

# Proračun čelične konstrukcije nadstrešnice za vozila

---

Milošević, David

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:190:664973>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-16**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE NADSTREŠNICE ZA  
VOZILA**

Rijeka, Rujan 2022.

David Milošević

0069086904

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**  
Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

Završni rad

**PRORAČUN ČELIČNE KONSTRUKCIJE NADSTREŠNICE ZA  
VOZILA**

Mentor: Prof. dr. sc. Domagoj Lanc

Rijeka, Rujan 2022.

David Milošević

0069086904

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: **David Milošević (0069086904)**  
Studij: **Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva**

Zadatak: **Proračun čelične konstrukcije nadstrešnice za vozila / Calculation of steel structure for vehicle eave**

**Opis zadatka:**

Potrebno je konstruirati nadstrešnicu nad parkiralištem za vozila. 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

SVEUČILIŠTE U RIJECI

TEHNIČKI FAKULTET

Preddiplomski sveučilišni studij strojarstva

## IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad na temu „Proračun čelične konstrukcije nadstrešnice za vozila“ izradio samostalno pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Domagoja Lanca koristeći znanja stečena tijekom studiranja na Tehničkom fakultetu u Rijeci..

---

David Milošević

## **Zahvala**

Ovim putem se zahvaljujem svim svojim kolegama na njihovoj velikoj podršci tijekom studija.

Zahvaljujem se i mentoru prof. dr. sc. Domagoju Lancu na utrošenom vremenu, strpljenju i pomoći pri izradi završnog rada.

Zahvalio bih se tvrtki ConSteel Solutions na ustupljenoj licenci za program koji je korišten i omogućio izradu ovog završnog rada.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
<b>1.1 ConSteel software:</b> .....	1
<b>1.2 Europske norme (Eurocode):</b> .....	1
<b>1.3 Metoda konačnih elemenata</b> .....	2
<b>2 DIZAJN NADSTREŠNICE ZA VOZILA:</b> .....	3
<b>2.1 Oblik nadstrešnice</b> .....	3
<b>2.2 Vizualizacija idejne konstrukcije nadstrešnice u software-u SolidWorks:</b> .....	4
<b>2.3 Uvodni dizajn:</b> .....	4
<b>2.4 Odabir potpornih stupova:</b> .....	5
<b>2.5 Odabir pokrovnih greda:</b> .....	7
<b>2.6 Odabir rešetki između greda:</b> .....	8
<b>2.7 Definiranje karakteristika profila grednih i rešetkastih elemenata:</b> .....	10
<b>3 ODREĐIVANJE OPTEREĆENJA NADSTREŠNICE:</b> .....	11
<b>3.1 Materijal pokrovnih ploča:</b> .....	11
<b>3.2 Konačan izgled nadstrešnice s krovnim pločama:</b> .....	12
<b>3.3 Opterećenje uzrokovano vlastitom težinom:</b> .....	13
<b>3.4 Opterećenje uzrokovano vjetrom:</b> .....	14
<b>3.5 Opterećenje nadstrešnice snijegom:</b> .....	24
<b>4 TEORIJSKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE:</b> .....	27
<b>5 ANALIZA I PROVJERA PRORAČUNA:</b> .....	33
<b>5.1 Analiza rezultata:</b> .....	34
<b>5.2 Dodatna provjera za CF-RHS 50x30x4 profil:</b> .....	37
<b>6 ZAKLJUČAK:</b> .....	41

# 1. UVOD

Tema ovog završnog rada iz kolegija Računarska analiza jest analiza i proračun čelične konstrukcije nadstrešnice za vozila. Nadstrešnica je konstrukcija koja pruža zaštitu od vremenskih nepogoda, bilo to: sunce, snijeg ili kiša. Uz namjene zaklona sama nadstrešnica jest nadzemni pokrov koji također može pružiti hladovinu. Po izvedbi je u pravilu otvorena sa sve četiri strane, no može biti oslonjena potpornim zidovima.

Zadatak ovog rada jest modelirati nadstrešnicu i provesti potrebni proračun kako bi se ostvario cilj same nadstrešnice tj. zaštita vozila od vremenskih nepogoda. Nadstrešnica će pokrivati dimenzije za različite tipove vozila, no isključivo će jedno vozilo imati mogućnost pokrivenosti. Nosiva konstrukcija je sastavljena od raznih grednih nosača. U svrhu analize primjenjuje se metoda konačnih elemenata koja će se detaljnije opisati u nadolazećim poglavljima. Uvjeti za vremenske nepogode biti će prilagođeni tako da odgovaraju uvjetima u regiji grada Rijeka u Primorsko-goranskoj županiji.

## 1.1 ConSteel software:

Software ConSteel se koristi metodom konačnih elemenata kako bi vršio analizu čeličnih ili kompozitnih konstrukcija. Sadržava mogućnosti poput: projektiranja, modeliranja, analize i dokumentacije. Svi procesi su sukladni Europskim normama Eurocode-a EN 1993-1-1-2005.

## 1.2 Europske norme (Eurocode):

Eurocode-ovi su europske norme i pravila za proračunavanje raznih građevinskih konstrukcija na području Europske unije. Obrađuju predvidive tipove opterećenja i njihov utjecaj na konstrukcije. Pokrivaju glavne građevinske materijale poput betona, čelika, drva i aluminijske te važna područja konstrukcije (opterećenja, protupožarna zaštita, osnovno modeliranje itd.) [1]. Smatrana najnaprednijim svjetskim pravilima za proračun konstrukcija, obvezni su za primjenu u javnim nabavama. Cilj Eurocode-ova postaje ukloniti tehničke prepreke u trgovini, usklađivanje tehničkih pravila proračuna te zamjena pravila u državama članicama. Personalizacije, odnosno nacionalni dodatci koji sadrže nacionalno određene parametre (postupci proračuna, odabir vrijednosti koje Eurocode ne definira i specifične klimatske te geografske podatke) mogući su isključivo tamo gdje Eurocode to dopušta.



Eurocode-ovi su podijeljeni na 10 odlomaka te su svi odlomci (osim EN 1990) podijeljeni na dijelove koji su specifični za određena svojstva i aspekte promatrane konstrukcije. Odlomci su definirani kao [2]:

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 zidanih konstrukcija

EN 1997, Eurokod 7: Geotehničko projektiranje

EN 1998, Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija

EN 1999, Eurokod 9: Projektiranje aluminijskih konstrukcija

### **1.3 Metoda konačnih elemenata**

Metoda konačnih elemenata (MKE) je numerička metoda koja služi za provođenje analize konačnih elemenata bilo kakvog fizičkog objekta [3]. Nužno je poznavanje fizičkih pojava poput strukturnog i fluidnog ponašanja nekog objekta kako bi se dalje mogli izraziti u obliku diferencijalnih jednadžbi. Ovom tehnikom se kontinuum s beskonačno mnogo stupnjeva slobode ustvari zamjenjuje diskretnim i međusobno povezanim elementima s konačnim brojem stupnjeva slobode. Zbog problema koji se svodi na sustav jednadžbi s velikim brojem nepoznanica, najčešće se koriste računala pomoću kojih se dalje može omogućiti modeliranje raznih konstrukcija. Nedostatci metode konačnih elemenata se nalaze u potrebi za velikom količinom podataka, odnosno parametara za generiranje rezultata i nesavršenost metode u smislu dobivanja približne vrijednosti kao rezultat koji može samo težiti realnom.

## 2 DIZAJN NADSTREŠNICE ZA VOZILA:

### 2.1 Oblik nadstrešnice

Početni uvjeti za izradu razlikuju se po potrebama dimenzije, estetike i konstrukcijske stabilnosti. Pod potrebama konstrukcijske stabilnosti odlikuje se karakteristika za stabilnošću cijele nadstrešnice pod opterećenjem vlastite težine, vjetra i oborina. Kako je uvjet dizajniranja nadstrešnice estetska privlačnost, korigirani jednostavan izgled će biti dostatan. Ideja za model nadstrešnice polazi od želje za poigravanjem težišta cijelog modela te nakošenosti dijelova.

- Ideje modela nadstrešnice su sljedeće:



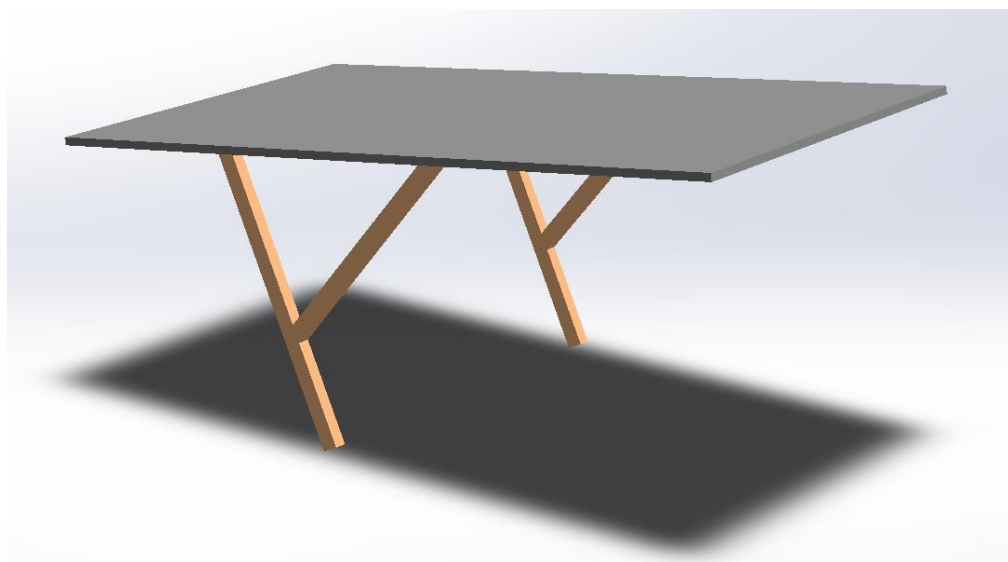
*Slika 2.1 Primjer 2. nadstrešnice*



*Slika 2.2 Primjer 1. nadstrešnice*

## 2.2 Vizualizacija idejne konstrukcije nadstrešnice u software-u SolidWorks:

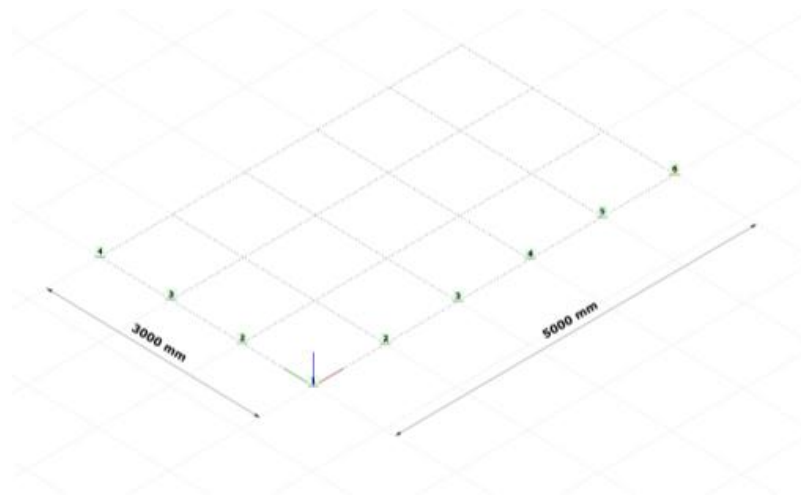
Na temelju postojećih modela nadstrešnica dizajnira se konstrukcija s nakošenim pokrovom podržanom nosećim stupovima. Za potporu krova nadodaju se dodatne rešetke čime se pospješuje stabilnost nadstrešnice. Rešetkaste grede su postavljene okomito u odnosu na nosive grede te se ploča pokrova naknadno dodaje (slika 2.3).



*Slika 2.3 Dizajn nadstrešnice u programu SolidWorks*

## 2.3 Uvodni dizajn:

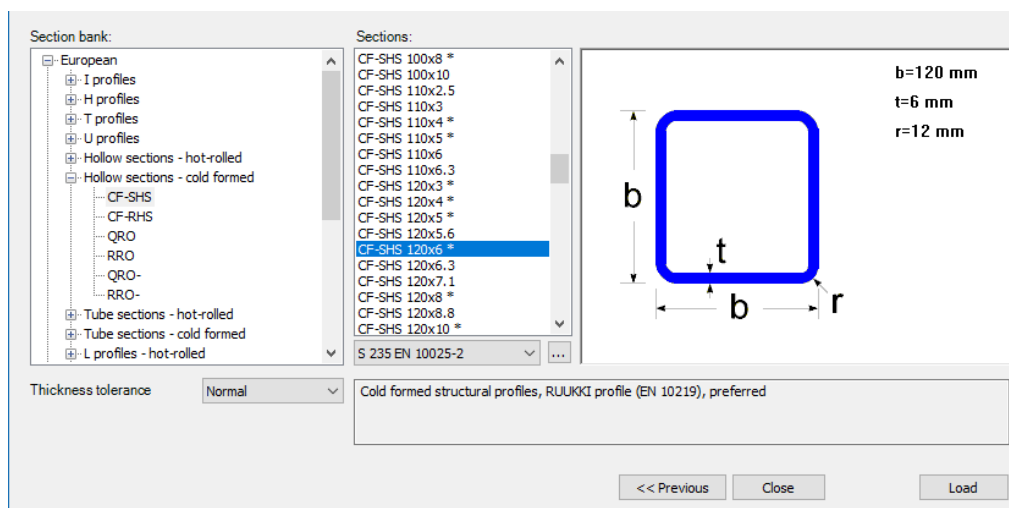
Za potrebe modeliranja koristiti će se software CONSTEEL. Navedeni software ima mogućnost dizajniranja metalne konstrukcije uz pomoć standardnih modela stupova i greda te računanja napreznja ostvarena vlastitom težinom, vanjskim uvjetovanim silama itd. Postavljanjem mreže potrebnih dimenzija kreira se okvir za jednostavniju izradu konstrukcije (slika 2.4).



