

# Proračun čeličnih rasvjetnih stupova sa solarnim panelima

---

**Kukrika, Luka**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2021**

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

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:338563>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-21**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Luka Kukrika**

**PRORAČUN ČELIČNIH RASVJETNIH STUPOVA SA SOLARNIM PANELIMA**

Završni rad

Rijeka, 2021.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski stručni studij**

**Čelične konstrukcije**

**Luka Kukrika**

**JMBAG: 0114031786**

**PRORAČUN ČELIČNIH RASVJETNIH STUPOVA SA SOLARNIM PANELIMA**

Rijeka, rujan 2021.

Naziv studija: **Preddiplomski stručni studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

**PRORAČUN ČELIČNIH RASVJETNIH STUPOVA SA SOLARNIM PANELIMA**

**DESIGN OF STEEL LIGHTING COLUMNS WITH SOLAR PANELS**

Kandidat: **LUKA KUKRIKA**

Kolegij: **ČELIČNE KONSTRUKCIJE**

Završni rad broj: **21-ST-12**

**Zadatak:**

Izraditi proračun čeličnih rasvjetnih stupova na tri različite lokacije na prometnicama različitog reda važnosti. Odabrati stupove različitih visina prema karakterističnim lokacijama te provesti proračune djelovanja. Proračunati statiku na ruke ili primjenom programa Robot Structural Analysis, te provesti dimenzioniranje prema graničnom stanju nosivosti i graničnom stanju uporabivosti. Riješiti detalj spajanja stupa na betonski temelj, te provjeriti otpornost vijaka i zavora. Za proračun koristiti normu za rasvjetne stupove HRN EN 40-3-1 te ostale važeće propise.

**Tema rada je uručena: 24. veljače 2021.**

**Mentorica:**

doc. dr. sc. Paulina Krolo,  
dipl. ing. građ.



## ***IZJAVA***

Završni rad sam izradio samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Luka Kukrika

U Rijeci, 15. rujna 2021.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se doc. dr. sc. Paulini Krolo dipl. ing. građ. na mentorstvu, izdvojenom vremenu i trudu, te pomoći pri izradi završnog rada.

Također bih se zahvalio mojoj obitelji, prijateljima i kolegama na pruženoj potpori tijekom studiranja.

## **SAŽETAK**

Cilj završnog rada je proračun čeličnih stupova javne rasvjete koji su smješteni na tri različite lokacije. Odabrani su stupovi različitih visina za koje su provedene analize djelovanja vjetra i vlastite težine solarnog panela na rasvjetni stup. Izračunate su reakcije u stupovima, te otpornost poprečnih presjeka, elemenata i vijčanih spojeva stupova sa betonskim temeljima. Sukladno dobivenim rezultatima odabrani su odgovarajući poprečni presjeci, debljine stijenki stupova i vijci za spoj temelja i stupa.

### ***Ključne riječi:***

Rasvjetni stup, solarni panel, djelovanje vjetra, dimenzioniranje, čelične konstrukcije, poprečni presjek

## **Summary**

The aim of this Final Thesis is calculation of steel street lighting columns located on three different locations. Columns of different heights were selected and wind action and action of the self weight on lighting columns and solar panels were conducted for those lighting columns. Reactions in columns were calculated, as well as resistance of transverse sections, elements and bolt joints of columns and concrete foundations. According to obtained results corresponding transverse section, wall thickness and bolts for foundation and column joints were selected.

### ***Key words:***

Lightning column, solar panel, wind action, sizing, steel constructions, transverse section

## SADRŽAJ:

<b>1. UVOD</b> .....	2
<b>2. JAVNA RASVJETA SA SOLARNIM PANELIMA</b> .....	3
<b>2.1 Pozicije i načini postavljanja cestovne rasvjete</b> .....	4
<i>2.1.1 Vrste stupova javne rasvjete</i> .....	7
<i>2.1.2 Vrste rasvjetnih tijela</i> .....	10
<b>3. ANALIZA DJELOVANJA</b> .....	13
<b>3.1 LOKACIJE</b> .....	13
<b>3.2 OPIS STUPOVA KORIŠTENIH U PRORAČUNU</b> .....	15
<b>3.3 RASVJETNO TIJELO I SOLARNI PANEL</b> .....	17
<b>3.4 KORIŠTENI PROPISI I PROGRAMI</b> .....	18
<b>3.5 ANALIZA DJELOVANJA</b> .....	19
<i>3.5.1 Stalno djelovanje</i> .....	19
<i>3.5.2 Djelovanje vjetra</i> .....	19
<b>3.6 DJELOVANJE VJETRA NA SOLARNE PANELE</b> .....	30
<b>3.7 DIMENZIONIRANJE STUPOVA</b> .....	31
<b>3.8 OTPORNOST ELEMENTA</b> .....	36
<b>3.9 SPOJ STUPA NA BETONSKI TEMELJ</b> .....	39
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	43
<b>5. LITERATURA</b> .....	44

## POPIS TABLICA:

Tablica 1 Vrijednosti stalnog opterećenja stupova.....	19
Tablica 2 Vrijednosti računskog stalnog djelovanja.....	19
Tablica 3 Vrijednosti referentnog pritiska vjetra .....	21
Tablica 4 Faktor izloženosti [16] .....	21
Tablica 5 Vrijednosti koeficijenta izloženosti [16] .....	22
Tablica 6 Vrijednosti frekvencije, perioda i faktora dinamičkog ponašanja stupa.....	24
Tablica 7 Vrijednosti karakterističnog pritiska vjetra .....	24
Tablica 8 Vrijednosti $R_e$ i $V$ za stup SRS.....	26
Tablica 9 Vrijednosti $R_e$ i $V$ za stup KORS .....	26
Tablica 10 Vrijednosti $R_e$ i $V$ za stup CRS .....	27
Tablica 11 Vrijednosti horizontalne sile vjetra .....	28
Tablica 12 Vrijednosti sile $q$ za stup SRS.....	29
Tablica 13 Vrijednosti sile $q$ za stup KORS .....	29
Tablica 14 Vrijednosti sile $q$ za stup CRS .....	29
Tablica 15 Vrijednosti sile $q_{c(MAX),Ed}$ .....	30
Tablica 16 Vrijednosti sile vjetra koja djeluje na solarni panel .....	30
Tablica 17 Vrijednosti računskih sila $F_{l,Ed}$ .....	31
Tablica 18 Vrijednosti računskih unutarnjih sila .....	32
Tablica 19 Klase poprečnog presjeka .....	33
Tablica 20 Otpornost poprečnog presjeka na savijanje .....	34
Tablica 21 Otpornost presjeka na posmik.....	34
Tablica 22 Otpornost presjeka na tlak .....	35
Tablica 23 Vrijednosti interakcije savijanja i tlaka .....	35
Tablica 24 Vrijednosti interakcije savijanja i posmika.....	36
Tablica 25 Vrijednosti kritične duljine i sile izvijanja.....	37
Tablica 26 Krivulje izvijanja [20] .....	38
Tablica 27 Vrijednosti otpornosti elementa na izvijanje .....	38
Tablica 28 Otpornost vijaka na vlak.....	41
Tablica 29 Otpornost vijaka na posmik .....	41
Tablica 30 Otpornost osnovnog materijala na pritisak po omotaču rupe .....	42
Tablica 31 Interakcija- vlak i odrez.....	42

## POPIS SLIKA:

Slika 1: Princip rada solarne rasvjete [1] .....	3
Slika 2: Loše pozicioniran stup rasvjete (Izradio Autor) .....	4
Slika 3: Centralni raspored (Izradio Autor) .....	5
Slika 4: Jednostrani raspored (Izradio Autor) .....	5
Slika 5: Kombinirani raspored .....	6
Slika 6: Aksijalni raspored.....	6
Slika 7: Drveni stup (Izradio Autor).....	7
Slika 8: Betonski stup (Izradio Autor).....	8
Slika 9: Čelični stup (Izradio Autor) .....	9
Slika 10: Lijevano željezni stup (Izradio Autor).....	9
Slika 11: LED rasvjetno tijelo [3] .....	10
Slika 12: Halogena žarulja [4] .....	10
Slika 13: Natrijeva žarulja [5].....	11
Slika 14: Žarulja sa živinom niti [6].....	11
Slika 15: Vrste javne rasvjete [8] .....	12
Slika 16: Efikasnost i vijek trajanja javne rasvjete [8] .....	12
Slika 17 Ulica Radmile Matejčić [9].....	13
Slika 18 Krešimirova ulica [9] .....	13
Slika 19 Autocesta E751, tj. Istarski ipsilon [9].....	14
Slika 20 Dimenzije stupa CRS [10].....	15
Slika 21 Dimenzije stupa KORS [10].....	16
Slika 22 Dimenzije stupa SRS [10].....	17
Slika 23 Solarni panel s rasvjetom Solar Nighthawk Light [11].....	18
Slika 24 Dimenzije rasvjetnog tijela i solarnog panela [11] .....	18
Slika 25 Karta osnovne brzine vjetra.....	20
Slika 26 Graf faktora izloženosti.....	22
Slika 27 Koeficijent za dinamičko ponašanje stupa .....	23
Slika 28 Prvi način vibriranja stupa.....	24
Slika 29 Koeficijent oblika c.....	25
Slika 30 Dijagrami sila za stup SRS [7] .....	31
Slika 31 Dijagrami sila za stup KORS [7].....	32
Slika 32 Dijagrami sila za stup CRS [7].....	32
Slika 33 Kritične duljine izvijanja.....	36
Slika 34 Spoj stupa i temelja [Izradio Autor].....	39

## 1. UVOD

Javna rasvjeta je vanjska rasvjeta koja se koristi za rasvjetljavanje površina javne namjene. Postavlja se uz prometnice na stupove, pričvršćuje se na zgrade ili u rijetkim situacijama se postavlja na nategnutu užad iznad prometnice. Svrha javne rasvjete je povećati vidljivost noću čime se smanjuje mogućnost nezgoda i povećava sigurnost u prometu.

Prije nastanka električne javne rasvjete upotrebljavala se plinska javna rasvjeta. Plinska rasvjeta je proizvodila svjetlost pomoću plamena, a jedinstvena je po tome što su ju nažigači svakodnevno palili i gasili ručno. Iako je plinska javna rasvjeta funkcionirala na drugačiji način od električne i dalje je imala sličnu konstrukciju, tj. sastojala se od rasvjetnog tijela montiranog na vrh utemeljenog stupa.

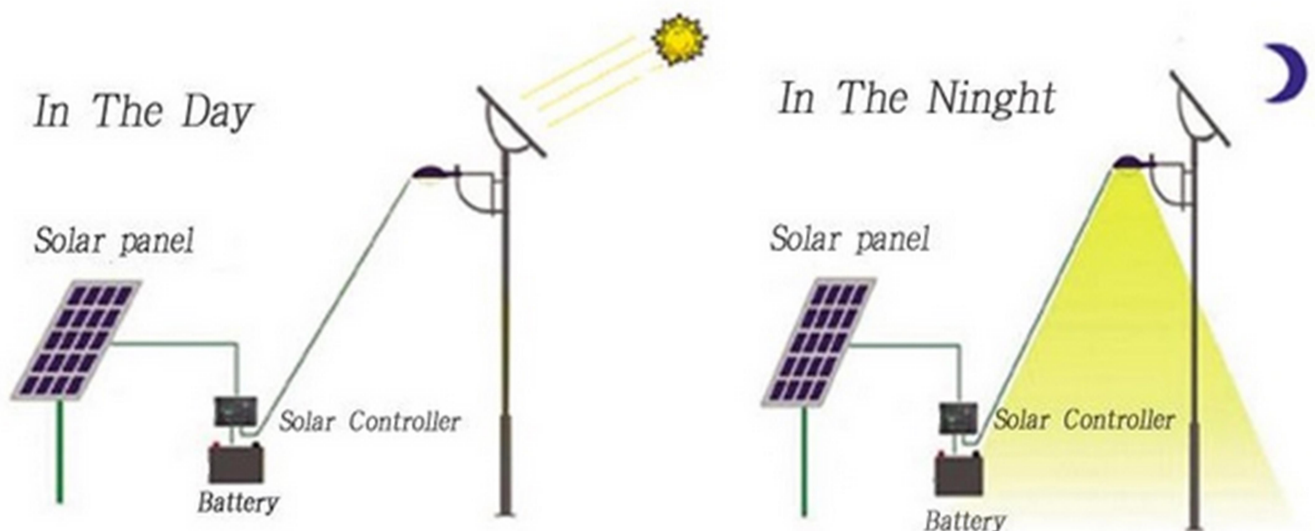
U današnje vrijeme ima mnogo različitih vrsta javne rasvjete. Razlikuju se po rasvjetnom tijelu, načinu spoja stupa na temelj te visini i vrsti stupa. Ovisno o vrsti i poziciji prometnica na kojima se nalaze koriste se različiti stupovi, tj. različita visina, promjer i poprečni presjek stupova. Npr. u gradovima i naseljenim područjima ugrađuje se veći broj nižih stupova kako bi se smanjilo osvjetljavanje obližnjih stambenih objekata, dok se u nenaseljenim dijelovima koristi manji broj viših stupova. Na područjima gdje je jači vjetar koriste se stupovi sa većim promjerom i debljom stijenkama, dok se na područjima slabijeg vjetra se koriste tanji stupovi kako bi se smanjio nepotrebni trošak.

