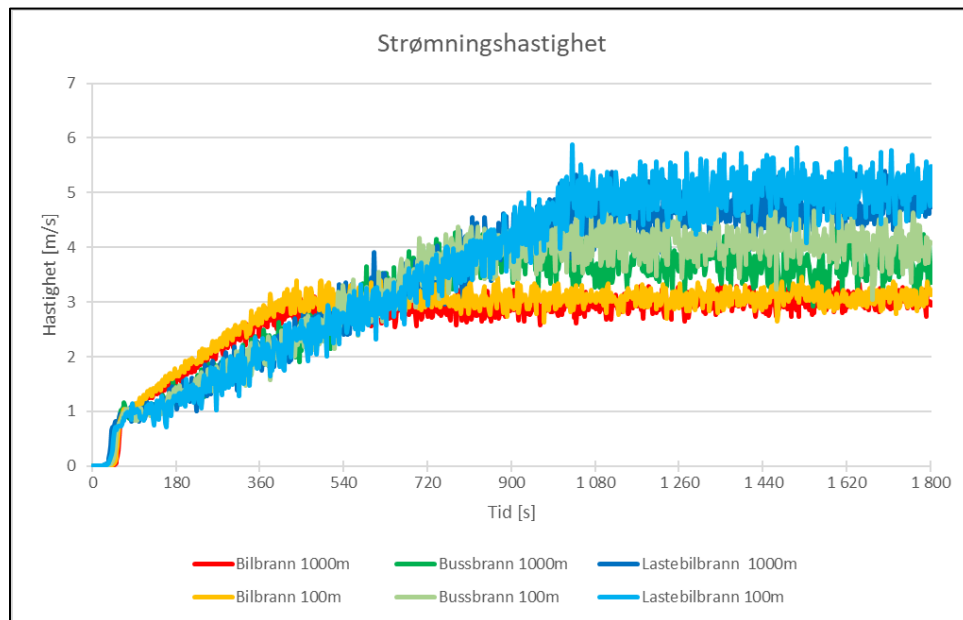


Figur 72 - Temperatur i 1000 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp

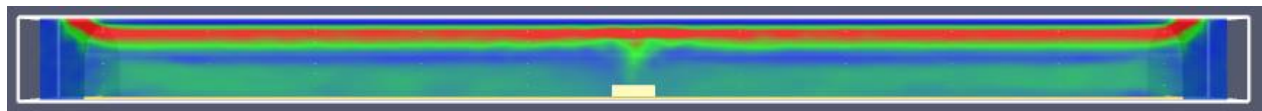
I tillegg til tunnellengden fremkommer det av resultatene i kapittel 4.1 at røyklagshøyden berøres av branneffekten i simuleringene. Ved branneffekt for bilbrann, 8 MW, i 100 m lang tunnel er røyklagshøyden høyere sammenlignet med brannsimulering for brann i buss (30 MW) og lastebil (50 MW). Bakgrunnen er at ved høyere branneffekt produseres større mengder brannprodukter som medfører et større røykvolum og vil dermed øke røyklagshøyden i tunnel, som vist i kapittel 4.1. Ved brannsimulering i 1000 m lang tunnel fremkommer det at hele tunnelløpet fylles med røyk av alle simulerte brannscenarier. Det vil si at etter hvert som en brann utvikler seg og fyller tunnelen med røyk vil det ikke være tilgjengelige rømningsveier for personer og ikke tilgjengelige innsatsveier for slokkepersonell.

Basert på resultater for brannsimuleringer av brann i bil, buss og lastebil uten ventilasjon oppstår det strømningshastighet henholdsvis 3-, 4- og 5 m/s ved brann i tunnel med lengde 100 m og 1000 m ifølge Graf 17. Dermed viser resultatene at strømningshastighetene er tilnærmet like i begge tunnellop, henholdsvis 20m og 200m nedstrøms for brannen i 100- og 1000 m lang tunnel. I Figur 73 vises det at strømningshastigheten langs tak er relativt lik gjennom hele tunnellopet for 100 m lang tunnel. I Figur 74 vises det at ved 1000 m lang tunnel vil strømningshastigheten avta når avstand fra brannen øker som

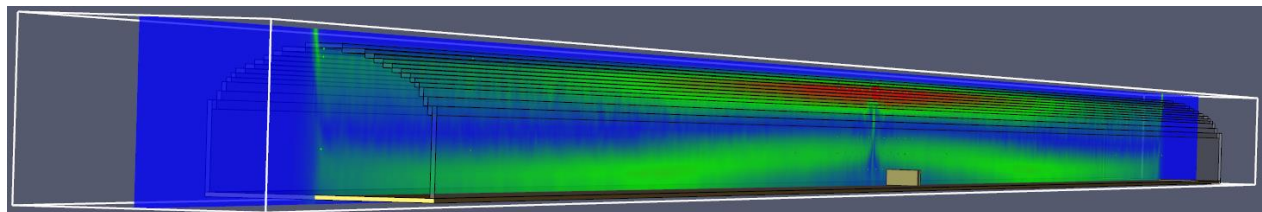
tidligere beskrevet i avsnittet ovenfor. Rød farge i figurene representerer høyere strømningshastighet, mørkeblå farge representerer lav eller ingen strømningshastighet.



Graf 17 - Strømningshastigheter ved brann i tunnel uten ventilasjon



Figur 73 - Røykstrømning ved bilbrann i 100m lang tunnel fremstilt med fargekoder



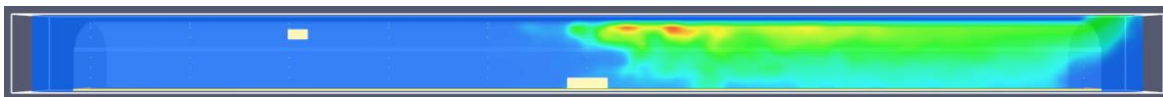
Figur 74 - Røykstrømning ved bilbrann i 1000m lang tunnel fremstilt med fargekoder

Brannsimuleringene uten brannventilasjon viser brannscenario som forventet med røykstrømning fra brann til tunneltak og ut til tunnelportalene. Ved brann i tunnel uten ventilasjon er branneffekt en dimensjonerende faktor for røykens strømningshastighet. Det er mulig å modellere vind som en faktor i brannsimuleringene. Det er ikke gjennomført som en del av arbeidet i denne oppgaven, men det vil for eksempel være vesentlig å kjøre brannsimuleringer med vindpåvirkning dersom man skal dimensjonere brannventilasjon i en bestemt tunnel. Da er det også mulig å undersøke normal vindretning og for eksempel gjennomsnittlig vindhastighet i område som forutsetninger for simuleringsmodell. Ved resultatene i Graf 17 er ikke vindpåvirkning medtatt, men i virkeligheten vil vind påvirke strømningshastigheten ved brann i tunnel. Medvind vil gi utslag i høyere strømningshastigheter og motvind vil resultere i redusert strømningshastighet. Alternativt kan vinden medføre at røykstrømning går i samme retning som vinden om vinden har nok kraft.

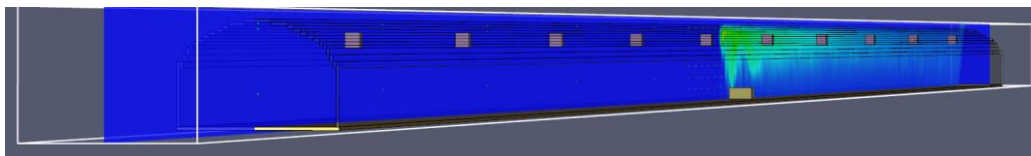
5.2.3 Diskusjon av resultater for brannsimuleringer med brannventilasjon

Det er gjennomført brannsimuleringer av brann i bil, buss og lastebil i 100 m og 1000 m lang tunnel med brannventilasjon for å vise utvikling av røyklagssjikt og røyklagsbevegelse i tunnelbrann. Modeller for 100m lang tunnel har én brannvifte plassert 30 m oppstrøms for brannen. Modeller for 1000 m lang tunnel har 10 brannvifter plassert med 100 meters mellomrom for å spre dem jevnt utover tunnelen, hvor brannviften oppstrøms for brannen også har avstand 30 til brannområde.

Forskjellen ved 100- og 1000 m lang tunnel er transportlengden for røykstrømningene før røyken når ut til det fri og antall brannvifter i tunnelen. Temperaturen i røyksjiktet avtar ettersom brannviftene tilfører mye luft som er kaldere enn brannrøyken. I tillegg føres røyken nedstrøms på grunn brannventilasjonen og møter kaldere omgivelsesluft. Figur 75 og Figur 76 viser hvordan temperaturen reduseres som følge av økt avstand fra brannen. Rød farge angir temperatur over 200 °C, mørkeblå farge angir temperatur 20 °C, øvrige farger angir temperatur 21-199°C.

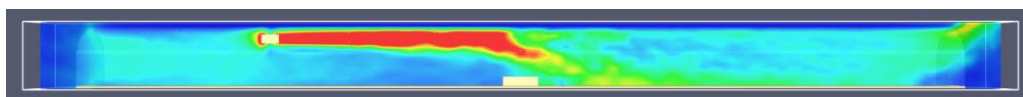


Figur 75 - Temperatur i 100 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp

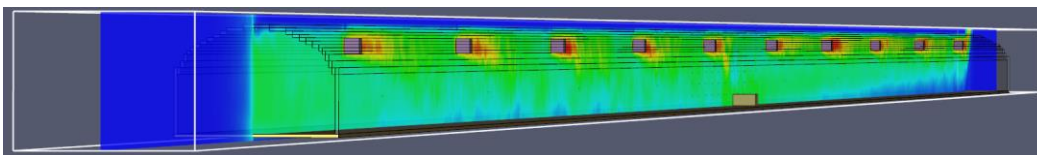


Figur 76 - Temperatur i 1000 m tunnel ved bilbrann etter 20 minutters brannforløp

I simuleringene med brannventilasjon er det i 100 m lang tunnel at strømningshastigheten avtar som følge av brannen som vist i Figur 77. Bakgrunnen for at strømningshastigheten reduseres sterk i brannområde er oppdriftskreftene som strømmer mot ventilasjonsretningen. Dermed oppstår det motstandskrefter til ventilasjonen som må ha kraft nok til å skyve røyk fra brannen nedstrøms for brannen. Nedstrøms for brannområde er strømningshastigheten mer diffus som følge av avstand fra brannvifte og strømningsmønsteret som oppstår når luft fra brannvifter møter oppdriftskreftene fra brannrøyken. I 1000 m lang tunnel er strømningshastigheten i tunnelen gjentakende på bakgrunn av de 10 brannviftene som vist i Figur 78. Ved brannområde forandres strømningsmønsteret som følge av at kreftene i røyksøylen påføres ventilasjonskrefter som skyver brannrøyken nedstrøms. Rød farge i Figur 77 og Figur 78 representerer høyere (7m/s) strømningshastighet, mørkeblå farge representerer lav eller ingen strømningshastighet.



