

Konstrukcija parkirališne nadstrešnice

Tandarić, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:460098>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-08-19**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

KONSTRUKCIJA PARKIRALIŠNE NADSTREŠNICE

Rijeka, ožujak 2023.

Filip Tandarić

0069080183

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

KONSTRUKCIJA PARKIRALIŠNE NADSTREŠNICE

Mentor: Prof. dr. sc. Domagoj Lanc

Rijeka, ožujak 2023.

Filip Tandarić

0069080183

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET

Prijediplomski sveučilišni studij strojarstva

IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad na temu „Konstrukcija parkirališne nadstrešnice“ izradio samostalno, uz mentorstvo prof.dr.sc. Domagoja Lanca koristeći znanja stečena tijekom studiranja na Tehničkom fakultetu u Rijeci.

Rijeka, ožujak 2023.

Filip Tandarić

Zahvala

Želim izraziti zahvalnost svojoj obitelji, krugu prijatelja i bližnjih za neizmjernu potporu koju su mi pružili tijekom trajanja ovog studija.

Zahvalio bih se i svome mentoru, prof. dr. sc. Domagoju Lancu koji me sa strpljenjem i stručnosti vodio kroz izradu ovog rada.

Također bi se htio zahvaliti i tvrtki ConSteel Solutions Ltd. na ustupljenoj licenci za program koji je korišten i omogućio izradu ovog završnog rada.

Sadržaj

1. UVOD	1
1.1. Metoda konačnih elemenata	1
1.2. ConSteel 14	3
1.3. Eurokodovi	3
2. KONSTRUKCIJA NADSTREŠNICE	6
2.1. Oblik nadstrešnice	6
2.2. Poprečni presjeci nosivih elemenata	7
3. DEFINIRANJE OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE	10
3.1. Utjecaj vlastite težine na opterećenje konstrukcije	10
3.2. Opterećenje konstrukcije vjetrom	12
3.2.1. Maksimalni tlak vjetra q_p	12
3.2.2. Vanjski pritisak vjetra na konstrukciju.....	17
3.2.3. Unutarnji pritisak vjetra na konstrukciju	20
3.2.4. Analiza konstrukcije za ukupno opterećenje	20
3.3. Opterećenje konstrukcije snijegom	22
4. TEORIJSKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE	27
4.1. Klasifikacija poprečnih presjeka prema EC3	27
4.2. Uvjeti otpornosti presjeka	28
5. REZULTATI PRORAČUNA	32
5.1. Proračun za IPE 100 presjeka	34
6. KALKULACIJA CIJENE NADSTREŠNICE	38
7. ZAKLJUČAK	40
LITERATURA	41
SAŽETAK	43
SUMMARY	44

1. UVOD

Nadstrešnica za parkirališta je konstrukcija koja se postavlja iznad mjesta za parkiranje vozila i ima nekoliko korisnih funkcija. Prije svega, služi za zaštitu automobila od vremenskih uvjeta poput kiše, snijega, leda i sunca, koji mogu uzrokovati oštećenja na vozilu. Nadalje, nadstrešnica može produžiti životni vijek automobila pružajući mu zaklon od štetnih utjecaja navedenih uvjeta.

Osim toga, nadstrešnica poboljšava kvalitetu života, posebno tijekom toplijih dijelova godine, kada štiti vozilo od pretjeranog zagrijavanja pod jakim sunčevim zrakama. Ako se postavi u dvorištu, može pružiti i ugodnu hladovinu. Nadstrešnice se obično izrađuju od metala, drveta, stakla ili plastike, a mogu biti jednostavne ili složenije izvedbe.

U ovom završnom radu, cilj je provedba analize i proračuna konstrukcije čelične nadstrešnice za osobne automobile korištenjem metode konačnih elemenata i odabir odgovarajućih poprečnih presjeka nosivih elemenata koji zadovoljavaju zahtjeve čvrstoće. Ova metoda uključuje diskretizaciju konstrukcije na međusobno povezane konačne elemente, a povećanjem broja konačnih elemenata povećava se i točnost same analize. Svi konačni elementi su međusobno povezani u točkama koje nazivamo čvorovi, a diskretizirana konstrukcija se opisuje globalnom jednadžbom konstrukcije. Kako bi se olakšao ovaj složeni postupak, koristi se specijalizirani program ConSteel za strukturnu analizu konstrukcija od čelika i kompozitnih materijala. Sukladno Eurokodu, europskim pravilima za proračun konstrukcija, provest će se provjera konstrukcije u programu ConSteel, te dodatno provjeriti presjeke još jednom ručno.

1.1. Metoda konačnih elemenata

Veliki dio fizikalnih pojava u prirodi moguće je matematički opisati jednadžbama i rubnim uvjetima, no te jednadžbe su često u obliku diferencijalnih ili integralnih jednadžbi koje same po sebi, za svoje rješavanje, zahtijevaju značajan utrošak resursa, a u konačnici nekada ni nemaju egzaktno rješenje.

Metoda konačnih elemenata je jedan od pokušaja da se ta problematika rješavanja skupa kompleksnih jednadžbi svede na računski mnogo jednostavnije sustave algebarskih jednadžbi[1].

Strogo matematički gledano, metoda konačnih elemenata je numerička metoda za rješavanje skupa povezanih diferencijalnih jednažbi. Za inženjere je bitna zbog svoje primjene u raznim područjima i koristi se za rješavanje problema poput statičkog i dinamičkog opterećenja konstrukcija, toplinske obrade, simulacije tečenja fluida i drugih.

Metoda se temelji na diskretizaciji područja na određen broj konačnih elemenata koji čine mrežu konačnih elemenata. Konačni elementi u mreži međusobno su povezani pomoću čvorova (diskretnih točaka). Postoje tri vrste konačnih elemenata, a to su jednodimenzionalni, dvodimenzionalni i trodimenzionalni elementi. Nakon diskretizacije, primjenjuju se jednažbe mehanike kontinuuma, poput teorije elastičnosti ili raznih aproksimacija, kako bi se povezali utjecaji poput sila u polju konačnog elementa sa silama u čvorovima. Na ovaj način se dobiva osnovna jednažba konačnog elementa, a združivanjem takvih jednažbi stvara se jednažba konstrukcije. Jednažba diskretizirane konstrukcije je sljedeća

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (1.1)$$

gdje je:

$[K]$ matrica krutosti konstrukcije

$\{U\}$ vektor čvornih pomaka

$\{F\}$ vektor opterećenja konstrukcije

Pri proračunu se mogu javiti pogreške modela, pogreške diskretizacije te numeričke pogreške (zadnje dvije su zapravo pogreške računala). Navede greške se ispravljaju boljim modelom konstrukcije s kvalitetnijim opisom stvarnog ponašanja konstrukcije te kvalitetnijom mrežom konačnih elemenata s višim stupnjem slobode.

Osnovnu jednažbu konačnog elementa možemo riješiti direktnom metodom, metodom minimizacije težinskih ostataka, varijacijskim metodama ili metodom virtualnih radova. Direktna metoda se koristi samo u jednostavnim slučajevima, a temelji na ravnotežnim jednažbama mehanike čvrstog tijela. Metoda minimizacije težinskih ostataka se koristi kada se problem svodi na rješavanje diferencijalne jednažbe dok se varijacijske metode temelje na principu stacionarnosti funkcionalan (metode pomaka, metode sila, mješovite metode) [2].

1.2. ConSteel 14

ConSteel 14 je sofisticiran program namijenjen projektiranju čeličnih i kompozitnih konstrukcija prema aktualnim europskim standardima. Korisnicima omogućuje modeliranje složenih čeličnih konstrukcija i jednostavno obavljanje numeričke analize korištenjem metode konačnih elemenata. Ovaj program može se koristiti za projektiranje širokog spektra čeličnih konstrukcija, uključujući mostove, dizalice, industrijske hale i druge. ConSteel 14 nudi detaljno modeliranje geometrije, svojstava materijala, opterećenja i naprezanja u različitim vremenskim uvjetima, te omogućuje vizualizaciju rješenja i izradu tehničkih izvješća. Program također sadrži veliku bazu različitih profila i materijala, a korisnicima pruža i slobodu izrade vlastitih profila i spojnica, kao i promjenu parametara svojstava materijala te simuliranje raznih situacija[3].

1.3. Eurokodovi

Eurokodovi su skup europskih pravila koji se koriste za proračun i projektiranje građevinskih i inženjerskih konstrukcija (zgrade, mostovi, tuneli, zračne luke, sportske arene i brojne druge građevine). Pravila su razvijena kako bi se osigurala mehanička otpornost i stabilnost konstrukcija odnosno građevina. Proračun mehaničke otpornosti i stabilnosti uključuje razne provjere poput opće provjere nosivosti, stabilnosti, uporabljivosti, nosivosti na zamor i sigurnosti protiv prevrtanja, klizanja te podizanja konstrukcije na osloncima. Eurokodovi služe za provjeru da su projektirane konstrukcije sigurne i ispunjavaju minimalne zahtjeve u pogledu snage, stabilnosti i trajnosti. Uključuju smjernice za odabir materijala i proračun opterećenja i izračunavanje koeficijenata sigurnosti[4].

Postoji 10 Eurokodova te svaki kod obuhvaća određeno područje projektiranja konstrukcija. Prije nego ih sve nabrojimo, važno je napomenuti da je primjena ovih pravila obavezna u svim članicama Europske unije.

Eurokod - Osnove projektiranja konstrukcije

Ovaj kod opisuje glavna načela i zahtjeve za sigurnost, trajnost i izdržljivost konstrukcija, neovisno o materijalima te stvara podlogu za projektiranje i verifikaciju uključujući i geotehničke aspekte. Treba se koristiti sa ostalim eurokodovima [5,6].

Eurokod 1 - Djelovanja na konstrukcije

Uključuje informacije o mogućim vanjskim utjecajima na konstrukcije. Obuhvaća opterećenja poput vlastite težine, snijega, vjetra itd.

Eurokod 2 - Projektiranje betonskih konstrukcija

Obuhvaća pravila i zahtjeve o projektiranju betonskih konstrukcija i niskogradnje.

Eurokod 3 - Projektiranje čeličnih konstrukcija

Uključuje proračun elemenata poput stupova, greda i spojeva (vijčanih i zavarenih). Opisuje i naprednije metode projektiranja hladno oblikovanih čeličnih konstrukcija. Eurokod po prvi put uvodi pravila za nehrđajući čelik.

Eurokod 4 - Projektiranje kompozitnih konstrukcija od čelika i betona

Uključuje pravila za izgradnju mostova i građevina te pravila za izgradnju konstrukcija otpornih na požar. Mora se koristiti zajedno sa Eurokodovima 2 i 3.

Eurokod 5 - Projektiranje drvenih konstrukcija

Pravila za izgradnju građevina, mostova i konstrukcija otpornih na požar.?

Eurokod 6 - Projektiranje zidanih konstrukcija

Bavi se zgradama, niskogradnjom i raznim pokrovima. Uključuje pravila za armirano i nearmirano zidanje, protupožarno projektiranje te detaljna pravila za bočno opterećenje

Eurokod 7 - Geotehničko projektiranje

Odnosi se na geotehničko projektiranje zgrada i objekata niskogradnje. Obuhvaća utvrđivanje karakteristika tla i stijena, proračun temelja i potpornih konstrukcija i nasipa.

Eurokod 8 - Projektiranje konstrukcija otpornih na potrese

Odnosi se na konstrukcije i građevine u seizmički aktivnim područjima. Glavni cilj ovog Eurokoda je zaštititi ljude i minimizirati štetu tijekom potresa.

