

JOSIP KUKEC, dipl.inž.
Hrvatske željeznice
Zagreb, Mihanovićeve 12

Tehnika i sigurnost prometa
Izvorni znanstveni rad
UDK: 625.739 : 656.11 + 656.2
Primljeno: 21.03.1994.
Prihvaćeno: 06.04.1994.

OPTIMIZACIJA VARIJANATA OSIGURANJA CESTOVNOG PRIJELAZA

SAŽETAK

Definiranjem cestovnog prijelaza kao sustava i izrađenim modelom prognoziranja događaja učinjen je pokušaj da se pronađe optimalna razina osiguranja cestovnog prijelaza. Ocjenom razine osiguranja, ponašanja sudionika u prometu, mjesnih prilika i utjecaja stohastičkih zakonitosti s egzaktno utvrđenim ulazno-izlaznim veličinama - stvorena je pretpostavka za izradbu sustavne analize sustava.

Matematičkim metodama prognozirano je i u obliku modela postavljeno izračunavanje broja izvanrednih događaja, broja zaustavljanja i vremena zadržavanja cestovnih vozila, troškova eksploatacije i broja i vremena zaustavljanja i zadržavanja željezničkih vozila. Izrađen algoritam za izbor optimalne razine osiguranja cestovnog prijelaza omogućuje da se dobiju pouzdani elementi za donošenje odluke o prijelazu s postojeće na novu vrstu osiguranja.

UVOD

Ocjenujući s motrišta sigurnosti, cestovni su prijelazi na prugama Hrvatskih željeznica (HŽ), a i u svijetu, "crne točke". Njihov veliki broj i posljedice koje na njima nastaju zahtijevaju sustavni pristup rješavanju s ekonomskog i sigurnosnog stajališta, uvažavajući sve relevantne parametre koji determiniraju izbor najpogodnijeg rješenja.

Tablica 1. Izvanredni događaji na cestovnim prijelazima pruga HŽ

Godina	Osigurani cestovni prijelazi			Neosigurani cestovni prijelazi		
	Broj izvanrednih događaja	Broj poginulih	Broj teže ozlijeđenih	Broj izvanrednih događaja	Broj poginulih	Broj teže ozlijeđenih
1983.	38	18	23	100	40	63
1984.	53	19	19	71	19	34
1985.	44	22	12	83	13	36
1986.	50	24	16	93	30	34
1987.	41	16	34	71	31	99
1988.	61	19	25	67	18	23
1989.	55	27	26	64	29	38
1990.	31	21	9	42	11	12
1991.	36	9	13	54	24	20
1992.	33	10	16	54	14	21
Ukupno	442	175	193	699	229	380

1. OSNOVNA POLAZIŠTA

1.1. Utvrđivanje stanja

Cestovni prijelaz, kao mjesto sučeljavanja željezničkog i cestovnog prometa, potencijalna je opasnost za nastanak izvanrednog događaja s teškim posljedicama - smrtno stradali, teška tjelesna oštećenja i velike materijalne štete. Posljedice izvanrednih događaja na cestovnim prijelazima veće su u sudionika u cestovnom prometu, iako se povećanjem mase cestovnih vozila i uvođenjem u promet laganih željezničkih garnitura povećava broj poginulih i ozlijeđenih osoba u željezničkom prometu.

Godine 1990. na cestovnim prijelazima preko pruga HŽ dogodila su se 73 izvanredna događaja u kojima su poginule 32 osobe, a 21 je teško ozlijeđena.

Povećanjem brzina taj problem postaje još aktualniji, a u ovom se radu želi ukazati na moguće varijante osiguranja cestovnog prijelaza, optimirajući troškove investicija i eksploatacije.

1.2. Izvanredni događaji na cestovnim prijelazima i njihove posljedice

Analizirajući podatke o izvanrednim događajima za proteklo desetogodišnje razdoblje (tabl. 1.), uočava se da

Tablica 2. Uzrok i krivnja za nastale izvanredne događaje na prugama HŽ*

Godina	Osigurani cestovni prijelazi			Neosigurani cestovni prijelazi		Krivica željeznice	
	Tehnički nedostaci	Osobni propust željezničkih radnika	Krivica vozača cestovnih vozila	Osobni propust željezničkih radnika	Krivica vozača cestovnih vozila	Ukupno	%
1983.			38		100		
1984.		4	49		71	4	3,2
1985.		5	39		83	5	3,9
1986.		3	47	1	92	4	3,2
1987.		2	39		71	2	1,6
1988.		1	60	3	64	4	3,2
1989.		1	54		64	1	0,8
1990.		4	27		42	4	3,2
1991.		2	34		54	2	1,6
1992.		1	32		54	1	0,8

*Izvor: Izvještaj službe unutarnje kontrole.

je u prosjeku godišnje na cestovnim prijelazima poginulo više od 40 osoba, dok je teško ozlijeđeno više od 58 osoba, s materijalnom štetom u 1990. godini na željezničkim vozilima u iznosu od 1974 tisuće dinara¹, ne računajući troškove prekida prometa i šteta na robi.

Sudionici u cestovnom prometu prouzročili su izvanredni događaj u 97,7% slučajeva, dok na propust željezničkih djelatnika otpada svega 2,3% (tabl. 2.).

U promatranom razdoblju nije zabilježen ni jedan slučaj tehničke neispravnosti sredstava kao uzrok izvanrednog događaja.

1.3. Broj i tehnička opremljenost cestovnih prijelaza

Na prugama HŽ (stanje 30.06.1993.) bilo je 1777 cestovnih prijelaza u razini s prugom. Od toga broja, zaštićeno je (u daljnjem tekstu neosigurani cestovni prijelazi) 1286 cestovnih prijelaza (Andrijin križ), dok su ostali osigurani:

146 - branicima koji se ručno postavljaju,

160 - svjetlosno-zvučnom signalizacijom, te

185 - svjetlosno-zvučnom signalizacijom i polubranicima.

Osigurani cestovni prijelazi sudjeluju s 27,6% u ukupnom broju cestovnih prijelaza.

2. DEFINIRANJE SUSTAVA "CESTOVNI PRIJELAZ"

2.1. Definiranje "cestovnog prijelaza"

Mogućnost utvrđivanja optimalne razine osiguranja cestovnog prijelaza zahtijeva definiranje "cestovnog prijelaza" kao sustava, sačinjenog od sljedećih elemenata (sl. 1.):

- vrste osiguranja,
- ponašanja sudionika u prometu,
- mjesnih prilika,
- utjecaja stohastičkih zakonitosti na pojave izvanrednih događaja.

Ulazne veličine koje djeluju na sustav imaju svojstva remećenog ili upravljačkog djelovanja, a mogu se prikazati preko:

- učestalosti željezničkih vozila,
- učestalosti cestovnih vozila,
- utjecaja okruženja na ponašanje sudionika u prometu,
- utjecaja razine osiguranja cestovnog prijelaza,
- edukacije i podizanja prometne kulture.

Sustav djeluje na okruženje preko sljedećih izlaznih veličina:

- sigurnosti prometa na cestovnom prijelazu,
- broja zaustavljenih cestovnih vozila,
- ukupnog vremena zadržavanja cestovnih vozila,
- broja zaustavljenih željezničkih vozila,
- ukupnog vremena zadržavanja željezničkih vozila,
- troškova eksploatacije cestovnog prijelaza.

Stanje cestovnog prijelaza kao sustava pokazano je sa šest izlaznih veličina. Svako stanje određeno je točkom u šestdimenzionalnom prostoru.

2.2. Elementi "cestovnog prijelaza" kao sustava

Utjecaj pojedinih elemenata sustava objektiviziran je postavljanjem cilja preko izlaznih veličina kojima sustav djeluje na okruženje.

