

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na
bibliografske podatke, kot je navedeno:

Jurejevčič, N., 2016. Enoladijska
industrijska hala z mostnim dvigalom.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v
Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in
geodezijo. (mentor Hladnik, L.): 107 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5758/>

Datum arhiviranja: 10-10-2016

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's
bibliographic information as follows:

Jurejevčič, N., 2016. Enoladijska
industrijska hala z mostnim dvigalom.
B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of
Ljubljana, Faculty of civil and geodetic
engineering. (supervisor Hladnik, L.): 107
pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5758/>

Archiving Date: 10-10-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**VISOKOŠOLSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

NEJC JUREJEVČIČ

**ENOLADIJSKA INDUSTRIJSKA HALA Z MOSTNIM
DVIGALOM**

Diplomska naloga št.: 564/KS

INDUSTRIAL STEEL HALL WITH BRIDGE GRANE

Graduation thesis No.: 564/KS

Mentor:

viš. pred. dr. Leon Hladnik

Ljubljana, 12. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

Spodaj podpisani študent **Nejc Jurejevčič**, vpisna številka **26104441**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **Enoladijska jeklena hala z mostnim dvigalom**

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK: 624.014.2(043.2)
Avtor: Nejc Jurejevčič
Mentor: viš. Pred. Dr. Leon Hladnik
Naslov: Enoladijska industrijska hala z mostnih dvigalom
Tip dokumenta: Dipl. nal. VSŠ
Obseg in oprema: 107 str., 24 tabel, 125 sl., 11 pril.
Ključne besede: jeklena hala, žerjavna proga, mostno dvigalo, dinamična obtežba, utrujanje, potres

Izvleček

Diplomska naloga enoladijske industrijske hale z mostnim dvigalom v uvodnem delu opisuje vse glavne karakteristike hale. Obtežba na nosilno konstrukcijo, ki zajema zunanje vplive, lastno težo in dinamično obtežbo mostnega dvigala je bila računana v prečni smeri z glavnimi momentnimi okvirji, v vzdolžni smeri pa z okvirji s centričnim povezjem. Vplivi mostnega dvigala so bili upoštevani pri dimenzioniranju žerjavne proge. Jeklena hala je preverjena tudi na potres.

BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.014.2(043.2)
Author: Nejc Jurejevčič
Supervisor: Sen. Lect. Leon Hladnik, Ph.D.
Title: Industrial steel hall with bridge crane
Document type Dipl. nal. VSŠ
Scope and tools: 107 p., 24 tab., 125 fig., 11 ann.
Keywords: steel hall, runway beam, bridge crane, dynamic load, fatigue load, seismic action

Abstract

In introduction this diploma thesis describes all main characteristics of (single block)? industrial steel hall with bridge crane. Load arrangement on the supporting structure which covers general actions (snow load and wind action), self-weight and dynamic load of bridge crane was designed with moment resisting frame in transverse direction and frame with concentric diagonal bracing in longitudinal direction. Actions induced by crane bridge was considered in design of runway beam. Steel hall was designed for earthquake resistance.

ZAHVALA

Za pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem viš. pred. dr. Leonu Hladniku.

Zahvalil bi se tudi svoji družini, ki me vztrajno podpira in verjame vame.

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 TEHNIČNO POROČILO	2
2.1 Zasnova	2
2.2 Material	3
2.3 Obtežba	3
2.4 Streha	3
2.5 Fasada	3
2.6 Zavetrovanje	3
2.7 Mostno dvigalno in žerjavna proga	4
2.8 Temeljenje	4
2.9 Stiki	4
3 OBTEŽBE NA KONSTRUKCIJO	5
3.1 Lastna in stalna teža konstrukcije	5
3.1.1 Obtežba strehe	5
3.1.2 Obtežba fasade	5
3.2 Spremenljiva obtežba	5
3.2.1 Sneg	5
3.2.2 Veter	7
3.2.2.1 Tlak vetra na ploskve	9
3.2.2.1.1 Tlak vetra w_i na notranje ploskve:	9
3.2.2.1.2 Tlak vetra w_e na zunanje ploskve:	10
3.2.2.1.3 Obtežba vetra na dvokapno poševno streho	14
3.2.2.2 Neto tlak	16
3.3 Obtožbe žerjava	20
3.3.1 Vertikalna obtežba žerjava	22
3.3.1.1 Vertikalna obtežba koles žerjava zaradi lastne teže	22
3.3.1.2 Vertikalna obtežba koles žerjava zaradi teže tovora	23
3.3.2 Horizontalna obtežba žerjava	24
3.3.2.1 Vpliv pospeševanja in zavirana dvigala	24
3.3.2.2 Odklon med vodili in tirnico zaradi nesimetričnosti	27
3.3.2.3 Pospeševanje in ustavljanje vozička	31
3.4 Žerjavna proga	32
3.4.1 Določitev nosilca žerjavne proge	32
3.4.1.1 Obtežba	32
3.4.1.2 Mejno stanje uporabnosti (MSU)	33
3.4.1.3 Mejno stanje nosilnosti (MSN)	34
3.4.1.4 Dimenzioniranje žerjavne proge	34
3.4.2 Kontrola lokalnih napetosti v žerjavni progi	36