Tema ovoga završnog rada je proračun nosivosti čeličnog stupa javne rasvjete. Solarni panel povećava opterećenje vjetra na stup zbog svoje velike površine, te zbog svoje dodatne vlastite težine, utječe na nosivost i stabilnost. Stoga je potrebno detaljno analizirati djelovanja na karakterističnim lokacijama na kojima se planira ugraditi javna rasvjeta sa solarnim panelom, te pažljivo proračunati nosivost stupa javne rasvjete. Provedeni su proračuni tri različita čelična stupa na tri različite lokacije na području Republike Hrvatske.



## 2. JAVNA RASVJETA SA SOLARNIM PANELIMA

Javna rasvjeta je programirana na način da se pali kada sunce zađe i gasi se u zoru kada je svitanje. U prosjeku javna rasvjeta je upaljena oko 10 sati dnevno ovisno o godišnjem dobu. Grad Rijeka ima 15790 rasvjetnih tijela koja ukupno imaju snagu od 2,33 megavata, što ih čini velikim potrošačima električne energije. Ideja za smanjenje potrošnje električne energije je ugradnja solarnih panela na stupove javne rasvjete. Princip rada solarne rasvjete je da pretvara sunčevo zračenje u električnu energiju. Zatim se električna energija akumulira u baterije koji napajaju rasvjetno tijelo tijekom noći kako je prikazano na Slici 1. Ukoliko se potroši sva akumulirana električna energija, javna rasvjeta nastavlja trošiti gradsku električnu energiju koja najčešće dolazi iz trafostanica [1].



Slika 1: Princip rada solarne rasvjete [1]

## 2.1 Pozicije i načini postavljanja cestovne rasvjete

Cilj postavljanja cestovne rasvjete je osigurati što sigurniju vožnju u noćnim uvjetima, poboljšati uočavanje pješaka, biciklista i ostalih slabije osvijetljenih sudionika u prometu, te svim sudionicima prometa istaknuti cjeline i važne detalje njihove vidne okoline. Cestovna rasvjeta se postavlja na pozicijama gdje je povećana opasnost za sudionike u prometu, stoga se cestovnom rasvjetom opremaju: - dionice cesta i autocesta

- tuneli i mostovi
- prometna čvorišta u više razina
- granični prijelazi
- prometno-uslužni objekti autocesta [2]

Rasvjetni stupovi se najčešće ugrađuju u liniji rubnjaka nogostupa. Time se ne smanjuje širina nogostupa kako bi se moglo nesmetano prometovati. Temelji rasvjetnih stupova izrađuju se prije postave rubnjaka, stoga se može dogoditi da stupovi ne budu na dobroj poziciji (Slika 2), već ulaze u nogostup.



Slika 2: Loše pozicioniran stup rasvjete (Izradio Autor)

Razlikujemo nekoliko vrsta rasporeda postavljanja cestovne rasvjete. Kod centralnog rasporeda (Slika 3) stup je postavljen između dvije prometne trake i sadrži dva rasvjetna tijela. Najčešće su to stupovi u zelenom pojasu autocesta ili stupovi između prometnica i parkinga.



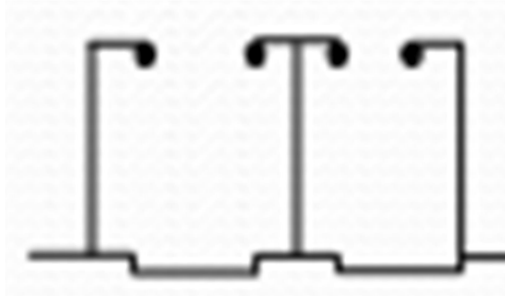
Slika 3: Centralni raspored (Izradio Autor)

Kod jednostranog rasporeda (Slika 4) stupovi su postavljeni samo uz jednu stranu prometnice. Većinom kod užih cesta gdje je se s jedne strane može osvijetliti cijela površina prometnica. Dvostrani raspored može biti sa paralelnim ili naizmjeničnim izvorima osvjetljenja. Upotrebljava se kod širih prometnica kako bi se osvijetlila puna širina prometnice.



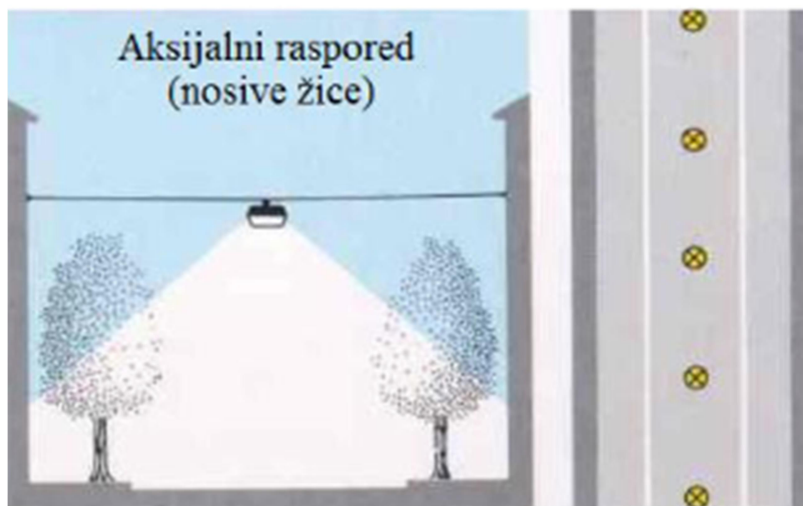
Slika 4: Jednostrani raspored (Izradio Autor)

Kombinirani način (Slika 5) se sastoji od centralnog i dvostranog rasporeda. Koristi se na prometnicama koje imaju veći broj traka, a potrebno je dobro osvjetljenje. Npr. glavne prometnice u centrima velikih gradova.



Slika 5: Kombinirani raspored

Svi prethodno nabrojani i opisani rasporedi cestovne rasvjete su na stupovima, dok se kod aksijalnog rasporeda rasvjetna tijela postavljaju na žice koje vise iznad ceste. Žice mogu biti postavljene uzdužno ili poprijeko na prometnicu. Aksijalni raspored (Slika 6) se najmanje koristi, a uobičajeno je da se koristi u manjim gradovima gdje se žice povežu za obližnje stambene objekte.



Slika 6: Aksijalni raspored

### 2.1.1 Vrste stupova javne rasvjete

Stupovi javne rasvjete se razlikuju po materijalu, obliku, vrsti poprečnog presjeka, načinu povezivanja na temelj.

Drveni stupovi (Slika 7) su najstarija vrsta stupova koja je služila kao stup za rasvjetu i električni dalekovod. Okruglog su presjeka stalnog promjera 200 do 300 milimetara od vrha do dna. U dnu pored stupa se nalazi betonski blok za koji bi taj stup bio povezan metalnim omčama. I dalje se koriste u manje razvijenim područjima ili starim dijelovima prometnica. Zamjenjuju se modernijima rješenjima stupova prilikom rekonstrukcija prometnica koji služe samo za rasvjetu, dok se dalekovodi izrađuju kao zasebne konstrukcije.



Slika 7: Drveni stup (Izradio Autor)

Betonski stupovi (Slika 8) su se koristili poslije drvenih i imali su sličnu namjenu. Služili su kao stupovi dalekovoda i javne rasvjete. Zamjenjuju drvene jer su dugotrajniji i nisu podložni propadanju uslijed vlage i crvotočina. Punog su kružnog poprečnog presjeka 250 do 400 milimetara. Pogodni su za ugradnju jer ne zahtijevaju nikakvu vrstu održavanja.



Slika 8: Betonski stup (Izradio Autor)

Plastični stupovi imaju kvadratni, mnogokutni ili kružni šuplji presjek. Koriste se za nižu rasvjetu. Spajaju se vijcima na betonski temelj. Izbjegava se korištenje plastičnih stupova zbog male otpornosti na vjetar. Stoga ih vrlo rijetko vidamo.

Metalni stupovi mogu biti aluminijski, lijevano željezni i čelični. Šupljeg su presjeka u obliku kruga ili mnogokuta, mogu imati različiti promjer na dnu i u vrhu stupa što im smanjuje otpornost na djelovanje vjetra i vlastite težine. Aluminijski stupovi nemaju problem s korozijom, lagani su i čvršći od plastičnih stupova. Temelje se pomoću vijaka u betonski temelj. Lijevano željezni stupovi su se koristili u prošlosti. Ne mogu biti jako visoki, te imaju debele stijenke.



Čelični stupovi (Slika 9) se najčešće koriste za javnu rasvjetu. Najčešće su pocinčani radi zaštite od korozije. Zbog čvrstoće čelika koriste se gdje je potrebno postaviti rasvjetna tijela na veliku visinu i gdje su jaki udari vjetra. Potrebno ih je kontrolirati i održavati kako bi se spriječila ili uklonila korozija. Temelje se na dva različita načina, ovisno o vrsti stupa. Prvi način je spoj sidrenim vijcima u betonski temelj. Najčešće su to četiri vijka od M14 do M27. Drugi način je postavljanje stupa u rupu cilindričnog oblika dubine cca. 70 centimetara ugrađen u betonski temelj, dovođenje stupa u vertikalni položaj, te punjenjem praznine između čeličnog stupa i betona finim pijeskom uz zalijevanje vodom.



Slika 9: Čelični stup (Izradio Autor)



Slika 10: Lijevano željezni stup (Izradio Autor)

### 2.1.2 Vrste rasvjetnih tijela

LED je engl. skraćenica za Light Emitting Diode što znači svjetleća dioda. LED rasvjetno tijelo (Slika 11) se sastoji od većeg broja svjetlećih dioda koje osvjetljavaju prometnice. Dioda nemaju žarnu nit i ne proizvode toplinu, već samo svjetlost. Stoga su znatno manji potrošači električne energije i najčešće su baš LED rasvjetna tijela uparena sa solarnim panelima. Imaju dvostruko veći vijek trajanja od prosječnih žarulja. Stoga, iako su najskuplja vrsta rasvjetnih tijela, svojom ekonomičnošću i dugotrajnošću su zapravo najbolja opcija za javnu rasvjetu.



Slika 11: LED rasvjetno tijelo [3]

Halogena rasvjeta (Slika 12) radi na klasičnom principu žarne, tj. volframove niti u žarulji, ali razlikuje se od klasične žarulje po tome što žarulja sadrži halogene plinove jod i brom. Kombinacija volframove niti s halogenim plinovima stvara halogeni ciklus tijekom kojega se ispareni volfram ponovno deponira na nit. Time se produlje vijek trajanja i prozirnost halogene žarulje. Halogena žarulja funkcionira na višim temperaturama u odnosu na klasične žarulje, te proizvodi više svjetlosti i ima dulji vijek trajanja.



Slika 12: Halogena žarulja [4]



Natrijeva žarulja (Slika 13) radi na principu žarne niti kao i halogena žarulja. Pouzdanija je od prethodno navedenih žarulja s žarnom niti jer je manji potrošač električne energije, ima vijek trajanja do 30.000 radnih sati i nije skupa. Proizvodi širi spektar žutog svjetla. Najčešća uporaba od svih navedenih rasvjetnih tijela javne rasvjete je upravo žarulja s natrijevom žarnom niti.

