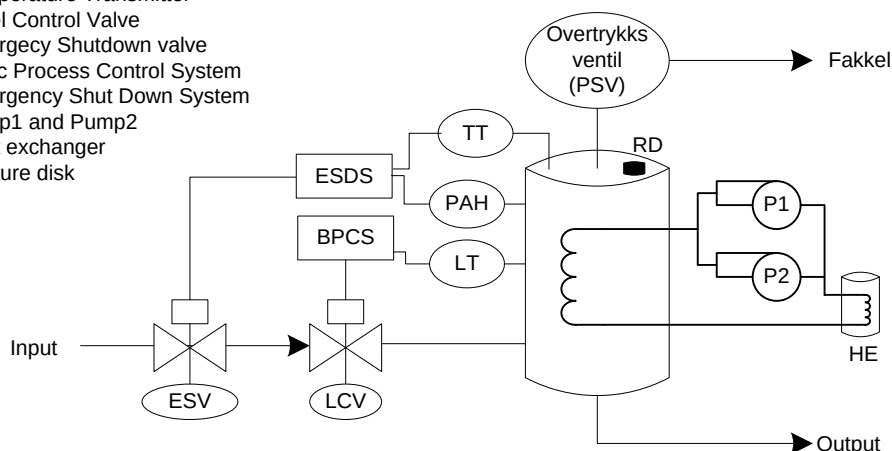


Øving 2

PAH	Pressure Alarm High
LT	Level Transmitter
TT	Temperature Transmitter
LCV	Level Control Valve
ESV	Emergency Shutdown valve
BPCS	Basic Process Control System
ESDS	Emergency Shut Down System
P1, P2	Pump1 and Pump2
HE	Heat exchanger
RD	Rupture disk



Figur 1 Prosess system

Betrakt systemet i Figur 1. Et basis prosesskontrollsystem (BPCS) er installert for å kontrollere flyt inn til prosessen. BPCS består av en nivåtransmitter (LT), en nivåkontrollventil (LCV), og en logisk enhet (BPCS). Prosessen krever kjøling, og det er derfor installert to sirkulasjonspumper (P1 og P2) som samvirker med varmeveksleren (HE) for å sikre kjøling. Nødvstengningssystemet (ESDS) består av en nødavstengningsventil (ESV), en ESD logisk enhet (ESDS), en temperaturtransmitter (TT), og en alarmenhet for høgt trykk (PAH). Hvis kjølesystemet feiler skal temperaturtransmitteren (TT) gi et signal til ESDS før trykkoppbyggingen vil gi en alarm via PAH. På den annen side, dersom kontrollsystemet for flyt inn til tanken (BPCS) svikter, vil vi først få en trykkoppbygging, og deretter en temperaturopbygging. Konkret betyr dette at ESDS systemet vil, om det fungerer, bli aktivert både ved temperaturøkning, og trykkoppbygging. Dersom ESDS systemet feiler vil trykket bygge seg opp videre, og en trykkavlastningsventil (PSV) vil åpne ved et forhåndsdefinert sett-punkt. Merk at en PSV ikke har noen aktiveringsenhet, og vil åpne ved høyt trykk uten noen ekstern aktivering. Hvis PSV åpner vil prosessmediumet bli sendt til avbrenning (fakkel). Dersom også PSV'en svikter, vil en såkalt bruddplate (RD=rupture disk) bli blåst av ved et enda høyere sett-punkt enn sett-punktet for PSV'en. Dersom RD også svikter, vil tanken til slutt sprekke/eksplodere. Mulige slutthendelser er vist i Tabell 1.

Tabell 1 – Sluttkonsekvenser (alle størrelser i norske kroner)

Sluttkonsekvens	PLL	Forventet kostnad (materielle skader, produksjonstap og miljøtap)
① Kontrollert nedstegning, ikke tap av prosessmedium	0	30 000
② Prosessmedium sendt til fakkel	0.001	1 00 000
③ Prosessmedium flyter ut gjennom bruddplaten (RD)	0.2	1 000 000
④ Brudd eller eksplosjon i tanken	5	1 00 000 000

PLL = Potential Loss of Lives (potensiell tap av liv), og tallene angir forventet antall drepte gitt at sluttkonsekvensen inntreffer. Både PSV- og ESDS-elementene funksjonstestes periodisk for å avdekke sikkerhetskritiske feil. Pålitelighetsdata er gitt i Tabell 2. Vi antar at svikt i sirkulasjonspumpene oppdages umiddelbart, og reparasjon kan startes umiddelbart. Varmeveksleren (HE) antas å ikke kunne svikte, og vi ser derfor bort fra den i analysen.

