

# Limfjordstunnelen - risikoanalyser

- **EU direktiv 2004/54/EF**  
**Minimumssikkerhedskrav for vej tunneler**



# Agenda

- EU-direktivets krav
- Overordnet fremgangsmåde for risikoanalyser
  - Acceptkriterier
  - Hasardidentifikation (kvalitativ/semi-kvantitativ analyse)
  - Væsentlige inputparametre (trafikmængder, farligt gods, ...)
  - Detaljeret risikomodel (kvantitativ analyse)
    - Frekvensanalyser (statistik), Konsekvensanalyser (hændelsestræer, CFD beregninger), Risikoberegninger
- Resultater, kort status
- Videre arbejde

# Rambølls opgaver

- Søren Randrup-Thomsen, afdelingsleder i Risiko og Sikkerhed
  - 19 medarbejdere med opgaver indenfor
    - Infrastruktur og byggeri
    - Transport (Sejlads, Veje, Jernbaner)
    - Proces og energi
    - Olie og Gas
  - Nuværende tunnelopgaver
    - EU-direktiv (Limfjorden, Guldborgsund, Frederikssundsvej)
    - Femern Bælt tunnelen
    - Nordhavnsvejstunnelen
    - Marselistunnelen
    - Skalafjordurtunnelen

# EU direktivet

- Bilag 1. Punkt 1.1.3
  - Der skal udarbejdes en risikoanalyse, der skal tage hensyn til ulykker, der påvirker trafikanternes sikkerhed i tunnelen, og som kan tænkes at indtræffe i driftsfasen, samt arten og omfanget af deres mulige konsekvenser.
- Bilag 1. Punkt 1.3.2
  - Der skal foretages en vurdering af den øgede risiko for trafikanternes sikkerhed, hvis en af følgende situationer forekommer i dag:
    - Antallet af lastvogne på over 3,5 tons udgør mere en 15 % af den daglige trafikmængde beregnet som årsgennemsnit, eller
    - En sæsonbetinget daglig trafikmængde væsentlig overstiger den gennemsnitlige daglige trafikmængde beregnet som årsgennemsnit.

# EU direktivet

- Bilag 1. Punkt 2.2.3
  - I tunneler med hældninger på over 3 % skal der træffes supplerende og/eller skærpede foranstaltninger for at fremme sikkerheden på grundlag af en risikoanalyse.
- Bilag 1. Punkt 2.2.4
  - På grundlag af en risikoanalyse skal der træffes supplerende og/eller skærpede foranstaltninger, hvis bredden af vognbanen for langsom kørsel er mindre end 3,5 m og lastvogne har lov til at køre der.
- Bilag 1. Punkt 2.3.5
  - Der skal være nødudgange, hvis en risikoanalyse af røgs udbredelse og spredningshastighed viser, at ventilationen og andre sikkerhedsforskrifter ikke er tilstrækkelige til at garantere trafikanternes sikkerhed.