2.2.1. Vrste osiguranja cestovnih prijelaza

Glede osiguranja, cestovni prijelaz može biti:

a) neosiguran (zaštićen signalnim znacima cestovnog prometa) i

b) osiguran:

- branicima koji se postavljaju ručno,
- svjetlosno-zvučnim signalima,
- svjetlosno-zvučnim signalima i polubranicima.

Razina osiguranja djeluje na koordinate stanja sustava kao upravljačka ulazna veličina.

2.2.1.1. Utjecaj razine osiguranja na sigurnost prometa

Na neosiguranom cestovnom prijelazu sudionici u cestovnom prometu upozoreni su prometnim znacima cestovnog prometa na približavanje cestovnom prijelazu. Brzina vožnje prilagođuje se uvjetima vidljivosti i pregledno-



Slika 1. Definicija sustava "cestovni prijelaz"

sti pruge. Provjerom stanja na pruži i utvrđivanjem činjenica (željeznička vozila dolaze, pruga slobodna), cestovno vozilo se zaustavlja ili nastavlja vožnju.

Na osiguranim cestovnim prijelazima sudionici u cestovnom prometu upozoreni su na dolazak željezničkih vozila spuštanjem branika, uključivanjem svjetlosno-zvučnih signala, odnosno uključivanjem svjetlosno-zvučnih signala i spuštanjem polubranika. Mogućnost pogrešne procjene kretanja željezničkih vozila je smanjena, a utjecaj mjesnih prilika postaje nevažan.

2.2.1.2. Utjecaj razine osiguranja na zaustavljanje i zadržavanje cestovnih vozila

Na neosiguranim cestovnim prijelazima, ako je osiguran trokut preglednosti, zaustavljaju se samo vozila kojima prijete opasnost od dolazećih željezničkih vozila, dok ostala samo smanjuju brzinu kretanja. Ako trokut preglednosti nije osiguran, sva cestovna vozila smanjuju brzinu i moraju se zaustaviti. Promet se na cestovnom prijelazu obustavlja nakon zaustavljanja prvoga cestovnog vozila, a nastavlja se nakon prolaska željezničkih vozila.

Na cestovnim prijelazima osiguranim branicima ili svjetlosno-zvučnim signalima s polubranicima ili bez polubranika promet cestovnih vozila se prekida spuštanjem branika ili uključivanjem svjetlosno-zvučnih signala. Zaustavljaju se sva cestovna vozila koja dolaze na cestovni prijelaz u vrijeme prolaska željezničkih vozila.

2.2.1.3. Utjecaj razine osiguranja na troškove eksploatacije

Neosiguran cestovni prijelaz generira troškove održavanja prometne signalizacije željezničkog i cestovnog prometa i troškove održavanja kolnika na cestovnom prijelazu.

Cestovni prijelaz osiguran branicima koji se postavljaju ručno ima sve troškove kao i neosigurani cestovni prijelaz, te dodatne troškove održavanja uređaja branika i troškove rada djelatnika koji njima rukuje.

I cestovni prijelazi osigurani svjetlosno-zvučnim signalima imaju također sve troškove kao i neosigurani, te troškove održavanja sigurnosnog uređaja.

2.2.1.4. Utjecaj razine osiguranja na zaustavljanje i zadržavanje željezničkih vozila

Željeznička vozila zaustavljaju se ispred cestovnog prijelaza kada je uređaj za osiguranje cestovnog prijelaza u kvaru. To znači da se željeznička vozila na neosiguranom cestovnom prijelazu ne zaustavljaju dok je to na cestovnim prijelazima osiguranim branicima koji se postavljaju ručno rijedak slučaj.

2.2.2. Ponašanje sudionika u prometu

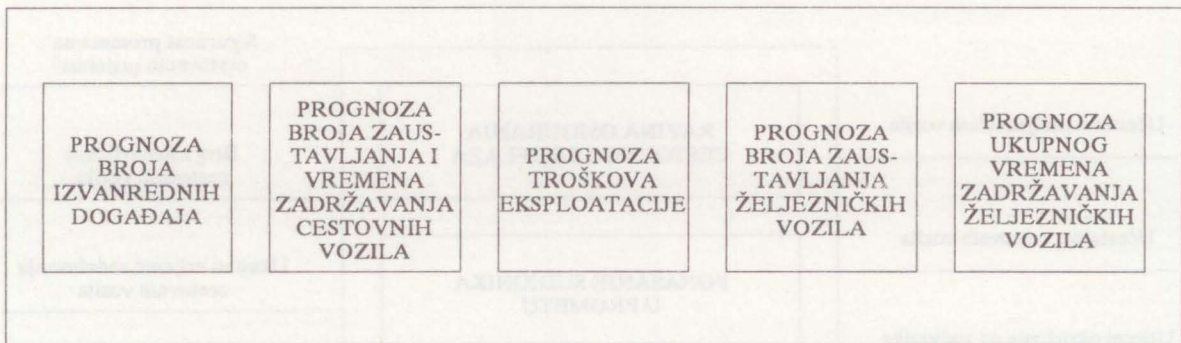
Željezničko osoblje u vlaku ne može znatnije utjecati na sigurnost prometa preko cestovnog prijelaza, osim strojovode, koji davanjem signalnog znaka "pazi" prije nailaska željezničkog vozila na cestovni prijelaz upozorava sudionike cestovnog prometa na dolazak željezničkih vozila. Kada je uređaj za osiguranje cestovnog prijelaza u kvaru, strojovoda je obavezan zaustaviti vlak ispred cestovnog prijelaza, signalnim znakom "pazi" upozoriti sudionike u cestovnom prometu na prisutnost vlaka, a tek zatim nastaviti vožnju.

Na cestovnim prijelazima koji su osigurani branicima što se postavljaju ručno na sigurnost utječe prometnik s naredbom zaštićivanja cestovnog prijelaza i djelatnik koji branikom rukuje.

Značenje utjecaja ponašanja raste ili pada ovisno o razini osiguranja cestovnog prijelaza. Najveće je na neosiguranim cestovnim prijelazima, dok se osiguranjem znatno smanjuje.

2.2.3. Elementi mjesnih prilika

Elemente mjesnih prilika na cestovnom prijelazu čine: preglednost i duljina preglednosti, vidljivost, duljina cestovnog prijelaza, kut križanja pruge i ceste, te broj kolosi-



Slika 2. Model prognoziranja događaja na "cestovnom prijelazu" kao sustavu

jeka (jednokolosiječna, dvokolosiječna, usporedne pruge) preko kojih prelazi cesta.

Preglednost ovisi o geometrijskim svojstvima pruge i ceste, te o značajkama terena i objekata koji se nalaze uz prugu ili cestu.

Vidljivost ovisi o meteorološkim prilikama (magla, snijeg, kiša), osvjetljenosti noću, godišnjem dobu (jesen, zima), uvažavajući svojstva vozila i vozača cestovnih vozila.

Duljina cestovnog prijelaza sa svojim elementima ovisi o vrsti pruge preko koje prelazi, kao i o kutu koji čine osovina pruge i ceste.

Utjecaj tih elemenata na sigurnost prometa može se potkrijepiti tvrdnjama:

- veličina trokuta preglednosti omogućuje ranije ili kasnije opažanje dolazećih željezničkih vozila, a time veću ili manju vjerojatnost pravilnih reakcija u podešavanju brzine kretanja;
- ako trokut preglednosti ne postoji, sudionici u cestovnom prometu oprezno prilaze cestovnom prijelazu, zaustavljaju se s nakanom da provjere slobodnost pruge, te u skladu sa spoznajama nastavljaju vožnju ili ostaju zaustavljeni. Ovog se pravila rijetko pridržavaju mnogi vozači cestovnih vozila, ne poduzimaju se potrebne radnje radi osobne sigurnosti, jer vjerojatnost nastanka izvanrednog događaja svode na minimalnu vjerojatnost istovremenog susretanja cestovnog i željezničkog vozila na cestovnom prijelazu;
- gusta magla, kiša i noćni uvjeti vožnje smanjuju vidljivost, pa prema tomu i stupanj sigurnosti, jer onemogućuju točno i pravodobno zapažanje dolazećih željezničkih vozila;
- manji kut križanja pruge i ceste je nepogodniji za sudionike u cestovnom prometu, jer sprečava istodobno uočavanje prometne situacije na cesti i pruži;
- duljina cestovnog prijelaza definira "zonu ugroženosti" za cestovna vozila, kao i vrijeme zadržavanja u toj zoni. Na dvokolosiječnim i usporednim prugama, zbog mogućnosti istodobne vožnje vlakova po oba kolosijeka, može se pojaviti stanje zaklanjanja jednog vlaka drugim što smanjuje mogućnost zapažanja vozača cestovnih vozila.