Tabell 1 – Basis pålitelighetsdata

Parameter	Verdi	Kommentar
λ_{LT}	5E-06	Feilrate for nivåtransmitteren (timer ⁻¹)
λ_{TT}	5E-06	Feilrate (sikkerhetskritiske svikt) for temperaturtransmitteren (timer ⁻¹)
λ_{PAH}	5E-06	Feilrate (sikkerhetskritiske svikt) for trykkalarm høg (detektor) (timer ⁻¹)
λ_{LCV}	1E-04	Svikrate for nivåkontrollventilen (timer ⁻¹)
λ_{ESV}	2E-06	Feilrate (sikkerhetskritiske svikt) for nedstengningsventilen (timer ⁻¹)
λ_{PSV}	8E-06	Feilrate (sikkerhetskritiske svikt) for trykkavlastningsventilen (timer ⁻¹)
λ_{Pu}	5E-04	Svikrate for hver av de to sirkulasjonspumpene (timer ⁻¹)
q_{ESDS}	1E-04	Konstant feilsannsynlighet for, ESDS logisk enhet
λ_{BPCS}	1E-05	Svikrate for logisk enhet i basis prosesskontrollsystemet (timer ⁻¹)
τ_{TT}	4380	Testintervall, temperaturtransmitter (timer)
τ_{PAH}	4380	Testintervall, trykkalarm høg (detektor) (timer)
τ_{ESV}	8760	Testintervall nødavstengningsventil (timer)
q_{RD}	1E-03	Konstant feilsannsynlighet for bruddplate
τ_{PSV}	8760	Testintervall, trykkavlastningsventil (timer)
MDT_{Pu}	24	Midlere nedetid, pumper (timer)

Oppgave 1

- Konstruer et feiltre med TOPP-hendelse “Prosessforstyrrelse”. Vi antar at det blir en prosessforstyrrelse dersom enten kjølesystemet svikter, og/eller basis prosesskontrollsystemet svikter. Skriv ned antagelser du gjør.
- Finn minimale kuttmengder ved visuell inspeksjon av feiltreet.
- For å finne frekvensen av TOPP-hendelsen er det foreslått å benytte følgende formel

$$f = \lambda_{LCV} + \lambda_{LT} + \lambda_{BPCS} + 2\lambda_{Pu} \times (\lambda_{Pu} \times MDT_{Pu})$$

Argumenter for at dette er en rimelig formel, og finn frekvensen av TOPP-hendelsen ved å benytte pålitelighetsdata i Tabell 2.

Oppgave 2

- Lag et pålitelighetsblokkdiagram for ESD systemet, dvs systemet bestående av ESV, ESDS, TT og PAH.
- Finn strukturfunksjonen for ESD systemet.
- Finn påliteligheten til ESD systemet ved å benytte pålitelighetsdata i Tabell 2. Hint: Upåliteligheter til komponentene er gitt ved $q_i = \lambda \tau / 2$.

Oppgave 3

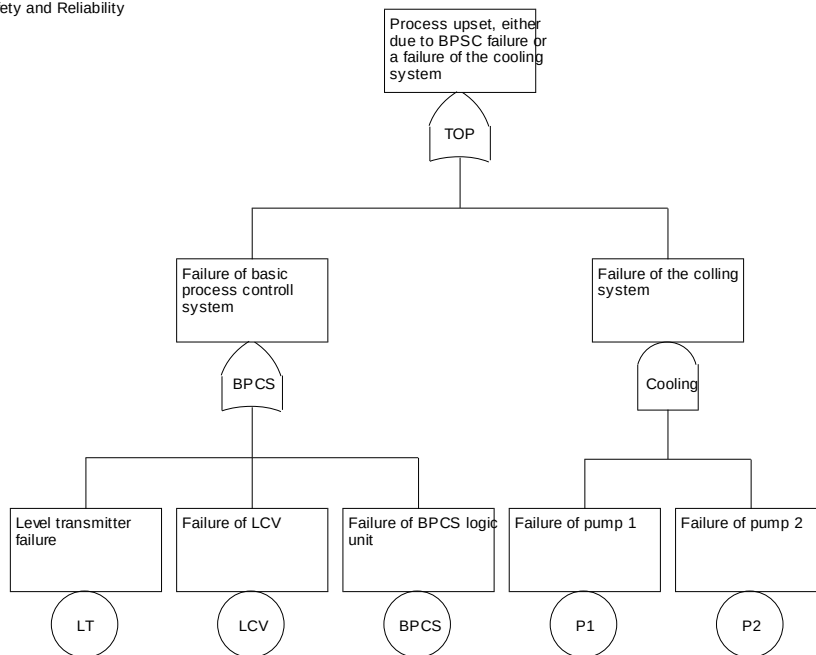
- Konstruer et hendelsestre hvor du benytter TOPP-hendelsen fra Oppgave 1 som initierende hendelse, dvs prosessforstyrrelse pga svikt i enten kjølesystemet eller basis prosesskontrollsystemet. Hint: I hendelsestreet kan du betrakte ESD systemet som en separat barriere.