Eurokod 9 - Projektiranje aluminijskih konstrukcija

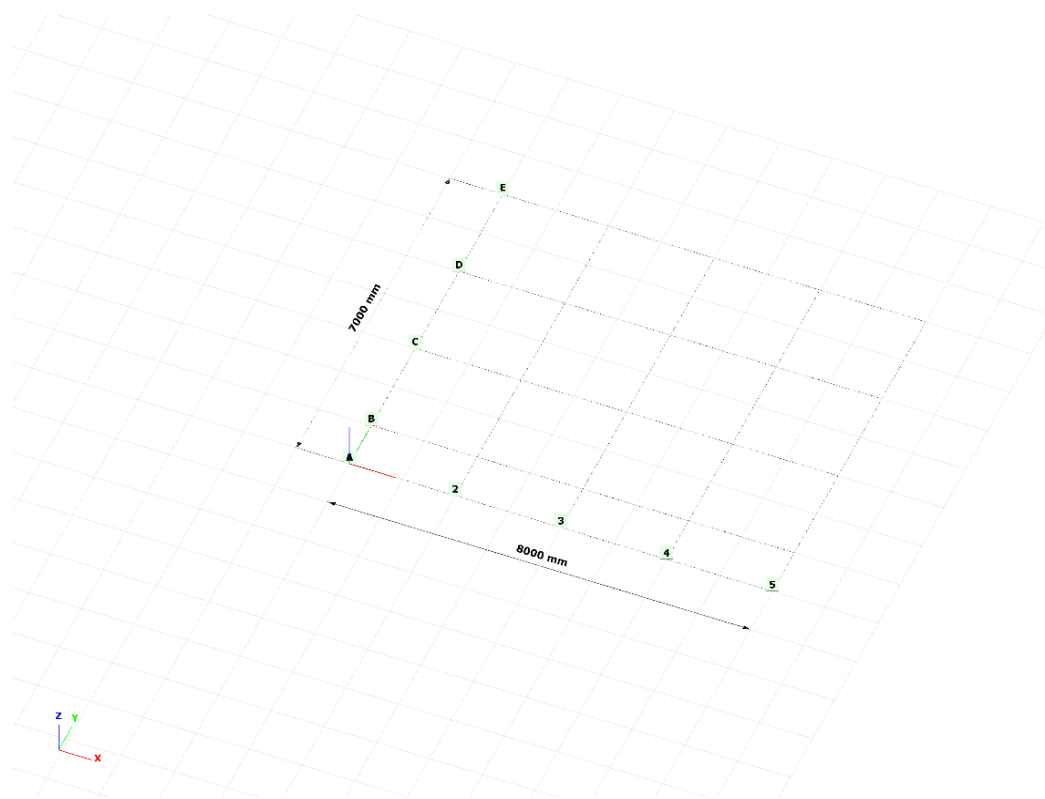
Pokriva osnovna pravila za izgradnju konstrukcija s naglaskom na konstrukcije koje su osjetljive na zamor.

2. KONSTRUKCIJA NADSTREŠNICE

2.1. Oblik nadstrešnice

Na tržištu se može pronaći velik broj različitih izvedbi nadstrešnica, koje se razlikuju po raznim čimbenicima, kao što su oblik, materijal i dimenzije. U ovom radu se fokusiramo na klasičan oblik slobodnostojeće nadstrešnice bez zakrivljenih elemenata za parking dva osobna automobila.

Prije samog procesa izrade nadstrešnice, korisno je izraditi koordinatnu mrežu (engl. Grid), što olakšava proces snalaženja i pruža bolji uvid u dimenzije nadstrešnice u prostoru (slika 2.1).

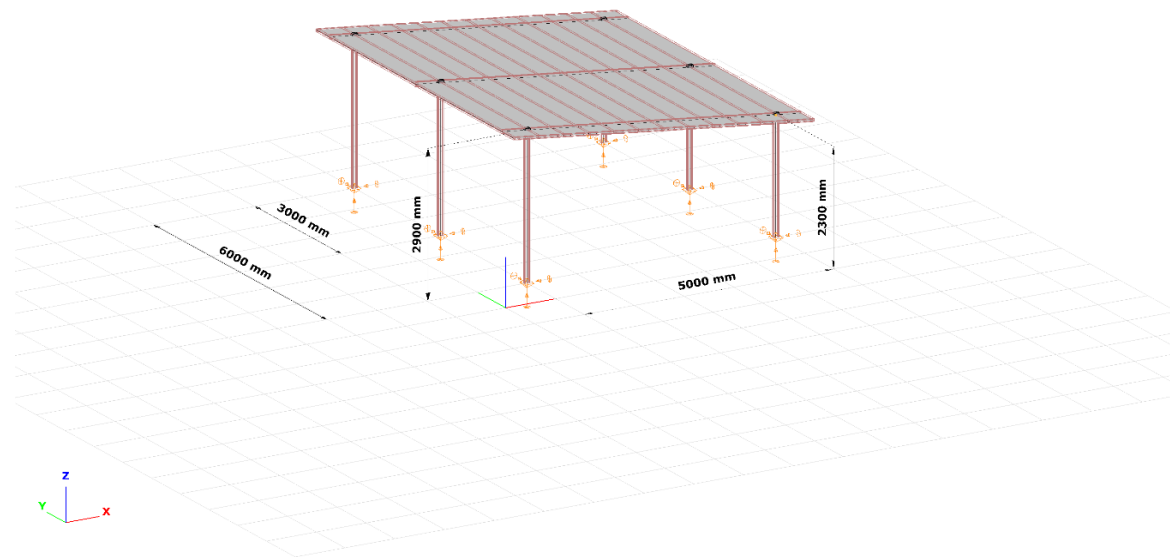


Slika 2.1 Dimenzije koordinatne mreže

Oblik nadstrešnice se odabire na temelju sličnih prethodnih izvedbi i za ovaj projekt je odabran oblik s tri reda stupova, po dva stupa u svakom redu. Kako bi se spriječilo nakupljanje oborina na krovu, preporučeni nagib krova je najmanje 5 stupnjeva. Stupovi su konstruirani u dvije dimenzije - viši

stupovi su visoki 2,9 metara, dok su niži stupovi visoki 2,3 metra. Ovakva konstrukcija stupova omogućuje postizanje nagiba krova od nešto manje od 7 stupnjeva.

Za postavljanje elemenata nadstrešnice u programu ConSteel koristi se intuitivno i jednostavno sučelje. Prvo se postavljaju stupovi prema željenom rasporedu, a zatim se povezuju gredama. Nakon toga, između poprečnih greda se dodaju krovne grede koje služe kao potpora za krovnu ploču te se na njih postavlja krovna ploča kako bi se dobio traženi oblik (slika 2.2).



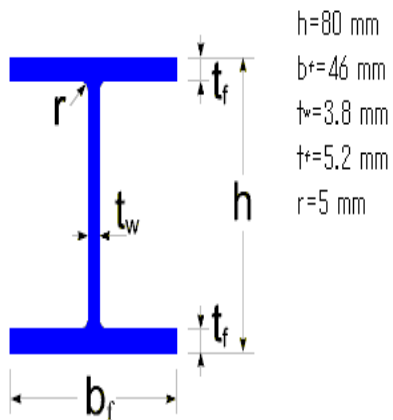
Slika 2.2 Prikaz dimenzija i oblika nadstrešnice

Na stupovima se postavljaju oslonci, a spojevi grednih elemenata sa stupovima mogu se ručno odrediti no postoji mogućnost i automatski generirati ih koristeći funkciju Frame corner wizard.

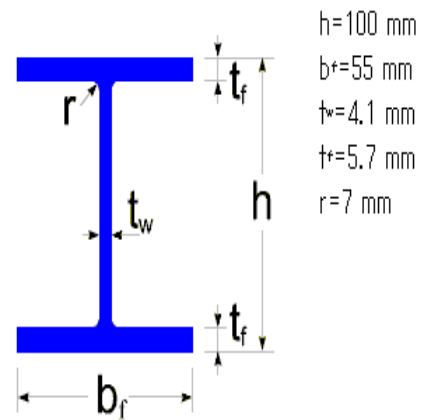
2.2. Poprečni presjeci nosivih elemenata

Nakon određivanja oblika nadstrešnice i modeliranja iste, u ConSteel-u je potrebno odabrati profile i materijal svih elemenata od kojih se sastoji. Za ovu nadstrešnicu odabran je profil IPE 100 za stupove,

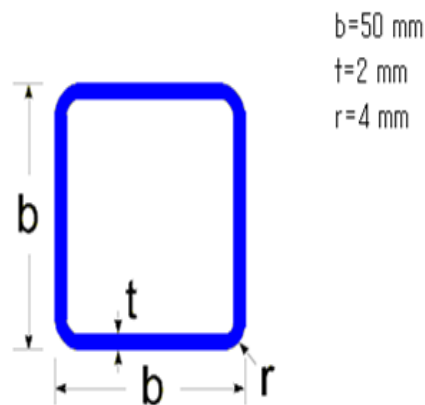
IPE 80 (slika 2.3) za poprečne grede elemente osim za gredu koja poprečno povezuje srednje stupove za koju je uzet IPE 100 (slika 2.4) profil kao dodatno ojačanje s obzirom da je taj dio konstrukcije podložan najvećim progibima i opterećenjima. Za krovne grede se koristio kvadratni cjevasti profil SHS 50x2 (slika 2.5). Za materijal svih ovih navedenih elemenata odabran je standardni konstrukcijski čelik S 235 a karakteristike profile prikazane su u tablici (tablica 2.1).



Slika 2.4 Dimenzije profila IPE 80



Slika 2.3 Dimenzije profila IPE 100



Slika 2.5 Dimenzije profila SHS 50x2

Tablica 2.1 Tablični prikaz karakteristika profila elemenata [7]

Profil	Površina A [mm ²]	Moment tromosti po osi y I _y [mm ⁴]	Moment tromosti po osi z I _z [mm ⁴]	Plastični moment otpora po osi y W _{pl,y} [mm ³]	Plastični moment otpora po osi z W _{pl,z} [mm ³]
IPE 100	1032	1710000	159200	39410	5818
IPE 80	764	801400	84890	23220	9146
SHS 50x2	374	141400	141400	66600	66600

Krovna ploča je element koji zbog svoje površine i položaja najviše trpi učinke vremenskih pojava pa je s time na umu uzet za materijal pocinčani čelik S220GD + Z debljine 1 mm. Površinski sloj cinka pruža čeliku dodatan oblik zaštite od oštećenja te korozije čime mu i produljuje vijek trajanja i smanjuje zahtjeve za samim održavanjem (tablica 2.2).