2.2.4. Utjecaj stohastičkih zakonitosti na pojavu izvanrednog događaja

Polazeći od pretpostavke da su struktura, unutarnja povezanost i način djelovanja ovog elementa nepoznati, analizirajući broj izvanrednih događaja, uočava se prisutnost njegovog utjecaja na sigurnost prometa preko cestovnog prijelaza. Stohastička povezanost ovog elementa i razine osiguranja cestovnog prijelaza je manja ako je razina osiguranja veća.

3. PROGNOZIRANJE MOGUĆIH ZBIVANJA NA CESTOVNOM PRIJELAZU

Pronalaženje potrebne razine osiguranja cestovnog prijelaza zahtijeva utvrđivanje koordinata stanja sustava za različite razine osiguranja. Kako je ulaganje u osiguranje cestovnog prijelaza investicija čiji se učinci mogu iskazati tijekom određenog razdoblja, stanje sustava treba promatrati u razdoblju očekivanih promjena intenziteta željeznikog i cestovnog prometa. Konceptijski pristup mora omogućiti utvrđivanje stanja sustava za različite razine osiguranja i različitu učestalost željezničkih i cestovnih vozila.

Model prognoziranja stanja na "cestovnom prijelazu" (sl. 2.) obuhvaća:

- broj izvanrednih događaja,
- broj zaustavljanja i vremena zadržavanja cestovnih vozila,
- troškove eksploatacije,
- broj zaustavljanja željezničkih vozila,
- ukupno vrijeme zadržavanja željezničkih vozila.

3.1. Analiza modela za prognoziranje broja izvanrednih događaja

Izvanredni događaj na cestovnom prijelazu nastaje onda kada se cestovno i željezničko vozilo nadu istodobno u "zoni ugroženosti" (sl. 3.).

Vrijeme koje cestovno vozilo provede u "zoni ugroženosti" iznosi:

$$\Delta t_c = \frac{d_{zo} + l_{cv}}{v_{src}} \quad [s]$$

gdje je:

d_{zo} – duljina zone ugroženosti (m)

l_{cv} – duljina cestovnog vozila (m)

v_{src} – srednja brzina kretanja cestovnog vozila (m/s)

Vrijeme koje željezničko vozilo provede u zoni ugroženosti iznosi:

$$\Delta t_u = \frac{l_{zo} + l_v}{v_{sr}} \quad [s]$$

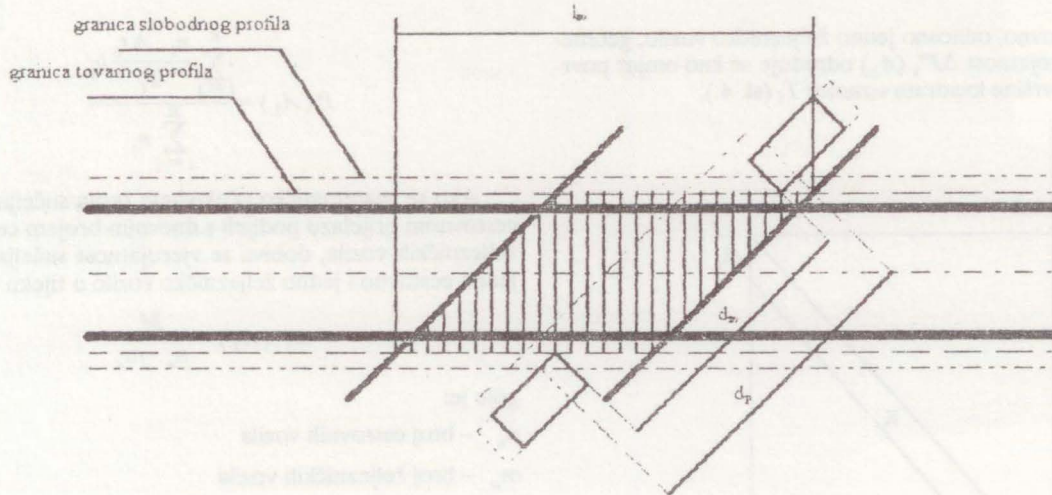
gdje je:

l_{zo} – širina zone ugroženosti (m)

l_v – ukupna duljina željezničkih vozila (m)

v_{sr} – srednja brzina kretanja željezničkih vozila (m/s)

Intervali vremena Δt_c i Δt_u znače "intervale ugroženosti" u kojima može doći do izvanrednog događaja. Trajanje



- l_{zo} – širina zone ugroženosti
- d_{zo} – duljina zone ugroženosti
- d_p – duljina cestovnog prijelaza

Slika 3. Zone cestovnog prijelaza

intervala ovisi o duljini "zone ugroženosti", prometnim okolnostima na pruzi i kolniku, te o strukturi željezničkih i cestovnih vozila.

Na prugama HŽ tijekom 1993. godine na cestovnim prijelazima dogodila su se 73 izvanredna događaja. Četiri slučaja ili 5,47% pojava izvanrednog događaja nastala su propustom željezničkih djelatnika, dok je u 69 slučajeva ili 94,53% izvanredni događaj nastao propustima sudionika u cestovnom prometu. Važno je spomenuti da se ni jedan izvanredni događaj nije dogodio zbog tehničkih nedostataka na uređajima za osiguranje cestovnog prijelaza.

U evidentirana 73 izvanredna događaja, cestovna su vozila svega šest puta udarila u prolazeća željeznička vozila, a 67 puta su željeznička vozila čelnom stranom udarila cestovna vozila.

3.1.1. Opis modela

Prognoziranje broja izvanrednih događaja zahtijeva utvrđivanje vjerojatnosti nastanka izvanrednog događaja, ovisno o učestalosti željezničkih i cestovnih vozila, pri određenoj razini osiguranja cestovnog prijelaza, objektivizirajući vladanje sudionika u prometu.

Označimo li s "D" događaj nastanka izvanrednog događaja, slijedi:

$$D = D_c + D_z$$

gdje je:

- D_c – izvanredni događaj koji je nastao propustom sudionika u cestovnom prometu
- D_z – izvanredni događaj koji je nastao propustom željezničkog djelatnika

Kako je samo 5,47% izvanrednih događaja nastalo zbog propusta željezničkih djelatnika, možemo aproksimirati da su se izvanredni događaji dogodili zbog propusta sudionika u cestovnom prometu, te slijedi:

$$D = A \cap B$$

gdje je:

- A – istodobni nailazak cestovnog i željezničkog vozila u "zoni ugroženosti"
- B – događaj propusta sudionika u cestovnom prometu

Događaj "B" znači događaj stjecanja svih okolnosti za nastanak izvanrednog događaja. Kako je vozač cestovnog vozila osoba koja u najvećoj mjeri utječe na okolnosti nastanka događaja "B", može se pretpostaviti da je $B = f(p)$, gdje je "p" element ponašanja vozača.

