

# Pouzdanost stupova uz prometnice pri udaru vozila

---

**Tkalčević Lakušić, Višnja**

*Source / Izvornik:* **Građevinar, 2012, 64, 305 - 313**

**Journal article, Published version**

**Rad u časopisu, Objavljena verzija rada (izdavačev PDF)**

<https://doi.org/10.14256/JCE.652.2011>

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:892541>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-11-28**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the Faculty of Civil Engineering,  
University of Zagreb](#)



Primljen / Received: 16.2.2012.

Ispravljen / Corrected: 20.4.2012.

Prihvaćen / Accepted: 27.4.2012.

Dostupno online / Available online: 25.5.2012.

# Pouzdanost stupova uz prometnice pri udaru vozila

Autor:



Doc.dr.sc. **Višnja Tkalčević Lakušić**, dipl.ing. građ.  
Sveučilište u Zagrebu  
Građevinski fakultet  
[visnjat@grad.hr](mailto:visnjat@grad.hr)

Pregledni rad

**Višnja Tkalčević Lakušić**

## Pouzdanost stupova uz prometnice pri udaru vozila

U radu je dan cjeloviti pregled pasivno pouzdanih stupova uz prometnice s obzirom na materijal izrade i svojstva apsorpcije energije. Razmatrane su razine pasivne pouzdanosti stupova za putnike u vozilu. Analizirano je ponašanje triju tipova stupova pri sudaru s vozilom, i to s obzirom na mogućnost apsorpiranja određene količine energije, način otkazivanja nosivosti i sigurnost putnika u vozilu. Detaljno su prikazane prednosti i nedostaci primjene pasivno pouzdanih stupova u odnosu na tradicionalne krute stupove, koji se danas još uvijek u najvećoj mjeri ugrađuju uz prometnice.

**Ključne riječi:**

stupovi uz prometnice, pouzdanost stupova, udar vozila, apsorpcija energije, sigurnost putnika

Subject review

**Višnja Tkalčević Lakušić**

## Safety of roadside columns in case of vehicle impact

A comprehensive overview of passively safe roadside columns, with an emphasis on materials they are made of and energy absorption properties, is presented in the paper. Levels of passive safety of columns with respect to safety of vehicle occupants are considered. The behaviour of passively safe roadside columns in impact with vehicles is analyzed with respect to their energy absorption possibilities, failure modes and safety of vehicle occupants. Advantages and deficiencies of the use of passively safe columns, as compared to traditional rigid columns that are today most often used alongside roadways, are presented in full detail.

**Key words:**

roadside columns, safety of columns, vehicle impact, energy absorption, passenger safety

Übersichtsarbeit

**Višnja Tkalčević Lakušić**

## Zuverlässigkeit von Leitpfosten im Falle eines Fahrzeugaufpralls

In der Arbeit wird eine Gesamtübersicht von passiv zuverlässigen Leitpfosten mit Hinsicht auf das Ausbaumaterial und die Energieabsorptionseigenschaften gegeben. Es werden die Gradierungen der passiven Zuverlässigkeit von Pfosten für die Passagiere in Betracht gezogen. Analysiert wurden drei Pfostentypen bei einem Fahrzeugaufprall, und zwar hinsichtlich der Möglichkeit der Absorption einer bestimmten Energiemenge, Art des Nachlassens der Tragfähigkeit und der Sicherheit der Fahrzeugpassagiere. Die Vor- und Nachteile der Anwendung passiv zuverlässiger Pfosten im Vergleich zu den traditionellen starren Pfosten, die heute noch größtenteils entlang den Fahrbahnen eingebaut werden sind detailliert dargestellt.

**Schlüsselwörter:**

Leitpfosten, Zuverlässigkeit der Leitpfosten, Fahrzeugaufprall, Energieabsorption, Sicherheit der Passagiere

## 1. Uvod

Nesreće su na cestovnim prometnicama, nažalost, dio naše svakodnevice. Prema podacima Ministarstva unutarnjih poslova [1], na hrvatskim se cestama u posljednjih 10 godina dogodilo 663 tisuće prometnih nesreća, pri čemu je smrtno stradalo više od 6 tisuća osoba, teško je ozlijeđeno 42 tisuće osoba, a 187 tisuća je lakše ozlijeđeno. Stupovi uz prometnice, kao što su rasvjetni stupovi, stupovi semafora te prometnih znakova, vrlo su često mjesto udara vozila sa smrtnim posljedicama (slika 1.). Prema statistikama, nakon sudara vozila sa stupovima uz prometnice svake godine u svijetu smrtno strada tisuću ljudi, a stotine tisuća bivaju ozlijeđeni.



Slika 1. Najteže posljedice udara vozila u stupove [2]

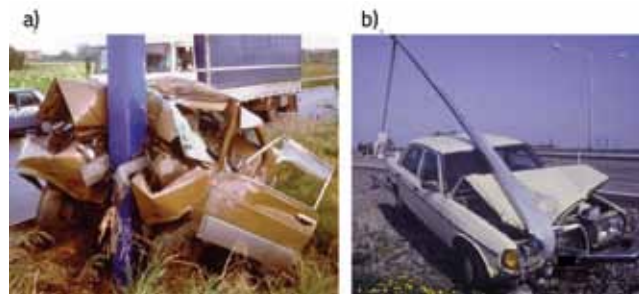
Kako bi se smanjili broj i težina prometnih nesreća uzrokovanih udarima vozila u objekte uz prometnice, Europska je komisija 2000. godine predložila primjenu pasivno pouzdane opreme uz prometnice, posebno rasvjetnih stupova s odgovarajućim svojstvima apsorpcije energije pri udaru vozila u stup.