Slika 2.4 Okvir zadanih dimenzija

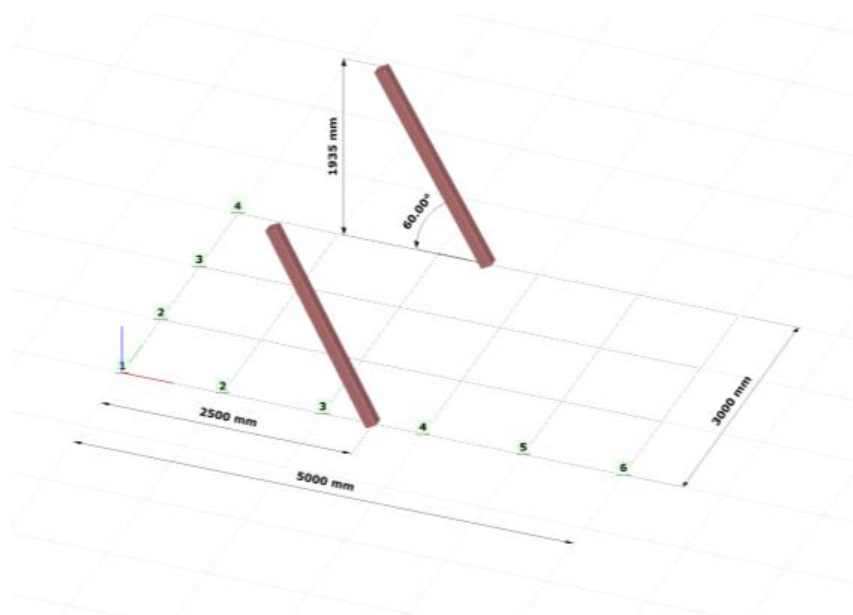
## 2.4 Odabir potpornih stupova:

Početni tip stupova jest stup profila CF-SHS 120x6, standardnog čelika S235 EN 10025-2. Karakteristike spomenutog profila su (slika 2.5):



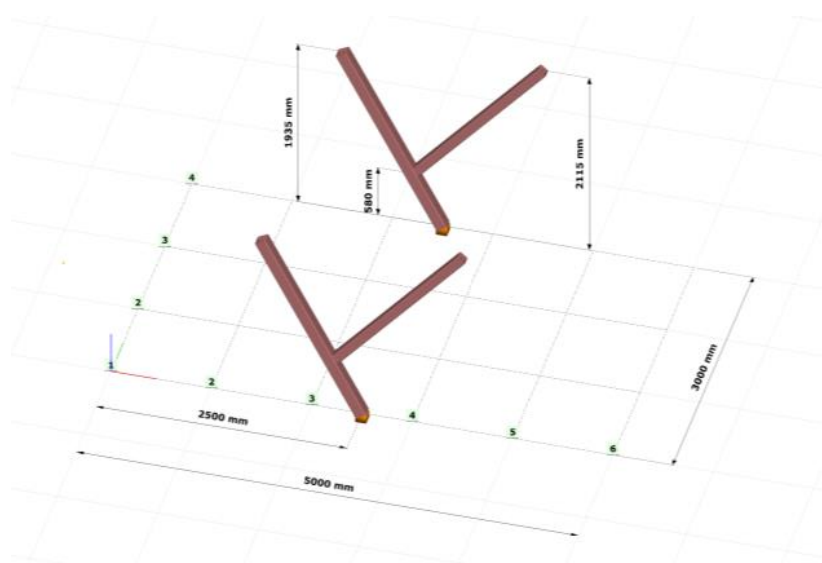
Slika 2.5 Karakteristike profila CF SHS 120x6

Uvjetovano dizajnom nadstrešnice, potporni stupovi se postavljaju pod nagibom od  $60^\circ$  između površine tla i centralne osi samog stupa. Sama visina spomenutih stupova jest pod nagibom jednaka 1935mm. Potreba uležištenja je zadovoljena ugradnjom stupova na točkasti oslonac.



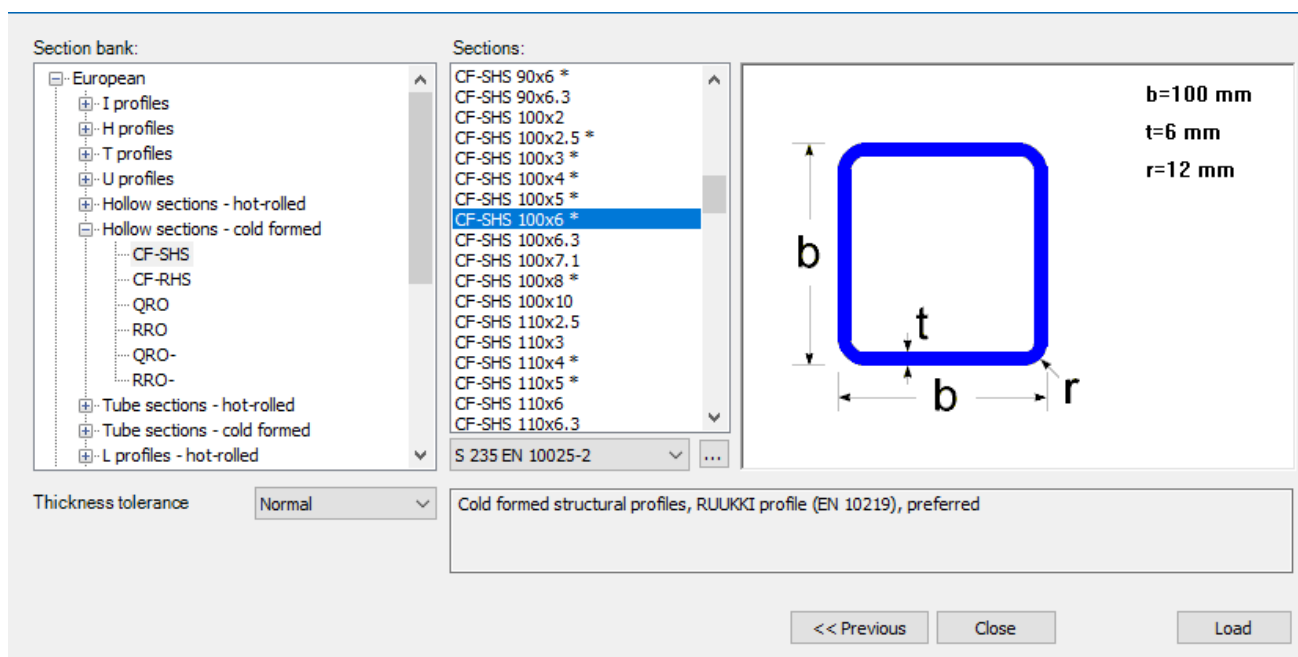
Slika 2.6 Pozicioniranje potpornih stupova

Drugi tip stupa koji se koristi je istog profila drugačijih dimenzija: CF SHS100x6. Navedeni stup se ugrađuje na visini od 580mm pod nagibom od  $50^\circ$  između stupa i horizontale. Visina koju stup postiže pod nagibom jest 2115mm (slika 2.7).



Slika 2.7 Drugi potporni stup

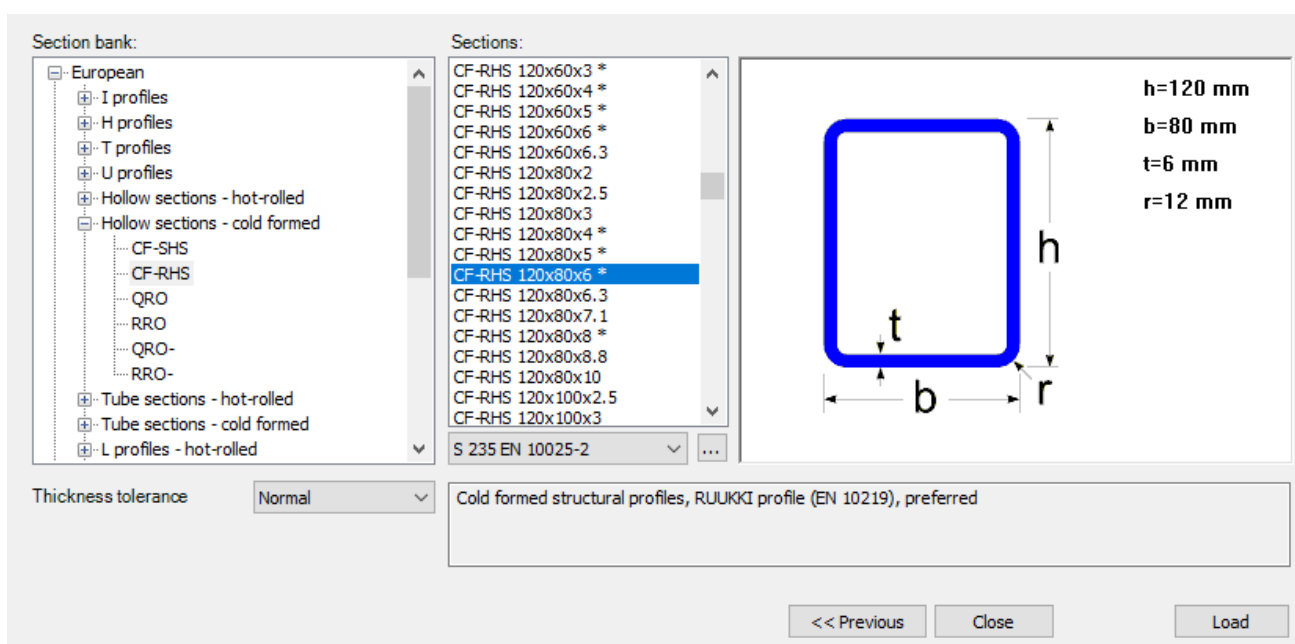
Karakteristike profila CF SHS100x6 su (slika 2.8):



Slika 2.8 Parametri profila CF-SHS 100x6

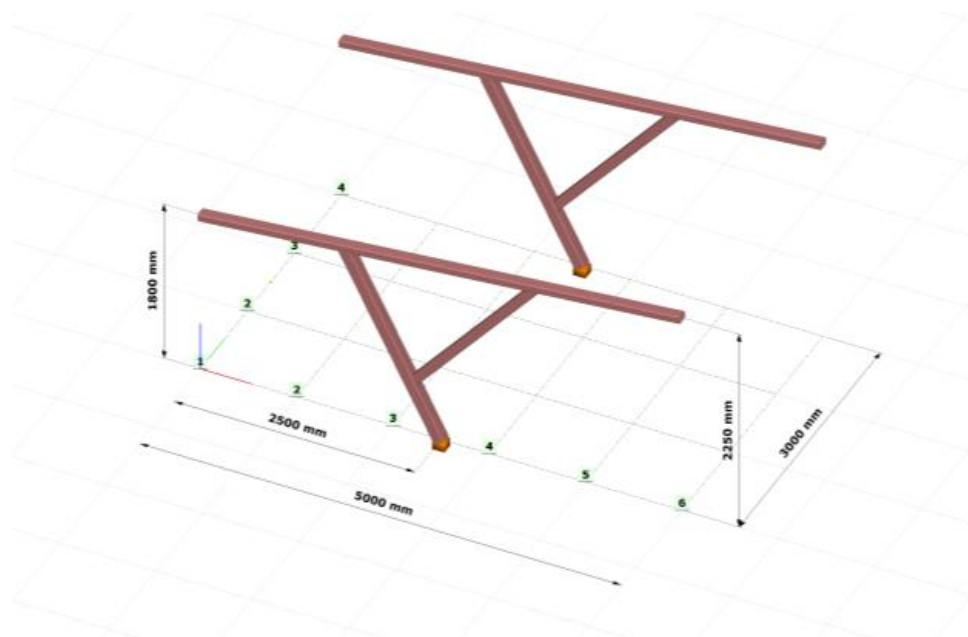
## 2.5 Odabir pokrovnih greda:

Pokrovna greda za navedenu konstrukciju je greda profila CF-RHS 120x80x6 standardnog hladnog valjanog čelika S235 EN 10025-2. Parametri profila su sljedeći (slika 2.9):



Slika 2.9 Karakteristike profila CF RHS 120x80x6

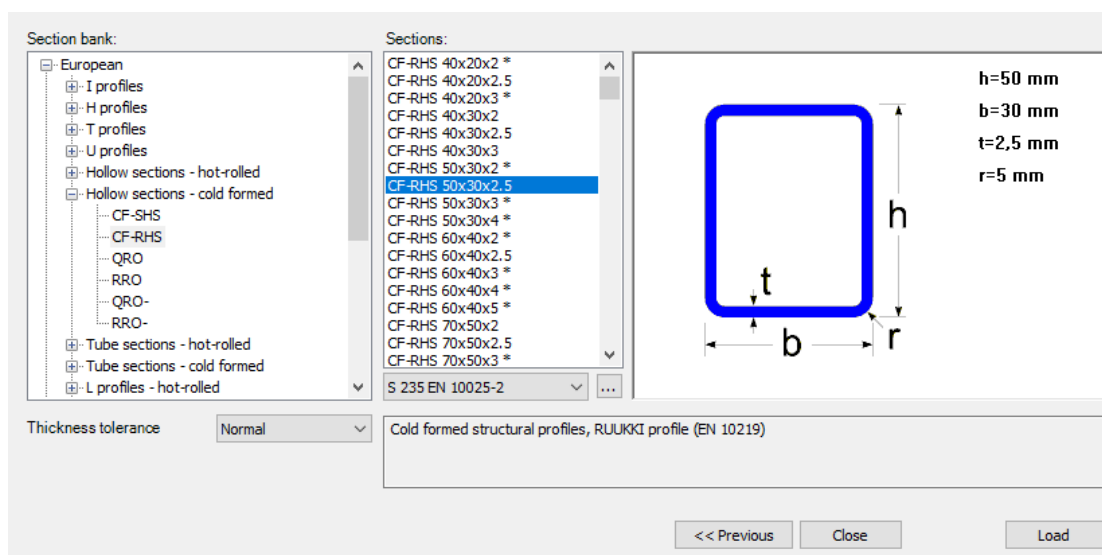
Pokrovna greda je pozicionirana duž potpornih stupova s većom stranicom veličine  $h$  u kontaktu sa stupovima. Kompletna greda je postavljena tako da s horizontalom i srednjom osi grede zatvara kut od  $5^\circ$  (slika 2.10).