Figur 77 - Røykstrømning ved bilbrann i 100 m lang tunnel fremstilt med fargekoder



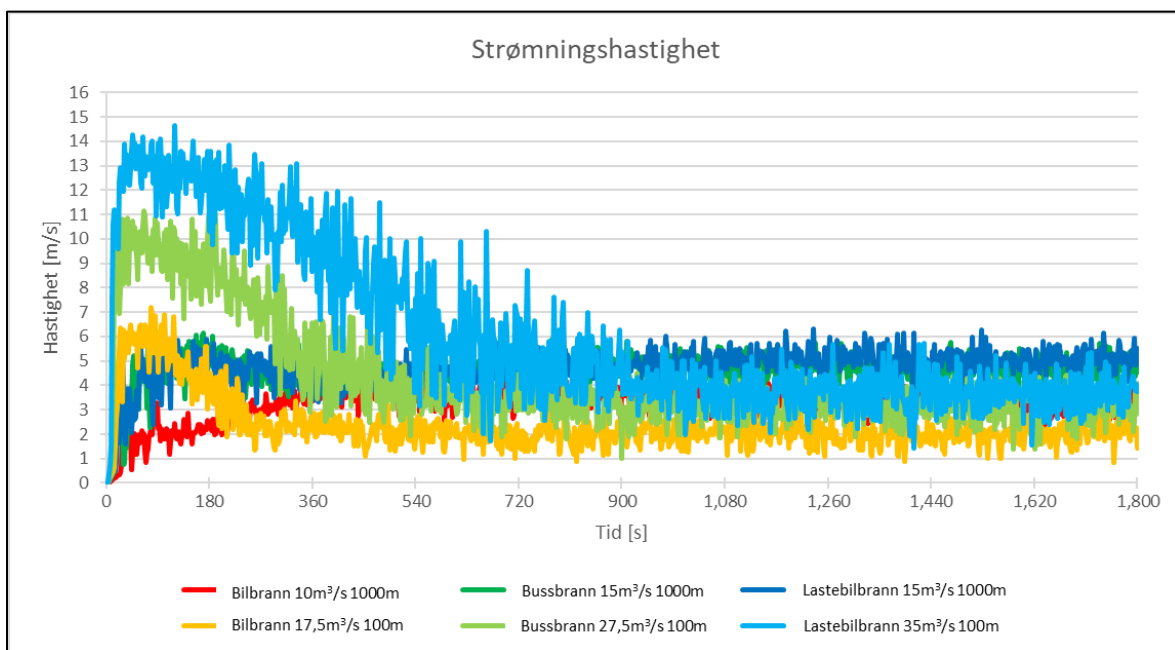
Figur 78 - Røykstrømning ved bilbrann i 1000 m lang tunnel fremstilt med fargekoder

Brannsimuleringene med brannventilasjon viser brannscenario som forventet med røykstrømning fra brann til tunneltak og ut tunnelportalen nedstrøms for brannen. Ved brann i tunnel med brannventilasjon er effekten på brannviftene den dimensjonerende faktor for røykens strømningshastighet. Det er mulig å modellere vind som en faktor i brannsimuleringene. Det er ikke gjennomført som en del av arbeidet i denne oppgaven, men det vil for eksempel være vesentlig å kjøre brannsimuleringer med vindpåvirkning dersom man skal dimensjonere brannventilasjon i en bestemt tunnel.

5.2.4 Nødvendig effekt på brannvifte som følge av branneffekten

Det er gjennomført flere brannsimuleringer med og uten brannventilasjon i tunnel for å fastsette hva som er tilstrekkelig ventilasjonseffekt for å unngå backlayering i tunnel med lengde 100 m og 1000 m. I tillegg ble invitasjon fra Statens Vegvesen på stedlig brannøvelse i Mælefjelltunnelen en svært god erfaring for å få innsyn i hvordan brann i tunnel og brannventilasjon fungerer i praksis.

Røykventilasjon i tunnel skal styre røyk fra brann i én bestemt retning, slik at brannvesenet kan gjennomføre innsats fra tunnelportal som holdes røykfri. Et uttrykk for dette er at *brannvesenet skal ha frisk luft i ryggen*. Det er utført flere brannsimuleringer for å fastsette hvilken brannvifteeffekt som er tilstrekkelig for å unngå backlayering for de forskjellige brannscenarioene. Basert på brannscenarioene gjennomført med og uten røykventilasjon, blir røykens strømningshastighet iht Graf 18. Målepunktet for strømningshastighet er plassert i 100 m- og 1000 m lang tunnel hhv. 20 m/200 m nedstrøms fra senter av brann. Merk at den tilstrekkelige brannviftekapasiteten for å unngå tilbakestrømming av røyk er medtatt ved navngiving i Graf 18.



Graf 18 - Strømningshastigheter ved brann i tunnel med brannventilasjon

Med røykventilasjon endres strømningshastighetene ved brannscenarioene sammenlignet med brannscenarioer uten ventilasjon. Ved brannscenarioer i 100 m tunnel øker strømningshastigheten kraftig i starten når røykviftene starter opp umiddelbart med stor effekt, henholdsvis 17,5-, 27,5- og 35 m³/s for bilbrann, bussbrann og lastebilbrann. Strømningshastigheten er maks i nesten samtlige scenarier ved tid

2 minutter (120 sekund). Etter 2 minutter reduseres strømningshastigheten i målepunktet på bakgrunn av økende branneffekt som skaper større strømningshastighet i røyksøylen og langs tunneltak. Dermed øker strømningshastighet langs tak både nedstrøms i ventilasjonsretning og oppstrøms mot ventilasjonsretning. Dette resulterer i redusert strømningshastighet for brannrøyken langs taket og brannventilasjonen. Det er en klar sammenheng at økt branneffekt gir større strømningshastigheter for røyk som medfører økt motstand på brannventilasjon. Dermed må det dimensjoneres større ventilasjonseffekt for større branner i tunneler. I tillegg må korte tunneler (her 100 m) ha større ventilasjonseffekt fordi få vifter ikke gir samme skyvekraft sammenlignet med flere vifter i en lengre tunneler (her 1000 m).

I 100 m tunnel må vifteeffekten økes for å unngå tilbakestrømming av røyk på bakgrunn av at det er kun én brannvifte, sammenlignet med resultater for 1000 m tunnel. Dermed må én brannvifte ha mer kraft for å kunne skyve luft og røykstrømningene fra brannen som strømmer opp til tunneltaket og skyves mot begge tunnelportalene. Disse resultatene er oppsiktsvekkende da beregningsligningene, presentert i rapportens kapittel 2.2, i utgangspunktet ikke inkluderer tunnellengden. Brannsimuleringene som er tredimensjonale hensyntar både tunnelhøyden og tunnelens tverrsnittareal i tillegg til tunnelens lengde. Disse faktorene påpeker at tredimensjonale brannsimuleringer kan medføre en større sannsynlighet for å fastslå en mer korrekt dimensjonering av brannventilasjon i tunnel. Påstanden støttes i håndboken «Environmental Fluid Dynamics» [54] kapittel 14.5 som beskriver dimensjonering av brannventilasjon i tunnel som en generell stor utfordring i dagens og fremtidens samfunn. Utfordringen blir tilsynelatende ikke mindre som følge av tidens utvikling av elbiler. Elbiler kan gjøre bygging av tunneler billigere som følge av utslippsreduksjon som igjen medfører mindre behov for ventilasjon i tunneler ifølge artikkel [55]. Utfordringen kan som følge av elbiler og mindre utslipp bli balansen mellom å ha tilstrekkelig brannventilasjon selv ved ønske om at bygging av tunnel skal bli billigere. Dette belyser viktigheten av å kunne dokumentere tilstrekkelig brannventilasjon i tunnel.

5.3 Sammenstilte resultater fra øvelse, håndberegninger og bannsimuleringer

Tabell 7 - Sammenstilte resultater fra håndberegninger, brannøvelse og brannsimuleringer for kritisk hastighet

Metode	Kritisk hastighet [m/s] basert på 8 MW bilbrann	Kritisk hastighet [m/s] basert på 30 MW bussbrann	Kritisk hastighet [m/s] basert på 50 MW lastebilbrann
NFPA 502	2,56	3,40	3,40
Critical Froude model	1,51	2,17	2,54
Ikke-dimensjonal metode	2,60	3,40	3,40
Parametrisk modell	3,33		
Brannøvelse i Mælefjelltunnelen	4,00 (Ca. 3 MW brann)		
Brannsimulering 100 m tunnallengde med brannventilasjon	2,10	3,20	3,90
Brannsimulering 1000 m tunnallengde med brannventilasjon	3,60	4,70	4,90

Basert på resultatene i Tabell 7 fremkommer det at ved bruk av brannsimuleringer i 1000 m lang tunnel med 10 brannvifter generelt resulterer i en høyere kritisk hastighet sammenlignet med håndberegningene og brannsimulering med 100 m lang tunnel og én brannvifte. Bakgrunnen er at det må være en større kraft som må til for å føre røyken horisontalt i lengre tunneler. Varm røyk strømmer vertikalt til det treffer en ytre påvirkning som for eksempel tunneltak, eller blir påvirket av en ytre kraft som for eksempel vind og/eller mekanisk ventilasjon. Når røyken treffer tunneltaket, og strømmer horisontalt, må brannviftene i tunnel bruke større energi og derav større kraft for å føre røyken i én bestemt retning når tunnallengden øker basert på brannsimuleringene. Tunnallengde er ikke en medtatt som en parameter i håndberegningene presentert i oppgaven, og kan dermed være en usikkerhet for resultatene til håndberegningene.

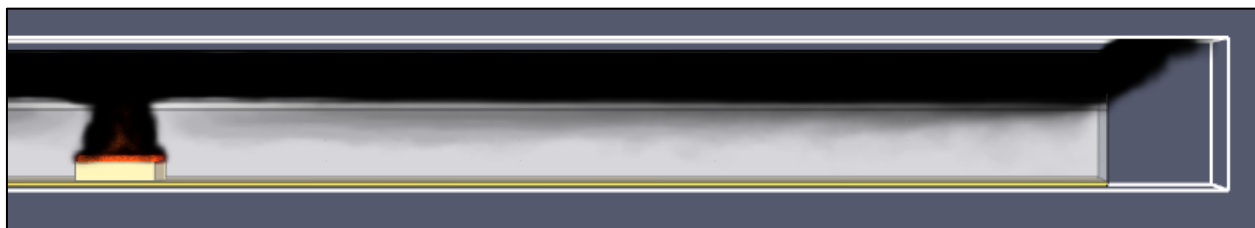
Brannsimulering med 100 m lang tunnel angir redusert kritisk hastighet sammenlignet med flere av håndberegningene for 8 MW- og 30 MW brann, mens for 50 MW brann så angir den en kritisk hastighet høyere enn samtlige håndberegninger. Bakgrunnen for dette er at håndberegningene i henhold til NFPA 502 [37] og ikke-dimensjonal metode [25], som ble vurdert mest konservative på grunn av nærmest tilnærming av samtlige metoder for håndberegninger i oppgaven og mest fortlørlige resultater i kapittel 2.2, oppnår en øvre verdi for hvor høy nødvendig kritisk hastighet kan bli. Dermed viser brannsimulering at kritisk hastighet blir påvirket i større grad av branneffekten sammenlignet med flere av håndberegningemetodene.

Ifølge NFPA 502 metoden blir kritisk hastighet konstant 3,4 m/s ved branneffekt mer enn 19 MW. Ifølge ikke dimensjonal metode blir kritisk hastighet konstant 3,4 m/s ved branneffekt mer enn 17,2 MW. Brannsimuleringer viser en trend der kritisk hastighet varierer som følge av branneffekt, basert på brannsimuleringer gjennomført med branneffekter inntil 50 MW. I håndbok N500 [5] tabell 9.3 fremkommer det at ved branneffekt 50- og 100 MW skal minimum lufthastighet være henholdsvis 3- og 4,5 m/s. Til sammenligning viser gjennomførte brannsimuleringer at ved branneffekt 50 MW så er kritisk lufthastighet 3,9 m/s for brann i 100m tunnel med én brannvifte og 4,9 m/s for brann i 1000 m lang tunnel med 10 brannvifter. Der håndberegninger til dels samsvarer med Håndbok N500 [5] så viser beregninger gjennomført med brannsimuleringer å ha samme trend i forholdet mellom branneffekt og kritisk hastighet. Det vil si at basert på Håndbok N500 og brannsimuleringer så avhenger krav om minimum lufthastighet til branneffekten, mens i håndberegningene så viser kritisk hastighet å være konstant ved branneffekt mer enn 17,2 MW og 19 MW for henholdsvis ikke dimensjonal metode og NFPA 502. Basert på dette vurderes brannsimuleringer å ha en bedre tilnærming for å beregne kritisk hastighet i tunnel satt opp mot håndberegningene presentert i oppgaven.