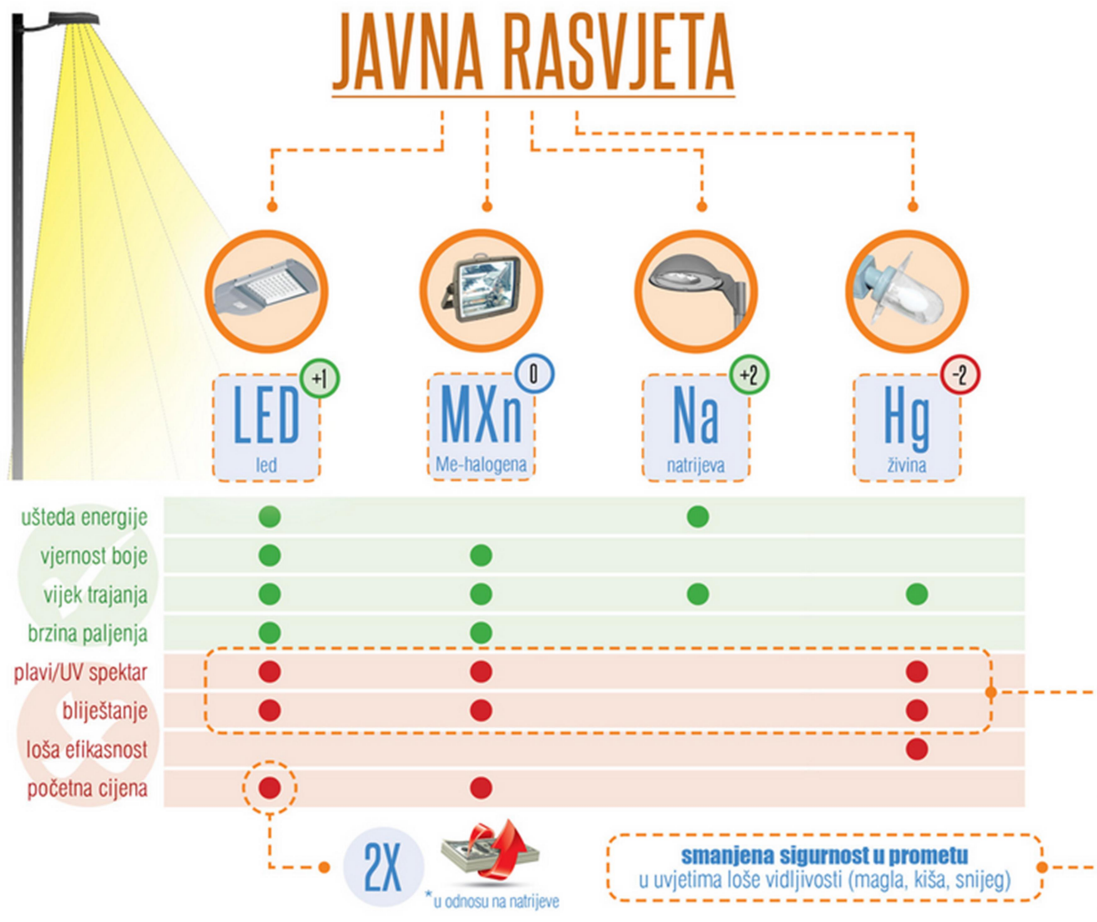


Slika 13: Natrijeva žarulja [5]

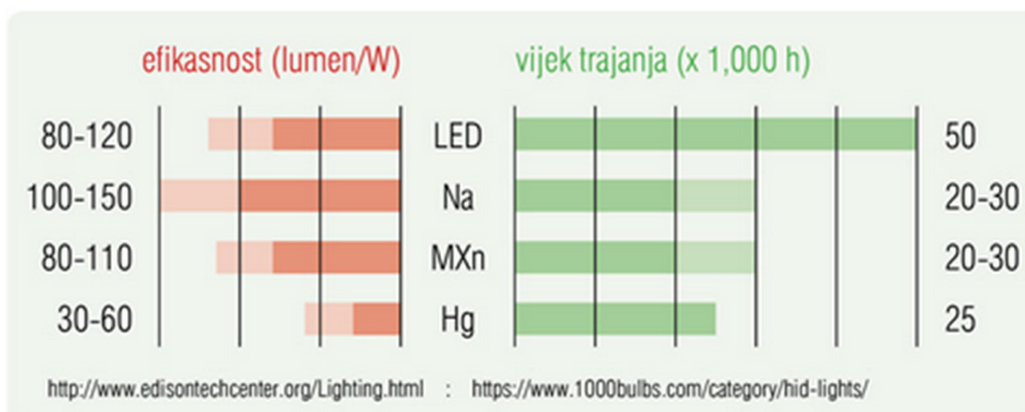
Žarulja sa živinom žarnom niti (Slika 14) je najstarija vrsta rasvjetnog tijela s popisa. Ima najkraći vijek trajanja koji ne prelazi 25.000 sati. Proizvodi plavkasto svjetlo zbog čega može doći i do neželjenog UV spektra. U većini slučajeva nema jasno definiranu granicu osvjetljenja što često dovodi do raspršenja svjetla.



Slika 14: Žarulja sa živinom niti [6]



Slika 15: Vrste javne rasvjete [8]

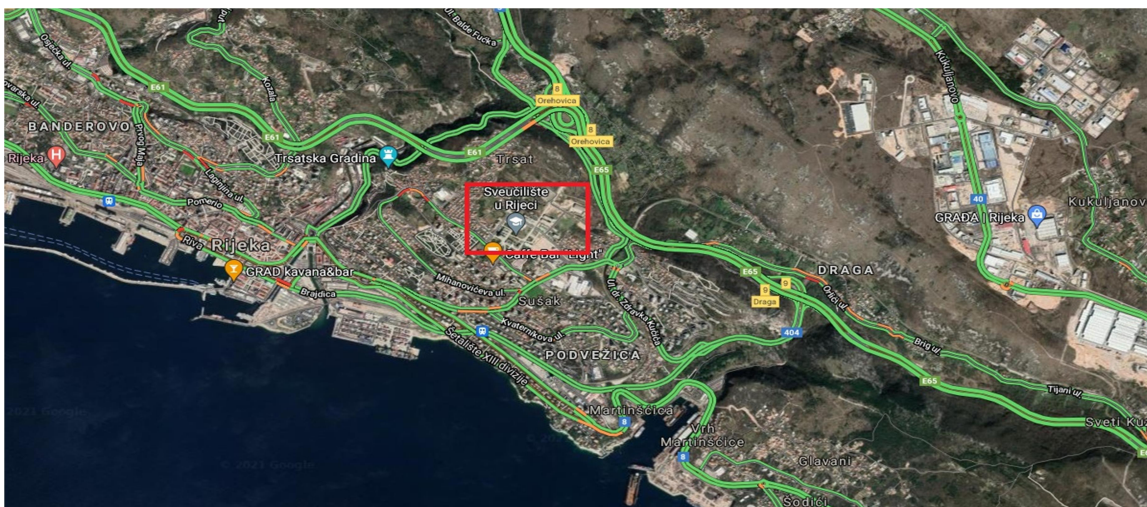


Slika 16: Efikasnost i vijek trajanja javne rasvjete [8]

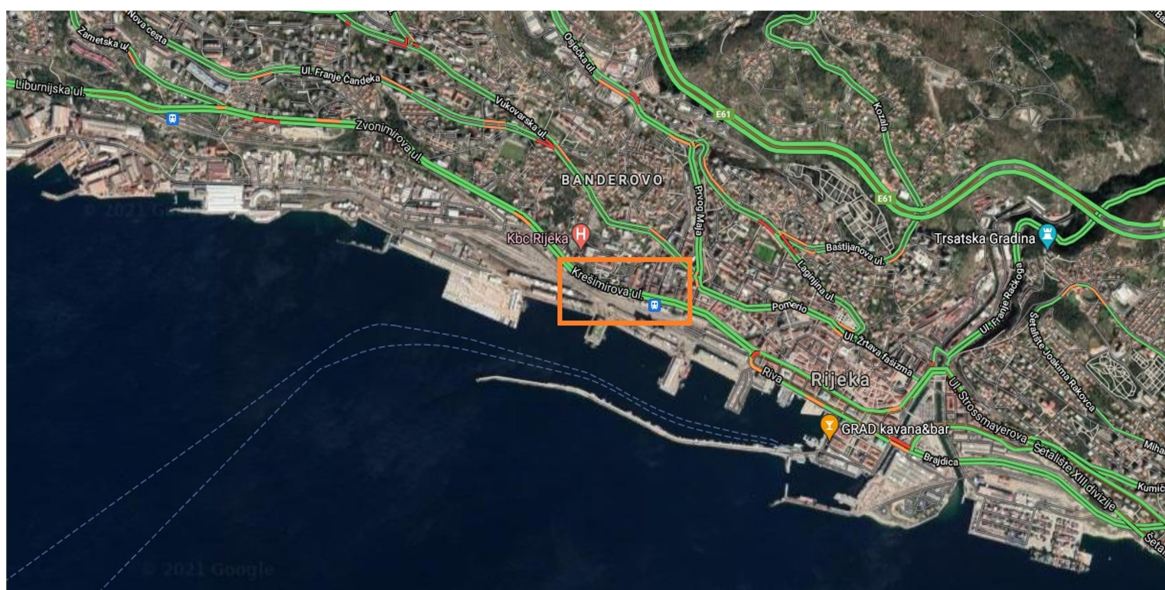
### 3. ANALIZA DJELOVANJA

#### 3.1 LOKACIJE

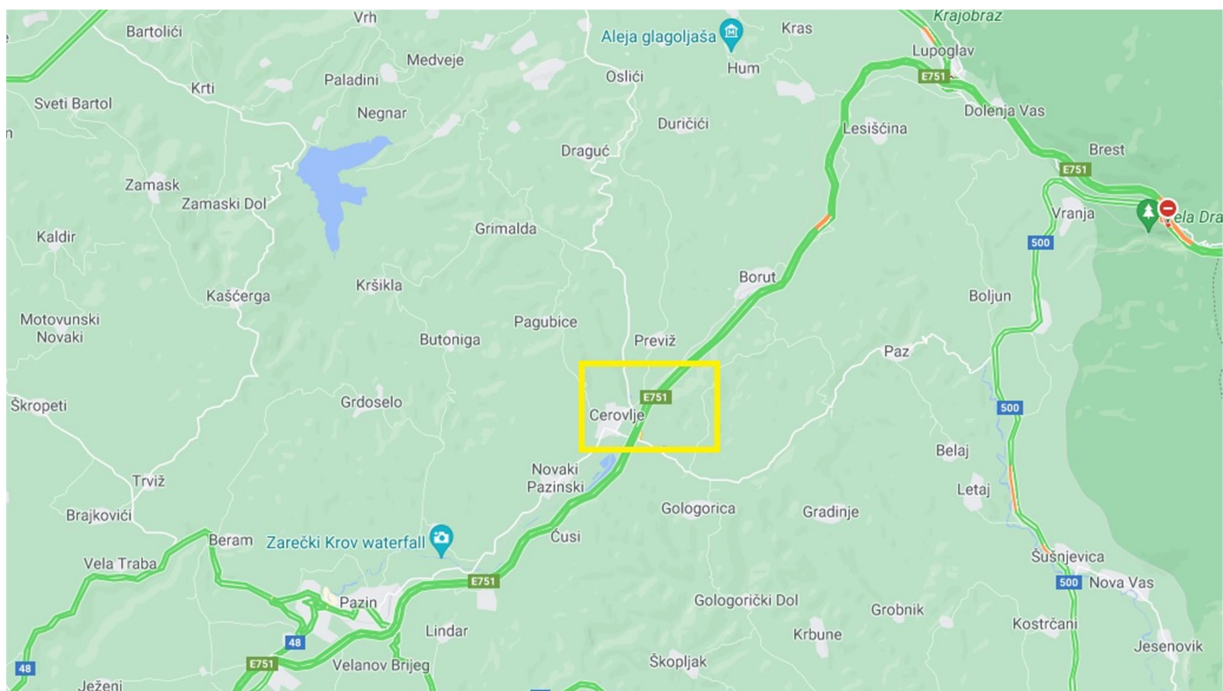
Analiza stupova je provedena na lokacijama: Krešimirova ulica (Slika 17), Ulica Radmile Matejčić (Slika 18), te na autocesti E751 (Slika 19).