Tablica 2.2 Tablični prikaz svojstava krovnih ploča

Svojstvo	Oznaka	Mjerna jedinica	Vrijednost
Gustoća	ρ	[kg/m ³]	7845
Modul elastičnosti	E	[N/mm ²]	210000
Poissonov faktor	ν		0.3
Koeficijent toplinske rastezljivosti	α	[1/°C]	0,000012
Granica tečenja	f_{yb}	[N/mm ²]	220
Vlačna čvrstoća	f_u	[N/mm ²]	300

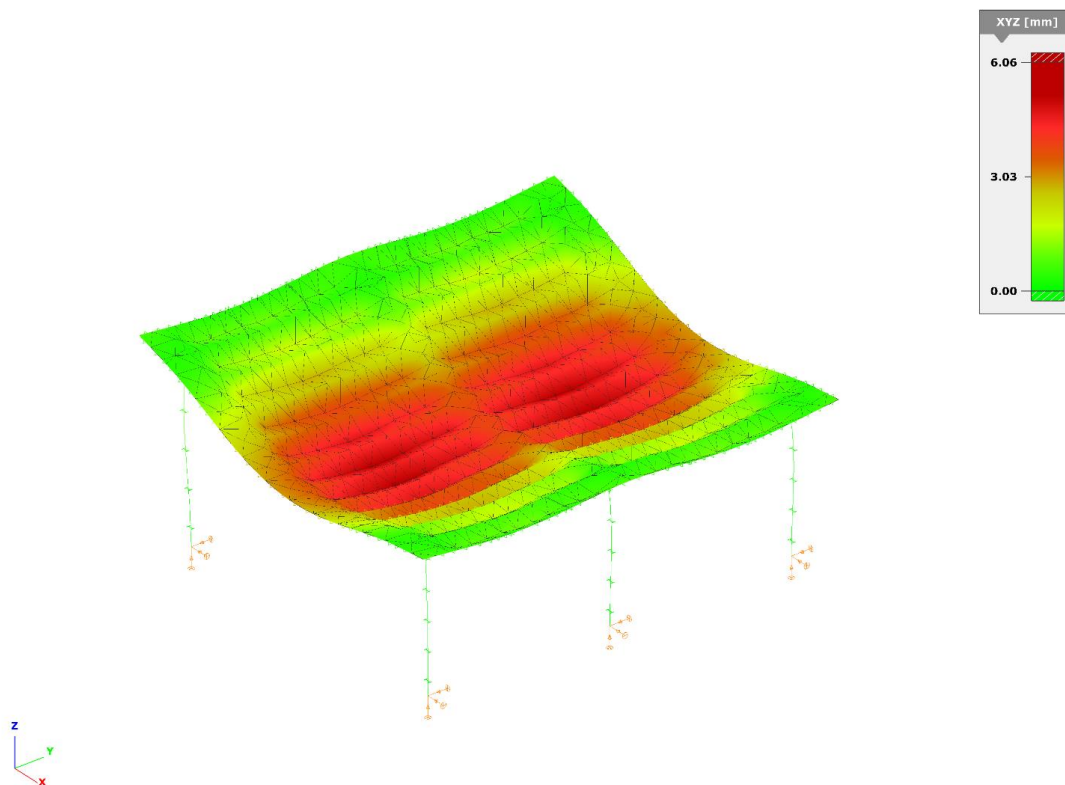
3. DEFINIRANJE OPTEREĆENJA KONSTRUKCIJE

Pravilno definiranje opterećenja konstrukcije je od iznimne važnosti kod modeliranja konstrukcije. Definirana opterećenja efektivno predstavljaju razne uvjete kojima bi fizička konstrukcija bila izložena poput vjetrova, snijega, tereta te pogrešno definirana opterećenja mogu imati za posljedice probleme sa stabilnošću i sigurnošću konstrukcije.

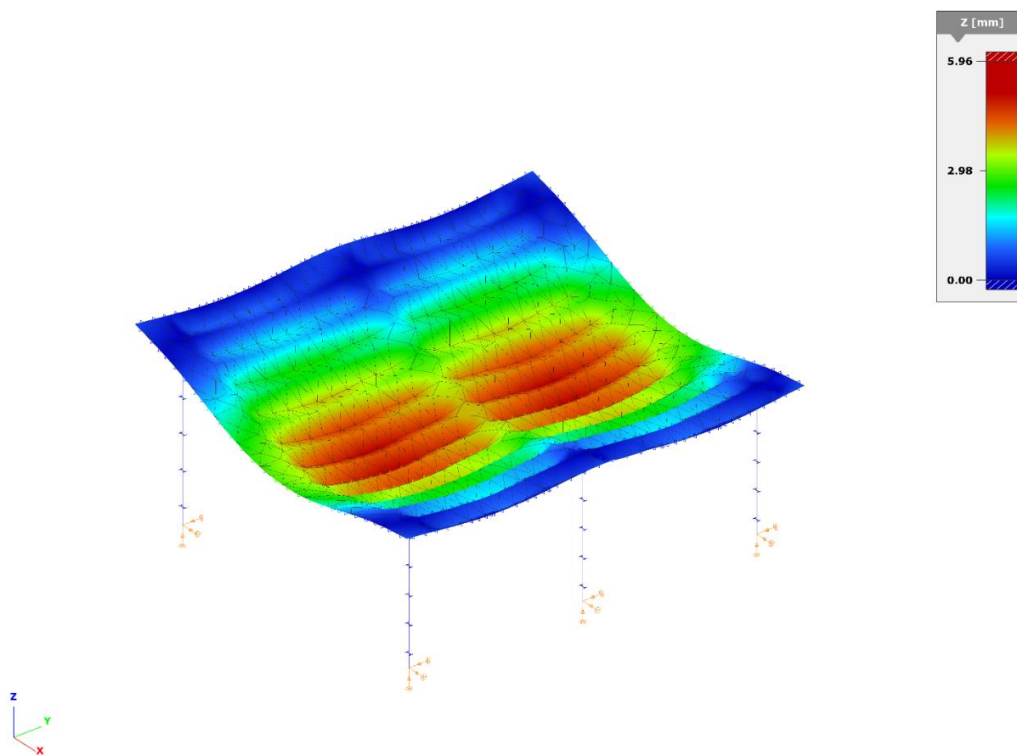
U programu su sadržane različite vrste opterećenja kao što su trajna i promjenjiva opterećenja, meteorološka, snijeg, vjetar, slučajna opterećenja itd. U ovom radu koristit će se isključivo trajna opterećenja u obliku mase nadstrešnice, opterećenja uzrokovana snijegom i vjetrom te njihove kombinacije. Postavljanje opterećenja na pripadne položaje na konstrukciji može se izvršiti ručno, u obliku linijskih opterećenja ili u određenoj točki. Međutim, s obzirom na prirodu opterećenja ove konstrukcije i mogućnost softverskog programa ConSteel da automatski generira potrebna opterećenja na svim elementima sukladno normama, ručno definiranje opterećenja nije potrebno.

3.1. Utjecaj vlastite težine na opterećenje konstrukcije

Prije izračuna opterećenja na konstrukciju uslijed vanjskih utjecaja potrebno je prvo razmotriti statičko opterećenje koje je uzrokovano vlastitom težinom strukturnih elemenata konstrukcije koje je konstantno i ne mijenja se značajno u vremenu. Opterećenje je ponajviše ovisno o rasporedu elemenata u prostoru, odabranim profilima, korištenim materijalima, osloncima i dimenzijama konstrukcije. Tu je bitno osigurati pravilnu krutost nadstrešnice kako ne bi dolazilo do velikih pomaka. U kartici *Analysis* vrši se analiza te se grafički prikazuju rješenja pomaka po svim osima (slika 3.1), u ovom slučaju po x-y-z osima te je vidljivo da maksimalna vrijednost pomaka iznosi 6.06 milimetara s time da je najveći pomak po z-osi vrijednosti 5.96 milimetara i nalazi se približno na središnjem djelu konstrukcije (slika 3.2). Potrebno je također imati na umu da slika nije realan prikaz. Pomaci su naglašeni i obojani u spektar boja koji je prikazan sa strane radi lakše vizualizacije.



Slika 3.1 Prikaz pomaka uslijed vlastite težine po svim osima



Slika 3.2 Prikaz pomaka uslijed vlastite težine po Z-osi

3.2. Opterećenje konstrukcije vjetrom

Opterećenje koje vrši vjetar na konstrukciju računa se prema Eurokodu 1, točnije [normi]. Proračun će u ovom slučaju vršiti program ConSteel te program automatski postavlja ta opterećenja na željenu konstrukciju za odabranu geografsku regiju te će u nastavku teksta biti objašnjen svaki korak proračuna. Cilj ovog proračuna je odrediti kritične vrijednosti opterećenja, kako bi se osigurala konstrukcija koja je otporna na ove uvjete.

Prema Eurokodu [8], opterećenje vjetra računa se prema jednadžbi:

$$w = (c_{pe} + c_{pi}) * q_p * s \quad (3.1)$$

gdje je:

- c_{pe} koeficijent vanjskog pritiska vjetra
- c_{pi} koeficijent unutarnjeg pritiska vjetra
- q_p maksimalni tlak vjetra
- s udaljenost između nosivih elemenata

3.2.1. Maksimalni tlak vjetra q_p

Maksimalni tlak vjetra se dobiva pomoću sljedeće jednadžbe:

$$q_p = [1 + 7 * I_v(z)] * \frac{1}{2} * \rho * v_m(z)^2 \quad (3.2)$$

gdje je:

- q_p maksimalan tlak vjetra
- $v_m(z)$ srednja brzina vjetra
- ρ gustoća zraka ($1,25 \text{ kg/m}^3$)
- I_v intenzitet turbulencija

Srednja brzina vjetra fizikalna je veličina koja ovisi o geografskoj regiji u kojoj se konstrukcija nalazi te o samom terenu i okolini. Primjerice, ako se konstrukcija nalazi u urbanom području

okruženom zgradama i ostalim preprekama, srednja brzina vjetra biti će manja nego na otvorenom polju.

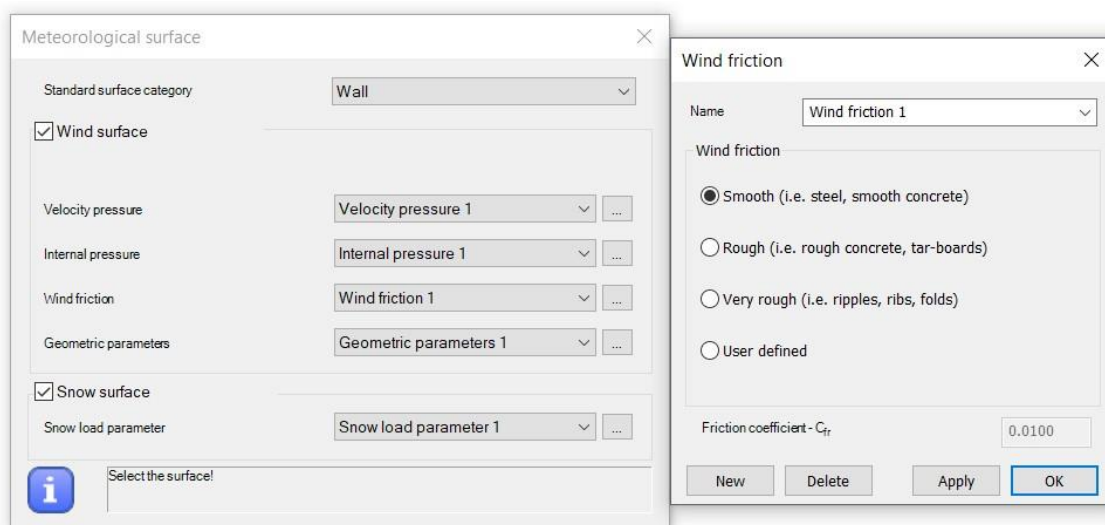
$$v_m(z) = c_r(z) * c_0(z) * v_b \quad (3.3)$$

gdje je :

- $c_r(z)$ faktor trenja
- $c_0(z)$ orografski faktor
- v_b osnovna brzina vjetra

Faktor trenja $c_r(z)$ se također može relativno jednostavno izračunati, no ConSteel daje izbor samostalnog odabira faktora, kao i automatski izračun temeljen na materijalu konstrukcije (u ovom slučaju čelik).

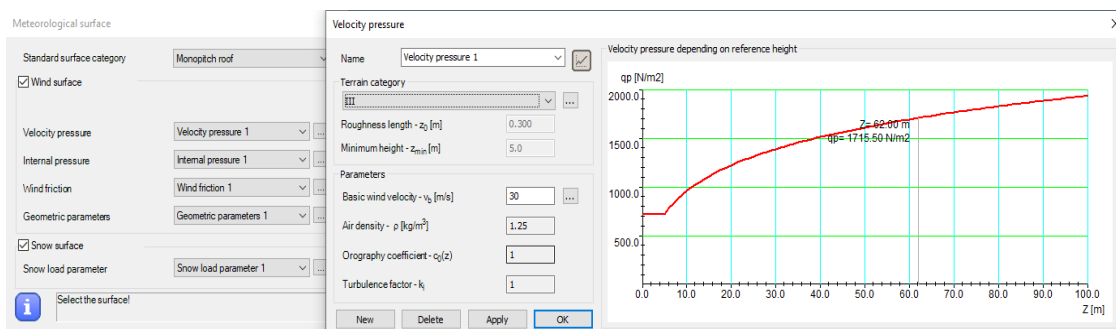
Faktor trenja se odabire pomoću *Meteorological surface* funkcije (točnije u *Wind friction* prozoru) gdje se odabiru i svi ostali faktori koji nam služe za izračunavanje meteorološkog utjecaja na nosivost konstrukcije (slika 3.3).



