TEKNISK RAPPORT

NSB BANE, HOVEDKONTORET

RISIKOVURDERING AV PE-SKUM BENYTTET I TUNNELER AV LENGDE 0-3 KM

INTERNT

RAPPORT NR. 96-3648

REVISJON NR. 01

DET NORSKE VERITAS

TEKNISK RAPPORT

Dato for første utgivelse: 7. november 1996	Prosjekt nr.: 560 41092
Godkjent av: Henrik Kortner Avdelingsleder	Organisasjonsenhet: Pålitelighetsteknologi
Oppdragsgiver: NSB Bane, Hovedkontoret	Oppdragsgiver ref.: Christopher Schive

DET NORSKE VERITAS AS
Divisjon Norden

Veritasveien 1,
N-1322 HØVIK, Norge
Tel: +47 67 57 99 00
Fax: +47 67 57 74 74
Org. No: NO 945 748 931 MVA

Sammendrag:

Målet for denne studien har vært å komme frem til retningslinjer for bruk av PE-skumplater til frost/lekkasjesikring i kortere tunneler (lengde 0 - 3 km). Følgende tiltak anbefales:

- **Tunnel med hovedsignal:**

  Uavhengig av tunnelens lengde anbefales at man sikrer alle felt av PE-skumplater i tunneler i området som okkuperes av persontog som stopper for hovedsignal, dvs. en strekning på 300 m foran hovedsignal.

- **Tunneler med lengde < 500 m.:**

  For tunneler (uten signal) kortere enn 500 m., er sannsynligheten for at et brennende tog må stoppe i tunnelen så liten at det muligens ikke er hensiktsmessig med slike restriksjoner på bruken av PE-skumplater til frost/lekkasjesikring. Det anbefales likevel at man unngår å benytte PE-skumplater i lange, sammenhengende partier.

- **Enkeltsporete tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**
  - Sikre alle felt av PE-skumplater i tunneler med mer enn 30 togpasseringer per døgn.
- **Dobbeltsporete tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**
  - Sikre alle felt av PE-skumplater i tunneler med mer enn 80 togpass. per døgn.
- **Punktsikring (tunnellengde 500 - 3000 m.):**

  Alle felt av PE-skumplater i tunneler med sammenhengende lengde større enn 6 m (dvs. 3 plater) bør fjernes eller sikres. Tilsvarende må et felt på 6 m. sikres hvis det er mindre enn 100 m. avstand til neste felt. Det vil si at for korte tunneler med liten trafikk kan punktsikringer tillates dersom det er større avstand enn 100 m. mellom feltene.

Rapport nr.: 96-3648	Emnegruppe:
Rapporttittel: Risikovurdering av PE-skum	
Utført av: Svein Morud, Hilde Horgen	
Verifisert av: Terje Andersen	

Dato for denne revisjon:	Rev. nr.:	Antall sider:
	01	23

Indekseringstermer

Jernbane, risikovurdering, PE-skum

☒ Ingen distribusjon uten tillatelse fra oppdragsgiver eller ansvarlig organisasjonsenhet

☐ Begrenset distribusjon innen Det Norske Veritas

☐ Fri distribusjon

Innholdsfortegnelse *Side*

1 SAMMENDRAG 1

2 INNLEDNING 2

3 BRANNVURDERINGER 4
3.1 Introduksjon 4
3.2 Brannforløp 5
3.3 Brannvurdering av små, midlere og store flekker PE-skum 5
3.4 Antennelse fra tog til PE-skum 6
3.5 Avstand mellom PE-skumplater 7
3.6 Røykgass som funksjon av brannen 7
3.7 Understøkiometrisk forbrenning 8

4 TOG STOPPER I TUNNEL. 10
4.1 Introduksjon. 10
4.2 Brannfrekvens 10
4.3 Bruk av nødbrems i tunnel 12
4.4 Skade på togets drivkraft som følge av togbrann. 13
4.5 Signalstopp i tunnel 13
4.5.1 Årsak og hyppighet av stopp ved ulike typer hovedsignal: 14
4.6 Beregning av sannsynlighet for at tog skal stoppe i tunnel. 15

5 RESULTATER 19

6 REFERANSER 23

Appendiks A Bremselengder
Appendiks B Rullelengder
Appendiks C Ulykkesstatistikk

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

1 SAMMENDRAG

Risiko ved bruk av frost/lekkasjeisolerende plater i jernbanetunneler av lengde 0-3 km er vurdert.

Sannsynligheten for at et brennende tog må stoppe i tunnel, er ansett som svært liten. Dette skyldes at lokfører i stor grad kan styre togets nedbremsing, og derved velge å stoppe før tunnelen eller kjøre/rulle toget ut av tunnelen. I noen tilfeller er denne muligheten begrenset:

- Dersom nødbremsen er aktivert.
- Dersom toget får rødt signal i eller like etter tunnel.

I denne studien er det derfor antatt at dersom ingen av de to ovenstående hendelser er inntruffet, vil et brennende tog kunne kjøre eller rulle ut av tunnelen.

Det er videre antatt at PE-skumplater i tunneltaket/veggen bare kan antennes dersom et brennende tog blir stående i tunnelen. Dette vil si at dersom toget kan kjøre ut av tunnelen, har evt. bruk av PE-skumplater ingen innvirkning på risikoen.

Dersom evt. PE-skumplater i tunnelen antennes av et brennende tog som stopper i tunnelen kan dette føre til svært alvorlige konsekvenser for de reisende, da en slik brann kan bli svært intens. Dersom toget blir stående i tunnelen, må de reisende evakueres langs skinnegangen og ut av tunnelen, og kan derved utsettes for både svært høye temperaturer og mulig røykforgiftning. Med basis i samme metode som er benyttet for NSB tidligere, er det gjort en nytte/kostnadsvurdering av bruk og sikring av PE-skum i eksisterende og nye jernbanetunneler i lengdeintervallet 0 - 3 km.

Følgende tiltak anbefales:

- **Tunnel med hovedsignal:**

  Uavhengig av tunnelens lengde anbefales at man sikrer alle felt av PE-skumplater i tunneler i området som okkuperes av persontog som stopper for hovedsignal, dvs. en strekning på 300 m foran hovedsignal.

- **Tunneler med lengde < 500 m.:**

  For tunneler (uten signal) kortere enn 500 m., er sannsynligheten for at et brennende tog må stoppe i tunnelen så liten at det muligens ikke er hensiktsmessig med slike restriksjoner på bruken av PE-skumplater til frost/lekkasjesikring. Det anbefales likevel at man unngår å benytte PE-skumplater i lange, sammenhengende partier.

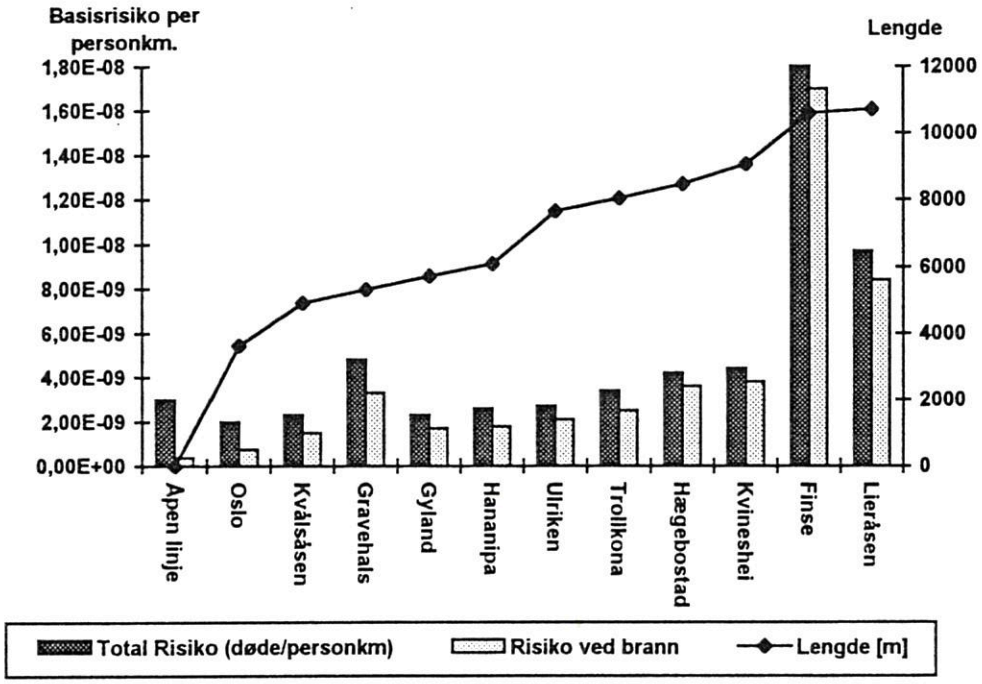
- **Enkeltsporete tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**
  - Sikre alle felt av PE-skumplater i tunneler med mer enn 30 togpasseringer per døgn.
- **Dobbeltsporete tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**
  - Sikre alle felt av PE-skumplater i tunneler med mer enn 80 togpass. per døgn.
- **Punktsikring (tunnellengde 500 - 3000 m.):**

  Alle felt av PE-skumplater i tunneler med sammenhengende lengde større enn 6 m (dvs. 3 plater) bør fjernes eller sikres. Tilsvarende må et felt på 6 m. sikres hvis det er mindre enn 100 m. avstand til neste felt. Det vil si at for korte tunneler med liten trafikk kan punktsikringer tillates dersom det er større avstand enn 100 m. mellom feltene.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

2 INNLEDNING

Dette prosjektet er initiert av en studie der DNV var engasjert av NSB for å vurdere ulike sikkerhetstiltak i lange tunneler, se Ref. /1/. Målsetningen med studien var å anbefale tiltak for å forbedre sikkerheten i eksisterende jernbanetunneler. For å prioritere mellom tiltak er det hensiktsmessig å benytte en nytte/kostnadsmodell, slik at man kan man implementere de tiltak som gir størst avkastning per investerte krone. For å kartlegge behovet, ble det utarbeidet basisrisikotall for de lange tunnelene, basert på erfaringsdata ang. ulykkesfrekvenser og konsekvenser av evt. ulykker. De vurderte ulykkestyper var avsporing, sammenstøt og brann.



Figur 1 Basisrisikotall for de vurderte tunneler.