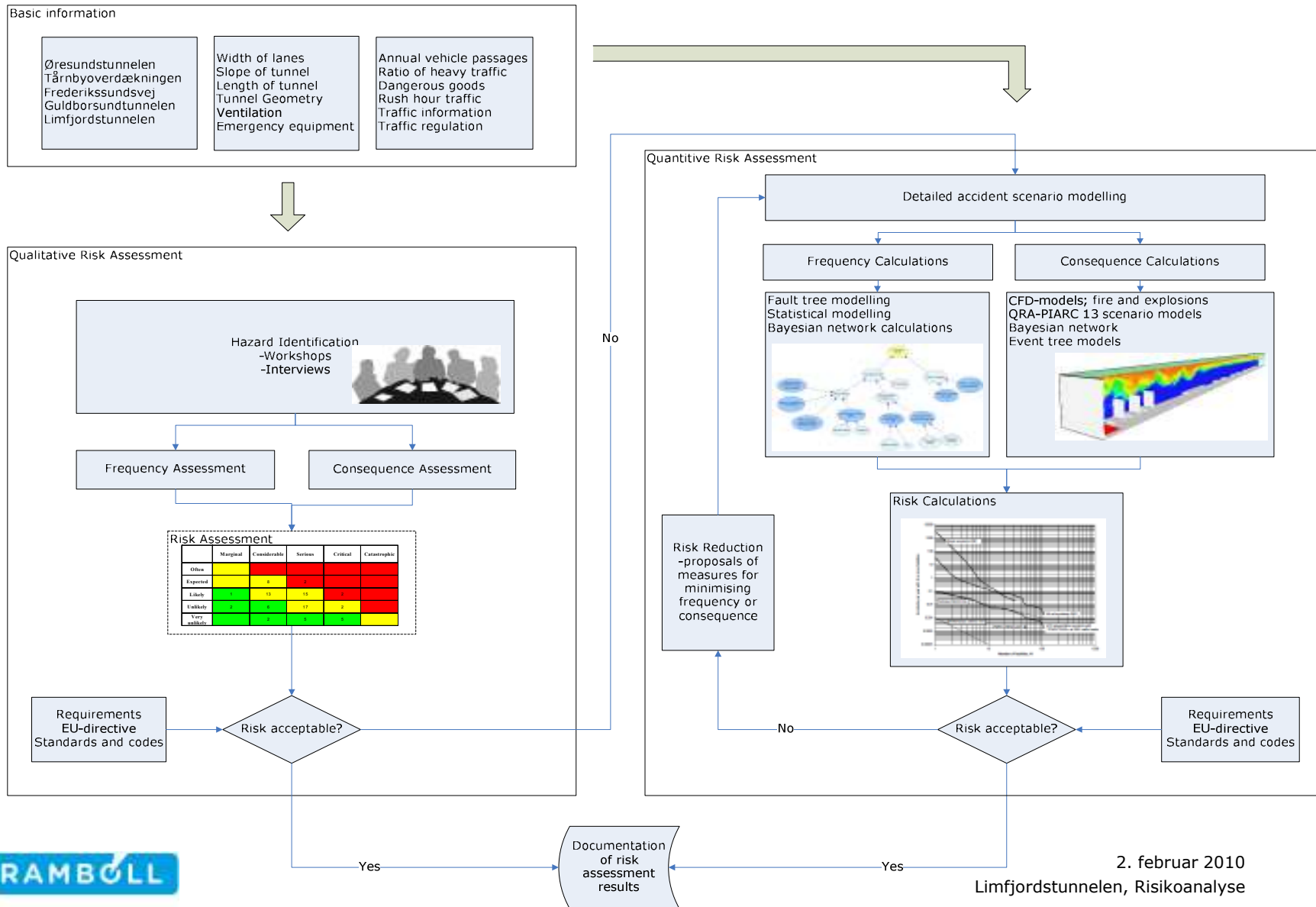
# EU direktivet

- Bilag 1. Punkt 2.6.1 og 2.6.2
  - Hvis transport af farligt gods er tilladt, skal brandbare og giftige væsker kunne bortledes med en af følgende måder:
    - Via hensigtsmæssigt udformede afløbsrender med rist, eller
    - Via andre foranstaltninger på tværs af tunnelen
  - Desuden skal afløbssystemet konstrueres og vedligeholdes, så det hindrer ild samt brandbare og giftige væsker i at sprede inde i et tunnelrør og mellem tunnelrør.

# EU direktivet

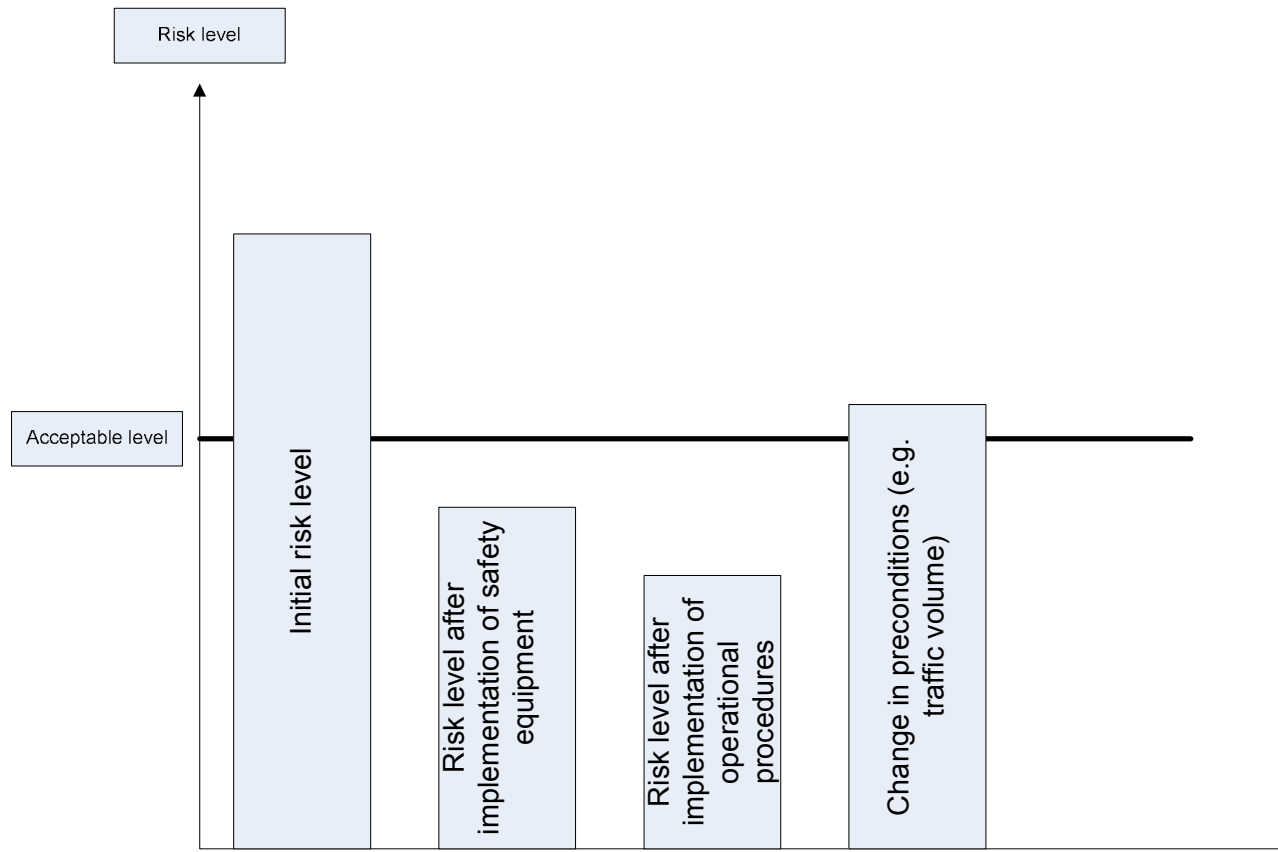
- Bilag 1. Punkt 2.9.3
  - I tunneler med dobbeltrettet trafik og/eller stor ensrettet trafikophobning er længderettet ventilation kun tilladt, hvis følgende er opfyldt:
    - En risikoanalyse påviser at længderettet ventilation er acceptabel, og/eller
    - Der er truffet særlige foranstaltninger.
- Bilag 1. Punkt 3.7
  - Der skal foretages en risikoanalyse inden forskrifterne og kravene vedrørende transport af farligt gods fastlægges eller ændres.

# Fremgangsmåde





# Risikoaccept



# Risikoaccept

- Risikoen en bilist udsættes for ved at køre igennem den ca. 582 m lange Limfjordstunnel ikke må være højere end på en gennemsnitlig 582 m motorvejsstrækning i Danmark
- Uheldsfrekvensen for motorveje i gennemsnit i perioden 2000-2006 er 0,003 døde per mio. kørte km
- Årsdøgnstrafikken i 2006 for Limfjordstunnelen var 60.000 køretøjer per døgn.
- Det gennemsnitlige antal døde per år =  $0,038 \sim 1$  dræbt hvert 26. år i tunnelen ved fuld udnyttelse af acceptkriteriet.