Slika 17 Ulica Radmile Matejčić [9]



Slika 18 Krešimirova ulica [9]



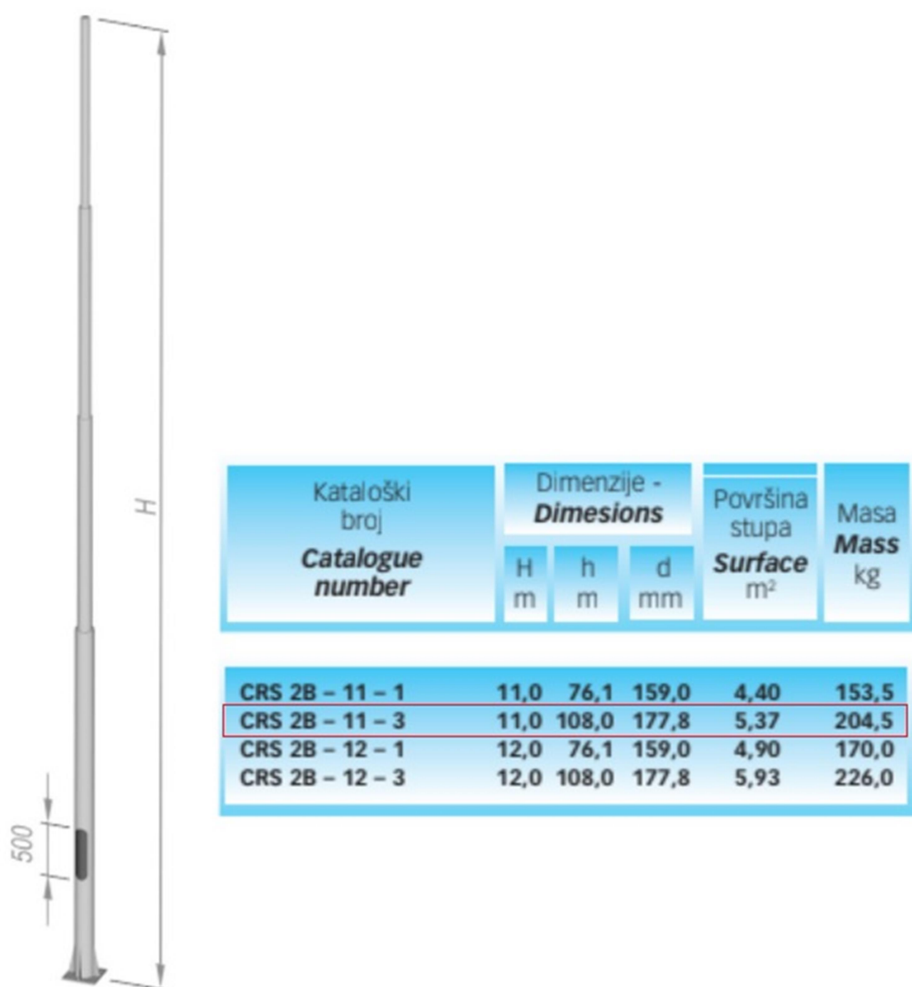
Slika 19 Autocesta E751, tj. Istarski ipsilon [9]



### 3.2 OPIS STUPOVA KORIŠTENIH U PRORAČUNU

Svi stupovi korišteni za proračun su čelični pocinčani stupovi sa šupljim okruglim poprečnim presjekom. Razlikuju se u promjeru, visini i debljini stijenke.

Stup CRS 2B – 11 – 3 (Slika 20) korišten u proračunu za područje Kampusu, tj. Ulicu Radmile Matejčić visok je 11,0 m, s promjerom u dnu od 177,8 mm i u vrhu od 108,0 mm.



Slika 20 Dimenzije stupa CRS [10]

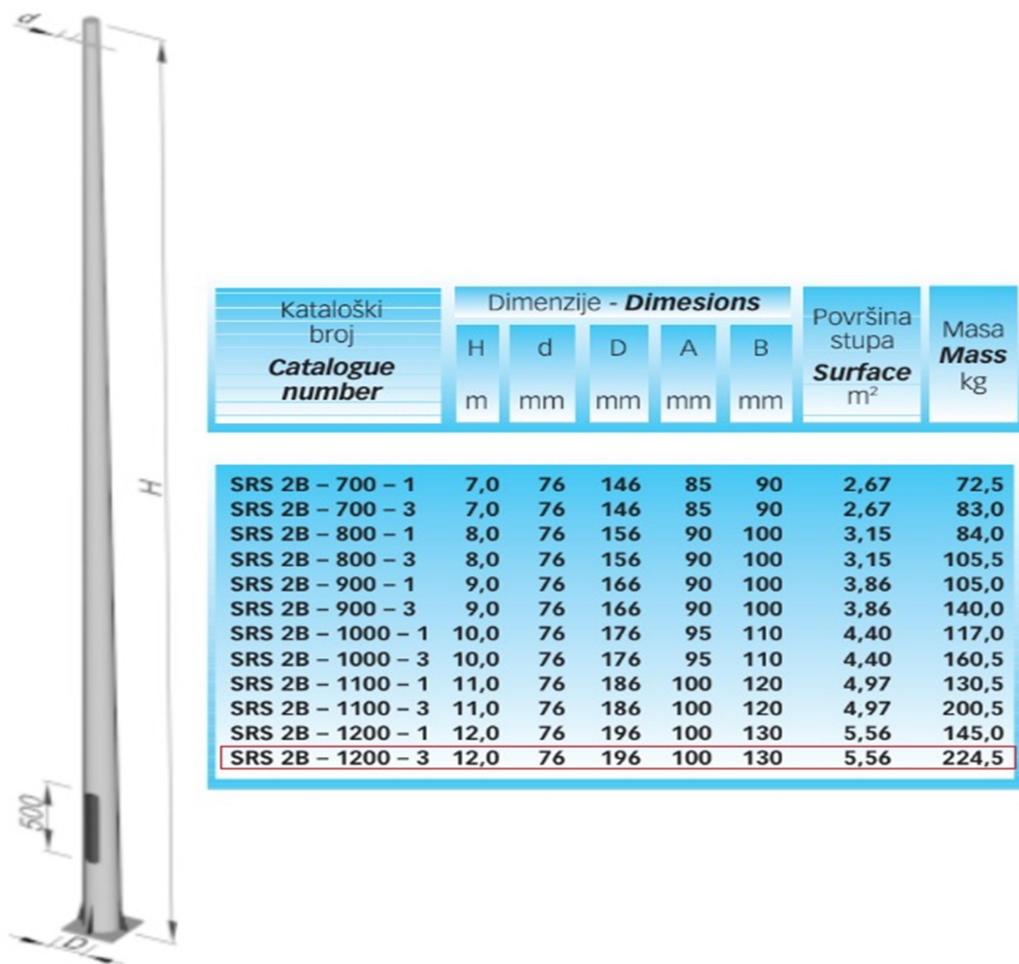
Stup KORS – 2B – 700 1(2) (Slika 21) korišten u proračunu za Krešimirovu ulicu visok je 7,0 m, s jednakim promjerom u dnu i u vrhu od 174,0 mm.



Kataloški broj <i>Catalogue number</i>	Dimenzije - <i>Dimesions</i>			Površina stupa <i>Surface</i> m <sup>2</sup>	Masa <i>Mass</i> kg
	H m	h m	d mm		
KORS 2B – 700 – 1(2)	7,0	90	174	3,53	92,5
KORS 2B – 700 – 3	7,0	90	174	3,53	92,5
KORS 2B – 800 – 1(2)	8,0	90	174	3,96	103,0
KORS 2B – 800 – 3	8,0	90	174	3,96	110,5
KORS 2B – 900 – 1(2)	9,0	90	185	4,57	116,0
KORS 2B – 900 – 3	9,0	90	185	4,57	125,5
KORS 2B – 1000 – 1(2)	10,0	90	195	5,37	154,0
KORS 2B – 1000 – 3	10,0	90	195	5,37	159,0
KORS 2B – 1100 – 1(2)	11,0	85	195	5,75	189,5
KORS 2B – 1100 – 3	11,0	90	205	6,03	195,0
KORS 2B – 1200 – 1(2)	12,0	85	205	6,41	190,5
KORS 2B – 1200 – 3	12,0	85	205	6,41	209,0

Slika 21 Dimenzije stupa KORS [10]

Stup SRS – 2B – 1200 – 3 (Slika 22) korišten u proračunu za područje Istarskog ipsilona, tj autoceste E751 visok je 12,0 m, s promjerom u dnu od 196,0 mm i u vrhu od 76,0 mm.



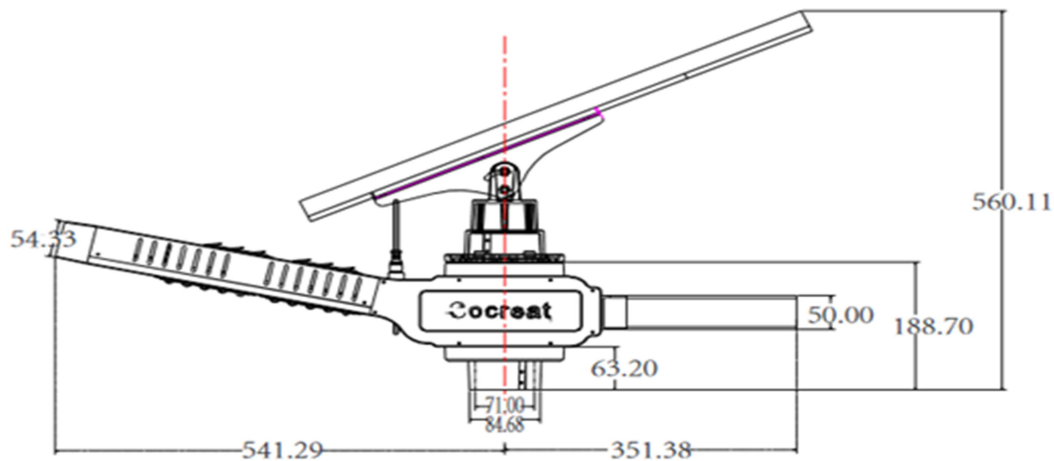
Slika 22 Dimenzije stupa SRS [10]

### 3.3 RASVJETNO TIJELO I SOLARNI PANEL

Za proračun djelovanja vjetra na rasvjetni stup odabran je solarni panel Solar Nighthawk Light SC-NH65-A solarni panel sa ugrađenim LED osvjetljenjem. Rasvjetno tijelo i solarni panel izrađeni su kao jedna cjelina. Ukupna masa rasvjetnog tijela i solarnog panela iznosi 15 kg.



Slika 23 Solarni panel s rasvjetom Solar Nighthawk Light [11]



Slika 24 Dimenzije rasvjetnog tijela i solarnog panela [11]

### 3.4 KORIŠTENI PROPISI I PROGRAMI

Većina formula korištena u analizi stupova na koje djeluje opterećenje vjetra je preuzeta je iz Hrvatske norme za računanje rasvjetnih stupova HRN EN 40-3-1 i iz nacionalnog dodatka za Republiku Hrvatsku nHRN EN 1991-1-4 (2005). Proračuni su izvedeni u programu Excel. Time se automatski ažurira cijeli proračun ukoliko se mijenja promjer stupa, debljina stijenke, solarni kolektori, svjetiljka, itd. Izračun reakcija je napravljen u programu FrameDesign. Nacrti vijčanog spoja stupa s betonskim temeljem nacrtani su u programu AutoCAD.



### 3.5 ANALIZA DJELOVANJA

U proračunu su analizirana stalna opterećenja koja nastaju djelovanjem vlastite težine solarnih panela i promjenjiva opterećenja koja nastaju kao djelovanje vjetra na stup i solarni panel.

#### 3.5.1 Stalno djelovanje

Stalno djelovanje od opreme na stupu je proračunato na način da su zbrojene mase rasvjetnog tijela solarnog panela, koje je pomnoženo s gravitacijskim ubrzanjem koje iznosi oko 9,81 m/s<sup>2</sup>, prema izrazu (1).

$$F_{GK} = m * g \quad (1)$$

Tablica 1 Vrijednosti stalnog opterećenja stupova

Vrsta stupa	Masa stupa [kg]	Masa solarnog panela s rasvjetom [kg]	Stalno djelovanje [N]
SRS	224,50	15,00	147,15
KORS	92,50	15,00	147,15
CRS	204,50	15,00	147,15

Stalno djelovanje vjetra je potrebno uvećati za parcijalni koeficijent sigurnosti stalnog djelovanja  $\gamma_G$  koji iznosi 1,35.

Tablica 2 Vrijednosti računskog stalnog djelovanja

Vrsta stupa	Stalno djelovanje [N]	Parcijalni koeficijent	Računsko stalno djelovanje $F_{GK,Ed}$ [N]
SRS	147,15	1,35	198,65
KORS	147,15	1,35	198,65
CRS	147,15	1,35	198,65

#### 3.5.2 Djelovanje vjetra

Analiza djelovanja vjetra na stupove provedena je na tri čelična stupa različitih promjera i visina. Proračun je izveden na visinama od 1 m od vrha do dna stupova. Proračun je proveden prema normi za izračun rasvjetnih stupova HRN EN 40-3-1-2013.