For de aktuelle sikkerhetstiltakene ble effekten på risikotallet for den enkelte tunnel estimert, slik at man fikk et anslag på antall sparte liv per tunnel og år dersom tiltaket ble implementert. Det er vanlig å sette en pris på menneskeliv som tilsvarer samfunnets villighet til å investere i tiltak som reduserer risikoen for tap av menneskeliv. Denne kostnaden er satt til 20 MNOK. Nytten av tiltaket beregnes dermed som den besparelsen gjennomføringen av tiltaket medfører. Kostnaden forbundet med tiltakene utgjøres av investert beløp samt evt. drift/vedlikeholdskostnader.

Som Figur 1 viser utgjør risiko forbundet med brann den største andelen av basisrisikotallet for de evaluerte tunneler. Tiltak som reduserer risikoen ved brann kan dermed forbedre sikkerheten i tunneler. Når det gjelder tiltak som kan implementeres på banesiden, er det i første rekke konsekvensreduserende tiltak som kan anbefales. Blant tiltakene som ble foreslått for de lange tunnelene, var å fjerne/beskytte PE-skum benyttet til frost/lekkasjesikring i tunneler.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Ettersom PE-skum også er benyttet i mange kortere tunneler, og det ikke er spesielle regler for installasjon av PE-skum i tunneler kortere enn 1000 m, har NSB funnet det nødvendig med en mer nyansert vurdering av risikoen forbundet med å benytte PE-skum i tunneler. For vurderingen av risikoen ved bruk av PE-skum i tunneler er det kun ulykkes-scenariet "brann i tunnel" som er relevant. Konsekvensene av brann i tunnel avhenger av brannens spredning, hvorvidt toget kan kjøre ut av tunnelen, evakueringsforløp, røykutvikling og -spredning, røykens giftighet, etc.

NSB ønsker nå en vurdering av i hvor stort omfang, og under hvilke betingelser, PE-skum kan benyttes til frost- og lekkasjesikring i kortere jernbanetunneler uten å forringe de reisendes sikkerhet.

Bruk av sprøytebetong for å sikre PE-skum eller fjerning av PE-skum bør gi et rimelig forholdstall i et nytte-/kostnadsperspektiv. Kostnadene forbundet med fjerning/sikring av PE-skum er hentet fra Ref. /1/, der det er antatt at man benytter nettarmert sprøytebetong. Kostnadene er anslått til 300 kr/m^2, med et tillegg i installasjonskostnader på 25% - 40% for hhv. lite og tett trafikkerte strekninger. For enkeltstående korte partier kan ovennevnte kostnadsestimat være i underkant av reelle kostnader på grunn av mobiliserings- og tilriggingskostnader.

I denne studien er det fokusert på scenariet der PE-skumplater i tunnel antennes. For at PE-skum skal antennes, må følgende inntreffe:

- Brennende tog må stoppe i tunnel.
- Brannen må utvikle tilstrekkelig stor varmelast til at PE-skumplater i tunneltaket eller på tunnelveggene antennes.
- Brannstedet må være tilstrekkelig nær et område som er sikret med PE-skum.

Faktorer som i denne studien er vurdert til å ha innvirkning på brannrisikoen:

- Tunnelgeometri (lengde, tverrsnitt, stigning, etc)
- Trafikkbelastning
- Sikrings/isolasjonsmengde:
    - Størrelse felt (lengde og andel av "himlingen" som er dekket med PE-skumplater)
    - Avstand mellom felt
    - Avstand fra tog til PE-skumplater i "himlingen".
- Signalanlegg i tunnel:
    - Hovedsignal plassert i tunnel (blokkpost eller innkjør/utkjør hovedsignal) kan forårsake at tog i brann må stoppe i tunnel.
    - Bør det derfor innføres spesielle tiltak m.h.t. brannsikring i områder som blir okkupert av stoppende tog ved signal?

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

3 BRANNVURDERINGER

3.1 Introduksjon

Ved branntilløp i tog i tunnel, avhenger naturligvis brannens utvikling av mengden brennbart materiale i tunnelen. Nedenfor er presentert eksempel på brennbart materiale i tog og tunnel:

- Lokomotiv (Eksempel fra en Rc-4 enhet, tilsvarer El. 16):
  - Totalt ca. 10 tonn brennbart materiale i et lokomotiv, bl.a:
  - 20 km kabler (90% er PVC isolerte kabler med ca. 30% klorinnhold). Isolasjonsmaterialet til kabler utgjør ca 8 tonn.
  - 2100 l olje til kjølesystem for hovedtransformator, kondensatorer og likeretter.
- Motorvognsett (Type 69):
  - Totalt ca. 10 tonn brennbart materiale i en motorvogn, derav ca. 2 tonn PVC-materialer.
- PE-skum:
  - PE-skumplatene har et areal på 16 m^2, er 5 cm tykke og har en tetthet på 37 kg/m^3, dvs. brennbart materiale er 1.85 kg/m^2 eller ca. 30 kg per plate. Klasse A og -B tunneler som tidligere er vurdert, har i størrelsesorden 650-4000 m^2 brannfarlig sikringsmateriale (PE-skum benyttet til frost/lekkasjesikring).
  - De fleste kortere tunneler som vurderes i dette prosjektet antas å ha langt mindre areal PE-skum.
  - Dersom en PE-skumplate antennes, vil alt brennbart materiale i platen være forbrent etter ca. 2 min. (dersom forholdene tillater fullstendig forbrenning). Dvs. at dersom platene antennes, vil brannen og den påfølgende røykutvikling være kortvarig, men meget intens.

For å få et mer nyansert bilde på risikoen ved bruk av PE-skum, må studien vurdere følgende:

- Antennelse av PE-skum:
  - Hvor stor varmebelastning (tid, temperatur) kan PE-skumplater utsettes for før de antennes?
  - Dersom PE-skum antennes, hvor stor tilleggs-brannbelastning gir dette?
  - Dersom brannen er så kraftig at PE-skum antennes, er da konsekvensene av brannen allerede så omfattende at evt. antennelse av PE-skum ikke vil forverre konsekvensene ytterligere?
  - Hvis konsekvensene antas forverret, i hvor stor grad?
- Spredning av brann til området rundt initieringsstedet.
  - Dersom PE-skum antennes, hvor raskt vil brannen spre seg over PE-skumfeltet?
  - Hvor stor avstand er nødvendig mellom felt for å unngå at brannen sprer seg fra et felt til et annet?

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

3.2 Brannforløp

Dersom toget ikke blir stående stille i tunnelen, er det antatt at PE-skumplatene i tunnelen ikke kan antennes (varmelasten fra vogner/lokomotiv ikke tilstrekkelig stor til å antenne PE-skumplatene dersom toget er i bevegelse). Dette betyr at bruk av PE-skum i tunnel kun har innvirkning på brannrisikoen dersom et tog blir stående i tunnelen, og passasjerene må evakueres ut på skinnegangen for å komme ut av tunnelen.

I vurderingen av antennelsessannsynlighet for PE-skumplater i tunnel, er scenariet: "Overtent tog stopper i tunnel" utgangspunkt for vurderingene. For å få antent PE-skum antas det videre at flammene i en lokomotiv- eller vognbrann må eksponere PE-skum platene direkte (stikkflammer ut av vognkarosseriet) eller ved sekundær oppvarming. Sannsynligheten for antennelse av PE-skum og påfølgende spredning av brannen og forverring av konsekvensene, er derved vurdert utfra brannlasten til en overtent vogn/lokomotiv.

Forsøk og tidligere estimater gir følgende brannlaster:

- ≈ 10 MW ved overtent vogn
- ≈ 30 MW ved overtent lokomotiv/traksjonsenhet.

De estimerte brannlastene er basert på resultater presentert i ref /2/ samt noe skjønn.

3.3 Brannvurdering av små, midlere og store flekker PE-skum

Norges Branntekniske Laboratorium (NBL) har tidligere på vegne av Vegdirektoratet gjennomført brannforsøk med PE-skumplater i tunneler. Disse viste da at for brann i heldekkende PE-skum over 10-20 m ga en brann på ca 100 MW. Dersom vi antar at tunnel bredden var 9 m og en lengde på 10 m med heldekkende PE-skum gir dette en brannrate på 0.7 MW/m^2. Siden brannforsøket var tilnærmet ventilasjonskontrollert samt at brannen antas å ha hatt mye intern stråling, estimeres brannraten til 0.5 - 1.0 MW/m^2. Det gir brannlaster som vist i Tabell 1. For små branner (mindre enn 1 MW) vil effekten per kvadratmeter gå noe ned.

Tabell 1 Brannlast for flere størrelser PE-skumplater.

Areal av PE-skum plate	Estimert Branneffekt
5 m^2	2.5 MW - 5 MW
10 m^2	5 MW - 10 MW
20 m^2	10 MW - 20 MW
40 m^2	20 MW - 40 MW

Dette betyr at små PE-skumplater som brukes til punktvis lekkasjesikring vil kunne gi en betydelig brannlast i tillegg til den brannen som antenner PE-skumplatene.

Ved bruk av PE-skumplater større enn 50 m^2, vil evt. antennelse av disse føre til brann med meget stor effekt (>50 MW). En evt. brann i PE-skumplater vil være intens, men kortvarig (dersom lufttilførselen er tilstrekkelig). Den kraftige varme- og røykutviklingen (se påfølgende kapitler) antas likevel å gi fatale konsekvenser for de reisende. En brann med et slikt omfang/størrelse, vil

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

også oftest være svært ustabil, noe som vil forverre redningsforholdene ytterligere. Ved bruk av større felt av PE-skumplater (eller flere felt i tunnelen) øker også sannsynligheten for at et tog som stopper vil befinne seg innen "tennavstand" til området.

3.4 Antennelse fra tog til PE-skum

Den minimale avstanden fra en brann til en PE-skum plate er estimert ved å se på røykens temperaturfall som funksjon av avstand fra brannen i trekkretningen. For å finne den maksimale avstanden en brann kan tenne PE-skum, er avstanden til selvantennelsestemperaturen på 300°C beregnet.

Avstandene fra brannen til maksimal selvantennelsestemperatur er presentert for ulike varmelaster for to forskjellige tunneltverrsnitt i Tabell 2.

Tabell 2 Avstand med gjennomsnittstemperatur over selvantennelsestemperaturen, og avstander med gjennomsnittstemperaturer over 120 °C (dødelig temperatur) Tunneltverrsnitt 30m² og 80m², vindhastighet er 1 m/s.