Tall for lufthastighet fra brannøvelsen i Mælefjelltunnelen er ikke nødvendigvis den kritiske hastigheten for brannen på ca. 3 MW. Personell ved øvelsen kjørte brannventilasjonen på maks effekt for å se hvilken lufthastighet som kunne oppnås. Det var i tillegg 3,3 m/s motvind for brannventilasjonen. Det er svært kostbart å gjennomføre brannforsøk og brannøvelser i tunnel, og krever mye planlegging i tillegg til en del personellbruk, samt at tunnelen blir stengt for trafikk dersom den normalt er i bruk. Dersom det skjer en feil/mangel/forglemmelse i forsøket/øvelsen, slik som ved brannøvelsen i Mælefjelltunnelen hvor én av temperaturmålerne ikke fungerte som forutsatt, er det utfordrende å rette opp feilen i ettertid eller gjenskape forsøket uten å gjennomføre forsøket helt på nytt. Det er dermed lite fleksibelt og veldig kostbart både økonomisk, med tanke på personell som må bruke tid, og at eventuell normal trafikkavvikling gjennom tunnel må føres via alternative ruter for å gjennomføre brannøvelser og brannforsøk i tunnel. Til sammenligning kan man i håndberegninger og brannsimuleringer justere inputverdier og kjøre beregning og/eller simulering på nytt ved feil. Det krever kun litt ekstra tid og arbeid som kan gjennomføres av en til to personer. På bakgrunn av dette vurderes brannsimuleringer mest fleksibelt, mindre kostbart og enklere å gjennomføre fordi det ikke går utover trafikkavvikling.

5.4 Erfaringer fra brannøvelse, samt forekomst av fenomenet røykpropp i simuleringer og ved brannøvelse

Røykpropp er et fenomen som er kjent for tunnelbransjen. I lengre tunneler med brannventilasjon dannes det en «røykpropp» som beveger seg fra brannen mot tunnelportal. I kortere tunnel dannes ikke røykpropp, men et sjikt under røyklaget hvor det er god sikt, som regel fri sikt helt ut av tunnelen. Dette fremkommer også i gjennomførte brannsimuleringer. I video fra brannsimuleringene kan man se at det er god sikt under røyksjiktet i hele den korte tunnelen ved brann i bil, vist ved Figur 79.



Figur 79 - Fri sikt under røyklag ved bilbrann i 100 m tunnel. Utsnittet er tatt 15 minutter etter brannstart.

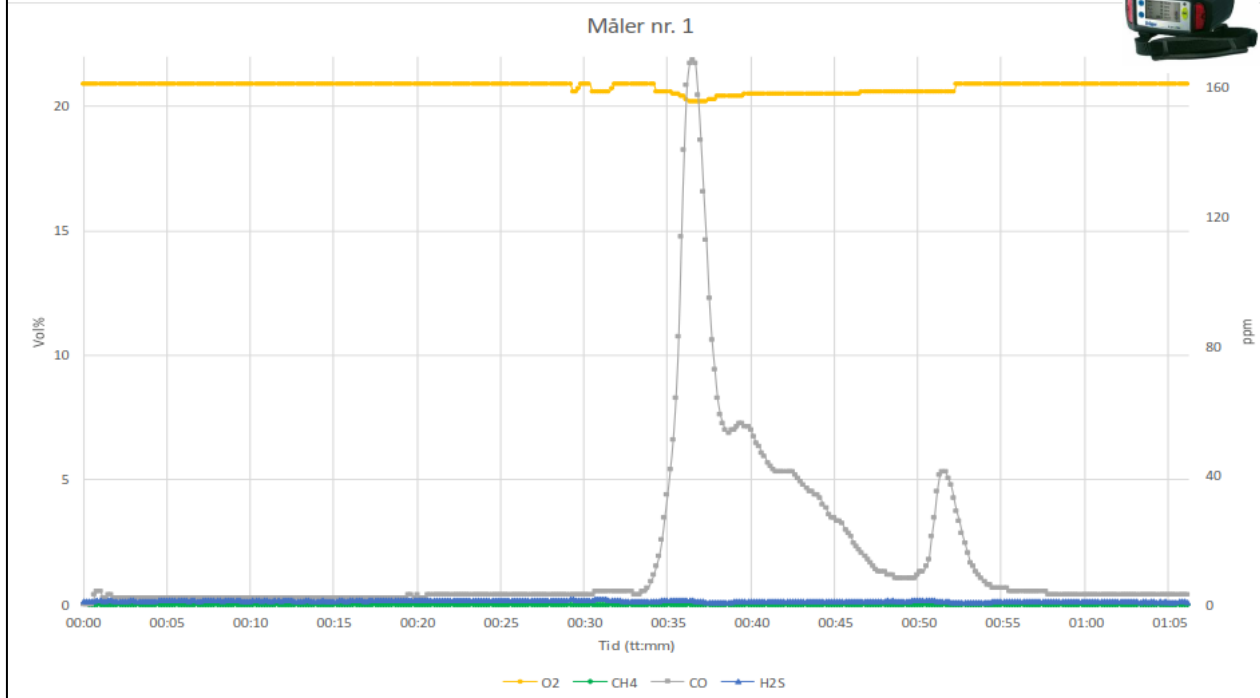
Fri sikt under røyklaget fremkommer i Figur 79 for 100 m tunnel. Fri sikt i 100 m tunnel etter 20 minutter fremkommer av Figur 36. I lengre tunnel, for eksempel tunnel med lengde 1000 m, dannes fenomenet røykpropp vist i Figur 80.



Figur 80 - Røykpropp som dannes ved brann i lengre tunneler. Utsnittet er tatt 15 minutter etter brannstart.

På grunn av tunnellengden og brannviftene blir hele tunnelverrsnittet dekket av røyk før røyksjiktet når tunnelportalen. Dette fremkommer i tillegg av Figur 51 som er 20 minutter etter brannstart. Figurene viser at det oppstår en røykpropp i fronten av røyksjiktet. Mer informasjon om dette kom frem ved deltakelse på «Fagdag tunnelsikkerhet» arrangert av Statens Vegvesen 12. desember 2019 ved Scandic Sørlandsparken i Kristiansand. Arrangementet var hovedsakelig for Statens Vegvesen og nødetatene, men andre aktører kunne også stille. Programmet for dagen er vedlagt rapporten i Vedlegg F. Senioringeniør med erfaringer fra omkring 50 fullskala tunnelbranner omtalte røykproppfenomenet. Han har gjennomført målinger ved fullskalaforsøk som dokumenterer røykproppfenomenet ved at den inneholder høy volumprosent og ppm av karbonmonoksid (CO). I Figur 81 er en skissert fremstilling av Kiwa's resultater for CO verdier ved brannøvelse i Mastrafjordtunnelen med 18 MW brann.

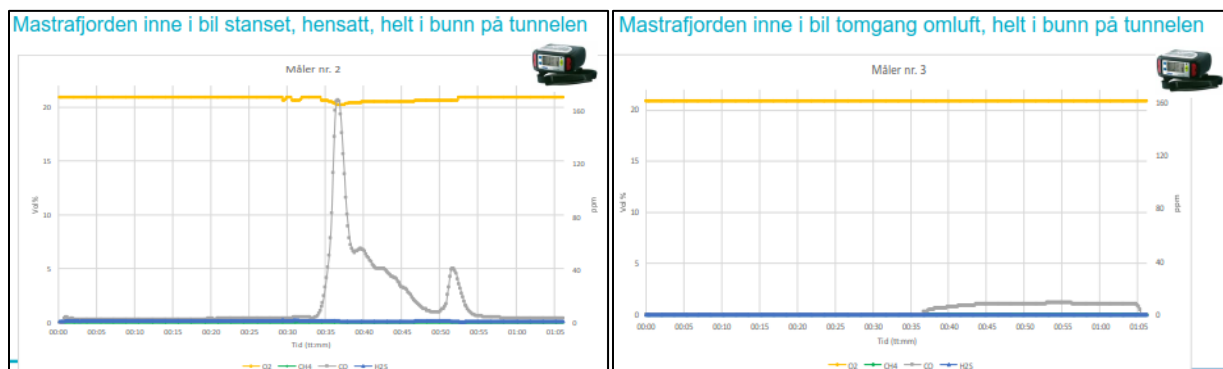
Mastrafjorden utenfor biler, helt i bunn på tunnelen



Figur 81 - CO-måling gjennomført av Kiwa Norge ved fullskatetest i Mastrafjordtunnelen [53]

Som det fremkommer av Figur 81 når røykproppen CO-måleren (av typen Dräger Mutiwarn X-am 7000) etter ca. 35 minutter. Brannen er plassert ca. 1,5 km i forkant av CO-måleren. Det er interessant å se hvordan røykproppen inneholder store mengder CO, og at røyken som strømmer bak røykproppen har sterkt redusert innhold av CO. Til informasjon så er 170 ppm CO i liten grad skadelig for mennesker ved kort eksponering. Normalt må man en person eksponeres for 200ppm i 2-3 timer før det resulterer i hodepine, tretthet, kvalme og/eller svimmelhet [56].

Et annen interessant funn i Kiwa's brannøvelse er forskjellen på målt CO inne i bil som står avslått, og inne i bil som står på tomgang med omluft, vist i Figur 82.

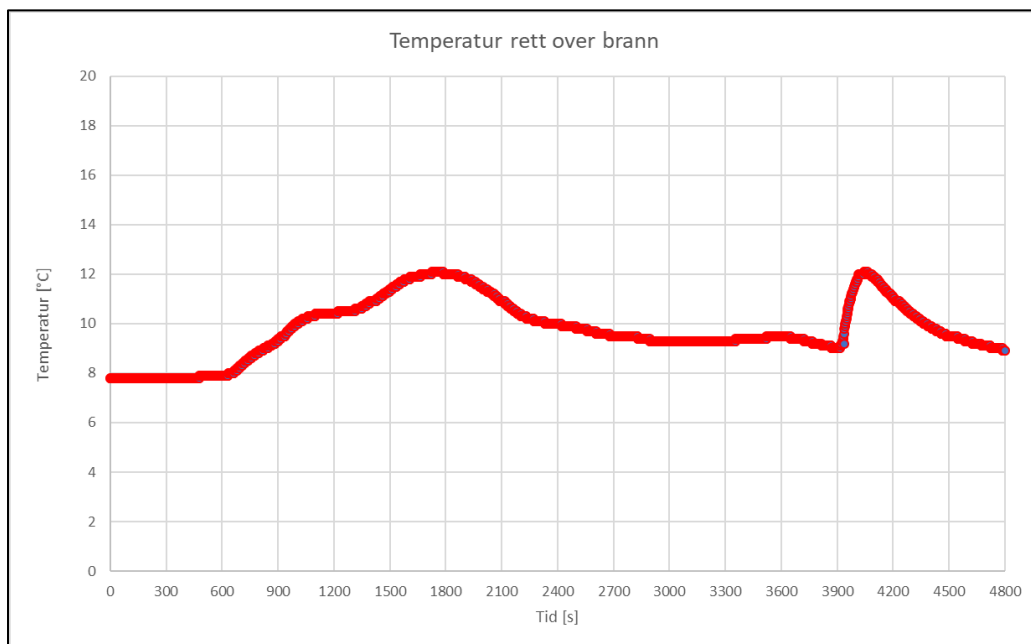


Figur 82 - Målerresultater fra Kiwa Norge av CO i Mastrafjordtunnelen ved brannøvelse, vist med grå graf [53]

Grå graf i Figur 82 viser den store forskjellen på CO verdier i bil som er avslått og bil som står på tomgang med omluft på. Bilene er plassert i bunnen/senter av Mastrafjordtunnelen omtrent på samme sted som

målepunkt for CO-måling presentert i Figur 81. Dette er oppsiktsvekkende, men må ytterligere testes og dokumenteres slik Kiwa spesifiserer. Dette er ikke en stor faktor for denne rapporten, men det anses som et interessant element å nevne i med tanke brannventilasjon ved brann i tunneler.