# Hasardidentifikation

- Myndigheder
- Driftsfolk
- Beredskab

	Uden betydning	Marginal betydning	Alvorlig	Kritisk	Katastrofal
Ofte	1				
Af og til	2	6			
Sjælden					
Usandsynlig			1	1	
Meget usandsynlig					4

- Brand
- Lækage
- Front-front kollisioner

# Frekvensanalyser

- Input til frekvensanalyserne er baseret på:
  - Statistikker fra henholdsvis Vejdirektoratets VISopslag og statistikbanken.dk
  - Reference til tidligere studier (Øresundstunnelen) samt til TUSI-database i Norge
  - Data fra Limfjordstunnelens egen hændelsesdatabase
  - Data fra Limfjordstunnelens registrering af overledninger
  - Statistikker over farligt gods registreringer

# Frekvensanalyser

- Antal køretøjer:

Måned / Retning	Mod nord	Mod syd
Januar	849.715	869.563
Februar	504.510	520.198
Marts	805.046	809.230
April	898.225	905.305
Maj	962.623	952.579
Juni	982.623	983.151
Juli	965.582	969.259
August	985.911	1.012.608
September	846.461	940.064
Oktober	955.915	973.689
November	925.707	935.337
December	516.592	525.147
<b>Gms. antal køretøjer</b>	<b>857.493</b>	<b>866.344</b>

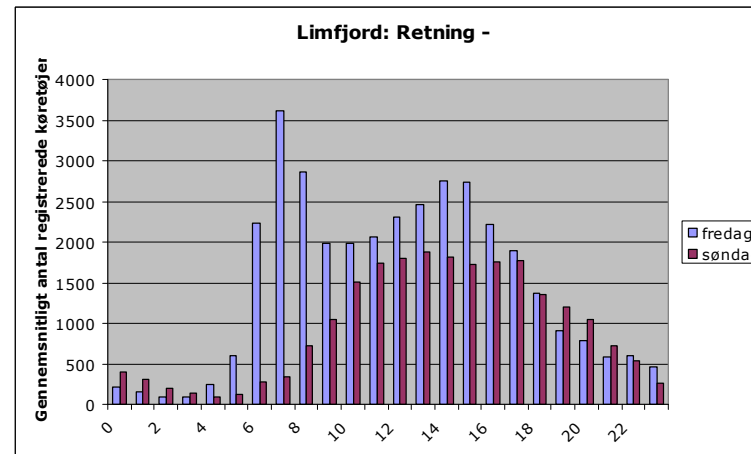
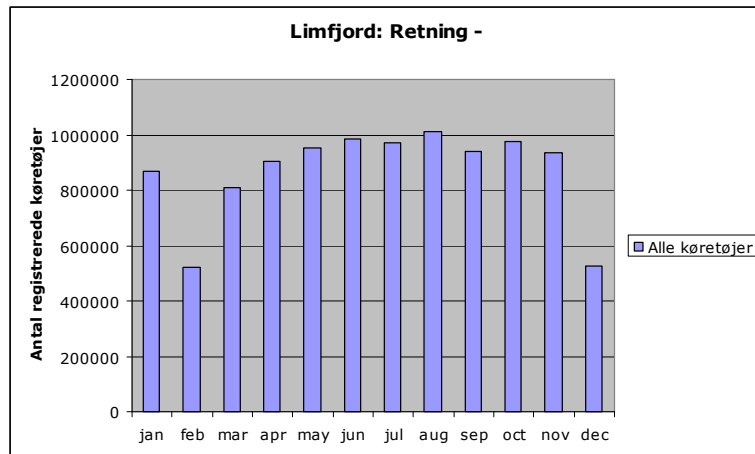
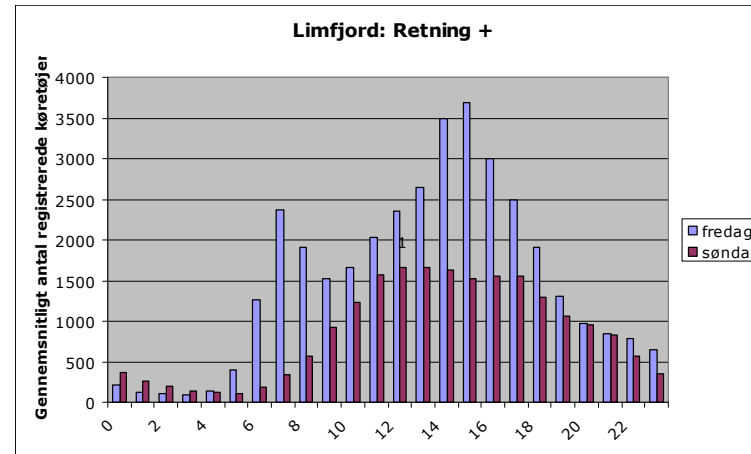
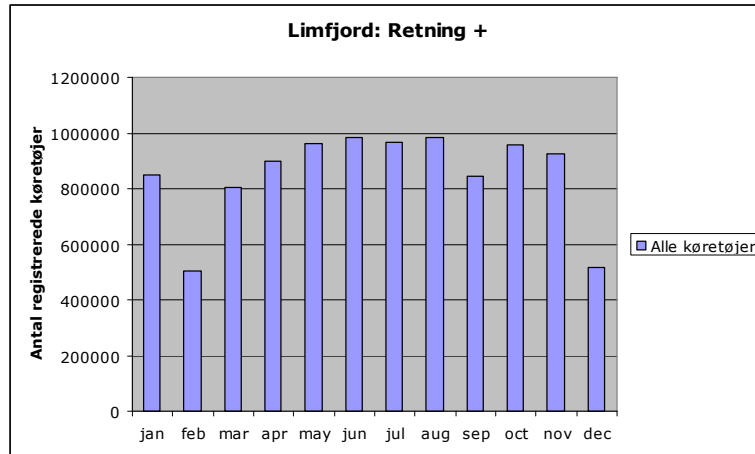
# Frekvensanalyser

