



Statens vegvesen



## Veiledning for risikovurderinger av vegtunneler

1



Statens vegvesen

### Viktige premisser som er lagt til grunn for veiledningen

- Det er mulig å begrense risikovurderinger for en tunnel til tunnelsystemets «spesielle egenskaper».
  - Bidrar til at vi bruker tid og ressurser på det som er viktigst for å håndtere risiko.
- Tilstrekkelig kontroll med risiko kan oppnås uten et kvantitativt akseptkriterium.
  - Gjør at vi kan formulere evalueringskriterier på en måte som er mer fokusert på å *skape sikkerhet*, og mindre på «talløvelser».
- Det er mulig å utføre gode risikovurderinger med utgangspunkt i et sett pre-definerte ulykkestyper (brann, farlig gods, sammenstøt, etc.).
  - Bidrar til å fokusere risikovurderingen på det som er viktigst for tunnelsikkerhet.
- Risikovurderingen skal primært ha fokus på storulykkerisiko.
  - Sikrer at storulykkerisiko ikke nedprioriteres pga. generell trafiksikkerhet.
  - Generell trafiksikkerhet må håndteres av andre prosesser.
- Eneste verdi som vurderes er trafikanters liv
  - Andre verdier, som f.eks. ytre miljø, forutsettes håndtert i andre prosesser

2

## Veiledningens struktur



### To dokumenter

- Selve veiledningen.
- Mal for risikovurderingsrapport.

Begge dokumentene er nødvendige for å forstå og kunne gjennomføre risikovurderinger iht. veiledningen.

### Veiledningsdelen består av to hoveddeler:

- Del 1 gir formelle føringer.
- Del 2 beskriver planlegging og gjennomføring av risikovurderingen.

I tillegg definerer Vedlegg 1 særtrekk for sikkerhetsparametere i TSF/TSFF.

Del 1 setter risikovurderingen inn i en større kontekst, for å unngå at den kun blir en øvelse for å tilfredsstille formelle krav.

3

## Sentrale begreper (1/3)



### Risikovurdering

Samlet prosess som består av å etablere rammer for risikovurderingen, identifisere uønskede hendelser, foreta risikoanalyse og foreta risikoevaluering.

(= Risikoanalyse i TSF)

### Risikoanalyse

Systematisk framgangsmåte for å beskrive risiko.

### Risikoevaluering

Prosess for å vurdere om sikkerhetsmålene er nådd, ved å sammenholde resultatene fra risikoanalysen med evaluerings-kriteriene og gi beslutningstaker en anbefaling om risikohåndtering.

### Risikostyring

Aktiviteter for å håndtere risiko, dvs. gjøre valg om løsninger, tiltak, mm., på basis av bl.a. risikovurderinger.

4

## Sentrale begreper (2/3)

**Fare**

Forhold som kan føre til en uønsket hendelse.

**Uønsket hendelse**

Hendelse som kan medføre tap av verdier.

**Kritisk hendelse**

Uønsket hendelse som *både* har et betydelig potensial for tap av liv, *og* som truer sikkerheten til trafikanter som ikke er involvert i den utløsende hendelsen.

**Troverdig verstefallshendelse**

Verste troverdige hendelse, gitt at sikkerhetsutrustningen fungerer som den skal. Hensyntar konsekvenspotensialet, uten at man legger til grunn den absolutt verste tenkelige muligheten.

**Tunnelsystemets spesielle egenskaper**

Samlebetegnelse for:

- Spesielt særtrekk for sikkerhetsparametere.
- Egenskaper som ikke oppfyller minstekrav i TSF/TSFF.
- Andre spesielle særtrekk

5

## Sentrale begreper (3/3)

**Sikkerhetskonsept**

Kombinasjonen av alle forebyggende og skadereduserende tiltak som skal til for å oppnå akseptabel sikkerhet for kritiske hendelser, som minimum laveste tillatte sikkerhetsnivå iht. TSF/TSFF.

6

## Risikovurderingsprosessens hovedtrinn



Hovedtrinn i NS 5814

### Trinn 1: Etablere rammer

Formål  
Verdier  
Evalueringkriterier  
Objekt- og  
systembeskrivelse

### Trinn 2: Identifisere farer og uønskede hendelser

Identifikasjon av  
farer og uønskede  
hendelser.  
Identifisere kritiske  
hendelser.

