

# Zaštitne ograde na mostovima

Ana Mandić, Zlatko Šavor, Vlatko Grgić

## Ključne riječi

most,  
zaštitna ograda,  
zadržavanje vozila,  
udar vozila,  
kriteriji zaštite,  
deformacija ograda

## Key words

bridge,  
guardrail,  
vehicle containment,  
vehicle impact,  
protection criteria,  
guardrail deformation

## Mots clés

pont,  
garde-corps,  
retenue de véhicule,  
choc de véhicule,  
critères de protection,  
déformation de garde-corps

## Ключевые слова

мост,  
защитное ограждение,  
удержание автомобиля,  
удар автомобиля,  
критерий защиты,  
деформация ограждения

## Schlüsselworte

Brücke,  
Schutzplanke,  
Anhalten des Fahrzeugs,  
Schlag des Fahrzeugs,  
Schutzkriterien,  
Verformung,  
Geländer

A. Mandić, Z. Šavor, V. Grgić

Stručni rad

## Zaštitne ograde na mostovima

Prema novim europskim smjernicama pri odabiru zaštitne ograde na mostu potrebno je, osim kriterija zadržavanja vozila, razmotriti i učinak udara na korisnike vozila te deformaciju sustava zadržavanja. Prikazani su kriteriji zaštite od udara i smjernice za odabir zaštitne ograde. Dan je postupak za određivanje prosječne sile udara vozila u skladu s ispitivanjem za zahtijevanu razinu zadržavanja i ovisno o deformaciji ograde. Učinci su uspoređeni na starom i novom mostu Rječina.

A. Mandić, Z. Šavor, V. Grgić

Professional paper

## Bridge guardrails

According to new European guidelines for selection of bridge guardrails, it is necessary to consider not only the vehicle containment criterion, but also the impact on vehicle users, and deformation to the vehicle containment system. Impact protection criteria and guardrail selection guidelines are presented. The procedure for defining an average vehicle impact force is given based on the required containment level testing and guardrail deformation level. The effects registered on the old Rječina bridge and the new Rječina bridge are compared.

A. Mandić, Z. Šavor, V. Grgić

Ouvrage professionnel

## Garde-corps pour ponts

Selon les nouvelles directives Européennes pour la sélection des garde-corps pour ponts, il ne suffit pas de prendre en considération seul le critère de retenue de véhicules, mais il est aussi nécessaire de prendre en compte le impact subi par les passagers et la déformation du système de retenue de véhicules. Les critères de protection contre choc et les directions pour la sélection des garde-corps sont présentés. La procédure servant à définir la force moyenne de choc de véhicule est présentée compte tenu de l'essai pour le niveau requis de retenue et de la déformation de garde-corps. Les effets enregistrés sur le pont ancien de Rječina et sur le pont neuf de Rječina sont comparés.

A. Мандић, З. Шавор, В. Гргич

Отраслевая работа

## Защитные ограждения на мостах

В соответствии с новыми европейскими рекомендациями при выборе защитного ограждения моста помимо критерия удержания автомобиля, необходимо рассмотреть действие удара на пользователя автомобиля и деформацию системы удержания. Приведены критерии защиты от удара и рекомендации по выбору защитного ограждения. Приводится процедура определения средней силы удара автомобиля в соответствии с испытаниями для требуемого уровня удержания и в зависимости от деформации ограждения. Произведено сравнение результатов на старом и новом мостах Речина.

A. Mandić, Z. Šavor, V. Grgić

Fachbericht

## Schutzplanken auf Brücken

Nach den neuen europäischen Richtlinien ist es bei der Auswahl der Schutzplanken auf Brücken notwendig, ausser dem Kriterium des Anhaltens der Fahrzeuge, auch den Effekt des Schlags auf die Benutzer des Fahrzeugs sowie die Verformung des Anhaltesystems zu erwägen. Dargestellt sind Kriterien des Schutzes vom Schlag und Richtlinien für die Auswahl der Schutzplanke. Man gibt das Verfahren für die Bestimmung der durchschnittlichen Kraft des Fahrzeugschlags im Einklang mit der Untersuchung für das geforderte Niveau des Anhaltens und abhängig von der Verformung der Schutzplanke. Die Effekte wurden auf der alten und neuen Brücke Rječina verglichen.

Autori: Doc. dr. sc. **Ana Mandić**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Zlatko Šavor**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet Zagreb; **Vlatko Grgić**, dipl. ing. građ., meridian Nova Energija d.o.o., Zadar

## 1 Uvod

Prema članku 89 Pravilnika o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama [11], razred sustava zaštitnih ograda bira se ovisno o kategoriji ceste za rub kolnika, razdjelni pojas ili građevinu isključivo prema kriteriju razine zadržavanja. Kriteriji razine zadržavanja definirani su u normi EN 1317-2 [2] (tablica 1.), a vezani su uz uvjete ispitivanja na udare različitih vrsta vozila, odgovarajuće ukupne mase koja se kreće definiranom brzinom i pod određenim kutem udara (tablica 2.).

Ovaj Pravilnik projektantu mosta na brzjoj cesti propisuje da predvidi ugradnju zaštitne ograde višeg razreda zadržavanja H2, pri čemu je proizvođač dužan atestom dokazati propisana svojstva ispitivanjima za osobno vozilo težine 900 kg koje nalijeće na ogradu brzinom 100 km/h i pod kutom 20° (TB 11) i na autobus težine 13000 kg koji nalijeće na ogradu brzinom 70 km/h i pod kutom 20° (TB 51). Za most na autocesti zahtijeva se primjena razine zadržavanja H2 ili H3, a za mostove koji prevode ceste nižih kategorija H1 ili H2, uz odgovarajuće vrste ispitivanja.