Slika 3.3 Odabir faktora trenja vjetra

Orografski faktor $c_0(z)$ bitan je prilikom analize konstrukcije te uzima u obzir specifičnosti reljefa poput brda i planina i njihov utjecaj na brzinu vjetra.

Odabire se otvaranjem prozora *Velocity pressure > Terrain Category* (slika 3.4). Ovdje je potrebno odabrati teren koji će realno opisivati zemljište instalacije naše konstrukcije, stoga je odabrana kategorija zemljišta III [9]: Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma) (tablica 3.1).



Slika 3.4 Odabir kategorije zemljišta

Tablica 3.1 Kategorije terena i parametri terena [9]

Kategorija terena		z_0 [m]	z_{min} [m]
0	More ili priobalna područja izložena otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna i horizontalno položena područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom, npr. travom, i izoliranim preprekama (drveće, zgrade) s razmakom najmanje 20 visina prepreke	0,05	2
III	Područja sa stalnim pokrovom od vegetacije ili zgrade ili područja s izoliranim preprekama s razmakom najviše 20 visina prepreke (npr. sela, predgrađa, stalna šuma)	0,3	5
IV	Područja s najmanje 15 % površine pokrivena zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

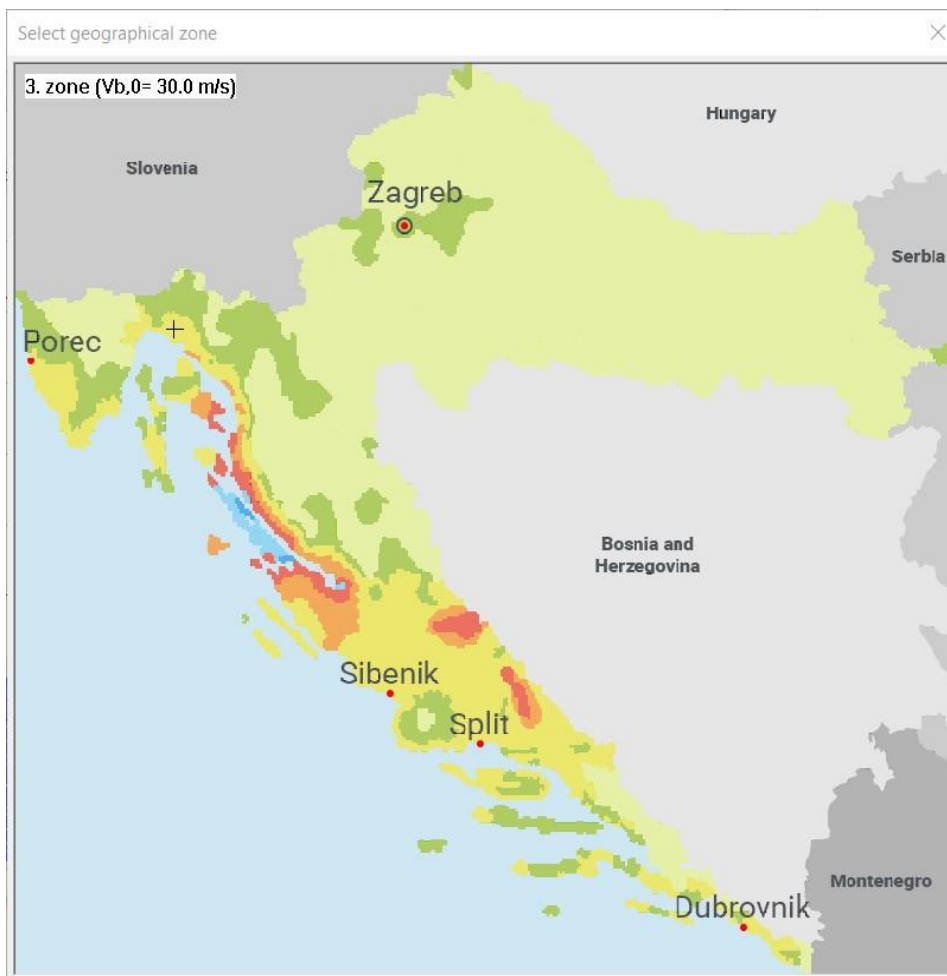
Osnovna brzina vjetra v_b određuje se prema sljedećem izrazu:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} \quad (3.4)$$

Faktori c_{dir} i c_{season} označavaju faktor usmjerenja i sezonski faktor respektivno te su, radi pojednostavljenja proračuna, njihove vrijednosti jednake 1 (mogućnost promjene u ConSteel-u).

Brzina $v_{b,0}$ je početna brzina određena kartom vjetrova za Europu koja se nalazi u samom Eurokodu.

ConSteel ima mogućnost ručnog odabira početne brzine vjetra koristeći zone vjetra na karti Hrvatske gdje je kao lokacija odabran grad Rijeka koja se nalazi u 3. zoni (slika 3.5). Tim odabirom dobivena je brzina $v_{b,0} = 30 \text{ m/s}$ koja je u ovom slučaju jednaka osnovnoj brzini vjetra v_b .



Slika 3.5 Karta vjetrova u Hrvatskoj

Intenzitet turbulencija l_{vv} se dobije iz sljedećeg izraza:

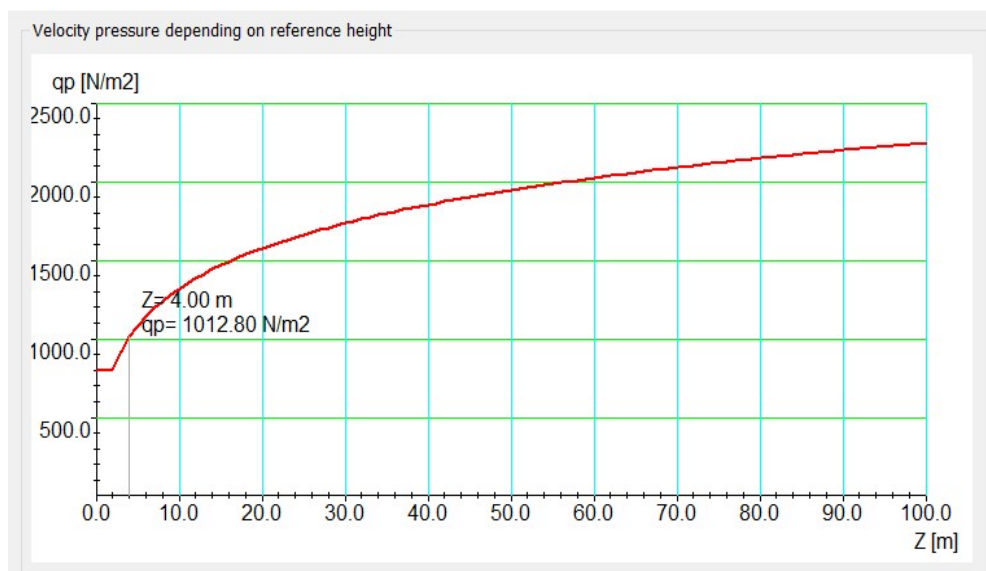
$$l_v = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (3.5)$$

k_1 je koeficijent turbulencije te je preporučena vrijednost 1,0. Vrijednosti z_{min} i z_0 su već određene odabirom kategorije zemljišta (slika 3.7.), a za vrijednost z_{max} se uzima vrijednost od 200 metara.

S time, maksimalni tlak vjetra može se izraziti kao:

$$q_p = \left[1 + \frac{7k_1}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \right] * \frac{1}{2} * 1,25 * v_m(z)^2 \quad (3.6)$$

Ove vrijednosti su prikazane i grafom u ConSteel-u (slika 3.6).



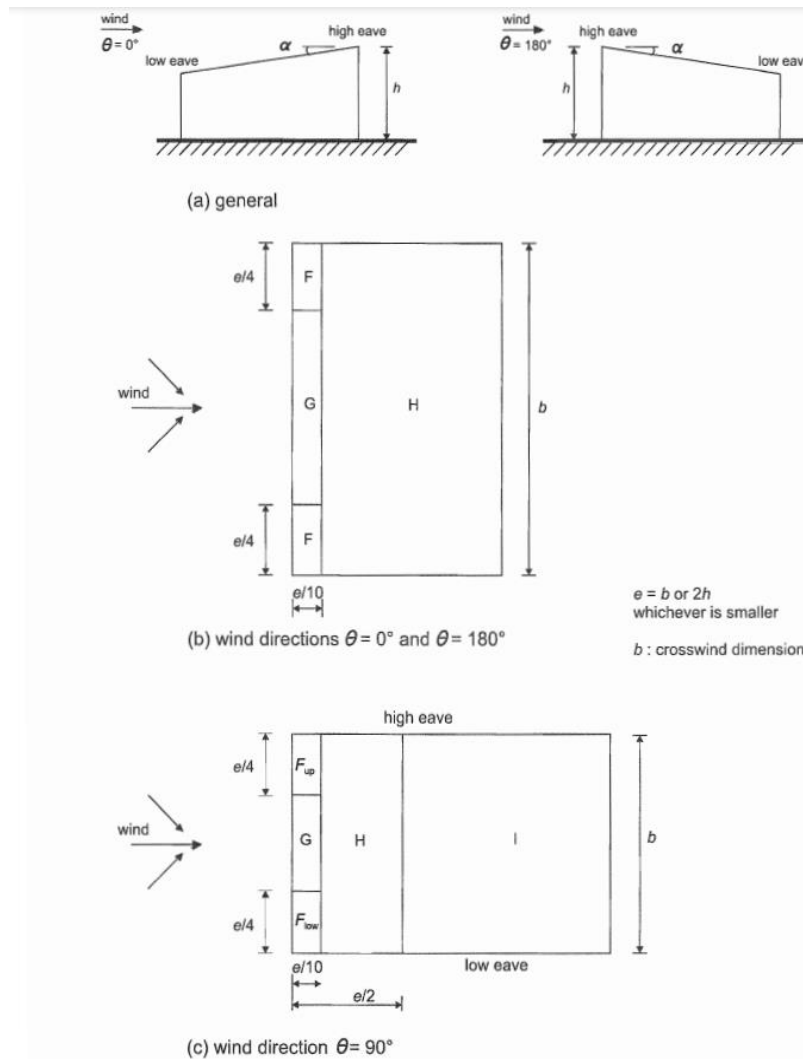
Slika 3.6 Grafički prikaz maksimalnog tlaka vjetra

3.2.2. Vanjski pritisak vjetra na konstrukciju

Vanjski pritisak se može izraziti kao umnožak maksimalnog tlaka vjetra q_p i koeficijenta vanjskog tlaka c_{pe} :

$$W_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad (3.7)$$

Maksimalni tlak ovisan je o referentnoj visini z_e za vanjski tlak, a koeficijent vanjskog tlaka c_{pe} ovisan je o nagibu krova i visini. Prema Eurokodu, za krovove s nagibom u samo jednom smjeru (engl. Monopitch roof) krov je potrebno podijeliti na više zona kao što je prikazano (slika 3.7).



Slika 3.7 Podjela krova s nagibom na jednu stranu prema zonama [8]

Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka sukladno tome dane su u tablicama (tablica 3.2 i 3.3).