I brannøvelsen gjennomført i Mælefjelltunnelen kan man se røykproppen ved temperaturøkning en stund ut i brannøvelsen. I utgangspunktet ble røyken sendt mot tunnelportal Notodden/Hjartal, men etter hvert i brannforløpet snudde Statens Vegvesen ventilasjonsretningen til å gå mot Seljord/Århus. Dermed ble det etablert røykpropp i retning Seljord som gjør utslag på temperaturmåler ca. 65 minutter (3900 sekund) etter brannstart. Utslaget fremkommer av Graf 19 for temperaturmåler plassert rett over brannen.



Graf 19 - Temperaturmåler rett over brann i brannøvelse i Mælefjelltunnelen

Dermed er det dokumentert at brannviftene i Mælefjelltunnelen klarte å snu ventilasjonsretningen og føre røyken fra brannen til motsatt tunnelportal. Det finnes eksempel på at røykventilasjonen i tunnel ikke har vært tilstrekkelig på grunn av vind og termiske forhold ifølge avisen Firda [57]. Der opplevde brannvesenet at en røykpropp passerte dem mens de gjorde innsats i Naustdalstunnelen.

Brannventilasjonen skulle i utgangspunktet føre all røyk mot Eikefjord som er nord for tunnelen fordi brannvesenet fra Naustdal/Førde i sør skulle ha frisk luft i ryggen. Men på grunn av vind og termiske forhold endte det med at røykproppen gikk mot Naustdal og passerte brannkonstablene som var i innsats. Brannvesenets erfaring medførte at de ønsket en tilgjengelig mobil røykvifte for ekstra sikring i tilsvarende situasjoner. Dette er eksempel på at det er viktig å gjennomføre en grundig risikoanalyse med de tilgjengelige hjelpemidler og verktøy man har for å dimensjonere brannventilasjon i tunnel.

Røykpropper og røyktransport medfører generelt at man må ta høyde for økt brannventilasjonseffekt ved brann i tunnel. I tunnelen med lengde 1000 m brukt i brannsimuleringene er innholdet av luft beregnet til $66\,620\text{ m}^3$ basert på at tversnitsarealet for T9,5 tunnelprofil er $66,62\text{ m}^2$ ifølge Håndbok N500 [5]. Illustrert vitenskap angir at atmosfærisk luft veier 1,3 kg per kubikkmeter [58]. Dermed er luftens vekt i tunnel med lengde 1000 m og tunnelprofil T9,5 anslagsvis 86,6 tonn. Brannventilasjon i

tunnel skal dermed styre luftmengden som krever stor kraft i en gitt retning. Samtidig vil skyvekraften til brannventilasjon og luft i tunnel skape en luftstrømning som overstyrer kreftene til brannens røyksøyle og røykstrømning ved tunneltak. Dermed klarer brannventilasjonen å skyve brannrøyken og den eventuelle røykproppen mot én bestemt tunnelportal ved langsgående ventilasjon. Gjennomførte brannsimuleringene viser et overbevisende bilde og video av hvordan man kan dimensjonere brannventilasjonen i tunnel for å sikre at brannrøyken skyves mot én bestemt tunnelportal.

6 Konklusjon

Ventilasjon i tunnel som i utgangspunktet var for å håndtere avfallsgasser og støv er i dag en betydelig faktor for å kontrollere forholdene for brannvesenets innsats og rømning ved brann i tunnel. Frem til nå er ligninger i sammenheng med erfaringer fra brannforsøk og brannøvelser gjennomført for å dimensjonere brannventilasjon i tunnel. I oppgaven er det undersøkt hvordan brannsimuleringer fungerer til å simulere brannforløp i tunnel med og uten brannventilasjon. Det er gjennomført mer enn 40 brannsimuleringer, og totalt 33 simuleringer for å fastsette tilstrekkelig brannventilasjon ved bilbrann, bussbrann og lastebilbrann i 100 m og 1000 m lang tunnel.

Opgaven undersøker hvordan brannsimuleringer i FDS kan brukes for å dimensjonere brannventilasjon i tunnel for å ivareta brannvesenets innsatsmuligheter. Resultatene viser at økt branneffekt gir behov for økt brannventilasjon for å føre brannrøyken i bestemt retning. Brannsimuleringene viser i tillegg at flere brannvifter i lengre tunnel kan ha redusert ventilasjonseffekt sammenlignet med færre brannvifter i kortere tunnel. Videre viser resultatene at lengre tunnellop har høyere kritisk hastighet sammenlignet med kortere tunneler.

Brannsimuleringer av tunnel har enkelte begrensninger som følge av at modellene, gridoppdeling og meshoppdeling er kubiske. Men oppgaven viser at simuleringer gir oversiktlige, mer informasjon og gir en større nøyaktighet sammenlignet med ligninger som er enkle å ta i bruk. I tillegg gir håndberegningene grovere resultater og er mindre fleksible. Ved å bruke tredimensjonale brannsimuleringer kan dimensjoneringen av ventilasjonen og tunneldokumentasjonen styrkes i fremtiden. Som oppgaven beskriver, vil brannsimuleringene medføre en større sannsynlighet for å dimensjonere brannventilasjon riktig i tunnel. Brannsimuleringer gir mer fleksibilitet og mulighet til å dimensjonere røykventilasjon i tunneler med mer komplekse geometrier, er mindre kostbart enn brannforsøk å gjennomføre, og gir et bedre diskusjonsgrunnlag og dokumentasjon av tilstrekkelig brann- og røykventilasjon. Det er selvfølgelig en forutsetning at den som utfører arbeidet tar begrensninger i betraktning, og har tilstrekkelig erfaring med brannodynamikk og programvare.

Brannøvelsen i mælefjelltunnelen gir et godt innblikk i hvordan brannventilasjon fungerer i praksis. Erfaringer styrker oppgavens formål med å vise hvordan brannventilasjon kan styre røyk i tunnel. Vedlikehold og testing en viktig faktor for å opprettholde sikkerhetsnivået som er fastslått i planleggingsfasen av tunnelen. Freifjordtunnelen fra 1992, som på den tiden var verdens lengste undersjøiske veitunnel, måtte etter 15 år bytte ut flere brannventilasjonsvifter i tunnel på grunn av at de eksisterende brannviftene sviktet [59].

På bakgrunn av gjennomført oppgave vurderes brannsimuleringer å gi en fleksibel og styrket dokumentasjon for å fastslå tilstrekkelig brannventilasjon i tunneler, slik at brannvesenets innsats ivaretas ved å unngå kritisk backlayering.

7 Referanser

- [1] NIST, «Fire Dynamics Simulator User's Guide 6,» NIST, 2012.
- [2] Statens Vegvesen, «Beredskapsplan tunnel - Del 2 Spesiell del for Mælefjelltunnelen,» Region Sør - vegavdeling Telemark, 2019-12-08.
- [3] A. Haack, «Current safety issues in traffic tunnels,» Tunnelling and Underground Space Technology, Til info; Se side 117-127, 2002.
- [4] Finn Harald Amundsen, «De fem store tunnelbrannene i Norge,» Statens Vegvesen, 2017.
- [5] Statens vegvesen, «Håndbok N500,» 2016.
- [6] Anlegg og transport, «20 tunnelbranner i året,» 12 08 2015. [Internett]. Available: <https://www.at.no/artikler/20-tunnelbranner-i-aret/419594>. [Funnet 2019].
- [7] P. Raaum, «Sikkerhet i tunneler,» 07 05 2017. [Internett]. Available: <https://www.motor.no/artikler/2017/mai/dokumentar-tunnelbrann/>. [Funnet 2019].
- [8] SINTEF, «Hvor lett er selvredning i norske veitunneler?,» 15 August 2015. [Internett]. Available: <https://www.sintef.no/siste-nytt/hvor-lett-er-selvredning-i-norske-veitunneler/>. [Funnet 25 09 2019].
- [9] DSB, «brannstatistikk.no,» Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, 06 05 2020. [Internett]. Available: <https://www.brannstatistikk.no/brus-ui/>. [Funnet 06 05 2020].
- [10] LOVDATA, «Tunnelsikkerhetsforskriften,» Samferdselsdepartementet, 13 12 2016. [Internett]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2007-05-15-517>. [Funnet 2019].
- [11] Statens Vegvesen, «Etterlyser nye ideer om tunnelredning,» Statens Vegvesen, 21 02 2018. [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/etterlyser-nye-ideer-om-tunnel-redning>. [Funnet 18 02 2020].
- [12] Statens Vegvesen, «Lange bratte tunneler - styring av brannventilasjon nr 575,» 2016.
- [13] A. Beard og R. Carvel, The Handbook of Tunnel Fire Safety, London: Thomas Telford, 2005.
- [14] Justis- og beredskapsdepartementet, «Lov om vern mot brann, eksplosjon og ulykker med farlig stoff og om brannvesenets redningsoppgaver (Brann- og eksplosjonsvernloven). Sist endret LOV-2009-06-19-103,» 2002.
- [15] Samferdselsdepartementet, «Lov om Vegar,» LOVDATA, 2020.

- [16] Kommunal- og moderniseringsdepartementet, «Lov om planlegging og byggesaksbehandling,» 2017.
- [17] Samferdselsdepartementet, «Tunnelsikkerhetsdirektivet,» 21 08 2009. [Internett]. Available: <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2008/okt/tunnelsikkerhetsdirektivet/id2431251/>. [Funnet 07 01 2021].
- [18] EU, «Minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network,» 2004.
- [19] Statens Vegvesen, «Etatsprogrammet Moderne vegtunneler,» Vegdirektoratet, 2012.
- [20] Statens vegvesen, «Nytt EU direktiv for økt tunnelsikkerhet,» 02 05 2003. [Internett]. Available: <https://www.vegvesen.no/fag/publikasjoner/handboker/nyheter/nytt-eu-direktiv-for-%C3%B8kt-tunnelsikkerhet>. [Funnet 2019].
- [21] B. O. AMUNDSEN, «Minst 135 norske tunneler oppfyller ikke sikkerhetskrav,» 30 12 2019. [Internett]. Available: <https://www.veier24.no/artikler/na-vil-eu-se-pa-saken-minst-135-norske-tunneler-oppfyller-ikke-sikkerhetskrav/481941>. [Funnet 12 12 2020].
- [22] Direktoratet for samfunnsikkerhet, «Retningslinjer for saksbehandling og ivaretagelse av brann- og elsikkerhet i vegtunneler,» 2011. [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/andre-publikasjoner/retningslinjer-for-saksbehandling-og-ivaretagelse-av-brann--og-elsikkerhet-i-vegtunneler/#regelverk>. [Funnet 10 09 2019].
- [23] Samferdselsdepartementet, «Forskrift om minimum sikkerhetskrav til visse vegtunneler (tunnelsikkerhetsforskriften),» Lovdata, 2007.
- [24] Justis- og beredskapsdepartementet, «Brann- og eksplosjonsvernloven,» Justis- og beredskapsdepartementet, 01.11.2019.
- [25] H. Ingason, Y. Z. Li og A. Lönnemark, Tunnel Fire Dynamics, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2014.
- [26] nautilusinfotech, «<https://www.nautilusinfotech.com/>,» nautilusinfotech, [Internett]. Available: https://www.nautilusinfotech.com/applications_42.htm. [Funnet 08 11 2019].
- [27] Brann og redning (BRE), «Veiledning om røyk- og kjemikaliedykking,» Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, 2005.
- [28] Statens vegvesen, «Etatsprogrammet Moderne vegtunneler 2008-2011,» August 2012. [Internett]. Available: <https://vegvesen.brage.unit.no/vegvesen-xmlui/handle/11250/2633045>. [Funnet 2019].
- [29] H. Roth, «Norwegian tunnel safety cluster,» i *Brannsikkerhetskonferansen 2019*, Stavanger, 2019.
- [30] NRK, «Flaks at ingen har omkommet,» 12 August 2015. [Internett]. Available: https://www.nrk.no/trondelag/_-flaks-at-ingen-har-omkommet-1.12496913. [Funnet 25 09 2019].

