

Konstrukcija nadstrešnice gradske tržnice

Rogović, Dan

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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:190:669809>

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
Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

KONSTRUKCIJA NADSTREŠNICE GRADSKE TRŽNICE

Rijeka, srpanj 2022.

Dan Rogović

0035216311

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

KONSTRUKCIJA NADSREŠNICE GRADSKE TRŽNICE

Mentor: Prof. dr. sc. Domagoj Lanc

Rijeka, srpanj 2022.

Dan Rogović

0035216311

SVEUČILIŠTE U RIJECI
TEHNIČKI FAKULTET
POVJERENSTVO ZA ZAVRŠNE ISPITE

Rijeka, 8. ožujka 2022.

Zavod: **Zavod za tehničku mehaniku**
Predmet: **Računarska analiza konstrukcija**
Grana: **2.11.01 opće strojarstvo (konstrukcije)**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Dan Rogović (0035216311)**
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

Zadatak: **Konstrukcija nadstrešnice gradske tržnice / Design of city market eave**

Opis zadatka:

Potrebno je konstruirati polu otvorenu nadstrešnicu gradske tržnice. Osnovnu nosivu konstrukciju modelirati primjenom grednih elemenata. Proračun provesti u skladu s EUROCODE normama. Rad treba sadržavati i kalkulaciju cijene nadstrešnice u smislu troškova materijala, izrade, montaže i budućeg održavanja.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih/završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.



Zadatak uručen pristupniku: 21. ožujka 2022.

Mentor:



Prof. dr. sc. Domagoj Lanc

Predsjednik povjerenstva za
završni ispit:



Prof. dr. sc. Kristian Lenić

IZJAVA

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno. Tijekom pisanja i izrade rada koristio sam navedenu literaturu i savjete prof. dr. sc. Domagoja Lanca. Korištene tuđe formule, teorije i zaključke naveo sam u literaturi prema Uputama o pisanju završnog rada dostupnih na web stranici Fakulteta.

Rijeka, srpanj 2022.

Student: Dan Rogović

JMBAG: 0035216311



ZAHVALE

Najprije bih zahvalio svojoj obitelji, mami i bratu na njihovom odricanju kako bi sve ovo bilo moguće, razumijevanju i podršci koju su mi pružali tijekom studiranja.

Također, zahvalio bih i svom mentoru, prof.dr.sc Domagoju Lancu na susretljivosti, objašnjenjima, konzultacijama i pomoći tijekom izrade završnog rada.

U konačnici, zahvalio bih Consteel-u na licenci koju su mi omogućili i bez koje ovaj rad ne bi bio moguć.

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Metoda konačnih elemenata	1
1.2. Eurokodovi.....	3
2. KONSTRUKCIJA NADSTREŠNICE	5
2.1. Dimenzije i oblik nadstrešnice kosog krova	5
2.2. Dimenzije i oblik nadstrešnice zaobljenog krova	7
2.3. Definiranje materijala i poprečnih presjeka kosog krova	8
2.4. Definiranje materijala i poprečnih presjeka zaobljenog krova	9
3. DEFINIRANJE OPTEREĆENJA I POSTAVLJANJE OSLOKACA NADSTREŠNICE	11
3.1. Slučaj opterećenja nadstrešnice vjetrom.....	11
3.1.1. Opterećenje vjetrom konstrukcije sa kosim krovom.....	15
3.1.2. Opterećenje vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom	17
3.2. Slučaj opterećenja nadstrešnice snijegom.....	18
3.2.1. Slučaj opterećenja snijegom konstrukcije sa kosim krovom	19
3.2.2. Slučaj opterećenja snijegom konstrukcije sa zakrivljenim krovom	21
4. TEORIJSKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE	22
4.1. Klasifikacija poprečnih presjeka prema EN 1993-1-1	22
4.2. Tlačna otpornost	23
4.3. Otpornost na savijanje	23
4.4. Posmična otpornost	24
4.5. Interakcija momenata savijanja i aksijalnih smičnih sila	24
4.6. Otpornost na izvijanje.....	25
5. ANALIZA PROVJERE PRORAČUNA	26
5.1. Globalna provjera nadstrešnice sa kosim krovom	26
5.2. Globalna provjera nadstrešnice sa zakrivljenim krovom.....	27
5.3. Provjera proračuna za IPE 300 presjek nadstrešnice sa kosim krovom.....	29
5.3.1. Tlačna otpornost.....	29
5.3.2. Otpornost na savijanje.....	29
5.3.3. Posmična otpornost	30
5.3.4. Interakcija momenta savijanja i aksijalnih smičnih sila nadstrešnice sa kosim krovom	31
5.3.5. Otpornost na izvijanje	32
5.4. Provjera proračuna za IPE 330 presjek nadstrešnice sa zakrivljenim krovom	33

5.4.1.	Tlačna otpornost.....	33
5.4.2.	Otpornost na savijanje.....	33
5.4.3.	Posmična otpornost.....	34
5.4.4.	Interakcija momenta savijanja i aksijalnih sila i smičnih sila.....	35
5.4.5.	Otpornost na izvijanje.....	36
6.	IZRADA CJENIKA.....	37
6.1	Izrada cjenika nadstrešnice sa kosim krovom.....	37
6.2	Izrada cjenika nadstrešnice sa zakrivljenim krovom.....	38
7.	ZAKLJUČAK.....	39
8.	LITERATURA.....	40
	SAŽETAK.....	41
	SUMMARY.....	41
	POPIS SLIKA.....	42
	POPIS TABLICA.....	43

1. UVOD

Nadstrešnica je pojam za konstrukciju koja natkriva određenu površinu. Njena primarna funkcija je da zaštiti protok vode u područje iznad kojega se nalazi. Izvedba nadstrešnice ovisi o funkciji u kojoj će se upotrebljavati. U fokusu ovog rada svrha nadstrešnice je da osigura posjetitelje tržnice od vremenskih nepogoda te da im omogući zaštitu od sunca tijekom ljetnih dana.

Cilj ovog rada je konstrukcija i proračun gradske tržnice kao i izrada cjenika za dva različita rješenja. Oba rješenja predstavljenih nadstrešnica prikazuju unapređenje za razliku od trenutne konstrukcije koja se nalazi i to po pitanju estetike i funkcionalnosti. Analiza konstrukcije temelji se na metodi konačnih elemenata. Parametri koji se koriste za analizu u uvjetima kada je konstrukcija opterećena snijegom i/ili vjetrom, biti će odabrani za regiju grada Bjelovara u Bjelovarsko-bilogorskoj županiji.

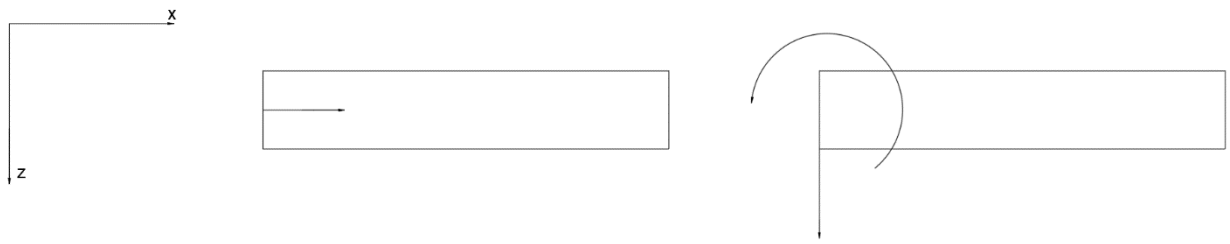
Numerička analiza, kao i dimenzioniranje, biti će izvršeno pomoću programa Consteel 15.

Program je specijaliziran za analizu i projektiranje čeličnih i kompozitnih konstrukcija te mu je glavna značajka automatska provjera proračuna cijele konstrukcije prema odabranoj normi. Sav proračun biti će proveden u skladu s EUROCODE normama.

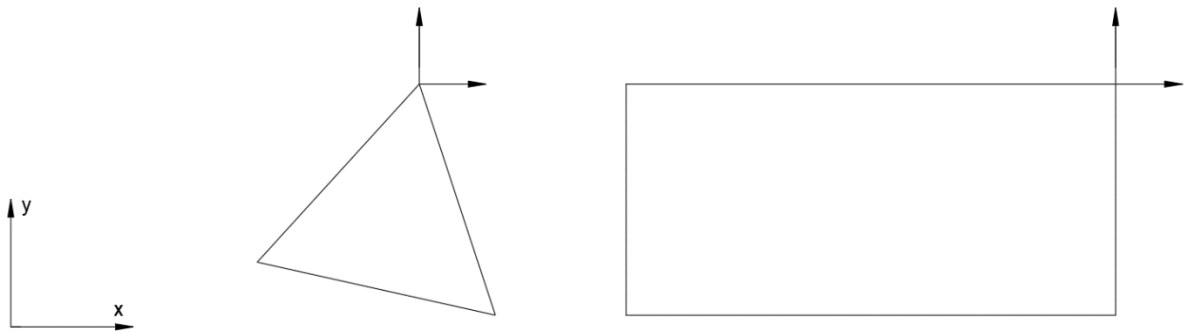
1.1. Metoda konačnih elemenata

Metoda konačnih elemenata se temelji na diskretizaciji kontinuuma (konstrukcije) na odgovarajući broj podkontinuuma ili konačnih elemenata [1]. Konačni elementi međusobno su povezani pomoću jednog ili više čvorova u mrežu konačnih elemenata [1]. Metodu konačnih elemenata dijelimo na [2]:

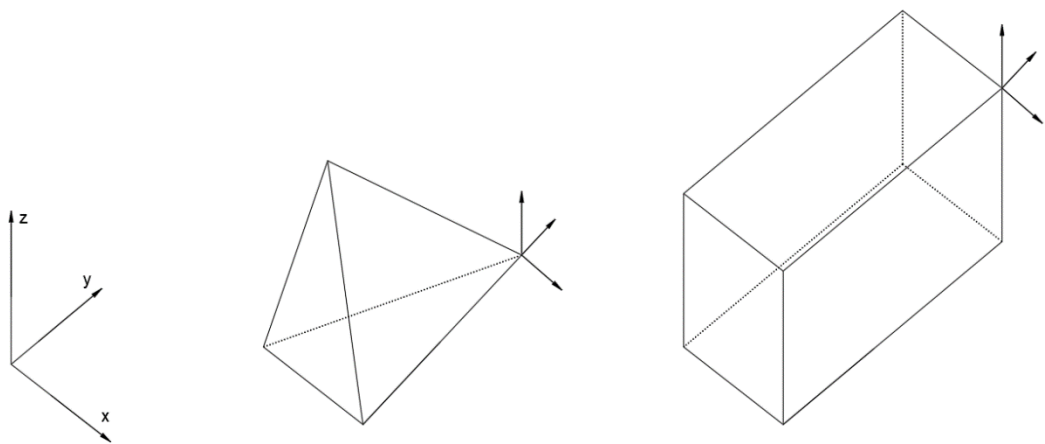
- Jednodimenzijski konačni elementi (slika 1.1)
- Dvodimenzijski konačni elementi (slika 1.2)
- Trodimenzijski konačni elementi (slika 1.3)
- Osnosimetrični konačni elementi
- Konačni elementi za rješavanje problema savijanja ploča
- Konačni elementi za analizu ljuskastih konstrukcija



Slika 1. 1 Jednodimenzijski konačni elementi



Slika 1. 2 Dvodimenzijski konačni elementi



Slika 1. 3 Trodimenzijski konačni elementi

Konačni elementi međusobno su povezani u točkama na konturi koje se nazivaju čvorovi. Stanje u svakom elementu, kao što je npr. polje pomaka, deformacije, naprezanja, temperature te ostalih veličina u problemu polja, opisuje se pomoću interpolacijskih funkcija. Te funkcije moraju zadovoljiti odgovarajuće uvjete da bi se diskretizirani model što više približio ponašanju kontinuiranog sustava. Uz pravilnu formulaciju konačnih elemenata, približavanje točnome elementu raste s povećanjem broja elemenata [2].