3.4.2.1 Lokalne vertikalne tlačne napetosti v stojini	36
3.4.2.2 Lokalne strižne napetosti v stojini	37
3.4.2.3 Lokalna uklonska napetost stojine zaradi ekscentričnosti obtežbe kolesa	39
3.4.3 Utrujanje	40
3.4.3.1 Obtežba pri kontroli utrujanja	40
4 STREŠNA LEGA	45
4.1 Zasnova	45
4.2 Obtežba	46
4.2.1 Lastna in stalna	46
4.2.2 Veter	46
4.2.3 Sneg	47
4.2.4 Izbočene sile okvirjev	48
4.3 Obtežne kombinacije	50
4.4 Analiza in demontiranje strešne lege	51
5 ZATEGE MED STREŠNIMI LEGAMI	54
5.1 Zasnova	54
5.2 Zatege	54
5.2.1 Obtežba	54
5.2.2 Dimenzioniranje	54
5.3 Diagonalne zatege	55
5.3.1 Obtežba	55
5.3.2 Dimenzioniranje	55
5.4 Tlačena palica	56
5.4.1 Obtežba	56
5.4.2 Dimenzioniranje	56
6 HORIZONTALNO POVEZJE V OBMOČJU STREHE	57
6.1 Zasnova	57
6.2 Obtežbe	57
6.2.1 Veter	57
6.2.2 Sile zaradi izbočenja momentnih okvirjev	58
6.2.3 Obtežne kombinacije	58
6.3 Analiza in dimenzioniranje horizontalnega povezja	59
7 FASADNI STEBER	61
7.1 Zasnova	61
7.2 Obtežba z vetrom	61
8 MOMENTNI OKVIR	63
8.1 Zasnova	63
8.2 Obtežba	63
8.2.1 Lastna in stalna obtežba	63
8.2.1.1 Streha	63
8.2.1.2 Fasada	63
8.2.2 Sneg	64
8.2.3 Veter	65
8.2.4 Obtežba žerjava	67
8.3 Obtežne kombinacije	68

8.5 Kontrola pomikov	73
9 VERTIKALNO CENTRIČNO POVEZJE	74
9.1 Zasnova	74
9.2 Obtežbe	74
9.2.1 Veter	74
9.2.2 Žerjav	74
9.3 Obtežne kombinacije	74
9.4 Analiza in dimenzioniranje vertikalnega povezja	74
10 DINAMIČNA ANALIZA	77
10.1.1 Zasnova	77
10.1.2 Izračun mas	77
10.1.3 Kombinacije potresnega vpliva	78
10.1.4 Razdelitev mas	78
10.1.5 Določitev nihajnega časa	79
10.1.6 Faktor obnašanja	79
10.1.7 Projektni spekter po EC8	79
10.1.8 Torzijski vpliv	79
10.1.9 Določitev potresnih sil	81
10.1.10 Kontrola stabilnosti in nosilnosti prereza pri $q=1,5$	82
10.1.11 Kontrola pomikov	82
10.1.12 Analiza momentnega okvirja pri potresu z $q=4,0$	84
10.1.12.1 Vpliv teorije drugega reda	86
10.1.12.2 Kontrola plastičnih členkov	87
10.2 POTRESNA ANALIZA V VZDOLŽNI SMERI	89
10.2.1 Zasnova	89
10.2.2 Izračun mas na eno centrično povezje	89
10.2.3 Razporeditev mas	90
10.2.4 Določitev nihajnega časa	90
10.2.5 Faktor obnašanja	90
10.2.6 Projektni spekter po EC8	90
10.2.7 Določitev potresnih sil	91
11 STIKI	94
11.1 STIK DIAGONALE S STEBOM	94
11.1.1 Zasnova	94
11.1.2 Obremenitev	94
11.1.3 Dimenzioniranje	94
11.1.4 Zvari	95
11.2 VIJAČEN SPOJ STREŠNEGA NOSILCA IN STEBRA	96
11.2.1 Zasnova	96
11.2.2 Obremenitev	97
11.2.3 Dimenzioniranje spoja	97
11.2.4 Zvari	101
11.3 SPOJ STEBRA NA TOČKOVNI TEMELJ	102
11.3.1 Zasnova	102
11.3.2 Material	102
11.3.3 Obremenitev	102
11.3.4 Dimenzioniranje	102

12 ZAKLJUČEK

106

VIRI

107

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Obtežbe notranjega tlaka na vse ploskve	10
Preglednica 2: Obtežbe vetra na zunanje ploskve (smer X)	12
Preglednica 3: Obtežbe vetra na zunanje ploskve (smer Y)	14
Preglednica 4: Obtežbe vetra na streho (smer x)	15
Preglednica 5: Obtežbe vetra na streho (smer Y)	16
Preglednica 6: Obtežba zunanjega vetra in notranjega tlaka v smeri X	17
Preglednica 7: Obtežba zunanjega vetra in notranjega srka v smeri X	17
Preglednica 8: Obtežba zunanjega vetra in notranjega tlaka v smeri Y	17
Preglednica 9: Obtežba zunanjega vetra in notranjega srka v smeri Y	18
Preglednica 10: Dinamični faktorji za različne obtežne skupine in obtežne primere	21
Preglednica 11: Dinamični faktorji	21
Preglednica 12: Projektna obtežba žerjava	31
Preglednica 13: Vpliv vetra na strešno povezje	57
Preglednica 14: Stalna obtežba na strešnih nosilcih	63
Preglednica 15: Stalna obtežba na stebrih	63
Preglednica 16: Zunanji veter in notranji srk v smeri X	65
Preglednica 17: Zunanji veter in notranji srk v smeri X	66
Preglednica 18: Zunanji veter in notranji tlak v smeri X	67
Preglednica 19: Skupna masa, ki pripada glavnemu okvirju na strešnem delu na koti +8,80m	77
Preglednica 20: Skupna masa, ki pripada glavnemu okvirju na mestu konzol žerjavne proge koti +6,80m	77
Preglednica 21: Upoštevana masa mostnega dvigala na koti +6,80m	78
Preglednica 22: Skupna masa, ki pripada centričnemu povezju na koti +8,80m	89
Preglednica 23: Skupna masa, ki pripada centričnemu povezju na koti +6,80m	89
Preglednica 24: Upoštevana masa mostnega dvigala na koti +6,80m	90