### Trinn 3: Risikoanalyse

Risikoanalyse av  
kritiske hendelser.  
Beskrive troverdige  
verste fallshendelser.

### Trinn 4: Risikoevaluering

Formulere og  
evaluere risiko-  
evalueringkriterier.

7

## Risikovurderingsprosessens hovedtrinn



Tilpasning av hovedtrinn i NS 5814

### Trinn 1a: Etablere rammer

Formål  
Verdier  
Evalueringkriterier  
Objekt- og  
systembeskrivelse

### Trinn 1b: Vurdere tunnelsystemet mht. sikkerhetsparametere og minstekrav

Identifisere  
særtrekk mht.  
sikkerhets-  
parametere.  
Identifisere  
minstekrav som  
ikke er oppfylt.

### Trinn 2: Identifisere farer og uønskede hendelser

Identifisere andre  
spesielle særtrekk.  
Identifikasjon av  
farer og uønskede  
hendelser.  
Identifisere kritiske  
hendelser.

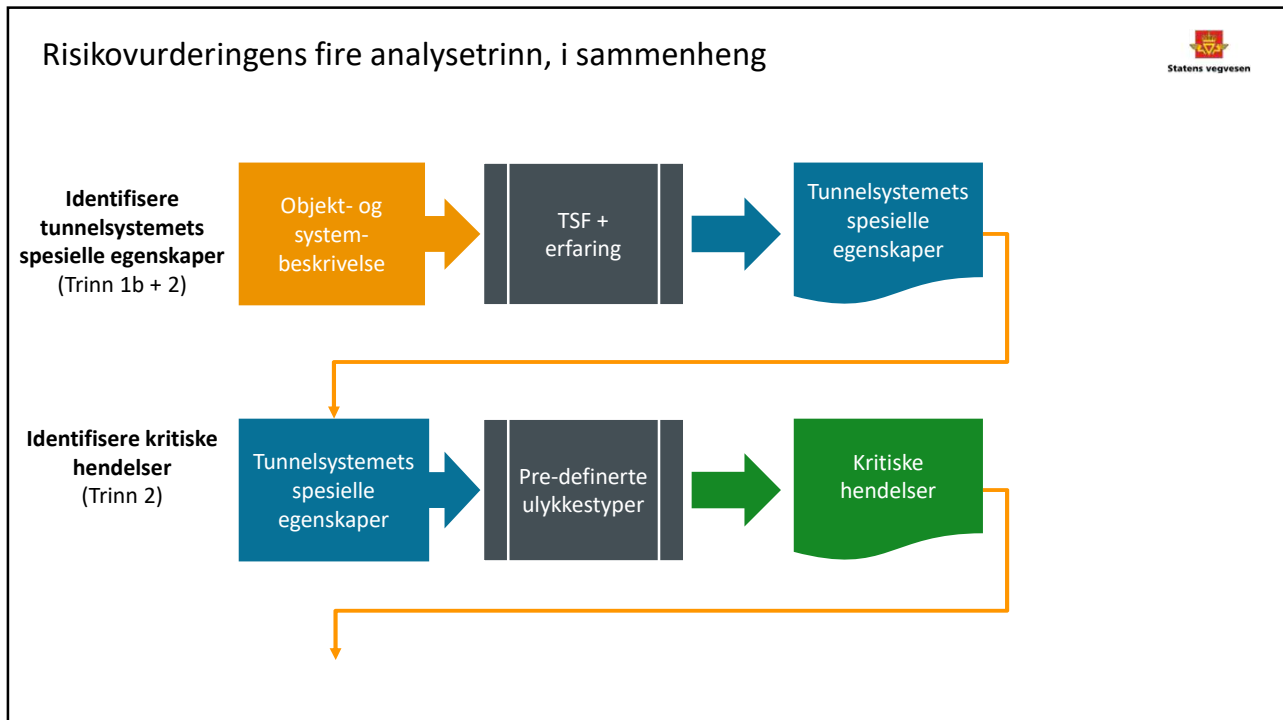
### Trinn 3: Risikoanalyse

Risikoanalyse av  
kritiske hendelser.  
Beskrive troverdige  
verste fallshendelser.