- [31] NRK, «Vogntog tok fyr i Oslofjordtunnelen,» NRK, 29 Mars 2011. [Internett]. Available: www.nrk.no/osloogviken/brann-i-oslofjordtunnelen-1.7570773. [Funnet 21 04 2020].
- [32] VG, «Her reddes de ut fra røykinfernoet,» Verdens gang, 23 06 2011. [Internett]. Available: <https://www.vg.no/nyheter/innenriks/i/XP8Pb/her-reddes-de-ut-fra-roeykinfernoet>. [Funnet 21 04 2020].
- [33] Promat, «Fire curves,» Promat, [Internett]. Available: <https://www.promat-tunnel.com/en/advices/fire-protection/fire%20curves>. [Funnet 21 12 2020].
- [34] Statens Vegvesen, «Risikoanalyse Rv 168 Røatunnelen,» Statens vegviser, Lysaker, 2005.
- [35] D. Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, Edinburgh : John Wiley & Sons, 2011.
- [36] R. Carvel, A. Beard , P. Jowitt og . D. Drys, «The Influence of Tunnel Geometry and Ventilation on the Heat Release Rate of a Fire,» 2004. [Internett]. Available: <https://link.springer.com/article/10.1023/B:FIRE.0000003313.97677.c5>. [Funnet 2019].
- [37] NFPA, «NFPA 502 - Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways,» NFPA, 2020.
- [38] B. Karlsson og J. G. Quintiere, Enclosure Fire Dynamics, Taylor & Francis Inc, 1999.
- [39] O. Vauquelin, «Parametrical study of the back flow occurrence in case of abouyant release into a rectangular channel,» ELSEVIER, 2005.
- [40] M. J. Hurley, SFPE Handbook of fire protection engineering, fifth edition, New Work: SPRINGER, 2016.
- [41] NIST, «Fire dynamics simulator technical reference guide,» National Institute of Standards and Technology Special Publication 1018, 2006.
- [42] NIST, «FDS and Smokeview,» 17 November 2017. [Internett]. Available: <https://www.nist.gov/services-resources/software/fds-and-smokeview>. [Funnet Oktober 2019].
- [43] J. Ondrus, Brandforløp, Lund, Sverige: Lund Universitet, 1990.
- [44] P. C. R. Collier, «Car Parks - Fires Involving Modern Cars and Stacking Systems,» BRANZ, 2011.
- [45] Best Practice Gruppen, «CFD Best Practice,» 2019.
- [46] Byggforskserien, «Tilgjengelig rømningstid ved brann,» SINTEF, 2016, Mai.
- [47] Boverket, «Boverkets allmänna råd om analytisk dimensionering av byggnaders brandskydd 3,» Ändrat allmänt råd, 2013.
- [48] SP Technical Research Institute of Sweden, «Influence of fire suppression on combustion products in tunnel fires,» Borås, 2015.

- [49] G. Cox og K. Sumar, «Modeling enclosure Fires Using CFD,» i *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rd edition*, Society of Fire Protection Engineers, 2002, pp. 3-205 til 3-207.
- [50] F. Nystedt og H. Frantzich, «Kvalitetsmanual för brandtekniska analyser vid svenska kärntekniska anläggningar,» Lund Universitet, Lund, Sverige, 2011.
- [51] Systemair, «Sluttdokumentasjon / FDV – Tunnelventilatorer E134 Mælefjelltunnelen,» Systemair AS, Sandnes, 2018.
- [52] European committee for standardization, «Smoke and heat control systems - Part 3: Specification for powered smoke and heat control ventilators (Fans),» European committee for standardization, Brussel, 2015.
- [53] P. A. Lindvik, Forfatter, *Norske Tunneler*. [Performance]. Kiwa Teknologisk institutt, 2019.
- [54] H. Fernando, *Handbook of environmental fluid dynamics*, USA: CRC Press, 2012.
- [55] ABCnyheter, «Flere elbiler kan gjøre bygging av tunneler billigere,» p. 1, 10 02 2021.
- [56] HOUSEGARD, «Brannvarslere,» HOUSEGARD, 26 04 2019. [Internett]. Available: <https://www.housegard.no/varslere.html?cat=16>. [Funnet 05 04 2020].
- [57] S. Løseth, «Møtte røykpropp i tunnel,» Firda, 05 04 2013. [Internett]. Available: <https://www.firda.no/nyhende/motte-roykpropp-i-tunnel/s/1-51-6588481>. [Funnet 04 02 2020].
- [58] Illustrert vitenskap, «Hvor mye veier luften?,» Illustrert vitenskap, 16 12 2016. [Internett]. Available: <https://illvit.no/fysikk/hvor-mye-veier-luften>. [Funnet 04 05 2020].
- [59] Anleggsmagasinet, «Fra Krifast til StorKrifast,» anleggsmagasinet, 03 11 2010. [Internett]. Available: <https://www.tungt.no/anleggsmagasinet/fra-krifast-til-storkrifast-2059633>. [Funnet 03 05 2020].
- [60] Norsk Standard, «ISO 834-10:2014,» Standard.no, 2014.
- [61] KBT, «KBT.no,» [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=passiv%20brannbeskyttelse>. [Funnet 01 04 2019].
- [62] National bureau of standards. U.S, «NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation,» 1988.
- [63] NIST, «Fire Dynamics Simulator,» U.S. Department of Commerce, 2013.
- [64] Standard Norge, «Standard.no,» Standard Norge, 2014.
- [65] Brannmannen, «Tunnelmareritt,» Oktober 2012. [Internett]. Available: <http://www.brannmannen.no/brann/tunnelmareritt/>. [Funnet 24 09 2019].
- [66] Revolv, "Baku Metro fire 1995," [Online]. Available: <https://www.revolv.com/page/1995-Baku-Metro-fire>. [Accessed 28 04 2019].

- [67] Thunderhead Engineering, «Pathfinder features,» [Internett]. Available: <https://www.thunderheadeng.com/pathfinder/pathfinder-features/>. [Funnet 10 2019].
- [68] A. Høye, «Utforming av tunneler,» 2016. [Internett]. Available: <https://tsh.toi.no/doc635.htm>. [Funnet 2019].

Vedlegg A

Kritisk hastighet basert på NFPA 502 – 2020

Annex D Critical Velocity Calculations

This annex is not a part of the requirements of this NFPA document but is included for informational purposes only.

D.1 General. The critical velocity can be calculated according to Equation D.1:

$$\frac{u}{\sqrt{gH}} = \begin{cases} 0.81 \left(\frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{3/2}} \right)^{1/3} \left(\frac{H}{W} \right)^{1/2} e^{\left(\frac{L_b}{18.5H} \right)}, & \frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{3/2}} \leq 0.15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4} \\ 0.43 e^{\left(\frac{L_b}{18.5H} \right)}, & \frac{\dot{Q}}{\rho_a C_p T_a g^{1/2} H^{3/2}} > 0.15 \left(\frac{H}{W} \right)^{-1/4} \end{cases} \quad [\text{D.1}]$$

where:

- ρ_a = ambient density (kg/m³)
- C_p = heat capacity (kJ/kg K)
- g = gravitational acceleration (m/sec²)
- H = tunnel height (m)
- L_b = backlayering length (m), where $L_b = 0$ defines critical velocity (no backlayering of smoke), and $L_b \neq 0$ defines confinement velocity (velocity corresponding to the controlled backlayering length)
- T_a = ambient gas temperature (K)
- u = longitudinal velocity (m/sec)
- \dot{Q} = total heat release rate (HRR) (kW)
- W = tunnel width (m)

Utsnitt fra NFPA 502, versjon 2020

Beregning for bilbrann – 8 MW branneffekt:

Critical Velocity, Ref: NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2020 Edition, Annex D Critical Velocity Calculations	
Note: Assumed air density is dry air at atmospheric pressure.	
User Input Data	
tunnel height (H) =	6,4 m
tunnel width (W) =	9,6 m
total heat release rate (Q) =	8000 kW
roadway grade (%) =	0 %
ambient gas temperature (C) =	20 °C
ambient density (ρ_a) =	1,2 kg/m ³
ambient heat capacity (C_p) =	1 kJ/kg K
backlayering length (zero->critical velocity) (L_b) =	0 m
gravitational acceleration (g) =	9,81 m/sec ²
Calculated Data	
ambient gas temperature (T) =	293,15 K
term 1 =	0,070070
term 2 =	0,166002
grade factor (K_g) =	1,0000
longitudinal velocity (u)* =	2,56 m/sec
longitudinal velocity including grade factor (u_f) =	2,56 m/sec

This software is provided as is, and no claim is made as to the accuracy or suitability of this software. The user takes full and exclusive responsibility for using this software.

Please report any errors to: support@thunderheadeng.com

To help, here is the value calculated for dry air at atmospheric pressure based on the specified input temperature. You can input this value as User Input Data.

Dens at ambient T = 1,203959 kg/m³

<https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/resources/>

Beregning for bussbrann – 30 MW branneffekt:

Critical Velocity, Ref: NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2020 Edition, Annex D Critical Velocity Calculations	
Note: Assumed air density is dry air at atmospheric pressure.	
User Input Data	
tunnel height (H) =	6,4 m
tunnel width (W) =	9,6 m
total heat release rate (Q) =	30000 kW
roadway grade (%) =	0 %
ambient gas temperature (C) =	20 °C
ambient density (ρ_a) =	1,2 kg/m ³
ambient heat capacity (C_p) =	1 kJ/kg K
backlayering length (zero->critical velocity) (L_b) =	0 m
gravitational acceleration (g) =	9,81 m/sec ²
Calculated Data	
ambient gas temperature (T) =	293,15 K
term 1 =	0,262764
term 2 =	0,166002
grade factor (K_g) =	1,0000
longitudinal velocity (u)* =	3,41 m/sec
longitudinal velocity including grade factor (u_i) =	3,41 m/sec

This software is provided as is, and no claim is made as to the accuracy or suitability of this software. The user takes full and exclusive responsibility for using this software.

Please report any errors to: support@thunderheadeng.com

To help, here is the value calculated for dry air at atmospheric pressure based on the specified input temperature. You can input this value as User Input Data.

Dens at ambient T = 1,203959 kg/m³

<https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/resources/>

Beregning for lastebilbrann – 50 MW branneffekt:

Critical Velocity, Ref: NFPA 502, Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2020 Edition, Annex D Critical Velocity Calculations	
Note: Assumed air density is dry air at atmospheric pressure.	
User Input Data	
tunnel height (H) =	6,4 m
tunnel width (W) =	9,6 m
total heat release rate (Q) =	50000 kW
roadway grade (%) =	0 %
ambient gas temperature (C) =	20 °C
ambient density (ρ_a) =	1,2 kg/m ³
ambient heat capacity (C_p) =	1 kJ/kg K
backlayering length (zero->critical velocity) (L_b) =	0 m
gravitational acceleration (g) =	9,81 m/sec ²
Calculated Data	
ambient gas temperature (T) =	293,15 K
term 1 =	0,437940
term 2 =	0,166002
grade factor (K_g) =	1,0000
longitudinal velocity (u)* =	3,41 m/sec
longitudinal velocity including grade factor (u_i) =	3,41 m/sec

This software is provided as is, and no claim is made as to the accuracy or suitability of this software. The user takes full and exclusive responsibility for using this software.

Please report any errors to: support@thunderheadeng.com

To help, here is the value calculated for dry air at atmospheric pressure based on the specified input temperature. You can input this value as User Input Data.

