



11.4.2011

**RAZISKAVA PROMETNIH NESREČ
– METODE IN NJIHOVA
ZANESLJIVOST**

prof.dr. Milan Batista
Univerza v Ljubljani
Fakulteta za pomorstvo in promet
Portorož 16.6.2010


 **Nalozba v vaše prihodnost**
UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA POMORSTVO IN PROMET

11.4.2011

...rekonstrukcija nesreče je pogosto težka naloga saj izvedenec, ki ga najame sodišče ali udeleženec, običajno pozna le del dogajanja. Edini podatki s katerimi razpolaga so v mnogih primerih le lege vozil po nesreči in nekaj sledi, ki lahko ostanejo na cesti, pa še te so včasih nezanesljive. Nesreča na cesti je dogodek, ki se zgodi v zelo kratkem času, mnogokrat na nepričakovan način in ima velik psihološki vpliv na očitvidce in udeležence...

G.Genta. Motor Vehicle Dynamics – Modeling and Simulation. World Scientific 1999, str 461

2

 **Nalozba v vaše prihodnost**
UNIVERZA V LJUBLJANI, FAKULTETA ZA POMORSTVO IN PROMET

PROMETNA NESREČA

Prometna nesreča je nesreča na javni **cesti** in ne kategorizirani cesti, ki je dana v uporabo za cestni promet, v kateri je bilo udeleženo vsaj eno premikajoče se **vozilo** in je v njej ena ali več **oseb** umrlo, bilo telesno poškodovanih ali je nastala materialna škoda (ZVCP)

11.4.2011

3

OSNOVNI DEJAVNIKI PROMETNE NESREČE

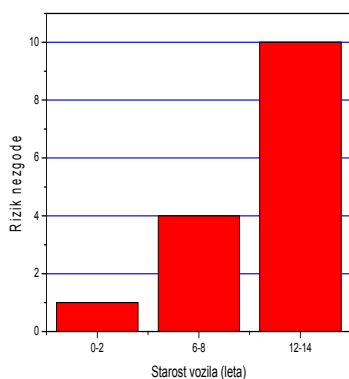
- Voznik
- Vozilo
- Cesta
- Okolica



VOZNIK

- Voznik določa željeno hitrost in smer gibanja vozila. Dejanska hitrost in smer gibanja vozila je odvisna od samega vozila, ceste in okolice.

VOZILO



- Odzivne sposobnosti vozila
- Vzdrževanje vozila (stanje zavor – zmanjšanje, stanje vzmetenja – vpliva na smerno stabilnost vozila)
- Starost vozila (zmanjšanje nosilnosti materiala)

CESTA

- Cesta vpliva na gibanje vozila s svojo geometrijo (horizontalni potek – krivina, vertikalni potek – vzponi in padci oz. vzdolžni nagib, prečni nagib)
- Cesta vpliva na gibanje vozila stanja vozne površine (odvisen od vremenskih pogojev, vzdrževanja, ...)
 - Ravnost
 - Torna sposobnost

OKOLICA

- Vpliv na voznika – megla, bleščanje, dež, prometna signalizacija, promet na sosednjih pasovih, zgradbe, itd
- Vpliv na vozilo – megla (zmanjšanje dolžine svetlobnega snopa), onesnaženje vetrobranskih stekel (blato, dež, sneg), vpliv vode ali leda na zavorno/vlečne sposobnosti pnevmatik
- Prometna ureditev – omejitve hitrosti, določanje prednosti, itd.

OSNOVNI NAMEN REKONSTRUKCIJE NESREČE

11.4.2011

- ugotoviti potek dogodkov v nezgodi (kdo - kaj – kje - kdaj)
- kako tak potek nesreče dokazati

9

NAMEN REKONSTRUKCIJE NEZGODE

- Analza trka – ugotoviti hitrosti vozil pred in po trku
- Analiza poškodb udeležencev – kako so nastale poškodbe
- Analiza možnosti preprečitve nezgode – ali in kako bi se dalo nezgodo preprečiti oz. omiliti njene posledice
- Analiza možnosti preprečitve poškodb udeležencev – uporaba varnostnega pasu, vzglavnika, varnostne blazine; ustrezna konstrukcija notranjost vozila itd.
- Rangiranje vzrokov nezgode – vsi vzroki (vozniki, vozila, cesta, okolica) se ovrednostijo (npr. od 0 do 5). **To ima omejeno uporabo saj gre za subjektivne ocene.**