Pojam aktivne ili primarne pouzdanosti vozila i opreme uz prometnice označava da su projektirani tako da zajedno s vozačem i uvjetima na cesti minimiziraju rizik da uopće dođe do prometne nesreće. Tako na primjer ABS sustav vozila, retrovizori, pregledna instrument ploča i dobro rasvijetljena prometnica omogućuju sigurniju vožnju.

S druge strane, pasivna ili sekundarna pouzdanost vozila i opreme uz prometnice označava da se vozila i oprema uz prometnice projektiraju na način da se zaštite putnici u vozilu kad se nesreća dogodi. Dakle, pasivna pouzdanost štiti putnike pri sudaru. Primjerice, moderni se automobili izrađuju od sofisticiranih kompozitnih materijala s dobrim svojstvima apsorpcije energije prilikom sudara. Sada se može postaviti pitanje što je s opremom uz prometnice.

Za ilustraciju, na slici 2. prikazane su posljedice udara vozila slične brzine na dvije različite konstrukcije stupova. Na slici 2.a) prikazan je udar vozila u uobičajeni kruti stup, kakvi se obično nalaze uz naše prometnice, a na slici 2.b) prikazan

je udar vozila u deformabilan stup, koji pripada kategoriji pasivno pouzdanih konstrukcija.



Slika 2. Posljedice udara vozila na različite tipove stupova [3]; a) kruti stup, b) deformabilan stup

Poznato je da se pri udaru vozila u stup stvara velika količina energije. Uobičajeni kruti stupovi ne mogu preuzeti energiju koja se stvorila prilikom sudara, pa se gotovo sva energija prenosi na vozilo i putnike u njemu. U tom slučaju dolazi do pre naglog zaustavljanja vozila i teških posljedica za putnike u vozilu. Međutim, primjenom stupova koji se mogu deformirati i apsorbirati energiju uvelike se smanjuje energija koju bi moralo apsorbirati vozilo pri sudaru, pa će u takvom slučaju usporavanje vozila biti manje, a sigurnost putnika u vozilu veća.

## 2. Utjecaj materijala stupa na mogućnost apsorpcije energije

Na mogućnost apsorpcije energije pri sudaru između ostalog, utječe i materijal od kojeg je izrađen stup. Stupovi uz prometnice izrađuju se od drva, armiranog betona, čelika, aluminija i kompozitnih materijala. Pri sudaru vozila s drvenim ili betonskim stupovima ne dolazi do velikih deformacija stupova. Međutim, kod čeličnih, aluminijevih i kompozitnih stupova takve deformacije su veće poradi mogućnosti apsorpcije više energije tijekom sudara.

Najčešći materijal koji se danas rabi za izradu stupova uz prometnice jest čelik. Razlog tome je činjenica što su čelični stupovi relativno lagani, trajni s odgovarajućom antikorozivnom zaštitom, prihvatljive cijene, imaju veliku otpornost na umor materijala te se mogu u cijelosti reciklirati. Istraživanje provedeno u Nizozemskoj [4] pokazalo je da su aluminijevski rasvjetni stupovi pogodniji u slučaju udara vozila od, primjerice, čeličnih ili betonskih stupova. Naime, pri udaru vozila, aluminijevski stup apsorbira 50% više energije nego čelični stup iste težine pa je vjerojatnost ozljeda putnika u vozilu znatno smanjena. Budući da su aluminijevski stupovi vrlo lagani, gotovo 1/3 lakši od čeličnih, lakši su i za izvođenje. Za aluminijevske stupove nije potrebno održavanje jer ne korodiraju pa nema potrebe za skupim zaštitama površine i imaju dugi vijek trajanja. Aluminijevski su stupovi atraktivnog izgleda, lagani i fleksibilni, a u isto vrijeme čvrsti i stabilni. Aluminij se

također može u cijelosti reciklirati, pri čemu se koristi relativno malo energije, a nakon recikliranja ne dolazi do degradacije ove sirovine.

U posljednje se vrijeme za izradu stupova uz prometnice rabe kompozitni materijali kao najskuplja alternativa konvencionalnim materijalima, ali s odličnim svojstvima apsorpcije energije pri sudaru. Kompozit se općenito definira kao kombinacija dvaju ili više kemijski različitih materijala (metali, keramike, polimeri) i/ili oblika (vlakna, lamele, zrna) s jasnim graničnim spojem između komponenti i svojstvima boljim od pojedinačnih komponenata radi postizanja odgovarajućeg svojstva (čvrstoća, gustoća, krutost, tvrdoća). Osim veće mogućnosti apsorpcije energije, kao prednosti kompozitnih stupova u odnosu na čelične ili aluminijske može se izdvojiti: manja težina, a time i lakša montaža, veća vlačna čvrstoća te vatrootpornost. Nadalje, kompozitni su stupovi izuzetno otporni na nepovoljne utjecaje iz okoline (voda, kemikalije, sol) pa su manje osjetljivi na koroziju i nije potrebno održavanje.

### 3. Tipovi pasivno pouzdanih stupova prema normi EN 12767

Procjena pouzdanosti pasivno pouzdane opreme uz prometnice u zemljama Europske Unije provodi se u skladu s normom EN 12767:2007 - Passive Safety of Support Structures for Road Equipment - Requirements and Test methods [5]. U ovoj su normi definirane razine pasivne pouzdanosti za nosivu konstrukciju opreme koja se postavlja uz prometnice, kao što su stupovi, zaštitne ograde i sl.

U normi su također dana pravila za izvođenje i interpretaciju rezultata pokusnih sudara (*engl. crash tests*) pri različitim uvjetima udara i različitim brzinama vozila. Zahtijeva se provođenje dvaju tipova pokusnih sudara:

- pokusni sudar kod brzine 35 km/h kako bi se osiguralo zadovoljavajuće funkcioniranje konstrukcije kod male brzine,
- pokusni sudari kod brzine 50, 70 ili 100 km/h.