Tablica 3.2 Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za smjer puhanja vjetra kuteva 0° i 180° [8]

Pitch Angle α	Zone for wind direction $\theta = 0^\circ$						Zone for wind direction $\theta = 180^\circ$					
	F		G		H		F		G		H	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2	-2,3	-2,5	-1,3	-2,0	-0,8	-1,2
	+0,0		+0,0		+0,0							
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2
	+0,2		+0,2		+0,2							
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-1,1	-2,3	-0,8	-1,5	-0,8	
	+0,7		+0,7		+0,4							
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,6	-1,3	-0,5		-0,7	
	+0,7		+0,7		+0,6							
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,5	-1,0	-0,5		-0,5	

Tablica 3.3 Preporučene vrijednosti koeficijenta vanjskog tlaka za smjer puhanja vjetra pod 90° [8]

Table 7.3b — Recommended values of external pressure coefficients for monopitch roofs

Pitch Angle α	Zone for wind direction $\theta = 90^\circ$									
	F_{up}		F_{low}		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5°	-2,1	-2,6	-2,1	-2,4	-1,8	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
15°	-2,4	-2,9	-1,6	-2,4	-1,9	-2,5	-0,8	-1,2	-0,7	-1,2
30°	-2,1	-2,9	-1,3	-2,0	-1,5	-2,0	-1,0	-1,3	-0,8	-1,2
45°	-1,5	-2,4	-1,3	-2,0	-1,4	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
60°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,7	-1,2
75°	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,5	

U ConSteel-u ovi koeficijenti se računaju automatski (slika 3.8).

Constant parameter
 Loaded area - A [m²]
 Building height - h [m] Pitch angle α [°]

Wind direction dependent
 Wind direction [°] b [m] e [m]
 Basic wind direction d [m] h/d

Schematic zone figure with sizes

Standard Cpe table EN 1991-1-4:2007 Table 7.3

α	F,10	F,1	G,10	G,1	H,10	H,1
5.000	-1.7	-2.5	-1.2	-2.0	-0.6	-1.2
5.000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15.000	-0.9	-2.0	-0.8	-1.5	-0.3	-0.3
15.000	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

Actual Cpe values

α	F	G	H
6.521	-1.578	-1.139	-0.554
6.521	0.030	0.030	0.030

Slika 3.8 Koeficijenti vanjskog tlaka vjetra za krovnu ploču

3.2.3. Unutarnji pritisak vjetra na konstrukciju

Unutarnji pritisak se određuje na isti način, korištenjem formule:

$$w_i = q_p(z_i) * c_{pi} \quad (3.8)$$

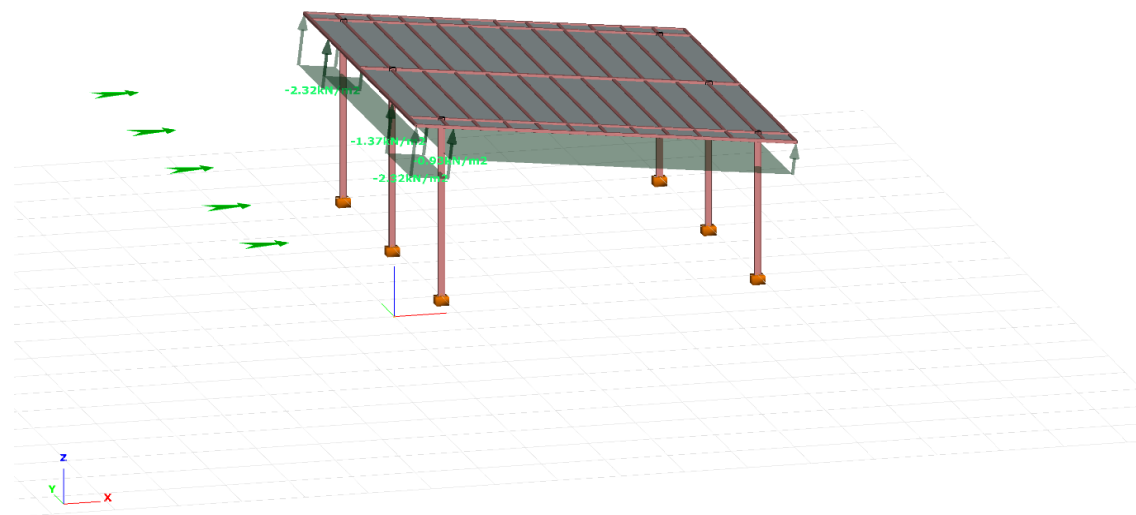
Maksimalni tlak koji se javlja na konstrukciji ovisi o referentnoj visini z_i za unutarnji tlak, dok koeficijent unutarnjeg tlaka c_{pi} ovisi o veličini i raspodjeli otvora na konstrukciji. Međutim, procjena ovih vrijednosti može biti vrlo izazovna. Stoga, kao najnepovoljniji scenarij, pretpostavlja se da je $c_{pi} = 0,2$.

3.2.4. Analiza konstrukcije za ukupno opterećenje

Za ukupno opterećenje vjetrom odabire se ekstreman slučaj koji predstavlja istovremeno djelovanje unutarnjeg i vanjskog tlaka:

$$w = (c_{pi} + c_{pe}) * q_p * s \quad (3.9)$$

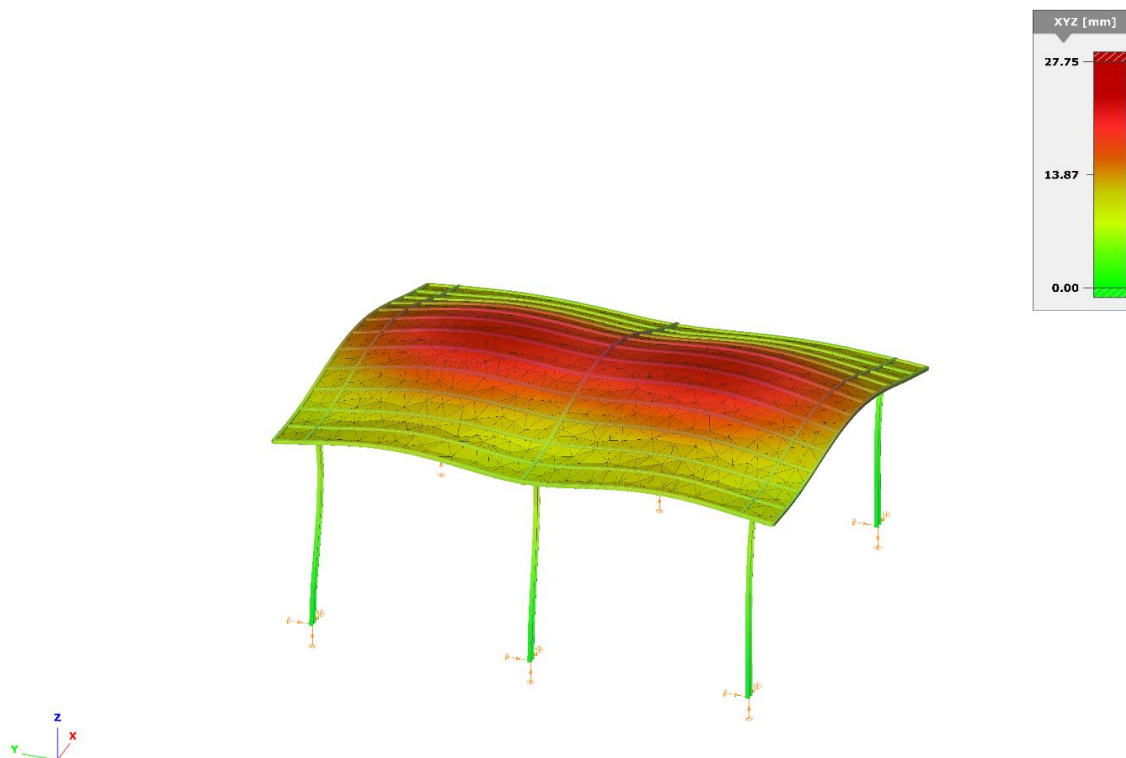
Gdje je s udaljenost između dva stupa, u ovoj izvedbi konstrukcije to je 3 metra. Izračun se vrši na temelju više scenarija koji se međusobno razlikuju po smjeru djelovanja vjetra. ConSteel tako daje rezultate za sve smjerove od kojih se odabire najnepovoljniji. (slika 3.9).



Slika 3.9 Nadstrešnica opterećena vjetrom

Vidljivo je da je najnepovoljniji slučaj kada vjetar puše s boka u smjeru reda viših stupova kada se pojavljuje najveće koncentrirano naprežanje od $2,32 \text{ kN/m}^2$.

U prozoru *Analysis* prikazani su pomaci u nadstrešnici po X-Y-Z globalnim koordinatnim osima (slika 3.10).



Slika 3.10. Pomaci nadstrešnice opterećene vjetrom

Prema provedenoj analizi, najveći pomaci se, kao i kod pomaka uzrokovanih vlastitom težinom pretežito nalaze oko središnjeg dijela nadstrešnice te u slučaju vjetra najveći pomak iznosi 27.75 milimetara. Bitno je napomenuti da se i kod ove analize opterećenja vjetrom uzima u obzir i težina nadstrešnice.

3.3. Opterećenje konstrukcije snijegom

Opterećenje snijegom računa se prema Eurokodu 1, točnije prema EN 1991-1-3 [10] normi. Kao i kod opterećenja vjetrom, ponovno se koristi *Metorological surface* funkciju u ConSteel-u.

Opterećenje snijegom računa se preko sljedećeg izraza:

$$S = \mu * c_e * c_t * S_k \quad (3.10)$$

gdje je:

μ koeficijent oblika krova

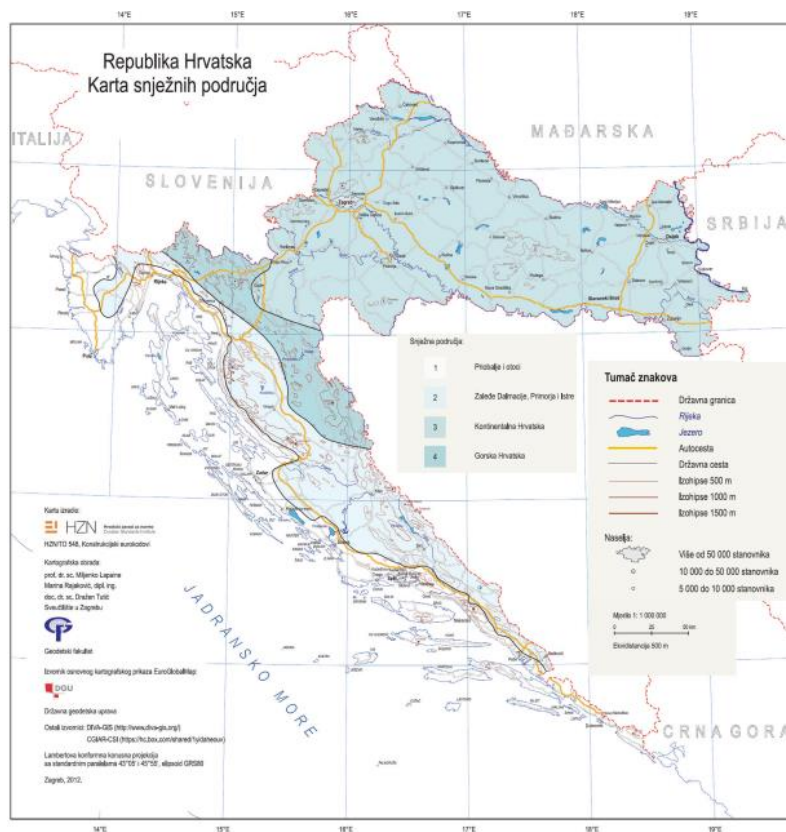
- c_e koeficijent izloženosti vjetru
- c_t toplinski koeficijent
- s_k karakteristično opterećenje snijegom

Karakteristično opterećenje snijegom ovisno je o geografskoj zoni opterećenja i nadmorskoj visini i vrijednosti se uzimaju prema normi HR EN 1991-1-3 [10] te su prikazane u tablici (tablica 3.4).

