UNIVERZA V LJUBLJANI | FKKT Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo

Analize tveganja

Marko Krivec, Sabina Huč

Gradivo za vaje

(za interno uporabo)



KAZALO IN SEZNAM VAJ

1. VAJA:	*F-N* KRIVULJE	3
2. VAJA:	INDEKSI TVEGANJA	9
3. VAJA:	MATRIKA TVEGANJA	13
4. VAJA:	METODA "*KAJ ČE*"	16
5. VAJA:	FME(C)A	18
6. VAJA:	HAZOP	20
7. VAJA:	DREVO ODPOVEDI	22
8. VAJA:	DREVO DOGODKOV	37
9. VAJA:	DRUGE METODE	50
LITERATURA		53
DODATKI		54

1. vaja: *F-N* KRIVULJE

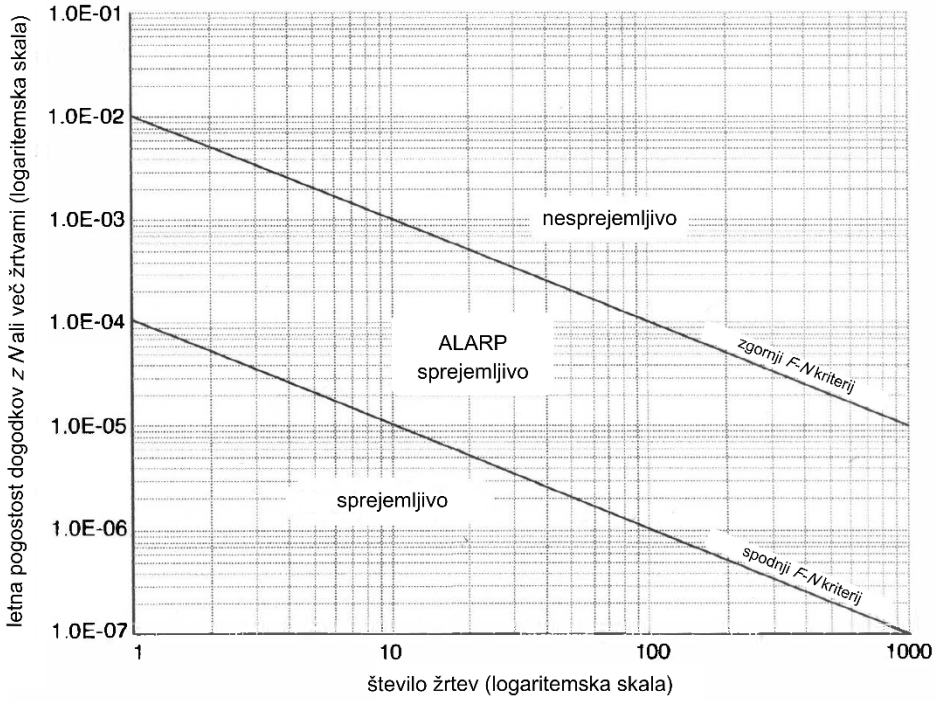
UVOD

Populacijsko tveganje je mogoče izraziti kot individualno ali družbeno tveganje. Individualno tveganje pomeni tveganje za poškodbo ali smrt posameznika, ki se nahaja (npr. živi ali dela) na območju vpliva določene nevarnosti in njenih posledic. Družbeno tveganje pa je tveganje za večje število poškodb ali smrtnih žrtev v družbi kot celoti, kjer breme nevarnosti, ki lahko povzroči različne posledice (npr. številne poškodbe ali smrti, finančne, okoljske ali druge izgube), nosi širša skupnost.

Pri predstavitvi družbenega tveganja običajno uporabljamo *F-N* krivulje, tj. grafični prikaz povezave med pogostostjo nezgod s smrtnim izidom F, katerih posledica je najmanj N smrtnih žrtev, in porazdelitvijo števila smrtnih žrtev N teh nezgod. Ker se vrednosti tako F kot N lahko raztezajo čez več velikostnih redov, so *F-N* krivulje običajno predstavljene na logaritemski skali. Nižje kot je krivulja na diagramu, varnejši je sistem, ki ga diagram predstavlja, saj nižje ležeče krivulje pomenijo nižjo pojavnost dogodkov s smrtnim izidom. Vrednost $F(1)$ predstavlja pogostost nesreč z eno ali več smrtnimi žrtvami, zato jo imenujemo tudi skupna pogostost nesreč s smrtnim izidom.

F-N krivulje so lahko izdelane na podlagi empiričnih (zgodovinskih) podatkov o preteklih nezgodah (prometne nesreče, poplave, zemeljski plazovi itd.) in z njimi povezanih smrtnih žrtvah, kjer je treba natančno vedeti, koliko žrtev je spremljalo vsak posamezni dogodek v določenem časovnem obdobju. Drugi pristop vključuje razvoj in uporabo verjetnostnih modelov za oceno pogostosti in števila žrtev. *F-N* krivulje so uporabne za obravnavo in določanje dopustnih ravni družbenega tveganja (slika 1.1). Z dvema kriterijema v obliki premic, ki sta posledica družbenega dogovora in katerih naklon odraža nenaklonjenost dogodkom s hujšimi posledicami, so določena tri področja: nesprejemljivo, ALARP (angl. *as low as reasonably practicable*; kolikor je razumno izvedljivo) sprejemljivo in širše sprejemljivo. Če *F-N* krivulja za nek sistem leži v celoti pod zgornjo črto, lahko družbeno tveganje sistema smatramo za sprejemljivo, če pa katerikoli del krivulje prečka to črto, tveganje sistema postane

nedopustno in bodo morda potrebni dodatni varnostni ukrepi za zmanjšanje tveganja in s tem znižanje krivulje. Določanje in nadaljnje upoštevanje kriterijev nenaklonjenosti tveganju je vedno kontroverzna tema pri oblikovanju varnostne politike, zato pogosto prihaja do razhajanj glede izbire ustreznih vrednosti.



Slika 1.1: *Primer F-N diagrama z ustreznima kriterijema*

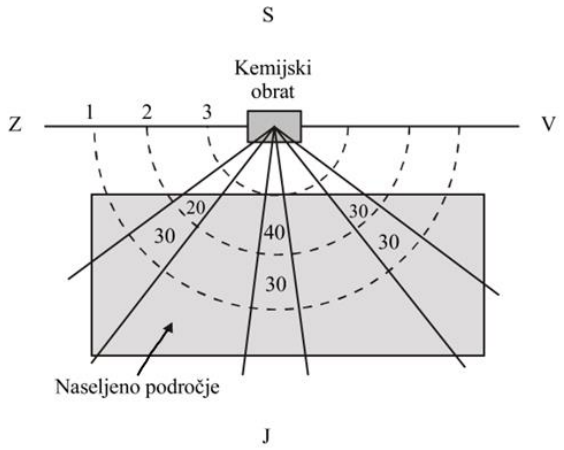
Pri izdelavi *F-N* krivulj je poleg drugih dejavnikov smiselno upoštevati tudi lokalne meteorološke razmere, predvsem smer in hitrost vetra ter stabilnost atmosfere, ki lahko pomembno vplivajo na razvoj posledic nezgodnih scenarijev. Pristop, pri katerem je veter obravnavan kot pogojni dejavnik, ki vpliva na porazdelitev frekvence osnovnega dogodka med različne scenarije glede na večletno meteorološko statistiko lokacije, omogoča realistično upoštevanje dejanskih vremenskih razmer in predstavlja standarden način vključitve meteoroloških vplivov v analize družbenega tveganja.

PRIMERI

1. Za primer prečrpavanja tekočega klora iz rezervoarja v vlakovno cisterno smo z metodo HAZOP (angl. *hazard and operability study*; analiza obratovanja in nevarnosti) izluščili tri najnevarnejše dogodke, z uporabo drevesa odpovedi določili njihove frekvence, s Pasquill-Giffordovo enačbo pa izračunali velikost območja vpliva posameznega dogodka. Izračunajte in narišite krivulje individualnega tveganja.

Dogodek	Opis	Pogostost f / a^{-1}	Vpliv vetra Θ / °	Območje r / m
D1	izpust pare zaradi požara	$4{,}0 \cdot 10^{-6}$	45	350
D2	izpust plinastega klora	$4{,}8 \cdot 10^{-4}$	15	225
D3	izpust tekočega klora	$5{,}6 \cdot 10^{-4}$	/	25

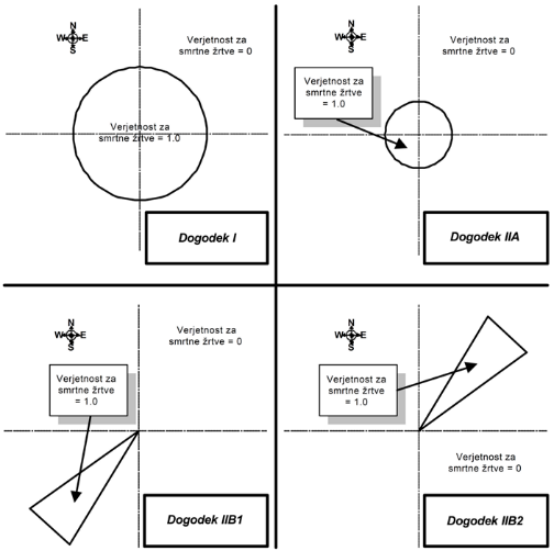
2. V kemijskem obratu v bližini naseljenega območja lahko pride do treh nevarnih dogodkov, ki bi ogrozili prebivalce. Število prebivalcev v posameznih območjih prikazuje priložena slika. Skupno število prebivalcev v osenčenem pravokotniku je 1000. Izračunajte in narišite *F-N* diagram, tj. zvezo med številom ogroženih ljudi in pogostostjo nevarnih dogodkov.

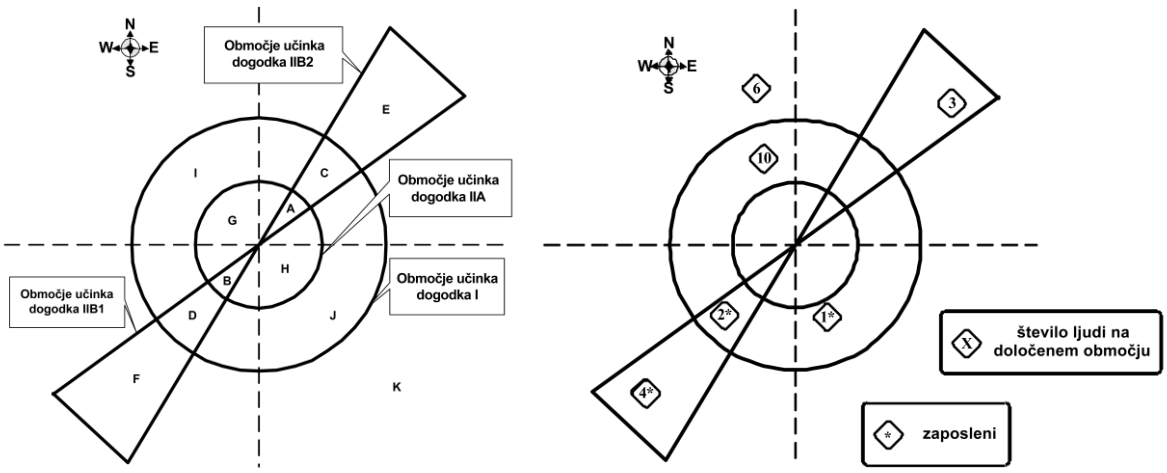


Dogodek	Pogostost f / a^{-1}	Vpliv vetra Θ / °
D1	$3{,}0 \cdot 10^{-6}$	45
D2	$7{,}0 \cdot 10^{-4}$	45
D3	$7{,}5 \cdot 10^{-4}$	45

3. V neki tovarni lahko zaradi detonacije nestabilne kemikalije pride do eksplozije (I) ali pa zaradi napake na reakcijski posodi do izpusta gorljivega strupenega plina, kar lahko privede do eksplozije (IIA) ali do nastanka strupenega oblaka (IIB). Zaradi dveh možnih smeri pihanja vetra se oblak lahko giblje proti jugozahodu (IIB1) ali severovzhodu (IIB2). Priloženi sliki prikazujeta možne nezgodne scenarije. V primeru dogodka I, ki bi se zgodil v središču obrata, bi umrli vsi prisotni znotraj 200 m, v primeru dogodka IIA bi umrli vsi prisotni znotraj 100 m, ostali pa bi bili nepoškodovani. V primeru scenarijev IIB1 ali IIB2 bi bili življenjsko ogroženi tisti, ki bi se nahajali v razdalji 400 m od središča izpusta, ki se lahko zgodi v središču obrata. Izračunajte in narišite diagram odvisnosti individualnega tveganja od oddaljenosti od mesta nezgodnega dogodka v smeri JZ ter *F*-*N* diagram.

Dogodek	Opis	Pogostost f / a^{-1}	Območje r / m
I	eksplozija	$1{,}0 \cdot 10^{-6}$	200
IIA	zapoznela eksplozija po izpustu plina	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	100
IIB1	strupeni oblak proti JZ	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	400
IIB2	strupeni oblak proti SV	$1{,}0 \cdot 10^{-5}$	400





4. V rezervoarju kemijskega obrata, ki predstavlja območje visokega tveganja, je shranjen utekočinjen strupeni plin. S poglobljeno študijo in modeliranjem smo ugotovili, da obstaja povečana nevarnost izpusta, ter predvideli najbolj verjetne scenarije, v katerih bi bili ogroženi zaposleni in okoliški prebivalci. Izračunajte in narišite *F*-*N* diagram.

Dogodek	Pogostost f / a^{-1}	Vpliv vetra p_v	Del dneva p_d	Število žrtev N
SV-D	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,4	0,8	10
SV-N	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,4	0,2	25
JV-D	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,25	0,8	17
JV-N	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,25	0,2	35
JZ-D	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,2	0,8	5
JZ-N	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,2	0,2	15
SZ-D	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,15	0,8	20
SZ-N	$4{,}0\cdot10^{-6}$	0,15	0,2	50

POROČILO

Za priloženi nabor podatkov o nezgodah v različnih prometnih panogah izdelajte ustrezen *F-N* diagram. Grafično prikažite skupno družbeno tveganje ter za vsako panogo posebej. Ugotovitve komentirajte.

Število dogodkov s spremljajočimi smrtnimi žrtvami

Število smrtnih žrtev	Ceste 1969-2001	Železnice 1967-2001	Letalski promet 1967-2001
Vsi	163,336	2,411	644
1	151,722	2,284	330
2	9,350	78	178
3	1,612	16	50
4	443	9	46
5	138	6	7
6	39	3	10
7	9	3	1
8	5		2
9	6	2	
10	5	2	1
11		1	2
12		1	1
13	5	1	1
17			1
20	1		1
31		2	
32	1		
35		1	
43		1	
45			1
47			1
48			1
49		1	
55			1
63			2
66			1
72			1
88			1
104			1
112			1
118			1
146			1

2. vaja: INDEKSI TVEGANJA

UVOD

Kvantitativna ocena tveganja, povezana z določenim sistemom ali dejavnostjo, pogosto temelji na enem ali več indeksih (kazalnikih, merilih ipd.). Indeks je v tem kontekstu merilo, ki zagotavlja informacije o stopnji tveganja. Obstajata dve glavni vrsti indeksov: eni se uporabljajo za napovedovanje prihodnjih dogodkov, drugi pa za obravnavo preteklih dogodkov.

Indeksi tveganja, namenjeni napovedovanju prihodnjih dogodkov, temeljijo na različnih modelih ter generičnih in drugih razpoložljivih podatkih, medtem ko so t. i. indeksi uspešnosti varnosti osnovani na preteklih izkušnjah z določenim sistemom ali dejavnostjo. Slednji so namenjeni predvsem spremljanju in preverjanju varnostne uspešnosti (npr. konstantna, naraščajoča ali upadajoča) ter primerjavi varnosti in varnostnih postopkov v različnih dejavnostih. Statistični podatki predstavljajo pomembno podlago za opredelitev tveganja. Čeprav obstaja veliko statističnih metod, se je treba zavedati njihovih omejitev in jih uporabljati premišljeno. Ker statistični kazalniki pogosto temeljijo na povprečnih vrednostih, lahko podcenijo vpliv redkih nezgodnih dogodkov z obsežnimi posledicami.