Prema EN 12767:2007 pasivno pouzdani stupovi se s obzirom na mogućnost apsorpcije energije mogu podijeliti u tri kategorije:

- HE stupovi (*engl. high energy absorbing*); stupovi koji apsorbiraju puno energije,
- LE stupovi (*engl. low energy absorbing*); stupovi koji apsorbiraju malo energije,
- NE stupovi (*engl. non-energy absorbing*); stupovi koji ne apsorbiraju energiju.

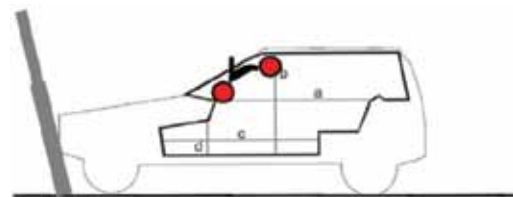
Za određivanje kategorije stupa s obzirom na mogućnost apsorpcije energije mjere se brzina vozila u trenutku pokusnog sudara i brzina vozila nakon pokusnog sudara na određenoj udaljenosti od stupa te se uspoređuju s vrijednostima u tablici 1., prema [5].

Tablica 1. Kategorija opreme uz prometnicu obzirom na mogućnost apsorpcije energije [5]

Brzina vozila pri sudaru $v_i$ [km/h]	Brzina vozila nakon sudara $v_e$ [km/h] ovisno o kategoriji stupa s obzirom na apsorpciju energije		
	HE	LE	NE
50	$v_e = 0$	$0 < v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 50$
70	$0 \leq v_e \leq 5$	$5 < v_e \leq 30$	$30 < v_e \leq 70$
100	$0 \leq v_e \leq 50$	$50 < v_e \leq 70$	$70 < v_e \leq 100$

U normi EN 12767:2007 definirane su četiri razine pouzdanosti opreme uz prometnice za putnike u vozilu i ostale sudionike u prometu u trenutku nesreće (*engl. Occupant safety level*), od 1 do 4, pri čemu veći broj označava veću razinu pouzdanosti. Razine 1, 2 i 3 osiguravaju povećane razine pouzdanosti radi smanjenja ozljede pri sudaru, dok se razina 4 odnosi na vrlo pouzdane konstrukcije, odnosno male konstrukcije za koje se očekuje da će uzrokovati mala oštećenja na vozilu. Norma također definira razinu pouzdanosti za konstrukcije koje ne zadovoljavaju uvjete za pasivnu pouzdanost kao razina 0. Za sve ostale konstrukcije potrebno je provesti ispitivanja kako bi se odredio njihov tip ponašanja prilikom sudara. Razine pouzdanosti za putnike određuju se pomoću vrijednosti ASI (*engl. Acceleration Severity Indeks*) i THIV (*engl. Theoretical Head Impact Velocity*), koje su dobivene na temelju rezultata velikog broja pokusnih sudara. Vrijednost ASI je računski pokazatelj uspoređivanja vozila koje pretrpe putnici u vozilu tijekom sudara. To je zapravo mjera jačine sudara i kreće se od 1,4 za najnižu razinu pouzdanosti do 0,6 za najvišu razinu pouzdanosti.

Vrijednost THIV je veličina brzine izražena u km/h kod koje pri sudaru dolazi do udara glave putnika u unutrašnjost vozila (slika 3.). Kreće se od 44 km/h za najnižu razinu pouzdanosti do 11 km/h za najvišu razinu pouzdanosti.



Slika 3. Određivanje vrijednosti THIV [5]

Kako bi se za putnike u vozilu odredila razina pouzdanosti opreme uz prometnice, potrebno je usporediti rezultate provedenih pokusnih sudara s vrijednostima u tablici 2., prema [5].

Konačno, tip ponašanja stupova određuje se na temelju brzine vozila prilikom udara u stup, kategorije stupa s obzirom na mogućnost apsorpcije energije i razine pouzdanosti stupa za putnike u vozilu, kao što je prikazano u tablici 3., prema [5].

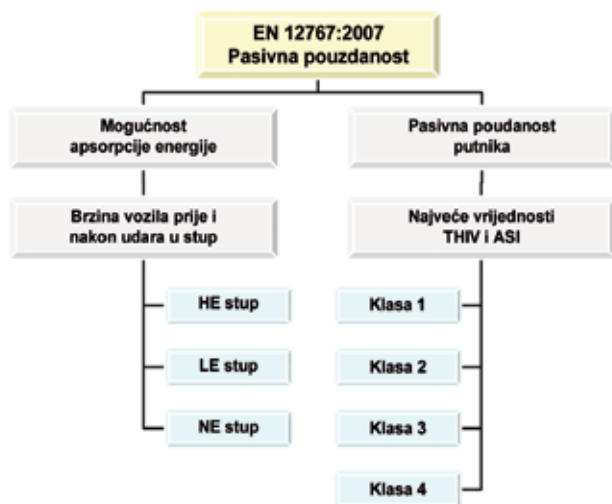
Tablica 2. Određivanje razine pouzdanosti stupova uz prometnice za putnike u vozilu [5]

Kategorija stupova s obzirom na apsorpciju energije	Razina pouzdanosti stupova za putnike	Brzine			
		Pokusni sudar kod brzine 35 km/h		Pokusni sudari kod brzine 50, 70 i 100 km/h	
		Najveće vrijednosti		Najveće vrijednosti	
		ASI	THIV [km/h]	ASI	THIV [km/h]
HE	3	1,0	27	1,0	27
	2	1,0	27	1,2	33
	1	1,0	27	1,4	44
LE	3	1,0	27	1,0	27
	2	1,0	27	1,2	33
	1	1,0	27	1,4	44
NE	3	0,6	11	0,6	11
	2	1,0	27	1,0	27
	1	1,0	27	1,2	33

Tablica 3. Tip ponašanja stupova [5]

Razmatrani parametri	Mogućnosti
Klasa brzine [km/h]	50, 70 ili 100
Kategorija stupa s obzirom na apsorpciju energije	HE, LE ili NE
Razina pouzdanosti stupa	1, 2, 3 ili 4

Prema normi EN 12767:2007 stupovi se označavaju na sljedeći način. Na primjer, oznaka stupa **100 NE 3** znači:  
 100 - brzina vozila u [km/h] pri udaru u stup,  
 NE - stup koji ne može apsorbirati energiju,  
 3 - razina pouzdanosti stupa za putnike u vozilu.  
 Shematski prikaz klasifikacije pasivno pouzdanih stupova uz prometnice i razina pouzdanosti prema [5] dan je na slici 4.