Slika 2.10 Pozicioniranje profila CF-RHS 120x80x6

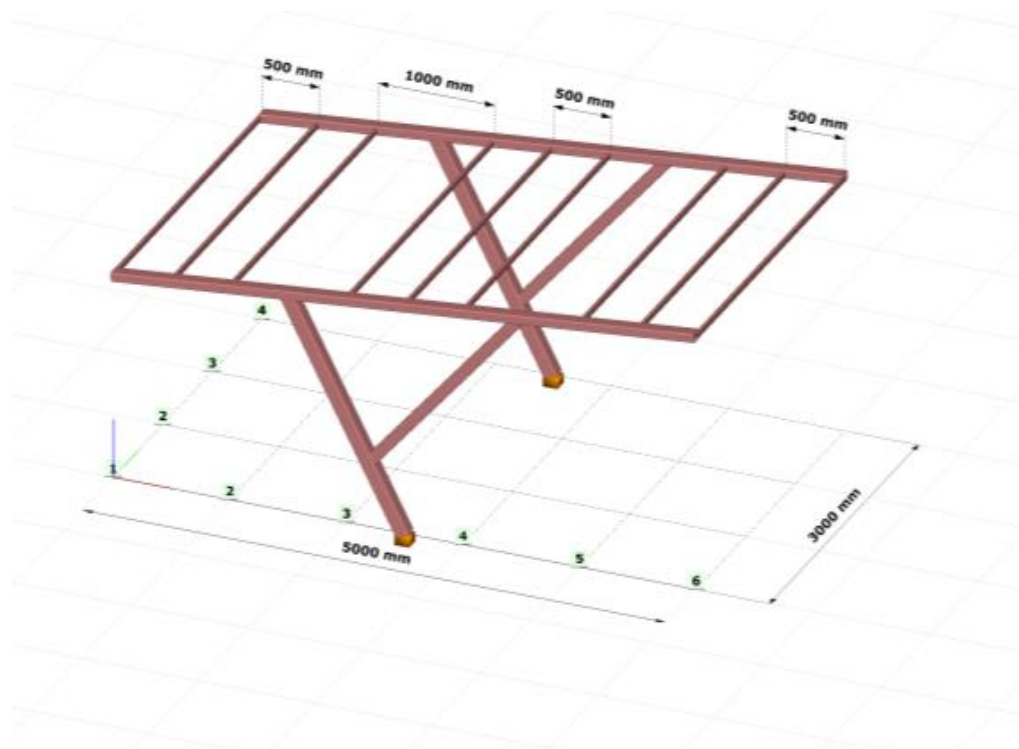
## 2.6 Odabir rešetki između greda:

Profil rešetki je CF-RHS 50x30x2,5 standardnog čelika S235 EN 10025-2 (slika 2.11).

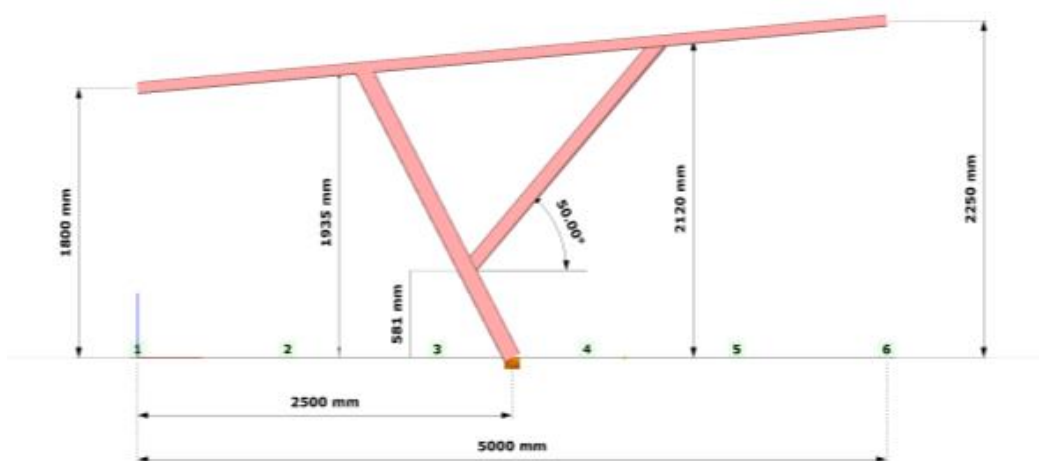


Slika 2.11 Karakteristike profila CF-RHS 50x30x2,5

Sustav rešetki je sastojan od 9 rešetki poprečno povezanih s pokrovnim gredama. Rešetke u prvom triju su ekvidistantne na 0,5 metara, a udaljenost između sljedećeg skupa jest 1 metar.



Slika 2.12 Pozicioniranje rešetki profila CF-RHS 50x30x2,5



Slika 2.13 Bočni prikaz nadstrešnice



## 2.7 Definiranje karakteristika profila grednih i rešetkastih elemenata:

U daljnjem proračunu koristiti će se sljedeći parametri[3] za pojedine elemente (tablica 2.1):

Tablica 2.1 Prikaz karakteristika pojedinih profila

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 osi y $W_{pl,y} [mm^3]$	Plastični moment otpora po osi z $W_{pl,z} [mm^3]$
CF-SHS 120x6	2635	5 593 509	5 593 509	112 000	112 000
CF-SHS 100x6	2155	3 095 652	3 095 652	75 100	75 100
CF-RHS 120x80x6	2155	4 032 549	2 138 484	87 290	65 510
CF RHS 50x30x2.5	357	112 134	50 233	5 700	3 980

### 3 ODREĐIVANJE OPTEREĆENJA NADSTREŠNICE:

Sama nadstrešnica sadrži početno opterećenje težine uzrokovano vlastitom masom. Dodatno će se odrediti utjecaj opterećenja vjetra i snijega u uvjetima na području Primorsko-goranske županije. Parametri koji određuju specifične uvjete za navedeno područje moguće je naći u samom software-u Consteel. Svo oslonci se definiraju kao uklještenja te se proračun vrši prema normi EN 1991 [4].

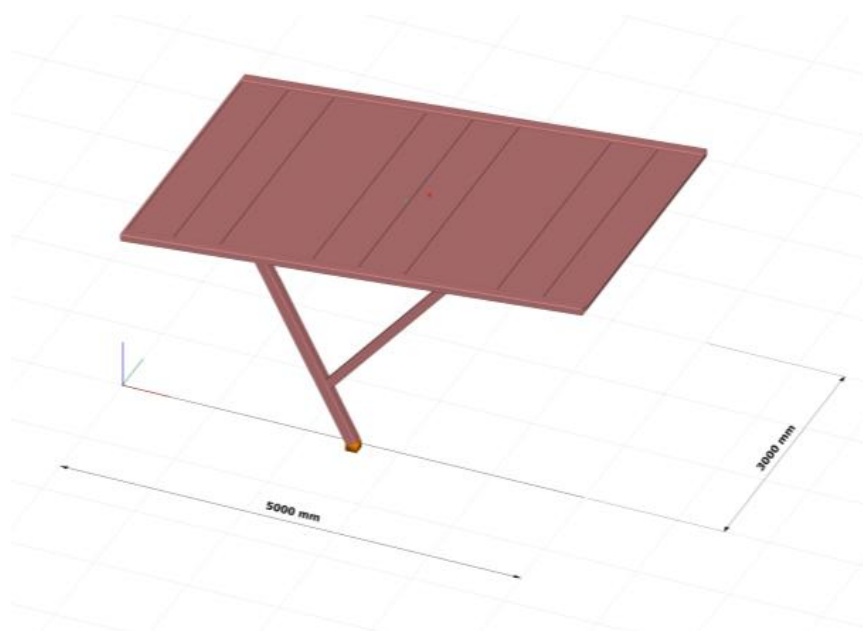
#### 3.1 Materijal pokrovnih ploča:

Za materijal krovnih ploča nadstrešnice koristiti će se čelik S 235 EN 10025-2[5] debljine 4mm. Ploče su pogodne zbog dobrih mehaničkih svojstava. Svojstva su prikazana sljedećom tablicom (tablica 3.1):

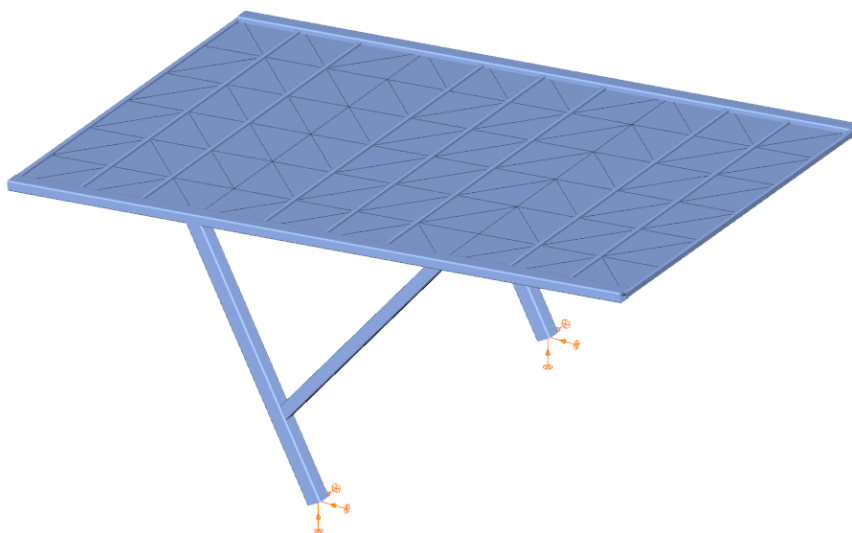
Tablica 3.1 Tablični prikaz svojstava krovnih ploča

Gustoća	$P[kg/mm^2]$	7850
Modul elastičnosti	$E[N/mm^2]$	2100000
Poissonov faktor	$\nu$	0,3
Koeficijent toplinske rastezljivosti	$\alpha[1/^\circ C]$	0,000012
Granica tečenja	$f_{yb}[N/mm^2]$	215
Vlačna čvrstoća	$f_u[N/mm^2]$	360

### 3.2 Konačan izgled nadstrešnice s krovnim pločama:



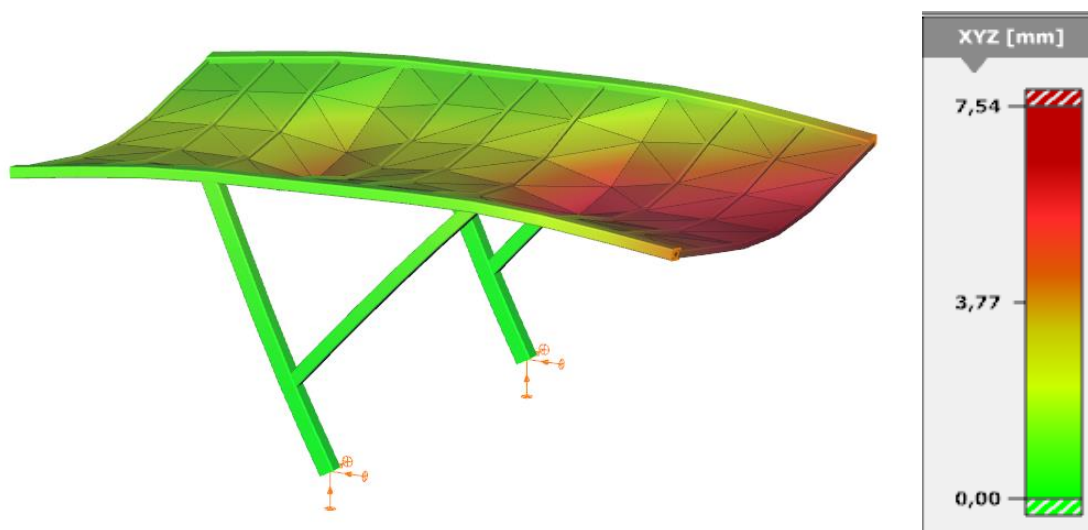
Slika 3.1 Konačan dizajn nadstrešnice



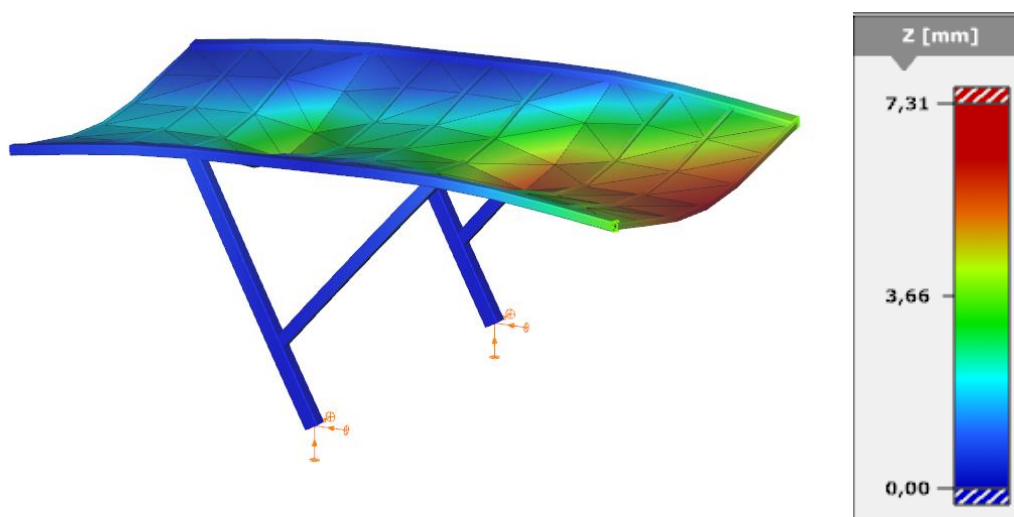
Slika 3.2 Nadstrešnica s izraženom mrežom konačnih elemenata

### 3.3 Opterećenje uzrokovano vlastitom težinom:

Razna opterećenja mogu djelovati na konstrukciju, a pritom varirati ovisno o dizajnu, lokaciji te različitim vanjskim uvjetima. Projektni zahtjevi općenito su definirani s obzirom na maksimalna opterećenja s kojima se konstrukcija može susresti i mora izdržati. Primjer statičkog opterećenja jest opterećenje na vlastitu težinu strukturnih elemenata poput greda, zidova i krova. Takvo opterećenje je relativno konstantno tijekom vremena (slika 3.3, slika 3.4).