Referentni pritisak vjetra  $q_{(10)}$  računa se prema izrazu (2):

$$q_{10} = 0,5 * \rho * (C_s)^2 * V_{ref}^2 \quad (2)$$

gdje je:

-  $\rho$  gustoća zraka, te iznosi  $1,25 \text{ kg/m}^3$

-  $C_s$  faktor godišnjeg prekoračenja vjetra u periodu od 25 godina, iznosi  $\sqrt{0,92}$

-  $V_{ref}$  je referentna brzina vjetra koja se računa izrazom (3):

$$V_{ref} = C_{ALT} * V_{ref,0} \quad (3)$$

gdje je:

-  $C_{ALT}$  visinski faktor, iznosi 1,0 ukoliko nije drugačije određen u Nacionalnom dodatku

-  $V_{ref,0}$  osnovna brzina vjetra koja se očitava sa Karte osnovne brzine vjetra (Slika 12) iz Nacionalnog dodatka nHRN EN 1991-1-4:2012/NA.



Slika 25 Karta osnovne brzine vjetra [12]

Tablica 3 Vrijednosti referentnog pritiska vjetra

Vrsta stupa	$V_{ref}$ [m/s]	$Q_{(10)}$ [N/m <sup>2</sup> ]
SRS	25	359,38
KORS	25	359,38
CRS	30	517,50

Karakteristični pritisak vjetra na stup računa se izrazom (3):

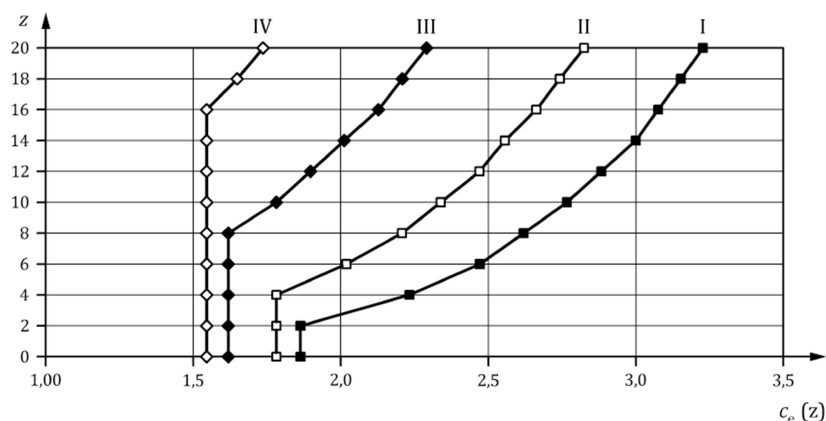
$$q_{[z]} = \delta * \beta * f * c_e(z) * q_{(10)} \quad (3)$$

gdje je:

- f faktor topografije, koji ukoliko nije određen nacionalnim dodatkom, iznosi 1
- $c_e(z)$  koeficijent izloženosti koji se očitava iz tablice 4

Tablica 4 Faktor izloženosti [16]

Height above ground Z (m)	Terrain category			
	I	II	III	IV
20	3,21	2,81	2,28	1,72
19	3,17	2,77	2,24	1,69
18	3,14	2,74	2,20	1,65
17	3,10	2,70	2,16	1,60
16	3,07	2,66	2,11	1,56
15	3,03	2,62	2,07	1,56
14	2,98	2,57	2,02	1,56
13	2,94	2,52	1,96	1,56
12	2,89	2,47	1,91	1,56
11	2,83	2,41	1,85	1,56
10	2,78	2,35	1,78	1,56
9	2,71	2,29	1,71	1,56
8	2,64	2,21	1,63	1,56
7	2,57	2,13	1,63	1,56
6	2,48	2,04	1,63	1,56
5	2,37	1,93	1,63	1,56
4	2,25	1,80	1,63	1,56
3	2,09	1,80	1,63	1,56
2	1,88	1,80	1,63	1,56
1	1,88	1,80	1,63	1,56



Key  
 z height  
 c<sub>e</sub>(z) exposure coefficient

Slika 26 Graf faktora izloženosti [16]

Tablica 5 Vrijednosti koeficijenta izloženosti [16]

Visina [m]	SRS- teren III. kategorije	KORS- teren IV. kategorije	CRS- teren III. kategorije
12	1,96	/	/
11	1,91	/	1,91
10	1,85	/	1,85
9	1,78	/	1,78
8	1,71	/	1,71
7	1,63	1,56	1,63
6	1,63	1,56	1,63
5	1,63	1,56	1,63
4	1,63	1,56	1,63
3	1,63	1,56	1,63
2	1,63	1,56	1,63
1	1,63	1,56	1,63

-  $\delta$  faktor veličine konstrukcije, odnosno stupa, koji se računa prema izrazu (4):

$$\delta = 1 - 0,01 * h \quad (4)$$

-  $\beta$  faktor dinamičnog ponašanja stupa, te se računa prema izrazu (5):

$$\beta = 1,00240 - 0,00500T^4 + 0,05144T^3 - 0,22793T^2 + 0,67262T \quad (5)$$

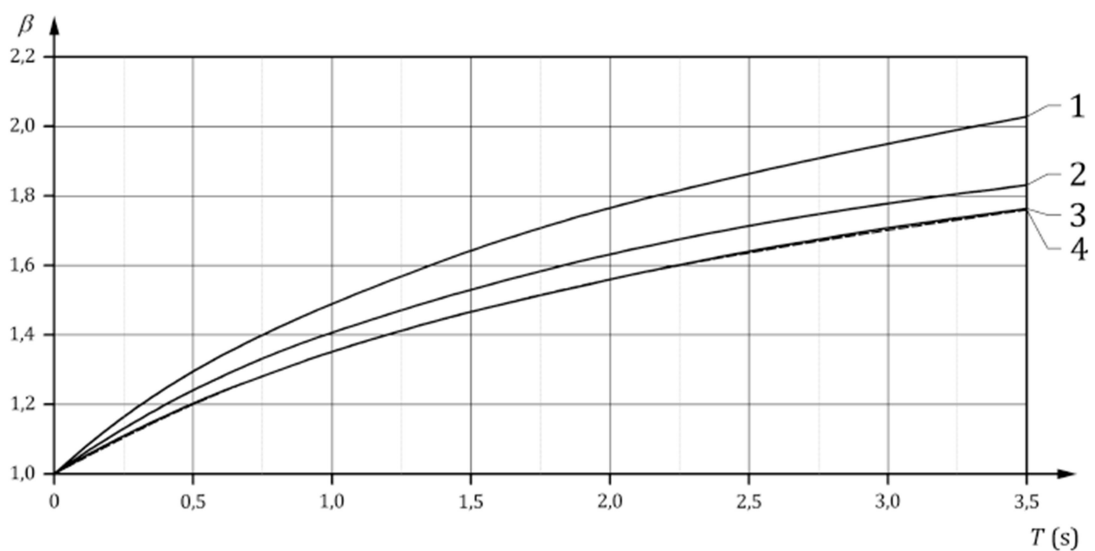
Drugi način za određivanje faktora dinamičnog ponašanja stupa je pomoći grafa na slici 27. Nakon što se odredi vremenski period T, očitava se  $\beta$ . Za očitavanje se koristi krivulja broj 1 jer se radi o čeličnim stupovima.

T je osnovni period vibracija u sekundama koji iznosi  $1/f$ . Prirodna frekvencija  $f$  računa se prema formuli (6):

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{3E}{m \cdot L^3}} \quad (6)$$

gdje je:

- E Youngov modul elastičnosti čelika
- I moment tromosti poprečnog presjeka
- m masa solarnog panela i rasvjetnog tijela
- L visina stupa

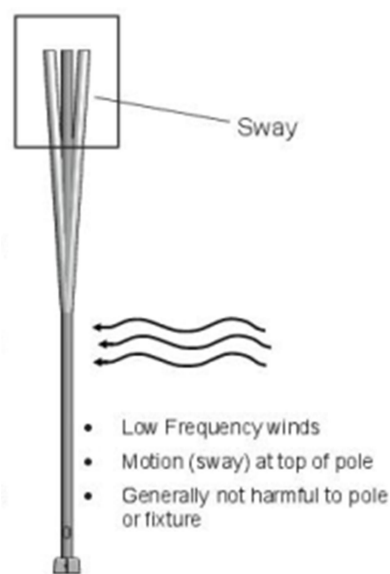


**Key**

- 1 metal
- 2 prestressed concrete
- 3 reinforced concrete
- 4 fibre reinforced polymer composite

Slika 27 Koeficijent za dinamičko ponašanje stupa [16]

Postoji više vrsta vibracija koje djeluju na stup prilikom djelovanja vjetra na stup. Prvi i ujedno najrazorniji način vibracija na stup je mjerodavan za dimenzioniranje stupa. Vibracije djeluju po cijelom stupu, te stup ima najveći otklon na vrhu.



Slika 28 Prvi oblik vibriranja stupa [14]

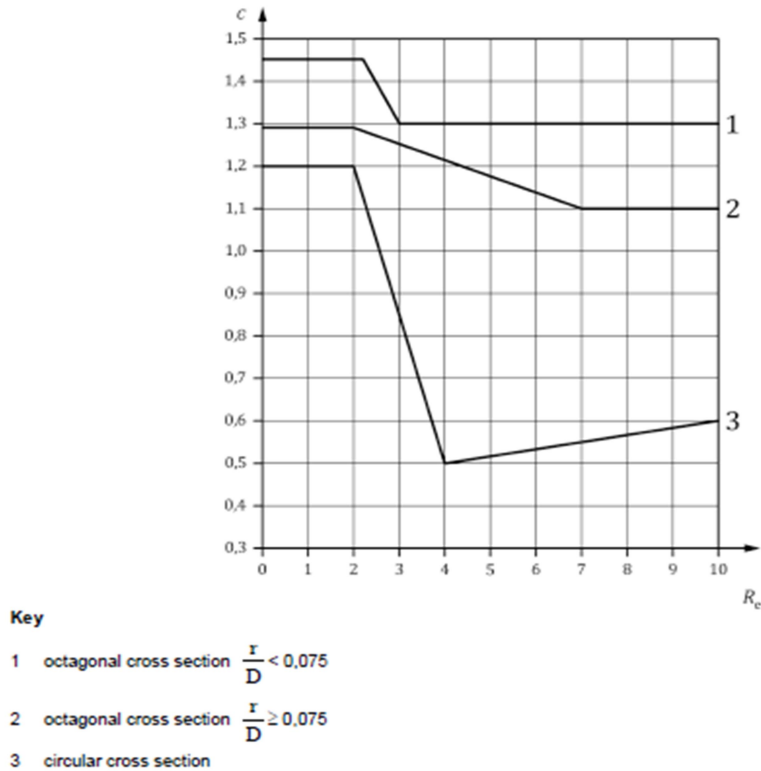
Tablica 6 Vrijednosti frekvencije, perioda i faktora dinamičkog ponašanja stupa

Vrsta stupa	f [Hz]	T [s]	$\beta$
SRS	0,346938824	2,88	1,934190667
KORS	0,423822064	2,36	1,841242145
CRS	0,364168062	2,75	1,911535085

Tablica 7 Vrijednosti karakterističnog pritiska vjetra

Visina [m]	$\delta$ [m]	SRS [N/m <sup>2</sup> ]	KORS [N/m <sup>2</sup> ]	CRS [N/m <sup>2</sup> ]
1	0,99	1121,68	1021,92	1596,30
2	0,98	1110,35	1011,60	1580,18
3	0,97	1099,02	1001,28	1564,05
4	0,96	1087,69	990,96	1547,93
5	0,95	1076,36	980,63	1531,81
6	0,94	1065,03	970,31	1515,68
7	0,93	1053,70	959,99	1499,56
8	0,92	1042,37	/	1483,43
9	0,91	1081,64	/	1539,32
10	0,90	1113,55	/	1584,73
11	0,89	1144,48	/	1628,75
12	0,88	1168,32	/	/

Koeficijent oblika  $c$  određuje se pomoću dijagrama sa slike 29. Za određivanje koeficijenta potrebno je znati oblik konstrukcije i Reynoldsov broj.