Dens at ambient T = 1,203959 kg/m³

<https://www.thunderheadeng.com/pyrosim/resources/>

Vedlegg B

Kritisk hastighet basert på ikke-dimensjonal metode

Beregning for bilbrann – 8 MW branneffekt:

Q	8000	kW	Bilbrann				
Qc	5600	kW	70% av Q				
p0	1,2	kg/m ³	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
cp	1	kJ/kgK	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
A	53,61	m ²	Tversnitsareal tunnel				
Uc	1,51	m/s	Gjett verdi på kritisk hastighet her, det skal bli likt som Uc lengre nede				
T0	293	K	Temperatur ved T0 - 20 grader Celsius				
Tf	351		Nedstrømstemperatur i Kelvin				
g	9,81	m/s ²	Gravitasjonshastighet				
Qc	5600	kW					
H	6,4	m	Høyde				
p0	1,2	kg/m ³					
cp	1	kJ/kgK					
Tf	351	K					
A	53,61	m ²					
Frc	4,5	Konstant	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
Uc	1,51						

Beregning for bussbrann – 30 MW branneffekt:

Q	30000	kW	Bilbrann				
Qc	21000	kW	70% av Q				
p0	1,2	kg/m ³	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
cp	1	kJ/kgK	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
A	53,61	m ²	Tversnittareal tunnel				
Uc	2,17	m/s	Gjett verdi på kritisk hastighet her, det skal bli likt som Uc lengre nede				
T0	293	K	Temperatur ved T0 - 20 grader Celsius				
Tf	443		Nedstrømstemperatur i Kelvin				
g	9,81	m/s ²	Gravitasjonshastighet				
Qc	21000	kW					
H	6,4	m	Høyde				
p0	1,2	kg/m ³					
cp	1	kJ/kgK					
Tf	443	K					
A	53,61	m ²					
Frc	4,5	Konstant	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
Uc	2,17						

Beregning for lastebilbrann – 50 MW branneffekt:

Q	50000	kW	Bilbrann				
Qc	35000	kW	70% av Q				
p0	1,2	kg/m ³	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
cp	1	kJ/kgK	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
A	53,61	m ²	Tversnittareal tunnel				
Uc	2,45	m/s	Gjett verdi på kritisk hastighet her, det skal bli likt som Uc lengre nede				
T0	293	K	Temperatur ved T0 - 20 grader Celsius				
Tf	515		Nedstrømstemperatur i Kelvin				
g	9,81	m/s ²	Gravitasjonshastighet				
Qc	35000	kW					
H	6,4	m	Høyde				
p0	1,2	kg/m ³					
cp	1	kJ/kgK					
Tf	515	K					
A	53,61	m ²					
Frc	4,5	Konstant	fra eksempel 13.3 i tunnel fire dynamics				
Uc	2,45						

Vedlegg C

Begrense kritisk hastighet basert på «Critical Froude model»

Beregning for bilbrann – 8 MW branneffekt:

Q	8000	kW
p0	1,2	kg/m ³
cp	1	kJ/kgK
T0	293	K
g	9,81	m/s ²
H	6,4	m
Q*	0,070	
Q* ≤ 0,15		
Uc*	0,33	
Uc	2,6	m/s

Beregning for bussbrann – 30 MW branneffekt:

Q	30000	kW
p0	1,2	kg/m ³
cp	1	kJ/kgK
T0	293	K
g	9,81	m/s ²
H	6,4	m
Q*	0,263	
Q* ≤ 0,15		
Uc*	0,52	
Uc	4,1	m/s
Q* > 0,15		
Uc	0,43	
Uc	3,4	m/s

NB! Q* er mer enn 0,15, dermed er det nederste Uc som er gjeldende, **3,4 m/s**.

Beregning for lastebilbrann – 50 MW branneffekt:

Q	50000	kW
ρ_0	1,2	kg/m ³
c_p	1	kJ/kgK
T ₀	293	K
g	9,81	m/s ²
H	6,4	m
Q*	0,438	
Q* ≤ 0,15		
Uc*	0,62	
Uc	4,9	m/s
Q* > 0,15		
Uc	0,43	
Uc	3,4	m/s

NB! Q* er mer enn 0,15, dermed er det nederste Uc som er gjeldende, **3,4 m/s**.

Vedlegg D

Temperaturmåler ved brannøvelse i Mælefjelltunnelen:

EL-USB-1-PRO

Temperature Data Logger with Extended Range



- -40 to +125°C (-40 to +257°F) measurement range
- Stores over 32,000 readings
- EasyLog software available as a free download
- Stainless steel (316 grade) case
- Logging rates between 1 second and 12 hours
- Immediate and delayed logging start
- User-programmable alarm thresholds
- Environmental protection to IP67



This standalone data logger measures and stores more than 32,000 temperature readings over a -40 to +125°C (-40 to +257°F) range with a resolution of 0.1°C (0.2°F).

The stainless steel 316 assembly provides protection from corrosion, impact and water ingress to IP67/NEMA 4X.

The user can easily set up the logger and view downloaded data by plugging the data logger into a PC's USB port and using the free EasyLog software. Data can then be graphed, printed and exported to other applications for detailed analysis.

The data logger is supplied with a lithium metal battery which gives two year's logging life.

EL-WIN-USB

Lascar's EasyLog control software is available as a free download from www.easylogusb.com. Easy to install and use, the control software is compatible with 32-bit and 64-bit versions of Windows 7, 8 & 10. The software is used to set up the logger, download, graph and annotate data or export in Excel, PDF and jpeg formats.

The software allows the following parameters to be configured:

- Logger name
- Measurement parameter (°C or °F)
- Logging rate (user selectable between 1 second and 12 hours)
- High and low alarms
- Immediate and delayed logging start



Download the latest version of the software free of charge from www.easylogusb.com

SPECIFICATIONS

Measurement range	-40 to +125°C (-40 to +257°F)
Internal resolution	0.1°C (0.2°F)
Accuracy (overall error)	±0.2°C (±0.4°F) (see page 2)
Logging rate	User selectable between 1 second & 12 hours
Operating temperature range	-40 to +125°C (-40 to +257°F)
Battery Life	2 years (at 80°C and 10 second logging rate)
Readings	32,510
Dimensions	110 x 18mm (4.33 x 0.70")

ACCESSORIES

BAT 3V6 2/3AA Replacement battery

EL-DataPad Handheld data logger programmer & collector

INCLUDED IN THE BOX

BAT 3V6 2/3AA Battery



CALIBRATION CERTIFICATES NOW AVAILABLE

Lascar now offers a Traceable Calibration Certificate Service on Temperature Data Loggers. Using reference equipment which has been calibrated by a UKAS/NIST accredited laboratory and using apparatus traceable to national or international standards. For more information, please see www.lascarelectronics.com.

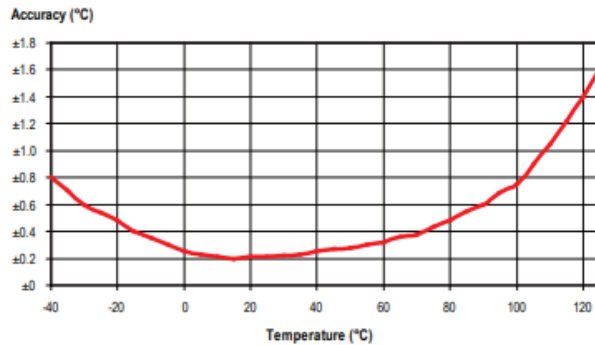


EL-USB-1-PRO

Temperature Data Logger with Extended Range

SENSOR ACCURACY & INFORMATION

Typical tolerance for temperature sensor in °C.



BATTERY INFORMATION

Replacement

We recommend that you replace the battery annually, or prior to logging critical data. Only use 3.6V ½AA lithium metal batteries. The data logger does not lose its stored readings when the battery is discharged or replaced; however, the data logging process will stop and will not resume until the battery is replaced and the logger restarted by EL-WIN-USB or an EL-DataPad.

Only use an EL-USB-1-PRO battery that is supplied or recommended by Lascar, which is rated for use in high temperatures and has the correct battery terminals. Using non-recommended batteries may result in fire or explosion at high temperatures. Suitable batteries are: Tadiran TLH-5955/S and Tadiran SL-561/S.

Please note that leaving the data logger plugged into the USB port for extended periods will cause some of the battery capacity to be lost.

Passivation

If left unused for extended periods of time the lithium metal batteries, including those used in the EasyLog range of data loggers, naturally form a non-conductive internal layer preventing them from self-discharge and effectively increasing their shelf life. When first installed in the data logger, this may cause a momentary drop in the battery voltage (the Transient Minimum Voltage) as the internal layer is broken down, resulting in the data logger resetting. Inserting the batteries in the data logger and leaving it connected to a PC for about 30 seconds will remove this layer. After this, remove and re-install the batteries to reset the data logger. Overall battery life will not be affected.

WARNING

Handle lithium metal batteries carefully, observe warnings on battery casing. Dispose of in accordance with local regulations.

Vedlegg E

Tiltak gjennomført i Oslofjordtunnelen

Som følge av brannforløpene 29. mars og 23 juni 2011. Informasjonen er hentet fra Statens Vegvesens rapport «De fem store tunnelbrannene i Norge» [4].

Risikoreduserende tiltak:

1. Tunnelens innkjøringszone er skiltet ned til 40 km/t
2. Nedsatt fartsgrense til 70 km/t gjennom hele tunnelen
3. Det er installert digitale fartsgrenseskilt for bruk ved hendelser
4. Installert forbikjøring forbudt for tunge kjøretøy i tunnelen oppover
5. Installert streknings ATK i begge nedoverbakker
6. Skiltet med «Low gear» med gulblink som aktiveres av høye kjøretøy
7. «Low gear» er også merket på kjørebanelen
8. Det er etablert rumlefelt i tunnelen
9. Skilting langs tilførselsveger i Vestfold, Oslo, Akershus og Buskerud

Konsekvensreducerende tiltak:

1. Det er etablert 25 evakueringsrom med frisk luft for inntil 3 timer
2. Det er installert et dynamisk ledelyssystem i tilknytning til evakueringsrommene
3. Det er installert skilt innvendig i alle nødstasjoner
4. Elektronisk indeks utarbeidet for operatørene på VTS for bruk som oppslagsverk ved ulike hendelser og nødsituasjoner

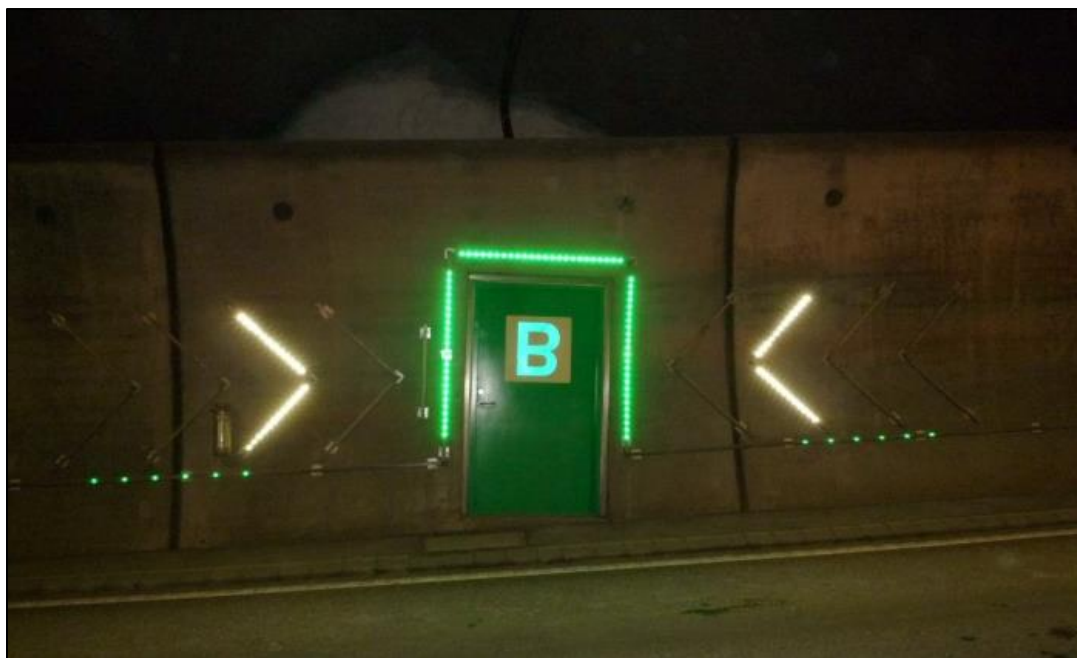
Tiltak for raskere og mer effektiv redningsinnsats:

1. Montert etterlysende nummerskilt utvendig på alle nødstasjoner
2. Skiltet hovedveg til utgangsportalen til rømmingstunnelen for nødetatene
3. Inngått avtale om brøyting for adkomstveg til rømmingstunnel
4. Installert automatisk talemelding fra VTS til radiofrekvenser som er tilgjengelige i tunnelen
5. Installert lynfiksering for bedre billedkvalitet for VTS ved stor røykutvikling
6. Installert «Snu og kjør ut» skilt hver 1,5 km (aktiveres av VTS)
7. Montert nøkkelsafe utvendig ved rømmingstunnelen og LED lys på samme sted.