	Tunneltverrsnitt 30 m² (a) Enkeltsporet			Tunneltverrsnitt 80 m² (b) Dobbeltsporet		
Varmelast	Middel temperatur ved brann(c)	Avstand til temp. < 300°C (gj.snitt)	Avstand til temp. < 120°C (gj.snitt)	Middel temperatur ved brann(c)	Avstand til temp. < 300°C (gj.snitt)	Avstand til temp. < 120°C (gj.snitt)
10 MW	290°C	0 m	90 m	110°C	0 m	0 m
20 MW	580°C	60 m	150 m	215°C	0 m	105 m
30 MW	860°C	75 m	170 m	320°C	10 m	170 m
50 MW	1400°C	90 m	185 m	530°C	80 m	240 m

(a) Ved brannlaster større enn 10 MW i en 30 m² tunnel vil gjennomsnittlig lufttemperatur være større enn selvantennelsestemperaturen på 300°C

(b) Ved brannlaster større enn 28 MW i en 80 m² tunnel vil gjennomsnittlig lufttemperatur være større enn selvantennelsestemperaturen på 300°C

(c) Maksimums temperaturen i tunneltverrsnittet vil være høyere enn middeltemperaturen. Temperatursjiktning vil også gi høyere temperatur langs taket. En forutsetning for antennelse av PE-skum er at temperaturen er over 300°C og at gnister er tilstede eller at temperaturen er over 500 °C. Dvs. henholdsvis temperatur over antennelsestemperatur med pilottenning eller temperatur over selvantennelsestemperatur.

Basert på brannberegningene, kan man slutte at brannene må være større enn 10 MW for å tenne PE-skum som befinner seg utenfor den umiddelbare nærhet til brannstedet. Branner på 5-10 MW antas bare å kunne tenne PE-skum i umiddelbar nærhet til brannen.

Ved store branner på 50 MW er middeltemperaturen estimert til over 300°C i avstander opp til 90 m. Ved disse tilfellene vil temperatur og røyk konsentrasjonene være dødelige i enda større

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

avstander enn 90 m. En ytterligere økning av brannlasten (dersom f. eks. nærliggende felt av PE-skumplater antennes) antas dermed ikke direkte å føre ytterligere forverring av konsekvensene, men slike hendelser er svært uønsket, da slike brannen er meget uforutsigbare og kan skade både redningsmannskap og tunnel.

3.5 Avstand mellom PE-skumplater

Minimal avstand mellom felt av PE-skumplater for å unngå at brann i et felt kan spres til et annet felt kan estimeres fra resultatene presentert i kapittel 3.4. Disse viser at brannen må være større enn 10 MW for å spre brannen utover det umiddelbare nærområdet i tunnellen.

Et representativt scenario kan da være en vognbrann på 10 MW. Dersom denne brannen antenner en PE-skumplate i taket over (16 m^2 plate ≈ 16MW), vil hele brannen ha en varmeutvikling på ≈26 MW. Denne brannlasten vil kunne spre seg over en lengde på 60 m (ref Tabell 2) forutsatt at gnister også er tilstede, og kan dermed antenne evt. andre felt av PE-skumplater innenfor dette området. Dersom det først antente feltet er stort, vil også varmeutviklingen være større, slik at brannen har potensiale til å antenne felt i et tilsvarende større område (ref Tabell 2).

Konsekvensene av å tenne enda en ny PE-skum plate vil forverre et allerede farlig scenario.

Ettersom PE-skumplatene ikke vil brenne lenger enn 2 min., slik at tilleggsbrannbelastningen ikke vil vedvare, antas sannsynligheten for at brannen skal smitte til et annet felt med PE-skumplater som neglisjerbar, så lenge avstanden mellom felt av PE-skumplatene er større enn 100 m.

3.6 Røykgass som funksjon av brannen

Røykgassen som produseres ved en lokomotiv/vogn brann er målt til ca 1500 ppm ved tester foretatt i Repparfjord prosjektet, ref /3/. Tverrsnittsareal i tunnelen var ≈30m^2 og trekkhastigheten var 0.5-1.0 m/s. Varmeutviklingen var ca 10 MW, ref /2/, /4/.

Røykgasskonsentrasjoner ved tunnelbranner vil normalt påvirkes av tunneltrekk og tverrsnittsareal. Siden disse parametrene vil variere fra dag til dag og fra tunnel til tunnel, antas konsentrasjonene i Repparfjord forsøket å være representative for en typisk 10 MW brann ved 1 m/s trekkhastighet.

Ved å skalere Repparfjord-forsøkene kommer vi dermed frem til en estimert midlere CO-konsentrasjon ved varierende brannlaster som vist i Tabell 3. Dødelighetsverdiene er utregnet fra en standard modell for overlevelse ved innånding av CO.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Tabell 3 Estimert konsentrasjon og tid til dødsfall for varierende brannlast. Tabellen er basert på skalering av Repparfjord forsøket.

Varmelast	Estimert CO konsentrasjon	Tid til 1% dødelighet	Tid til 10% dødelighet	Tid til 50% dødelighet
5 MW	750 ppm	78 min	105 min	150 min
10 MW	1500 ppm	40 min	52 min	73 min
20 MW	3000 ppm	20 min	26 min	37 min
50 MW	7500 ppm	8 min	10 min	15 min

Fra Tabell 3 kan vi se at en 20 MW brann vil kunne gi store konsekvenser. Ved en økning av brannlasten fra 20 MW til 50 MW reduseres tid til dødelighet med en faktor ca. 2.5.

3.7 Understøkiometrisk forbrenning

For å finne en absolutt øvre grense for mengde PE-skum som kan tillates i tunneler, kan man benytte grenseverdien for mengden PE-skumplater som kan antennes før forbrenningen blir understøkiometrisk. Understøkiometrisk forbrenning oppstår dersom oksygentilførselen er for lav. I slike tilfeller vil såkalte brannballer bevege seg med høy hastighet mot områder med oksygen. Dersom disse brannballene passerer brennbart materiale (tog, PE-skumplater, mennesker, etc) kan dette antennes, og derved spre brannen og forverre konsekvensene ytterligere. Dette betyr at bruk av PE-skumplater i tunnel i så stor mengde at det kan føre til understøkiometrisk forbrenning, ikke vil være akseptabelt.

For å beregne denne øvre grensen, må man se på forbruket av luft i forbrenning i en tunnel. Luft har en tetthet på ca. 1.2 kg/m^3. Tilførselen på luft i tunnelen er avhengig av trekkhastigheten og tverrsnittsarealet i tunnelen. I beregningene er det antatt at hastigheten på den naturlige ventilasjonen i en tunnel er 0.5 m/s.

- For enkeltsporet tunnel med tverrsnitt 30 m^2, er lufttilførselen 15 m^3/s eller ca. 18 kg luft/s.
- For dobbeltsporet tunnel med tverrsnitt 70 m^2, er lufttilførselen 35 m^3/s eller ca. 42 kg luft/s.

Et tog er antatt å brenne med 0.6 kg/s, samtidig som luft forbrennes med 10 kg luft/kg brensel. Dette vil si at luftforbruket ved forbrenningen er 6 kg luft/s. PE-skumplater antas å forbrenne med 0.7 MW/m^{2}s og frigjør 45 MJ/kg, det vil si 0.015 kg/ m^{2}s. Samtidig forbrenner luften med 15 kg luft per kg brensel.

Dersom forbruket av luft i forbrenningen er større enn tilførselen, vil brannen utvikle seg til å bli understøkiometrisk. Tilgjengelig lufttilførsel til forbrenning av PE-skumplater er altså:

- For enkeltsporet tunnel 12 kg luft/s.
- For dobbeltsporet tunnel 36 kg luft/s.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Det maksimale areal med PE-skumplater som kan tillates i et område i tunnelen vil altså være:

- For enkeltsporet tunnel:

$$\frac{12\ kg\ luft\ /\ s}{15\ kg\ luft\ /\ kg\ brensel * 0{,}0015\ kg\ /\ m^2 s} = 53\ m^2 \text{ eller 3 plater PE - skum}$$

- For dobbeltsporet tunnel:

$$\frac{36\ kg\ luft\ /\ s}{15\ kg\ luft\ /\ kg\ brensel * 0{,}0015\ kg\ /\ m^2 s} = 160\ m^2 \text{ eller 10 plater PE - skum}$$

Dersom så store mengder med PE-skumplater antennes, vil middeltemperaturen i området være så høy at mennesker ikke kan overleve. Som vist i Tabell 2 er middeltemperaturen nær brannen ved en 50 MW-brann ca 1400°C, og selv i en avstand på 90 m. er temperaturen så høy (300°C) at mennesker ikke vil overleve.

Brann i PE-skumplater vil være intens, men kortvarig. Dersom mennesker utsettes for slike temperaturer vil konsekvensene være store, selv om temperaturen vil falle raskt.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

4 TOG STOPPER I TUNNEL.

4.1 Introduksjon.

Et viktig tema i forbindelse med vurderingen av risikoen forbundet med å benytte PE-skumplater til frost/lekkasjesikring, er å beregne sannsynligheten for at brennende tog faktisk stopper inne i en tunnel. For korte tunneler vil dette ha spesielt stor betydning, ettersom lokfører kan styre nedbremsingen av toget, og i mange tilfeller kan unngå å måtte stoppe inne i tunnelen. Faktorer som har betydning er f. eks. togets bremsekraft og "egenretardasjon" (avhenger av luftmotstand og friksjon), tunnelens lengde, stigning, signalering, etc. I noen tilfeller kan lokfører i begrenset grad påvirke togets nedbremsing:

- Ved aktivering av nødbrems.
- Toget må stoppe for rødt signal.
- Ved skade på togets drivkraft.

4.2 Brannfrekvens

Sannsynligheten for hendelsen "tog stopper i tunnel" kan estimeres vha. erfaringsdata for ulike togtyper og lengder av tunneler. Fra tidligere prosjekt (Ref. /1/) har man følgende frekvenser for branntilløp i tog:

- Lok-trukne tog (et togsett består vanligvis av lok + 8-11 personvogner):
  - El. 16: 6 E-8 per km
  - El. 17: 8 E-8 per km
  - Passasjervogner: 2 E-8 per km (Det skilles ikke mellom vanlige personvogner og spesialvogner som barnekupé, bistrovogn etc.)