METODOLOGIJA

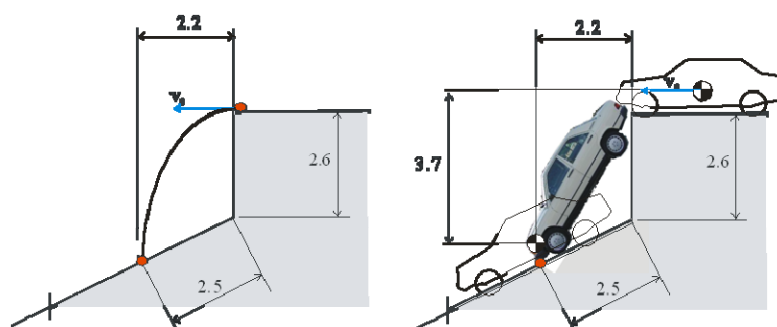
- zbrati in ovrednotiti podatke
- postaviti določene hipoteze
- izbrati ali pa oblikovati matematični model nesreče
- izvesti numerične simulacije
- ovrednotiti zanesljivost dobljenih rezultatov
- napisati mnenje, ki bo razumljivo naročniku

11.4.2011

11

PRIMER MODELA

Primer napačno izbranega modela



11.4.2011

12

DOKUMENTACIJA - ANALIZA

Hipoteza o možnem potek nesreče:

- Katere podatke so na razpolago
- Kateri podatki manjkajo
- Kateri podatki so si nasprotujoči

11.4.2011

13

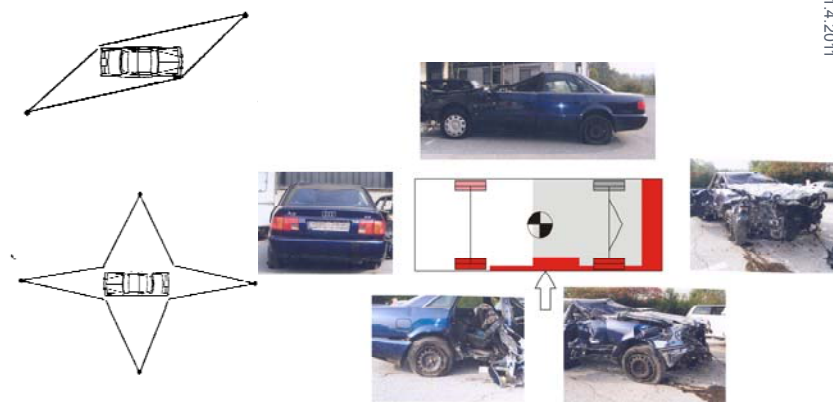
DOKUMENTACIJA - PODATKI

- Dejstva oz. objektivni podatki o nezgodi
 - Podatki o vozilih pred in po nezgodi (geometrija, inercijske lastnosti, poškodbe)
 - Podatki o cesti (geometrija, torne lastnosti, sledi vozil)
 - Podatki o udeležencih (starost, poškodbe,..)
 - Podatki o okolici (prometna ureditev, ...)
- Izjave prič (verodostojnost izjav)
 - Običajno niso usposobljene za spremljaje poteka nezgode
 - Hitrosti in razdalje so slabo (napačno) ocenjene
 - Panika med udeleženci onemogoča zbrano spremljanje dogodkov

DOKUMENTACIJA

- Skica mesta nezgode
 - Ročna skica (na mestu nezgode)
 - Skica v merilu – potek ceste, lega vozil, sledi...
- Fotografije z mesta nezgode
 - Orjencijski posnetek
 - Pregledni posnetek
 - Posnetek podrobnosti (mesto trka, poškodbe vozil, sledi,...)
- Policijski zapisnik
 - Vrsta, tip in letnik vozila
 - Število potnikov, tovor, ...
 - Stanje pnevmatik
 - Uporaba in delovanje varnostnih pasov in zračnih blazin
 - Pogoji vožnje, stanje ceste,...