Oppmerking som minner tungbilsjåførere om å legge inn lavt gir.

Foto: T Tollefsen, Statens vegvesen



Markering av redningsrom B, ved hjelp av LED lys.

Foto: T Tollefsen, Statens vegvesen

Vedlegg F

Program for «Fagdag tunnelsikkerhet»

Arrangert 12. desember 2019 ved Scandic Sørlandsparken:

Program for dagen



- 09.00 – 09.05 Velkommen, Dagfinn Fløystad, leder av Agder vegavdeling i Statens vegvesen
- 09.05 – 10.00 Farlig gods i tunnel, Jan-Erik Andersen, tidligere Brigadesjef i Oslo brann- og redning
- 10.00 – 10.15 **Pause**
- 10.15 – 11.15 Erfaring fra brann i tunnel, Arnfinn Halrynjo, overbrannmester og Bjørn Dolve, beredskapsleder i fra Voss brann og redning
- 11.15 – 12.00 **Lunch**
- 12.00 – 12.45 Brannsikkerhet i tunneler, Per Arne Lindvik, Senior rådgiver - Fagansvarlig brann i fra Kiwa Norge
- 12.45 – 12.55 **Pause**
- 12.55 – 13.25 Brannsikkerhet i tunneler, Per Arne Lindvik
- 13.25 – 13.30 **Påfyll av kaffe**
- 13.30 – 14.15 Tunnelsikkerhet, Knut Erik Nøttaasen, Rådgiver tunnelsikkerhet i fra Rogaland brann og redning
- 14.15 – 14.30 **Pause**
- 14.30 – 15.00 Tunnelsikkerhet, Knut Erik Nøttaasen



Fagdag for Statens Vegvesen, nødetatene og andre aktører med ønske om faglig påfyll.

Vedlegg G

Epost korrespondanse vedrørende pris på brannvifte:

 @systemair.no>
on. 06.05.2020 09:46
Til: Daniel Timenes

Hei igjen,

En slik vifte vil koste mellom 180-220.000,- alt etter hvilken utførelse som velges.

- HDG + RAL 7035 eller rustfritt, syrefast stål kvalitet SS 1.4404
- Valg av brannklasse F200/F300/F400
- Øvrig ekstra utstyr – Vibrasjonssensor, PTC, Keramiske hybridlager etc.

Finnes ikke noe standard for hva SVV og diverse konsulenter foretrekker eller krever.

Med vennlig hilsen / Best regards



 systemair

Systemair AS
Pb. 293, Luramyrvæien 38, NO-4302 Sandnes, Norway
Phone: +47 93064189
lars.berge@systemair.no
[www.systemair.no]www.systemair.no

Hva er utgangsprisen på brannvifte med effekt 50 m³/s?

Vedlegg H

FDS script av lastebilbrann i 1000 m tunnel med brannventilasjon 15 m³/s

1000C2_40cm_15m3s.fds

Generated by PyroSim - Version 2019.3.1204

04.mar.2020 10:35:17

&HEAD CHID='1000C2_40cm_15m3s/'

&TIME T_END=1800.0/

&DUMP COLUMN_DUMP_LIMIT=.TRUE., DT_PL3D=10.0, DT_RESTART=300.0, DT_SL3D=0.25,
WRITE_XYZ=.TRUE., PLOT3D_QUANTITY(1:4)='VOLUME FRACTION','VOLUME FRACTION','VOLUME
FRACTION','VISIBILITY', PLOT3D_SPEC_ID(1:4)='CARBON DIOXIDE','CARBON
MONOXIDE','OXYGEN','SOOT'/

&MESH ID='Mesh500-600', IJK=250,25,19, XB=490.0,590.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh600-700', IJK=250,25,19, XB=590.0,690.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh700-800', IJK=250,25,19, XB=690.0,790.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh800-900', IJK=250,25,19, XB=790.0,890.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh900-1000', IJK=250,25,19, XB=890.0,990.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh1000-1100', IJK=250,25,19, XB=990.0,1090.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh400-500', IJK=250,25,19, XB=390.0,490.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh300-400', IJK=250,25,19, XB=290.0,390.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh200-300', IJK=250,25,19, XB=190.0,290.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh100-200', IJK=250,25,19, XB=90.0,190.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh0-100', IJK=250,25,19, XB=-10.0,90.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&MESH ID='Mesh-100-0', IJK=225,25,19, XB=-100.0,-10.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/

&REAC ID='POLYURETHANE',

 FYI='NFPA Babrauskas',

 FUEL='REAC_FUEL',

 C=6.3,

 H=7.1,

O=2.1,

N=1.0,

AUTO_IGNITION_TEMPERATURE=0.0,

CO_YIELD=0.1,

SOOT_YIELD=0.1,

HEAT_OF_COMBUSTION=2.0E4/

&DEVC ID='Temp tak 00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=450.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=460.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=470.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=480.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=490.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=510.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=520.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=530.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=540.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=550.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak -1m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=449.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak +1m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=551.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp 6m 00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=450.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=460.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=470.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=480.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=490.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=510.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=520.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=530.0,4.8,6.0/

&DEVC ID='Temp 6m 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=540.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 6m 10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=550.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp 5m 00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=450.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=460.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=470.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=480.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=490.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=510.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=520.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=530.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=540.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 5m 10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=550.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Temp 00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=450.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=460.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=470.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=480.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=490.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=510.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=520.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=530.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=540.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=550.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Temp 2m 00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=450.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=460.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=470.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=480.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=490.0,4.8,2.0/

&DEVC ID='Temp 2m 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=510.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=520.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=530.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=540.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=550.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 1m 00', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=450.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 01', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=460.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 02', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=470.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 03', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=480.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 04', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=490.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 05', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 06', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=510.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 07', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=520.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 08', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=530.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 09', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=540.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Temp 1m 10', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=550.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity Tak 00', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=450.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 01', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=460.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 02', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=470.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 03', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=480.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 04', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=490.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 05', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=500.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 06', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=510.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 07', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=520.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 08', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=530.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 09', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=540.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 10', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=550.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity 6m 00', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=450.0,4.8,6.0/

&DEVC ID='Velocity 6m 01', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=460.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 02', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=470.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 03', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=480.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 04', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=490.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 05', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=500.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 06', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=510.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 07', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=520.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 08', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=530.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 09', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=540.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 6m 10', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=550.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 00', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=450.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 01', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=460.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 02', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=470.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 03', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=480.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 04', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=490.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 05', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=500.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 06', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=510.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 07', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=520.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 08', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=530.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 09', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=540.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 5m 10', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=550.0,4.8,5.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 00', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=450.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 01', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=460.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 02', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=470.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 03', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=480.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 04', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=490.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 05', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=500.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 06', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=510.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 07', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=520.0,4.8,3.0/

&DEVC ID='Velocity 3m 08', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=530.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 09', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=540.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 3m 10', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=550.0,4.8,3.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 00', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=450.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 01', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=460.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 02', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=470.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 03', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=480.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 04', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=490.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 05', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=500.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 06', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=510.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 07', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=520.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 08', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=530.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 09', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=540.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 10', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=550.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 00', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=450.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 01', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=460.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 02', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=470.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 03', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=480.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 04', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=490.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 05', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=500.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 06', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=510.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 07', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=520.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 08', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=530.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 09', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=540.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Velocity 1m 10', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=550.0,4.8,1.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 00', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=450.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 01', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=460.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 02', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=470.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 03', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=480.0,4.8,2.0/

&DEVC ID='Visibility 2m 04', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=490.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 05', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=500.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 06', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=510.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 07', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=520.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 08', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=530.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 09', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=540.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 10', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=550.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 00', QUANTITY='FED', XYZ=450.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 01', QUANTITY='FED', XYZ=460.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 02', QUANTITY='FED', XYZ=470.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 03', QUANTITY='FED', XYZ=480.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 04', QUANTITY='FED', XYZ=490.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 05', QUANTITY='FED', XYZ=500.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 06', QUANTITY='FED', XYZ=510.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 07', QUANTITY='FED', XYZ=520.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 08', QUANTITY='FED', XYZ=530.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 09', QUANTITY='FED', XYZ=540.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 10', QUANTITY='FED', XYZ=550.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp brann 2m ', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,3.0,2.0/
&DEVC ID='Temp brann 3m ', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,3.0,3.0/
&DEVC ID='Temp brann 4m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,3.0,4.0/
&DEVC ID='Temp brann 5m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,3.0,5.0/
&DEVC ID='Temp brann 6m', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=500.0,3.1,5.9/
&DEVC ID='Density 6m 00', QUANTITY='DENSITY', XYZ=450.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 01', QUANTITY='DENSITY', XYZ=460.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 02', QUANTITY='DENSITY', XYZ=470.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 03', QUANTITY='DENSITY', XYZ=480.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 04', QUANTITY='DENSITY', XYZ=490.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 05', QUANTITY='DENSITY', XYZ=500.0,4.8,6.0/

&DEVC ID='Density 6m 06', QUANTITY='DENSITY', XYZ=510.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 07', QUANTITY='DENSITY', XYZ=520.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 08', QUANTITY='DENSITY', XYZ=530.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 09', QUANTITY='DENSITY', XYZ=540.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 10', QUANTITY='DENSITY', XYZ=550.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Temp tak 0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 100', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=100.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 200', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=200.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 300', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=300.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 400', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=400.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 600', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=600.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 700', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=700.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 800', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=800.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 900', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=900.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp tak 1000', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1000.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Temp 2m 0', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=0.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 100', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=100.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 200', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=200.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 300', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=300.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 400', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=400.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 600', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=600.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 700', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=700.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 800', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=800.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 900', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=900.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Temp 2m 1000', QUANTITY='TEMPERATURE', XYZ=1000.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity Tak 0', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 100', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=100.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 200', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=200.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 300', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=300.0,4.8,6.35/

&DEVC ID='Velocity Tak 400', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=400.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 600', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=600.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 700', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=700.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 800', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=800.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 900', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=900.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity Tak 1000', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=1000.0,4.8,6.35/
&DEVC ID='Velocity 2m 0', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=0.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 100', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=100.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 200', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=200.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 300', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=300.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 400', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=400.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 600', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=600.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 700', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=700.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 800', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=800.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 900', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=900.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Velocity 2m 1000', QUANTITY='VELOCITY', XYZ=1000.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 0', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=0.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 100', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=100.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 200', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=200.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 300', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=300.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 400', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=400.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 600', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=600.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 700', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=700.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 800', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=800.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 900', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=900.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Visibility 2m 1000', QUANTITY='VISIBILITY', XYZ=1000.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 0', QUANTITY='FED', XYZ=0.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 100', QUANTITY='FED', XYZ=100.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 200', QUANTITY='FED', XYZ=200.0,4.8,2.0/