- Andre:
  - ICE-tog: 1.4 E-7 per sett og km
  - Motorvognsett (type 69): 1.4 E-7 per sett og km

I tillegg trenger man et anslag på hvor mange persontog som passerer gjennom de aktuelle tunneler. I denne studien har man sett på "typiske" toggtettheter:

- 10 tog/døgn (tilsvarer f. eks. Sørlandsbanen)
- 20 tog/døgn (f. eks Vossebanen, Dovrebanen nord for Lillehammer)
- 50 tog/døgn (Oslo-området med "radius": Skien-Kongsberg -Roa-Lillehammer-Kongsvinger-Halden)
- 100 tog/døgn (Oslo-området med "radius": Eidsvoll-Drammen-Moss, og lokaltog Bergensområdet)
- 250 tog/døgn (Oslo-området: Lillestrøm, Ski, Asker)

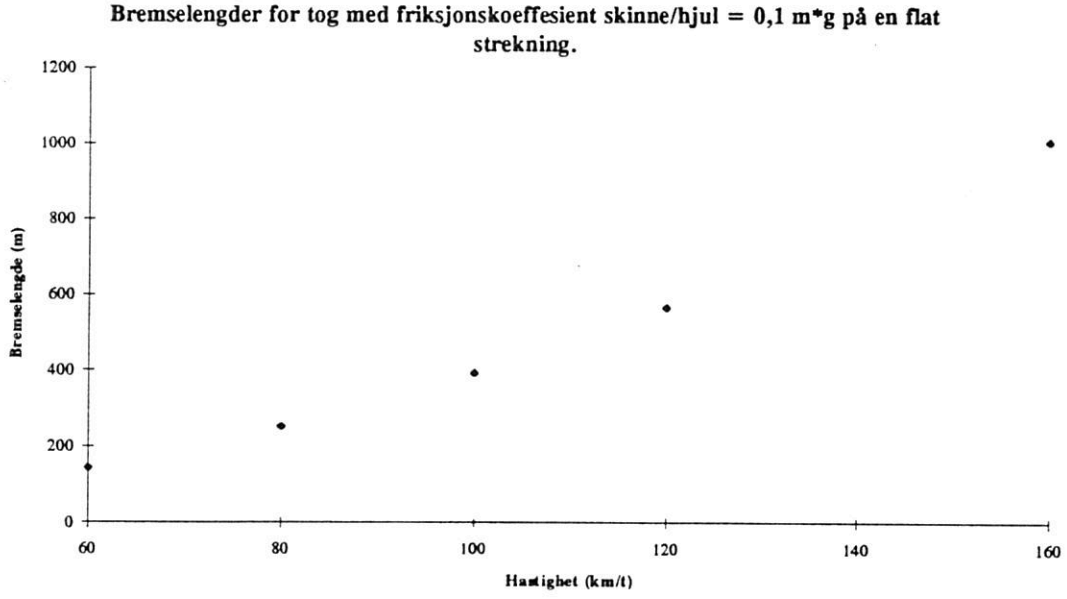
Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Eksempel på beregning av frekvens for branntilløp i tunneler:

Dette vil si at for en 3 km. lang tunnel som trafikkeres med 20 lok-drevne tog (El17 + 8 vogner) per døgn, forventes 0.0053 togbranner per år å oppstå i tunnelen (eller branntilløp hvert 190. år). For strekninger som er tett trafikkert av lokaltog, f. eks 100 tog/døgn, forventes det å oppstå 0.015 branner per år i en 1 km. lang tunnel (eller branntilløp hvert 65. år).

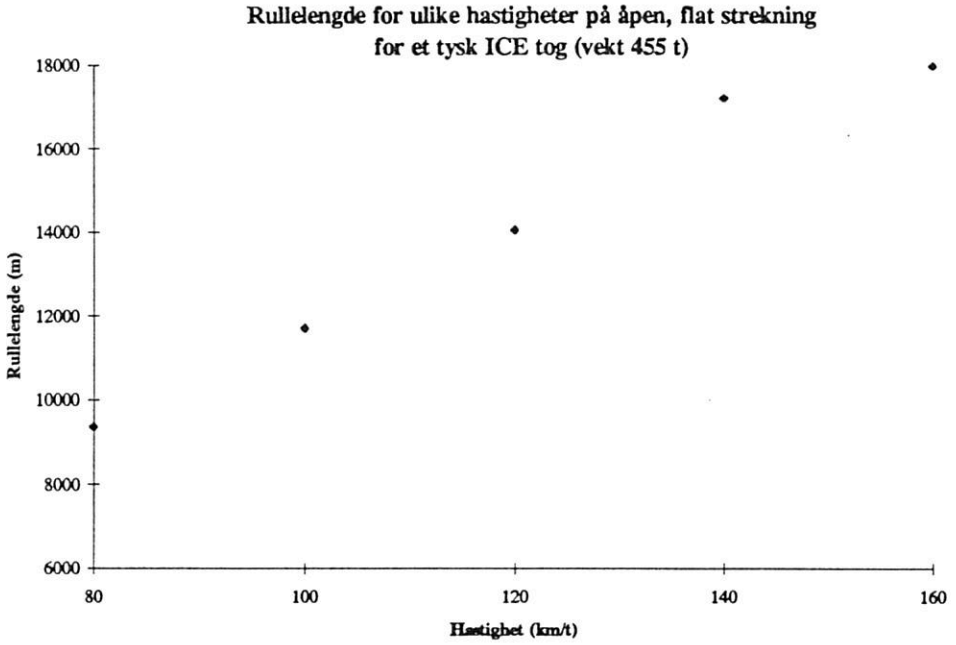
Det er i størrelsesorden 200 tunneler med lengde mellom 100 m og 3 km på NSBs banenett. Dersom en togbrann skulle oppstå i tunnel, og lede til svært alvorlige konsekvenser for passasjerene, vil dette ikke være akseptabelt.

Dersom en ulykke inntreffer inne i en tunnel, har lokfører instruks om å forsøke å føre toget raskest mulig ut av tunnelen. Lokfører kjenner normalt strekningen så godt (f. eks avstand til neste tunnel, lengde på tunnel og lengde åpen strekning til evt. neste tunnel el. hindring.) at han kan styre togets nedbremsing, ved enten forsøke å stoppe toget før tunnelen, eller kjøre/rulle toget ut, slik at toget ikke stopper inne i tunnelen. Figurene nedenfor illustrerer bremse- og rullelengde for tog i ulike hastigheter på en åpen flat strekning.



Figur 2 Bremselengde for ulike hastigheter på åpen, flat strekning. Ref. /1/

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.



Figur 3 Rullelengde for ulike hastigheter på åpen, flat strekning for et tysk ICE tog (vekt 455t)

Strekningene vil bli kortere/lengre ved hhv. stigning/fall, og vesentlig kortere i tunnel fordi luftmotstanden i tunneler er høyere enn på åpen strekning (i tillegg øker retardasjonen i en tunnel tilnærmet kvadratisk med hastigheten), vil rullelengden bli kortere. (Se Appendiks B).

For tunneler kortere enn 3 km (uten sterk stigning og uten hovedsignaler) er sannsynligheten for at toget må stoppe i tunnelen relativt liten, da lokfører i stor grad kan styre togets nedbremsing slik at toget enten stopper før tunnelen eller kan rulle ut. I noen tilfeller kan lokfører bare i begrenset grad kan styre togets nedbremsing:

- Dersom nødbremsen er benyttet.
- Dersom hovedsignal/blokkpost er plassert i eller like etter tunnel

Dersom lokfører kan styre togets nedbremsing, dvs ingen av de ovennevnte situasjoner har inntruffet, vil vi i denne studien anta at sannsynligheten for at et brennende toget blir stående inne i tunnelen er neglisjerbar. Videre antas det at dersom et brennende tog må stoppe inne i en tunnel p.g.a. de ovennevnte hendelser, vil toget også måtte bli stående, slik at passasjerer må evakueres ut på linjen (dvs at tid til nødbrems er opphevet, eller tid til togpersonell får kontaktet togledelsen for skifte av signal, antas å være lengre enn tid til overtenning).

4.3 Bruk av nødbrems i tunnel

Bruk av nødbremse på tog i ulykkestilfeller er en meget uvanlig foreteelse. Det kan synes som om passasjerer ikke benytter nødbremsen selv om de registrerer at det er noe galt med toget, men heller forsøker å varsle togbetjening. I denne studien er det antatt at passasjerer vil aktivere nødstoppen ved branntilløp i 10% av tilfellene.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

For korte tunneler vil det kun være i et relativt kort tidsintervall det er kritisk å dra i nødbremsen. Ved en kjørehastighet på 100 km/t tar det kun 18 sek. å passere en tunnel på 500 m. og i underkant av 2 min. å passere en tunnel på 3 km. Dette vil si at det p.g.a. bremselengden er mest kritisk dersom nødbremsen aktiveres like før toget kommer til en tunnel (og den reisende altså ikke vil være kjent med tunnelfaren).

Dersom nødbremsen aktiveres har ikke lokfører noen mulighet til å styre togets nedbremsing.

4.4 Skade på togets drivkraft som følge av togbrann.

I visse sammenhenger kan en brann i et tog starte som følge av elektrisk feil i traksjonsutrustningen. Dette har forekommet noen ganger på BM 69 vogner og andre mer moderne trekkraftaggregater. Årsakene har vært feil i omkoblerutrustning, isolasjonsfeil i kabler eller feil på strømretterutrustning eller annen kraftelektronikk.

Enkelte korte ulykkesbeskrivelser kan tyde på at elektriske feil og brann som medfører tap av framdrift ofte skjer i forbindelse med oppstart etter en stopp eller ved annen akselerasjon av toget, og i liten grad i en kjøresituasjon hvor det ikke skjer hastighetsforandringer. Tunneler som grenser inn mot en stasjon med hyppige togstopp kan derfor være mest utsatt for å oppleve at et brennende tog blir stående i tunnelen på grunn av følgende forhold:

- Større sannsynlighet for at det oppstår brann med traksjonsfeil.
- Relativt liten hastighet på toget ved innkjøring i tunnelen kan gjøre det vanskelig å rulle ut samt ikke tillatt å rulle tilbake.
- Signalstopp i tunnel hvis innkjørshovedsignal til stasjonen er plassert i tunnelen.

At et brennende tog skal være nødt til å stoppe i en kort eller middels lang tunnel på linjen midt mellom to stasjoner hvor toget holder full strekningshastighet kan synes mindre sannsynlig.

I mange tilfeller er branner og branntilløp registrert ved opphold på stasjon, men i slike tilfeller er det grunn til å tro at det har oppstått underveis og ikke påvirket togets framdrift, men oppdaget først ved ankomst neste stasjon.

4.5 Signalstopp i tunnel

Hvis en tunnel er utrustet med hovedsignaler enten i form av innkjør- eller utkjørhovedsignaler eller blokkpostsignal, kan signalene være en årsak til at tog må stoppe i tunnelen, selv om det skulle være brutt ut brann i toget.