Tablica 3.4 opterećenje snijegom za snježna područja i pripadajuće nadmorske visine [11]

Nadmorska visina do [m]	1. područje – priobalje i otoci [kN/m ²]	2. područje – zaleđe Dalmacije, Primorja i Istre [kN/m ²]	3. područje – kontinentalna Hrvatska [kN/m ²]	4. područje – gorska Hrvatska [kN/m ²]
100	0,50	0,75	1,00	1,25
200	0,50	0,75	1,25	1,50
300	0,50	0,75	1,50	1,75
400	0,50	1,00	1,75	2,00
500	0,50	1,25	2,00	2,50
600	0,50	1,50	2,25	3,00
700	0,50	2,00	2,50	3,50
800	0,50	2,50	2,75	4,00
900	1,00	3,00	3,00	4,50
1 000	2,00	4,00	3,50	5,00
1 100	3,00	5,00	4,00	5,50
1 200	4,00	6,00	4,50	6,00
1 300	5,00	7,00		7,00
1 400	6,00	8,00		8,00
1 500		9,00		9,00
1 600		10,00		10,00
1 700		11,00		11,00
1 800		12,00		

Prema karti Hrvatske iz HR EN 1991-1-3 [11] (slika 3.11), vidljivo je da se Rijeka nalazi u 1. zoni s najmanje snijega i s obzirom na nadmorsku visinu vrijedi da je $s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$.

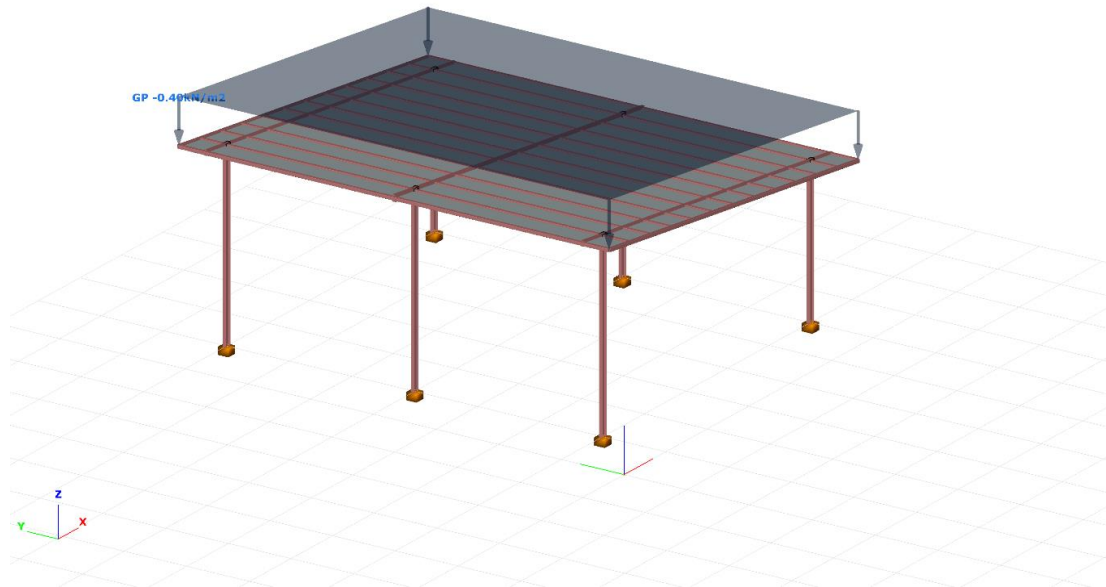


Slika 3.11 Zone prema karakterističnom opterećenju snijega za Hrvatsku [11]

Koeficijent oblika krova c_e će u najpoloženijem dijelu naše nadstrešnice iznositi 0,8 jer je to vrijednost koja se uzima za krovove do 30° nagiba prema EN 1991-1-3. Za parametar koeficijenta izloženosti vjetru c_e uzeta je vrijednost 1 koja se uvijek koristi osim u iznimnim slučajevima kada se konstrukcija nalazi na ravnom terenu s vrlo malo zaklona ili u unutarnjem prostoru. Za toplinski koeficijent c_t izabire se vrijednost 1 osim u nekim slučajevima kada je krov rađen od stakla pa dolazi do znatnog smanjenog opterećenja snijegom uslijed otapanja snijega zbog velikog gubitka topline. Oba koeficijenta određena su sukladno s EN 1991-1-3. Prema tome, opterećenje snijegom s biti će jednako:

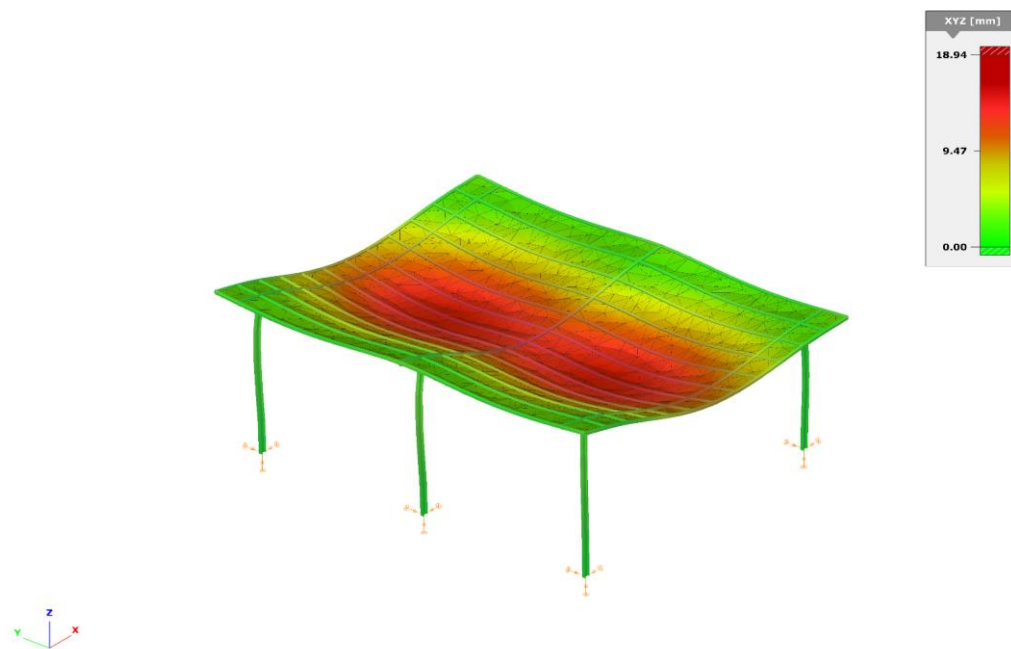
$$s = 0,8 * 1 * 1 * 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2 \quad (3.11)$$

Ovu vrijednost moguće je dobiti za potvrdu i preko ConSteel-a te prikazati. (slika 3.12).



Slika 3.12 Nadstrešnica opterećena snijegom

Potrebno je provesti i analizu i prikaz pomaka konstrukcije pri opterećenju snijegom (slika 3.13).



Slika 3.13 Pomaci nadstrešnice opterećene snijegom

Ponovo se najveći pomaci nalaze oko sredine konstrukcije a najveći pomak po svim koordinatnim osima iznosi 18,94 milimetra.

Provođenjem analize za ekstreman slučaj kada na nadstrešnicu u kombinaciji djeluju i vjetar i snijeg vidljivo je zapravo da pomaci ne samo da nisu veći, već su i znatno manji nego kod opterećenja samo vjetrom. Razlog za to je što vjetar i snijeg djeluju međusobno u suprotnim smjerovima na nadstrešnicu čime se djelomično i poništavaju opterećenja konstrukcije.

Tako je u slučaju kombiniranog opterećenja najveći pomak 19,88 mm što je znatno manje od pomaka uzrokovanog samo vjetrom koji iznosi 27.75 mm. Prema normi National Annex to BS EN 1990, Eurocode [12], za krovništa fleksibilnog materijala maksimalni dozvoljeni progib računa se prema omjeru $L/250$ gdje L duljina elementa. U ovom slučaju, duljina L jednaka je 7000 mm. Što bi prema formuli bilo : $7000/250 = 28$ mm. Najveći progib pojavljuje se pri opterećenju vjetrom, odražava se kao pomak po Z-osi i iznosi 25,39 mm te zadovoljava ovaj uvjet

4. TEORIJSKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE

Prethodno u radu su se pri analizi konstrukcije spominjali samo pomaci točaka pod raznim opterećenjima i prikazano je kako su ti pomaci zadovoljavajući, odnosno da je krutost konstrukcije po standardu no u elementima se također pojavljuju i naprezanja koja ne smiju biti veća od dopuštenih kako bi se zadržala stabilnost konstrukcije. Stoga, nakon što su definirana sva opterećenja koja djeluju na konstrukciju, slijedi proračun prema standardu EN 1993-1-1 . Ovim postupkom utvrđuje se jesu li odabrani poprečni presjeci dovoljno čvrsti da mogu podnijeti opterećenja koja djeluju na konstrukciju. Proračun se svodi na ispitivanje otpornosti poprečnog presjeka na različita opterećenja te se tako prema Eurokodu provode proračuni:

- tlačne otpornosti
- otpornosti na savijanje
- posmične otpornosti
- otpornosti s obzirom na interakciju momenata savijanja, smičnih i aksijalnih sila
- otpornosti na izvijanje

Pri konstruiranju je uvijek najjednostavnije promatrati ekstremne uvjete jer, ako nešto zadovoljava u ekstremnim uvjetima, zadovoljavati će i u preostalima. S time na umu, jednostavnosti radi, proračun će se vršiti samo na kritičnom presjeku u uvjetima najvećih naprezanja što je u ovom slučaju opterećenje vjetra. Kako bi se jednostavno saznao kritični presjek, ConSteel nudi opciju „Global checks“ pomoću koje se vrše razne provjere otpornosti presjeka a preko rezultata istih utvrđuje se zadovoljava li konstrukcija u pogledu otpornosti, te koji je i gdje se nalazi kritičan presjek.

4.1. Klasifikacija poprečnih presjeka prema EC3

Proračun presjeka ovisi o njegovoj klasi te su Eurokodom definirane četiri različite klase:

- Klasa 1 – plastični poprečni presjek
- Klasa 2 – kompaktni poprečni presjek
- Klasa 3 – polu- kompaktni poprečni presjek

- Klasa 4 – vitki poprečni presjek

Poprečni presjeci nadstrešnice spadaju u prvu klasu plastičnih poprečnih presjeka te se otpornosti istih računaju na temelju teorije plastičnosti.

4.2. Uvjeti otpornosti presjeka

Za tlačnu otpornost potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$N_{Sd} < N_{c,Rd} \quad (4.1)$$

Tlačna otpornost poprečnih presjeka određena je izrazima:

Za poprečne presjeke klase 1,2,3

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.2)$$

Za poprečne presjeke klase 4

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.3)$$

gdje je :

$N_{c,Rd}$ računska otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

A površina poprečnog presjeka

A_{eff} djelotvorna površina poprečnog presjeka

f_y granica popuštanja čelika

γ_{M0}, γ_{M1} parcijalni faktor sigurnosti

Za otpornost na savijanje potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$M_{Sd} < M_{c,Rd} \quad (4.4)$$

Otpornost poprečnih presjeka na savijanje određena je u izrazima:

- Za poprečne presjeke klase 1 i 2

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.5)$$

- Za poprečne presjeke klase 3

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W * f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.6)$$

- Za poprečne presjeke klase 4

$$M_{c,Rd} = M_{O,Rd} = \frac{W_{eff} * f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.7)$$

gdje je:

$M_{c,Rd}$ računski otpornost presjeka izloženog savijanju,

$M_{pl,Rd}$ plastična računski otpornost presjeka izloženog savijanju

$M_{el,Rd}$ elastična računski otpornost presjeka izloženog savijanju

$M_{O,Rd}$ elastična računski otpornost djelotvornog poprečnog presjeka izloženog savijanju

W_{pl} moment otpora poprečnog presjeka

W moment otpora poprečnog presjeka

W_{eff} moment otpora djelotvornog poprečnog presjeka f_y – granica popuštanja čelika

γ_{M0}, γ_{M1} parcijalni faktori sigurnosti

Za posmičnu otpornost potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:

$$V_{Sd} < V_{pl,Rd} \quad (4.8)$$

Otpornost na posmik računa se kao umnožak posmične granice popuštanja i djelotvorne posmične površine A_v .