DOKUMENTACIJA - FOTOGRAFIJE



DOKUMENTACIJA - VPRAŠANJA

Vprašanja za voznika:

- od kje, kam in po katerem delu vozišča je vozil,
- s kakšno hitrostjo je vozil in kaj je nameraval (voziti naravnost, zaviti, ...)
- ali je pred in po trku zaviral in/ali se je skušal trku izmakniti z zavojem,
- kje je zaznal nevarnost, pri čemer je bolj pomembno, da to mesto opiše (npr. prometni znak, hiša, drevo, ovinek) kot da oceni razdaljo ali čas (ta ocena je izredno nezanesljiva),
- kje je prišlo do trka in s katerim delom je trčil,
- kje se je vozilo ustavilo in/ali je trčil še v kak drug objekt...

11.4.2011

17

INŽINERSKA ANALIZA NESREČE

- Osnovna znanja
 - Osnovni pojmi mehanike
 - Osnovni zakoni mehanike
- Posebna znanja
 - Dinamika vozil
 - Biomehanika
- Matematični model nezgode
- Simulacija

OSNOVNI POJMI

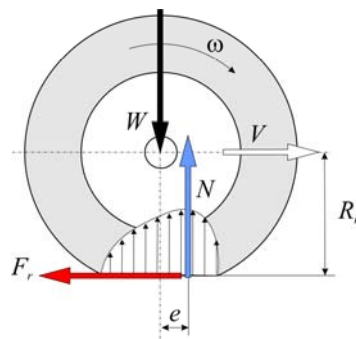
- Lastnosti teles
 - Masa
 - Masno središče
 - Vzstrajnostni moment
 - Togost
- Kinematični pojmi
 - Lega, orientacija
 - Hitrost, kotna hitrost
 - Pospešek/pojemek
- Dinamični pojmi
 - Sila, navor, energija, gibalna količina

OSNOVNI ZAKONI MEHANIKE

- Zakon inercije
- Newton zakon: sila = masa x pospešek
- Zakon akcije-reakcije
- Ohranitveni zakoni:
 - Zakon o ohranitvi energije
 - Zakon o ohranitvi gibalne in vrtilne količine
- Konstitutivni zakoni (trenje, restitucija, togost, ...)

OCENA POJEMKA VOZILA PRED IN PO TRKU 1/3

Pri zaviranju, ko so kolesa delno ali popolnoma zavrta, se med pnevmatiko in podlago ustvari torna sila, katere velikost je odvisna od vertikalne sile s katero kolo pritiska na podlago in koeficienta drsnega trenja.



11.4.2011

21

OCENA POJEMKA VOZILA PRED IN PO TRKU 2/3



Sledi zaviranja



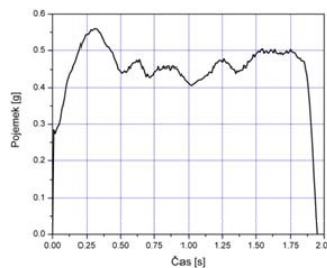
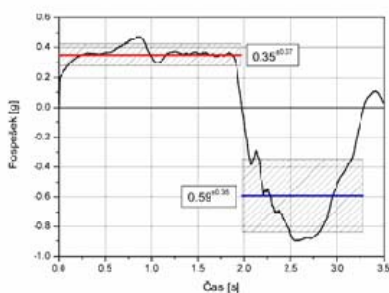
Sledi zanašanja

11.4.2011

22

OCENA POJEMKA VOZILA PRED IN PO TRKU 3/3

Pojemek ni stalen !!!



11.4.2011

23

VREDNOTENJE POŠKODB VOZIL 1/3

Za potrebe analize prometne nesreče se trajne poškodbe vozila udeleženega v trku vrednotijo z energijo, ki je potrebna za nastanek teh poškodb. To energijo izrazimo s hitrostjo, ki jo imenujemo energijsko enakovredna hitrost EES (Energy Equivalent Speed). Metodi:

- primerjalna metoda
- analitična metoda (CRASH – Calspan Reconstruction of Speeds on the Highway)

11.4.2011

24

VREDNOTENJE POŠKODB VOZIL 2/3

Primerjalna metoda



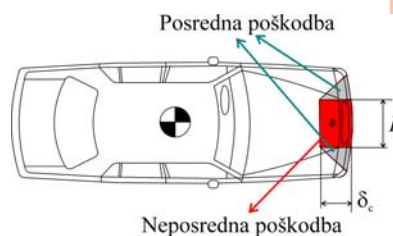
Slika na levi prikazuje dokumentirane poškodbe iz kataloga poškodb, desno pa poškodbe vozila udeleženega v trku. Ocenjeni EES je v tem primeru 28-30 km/h

