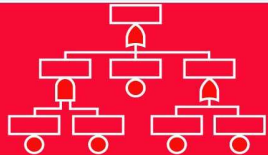


Kapittel 11

Hendelsestreanalyse

(Rev. 0)

Marvin Rausand og Ingrid Bouwer Utne
Institutt for produksjons- og kvalitetsteknikk
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet



Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 –
Forberedelser

Trinn 1 – Den
uønskede
hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

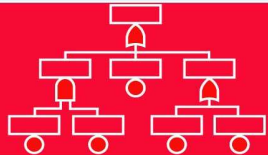
Trinn 3 –
Konstruksjon av
hendelsestreet

Trinn 4 –
Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn-
ligheter/frekvenser

Oppsummering

Innledning



Konsekvensanalyse

Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 –
Forberedelser

Trinn 1 – Den
uønskede
hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 –
Konstruksjon av
hendelsestreet

Trinn 4 –
Hendelseskjeder

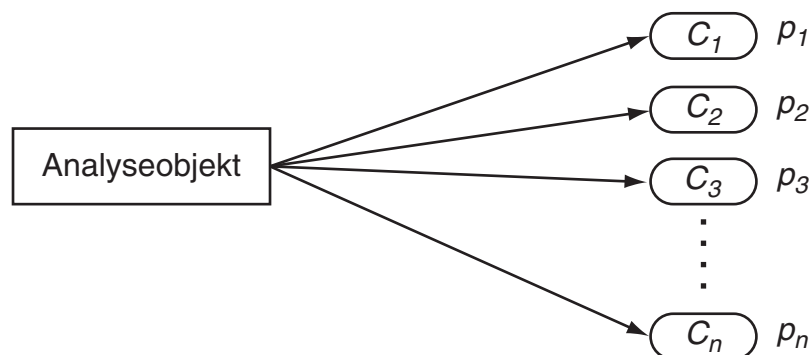
Trinn 5 – Sannsyn-
ligheter/frekvenser

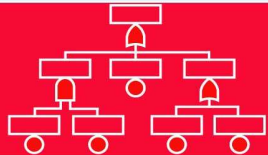
Oppsummering

Vi kan definere en uønsket hendelse som det *første* betydelige avviket fra normal operasjon som kan lede til skade (f.eks. gasslekkasje, et fallende objekt).

En uønsket hendelse kan føre til ulike typer konsekvenser, slik som:

- Personskader
- Miljøskader
- Skader på materiell
- Produksjonstap





Hva er hendelsestreanalyse?

Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 –
Forberedelser

Trinn 1 – Den
uønskede
hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 –
Konstruksjon av
hendelsestreet

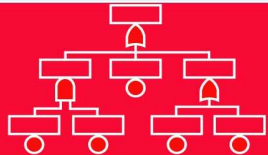
Trinn 4 –
Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn-
ligheter/frekvenser

Oppsummering

- En *induktiv* metode som viser alle mulige resultater av en uønsket hendelse. Tar hensyn til om barrierer funksjonerer eller ikke, og om det er andre faktorer som påvirker.
- Ved å analysere alle relevante uønskede hendelser (avdekket f.eks. i en grovanalyse, HAZOP), kan potensielle *ulykkesscenarioer* og hendelseskjeder i komplekse systemer avdekkes.
- Et hendelsestre er et logisk diagram som viser mulige hendelseskjeder og utfall som kan føre til skade, etter en uønsket hendelse.

– Forkortes gjerne til ETA (Engelsk: Event Tree Analysis).



Hva er hendelsestreanalyse (II)?

Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 –
Forberedelser

Trinn 1 – Den
uønskede
hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 –
Konstruksjon av
hendelsestreet

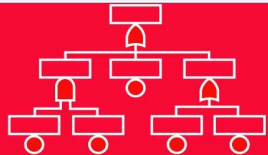
Trinn 4 –
Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn-
ligheter/frekvenser

Oppsummering

Kan gi svar på følgende:

- Hvilke barrierer er installert for å forhindre eller redusere konsekvensene av den uønskede hendelsen?
- Hvor egnet og pålitelig er hver av disse barrierene?
- Hvilke hendelser eller tilstander kan påvirke utviklingen og/eller konsekvensene av den uønskede hendelsen?
- Hvilke mulige hendelseskjeder kan inntreffe som følge av den uønskede hendelsen?
- Hvor sannsynlig/hvor ofte vil de enkelte hendelseskjedene inntreffe?
- Hvilke konsekvenser vil de enkelte hendelseskjedene gi opphav til?



Når brukes hendelsestreanalyse?

Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

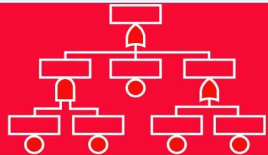
Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

- Som en integrert del i en risikoanalyse av tekniske systemer.
- Som en frittstående analyse.
- Som del i rene pålitelighetsanalyser av tekniske systemer.
- Kan i et systems designfase brukes til å avdekke mulige ulykker som følge av bestemte feil i systemet.
- Kan i driftsfasen brukes til å vurdere om de eksisterende sikkerhetssystemene og prosedyrene er tilfredsstillende, samt til å avdekke mulige konsekvenser av en gitt feil i systemet.
- Ved gransking av ulykker.