No, prema suvremenim smjernicama, a koje su sadržane u novoj europskoj normi niza EN 1317 [1, 2] kriterij zadržavanja vozila nije dovoljan, već je potrebno razmotriti i ozbiljnost učinka udara na korisnike vozila te deformaciju samoga zaštitnog sustava nakon udara (točka 2.).

Osim toga, za odabir odgovarajuće razine zadržavanja valja uzeti u obzir moguće sadržaje ispod mosta (druge prometnice, kuće i sl.) i uvjete prometa na mostu (brzina kretanja vozila, ukupna količina i brojnost pojedinih vrsta vozila) pa su na temelju istraživanja ovih čimbenika sastavljene smjernice i preporuke za pravilan odabir zaštitne ograde (točka 3.).

Spomenute europske norme prvenstveno su namijenjene proizvođačima, a projektant treba ispitati učinke primjene odgovarajućeg tipa ograde na konstrukciju novog mosta u projektnoj dokumentaciji ili na konstrukciju postojećeg mosta tijekom održavanja (zamjena ograde, potreba za ojačanjem, točka 4.).

## 2 Kriteriji zaštite od udara

Kriteriji koji se primjenjuju za procjenu učinkovitosti zaštitnih cestovnih sustava za definiranje granice prihvatljivosti i za opisivanje tehničkih razreda jesu:

- kriterij zadržavanja vozila (sposobnost zaštitnog sustava da preusmjeri probno vozilo)
- kriterij ozbiljnosti učinka udara na korisnike vozila (rizik ozljeđivanja putnika vozila)
- kriterij deformacije zaštitne ograde (deformacija zaštitne ograde nakon udara vozila).

### 2.1 Kriterij zadržavanja vozila

Razina zadržavanja vozila jest sposobnost zaštitnog sustava da preusmjeri probno vozilo (propisane težine, brzine i kuta udara). Razine zadržavanja sukladno EN 1317-2 [2] podijeljene su u više kategorija i označavaju se slovima T (niska razina zadržavanja), N (normalna razina zadržavanja), H i L (visoka razina zadržavanja) i H4a/b i L4a/b (vrlo visoka razina zadržavanja).

Cestovni zaštitni sustavi ispituju se na najveća moguća opterećenja koja mogu uzrokovati teška vozila kao što su kamioni, autobusi i tegljači. Tako se npr. za zaštitne ograde koje se u posebnim uvjetima rabe na mostovima (H4b) primjenjuje natovareni tegljač s ukupnom masom od 38 t (TB 81).

Osim zadržavanja teških vozila na mostu, potrebno je ostvariti sigurnost osobnih vozila i njihovih korisnika. Svi sustavi s visokim razinama zadržavanja H i L ispituju se dodatno i s vozilima težine 900 kg (TB11), čime se dokazuje uporabljivost zaštitnih cestovnih sustava na sva vozila. Zaštitni se sustavi oznake L dodatno moraju ispitati i za udar osobnog vozila mase 1500 kg koje nalijeće na ogradu brzinom 110 km/h pod kutom 20° (TB32). Tako razina zadržavanja označava maksimalno opterećenje zaštitnih cestovnih sustava, ali pritom pruža maksimalnu sigurnost i za manja vozila.

Ponašanje zaštitnih cestovnih sustava podrazumijeva da vozilo ne smije ozbiljno oštetiti ili preskočiti sustav. Niti jedna deformacija zaštitnih cestovnih sustava ne smije prouzročiti probijanje vozila. To je svojstvo osobito bitno pri uporabi zaštitnih cestovnih sustava na mostovima, gdje bi probijanje vozila uzrokovalo znatne štete. Sustav mora zadržati i preusmjeriti vozilo na kontroliran i predvidljiv način.

Kriteriji za određivanje razine zadržavanja zaštitnih cestovnih sustava mogu se odrediti iz uvjeta ispitivanja opisanih u tablicama 1. i 2.

Tablica 1. Vrste i kriteriji ispitivanja na udar vozila

	Brzina udara (km/h)	Kut udara (°)	Ukupna masa vozila (kg)	Vrsta vozila
TB 11	100	20	900	automobil
TB 21	80	8	1300	automobil
TB 22	80	15	1300	automobil
TB 31	80	20	1500	automobil
TB 32	110	20	1500	automobil
TB 41	70	8	10000	kamion
TB 42	70	15	10000	kamion
TB 51	70	20	13000	autobus
TB 61	80	20	16000	kamion
TB 71	65	20	30000	kamion
TB 81	65	20	38000	tegljač

Tablica 1. prikazuje vrste ispitivanja na udare određenih vozila, dajući podatke kao što su brzina vozila, kut udara, ukupna masa vozila, vrsta vozila.