Svaki konačni element opisan je osnovnom jednačbom:

$$[k^e]\{u^e\} = \{f^e\} \quad (1.1)$$

Gdje je:

$[k^e]$ – matrica krutosti e-tog konačnog elementa

$\{u^e\}$ – vektor čvornih pomaka e-tog konačnog elementa

$\{f^e\}$ – vektor čvornih sila e-tog konačnog elementa

Združivanjem osnovnih jednačbi svih konačnih elemenata diskretizirane konstrukcije dobiva se jednačba konstrukcije [1] :

$$[K]\{U\} = \{F\} \quad (1.2)$$

Gdje je:

$[K]$ – matrica krutosti konstrukcije

$\{U\}$ – vektor čvornih pomaka konstrukcije

$\{F\}$ – matrica krutosti konstrukcije

1.2. Eurokodovi

Eurokodovi uključuju deset standarda koji određuju kako se projektiranje konstrukcije treba provoditi unutar Europske unije. Svrha eurokoda je da pruža: [3]

- Sredstvo za dokazivanje usklađenosti sa zahtjevima za mehaničku čvrstoću i stabilnost te sigurnost u slučaju požara utvrđenim pravom Europske unije
- Temelj za specifikacije ugovora o izgradnji i inženjeringu
- Okvir za stvaranje usklađenih tehničkih specifikacija za građevinske proizvode

Područja su definirana kao:

EN 1990, Eurokod: Osnove projektiranja konstrukcija

EN 1991, Eurokod 1: Djelovanja na konstrukcije

EN 1992, Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija

EN 1993, Eurokod 3: projektiranje čeličnih konstrukcija

EN 1994, Eurokod 4: projektiranje spregnutih čelično-betonskih konstrukcija

EN 1995, Eurokod 5: projektiranje drvenih konstrukcija

EN 1996, Eurokod 6: projektiranje zidnih konstrukcija

EN 1997, Eurokod 7: Geotehničko projektiranje

EN 1998, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcije

EN 1999, Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija

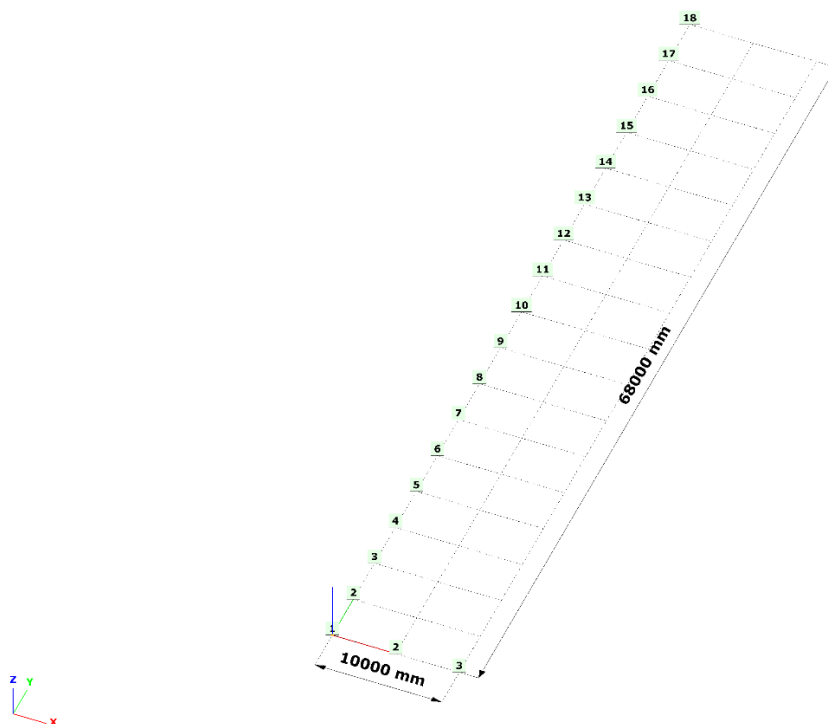
U ovom radu koristit će se EN 1991-1-3 i EN 1994-1-4 koje govore o opterećenju konstrukcije snijegom i vjetrom te EN 1993-1-1 norme za definiranje poprečnih presjeka

2. KONSTRUKCIJA NADSTREŠNICE

U ovom su poglavlju opisane dimenzije i oblik nadstrešnice kosog krova, definiranje materijala i poprečnih presjeka kosog krova, dimenzije i oblik nadstrešnice zaobljenog krova, Definiranje materijala i poprečnih presjeka kosog krova te definiranje materijala i poprečnih presjeka zaobljenog krova.

2.1. Dimenzije i oblik nadstrešnice kosog krova

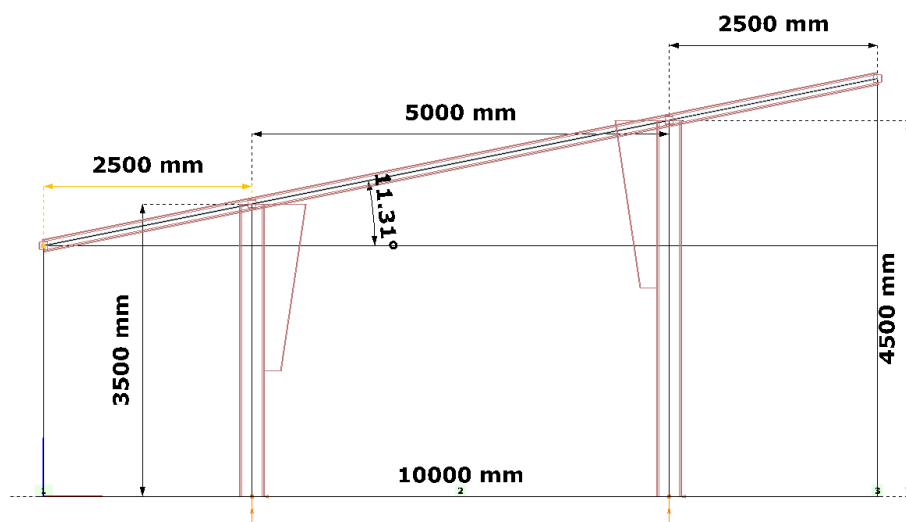
U programu Consteel na početku se postavlja mrežno polje u kojemu će se nalaziti željena konstrukcija. Kako je već napomenuto, u ovom radu bit će obrađene dvije različite konstrukcije. Iako su konstrukcije različitog oblika, njihovo polje je jednako te su dimenzije navedenog polja 10 x 68 metara (Slika 2.1).



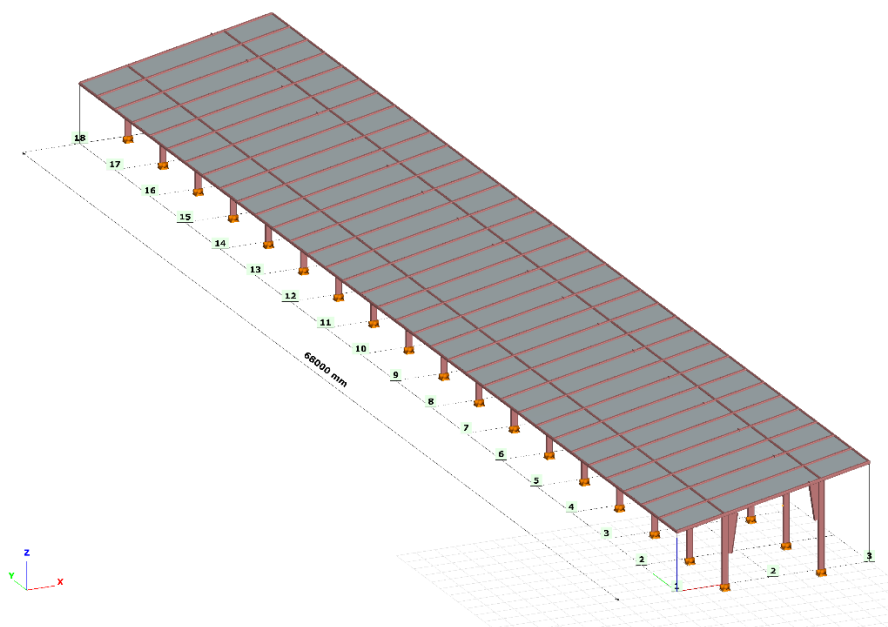
Slika 2. 1 prikaz dimenzija parcele

U prvoj izvedbi odabran je jednostavniji oblik nadstrešnice. Sastoji se od trideset i šest konzolna nosača te svaki nosač sastoji se od stupa i grede. Stupovi su promjenjive visine odnosno, osamnaest stupova ima visine 3,5 metara, odnosno 4,5 metara. Kako ne bi došlo do zadržavanja padalina na krovu nadstrešnice preporuča se minimalni nagib od 5 stupnjeva. U slučaju ove

izvedbe radi se o kutu koji je nešto veći od 11 stupnjeva. (slika 2.2). Konstrukcija ovog slučaja također sadrži i ojačanje kako bi se smanjila naprezanja na gredama i povećala efikasnost konstrukcije. Ojačanja su definirana pomoću funkcije *Vuta*. Nosači su međusobno spojeni poprečnim gredama, prostor između njih ispunjen je pločama, čime dobivamo gotovu nadstrešnicu (slika 2.3).



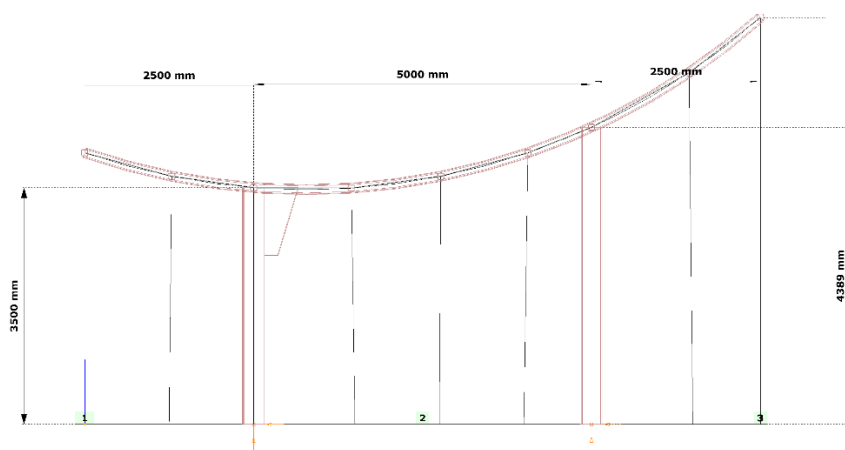
Slika 2. 2 Dimenzije nadstrešnice u nacrtu



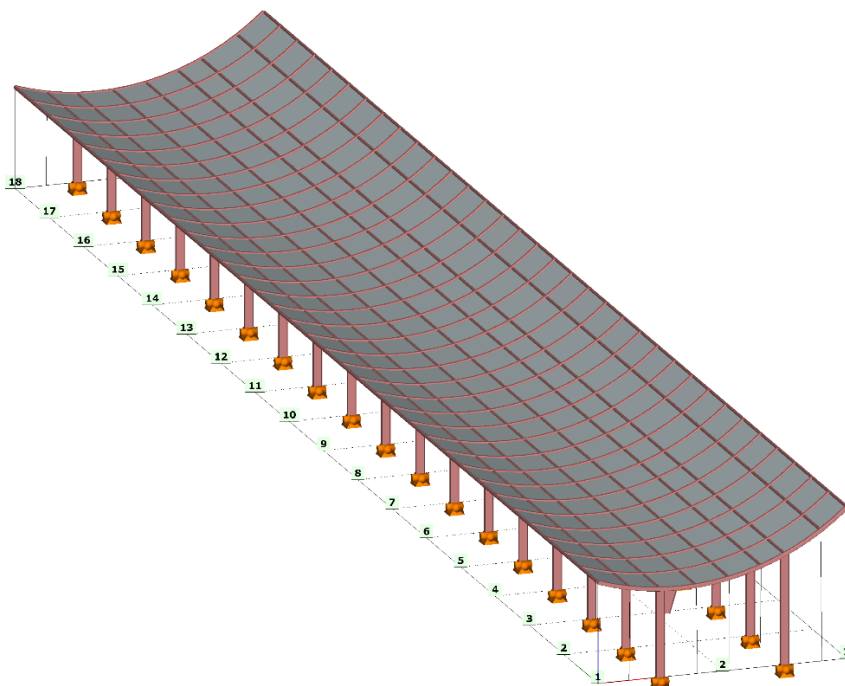
Slika 2. 3 Pregled cijelog modela

2.2. Dimenzije i oblik nadstrešnice zaobljenog krova

Kako je prethodno već napomenuto radi se o istoj mreži dimenzija samo što je sami oblik nadstrešnice drugačiji. Isto tako, i ova izvedba sastoji se od 36 konzolna nosača na kojima se nalaze stupovi i grede. Stupovi u također u dvije različite izvedbe te se u ovom slučaju radi o izvedbama sa 3,5 odnosno 4,4 metara. Zbog nagiba ovog modela zamišljeno je nakupljanje vode na najnižoj točki krova gdje je zamišljen sustav za odvod vode (slika 2.4). Isto tako i ovaj model ima ojačanje radi smanjena naprezanja na gredama. Prostor između greda i nosača je popunjen pločama te se time dobiva cjelokupni model nadstrešnice (slika 2.5).



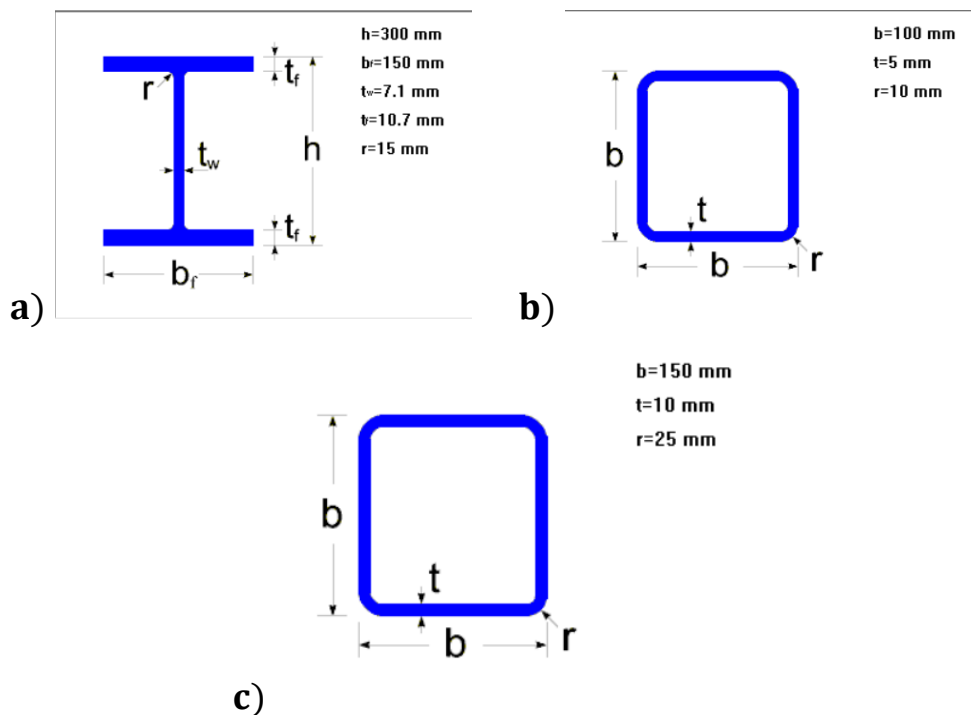
Slika 2. 4 Dimenzije nadstrešnice zakrivljenog krova u nacrtu