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz zasnove jeklene konstrukcije	2
Slika 2: Obtežba snega	6
Slika 3: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra	7
Slika 4: Diagram faktorja izpostavljenosti	9
Slika 5: Notranji tlak	10
Slika 6: Referenčna višina z_e v odvisnosti h in b	11
Slika 7: Razdelitev sten na področja A, B, D in E	12
Slika 8: Razdelitev sten na področja A, B, C, D in E	13
Slika 9: Razdelitev dvokapnice na področja F, G, H, I in J	15
Slika 10: Razdelitev dvokapnice na področja F, G, H in I	16
Slika 11: Površine vseh ploskev	18
Slika 12: Veter vzporeden s krajšo ploskvijo	19
Slika 13: Veter vzporeden s daljšo ploskvijo	19
Slika 14: Prikaz teže tovora in lastna teža žerjava	20
Slika 15: Enonosilčni žerjav, ki potuje po vrhu nosilca žerjavne proge	20
Slika 16: Žerjavni most s pomičnim vozičkom (1 žerjavni most, 2 pomični voziček)	21
Slika 17: Postavitev obtežbe za določitev minimalnih vertikalnih vplivov	22
Slika 18: Postavitev obtežbe za določitev maksimalnih vertikalnih vplivov	22
Slika 19: Vzdržljiva sila	25
Slika 20: Pospeševanje in zavijanje mostu žerjava	25
Slika 21: Prečna sila	26
Slika 22: Kot in razdalja h (1,2 tirnica, 3 smer gibanja, 4 smer gibanja, 5 stranska vodila, 6 pari koles, 7 center rotacije)	28
Slika 23: Detajl priključka žerjavne proge na steber	32
Slika 24: Minimalna debelina pod voziščno ploskvijo	32
Slika 25: Vertikalna obtežba žerjavne proge	33
Slika 26: Maksimalen vertikalni pomik žerjavne proge [mm]	33
Slika 27: Ovojnica momentov žerjavne proge	34
Slika 28: Reakcije žerjavne proge pri maksimalni obtežbi koles $Q_{r,max}$	34
Slika 29: Reakcije žerjavne proge s pripadajoči obtežbi koles $Q_{r,(max)}$	34
Slika 30: Primer najbolj neugodnega vpliva obtežbe na žerjavno progo	34
Slika 31: Prečne sile V_z in V_y [kN]	35
Slika 32: Osne sile [kN]	35
Slika 33: Momenti M_y in M_z [kNm]	35
Slika 34: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti žerjavne proge [%]	35
Slika 35: Efektivna širina obtežbe	36
Slika 36: Raznos obtežbe pod kotom 45 pod zgornjo pasnico	37
Slika 37: Lokalna in globalna strižna napetost zaradi obtežbe koles žerjava	38
Slika 38: Ekscentrična sila na tirnici	39
Slika 39: Ovojnica momentov [kNm]	41
Slika 40: Ovojnica prečnih sil [kN]	42
Slika 41: Ovojnica momentov [kNm]	43
Slika 42: Ovojnica prečnih sil [kN]	44
Slika 43: Strešne lege	45
Slika 44: Območja vetrne obtežbe na strehi	46
Slika 45: Sistem izbočnih sil na povezje	48
Slika 46: Zvezna obtežba izbočnih sil	49
Slika 47: Razmerje izbočnih sil v legah	49

Slika 48: Obtežbe na legi	50
Slika 49: Smeri različnih obtežb na lego	51
Slika 50: Momenti M_y [kNm]	52
Slika 51: Osna sila [kN]	52
Slika 52: Momenti M_z [kNm]	52
Slika 53: Reakcije R_y in R_z [kN]	52
Slika 54: Pomiki u_z [mm]	53
Slika 55: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]	53
Slika 56: Sistem bočnega podpiranja strešnih leg z zategami	54
Slika 57: Zatege v pogledu	54
Slika 58: Sile v zategah	55
Slika 59: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]	56
Slika 60: Horizontalno povezje v strehi	57
Slika 61: Vplivna območja vetra na povezje	57
Slika 62: Zvezna obtežba na strešno povezje	58
Slika 63: Porazdelitev zvezne obtežbe na sile	58
Slika 64: Osne sile kN	59
Slika 65: Izbrani profili	59
Slika 66: Reakcije kN	59
Slika 67: Kontrola stabilnosti in nosilnosti povezja %	60
Slika 68: Pomiki strešnega povezja δz_{mm}	60
Slika 69: Prvi in zadnji okvir s fasadnima stebroma	61
Slika 70: obtežba z vetrom	61
Slika 71: Pomik fasadnega stebra	62
Slika 72: Prikaz notranjih statičnih količin in kontrola stabilnosti za izbrani profil HEA220	62
Slika 73: Bočno podprt momentni okvir	63
Slika 74: Stalna obtežba	64
Slika 75: Obtežba s snegom	64
Slika 76: Območja vetra na okvirju 2	65
Slika 77: Prvi primer obtežbe z vetrom	65
Slika 78: Drugi primer obtežbe z vetrom	66
Slika 79: Tretji primer obtežbe z vetrom	66
Slika 80: Vertikalna obtežba-obtežni primer 1	67
Slika 81: Vertikalna obtežba-obtežni primer 2	68
Slika 82: Horizontalna obtežba- obtežni primer 1	68
Slika 83: Horizontalna obtežba-obtežni primer 2	68
Slika 84: Izbrani profili momentnega okvirja	71
Slika 85: Osne sile [kN]	71
Slika 86: Prečne sile [kN]	72
Slika 87: Momenti [kNm]	72
Slika 88: Reakcije [kN]	72
Slika 89: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]	73
Slika 90: Pomiki zaradi obtežbe z žerjavom [mm]	73
Slika 91: Centrično povezje	74
Slika 92: Izbrani profili	75
Slika 93: Prečna sila [kN]	75
Slika 94: Osna sila [kN]	75
Slika 95: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]	76
Slika 96: Momenti [kNm]	76
Slika 97: Momentni okvir	77
Slika 98: Porazdelitev mas po okvirju	78

Slika 99: Torzijski vpliv z dvema ravninskima modeloma	80
Slika 100: Potresne sile	81
Slika 101: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti zaradi potresnih obremenitev pri $q=1,5$ [%]	82
Slika 102: Pomiki okvirja zaradi potresnih sil	82
Slika 103: Pomiki pri potresni obtežbi $q=4,0$ [mm]	83
Slika 104: Pomiki pri potresni obtežbi $q=1.5$ [mm]	83
Slika 105: Prečne sile [kN]	84
Slika 106: Osne sile [kN]	84
Slika 107: Momenti [kNm]	85
Slika 108: Osne sile [kN]	85
Slika 109: Prečne sile [kN]	85
Slika 110: Momenti [kN]	86
Slika 111: Mesta kjer se lahko tvorijo plastični členki	87
Slika 112: Vertikalno centrično povezje	89
Slika 113: Mase ki pripadajo enemu povezju	90
Slika 114: Horizontalni pomiki	91
Slika 115: Osna sila [kN]	92
Slika 116: Izbrani profili	92
Slika 117: Reakcije (kN)	93
Slika 118: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti zaradi potresnih obremenitev [%]	93
Slika 119: Prečna sila [kN]	93
Slika 120: Momenti [kN]	93
Slika 121: Stik diagonale in stebra	94
Slika 122: Stik stebra in strešnega nosilca	96
Slika 123: Razporeditev vijakov	98
Slika 124: Koncentrirane sile v stiku	100
Slika 125: Priključek stebra na temelj	102