På vanlige enkeltsporede strekninger vil man normalt unngå å plassere signaler i tunnel, men ved stasjoner som ligger for enden av en lengre tunnel eller umiddelbart mellom to tunneler vil det kanskje ikke være til å unngå med et eller flere innkjørshovedsignaler plassert i tunnelen. På Bergensbanen har man i tillegg plassert kryssingsstasjoner med tilhørende innkjørs- og utkjørssignaler i tunnel (Fagernut) for å oppnå et værbeskyttet kryssingsspor. Den mest vanlige form for hovedsignalutrustning i tunnel på enkelt- og dobbeltsporet strekning vil sannsynligvis være innkjørshovedsignal til nærliggende stasjon. I lengre tunneler på svært trafikkerte dobbeltsporstrekninger kan det være flere stasjoner og blokkposter etter hverandre i samme tunnel f. eks. Oslotunnelen og Liertunnelen samt i Romeriksporten tunnel som er under bygging.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

4.5.1 Årsak og hyppighet av stopp ved ulike typer hovedsignal:

1. Hovedsignal for stasjon på enkeltsporet strekning:

Med mindre en stasjon er av de få i Norge som er utrustet for samtidig innkjør kan innkjørstogveg kun stilles fra en retning om gangen. Dette medfører stoppsignal i innkjør fra motsatt retning. Hvis togene ankommer kryssingsstasjonen samtidig betyr det at ett av togene får stopp i stasjonens innkjørshovedsignal mens det andre får stopp ved stasjonens kryssingsspor for å påvente innkjør av det andre toget før klart utkjørssignal kan stilles. Togene ankommer ikke alltid stasjonen samtidig og det kan bety at i mange tilfeller vil ingen av togene få stopp i innkjør, mens det i andre tilfeller kan være stopp på grunn av banearbeider eller feil med sikringsanlegg o.l. selv om det ikke foreligger rutemessig kryssing.

Noe konservativt kan vi si at ved kryssing mellom to tog på enkeltsporet strekning vil et av togene stoppe foran innkjørshovedsignal og det andre ved utkjørshovedsignal.

En grov sjekk av grafisk ruteplan for rutetermin 144 på Sørlands- og Vestfoldbanen banen kan antyde at tog har rutemessig kryssing i gjennomsnitt ved hver 4-5 stasjon. Dette betyr at for utvalgte innkjør- eller utkjørhovedsignaler har ca 20 -25 % (kanskje noe høyt anslått) av togene stopp ved signalene. For tett trafikkerte strekninger i topptrafikken kan prosentandelen være vesentlig høyere, mens den kan være vesentlig lavere for svakt trafikkerte baner i tidsperioder med få tog. Som et gjennomsnitt kan 20 % synes fornuftig.

2. Blokkposter på enkeltsporet strekning:

Frekvensen av stoppsignal ved blokkposter på enkeltsporete strekninger er nok vesentlig mindre enn for hovedsignaler ved stasjoner, og 10 % stoppsignalandel kan være et fornuftig estimat.

3. Hovedsignal på dobbeltsporet strekning:

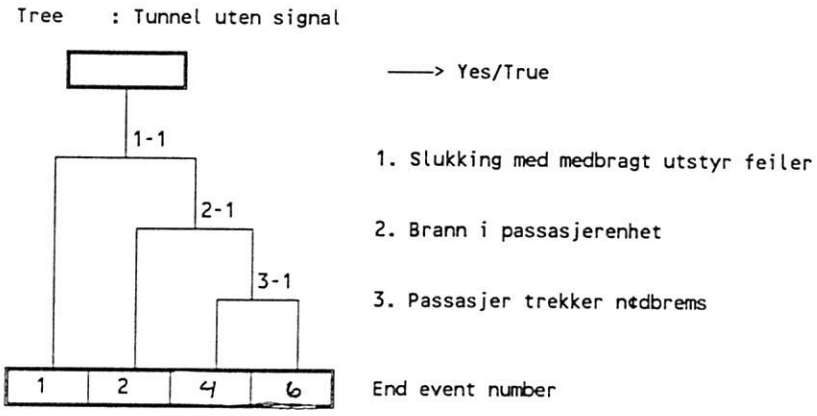
Situasjonen er en litt annen på dobbeltsporet strekning. Her vil tog kunne få stopp i hovedsignal (blokk, innkjør eller utkjør) hvis det tar igjen forankjørende tog, eller foranliggende strekning ikke er klar. I tillegg kan tog få stopp i utkjørshovedsignal for kryssing hvis det iverksettes enkeltsporet drift på deler av strekningen. Spesielt på de indre lokaltogstrekninger rundt Oslo i topptrafikkperiodene skjer det ofte at direktegående tog tar igjen saktegående lokaltog med tilhørende hyppige signalstopp. Sett over driftsdøgnet totalt og alle signaler på hele strekningen vil vi anslå at frekvensen av stoppsignal mellom 10 - 20 % av alle hovedsignalbilder som vises.

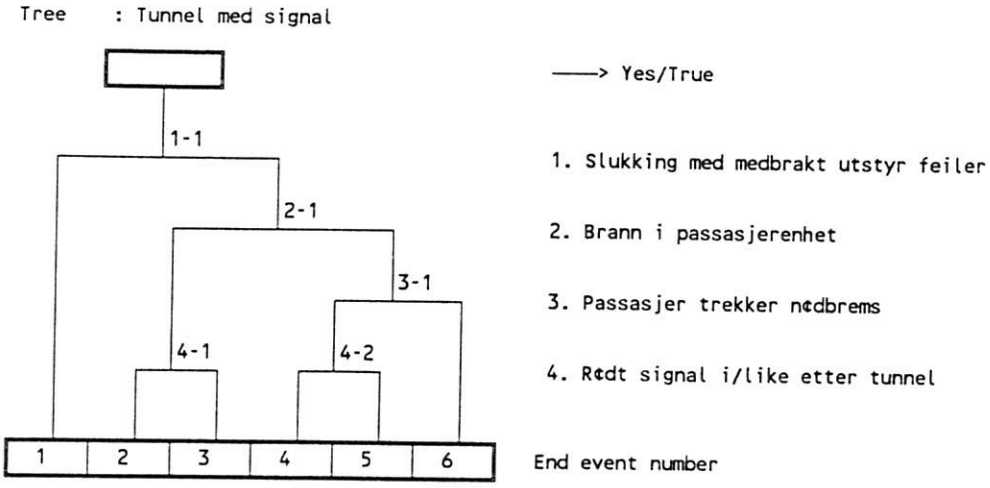
Her kan det dog være store geografiske forskjeller, f. eks ved innkjørssignaler til Skøyen stasjon samt mot Nationalteatret stasjon og ved innkjør til Oslo S kan sannsynligvis stoppprosenten være vesentlig høyere og bortimot 40 - 50 % i topptrafikktiden. Også ved innkjør til Ski og Asker stasjon er det hyppig stopp i innkjørssignal på grunn av utilstrekkelige eller ikke-optimale sporarrangement.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

4.6 Beregning av sannsynlighet for at tog skal stoppe i tunnel.

Modellen fra forrige prosjekt, ref /1/ ble benyttet i vurderingene. Hendelsestrærne som er benyttet i studien er illustrert nedenfor.





Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

For slutthendelsene 1, 2 og 4 kan toget kjøre ut av tunnelen. Det antas da at PE-skum ikke vil å antennes, slik at personrisikoen ikke påvirkes av hvorvidt det er PE-skum i tunnelen.

For slutthendelsene 3, 5 og 6 blir brennende tog stående i tunnelen. Dersom brannstedet er tilstrekkelig nært evt. PE-skumplater vil disse kunne antennes, og konsekvensene for de reisende vil forverres ytterligere.

Oversikt over grensesannsynlighetene benyttet i vurderingene er gitt nedenfor:

For alle tunneler:

P_1	Slukking med medbrakt utstyr feiler:	Avhenger av togtype, for El-lokdrevne tog og motorvognsett er grensesannsynligheten $P_1 = 0.4$
P_2	Brann i passasjerenhet:	Avhenger av togtype, for lokdrevne tog er $P_2 = 0.67$, mens for motorvognsett er $P_2 = 1$
P_3	Passasjer trekker nødbrems:	Antatt konstant for alle tog, $P_3 = 0.1$

For tunneler med signal:

For tunneler med signal antas det at det er PE-skum i området som okkuperes av tog som stopper for rødt signal. Dersom det ikke er PE-skum i dette området, vil vurderingene bli tilsvarende som for de tunneler der det ikke er signal i eller like etter tunnel.

P_4	Rødt signal i/like etter tunnel:	Avhenger av trafikktetthet/strekning som beskrevet i kap, men har i vurderingene antatt minste anslag, dvs. at det er rødt signal for 10% av togpasseringene, altså at $P_4 = 0.1$.

Med disse anslagene ser man at sannsynligheten for at et brennende tog skal stoppe i en tunnel vil bli svært liten. Selv om toget skulle stoppe i tunnelen, er det bare en viss sannsynlighet for at PE-skumplatene i tunneltaket vil antennes. Hvorvidt platene antennes avhenger av om brannstedet er tilstrekkelig nær PE-skumplatene til at disse antennes.

P_5	Overtenner tog og antenner PE-skum:	Dersom tog stopper for rødt signal (og det er PE-skum i området som okkuperes av tog som stopper for rødt signal), antas det at PE-skumplatene vil antennes, dvs. at $P_5 = 1$. Dersom tog stopper fordi nødbremsen er aktivert, er sannsynligheten for at toget stopper slik at PE-skumplatene kan antennes avhengig lengde på felt med PE-skumplater i forhold til tunnellengden, dvs. at: P_5 = (lengde antent vogn + mulig antennelsesstrekning - se Tabell 1 + lengde PE-skumplater)/tunnellengde.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

For å beregne konsekvensene av brannen for de evakuerende passasjerende og med den tilleggsbelastning som PE-skumplatene representerer, er samme modell som i det tidligere prosjektet benyttet. Et problem med denne modellen er at PE-skumplatene vil forbrenne svært raskt, slik at tilleggsbelastningen (varme og røykmengde) vil være meget intens, men også svært kortvarig. Risikobildet og dermed anbefalingene kan dermed bli vel konservativt.

Dersom de evakuerende passasjerene flykter med trekkretningen, eller at vindretningen snur som følge av brannen, risikerer de at røykfronten tar dem igjen. Konsekvensene kan bli svært alvorlige dersom de evakuerende personene ikke klarer å ta seg ut av tunnelen p.g.a. røykforgiftninger.

