

Pasivno pouzdani stupovi

Markanjević, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:237:064953>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-01-19**

Repository / Repozitorij:

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





Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ivan Markanjević

PASIVNO POUZDANI STUPOVI

ZAVRŠNI ISPIT

Zagreb, 2024.



Sveučilište u Zagrebu

GRAĐEVINSKI FAKULTET

Ivan Markanjević

PASIVNO POUZDANI STUPOVI

ZAVRŠNI ISPIT

Mentor : Izv. prof. dr. sc. Višnja Tkalčević Lakušić

Zagreb, 2024.



University of Zagreb

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Ivan Markanjević

PASSIVELY SAFE COLUMNS

FINAL EXAM

Supervisor : Izv. prof. dr. sc. Višnja Tkalčević Lakušić

Zagreb, 2024.

SAŽETAK

Nesreće u prometu uzrokuju teške posljedice, bilo da je riječ o ozljedama i gubitku ljudskih života ili materijalnoj šteti. Prevencija prometnih nesreća i smanjenje njihovih posljedica predstavljaju ključne ciljeve u području prometne sigurnosti.

Jedan od načina povećanja sigurnosti u prometu je upotreba pasivno pouzdanih stupova koji su tema ovog završnog rada. Glavna zadaća pasivno pouzdanih stupova je smanjenje mogućnosti ozljeda putnika koji se nalaze u vozilu za vrijeme udara u stup.

Na početku rada opisane su vrste stupova koji se postavljaju uz prometnice i postupci njihove zaštite od štetnih utjecaja. Nadalje, opisani su tipovi i ponašanje pasivno pouzdanih stupova koji se dijele na stupove koji apsorbiraju energiju, stupove koji apsorbiraju malu količinu energije i stupove koji ne apsorbiraju energiju.

Stupovi koji apsorbiraju energiju znatno usporavaju te zaustavljaju vozilo. Kod takvih stupova događa se plastična deformacija stupa i njegovo savijanje ispod vozila. Za razliku od njih, kod stupova koji ne apsorbiraju energiju ne dolazi do značajnog usporavanja vozila te se ono nastavlja kretati, a stup se otkida i pada iza vozila.

Ključne riječi: stup, materijal, energija, pouzdanost, vozilo, putnik

SUMMARY

Traffic accidents cause serious consequences, whether it is injuries and loss of human life or material damage. The prevention of traffic accidents and the reduction of their consequences are key goals in the field of traffic safety.

One of the ways to increase traffic safety is the use of passively reliable pillars, which are the subject of this final paper. The main task of passively reliable bollards is to reduce the possibility of injury to passengers in the vehicle during a collision with a bollard.

At the beginning of the work, the types of poles that are placed along roads and the procedures for protecting them from harmful influences are described. Furthermore, the types and behavior of passively reliable columns are described, which are divided into columns that absorb energy, columns that absorb a small amount of energy, and columns that do not absorb energy.

Pillars that absorb energy significantly slow down and stop the vehicle. With such pillars, plastic deformation of the pillar and its bending under the vehicle occurs. Unlike them, with poles that do not absorb energy, the vehicle does not slow down significantly and it continues to move, while the pole breaks off and falls behind the vehicle.

Key words: pillar, material, energy, reliability, vehicle, passenger

SADRŽAJ

SAŽETAK	iv
SUMMARY	v
SADRŽAJ	vi
1. UVOD	1
2. METODE I TEHNIKE RADA	2
3. VRSTE STUPOVA UZ PROMETNICE	3
3.1. Općenito	3
3.2. Čelični stupovi	3
3.3. Aluminijski stupovi	9
3.4. Kompozitni stupovi	10
3.5. Drveni stupovi	11
4. TIPOVI I PONAŠANJE PASIVNO POUZDANIH STUPOVA	12
4.1. Općenito	12
4.2. Stupovi koji apsorbiraju energiju (HE stupovi)	14
4.3. Niskoapsorbirajući stupovi (LE stupovi).....	18
4.4. Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi)	19
5. PREDNOSTI I NEDOSTACI PASIVNO POUZDANIH STUPOVA	24
6. ZAKLJUČAK	25
POPIS LITERATURE	26
POPIS SLIKA	28

1. UVOD

Svakodnevno se na našim prometnicama događaju prometne nesreće koje za posljedicu imaju velik broj ozlijeđenih putnika te smrtno stradalih. U prošloj, 2023. godini došlo je do čak 34604 prometne nesreće s 14204 ozlijeđene osobe te 274 tragično preminule (1,9%). To je ujedno i najmanji udio poginulih u zadnjih 50 godina. Također, primjetno je da se taj udio postepeno smanjuje od 1974. godine pa sve do danas [1]. Kako bi se taj pad nastavio smanjivati, potrebna su daljnja ulaganja u prometnu infrastrukturu te sigurnost u prometu.

Prometne nesreće događaju se uglavnom zbog manjka koncentracije vozača, alkohola, brzine. Događaju se sudarom dvaju ili više vozila, nalijetanjem na pješaka, udarom vozila u stup ili bilo koji drugi objekt, itd. Udarom vozila u stupove uz prometnice događaju se nesreće s velikom materijalnom štetom te velikim brojem ozlijeđenih sudionika pa čak i smrtno stradalih. Jedno od rješenja za smanjenje ozljeda putnika prilikom nesreća je postavljanje zaštitne ograde. Problem kod zaštitnih ograda je što ih nije moguće postaviti na sva mjesta uz prometnice. Upravo zbog toga koristi se pasivno pouzdana oprema. 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 [2].

2. METODE I TEHNIKE RADA

Završni rad obuhvaća 6 poglavlja te je korištena stručna literatura i internet stranice. Stručna literatura je prikupljena iz knjiga o samoj temi i iz znanstvenih radova.