Slika 2. 5 Pregled cijele nadstrešnice sa zakrivljenim krovom

2.3. Definiranje materijala i poprečnih presjeka kosog krova

Za stupove kose nadstrešnice odabran je I profil sa oznakom IPE 300 (slika 2.6a). Za gredne elemente odabran je kvadratni cjevasti profil SHS 100x5 (slika 2.6b) dok je za poprečne grede odabran kvadratni cjevasti profil SHS 150x10 (slika 2.6c). Kao materijal stupova i greda odabran je konstrukcijski čelik S235JR. Karakteristike profila dimenzionirane su prema EUROCODU [3] te su njihove karakteristike dane tablično (tablica 2.1)



Slika 2. 6 Poprečni presjek grednih elemenata: a) IPE 300; b) SHS 100x5 i c) SHS 150x10

Tablica 2. 1 Tablični prikaz karakteristika profila grednih elemenata kose nadstrešnice

Profil	Površina $A[mm^2]$	Moment	Moment	Plastični	Plastični
		tromosti po osi y $I_y [mm^4]$	tromosti po osi z $I_z [mm^4]$	moment otpora po osi y $W_{pl,y} [mm^3]$	moment otpora po osi z $W_{pl,z} [mm^3]$
IPE 300	5381	83 535 342	6 018 750	628 356	124 596
SHS 100x5	1834	2 700 928	2 700 928	64 468	64 468
SHS 150x10	5249	16 400 748	16 400 748	268 122	268 122

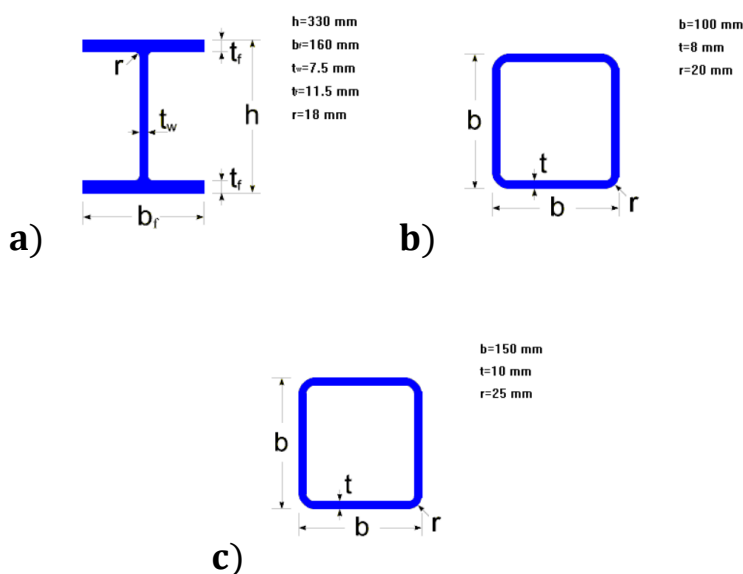
Za krovne ploče odabrana je Gutttaglis polikarbonat 16mm LEXAN Dual 2UV ZEBRA, koja ima dvije strane odnosno, zatamnjenu i prozirnu stranu. Ova mogućnost veoma je pogodna za nadstrešnicu tržnice jer tijekom zime može propuštati zrake svjetlosti i stvoriti ugodnu temperaturu za posjetitelje dok tokom ljeta može stvoriti hlad. Svojstva polikarbonata ručno su definirana (slika 2.7) prema značajkama materijal dobivena sa stranice dobavljača ploče [4].

Naziv		
Gustoća	ρ [kg/m ³]	1200
Modul elastičnosti	E [N/mm ²]	2500
Poissonov koeficijent	ν	0.36
Linearni koeficijent toplinskog istezanja	α [1/°C]	0.000065
Koeficijent toplinske ekspanzije u požarnoj situaciji	α_{fi} [1/°C]	0.000014
Fyb	f_{yb} [N/mm ²]	63
Fu	f_u [N/mm ²]	67
Debljina premaza	t_{coat} [mm]	0.02

Slika 2. 7 Karakteristike polikarbonata

2.4. Definiranje materijala i poprečnih presjeka zaobljenog krova

Za stupove nadstrešnice sa zaobljenim krovom odabran je profil IPE 330 (slika 2.8a) dok je za grede odabran kvadratni cjevasti profil SHS 100x8 (slika 2.8b) a, za poprečne grede odabran je kvadratni cjevasti profil SHS 150x10 (slika 2.8c). Također kao i za nadstrešnicu sa kosim krovom odabran je konstrukcijski čelik S235JR. Kao i u prethodnom slučaju karakteristike profila dimenzionirane su prema EUROCODE [3] standardima te su njihove karakteristike dane tablično (tablica 2.2)



Slika 2. 8 Poprečni presjek grednih elemenata: a) IPE 330; b) SHS 100x8 i c) SHS 150x10

Tablica 2. 2 Tablični prikaz karakteristika profila grednih elemenata zakrivljenje nadstrešnice

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 330	6261	117 638 913	7 850 667	804 331	152 640
SHS 100x8	2719	3 620 305	3 620 305	90 567	90 567
SHS 150x10	5249	16 400 748	16 400 748	268 122	268 122

Za krovne ploče također je odabran Guttaglis polikarbonat 16mm LEXAN Dual 2UV ZEBRA.

3. DEFINIRANJE OPTEREĆENJA I POSTAVLJANJE OSLOKACA NADSTREŠNICE

Osim vlastite mase potrebno je definirati utjecaj vjetra i snijega u ekstremnim uvjetima. Parametri i koeficijenti koji su potrebni za definiranje pojedinih opterećenja nalaze se u sklopu Consteel programa. Svi proračuni vrše se prema EN 1991 normi [5,6], a oslonci su definirani kao uklještenja.

3.1. Slučaj opterećenja nadstrešnice vjetrom

Opterećenje konstrukcije uzrokovano vjetrom računa se prema EN 1991 – 1 – 4 normi [5]. Podaci opterećenja automatski su generirani u programu nakon unošenja regije o kojoj se radi. U ovom slučaju podaci za opterećenje konstrukcije vjetrom uzimaju se za Bjelovar. Situacije koje će se obrađivati u nastavku vrijede za ekstremne slučajeve opterećenja konstrukcije vjetrom te će se detaljno obraditi u nastavku.

Opterećenje vjetra računa se prema slijedećoj formuli:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (3.1)$$

Gdje je:

$q_p(z_e)$ – maksimalna brzina tlaka

z_e – referentna visina za vanjski tlak

c_{pe} – koeficijent tlaka za vanjski tlak

Maksimalna brzina tlaka pri nekoj visini z određuje se:

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

Gdje je:

$q_p(z_e)$ – maksimalna brzina tlaka

$l_v(z)$ – intenzitet turbulencije

ρ – gustoća zraka ($1,25 \text{ kg/m}^3$)

$v_m(z)$ – srednja brzina vjetra

Srednja brzina vjetra na visini z iznad terena ovisi o hrapavosti terena i vertikalnoj razvedenosti i osnovnoj brzini vjetra [10] i određuje se prema:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad (3.3)$$

Gdje je:

$v_m(z)$ – srednja brzina vjetra

$c_r(z)$ – Faktor hrapavosti

$c_o(z)$ – faktor vertikalne razvedenosti , za vrijednost faktora uzima se 1,0 pošto je vertikalna razvedenost obuhvaćena osnovnom brzinom

v_b – osnovna brzina vjetra

Faktor hrapavosti $c_r(z)$, obuhvaća promjenjivost srednje brzine vjetra na mjestu konstrukcije [10]. Razlog tomu je visina iznad tla i hrapavost terena uz vjetar prije konstrukcije gledano u smjeru vjetra koji se razmatra, a računa se:

$$c_r(z) = k_r \ln\left(\frac{z}{z_o}\right) \quad \text{za} \quad z_{\min} < z < z_{\max} \quad (3.4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z < z_{\min} \quad (3.5)$$

Gdje je:

z_o – duljina hrapavosti

k_r – faktor terena ovisan o duljini hrapavosti

Faktor terena računa se prema:

$$k_r = 0,19 \left(\frac{z_o}{z_{o,IV}}\right)^{0,07} \quad (3.6)$$

Gdje je:

$z_{o,IV}$ – visina prema kategoriji terena iz slike 3.1.1

z_{\min} – najmanja visina iz slike 3.1.1

z_{\max} – maksimalna visina koja iznosi 200m

z_o i z_{\min} – ovise o kategoriji terena. Preporučene vrijednosti nalaze se na slici 3.1

Kategorija terena		z_o [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 pokrivene zgradama čija prosječna visina premašuje 15 m	1,0	10

NAPOMENA: Kategorije terena prikazane su na slikama u točki A.1.

Slika 3. 1 Tablica kategorije terena i parametra terena

Osnovna brzina vjetra v_b , računa se izrazom:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (3.7)$$

Gdje je:

v_b – Osnovna brzina vjetra

$v_{b,0}$ – Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra

c_{dir} – Faktor smjera

c_{season} – Faktor godišnjeg doba

Prema normi EN 1991 -1-4 preporučene vrijednosti za faktore c_{dir} i c_{season} su 1,0. Temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ je karakteristična 10-minutna srednja brzina vjetra, neovisno o smjeru vjetra i dobu godine [5]. Osnovna brzina vjetra odabire se prema geografskom području u kojoj se nalazi konstrukcija. U Hrvatskoj postoji sedam različitih vjetrovitih zona, Vrijednosti kao i zone prikazane su tablično (tablica 3.1) i slikovno (slika 3.2).

Tablica 3. 1 Vjetrovite zone Hrvatske

Zone	Početna brzina vjetra $v_{b,0} \left[\frac{m}{s} \right]$
I.	20
II.	25
III.	30
IV.	35
V.	40
VI.	45
VII.	48



Slika 3. 2 Karta vjetrova na području hrvatske [7]

Iz ovoga proizlazi da za regiju Bjelovarsko-bilogorske županije, točnije grad Bjelovar, temeljna vrijednost osnovne brzine vjetra $v_{b,0}$ iznosi 25 m/s.

Intenzitet turbulencije $l_v(z)$ na visini z određen je kao standardna devijacija turbulencije podijeljena sa srednjom brzinom vjetra [10]. Računamo ga prema:

$$l_v(z) = \frac{k_1}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za} \quad z_{\min} < z < z_{\max} \quad (3.8)$$

$$l_v(z) = l_v(z_{\min}) \quad \text{za} \quad z < z_{\min} \quad (3.9)$$

Gdje je:

k_1 – faktor turbulencije, preporuka za vrijednost je 1,0

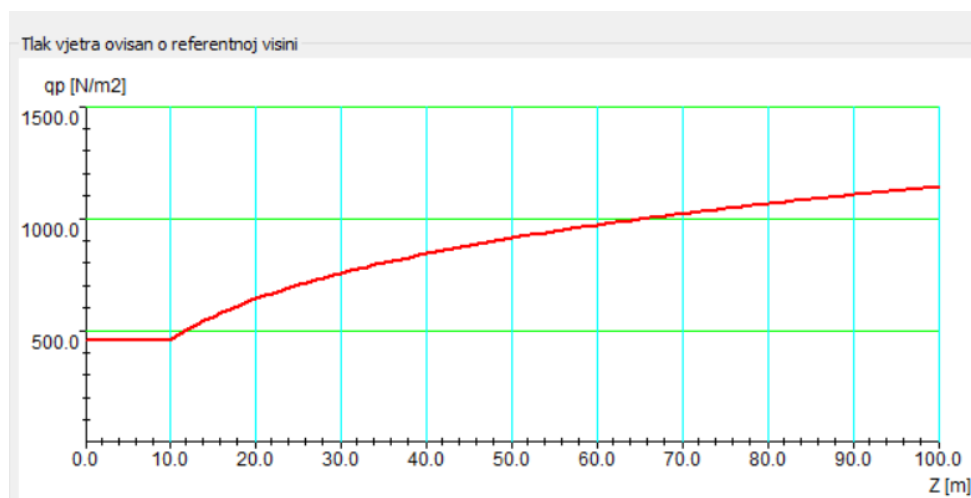
c_0 – faktor vertikalne razvedenosti terena

z_0 – Duljina hrapavosti

Završno se time dobiva konačni izraz za maksimalni tlak vjetra koji se može izraziti kao:

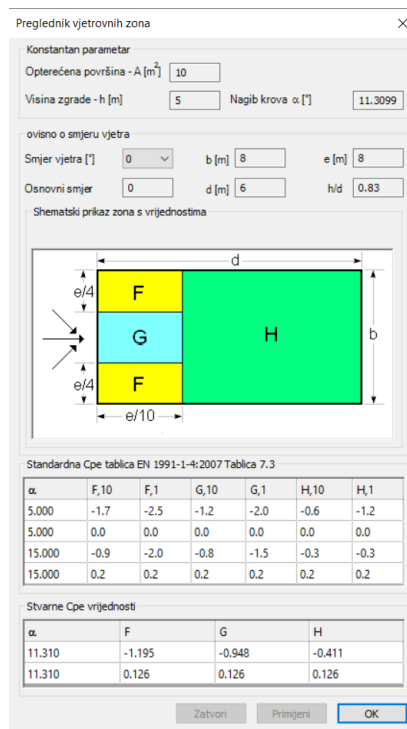
$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot v_m^2(z) \quad (3.10)$$

Ovisno o referentnoj visini može se i prikazati i grafički (slika 3.3):



Slika 3. 3 Graf tlaka vjetra ovisan o referentnoj visini

Koeficijent tlaka za vanjski tlak c_{pe} za zgrade i dijelove zgrada ovise o veličini opterećene ploštine A (ploština konstrukcije) preko koje se prenosi djelovanje vjetra na dio koji se proračunava [5]. Koeficijenti su dani tabličnim vrijednostima za opterećene ploštine od jedan do deset m^2 . Koeficijent se automatski postavlja nakon određivanja površine u Consteel-u, stoga ga nije potrebno računati. Koeficijenti se razlikuju zavisno o površini o kojoj se radi kao i o njenom obliku. Područje se dijeli na različite zone odnosno, na F,G i H zonu te se koeficijenti automatski postavljaju zavisno o tim zonama (slika 3.4).