Sannsynligheten for at et 6 m. langt felt med PE-skumplater skal antennes kan, basert på feiltreet over, beregnes for tunneler med ulik trafikktetthet. Det er her antatt at branntilløp i et lokaltog (type 69), vil antenne evt. PE-skumplater i taket dersom disse er tilstrekkelig nærme. Det er videre antatt at et felt med PE-skumplater er maksimalt 6 m. langt, og det er mer enn 100 m. mellom hvert felt (slik at brannen ikke kan spre seg til et annet felt).

Ved å se på ulike størrelser av felt, kan man finne den nedre fatalitetsprosent som tilsier at sikring av PE-skumplatene vil være kostnadseffektiv.

Tabell 4 Enkeltsporet tunnel, ulike trafikktettheter.

tog/ døgn	tog/år	Årlig frekvens for hendelsen "brennende tog antenner PE-skumplater i tunneltaket"	Fatalitetsprosent ved ulykke for kostnadseffektiv investering
10	3 650	5,76E-06	90 %
20	7 000	1,11E-05	55 %
30	10 950	1,73E-05	30 %
40	14 600	2,31E-05	25 %
50	18 250	2,88E-05	20 %
100	36 500	5,76E-05	10 %
250	91 250	0,000144	5 %

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Tabell 5 Dobbeltsporet tunnel, ulike trafikktettheter.

tog/ døgn	tog/år	Årlig frekvens for hendelsen "brennende tog antenner PE-skumplater i tunneltaket"	Fatalitetsprosent ved ulykke for kostnadseffektiv investering
10	3 650	3,1E-06	100 %
20	7 000	5,94E-06	100 %
50	18 250	1,55E-05	80 %
80	29 200	2,48E-05	50 %
100	36 500	3,1E-05	40 %
250	91 250	7,74E-05	15 %

Deretter må man vurdere hvorvidt det er trolig at en så stor andel av passasjerene vil omkomme i et "worst-case scenario" i en brann av dette omfanget. Dersom et brennende tog blir stående i tunnel (lengde 0 - 3 km.), og brannen antenner PE-skumplater i toget, er det basert på betraktninger av "worst-case scenario", antatt en maksimal fatalitetsprosent på 50 %

I en dobbeltsporet tunnel er lufttilstrømningen større slik at en brann vil føre til oppvarming av mindre områder, og lavere CO-konsentrasjoner enn en tilsvarende brann i en enkeltsporet tunnel. På den annen side er det en viss sannsynlighet for at flere tog kan bli involvert i hendelsen ved at det er trafikk på to spor.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

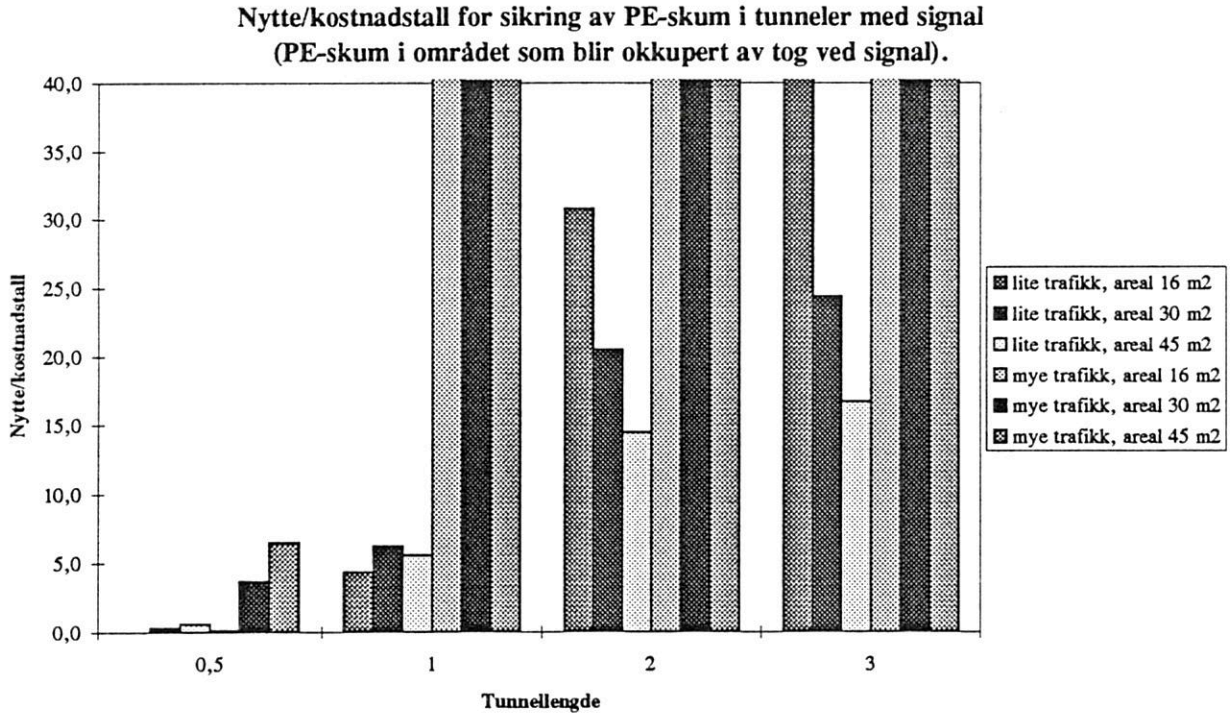
5 RESULTATER

Sannsynligheten for at et brennende tog må stoppe i tunnel antas å være neglisjerbar med mindre:

- Nødbrems er aktivert.
- Toget må stoppe for signal.

I øvrige tilfelle antas det at lokfører ved branntilløp kan styre togets nedbremsing og derved stoppe toget før tunnel eller kjøre/rulle ut av tunnelen. Det er antatt at et brennende tog som må stoppe, vil bli stående, og derved med stor sannsynlighet antenne evt. PE-skumplater som befinner seg i nærheten av brannstedet.

Dersom det er PE-skumplater i området som okkuperes av tog som må stoppe for rødt signal, viser resultatene (se Figur 1) basert på en nytte/kostnadsmodell at sikring av PE-skumplater er kostnadseffektivt for alle tunneler lengre enn 500 m. For tunneler på lengde 500 m der kun én PE-skumplate (areal 16 m^2) er benyttet, og det er lite trafikk (ca 20 tog/døgn), kan det være hensiktsmessig å vurdere evt. negative effekter ved å sikre PE-skumplatene før tiltaket gjennomføres.

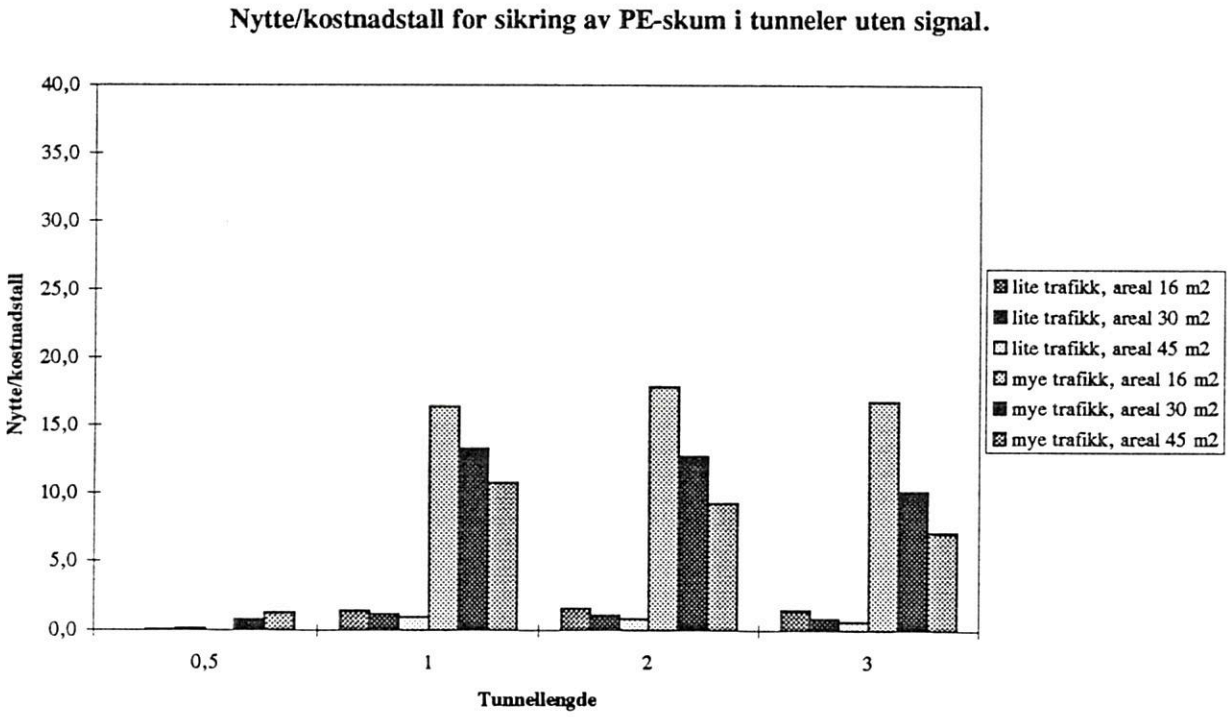


Figur 4 Nytte/kostnadstall for sikring av PE-skumplater i tunnel. I vurderingene er det antatt at det er PE-skumplater i området som blir okkupert av tog som stopper for rødt signal. "Lite trafikk" betyr her 20 tog/døgn, mens "mye trafikk" betyr 250 tog/døgn.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Dersom det ikke er signal i tunnelen, eller ikke er PE-skum i det området som okkuperes av tog som stopper for signal, er nytte/kostnadstallene for å sikre evt. PE-skumplater generelt noe lavere, se Figur 5. Som figuren viser er det fremdeles kostnadseffektivt å sikre PE-skumplater i tunneler lengre enn 500 m. For kortere tunneler med liten trafikk, bør evt. negative effekter ved sikring av PE-skumplater vurderes før tiltaket implementeres.