Slika 3.3 Dijagram pomaka opterećenjem vlastite težine

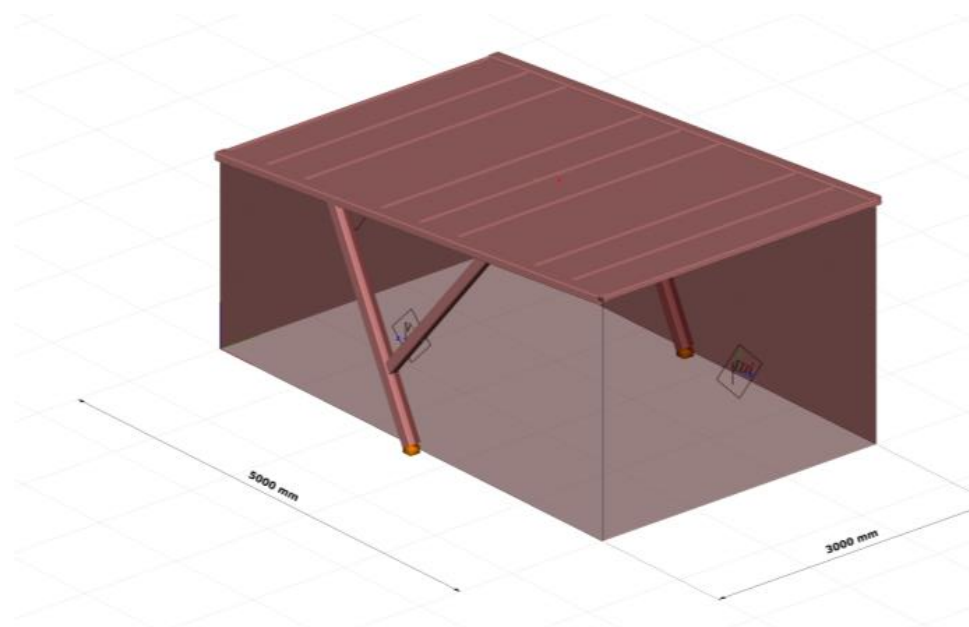


Slika 3.4 Progib čvorova nadstrešnice po z - osi

Consteel ima opciju uz analizu, grafički prikazati progibe pojedinih čvorova i kontrastom boja se može vizualizirati područja gdje raste progib. Maksimalan progib nalazi se na vrhu same nadstrešnice u srednjem čvoru. Ukupni progib jest zbroj progiba u smjerovima po xyz-osima. Najveći progib je izražen duž vertikalne osi i iznosi 7,31 mm.

### 3.4 Opterećenje uzrokovano vjetrom:

Opterećenje vjetrom računa se prema Eurokod normi EN 1991-1-4 [6]. Odabirom Hrvatske kao države sa specifičnim vremenskim parametrima i zaokruživanjem Primorsko-goranske županije Consteel nudi potrebne koeficijente za rad proračuna. Radi jednostavnosti samog proračuna ispituju se samo ekstremni uvjeti koji slijedno tome uzrokuju maksimalno naprezanje za dani uvjet.



Slika 3.5 Definiranje meteoroloških površina vjetra

Opterećenje vjetrom se računa prema jednadžbi (3.1):

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

Gdje je:

$c_{pi}$	<i>koeficijent unutarnjeg pritiska vjetra</i>
$c_{pe}$	<i>koeficijent vanjskog pritiska vjetra</i>
$q_p$	<i>maksimalni tlak vjetra</i>
$s$	<i>udaljenost između nosivih elemenata</i>

Faktor maksimalnog tlaka vjetra (3.2):

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

Gdje je:

$q_p$	<i>maksimalni tlak vjetra</i>
$v_m(z)$	<i>srednja brzina vjetra</i>
$\rho$	<i>gustoća zraka (1,25 kg/m<sup>3</sup>)</i>
$I_v$	<i>intenzitet turbulencija</i>

Faktor srednje brzine najviše ovisi o regiji gdje bi se konstrukcija nalazila. Osim lokacije koja utječe na srednju brzinu vjetra, okolina je također bitna. Okolina je ta koja utječe na intenzitet samih turbulencija. U ovom proračunu nadstrešnica će biti pozicionirana ovisno o maksimalnim brzinama i najstrožim uvjetima kako bi se mogla postaviti na cijelom području Primorsko-goranske županije. Srednja brzina će biti dobivena pomoću izraza (3.3):

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

Gdje su:

$v_m(z)$  srednja brzina vjetra

$c_r(z)$  faktor trenja

$c_0(z)$  orografski faktor

$v_b(z)$  osnovna brzina vjetra

Faktor trenja se može odrediti uz pomoć dodatnih funkcija u software-u Consteel gdje se precizno može odabrati ovisno o materijalu konstrukcije (konstrukcijski čelik S235JR).

Orografski faktor  $c_0(z)$  se određuje korištenjem prethodne funkcije u Consteel software-u. Potrebno je dodatno odabrati teritorij, tj. zemljište. Zemljišta se dijele prema kategorijama koje najbolje opisuju zemljište instalacije. Kako bi se zadovoljila potreba nadstrešnice, sama nadstrešnica u Primorsko-goranskoj županiji će se nalaziti na području s redovnom pokrivenošću vegetacijom i izoliranim preprekama (drvećem, građevinama) [7], tj. III zona. Kategorije su detaljno definirane u tablici EN 1991-1-4 (tablica 3.2).

Tablica 3.2 Značajke kategorija zemljišta

Kategorija zemljišta		$z_0$ [m]	$z_{min}$ [m]
0	More ili obalno podričje izloženo otvorenom moru	0,003	1
I	Jezera ili ravna područja sa zanemarivom vegetacijom i bez prepreka	0,01	1
II	Područja s niskom vegetacijom i izoliranim preprekama (drvećem, građevinama)	0,05	2
III	Područja s redovnom pokrivenošću vegetacijom ili građevinama (sela, predgrađa, šume)	0,3	5
IV	Područja u kojima je najmanje 15% površine izgrađeno i čija prosječna visina prelaze 15m (gradovi)	1,0	10

Osnovna se brzina vjetra  $v_b$  određuje sljedećim izrazom (3.4):

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

Gdje je:

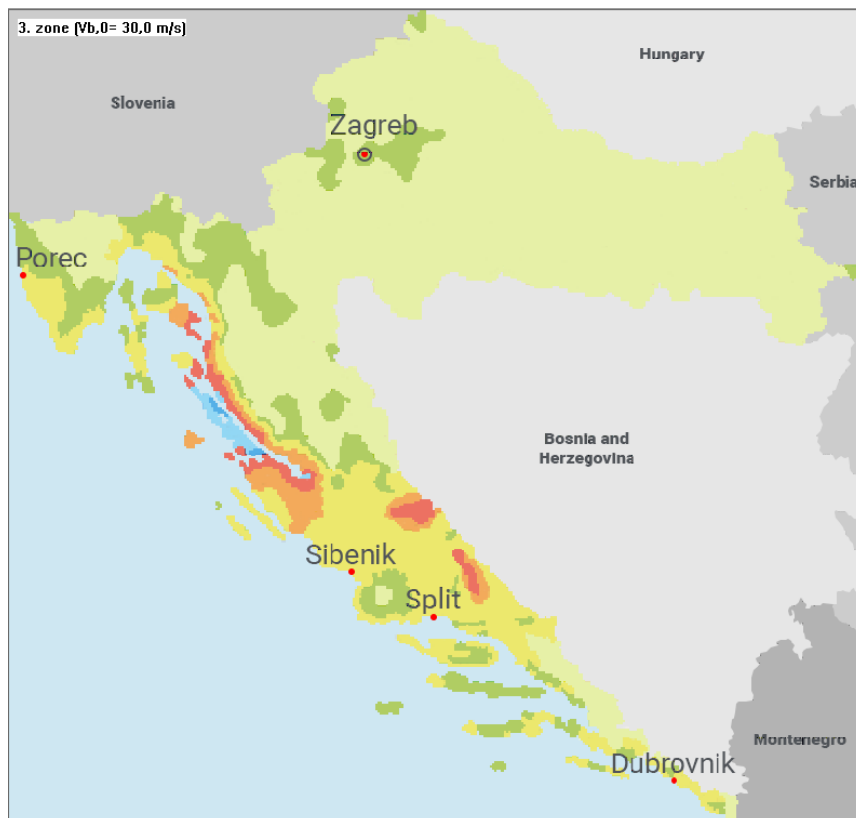
$c_{dir}(z)$	<i>faktor usmjerejna</i>
$c_{season}(z)$	<i>sezonski faktor</i>
$v_b$	<i>osnovna brzina vjetra</i>
$v_{b,0}(z)$	<i>početna brzina vjetra</i>

Prema preporukama u normi EN 1991-1-4 faktori  $c_{dir}$  i  $c_{season}$  poprimaju vrijednost 1. Consteel ima opciju prikaza karte vjetrova za teritorij Europe te države imaju svoje pojedinačne, preciznije karte. Osnovna brzina vjetra  $v_{b,0}$  određena je na karti vjetrova Hrvatske u priloženom dodatku Eurocode-a [7]. U Hrvatskoj se razlikuju više zona vjetrova te se vrijednosti brzina kreću od 20-40 m/s. Spomenute zone su prikazane tablično i grafički na sljedećoj karti. Odabir početne brzine vjetra  $v_{b,0}$  jest 30 m/s, a time je osnovna brzina jednake vrijednosti (tablica 3.3).

Tablica 3.3 Zone vjetrova Hrvatske

Zone	Početna brzina vjetra $v_{b,0}$ [m/s]
I	20
II	25
III	30
IV	35
V	40





Slika 3.6 Karta vjetrova na području Hrvatske

Parametar intenziteta turbulencije  $I_v$  se računa pomoću formule (3.5):

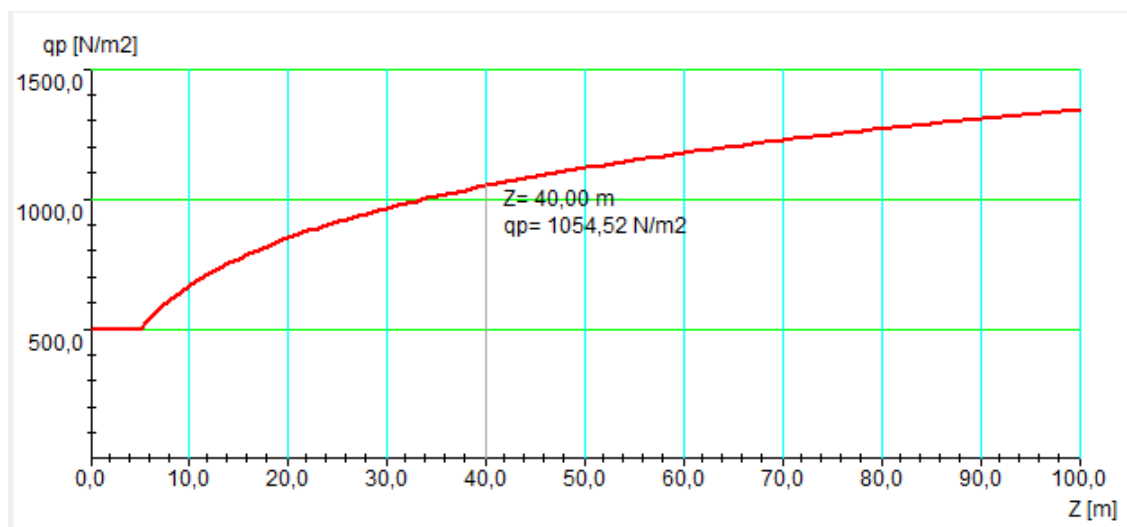
$$I_v = \frac{k_1}{c_0(z) \cdot \ln(z/z_0)} \quad \text{za} \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (3.5)$$

Koeficijent  $k_1$  predstavlja koeficijent turbulencije i preporučena vrijednost iznosi 1,0. Iz razloga što su vrijednosti  $z_{min}$  i  $z_0$  određene prilikom odrede kategorije regije, tj. zemljišta. Za vrijednost  $z_{max}$  odabrati će se vrijednost od 100 metara.

Maksimalni tlak vjetra se izražava kao (3.6):

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

ConSteel ima mogućnost prikazati grafički vrijednosti ovisne o visini:



Slika 3.7 Grafički prikaz maksimalnog tlaka vjetra

Vanjski pritisak vjetra na nadstrešnicu:

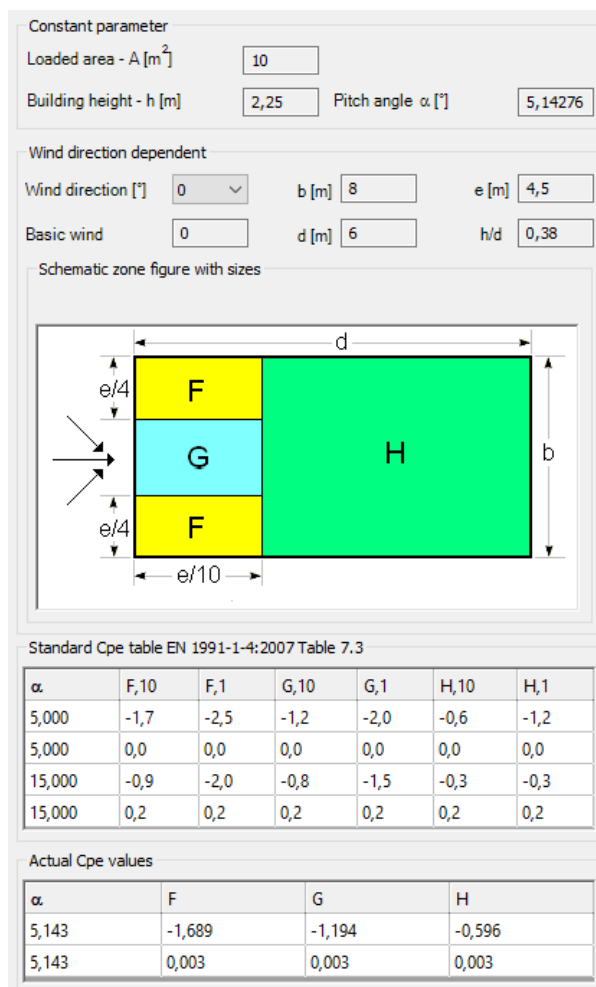
Vanjski pritisak se može izračunati pomoću formule (3.7):

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad (3.7)$$

Gdje parametri označavaju:

$q_p(z_e)$             *maksimalni tlak vjetra*  
 $c_{pe}$                 *koeficijent vanjskog tlaka*

Iz razloga što je maksimalan tlak funkcija ovisna o referentnoj visini, a koeficijent vanjskog tlaka  $c_{pe}$  ovisan je o nagibu krova i visini. Pokrov nadstrešnice definiramo kao krov sa jednom kosinom. Razlikuju se više zona čije koeficijente Consteel automatski računa ovisno o različitim dijelovima pokrova.