Slika 4. Klasifikacija stupova uz prometnice i razine pouzdanosti prema EN 12767:2007 [5]

#### 4. Ponašanje pasivno pouzdanih stupova

##### 4.1. Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi)

Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (stupovi klase NE prema [5]) projektiraju se tako da pri udaru vozila obično otkazuju nosivost na posmik oko temelja, nakon čega se stup prebacuje iznad vozila te pada na tlo iza vozila (slika 5.). Nakon sudara vozilo nastavlja kretanje s određenim smanjivanjem brzine i relativno malom štetom na vozilu. Na taj se način postiže mali rizik od ozljeda za putnike u vozilu, ali je veći rizik od sekundarnih sudara vozila s drvećem, pješacima i ostalim sudionicima u prometu zbog nastavljanja kretanja automobila i pada stupa.

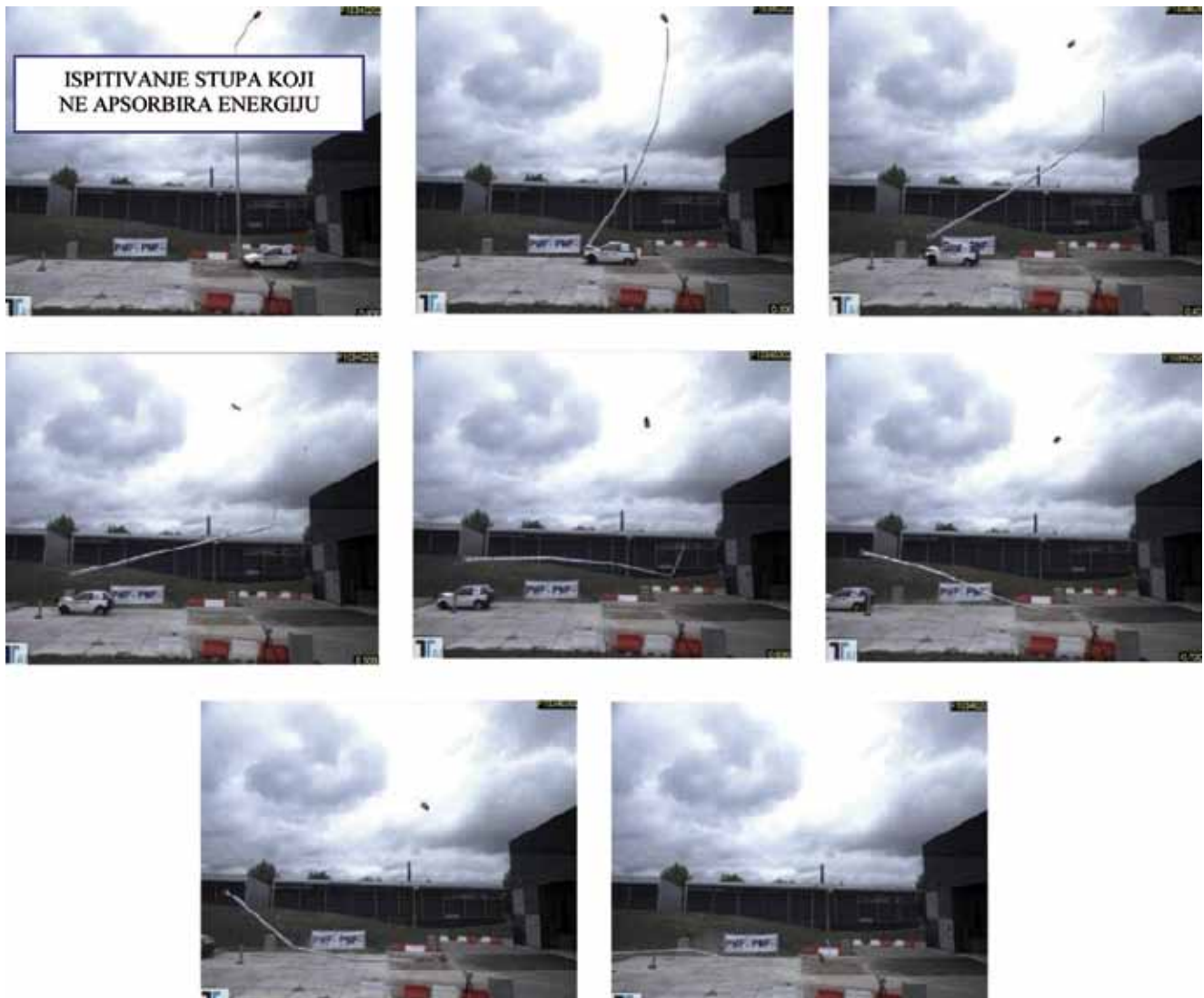


Slika 5. Ponašanje stupa koji ne apsorbiraju energiju [5]

Kako bi se ispitala i povećala pouzdanost stupova uz prometnice, u svijetu se provode istraživanja koja uključuju pokusne sudare (u zemljama Europske Unije prema [5]) te numeričko modeliranje.