Slika 29 Koeficijent oblika  $c$  [16]

Reynoldsov broj  $R_e$  služi kao kriterij kako bi se utvrdila vrsta strujanja fluida. Može biti laminarno ili turbulentno strujanje. Reynoldsov broj računa se prema izrazu (7), te se njime i grafom sa slike određuje mjesto najmanjeg tlaka  $\alpha_{min}$ , vrijednost najmanjeg koeficijenta tlaka  $c_{p,0,min}$  mjesto odvajanja strujanja  $\alpha_A$  i koeficijent zatvorenog dijela valjaka  $c_{p,0,h}$ .

$$R_e = \frac{V * D}{\nu} \quad (7)$$

gdje je:

- $\nu$  kinematska viskoznost zraka koja iznosi  $\nu = 15 * 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
- $V$  realna brzina vjetra u  $\text{m/s}$
- $D$  promjer stupa

Realna brzina vjetra  $V$ , koja je potrebna za određivanje svih djelovanja vjetra na konstrukcije, određuje se izrazom (8):

$$V = \frac{1}{c_s} * \sqrt{\frac{q(z)}{0,5 * \rho * \delta * \beta}} \quad (8)$$

Tablica 8 Vrijedosti Re i V za stup SRS

Visina [m]	Re	V [m/s]
1	414298,094	31,918
2	372022,778	31,918
3	350885,120	31,918
4	329747,462	31,918
5	308609,804	31,918
6	287472,147	31,918
7	266334,489	31,918
8	245196,831	31,918
9	229491,699	32,692
10	212052,939	33,354
11	193663,322	34,004
12	173897,500	34,551

Tablica 9 Vrijednosti Re i V za stup KORS

Visina [m]	Re	V [m/s]
1	359811,143	31,225
2	359811,143	31,225
3	359811,143	31,225
4	359811,143	31,225
5	359811,143	31,225
6	359811,143	31,225
7	359811,143	31,225



Tablica 10 Vrijednosti Re i V za stup CRS

Visina [m]	Re	V [m/s]
1	450993,068	38,301
2	418802,336	38,301
3	402706,971	38,301
4	386611,605	38,301
5	370516,239	38,301
6	354420,874	38,301
7	338325,508	38,301
8	322230,143	38,301
9	313557,304	39,230
10	303091,121	40,025
11	291846,122	40,804

Horizontalna sila  $F_c$  koja djeluje na stup računa se pomoću izraza (9):

$$F_c = A_c * c * q_{(z)} \quad (9)$$

gdje je:

- $A_c$  površina stupa na koju djeluje vjetar

- $c$  koeficijent oblika

- $q_{(z)}$  karakteristični pritisak vjetra

Tablica 11 Vrijednosti horizontalne sile vjetra

Visina [m]	SRS [N]	KORS [N]	CRS [N]
1	414,41	335,17	534,99
2	778,58	663,57	1021,38
3	1114,53	985,21	1479,02
4	1422,87	1300,06	1908,49
5	1704,27	1608,15	2310,38
6	1959,36	1909,47	2685,26
7	2188,77	2204,02	3033,71
8	2393,16	/	3356,31
9	2699,44	/	3832,96
10	2980,57	/	4287,58
11	3248,89	/	4738,26
12	3483,94	/	/

Dobivene vrijednosti karakteristične sile vjetra  $q_{(z)}$  iz tablice 7 su kontinuirane sile koje djeluju na referentno oplošje stupa. Kako bi se izračunale reakcije u stupovima potrebno je silu koja djeluje na oplošje pretvoriti u silu koja djeluje linearno po duljini stupova prema izrazu (10). Kontinuirana sila opada prema vrhovima stupova jer su promjeri stupova, odnosno referentna oplošja pri vrhu manja nego pri dnu. Što je suprotno od brzine vjetra  $V$  iz izraza (8).

$$q_{(z')} = q_{(z)} * \frac{o}{2} \quad (10)$$

gdje je  $o$  opseg stupa

Tablica 12 Vrijednosti sile q za stup SRS

Visina	$q(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]	$o/2$ [m]	$q$ [kN/m]
1	1121,683	0,62	0,69
2	1110,352	0,58	0,65
3	1099,022	0,55	0,61
4	1087,692	0,52	0,57
5	1076,362	0,49	0,53
6	1065,032	0,46	0,49
7	1053,702	0,43	0,45
8	1042,372	0,40	0,41
9	1081,645	0,36	0,39
10	1113,55	0,33	0,37
11	1144,482	0,30	0,35
12	1168,324	0,24	0,28

Tablica 13 Vrijednosti sile q za stup KORS

Visina	$q(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]	$o/2$ [m]	$q$ [kN/m]
1	1021,924	0,55	0,56
2	1011,601	0,55	0,55
3	1001,279	0,55	0,55
4	990,9565	0,55	0,54
5	980,6341	0,55	0,54
6	970,3116	0,55	0,53
7	959,9891	0,55	0,52

Tablica 14 Vrijednosti sile q za stup CRS

Visina	$q(z)$ [N/m <sup>2</sup> ]	$o/2$ [m]	$q$ [kN/m]
1	1596,303	0,559	0,89
2	1580,179	0,539	0,85
3	1564,055	0,519	0,81
4	1547,931	0,499	0,77
5	1531,806	0,479	0,73
6	1515,682	0,459	0,70
7	1499,558	0,439	0,66
8	1483,433	0,419	0,62
9	1539,324	0,399	0,61
10	1584,729	0,379	0,60
11	1628,75	0,339	0,55

Vrijednosti kontinuirane sile vjetra  $q_c$  je potrebno uvećati za parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjiva djelovanja  $\gamma_Q$  koji iznosi 1,5.

Tablica 15 Vrijednosti sile  $q_{c(MAX),Ed}$

Vrsta stupa	$q_{(MIN)}$ [kN/m]	$q_{(MAX)}$ [kN/m]	Parcijalni koeficijent sigurnosti $\gamma_Q$	$q_{,Ed (MIN)}$ [kN/m]	$q_{,Ed (MAX)}$ [kN/m]
SRS	0,28	0,69	1,5	0,42	1,04
KORS	0,52	0,56	1,5	0,78	0,84
CRS	0,55	0,89	1,5	0,83	1,34

### 3.6 DJELOVANJE VJETRA NA SOLARNE PANELE

Sila vjetra  $F_l$  koja djeluje okomito na solarni panel računa se izrazom (11):

$$F_l = A_l * c * q_{(z)} \quad (11)$$

gdje je:

- $A_l$  površina solarnog panela

- $c$  koeficijent oblika

Tablica 16 Vrijednosti sile vjetra koja djeluje na solarni panel

Vrsta stupa	$A_l$ [m <sup>2</sup> ]	$F_l$ [N]
SRS	0,41	567,57
KORS	0,41	468,01
CRS	0,41	794,04

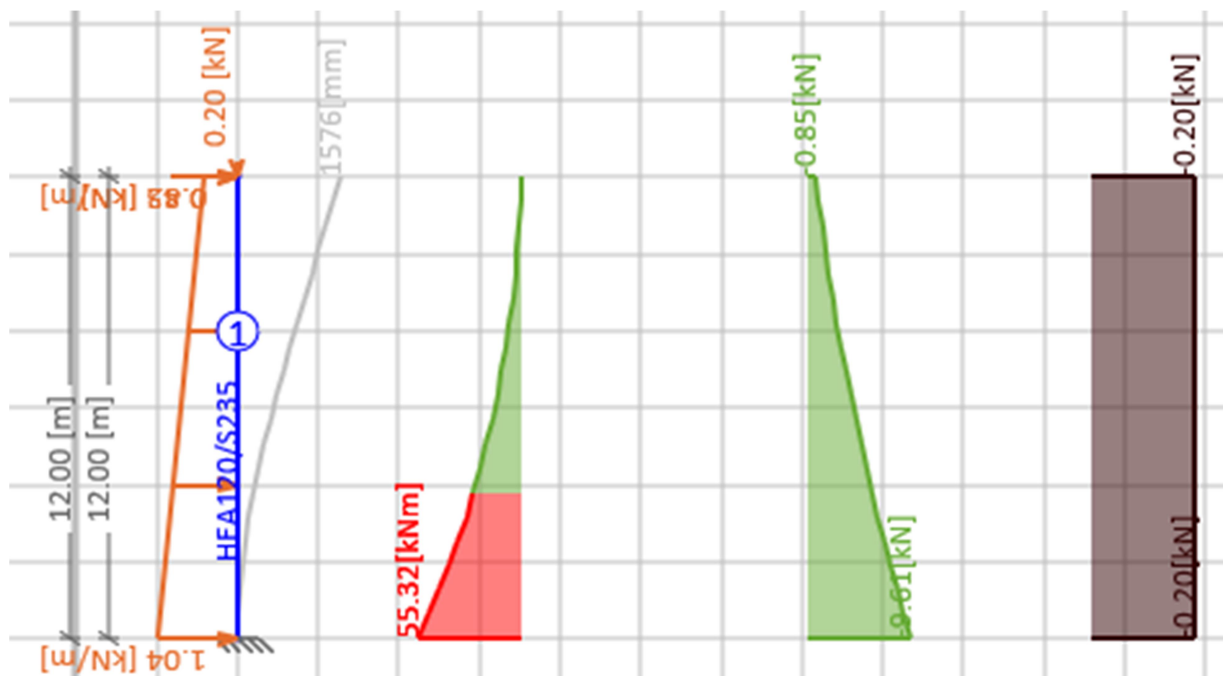
Vrijednosti sile vjetra  $F_1$  koja djeluje na solarne panele je potrebno uvećati za parcijalni koeficijent sigurnosti za promjenjiva djelovanja  $\gamma_Q$  koji iznosi 1,5.

Tablica 17 Vrijednosti računskih sila  $F_{1,Ed}$

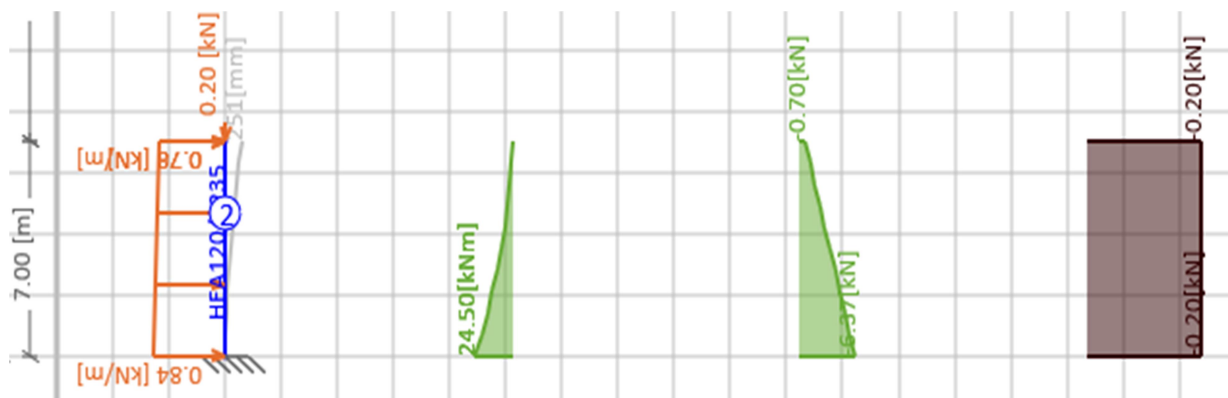
Vrsta stupa	$F_1$ [N]	Parcijalni koeficijent sigurnosti $\gamma_Q$	$F_{1,Ed}$ [N]
SRS	567,57	1,5	851,36
KORS	468,01	1,5	702,02
CRS	794,04	1,5	1191,06

### 3.7 DIMENZIONIRANJE STUPOVA

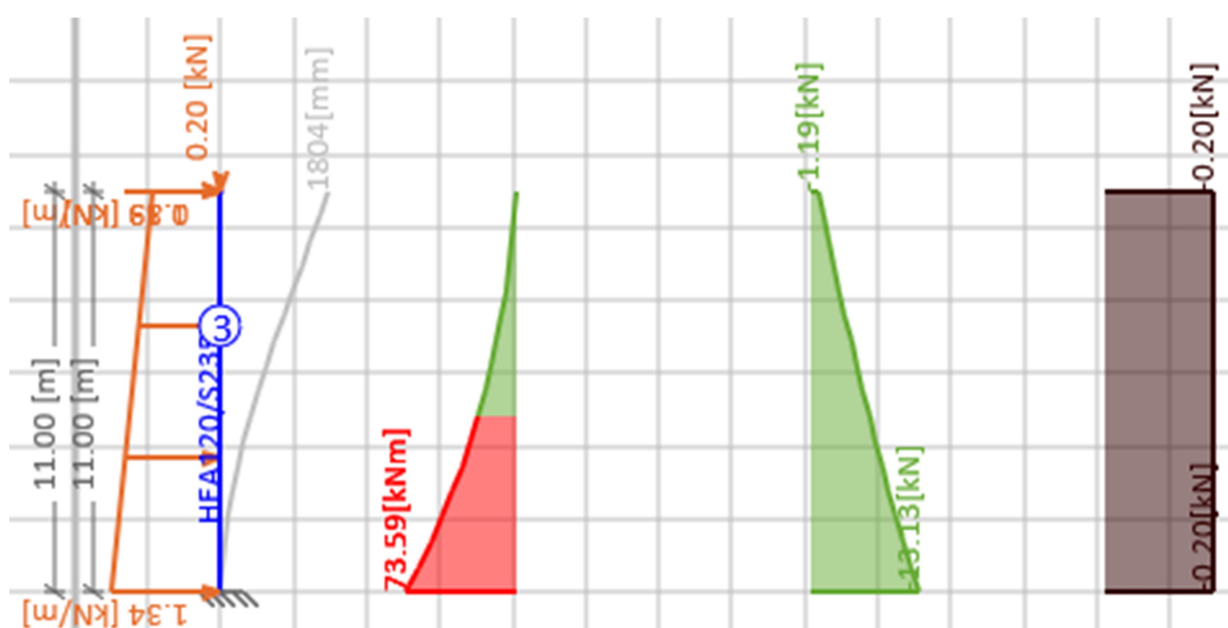
Prema prethodno izračunatoj horizontalnoj sili vjetra  $F_c$  koja djeluje na vanjske površine konstrukcije, te vrijednosti sile vjetra  $F_1$  koja djeluje okomito na solarne panele (Tablica 11) dimenzioniraju se stupovi prema unutarnjim opterećenjima slike i dijagramima (Slike 34, 35 i 36).