Prazna stran

1 UVOD

Predmet diplomske naloge je izračun enoladijske industrijske jeklene hale v kateri v vzdolžni smeri poteka žerjavna proga. Računa se po veljavnih EC standardih. Predvidena postavitve hale je na območju Ljubljane, na nadmorski višini 300m.

Hala je dolga 36m in široka 17,8m. Streha hale je simetrična dvokapna z naklonom 9° . Višina slemena glavnega prečnega okvirja je na koti 10,21m, višina kapi na 8,8m.

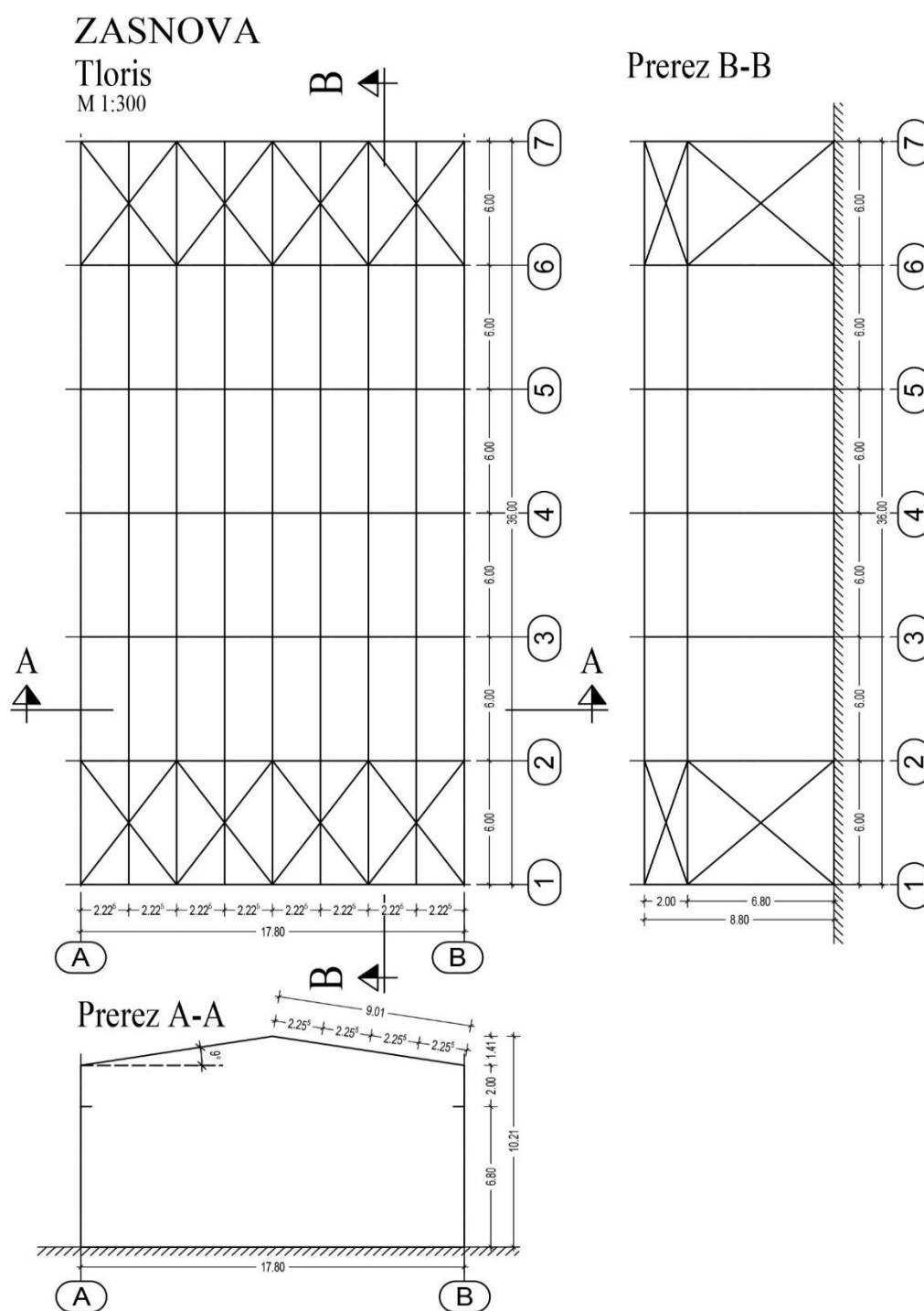
Objekt je namenjen vzpostavitvi proizvodnje linije lažjih jeklenih konstrukcij, zato je vzdolž hale predviden 10 tonski mostni žerjav.

Računana je bila s programi SCIA Engineer po veljavnih EC standardih.

2 TEHNIČNO POROČILO

2.1 Zasnova

Industrijska hala z žerjavno progo dimenzij $6 \times 6 \text{ m} = 36$ v vzdolžni smeri in $17,8 \text{ m}$ v prečni smeri. Streha hale je simetrična dvokapna z naklonom 9° . Višina slemena glavnega prečnega okvirja je na koti $10,21 \text{ m}$, višina kapi na $8,8 \text{ m}$.



Slika 1: Prikaz zasnovne jeklene konstrukcije

2.2 Material

Nosilna konstrukcija je iz jekla kvalitete S235 JR, žerjavna proga pa iz jekla S235 J0. Spoji so vijaki kvalitete M8.8. Temelji so iz betona kvalitete C30/37 in armature kvalitete S500.