Kako bi se dokazala odgovarajuća razina zadržavanja, primjenjuju se odgovarajuće vrste ispitivanja što je pregledno prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Razine zadržavanja i odgovarajuće vrste ispitivanja

Razina zadržavanja	Ispitivanje
Niska razina zadržavanja	
T1	TB 21
T2	TB 22
T3	TB 41 i TB21
Normalna razina zadržavanja	
N1	TB 31
N2	TB 32 i TB 11
Visoka razina zadržavanja	
H1	TB 42 i TB 11
L1	TB 42 i TB 32 i TB 11
H2	TB 51 i TB 11
L2	TB 51 i TB 32 i TB 11
H3	TB 61 i TB 11
L3	TB 61 i TB 32 i TB 11
Vrlo visoka razina zadržavanja	
H4a	TB 71 i TB 11
L4a	TB 71 i TB 32 i TB 11
H4b	TB 81 i TB 11
L4b	TB 81 i TB 32 i TB 11

## 2.2 Kriterij ozbiljnosti učinka udara na korisnike vozila

Kriterij ozbiljnosti učinka udara na korisnike vozila može se definirati kao rizik ozljeđivanja putnika u vozilu. Određuje se na temelju triju pokazatelja [1]:

- Indeks ozbiljnosti ubrzanja (ASI - *Acceleration Severity Index*) jest funkcija vremena, proračunava se ovisno o graničnim vrijednostima ubrzanja tijela i ubrzanja odabrane točke na vozilu uprosječenog za vremenski interval od 50ms. Ova bezdimenzionalna veličina daje mjeru ozbiljnosti gibanja vozila na putnika koji sjedi blizu odabrane točke u vozilu i pokazatelj je opasnosti nevezanja putnika u vozilu.
- Teorijska brzina udara glave (THIV - *Theoretical Head Impact Velocity*) predstavlja brzinu udara slobodne mase (glave putnika u vozilu) u unutarnju površinu vozila, nakon što je vozilo naglo promijenilo brzinu i smjer prilikom udara u zaštitni sustav. Teorijska brzina udara glave jest relativna brzina u vremenu u km/h i mjera je ozbiljnosti udara vozila u sustav zadržavanja.

- Usporavanje glave nakon udara (PHD - *Post-impact Head Deceleration*) jest maksimalno ubrzanje odabrane točke, ovisno o teorijskoj brzini udara, a pokazatelj je težine posljedica na putnika nakon udara u unutrašnjost vozila.

Razina ozbiljnosti udara služi prvenstveno kao prikaz veličine rizika od ozljeđivanja korisnika osobnog vozila prilikom njegova udara u sustav zadržavanja (tablica 3.). Ovaj je prikaz utoliko važan što se u 85 % slučajeva skretanja vozila s voznog traka radi o osobnim vozilima [13]. Prema indeksu ozbiljnosti udara razlikuju se tri razine ozbiljnosti udara.

Tablica 3. Razine ozbiljnosti udara i odgovarajuće vrijednosti pokazatelja

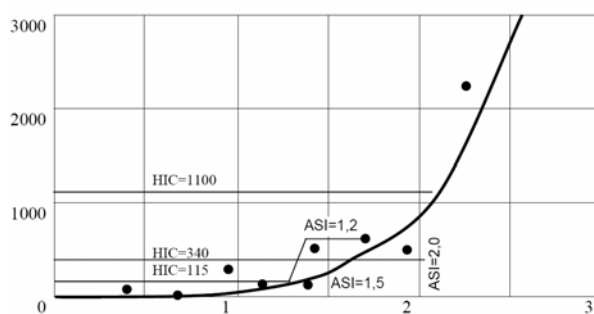
Razina ozbiljnosti udara	Vrijednosti pokazatelja
A	ASI ≤ 1,0
B	ASI ≤ 1,4
C	ASI ≤ 1,9

i

THIV ≤ 33 km/h
----------------

Razina ozbiljnosti udara A predstavlja za putnike u vozilu veću sigurnosnu razinu nego razina B. Jednako tako razina B predstavlja veću razinu sigurnosti nego razina C. Razina C pridodana je normama 2007. godine [1] iako postoje studije o štetnosti navedene razine.

Tako je u studiji [13] utvrđena veza između indeksa ozbiljnosti udara i kriterija povrede glave prikazana na slici 1. Kriterij povrede glave (HIC - *Head Injury Criterium*) je jedan od pokazatelja povrede putnika prilikom prometnih nesreća. Pri frontalnom udaru vrijednost 200 ovog kriterija upozorava na znatnu opasnost od povreda putnika, dok se vrijednost 1000 povezuje s ozbiljnim povredama.



Slika 1. Odnos kriterija povrede glave i indeksa ozbiljnosti udara

Vidljivo je da s porastom indeksa ozbiljnosti ubrzanja (ASI) vrijednost kriterija povrede glave (HIC) raste eksponencijalno. Prema mjerenjima, dopuštena granica indeksa ozbiljnosti ubrzanja (ASI) jest vrijednost 1,5. Do vrijednosti ASI indeksa 1,0, vrijednost kriterija povrede glave HIC se nalazi ispod 100, ali s povećanjem vrijednosti ASI indeksa od 1,4 na 1,9 vrijednost pokazatelja HIC penje se na 1000.

Dakle, što je veća vrijednost ASI indeksa, to je veća opasnost da će prilikom nesreće nastati ozbiljne povrede. Stoga je uvođenje razreda C koji predstavlja potencijalnu opasnost za vozače i putnike upitno.

### 2.3 Kriterij deformacije sustava zadržavanja

Deformacije sustava zadržavanja određuju tri parametra:

- Radna je širina ( $W$  - *working width*) maksimalni bočni razmak unutarnje strane nedeformiranog sustava zadržavanja prije udara i maksimalnoga dinamičkog položaja tog sustava nakon udara (tablica 4.). Ako se sustav zadržavanja zbog udara vozila toliko deformira da mjerenje tog položaja nije moguće, zamjenski se za radnu širinu uzima najveći bočni položaj bilo kojeg dijela vozila.