Slika 30 Dijagrami sila za stup SRS [7]



Slika 31 Dijagrami sila za stup KORS [7]



Slika 32 Dijagrami sila za stup CRS [7]

Za potrebe dimenzioniranja sile dobivene proračunom su uvećane za parcijalni koeficijent sigurnosti  $\gamma_G$  i  $\gamma_Q$ . Prema tome sile u stupovima su prikazane u tablici 18. Za dimenzioniranje se koristi čelik S275.

Tablica 18 Vrijednosti računskih unutarnjih sila

Vrsta stupa	$V_{ed}$ (kN)	$N_{ed}$ (kN)	$M_{ed}$ (kNm)
SRS	9,61	0,20	55,32
KORS	6,37	0,20	24,50
CRS	13,13	0,20	73,59

Za određivanje debljine stijenke stupa potrebno je odrediti klasu presjeka. Postoje 4 klase presjeka. U klasu 1 spadaju masivni poprečni presjeci koji imaju izrazitu plastičnu otpornost. Klasa 2 posjeduje ograničenu plastičnu otpornost. Klasa 3 može dosegnuti granicu popuštanja u najopterećenijoj točki. Kod klase 4 je potrebno raditi redukciju presjeka kako bi se povećala čvrstoća presjeka.

Formule kojima se određuju 1., 2. i 3. klasa su (12) (13) (14):

$$\frac{D}{t} \leq 50 * \varepsilon^2 \quad (12)$$

$$\frac{D}{t} \leq 70 * \varepsilon^2 \quad (13)$$

$$\frac{D}{t} \leq 90 * \varepsilon^2 \quad (14)$$

gdje je:

$\varepsilon$ - produljenje koje iznosi 0,92 za čelik S275

D- promjer poprečnog presjeka

t- debljina stijenke stupa

Tablica 19 Klase poprečnog presjeka

Vrsta stupa	Klasa presjeka	Debljina stijenke (mm)
SRS	1	18
KORS	1	10
CRS	1	18

Provjerava se otpornost poprečnog presjeka na savijanje, posmik i uzdužnu silu. Otpornost poprečnog presjeka na savijanje računa se pomoću izraza (15):

$$M_{c,Rd} = \frac{f_y * W_{pl}}{\gamma_{M0}} \quad (15)$$

gdje je:

$f_y$  – granica popuštanja čelika

$W_{pl}$  – plastični moment otpora poprečnog presjeka

$\gamma_{M0}$  – parcijalni koeficijent sigurnosti, iznosi 1,0

Ukoliko je otpornost poprečnog presjeka na savijanje  $M_{c,Rd}$  veća od računске vrijednosti momenta  $M_{ed}$  izrazom (16) tada presjek ima dovoljnu otpornost na savijanje.

$$M_{c,Rd} > M_{ed} \quad (16)$$

Tablica 20 Otpornost poprečnog presjeka na savijanje

Vrsta stupa	Otpornost presjeka [kN/m]	Računski moment [kN/m]	$M_{c,Rd} / M_{ed}$	Napomena
SRS	41,93	31,56	0,75	Zadovoljava
KORS	18,63	11,84	0,64	Zadovoljava
CRS	39,51	42,44	0,93	Zadovoljava

Otpornost presjeka na posmik određuje se pomoću izraza (17):

$$V_{pl,Rd} = A_v * \frac{f_y}{\sqrt{3}} * \gamma_{M0} \quad (17)$$

gdje je  $A_v$  posmična površina presjeka.

Tablica 21 Otpornost presjeka na posmik

Vrsta stupa	Otpornost presjeka [kN]	Računska sila [Kn]	$V_{ed} / V_{pl,Rd}$	Napomena
SRS	362,00	9,61	0,01	Zadovoljava
KORS	362,00	6,37	0,01	Zadovoljava
CRS	431,35	13,13	0,01	Zadovoljava

Posljednja otpornost koja se proračunava je otpornost na uzdužnu silu  $N_{pl,Rd}$  izrazom (18):

$$N_{pl,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (18)$$

gdje je  $A$  površina poprečnog presjeka stupa.



Tablica 22 Otpornost presjeka na tlak

Vrsta stupa	Otpornost presjeka	Računska sila	$N_{ed} / N_{pl,Rd}$	Napomena
SRS	984,89	0,20	0,00	Zadovoljava
KORS	984,89	0,20	0,00	Zadovoljava
CRS	1173,57	0,20	0,00	Zadovoljava

Nakon osnovnih provjera otpornosti potrebno je izračunati interakcije za otpornost poprečnih presjeka. Ukoliko jedna ili više interakcija ne zadovoljava potrebno je napraviti redukciju plastičnog momenta otpornosti poprečnog presjeka na savijanje. Prva interakcija koja se provjerava je interakcija otpornosti na savijanje i tlak za presjeke 1. klase. Provjerava se razina uzdužne sile prema izrazima (19) i (20):

$$N_{Ed} \leq 0,25 * N_{pl,Rd} \quad (19)$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 * h_w * t_w * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (20)$$

gdje je:

- $h_w$  promjer poprečnog presjeka

- $t_w$  debljina stijenke poprečnog presjeka

Tablica 23 Vrijednosti interakcije savijanja i tlaka

Vrsta stupa	Računska sila [kN]	Razina uzdužne sile (19)	Razina uzdužne sile (20)	Napomena
SRS	0,20	0,00	0,00	Zadovoljava
KORS	0,20	0,00	0,00	Zadovoljava
CRS	0,20	0,00	0,00	Zadovoljava

Sljedeća interakcija je interakcija savijanja i posmika. Provjerava se razina poprečne sile izrazom (21):

$$V_{Ed} > 0,5 * V_{pl,Rd} \quad (21)$$

Tablica 24 Vrijednosti interakcije savijanja i posmika

Vrsta stupa	Računska sila [kN]	Razina poprečne sile V-M	Napomena
SRS	3,55	0,02	Zadovoljava
KORS	2,21	0,01	Zadovoljava
CRS	4,82	0,02	Zadovoljava

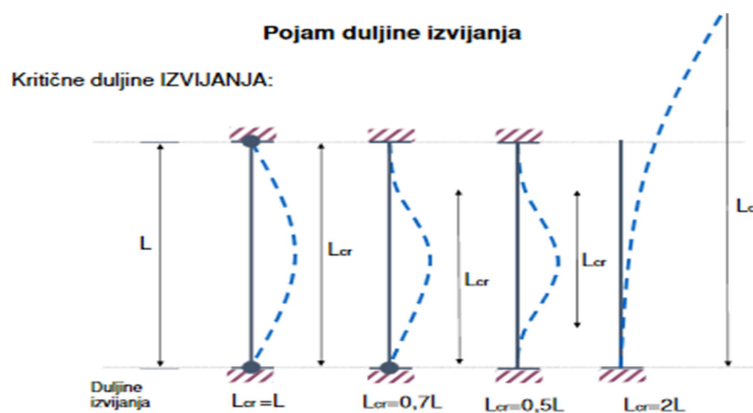
Posljednja interakcija je interakcija tlaka, posmika i savijanja. Provjerava se prethodno izračunatim izrazima (19), (20), i (21). Ukoliko zadovoljava sva tri navedena izraza nije potrebno raditi redukciju plastičnog momenta na savijanje.

### 3.8 OTPORNOST ELEMENTA

Na stupove djeluje neznatna tlačna sila, te su svi stupovi kružnog poprečnog presjeka. Stoga nije potrebno računati otpornost elementa na bočno torzijsko izvijanje. Računa se otpornost elementa na klasično izvijanje. Za izračun otpornosti elementa najprije je potrebno izračunati Eulerovu kritičnu silu izvijanja prema izrazu (22):

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 * EI}{l_{cr}^2} \quad (22)$$

gdje je  $l_{cr}$  kritična duljina izvijanja, te se određuje prema slici 33.



Slika 33 Kritične duljine izvijanja [20]

Tablica 25 Vrijednosti kritične duljine i sile izvijanja

Vrsta stupa	Duljina izvijanja [mm]	N <sub>cr</sub> [kN]
SRS	24000	51,21
KORS	14000	59,34
CRS	22000	55,95

Potrebno je odrediti otpornost elementa na izvijanje jer element nema dva oslonca. S jedne strane je upet, a druga strana mu je slobodna. Stoga stup, odnosno element ima malu otpornost na izvijanje. Računska otpornost elementa na izvijanje računa se izrazom (23):

$$N_{b,Rd} = \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (23)$$

gdje je  $\chi$  faktor redukcije tlačne otpornosti poprečnog presjeka. Računa se izrazom (24):

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} \leq 1 \quad (24)$$

gdje je  $\Phi$  izvijanje koje se određuje izrazom (25):

$$\Phi = 0,5 * [1 + \alpha * (\lambda - 0,2) + \lambda^2] \quad (25)$$

gdje je:

-  $\alpha$  faktor imperfekcije koji se dobiva iz tablice 27

-  $\lambda$  vitkost elementa dobivena izrazom (26):

$$\lambda = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} \quad (26)$$

Tablica 26 Krivulje izvijanja [20]

Poprečni presjeci		Ograničenja	Izvijanje oko osi	Linija izvijanja	
				S 235 S 275 S 355 S 420	S 460
Valjani presjeci		$h/b > 1,2$	$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	a
				z-z	b
			$40 \text{ mm} < t_f \leq 100$	y-y	b
				z-z	c
$h/b \leq 1,2$	$t_f \leq 100 \text{ mm}$	y-y	b		
		z-z	c		
$t_f > 100 \text{ mm}$	y-y	d			
	z-z	c			
Zavareni I profili		$t_f \leq 40 \text{ mm}$	y-y	b	
			z-z	c	
$t_f > 40 \text{ mm}$	y-y	c			
	z-z	d			
Šuplji presjeci		vruće dogotovljeni	bilo koje	a	
		hladno oblikovani	bilo koje	c	
Zavareni sandu-časti presjeci		općenito (osim kao ispod)	bilo koje	b	
		debljina vara: $a > 0,5t_f$ $b/t_f < 30$ $b/t_w < 30$	bilo koje	c	
U-, T- i puni presjeci			bilo koje	c	
L- presjeci			bilo koje	b	

Krivulja izvijanja	a <sub>0</sub>	a	b	c	d
Faktor imperfekcije α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