Ponašanje stupova koji ne apsorbiraju energiju zorno je ilustrirano na prikazu pokusnog sudara, slika 6., koji je proveden u Nizozemskoj, u vodećem europskom centru za ispitivanje pouzdanosti vozila i pokusne sudare, TTAI (TÜV Rheinland TNO Automotive International) [6]. Ovo ispitivanje provedeno je za potrebe jedne nizozemske kompanije za proizvodnju čeličnih stupova.





Slika 6. Prikaz pokusnog sudara s pasivno pouzdanim neapsorbirajućim stupom [6]

Pokusni sudari provedeni su za brzine vozila 35 km/h i 100 km/h prilikom udara u stup. Da bi stup zadovoljio klasifikaciju za brzinu 100 km/h prema [5], potrebno je da vozilo nakon sudara ima brzinu minimalno 70 km/h, koja se mjeri 12 metara od mjesta sudara. Kod ovog je testa ta brzina bila 84,8 km/h, dakle veća od donje granice. U pokusima su mjerene vrijednosti ASI i THIV na temelju kojih se definira razina pouzdanosti ispitivanih stupova za putnike u vozilu.

Od sudara vozila sa stupom do pada stupa na tlo prošlo je 1,5 sekunda. Nakon pada ispitivanog stupa na tlo, na različitim su se dijelovima stupa mogla vidjeti nagnječenja (slika 7.), ali nije došlo do loma stupa u blizini ili na mjestima zavora. Nakon sudara svi su dijelovi stupa pali iza vozila, na krovu vozila nije bilo deformacija i vjetrobransko se staklo nije razbilo (slika 8.). Može se vidjeti da bi zbog karakteristika takvih stupova ozljede putnika u vozilu pri sudaru bile znatno manje nego u slučaju sudara vozila s uobičajenim krutim stupovima.

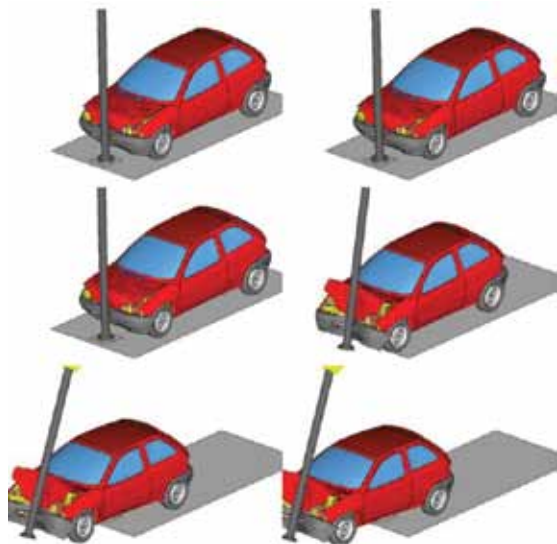


Slika 7. Detalj stupa nakon pada na tlo [6]



Slika 8. Vozilo nakon pokusa [6]

Ponašanje stupova koji ne mogu apsorbirati energiju može se vidjeti i na numeričkoj simulaciji koja prikazuje utjecaj udara vozila na takav stup (slika 9.). Numeričko modeliranje bazirano na metodi konačnih elemenata omogućava modeliranje s detaljima ponašanja vozila i stupa tijekom sudara. Na taj se način mogu analizirati načini otkazivanja različitih tipova stupova kod kojih je došlo do udara vozila pri različitim brzinama.



Slika 9. Numerička simulacija sudara vozila i stupa koji ne može apsorbirati energiju [7]

#### 4.2. Visokoapsorbirajući stupovi (HE stupovi)

Pri sudaru vozila i stupa koji može apsorbirati veliku količinu energije (stupovi klase HE prema [5]) dolazi do plastične deformacije stupa i savijanja stupa ispod vozila (slika 10.).

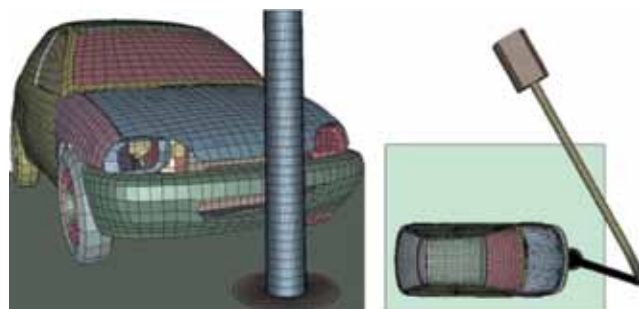


Slika 10. Ponašanje visokoapsorbirajućeg stupa [5]

Takvi stupovi znatno usporavaju i zaustavljaju vozilo pri sudaru. Zbog toga je smanjen rizik od sekundarnih sudara vozila u objekte uz prometnice, drveće, pješake i ostale sudionike u prometu. Međutim, kod sudara vozila s visokoapsorbirajućim stupovima veći je rizik od ozljeda za putnike u tom vozilu u odnosu na sudare sa stupovima koji ne apsorbiraju energiju, ali svakako manji rizik nego kod sudara s uobičajenim krutim stupovima uz naše prometnice. Ponašanje visokoapsorbirajućih stupova pri udaru vozila prikazat će se na primjeru jednog istraživanja provedenog u Finskoj [8]. Pokusni sudari rađeni su prema EN 12767.

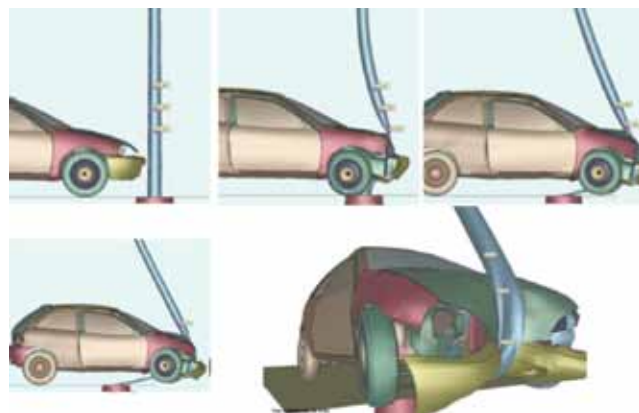
Ispitali su se kompozitni rasvjetni stupovi visine 10, 12,4 i 15 m kod brzina vozila 35 km/h i 100 km/h u trenutku sudara. Vozilo u pokusu bio je Peugeot 205, a u pokusima su se mjerile vrijednosti ASI i THIV.