Tablica 4. Razredi razina radne širine

Razredi razina radne širine	Razine radne širine (m)
W1	$W_N \leq 0,6$
W2	$W_N \leq 0,8$
W3	$W_N \leq 1,0$
W4	$W_N \leq 1,3$
W5	$W_N \leq 1,7$
W6	$W_N \leq 2,1$
W7	$W_N \leq 2,5$
W8	$W_N \leq 3,5$

- Dinamički je progib ( $D$  - *dynamic deflection*) maksimalni dinamički bočni pomak neke točke unutarnje strane sustava zadržavanja. Za uske sustave zadržavanja, dinamički se progib teško mjeri, a za takve se slučajeve može uzeti jednak radnoj širini ( $W$ ).

Tablica 5. Razredi prodiranja vozila

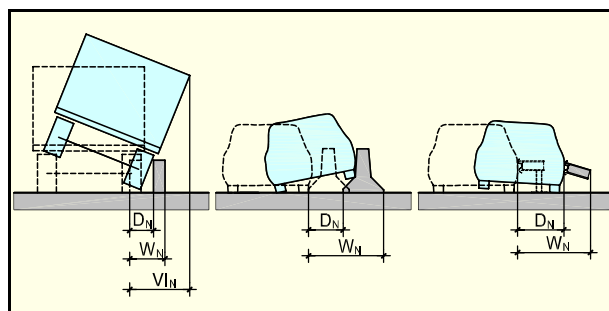
Razredi razina prodiranja vozila	Razine prodiranja vozila (m)
VI1	$VI_N \leq 0,6$
VI2	$VI_N \leq 0,8$
VI3	$VI_N \leq 1,0$
VI4	$VI_N \leq 1,3$
VI5	$VI_N \leq 1,7$
VI6	$VI_N \leq 2,1$
VI7	$VI_N \leq 2,5$
VI8	$VI_N \leq 3,5$
VI9	$VI_N > 3,5$

- Prodiranje vozila ( $VI$ ) prikazuje maksimalnu bočnu poziciju vozila pri udaru u sustav zadržavanja tablica 5.).

Ovi se parametri ispituju kod visokih vozila kod kojih postoji mogućnost bočnog izlijetanja preko sustava zadržavanja. U ta vozila ubrajaju se kamioni, autobusi i sl.

Svrha mjerenja ovih parametara jest ustanoviti veličinu bočnog prostora potrebnog za ispravnost sustava zadržavanja.

Na slici 2. prikazani su neki primjeri navedenih parametara koji se primjenjuju pri ispitivanju pojedinih sustava zadržavanja.



Slika 2. Primjeri radne širine  $W_N$ , dinamičkog progiba  $D_N$  i prodiranja vozila  $VI_N$

### 3 Smjernice za odabir čelične zaštitne ograde

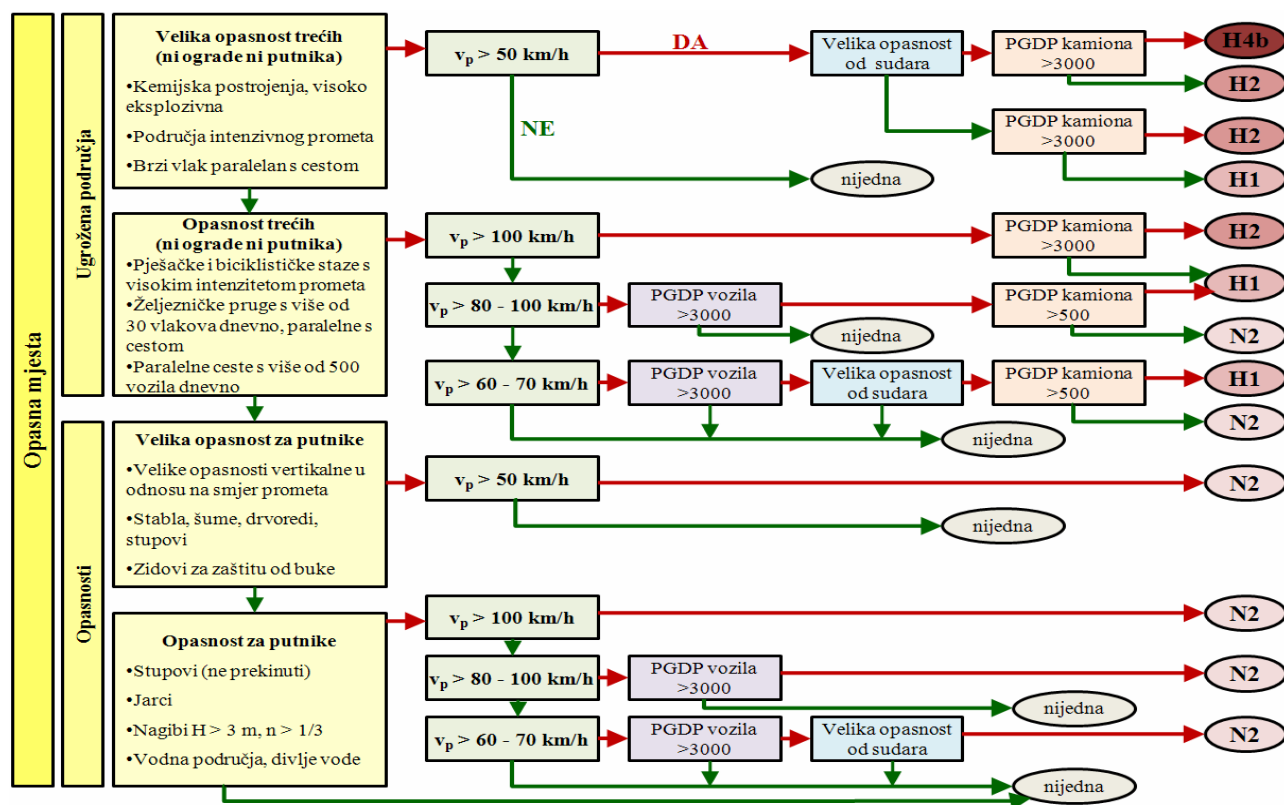
Usporedno s odredbama normi razvijaju se smjernice i preporuke za izbor potrebne razine zadržavanja, ovisno o mjestu opasnosti i uvjetima prometa. Pri odabiru sustava zadržavanja potrebno je voditi računa o sljedećem:

- mjestu ugradnje (obične ceste, autoceste, mostovi i druge prometnice)
- brzini kretanja vozila (prosječna i maksimalna brzina kretanja)
- ukupnoj količini vozila (brojnost svih automobila, kamiona i autobusa)
- pojedinačnoj brojnosti vozila (brojnost automobila, kamiona i autobusa).

Ispitivanja njemačke agencije za prometnice [6] pridonijela su stvaranju dijagrama toka koji projektantima olakšava izbor čelične zaštitne ograde. Ovaj dijagram (slika 3.) primjenjuje se za izbor sustava zadržavanja na vanjskom rubnjaku kolnika [7, 12].

Prema ovim smjernicama, u razdjelnom pojasu valja kao minimalnu razinu zadržavanja primjenjivati visoku razinu H2. Tamo gdje je prosječni godišnji dnevni promet kamiona veći od 3000 kamiona u kombinaciji s povećanom vjerojatnošću sudara, razdjelne pojase valja zaštititi sustavima vrlo visoke razine zadržavanja H4b.

Na mostovima i uz kolnike autocesta treba predvidjeti ograde visoke razine zadržavanja H2, a pri posebnoj ugroženosti trećih i brzinama većim od 100 km/h i vrlo vi-



Slika 3. Dijagram toka za odabir čelične zaštitne ograde

soku razinu zadržavanja H4b. Naime, bitan je element i okolina koja se nalazi neposredno oko prometnice.

Mostovi ispod kojih se nalaze druge prometnice ili naselja moraju se osjetno jače zaštititi od pada vozila s mosta koji bi mogao prouzročiti golemu štetu drugim građevinama. Zbog toga se takvi mostovi najčešće osiguravaju najvećom razinom zadržavanja H4b.

Ako su brzine kretanja najviše 100 km/h i prosječan godišnji dnevni promet kamiona najviše 300, dopušta se primijeniti i razinu zadržavanja ograde na mostu H1. U razdjelnim pojasi na mostovima treba odabirati jednake razine zadržavanja kao i na dionici ceste ispred i iza mosta.

Odluku o odabiru zaštitne ograde L jednake razine zadržavanja odgovarajućoj razini H treba donijeti nadležno upravno tijelo.

Na osnovi izbora razine zadržavanja potrebno je iz kataloga proizvođača izabrati vrstu ograde koja zadovoljava traženu razinu. Istodobno, je potrebno odrediti kriterij ozbiljnosti učinka udara na korisnike vozila, koji se utvrđuje indeksom ozbiljnosti ubrzanja (ASI), kao i radnu širinu ograde (W) pri njezinoj deformaciji.

#### 4 Učinak udara vozila u sustav zadržavanja

Udar vozila u sustav zadržavanja uzrokovat će određene učinke na mostu koje valja na pravilan način obuhvatiti proračunom. Izvanredna djelovanja od udara vozila da-

na su u projektantskim normama no valja razmotriti i učinke udara stvarnih vozila koji proizvode sile jednake onima u probnim ispitivanjima pojedinih ograda. Pod stvarnim vozilima podrazumijevaju se vozila koja se pojavljuju na cestama s određenom težinom i dimenzijama i prosječnim brzinama kretanja.

Naime pri projektiranju novog mosta valja provjeriti da sila udara stvarnog vozila ne prelazi normiranu silu, a pri zamjeni zaštitnih ograda na postojećem mostu valja provjeriti je li silu koju zaštitna ograde može izdržati manja od normirane vrijednosti i da li njezine učinke konstrukcija mosta može izdržati.

##### 4.1 Sila udara vozila

Europska norma EN 1991-2 [3] preporučuje primjenu četiriju razreda za izvanrednu horizontalnu silu udara koja djeluje na sustav zadržavanja. Razredu A odgovara sila od 100 kN, razredu B od 200 kN, razredu C od 400 kN, a razredu D od 600 kN. Ove se vrijednosti preporučuju s obzirom na krutost pričvršćenja ograde za rasponski sklop, pri čemu će vrlo jako pričvršćenje rezultirati velikom silom razreda D, a slabo pričvršćenje najmanjom silom razreda A koja redovito odgovara ogradama razine zadržavanja H2.

U skladu s dodatkom B norme EN 1317-1 [1], moguće je odrediti silu udara od stvarnog vozila uz poznavanje njegove mase, dimenzija, brzine kretanja i kuta udara.