Eksempel

Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 –

Forberedelser

Trinn 1 – Den

uønskede

hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 –

Konstruksjon av

hendelsestreet

Trinn 4 –

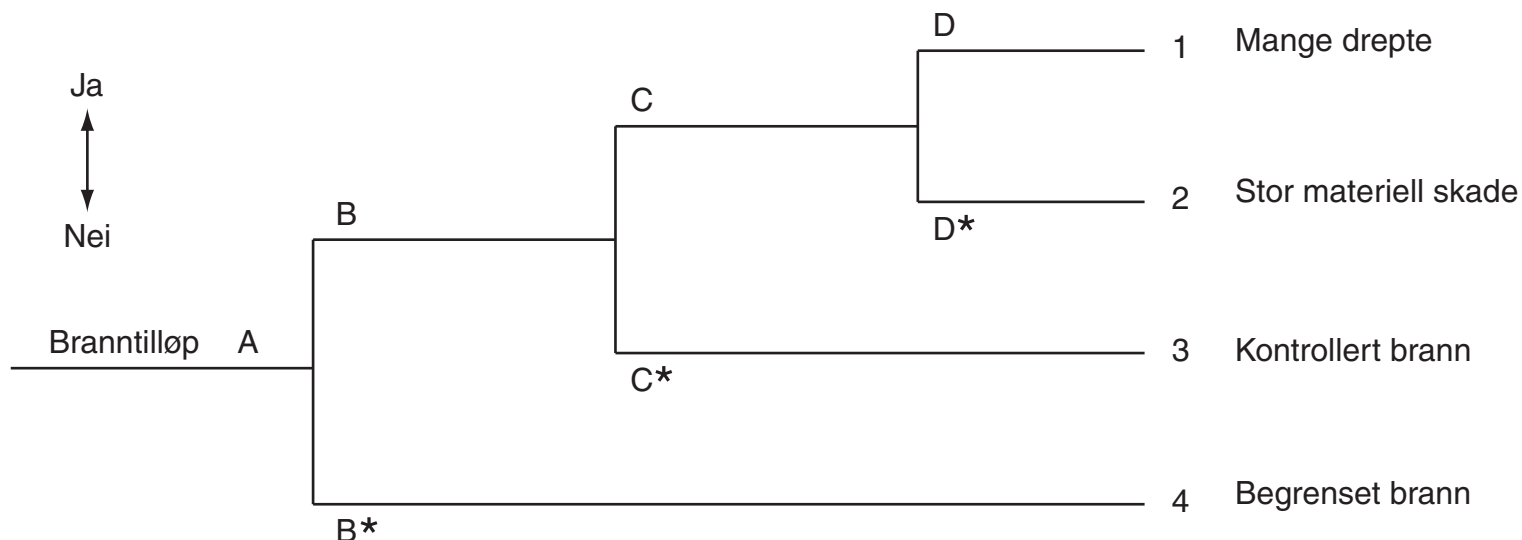
Hendelseskjeder

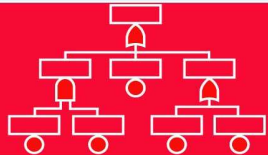
Trinn 5 – Sannsyn-

ligheter/frekvenser

Oppsummering

Uønsket hendelse	Brannen sprer seg raskt	Sprinkleranlegget fungerer ikke	Personene får ikke evakuert rommet	Nr.	Konsekvensbeskrivelse
------------------	-------------------------	---------------------------------	------------------------------------	-----	-----------------------





Metodebeskrivelse

Innledning

Oversikt

Hva er...?

Anvendelse

Eksempel

Trinn

Trinn 0 –
Forberedelser

Trinn 1 – Den
uønskede
hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 –
Konstruksjon av
hendelsestreet

Trinn 4 –
Hendelseskjeder

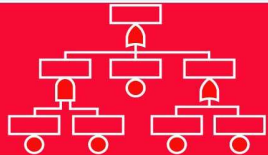
Trinn 5 – Sannsyn-
ligheter/frekvenser

Oppsummering

Vanligvis sju trinn:

0. Forbered analysen
1. Avdekk og beskriv den uønskede hendelsen
2. Avdekk barrierer
3. Konstruer hendelsestreet
4. Beskriv hendelseskjedene
5. Beregn sannsynligheter/frekvenser
6. Rapporter

– Trinn 0 og 6 beskrives nærmere i kap. 8 i boka.



Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Innledning

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

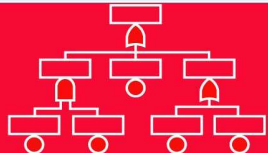
Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Trinn 0 – Forberedelser



Innledning

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Innledning

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

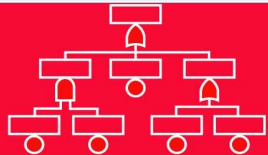
Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

1. Definer målsettingen og detaljeringsgraden for hendelsestreanalysen.
2. Utpek analysesgruppe og organiser arbeidet.
3. Etabler prosjektplan.
4. Innhent informasjon fra tidligere trinn i risikoanalysen – spesielt fra fareidentifikasjonen og fra årsaksanalysen.

– Mer om analyseforberedelser i kap. 8.



Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Oversikt
Utvelgelse

Trinn 2 – Barrierer

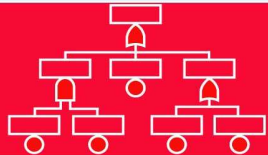
Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen



Innledning

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Oversikt

Utvelgelse

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

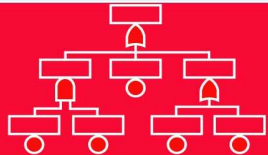
Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Dersom hendelsestreanalysen er en del av en større risikoanalyse, vil de uønskede hendelsene ha blitt avdekket som en del av fareidentifikasjonen.

I mange tilfeller vil de uønskede hendelsene også være vurdert og rangert med hensyn til kritikalitet, for eksempel i en grovanalyse eller HAZOP.

For de mest alvorlige hendelsene vil det allerede være foretatt en årsaksanalyse, f.eks. feiltreanalyse.



Aktiviteter

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Oversikt

Utvelgelse

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

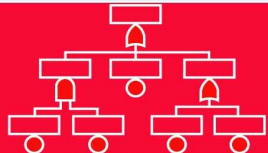
Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

1. Velg en uønsket hendelse (fra de hendelsene som ble avdekket i fareidentifikasjon).
2. Definer og avgrens den uønskede hendelsen.
3. Sørg for at analysegruppa forstår hva den uønskede hendelsen innebærer.