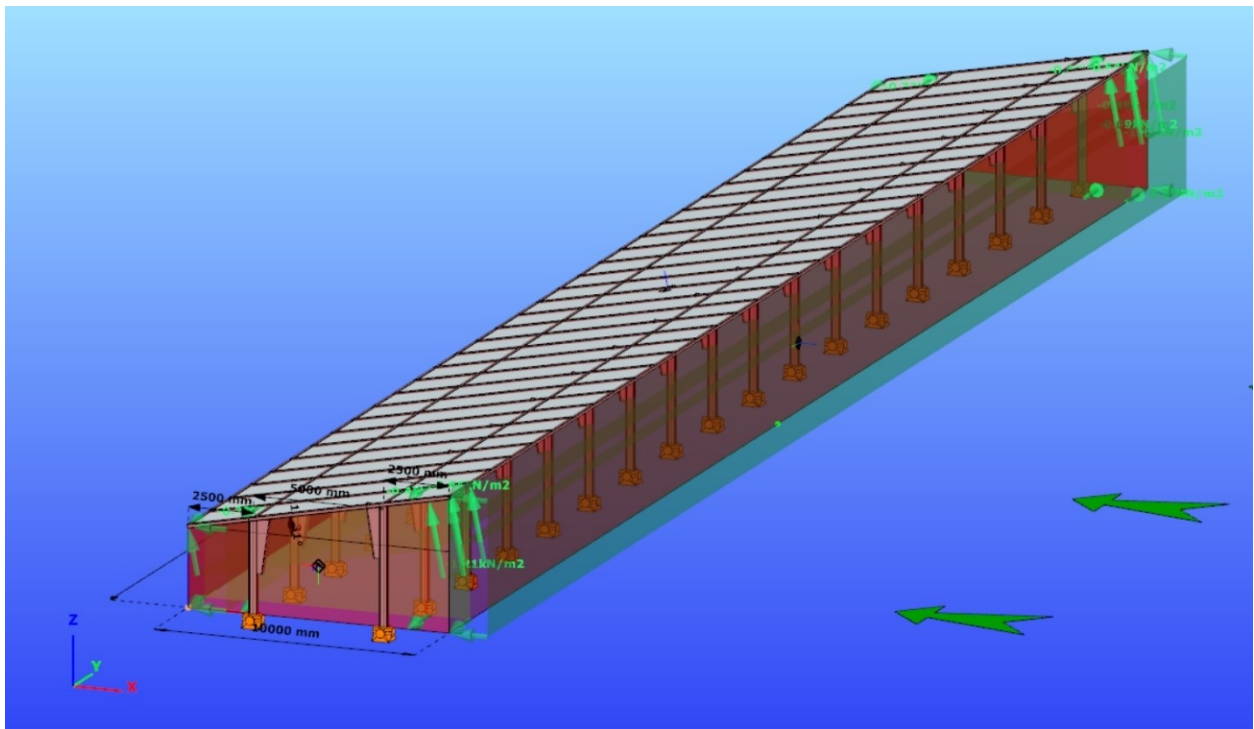


Slika 3. 4 Koeficijenti tlaka za vanjski tlak

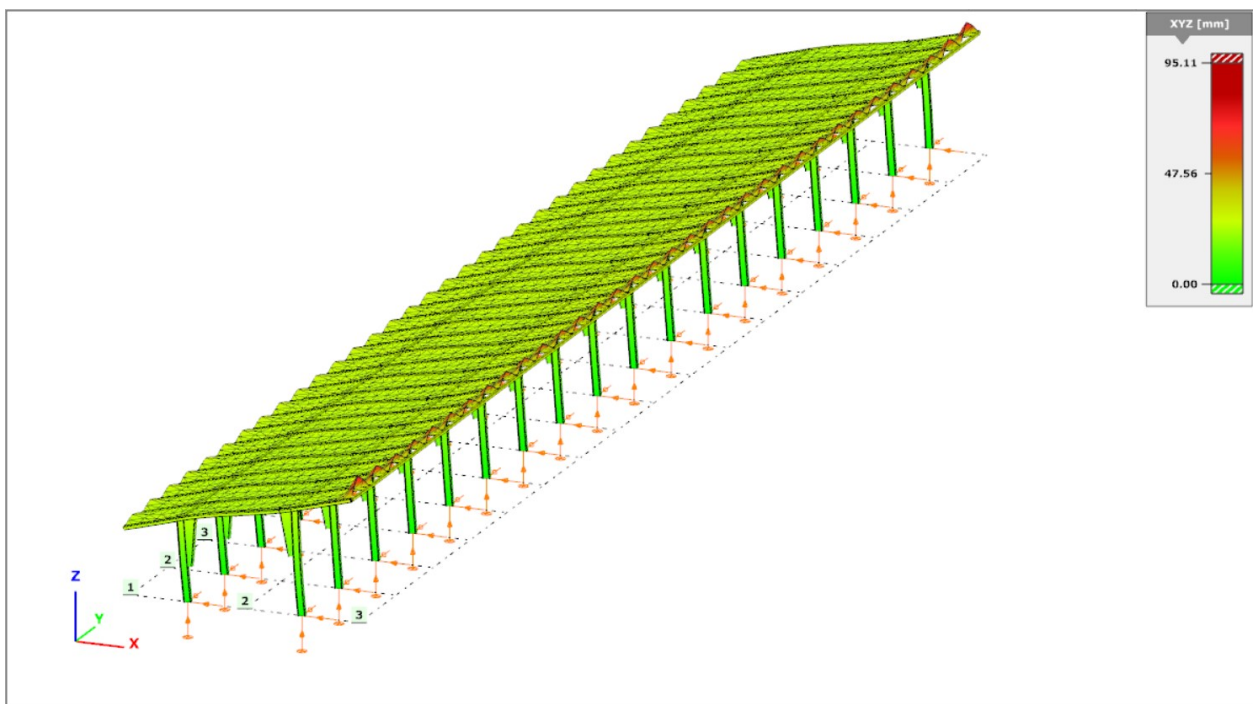
Sve spomenute veličine i izrazi automatski se postavljaju u Consteelu tako da se u sučelju *Opterećenje* odabere *Meteorološka površina* gdje se od korisnika traži da unese regiju za koju želi podatke. Nakon postavljanja površina opterećenja i postavljanja vremenskih uvjeta radi se analiza na temelju kojih se dobiju rezultati.

3.1.1. Opterećenje vjetrom konstrukcije sa kosim krovom

Najnepovoljniji slučaj prilikom opterećenja konstrukcije vjetrom jest kada na konstrukciju djeluje vjetar koji dolazi sa bočne strane (slika 3.5). Najveće koncentrirano naprezanje uzrokovano vjetrom iznosi $1,21 \text{ kN/m}^2$. Također, prilikom odabira opcije *Analiza* testira se konstrukcija na zadana opterećenja. Nakon obavljenih analiza dobivaju se rezultati iz kojih se očitavaju pomaci po osima te izvijanja (slika 3.6).



Slika 3. 5 Opterećenje vjetrom konstrukcije sa kosim krovom



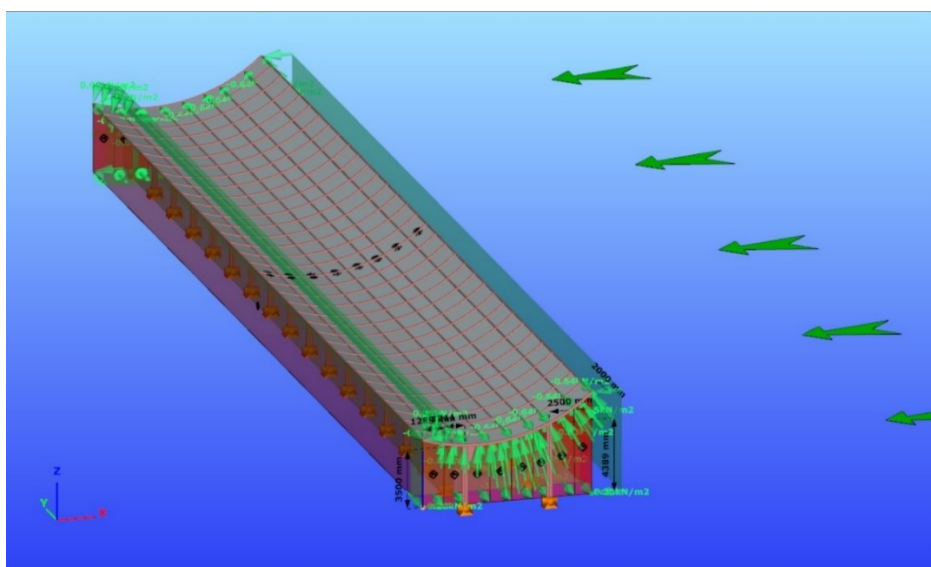
Slika 3. 6 Analiza opterećenja vjetrom konstrukcije sa kosim krovom

Prilikom opterećenja konstrukcije vjetrom dobiveno je kako će najveći pomak iznositi 95,11 mm, što je sasvim zadovoljavajući rezultat ako se uzme u obzir da je ukupna duljina cijele konstrukcije 68 metara. Također, najveća naprezanja bit će na rubovima krova što je i logično pošto je to dio koji je izravno podložan utjecaju vjetra pošto vjetar dolazi iz tog smjera kao i zbog toga što se na

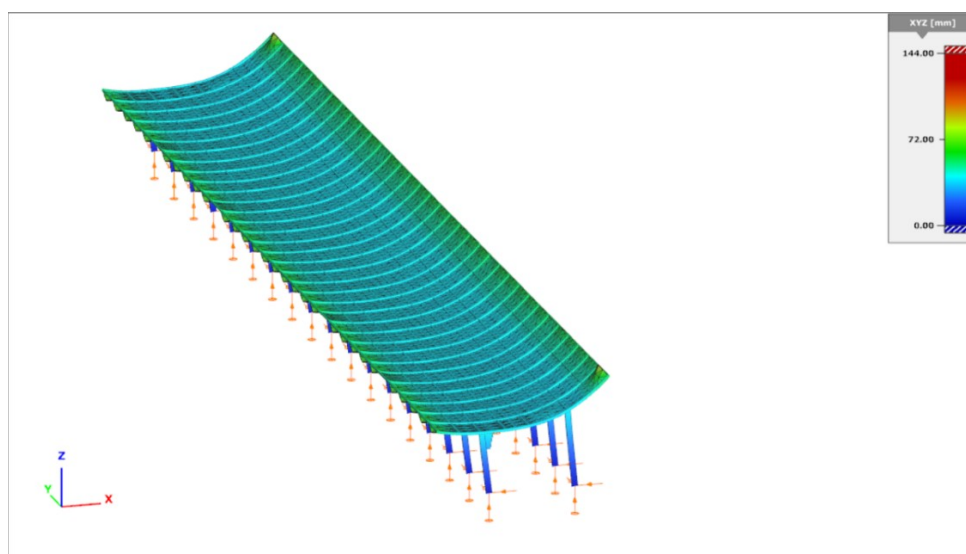
tom djelu nalazi najtanji dio konstrukcije. Najveće naprezanje na konstrukciji iznosi $1,45 \text{ N/mm}^2$ što više nego zadovoljava granicu tečenja danu za materijal S235JR koja iznosi 235 N/mm^2 . Ovime je zapravo konstrukcija predimenzionirana no, razlog tomu je ljepši dizajn.

3.1.2. Opterećenje vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom

Nakon zadanog opterećenja vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom pokazalo se kako je i u tom slučaju najveće opterećenje na konstrukciju kada vjetar dolazi sa bočne strane. Najveće naprezanje koje djeluje na konstrukciju je $1,24 \text{ kN/m}^2$ (slika 3.7). Najveća promjena na cijeloj konstrukciji iznosi 144 mm (slika 3.8). Iznos najvećeg naprezanja na konstrukciju je $3,37 \text{ N/mm}^2$, što je također unutar dopuštene granice razvlačenja materijala S235JR.