PRIMERI

1. Sprejemljivo tveganje za primer resnih posledic delovne nezgode (npr. poškodbe ljudi, ko je ogroženo življenje, če je uničen ali trajno oslabljen organ ali del telesa, ali če obstaja nevarnost, da delavec ostane nezmožen za svoje delo) je ena poškodba na 10.000 prebivalcev na leto. Izračunajte, koliko takšnih poškodb letno je sprejemljivih za Slovenijo in koliko za Evropsko unijo.

2. Sprejemljivo tveganje za prometno nesrečo s smrtnim izidom (upoštevajoč obstoječe socialne, ekonomske, politične, kulturne, tehnične in okoljske razmere) je $20 \cdot 10^{-6}$. Izračunajte dopustno število smrtnih žrtev prometnih nesreč za Slovenijo in ga primerjajte z zastavljenim ciljem (največ 50 umrlih v prometnih nesrečah) ter dejanskim številom smrtnih žrtev v Sloveniji v preteklem letu. Izračunajte letno tveganje na podlagi podatkov zadnjega desetletja.

3. S pomočjo statističnih podatkov napovejte letno število umrlih v Sloveniji zaradi kajenja. Tveganje (verjetnost) za predčasno smrt zaradi aktivnega kajenja (1 zavojček = 20 cigaret na dan) znaša $25 \cdot 10^{-4}$.

4. Izračunajte tveganje za pojav prometne nesreče na prevožen kilometer na a) vseh slovenskih cestah ter b) slovenskih avtocestah in hitrih cestah. Pri izračunu uporabite statistične podatke iz preteklega leta.

5. V neki panogi se v 10^8 urah dela zgodi 8 smrtnih poškodb. Koliko smrtnih poškodb na leto lahko pričakujemo v tej panogi pri 200.000 zaposlenih, kjer vsak opravi letno 2.000 delovnih ur?

6. Ocenili smo, da je letna frekvenca nevarnega dogodka $6 \cdot 10^{-4}$. V primeru nezgode bi dve osebi izgubili življenje. Izračunajte vrednost indeksa FAR (angl. *fatal accident rate*; delež smrtnih nezgod), če je ob nevarnem dogodku izpostavljenih 20 delavcev, delovni proces pa poteka 300 dni na leto.

7. V rudarski industriji so v tisočletnem obdobju zabeležili naslednje dogodke:

Dogodek	Število dogodkov	Povprečno število smrtnih žrtev na dogodek
eksplozija	7	23
mehanska okvara	250	2
zastrupitev	27	4
zasutje	13	11

Izračunajte indeksa ROD (angl. *average rate of death*; povprečna stopnja smrtnosti) in ESC (angl. *equivalent social cost index*; ekvivalentni indeks družbenih stroškov), če je faktor nenaklonjenosti 1,1. Koliko časa je v povprečju minilo med dvema zaporednima nezgodnima dogodkoma s smrtnim izidom?

8. Letno se zgodi 300 avtomobilskih nesreč, v katerih umre ena oseba. Letalska nesreča se zgodi enkrat na leto in zahteva 300 žrtev. V dveh ladijskih nesrečah na leto vsakič umre 150 ljudi. Faktor nenaklonjenosti je v vseh treh primerih 1,25. Primerjajte tveganja ROD in odmevnosti ESC za navedena prevozna sredstva.

9. Tveganje sistema A, ki pomeni pričakovano število okvar, povezanih s procesom, na leto, smo ocenili na $6 \cdot 10^{-2}$. Z nadgradnjo sistema bi po izračunih tveganje znižali za faktor 50. Izračunajte, na koliko časa bi pričakovali okvaro v prvotnem in posodobljenem sistemu.

10. V nekem podjetju so v petletnem obdobju zabeležili naslednje LTA (angl. *lost-time accident*; nezgoda, ki povzroči izgubo delovnega časa) dogodke:

2017	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	SKUPAJ
Št. del. ur	70103	85472	83592	77854	85471	78390	81579	78899	78010	81542	85472	99857	986241
Št. LTA nezgod	2	1	3	0	1	2	1	0	0	2	1	1	14
Št. izg. dni zaradi LTA nezgod	29	3	95	28	10	45	20	0	0	8	69	29	336

2018	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	SKUPAJ
Št. del. ur	83101	82003	95518	83661	92692	84622	80789	78436	78574	90396	86220	73984	1009996
Št. LTA nezgod	0	2	2	0	2	3	2	1	2	1	2	0	17
Št. izg. dni zaradi LTA nezgod	0	28	77	50	77	103	53	40	83	30	45	58	644

2019	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	SKUPAJ
Št. del. ur	87657	83799	89863	89443	91607	80215	84452	74286	82779	89439	84357	74382	1012279
Št. LTA nezgod	0	1	3	0	0	3	3	0	1	1	1	0	13
Št. izg. dni zaradi LTA nezgod	52	39	43	21	0	25	47	3	13	50	17	21	331

2020	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	SKUPAJ
Št. del. ur	86644	83935	90879	78748	84245	86014	80764	71896	82417	84426	78423	74207	982598
Št. LTA nezgod	1	0	0	1	2	1	2	0	1	0	0	0	8
Št. izg. dni zaradi LTA nezgod	0	0	16	35	52	31	36	59	76	79	62	64	510

2021	jan	feb	mar	apr	maj	jun	jul	avg	sep	okt	nov	dec	SKUPAJ
Št. del. ur	79614	83390	94614	85424	88658	84094	75780	72946	87903	85219	83143	81213	1001998
Št. LTA nezgod	1	0	5	2	0	0	2	2	2	2	0	0	16
Št. izg. dni zaradi LTA nezgod	71	0	101	25	0	0	14	12	23	24	0	0	270

(M. Kozlovič: *Obravnava neželenih dogodkov s področja varnosti in zdravja pri delu v mednarodnem prehrambnemu podjetju*. Ljubljana: Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo UL 2022, diplomsko delo.)

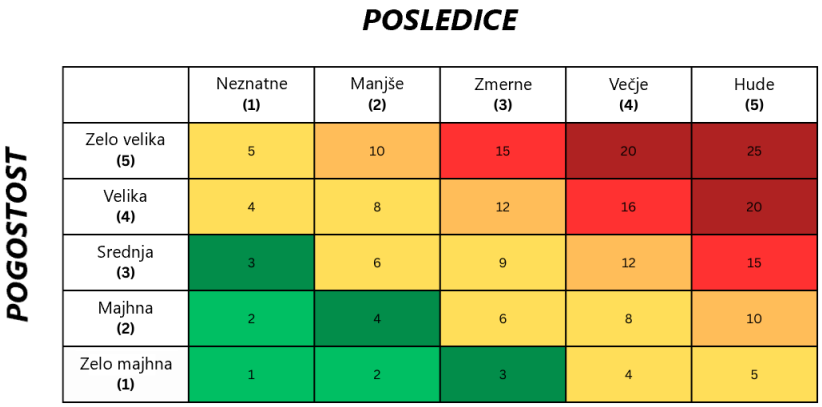
Izračunajte indeksa LTIF (angl. *lost-time injury frequency*; pogostost poškodb z izgubo delovnega časa) in LWF (angl. *lost workdays frequency*; pogostost izgubljenih delovnih dni) za posamezno leto.

3. vaja: MATRIKA TVEGANJA

UVOD

Prepoznana tveganja, katerih se dobro zavedamo, običajno sprejmemo kot del vsakdanje realnosti. Pri odločanju o ravnanju in odzivu jih obravnavamo kot možne scenarije ter tehtamo, katere odločitve bomo v zvezi z njimi sprejeli. Ocenjevanje tveganj je postopek, s katerim se vsakodnevno srečujemo tako rekoč neprestano, čeprav se tega pogosto niti ne zavedamo (npr. pri prečkanju ceste).

Metoda matrike tveganja je najpogosteje uporabljena kvalitativna metoda za ocenjevanje tveganj. Pogostost nastanka poškodb ali škode in resnost (obseg) poškodb ali škode sta ključna elementa, na katera se opiramo pri izdelavi matrike tveganja in oceni varnosti, povezani z obravnavanim sistemom (slika 3.1). Pogostost pojava je odvisna od izpostavljenosti tveganju (mdr. števila izpostavljenih in trajanja zadrževanja na nevarnem območju), verjetnosti nastanka nevarnega dogodka (na podlagi statističnih podatkov, znanih nezgodnih dogodkov ali primerjave tveganj s podobnimi sistemi) ter možnosti izogibanja posledicam, ki vključuje veščine in izkušnje uporabnikov, hitrost nastanka nevarnega dogodka ter morebitno prepoznavnost dogodka (s pomočjo opozorilnih mehanizmov). Obseg škode je običajno obravnavan glede na resnost poškodb (vpliv na zdravje ljudi) in število prizadetih oseb, lahko pa tudi preko vpliva na okolje in zneska morebitne škode na premoženju.



Slika 3.1: *Primer matrike tveganja dimenzij 5 × 5 s šestimi stopnjami tveganja*

Po opredelitvi obsega škode in verjetnosti pojava se postavlja vprašanje, ali je tveganje, povezano z njim, sprejemljivo. Sprejeti je treba odločitev, ali so ukrepi za zmanjšanje tveganja potrebni.

POROČILO

Pripravite matriko tveganja (npr. dimenzij 4 × 4 s štirimi stopnjami tveganja) in z njeno pomočjo preko različnih nevarnosti oziroma scenarijev ovrednotite individualno tveganje na pohodniški poti na vašemu domu najbližjo vzpetino. Natančno opišite čim več značilnosti poti in morebitne nevarnosti. Ob uporabi znanih podatkov ali smiselno izmišljenih vrednosti definirajte lestvico pogostosti in resnosti posledic. Izbor in rezultate ustrezno komentirajte, zasnujte tudi smiselne preventivne ali omilitvene ukrepe za povečanje varnosti pri obravnavani aktivnosti.

4. vaja: METODA "*Kaj če*"

UVOD

Metoda "*Kaj če*" (angl. *what-if analysis*) je najmanj strukturirana med obravnavanimi metodami za identifikacijo nevarnosti, zato je postopek izvedbe precej enostaven in razmeroma kratek. Kakovost in uspeh analize, ki temelji na prepoznavanju različnih scenarijev, sta močno odvisna od znanja in izkušenj vpletenih strokovnjakov ter tudi iznajdljivosti in celo medsebojnih odnosov članov ekipe. Metoda s svojo zasnovo (slika 4.1), kjer pri obravnavi vseh sestavnih delov sistema, ki bi ob okvari lahko vodili ali prispevali k nastanku nezgodnega dogodka, uporabimo serijo vprašanj tipa "*Kaj se bo zgodilo, če ...*" in iščemo možne odgovore, spodbuja ustvarjalnost. Pred začetkom analize, ki jo običajno spremlja intenzivna razprava, sta zato ključni temeljita predpriprava in dobro poznavanje obravnavane tematike. S prepoznavanjem, kaj lahko gre narobe, rezultati tovrstne analize tveganja omogočajo zasnovo jasnih ukrepov za preprečevanje ali blaženje nevarnosti in z njimi povezanih tveganj.

Obseg WHAT-IF:			
Opis delovanja (naprave, sistema, procesa):		ID številka:	
Skupina:		Datum izdelave:	
Vodja skupine:		Datum pregleda:	

Kaj če **(vprašanje)**	Posledica **(odgovor)**	Pogostost	Resnost posledic	Priporočila **(ukrep)**

Slika 4.1: *Primer razpredelnice za izvedbo analize tveganja z metodo "Kaj če"*

POROČILO

S pomočjo metode "*Kaj če*" identificirajte nevarnosti pri uporabi in delovanju izbranega orodja. Smiselno izpolnite tabelo z vsaj 10 "*kaj če*" vprašanji in odgovori ter kvalitativno ocenjenimi pogostostmi in resnostmi posledic. Zasnujte tudi priporočila in ukrepe za varno delo z orodjem, s katerimi bi preprečili ali ublažili tveganje, povezano s prepoznano nevarnostjo.

5. vaja: FME(C)A

UVOD

Analiza vrst okvar in njihovih učinkov (angl. *failure modes and effects analysis*; FMEA) je sistematična metoda, s katero skušamo s pomočjo opazovanja delovanja elementa ali poteka procesa prepoznati, na kakšen način bi lahko opazovani sistem odpovedal in kako bi učinki okvar vplivali na njegovo delovanje ter okolico. Z izvedbo podrobne FMEA analize (slika 5.1) lažje poiščemo in podkrepimo odločitve ter ukrepe za zmanjšanje pogostosti pojavljanja okvar in njihovih učinkov ter neposredno prispevamo k izboljšanju rezultatov obravnavanega sistema (npr. zanesljivost, učinkovitost, vpliv na okolje, nabavni stroški, poslovni ugled). Metodo je mogoče prilagoditi potrebam različnih industrij in organizacij, uporablja se lahko za spremljanje delovanja strojne opreme, programske opreme, procesov itd. V zgodnjih fazah oblikovanja in načrtovanja lahko izvedemo predhodno analizo, ki ji, ko je na voljo več informacij, lahko v življenjski dobi obravnavanega sistema (npr. predmet, postopek) sledi podrobnejša analiza.

Vrste okvar so lahko razvrščene prednostno glede na njihovo pomembnost. Ko so vrste odpovedi sistema obravnavane tudi kvantitativno, se metoda imenuje analiza vrst okvar, njihovih učinkov in kritičnosti (angl. *failure modes, effects and criticality analysis*; FMECA). Prednostna razvrstitev lahko temelji na uporabi matrike tveganja ali drugih merilih, med katerimi je najpogostejši indeks pomembnosti okvare (angl. *risk priority number*; RPN), ki vključuje določitev pogostosti pojavljanja okvare, verjetnosti njenega odkritja in stopnje resnosti njenih posledic.

Cilji in obseg FMEA:			
Oznaka sistema:		ID številka:	
Skupina FMEA:		Datum izdelave:	
Vodja skupine:		Datum pregleda:	
Pregledal:		Stran:	

Predmet, ID / Proces	Funkcija	Okvara	Možne posledice	Mehanizem okvare	Vzrok okvare	Obstoječi ukrepi	Načrtovan dodatni ukrep	Izveden dodatni ukrep (datum)	Opombe

Slika 5.1: *Primer razpredelnice za izvedbo metode FMEA*

POROČILO

S pomočjo metode FMECA identificirajte možne napake in posledice pri delovanju izbranega predmeta iz peresnice (npr. svinčnika, kemičnega svinčnika, šestila). Smiselno izpolnite tabelo z okvarami, vzroki okvar, posledicami, obstoječimi ukrepi ter načrtovanimi dodatnimi ukrepi. Določite pogostosti pojavljanja okvare, verjetnost njenega odkritja in stopnjo resnosti posledic. Izpostavite, katere vrste okvar bi glede na opravljeno FMECA analizo potrebovale prednostno obravnavo.

6. vaja: HAZOP

UVOD

Analiza obratovanja in nevarnosti (angl. *hazard and operability study*; HAZOP) je strukturirana in sistematična tehnika za preučevanje definiranega sistema, s katero skušamo prepoznati tveganja, povezana z delovanjem in vzdrževanjem sistema, ter odkriti vzroke za motnje delovanja in morebitna proizvodna odstopanja (slika 6.1). Pomembna prednost študije HAZOP je, da lahko znanje, pridobljeno s sistematičnim pristopom k identifikaciji tveganj in težav pri delovanju, enostavno uporabimo za določitev ustreznih varnostnih in sanacijskih ukrepov.

Značilnost študije HAZOP je pristop z nenehnim preizpraševanjem, pri katerem multidisciplinarna ekipa sistematično pregleda vse pomembne dele zasnove ali sistema. S spodbujanjem domišljije udeležencev skuša prepoznati odstopanja od načrtovanega delovanja sistema z uporabo niza vodilnih besed. Metoda HAZOP je učinkovit način za izboljšanje načrtovanja sistemov z uporabo na izkušnjah temelječih pristopov.