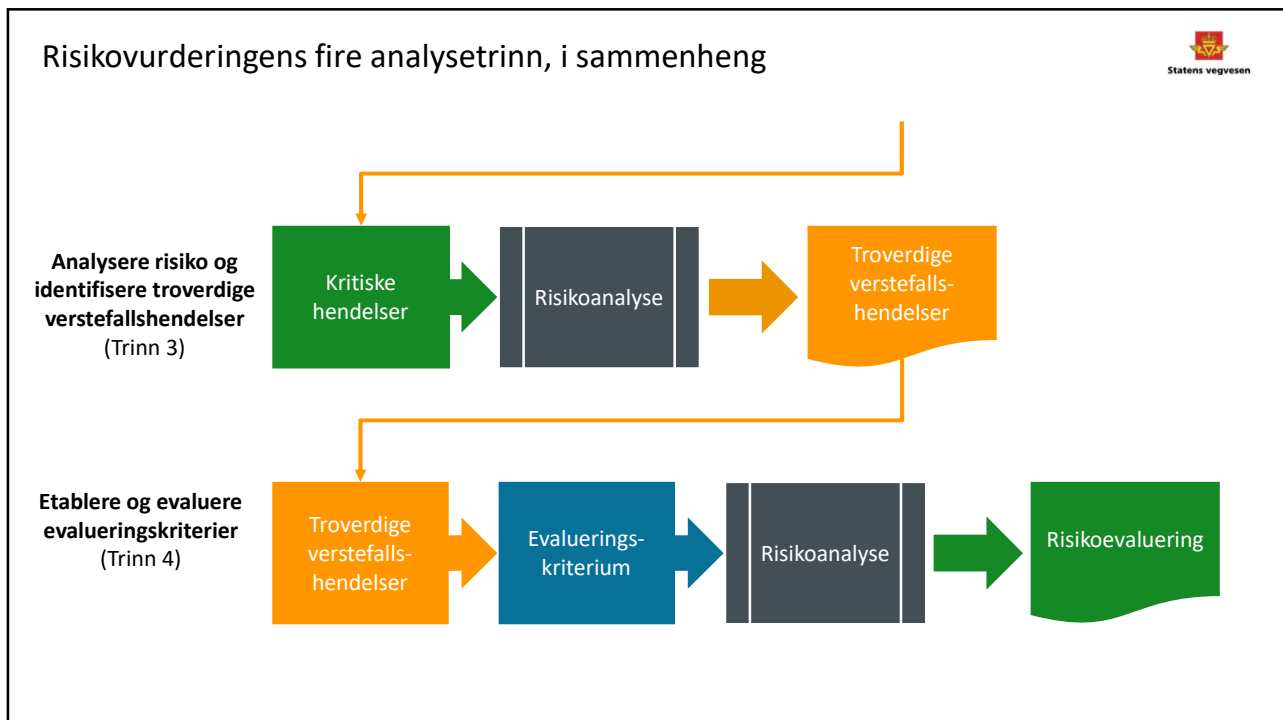
### Trinn 4: Risikoevaluering

Formulere og  
evaluere risiko-  
evalueringkriterier.

8



9



10

## Identifisere tunnelens spesielle egenskaper (Trinn 1b og 2)



- Objekt- og systembeskrivelsen har en struktur der tunnelsystemets egenskaper er gruppert tematisk:
  - Tunnelløp og kjørefelt
  - Tekniske løsninger/installasjoner
  - Sikkerhetstiltak og sikkerhetsutrustning
  - Trafikk/bruk
  - Omgivelser
  - Relevante organisasjoner
  - Drift av tunnelen
- Egenskapene beskrevet i objekt- og systembeskrivelsen vurderes opp mot:
  - Sikkerhetsparametere definert i TSF (jfr. veiledningens vedlegg 1).
  - Minstekravene definert i TSF.
  - Annen erfaring og kunnskap om tunnelsikkerhet.