Slika 3.8 Koeficijenti vlastitog tlaka za pokrovnu ploču

Utjecaj unutarnjeg pritiska vjetra na konstrukciju (3.8):

Unutarnji pritisak se određuje formulom:

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

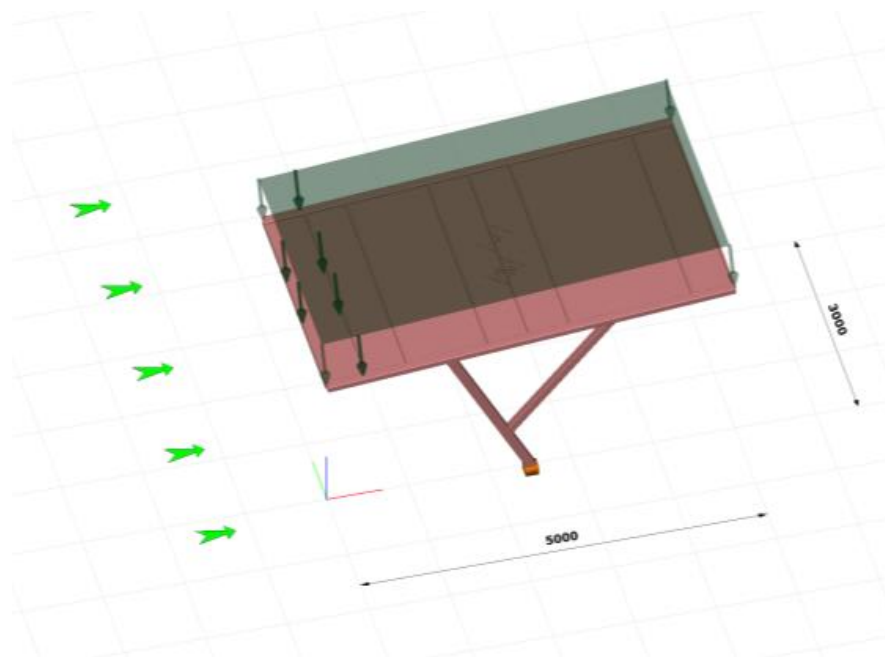
Poput djelovanja vanjskog pritiska, ovdje je djelovanje maksimalnog tlaka također ovisno o referentnoj visini  $z_i$ . Koeficijent  $c_{pi}$  jest koeficijent unutarnjeg tlaka direktno ovisan o veličini i raspodjeli otvora na konstrukciji [8]. Problematika definiranja ovisnih uvjeta određuje koeficijent unutarnjeg tlaka vrijednosti jednakoj 0,2.

Ukupno opterećenje konstrukcije vjetrom:

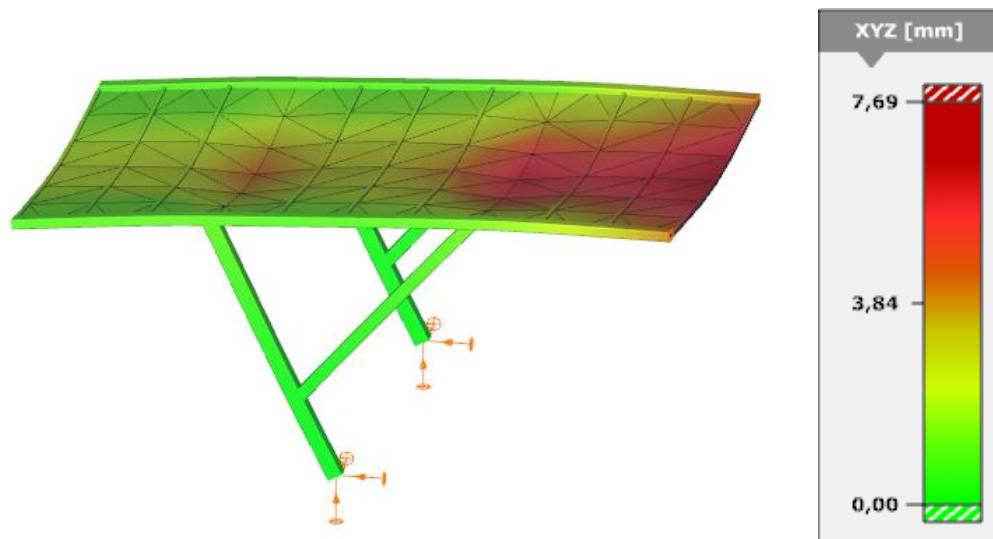
Djelovanjem vanjskog i unutarnjeg pritiska na nadstrešnicu, ukupno opterećenje konstrukcije računa se sljedećom formulom (3.9):

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

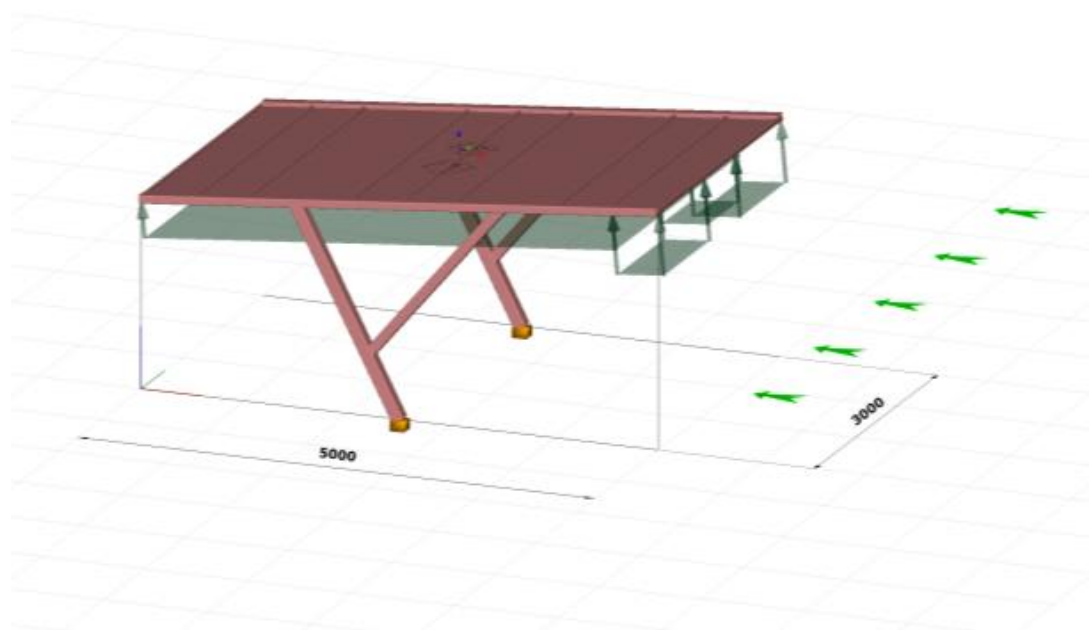
Parametar  $s$  u navedenoj formuli predstavlja udaljenost između dva nosiva stupa. Spomenuta udaljenost u ovom slučaju iznosi 3 m. Software Consteel ima mogućnost računanja utjecaja opterećenja vjetra iz različitih smjerova (slika 3.9, slika 3.11).



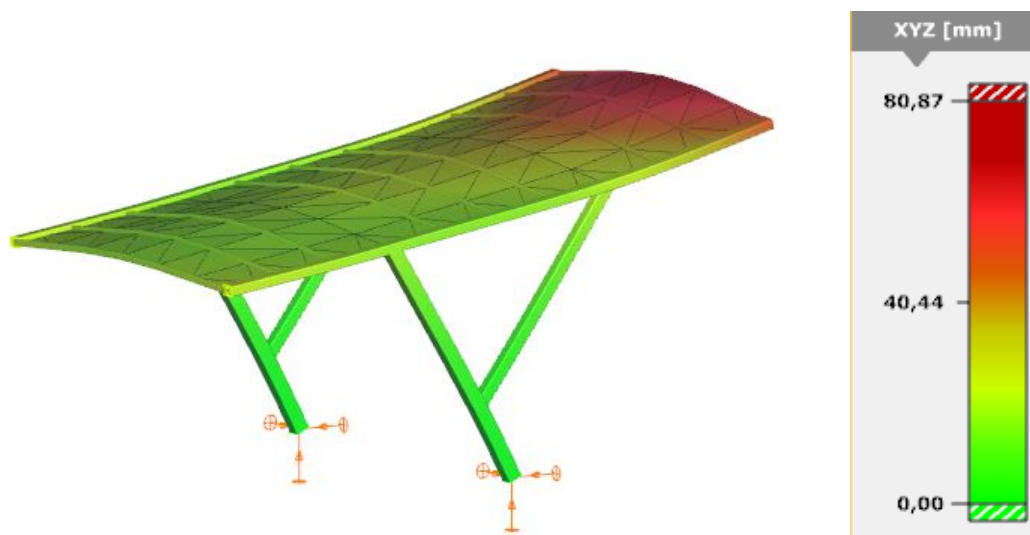
Slika 3.9 Djelovanje opterećenja vjetrom duž nadstrešnice



*Slika 3.10 Pomak uzrokovan opterećenjem vjetra duž nadstrešnice*



*Slika 3.11 Djelovanje vjetra u suprotnom smjeru i duž nadstrešnice*



*Slika 3.12 Opterećenje nadstrešnice vjetrom u suprotnom smjeru*

Iz prikazanih primjera može se vidjeti ovisnost opterećenja (slika 3.10, slika 3.12), odnosno pomaka nadstrešnice usred djelovanja vjetra na konstrukciju. Vidljivo je da je opterećenje nadstrešnice u suprotnom smjeru veće od opterećenja vjetrom duž nadstrešnice. Samim time, to je i slučaj s najvećim pomakom usred djelovanja vjetra i iznosi približno 81 mm.

### 3.5 Opterećenje nadstrešnice snijegom:

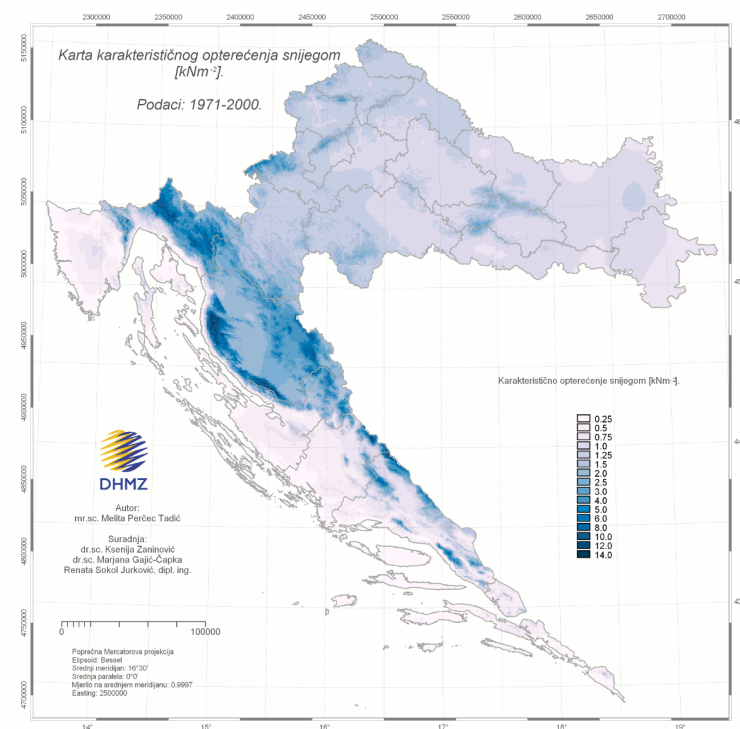
Opterećenje nadstrešnice snijegom računa se prema Eurokod EN 1991-1-3 normi[9]. Samo opterećenje se računa sljedećom formulom (3.10):

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

Gdje parametri označavaju:

- $\mu$                     *koeficijent oblika krova*
- $c_e$                    *koeficijent izloženosti vjetru*
- $c_t$                    *toplinski koeficijent*
- $S_k$                    *karakteristično opterećenje snijegom*

Parametar karakterističnog opterećenja snijegom  $s_k$  je ovisan o regiji te nadmorskoj visini zbog čega se treba referirati na kartu Hrvatske s karakterističnim opterećenjem snijega (slika 3.13). U ovom proračunu se uzima da je karakteristično opterećenje na području obale Primorsko-goranske županije jednako  $s_k = 0,5 \text{ kN/m}^2$ .