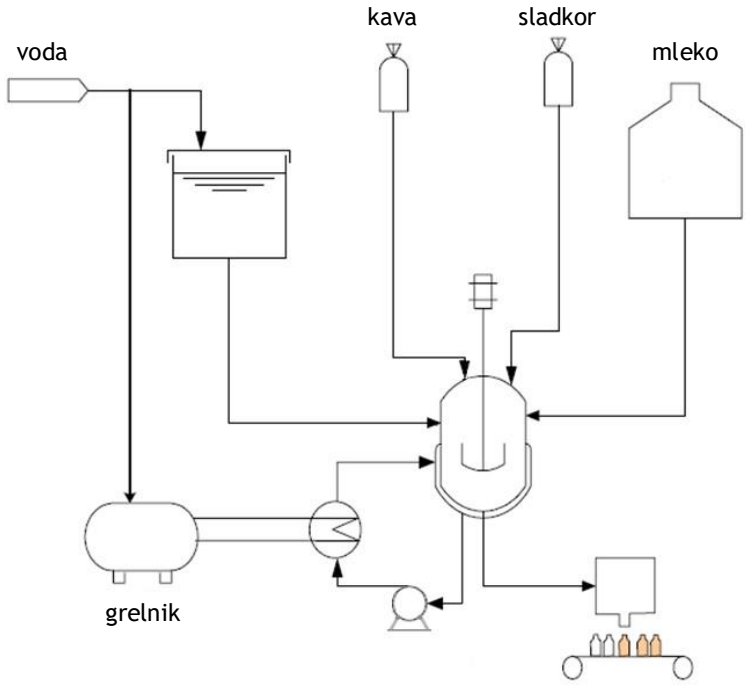
Naslov analize HAZOP:			
Oznaka risbe:		Stran:	
Skupina HAZOP:		Datum izdelave:	
Obravnavani del:		Datum pregleda:	
Namen:			

#	Parameter	Vodilna beseda	Odstopanje	Vzrok	Posledice	Obstoječi ukrepi	Načrtovan dodatni ukrep	Izveden dodatni ukrep (datum)	Opombe

Slika 6.1: *Primer razpredelnice za izvedbo metode HAZOP*

POROČILO

S pomočjo metode HAZOP analizirajte obratovanje kavnega avtomata (slika 6.2) in identificirajte možne nevarnosti pri pripravi kave z mlekom v kavni lonček. V uvodu opišite značilnosti procesa. Smiselno izpolnite tabelo z odstopanji (kombinacijami vodilnih besed in procesnih parametrov), vzroki, posledicami, obstoječimi ter predlaganimi dodatnimi ukrepi.



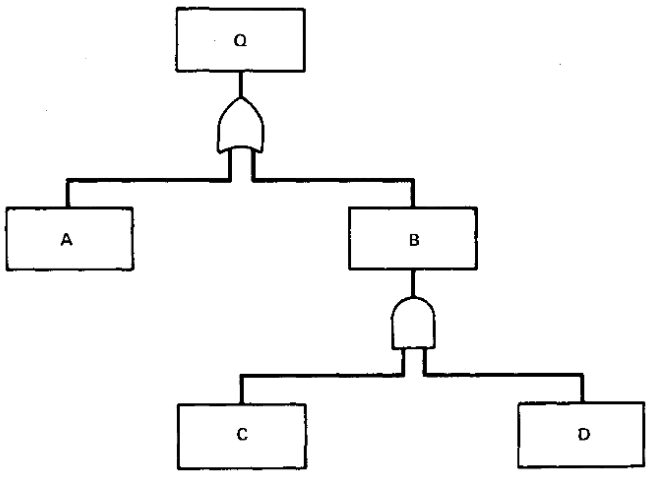
Slika 6.2: *Poenostavljen delovni proces kavnega avtomata*

7. vaja: DREVO ODPOVEDI

UVOD

Analiza drevesa odpovedi ali okvar (angl. *fault tree analysis*; FTA) velja za eno najpreprostejših, najučinkovitejših in najperspektivnejših orodij za analizo zanesljivosti različnih, tudi zapletenih sistemov. Pri metodi FTA ustvarimo logično povezavo med nezgodnim (glavnim) dogodkom, ki se lahko zgodi v obravnavanem sistemu, in vzroki za njegov pojav v obliki drevesa (slika 7.1). Za prikaz se najpogosteje uporabljajo vrata IN (angl. *AND*) ter vrata ALI (angl. *OR*). Bistvena razlika med njima je, da se morajo za pojav glavnega dogodka pri vratih IN zgoditi vsi osnovni dogodki hkrati, medtem ko pri vratih ALI zadostuje, da se zgodi vsaj eden od osnovnih dogodkov.

Študija FTA, ki jo je mogoče izvesti s kvalitativnim ali kvantitativnim pristopom, zagotavlja zanesljivo osnovo za prepoznavanje in določitev varnostnih ukrepov, ki lahko služijo za napovedovanje, vrednotenje, nadzor in preprečevanje nezgodnih (glavnih) dogodkov. Predstavlja celovito in praktično tehnološko metodo analize tveganja, ki se široko uporablja pri obravnavi transportnih sistemov, elektrarn ali drugih sistemov, ki zahtevajo oceno varnosti lastnega delovanja.



Slika 7.1: *Primer enostavnega drevesa odpovedi*

PRIMERI

1. Izdelajte drevo odpovedi za primer požara v industrijskem objektu, kjer lahko zagorijo trdne (4 %), tekoče (8 %) ali plinaste (12 %) gorljive snovi. Vir vžiga je lahko iskra (7 %), plamen (12 %) ali nepravilna uporaba orodja (13 %). Kot oksidant vedno nastopa zračni kisik. Kakšna je verjetnost pojava požara v industrijskem objektu?

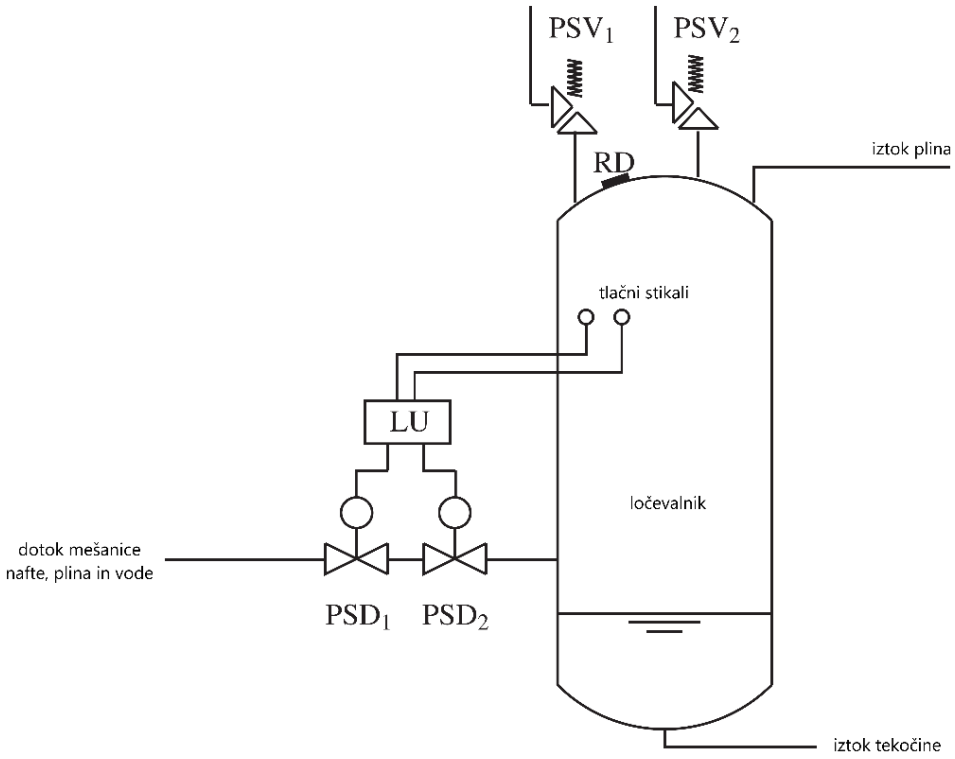
2. Na naftni ploščadi mešanico nafte, plina in vode, ki prihaja iz različnih vrtin, vodijo v ustrezne ločevalnike. Plin ločijo od tekoče faze ter ga s kompresorji usmerijo v plinovod, nafto pretočijo na tankerje, vodo pa očistijo in ponovno uporabijo v procesu. Varnostni sistemi za nadzor plinaste faze v ločevalnikih imajo tri zaščitne nivoje (slika 7.2)

   (i) na vstopnem cevovodu sta zaporedno nameščena dva ventila za zaustavitev dotoka mešanice, PSD1 in PSD2, ki sta med običajnim delovanjem odprta. V ločevalniku sta nameščeni dve tlačni stikali, PS1 in PS2. Če tlak v separatorju naraste nad dovoljeno (nastavljeno) vrednost, morata tlačni stikali poslati signal logični enoti LU, nato sledi zaprtje ventilov PSD;

   (ii) za razbremenitev nadtlaka v ločevalniku sta nameščena dva tlačna varnostna ventila, PSV1 in PSV2, ki se sprožita ob prekoračitvi vnaprej nastavljene dovoljene ravni tlaka;

   (iii) kot zadnja varnostna pregrada je na vrhu ločevalnika nameščena razpočna membrana RD. Če bi drugi varnostni sistemi zatajili, bi se razpočna membrana aktivirala in preprečila razpok ali eksplozijo ločevalnika.

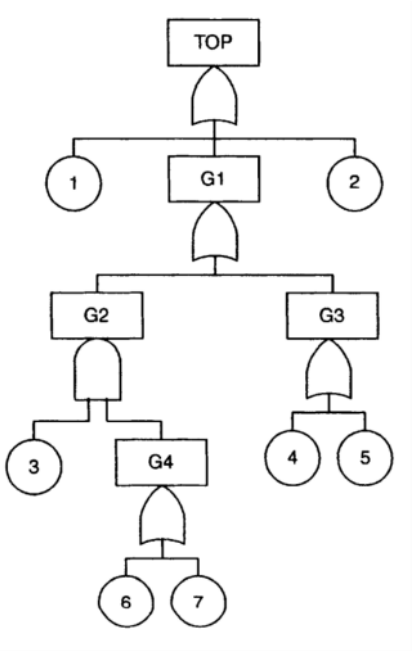
   Če bi se nenadoma zamašil odvod plina, bi tlak v ločevalniku hitro narasel in, če varnostni sistem za nadzor plinaste faze ne bi deloval pravilno, kmalu dosegel kritični nadtlak.



Slika 7.2: *Shema ločevalnika*

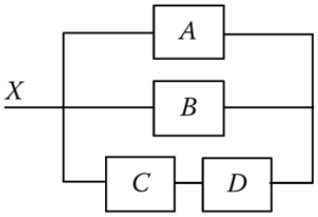
Izdelajte drevo odpovedi za primer pojava kritičnega nadtlaka v separatorju, ko bi moralo priti do prekinitve dotoka mešanice nafte, plina in vode v ločevalnik.

3. Drevo odpovedi na sliki 7.3 pretvorite v blokovni diagram zanesljivosti.



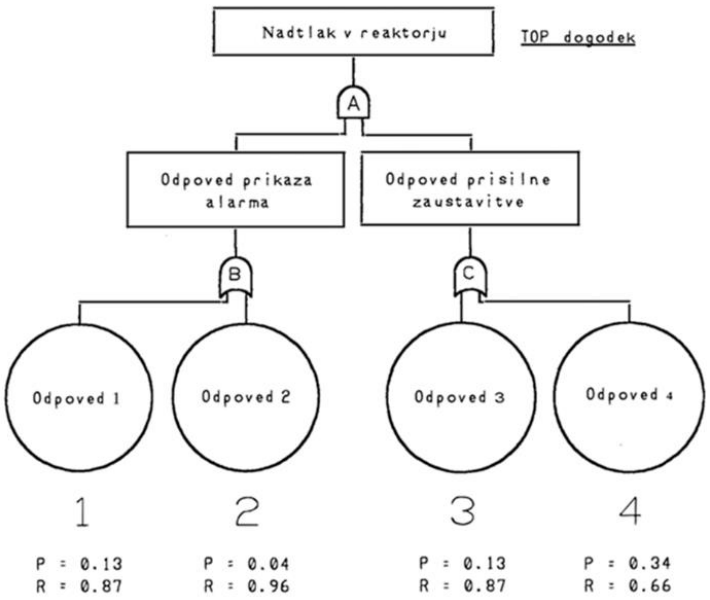
Slika 7.3: *Primer drevesa odpovedi*

4. Blokovni diagram zanesljivosti na sliki 7.4 pretvorite v drevo odpovedi.



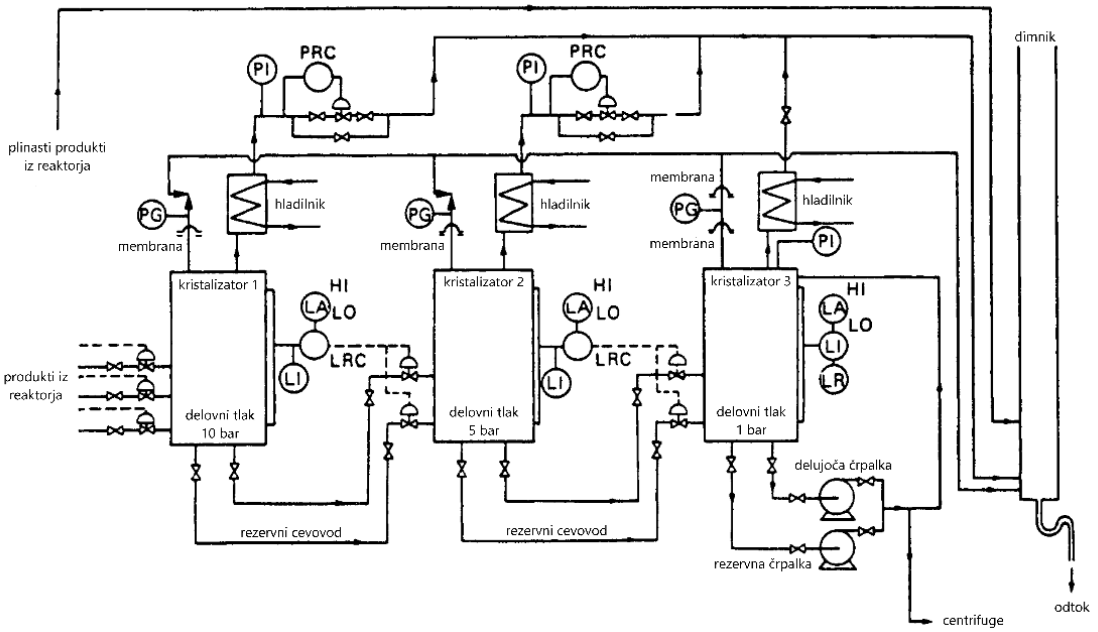
Slika 7.4: *Blokovni diagram zanesljivosti*

5. Za drevo odpovedi na sliki 7.5 izračunajte verjetnost nadtlaka v reaktorju (TOP dogodek) in s tem nezanesljivost delovanja sistema. Določite minimalne preseke množic.