Slika 3. 7 Opterećenje vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom



Slika 3. 8 Analiza opterećenja vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom

3.2. Slučaj opterećenja nadstrešnice snijegom

Opterećenje snijegom računa se prema EN 1991-1-3 normi [6]. Opterećenje snijegom računa se prema slijedećem izrazu:

$$s = \mu \cdot c_e \cdot c_t \cdot s_k \quad (3.11)$$

Gdje je:

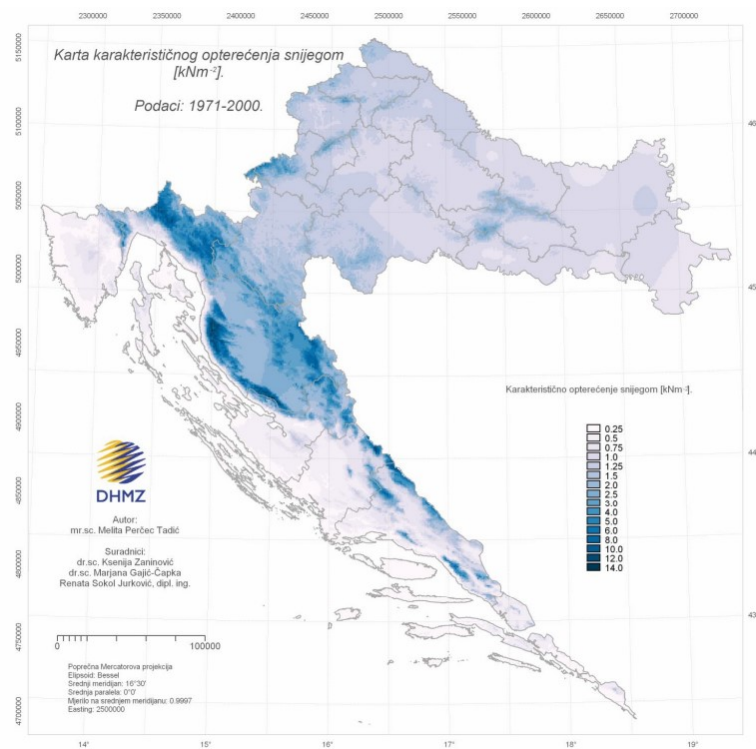
μ – koeficijent oblika krova zbog opterećenja snijegom

c_e – koeficijent izloženosti

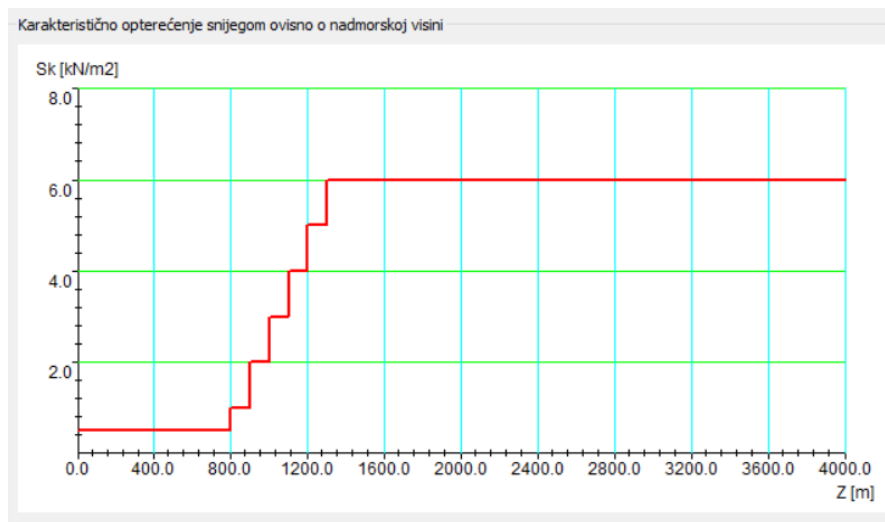
c_t – toplinski koeficijent

s_k – karakteristično opterećenje snijegom, ovisno o zoni opterećenja i nadmorskoj visini

Prema podacima o karakterističnom opterećenju snijegom za Hrvatsku (slika 3.9), karakteristično opterećenje snijegom za područje Bjelovara iznosi $s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$. Također, nadmorska visina grada Bjelovara iznosi 133 metara čime u programu Consteel automatski dobivamo željene podatke za koeficijent s_k (slika 3.10)



Slika 3. 9 Karta karakterističnog opterećenja snijegom[7]



Slika 3. 10 Karakteristično opterećenje snijegom ovisno o nadmorskoj visini

Koeficijent oblika krova zbog opterećenja snijegom μ ovisi isključivo o nagibu krova. Prema EN 1991-1-3 kada nema nakupljanja snijega, odnosno nema prepreka njegovom klizanju koeficijent se očitava iz tablice 4.2. Kako je vidljivo iz tablice, koeficijent oblika snježnog opterećenja μ isključivo ovisi o nagibu nadstrešnice te će biti različiti u pojedinim dijelovima prilikom računanja za konstrukciju sa zakrivljenim krovom. Koeficijent izloženosti c_e kao i toplinski koeficijent c_t prema EN 1991-1-3 standardima iznose 1,0.

Tablica 3. 2 Koeficijent oblika snježnog opterećenja [6]

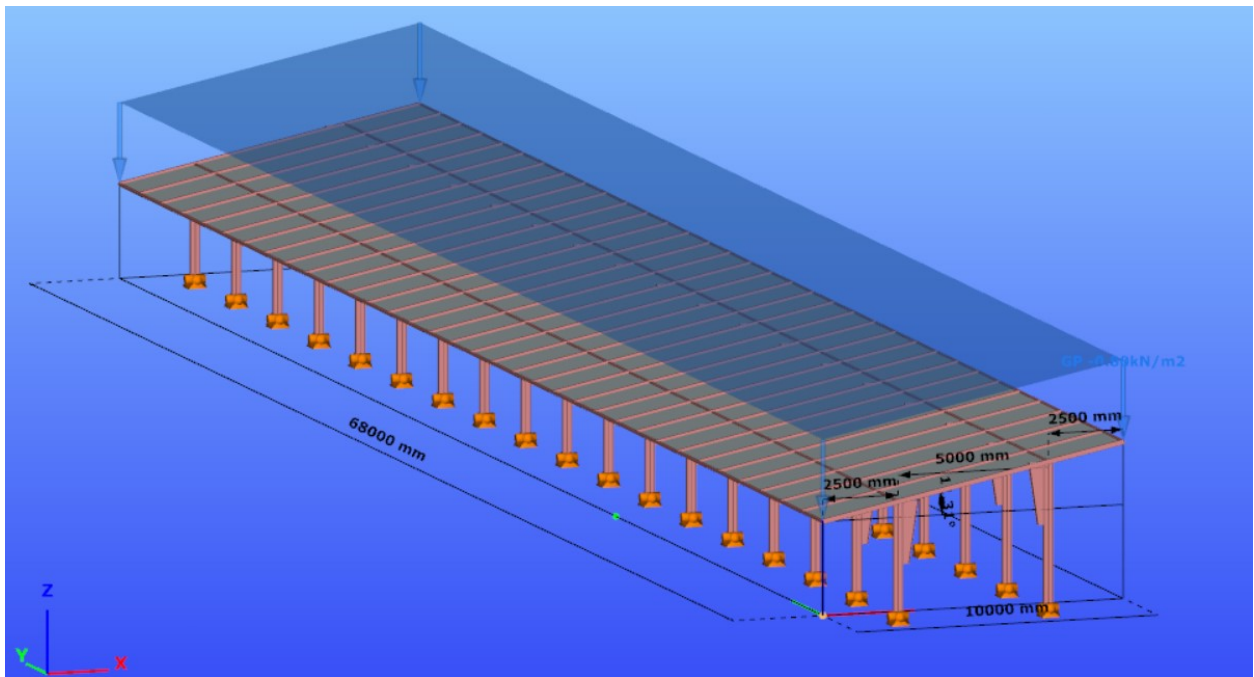
Kut nagiba kuta α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0

Ovime se dobiva cijeli proračun za većinsko opterećenje snijegom na konstrukcije, koje će biti promjenjivo ovisno o nagibu nadstrešnice.

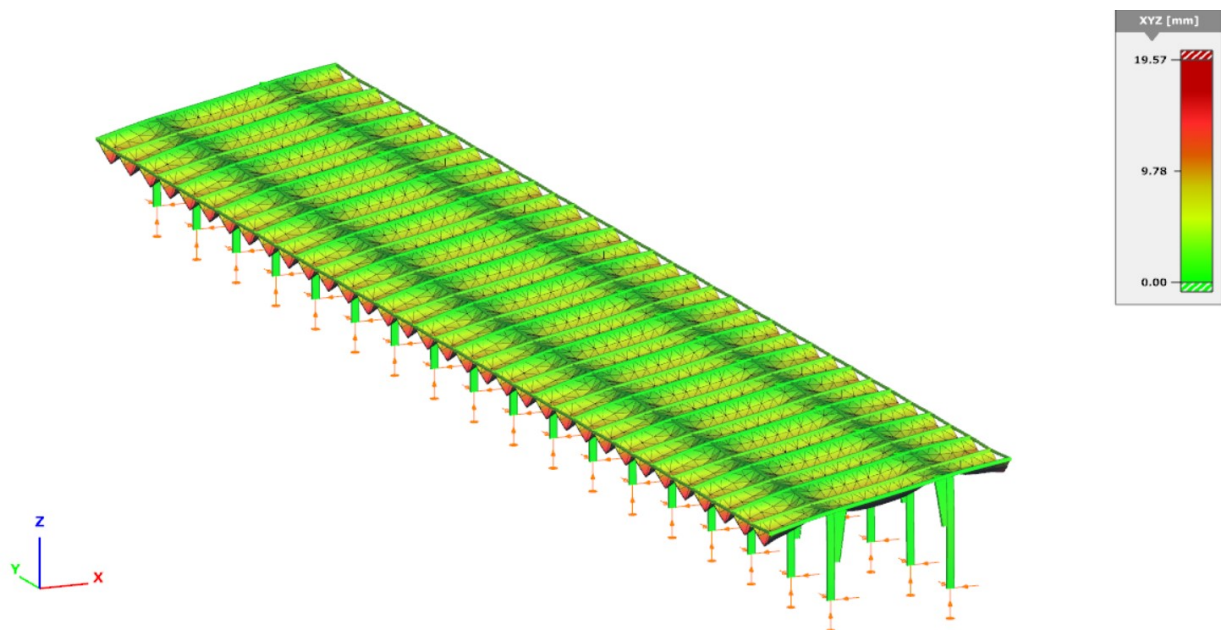
$$s = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

3.2.1. Slučaj opterećenja snijegom konstrukcije sa kosim krovom

U slučaju opterećenja snijegom konstrukcije sa kosim krovom, opterećenje snijegom bit će $0,4 \text{ kN/m}^2$. Pomoću programa Consteel, u sklopu ovog rada obradit će slučaj opterećenja snijegom u iznimnim slučajevima opterećenja snijegom gdje je $s = 0,8 \text{ kN/m}^2$ (slika 3.11). Nakon zadavanja opterećenja provodi se analiza iz koje se vidi kako je maksimalna promjena jednaka $19,57 \text{ mm}$ koja se nalazi na rubovima ploča (slika 3.12). Također, najveće naprezanje jednako je $0,970 \text{ N/mm}^2$ što je u granici tečenja koja iznosi 235 N/mm^2 .



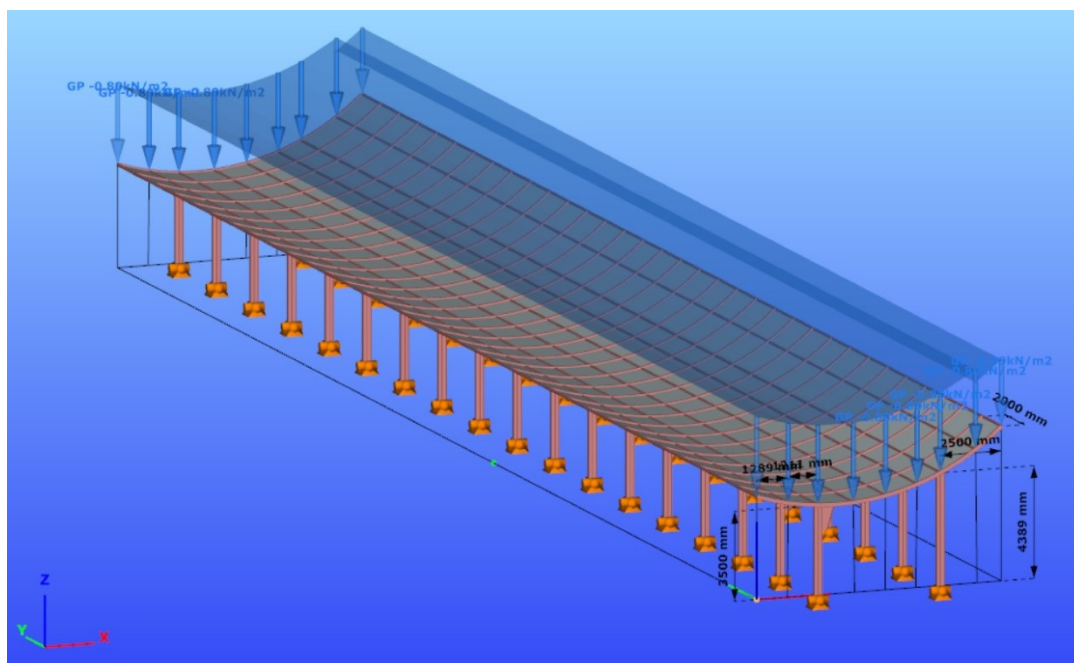
Slika 3. 11 Opterećenje snijegom konstrukcije sa kosim krovom



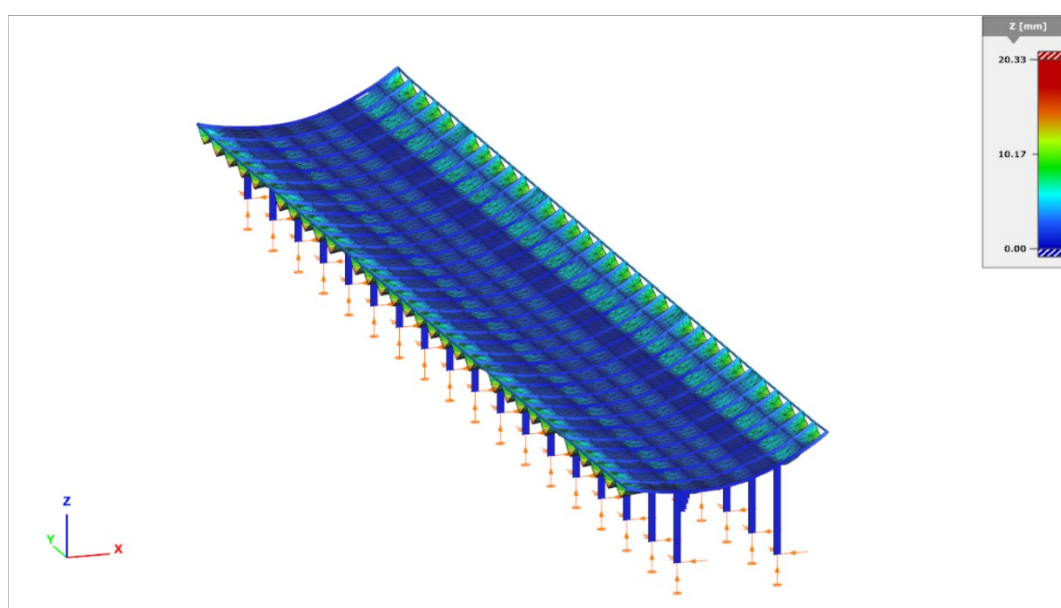
Slika 3. 12 Analiza opterećenja konstrukcije sa kosim krovom

3.2.2. Slučaj opterećenja snijegom konstrukcije sa zakrivljenim krovom

Zbog većeg nagiba nadstrešnice, opterećenje snijegom mijenja se odnosno, iznosi $s = 0,3 \text{ kN/m}^2$ na najvišem djelu konstrukcije a, na ostalim dijelovima $s = 0,4 \text{ kN/m}^2$. U iznimnim slučajevima opterećenja snijegom na najvišem djelu konstrukcije opterećenje iznosi $s = 0,5 \text{ kN/m}^2$, a na ostalim dijelovima $s = 0,8 \text{ kN/m}^2$ (slika 3.13). Nakon analize vidljivo je kako je maksimalna promjena na z osi koja iznosi 20,33 mm (slika 3.14). Najveće naprezanje iznosi $2,460 \text{ N/mm}^2$ što je u granici tečenja za materijal S235JR.