**Egenskaper ved tunnelen som er vesentlig annerledes enn sammenligningsgrunnlaget defineres som del av tunnelsystemets «spesielle egenskaper»**

11

## Eksempel – Illustrert med noen få utvalgte egenskaper



Egenskap	Beskrivelse	Vurdering
Tunnellengde	1,5 km	Anses å være en spesiell egenskap fordi dette er en ettløpstunnel. ✓
Antall løp	1 løp	Ikke en spesiell egenskap i seg selv, men blir tema pga. bl.a. lengden.
ÅDT	5 000	Moderat ÅDT, anses ikke å være en spesiell egenskap i seg selv.
Variasjon i trafikkmengde	Liten, minimal kørisiko utenom ulykkessituasjoner.	Ikke en spesiell egenskap.
Atkomst for redningsetater	Har bare tilgang fra den ene siden, og bruker minimum 30 minutter på å komme til tunnelen. ✓	Spesiell egenskap fordi det begrenser redningsetatens evne til innsats.
Transport av farlig gods	Lokalt industrianlegg får jevnlig tiltransportert store mengder ammoniakk gjennom tunnelen. ✓	Spesiell egenskap fordi dette både medfører hyppig frekvens og en substans med spesielle egenskaper.

12

## Identifisere kritiske hendelser (Trinn 2)



Hver av tunnelsystemets «spesielle egenskaper vurderes opp mot pre-definerte ulykkestyper, mht. om de kan ha betydning for:

- *Muligheten* for at den valgte ulykkestypen inntreffer.
- *Konsekvensene* dersom ulykkestypen inntreffer.



ID	Spesiell egenskap	Uønsket hendelse	Fare/ forhold	Kritisk hendelse (ja/nei)	Årsaker	Konsekvenser	Kommentarer

### Kritisk hendelse

Uønsket hendelse som *både* har et betydelig potensial for tap av liv, og som truer sikkerheten til trafikanter som ikke er involvert i den utløsende hendelsen.

Type	Uønsket hendelse/ulykkestype
Brann	Brann i lett kjøretøy
	Brann i tungt kjøretøy
	Brann i infrastruktur
Hendelse med farlig gods	Lekkasje av farlig gods
	Brann i farlig gods
	Eksplisjon i farlig gods
Sammenstøt	Møteulykke
	Påkjøring bakfra/ved feltskifte
	Påkjøring av myke trafikanter eller objekter
	Utforkjøring/påkjøring av konstruksjon
Annen uønsket hendelse	

13

## Eksempel

Hvordan påvirker?

- Mulighet
- Konsekvens

Egenskap
Tunnellengde
Atkomst for redningsetater
Transport av farlig gods

Type	Uønsket hendelse/ulykkestype
Brann	Brann i lett kjøretøy
	Brann i tungt kjøretøy
	Brann i infrastruktur
Hendelse med farlig gods	Lekkasje av farlig gods
	Brann i farlig gods
	Eksplisjon i farlig gods
Sammenstøt	Møteulykke
	Påkjøring bakfra/ved feltskifte
	Påkjøring av myke trafikanter eller objekter
	Utforkjøring/påkjøring av konstruksjon
Annen uønsket hendelse	



ID	Spesiell egenskap	Uønsket hendelse	Fare/ forhold	Kritisk hendelse (ja/nei)	Årsaker	Konsekvenser	Kommentarer
1	Tunnellengde	Trafikanter eksponert for røyk og varme.	Brann i lastebil.	Ja	Sammenstøt Feil på kjøretøy. Antennelse av last.	Trafikanter skadet pga. varme og/eller røyk.	

14

## Eksempel forts.



ID	Spesiell egenskap	Uønsket hendelse	Fare/ forhold	Kritisk hendelse (ja/nei)	Årsaker	Konsekvenser	Kommentarer
1	Tunnellengde	Trafikanter eksponert for røyk og varme.	Brann i lastebil.	Ja	Sammenstøt Feil på kjøretøy. Antennelse av last.	Trafikanter skadet pga. varme og/eller røyk.	
2	Transport av farlig gods (hyppige transporter av ammoniakk).	Trafikanter eksponert for ammoniakk.	Lekkasje av ammoniakk i tunnelen.	Ja	Sammenstøt Feil på lastsikring.	Trafikanter skadet pga. ammoniakk-eksponering.	
3	Atkomst for redningsetater (bare adkomst fra en side, og bruker minst 30 min. på å komme på plass).	Alle uønskede hendelser som krever innsats fra redningsetater.	Alle farer som krever innsats fra redningsetater.	Relevant for kritiske hendelser som krever innsats fra redningsetater.	NA	NA	

15

## Risikoanalyse (Trinn 3)

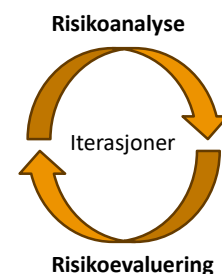
**Bygger direkte på trinn 2, som har gitt oss kunnskap om:**

- Hvilke kritiske hendelser som skal tas videre i risikoanalysen.
- Hvordan de kritiske hendelsene påvirkes av tunnelsystemets spesielle egenskaper.