3. VRSTE STUPOVA UZ PROMETNICE

3.1. Općenito

Stupovi postavljeni uz prometnice imaju ključnu ulogu u prometnom sustavu. Njihova primarna funkcija obuhvaća sigurnost prometa, navigaciju, osvjetljenje te označavanje prometnih pravila. Među najčešćim vrstama stupova su oni koji nose prometne znakove, rasvjetna tijela, semafore, navigacijske oznake i nadzorne kamere. Njihova uloga je osigurati sigurno i uredno odvijanje prometa te olakšati orijentaciju vozačima i pješacima. Izrađuju se od različitih materijala, kao što su drvo, armirani beton, čelik, aluminij i kompozitni materijali [3].

Izbor materijala ovisi o vrsti ceste, lokalnim uvjetima, troškovima, estetskim zahtjevima i sigurnosnim ciljevima [4].

3.2. Čelični stupovi

Čelik je materijal koji se najčešće koristi za izradu stupova uz prometnice. Čelični stupovi su relativno lagani, trajni s odgovarajućom antikorozivnom zaštitom, prihvatljive cijene i imaju veliku otpornost na umor materijala [3]. Važno je redovito provoditi inspekcije i održavanje kako bi se osigurala njihova ispravnost kroz dulje razdoblje.

Čelični stupovi u potpunosti su reciklabilni. Recikliranje čelika predstavlja ekološki prihvatljiv i učinkovit proces koji smanjuje potrebu za proizvodnjom novog čelika, čime se znatno smanjuje negativan utjecaj na okoliš [3].

Na slici 3.1. prikazan je pocinčani čelični stup.



Slika 3.1. Pocinčani čelični stup [5]

Kako bi se spriječila korozija na čeličnim stupovima, potrebno je primijeniti odgovarajuće zaštitne mjere koje će osigurati dugotrajnost i sigurnost čelične konstrukcije unatoč utjecaju vremenskih uvjeta i izloženosti vlazi. Korozija čelika, osobito na stupovima izloženim vanjskim faktorima, može oslabiti strukturu i skratiti njezin vijek trajanja [3].

Vruće pocinčavanje postupak je zaštite čelika od korozije primjenom sloja cinka. Ovaj proces podrazumijeva uranjanje čeličnih dijelova u rastaljeni cink kako bi se stvorila čvrsta i otporna prevlaka. Vruće pocinčavanje često se primjenjuje za zaštitu čelika u raznim industrijskim, građevinskim i infrastrukturnim projektima zbog svoje trajnosti i učinkovitosti [6].

Postupak vrućeg pocinčavanja radi se prema normi HRN EN ISO 1461:2001 i sastoji se od sljedećih koraka:

- 1) **Slaganje:** U toj fazi, elementi se pričvršćuju na posebne grede uz pomoć žica ili lanaca. Grede, na koje su postavljeni elementi, tijekom cijelog procesa prenose se dizalicama.
- 2) **Kemijsko čišćenje i pretpriprema:** Obješeni elementi potom se uklanjaju od hrđe i oksidnog sloja uranjanjem u kemijske kupke. Prva faza čišćenja uključuje odmašćivanje u kiselom otopini za odmašćivanje, nakon čega slijedi luženje u klorovodičnoj kiselini. Nakon što se metalni elementi očiste, ispiru se u vodi i uranjaju u otopinu fluksa, a zatim se suše u sušionici [7].
- 3) **Vruće pocinčavanje:** Pripremljeni elementi uranjaju se u rastaljeni cink, pri čemu dolazi do metalurške veze između cinka i željeza. Po potrebi, elementi se hlade u vodi [7].

- 4) **Razdvajanje, čišćenje i pakiranje:** To je završna faza u kojoj se provodi razdvajanje, uklanjanje kapljica cinka i cinkovog pepela, nakon čega slijedi pakiranje elemenata. Pošiljka se na kraju važe i skladišti do trenutka isporuke [7].

Na slikama 3.2., 3.3., 3.4. i 3.5. prikazan je proces vrućeg pocinčavanja koji je prethodno opisan.



Slike 3.2. Slaganje elemenata [7]



Slike 3.3. Kemijsko čišćenje i pretpriprema [7]



Slike 3.4. Vruće pocinčavanje u otopini cinka [7]



Slike 3.5. Razdvajanje, čišćenje i pakiranje [7]

Trajanje antikorozivne zaštite nakon postupka vrućeg pocinčavanja obično se procjenjuje na 15 do 20 godina. Prema standardu EN ISO 1461, čelični dijelovi mogu se dodatno obojiti, čime se vijek trajanja može produjiti na 30 godina [3].

Sljedeći postupak zaštite stupova sličan je postupku pocinčavanja, jer se čisti cink nanosi na stup kako bi se omogućila katodna zaštita čelika. Radi se o cinkosilikatnoj zaštiti. U ovom postupku krajevi stupova su zatvoreni, pa je potrebno zaštititi isključivo vanjsku površinu [3].

Također, još se koriste razni postupci zaštite čeličnih stupova kao što su metaliziranje, bojanje te uz pocinčavanje najpopularniji način antikorozivne zaštite, a to je čelik otporan na atmosferske utjecaje [3].

Na slici 3.6. prikazan je postupak bojanja, a na slici 3.7. čelik otporan na atmosferske utjecaje.



Slika 3.6. Postupak bojanja [8]