Dersom den valgte hendelsen kan resultere i bare ei bestemt ulykke, er det bedre å utføre en feiltreanalyse for å bestemme årsakene til ulykka.

Viktig å definere hendelsen på en entydig måte: *Hva* innebærer hendelsen, *hvor* inntreffer den og *når*?



Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Barrierer

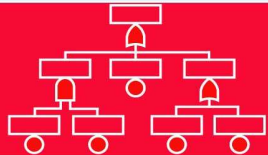
Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Trinn 2 – Barrierer



Barrierer

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer **Barrierer**

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

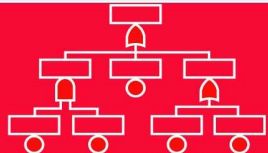
Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

De fleste systemer med farepotensial har barrierer for å forhindre eller redusere konsekvensene av potensielle uønskede hendelser.

Barrierene i systemet kan omfatte:

- Sikkerhetssystemer som automatisk reagerer på den uønskede hendelsen
- Alarmer som varsler operatøren(e) når den uønskede hendelsen inntreffer
- Prosedyrer som operatøren(e) skal følge ved alarm
- Barrierer som begrenser effekten av den uønskede hendelsen
- Rømningsveger og sikre områder
- Personlig verneutstyr



Barrierer og påvirkende faktorer

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

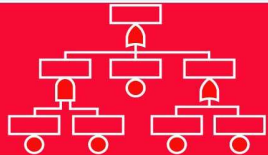
Oppsummering

Sannsynligheten for at en uønsket hendelse vil føre til en uønsket konsekvens avhenger av om barrieren funksjonerer eller ikke.

Analysegruppa skal identifisere alle de installerte barrierene og liste dem opp i den rekkefølgen de forventes å bli aktivert.

Konsekvensen avhenger også av andre faktorer, som:

- Om en gasslekkasje antennes eller ikke.
- Om mennesker eksponeres for den uønskede hendelsen.
- Vindretningen når gasslekkasjen skjer.



Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Oversikt

Regler

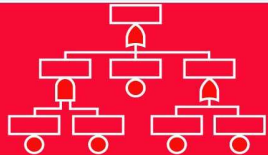
Greiner

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet



Innledning

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Oversikt

Regler

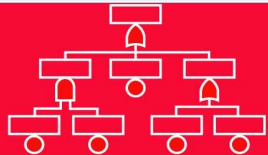
Greiner

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

- Hendelsestreet viser utviklingen av de mulige ulykkeskjedene i kronologisk rekkefølge.
- Treet starter med den uønskede hendelsen og går via de barrierene som aktiveres.
- Treet forgreines med “ja/nei”-utganger for hver barriere, avhengig av om denne funksjonerer tilfredsstillende eller ikke.



Regler for konstruksjon av hendelsestreet

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Oversikt

Regler

Greiner

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsynligheter/frekvenser

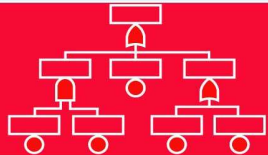
Oppsummering

- Barrierene, hendelsene og tilstandene som ble avdekket (trinn 2) listes opp ovenfor hendelsestreet i den rekkefølgen de aktiveres/er aktuelle.
- Vi anbefaler at barrierene/hendelsene/tilstandene beskrives *negativt* (se fig.)
- Ved vurdering av barrierene/hendelsene/tilstandene er det to muligheter, “ja” eller “nei”.
- Viktig å fullføre alle hendelseskjedene.
- Ofte nyttig å merke greinene med bokstaver.