I følge disse resultatene kan det se ut som om det er mindre kostnadseffektivt å sikre store arealer med PE-skumplater. Dette skyldes to faktorer; konsekvensene dersom et lite areal med PE-skumplate antennes antas å være så alvorlige, at de ikke ville forverres ytterligere dersom området var større. I beregningene er dessuten kostnadene forbundet med sikring av PE-skumplatene antatt å være proporsjonale med arealet. Dette gir et litt feil kostnadsbilde, ettersom tilleggskostnadene i forbindelse med sikringen (tilkomst, innstilling av trafikk etc.) ikke nødvendigvis avhenger av arealet.



Figur 5 Nytte/kostnadstall for sikring av PE-skumplater i tunneler der det ikke er signal, eller ikke er PE-skumplater i området som blir okkupert av tog som stopper for rødt signal. "Lite trafikk" betyr her 20 tog/døgn, mens "mye trafikk" betyr 250 tog/døgn.

Resultatene fra nytte/kostnadsanalysene er vurdert som noe konservative, bl. a. fordi de ikke tar hensyn til at en evt. brann i PE-skumplater vil være kortvarig, slik at varme- og røykutviklingen vil være svært intens i den tidsperioden mens platene brenner, men deretter vil falle ned på et mye lavere nivå. Anbefalingene nedenfor er derfor basert på nytte/kostnadsvurderingene, men er justert i samsvar med diskusjonene i kap. 3.7 og kap. 4.6.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

Følgende tiltak for sikring av PE-skumplater i tunneler av lengde 0 - 3 km anbefales:

- **Tunnel med hovedsignal:**

  Uavhengig av tunnelens lengde anbefales at man sikrer alle felt av PE-skumplater i tunneler i området som okkuperes av persontog som stopper for hovedsignal, dvs. en strekning på 300 m foran hovedsignal.

- **Tunneler med lengde < 500 m.:**

  For tunneler (uten signal) kortere enn 500 m., er sannsynligheten for at et brennende tog må stoppe i tunnelen så liten at det muligens ikke er hensiktsmessig med slike restriksjoner på bruken av PE-skumplater til frost/lekkasjesikring. Det anbefales likevel at man unngår å benytte PE-skumplater i lange, sammenhengende partier.

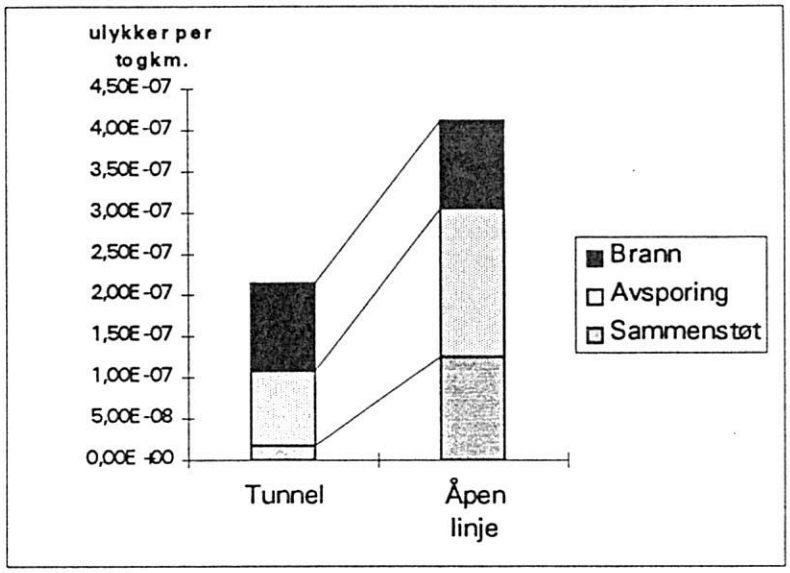
- **Enkeltsporete tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**
  - Sikre alle felt av PE-skumplater i tunneler med mer enn 30 togpasseringer per døgn.
- **Dobbeltsporete tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**
  - Sikre alle felt av PE-skumplater i tunneler med mer enn 80 togpass. per døgn.
- **Punktsikring i tunneler (lengde 500 - 3000 m.):**

  Alle felt av PE-skumplater i tunneler med sammenhengende lengde større enn 6 m (dvs. 3 plater) bør fjernes eller sikres. Tilsvarende må et felt på 6 m. sikres hvis det er mindre enn 100 m. avstand til neste felt. Det vil si at for korte tunneler med liten trafikk kan punktsikringer tillates dersom det er større avstand enn 100 m. mellom feltene.

Det er ikke tatt hensyn til evt. negative effekter ved å fjerne/sikre PE-skumplatene.

Generellt kan det sies at ulykkesfrekvensen i tunneler er noe lavere enn på åpen linje (se Figur 6), ettersom noen ulykker normalt ikke inntreffer i tunneler (ulykker med årsak i ras, solslyng, etc.). Ulykkesfrekvensen for brann antas ikke avhengig av hvorvidt toget er i tunnel eller på åpen linje. Så langt har ingen reisende eller andre personer omkommet p.g.a. togbrann i NSBs tunneler. Erfaring fra utlandet tilsier at en evt. togbrann i tunnel kan føre til alvorlige konsekvenser for de reisende, men det er ikke kjente tilfeller der PE-skumplater i tunneltak eller vegger har blitt antent ved togbrann og derved forverret konsekvensene ytterligere. Det er likevel ingen grunn til å anta at sikkerheten i tunneler er dårligere enn på NSBs jernbanenett forøvrig.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.



Figur 6 Ulykkesfrekvenser for tog i tunnel og på åpen linje.

Bergensbanen er en av NSBs mest tunnelrike banestrekninger med totaltvel 80 km. tunneler. På Bergensbanen er det benyttet 28 449 m^2 PE-skumplater, hovedsaklig på høyfjellsstrekningen og på de vestre deler. Hvis vi antar at der PE-skumplater er benyttet til frost/lekkasjesikring er gjennomsnittlig bredde på feltene 6 - 7 m. (tilstrekkelig til å beskytte kontaktledningsanlegg og skinner fra vannlekkasje i enkeltsporete tunneler), tilsvarer dette ca. 4 500 m. med PE-skumplater, eller ca 6 % av total tunnellengde på Bergensbanen.

Selv om konsekvensene av en brann i disse partiene kan bli noe værre enn for andre tunneler, mener vi at det fortsatt vil være slik at tunneler generelt med dagens bruk vil være minst like sikre som jernbanestrekninger på åpen linje.

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

6 REFERANSER

/1/ Eksisterende tunneler - Sikkerhet og Beredskap, DNV 96 - 3472

/2/ "Smoke and Heat Production in Tunnel Fires", C. Steinert, p131, Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, Swedish National testing and Research Institute, SP Report 1994:54.

/3/ "Temperature and Smoke Concentrations in the Interior of a Railway Coach in the event of a Fire in a Tunnel", F. Pichler et. al., p279, Proceedings Safety in Road and Rail Tunnels, University of Dundee, April 1995.

/4/ "Heat Release Rate Measurements in Tunnel Fires", H. Ingason, p86, Proceedings of the International Conference on Fires in Tunnels, Swedish National testing and Research Institute, SP Report 1994:54.

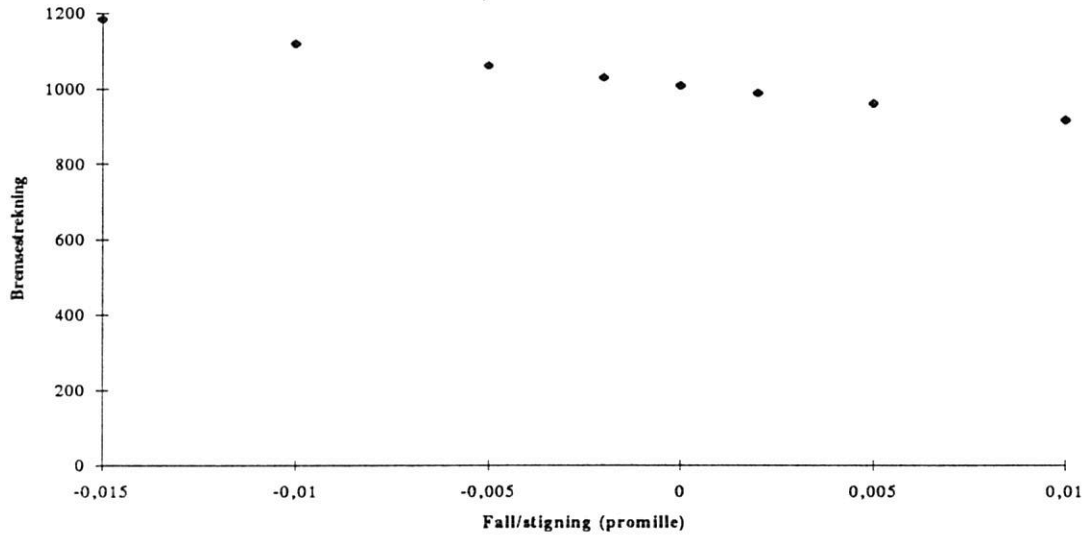
- o0o -

Gjengivelse i utdrag som kan virke misvisende, er ikke tillatt.

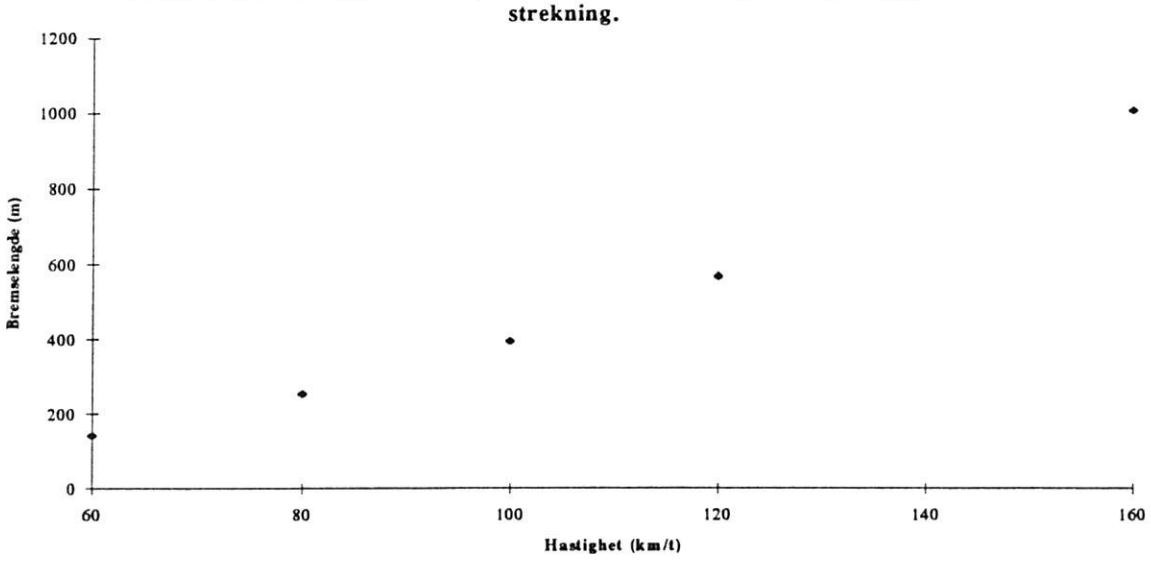
APPENDIKS

A
BREMSELENGDER

Bremselengder for et tog med bremsekraft 0.1 og starthastighet på 160 km/t.