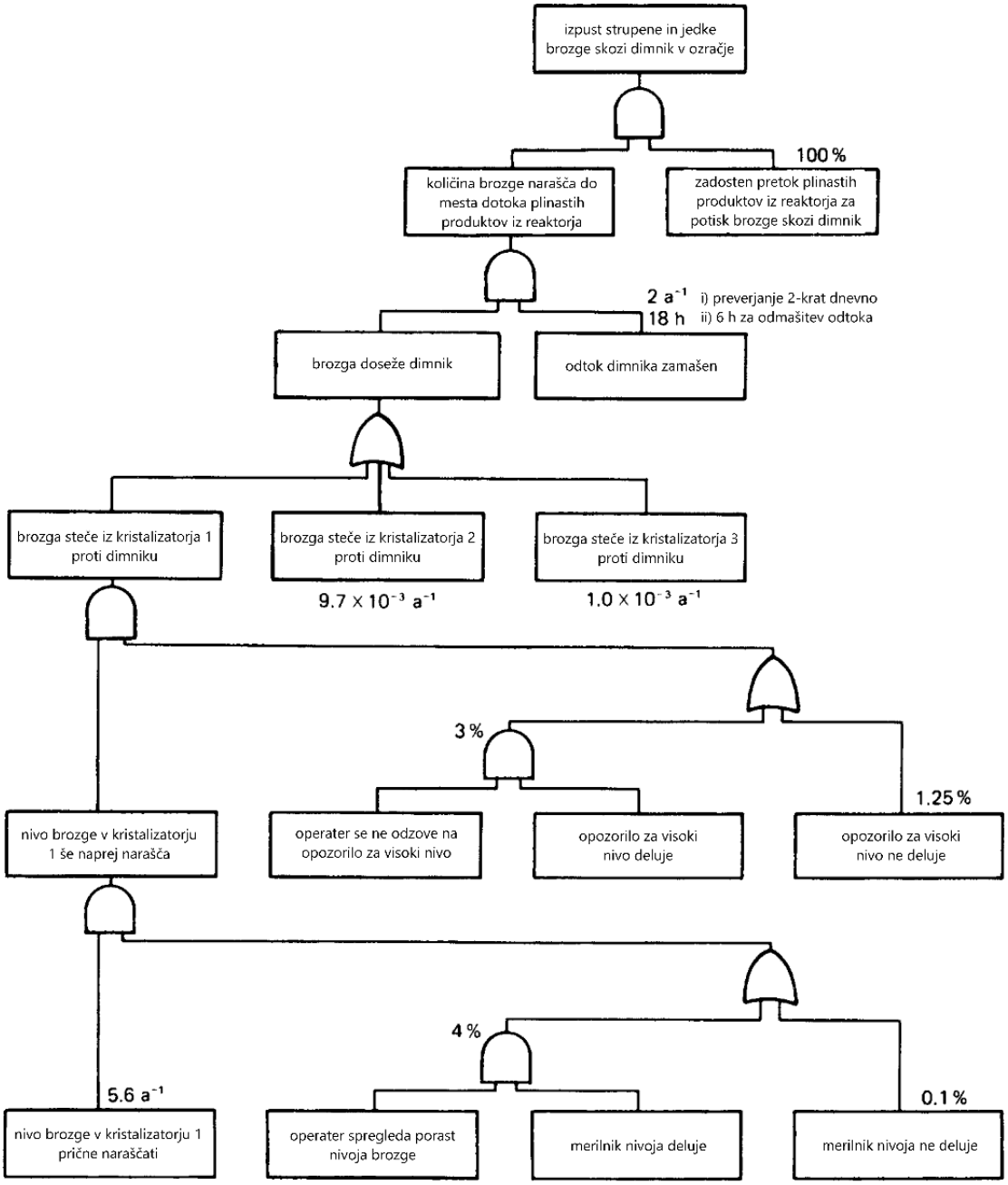


Slika 7.5: *Drevo odpovedi za glavni (TOP) dogodek 'Nadtlak v reaktorju'*

6. Za drevo odpovedi sistema za kristalizacijo (sliki 7.6 in 7.7) izračunajte letno pogostost izpusta strupene in jedke brozge skozi dimnik v ozračje. Koliko časa bi minilo med dvema zaporednima izpustoma?

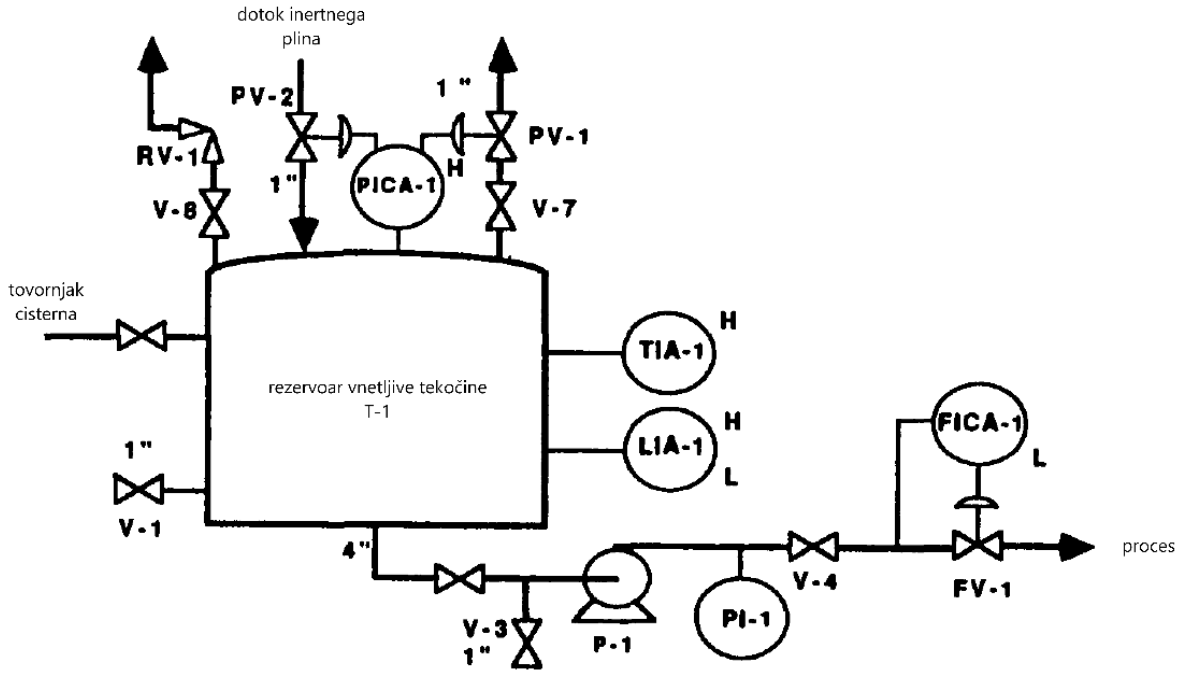


Slika 7.6: *Shema sistema za kristalizacijo*

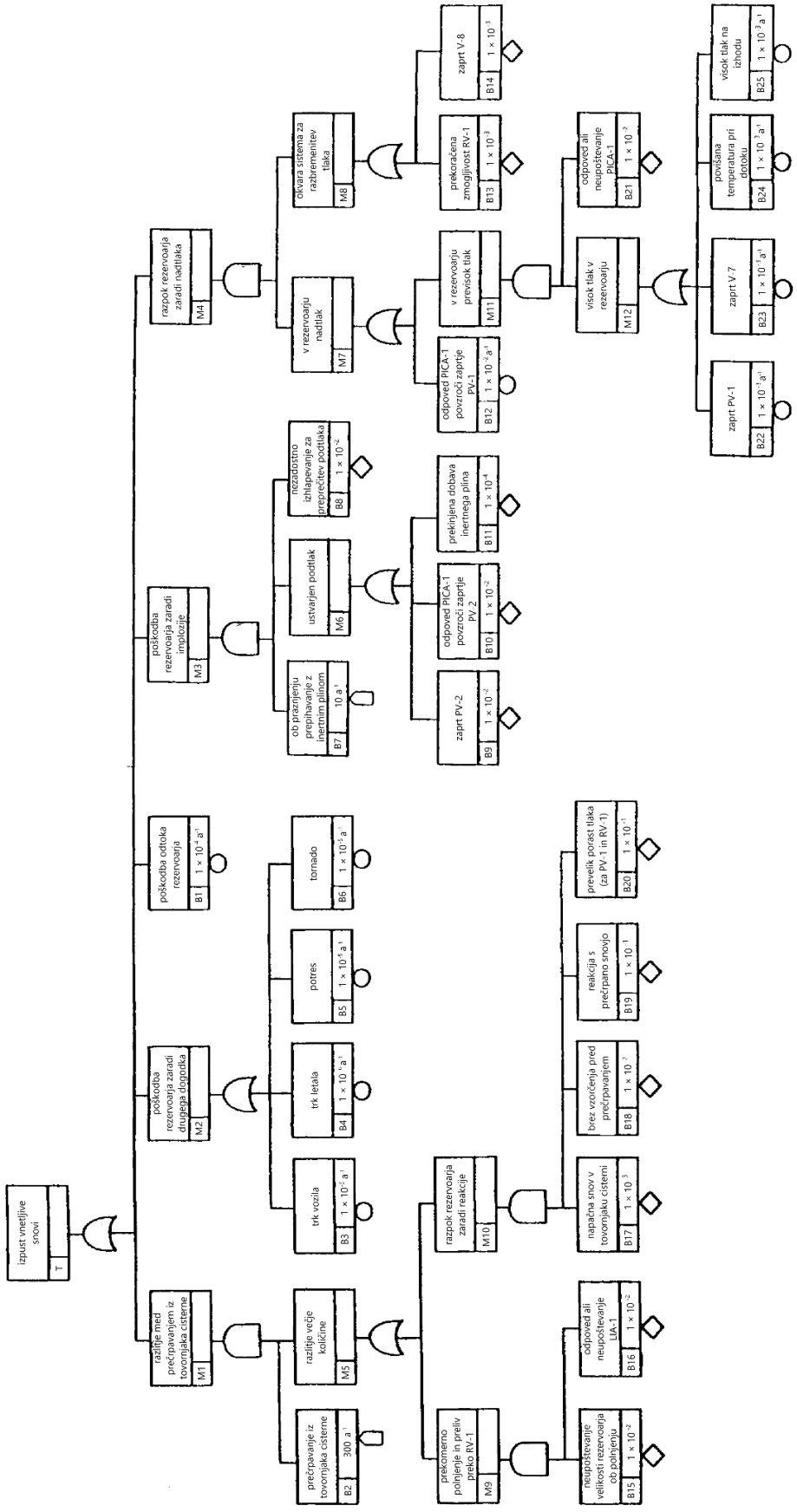


Slika 7.7: *Drevo odpovedi sistema za kristalizacijo*

7. Za drevo odpovedi rezervoarja vnetljive tekočine (sliki 7.8 in 7.9) izračunajte letno pogostost izpusta vnetljive snovi. Koliko časa bi minilo med dvema zaporednima izpustoma? Katera najpreprostejša kombinacija osnovnih dogodkov, ki bi vodila do nezgodnega dogodka, je najverjetnejša?

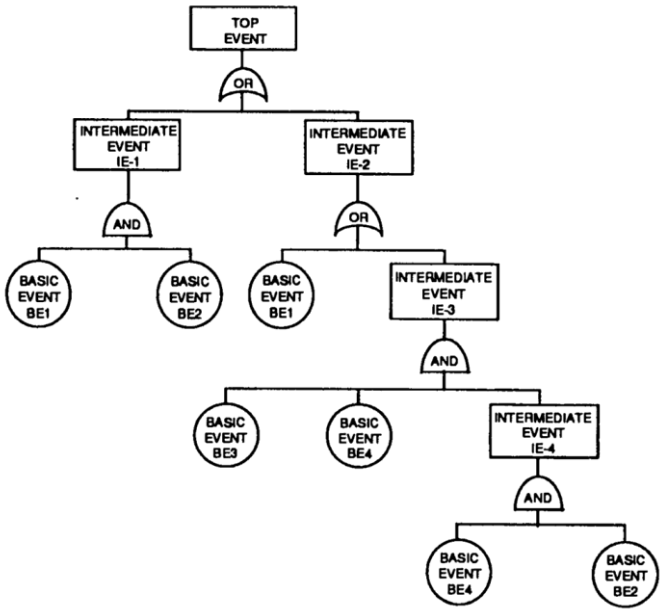


Slika 7.8: *Shema rezervoarja vnetljive tekočine*



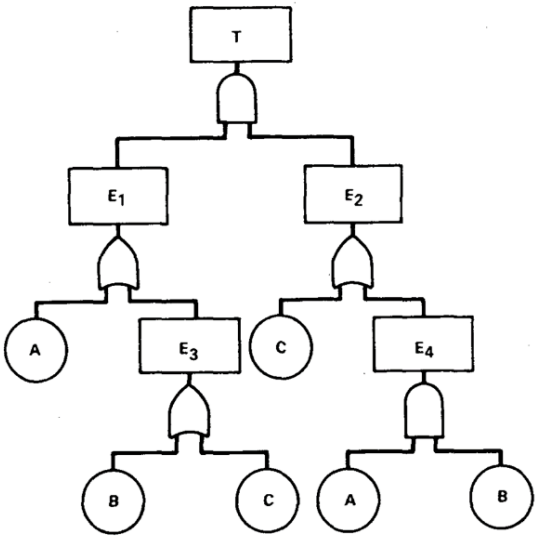
Slika 7.9: *Drevo odpovedi rezervoarja vnetljive tekočine*

8. Poenostavite drevo odpovedi z uporabo osnov Boolove algebre in določite najbolj enostavne kombinacije osnovnih dogodkov, ki bi vodile do TOP dogodka.



Slika 7.10: *Primer drevesa odpovedi*

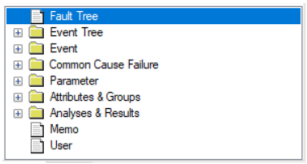
9. Poenostavite drevo odpovedi z uporabo osnov Boolove algebre in določite najpreprostejše kombinacije osnovnih dogodkov, ki vodijo do TOP dogodka.



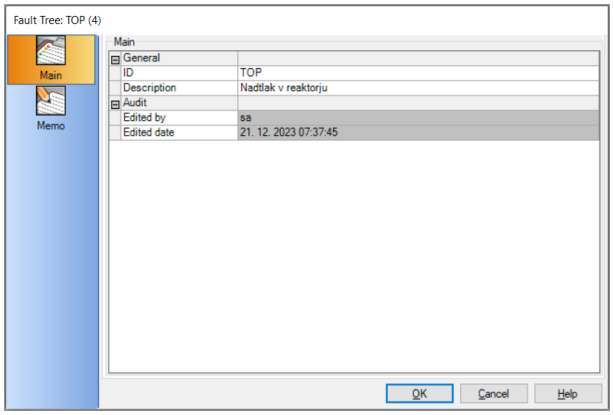
Slika 7.11: *Primer drevesa odpovedi*

UPORABA PROGRAMA RISKSPECTRUM (na primeru 5)

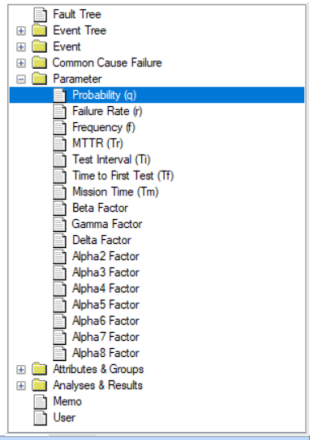
Po zagonu programa s klikom na ikono in izbiro možnosti **New projects** vpišite uporabniško ime (*sa*) in geslo (*sa*) ter ustrezno poimenujte delovno datoteko. Na delovni površini ustvarite zametek novega drevesa odpovedi z dvoklikom levega miškinega gumba na možnost **Fault Tree**.

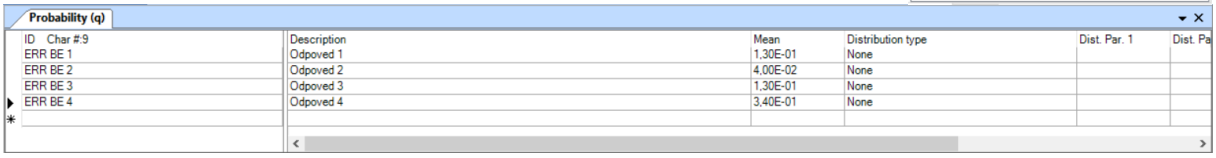


Odpre se pojavno okno, v katerem poimenujete drevo odpovedi ter navedete njegov opis in značilnosti. Izbiro in vneseno vsebino potrdite s pritiskom na ukaz **OK**.

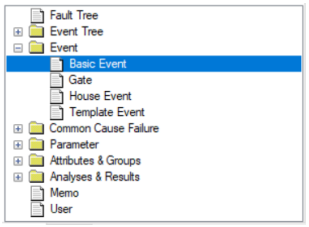


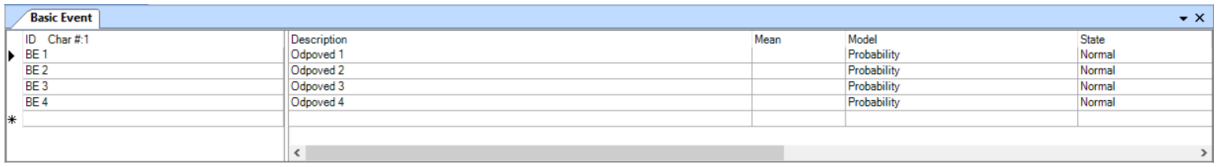
Nato določite odpovedne parametre in verjetnosti njihovega pojava. Po dvokliku na možnost **Probability (q)** v spustnem seznamu **Parameter** se odpre zavihek, kjer določite značilnosti posameznih odpovedi, ki jih boste kasneje povezali s posameznimi osnovnimi dogodki. S klikom na določeno polje v izbrani vrstici lahko vnesete ime, opis posamezne odpovedi in verjetnost njenega pojava.