&DEVC ID='FED 300', QUANTITY='FED', XYZ=300.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 400', QUANTITY='FED', XYZ=400.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 600', QUANTITY='FED', XYZ=600.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 700', QUANTITY='FED', XYZ=700.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 800', QUANTITY='FED', XYZ=800.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 900', QUANTITY='FED', XYZ=900.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='FED 1000', QUANTITY='FED', XYZ=1000.0,4.8,2.0/
&DEVC ID='Density 6m 0', QUANTITY='DENSITY', XYZ=0.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 100', QUANTITY='DENSITY', XYZ=100.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 200', QUANTITY='DENSITY', XYZ=200.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 300', QUANTITY='DENSITY', XYZ=300.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 400', QUANTITY='DENSITY', XYZ=400.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 600', QUANTITY='DENSITY', XYZ=600.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 700', QUANTITY='DENSITY', XYZ=700.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 800', QUANTITY='DENSITY', XYZ=800.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 900', QUANTITY='DENSITY', XYZ=900.0,4.8,6.0/
&DEVC ID='Density 6m 1000', QUANTITY='DENSITY', XYZ=1000.0,4.8,6.0/

&MATL ID='CONCRETE',
FYI='NBSIR 88-3752 - ATF NIST Multi-Floor Validation',
SPECIFIC_HEAT=0.88,
CONDUCTIVITY=1.1,
DENSITY=2100.0/

&SURF ID='Tunnelvegg',
BACKING='VOID',
MATL_ID(1,1)='CONCRETE',
MATL_MASS_FRACTION(1,1)=1.0,
THICKNESS(1)=0.3/

&SURF ID='Brann',

COLOR='RED',

HRRPUA=1250.0,

TAU_Q=-1031.0,

TMP_FRONT=300.0/

&OBST ID='Vegg', XB=0.0,1000.0,9.6,9.8,0.0,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Vegg', XB=0.0,1000.0,-0.2,0.0,0.0,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=470.0,472.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=470.0,472.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=470.4,471.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=370.0,372.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=370.0,372.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=370.4,371.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=270.0,272.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=270.0,272.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=270.4,271.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.4,171.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=70.0,72.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=70.0,72.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=70.4,71.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=570.0,572.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=570.0,572.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=570.4,571.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=670.0,672.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=670.0,672.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=670.4,671.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=770.0,772.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=770.0,772.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=770.4,771.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=870.0,872.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=870.0,872.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=870.4,871.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=970.0,972.0,4.0,4.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=970.0,972.0,5.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=970.4,971.4,4.0,5.0,4.8,5.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=490.0,590.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=590.0,690.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=690.0,790.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=790.0,890.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=890.0,990.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=990.0,1000.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=390.0,490.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=290.0,390.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=190.0,290.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=90.0,190.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Gulv', XB=4.32987E-15,90.0,-0.2,9.8,-0.4,0.0, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Lastebilbrann', XB=490.0,510.0,1.8,3.8,0.0,0.8,
SURF_IDS='Brann','TUNNELVEGG','TUNNELVEGG'/

&OBST ID='Obstruction', XB=470.0,472.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID=' Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=470.0,472.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=370.0,372.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=370.0,372.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=270.0,272.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=270.0,272.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=170.0,172.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=70.0,72.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=70.0,72.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=570.0,572.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=570.0,572.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=670.0,672.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=670.0,672.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=770.0,772.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=770.0,772.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=870.0,872.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=870.0,872.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=970.0,972.0,3.8,5.0,4.8,4.8, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Obstruction', XB=970.0,972.0,3.8,5.0,5.6,5.6, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039, SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=490.0,590.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=590.0,690.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=690.0,790.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=790.0,890.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=890.0,990.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=990.0,1000.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=390.0,490.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=290.0,390.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=190.0,290.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=90.0,190.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,-0.2,0.2,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,9.0,9.4,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,0.2,0.6,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,0.6,1.0,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,1.4,1.8,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,7.8,8.2,5.2,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,2.2,2.6,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,7.0,7.4,5.6,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,3.0,3.8,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,5.4,6.6,6.0,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,8.6,9.0,4.8,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,1.0,1.4,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,8.2,8.6,5.2,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,1.8,2.2,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,7.4,7.8,5.6,5.6, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,2.6,3.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,6.6,7.0,6.0,6.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,3.8,5.4,6.4,6.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,9.4,9.4,3.6,4.0, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,0.2,0.2,4.0,4.4, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,9.0,9.0,4.4,4.8, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&OBST ID='Tak', XB=4.32987E-15,90.0,8.6,8.6,4.8,5.2, RGB=255,255,255, TRANSPARENCY=0.298039,
SURF_ID='Tunnelvegg'/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh500-600 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=490.0,590.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh500-600 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=490.0,590.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh500-600 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=490.0,590.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh500-600 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=490.0,590.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh600-700 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=590.0,690.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh600-700 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=590.0,690.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh600-700 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=590.0,690.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh600-700 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=590.0,690.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh700-800 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=690.0,790.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh700-800 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=690.0,790.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh700-800 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=690.0,790.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh700-800 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=690.0,790.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh800-900 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=790.0,890.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh800-900 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=790.0,890.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh800-900 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=790.0,890.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh800-900 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=790.0,890.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh900-1000 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=890.0,990.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh900-1000 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=890.0,990.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh900-1000 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=890.0,990.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh900-1000 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=890.0,990.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh1000-1100 [XMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=1090.0,1090.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh1000-1100 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=990.0,1090.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh1000-1100 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=990.0,1090.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh1000-1100 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=990.0,1090.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh1000-1100 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=990.0,1090.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh400-500 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=390.0,490.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh400-500 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=390.0,490.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh400-500 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=390.0,490.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh400-500 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=390.0,490.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh300-400 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=290.0,390.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh300-400 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=290.0,390.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh300-400 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=290.0,390.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh300-400 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=290.0,390.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh200-300 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=190.0,290.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh200-300 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=190.0,290.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh200-300 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=190.0,290.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh200-300 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=190.0,290.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/

&VENT ID='Mesh Vent: Mesh100-200 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=90.0,190.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh100-200 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=90.0,190.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh100-200 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=90.0,190.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh100-200 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=90.0,190.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh0-100 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-10.0,90.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh0-100 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-10.0,90.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh0-100 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-10.0,90.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh0-100 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-10.0,90.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh-100-0 [XMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-100.0,-100.0,-0.2,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh-100-0 [YMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-100.0,-10.0,9.8,9.8,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh-100-0 [YMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-100.0,-10.0,-0.2,-0.2,-0.4,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh-100-0 [ZMAX]', SURF_ID='OPEN', XB=-100.0,-10.0,-0.2,9.8,7.2,7.2/
&VENT ID='Mesh Vent: Mesh-100-0 [ZMIN]', SURF_ID='OPEN', XB=-100.0,-10.0,-0.2,9.8,-0.4,-0.4/
&VENT ID='Vent In 01', SURF_ID='HVAC', XB=470.4,470.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 01', SURF_ID='HVAC', XB=471.4,471.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 02', SURF_ID='HVAC', XB=370.4,370.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 02', SURF_ID='HVAC', XB=371.4,371.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 03', SURF_ID='HVAC', XB=270.4,270.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 03', SURF_ID='HVAC', XB=271.4,271.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 04', SURF_ID='HVAC', XB=170.4,170.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 04', SURF_ID='HVAC', XB=171.4,171.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 05', SURF_ID='HVAC', XB=70.4,70.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 05', SURF_ID='HVAC', XB=71.4,71.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 06', SURF_ID='HVAC', XB=570.4,570.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 06', SURF_ID='HVAC', XB=571.4,571.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 07', SURF_ID='HVAC', XB=670.4,670.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 07', SURF_ID='HVAC', XB=671.4,671.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent In 08', SURF_ID='HVAC', XB=770.4,770.4,4.0,5.0,4.8,5.8/
&VENT ID='Vent Out 08', SURF_ID='HVAC', XB=771.4,771.4,4.0,5.0,4.8,5.8/

&VENT ID='Vent In 09', SURF_ID='HVAC', XB=870.4,870.4,4.0,5.0,4.8,5.8/

&VENT ID='Vent Out 09', SURF_ID='HVAC', XB=871.4,871.4,4.0,5.0,4.8,5.8/

&VENT ID='Vent In 10', SURF_ID='HVAC', XB=970.4,970.4,4.0,5.0,4.8,5.8/

&VENT ID='Vent Out 10', SURF_ID='HVAC', XB=971.4,971.4,4.0,5.0,4.8,5.8/

&HVAC ID='In 01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 01', VENT_ID='Vent In 01'/

&HVAC ID='Out 01', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 01', VENT_ID='Vent Out 01'/

&HVAC ID='Duct 01', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 01','Out 01'/

&HVAC ID='In 02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 02', VENT_ID='Vent In 02'/

&HVAC ID='Out 02', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 02', VENT_ID='Vent Out 02'/

&HVAC ID='Duct 02', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 02','Out 02'/

&HVAC ID='In 03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 03', VENT_ID='Vent In 03'/

&HVAC ID='Out 03', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 03', VENT_ID='Vent Out 03'/

&HVAC ID='Duct 03', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 03','Out 03'/

&HVAC ID='In 04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 04', VENT_ID='Vent In 04'/

&HVAC ID='Out 04', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 04', VENT_ID='Vent Out 04'/

&HVAC ID='Duct 04', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 04','Out 04'/

&HVAC ID='In 05', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 05', VENT_ID='Vent In 05'/

&HVAC ID='Out 05', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 05', VENT_ID='Vent Out 05'/

&HVAC ID='Duct 05', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 05','Out 05'/

&HVAC ID='In 06', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 06', VENT_ID='Vent In 06'/

&HVAC ID='Out 06', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 06', VENT_ID='Vent Out 06'/

&HVAC ID='Duct 06', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 06','Out 06'/

&HVAC ID='In 07', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 07', VENT_ID='Vent In 07'/

&HVAC ID='Out 07', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 07', VENT_ID='Vent Out 07'/

&HVAC ID='Duct 07', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 07','Out 07'/

&HVAC ID='In 08', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 08', VENT_ID='Vent In 08'/

&HVAC ID='Out 08', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 08', VENT_ID='Vent Out 08'/

&HVAC ID='Duct 08', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 08','Out 08'/

&HVAC ID='In 09', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 09', VENT_ID='Vent In 09'/

&HVAC ID='Out 09', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 09', VENT_ID='Vent Out 09'/

&HVAC ID='Duct 09', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 09','Out 09'/

&HVAC ID='In 10', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 10', VENT_ID='Vent In 10'/

&HVAC ID='Out 10', TYPE_ID='NODE', DUCT_ID='Duct 10', VENT_ID='Vent Out 10'/

&HVAC ID='Duct 10', TYPE_ID='DUCT', DIAMETER=1.0, FAN_ID='Fan01', LOSS=1.0, NODE_ID='In 10','Out 10'/

&HVAC ID='Fan01', TYPE_ID='FAN', VOLUME_FLOW=15.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBZ=2.0/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBZ=2.0/

&SLCF QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE., PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='VISIBILITY', VECTOR=.TRUE., PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='DENSITY', VECTOR=.TRUE., PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBY=3.0/

&SLCF QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE., PBX=50.0/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON MONOXIDE', PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='CARBON DIOXIDE', PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='OXYGEN', PBY=4.8/

&SLCF QUANTITY='VOLUME FRACTION', SPEC_ID='SOOT', PBY=4.8/

&TAIL /