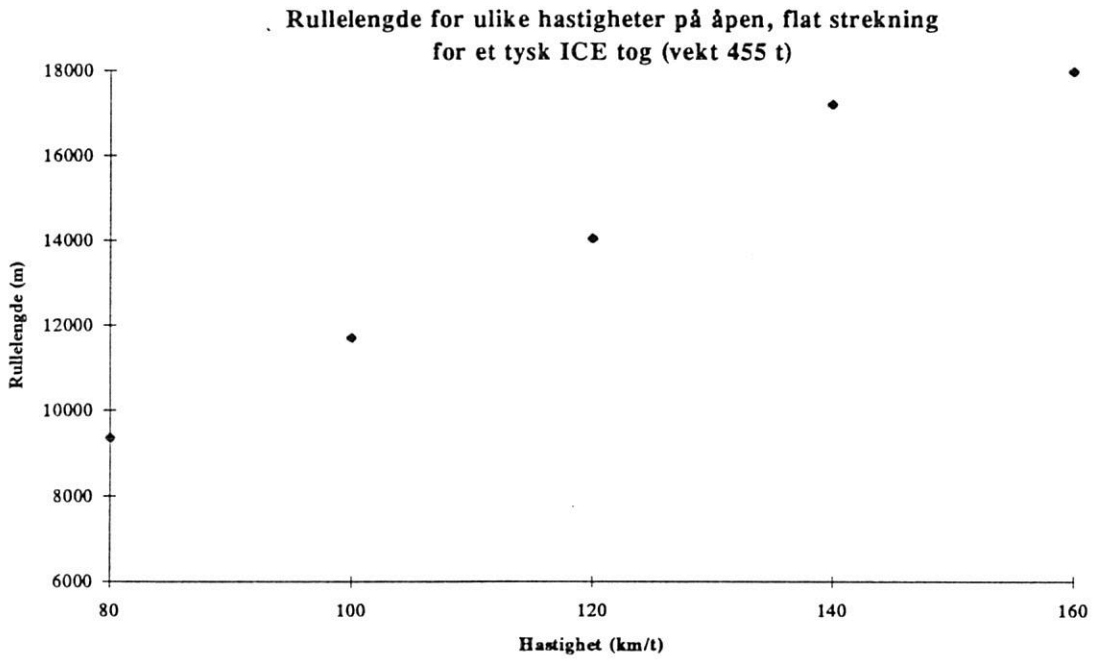


Bremselengder for tog med friksjonskoeffesient skinne/hjul = 0,1 m*g på en flat strekning.

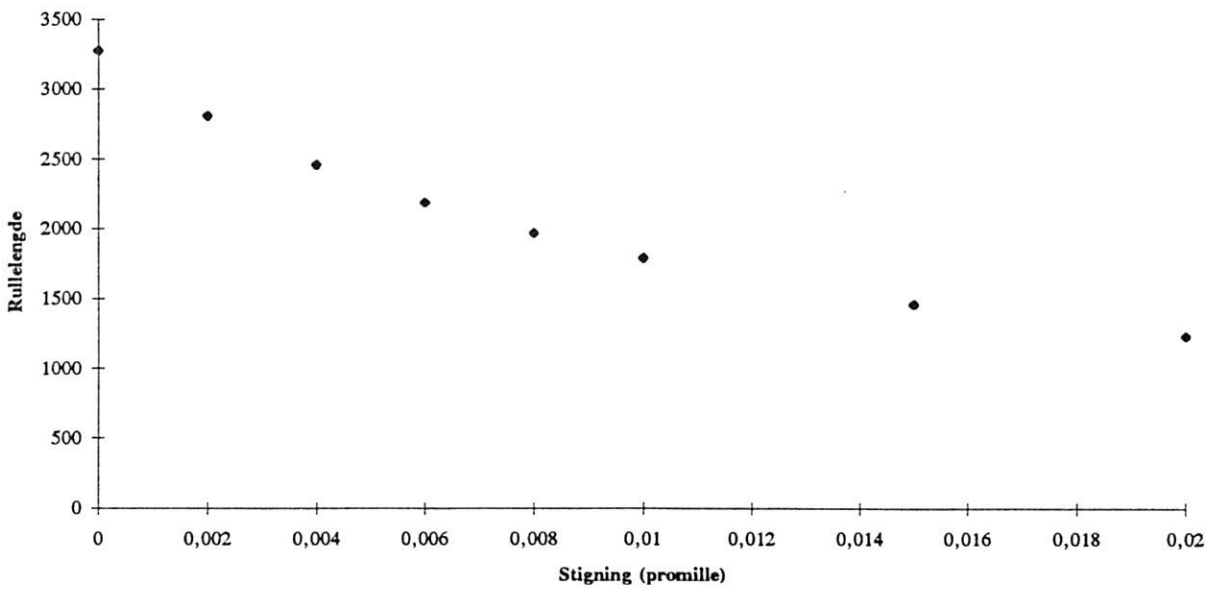


- o0o -

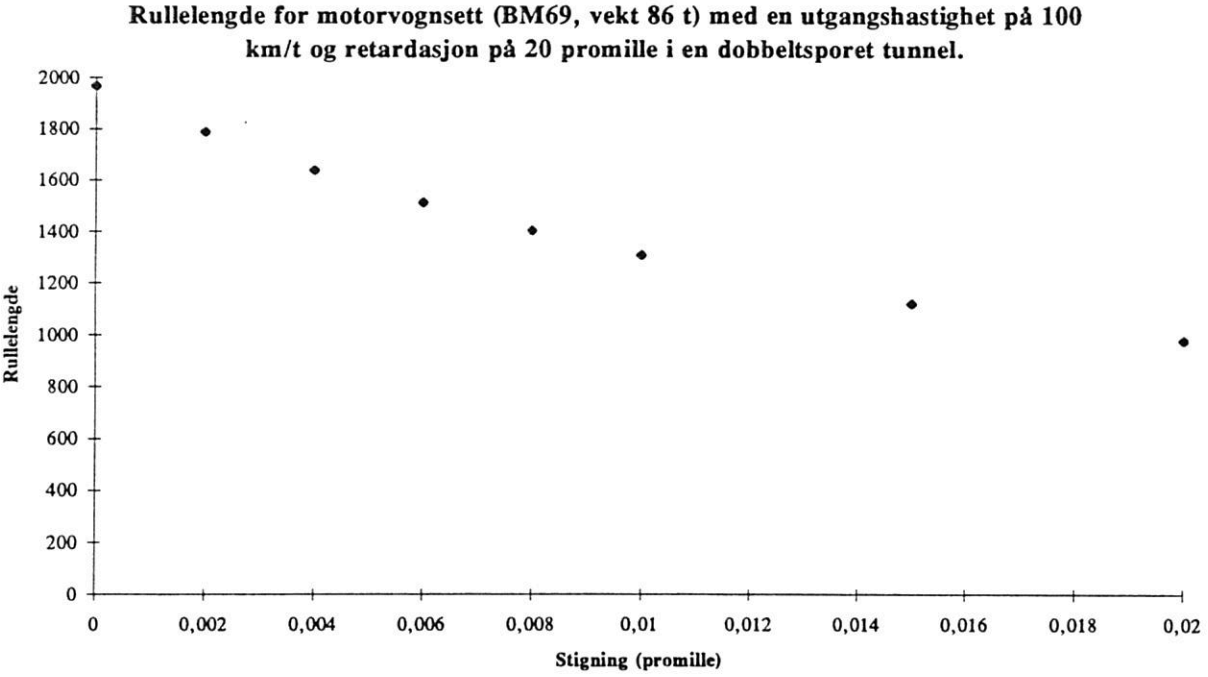
APPENDIKS
B
RULLELENGDER



Figur 7 Rullelengde for ulike hastigheter på åpen, flat strekning for et ICE tog (vekt 455t)



Figur 8 Rullelengder som funnet i forsøk ved Lieråsen tunnel (flat strekning). Rullelengder for strekning med stigning er beregnet ut fra resultat fra forsøk.



Figur 9 Rullelengder som funnet i forsøk ved Lieråsen tunnel (flat strekning). Rullelengder for strekning med stigning er beregnet ut fra resultat fra forsøk.

- o0o -

APPENDIKS
C
ULYKKESSTATISTIKK

Dato	Type materiell	Beskrivelse
27.5.93	BM 69	Branntilløp i ventilasjonsanlegg, brann slukket av brannvesenet.
30.6.93	Di 3	Tok fyr (ikke reparert 2 mnd. senere).
24.9.93	BM 91	Brann i brannkjelen, brann slukket av brannvesenet.
28.11.93	BM 68	Branntilløp i ventilasjonsvifte. Brann under kontroll til reisende var evakuert. Deretter en oppblussing av brannen, før den ble slukket.
15.3.94	El. 17	Brann oppsto mens lok sto i verkstedet. Små skader.
4.2.94	BM 69	Branntilløp i ventilasjonsviften i taket. Slukket med brannslukkingsapparat.
23.7.64	FR3 (Gods/ serveringsvogn)	Branntilløp. Overoppheting i varmebatteriet p.g.a. tett luftfilter. Vogn satt ut.
5.9.94	El. 13	Brann i Lodalen.
6.3.95	BR (serveringsvogn)	Branntilløp p.g.a. elektrisk overslag i 1000-volt anlegget.
27.7.95	Di 4	Røyk fra maskinrommet. Lokførere slukket brannen.
12.9.95	El. 17	Brannen slukket av brannvesenet.
28.3.95	FR (serveringsvogn)	Brann inne i verksted Grorud. Slukket av brannvesenet.
29.3.95	B7 (FR7) (serveringsvogn)	Røykutvikling i ventilasjonsanlegget. Slukket av brannvesenet
(28.6.95		Brann langs skinnegangen forårsaket av godstog)

Kilde: På Sporet.

- o0o -