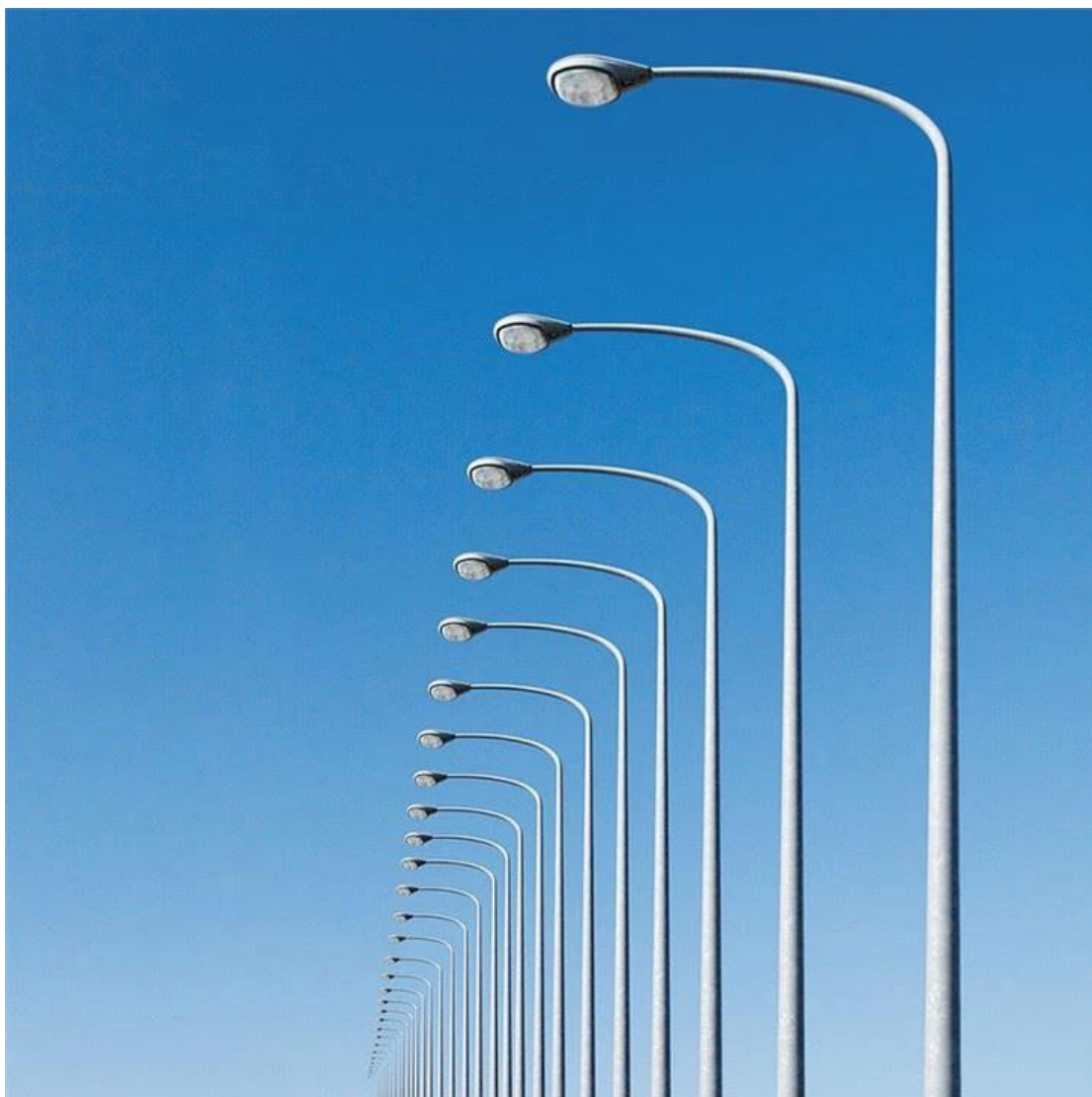


Slika 3.7. Čelik otporan na atmosferske utjecaje [9]

3.3. Aluminijski stupovi

Aluminij je lagan, ali izuzetno izdržljiv materijal. Istraživanje provedeno u Nizozemskoj [10] pokazalo je da su aluminijski rasvjetni stupovi pogodniji u slučaju udara vozila od betonskih i čeličnih stupova. Aluminijski stup pri udaru vozila apsorbira 50% više energije nego čelični stup iste težine pa je vjerojatnost ozljeda putnika u vozilu znatno manja [2]. Također, prednosti aluminijskih stupova su otpornost na koroziju, estetika (vrlo su atraktivnog izgleda), održavanje i recikliranje.

Na slici 3.8. prikazani su aluminijski rasvjetni stupovi.



Slika 3.8. Aluminijski rasvjetni stupovi [11]

3.4. Kompozitni stupovi

Kompozitni materijali sastavljeni su od kombinacije dvaju ili više različitih komponenti (metala, keramike, polimera), pri čemu svaka od tih komponenti zadržava svoja karakteristična svojstva. U usporedbi s tradicionalnim materijalima poput čelika ili aluminija, kompoziti se svrstavaju među skuplje alternative [3].

Kompozitni stupovi imaju brojne prednosti u odnosu na čelične ili aluminijske stupove, a to su veća vlačna čvrstoća, vatrootporni, manja težina što vodi do lakše montaže, nije potrebno održavanje te su također izvrsni izolatori [3].

Preporučuje se korištenje suvremenih kompozitnih materijala umjesto drva ili čelika za izradu stupova za apsorpciju energije. Kompozitni materijali već su dokazali svoju sposobnost u proizvodnji tehnički prihvatljivih stupova za električne i komunikacijske mreže. Ipak, postojeći kompozitni stupovi funkcioniraju kao odvojivi uređaji, umjesto da služe kao sustavi za apsorpciju energije. Zbog toga trenutni kompozitni stupovi ne pružaju sigurnosne karakteristike koje su poželjne u slučaju sudara vozila [12].

Na slici 3.9. prikazan je kompozitni stup.



Slika 3.9. Kompozitni stup [12]

3.5. Drveni stupovi

Drvo je materijal male gustoće, lako se obrađuje i nudi brojne mogućnosti oblikovanja, no njegova upotreba ovisi o uvjetima okoliša i dostupnosti prirodnih resursa [13]. Prednosti uporabe drvenih stupova uključuju relativno nisku cijenu te njihovu prirodnu uklopivost u okoliš zahvaljujući estetskom izgledu. Međutim, drveni stupovi zahtijevaju redovito održavanje kako bi se zaštitili od vremenskih utjecaja i trošenja, čime se osigurava njihova dugotrajnost. U usporedbi s čeličnim stupovima ili stupovima od drugih tvrdih materijala, drveni stupovi obično pokazuju manje deformacija u slučaju sudara s vozilom. To se može pripisati svojstvu drva da se lakše savija i puca, umjesto da se, poput čelika, zgnječi ili deformira. Ta karakteristika može doprinijeti smanjenju ozbiljnosti sudara te potencijalne štete na vozilu i vozaču u usporedbi s čeličnim ili betonskim stupovima, koji su tvrdi i nedeformabilni pri udaru.