**Formålet med risikoanalysen er å:**

- Gi kunnskap om risiko relatert til de kritiske hendelsene.
- Identifisere og beskrive troverdige verstefallshendelser.
- Etablere grunnlag for risikoevalueringen.
- Identifisere risikoreducerende tiltak.

Risikoanalysen skal analysere scenarier basert på de kritiske hendelsene, og kartlegge de mulige konsekvensene for trafikantenes sikkerhet.



16



## Risikoanalyse (Trinn 3)



### Hvilke metoder som skal benyttes må vurderes og bestemmes av prosessleder.

Aktuelle metoder inkluderer, bl.a.:

#### Hendelsestreanalyser

- Brukes til å analysere og beskrive hvilke scenarier som kan utvikle seg fra en kritisk hendelse, hvilke hendelser/forhold som påvirker scenarioutviklingen, og hva de mulige konsekvensene kan være.
- Vil være aktuell i de aller fleste risikovurderinger.

#### Ventilasjonsberegninger og røyksimuleringer

- Svært aktuelt i alle tilfeller der brannscenarier krever nærmere vurdering.
- Valg av metode og omfang av slike analyser må tilpasses den aktuelle situasjonen. Noen ganger kan relativt enkle analyser være tilstrekkelige, andre ganger vil det være nødvendig med avanserte CFD-analyser.
- Vil ofte måtte kombineres med evakueringsanalyser, for å vise at evakuering kan utføres raskere enn røykutviklingen, med sikkerhetsmargin.

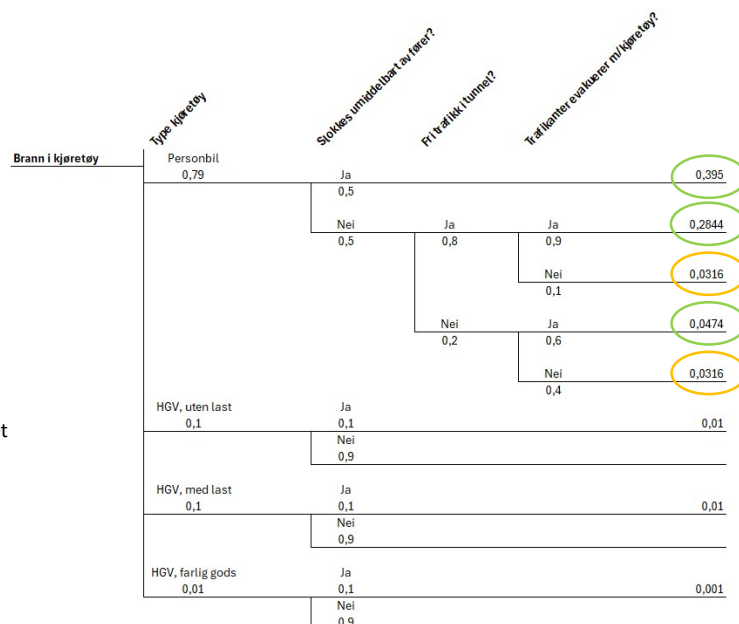
Viktig at prosessleder har tilstrekkelig kunnskap om den «verktøykassen» av risikoanalysemetoder som finnes, og evner å bruke de riktige metodene i hvert tilfelle.