Vjerojatnost događaja "D" jednaka je:

$$P(D) = P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B|A)$$

Događaj "A" može se prikazati kao zbroj dvaju događaja:

$$A = A_1 + A_2$$

gdje je:

- A_1 – događaj da je $Z - C < \Delta t_c$ tj. događaj da su vremena nailaženja vozila takva da postoji mogućnost udara čelnog dijela željezničkih vozila u bočni dio cestovnog vozila
- A_2 – događaj da je $C - Z < \Delta t_u$ tj. događaj da su vremena nailaska cestovnih vozila takva da postoji mogućnost udara cestovnog vozila u bočni dio prolazećih željezničkih vozila
- Z – vrijeme nailaska željezničkog vozila na početak "zone ugroženosti"
- C – vrijeme nailaska cestovnog vozila na početak "zone ugroženosti"

Kako je udar cestovnog vozila u prolazeća željeznička vozila rijedak događaj u odnosu na utvrđene događaje udara željezničkih vozila u bočnu stranu cestovnih, može se pretpostaviti da je $P(B|A_2) \sim 0$. Prema tomu, pri prognoziranju broja izvanrednih događaja polazi se od pretpostavke da će u svim izvanrednim događajima željezničko vozilo udariti u bočnu stranu cestovnog vozila, pa je:

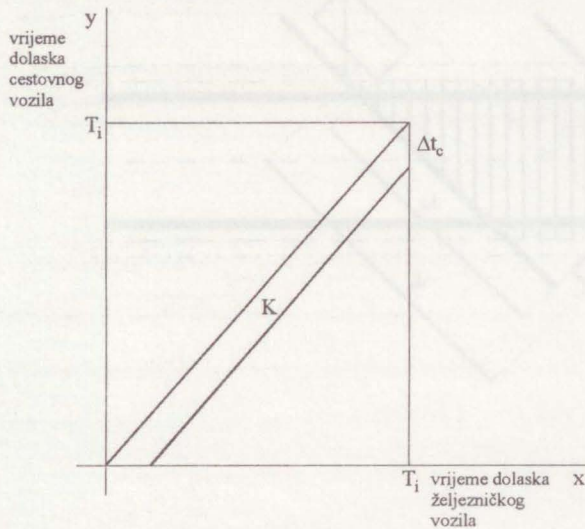
$$P(D) = P(A_1 \cap B) = P(A_1) \cdot P(B|A_1) = P(A_1) \cdot P(B_1) \quad (1)$$

gdje je:

$P(B_1)$ – vjerojatnost nastanka izvanrednog događaja propustom sudionika u cestovnom prometu

Vjerojatnost $P(A_1)$ određuje se teorijom vjerojatnosti uz ispunjenje uvjeta $Z - C \leq \Delta t_c$. Ako se u promatranom intervalu T_i s jednakom vjerojatnošću može pojaviti samo

jedno cestovno, odnosno jedno željezničko vozilo, geometrijska vjerojatnost $\Delta P_i(A_1)$ određuje se kao omjer površine K i površine kvadrata stranice T_i (sl. 4.).



Slika 4. Vjerojatnost sučeljavanja željezničkog i cestovnog vozila u "zoni ugroženosti"

$$\Delta P_i(A_1) = \frac{K}{T_i^2} = \frac{\Delta t_c (2 T_i - \Delta t_c)}{2 T_i^2}$$

Kada u intervalu vremena T_i dolazi n_i cestovnih vozila i jedan vlak, razlika vremena dolazaka cestovnih vozila ne može biti manja od vremena Δt_c . Otuda slijedi da se od n_i cestovnih vozila koja dolaze u intervalu $(0, T_i)$ najviše dva, promatrajući oba smjera, mogu naći u vremenskom intervalu $(T_i - \Delta t_c; T_i)$.

Ukupno vrijeme zauzeća cestovnog prijelaza s n cestovnih vozila iznosi:

$$t_n = (n_i - 2) \Delta t_c + 2 \Delta t_{csr}$$

gdje je:

Δt_{csr} – srednja vrijednost zauzetosti cestovnog prijelaza

Duljina vremenskog intervala u kojemu može doći do sučeljavanja željezničkih i cestovnih vozila, kao i duljina ukupnog vremena promatranja omogućuju pojednostavnjenje prethodnog izraza, pa je:

$$t_n = n_i \cdot \Delta t_c$$

prema čemu izraz za vjerojatnost da se jedno vozilo nađe na cestovnom prijelazu u trenutku dolaska željezničkih vozila glasi:

$$P_i(A_1) = \frac{n_i \cdot \Delta t_c}{T_i}$$

Matematičko očekivanje broja mogućih sučeljavanja tijekom dana je:

$$M = \sum_{i=1}^R \frac{n_i \cdot \Delta t_c}{T_i} \cdot k_i$$

gdje je:

k_i – moguće sučeljavanje vozila u intervalu vremena T_i

Vjerojatnost da cestovno vozilo koje prelazi prugu naiđe pred dolazeća željeznička vozila jednaka je omjeru matematičkog očekivanja broja sučeljavanja i broja cestovnih vozila, koja tijekom 24 sata prijeđu cestovni prijelaz, te slijedi:

$$P(A_1) = \frac{\sum_{i=1}^R \frac{n_i \cdot \Delta t_c}{T_i} k_i}{\sum_{i=1}^R n_i}$$

Ako se matematičko očekivanje broja sučeljavanja na cestovnom prijelazu podijeli s dnevnim brojem cestovnih i željezničkih vozila, dobiva se vjerojatnost sučeljavanja za jedno cestovno i jedno željezničko vozilo u tijeku dana:

$$\Delta P(A_1) = \frac{M}{n_a \cdot m_a}$$

gdje je:

n_a – broj cestovnih vozila

m_a – broj željezničkih vozila

Vjerojatnost $P(B_1)$ ovisna je o razini osiguranja cestovnog prijelaza i mjesnim prilikama. Vjerojatnost da se cestovnom vozilu dogodi izvanredni događaj pri prijelazu preko cestovnog prijelaza jednaka je:

$$P(D) = \frac{N(D)}{N_{pr}} \quad (2)$$

gdje je:

$N(D)$ – broj nastalih izvanrednih događaja u određenom razdoblju

N_{pr} – procijenjeni broj cestovnih vozila za isto razdoblje

Kako je

$$P(D) = P(A_1) \cdot P(B_1)$$

slijedi:

$$P(B_1) = \frac{P(D)}{P(A_1)}$$

Zamjenom se dobiva:

$$P(B_1) = \frac{N(D)}{N_{pr} \cdot P(A_1)}$$

Za točnije proračune vjerojatnosti $P(B_1)$ potrebno je usporediti nekoliko cestovnih prijelaza približno jednakih tehničko-eksploatacijskih svojstava sljedećim omjerom:

$$P(B_1) = \frac{\sum_{a=1}^s N_a(D)}{\sum_{a=1}^s N_{pra} \frac{\sum_{a=1}^s M_a(A_1)}{\sum_{a=1}^s N_{pra}}} = \frac{\sum_{a=1}^s N_a(D)}{\sum_{a=1}^s M_a(A_1)} \quad (3)$$

gdje je:

$N_a(D)$ – broj izvanrednih događaja na a -tom cestovnom prijelazu

N_{pra} – procijenjeni broj cestovnih vozila na a -tom cestovnom prijelazu

$M_a(A_1)$ – matematičko očekivanje broja sučeljavanja na a -tom cestovnom prijelazu za istovjetno vrijeme promatranja

Na taj način moguće je odrediti vjerojatnost $P(B_1)$ za sve cestovne prijelaze, bilo da su osigurani ili neosigurani.