- Antal køretøjer – køretøjer over 3,5 t udgør 8,1%:

<b>Køretøj</b>	<b>1. halvår</b>	<b>2. halvår</b>	<b>I alt</b>
Motorcykel	193	203	198
Personbil	24.581	25.191	24.886
Person m/anhænger	607	672	640
Varebil	1.981	1.993	1.987
Varebil m/anhænger	104	104	104
Bus	60	55	58
Sololastbil	1.054	1.039	1.047
Lastbil m/anhænger	379	362	371
Sættevognstog	1.034	994	1.014
Øvrige	130	127	129

# Frekvensanalyser

- Antal køretøjer:



# Frekvensanalyser

- VIS uheldsstatistikker, danske motorveje (110 km/h):

År	Antal uheld	Antal tilskadekomne	Antal døde
1996	127	93	8
1997	94	68	5
1998	117	123	9
1999	114	88	12
2000	143	127	8
2001	182	137	23
2002	199	214	18
2003	172	146	15
2004	173	121	9
2005	171	83	11
2006	182	123	7
2007	215	151	7
2008	175	89	9
2009	111	82	11
<b>Gennemsnit</b>	<b>155.4</b>	<b>117.5</b>	<b>10.9</b>

- Med  $1.32 \cdot 10^{10}$  kørte personkm/år på danske motorveje svarer dette til en årlig uheldsfrekvens i Limfjordstunnelen på 0.75

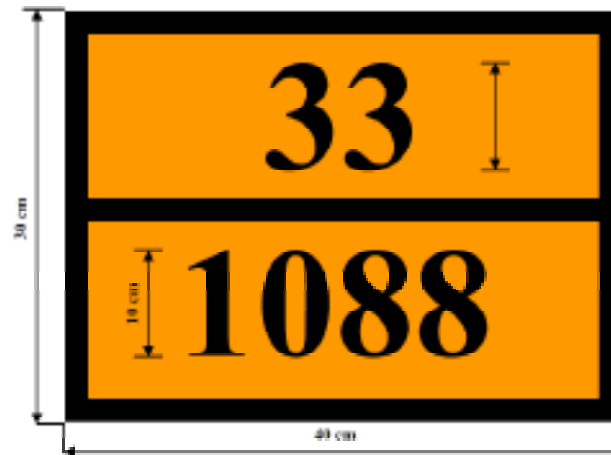


# Frekvensanalyser

- Vejsektoren.dk
  - Tabellen omfatter hele landet, og der er valgt udelukkende at tage udgangspunkt i vejtypen motorvej. Gennemsnitlig sker der 0,079 uheld pr. mio. kørt km pr. år beregnet fra 1998 til 2007 begge år inklusiv.
  - Dette betyder, at der i tunnelen må forventes 0,96 uheld pr. år.

# Frekvensanalyser

- Farligt gods registreringer:



**Fareskilt, der viser henholdsvis ADR nummeret (øverst), og UN nummeret (nederst).**

# Frekvensanalyser

- Installation:
  - Ultimo februar 2009 : Udstyr installeret i østrøret
  - Primo maj 2009: Indkøring af udstyr gennemført, herunder installation af viskersystem og afklaring af konfiguration.
- Systemet er konfigureret således:
  - Der er et kamera pr. kørebane
  - Der er en pc pr. kamera
  - Der er en central server til logning af registreret.
- Hver gang systemet registrerer et køretøj, bliver følgende parametre logget:
  - Nummerplade
  - Farligt gods plade
  - Andel af særlige typer af farligt gods.

# Frekvensanalyser

- Farligt gods registreringer
  - 11.300.900 køretøjer, hvoraf 5969 køretøjer er registreret som farligt gods. Farligt gods transporter udgør således ca. 0,5‰ af den samlede trafik i Limfjordstunnelen.

UN nummer	Fare-Klasse	Relativ hyppighed	Beskrivelse
1203	3	45,1%	Benzin
1202	3	37,0%	Dieselolie eller gasolie eller fyringsolie, let
3257	9	3,3%	Opvarmet flydende stof
1863	3	3,2%	Flybrændstof
1005	2	1,5%	Ammoniak, vandfri
1977	2	1,0%	Nitrogen, kølet, flydende
1866	3	0,9%	Harpiksopløsning, brandfarlig
1965	2	0,8%	Carbonhydrid gasblanding, fordråbet, N.O.S.
1073	2	0,7%	Oxygen, kølet, flydende
1824	8	0,4%	Natriumhydroxidopløsning
2789	8	0,4%	Eddikesyre, vandfri eller eddikeopløsning (min. 80%)
3157	9	0,3%	Fordråbet gas, oxiderende
3264	8	0,2%	Ætsende sur uorganisk væske N.O.S.
1830	8	0,2%	Svovlsyre med mere end 51% syre

# Frekvensanalyser

- VDs hændelsesdatabase, 8 måneder:

Årsager	Antal
Alarmskab/nøddør åben	2
Drift - andet	37
Drift - tunnelvask	20
Drift - vedligehold/reparation	69
Fejlalarm	4
Fodgænger/cyklist i tunnel	2
Højt læs påkørsel	4
Stoppet køretøj - andet	5
Stoppet køretøj - bensinmangel	5
Stoppet køretøj - motorstop/havari	29
Tabt gods	20
Trailer - uheld/havari	3
Uheld - andet	25
Uheld - tæt kørsel	10
Ukendt årsag	9

# Modellering af risiko

- Frekvenser:
  - Beregning af frekvenser for forskellige scenarier bestemmes på basis af hændelsestræer.  
Scenarierne omfatter:
    - Almindelige uheld
    - Brand (forskellige typer, PIARC)
    - Udslip (Forskellige typer, PIARC)
  - Scenarierne er beregnet for situationer med personbiler, lastbiler og for køretøjer med farligt gods (ADR)
- Konsekvenser:
  - CFD beregninger
  - Vurderinger af antal omkomne i forskellige evakueringsituationer