17

## Eksempel hendelsestreanalyse

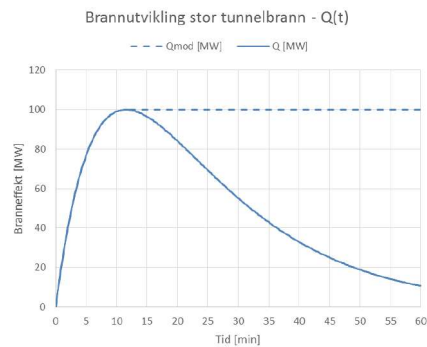
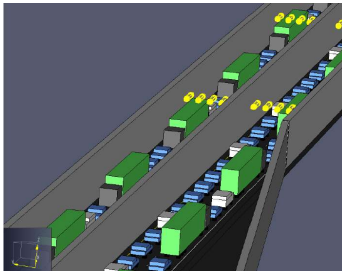


- Hvordan tror vi en hendelse vil utvikle seg?
- Strukturere betingelser og synliggjøre effekten av barrierer
- Beregne sannsynligheten for sluttscenarier: produktet av alle gren-sannsynlighetene gir sannsynligheten for sluttscenariot
- Hva kan vi lese ut av treet?
  - Type kjøretøy betyr noe for hvor enkelt en brann kan slokkes.
  - Slokkes brannen umiddelbart, er det ingen fare.
  - Hvis det er fri trafikkflyt (ikke kø) i tunnelen, er det enklere å evakuere med eget kjøretøy.
  - Evakuering med eget kjøretøy, hvis mulig, gir liten fare.

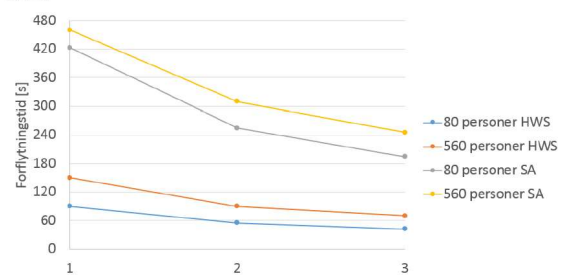
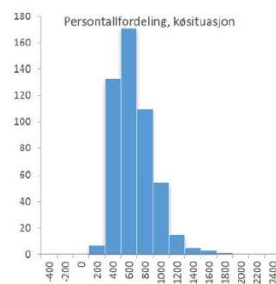
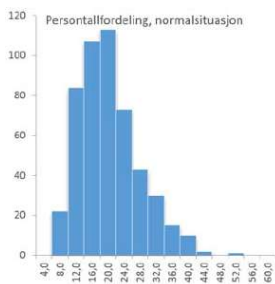


18

## Eksempel brann- og røykspredningsanalyse + evakueringsanalyse



**Eksempel på funn:** «Mengden kjøretøy har stor innvirkning på strømningshastigheten. Strømningshastigheten med stillestående kø er funnet å være 40-50 % lavere sammenlignet med en helt tom tunnel»



19

## Troverdige verstefallshendelser (TVH'er)



### TVH'er inngår i evalueringskriteriet:

- Sikkerheten til trafikantene\* som ferdes i tunnelen skal være ivaretatt for alle troverdige verstefallshendelser, gitt at sikkerhetsutrustningen fungerer som den skal.
  - \* Unntatt trafikanter som er direkte involvert i den utløsende hendelsen.
- TVH'er må beskrives presist nok til at risikoevaluering blir mulig.
  - Et typisk eksempel er valg av dimensjonerende brannscenario: Uten å presisere brannscenarioet kan det ikke gjøres noen analyse av røykspredning, og heller ingen risikoevaluering.
- Beskrivelse av TVH'er gjøres ved å konkretisere fenomenet (f.eks. brannen) og brukssituasjonen for de kritiske hendelsene, bl.a. basert på kunnskap fra risikoanalysen.

Uønsket hendelse	Fenomen	Brukssituasjon	TVH	Begrunnelse for TVH
Brann i lett kjøretøy	5 MW brann i personbil	Gjennomsnittlig ÅDT, brann på mest ugunstige sted.	5 MW brann i personbil på minst gunstige sted i tunnelen, med i størrelsesorden 20 andre kjøretøy i tunnelen, jevnt fordelt på begge kjøretøretninger.	Brann i personbil skjer nasjonalt daglig, og er derfor en troverdig hendelse. Størrelsen på brannen er ansett som typisk for denne situasjonen. Trafikkmengde og plassering av brannen er valgt for å sikre at det er en utfordrende, men like fullt troverdig, situasjon som analyseres og evalueres.