	B ₁	B ₂	B ₃	B ₄	B ₅	
Uønsket hendelse	Tilleggs-hendelse	Barriere I funksjonerer ikke	Barriere II funksjonerer ikke	Barriere III funksjonerer ikke	Tilleggshendelse II	Resultat/ Konsekvens



Slik kommer de mest alvorlige konsekvensene øverst



Forgreininger

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Oversikt

Regler

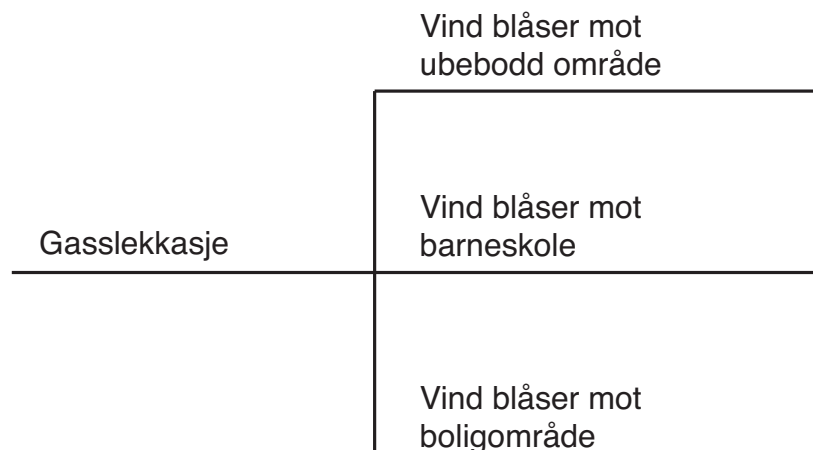
Greiner

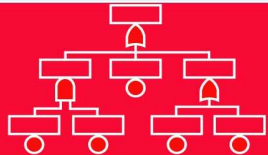
Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

I noen tilfeller kan det også være aktuelt å bruke tre eller flere forgreininger. Betrakt, som et eksempel, en større gasslekkasje fra en lagertank. Området rundt tanken kan deles i tre ikke overlappende sektorer.





Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

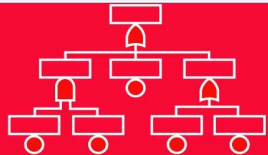
Trinn 4 – Hendelseskjeder

Oversikt

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Trinn 4 – Hendelseskjeder



Aktiviteter

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

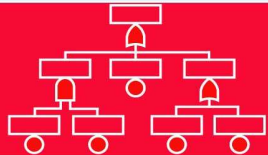
Oversikt

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

På dette trinnet bør vi:

- Dokumentere skriftlig hver enkelt hendelseskjede på en klar og entydig måte.
- Foreta en vurdering av de skadene som hver enkelt hendelseskjede vil medføre.
- Liste opp hendelseskjedene i forhold til hvor alvorlige de er.
- Gjennomgå hendelseskjedene. Da vil analysegruppa ofte avdekke behovet for andre eller bedre barrierer.



Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

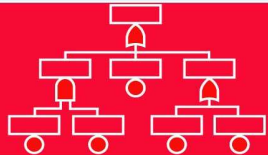
Oversikt

Hvordan...?

Eksempel

Oppsummering

Trinn 5 – Sannsynligheter/frekvenser



Innledning

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oversikt

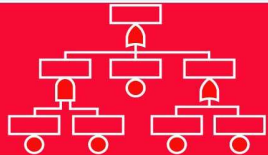
Hvordan...?

Eksempel

Oppsummering

Dersom vi har tilgang til relevante data, kan vi foreta en kvantitativ analyse av hendelsestreet. Dette krever at vi kan anslå:

- Frekvensen til den uønskede hendelsen.
- Feilsannsynligheten for hver enkelt barriere.
- Sannsynligheten for at hver enkelt hendelse/tilstand inntreffer.



Hvordan finner vi sannsynligheter/frekvenser?

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oversikt

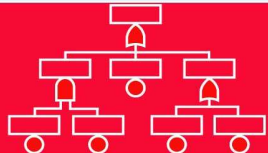
Hvordan...?