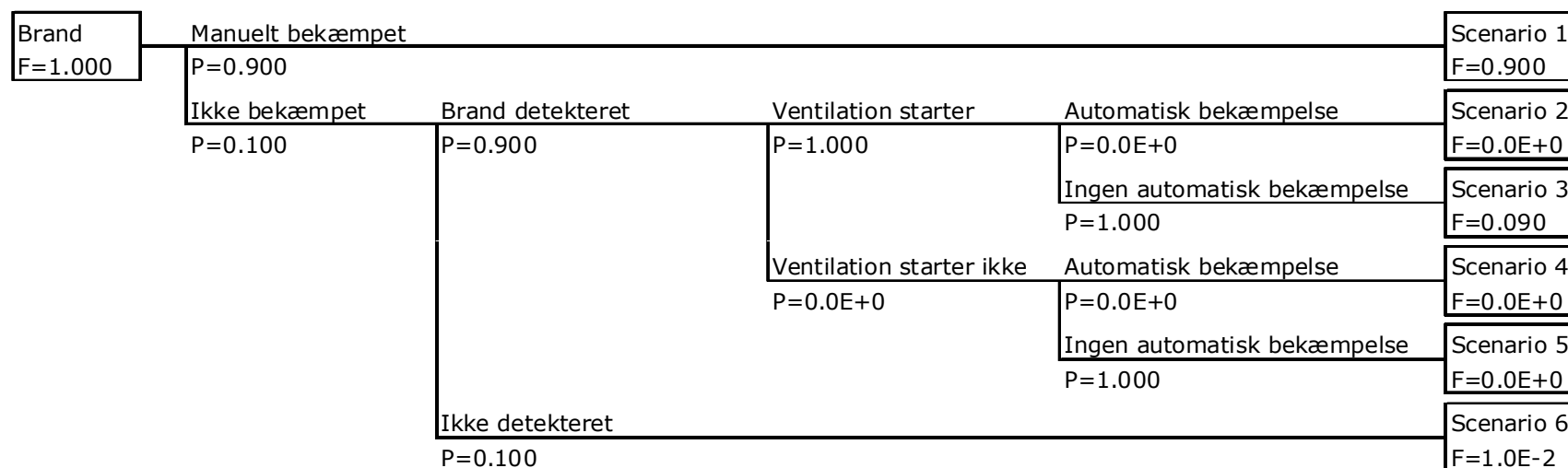
# Modellering af risiko

- Frekvensmodel, generelt:

Uheld F=1.000	Personbil	Ingen yderligere udvikling				Scenario 1					
	P=0.800	P=0.800		F=0.640		Scenario 2					
		Brand		F=0.160							
	P=0.200	P=0.200		F=0.080		Scenario 3					
		Brand		F=0.020							
	Lastbil	Ingen yderligere udvikling				Scenario 4					
	P=0.100	P=0.800		F=0.080		Scenario 5					
		Brand		F=0.020							
	P=0.200	P=0.200		F=0.060		Scenario 6					
		Brand		F=0.011							
	ADR	Ingen yderligere udvikling				Scenario 7					
	P=0.100	Udslip brandbart materiale	Lille udslip	P=0.500	Spredning til 2. rør	P=0.900	Ingen yderligere udvikling	Scenario 8			
								P=0.300	P=0.800	Brand	Scenario 9
										P=0.200	F=2.7E-3
								P=0.100	P=0.800	Kun udslip i et rør	Scenario 10
										P=0.200	F=1.2E-3
								P=0.100	P=0.800	Brand	Scenario 11
		P=0.200	F=3.0E-4								
		Mellem udslip	P=0.400	Spredning til 2. rør	P=0.900	Ingen yderligere udvikling	P=0.800	Scenario 12			
P=0.800								Brand	Scenario 13		
									P=0.200	F=8.6E-3	
P=0.100								P=0.800	Kun udslip i et rør	Scenario 14	
									P=0.200	F=2.2E-3	
P=0.100								P=0.800	Brand	Scenario 15	
		P=0.200	F=9.6E-4								
Stort udslip		P=0.100	Spredning til 2. rør	P=0.900	Ingen yderligere udvikling	P=0.800	Scenario 16				
							P=0.800	Brand	Scenario 17		
									P=0.200	F=2.2E-3	
							P=0.100	P=0.800	Kun udslip i et rør	Scenario 18	
	P=0.200								F=5.4E-4		
	P=0.100						P=0.800	Brand	Scenario 19		
P=0.200		F=2.4E-4									
Udslip giftige stoffer	Lille udslip	P=0.500	Spredning til 2. rør	P=0.900	Ingen yderligere udvikling	Scenario 20					
						P=0.100	P=0.800	Brand	Scenario 21		
								P=0.200	F=3.6E-3		
P=0.200	P=0.800	Kun udslip i et rør	Scenario 22								
		P=0.200	F=9.0E-4								

# Modellering af risiko

- Frekvensmodel, brand:

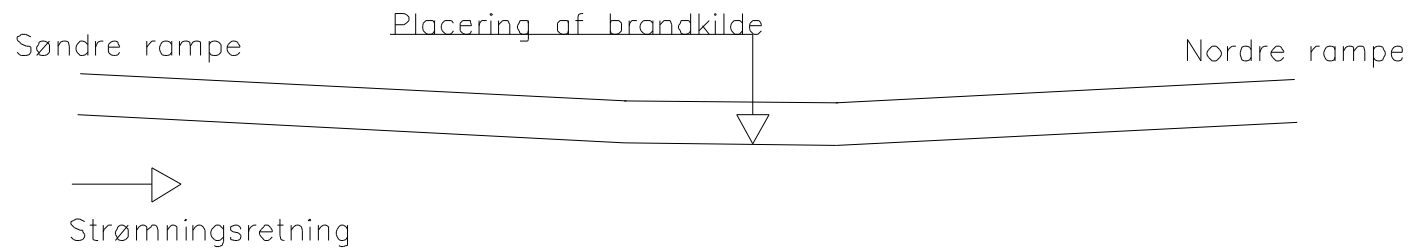




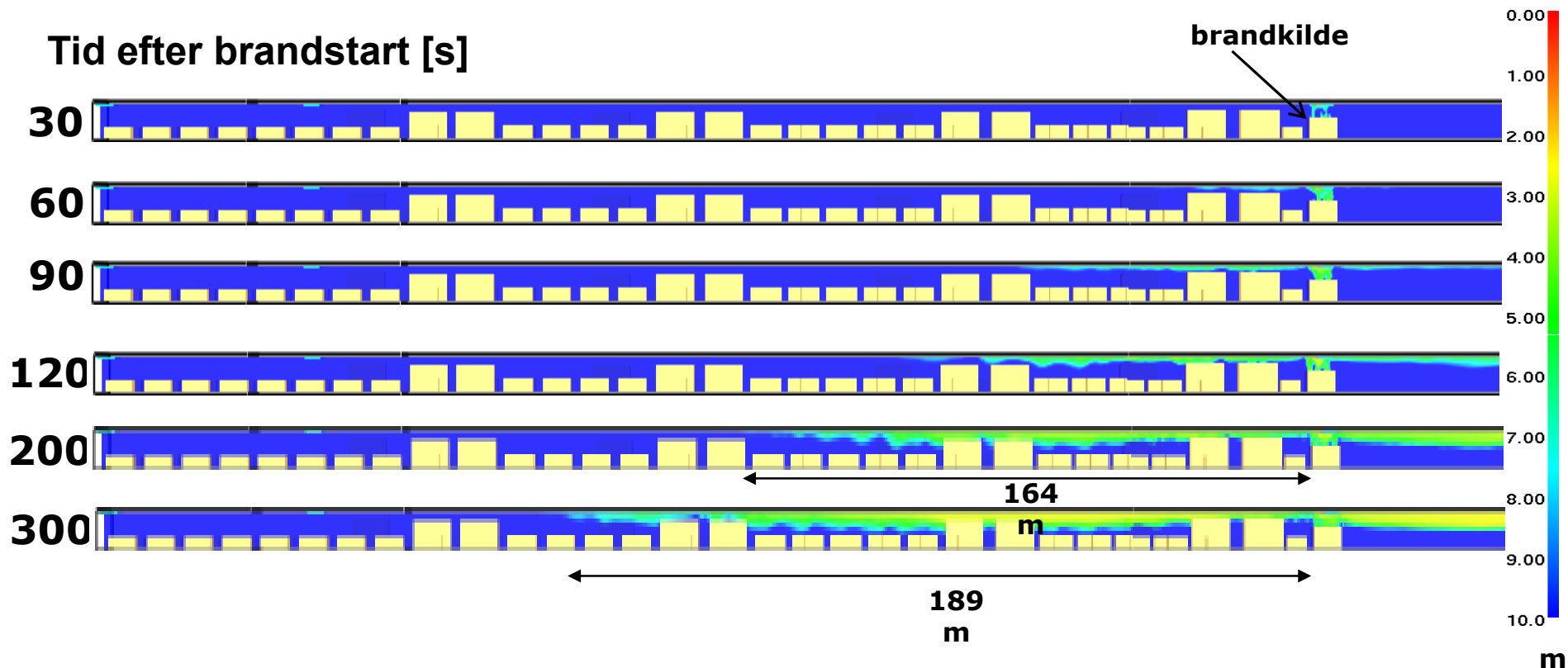
# Modellering af risiko

- Konsekvensmodellering

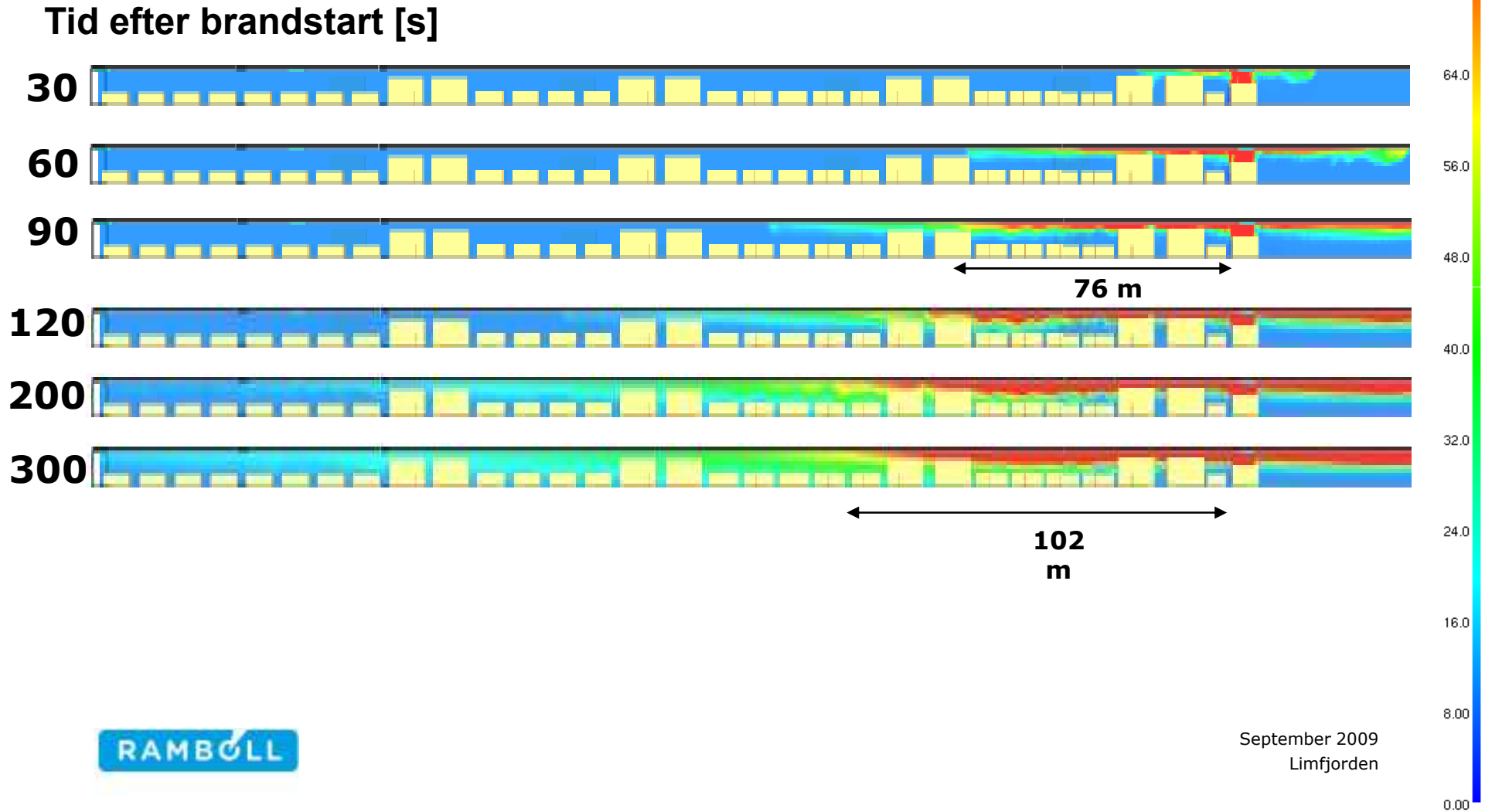
- 20 MW brand (lastbil, ikke farlig gods) placeret midt i tunnelen, hvor trafikken ophobes mod Søndre rampe.
- 100 MW brand (lastbil, farlig gods) placeret midt i tunnelen, hvor trafikken ophobes mod Søndre rampe.