11.4.2011

25

VREDNOTENJE POŠKODB VOZIL 3/3

CRASH Metoda



Ocena profila poškodb iz fotografije. Izračunana vrednost EES, ki ustreza globini poškodb 0.25 m v širini 0.3 m, je 15 km/h

11.4.2011

26

REAKCIJSKI ČAS 1/2

Reakcijski čas voznika je čas, ki preteče od trenutka, ko voznik zazna nevarnost do trenutka, ko se voznik bodisi z zaviranjem in/ali pa obračanjem volana odzove na nastale okoliščine

Vrednosti:

- Naša sodna praksa 1 s
- Meritve 0.8 do 1.8 s, 85% 1.4 s

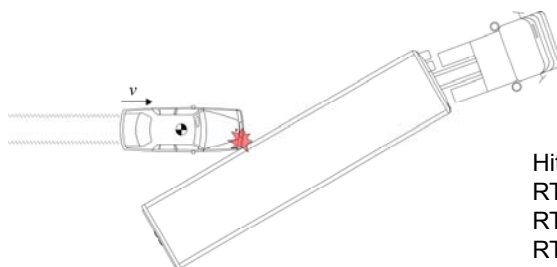
11.4.2011

27

REAKCIJSKI ČAS 2/2

Primer naleta v mestu (50 km/h omejitev hitrosti)

- Naletna hitrost 24 km/h (poškodbe)
- Pojemek 0.5 g (meritev)
- Razdalja 30 m (ogled)



Hitrost pred zaviranjem

RT 0.6 s 57 km/h

RT 1.0 s 51 km/h

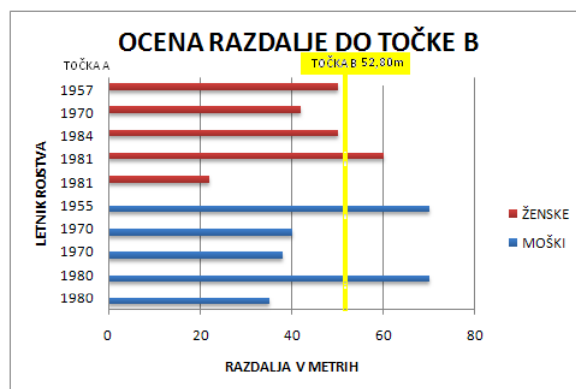
RT 1.8 s 42 km/h

11.4.2011

28

OCENA RAZDALJE 1/2

11.4.2011

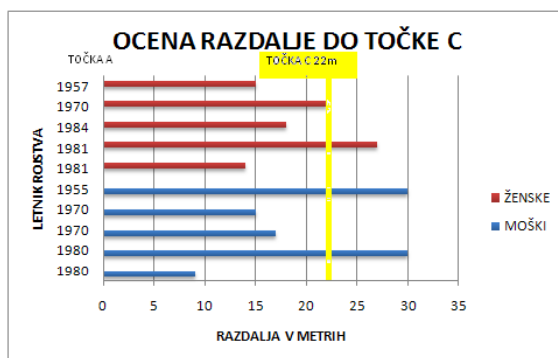


A.Škofič – Diplomsko delo UL FPP 2010

29

OCENA RAZDALJE 2/2

11.4.2011

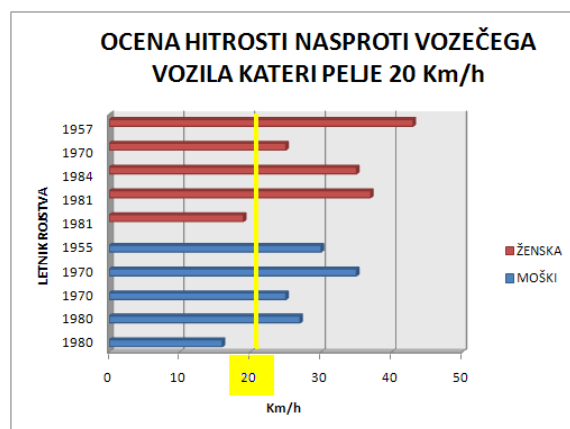


A.Škofič – Diplomsko delo UL FPP 2010

30

OCENA HITROSTI

11.4.2011



A.Škofič – Diplomsko delo UL FPP 2010

31

METODE OBRAVNAVE TRKOV

- Osnovni metodi
 - Impulzna metoda (telesa so toga, trk je trenuten)
 - Deformacijske metode (telo je deformabilno, izračun kontaktnih sil)
- Ostale metode
 - Metoda končnih elementov
 - Metode dinamike sistemov togih teles