2.3 Obtežba

Zajete so obtežbe:

- lastna teža strehe,
- lastna teža fasade,
- obtežba snega,
- obtežba vetra,
- dinamični vpliv žerjava,
- potresna obtežba.

2.4 Streha

Streha hale je simetrična dvokapna z naklonom 9° . Višina slemen glavne prečne okvirja je na koti 10,21m, višina kapi na 8,8m.

Sekundarni strešni nosilci (lege) IPE180 so kontinuirni nosilci podprti s prečkami glavnih okvirjev na razdaljah 6m. Razdalja med sekundarnimi nosilci je 2,22m, med slemenskima pa 0,3m. Bočna stabilnost strešnih leg IPE180 je zagotovljena pomočjo zateg $\varnothing 12$, ki potekajo na polovicah razponov sekundarnih strešnih nosilcev. V polju levo in desno od slemen se izvedejo toge palice $\varnothing 33,7/3$, ki so z diagonalnimi zategami povezane na strešne nosilce glavnih okvirjev. Ta način podpiranja sekundarnih nosilcev preprečuje bočne zvrnitve sekundarnih nosilcev na dolžinah enakih polovici razponov (bočna podpora na 3m).

Glavni strešni nosilci so IPE450, ki imajo vuto na stiku s stebri. Vuta je izdelana iz polovice IPE450 in poteka konično v dolžini 2,2m.

2.5 Fasada

Vzdolžna fasada se izvede iz termoizolacijske pločevine tipa TRIMO FTV 100, ki se pritruje neposredno na stebre glavnih okvirjev.

Čelna fasada se izvede na dveh fasadnih stebrih HEA220, ki sta členkasto pritrjena na temelj, v glavni strešni nosilec pa členkasto in drsno v vertikalni smeri. Čelna fasada ni zavetrovana.

2.6 Zavetrovanje

Strešno zavetrovanje poteka med prvim in drugim ter zadnjo in predzadnjo prečko glavnega okvirja in s tem bočno podpira prečko glavnega okvirja na stiku vsakega drugega sekundarnega nosilca (to je $2 \times 2,22\text{m} = 4,44\text{m}$). To zavetrovanje poteka v zgornji tretjini glavnih strešnih nosilcev. Zavetrovanje je sestavljeno iz gibkih diagonal $\varnothing 16$ (zatege), ki prenašajo le natezne napetosti. Za prevzem tlačnih sil v zavetrovanju se izvedejo v ravnini zateg kvadratne cevi 80/80/4 tako, da računsko sekundarni strešni nosilci niso element zavetrovanja.

Vertikalno zavetrovanje vzdolžne fasade se izvede v prvem in zadnjem polju. Sestavljajo ga diagonale iz kotnih profilov L60/60/5 in L100/100/8 za prevzem nateznih sil, tlake pa prevzameta horizontalni vmesni profil kvadratna cev 120/120/5 na višini 6,8m in kapni profil kvadratna cev 100/100/5 na višini 8,8m, ki povezujeta vse glavne okvirje vzdolž objekta.

2.7 Mostno dvigalno in žerjavna proga

Vzdolžno v hali poteka mostno dvigalo za namen vzpostavitve proizvodne linije lažjih jeklenih konstrukcij. Enonosilčno mostno dvigalo ima nosilnost 10t. Razpon mostu dvigala je 17m in poteka na višini 6,8m. Teža mostu žerjava je 4,49t, teža vozička pa 640kg. Na žerjav se lahko obesi kljuka ali magnet.

Nosilec žerjavne proge je HEA300, na katerega je privarjena kvadratna tirnica dimenzij 50/50mm, ki preko jeklenih konzol podprta s stebri glavnega okvirja.

2.8 Temeljenje

Pritrjevanje stebrov na točkovni temelj se izvede kot vpeto vozlišče v smeri glavnih okvirjev in členkasto v vzdolžni smeri objekta. Temeljenje objekta ni predmet te diplomske naloge.

2.9 Stiki

V izračun so vzeti najbolj značilni spoji:

- Strešni nosilec – steber,
- stik diagonale in stebra,
- sidranje stebra v temelj.

3 OBTEŽBE NA KONSTRUKCIJO

3.1 Lastna in stalna teža konstrukcije

Strešni panel TRIMO SNV 100	0,24 kN/m ²
Lahke inštalacije in luči	0,15 kN/m ²
Strešne lege IPE 180	18,8 kN/m

3.1.1 Obtežba strehe

3.1.2 Obtežba fasade

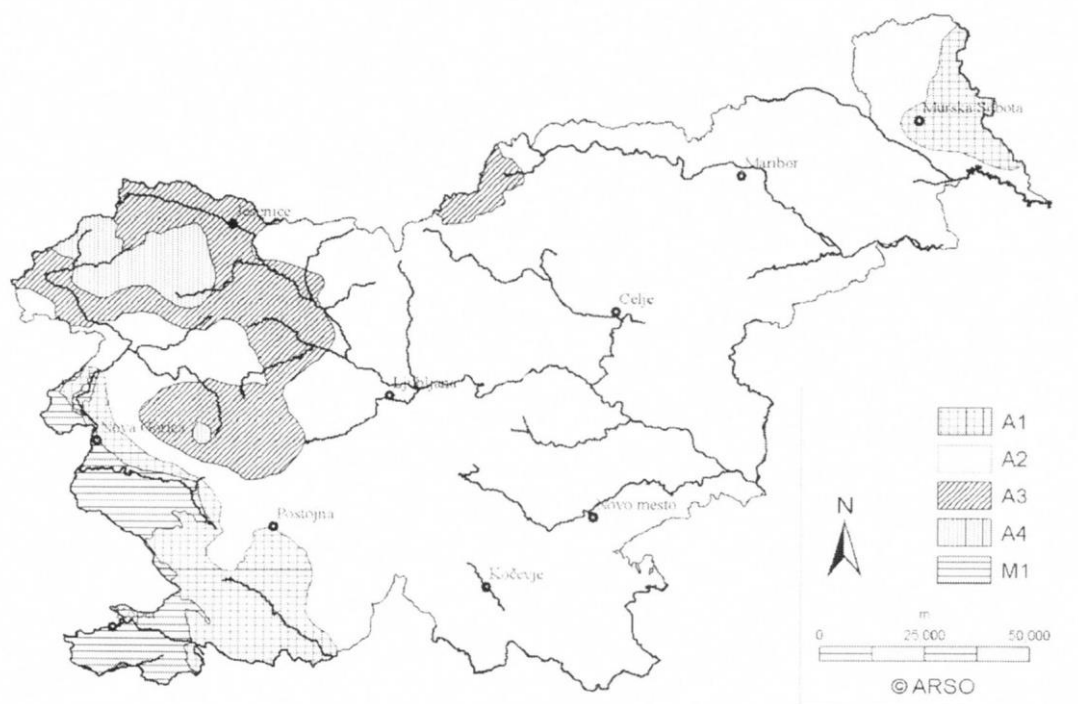
Fasadni panel TRIMO FTV 100	0,23 kN/ cm ²
-----------------------------	--------------------------