Nakon pokusnih sudara provedenih u Finskoj, ruski laboratorij Computational Mechanics Laboratory (CompMechLab) izradio je numeričke simulacije pokusnih sudara metodom konačnih elemenata za nekoliko tipova rasvjetnih stupova kod različitih brzina vozila. Analizirani su rasvjetni stupovi različite visine (10 m, 12,4 m i 15 m), različitih unutarnjih i vanjskih promjera te različitih količina ojačanja u strukturi kompozitnog materijala. Za provođenje nelinearne dinamičke analize prilikom sudara vozila i stupa upotrijebljen je računalni program LS-DYNA. Kreirani su 3-D numerički modeli stupova i vozila (slika 11.). Prilikom analize uzete su obzir neke nelinearnosti kao što su dinamički utjecaj kod različitih brzina vozila, plastičnost u stupovima i dijelovima vozila, interakcija pri kontaktu simuliranog vozila i stupa te progresivna oštećenja u materijalu stupova.



Slika 11. 3-D numerički model vozila i stupa [8]

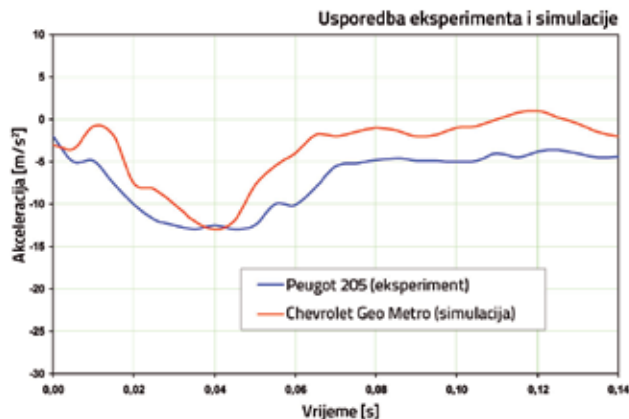
Na slici 12. prikazana je numerička simulacija ponašanja kompozitnog stupa i vozila pri brzini 100 km/h kod sudara. Može se vidjeti da je prilikom udara vozila došlo do plastične deformacije i savijanja stupa ispod vozila.



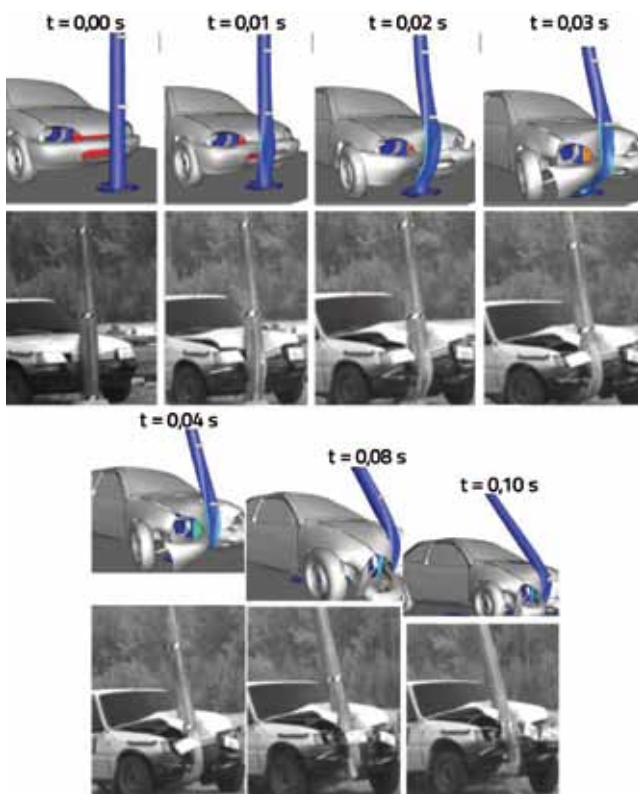
Slika 12. Simulacija udara vozila u stup i deformacije stupa ispod vozila [8]

Proces zaustavljanja vozila od 100 do 0 km/h može se podijeliti u dvije etape - prva je udar vozila, a druga deformiranje stupa ispod vozila (slika 13.). Prvu etapu karakterizira najveće usporavanje. Pokazalo se da ta vrijednost ovisi o poprečnom presjeku stupa, vanjskom promjeru, broju i promjeru ojačanja u strukturi kompozitnog materijala. Kod druge je etape manje usporavanje vozila do samog zaustavljanja.

Na slici 14. prikazano je ponašanje kompozitnog stupa pri udaru vozila za prvih 0,1 sekundi od udara kod stvarnog



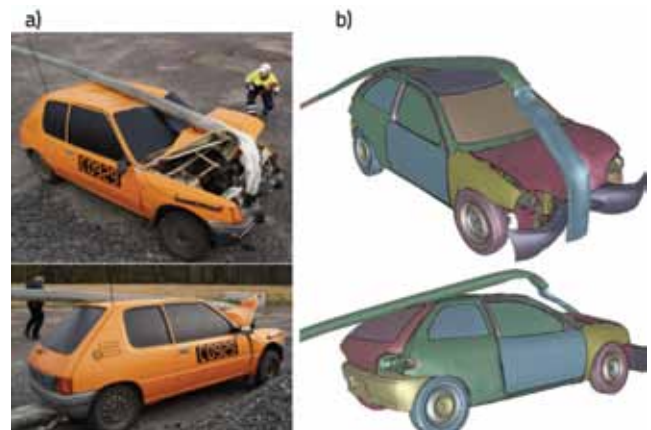
Slika 13. Krivulje usporavanja vozila kod brzine 100 km/h za stupove visine 10 m kod pokusnog sudara i numeričke simulacije [8]



Slika 14. Ponašanje kompozitnog stupa pri udaru u numeričkoj simulaciji i stvarnom pokusu [8]

pokusnog sudara i numeričke simulacije u računalnom programu LS-DYNA. Može se vidjeti da takav stup nakon udara vozila postaje plosniji, savija se ispod vozila i na taj način apsorpira energiju.