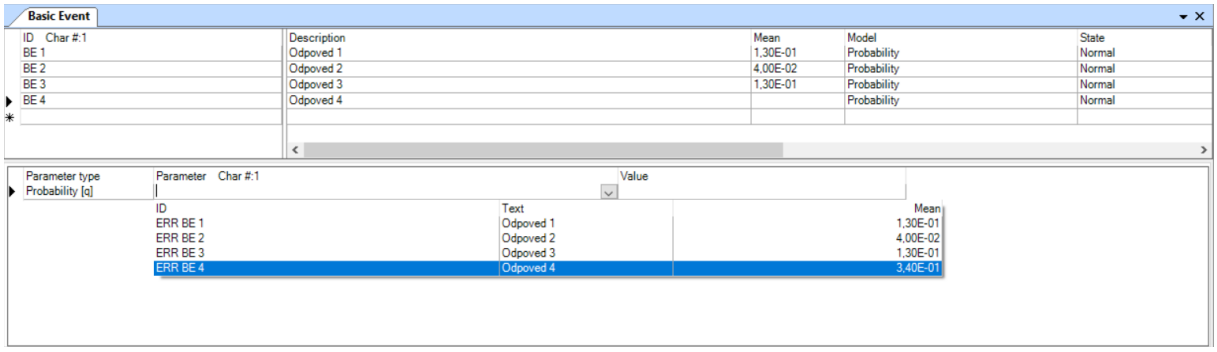


Po dvokliku na možnost **Basic Event** s spustnega seznama **Event** se odpre zavihek, v katerem določite značilnosti posameznih osnovnih dogodkov z dna drevesa odpovedi, ki ne omogočajo ali ne potrebujejo nadaljnjega razvoja. Dvoklik na polje za izpolnjevanje odpre novo pojavno okno, v katerega lahko vnesete ime in opis posameznega osnovnega dogodka. Enako lahko storite tudi s klikom na določeno polje v izbrani vrstici.

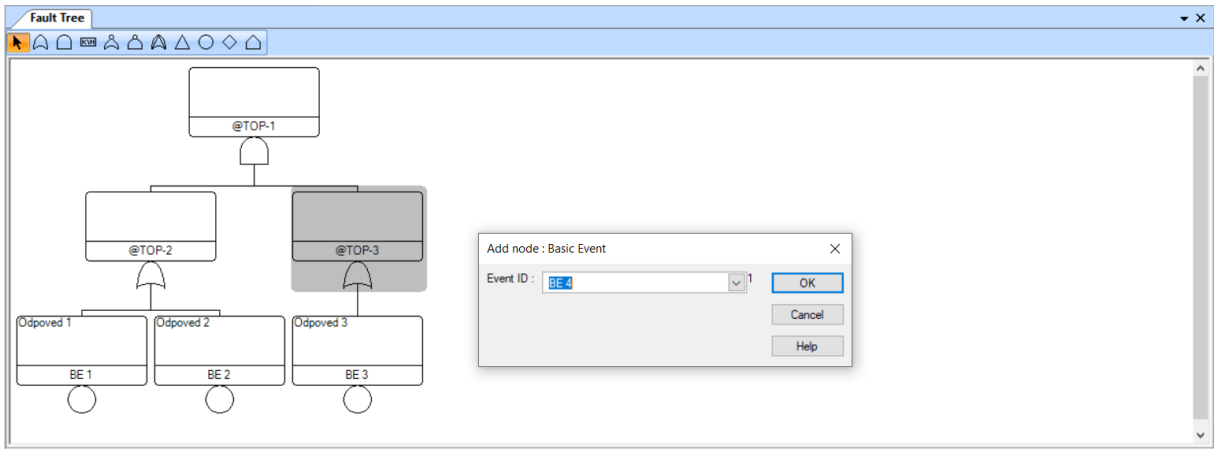




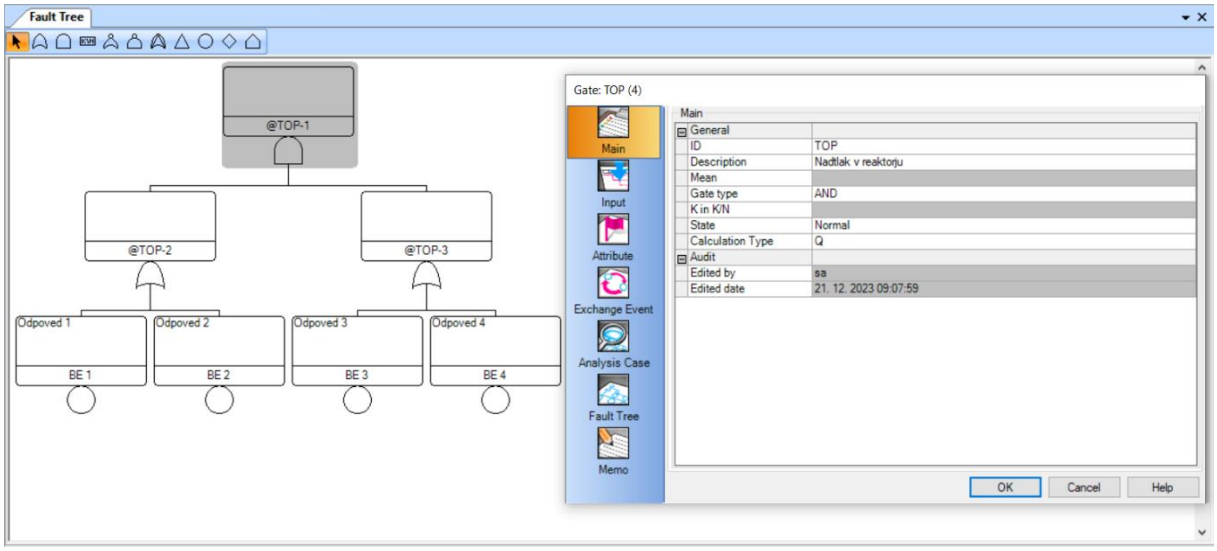
Za izračun verjetnosti vmesnih in glavnega (neželenega) dogodka morate osnovne dogodke povezati z odpovednimi parametri.



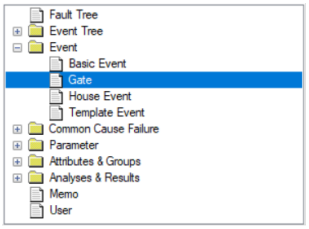
Dvoklik levega miškinega gumba na možnost **Fault Tree** omogoča nadaljnjo izdelavo drevesa odpovedi. S pritiskom desnega miškinega gumba na delovno površino ali določen lik lahko s spustnega seznama z izbiro možnosti **Add input node** dodate izbrani vmesni ali osnovni dogodek ter logična vrata, ki določijo logično sosledje med naslednjimi dogodki. Med levo in sredinsko poravnavo preklapljate s pritiskom na ikono .



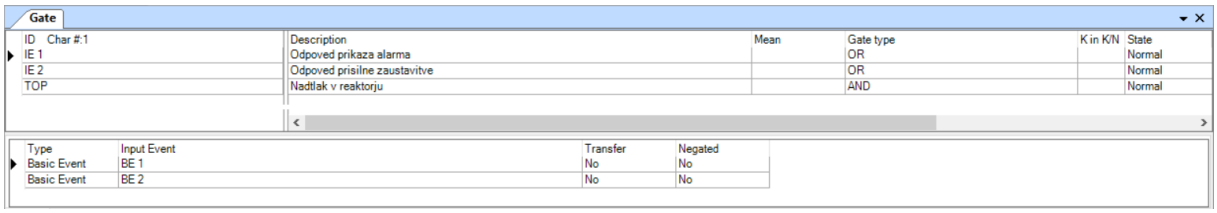
Dvoklik na določen lik odpre novo pojavno okno, v katero lahko vnesete ime in opis izbranega glavnega, vmesnega ali osnovnega dogodka.



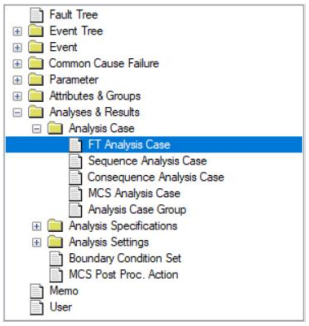
Po dvokliku na možnost **Gate** s spustnega seznama **Event** se odpre zavihek, v katerem določite značilnosti posameznih logičnih vrat, temeljnih gradnikov drevesa odpovedi, ki bodo osnova za končno izvedbo kvalitativne ali kvantitativne analize.

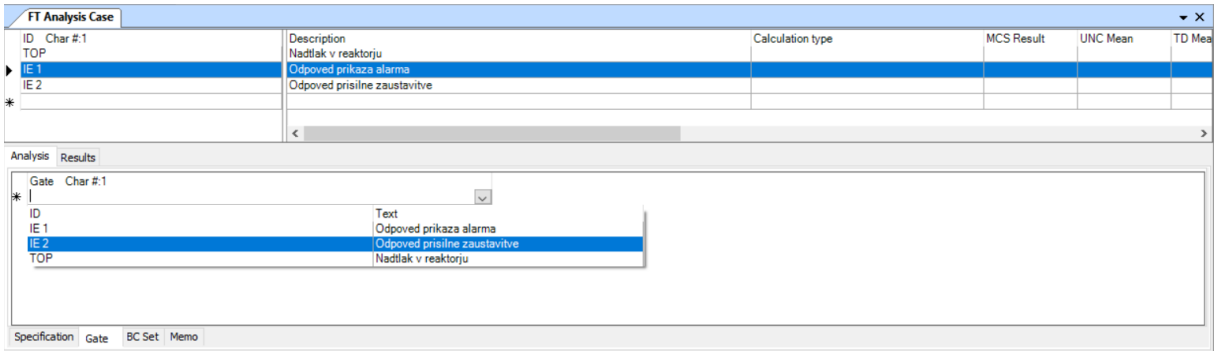


Če ste glavnega, vmesne in osnovne dogodke že poimenovali in opisali pri izdelavi drevesa odpovedi v enem izmed prejšnjih korakov, lahko v tem primeru v odprtem zavihku le preverite ustreznost podatkov.

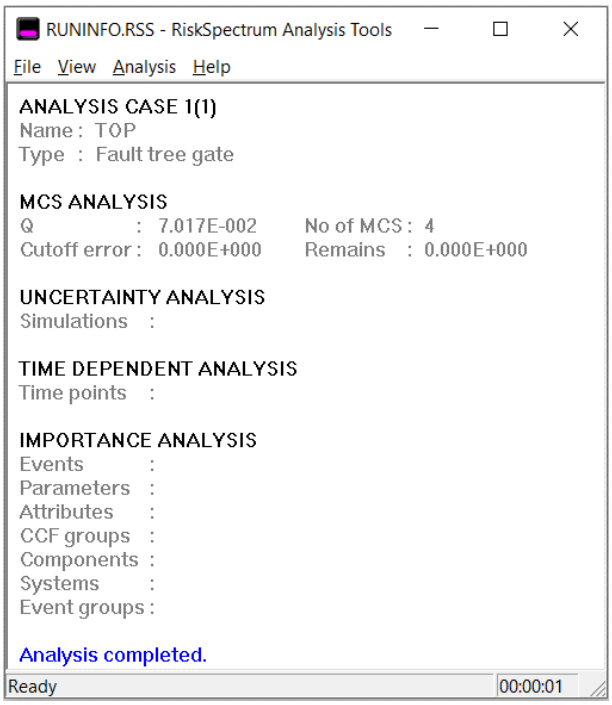


Po dvokliku na možnost **FT Analysis Case** s spustnega seznama **Analysis & Results** se odpre zavihek, v katerem izvedete kvalitativno in kvantitativno analizo ustvarjenega drevesa odpovedi. Najprej izpolnite polja s podatki o izbranih poteh odpovedi, nato jih povežite z vrati, ki logično povezujejo posamezne osnovne in vmesne dogodke na poti do izbranega ali glavnega dogodka.

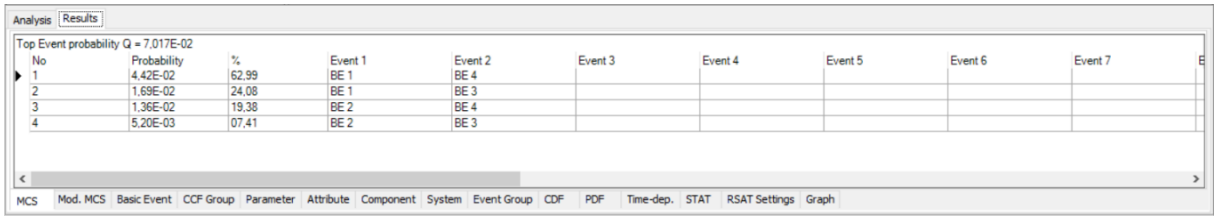




Za zagon analize izberite pot odpovedi in pritisnite funkcijsko tipko F11. V novem pojavnem oknu se prikaže rezultat analize.



Razberete lahko, da je za primer 5 verjetnost TOP dogodka, tj. nadtlaka v reaktorju, 0,0702 oziroma približno 7-odstotna. Minimalni preseki množic so štirje, njihove podrobnosti pa lahko najdete pod zavihkom **Results**.



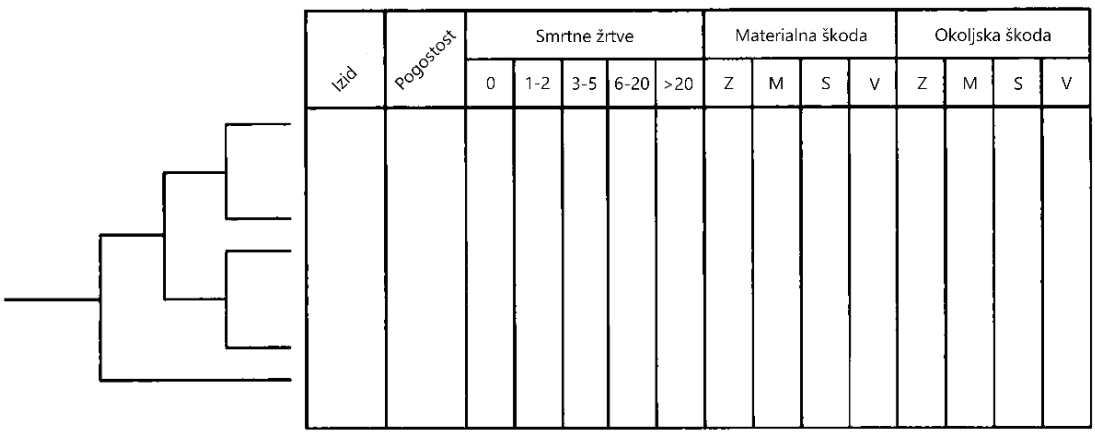
$$TOP = BE1 \cdot BE4 + BE1 \cdot BE3 + BE2 \cdot BE4 + BE2 \cdot BE3$$

8. vaja: DREVO DOGODKOV

UVOD

Analiza drevesa dogodkov (angl. *event tree analysis*; ETA), ki omogoča tako kvalitativno kot kvantitativno obravnavo številnih sistemov na različnih področjih, velja za eno najbolj priljubljenih orodij za študij scenarijev razvoja in izidov nezgodnih dogodkov. Pri metodi ETA, za katero je značilen tudi grafični logični model (slika 8.1), sistematično sledimo kronološkemu razvoju dogodkov, ki izvirajo iz začetnega sistemskega odstopanja, omogočajo in definirajo pa jih različne ovire ter varnostne funkcije, značilne za obravnavani sistem. Študija ETA pred nezgodnim dogodkom lahko služi za raziskovanje večstopenjskih varnostnih sistemov, namenjenih preprečevanju razvoja začetnega dogodka v nezgodo, in za vrednotenje učinkovitosti zaščite, po nezgodnem dogodku pa se lahko metodo ETA uporabi za identifikacijo in kvantitativno presojo verjetnosti različnih izidov, do katerih bi lahko prišlo. Posledice so lahko neposredne (npr. požar, eksplozija) ali posredne (npr. domino efekt, ki se odrazi na sosednjih objektih).

Drevesa dogodkov je pri obravnavi določene tematike mogoče elegantno povezati z drevesom odpovedi ter ju združiti v celovito kvantitativno analizo vzrokov, posledic in izidov, povezanih z določenim nezgodnim dogodkom.