20

## Utdypning om troverdige verstefallshendelser (TVH'er)



- Brann i tunnel er en hendelse som må vurderes, men det er mange variabler som sier noe om alvorlighetsgraden til scenarioet:
  - Hvilken type kjøretøy brenner (potensiell brannenergi)?
  - Hvilken type materiale/last på kjøretøy brenner (potensiell brannenergi og utviklingsrate)?
  - Hva er avstand til kjøretøy rundt brannstedet (mulighet for brannspredning) og type kjøretøy/last?
  - Hvor er brannstedet mht avstand fra portaler eller andre rømningsutganger?
  - Hva er ventilasjonsretningen i tunnelen når brannen starter?
  - Hvordan er trafikkflyten i tunnelen: fri flyt, lite trafikk, tett trafikk, stillestående kø, etc.?
  - Hvor mange eksponerte personer: Antall personer i hvert kjøretøy, inkl. busser?
  - Finnes det personer med behov for assistanse ifm evakuering?
  - Hva er innsatstiden for brannvesenet i tiden på døgnet hendelsen skjer (hvis ikke-kasernert vakt)?
  - Osv.
- Velger vi verste tenkelige verdi for hver variabel ender vi opp med **worst case-scenarioer**, som ikke er hensikten.
- **Troverdige verstefallshendelser (TVH'er)** skal være utfordrende scenarioer som vi kan forvente å måtte håndtere i norske tunneler.
  - Spesifikke forhold ifm tunnelsystemet skal bety noe.
  - Kommer ikke unna skjønnsmessige vurderinger og dokumentasjon av utøvd skjønn.
  - Analysen skal bidra til mer kunnskap om hvordan tunnelsystemet fungerer. Test ulike verdier for viktige variabler: Hvordan er sensitiviteten?
- Vi må kunne forvente endringer over tid: Ny kunnskap, ny teknologi, nye energiformer, nye driftsforutsetninger...

21

## Om å velge TVH'er



### Finnes ingen formelle kriterier for hva som anses troverdig

- Myndigheter og bransjen selv må over tid jobbe for å etablere en standardisert praksis.
- Dette er en *mulighet* for bransjen til å diskutere og konkretisere hva som skal legges til grunn for risikovurderinger.
- Vurderinger av hva som er troverdig kan gjøres både kvalitativt og kvantitativt, og støttes av risikoanalysen.
- Alle valg av TVH'er skal begrunnes -> Etterprøvbarehet.

### Ikke hensiktsmessig å bare velge «de verste» TVH'ene

- Mindre «dramatiske» hendelser kan stille andre krav til f.eks. beredskap enn «de verste».
- TVH'er bør velges slik at dekker et spekter av hendelser: hvordan utfordres tunnelsystemet?

22

## Krav til risikovurdering av spesifikke forhold



### Farlig gods - TSF/TSFF, Vedlegg I, 3.7

- Skal alltid inkluderes i risikoanalysen.
- Gjøres ved at uønskede hendelser med farlig gods alltid tas videre som kritiske hendelser til risikoanalysen, uansett om det er identifisert spesielle egenskaper av betydning eller ikke.

### Forbikjøring med tunge lastebiler - TSF/TSFF, Vedlegg I, 3.8

- Relevant dersom det vurderes å tillate tunge lastebiler å gjøre forbikjøringer i tunneler med mer enn ett kjørefelt i hver retning.
- Håndteres i praksis som et særtrekk/spesiell egenskap.

### Langsgående ventilasjon – TSF/TSFF, Vedlegg I, 2.9.3

- Relevant dersom det vurderes langsgående ventilasjon i tunneler med toveistrafikk og/eller enveis trafikkork.
- Håndteres i praksis som et særtrekk/spesiell egenskap.

23

## Sårbarhet, sensitivitet og usikkerhet



Risikovurderinger gir aldri et objektivt korrekt «svar med to streker under». Tilliten til konklusjonene fra en risikovurdering avhenger av at vi også kan vise kontroll med følgende:

### Sårbarheter

- Tunnelsystemets manglende evne til å motstå uønskede hendelser eller varige påkjenninger, samt til å opprettholde eller gjenoppta sin funksjon etterpå.
- Har vi i risikoanalysen identifisert alle forhold som kan påvirke scenarioene?