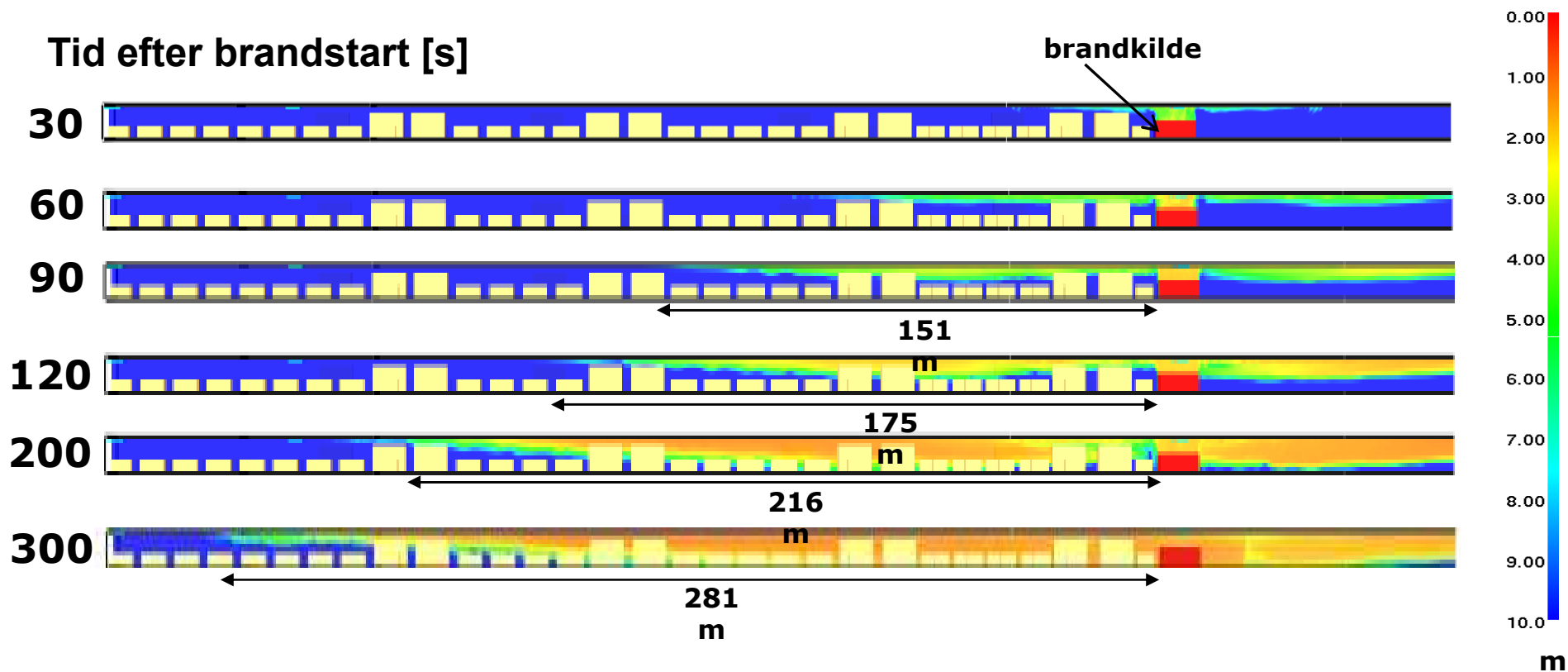
# Case: Bilbrand midt i tunnelen (20 MW) - Sigtbarhed