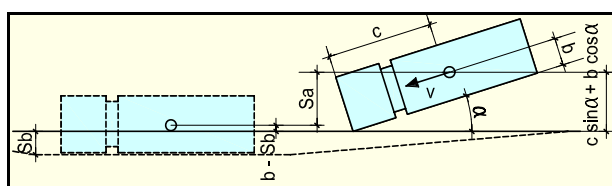
Početa brzina vozila okomita na zaštitnu ogradu iznosi:

$$v_n = v \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

Pomak težišta vozila određuje se u skladu sa slikom 4. prema izrazu:

$$s_n = c \cdot \sin \alpha + b(\cos \alpha - 1) + s_b \quad (2)$$

gdje je  $s_b$  maksimalni dinamički pomak prometu okrenute površine zaštitne ograde (točnije zbroj bočnog progiba zaštitne ograde i dijela deformiranja vozila), a može se zamijeniti radnom širinom sustava zadržavanja  $W_N$ ;  $c$  se može uzeti kao pola duljine vozila;  $b$  kao pola širine vozila (slika 4.).



Slika 4. Pomak težišta vozila

Prosječno ubrzanje centra gravitacije vozila okomito na zaštitnu ogradu možemo dobiti prema:

$$\bar{a}_n = \frac{v_n^2}{2 \cdot s_n} \quad (3)$$

pa prosječna sila koja djeluje okomito na zaštitnu ogradu iznosi:

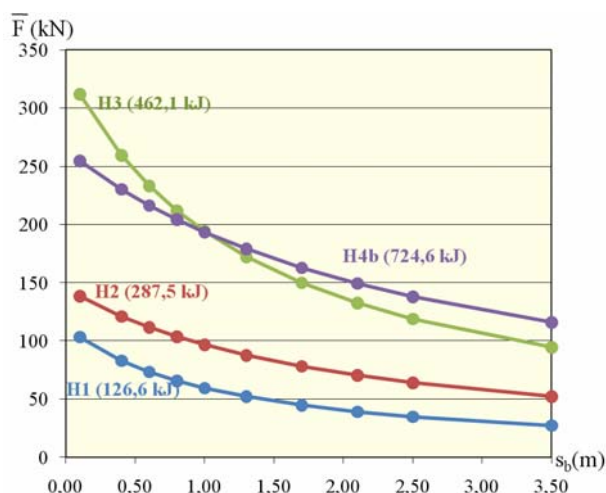
$$\bar{F} = m \cdot \bar{a}_n = \frac{m \cdot (v \sin \alpha)^2}{2 \cdot [c \cdot \sin \alpha + b(\cos \alpha - 1) + s_b]} \quad (4)$$

Iz zakona očuvanja energije može se dobiti jednaki rezultat. Tijekom prve faze udara poprečnu kinetičku energiju vozila valja izjednačiti s radom poprečne sile na pomaku težišta vozila:

$$\frac{m \cdot v_n^2}{2} = \bar{F} \cdot s_n \Rightarrow \bar{F} = \frac{m \cdot v_n^2}{2 \cdot s_n} \quad (5)$$

Prosječna sila daje red veličine međudjelovanja između vozila i ograde tijekom udara. Prikladna je za prvu procjenu ukupne sile pri proračunu pričvršćenja zaštitne ograde i procjenu ozbiljnosti za vozilo koje je udarilo u nju. Teorijski i eksperimentalni rezultati pokazuju da je mjerodavna maksimalna sila za proračun usidrenja zaštitne ograde 2,5 puta veća od  $\bar{F}$ . U radu [4] primijenili smo ju za kontrolu armature u konzolama poprečnog presjeka mosta na izvanrednu kombinaciju djelovanja.

Deformacija, odnosno pomak zaštitne ograde iznimno utječe na vrijednost sile udara što je grafički prikazano dijagramom na slici 5. za neke razrede zadržavanja.



Slika 5. Prosječna sila udara u ovisnosti o pomaku zaštitne ograde za neke razine zadržavanja

Dijagrami su konstruirani na izmjere vozila prema [14] na temelju ulaznih podataka iskazanih u tablici 6.

Tablica 6. Usporedba ulaznih podataka i učinaka udara vozila na starom i novom mostu

Parametri	Stari južni most		Novi sjeverni most	
	H1	H2	H3	H4b
Razina zadržavanja	H1	H2	H3	H4b
Masa vozila $m$ (kg)	10000	13000	16000	38000
Brzina kretanja $v$ (km/h)	70	70	80	65
Kut naleta $\alpha$ (°)	15	20	20	20
Dimenzije $2c \cdot 2b$ (m·m)	kamion 9,0·2,4	autobus 12·2,6	kamion 8,5·2,4	tegljač 16,5·2,5
Radna širina $W_i$ (m)	1,6	2,2	2,5	2,5
Horizontalna sila $H$ (kN)	46,53	68,93	120,02	138,22
Vertikalna sila $V$ (kN)	98	128	157	373
Moment od $H$ $m_{v,H}$ (kNm/m)	4,18	6,19	15,92	18,30
Moment od $V$ $m_{v,V}$ (kNm/m)	40,19	52,49	68,01	161,57
Postojeća armatura konzole $A_{post}$ (cm <sup>2</sup> )	3,95	3,95	20,93	20,93
Potrebna armatura konzole $A_{pot.}$ (cm <sup>2</sup> )	14,37	16,93	11,94	19,48

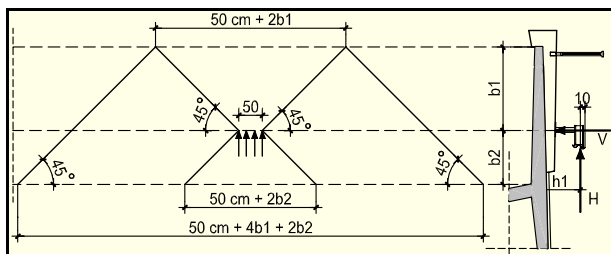
Veća prosječna sila udara za zaštitnu ogradu H3 u području pomaka zaštitne ograde do 1,0 m u odnosu na silu za ogradu H4b, posljedica je manjih dimenzija vozila koja se primjenjuju pri ispitivanju ove ograde (tablica 6).