Na slici 3.10. prikazan je drveni stup.



Slika 3.10. Drveni stup [14]

4. TIPOVI I PONAŠANJE PASIVNO POUZDANIH STUPOVA

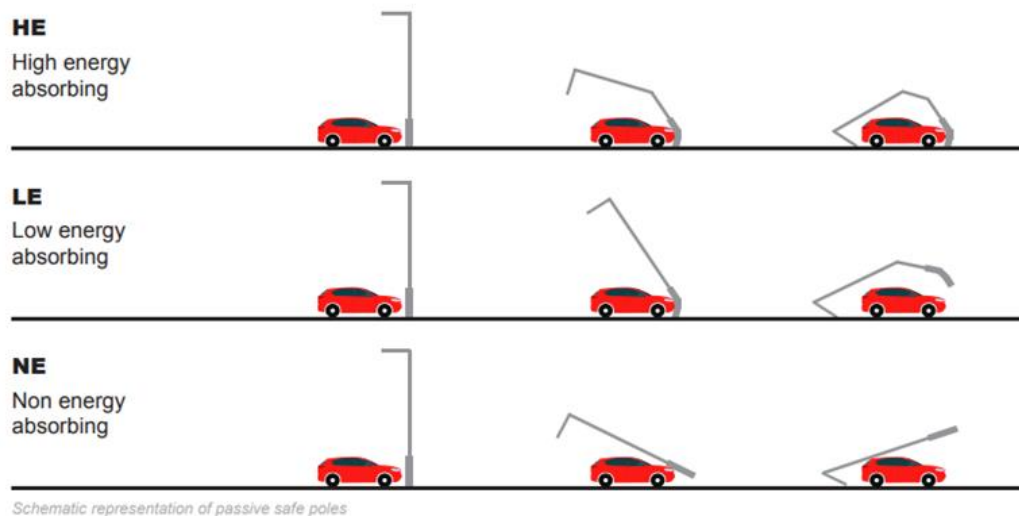
4.1. Općenito

Pasivna pouzdanost podrazumijeva da su stupovi napravljeni tako da se, čak i u slučaju nepredviđenih situacija, ne urušavaju ili ne ugrožavaju sigurnost okoline.

U skladu s normom EN 12767:2007 radi se procjena pouzdanosti pasivno pouzdane opreme uz prometnice u zemljama Europske unije [15]. U ovoj normi definirane su razine pasivne pouzdanosti za nosive konstrukcije opreme postavljene uz prometnice, poput stupova i zaštitnih ograda, te propisuje pravila za provođenje i interpretaciju rezultata ispitivanja sudara pri različitim uvjetima udara i brzinama vozila [3].

Norma razvrstava pasivno pouzdane stupove u tri kategorije, ovisno o stupnju apsorpcije energije. HE (visoka apsorpcija energije) stupovi apsorbiraju maksimalnu količinu energije, NE (bez apsorpcije energije) stupovi apsorbiraju minimalnu količinu energije, dok LE (niska apsorpcija energije) stupovi zauzimaju srednji položaj između ove dvije kategorije [3].

Na slici 4.1. prikazani su stupnjevi apsorpcije energije.



Slika 4.1. Stupnjevi apsorpcije energije [16]

Stupovi visoke apsorpcije energije (HE): HE stupovi najviše usporavaju vozilo, ali pritom uzrokuju i najveća oštećenja na vozilu, što može predstavljati sekundarnu opasnost za putnike. Osim toga, putnici su izloženi većem udarcu u usporedbi sa sudarom s NE/LE stupovima. Izlazna brzina nakon sudara iznosi između 0 i 50 km/h (u testu pri brzini od 100 km/h), što znači da je rizik od sekundarnih sudara s drvećem, pješacima i/ili drugim sudionicima u prometu sveden na najnižu moguću razinu. Najnapredniji HE stup potpuno zaustavlja vozilo (bez izlazne brzine) i istovremeno postiže najvišu moguću razinu sigurnosti putnika [16].

Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE): Stupovi koji ne apsorbiraju energiju omogućuju vozilu da nakon sudara nastavi kretanje smanjenom brzinom. Time se smanjuje vjerojatnost ozljeda putnika, ali se povećava rizik od sekundarne nesreće ukoliko se iza stupa nalaze prepreke. Ovakvi stupovi prikladni su za ruralna područja gdje je prisutnost pješaka manja [16].

Stupovi niske apsorpcije energije (LE): LE stupovi obično se tijekom sudara prirodno savijaju pod vozilom prije nego što se slome ili sruše. Nakon udarca, brzina vozila bit će manja, a šteta smanjena u usporedbi s HE stupovima [16].

Pravilna odluka o odabiru vrste stupova za rasvjetu ili druge prometne namjene na svakoj lokaciji iznimno je važna za osiguranje prometne sigurnosti. U tom je procesu ključno uzeti u obzir potencijalne rizike od sekundarnih ozljeda drugih sudionika u prometu [3].

Standard EN 12767:2007 određuje četiri razine sigurnosti opreme za sudionike u prometu unutar vozila, kao i za ostale sudionike u trenutku nesreće (razina sigurnosti putnika), rangirane od 1 do 4. Razine 1, 2 i 3 osiguravaju višu razinu sigurnosti kako bi se smanjile ozljede tijekom sudara, dok razina 4 obuhvaća visoko sigurne konstrukcije, odnosno male konstrukcije koje se očekivano uzrokuju minimalnu štetu na vozilu. Standard također uključuje razinu sigurnosti za konstrukcije koje ne zadovoljavaju kriterije pasivne sigurnosti, a to je razina 0 [3].

Svaka lokacija može imati specifične zahtjeve i rizike, stoga je važno pažljivo i stručno pristupiti odabiru vrste stupova kako bi se osigurala sigurnost svih sudionika u prometu.