### Sensitivitet

- Vil konklusjonene kunne endre seg vesentlig, selv med små endringer i forutsetninger og valg som er gjort i risikoanalysen? Hva skjer om branneeffekten er litt høyere?

### Usikkerhet

- Har vi tilstrekkelig kunnskap, eller bygger vi risikovurderingen på usikre forutsetninger?
- Må sees i sammenheng med sensitivitet.

24

## Utdypning om usikkerhet og sensitivitet



- Veilederen bygger på NS 5814:2021
- Tillegg B i NS 5814 handler om usikkerhet i risikovurderinger og gir praktiske råd om hvordan usikkerhet kan håndteres i risikovurderinger.

25

## Risikoevaluering (Trinn 4)



### Skal gi svar på ett eller flere av følgende punkter:

- Om laveste tillatte sikkerhetsnivå er oppnådd: I hvilken grad er det samsvar mellom risiko og sikkerhetsmålene? Drøftingen baseres på evalueringskriteriet.
- Dersom det finnes alternative løsninger og risikoreduserende tiltak: Hvilken løsning innebærer lavest risiko?
  - Belyse hvilke forhold som skiller risiko ved ulike alternativer, og hvordan alternativene rangeres med hensyn til risiko.
- Dersom det er bestemt, eller vurdert, å søke om unntak fra minstekrav i TSF/TSFF, Vedlegg I, må det eksplisitt evalueres om «likeverdige eller forbedret vern» er oppnådd med alternative risikoreduserende tiltak, jf. evalueringskriteriene.

**Risikoevalueringen gjøres ved å kombinere evalueringskriteriet med hver TVH, og så etablere en strukturert argumentasjon for hvorfor evalueringskriteriet anses tilfredsstillt.**

26

## Eksempel på risikoevaluering



TVH: Brann i tungt kjøretøy med maksimal branneffekt 70 MW, i en køsituasjon, midtveis i tunnelen.	
<b>Påstand/ Evalueringkriterium</b>	Trafikantenes sikkerhet er ivaretatt ved brann i tungt kjøretøy med maksimal branneffekt 70 MW i en køsituasjon, midtveis i tunnelen.
<b>Logikk/argumentasjonsstrategi</b>	Fordi alle som ikke er direkte involverte i hendelsen med kjøretøyet som brenner kan evakueres ut av tunnelen uten å bli eksponert for livstruende røyk, følger det at sikkerheten til trafikantene er ivaretatt.
<b>Premisser</b>  (Ofte de risikoanalysene argumentasjonen bygger på)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evakueringstid &lt; Tid til livstruende røykeksponering               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Analyse av røykutvikling for aktuelt brannscenario.</li> <li>○ Analyse av evakueringstid.</li> </ul> </li> <li>• Sensitivitet i vurderingen er begrenset               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vurdering av sensitivitet.</li> </ul> </li> <li>• Usikkerheten i vurderingen er begrenset               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Vurdering av kunnskapsgrunnlaget.</li> </ul> </li> </ul>

- Oppsettet i seg selv er enkelt - Det meste av arbeidet vil ligge i å etablere dokumentasjon for premissene.
- En viktig fordel med en eksplisitt argumentasjon er at risikovurderingen blir mer etterprøvable.

27

## Forventede utfordringer i gjennomføringen av risikovurderinger – Tips og råd



### Å avgjøre hva som skal regnes som «tunnelsystemets spesielle egenskaper»

- Er man i tvil, ta det med i risikovurderingen! («Better safe than sorry»)
- Vil være mulig å etablere bedre støtte for dette over tid.

### Å velge metoder, omfang og detaljgrad for risikoanalysen

- Krever at prosessleder har betydelig kompetanse og erfaring.
- Det forventes mer enn et analyse møte, og det legges til grunn at prosessleder har et selvstendig ansvar for kvaliteten på risikovurderingen.
- Avhenger av prosjektets modenhet og behov for beslutningsstøtte: må tilpasses.
- Risikovurderingene er underlag for tunnelens «sikkerhetskonsept».

### Å velge troverdige verstefallshendelser

- Prinsipper, kriterier og praksis vil utvikles og etableres over tid.
- En fornuftig strategi i starten er å sørge for god diskusjon omkring definisjon av TVH'er.

28