Vidljivo je da sila za pomak zaštitne ograde od 0,6 m (što odgovara radnoj širini  $W1$ ) može biti i više od 2,5 puta veća od sile za pomak 3,5 m (što odgovara radnoj širini  $W8$ ). Stoga je iznimno važno pri razmatranju pričvršćenja ograde na rasponski sklop i učinaka samog udara na most poznavati sve kriterije zaštite od udara pojedine zaštitne ograde.

#### 4.2 Raspodjela sila na konzoli

Pri proračunu za izvanredno djelovanje udara vozila u zaštitnu ogradu mosta valja istovremeno s horizontalnom silom udara uzeti u obzir i djelovanje vertikalne sile od vozila. Norma EN 1991-2 [3] predlaže vrijednost  $0,75\alpha_{Q1}Q_{1k}$ , gdje  $Q_{1k}$  odgovara osovinskom opterećenju prvog voznoga traka prema proračunskom Modelu 1 prometnog opterećenja i iznosi 300 kN, a  $\alpha_{Q1}$  je faktor prilagođavanja koji se može uzeti s vrijednošću 0,8. Proizlazi da bi vertikalno opterećenje iznosilo 180 kN. Ovdje je za kontrolu udara stvarnog vozila upotrijebljeno njegovo stvarno vertikalno opterećenje.

Horizontalna sila  $H$  djeluje 10 cm ispod vrha zaštitne ograde na duljini 50 cm. Uz pretpostavku da je vijenac kruti disk koji raspodjeljuje ovo djelovanje u horizontalnoj ravnini, horizontalna sila udara rasprostire se pod kutom od  $45^\circ$  u skladu sa slikom 6., prvo prema rubu konzole, a zatim natrag pod istim kutom do mjesta upetosti konzole u sanduk, odnosno presjeka u kojem se razmatraju unutrašnje sile [5].



Slika 6. Shema raspodjele sila pri udaru vozila

Vertikalna sila  $V$  rasprostire se izravno do mjesta upetosti konzole u sanduk. Unutrašnje sile ( $v_z$  poprečna sila po metru dužnom,  $m_{y,H}$  i  $m_{y,V}$  momenti savijanja od horizontalne odnosno vertikalne sile) na mjestu upetosti konzole u rasponski sklop iznose:

$$v_z = V / (0,5m + 2b_2) \quad [\text{kN/m}] \quad (6)$$

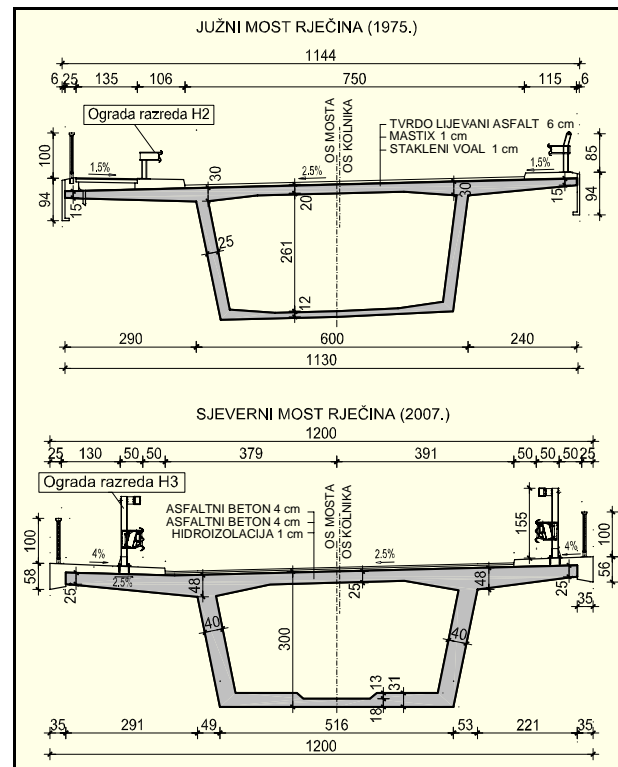
$$m_{y,H} = H \cdot h_1 / (0,5m + 4b_1 + 2b_2) \quad [\text{kNm/m}] \quad (7)$$

$$m_{y,V} = V \cdot b_2 / (0,5m + 2b_2) \quad [\text{kNm/m}] \quad (8)$$

#### 4.3 Stari i novi most Rječina

Kao primjer učinaka udara vozila u zaštitne ograde različitih razina zadržavanja razmatra se primjena različitih

tipova ograde na starom i novom mostu Rječina. Izvorni projekt južnog mosta Rječina, koji je pušten u promet 1988. godine, izrađen je prije 35 godina [8], dok je novi sjeverni most projektiran 2007. godine [9, 10] prema suvremenim zahtjevima nosivosti, uporabljivosti i trajnosti. Iako su mostovi na prvi pogled vrlo slični, znatno veća prometna i potresna djelovanja te suvremena tehnologija izvedbe i nove spoznaje o trajnosti konstrukcija imaju za posljedicu povećane dimenzije poprečnih presjeka.