4.2. Stupovi koji apsorbiraju energiju (HE stupovi)

U sudaru vozila s visokoapsorbirajućim stupom dolazi do plastične deformacije stupa i njegovog savijanja ispod vozila. Ovi stupovi značajno usporavaju i zaustavljaju vozilo, smanjujući rizik od sekundarnih sudara s objektima uz cestu, poput drveća, pješaka i drugih sudionika u prometu. Ipak, kod sudara s visokoapsorbirajućim stupovima postoji veći rizik od ozljeda putnika u vozilu u usporedbi sa stupovima koji ne apsorbiraju energiju. Tada se stvaraju veće sile i deformacije u vozilu, što izaziva ozljede putnika, iako su one manje u usporedbi sa sudarima s krutim stupovima [2].

Visokoapsorbirajući stupovi obično imaju čvrstu konstrukciju izrađenu od čelika, aluminija ili kompozitnih materijala, koja puca tijekom sudara. Elementi za apsorpciju energije mogu biti izrađeni od čelika, kompozitnih materijala, drva i drugih materijala.

Na slici 4.2. prikazan je pokusni sudar automobila s aluminijskim visokoapsorbirajućim stupom. Za HE stupove ključno je provjeriti preostalu brzinu vozila. Izlazna brzina od 50 km/h i dalje spada u kategoriju HE, ali je i dalje značajna te može uzrokovati ozbiljna sekundarna oštećenja. Potpuno zaustavljanje vozila predstavlja optimalan HE ishod [16].



Slika 4.2. Pokusni sudar s visokoapsorbirajućim stupom [16]

U Finskoj je provedeno istraživanje sudara u skladu s normom EN 12767. Testirani su kompozitni stupovi visine 10 i 12,4 metra pri brzinama od 100 km/h i 35 km/h. Na temelju tog ispitivanja, ruski laboratorij Computational Mechanics Laboratory izradio je numeričke simulacije pokusnih sudara [3].

Analizirani su rasvjetni stupovi različitih visina (10 m, 12,4 m i 15 m), s različitim unutarnjim i vanjskim promjerima te različitim stupnjem ojačanja u strukturi kompozitnog materijala. Tijekom sudara došlo je do plastične deformacije i klizanja stupa ispod vozila. U prvoj fazi zaustavljanja vozilo je najviše usporilo, a brzina usporavanja ovisila je o presjeku stupa, promjeru i broju ojačanja. U drugoj fazi vozilo se usporilo do potpunog zaustavljanja [3].

Tijekom sudara sa stupom koji apsorbira energiju, šteta na vozilu znatno je manja u usporedbi sa stupom koji ne apsorbira energiju, no rizik od ozljeda putnika u vozilu nešto je veći.

Na slici 4.3. prikazano je vozilo nakon zaustavljanja. S lijeve strane slike nalazi se pokusni sudar, a s desne strane slike nalazi se numerička simulacija.



Slika 4.3. Vozilo nakon zaustavljanja [17]

Statističkim ispitivanjem u Australiji utvrđeno je da sudari s prometnim rasvjetnim stupovima godišnje uzrokuju troškove od 18,5 milijuna dolara zbog smrtnih slučajeva, 53,7 milijuna dolara zbog ozljeda te do 16 milijuna dolara godišnje za popravak, instalaciju i održavanje tih stupova. Stoga je dr. Mohammad Uddin sa Sveučilišta u Južnoj Australiji, u suradnji s australskom tvrtkom, odlučio razviti stupove koji će apsorbirati kinetičku energiju [18].

Takvi stupovi sastojali bi se od šupljine u obliku stošca unutar betonskog temelja. Razmak između površinske barijere i šupljine ispunjen je spremnikom s poliuretanskom pjenom, koja drži stup uspravnim. Tijekom sudara, spremnik apsorbira kinetičku energiju i omogućava stupu da se nagne na jednu stranu bez pucanja. Time se smanjuje energija udara vozila u stup, što rezultira manjim rizikom od težih ozljeda putnika u vozilu [18].

Ova tehnologija izgradnje stupova namijenjena je manjim stupovima uz prometnice, koji su najčešće prisutni u gradovima. Sličan pristup planira se i za rasvjetne stupove, a očekuje se da će oni biti spremni za uporabu najkasnije u sljedećih godinu dana [18].

Na slici 4.4. prikazan je pokusni sudar sa stupom koji apsorbira kinetičku energiju.



Slika 4.4. Pokusni sudar sa stupom koji apsorbira kinetičku energiju [18]

4.3. Niskoapsorbirajući stupovi (LE stupovi)

Stupovi koji mogu apsorbirati malu količinu energije predstavljaju dobar kompromis između apsorpcije energije i sigurnosti putnika u vozilu, jer posjeduju neke karakteristike i visokoapsorbirajućih i neapsorbirajućih stupova. Projektirani su tako da pri udaru vozila popuste ispred i ispod vozila prije nego što dođe do potpune deformacije kao kod neapsorbirajućih stupova [2].

Na slici 4.5. prikazan je aluminijski LE stup, dok je na slici 4.6. prikazan sudar vozila s niskoapsorbirajućim stupom.



Slika 4.5. Aluminijski LE stup [16]