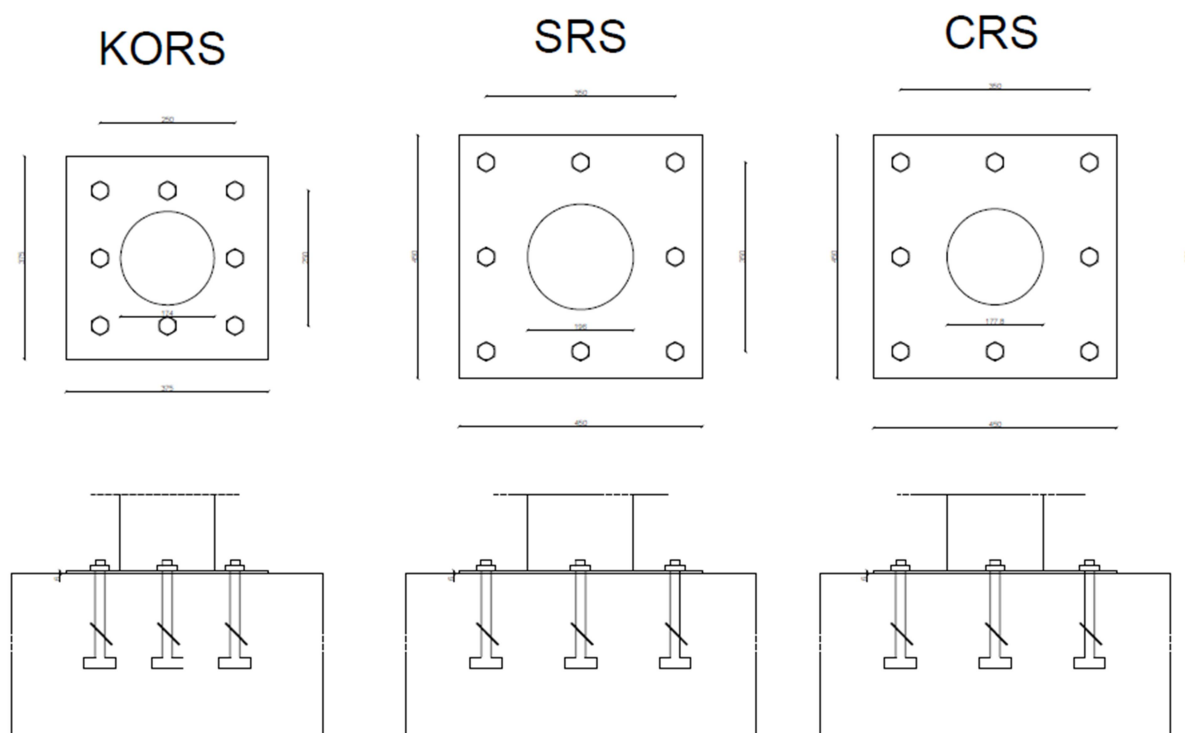
Tablica 27 Vrijednosti otpornosti elementa na izvijanje

Vrsta stupa	$\lambda$	$\Phi$	$\chi$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed}/N_{b,Rd}$	Napomena
SRS	1,387	1,586	0,42	418,01	0,00	Zadovoljava
KORS	1,288	1,444	0,48	469,76	0,00	Zadovoljava
CRS	1,448	1,680	0,40	463,73	0,00	Zadovoljava

Zbog male tlačne sile provjere otpornosti poprečnog presjeka na tlak i otpornosti elementa na izvijanje mogu se zanemariti.

### 3.9 SPOJ STUPA NA BETONSKI TEMELJ

Rasvjetni stup se spaja na temelj pomoću navojnih šipki koje se postavljaju u svježi beton, te se prilikom ugradnje stup učvršćuje pomoću matica. Za sva tri stupa korišteni su M24 vijci kvalitete 5.6 kako bi se pojednostavila ugradnja. Vijci su također predloženi za montažu stupova prema tehničkim listovima analiziranih rasvjetnih stupova.



Slika 34 Spoj stupa i temelja [Izradio Autor]

U računskoj analizi provjerava se otpornost vijaka na vlak, odrez, te na zajedničko djelovanje, tj. interakciju vlaka i odreza. Također se provjerava otpornost na pritisak po omotaču osnovnog materijala za čeličnu ležajnu ploču na dnu rasvjetnog stupa.

Vlak se javlja u vijku kada se stup naginje i čupa jednu stranu s vijcima. Otpornost vijaka na vlak računa se pomoću izraza (27):

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 * F_{ub} * A_s}{\gamma_{M1}} \quad (27)$$

gdje je:

$k_2$ - koeficijent koji ovisi o vrsti glave vijka, za vijke koji nemaju upuštenu glavu iznosi 0,9

$F_{ub}$ - čvrstoća vijka ovisna o njegovoj kvaliteti

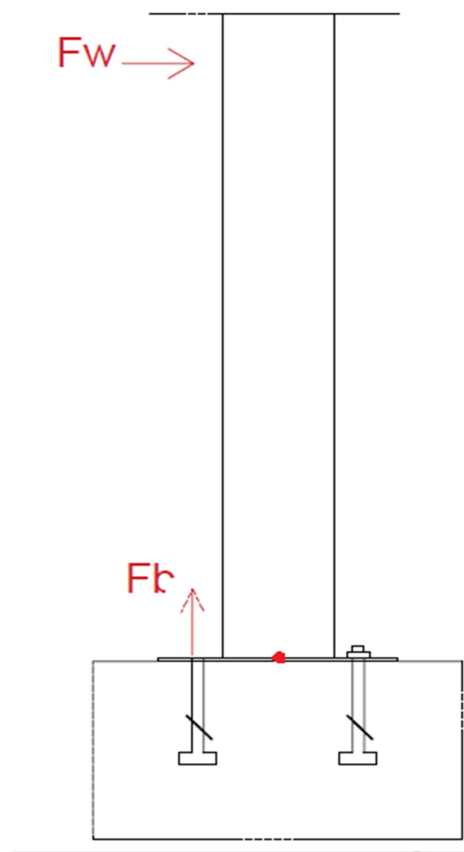
$A_s$ - površina jezgre vijka, tj. tanjeg dijela vijka gdje se nalazi navoj

$\gamma_{M1}$ - Parcijalni koeficijent sigurnosti za vijčane spojeve

Otpornost vijka na vlak mora biti manja od vlačne sile koja djeluje na vijak, stoga vijak mora zadovoljiti uvjet (28):

$$F_{t,Rd} > F_{t,Ed} \quad (28)$$

Vlačna sila u vijku se računa na način da se izračuna moment u dnu stupa (Slika 35).



Slika 35 Moment oko točke u dnu stupa [Izradio Autor]

Tablica 28 Otpornost vijaka na vlak

Vrsta stupa	Otpornost na vlak [kN]	Broj vijaka na koje djeluje vlak	Ukupna otpornost na vlak [kN]	Vlačna sila [kN]	$F_{t,Rd} / F_{t,Ed}$	Napomena
SRS	158,85	3	476,55	358,63	0,75	Zadovoljava
KORS	158,85	3	476,55	197,96	0,42	Zadovoljava
CRS	158,85	3	476,55	451,63	0,95	Zadovoljava

Posmik se javlja kao rezna sila u vijcima na mjestu spoja ploče i betona, te djeluje na sve vijke u spoju. Ovisno o mjestu na kojem djeluje rezna sila na vijak odabire se površina vijka  $A$  ili površina jezgre vijka  $A_s$ . Otpornost vijaka na posmik računa se prema izrazu (29):

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} \quad (29)$$

Gdje je  $\alpha_v$  koeficijent ovisan o kvaliteti vijka i mjestu na kojem djeluje rezna sila na vijak.

Tablica 29 Otpornost vijaka na posmik

Vrsta stupa	Otpornost na posmik [kN]	Broj vijaka na koje djeluje posmik	Ukupna otpornost na posmik [kN]	Posmična sila [kN]	$F_{v,Rd} / F_{v,Ed}$	Napomena
SRS	84,72	8	677,76	10,13	0,01	Zadovoljava
KORS	84,72	8	677,76	6,37	0,01	Zadovoljava
CRS	84,72	8	677,76	9,61	0,02	Zadovoljava

Otpornost na pritisak po omotaču rupe dobiva se izrazom (30):

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} \quad (30)$$

gdje je:

$k_1$ - koeficijent okomito na smjer naprezanja koji ovisi da li s uvijci kranji ili unutarnji

$f_u$ - plastična čvrstoća osnovnog materijala

Tablica 30 Otpornost osnovnog materijala na pritisak po omotaču rupe

Vrsta stupa	Otpornost na pritisak po omotaču rupe [kN/mm <sup>2</sup> ]	Debljina osnovnog materijala (mm)	Broj rupa na koje djeluje pritisak	Ukupna otpornost na pritisak po omotaču rupe [kN/mm <sup>2</sup> ]	Posmična sila [kN]	$F_{V,Rd} / F_{V,Ed}$	Napomena
SRS	185,76	18	8	2972,16	10,13	0,00	Zadovoljava
KORS	185,76	10	8	1651,20	6,37	0,00	Zadovoljava
CRS	288,96	18	8	2972,16	9,61	0,00	Zadovoljava

Na vijke može djelovati istovremeno vlak i odrez, stoga je potrebno izračunati interakciju otpornosti na ta djelovanja izrazom kojim se analizira samo jedan vijak (31):

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4 * F_{t,Rd}} < 1 \quad (31)$$

Tablica 31 Interakcija- vlak i odrez

Vrsta stupa	Interakcija	Napomena
SRS	0,80	Zadovoljava
KORS	0,71	Zadovoljava
CRS	0,93	Zadovoljava



## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu analizirana su tri različita stupa javne rasvjete na različitim lokacijama na području Republike Hrvatske. Odabrani stupovi su SRS – 2B – 1200 – 3 visine 12 metara, promjera 196 milimetara u dnu i 76 milimetara u vrhu, KORS – 2B – 700 1(2) visine 7 metara i jednakog promjera u vrhu i u dnu od i CRS 2B – 11 – 3 visine 11 metara i promjera 177,8 milimetara u dnu i 108 milimetara u vrhu. Računske analize rađene su prema normi za računanje rasvjetnih stupova HRN EN 40-3-1, normi za Opća djelovanja vjetra (EN 1991-1-4:2005+AC:2010+A1:2010) , nacionalnim dodacima za Republiku Hrvatsku HRN EN 1991-1-4 (2005) i nHRN EN 1991-1-4:2012/NA.

Solarni panel povećava opterećenje na stup uslijed djelovanja vjetra i vlastite težine na konstrukciju. Detaljnom analizom su dobivene unutarnje sile uslijed djelovanja vjetra na stupove, na temelju čega su određeni minimalni poprečni profili, te debljine stijenki stupova. Dobivenim rezultatima računalne analize odabrane se: vrsta materijala stupa, promjer i debljina stijenke poprečnog presjeka stupa, način spajanja stupa s betonskim temeljom. Time su postignuta najekonomičnija rješenja koja zadovoljavaju granična stanja nosivosti.

Stupovi imaju neznatne tlačne i posmične sile. Najveći problem za rasvjetne stupove su savijanje koje je nastalo uslijed momenta i vibracije nastale djelovanjem vjetra. Na navedena djelovanja je bilo potrebno posebno obratiti pozornost.

Na poziciji spoja stupa s temeljom odabir različitih promjera vijaka ne dovodi do znatne razlike u cijeni. Stoga je najpraktičnije koristiti vijke koje predlažu tehnički listovi rasvjetnih stupova ukoliko zadovoljavaju sve računske otpornosti.

## 5. LITERATURA

- [1] <http://hr.cnstreetlight.com/info/faq-4-main-parts-working-prin-164940.html>
- [2] [http://estudent.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne\\_informacije\\_u\\_prometu/Materijali/06\\_Prometna\\_rasvjeta.pdf](http://estudent.fpz.hr/Predmeti/V/Vizualne_informacije_u_prometu/Materijali/06_Prometna_rasvjeta.pdf)
- [3] <https://www.svijet-svjetiljki.hr/led-ulicna-svjetiljka-led-100w-230v-ip65/ž>
- [4] <https://art-rasvjeta.hr/rasvjeta-savjeti/svjetlost/sto-je-halogena-zarulja>
- [5] <https://hr.best-diy-site.com/3341189->
- [6] <https://www.ellabo.hr/zarulja-zivina-vtf-h250-e40>
- [7] <http://framedesign.letsconstruct.nl/>
- [8] <http://www.ekorasvjeta.net/javna-rasvjeta/vrste-javne-rasvjete-infografika/>
- [9] <https://www.google.hr/maps/>
- [10] <https://www.dalekovod.hr/EasyEdit/UserFiles/pdf/rasvjetni-stupovi-hr.pdf>
- [11] <http://solarprojekt.hr/wp-content/uploads/2016/11/letak-futurama-SL-5.pdf>
- [12] Nacrt Hrvatske norme nHRN EN 1991-1-4:2012/NA
- [13] <https://repozitorij.etfos.hr/islandora/object/etfos%3A729/datastream/PDF/view>
- [14] <https://generalstructuresinc.com/info/wind-induced-vibrations/>
- [15] Norma za djelovanje vjetra EN 1991-1-4
- [16] Hrvatska norma za djelovanje vjetra na rasvjetne stupve HR EN 40-3-1
- [17] Krolo, Paulina, Predavanje Rotacijski kapacitet poprečnog presjeka, klasifikacija poprečnog presjeka, redukcija poprečnog presjeka, Građevinski fakultet Rijeka 2020.
- [18] Krolo, Paulina, Predavanje Otpornost poprečnog presjeka, Građevinski fakultet Rijeka 2020.
- [19] Krolo, Paulina, Vježbe Priključak stupa na betonski temelj, Građevinski fakultet Rijeka 2020.
- [20] Krolo, Paulina, Predavanje Otpornost elementa na vlak i tlak, Građevinski fakultet Rijeka 2020.