UPORABNOST METOD

- Podatki o masi in vztrajnostnih momentih vozil
- Impulzna metoda
 - Hitrosti vozil pred trkom
 - Lege vozil pred in po trku
 - Restitucijski koeficient
 - Koeficient trenja med vozili
- Deformacijska metoda
 - Podatki o togosti vozil
 - Koeficient trenja med vozili
 - Podatki o poškodbah vozil
 - Omejena na hitrosti od 20-70 km/h (vozilo razpade)

RAČUNALNIŠKI PROGRAMI

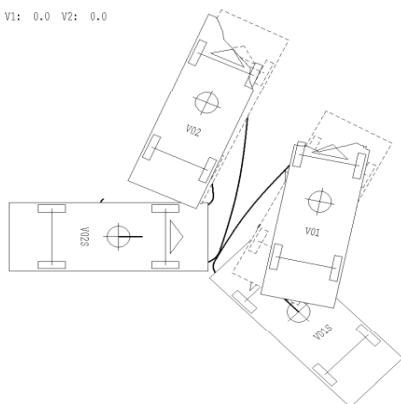
- Deformacijski model trka (2D)
 - SMAC (m-smac, EdSmac, WinSmac)
- Impulzni model trka (3D)
 - PC Crash
 - CARAT
 - WIN CRASH

UPORABNOST RAČUNALNIŠKIH PROGRAMOV

- Problem so zanesljivi vhodni podatki (nekaj 10 podatkov)
- Uporaba programa ne vodi nujno k zanesljivim rezultatom (GIGO)
- Računalniška simulacija odgovarja na vprašanje kako bi lahko bilo in ne kako je bilo

PRIMER SIMULACIJE

Time: 3.000 V1: 0.0 V2: 0.0

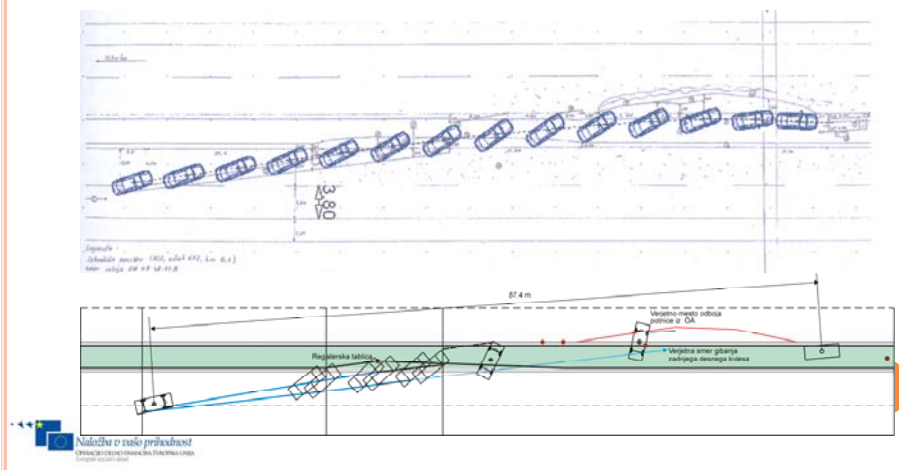


Računalniška simulacija testnega trka JARI 1. Najmanjša dosežena napaka ujemanje lege vozil po trku je bila 9%. Pri tej napaki je bila hitrost vozila V1 50.9 km/h, (izmerjena 49.9 km/h), hitrost vozila V2 pa 50.7 km/h (izmerjena 49.6 km/h)

PRIMER SIMULACIJE

Gibanje vozila se ne ujema s dokumentiranimi sledmi

11.4.2011



POŠKODBE UDELEŽENCEV

Izkustveni kriteriji

- skrajšana poškodvena lestvica (AIS - Abbreviated Injury Scale)
- kriterij poškodbe glave (HIC - Head Injury Criterion).