Eksempel

Oppsummering

For å anslå sannsynligheten for en barrierefeil, må vi:

- Kjenne feilratene til de enhetene som inngår i barrieren.
- Forstå hvordan disse enhetene er koplet sammen og hvordan barrierene testes og vedlikeholdes.
- Ta hensyn til hvilke hendelser som har inntruffet før barrieren blir aktivert.



Frekvenser/sannsynligheter for konsekvensene

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

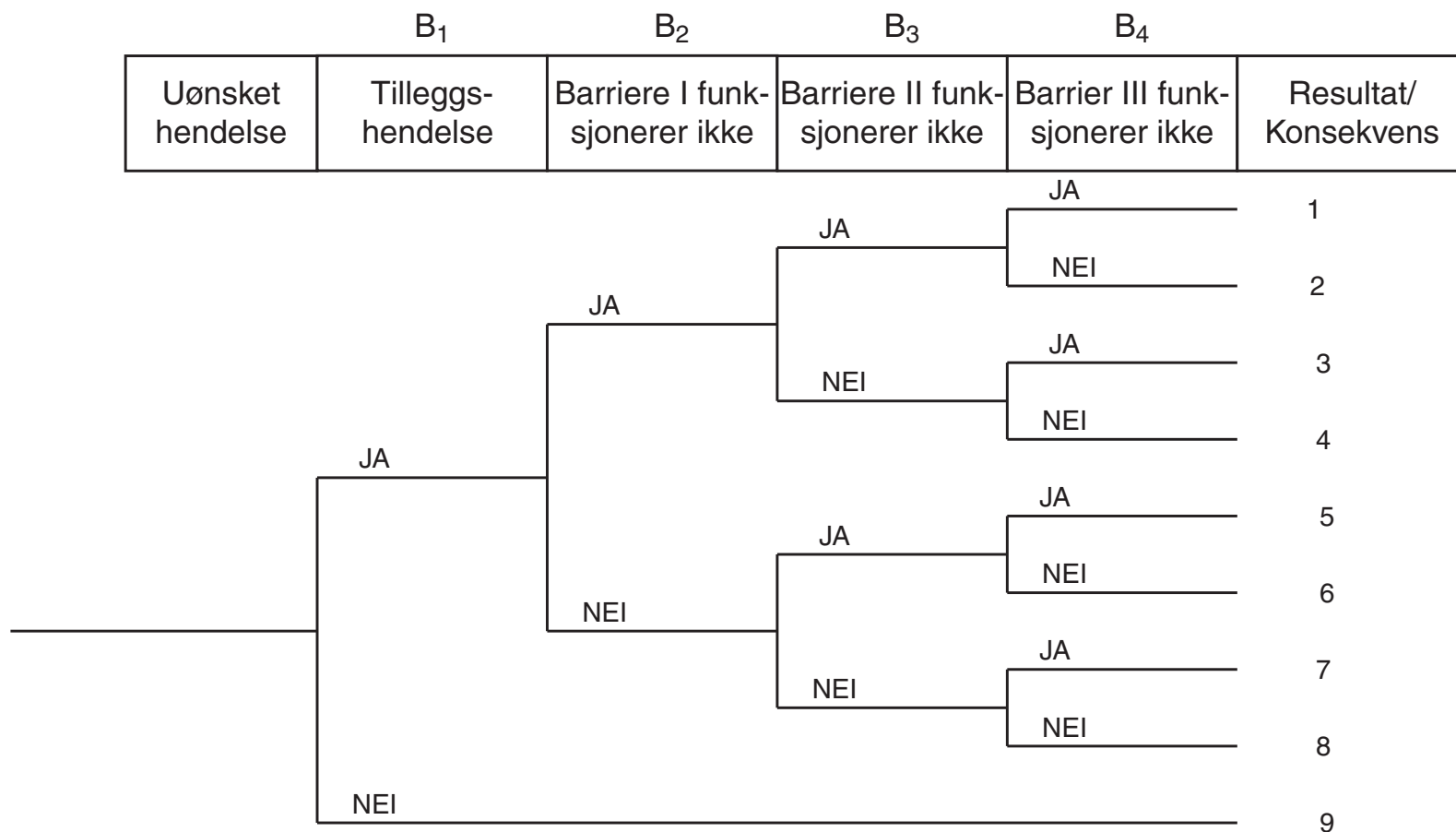
Oversikt

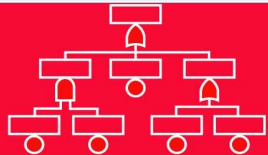
Hvordan...?

Eksempel

Oppsummering

Å finne sannsynlighetene eller frekvensene til de identifiserte konsekvensene kan illustreres ved:





Frekvenser/sannsynligheter for konsekvensene (II)

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oversikt

Hvordan...?

Eksempel

Oppsummering

La $f(A)$ være frekvensen til den uønskede hendelsen. La $\Pr(B_i)$ være sannsynligheten for hendelsen $B(i)$.

Når vi vet at den uønskede hendelsen har skjedd, er sannsynligheten for “konsekvens (grein) 1”:

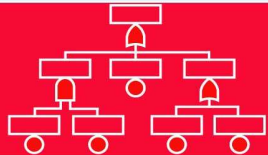
$$\begin{aligned}\Pr(\text{Konsekvens 1} \mid \text{Uønsket hendelse}) &= \Pr(B_1 \cap B_2 \cap B_3 \cap B_4) \\ &= \Pr(B_1) \cdot \Pr(B_2 \mid B_1) \cdot \Pr(B_3 \mid B_1 \cap B_2) \cdot \Pr(B_4 \mid B_1 \cap B_2 \cap B_3)\end{aligned}$$

Legg merke til at sannsynlighetene er betingede, gitt resultatet av utfallene helt til “barriere” i er nådd.

Frekvensen av “konsekvens 1” er:

$$f(A) \cdot \Pr(B_1 \cap B_2 \cap B_3 \cap B_4)$$