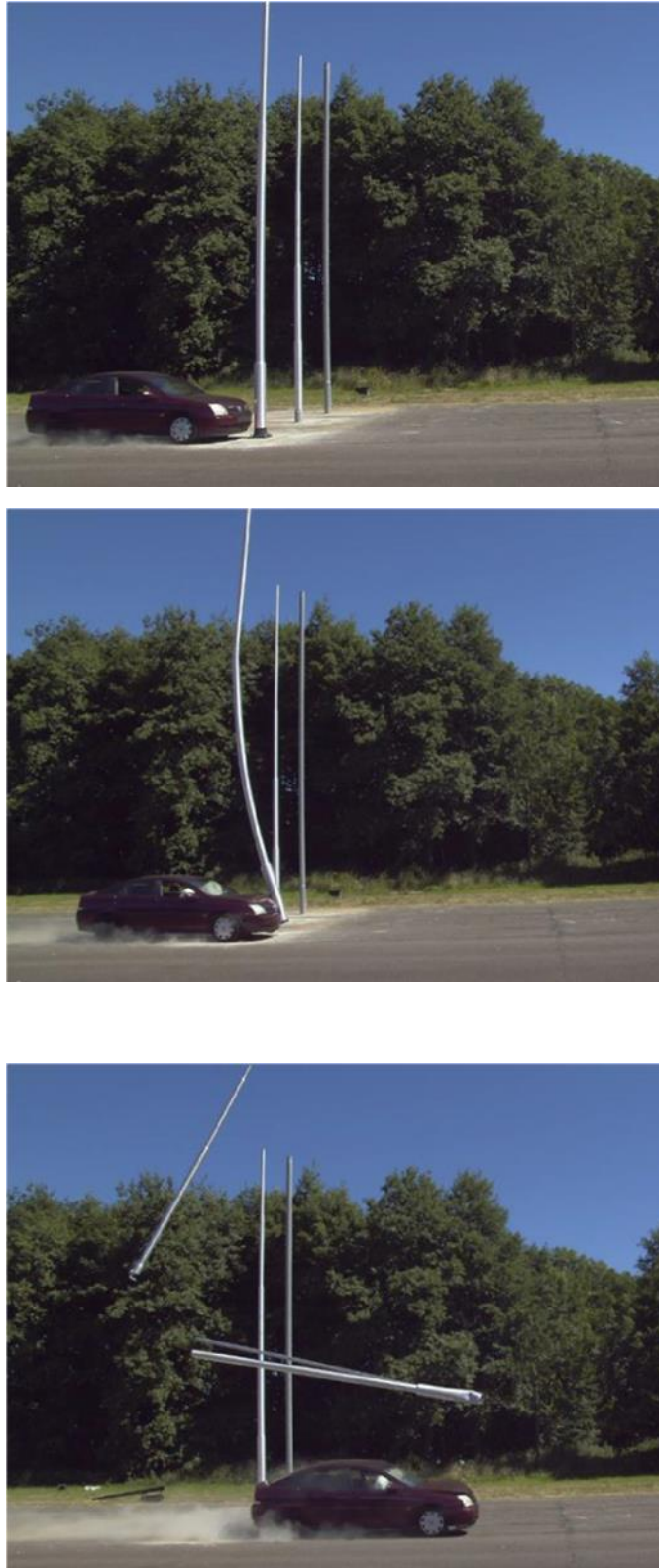


Slika 4.6. Sudar vozila s niskoapsorbirajućim stupom [16]

4.4. Stupovi koji ne apsorbiraju energiju (NE stupovi)

Ponašanje pasivno pouzdanih stupova, poput rasvjetnih ili prometnih stupova, određeno je njihovim svojstvima apsorpcije energije i konstrukcijom. Stupovi koji ne apsorbiraju energiju u prometnoj terminologiji nazivaju se "neenergetski" stupovi ili "NE" stupovi. To znači da ti stupovi nemaju sposobnost značajnijeg usporavanja ili apsorpcije energije prilikom sudara s vozilom. Umjesto toga, zadržavaju svoju krutu strukturu te se pri sudaru najčešće lome ili ruše. Neenergetski stupovi obično su izrađeni od čvrstog čelika ili drva. Europska unija zahtijeva da većina infrastrukture uz prometnice bude projektirana s odvojivim ili drugim sigurnosnim značajkama koje ograničavaju usporavanje vozila uzrokovano sudarom s infrastrukturom tijekom nesreće. Europska unija dopušta postavljanje stupova bez dodatnih zaštitnih mjera samo ako su testirani i certificirani prema normi EN 12767. Kako bi se dokazala sigurnost i pouzdanost stupova, provode se ispitivanja, a dopušteno je postavljanje stupova klase pouzdanosti 100 NE 3 [16].

Na slici 4.7. prikazan je pokusni sudar s NE stupom.



Slika 4.7. Pokusni sudar s NE stupom [16]

Pokusni sudari provode se pri brzinama od 35 i 100 km/h. Na slici 4.8. prikazan je pokusni sudar pri brzini od 100 km/h, pri čemu je vidljivo da se stup potpuno slomio i pao iza vozila, koje se nastavilo kretati smanjenom brzinom. Kako bi stup zadovoljio kriterije klasifikacije za ispitivanu brzinu, nakon sudara vozilo mora imati minimalnu brzinu od 70 km/h, koja se mjeri 12 metara iza mjesta sudara [3].



Slika 4.8. Pokusni sudar pri brzini od 100 km/h [19]



Slika 4.9. Pokusni sudar pri brzini od 35 km/h [19]