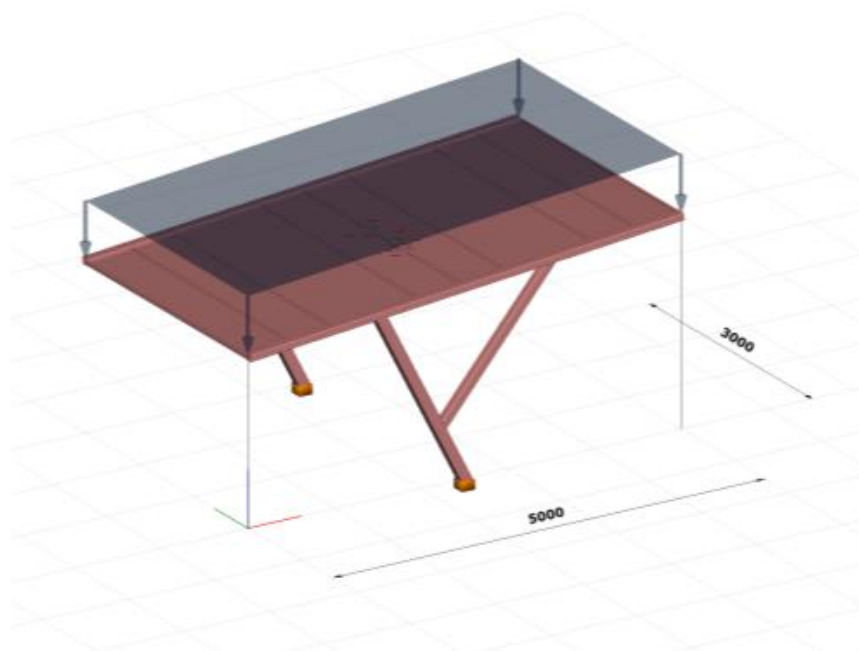


Slika 3.13 Karta opterećenja snijegom u Hrvatskoj

Parametar oblika krova  $\mu$  ovisi o samome nagibu krova. U slučaju gdje ne dolazi do nakupljanja snijega na krovu, koeficijent se očitava u ovom slučaju (tablica 3.4). Iz EN 1991-1-3 norme [10], koeficijent izloženosti vjetru  $c_e$  i toplinski koeficijent  $c_t$  odabrana je vrijednost iznosa 1.

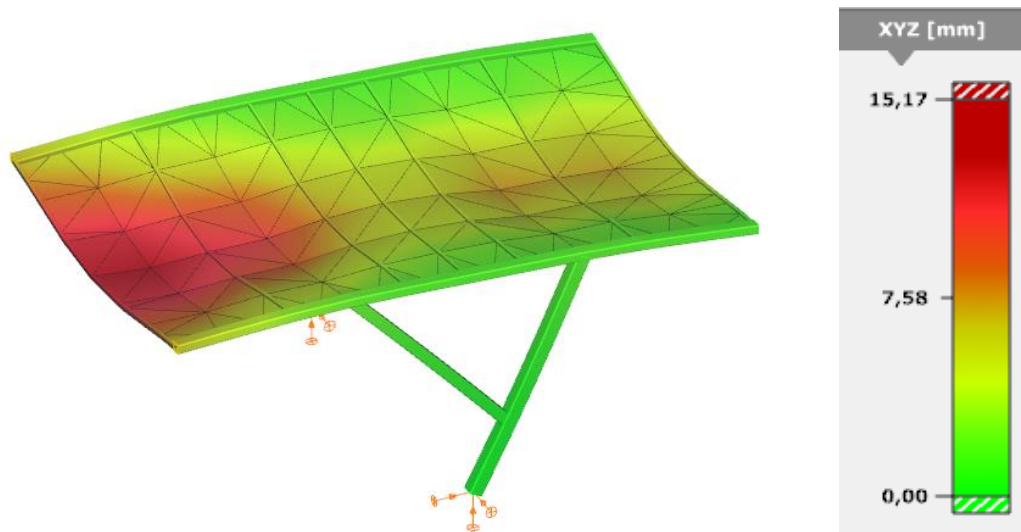
Tablica 3.4 Interakcija kuta nagiba krova i koeficijenta oblika krova

Kut nagiba krova $\alpha$	$0 \leq \alpha \leq 15^\circ$	$15^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
$\mu$	0,8	0,8	$0,8 \cdot (60 - \alpha) \cdot 30$	0,0

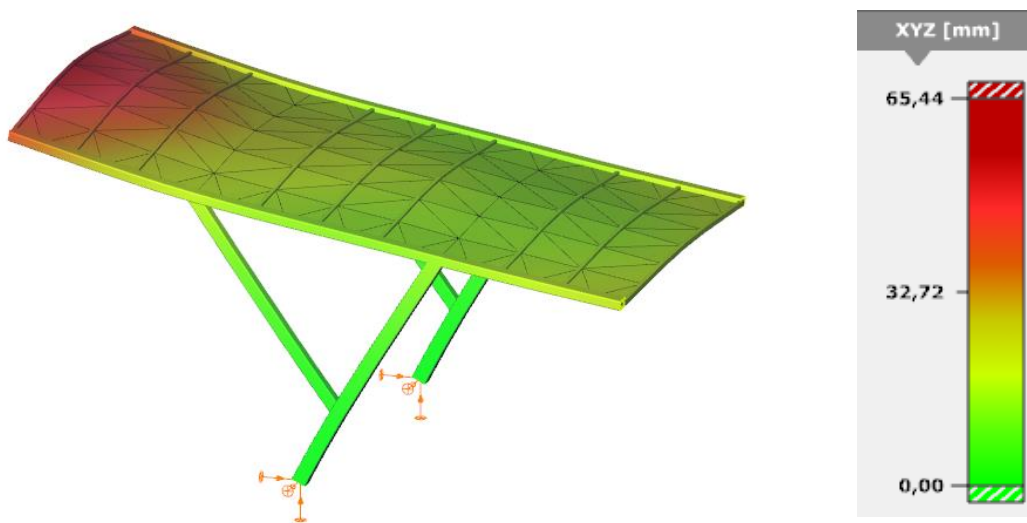


Slika 3.14 Prikaz opterećenja nadstrešnice snijegom





Slika 3.15 Pomak uzrokovan opterećenjem snijega



Slika 3.16 Pomak uzrokovan kombinacijom opterećenja snijega i vjetra

## 4 TEORIJSKI PRORAČUN KONSTRUKCIJE:

Uvođenjem opterećenja na vjetar i snijeg uz opterećenje vlastite težine definirana su sva predviđena opterećenja. U nastavku slijedi teorijski proračun koji služi za dodatnu provjeru. Proračun se vodi prema EN 1993-1-1 [11] normi i služi za uvid, zadovoljavaju li odabrani poprečni presjeci greda i stupova potrebnu nosivost. U nastavku će se također proračun usporediti s konkretnom funkcijom automatske provjere u software-u ConSteel. Navedena funkcija ima mogućnost određivanja kritičnog presjeka čiji proračun presjeka će se dodatno provjeriti.

U nadolazećem proračunu ispitivanje otpornosti poprečnih presjeka se prema EN 1993-1-1 normi provodi s obzirom na sljedeće otpornosti:

- Tlačna otpornost
- Otpornost na savijanje
- Posmična otpornost
- Otpornost s obzirom na interakciju momenta savijanja i aksijalnih sila
- Otpornost na izvijanje

Određivanje klase poprečnih presjeka prema EN 1993-1-1 normi:

- Klasa 1 - plastični poprečni presjeci
  - Predstavlja poprečne presjeke s plastičnim zglobovima koji imaju mogućnost rotacije veze dovoljnom da se omogući rotacije dobivene plastičnom analizom bez smanjenja otpora
  - Otpornost presjeka računa se prema teoriji plastičnosti
  
- Klasa 2 - kompaktni poprečni presjeci
  - Predstavlja poprečne presjeke koji mogu razviti svoje plastične momente otpora, ali imaju ograničenu mogućnost rotacije zbog lokalnog izvijanja
  - Otpornost presjeka računa se prema teoriji plastičnosti

- Klasa 3 - nekompaktni poprečni presjeci
  - Koriste se kod proračuna statičkih sustava prema teoriji elastičnosti te se prema istoj računa i otpornost presjeka
  
- Klasa 4 - vitki poprečni presjeci
  - Otpornost presjeka računa se prema teoriji elastičnosti

U ovom proračunu poprečni presjeci nadstrešnice spadaju u prvu klasi, gdje se otpornost računa prema teoriji plastičnosti.

Otpornost elemenata na tlak

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$N_{sd} < N_{c,Rd} \tag{4.1}$$

Otpornost poprečnih presjeka na tlak se određuje formulama:

Poprečni presjeci klase 1,2,3

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

Poprečni presjeci klase 4

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

Gdje su parametri:

- $N_{c,Rd}$       računaska otpornost poprečnog presjeka izloženog tlačnoj sili
- $A$               površina poprečnog presjeka
- $A_{eff}$         djelotvorna površina poprečnog presjeka
- $f_y$              granica tečenja čelika
- $\gamma_{M0}, \gamma_{M1}$     parcijalni faktori sigurnosti

Otpornost na savijanje

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

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

Otpornost poprečnih presjeka na savijanje određuje se formulama

Poprečni presjeci klase 1,2

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

Poprečni presjeci klase 3

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

Poprečni presjeci klase 4

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

Gdje su parametri:

$M_{c,Rd}$	računska otpornost presjeka izloženog savijanju
$M_{pl,Rd}$	plastična računski otpornost presjeka
$M_{el,Rd}$	elastična računski otpornost presjeku
$M_{O,Rd}$	elastična računski otpornost djelotvornog poprečnog presjeka izloženog savijanju
$W_{pl}$	plastični moment otpora poprečnog presjeka
$W$	elastični moment otpora poprečnog presjeka
$W_{eff}$	moment otpora djelotvornog poprečnog presjeka
$f_y$	granica tečenja čelika
$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}$	parcijalni faktori sigurnosti

Posmična otpornost

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

$$V_{sd} < V_{c,Rd} \quad (4.8)$$

Otpornost na posmik se računa po formuli:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}} \quad (4.9)$$

Gdje su parametri:

$V_{pl,Rd}$	plastična računska otpornost na posmik
$A_v$	djelotvorna posmična površina poprečnog presjeka
$f_y$	granica tečenja čelika
$\gamma_{M0}, \gamma_{M1}$	parcijalni faktori sigurnosti

Interakcija momenta savijanja i aksijalnih i smičnih sila

Provjera razine normalne sile:

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

Provjera razine poprečne sile

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

Također treba zadovoljiti uvjet:

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

Interakcija se računa po formuli

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

Otpornost na izvijanje

Potrebno je zadovoljiti uvjet:

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

Otpornost elemenata na izvijanje

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (4.15)$$

Gdje su parametri:

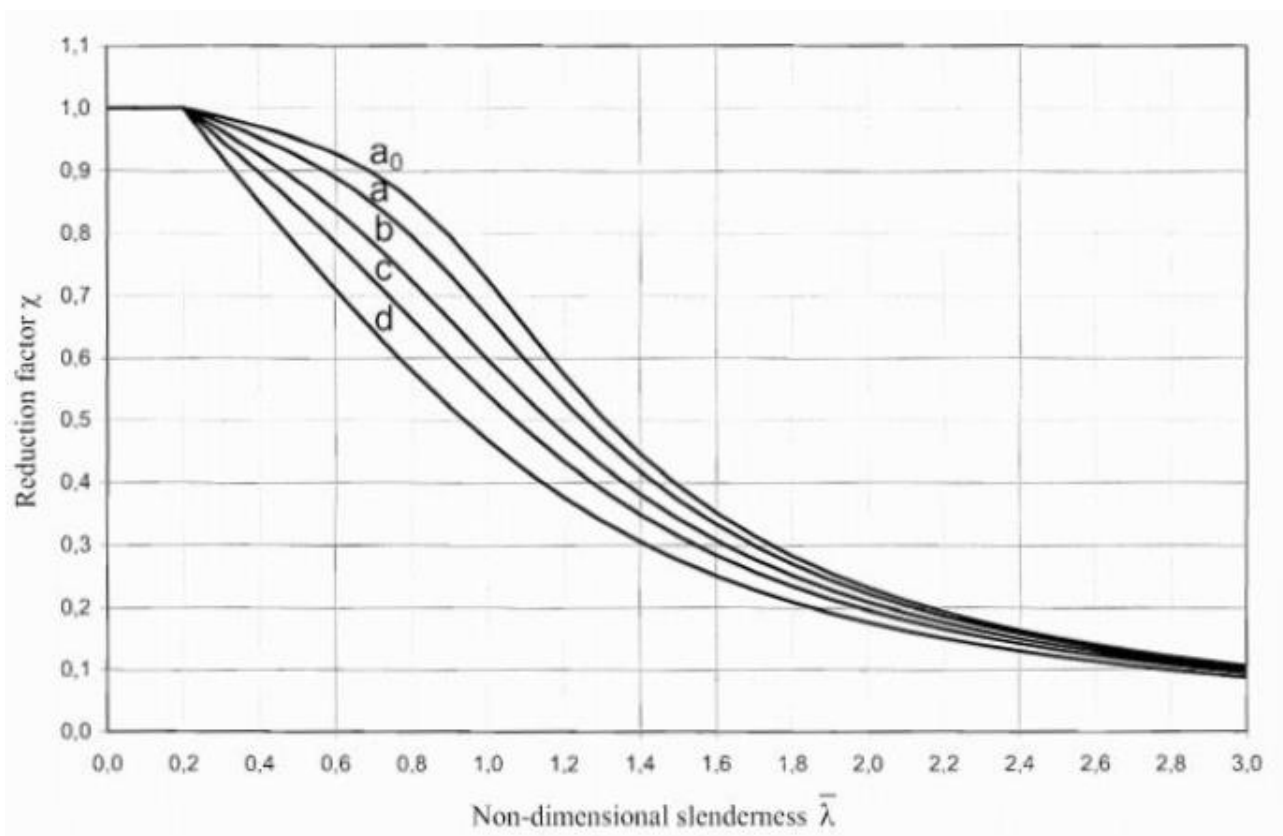
$\beta_A = 1$	za poprečne presjeke klase 1,2,3
$\chi$	redukcijski faktor
$A$	površina poprečnog presjeka
$\gamma_{M0}$	parcijalni faktor sigurnosti

Parametar redukcijskog faktora  $\chi$  se određuje pomoću vitkosti štapa  $\bar{\lambda}$  uz pomoć priloženog dijagrama. Vitkost se štapa za klase 1,2,3 računa sljedećom formulom:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} \quad (4.15)$$

Gdje su parametri:

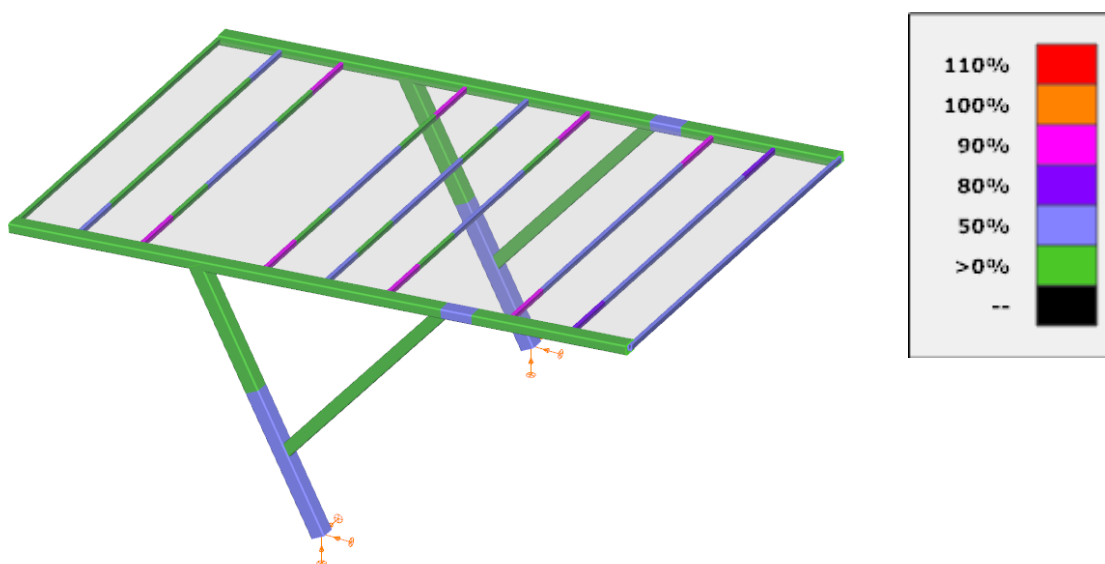
$\bar{\lambda}$	vitkost štapa
$f_y$	granica tečenja čelika
$A$	površina poprečnog presjeka
$N_{cr}$	Eulerova kritična sila



Slika 4.1 Dijagram redukcijskog faktora i vitkosti štapa

## 5 ANALIZA I PROVJERA PRORAČUNA:

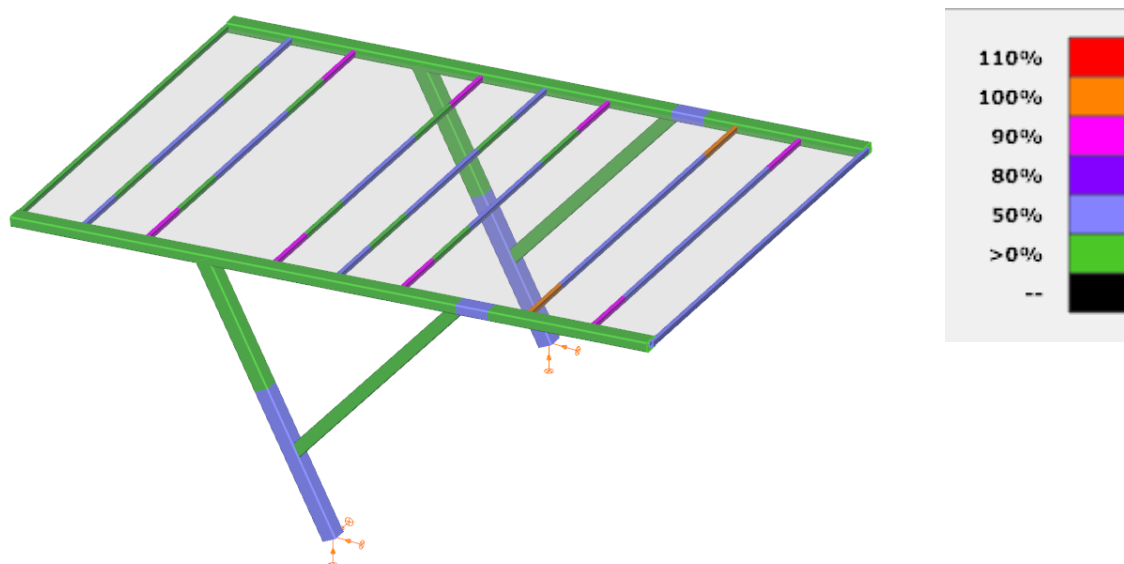
Iz prethodnih dijagrama utvrđeno je da utjecaj vjetra stvara najveće naprezanje, čak veće naprezanje i od istovremenog djelovanja snijega i vjetra. Software ConSteel ima mogućnost provjere otpornosti presjeka na čitava opterećenja te provjeru otpornosti na interakciju sila i momenata. Iz prikazanog rezultata vidljivo je kako presjeci jedva zadovoljavaju proračun, tj. neki elementi graniče maksimalnoj iskoristivosti od 100% (slika 5.1, slika 5.2).



Bar	Element	Node	Load combination	Examination	Utilization [%]
B39	108	k	Load combination-3	Pure resistances	94,3
B39	103	j	Load combination-3	Pure resistances	94,3
B36	90	k	Load combination-3	Pure resistances	93,6
B35	84	k	Load combination-3	Pure resistances	93,6
B35	79	j	Load combination-3	Pure resistances	93,6
B36	85	j	Load combination-3	Pure resistances	92,8
B38	97	j	Load combination-3	Pure resistances	90,6

Slika 5.1 Grafički prikaz provjere presjeka na sva opterećenja



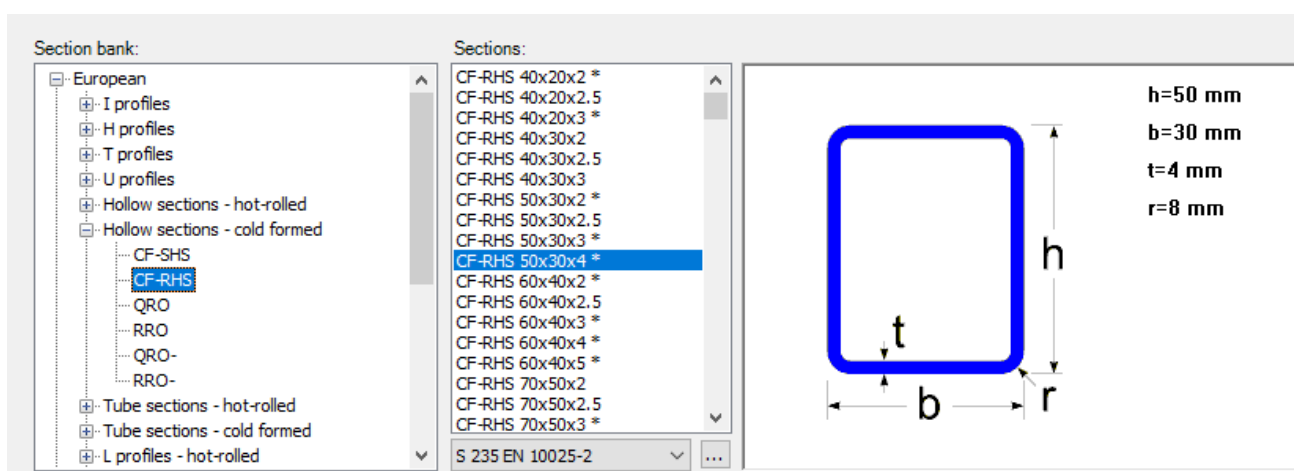


Bar	Element	Node	Load combination	Examination	Utilization [%]
B39	103	j	Load combination-3	Conservative interaction resistance	100,1
B39	108	k	Load combination-3	Conservative interaction resistance	100,1
B36	90	k	Load combination-3	Conservative interaction resistance	99,4
B35	84	k	Load combination-3	Conservative interaction resistance	99,0
B35	79	j	Load combination-3	Conservative interaction resistance	99,0
B36	85	j	Load combination-3	Conservative interaction resistance	98,7
B38	97	j	Load combination-3	Conservative interaction resistance	96,8

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

## 5.1 Analiza rezultata:

Vidljivo je kako su rešetkasti elementi nadstrešnice iznimno opterećeni u zadanim uvjetima. Iz navedenog razloga dovodi se odluka o promjeni profila za zadane rešetkaste elemente. Za novi profil, odabran je profil CF-RHS 50x30x4 standardnog čelika S235 EN 10025-2 (slika 5.3).



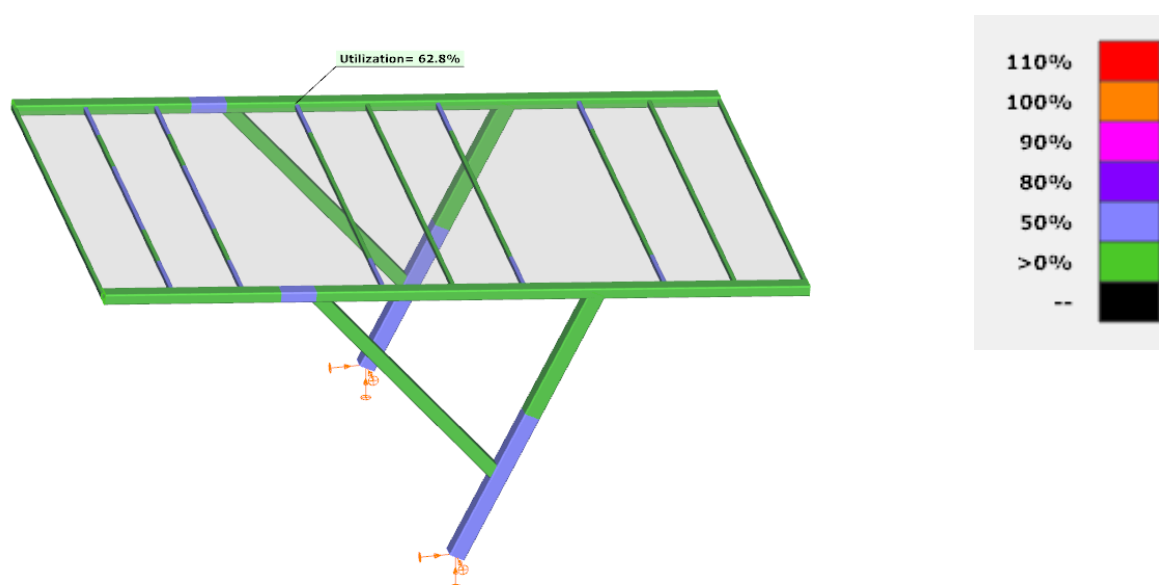
Slika 5.3 Karakteristike profila CF-RHS 50x30x4

Parametri novog profila (tablica 5.1):

Tablica 5.1 Parametri profila CF-RHS 50x30x4

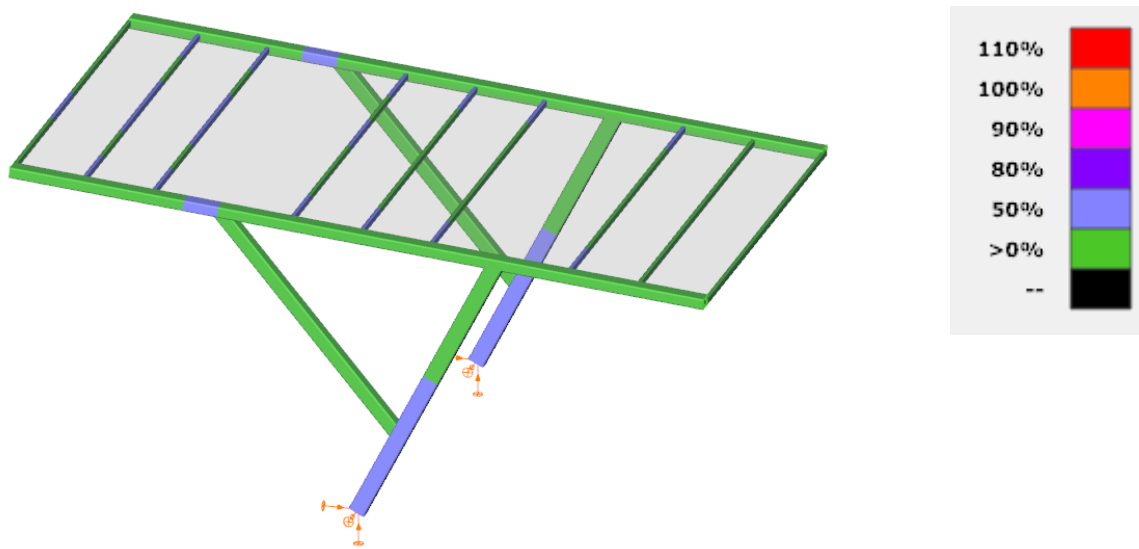
Profil	Površina $A [mm^2]$	Moment tromosti po osi y $I_y [mm^4]$	Moment tromosti po osi z $I_z [mm^4]$	Plastični moment otpora po osi y $W_{pl,y} [mm^3]$	Plastični moment otpora po osi z $W_{pl,z} [mm^3]$
CF-RHS 50x30x4	531	150 470	66 270	8 040	5 580

Uvođenje novog profila rešetke u konstrukciju (slika 5.4, slika 5.5):



Bar	Element	Node	Load combination	Examination	Utilization [%]
B52	13	j	Load combination-2	Pure resistances	65,4
B53	24	k	Load combination-2	Pure resistances	65,4
B52	18	k	Load combination-2	Pure resistances	65,4
B56	42	k	Load combination-2	Pure resistances	64,9
B53	19	j	Load combination-2	Pure resistances	64,9
B56	37	j	Load combination-2	Pure resistances	64,4
B55	36	k	Load combination-2	Pure resistances	62,8

Slika 5.4 Provjera novog presjeka na sva opterećenja



Bar	Element	Node	Load combination	Examination	Utilization [%]
B53	24	k	Load combination-2	Conservative interaction resistance	69,7
B52	18	k	Load combination-2	Conservative interaction resistance	69,3
B52	13	j	Load combination-2	Conservative interaction resistance	69,3
B53	19	j	Load combination-2	Conservative interaction resistance	69,2
B56	42	k	Load combination-2	Conservative interaction resistance	69,1
B56	37	j	Load combination-2	Conservative interaction resistance	68,6
B55	31	j	Load combination-2	Conservative interaction resistance	67,3

Slika 5.5 Prikaz provjere otpornosti novog presjeka s obzirom na interakciju sila i momenata

## 5.2 Dodatna provjera za CF-RHS 50x30x4 profil:

Tlačna otpornost (5.1)

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.1)$$

$$A = 531 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$N_{c,Rd} = \frac{531 \cdot 235}{1} = 124,785 \text{ kN} \quad (5.2)$$

$N_{sd} = 0,496 \text{ kN}$  – izračunato pomoću ConSteel proračuna

Uvjet je zadovoljen.