3.2 Spremenljiva obtežba

3.2.1 Sneg

Za obtežbo snega se uporablja standard SIST EN 1991-1-3:2004 in nacionalni dodatek SIST EN 1991-1-3:2004/A101.

Objekt se nahajana na območju Ljubljane, na nadmorski višini 300m, za katerega je določena cona A2.



Slika 2: Obtežba snega

Obtežba snega se določi po enačbi:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$$

kjer so:

- μ_i oblikovni koeficient obtežbe snega je 0,8 in je odvisen od naklona in oblike strehe.
- C_e koeficient izpostavljenosti je 1,0 za običajen teren, kjer veter ne prenaša snega na objektih in so zaščiteni zaradi terena, drugih objektov ali dreves
- C_t toplotni koeficient je 1,0. Zmanjšana vrednost se upošteva pri strehah z veliko toplotno prevodnostjo ($> 1 \text{ W/m}^2\text{K}$)
- s_k karakteristična obtežba snega na tleh. Za Ljubljano velja karakteristična obtežba snega v coni A2 in nadmorski višini $A=300\text{m}$:

$$s_k = 1,293 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right] = \left[1 + \left(\frac{300}{728} \right)^2 \right] = 1,51 \text{ kN/m}^2$$

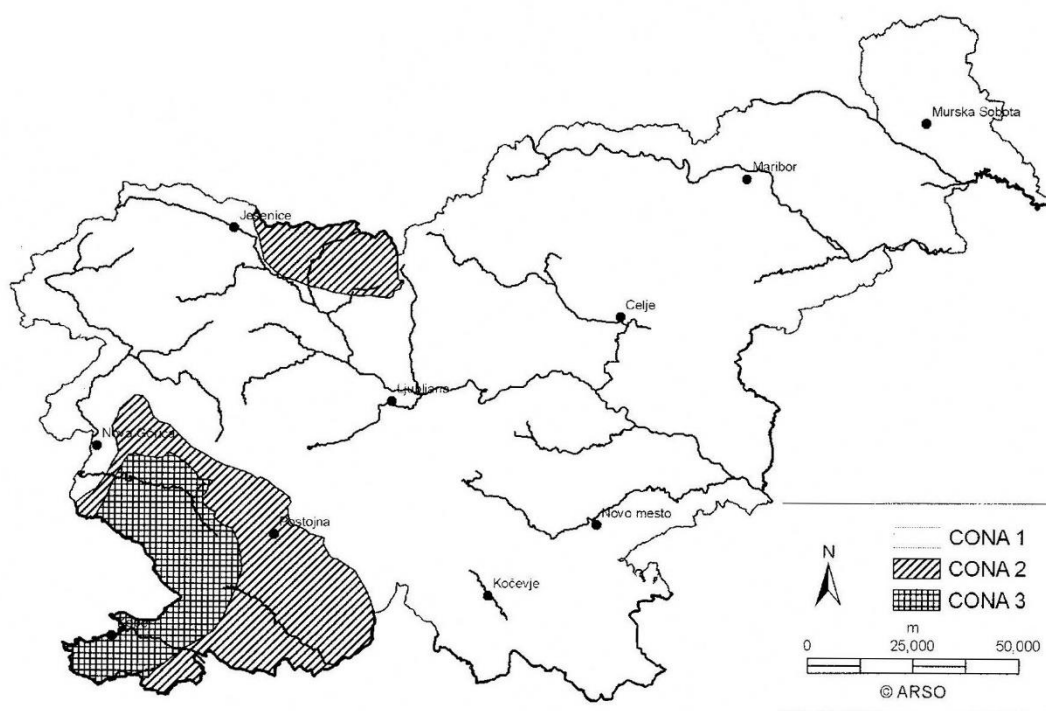
Obtežba snega je tako:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \frac{\text{kN}^2}{\text{m}} = 1,21 \text{ kN/m}^2$$

3.2.2 Veter

Za obtežbo vetra se uporablja standard SIST EN 1991-1-4:2005 in nacionalni dodatek SIST EN 1991-1-4 : 2005/A101

Vpliv vetra na konstrukcijo je odvisen od njenih lastnosti in je predstavljen s skupino tlakov ali sil, katerih učinki so enakovredni skrajnim učinkom turbulentnega vetra. Obtežbo se izračuna na osnovi osnovne hitrosti in tlaka vetra ter oblike in lokacije konstrukcije. Objekt se nahaja na območju Ljubljane (cona 1, pod 800m nadmorske višine).