Frekvensene av den andre resultatene bestemmes på liknende måte.



Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

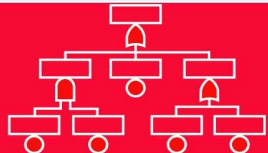
Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Til slutt...

Oppsummering



Fordeler

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

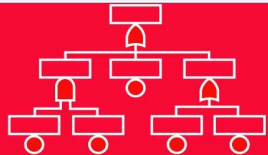
Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Til slutt...

- Sammen med feiltreanalyse er hendelsestreanalyse den viktigste og mest vanlig brukte analysemetoden i risikoanalyser.
- Gir et klart og oversiktlig bilde av hvilke hendelseskjeder som kan følge etter en uønsket hendelse i et system.
- Er enkelt å forstå.
- Metoden er godt dokumentert og enkel å bruke.



Ulemper

Innledning

Trinn 0 – Forberedelser

Trinn 1 – Den uønskede hendelsen

Trinn 2 – Barrierer

Trinn 3 – Konstruksjon av hendelsestreet

Trinn 4 – Hendelseskjeder

Trinn 5 – Sannsyn- ligheter/frekvenser

Oppsummering

Til slutt...

- Det finnes ikke noen standard for den grafiske utformingen av hendelsestreet.
- Siden analysen gjennomføres på et forholdsmessig høgt systemnivå, er det lett at farekilder på detaljnivå blir oversett.
- I noen situasjoner er det vanskelig å forutse i hvilken rekkefølge barrierene vil bli aktivert. Hvis de blir aktivert i en annen rekkefølge enn det som er forutsatt i analysen, kan resultatet bli feil.
- Det kan være et problem å vite hvor langt hendelseskjedene skal føres.