- b) Finn frekvensen for alle slutthendelsene i Tabell 2. Finn også bidraget til PLL og forventet kostnader for scenarioet. Hint: TOPP-hendelsesfrekvensen fra oppgave 1 og påliteligheten av ESD systemet i oppgave 2 skal benyttes i hendelsestreanalysen.

Løsning Problem 1

a)

CARA Fault Tree version 4.1 (c) Sydvest Software 1999
Licenced to: SINTEF Industrial Management
Dept of Safety and Reliability



1b)

Cut set(s) with 1 component (Total: 3)

{LT}

{LCV}

{BPCS}

Cut set(s) with 2 components (Total: 1)

{P1,P2}

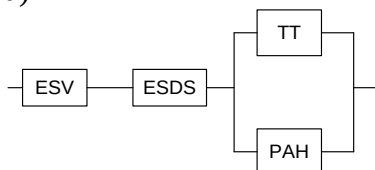
1c)

De første tre leddene representerer svikt i komponentene i basis prosesskontrollsystemet. $\lambda_{P1} \times (\lambda_{P2} \times \text{MDT}_{P2})$ representerer situasjonen at pumpe 1 svikter mens pumpe 2 er nede for reparasjon. Tilsvarende representerer $\lambda_{P2} \times (\lambda_{P1} \times \text{MDT}_{P1})$ at pumpe 2 svikter mens pumpe 1 er nede for reparasjon, derfor får vi til sammen $2\lambda_{Pu} \times (\lambda_{Pu} \times \text{MDT}_{Pu})$.

$$f = \lambda_{LCV} + \lambda_{LT} + \lambda_{BPCS} + 2\lambda_{Pu} \times (\lambda_{Pu} \times \text{MDT}_{Pu}) = \underline{0.000127} \text{ (per hour)} = \underline{1.11} \text{ (per year)}$$

Problem 2

a)



2b)

Structure function: $\phi(\mathbf{x}) = x_{ESV}x_{ESDS}x_{TT} + x_{ESV}x_{ESDS}x_{PAH} - x_{ESV}x_{ESDS}x_{TT}x_{PAH}$

Component reliabilities :

$$2c) p_i = 1 - q_i = 1 - \lambda \tau / 2$$

$$p_{ESV} = 0.99124$$

$$p_{ESDS} = 0.9999$$

$$p_{TT} = 0.98905$$

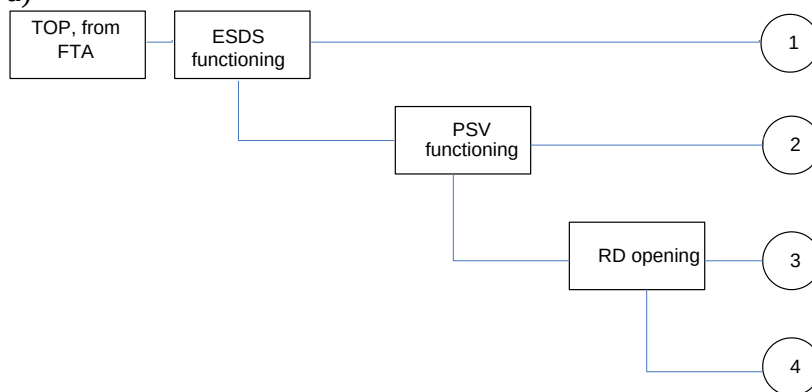
$$p_{PAH} = 0.98905$$

System reliability:

$$p_s = p_{ESV} p_{ESDS} p_{TT} + p_{ESV} p_{ESDS} p_{PAH} - p_{ESV} p_{ESDS} p_{TT} p_{PAH} = \underline{\underline{0.9910221}}$$

Problem 3

a)



3b) Vi bruker formelen $q = \lambda \tau / 2$ for ESV og PSV, mens q er gitt direkte for RD, dvs vi bruker:

	$q = \lambda \tau / 2$	$p = 1 - q$
ESD	8.76E-03	9.91E-01
PSF	3.50E-02	9.65E-01
RD	1E-03	9.99E-01

Følgende tabell summerer opp resultatet fra hendelsestreanalysen:

Init	ESV	PSV	RD	EndCons	Freq	PLL	Cost
0.000127	0.99102			①	1.26E-04	0	30 000
0.000127	0.00898	0.96496		②	1.10E-06	0.001	1 00 000
0.000127	0.00898	0.03504	0.999③		3.99E-08	0.2	1 000 000
0.000127	0.00898	0.03504	0.001④		4.00E-11	5	1 00 000 000

For å finne PLL-bidraget summerer vi for hver rad i tabellen ovenfor «Freq × PLL», mens for kostnadsbidraget summerer vi for hver rad for «Freq × Cost», og vi får:

Total PLL contribution: **9.28E-09** per hour = 8.13E-05 per year

Total cost contribution: **3.93E+00** per hour = 3.44E+04 per year