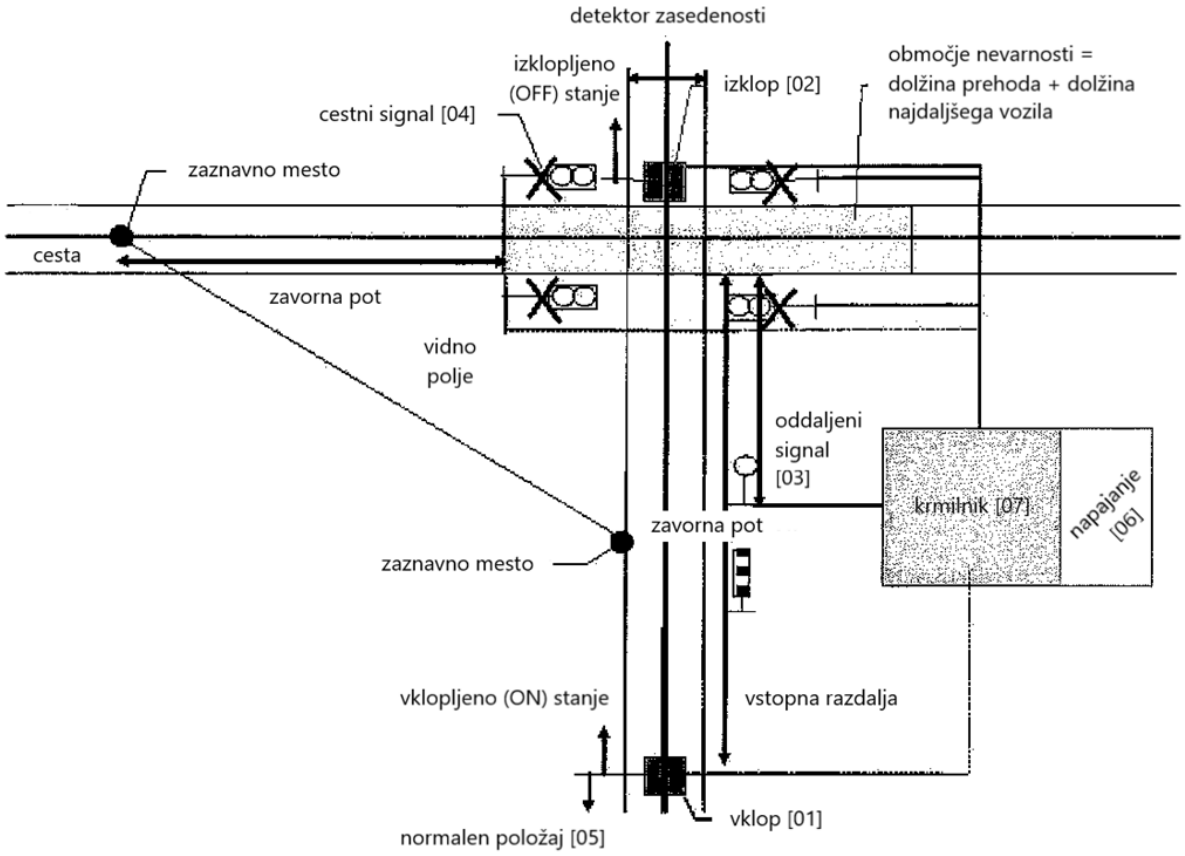


Slika 8.1: *Predstavitev rezultatov analize drevesa dogodkov*

PRIMERI

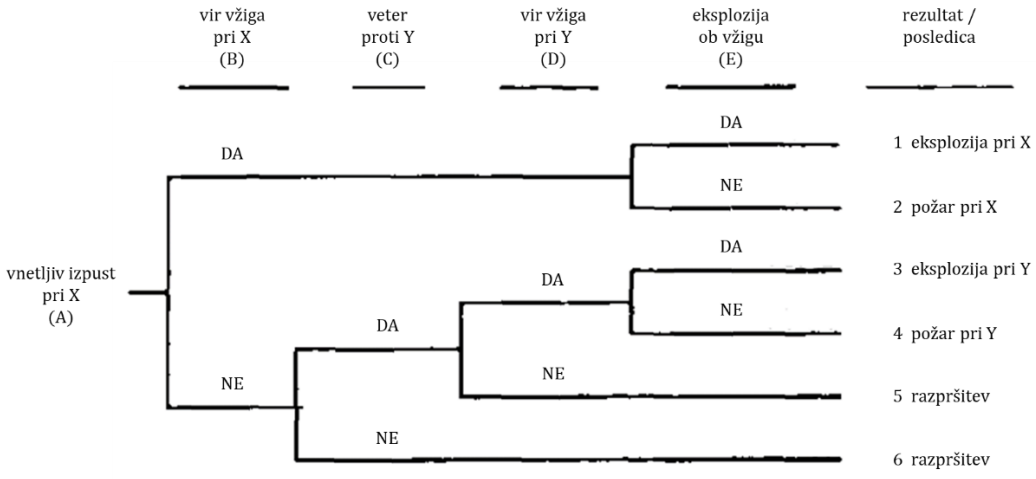
1. Izdelajte drevo dogodkov za primer prečkanja železniških tirov z avtomobilom preko avtomatskega železniškega prehoda.

Korak	Dejanje	Opis dejanja
01	vklop sistema	sproži aktivacijo sistema, ko se vlak približuje (z zaznavanjem koles prek števca osi)
02	izklop sistema	sistem se dezaktivira, ko vlak zapusti križišče (z zaznavanjem koles prek števca osi)
03	spremljanje delovanja sistema	prikaže stanje sistema strojevodji z oddaljenim signalom za spremljanje delovanja sistema
04	cestna signalizacija	prikaže stanje sistema udeležencem cestnega prometa
05	normalno delovanje	sistem vrne v normalni položaj (brez zaščite), če je bil predhodno vklopljen in se v določenem času ni izklopil (npr. zaradi okvare detektorja, ki še naprej signalizira bližajoči se vlak, tudi ko je ta že mimo ali ko se je vlak ustavil pred prehodom)
06	napajanje	sestavljeno je iz običajnega napajalnega sistema ali baterije, ki omogoča delovanje sistema za omejeno obdobje (npr. 2 uri)
07	krmiljenje	upravlja in krmili sistem



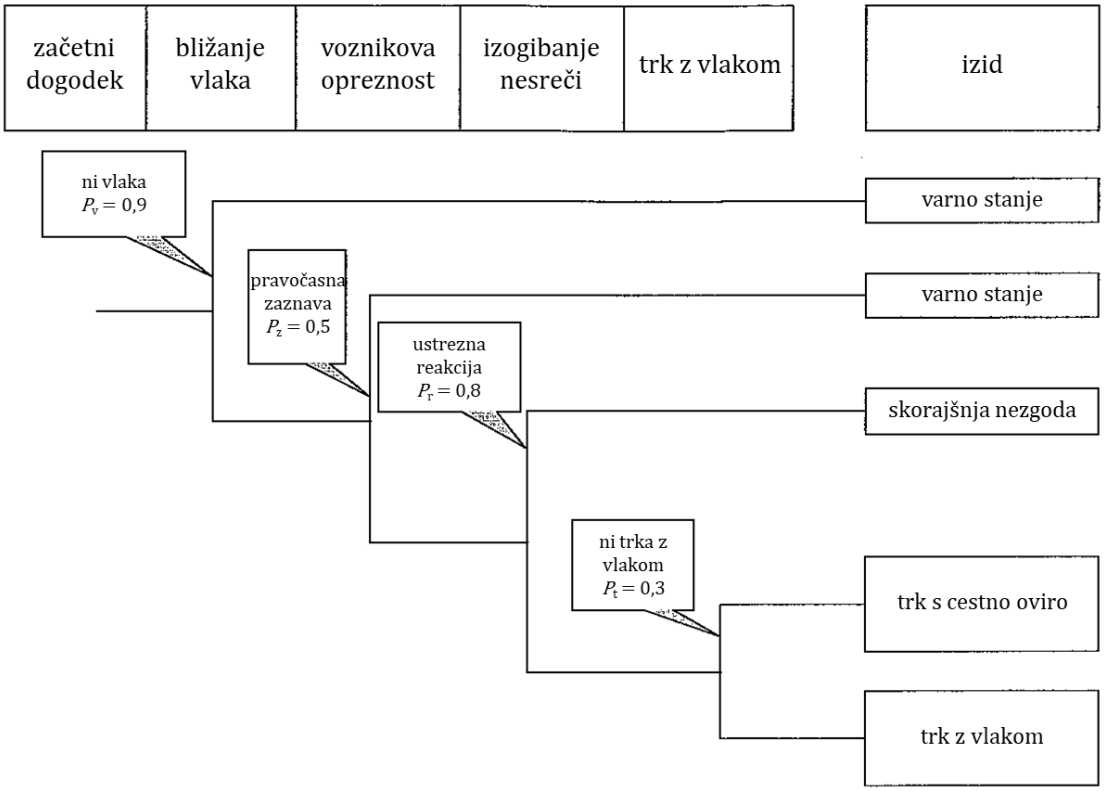
Slika 8.2: *Prikaz prečkanja železniških tirov preko avtomatskega železniškega prehoda*

2. Kvalitativno drevo dogodkov za izpust vnetljive snovi dopolnite s pogostostjo za vsak končni izid.



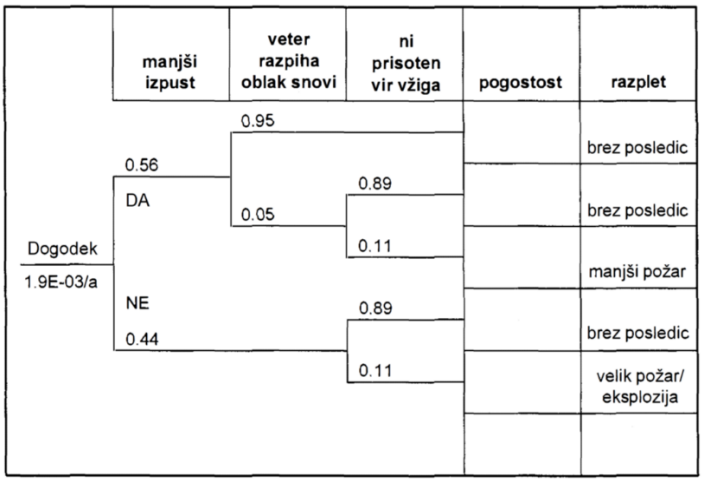
Slika 8.3: *Drevo dogodkov za izpust vnetljive snovi*

3. Izračunajte verjetnosti za vsak končni izid, prikazan v drevesu dogodkov za primer, ko motorist prečka železniške tire preko prehoda, označenega samo z Andrejevim križem.



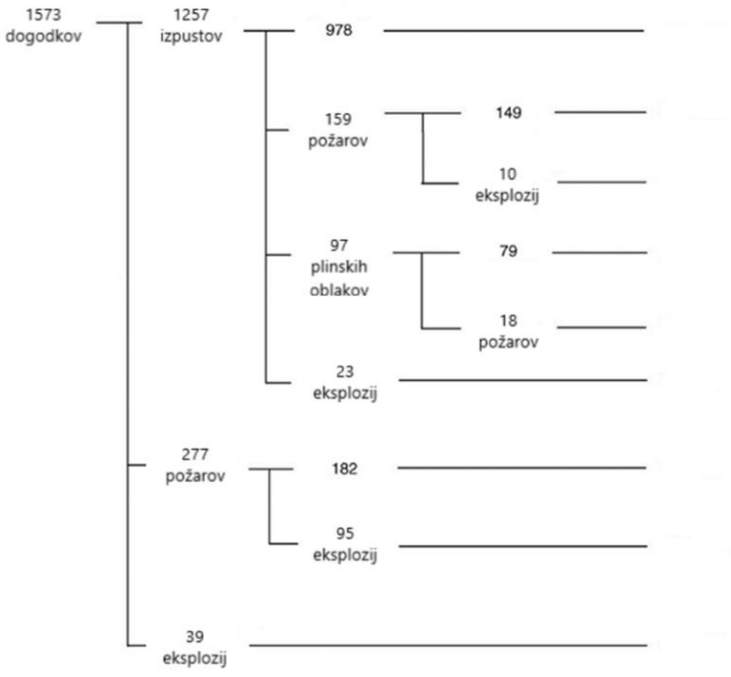
Slika 8.4: *Drevo dogodkov za motoristovo prečkanje železniških tirov*

4. Izračunajte pogostost za vsak končni izid, predstavljen v drevesu dogodkov za izpust vnetljive snovi.



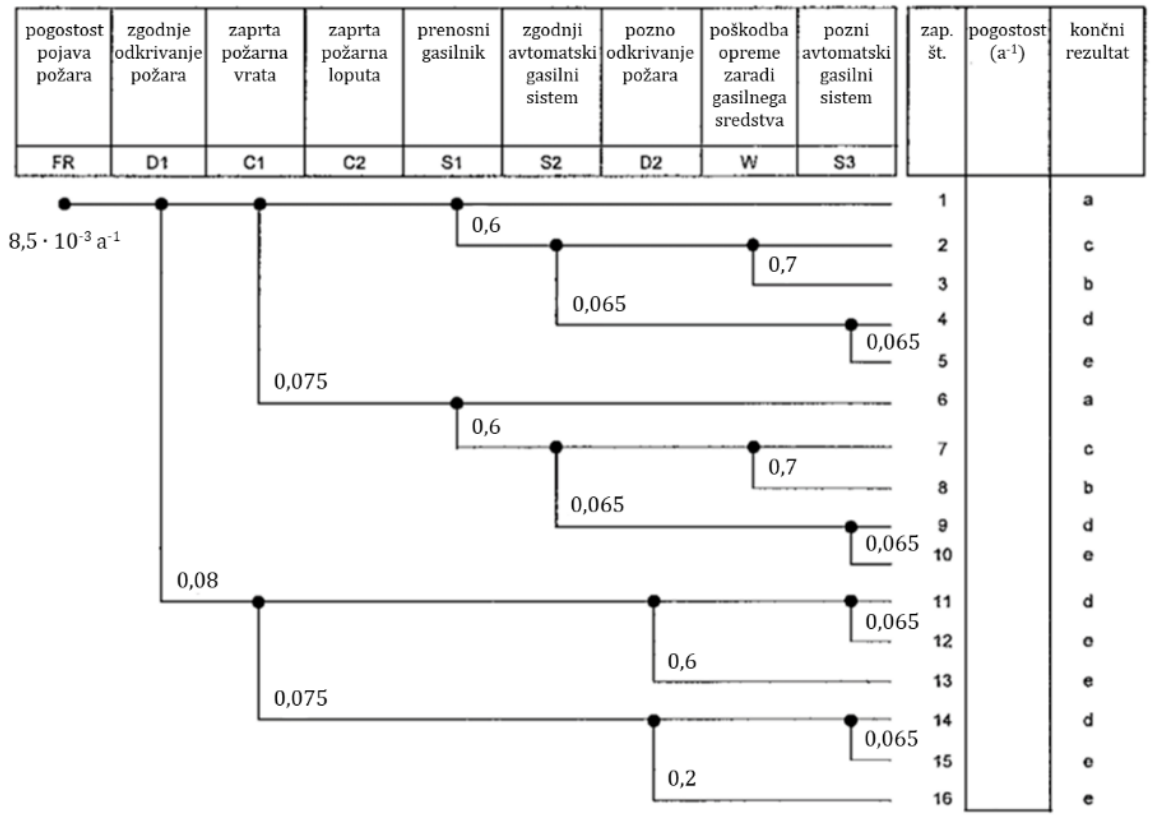
Slika 8.5: *Kvantitativno drevo dogodkov za izpust vnetljive snovi*

5. S pomočjo podatkov iz letne statistike nezgodnih dogodkov, pri katerih so posredovali gasilci, dopolnite drevo dogodkov z verjetnostmi in pogostostmi za vsak končni izid.



Slika 8.6: *Statistika posredovanj gasilcev*

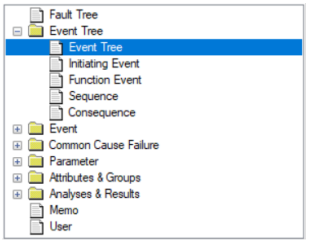
6. Drevo dogodkov ob požaru dizelskega agregata dopolnite s pogostostmi za vsak končni izid in poskusite prepoznati posamezne izide a–e obravnavanega razvoja dogodkov.