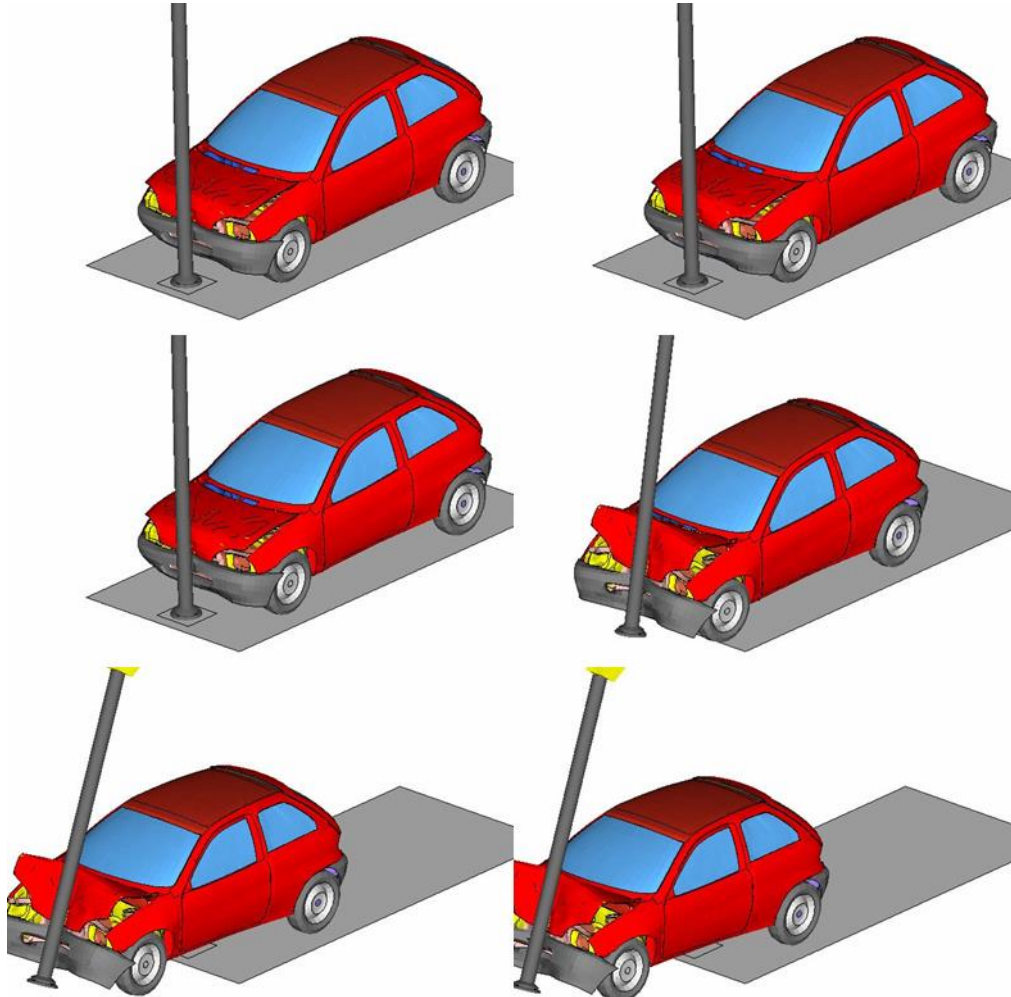
Na slici 4.10. prikazan je primjer demonstracije sudara vozila s prometnim signalnim neenergetskim stupom. Može se vidjeti da se signalni stup srušio pri čemu se vozilo minimalno usporilo, što dovodi do toga da su potencijalni putnici bili zaštićeni od teških ozljeda.



Slika 4.10. Sudar vozila s prometnim signalnim NE stupom [16]

Ponašanje stupova može se prikazati i numeričkom simulacijom. Ona se temelji na metodi konačnih elemenata, čime je omogućeno detaljno modeliranje interakcije između vozila i stupa tijekom ispitivanja [3].

Na slici 4.11. prikazana je numerička simulacija sudara vozila i stupa koji ne može apsorbirati energiju.



Slika 4.11. Numerička simulacija sudara vozila i NE stupa [20]

5. PREDNOSTI I NEDOSTACI PASIVNO POUZDANIH STUPOVA

U usporedbi s tradicionalnim stupovima, prednosti ugradnje pasivno pouzdanih stupova uključuju manju vjerojatnost za ozbiljne ozljede putnika u vozilu koje udari u stup, lakšu zamjenu stupa nakon sudara te izostanak potrebe za postavljanjem zaštitne ograde [3].

Na mjestima gdje je postavljanje tradicionalnih zaštitnih ograda otežano ili neprikladno zbog ograničenog prostora (urbana područja), pasivno pouzdani stupovi često su bolje rješenje.

Bez obzira što pasivno pouzdani stupovi mogu smanjiti ozljede putnika tijekom sudara, ostaci stupa ili drugih materijala koji padnu na cestu ili pločnik mogu predstavljati opasnost za ostale sudionike u prometu. Stoga je ključno osigurati da ti ostaci budu vidljivi vozačima i pješacima, osobito noću ili u uvjetima smanjene vidljivosti. To se može postići postavljanjem odgovarajućih svjetlosnih signala, reflektirajućih traka ili svjetlosnih barijera kako bi se upozorilo na opasnost. U protivnom, kod sudara s uobičajenim stupom, veći je rizik za putnike u vozilu, a manji za druge sudionike u prometu.

Također, kao nedostatak pasivno pouzdanih stupova su početni investicijski troškovi koji su, u usporedbi s tradicionalnim čvrstim stupovima, dosta veći. Ovo predstavlja poseban problem kod projekata koji imaju ograničen proračun.

6. ZAKLJUČAK

Nesreće u prometu uzrokuju teške posljedice, bilo da je riječ o ozljedama i gubitku ljudskih života ili materijalnoj šteti. Prevencija prometnih nesreća i smanjenje njihovih posljedica predstavljaju ključne ciljeve u području prometne sigurnosti.

Unapređenje prometne sigurnosti može se postići na mnogo načina. Jedan od tih načina je uporaba pasivno pouzdanih stupova. Primjenom stupova koji apsorbiraju energiju postiže se veća sigurnost za vozače. Ipak, postoji određeni rizik za pješake zbog mogućnosti pada stupa. Stoga je nužno posvetiti pažnju odabiru odgovarajućeg tipa stupa za pojedino područje, izboru materijala za izradu stupova te načinu njihova oštećivanja.

Uz korištenje pasivno pouzdanih stupova, od presudne je važnosti kontinuirano pratiti i unapređivati prometnu infrastrukturu, educirati vozače i pješake te strogo provoditi zakone kako bi se postigla najviša razina prometne sigurnosti. Sve ove mjere zajednički pridonose stvaranju sigurnijeg i odgovornijeg prometnog okruženja.