Slika 3. 13 Opterećenje snijegom konstrukcije sa zakrivljenim krovom



Slika 3. 14 Analiza opterećenja snijegom konstrukcije sa zakrivljenim krovom

4. TEORIJSKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE

Teorijski proračun konstrukcije vrši se prema EN 1993-1-1 [8] kako bi se uvidjelo zadovoljava li određeni poprečni presjek potrebnu nosivost. Svodi se na ispitivanje otpornosti poprečnog presjeka na različita opterećenja. U sklopu ovog rada prema EN 1993-1-1 provodi se:

1. Tlačna otpornost
2. Otpornost na savijanje
3. Posmična otpornost
4. Otpornost na izvijanje
5. Otpornost s obzirom na interakciju momenata savijanja i aksijalnih sila

4.1. Klasifikacija poprečnih presjeka prema EN 1993-1-1

U klasifikaciji poprečnih presjeka razlikuje četiri vrste poprečnih presjeka:

- Poprečni presjeci klase 1: Tvore ih oni presjeci koji mogu tvoriti plastični zglob s mogućnošću rotacije veze dovoljnom da omogući rotacije dobivene plastičnom analizom bez smanjenja otpora. Otpornost ovih presjeka računa se prema teoriji plastičnosti.
- Poprečni presjeci klase 2: Oni koji mogu razviti otpornost na plastični moment, ali su ograničeni rotaciji zbog lokalnog izvijanja. Otpornost ovih presjeka računa se prema teoriji plastičnosti
- Poprečni presjeci klase 3: Poprečni presjeci koji se koriste kod proračuna statičkih sustava prema teoriji elastičnosti.
- Poprečni presjeci klase 4: Poprečni presjeci kod kojih će doći do lokalnog izvijanja prije postizanja granice tečenja u jednom ili više dijelova presjeka. Otpornost se računa prema teoriji elastičnosti.

Prilikom konstrukcije nadstrešnice presjeci spadaju u prvu kategoriju te će se otpornost presjeka računati prema teoriji plastičnosti.

4.2. Tlačna otpornost

Potrebno je zadovoljiti:

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

Tlačna otpornost određena je izrazima:

Za poprečne presjeke klase 1,2 i 3:

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

Za poprečne presjeke klase 4:

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

Gdje je:

$N_{c,Rd}$ – Otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili

A – Površina poprečnog presjeka

A_{eff} – djelotvorna površina poprečnog presjeka

f_y – granica tečenja čelika

γ_{MO}, γ_{M1} – parcijalni faktori sigurnosti

4.3. Otpornost na savijanje

Za otpornost pri savijanju potrebno je zadovoljiti:

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

Izrazi za određivanje otpornosti poprečnih presjeka na savijanje jesu:

Poprečni presjeci klase 1 i 2:

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

Poprečni presjeci klase 3:

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

Poprečni presjeci klase 4:

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

Gdje je:

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

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

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

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

W_{pl} – plastični moment otpora poprečnog presjeka

W – elastični moment otpora djelotvornog poprečnog presjeka

W_{eff} – moment otpora djelotvornog poprečnog presjeka

f_y – granica tečenja čelika

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

4.4. Posmična otpornost

Za posmičnu otpornost potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:

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

Otpornost na posmik:

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

Gdje je:

$V_{pl,Rd}$ – plastična otpornost na posmak

A_v – djelotvorna posmična površina

f_y – granica tečenja čelika

γ_{M0} - parcijalni faktori sigurnosti

4.5. Interakcija momenata savijanja i aksijalnih smičnih sila

Provjera analize normalne sile:

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

Provjera razine poprečnih sila:

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

Također, potrebno je zadovoljiti uvjet:

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

Iz toga proizlazi:

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \leq 1 \quad (4.13)$$

4.6. Otpornost na izvijanje

Za otpornost prilikom izvijanja potrebno je zadovoljiti sljedeći uvjet:

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

Za klase 1, 2 i 3 otpornost elementa na izvijanje $N_{b,Rd}$ računa se prema:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.15)$$

Za klasu 4 otpornost elementa na izvijanje $N_{b,Rd}$ računa se prema:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A_{eff} \cdot f_y}{\gamma_{M1}} \quad (4.16)$$

Gdje je χ redukcijski faktor koji se određuje pomoću vitkosti štapa $\bar{\lambda}$ (slika 4.1). Formula vitkosti štapa za klase 1,2 i 3 glasi:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (4.17)$$

Formula vitkosti štapa χ za klasu 4 glasi:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (4.18)$$

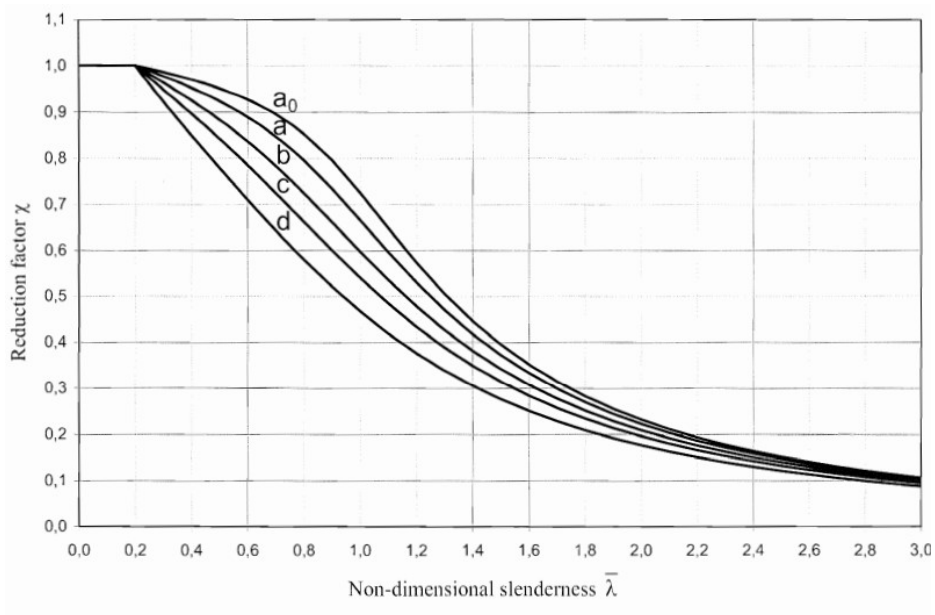
Gdje je:

$\bar{\lambda}$ – vitkost štapa

A – površina poprečnog presjeka

f_y – granica tečenja čelika

N_{cr} – Eulerova kritična sila



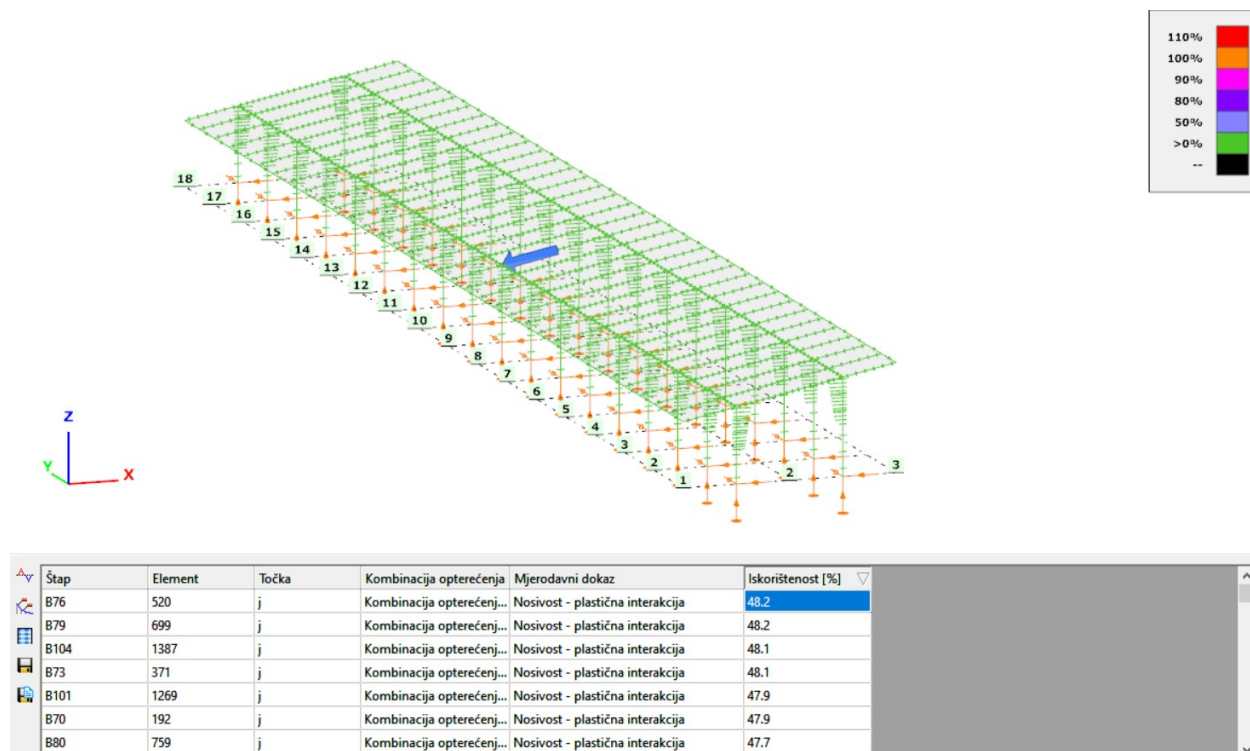
Slika 4. 1 Dobivanje redukcijskog faktora pomoću vitkosti štapa [8]

5. ANALIZA PROVJERE PRORAČUNA

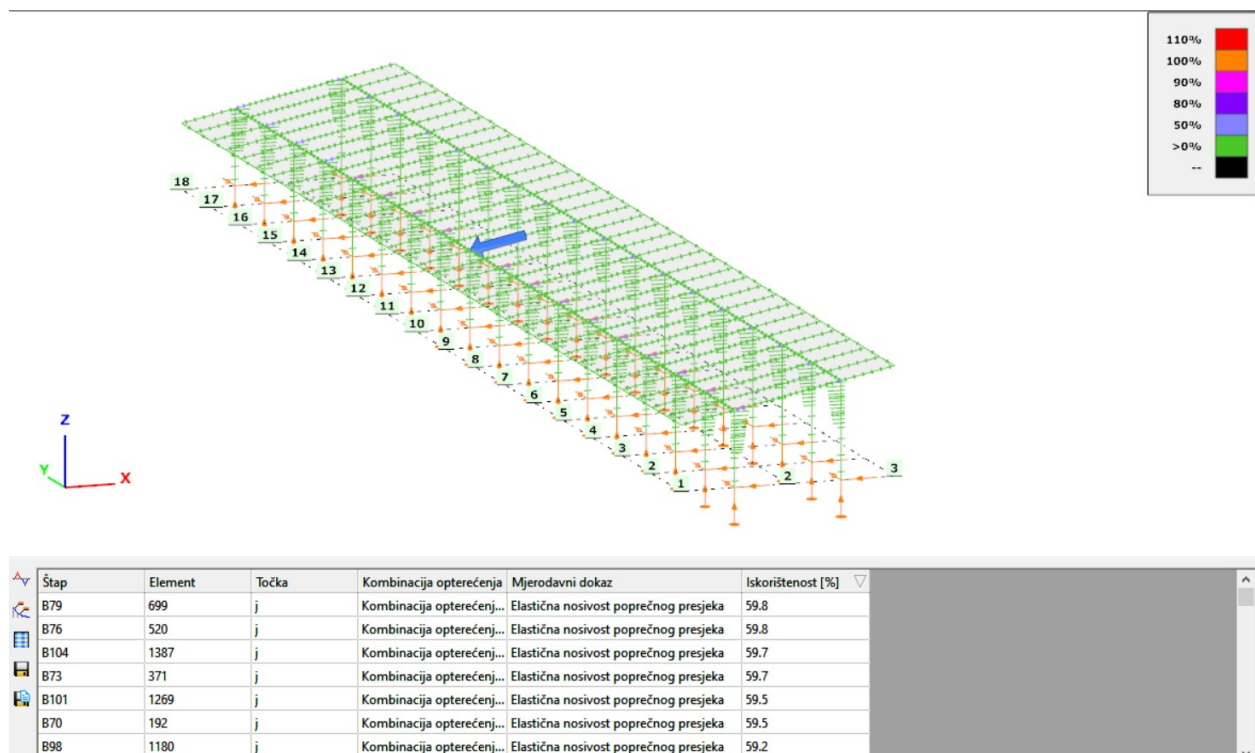
Pomoću funkcije *Globalne provjere* rade se analize i provjeravaju presjeci prema prethodno navedenim pravilima. U sklopu ovog rada obaviti će se analiza na opterećenjima koja izazivaju najveća naprezanja, a to su u oba slučaja opterećenja kada djeluje samo vjetar. Pomoću *Consteela* odredit će se *Mjerodavan proračun* za čelik i *Elastična nosivost poprečnog presjeka* za obje konstrukcije. Cilj ove analize je da iskoristivost pojedinih elemenata ne prelazi 100%.