Izraz za otpornost na posmik glasi :

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\gamma_{M0} \sqrt{3}} \quad (4.9)$$

gdje je :

$V_{pl,Rd}$ računski otpornost na posmik

A_v djelotvorna posmična površina poprečnog presjeka

f_y granica popuštanja čelika

γ_{MO} parcijalni faktor sigurnosti

Za provjeru interakcija momenata savijanja, aksijalnih i smičnih sila vrše se sljedeće provjere:

Provjera razine normalne sile:

$$N_{Sd} < 0,25 N_{Rd} \quad (4.10)$$

Provjera razine poprečne sile:

$$V_{Sd} < 0,5 V_{Rd} \quad (4.11)$$

Kao i uvjete momenata :

$$M_{Sd} < M_{Rd} \quad (4.12)$$

Konačno se interakcija računa prema i mora zadovoljavati:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \quad (4.13)$$

Otpornost elementa na izvijanje, stupa odnosno štapa izloženog djelovanju uzdužne tlačne sile funkcija je njegove vitkosti, granice popuštanja čelika, oblika poprečnog presjeka i načina proizvodnje profila.

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$N_{Sd} < N_{b,Rd} \quad (4.14)$$

Primjenjujući odredbe EC3, otpornost elementa na izvijanje $N_{b,Rd}$ dana je izrazom:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \beta_A A f_y}{\gamma_{MO}} \quad (4.15)$$

gdje je:

β_A jednak je 1 za poprečne presjeke klase 1,2 i 3

χ redukcijski faktor

A površina poprečnog presjeka

γ_{MO} parcijalni faktor sigurnosti

Kako bi se dobila vrijednost redukcijskog faktora χ prvo je potrebno odrediti vitkost štapa $\bar{\lambda}$ koja se za klase 1, 2 i 3 računa prema formuli:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (4.16)$$

gdje je:

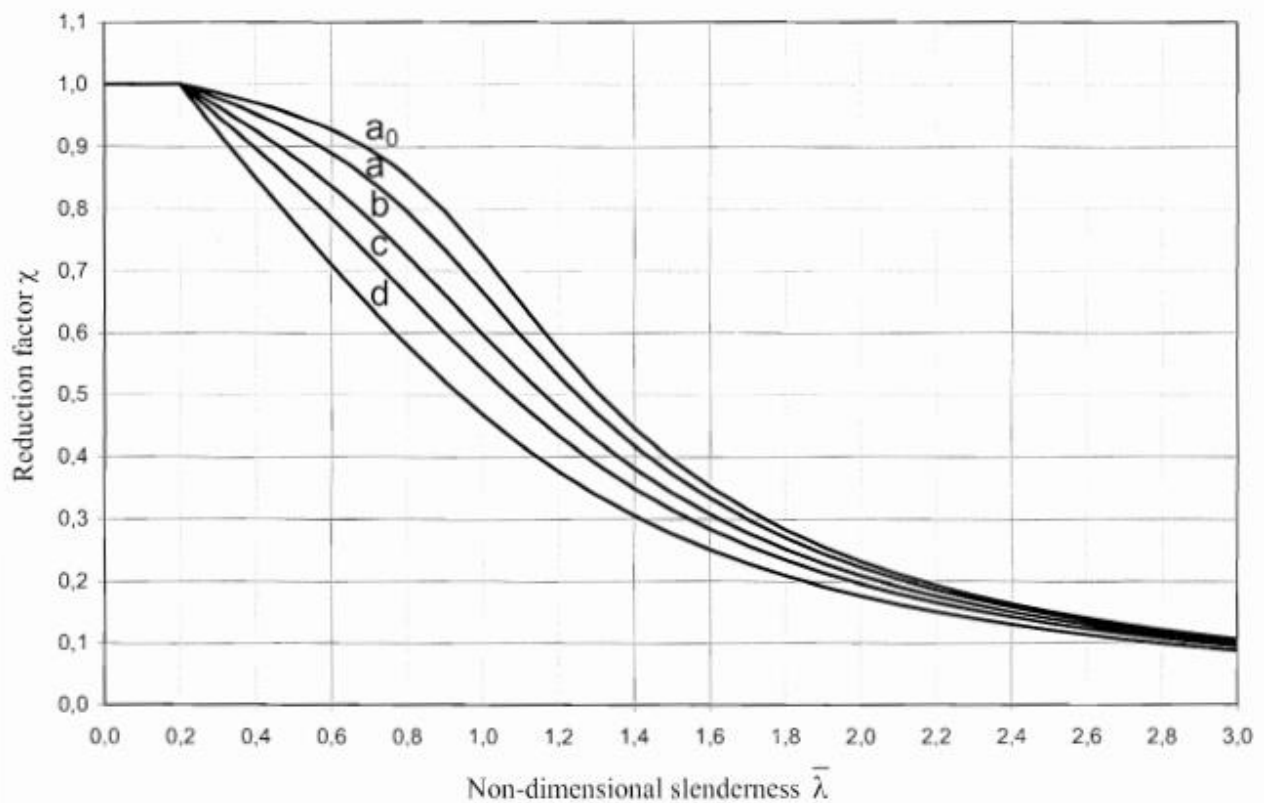
$\bar{\lambda}$ vitkost štapa

A površina poprečnog presjeka

f_y granica tečenja čelika

N_{cr} Eulerova kritična sila

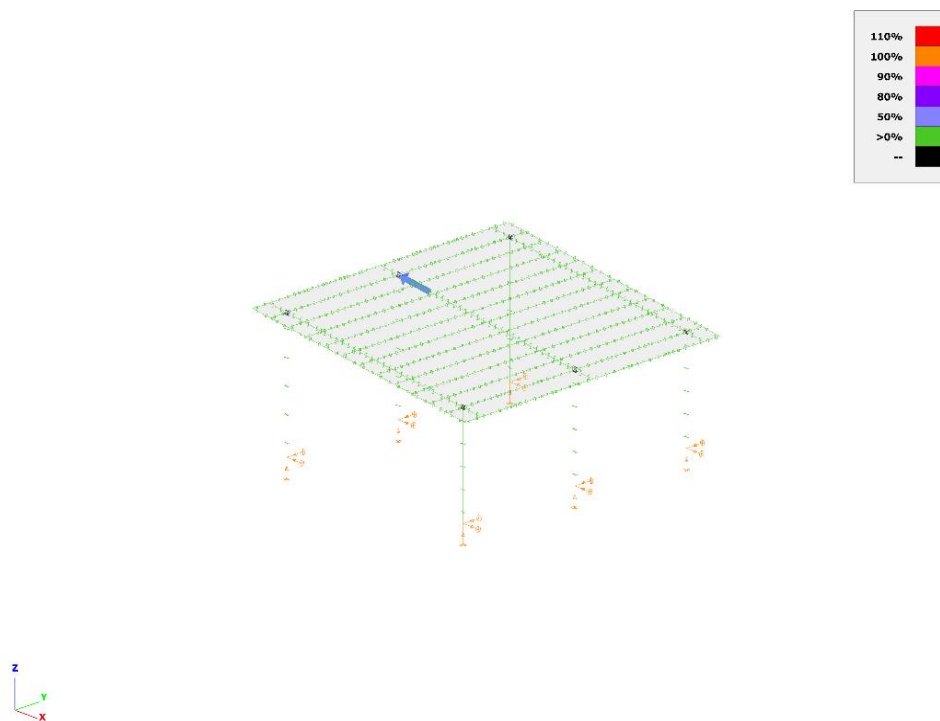
Nakon toga vrijednost redukcijskog faktora χ dobiva se iz priloženog dijagrama (slika 4.1).



Slika 4.1. Dijagram krivulja izvijanja u odnosu na redukcijski faktor i vitkost [13]

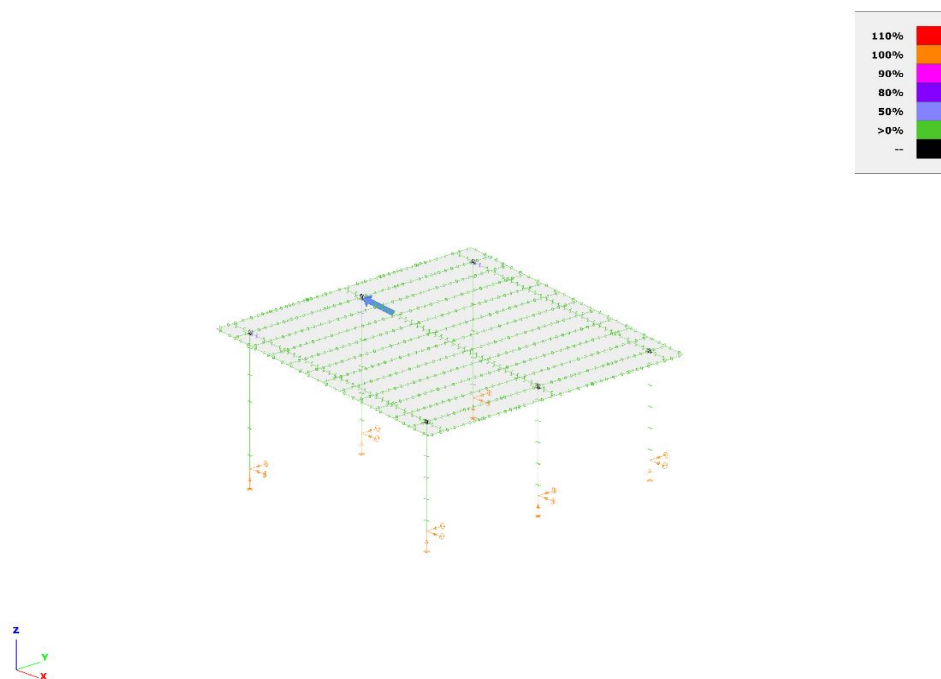
5. REZULTATI PRORAČUNA

Kritičan presjek pronalazi se pomoću već objašnjene „Global checks“ funkcije kojom će se raditi provjere otpornosti presjeka na sva opterećenja (slika 5.1) kao i otpornost presjeka s obzirom na interakciju sila i momenata (slika 5.2).



Bar	Element	Node	Load combination	Examination	Utilization [%]
B49	248	j	VJ	Plastic interaction resistance	56.5
B49	248	k	VJ	Plastic interaction resistance	54.0
B49	249	j	VJ	Plastic interaction resistance	54.0
B56	358	j	VJ	Plastic interaction resistance	50.0
B57	432	j	VJ	Plastic interaction resistance	50.0
B33	658	k	VJ	Plastic interaction resistance	49.5

Slika 5.1 Grafički prikaz provjere otpornosti presjeka na sva opterećenja



Bar	Element	Node	Load combination	Examination	Utilization [%]
B49	248	j	VJ	Conservative interaction resistance	56.9
B49	248	k	VJ	Conservative interaction resistance	54.4
B49	249	j	VJ	Conservative interaction resistance	54.4
B33	658	k	VJ	Conservative interaction resistance	53.3
B57	432	j	VJ	Conservative interaction resistance	50.4
B56	358	j	VJ	Conservative interaction resistance	50.4

Slika 5.2 Grafički prikaz provjere otpornosti presjeka s obzirom na interakciju sila i momenata

Presjek ne zadovoljava ukoliko je njegova iskorištenost (engl. Utilization) preko 100 %. Iz rezultata provedene provjere vidljivo je da se niti jedan presjek ne približava tome. Kritičan presjek je greda IPE 100 profila.

5.1. Proračun za IPE 100 presjeka

Tlačna otpornost:

$$N_{c,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A = 1032 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$N_{c,Rd} = \frac{1032 * 235}{1} = 242,52 \text{ kN}$$

$N_{Sd} = 0,381 \text{ kN}$ – dobiveno pomoću ConSteel-a

Presjek zadovoljava uvjet.