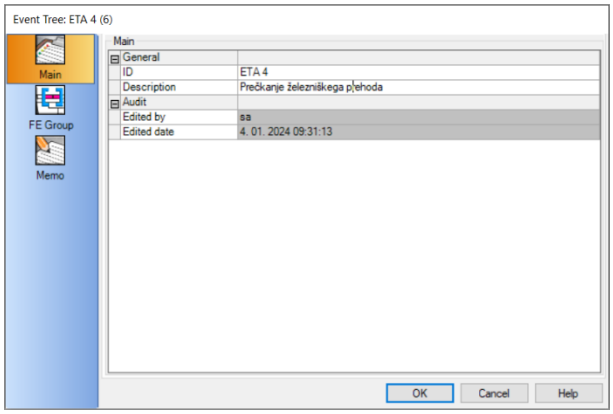
Slika 8.7: *Drevo dogodkov za požar dizelskega agregata*

UPORABA PROGRAMA RISKSPECTRUM (na primeru 3)

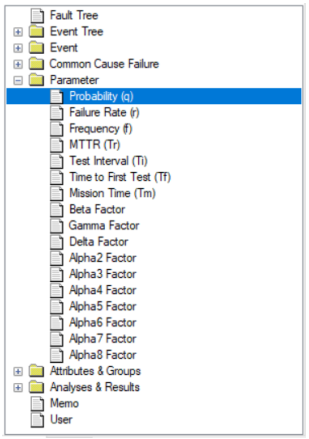
Po zagonu programa s klikom na ikono  in izbiro možnosti **New projects** vpišite uporabniško ime (*sa*) in geslo (*sa*) ter ustrezno poimenujte delovno datoteko. Na delovni površini ustvarite zametek novega drevesa dogodkov z dvoklikom levega miškinega gumba na možnost **Event Tree** s spustnega seznama **Event Tree**.

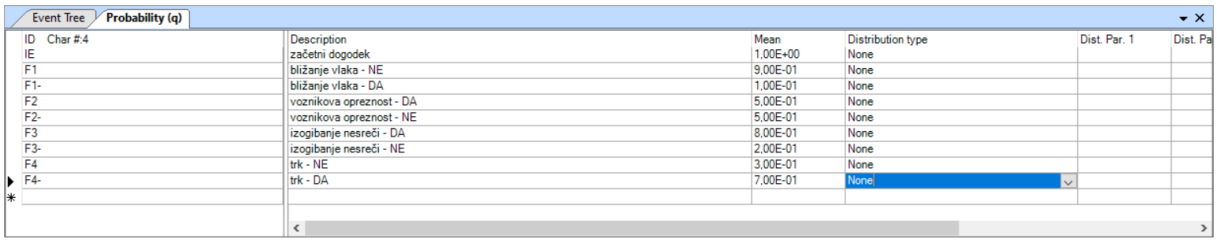


Odpre se pojavno okno, v katerem poimenujete drevo dogodkov ter navedete njegov opis in značilnosti. Izbiro in vneseno vsebino potrdite s pritiskom na ukaz **OK**.

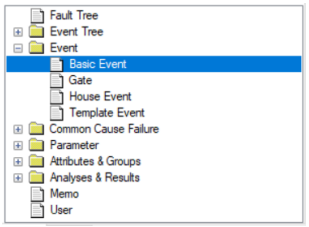


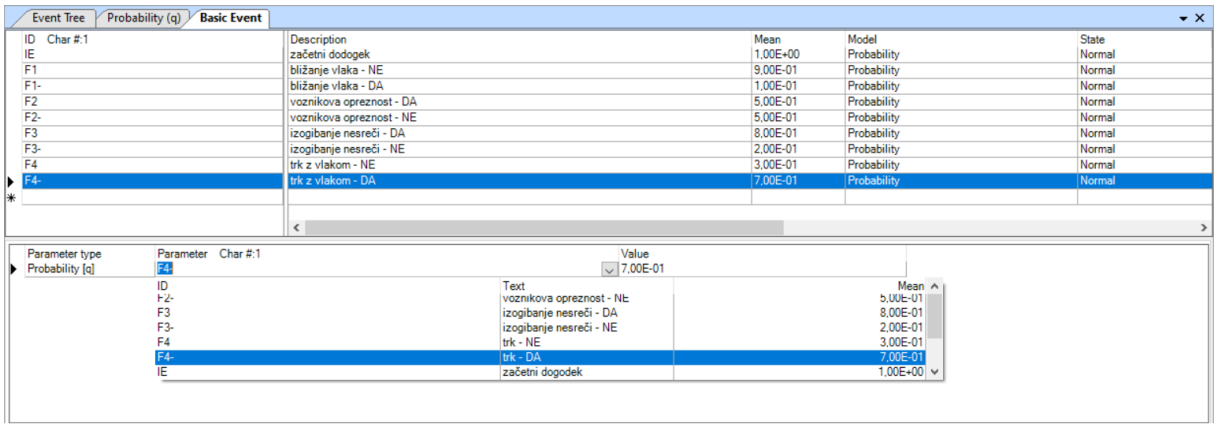
Nato določite verjetnosti za posamezne dodatne dogodke (npr. varnostne ovire, druge dejavnike ali mehanizme) in pogostost začetnega dogodka. Z dvoklikom na možnost **Probability (q)** ali **Frequency (f)** v spustnem seznamu **Parameter** se odpre zavihek, v katerem določite značilnosti, ki jih boste kasneje povezali z dodatnimi dogodki ali začetnim dogodkom. S klikom na določeno polje v izbrani vrstici lahko vnesete ime in opis posameznega dogodka ter verjetnost ali pogostost njegove pojavitve.



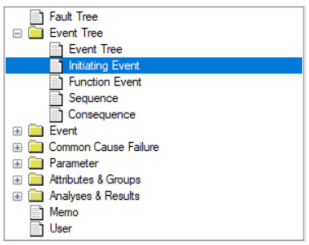


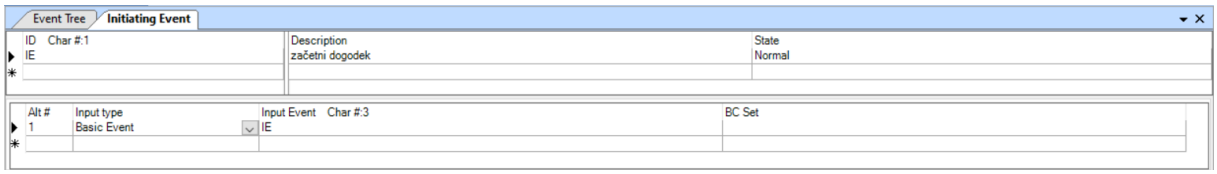
Po dvokliku na možnost **Basic Event** s spustnega seznama **Event** se odpre zavihek, v katerem določite značilnosti posameznih dogodkov, ki se bodo pojavili v drevesu dogodkov. Dvoklik na polje za izpolnjevanje odpre novo pojavno okno, v katerega lahko vnesete ime in opis posameznega dogodka. Enako lahko storite tudi s klikom na določeno polje v izbrani vrstici. Za izračun pogostosti končnih rezultatov morate osnovne dogodke povezati s pogostostnimi in verjetnostnimi parametri.



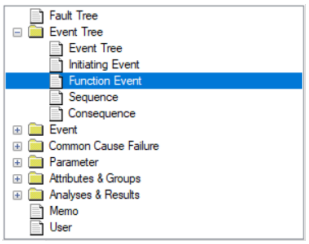


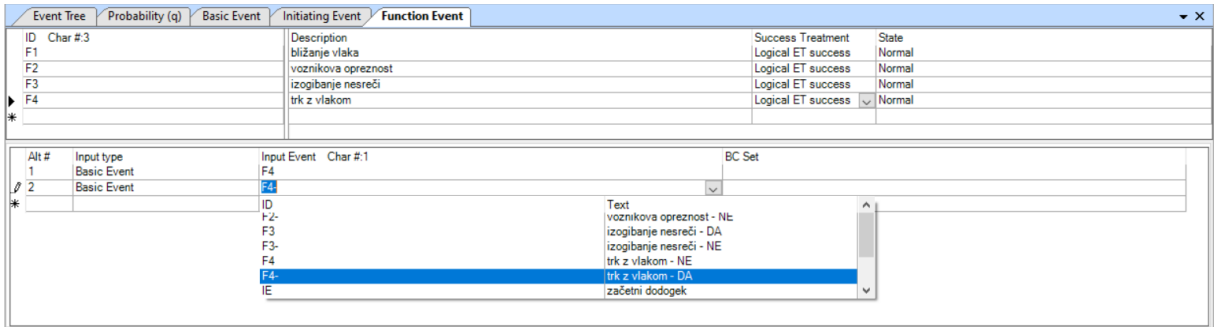
Nato določite začetni dogodek. Po dvokliku na možnost **Initiating Event** s spustnega seznama **Event Tree** se odpre zavihek, v katerem opišete značilnosti začetnega dogodka, ki bo osnova za izdelavo drevesa dogodkov. Klik na določeno polje v izbrani vrstici omogoča vnos imena in opisa.



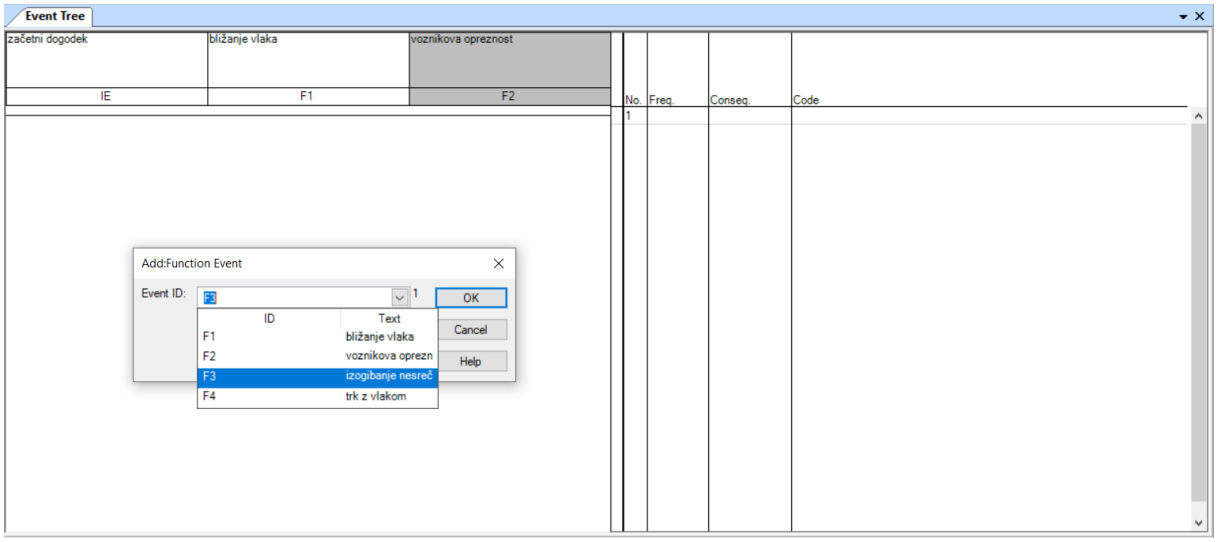


Po dvokliku na možnost **Function Event** s spustnega seznama **Event Tree** se odpre zavihek, v katerem določite dodatne značilnosti posameznih dodatnih dogodkov (npr. varnostnih ovir, drugih dejavnikov ali mehanizmov) in jih povežete s prej ustvarjenimi dogodki. Dvoklik na polje za izpolnjevanje odpre novo pojavno okno, v katerega lahko vnesete ime in opis posameznega dodatnega dogodka. Enako lahko storite tudi s klikom na določeno polje v izbrani vrstici.

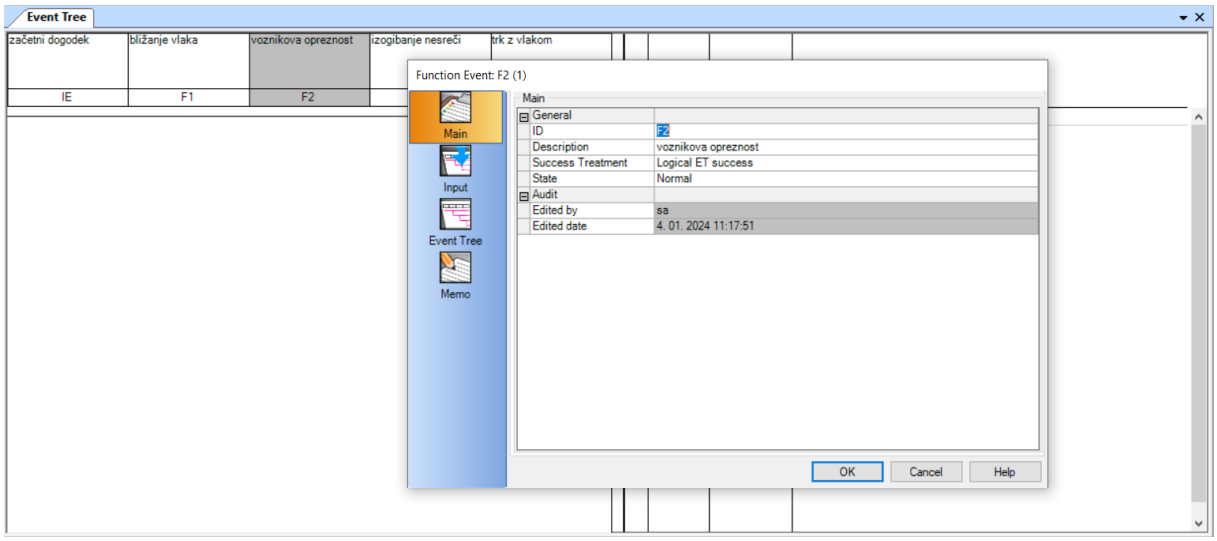




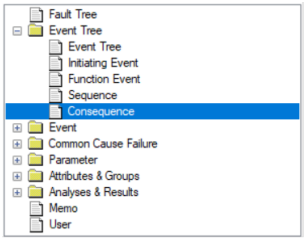
Dvoklik levega miškinega gumba na možnost **Event Tree** omogoči nadaljnjo izdelavo drevesa dogodkov. Po pritisku desnega miškinega gumba na delovni površini lahko s spustnega seznama z izbiro možnosti **Insert Function Event** dodate izbrani dodatni dogodek.



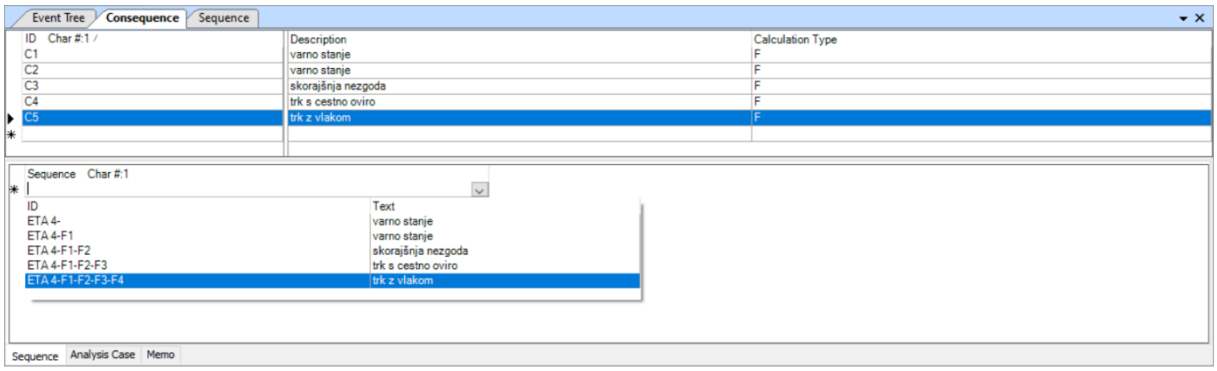
Dvoklik na določen lik odpre novo pojavno okno, v katerega lahko vnesete ime in opis izbranega začetnega ali dodatnega dogodka.