5.1. Globalna provjera nadstrešnice sa kosim krovom

Iz priloženih slika vidljivo je kako prilikom mjerodavnog proračuna dolazi do maksimalne iskoristivosti od 48,2% koje se nalazi na čvoru između SHS 150x10 i IPE 300 profila (slika 5.1). Analizom elastične nosivosti poprečnog presjeka dobiva se maksimalna iskoristivost od 59,8% koje se nalazi na istom čvoru gdje je maksimalno naprezanje kao i kod mjerodavnog proračuna (slika 5.2).



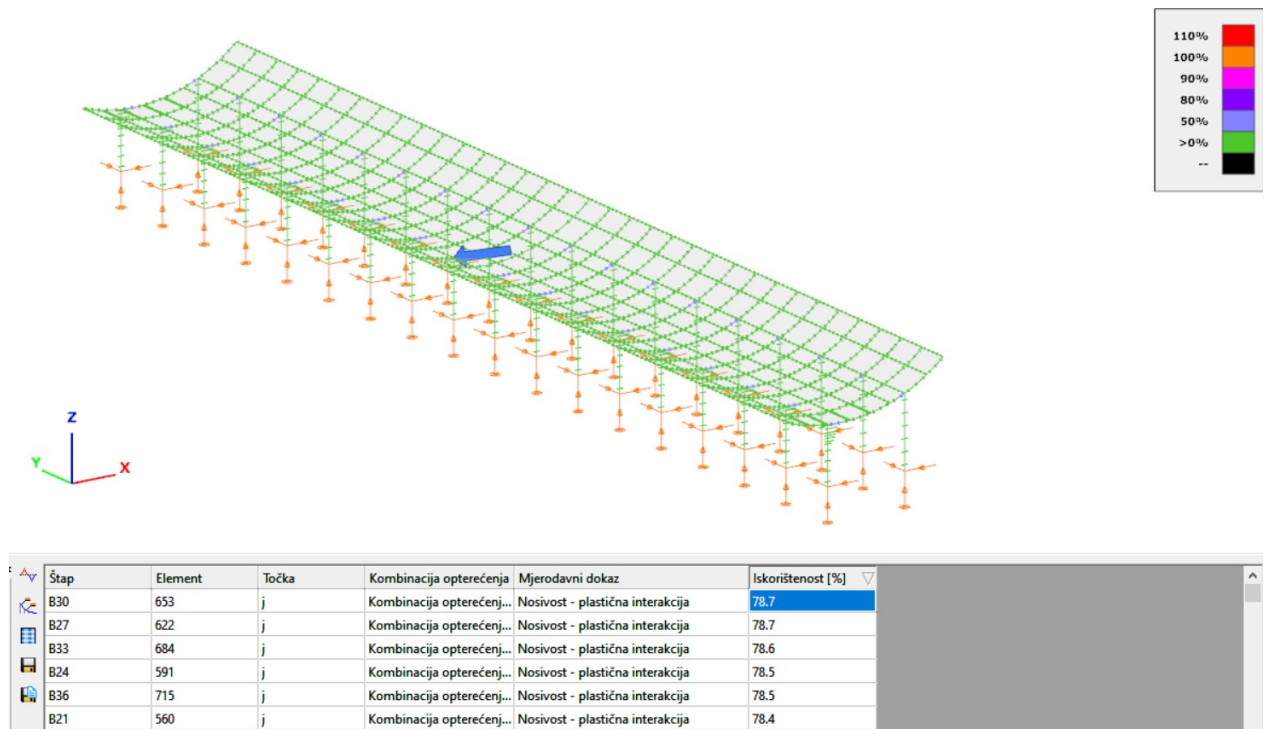
Slika 5. 1 Grafički prikaz provjere poprečnog presjeka mjerodavnim proračunom konstrukcije sa kosim krovom



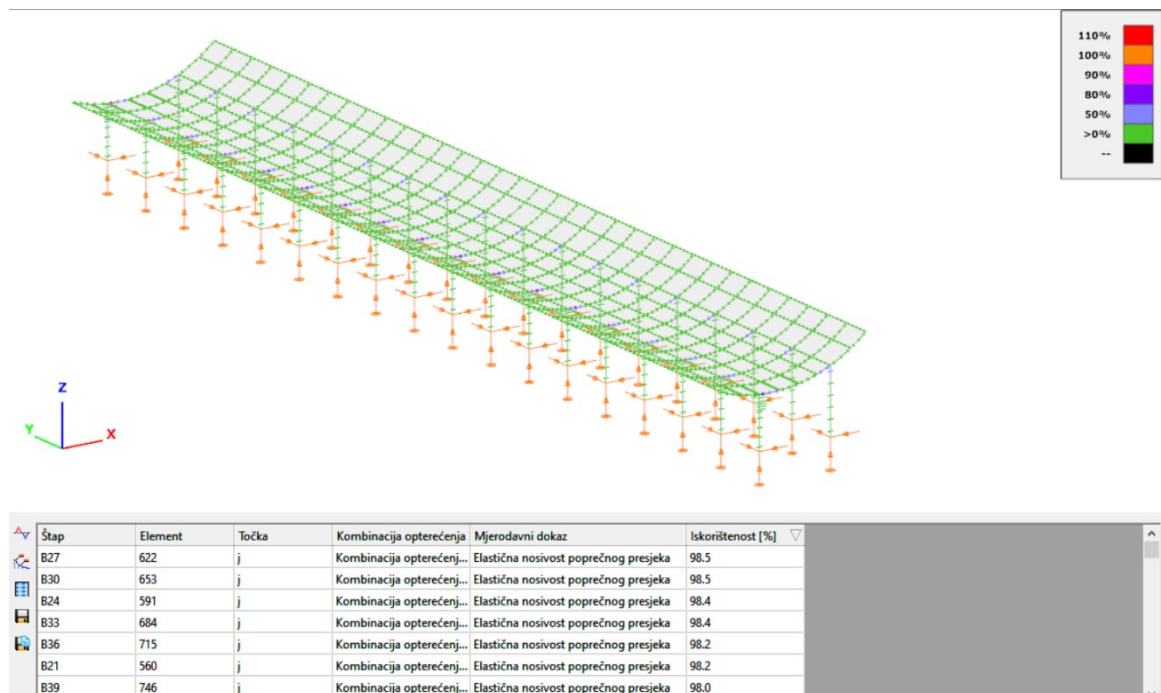
Slika 5. 2 Grafički prikaz elastične nosivosti poprečnog presjeka konstrukcije sa kosim krovom

5.2. Globalna provjera nadstrešnice sa zakrivljenim krovom

Prilikom mjerodavnog proračuna konstrukcije nadstrešnice sa zakrivljenim krovom dobiva se maksimalna iskoristivost od 78,7% koja se nalazi na čvoru između SHS 150 x 10 i IPE 330 profila (slika 5.3). Analizom elastične nosivosti poprečnog presjeka dobiva se maksimalna iskoristivost od 98,5% što je približno 100% no i dalje zadovoljava granice (slika 5.4).



Slika 5. 3 Grafički prikaz provjere poprečnog presjeka mjerodavnim proračunom konstrukcije sa zakrivljenim krovom



Slika 5. 4 Grafički prikaz elastične nosivosti poprečnog presjeka konstrukcije sa kosim krovom

5.3. Provjera proračuna za IPE 300 presjek nadstrešnice sa kosim krovom

5.3.1. Tlačna otpornost

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$A = 5381 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{MO} = 1$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{5381 \cdot 235}{1} = 1264,5 \text{ kN}$$

$N_{Sd} = 22,31 \text{ kN}$ – dobiveno iz programa Consteel

$$N_{Sd} < N_{c,Rd} = 22,31 \text{ kN} < \mathbf{1264,5 \text{ kN}}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

5.3.2. Otpornost na savijanje

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

os y-y

$$W_{pl,y} = 628356 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{MO} = 1$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{628356 \cdot 235}{1} = 147,66 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} = 5,61 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} < M_{y,Rd} = 5,61 \text{ kNm} < 147,66 \text{ kNm}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

os z-z

$$W_{pl,z} = 124596 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{Mo} = 1$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{124596 \cdot 235}{1} = 29,28 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = 2,28 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} < M_{z,Rd} = 2,28 \text{ kNm} < 29,28 \text{ kNm}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

5.3.3. Posmična otpornost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{Mo}}$$

$$A_{v,y} = 3210 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{Mo} = 1$$

os y-y

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{Mo}} = \frac{3210 \cdot \left(\frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 435,52 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} = 2,65 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} < V_{y,Rd} = 2,65 \text{ kN} < 435,52 \text{ kN}$$

os z-z

$$A_{v,z} = 2171 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{Mo}} = \frac{2171 \cdot \left(\frac{235}{\sqrt{3}} \right)}{1} = 294,56 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} = 9,95 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} < V_{z,Rd} = 9,95 \text{ kN} < 294,56 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

5.3.4. Interakcija momenta savijanja i aksijalnih smičnih sila nadstrešnice sa kosim krovom

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

$$N_{Sd} = 22,31 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1264,5 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} < 0,25 N_{Rd} = 22,31 \text{ kN} < 0,25 \cdot 1264,5 \text{ kN} = 22,31 \text{ kN} < 316,13 \text{ kN}$$

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

$$V_{y,Sd} = 2,65 \text{ kN}$$

$$V_{y,Rd} = 435,52 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} < 0,5 V_{Rd} = 2,65 \text{ kN} < 0,5 \cdot 435,52 = 2,65 \text{ kN} < 217,76 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} = 9,95 \text{ kN}$$

$$V_{z,Rd} = 294,56 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} < 0,5 V_{Rd} = 9,95 \text{ kN} < 0,5 \cdot 294,56 \text{ kN} = 9,95 \text{ kN} < 147,28 \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Sd} = 5,61 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = 147,66 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} < M_{y,Rd} = 5,61 \text{ kNm} < 147,66 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = 2,28 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = 29,28 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} < M_{z,Rd} = 2,28 \text{ kNm} < 29,28 \text{ kNm}$$

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

$$\frac{22,31}{1264,5} + \frac{5,61}{147,66} + \frac{2,28}{29,28} \leq 1 = 0,134 \leq 1$$

Presjek zadovoljava uvjet

5.3.5. Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\chi = 1$$

$$A = 5381 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 5381 \cdot 235}{1} = 1264,54 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 22,31 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} < N_{b,Rd} = 22,31 \text{ kN} < 1264,54 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava uvjet

Ovime završava provjera proračuna za nadstrešnicu sa kosim krovom. Vidljivo je da nadstrešnica zadovoljava sve uvjete.

5.4. Provjera proračuna za IPE 330 presjek nadstrešnice sa zakrivljenim krovom

5.4.1. Tlačna otpornost

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}}$$

$$A = 6261 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{MO} = 1$$

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{6261 \cdot 235}{1} = 1471,34 \text{ kN}$$

$N_{Sd} = 43,21 \text{ kN}$ – dobiveno iz programa Consteel

$$N_{Sd} < N_{c,Rd} = 43,21 \text{ kN} < 1471,34 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

5.4.2. Otpornost na savijanje

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

os y-y

$$W_{pl,y} = 804331 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{MO} = 1$$

$$M_{y,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{MO}} = \frac{804331 \cdot 235}{1} = 189,02 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} = 35,67 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} < M_{y,Rd} = 35,67 \text{ kNm} < 189,02 \text{ kNm}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

os z-z

$$W_{pl,z} = 152640 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{Mo} = 1$$

$$M_{z,Rd} = \frac{W_{pl,z} f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{152640 \cdot 235}{1} = 35,87 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = 4,32 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} < M_{z,Rd} = 4,32 \text{ kNm} < 35,87 \text{ kNm}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

5.4.3. Posmična otpornost

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{Mo}}$$

$$A_{v,y} = 3680 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{Mo} = 1$$

os y-y

$$V_{y,Rd} = \frac{A_{v,y} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{Mo}} = \frac{3680 \cdot \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 499,29 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} = 1,73 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} < V_{y,Rd} = 1,73 \text{ kN} < 499,29 \text{ kN}$$

os z-z

$$A_{v,z} = 2581 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = \frac{A_{v,z} \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}}\right)}{\gamma_{Mo}} = \frac{2581 \cdot \left(\frac{235}{\sqrt{3}}\right)}{1} = 350,18 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} = 14,27 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} < V_{z,Rd} = 14,27 \text{ kN} < 350,18 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava uvjet.