Otpornost na savijanje (5.3)

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.3)$$

os y - y

$$W_{pl,y} = 8040 \text{ mm}^3$$

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

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$M_{y,Rd} = \frac{8040 \cdot 235}{1} = 1,88 \text{ kNm}$$

$M_{y,sd} = 1,23 \text{ kNm}$  – izračunato pomoću ConSteel proračuna

Uvjet je zadovoljen.

os z - z

$$W_{pl,z} = 5580 \text{ mm}^3$$

$$M_{z,Rd} = \frac{5580 \cdot 235}{1} = 1,31 \text{ kNm}$$

$M_{y,Sd} = 0,05 \text{ kNm}$  – izračunato pomoću ConSteel proračuna

Uvjet je zadovoljen.

Posmična otpornost (5.4)

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{\gamma_{M0}} \tag{5.4}$$

$$A_y = 101 \text{ mm}^2$$

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

$$\gamma_{M0} = 1$$

os y - y:

$$V_{y,Rd} = 101 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1} = 13,7 \text{ kN}$$

$V_{y,Rd} = 0,12 \text{ kN}$  – izračunato pomoću ConSteel proračuna

Uvjet je zadovoljen.

os z - z

$$A_z = 217 \text{ mm}^2$$

$$V_{z,Rd} = 217 \cdot \frac{235}{\sqrt{3}} \cdot \frac{1}{1} = 29,4 \text{ kN}$$

$V_{z,Rd} = 2,58 \text{ kN}$  – izračunato pomoću ConSteel proračuna

Uvjet je zadovoljen.

Interakcija momenta savijanja i aksijalnih i smičnih sila:

$$N_{Sd} < 0,25 \cdot N_{Rd} \quad (5.5)$$

$$N_{Sd} = 0,496 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 125,78 \text{ kN}$$

$$0,496 < 0,25 \cdot 125,78 = 31,445 \text{ kN}$$

$$V_{Sd} < 0,5 \cdot V_{Rd} \quad (5.6)$$

$$V_{Sd} = 2,58 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 29,4 \text{ kN}$$

$$2,58 < 0,5 \cdot 29,4 = 14,7 \text{ kN}$$

$$M_{Sd} < M_{Rd} \quad (5.7)$$

$$M_{y,Sd} = 1,23 \text{ kN}$$

$$M_{y,Rd} = 1,414 \text{ kN}$$

$$1,23 \text{ kN} < 1,414 \text{ kN}$$

$$M_{z,Sd} = 0,05 \text{ kN}$$

$$M_{z,Rd} = 1,038 \text{ kN}$$

$$0,05 \text{ kN} < 1,038 \text{ kN}$$

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

$$\frac{0,496}{124,78} + \frac{1,23}{1,88} + \frac{0,05}{1,31} = 0,69 \leq 1$$

Uvjet je zadovoljen

Otpornost na izvijanje (5.8)

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot \beta_A \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.8)$$

$$\beta_A = 1$$

$$\chi = 1$$

$$A = 531 \text{ mm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1$$

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

$$N_{b,Rd} = \frac{1 \cdot 1 \cdot 531 \cdot 235}{1} = 124,78 \text{ kN}$$

$N_{sd} = 0,496 \text{ kN}$  – izračunato pomoću ConSteel proračuna

Uvjet je zadovoljen.

Dodatnom potvrdom proračuna može se zaključiti da su izračunati rezultati u programu ConSteel ispravni, a samim time je ispravno dimenzionirana. Iz dodatnog proračuna uočljivo je kako je najveće opterećenje za navedeni profil u obliku savijanja.

## 6 ZAKLJUČAK:

Zahtjev ovog rada jest dimenzionirati i konstruirati nadstrešnicu te izvršiti proračun s obzirom na razna opterećenja. Navedena konstrukcija je dimenzionirana tako da pokriva površinu dovoljnu za jedan auto, zbog čega sama nadstrešnica nije pogodna za velika parkirališta. Konstrukcija pokriva dimenziju zemljišta od 6x3 metara, a sastoji se od čeličnih stupova, gredi i rešetki. Kao pokrov samoj konstrukciji korištene su tanke čelične ploče debljine 4 mm. Modeliranje i analiza proračuna je omogućeno uz pomoć programa ConSteel.

Osim dizajniranja pojedinih dijelova konstrukcije potrebno je i definirati razna opterećenja s kojima se nadstrešnica može susresti. U svrhu personalizacije potreba nadstrešnice, parametri i uvjeti će se uzimati u obzir sukladno regiji Primorsko-goranske županije. Opterećenja koja su istaknuta u ovome radu su: opterećenje na vlastitu težinu, meteorološka opterećenja poput snijega i vjetra. Analizom opterećenja utvrđeno je kako je najveće moguće opterećenje od navedenih, opterećenje vjetrom koji struji direktno na samu nadstrešnicu. Zbog pojednostavljenja proračuna uzet je spomenuti slučaj za daljnju analizu i proračun.

Nakon definiranja pojedinih profila i mogućih opterećenja provodi se analiza prema Eurocode EN 1993-1-1 normi, unutar koje se vodi provjera otpornosti svih profila. Provjera se dijeli na tlačnu, smičnu, otpornost na izvijanje i savijanje i otpornost na interakciju savijanja, aksijalnih te smičnih sila. Program ConSteel ima opciju globalne provjere gdje se uspijevaju odrediti kritični presjeci i tip naprezanja u pojedinim profilima. U svrhu dodatne provjere sam proračun se naknadno manualno izvršio. Iz navedenog je donesen zaključak kako je jedan od profila preopterećen. Problem je riješen uvođenjem novog profila rešetke s većom debljine stjenke. Naknadnom provjerom utvrđeno je da svi profili nadstrešnice zadovoljavaju provjere u skladu s Eurocode normama.



## LITERATURA

- [1] British Standards Institution: „What are Eurocodes?“, s Interneta, <https://www.bsigroup.com/en-GB/our-services/standards-subscription-services/Eurocodes-Plus/what-are-eurocodes/>, 20. srpnja 2022.
- [2] Ostali nacrti hrvatskih norma na javnoj raspravi, s interneta, <https://www.hzn.hr/default.aspx?id=272>, 20. srpnja 2022.
- [3] Cross-Section Properties, s Interneta, <https://www.dlubal.com/en/cross-section-properties/series-shs-en-10219-2-condesa>, 20. srpnja 2022.
- [4] European Comission: „Eurocodes: Building the future“, s interneta, <https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/EN-Eurocodes/eurocode-1-actions-structures>, 20. srpnja 2022.
- [5] Eurode 3: „Table of design material properties for structural steel“, s Interneta, <https://eurocodeapplied.com/design/en1993/steel-design-properties>, 20. srpnja 2022.
- [6] Eurocode Applied: „Actions on Structures“, s Interneta, <https://eurocodeapplied.com/design/en1991>, 20. srpnja 2022.
- [7] Basic wind velocity According to Eurocode, s Interneta, <https://www.dlubal.com/en/load-zones-for-snow-wind-earthquake/wind-hrn-en-1991-1-4.html#&center=44.4715415592528,14.96420211892163&zoom=6&marker=45.8,16>
- [8] Eurocode Applied: „Wind load on building side walls“, s Interneta, <https://eurocodeapplied.com/design/en1991/wind-pressure-side-walls>, 21. srpnja. 2022.
- [9] Characteristic Value of Snow Load for Croatia According to Eurocode, s Interneta, <https://www.dlubal.com/en/load-zones-for-snow-wind-earthquake/snow-hrn-en-1991-1-3.html?&center=46.195252166239584,17.284003312499994&zoom=7&marker=45.7255682692,16.976386125#&center=46.195252166239584,17.284003312499994&zoom=7&marker=45.7255682692,16.976386125>, 21. srpnja 2022.
- [10] Eurocode Applied: „Wind load on monopitch canopy roofs“, s Interneta, <https://eurocodeapplied.com/design/en1991/wind-pressure-monopitch-canopy-roof>, 21. srpnja 2022.
- [11] Eurocode 3: „Desing of steel structures“, s Interneta, [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjR04H1-4n5AhUHm\\_0HHbLNBgEQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.phd.eng.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F12%2Fen.1993.1.1.2005.pdf&usg=AOvVaw3kZkbGsfeNrdQbZUhMr\\_ra](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjR04H1-4n5AhUHm_0HHbLNBgEQFnoECAsQAQ&url=https%3A%2F%2Fwww.phd.eng.br%2Fwp-content%2Fuploads%2F2015%2F12%2Fen.1993.1.1.2005.pdf&usg=AOvVaw3kZkbGsfeNrdQbZUhMr_ra)

## SAŽETAK

Zadatak ovog rada je konstruirati i izvesti analizu strukture nadstrešnice. Analizu je potrebno provesti s obzirom na opterećenja vlastite težine, snijega i vjetra te njihovih interakcija. Uz pomoć metode konačnih elemenata rješavanju se problemi statičke analize i pritom se dobivaju rješenja bila ona opterećenja ili pomaci. Standardne provjere se vode prema Eurocode normi s obzirom na razne poprečne presjeke. Provjerama se može odrediti preopterećenost pojedinih profila i može uvidjeti u kvalitetnu dimenzioniranost same konstrukcije nadstrešnice. Za potrebe analize i proračuna koristi se program ConSteel. Osim provjere uz pomoću programa, dodatna provjera je izvršena zbog potvrde rezultata.

Ključne riječi: ConSteel, analiza i proračun konstrukcije nadstrešnice, metoda konačnih elemenata, Eurocode norme, meteorološka opterećenja

## SUMMARY

The task of this paper is to construct and analyze the canopy structure. The analysis must be carried out considering the loads of own weight, snow and wind and their interaction. With the help of the finite element method, the problems of static analysis are solved and in the process solutions are obtained, be it loads or displacements. Standard checks are conducted according to Eurocode norms with regard to various cross-sections. Checks can determine the overloading of individual profiles and provide insight into the high-quality dimensioning of the canopy construction itself. The ConSteel program is used for analysis and calculations. In addition to checking with the help of the program, an additional check was performed to confirm the results.

Key words: ConSteel, Analysis and calculations of the vehicle eave, Finite element method, Eurocode norms, meteorological loads

## POPIS SLIKA

Slika 2.1 Primjer 2. nadstrešnice .....	3
Slika 2.2 Primjer 1. nadstrešnice .....	3
Slika 2.3 Dizajn nadstrešnice u programu SolidWorks.....	4
Slika 2.4 Okvir zadanih dimenzija .....	5
Slika 2.5 Karakteristike profila CF SHS 120x6 .....	5
Slika 2.6 Pozicioniranje potpornih stupova.....	6
Slika 2.7 Drugi potporni stup .....	6
Slika 2.8 Parametri profila CF-SHS 100x6.....	7
Slika 2.9 Karakteristike profila CF RHS 120x80x6.....	7
Slika 2.10 Pozicioniranje profila CF-RHS 120x80x6.....	8
Slika 2.11 Karakteristike profila CF-RHS 50x30x2,5 .....	8
Slika 2.12 Pozicioniranje rešetki profila CF-RHS 50x30x2,5 .....	9
Slika 2.13 Bočni prikaz nadstrešnice .....	9
Slika 3.1 Konačan dizajn nadstrešnice .....	12
Slika 3.2 Nadstrešnica s izraženom mrežom konačnih elemenata.....	12
Slika 3.3 Dijagram pomaka opterećenjem vlastite težine .....	13
Slika 3.4 Progib čvorova nadstrešnice po z - osi.....	13
Slika 3.5 Definiranje meteoroloških površina vjetra.....	14
Slika 3.6 Karta vjetrova na području Hrvatske .....	18
Slika 3.7 Grafički prikaz maksimalnog tlaka vjetra .....	19
Slika 3.8 Koeficijenti vlastitog tlaka za pokrovnu ploču .....	20
Slika 3.9 Djelovanje opterećenja vjetrom duž nadstrešnice.....	21
Slika 3.10 Pomak uzrokovan opterećenjem vjetra duž nadstrešnice .....	22
Slika 3.11 Djelovanje vjetra u suprotnom smjeru i duž nadstrešnice .....	22
Slika 3.12 Opterećenje nadstrešnice vjetrom u suprotnom smjeru .....	23
Slika 3.13 Karta opterećenja snijegom u Hrvatskoj.....	24
Slika 3.14 Prikaz opterećenja nadstrešnice snijegom.....	25
Slika 4.1 Dijagram redukcijskog faktora i vitkosti štapa .....	32
Slika 5.1 Grafički prikaz provjere presjeka na sva opterećenja .....	33
Slika 5.2 Grafički prikaz provjere otpornosti presjeka s obzirom na interakciju sila i momenata.....	34
Slika 5.3 Karakteristike profila CF-RHS 50x30x4 .....	34
Slika 5.4 Provjera novog presjeka na sva opterećenja .....	35
Slika 5.5 Prikaz provjere otpornosti novog presjeka s obzirom na interakciju sila i momenata ..	36

## POPIS TABLICA

Tablica 2.1 Prikaz karakteristika pojedinih profila [1] .....	10
Tablica 3.1 Tablični prikaz svojstava krovnih ploča.....	11
Tablica 3.2 Značajke kategorija zemljišta .....	16
Tablica 3.3 Zone vjetrova Hrvatske .....	17
Tablica 3.4 Interakcija kuta nagiba krova i koeficijenta oblika krova .....	25
Tablica 5.1 Parametri profila CF-RHS 50x30x4 .....	35