HIC pa je kriterij, ki vrednoti pospešek glave potnika pri čelnem trku. Vrednost $HIC = 1000$ je meja nad katero lahko pričakujemo rizične poškodbe glave

11.4.2011

38

AIS LESTVICA POŠKODB

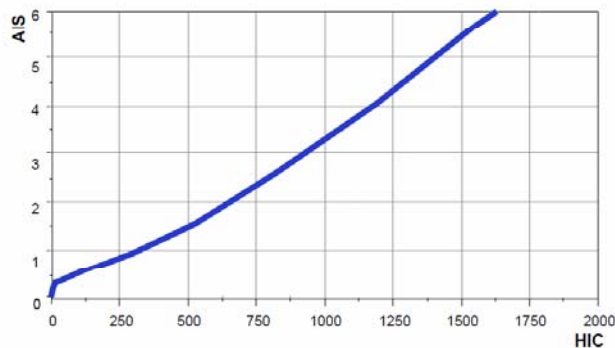
11.4.2011

AIS	Vrsta poškodb
0	brez
I	meja poškodb (površinske rane, udarnine, bolečine v mišicah)
II	zmerne do srednje težke (globoke rane v mehkem tkivu, pretres možganov z izgubo zavesti do 15 min, nekomplikirani zlomi dolgih kosti, nekomplikirani zlomi reber)
III	težke vendar ne življenjsko nevarne poškodbe, ki pri medicinski oskrbi omogočajo preživetje (premaknjeni zlomi lobanje brez poškodb možganov, premiki vretenc brez poškodb hrbtenjače, večkratni zlomi reber brez zapletov pri dihanju)
IV	težke poškodbe, ki so lahko življenjsko nevarne, vendar jih je večinoma mogoče preživeti (pretres možganov z zlomom lobanje ali brez z izgubo zavesti do 24 ur, nestabilen prsni koš z zapleti pri dihanju, raztrganine mehurja, jeter, vranice in črevesja, premiki posameznih segmentov hrbtenice)
V	kritične, življenjsko nevarne poškodbe z vprašljivo možnostjo preživetja, preživetje brez zdravniške pomoči ni možno (raztrganine srca in črevesja, izguba zavesti nad 24 ur)
VI	najtežje poškodbe brez možnosti preživetja (zlomi vratne hrbtenice nad tretjim vratnim vretencem s poškodbami hrbtenjače, najtežje odprte poškodbe trebušne votline)

39

ZVEZA MED HIC IN AIS

11.4.2011



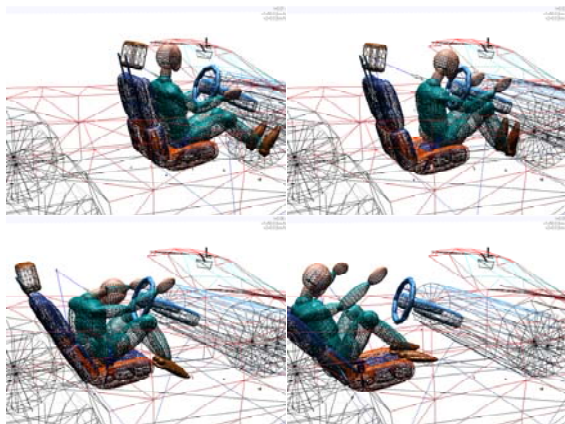
Dr. M. Shojaati. Correlation between injury risk and impact severity index ASI

40

SIMULACIJA TRKA

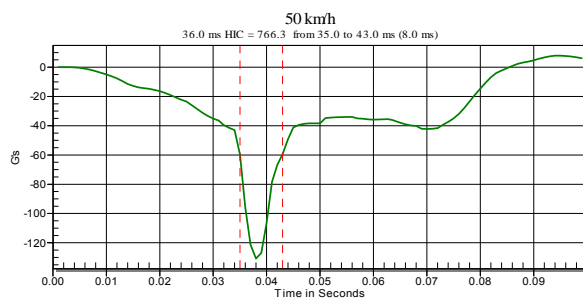
Simulacija trka zadnjega dela zaviranega vozila (0.8 g) s hitrostjo 50 km/h v mirujočo oviro

11.4.2011



41

IZRAČUN HIC



Pospeški glave pri trku vozila v mirujoče vozilo

11.4.2011

42

OCENA NAPAKE IZRAČUNOV V ANALIZI NESREČE

Problem

- Vsi podatki so obremenjeni z napakami
- Kako to vpliva na izračune ?