5.4.4. Interakcija momenta savijanja i aksijalnih sila i smičnih sila

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

$$N_{Sd} = 43,21 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 1471,34 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} < 0,25 N_{Rd} = 43,21 \text{ kN} < 0,25 \cdot 1471,34 \text{ kN} = 43,21 \text{ kN} < 367,84 \text{ kN}$$

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

$$V_{y,Sd} = 1,73 \text{ kN}$$

$$V_{y,Rd} = 499,29 \text{ kN}$$

$$V_{y,Sd} < 0,5 V_{Rd} = 1,73 \text{ kN} < 0,5 \cdot 499,29 \text{ kN} = 1,73 \text{ kN} < 249,645 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} = 14,27 \text{ kN}$$

$$V_{z,Rd} = 350,18 \text{ kN}$$

$$V_{z,Sd} < 0,5 V_{Rd} = 14,27 \text{ kN} < 0,5 \cdot 350,18 \text{ kN} = 9,95 \text{ kN} < 175,09 \text{ kN}$$

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

$$M_{y,Sd} = 35,67 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Rd} = 189,02 \text{ kNm}$$

$$M_{y,Sd} < M_{y,Rd} = 35,67 \text{ kNm} < 189,02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} = 4,32 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Rd} = 35,87 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Sd} < M_{z,Rd} = 4,32 \text{ kNm} < 35,87 \text{ kNm}$$

$$\frac{N_{Sd}}{N_{Rd}} + \frac{M_{y,Sd}}{M_{y,Rd}} + \frac{M_{z,Sd}}{M_{z,Rd}} \leq 1$$
$$\frac{43,21}{1471,34} + \frac{35,67}{189,02} + \frac{4,32}{35,87} \leq 1 = 0,34 \leq 1$$

Presjek zadovoljava uvjet

5.4.5. Otpornost na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\chi = 1$$

$$A = 6261 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 6261 \cdot 235}{1} = 1471,34 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} = 43,21 \text{ kN}$$

$$N_{Sd} < N_{b,Rd} = 43,21 \text{ kN} < 1471,34 \text{ kN}$$

Presjek zadovoljava uvjet

Ovime završava teorijska provjera proračuna za nadstrešnicu sa zakrivljenim krovom. Prikazani rezultati proračuna su valjani te nema nikakvih odstupanja.

6. IZRADA CJENIKA

U sklopu programa Consteel moguće je dobiti informacije o masi pojedinih profila te o površini koju zauzimaju. Cjenik će biti izrađen temeljem mase profila, a razlog tomu je što se cijena profila temelji na njihovoj masi. Prilikom određivanja cjenika koristit će se podaci firme HOREX. Cijena po kilogramu se kreće između 18,75-22,50 kn/kg. Cijena zavarivanja, rezanja i postavljanja profila je 12kn/kg.

6.1 Izrada cjenika nadstrešnice sa kosim krovom

Informacije o materijalima nadstrešnice sa kosim krovom dane su u tablici 6.1:

Tablica 6. 1 Informacije o materijalima nadstrešnice sa kosim krovom

Oznaka	Masa (kg)	Površina (m^2)	Dužina (m)
IPE 300	9204	247,85	144
SHS 100x5	3907	104,14	272
SHS 150x10	14639	199,2	356,93
LEXAN Dual 2UV Zebra	3792,312	1404,56	2000x980/5000x980

Za ploče LEXAN Dual 2UV Zebra cijena ovisi o dimenzijama ploče. Za konstrukciju nadstrešnice sa kosim krovom koristit će se dimenzije 2000x980 mm čija cijena je 769,30kn/kom te 5000x980 mm čija cijena je 1923,25 kn/kom.

Na temelju podataka dane u tablici 6.1 moguće je izraditi cjenik nadstrešnice.

Tablica cijene dana je u tablici 6.2:

Tablica 6. 2 Cijene materijala

Profil/obrada	Količina i dužina	Cijena (kn)
IPE 300	21 greda za L=12m	179980,12
SHS 100x5	107 greda za L=6m	78686,98
SHS 150x10	34 greda za L=12m	286374,38
LEXAN Dual 2UV Zebra	66 ploča 2000x980 mm	50773,80
LEXAN Dual 2UV Zebra	33 ploča za 5000x980 mm	63467,25
Zavarivanje/rezanje/postavljanje	27750kg za 12kn/kg	333000,00

Ukupna cijena: 992282,53kn

6.2 Izrada cjenika nadstrešnice sa zakrivljenim krovom

Informacije o materijalima nadstrešnice sa zakrivljenim krovom dane su u tablici 6.3:

Tablica 6. 3 Informacije o materijalima nadstrešnice sa zakrivljenim krovom

Oznaka	Masa (kg)	Površina (m^2)	Dužina (m)
IPE 330	8016	198,94	142
SHS 100x8	12989	223,83	612
SHS 150x10	15338	208,7	374
LEXAN Dual 2UV Zebra	3998,835	1481,05	2000x980

Tablica cijena dana je u tablici 6.4:

Tablica 6. 4 Cijene materijala

Profil/obrada	Količina i dužina	Cijena (kn)
IPE 330	19 greda za L=12m	161921,38
SHS 100x8	356 greda za L=6m	249328,79
SHS 150x10	35 greda za L=12m	296107,28
LEXAN Dual 2UV Zebra	272 ploča 2000x980 mm	209249,60
Zavarivanje/rezanje/postavljanje	27750kg za 12kn/kg	333000,00

Ukupna cijena: 1249607,05

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bila je konstrukcija nadstrešnice gradske tržnice. Kao rezultat, konstruirana su dva primjera nadstrešnica. Nadstrešnica sa kosim krovom izrađena je od čeličnih stupova IPE 300, čeličnih greda nosača profila SHS 100x5, poprečnih greda SHS 150x10 te od polikarbonatnih ploča LEXAN Dual 2UV Zebra. Nadstrešnica sa zakrivljenim krovom izrađena je od čeličnih stupova IPE 330, čeličnih greda nosača profila SHS 100x8, poprečnih greda SHS 150x10 te od ploča LEXAN Dual 2UV Zebra. Modeli su konstruirani u programu Consteel 15.

Nakon definiranja konstrukcija, definirana su opterećenja i oslonci. Opterećenja su postavljena prema Eurocode 1 – EN 1991 1-3, EN 1991 1-4 normama koje definiraju utjecaj vjetera i snijega na konstrukcije. Parametri potrebni za proračun uzeti su za regiju Bjelovarsko-bilogorske županije odnosno, grad Bjelovar. Opterećenja na konstrukcijama definirana su pomoću programa Consteel 15 koji je odredio kako su u oba slučaja najveća opterećenja u slučaju opterećenja vjetera koji dolazi sa bočne strane. Iz tog razloga upravo taj slučaj uzet je kao kritičan slučaj za obje konstrukcije.

Analiza konstrukcije provela se pomoću metode konačnih elemenata. Tijekom analize program je samostalno podijelio konstrukcije na određeni broj elemenata tvoreći time diskretizirani model s konačnim brojem varijabli. Sustavom jednadžbi dobili su se podaci o opterećenjima konstrukcija te njihova stabilnost.

Podacima o opterećenjima i stabilnosti konstrukcije se provjerava poprečni presjek prema Eurocode 3 – EN 1993 -1-1 normi. Provedene su provjere za: tlačnu otpornost, smičnu otpornost, otpornost na savijanje, otpornost na izvijanje i otpornost presjeka s obzirom na interakciju momenata savijanja i aksijalnih i smičnih sila. Najkritičniji presjek proračunao se pomoću programa Consteel 15 no, radi dodatne provjere proveden je i ručni proračun. Svi proračuni zadovoljavali su uvjete u oba slučaja konstrukcija.

Na kraju, napravljeni su cjenici za obje konstrukcije prema trenutnim cijenama za čelik, ploče i rad koji je potreban za konstrukciju nadstrešnice što uključuje: zavarivanje, montažu i rezanje čelika. Iz priloženih cjenika vidljivo je kako je nadstrešnica sa kosim krovom jeftinija varijanta od nadstrešnice sa zakrivljenim krovom.

8. LITERATURA

- [1] Turkalj, G.: „Metoda konačnih elemenata“, s interneta, https://moodle.srce.hr/2020-2021/pluginfile.php/4640704/mod_resource/content/1/RAK_MKE.pdf, 20. svibnja 2022.
- [2] Sorić, Jurica.: „Metoda konačnih elemenata“, Golden marketing – Tehnička knjiga, Zagreb, 2004.
- [3] British Standards Institution.: „EN 1990:2002 E, Eurocode – Basis of Structural Design“, s interneta, <https://www.phd.eng.br/wp-content/uploads/2015/12/en.1990.2002.pdf>, 20. svibnja 2022.
- [4] Gutta: „Hohlkammerplatten – Die Zebraplatte“, s interneta, https://guttashop.hr/media/4857/file/zebra-ploce/9500192_gutta_Hohlkammerplatten_2021_web.pdf, 20. svibnja 2022
- [5] Eurokod 1.: „Djelovanja na konstrukcije – Dio 1-4: Opća djelovanja – Djelovanja vjetra“, s interneta, https://www.grad.unizg.hr/_download/repository/HRN_EN_1991-1-4_2012.pdf, 20. svibnja 2022.
- [6] British Standards Institution.: „Eurocode 1 – Action 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>, 20. svibnja 2022.
- [7] Perčec Tadić, M.: „Karta karakterističnog opterećenja snijegom“, s interneta http://www.kartografija.hr/tl_files/Hkd/dogadjaji/Svjetski%20dan%20GISa/prezentcije/05_2012_Svjetski%20dan%20GIS_snijeg_MPTadic_web.pdf, 20. svibnja 2022
- [8] British Standards Institution.: „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>, 20. svibnja 2022

SAŽETAK

Cilj ovog rada je konstrukcija nadstrešnice gradske tržnice. Prema Eurocode 1 normama potrebno je izvršiti analizu konstrukcije prilikom opterećenja na vjetar i snijeg. Nakon izvršene analize provodi se provjera poprečnih presjeka za kritične slučajeve prema Eurocode 3 normama. Sve analize i provjere dobivene su pomoću Consteel 15 programa. U konačnici je izrađen cjenik za konstrukcije koji obuhvaća materijale i izradu konstrukcija.

Ključne riječi: konstrukcija nadstrešnice gradske tržnice, Eurocode, metoda konačnih elemenata, analiza konstrukcije, provjera konstrukcije, Consteel

SUMMARY

The aim of this work is construction of city market canopies. It is necessary to perform an analysis of the structure under wind and snow loads. All of the analysis were according to Eurocode 1 standards. After the analysis, cross-sections are checked for critical cases which were followed by the rules of Eurocode 3 standards. All analyses and checks were gathered using Consteel 15 program. In the end price list for the constructions were made and includes materials and construction.

Key words: construction of city market canopies, Eurocode, finite element method, check of construction, Consteel

POPIS SLIKA

Slika 1. 1 Jednodimenzijski konačni elementi	2
Slika 1. 2 Dvodimenzijski konačni elementi.....	2
Slika 1. 3 Trodimenzijski konačni elementi.....	2
Slika 2. 1 prikaz dimenzija parcele	5
Slika 2. 2 Dimenzije nadstrešnice u nacrtu	6
Slika 2. 3 Pregled cijelog modela.....	6
Slika 2. 4 Dimenzije nadstrešnice zakrivljenog krova u nacrtu	7
Slika 2. 5 Pregled cijele nadstrešnice sa zakrivljenim krovom	7
Slika 2. 6 Poprečni presjek grednih elemenata: a) IPE 300; b) SHS 100x5 i c) SHS 150x10.....	8
Slika 2. 7 Karakteristike polikarbonata	9
Slika 2. 8 Poprečni presjek grednih elemenata: a) IPE 330; b) SHS 100x8 i c) SHS 150x10.....	9
Slika 3. 1 Tablica kategorije terena i parametra terena	12
Slika 3. 2 Karta vjetrova na području hrvatske [7]	14
Slika 3. 3 Graf tlaka vjetra ovisan o referentnoj visini.....	14
Slika 3. 4 Koeficijenti tlaka za vanjski tlak.....	15
Slika 3. 5 Opterećenje vjetrom konstrukcije sa kosim krovom.....	16
Slika 3. 6 Analiza opterećenja vjetrom konstrukcije sa kosim krovom	16
Slika 3. 7 Opterećenje vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom	17
Slika 3. 8 Analiza opterećenja vjetrom konstrukcije sa zakrivljenim krovom.....	17
Slika 3. 9 Karta karakterističnog opterećenja snijegom[7]	18
Slika 3. 10 Karakteristično opterećenje snijegom ovisno o nadmorskoj visini	19
Slika 3. 11 Opterećenje snijegom konstrukcije sa kosim krovom	20
Slika 3. 12 Analiza opterećenja konstrukcije sa kosim krovom	20
Slika 3. 13 Opterećenje snijegom konstrukcije sa zakrivljenim krovom.....	21
Slika 3. 14 Analiza opterećenja snijegom konstrukcije sa zakrivljenim krovom	21
Slika 4. 1 Dobivanje redukcijskog faktora pomoću vitkosti štapa [8]	25
Slika 5. 1 Grafički prikaz provjere poprečnog presjeka mjerodavnim proračunom konstrukcije sa kosim krovom.....	26
Slika 5. 2 Grafički prikaz elastične nosivosti poprečnog presjeka konstrukcije sa kosim krovom	27
Slika 5. 3 Grafički prikaz provjere poprečnog presjeka mjerodavnim proračunom konstrukcije sa zakrivljenim krovom	28
Slika 5. 4 Grafički prikaz elastične nosivosti poprečnog presjeka konstrukcije sa kosim krovom	28

POPIS TABLICA

Tablica 2. 1 Tablični prikaz karakteristika profila grednih elemenata kose nadstrešnice.....	8
Tablica 2. 2 Tablični prikaz karakteristika profila grednih elemenata zakrivljenje nadstrešnice .	10
Tablica 3. 1 Vjetrovite zone Hrvatske.....	13
Tablica 3. 2 Koeficijent oblika snježnog opterećenja [6].....	19
Tablica 6. 1 Informacije o materijalima nadstrešnice sa kosim krovom.....	37
Tablica 6. 2 Cijene materijala	37
Tablica 6. 3 Informacije o materijalima nadstrešnice sa zakrivljenim krovom	38
Tablica 6. 4 Cijene materijala	38