3.2. Analiza modela za prognoziranje broja zaustavljenih cestovnih vozila i vremena njihova zadržavanja

Cestovni promet preko prijelaza prekida se u intervalu vremena $t_a + t_s$ gdje je:

- t_a – vremenski interval nailaska *a*-tog vlaka
- t_s – vremenski interval ovisan o tehničko-eksploatacijskim značajkama cestovnog prijelaza i cestovnih vozila

Sukladno tomu, cestovni će promet na cestovnom prijelazu biti obustavljen u vremenskom intervalu:

$$(t_a + t_s; t_a + \frac{l_v}{v_v} + t_b + t_c)$$

gdje je:

- l_v – prosječna duljina vlaka
- v_v – prosječna brzina kretanja vlaka
- t_b – vremenski interval od vremena prolaska željezničkih vozila do trenutka podizanja branika
- t_c – vremenski interval od trenutka podizanja branika do polaska prvoga cestovnog vozila

Na neosiguranim cestovnim prijelazima može se smatrati da do prekida cestovnog prometa dolazi u trenutku kada se željeznička vozila nalaze na takvoj udaljenosti od cestovnog prijelaza da ga cestovno vozilo ne može sigurno prijeći.

Na cestovnim prijelazima osiguranim svjetlosno-zvučnom signalizacijom, prekid prometa za cestovna vozila otpočinje u trenutku $t_a + t_z$ gdje je:

- t_a – vrijeme uključivanja svjetlosno-zvučnih signala
- t_z – vrijeme potrebno cestovnom vozilu za prolazak zaustavnog puta

3.2.1. Opis modela

Ako događaj nailaska cestovnog vozila na cestovni prijelaz u vremenu prekida prometa (uključeni uređaji za

osiguranje cestovnog prijelaza) označimo s "C", vjerojatnost pojave tog događaja $P(C)$ izračunava se na jednak način kao i vjerojatnost $P(A_1)$, s tom razlikom da se umjesto intervala vremena Δt_c uzima vrijeme prekida cestovnog prometa t_{pc} , te slijedi:

$$P(C) = \frac{\sum_{i=1}^R \frac{n_i \cdot t_{pc}}{T_i} k_i}{\sum_{i=1}^R n_i}$$

Broj cestovnih vozila koja se na cestovnom prijelazu zaustavljaju radi prolaska željezničkih vozila uz uvjet da je $t_p = t_s$ iznosi:

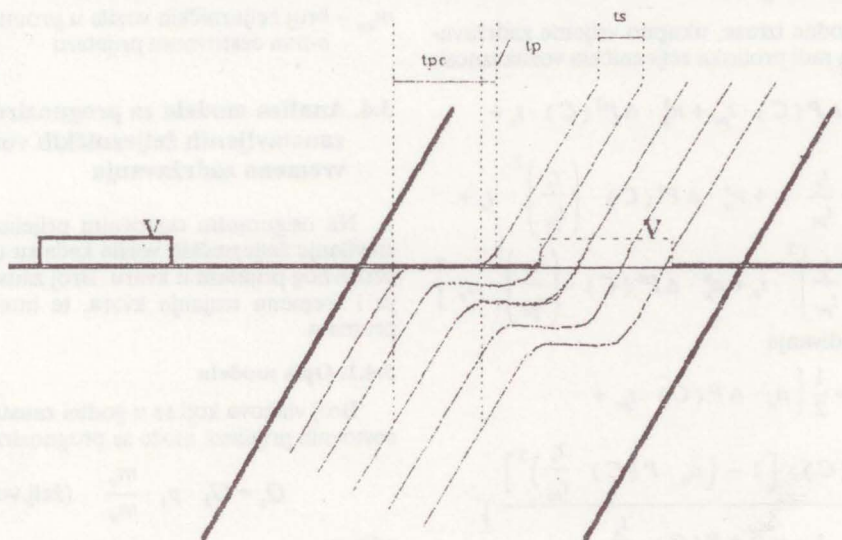
$$C_z' = n_a \cdot \Delta P(C) + \frac{n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_s}{t_{pc}} \cdot \Delta P(C) \cdot n_a + \frac{n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_s}{t_{pc}} \cdot \Delta P(C) \cdot n_a \cdot \frac{n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_s}{t_{pc}} + \dots$$

$$C_z' = n_a \cdot \Delta P(C) + n_a^2 \times \Delta P^2(C) \frac{t_s}{t_{pc}} + n_a^3 \Delta P^3(C) \left(\frac{t_s}{t_{pc}}\right)^2 + \dots \quad (\text{cest.voz. po vlaku}) \quad (4)$$

gdje je:

$\Delta P(C)$ – vjerojatnost nailaska cestovnog vozila na prijelaz u intervalu vremena Δt_{pc} kada je promet prekinut

Prvi član je broj cestovnih vozila koja dolaze na cestovni prijelaz za vrijeme obustave prometa. Drugi član izraza omogućuje izračunavanje broja cestovnih vozila koja dolaze na cestovni prijelaz u trenutku njegove slobodnosti do trenutka kada posljednje vozilo, koje je došlo za vrijeme obustave prometa, ne nastavi vožnju. Treći član utvrđuje broj cestovnih vozila koja su došla do cestovnog prijelaza u trenutku kada je zadnje vozilo koje je moralo stati napustilo cestovni prijelaz, do vremena dolaska zadnjeg vozila koje



- t_s – interval slijeđenja cestovnih vozila
- t_p – vrijeme potrebno za oslobađanje cestovnog prijelaza željezničkim vozilima, tj. stjecanje uvjeta za pokretanje prvoga cestovnog vozila
- t_{pc} – vrijeme obustavljanja cestovnog prometa

Slika 5. Prikaz dolaska, zadržavanja i polaska zaustavljenih cestovnih vozila

se nije trebalo zaustaviti, jer su zaustavljena vozila napuštala cestovni prijelaz.

Prethodni izraz predstavlja geometrijsku progresiju i može se pokazati u obliku:

$$C'_z = \frac{n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \left\{ 1 - \left[n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}} \right]^k \right\}}{1 - n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}}}$$

(cest.voz./želj.voz.)

Dnevni broj zaustavljenih cestovnih vozila je:

$$C_z = C'_z \cdot m_a$$

$$C'_z = m_a \frac{n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \left\{ 1 - \left[n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}} \right]^k \right\}}{1 - n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}}}$$

(cest.voz./želj.voz.)

Prosječno zadržavanje jednog cestovnog vozila koje je došlo na cestovni prijelaz u vremenu t_{pc} iznosi:

$$t_{d1} = \frac{t_{pc} + n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_s}{2} \quad (\text{h/vozilu})$$

Prosječno zadržavanje cestovnog vozila koje je došlo na cestovni prijelaz u vrijeme njegove slobodnosti do vremena kada zadnje vozilo, koje se zbog prekida prometa moralo zaustaviti, napusti cestovni prijelaz, iznosi:

$$t_{d2} = \frac{n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_s + n_a^2 \cdot \Delta P^2(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}}}{2} \quad (\text{h/vozilu})$$

odnosno

$$t_{d3} = \frac{n_a^2 \cdot \Delta P^2(C) \cdot t_s + n_a^3 \cdot \Delta P^3(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^2 \cdot t_s}{2} \quad (\text{h/vozilu})$$

Koristeći prethodne izraze, ukupno vrijeme zadržavanja cestovnih vozila radi prolaska željezničkih vozila iznosi:

$$Z'_d = \frac{1}{2} \left[n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_{pc} + n_a^2 \cdot \Delta P^2(C) \cdot t_s + n_a^3 \cdot \Delta P^3(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}} \cdot t_s + n_a^4 \cdot \Delta P^4(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^2 \cdot t_s + n_a^5 \cdot \Delta P^5(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^3 \cdot t_s + n_a^6 \cdot \Delta P^6(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^4 \cdot t_s \right]$$

odnosno poslije sređivanja

$$Z'_d = \frac{1}{2} \left\{ n_a \cdot \Delta P(C) \cdot t_{pc} + \frac{n_a^2 \cdot \Delta P^2(C) \cdot \left[1 - \left(n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}} \right)^5 \right]}{1 - n_a \cdot \Delta P(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}}} \right\}$$

(h/želj.vozilu)

Vrijeme zadržavanja cestovnih vozila tijekom dana iznosi:

$$Z_d = m_a \cdot Z'_d \quad (\text{h/na dan})$$

3.3. Analiza modela za prognoziranje troškova eksploatacije

Troškovi eksploatacije cestovnog prijelaza ovise o vrsti osiguranja cestovnog prijelaza, a utjecaj učestalosti cestovnog prometa prisutan je kod troškova zamjene branika ili polubranika. Za utvrđivanje troškova eksploatacije u budućnosti koriste se podaci današnjih troškova održavanja, isključujući troškove zamjene branika ili polubranika, uz uvažavanje perspektivnog broja cestovnih i željezničkih vozila.