POPIS LITERATURE

- [1] Bilten o sigurnosti cestovnog prometa 2023., Ministarstvo unutarnjih poslova Republike Hrvatske, Zagreb, 2024.
- [2] Tkalčević Lakušić, Višnja: Pouzdanost stupova uz prometnice pri udaru vozila // Građevinar, 64 (2012), 4; 305-313 (međunarodna recenzija, pregledni rad, znanstveni)
- [3] Tkalčević Lakušić, Višnja: Analiza stupova uz prometnice iz aspekta sigurnosti u prometu / / Projektiranje prometne infrastrukture / Lakušić, Stjepan (ur.), Zagreb: Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zavod za prometnice, 2011. str. 321-346
- [4] <https://www.gradnja.org/zakoni/pravilnici/545-pravilnik-o-vrsti-i-sadrzaju-projekta-za-javne-ceste.html>
- [5] Pocinčani čelični stup (Izvor: <http://hr.xintongpole.com/8-meter-height-street-light-galvanized-steel-pole-product/>)
- [6] Corrosion protection of rolled steel sections using hot-dip galvanization, Long Carbon Europe Sections and Merchant Bars, ArcelorMittal, Luxembourg
- [7] Proces vrućeg pocinčavanja (<http://www.pocinkovalnica.si/hr/pocincavanje/proces-toplog-cinkovanja/>)
- [8] Postupak bojanja (Izvor: <https://www.gracotechgrupa.hr/bojanje-celicnih-konstrukcija/>)
- [9] Čelik otporan na atmosferske utjecaje (Izvor: <https://www.gneesteel.com/bs/products/steel-plate/weather-resistant-steel/sa588grk-steel.html>)
- [10] Alluround lighting columns, Nedal Aluminium, Nizozemska
(www.nedal.com)
- [11] Aluminijski rasvjetni stupovi (Izvor: <https://ba.phoebuslight.com/lighting-pole/street-light-pole/single-arm-hot-dip-galvanized-light-pole.html>)
- [12] Kompozitni stupovi
<https://www.rspoies.com/whyusecomposite>
- [13] Rajčić V., Svojstva kao materijala drva,
https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/Svojstva_drva_2014%5B2%5D%5B1%5D.pdf
- [14] Drveni stupovi
(<https://www.researchgate.net/publication/229163737/figure/fig2/AS:300829908193281@1448734847476/Typical-wood-poles-of-the-Hellenic-electric-distribution-network.png>)

- [15] European Committee for Standardization: EN 12767:2007
Passive safety of support structures for road equipment -
Requirements and test methods
- [16] https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf
- [17] Vozilo nakon zaustavljanja (izvor: https://www.academia.edu/8519459/Finite_Element_Modeling_and_Analysis_of_Crash_Safe_Composite_Lighting_Columns_Contact_Impact_Problem)
- [18] New atlas (<https://newatlas.com/good-thinking/impact-absorbing-traffic-light-poles/>)
- [19] (Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=3Vzmht9Qa1o&ab_channel=SjaakHoekstra)
- [20] (Izvor: https://repository.lboro.ac.uk/articles/report/Roadside_infrastructure_for_safer_European_Roads_D03_Critical_vehicle_and_infrastructure_interactions/9354062?file=16963859)

POPIS SLIKA

Slika 3.1. Pocinčani čelični stup (Izvor: <http://hr.xintongpole.com/8-meter-height-street-light-galvanized-steel-pole-product/>)

Slika 3.2. Slaganje elemenata (Izvor: <http://www.pocinkovalnica.si/hr/pocincavanje/proces-toplog-cinkovanja/>)

Slika 3.3. Kemijsko čišćenje i pretpriprema (Izvor: <http://www.pocinkovalnica.si/hr/pocincavanje/proces-toplog-cinkovanja/>)

Slika 3.4. Vruće pocinčavanje u otopini cinka (Izvor: <http://www.pocinkovalnica.si/hr/pocincavanje/proces-toplog-cinkovanja/>)

Slika 3.5. Razdvajanje, čišćenje i pakiranje (Izvor: <http://www.pocinkovalnica.si/hr/pocincavanje/proces-toplog-cinkovanja/>)

Slika 3.6. Postupak bojanja (Izvor: <https://www.gracotechgrupa.hr/bojanje-celicnih-konstrukcija/>)

Slika 3.7. Čelik otporan na atmosferske utjecaje (Izvor: <https://www.gneesteel.com/bs/products/steel-plate/weather-resistant-steel/sa588grk-steel.html>)

Slika 3.8. Aluminijski rasvjetni stupovi (Izvor: <https://ba.phoebuslight.com/lighting-pole/street-light-pole/single-arm-hot-dip-galvanized-light-pole.html>)

Slika 3.9. Kompozitni stup (Izvor: <https://www.rspoles.com/whyusecomposite>)

Slika 3.10. Drveni stup (Izvor: <https://www.researchgate.net/publication/229163737/figure/fig2/AS:300829908193281@1448734847476/Typical-wood-poles-of-the-Hellenic-electric-distribution-network.png>)

Slika 4.1. Stupnjevi apsorpcije energije (Izvor: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf)

Slika 4.2. Pokusni sudar s visoko apsorbirajućim stupom (Izvor: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf)

Slika 4.3. Vozilo nakon zaustavljanja (izvor: https://www.academia.edu/8519459/Finite_Element_Modeling_and_Analysis_of_Crash_Safe_Composite_Lighting_Columns_Contact_Impact_Problem)

Slika 4.4. Pokusni sudar sa stupom koji apsorbira kinetičku energiju (Izvor: <https://newatlas.com/good-thinking/impact-absorbing-traffic-light-poles/>)

Slika 4.5. Aluminijski LE stup (Izvor: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf)

Slika 4.6. Sudar vozila s niskoapsorbirajućim stupom (Izvor: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf)

Slika 4.7. Pokusni sudar s neenergetskim stupom (Izvor: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf)

Slika 4.8. Pokusni sudar pri brzini od 100 km/h (Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=3Vzmht9Qa1o&ab_channel=SjaakHoekstra)

Slika 4.9. Pokusni sudar pri brzini od 35 km/h (Izvor: https://www.youtube.com/watch?v=3Vzmht9Qa1o&ab_channel=SjaakHoekstra)

Slika 4.10. Sudar vozila s prometnim signalnim NE stupom (Izvor: https://www.hydro.com/globalassets/download-center/publications/hydro_papers_pole-products-passive-safety-march-2021.pdf)

Slika 4.11. Numerička simulacija sudara vozila i NE stupa (Izvor: https://repository.lboro.ac.uk/articles/report/Roadside_infrastructure_for_safer_European_Roads_D03_Critical_vehicle_and_infrastructure_interactions/9354062?file=16963859)