Otpornost na savijanje:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}}$$

os y-y:

$$W_{pl,y} = 39410 \text{ mm}^3$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$M_{y,Rd} = \frac{39410 * 235}{1} = 9,26 \text{ kNm}$$

$M_{y,Sd} = 5,56 \text{ kNm}$ – dobiveno pomoću ConSteel-a

Presjek zadovoljava uvjet.

OS Z-Z:

$$M_{z,Rd} = \frac{9146 * 235}{1} = 2,15 \text{ kNm}$$

$$W_{pl,z} = 9146 \text{ mm}^3$$

$M_{z,Sd} = 0 \text{ kNm}$ – dobiveno pomoću ConSteel-a

Presjek zadovoljava uvjet.

Posmična otpornost:

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

os y-y:

$$A_y = 627 \text{ mm}^2$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$V_{y,Rd} = 627 * \frac{235}{1\sqrt{3}} = 85,1 \text{ kN}$$

$V_{y,Sd} = 0,11 \text{ kN}$ – dobiveno pomoću ConSteel-a

Presjek zadovoljava uvjet.

os z-z:

$$A_z = 508 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = 508 * \frac{235}{1\sqrt{3}} = 68,92 \text{ kN}$$

$V_{z,Sd} = 5,74 \text{ kN}$ – dobiveno pomoću ConSteel-a

Presjek zadovoljava uvjet.

Interakcija momenta savijanja i aksijalnih i smičnih sila:

$$N_{Sd} < 0,25 N_{Rd}$$

$$N_{Sd} = 0,381 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 242,52 \text{ kN}$$

$$0,381 < 0,25 \times 242,52$$

$$0,381 < 60,63$$

Presjek zadovoljava uvjet.

$$V_{y,Sd} < 0,5 V_{y,Rd}$$

$$V_{y,Sd} = 0,11 \text{ kN}$$

$$V_{y,Rd} = 85,1 \text{ kN}$$

$$0,11 < 0,5 * 85,1$$

$$0,11 < 42,55$$

$$V_{z,Sd} < 0,5 V_{z,Rd}$$

$$V_{z,Sd} = 5,74 \text{ kN}$$

$$V_{z,Rd} = 68,92 \text{ kN}$$

$$5,74 < 0,5 \times 68,92$$

$$5,74 < 34,46$$

Presjek zadovoljava uvjet.

$$M_{Sd} < M_{Rd}$$

$$M_{y,Sd} = 5,56 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = 9,26 \text{ kNm}$$

$$5,56 < 9,26$$

$$M_{z,Sd} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = 2,15 \text{ kNm}$$

$$0 < 2,15$$

Presjek zadovoljava uvjet.

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$

$$\frac{0,381}{242,52} + \frac{5,57}{9,26} + \frac{0}{2,15} \leq 1$$
$$0,6 < 1$$

Presjek zadovoljava uvjet.

Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi * \beta_A * A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\beta_A = 1$$

$$\chi = 1$$

$$A = 1032 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{b,Rd} = \frac{1 * 1 * 1032 * 235}{1} = 242,52 \text{ kN}$$

$N_{Sd} = 0,381 \text{ kN}$ – dobiveno pomoću ConSteel-a

Presjek zadovoljava uvjet.

6. KALKULACIJA CIJENE NADSTREŠNICE

Za određivanje cijene nadstrešnice potrebno je uzeti u obzir troškove materijala, izrade, montaže te održavanja. Iznosi ovih troškova bit će aproksimirani na temelju informacija dobivenih od tvrtke Mick, ali će biti okvirni i mogu varirati ovisno o specifičnim zahtjevima projekta s obzirom da detaljan plan izrade i montaže nije razrađen.

Kako bi se odredili troškovi materijala korisna je činjenica da ConSteel sprema informacije o svakom postavljenom elementu i moguće ih je ispisati u tablici te uključuju masu, površinu i duljinu svih korištenih profila i ploča (tablica 6.1).

Tablica 6.1. Informacije o korištenom materijalu u sastavu nadstrešnice

Oznaka elementa	Masa [kg]	Površina [m ²]	Duljina [m]
IPE 80	72	3,97	12,08
IPE 100	175	8,68	21,64
SHS 50x2	296	19,56	101,22
S220GD+Z	325	41,43	-

Prema dobivenoj ponudi, cijena IPE 80 profila duljine 12,1 metar iznosi 79,3 eura, IPE 100 profila duljine 12,1 metara iznosi 105 eura, a cijena SHS 50x2 kvadratnih cijevi iznosi 7,75 eura/m.

Cijena jedne ploče dimenzija 2x1 metar iznosi 35,7 eura.

Prema tome, ukupna cijena materijala po elementima prikazana je u tablici (tablica 6.2.).

Tablica 6.2. Cijena materijala

Profil	Duljina [m]	Cijena [€]	Količina	Ukupna cijena [€]
IPE 80	6	39,43	2	78,86
IPE 100	6	53	4	212
SHS 50x2	7,5	51,92	15	778,8
Ploča	Dimenzije [m]	Cijena [€]	Količina	Ukupna cijena [€]
S220GD+Z	2x1	35,7	21	749,7

Prema tome, ukupna cijena materijala iznosi 1819,36 €.

Sa cijenom ukupnosti poslova izrade što uključuje i rezanje profila, te montažu, cijena nadstrešnice je procijenjena na 2850 €. Profili su izrađeni od konstrukcijskog čelika S235JR te su već pocinčani zbog čega dodatno održavanje nije potrebno.

7. ZAKLJUČAK

U ovom radu opisan je postupak dimenzioniranja i konstruiranja čelične nadstrešnice za parking osobnih automobila. U tu svrhu korišten je program ConSteel 14 u kojem je modelirana konstrukcija i provedena analiza konstrukcije pod raznim definiranim opterećenjima koji uključuju opterećenje pod vlastitom težinom konstrukcije, opterećenje snijegom, vjetrom te njihovo simultano djelovanje. ConSteel za svoju analizu koristi metodu konačnih elemenata koja se temelji na diskretizaciji područja na određen broj konačnih elemenata koji čine mrežu konačnih elemenata međusobno povezanih čvorovima.

Odabrana dimenzija nadstrešnice je 6x5 metara sa stupovima visine 2,9 m i 2,3 m stvarajući nagib kako ne bi dolazilo do nakupljanja padalina. Sam oblik određen je na temelju prethodnih izvedbi a zbog svojih dimenzija nadstrešnica je prikladna za postavljanje iznad dva parkirna mjesta. Za stupove i grede korišteni su IPE 100 i IPE 80 profili kao i SHS 50x2 kvadratne cijevi rađeni od konstrukcijskog čelika S235. Za pokrov je odabrana ploča debljine 1 mm izrađena od pocinčanog konstrukcijskog čelika S200GD.

Meteorološka opterećenja definirana su u skladu s Eurokod 1 normama te uključuju utjecaje vjetra i snijega za koje su parametri uzeti za područje grada Rijeke. Analiza utjecaja vjetra rađena je u više slučajeva ovisno o smjeru puhanja vjetra te se pokazalo da je najveće naprezanje uslijed puhanja vjetra prema bočnoj strani nadstrešnice. Naprezanja u tom slučaju su i generalno najveća s obzirom da utjecaji vjetra i snijega djeluju u suprotnim smjerovima pa se djelomično poništavaju.

Provedena je i ručna provjera kritičnog poprečnog presjeka kod slučaja najvećeg naprezanja sukladno s Eurokod 3 normama koji je također određen preko ConSteel-ove funkcije *Global checks*. Provjera se provela na temelju tlačne i smične otpornosti, otpornosti na savijanje i izvijanje te otpornost presjeka s obzirom na interakciju momenta savijanja i aksijalnih i smičnih sila. Rezultati provjere su pokazali kako i kritični presjek zadovoljava te je u skladu s Eurokod 3 normama.

Zaključno je i izračunata cijena nadstrešnice prema dobivenoj ponudi koja uključuje okvirne troškove montaže, materijala, izrade i održavanja. Ukupna cijena nadstrešnice procijenjena je na 2850 € te odražava aktualne cijene na tržištu.

LITERATURA

- [1] Brnić, J.; Turkalj, G.: “Nauka o čvrstoći II“, Zigo, Rijeka, 2006. [1]
- [2] Meštrović M.: „Metoda konačnih elemenata“, s interneta, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/fem.pdf, 5. ožujka 2023.
- [3] ConSteelsoftware.: „ConSteel 13User Manual“, s interneta, https://consteelsoftware.com/wp-content/uploads/2020/05/ConSteel_13_User_Manual.pdf, 5. ožujka 2023.
- [4] British Standards Institution: „What are Eurocodes?“, s Interneta, <https://www.bsigroup.com/en-GB/our-services/standards-subscription-services/eurocodes-plus/what-are-eurocodes/>, 5. ožujka 2023.
- [5] Ministarstvo graditeljstva i prostornoga uređenja.: „Tehnički propis za građevinske konstrukcije“, s Interneta, https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/full/2017_02_17_403.html, 5. ožujka 2023.
- [6] Eurocode „Eurocode - Basis of structural design“, s Interneta, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>, 5. ožujka 2023.
- [7] EurocodeApplied.: „EN1993: Design of steel structures“, s Interneta, <https://eurocodeapplied.com/design/en1993>, 5. ožujka 2023.
- [8] Eurocode.: „Actions on structures - Part 1-4: General actions -Wind actions“, s Interneta, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.4.2005.pdf> 5. ožujka 2023.
- [9] Hrvatski zavod za norme (HZN).: „Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra“, s Interneta, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.4.2005.pdf>, 5. ožujka 2023.
- [10] Eurocode.: „Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-3: General actions - Snow loads“, s Interneta, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1991.1.3.2003.pdf>, 5. ožujka 2023.

[11] Hrvatski zavod za norme (HZN): „Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije -- Dio 1-3: Opća djelovanja -- Opterećenja snijegom -- Nacionalni dodatak“, s Interneta, <https://repozitorij.hzn.hr/norm/HRN+EN+1991-1-3%3A2012%2FNA%3A2012>, 5. ožujka 2023.

[12] Eurocode.: „Draft BS EN 1990 National Annex to BS EN 1990: Basis of Structural design“, s Interneta, <https://www.newsteelconstruction.com/wp/eurocode-design-factors-and-limits/>, 5. ožujka 2023.

[13] Eurocode.: „: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings“, s Interneta, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1993.1.1.2005.pdf>, 5. ožujka 2023.

SAŽETAK

Ovaj rad ima za cilj opisati postupak konstrukcije i analize nadstrešnice za parkiranje dva osobna automobila. U skladu s normama Eurokod 1, definirana su opterećenja vjetra i snijega, a analiza je provedena u programu ConSteel 14 primjenom metode konačnih elemenata. Na temelju rezultata analize, određen je kritični presjek u slučaju najvećih naprezanja koja se u ovom slučaju javljaju uslijed puhanja vjetra s boka. Kritični presjek zatim je dodatno provjeren ručno prema Eurokod 3 normama kako bi se potvrdilo da nije preopterećen. Završno je napravljena i kalkulacija troškova koji uključuju materijal, izradu, montažu i održavanje.

Ključne riječi: ConSteel 14, konstruiranje, čelična nadstrešnica, metoda konačnih elemenata, meteorološka opterećenja, Eurokodovi, analiza naprezanja.

SUMMARY

This paper aims to describe the process of constructing and analyzing a car canopy for parking two cars. In accordance with Eurocode 1 standards, wind and snow loads were defined, and the analysis was conducted using the ConSteel 14 software with the finite element method. Based on the results of the analysis, the critical section was determined in the case of the highest stresses, which occur in this case due to wind blowing from the side. The critical section was then further checked manually according to Eurocode 3 standards to confirm that it is not overloaded. Finally, a cost calculation was made, which includes material, manufacturing, assembly, and maintenance.

Keywords: ConSteel 14, construction, steel canopy, finite element method, meteorological loads, Eurocodes, stress analysis.