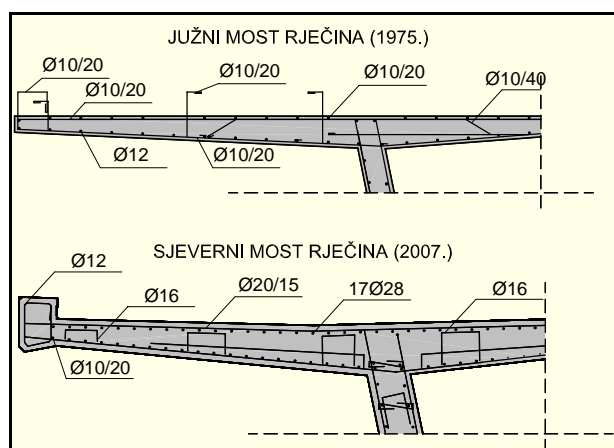


Slika 7. Poprečni presjeci starog i novog mosta u polju

Na novom mostu prema vrijedećim propisima primijenjena je zaštitna ograde razine zadržavanja H3, dok se za ogradu na starom mostu smatra da je razine zadržavanja H2 (slika 7.). U radu [4] proveden je proračun učinaka udara stvarnih vozila na mostove s ugrađenim ogradama (H2 na starom i H3 na novom mostu), ali je provjeren i učinak udara za ograde nižih i viših razina zadržavanja (H1 na starom i H4b na novom mostu).

Stvarno postojeća armatura u konzolama sandučastih presjeka starog i novog mosta uspoređena je s armaturom potrebnom s obzirom na udare koje određene razine zadržavanja moraju podnijeti (slika 8.).

Rezultati su prikazani u tablici 6. te pokazuju da je kod starog mosta Rječina nužno ojačanje da bi konzola mogla podnijeti učinke udara probnog vozila u ogradu. Postojeća armatura u konzoli ne zadovoljava ni jednu visoku razinu zadržavanja.



Slika 8. Armatura konzola starog i novog mosta

Proračunom za novi most utvrđeno je da postojeća armatura u konzoli zadovoljava i učinke udara vozila za vrlo visoke razine zadržavanja te bi bila moguća i primjena ograde H4b-W7.

## 5 Zaključak

Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama omogućava izbor zaštitne ograde isključivo prema kriteriju razine zadržavanja. Prema suvremenim smjernicama, uz navedeni kriterij valja razmotriti i ozbiljnost učinka udara na korisnike vozila te deformaciju samog sustava zadržavanja nakon udara.

Deformacija, odnosno pomak sustava zadržavanja uvelike utječe na vrijednost sile udara, a što je povezano s krutošću pričvršćenja ograde u rasponski sklop i učincima na samu konstrukciju mosta.

Izvanredna djelovanja od udara vozila opisana su u eurokodovima. Pri projektiranju novog mosta treba voditi računa o tome da se ne odabere normirana sila udara manja od sile udara stvarnog vozila koje određena zaštitna ograda mora zadržati. Ako se pri održavanju postojećih mostova odabere zaštitna ograda na koju udar stvarnog vozila konstrukcija mosta ne može podnijeti, treba izraditi projekt ojačanja.

## LITERATURA

- [1] EN 1317-1: *Road restraint systems – Part 1: Terminology and general criteria for test methods*, European Committee for Standardization, Bruxelles, August 2010.
- [2] EN 1317-2: *Road restraint systems – Part 2: Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods for safety barriers including vehicle parapets*, European Committee for Standardization, Bruxelles, Juli 2010.
- [3] EN 1991-2: *Actions on structures – Part 2: Traffic loads on bridges*, European Committee for Standardization, Bruxelles, September, 2003.
- [4] Grgić, V.: *Zaštitne ograde na cestama i mostovima*, diplomski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, 2010.
- [5] König, G., Maurer, R., Viet Tue, N., Kliver, J., Bornmann, M.: *Leitfaden zum DIN Fachbericht 102 Betonbrücken*, Ernst & Sohn, 2003.
- [6] Kübler, J.: *Improvement of safety on German bridges – New safety barriers to avoid a fall down of heavy lorries (Bundesanstalt für Straßenwesen – BASt)*, Young Researchers Seminar of FERHL, ECTRI, FERSI 2007.
- [7] Martínez, A.V.: *RISER Guidelines – Protection of Hazards*, RISER Seminar on Safer Roadside Engineering, Budapest, November, 2005.
- [8] Most Rječina – Glavni projekt, Inženjerski projektirni biro – Zagreb, 1976.
- [9] Most Rječina – Glavni projekt, Građevinski fakultet – Zagreb, 2007.
- [10] Most Rječina – Izvedbeni projekt, Građevinski fakultet – Zagreb, 2009.
- [11] Pravilnik o prometnim znakovima, signalizaciji i opremi na cestama, Narodne novine 33/2005, 64/2005 i 155/2005.
- [12] RISER – *Roadside Infrastructure for Safer European Roads*, Report on project founded by the European Community under the Competitive and Sustainable Growth Programme, Chalmers University of Technology on behalf of the RISER Consortium, 2005.
- [13] Shojaati, M.: *Correlation between injury risk and impact severity index ASI*, 3<sup>rd</sup> Swiss Transport Research Conference, Monte Verità/Ascona, March 19-21, 2003.
- [14] Vesnjak, M., Borovinšek, M., Ren, Z.: *Computational simulations of road safety barriers using LS-DYNA*, DYNAMore GmbH, B-III-11 – B-III-18, 2007.