3.3.1. Opis modela

Koristeći pretpostavke iznijete u analizi, godišnji troškovi eksploatacije iznose:

$$P = I + 365 \cdot n_o \cdot m_o \cdot \Delta P(L) \cdot C_b \quad (6)$$

gdje je:

I – troškovi eksploatacije bez zamjene polomljenih branika i polubranika

n_o – očekivani broj cestovnih vozila

$\Delta P(L)$ – vjerojatnost nastanka loma branika u intervalu vremena Δt

C_b – cijena zamijenjenog branika ili polubranika

m_o – očekivani broj željezničkih vozila

Vjerojatnost mogućeg loma branika ili polubranika $P(L)$ može se izračunati s pomoću izraza:

$$P(L) = \frac{\sum_{a=1}^s N_{pba}}{365 \cdot \sum_{a=1}^s n_{oa} \cdot \sum_{a=1}^s m_{oa}}$$

gdje je:

N_{pba} – broj polomljenih branika ili polubranika na a -tom cestovnom prijelazu

n_{oa} – broj cestovnih vozila u promatranom vremenu na a -tom cestovnom prijelazu

m_{oa} – broj željezničkih vozila u promatranom vremenu na a -tom cestovnom prijelazu

3.4. Analiza modela za prognoziranje broja zaustavljenih željezničkih vozila i ukupnog vremena zadržavanja

Na osiguranim cestovnim prijelazima dolazi do zaustavljanja željezničkih vozila kada su uređaji za osiguranje cestovnog prijelaza u kvaru. Broj zaustavljanja ovisi o broju i vremenu trajanja kvara, te intenzitetu željezničkog prometa.

3.4.1. Opis modela

Broj vlakova koji se u godini zaustavljaju zbog kvarova cestovnih prijelaza može se prognozirati s pomoću izraza:

$$Q_z = G_k \cdot p_1 \cdot \frac{m_o}{m_d} \quad (\text{želj.vozila/god.})$$

gdje je:

G_k – prognozirani broj kvarova na godinu

p_1 – broj zaustavljenih željezničkih vozila po jednom kvaru

m_o – prognozirani broj željezničkih vozila

m_d – prosječan broj željezničkih vozila u danu

Ukupno vrijeme zadržavanja željezničkih vozila iznosi:

$$t_{zv} = G_k \cdot P_2 \cdot \frac{m_o}{m_d} \cdot t_{pro} \quad (\text{h/na godinu})$$

gdje je:

P_2 – prosječan broj željezničkih vozila koja su zaustavljena zbog jednoga kvara uređaja za osiguranje cestovnog prijelaza

t_{pro} – prosječno vrijeme zadržavanja željezničkih vozila na cestovnom prijelazu

4. GENERIRANJE ALTERNATIVNIH RJEŠENJA

Utvrđivanje optimalne razine osiguranja cestovnog prijelaza zahtijeva poznavanje stanja sustava u promatranom razdoblju za svako alternativno rješenje, koja mogu biti:

A_{n1} – cestovni prijelaz nije osiguran i nema trokuta preglednosti

A_{nt2} – cestovni prijelaz nije osiguran, ali ima trokut preglednosti

A_{b3} – cestovni prijelaz zaštićen branicima

A_{sz4} – cestovni prijelaz osiguran svjetlosno-zvučnom signalizacijom

A_{szp5} – cestovni prijelaz osiguran svjetlosno-zvučnom signalizacijom s polubranikom

A_{d6} – cestovni prijelaz izveden u dvije razine

Pri izboru alternativnog rješenja potrebno je voditi računa o sljedećim ograničenjima:

– cestovni prijelaz treba biti osiguran tako da sudionicima u cestovnom prometu, uz poštivanje prometnih propisa, jamči maksimalnu sigurnost na cestovnom prijelazu,

– meteorološke prilike i smanjena vidljivost također nalažu osiguranje cestovnog prijelaza. Ako je tijekom godine u jesenskom i zimskom razdoblju više od 5% dana vidljivost smanjena za vrijednost:

$$L_v = \frac{v}{3,6} \cdot t_c \quad (\text{m})$$

gdje je:

v – brzina kretanja željezničkog vozila

t_c – vrijeme potrebno za prijelaz najsporijega cestovnog vozila preko cestovnog prijelaza

cestovni je prijelaz potrebno osigurati.

Kako se u općem slučaju na svakom cestovnom prijelazu može koristiti svako alternativno rješenje, to se mogući broj varijanata može predstaviti matricom $A_{66} = (a_{ij})$

$$A_{66} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} & a_{16} \\ \emptyset & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} & a_{26} \\ \emptyset & \emptyset & a_{33} & a_{34} & a_{35} & a_{36} \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & a_{44} & a_{45} & a_{46} \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & a_{55} & a_{56} \\ \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & \emptyset & a_{66} \end{pmatrix}$$

Član a_{ij} označuje mogućnost prijelaza iz alternativne mogućnosti A_i u alternativnu mogućnost A_j . Ako je prolazak preko cestovnog prijelaza moguć vrijednost a_{ij} je 1, a ako nije a_{ij} je 0.

5. OCJENA I IZBOR RJEŠENJA

Analizirajući koordinate sustava, uočava se mogućnost njihova prikazivanja kao troškova eksploatacije, osim sigurnosnog aspekta, i mogu se prevesti na vrijednosni iznos. Pojedina rješenja mogu se uspoređivati korištenjem dvaju kriterija:

f – kriterija sigurnosti, gdje se kao ocjena stupnja sigurnosti uzima broj izvanrednih događaja u određenom razdoblju

f_1 – prevedenih troškova

Pod prevedenim troškovima razumijeva se zbroj svih troškova dobivenih eskontnom ili diskontnom metodom za određeno razdoblje. Najpogodnije rješenje je ona varijanta u koje su troškovi najmanji.

Jedan od mogućih načina izbora rješenja je oblikovanje dvokriterijalne funkcije za svaku varijantu:

$$K_d = T_s + F \cdot U$$

gdje je:

T_s – prevedeni troškovi

F – izabrani koeficijent

U – broj izvanrednih događaja

Ako se umjesto broja izvanrednih događaja uvrsti broj poginulih i teško ozlijeđenih osoba, dobiva se:

$$K_d = T_s + F_1 \cdot B + F_2 \cdot B_1$$

gdje je:

B – broj poginulih osoba

B_1 – broj teško ozlijeđenih osoba

F_1, F_2 – izabrani koeficijenti

Korištenjem koeficijenata F_1 i F_2 uz broj poginulih i teže ozlijeđenih osoba, životima se daje novčana vrijednost. Pri takvom pristupu najkorisnije je prikazati ukupne troškove cestovnog prijelaza ovisne o učestalosti cestovnog i željezničkog prometa, bez troškova investicija. Usporedbom tako dobivenih varijantnih rješenja, moguće je, ovisno o intenzitetu željezničkog i cestovnog prometa, utvrditi potrebu više razine osiguranja.