Hitrosti vetra:

Cona 1 (večina Slovenije):

20 m/s pod 800m
25 m/s od 800 m do 1600 m
30 m/s od 1600 m do 2000 m
40 m/s nad 2000 m

Cona 2 (Trnovski gozd, Notranjska, Karavanke):

25m/s pod 1600 m
30 m/s od 1600 do 2000 m
40 m/s nad 2000 m

Cona 3 (Primorje, Kras in del Vipavske doline):

30 m/s

Slika 3: Temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra

Osnovna hitrost vetra se določi po enačbi:

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}$$

kjer so:

C_{dir} smerni faktor je 1,0

C_{season} faktor letnih časov je 1,0

V_b osnovna hitrost vetra

$V_{b,0}$ temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra. Za cono 1 in nadmorsko višino manj kot 800 m je predpisana hitrost 20 m/s

$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0} = 1,00 \cdot 1,00 \cdot 20 \text{ m/s} = 20 \text{ m/s}$$

Tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra $q_p(z)$ na višini z se določi po enačbi:

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

kjer so:

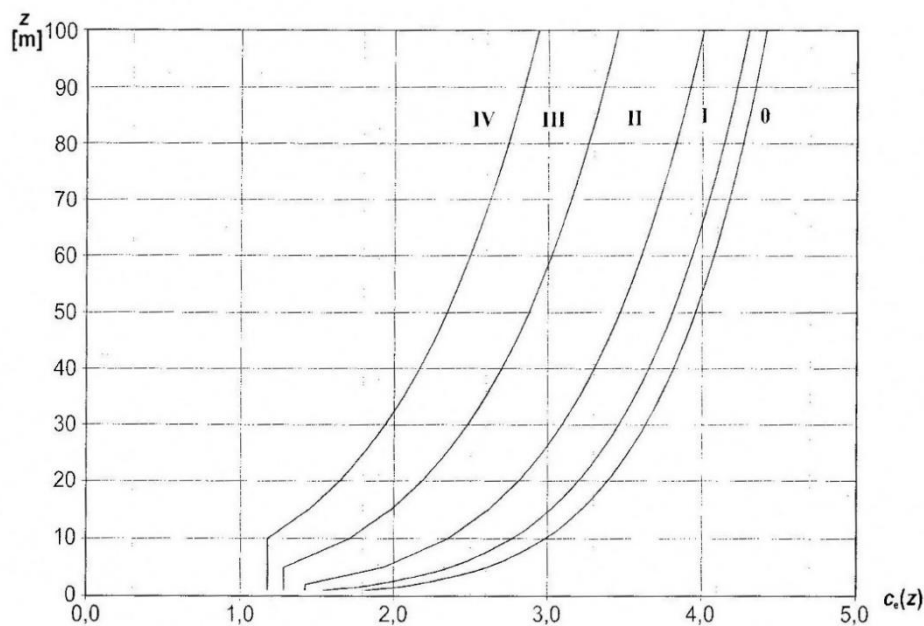
ρ gostota zraka je 1,25 kg/m³

$c_e(z)$ faktor izpostavljenosti

q_ρ največji tlak pri sunkih vetra

$$q_\rho = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \text{ kg/m}^3 \cdot (20 \text{ m/s})^2 = 250 \text{ N/m}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

Za raven teren, kjer je $c_0(z) = 1,00$, je faktor izpostavljenosti $c_e(z)$ prikazan kot funkcija višine nad terenom in kategorijo terena na kateri se objekt nahaja.



Slika 4: Diagram faktorja izpostavljenosti

$$c_e(z) = c_e(10,20m) = 1,75$$

kjer je:

z višina objekta

Kategorija izbranega terena je III. Za to kategorijo je značilno področje z običajnim rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višinskih ovir (vasi, podeželsko okolje, stalni gozd)

Tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra je torej:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_\rho = 1,75 \cdot 0,25 \frac{kN}{m^2} = 0,44 kN/m^2$$

3.2.2.1 Tlak vetra na ploskve

3.2.2.1.1 Tlak vetra w_i na notranje ploskve:

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

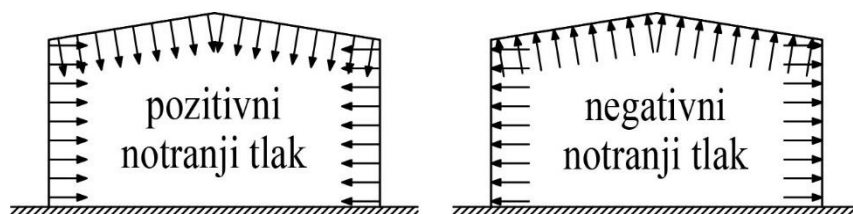
kjer so:

$q_p(z_i)$ največji tlak pri sunkih vetra

z_i referenčna višina

c_{pi} koeficient notranjega tlaka

Za stavbe brez prevladujoče strani se koeficienti notranjega tlaka določijo po sliki, kot funkcija razmerja višine in globine stavbe h/d ter deleža odprtin μ za vsako smer vetra θ ki se določi.



Slika 5: Notranji tlak

$$\mu = \frac{\sum \text{površina odprtín na zavetrni in stranskih stenah, kjer je } c_{pe} \leq 0,0}{\sum \text{površina vseh odprtín}}$$

Opomba: kjer ni mogoče ali ni smiselno določiti μ za posamezen primer, se za c_{pi} prevzame najugodnejša vrednost med $+0,2$ in $-0,3$.

$$w_i^- = q_p(z_i) \cdot c_{pi}^- = 0,44 \text{ kN/m}^2 \cdot (-0,3) = -0,13 \text{ kN/m}^2$$

$$w_i^+ = q_p(z_i) \cdot c_{pi}^+ = 0,44 \text{ kN/m}^2 \cdot (0,2) = 0,09 \text{ kN/m}^2$$

Preglednica 1: Obtežbe notranjega tlaka na vse ploskve

Področje	$q_p(z_i)$ [kN/m ²]	c_{pi}	w_i [kN/m ²]
A-J(srk)	0,44	-0,3	-0,13
A-J(tlak)	0,44	0,2	0,09

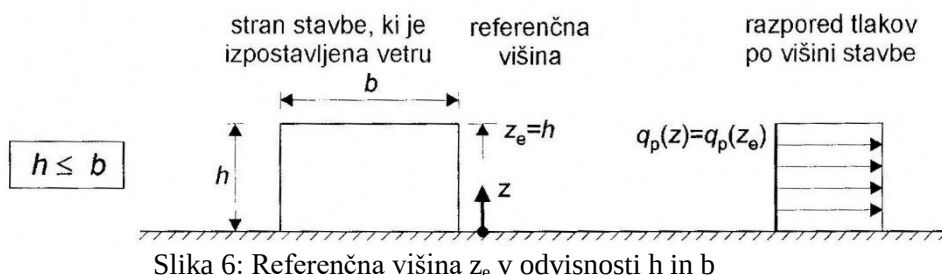
3.2.2.1.2 Tlak vetra w_e na zunanje ploskve:

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

kjer so:

$q_p(z_e)$	največji tlak pri sunkih vetra
z_e	referenčna višina za zunanji tlak
c_{pe}	koeficient zunanjega tlaka

Tlak vetrne obtežbe na zunanje ploskve obravnavamo v dveh ločenih smereh. Če vetrna obtežba deluje v prečni smeri predpostavimo, da veter deluje v smeri X, za obtežbo vetra v vzdolžni smeri pa smer Y.