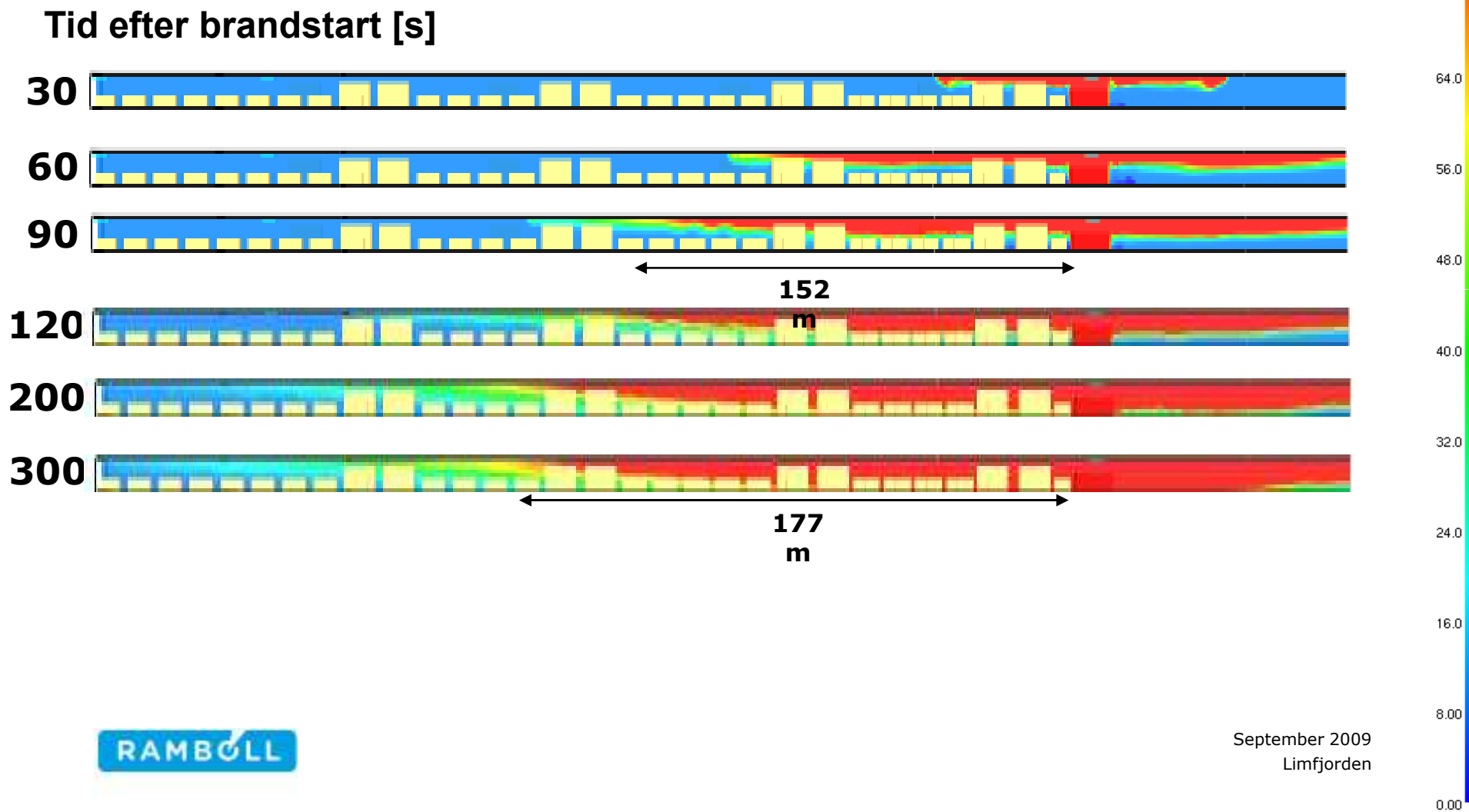
# Case: Bilbrand midt i tunnelen (20 MW) - Temperatur



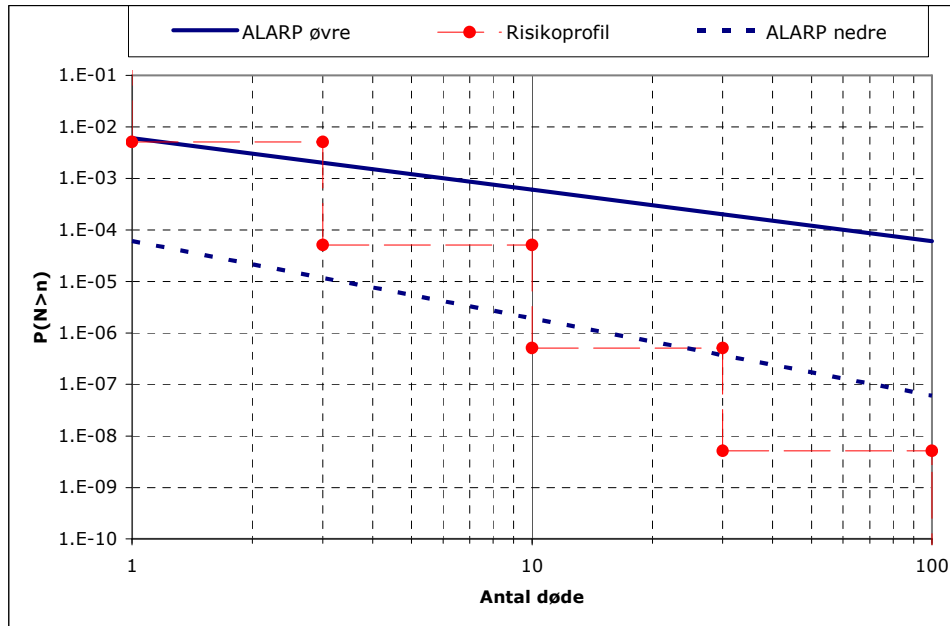
# Case: Lastbrand midt i tunnelen (100 MW) - Sigtbarhed



# Case: Lastbilbrand midt i tunnelen (100 MW) - Temperatur



# Risikoresultater - FN-kurve



- Den opsummerede risiko er acceptabel
  - Kurven viser, at den totale risiko er acceptabel, men at der bør foretages vurderinger af effekten af risikoreducerende tiltag (risikoprofilet er placeret i ALARP området)
  - Brandscenarier detaljeres yderligere ved CFD beregning af varme- og røgudvikling
  - Modellering af antallet af døde grunde forskellige CFD-scenarier detaljeres
  - Bidrag fra EU-kravene udtrækkes separat
  - Følsomhedsanalyser

# Opsummering

- Forslået metodik til eftervisning af EU-krav; Faseopdelt tilgang til risikoanalyser (kvalitativ -> kvantitativ)
- Gennemgang af relevante EU-krav
- Fuld gennemregning af alle scenarier
- Statistik til fastlæggelse af operationelle acceptkriterier
- Statistik til fastlæggelse af uheldsfrekvenser
- CFD modellering af relevante scenarier

# Videre arbejde

- Guldborgsundtunnelen
  - Registrering af farligt gods
  - Review af EU-krav
- Frederikssundsvejstunnelen
  - Review af EU-krav