Na slici 15. prikazan je automobil nakon zaustavljanja. Može se vidjeti da je kod sudara vozila s takvim stupom šteta na vozilu znatno manja, a sigurnost putnika znatno veća nego u slučaju sudara s krutim stupovima koji su uobičajeni uz naše prometnice.



Slika 15. Vozilo nakon zaustavljanja [8]; a) pokusni sudar, b) numerička simulacija

Tvrtka iz Finske koja je prezentirala opisane kompozitne stupove s kontroliranom apsorpcijom energije dobila je 2006. godine i međunarodnu nagradu u Parizu, gdje su proglašeni najboljim stupovima u kategoriji pasivno pouzdanih konstrukcija prema klasifikaciji Europske norme EN 12767.

### 4.3. Niskoapsorbirajući stupovi (LE stupovi)

Stupovi koji mogu apsorbirati malo energije (stupovi klase LE prema [5]) dobra su kombinacija apsorbiranja energije i sigurnosti putnika u vozilu jer imaju neke kvalitete visokoapsorbirajućih i neapsorbirajućih stupova. Projektirani su tako da pri udaru vozila otkazuju popuštanjem ispred i ispod vozila prije nego što dođe do otkazivanja zbog posmika kao kod neapsorbirajućih stupova. Ponašanje takvih stupova pri udaru vozila prikazano je na slici 16.



Slika 16. Ponašanje stupova koji apsorbiraju malo energije [5]

Brzina vozila koje je udarilo u takav stup bit će smanjena i šteta na vozilu bit će manja nego u slučaju udara u



visokoapsorbirajući stup. Zbog navedenih su razloga stupovi koji mogu apsorbirati malo energije povoljni za primjenu na uobičajenim prometnicama.

Na slikama 17. i 18. prikazani su pokusni sudari s čeličnim stupovima klase 100 LE 3 izvedeni pri brzinama vozila 35 km/h i 100 km/h.



Slika 17. Pokusni sudar pri brzini 35 km/h [9]; a) stup i vozilo nakon sudara, b) stup nakon sudara - stup je zaustavio vozilo



Slika 18. Pokusni sudar pri brzini 100 km/h [9]; a) vozilo i stup prije sudara, b) stup nakon sudara - brzina vozila smanjena je na oko 60 km/h

## 5. Prednosti i rizici primjene pasivno pouzdanih stupova

Stradavanje ljudi u prometnim nesrećama velik je emocionalni šok, ali također i velik trošak za društvo. U Finskoj je danas više od 90% novih rasvjetnih stupova izvedeno tako da se mogu kontrolirano slomiti prilikom udara vozila. Takvi su stupovi nešto skuplji od stupova koji nisu pasivno pouzdani.

Zanimljiv je pristup ovom problemu u Belgiji. Prema podacima belgijskog osiguravajućeg društva Assuralia trošak za jako ozlijeđenu ili smrtno stradalu osobu u prosjeku je 383.000 eura [10]. U Belgiji je 2007. godine kao posljedica udara vozila u rasvjetni stup teško ozlijeđeno ili smrtno stradalo 217 osoba. Pomnoži li se taj broj stradalih s odštetom od 383.000 eura po osobi, dolazi se do 83 milijuna eura godišnje za medicinsku pomoć nakon prometnih nesreća kod kojih dolazi do udara vozila u rasvjetne stupove.

Glavna je prednost pasivno pouzdanih stupova pred tradicionalnim krutim stupovima manja vjerojatnost teških ozljeda za putnike u vozilu koje je udarilo u stup. Primjenom stupova koji ne apsorbiraju energiju (NE stupova) postiže se najveća sigurnost za putnike u vozilu jer nakon sudara vozilo nastavlja kretanje s umjerenim smanjivanjem brzine i najmanjom štetom na vozilu u odnosu prema ostalim vrstama stupova.

Stupovi koji apsorbiraju energiju znatno usporavaju vozilo i smanjuju rizik sekundarnih sudara vozila s pješacima, biciklistima i ostalim sudionicima u prometu. Zato imaju prednost na urbanim prometnicama gdje ima znatno više nemotoriziranih sudionika u prometu.

Primjena pasivno pouzdanih stupova preporučuje se na ruralnim cestama, posebno tamo gdje ima problema s postavljanjem zaštitnih ograda ili na mjestima gdje bi zaštitne ograde mogle biti uzrokom prometne nesreće, kao na primjer na rotorima. Manje su potrebni gdje postoje zaštitne ograde ili gdje su kuće ili stijene jako blizu ceste. Na gradskim su cestama rasvjetni stupovi i stupovi prometnih znakova obično zaštićeni zaštitnim ogradama, čime se smanjuje potencijalna vjerojatnost sudara vozila i stupova. Pri sudaru vozila s uobičajenim krutim stupom jako je veliki rizik za putnike u vozilu, a mali za ostale sudionike u prometu. Međutim, pri sudaru vozila s pasivno pouzdanom stupom manji je rizik za putnike u vozilu, ali postoji mala vjerojatnost pada stupa na kolnik ili pločnik, a to može uzrokovati sekundarnu nesreću i to predstavlja potencijalni rizik za druge vozače i pješake u blizini.