11.4.2011

43

NAPAKE

- Napaka modela
- Napaka podatkov in ocen
- Numerične napake

OCENA ZANESLJIVOSTI IZRAČUNA

- Analitična ocena napake (omejena uporaba)
- Min-Max izračun (za n podatkov je 2^n izračunov)
- Statistična ocena napake (omejena uporaba)
- Monte Carlo simulacija (generiranje naključnih podatkov)
 - Statistična analiza izračunov da srednjo vredost in standardno deviacijo

METODA MONTE CARLO

- Vrednosti spremenljivk generiramo naključno
- Izvedemo veliko število izračunov
- Rezultate izračunov statistično vrednotimo

Problem: porazdelitvena funkcija neodvisnih spremenljivk ni znana

NAKLJUČNE SPREMENLJIVKE

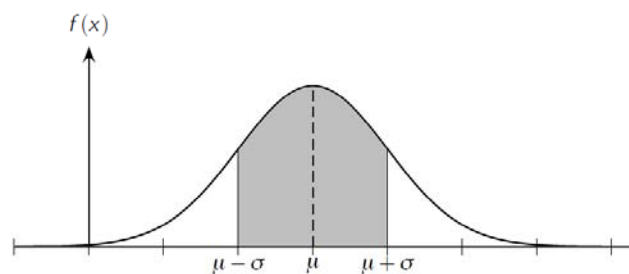
Naključne spremenljivke pri rekonstrukciji nesreč

- Koefficient drsnega trenja
- Naklon ceste
- Togost vozila
- Značilnosti človeka
 - Hitrost hoje
 - Reakcijski čas
 - Hitrost sukanja volana

11.4.2011

47

STATISTIČNO VREDNOTENJE



Normalna porazdelitev verjetnosti:
1 σ 66%, 2 σ 95%, 3 σ 99%

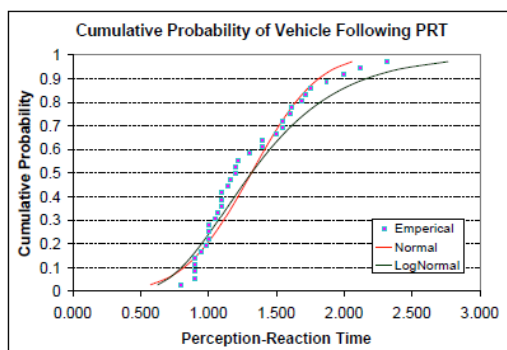
11.4.2011

48

PRIMER – REAKCIJSKI ČAS

Normalna porazdelitev

11.4.2011

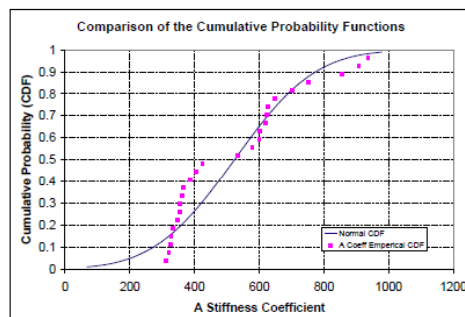


49

PRIMERI – TOGOST VOZIL

Porazdelitev togosti vozil ni normalna !!!

11.4.2011



50

PRIMER IZRAČUNA

Primer: reakcijski čas

$$RT = 1.75 \text{ s} \quad SD=0.2 \text{ s}$$

Vprašanje: kolikšna je reakcijska pot, če je hitrost 72 km/h (20 m/s)?

Zveza med potjo in časom je linearna: $s_R = vt_R$

$$\text{Srednja vrednost} = 20.0 \times 1.75 = 35.0 \text{ m}$$

$$\text{Standardni odklon} = 20.0 \times 0.2 = 4.0 \text{ m}$$

Odgovor: 95% časa bo reakcijska pot med 27 in 43 m.

Hvala za pozornost