Godišnji troškovi cestovnog prijelaza, ne računajući troškove investicija, mogu se izračunati korištenjem izraza:

$$\begin{aligned} T_{sa} &= V(n_o \cdot m_o) \\ &= 365 \cdot n_o \cdot m_o \cdot \Delta P(A_1) \cdot P(B_1) \cdot T_{id} + \\ &+ 182,5 \cdot m_o \cdot \left[n_o \cdot \Delta P(C) \cdot t_{pc} + n_o^2 \cdot \Delta P^2(C) \cdot t_s + \right. \\ &+ n_o^3 \cdot \Delta P^3(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}} \cdot t_s + n_o^4 \cdot \Delta P^4(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^2 \cdot t_s + \\ &+ n_o^5 \cdot \Delta P^5(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^3 \cdot t_s + n_o^6 \cdot \Delta P^6(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^4 \cdot t_s \left. \right] \cdot \\ &\cdot (Z_h \cdot Z_g \cdot Z_c) + 365 \cdot m_o \cdot \left[n_d \cdot \Delta P(C) + \right. \\ &+ n_o^2 \cdot \Delta P^2(C) \cdot \frac{t_s}{t_{pc}} + n_o^3 \cdot \Delta P^3(C) \cdot \left(\frac{t_s}{t_{pc}} \right)^2 \left. \right] \cdot Z_p + \\ &+ 365 \cdot n_o \cdot m_o \cdot \Delta P^p(L) \cdot C_b + P + m_o \cdot G_k \cdot p_1 \cdot \frac{1}{m_d} \cdot Z_k + \\ &+ \frac{m_o}{n_o} \cdot G_k \cdot P_2 \cdot t_{pro} \cdot Z_v + 365 \cdot n_o \cdot Z_{do} \end{aligned}$$

gdje su:

T_{id} – troškovi izvanrednog događaja

Z_h – cijena sata zadržavanja cestovnog vozila

- Z_g – potrošnja goriva za vrijeme zadržavanja
- Z_c – cijena goriva
- Z_p – cijena zaustavljanja cestovnog vozila
- Z_k – troškovi zaustavljanja i pokretanja željezničkih vozila
- Z_v – cijena minute zadržavanja željezničkih vozila
- Z_{do} – dodatni troškovi uvećane potrošnje goriva pri svladavanju uspona denivelacije

Prvi član izraza utvrđuje troškove izvanrednog događaja.

Drugi član utvrđuje troškove nastale zadržavanjem cestovnih vozila.

Treći član utvrđuje troškove koji su nastali zaustavljanjem cestovnih vozila.

Četvrti član utvrđuje troškove lomova polubranika i koristi se za proračune u takvoj vrsti osiguranja.

Petim članom izraza utvrđuju se troškovi eksploatacije.

Šesti i sedmi član izraza utvrđuju troškove nastale zaustavljanjem željezničkih vozila.

Osmim članom utvrđuju se troškovi svladavanja uspona na cestovnim prijelazima riješenim u dvije razine.

Nakon obavljene razmjene i sređivanja, izraz glasi:

$$T_{sa} = m_o \cdot (a_0 + a_1 \cdot n_o + a_2 \cdot n_o^2 + a_3 \cdot n_o^3 + a_4 \cdot n_o^4 + a_5 \cdot n_o^5 + a_6 \cdot n_o^6)$$

Veličine članova $a_4 \cdot n_o^4$, $a_5 \cdot n_o^5$ i $a_6 \cdot n_o^6$ su zanemarije, pa slijedi:

$$T_{sa} = m_o \cdot (a_0 + a_1 \cdot n_o + a_2 \cdot n_o^2 + a_3 \cdot n_o^3)$$

Ako se prosječna godišnja stopa rasta broja željezničkih vozila označi s r_1 , a cestovnih vozila s r_2 , troškovi u a -toj godini mogu se izračunati korištenjem podataka sadašnjeg broja cestovnih i željezničkih vozila:

$$T_{sa} = m_a \cdot (1 + r_1)^a \cdot [a_0 + a_1 \cdot n_a \cdot (1 + r_2)^a + a_2 \cdot n_a^2 \cdot (1 + r_2)^{2a} + a_3 \cdot n_a^3 \cdot (1 + r_2)^{3a}]$$

$$T_{sa} = m_a \cdot \left\{ a_0 \cdot (1 + r_1)^a + a_1 \cdot n_a \cdot [(1 + r_1)(1 + r_2)]^a + a_2 \cdot n_a^2 \cdot [(1 + r_1)(1 + r_2)^2]^a + a_3 \cdot n_a^3 \cdot [(1 + r_1)(1 + r_2)^3]^a \right\}$$

Troškovi prevedeni na polaznu godinu iznose:

$$T_{sas} = T_{sa} \cdot \frac{1}{(1 + O_{sk})^a} \quad (\text{K/god.})$$

gdje je:

O_{sk} – oponentna stopa kapitala

$$T_{sas} = m_a \cdot \left\{ a_0 \cdot \left(\frac{1 + r_1}{1 + O_{sk}} \right)^a + a_1 \cdot n_a \cdot \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)}{1 + O_{sk}} \right]^a + a_2 \cdot n_a^2 \cdot \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)^2}{1 + O_{sk}} \right]^a + a_3 \cdot n_a^3 \cdot \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)^3}{1 + O_{sk}} \right]^a \right\}$$

$$+ a_3 \cdot n_a^3 \cdot \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)^3}{1 + O_{sk}} \right]^a \}$$

Promatrajući razdoblje "s" godina, ukupni troškovi iznose:

$$T_s = \sum_{a=1}^s T_{sas}$$

$$T_{sas} = m_a \cdot \left\{ a_0 \cdot \sum_{a=1}^s \left(\frac{1 + r_1}{1 + O_{sk}} \right)^a + a_1 \cdot n_a \cdot \sum_{a=1}^s \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)}{1 + O_{sk}} \right]^a + a_2 \cdot n_a^2 \cdot \sum_{a=1}^s \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)^2}{1 + O_{sk}} \right]^a + a_3 \cdot n_a^3 \cdot \sum_{a=1}^s \left[\frac{(1 + r_1)(1 + r_2)^3}{1 + O_{sk}} \right]^a \right\}$$

Zamjenom i sređivanjem izraz glasi:

$$T_s = m_a \cdot (d_0 + d_1 \cdot n_a + d_2 \cdot n_a^2 + d_3 \cdot n_a^3)$$

Ako s T'_s označimo prevedene troškove bez investicija, s E' troškove investicija za postojeće osiguranje, s T''_s troškove cestovnog prijelaza, a s E'' troškove investicija za novo rješenje, tada se broj željezničkih i cestovnih vozila koja zahtijevaju drugo rješenje osiguranja izračunava iz jednadžbe:

$$T_s + E' = T''_s + E''$$

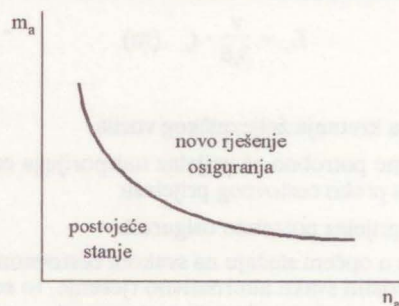
$$m_a (d_0' + d_1' \cdot n_a + d_2' \cdot n_a^2 + d_3' \cdot n_a^3) + d_4' \cdot n_a + d_5' + E' = m_a (d_0'' + d_1'' \cdot n_a + d_2'' \cdot n_a^2 + d_3'' \cdot n_a^3) + d_4'' \cdot n_a + d_5'' + E''$$

$$m_a = \frac{E'' - E' + (d_4'' - d_4') n_a + (d_5'' - d_5')}{d_0'' - d_0' + (d_1'' - d_1') n_a + (d_2'' - d_2') n_a^2 + (d_3'' - d_3') n_a^3}$$

$$m_a = \frac{C_5 + C_4}{C_0 + C_1 \cdot n_a + C_2 \cdot n_a^2 + C_3 \cdot n_a^3}$$

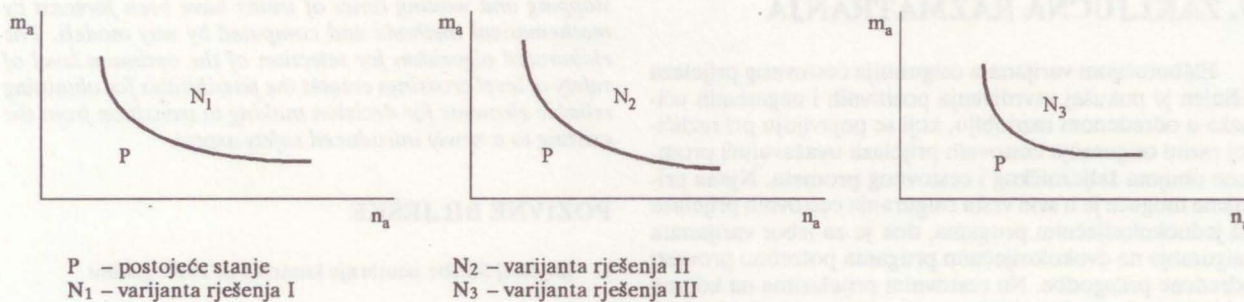
Dobiveni izraz označuje granicu područja postojećeg stanja i novog rješenja, a grafički prikaz je na slici 6.