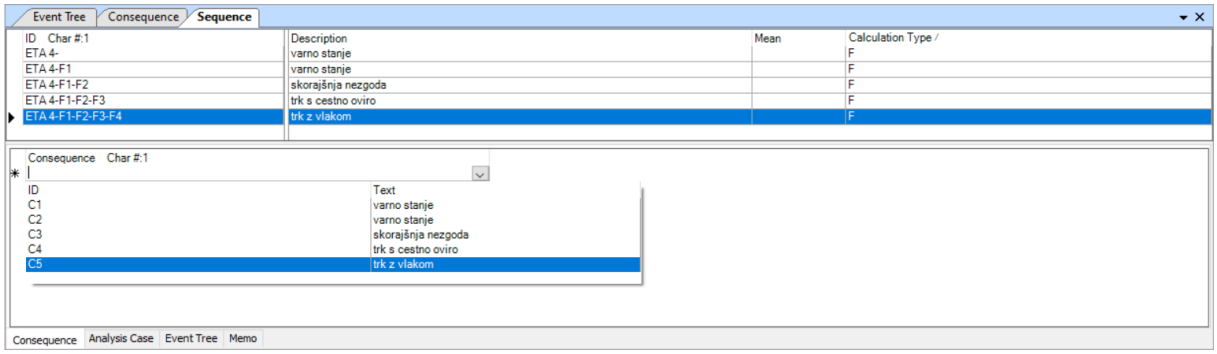
Po pritisku desnega miškinega gumba na sivo območje pod dodatnim dogodkom lahko s spustnega seznama z izbiro možnosti **Insert branch** ustvarite želeno razvejanost drevesa dogodkov. Ne pozabite uporabiti tudi možnosti **Edit Branch-point alternatives**, s katero povežete posamezne veje z na začetku definiranimi dogodki. Med izgledi drevesa dogodkov preklapljate s pritiskom na možnosti **Fit horizontal**, **Fit vertical** in **Alignment** v spustnem seznamu.



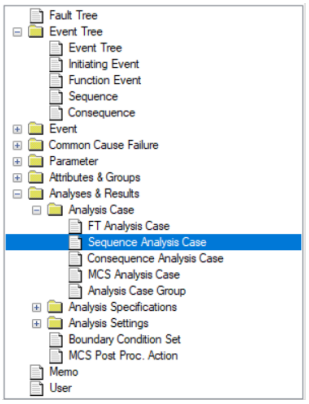
Po dvokliku na možnost **Consequence** s spustnega seznama **Event Tree** se odpre zavihek, v katerem poimenujete posamezne končne rezultate in jih povežete z ustreznimi zaporedji začetnega in dodatnih dogodkov. Dvoklik na polje za izpolnjevanje odpre novo pojavno okno, v katerega lahko vnesete ime in opis posameznega zaporedja. Enako lahko storite tudi s klikom na določeno polje v izbrani vrstici.

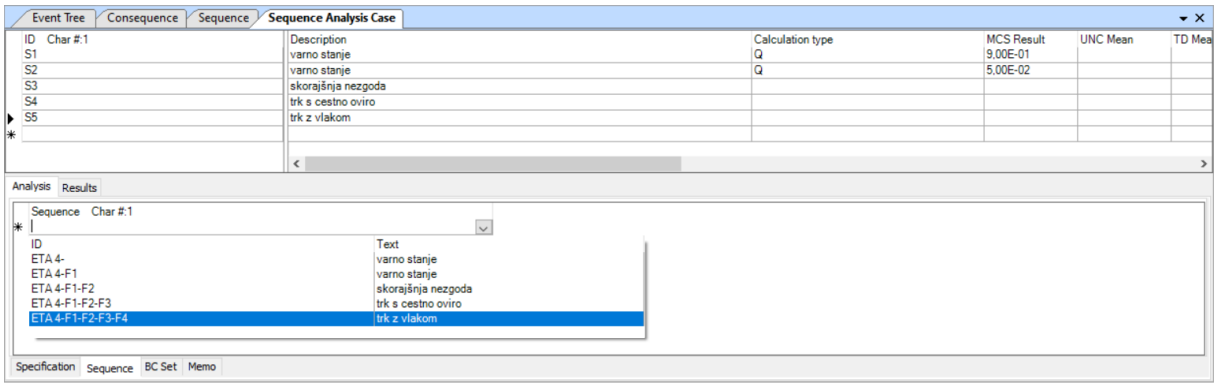


Po dvokliku na možnost **Sequence** s spustnega seznama **Event Tree** se odpre zavihek, v katerem lahko preverite zaporedje začetnega in dodatnih dogodkov, ki vodijo do posameznega končnega rezultata, ter ga povežete z ustreznim končnim rezultatom.

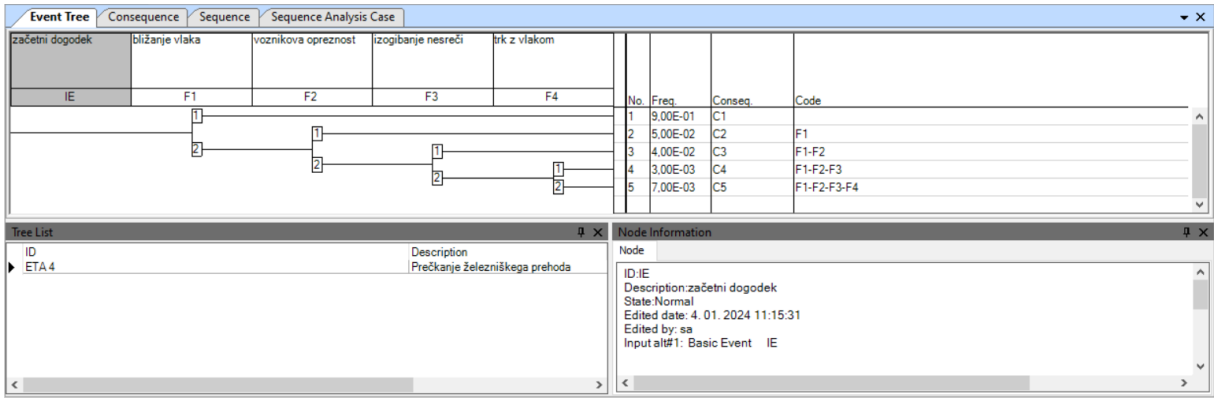


Po dvokliku na možnost **Sequence Analysis Case** s spustnega seznama **Analysis & Results** se odpre zavihek, v katerem izvedete kvantitativno analizo ustvarjenega drevesa dogodkov. Najprej izpolnite polja s podatki o izbranih zaporedjih dogodkov. Nato jih povežite z ustreznimi kombinacijami dogodkov, ki logično povezujejo začetni in dodatne dogodke na poti do končnega rezultata.

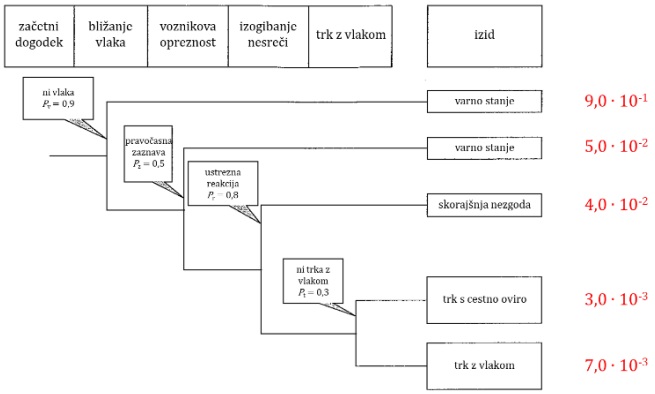




Za zagon analize izberite pot odpovedi in pritisnite funkcijsko tipko F11. V novem pojavnem oknu se prikaže rezultat analize. Boljši pregled nad rezultati ter pogostostmi ali verjetnostmi končnih rezultatov omogoča klik na zavihek **Event Tree**.

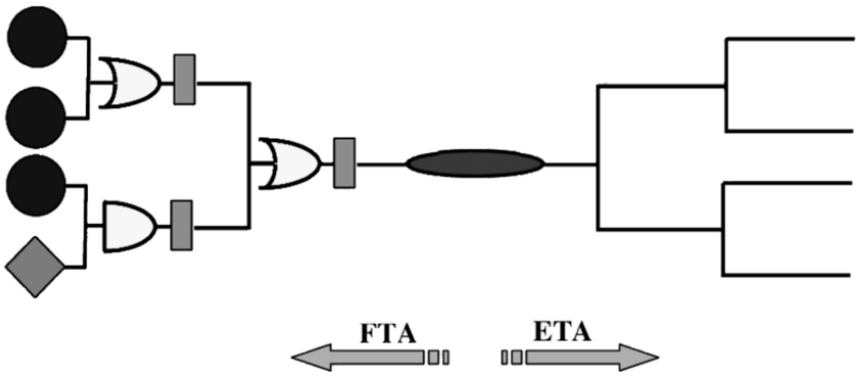


Analiza drevesa dogodkov s programom RiskSpectrum je omogočila izračun verjetnosti vseh možnih končnih izidov pri prečkanju železniških tirov z motorjem.



POROČILO

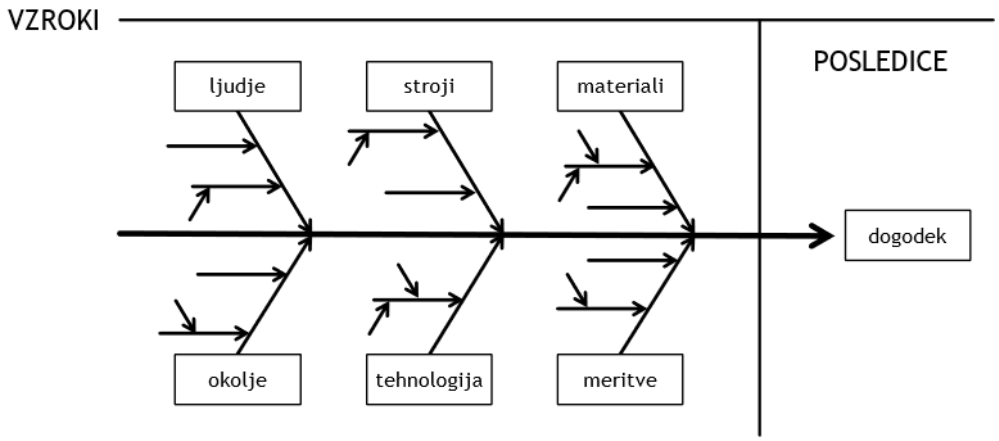
S pomočjo metod FTA in ETA analizirajte primer nesreče pohodnika na pohodniški poti na vašemu domu najbližjo vzpetino. Opišite situacijo in različne scenarije ter pripravite kvalitativno drevo odpovedi, ki se nadaljuje v kvalitativno drevo dogodkov z različnimi razpleti nesreče. Uporabite vse značilne elemente, ki ste jih spoznali pri obravnavi obeh vrst analize.



9. vaja: DRUGE METODE

UVOD

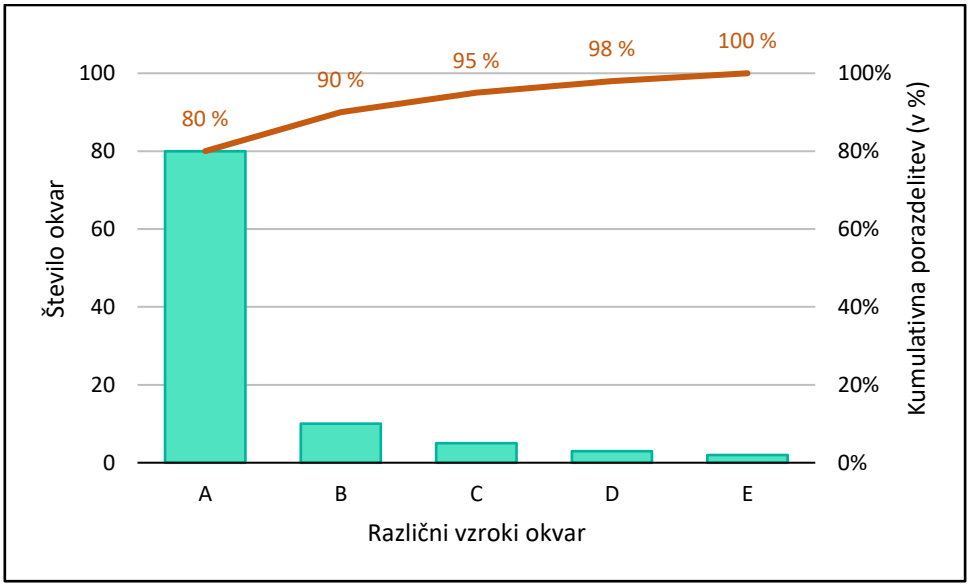
Diagram ribje kosti ali Ishikawa diagram je grafični prikaz vzrokov za okvaro ali dogodek, zato se pogosto uporablja pri razvoju in proizvodnji izdelkov. Na strukturiran način so prikazani različni koraki v procesu, kar omogoča lažje iskanje kritičnih točk, kjer se lahko pojavijo težave in odstopanja (npr. v kakovosti), ter določevanje, kateri elementi (komponente) so ključni ob določenem času na določenem mestu. Zasnova diagrama spominja na ribje okostje (slika 9.1), pri čemer koščice predstavljajo vzroke, glava pa posledico, torej končni dogodek. Namen metode je omogočiti vodstvu, da določi in opredeli, katera vprašanja je treba prednostno obravnavati, da bi preprečili določen dogodek ali dosegli želeni učinek proizvodnje.



Slika 9.1: *Primer enostavnega diagrama ribje kosti*

Metoda "*5-ih zakaj*" predstavlja eno izmed preprostejših in zato zelo razširjenih orodij za ugotavljanje in odpravljanje osnovnega vzroka problema. S tehniko ponavljajočega se spraševanja "*Zakaj* …" med raziskovanjem vzročno-posledičnih odnosov v obravnavanem sistemu iščemo odgovore, s čimer skušamo ugotoviti temeljni vzrok okvare ali nezgodnega dogodka.

Pareto diagram (slika 9.2) temelji na grafičnem prikazu pogostosti pojavljanja posameznih posledic (npr. število okvar) glede na njihove vzroke ter pripadajoče kumulativne porazdelitve v odstotkih. Ob upoštevanju načela, da približno 80 % posledic izhaja iz 20 % vzrokov, lahko iz takšnega diagrama enostavno prepoznamo dejavnike, ki imajo največji vpliv na delovanje in uspešnost obravnavanega sistema. Zato se Pareto diagram uporablja v poslovnih procesih, raziskavah, proizvodnji, trženju, prodaji ter pri obvladovanju tveganj, saj omogoča določanje prednostnih področij za izboljšave in učinkovitejšo razporeditev razpoložljivih virov.



Slika 9.2: *Primer enostavnega Pareto diagrama*

PRIMERI

1. Pri uporabi digitalnega fotoaparata ste opazili, da so fotografije zamegljene. S pomočjo diagrama ribje kosti predstavite možne vzroke.

2. Pred odhodom na fakulteto vaš avtomobil ni vžgal. Ob hitrem pregledu ste ugotovili, da je vzrok najverjetneje v akumulatorju. Z uporabo metode "*5-ih zakaj*" skušajte odkriti temeljni vzrok nastale situacije.

3. Za priloženi nabor podatkov, pridobljenih z anketo o zadovoljstvu hotelskih gostov, poskusite s pomočjo Pareto diagrama in načela 80/20 prepoznati, katere težave bi morali prednostno obravnavati za izboljšanje poslovnih rezultatov.

Težava	Število pripomb
brisače	6
čiščenje	161
dekor	3
dokumentacija	2
gretje	15
hrup	61
internet	25
pohištvo	14
posteljnina	23
rezervacije	211
sobna strežba	428
telefon	9
televizija	34
vzglavniki	8

LITERATURA

Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis. New York: Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers 2000.

H. Kumamoto: Satisfying Safety Goals by Probabilistic Risk Assessment. London: Springer 2007.

S. Mannan: Lees' Loss Prevention in the Process Industries, Volumes 1-3. Amsterdam: Elsevier 2005.

R. E. McDermott, R. J. Mikulak, M. R. Beauregard: The Basics of FMEA. New York: CRC Press 2009.

M. Modarres, M. P. Kaminskiy, V. Krivtsov: Reliability Engineering and Risk Analysis: A Practical Guide. Boca Raton: CRC Press 2017.

Z. Novak Pintarič: Varnost kemijskih procesov (Zbrano gradivo). Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo 2008.

M. Rausand, S. Haugen: Risk assessment: Theory, Methods, and Applications. Hoboken: Wiley 2020.

I. Sutton: Process Risk and Reliability Management. Amsterdam: Elsevier 2015.

DODATKI