Ako ostaci stupa padnu na kolnik, važno je kako će drugi vozači reagirati na to i koliko će biti uočljivi ti ostaci, na primjer noću. Međutim, u dostupnoj literaturi nema podataka da su krhotine stupova na cesti uzrokovale probleme u zemljama s velikim brojem pasivno pouzdanih stupova.

Rizik za pješake znatno je veći u gradskim područjima nego li u ruralnim. Rizik ovisi o broju pješaka i izloženih stupova i zato su preporuke normi EN 12767 da pasivno pouzdani stupovi nisu dobar izbor na mjestima gdje se očekuje velik broj pješaka. U tim se slučajevima sigurnost pješaka mora razmatrati odvojeno jer rizik sudara pješaka i vozila koje je izgubilo kontrolu može biti veći nego od padajućeg stupa.

## 6. Preporuke Europske komisije

Prema preporuci Europske komisije [3] svi bi stupovi na novim cestama trebali biti smješteni unutar sigurnosne zone. Ako to nije moguće, moraju se rabiti samo pasivno pouzdani stupovi. Svi se stupovi moraju ispitati prema važećoj normi EN 12767:2007.

U zemljama Europske Unije donedavno su stupovi uz autoceste morali biti postavljeni iza sigurnosnih ograda. Promjenom zakona dozvoljeno je da se uz autoceste postavljaju stupovi bez zaštitnih ograda, ali pod uvjetom da su testirani i certificirani prema normi EN 12767. Odlučeno je da se bez zaštitnih ograda uz autoceste mogu postavljati stupovi klase pouzdanosti 100 NE 3. Ovi stupovi ne apsorbiraju energiju i osiguravaju najveću zaštitu za putnike u vozilu koje je udarilo u stup.

Pasivno pouzdani stupovi morali bi biti na glavnim cestama gdje je mala vjerojatnost njihova pada na kolnički trak ili se očekuje mali broj pješaka i blizini. Nacionalni dodatak Velike Britanije za BS EN 12767 [11] za ruralne ceste preporučuju uporabu neapsorbirajućih stupova 100 NE, osim ako se tamo očekuje veći broj pješaka i biciklista zbog rizika padanja stupa na cestu. U gradskim se područjima preporučuje primjena rasvjetnih stupova karakteristika 70 LE ili HE i stupova prometnih znakova karakteristika 70 LE.



Slika 19. Primjer podnožja stupa koji otkazuje na posmik prilikom udara vozila [3]

Stari kruti čelični, betonski ili drveni rasvjetni stupovi moraju se zamijeniti stupovima koji mogu kontrolirano apsorbirati

energiju ili se slomiti pri udaru vozila u takav stup. Ovi stupovi mogu biti od čelika, aluminijski, drva ili kompozitnih materijala i preporučuju se na mjestima gdje pješačke staze nisu blizu stupova. Postojeći se drveni i čelični stupovi mogu modificirati u one koji se mogu slomiti pri udaru vozila u stup. Na slici 19. prikazan je primjer moguće modifikacije krutog stupa.

## 7. Zaključak

Nažalost, nesreća u prometu bit će uvijek, ali se one mogu smanjiti i po broju i po posljedicama. Prema preporuci Europske komisije jedan od načina smanjivanja broja i težine prometnih nesreća jest uporaba pasivno pouzdanih stupova uz prometnice.

Primjenom stupova koji mogu apsorbirati energiju ili otkazati nosivost na kontrolirani način postiže se veća sigurnost za vozače pri čemu postoji i određeni rizik za pješake ili ostale sudionike u prometu zbog mogućnosti pada stupa. Stoga je pri odabiru tipa stupova potrebno razmotriti svaki pojedini prostor, razmatrati i nove materijale i način otkazivanja stupova, a sve radi smanjivanja jačine ozljede putnika u vozilu koje je udarilo u stup, vodeći pri tome računa o pješacima i ostalim sudionicima u prometu.

Da bi se stanje sigurnosti u cestovnom prometu podignulo na višu razinu, društvo bi moralo stalno usavršavati opremu uz prometnice. Konačno trošak ulaganja u povećanu sigurnost manji je od šteta koje nesreće izazivaju.

Očekuje se da će pozitivna iskustva i dobri rezultati koji se postižu primjenom pasivno pouzdanih stupova u zemljama Europske Unije potaknuti upravitelje cestovnih prometnica u Hrvatskoj na primjenu ove vrste stupova.

## LITERATURA

- [1] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa-2010., Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske, Zagreb, 2011.
- [2] <http://autoklub.jutarnji.hr>, date 11.02.2012.
- [3] Riser, Roadside Infrastructure for Safer European Roads, D06: European Best Practice for Roadside Design: Guidelines for Roadside Infrastructure on New and Existing Roads, 2005.
- [4] Allround lighting columns, Nedal Aluminium, Nizozemska ([www.nedal.com](http://www.nedal.com))
- [5] European Committee for Standardization: EN 12767:2007 Passive safety of support structures for road equipment - Requirements and test methods.
- [6] Steel columns, Passive safety steel columns up to 15 meter, PMF, October 2010. ([www.steelpoles.eu](http://www.steelpoles.eu))
- [7] Roadside Infrastructure for Safer European Roads, D03: Critical Vehicle and Infrastructure Interactions, EU Project RISER, 2006.
- [8] Borovkov, A., Klyavin, O., Michailov, A., Kemppinen, M. & Kajatsalo, M.: Finite Element Modeling and Analysis of Crash Safe Composite Lighting Columns, Contact-Impact Problem, 9<sup>th</sup> International LS-DYNA Users Conference, 2008., pp. 14-11 do 14-20
- [9] Passively Safe Products (<http://www.fabrikat.co.uk>)
- [10] Zippole (<http://www.safety-product.eu/Zippole/>)
- [11] BSI (British Standards Institution, 2007), BS EN 12767:2007 National Annex NA, BSI