Usporedbom varijanata rješenja dobivaju se egzaktni



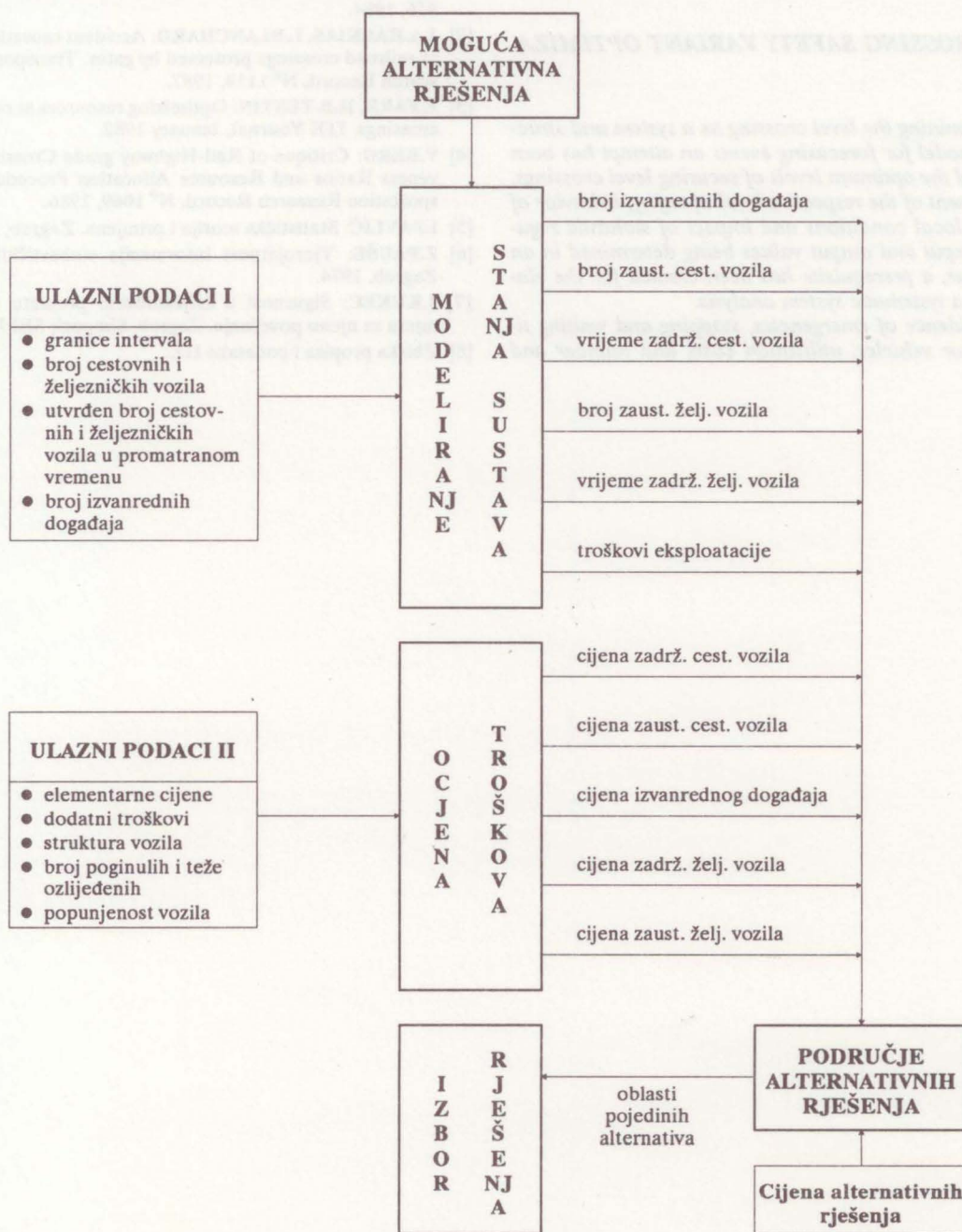
Slika 6. Granična područja odluke

elementi za donošenje odluke o prijelazu s postojećeg na novu vrstu osiguranja (sl. 7.).



Slika 7. Varijante rješenja

6. ALGORITAM ZA IZBOR OPTIMALNE RAZINE OSIGURANJA



7. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Elaboracijom varijanata osiguranja cestovnog prijelaza učinjen je pokušaj utvrđivanja pozitivnih i negativnih učinaka u određenom razdoblju, koji se pojavljuju pri različitoj razini osiguranja cestovnih prijelaza uvažavajući promjene obujma željezničkog i cestovnog prometa. Njena primjena moguća je u svih vrsta osiguranja cestovnih prijelaza na jednokolosiječnim prugama, dok je za izbor varijanata osiguranja na dvokolosiječnim prugama potrebno provesti određene prilagodbe. Na cestovnim prijelazima na kojima je razina osiguranja određena zakonskom regulativom ili prema nekim specifičnostima predočene metode ne treba primjenjivati.

SUMMARY

LEVEL CROSSING SAFETY VARIANT OPTIMIZATION

By determining the level crossing as a system and structuring the model for forecasting events an attempt has been made to find the optimum levels of securing level crossings. The assessment of the respective level of safety, behavior of road users, local conditions and impact of stochastic regularity with input and output values being determined in an exact manner, a prerequisite has been created for the elaboration of a systematic system analysis.

The incidence of emergencies, stopping and waiting times of motor vehicles, utilization costs and number and

stopping and waiting times of trains have been forecast by mathematical methods and computed by way models. The elaborated algorithm for selection of the optimum level of safety of level crossings creates the possibilities for obtaining reliable elements for decision making in transition from the existing to a newly introduced safety aspect.

POZIVNE BILJEŠKE

1. Izvještaj Službe unutarnje kontrole za 1990. godinu.

LITERATURA

- [1] J.S.HITZ: Accident severity prediction formula for rail-highway crossings. Transportation Research Record, N° 956, 1984.
- [2] J.A.HALKIAS, L.BLANCHARD: Accident causation analysis at railroad crossings protected by gates. Transportation Research Record, N° 1114, 1987.
- [3] E.FARR, H.B.TUSTIN: Optimizing resources at rail-highway crossings. ITE Journal, January 1982.
- [4] V.BERG: Critique of Rail-Highway grade Crossing Effectiveness Ratios and Resource Allocation Procedures. Transportation Research Record, N° 1069, 1986.
- [5] I.PAVLIĆ: Statistička teorija i primjena. Zagreb, 1965.
- [6] Z.PAUŠE: Vjerojatnost informacija stohastičkih procesa. Zagreb, 1974.
- [7] J.KUKEC: Sigurnost u željezničkom prometu i prijedlog mjera za njeno povećanje. Zagreb, Simpozij SEPJ, 1988.
- [8] Zbirka propisa i podataka HŽ.