Slika 6: Referenčna višina z_e v odvisnosti h in b

Koeficiente zunanjšega tlaka določimo iz razmerja med višino in širino h/d vzdolž vetrne obtežbe. Obod stavbe razdelimo na območja A do E, ki pa so odvisna od razmerja e/d .

a) Koeficient zunanjšega tlaka na stene v X (prečni) smeri

$$e = b \text{ ali } 2h$$

Kjer je:

- b širina prečno na veter
- h višina konstrukcije
- d širina vzdolžno s smerjo vetra

$$e = b \text{ ali } 2h = 36m \text{ ali } 20,4m \text{ (manjši izmed vrednosti)}$$

$$e = 20,4$$

$$2h = 2 \cdot 10,2m = 20,4m$$

$$d = 17,8m$$

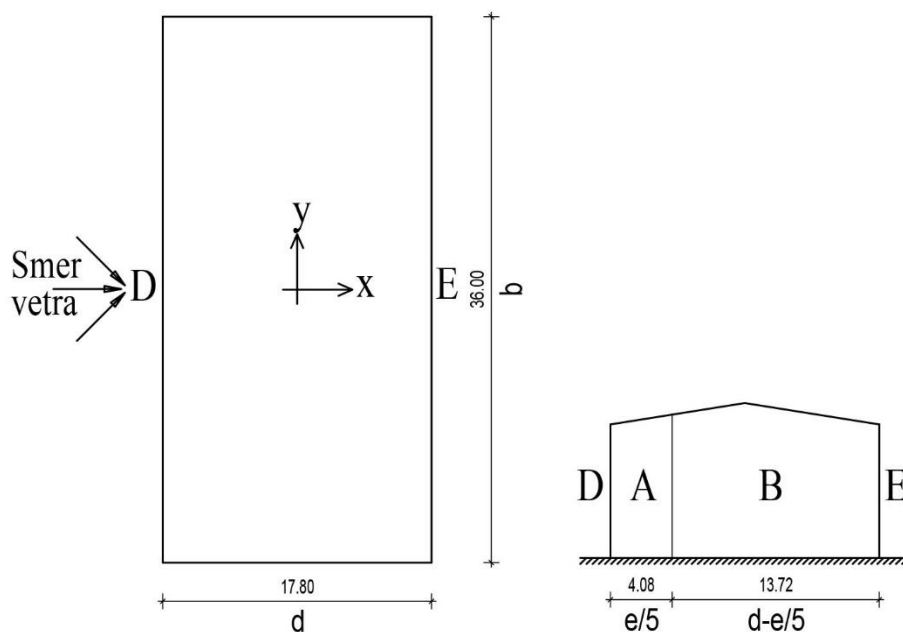
$$b = 36m$$

In zato velja:

$$e > d$$

$$20,4m > 17,8m$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,2m}{17,8m} = 0,57$$



Slika 7: Razdelitev sten na področja A, B, D in E

Preglednica 2: Obtežbe vetra na zunanje ploskve (smer X)

Področje	q_p	c_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	0,44	-1,2	-0,53
B	0,44	-0,8	-0,35
D	0,44	0,75	0,33
E	0,44	-0,4	-0,18

b) Koeficient zunanje tlaka na stene v Y (vzdolžni) smeri

$$e = b \text{ ali } 2h$$

Kjer je:

 b širina prečno na veter h višina konstrukcije d širina vzdolžno s smerjo vetra

$$e = b \text{ ali } 2h = 17,8m \text{ ali } 20,4m \text{ (manjši izmed vrednosti)}$$

$$e = 17,8m$$

$$2h = 2 \cdot 10,2m = 20,4m$$

$$d = 36m$$

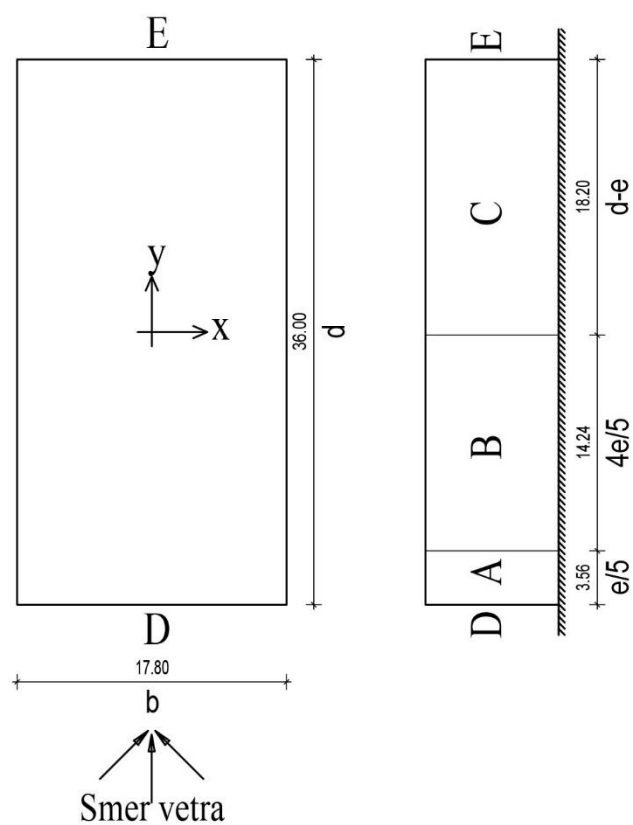
$$b = 17,8m$$

In zato velja:

$$e < d$$

$$17,8m < 36m$$

$$\frac{h}{d} = \frac{10,2m}{36} = 0,28$$



Slika 8: Razdelitev sten na področja A, B, C, D in E

Preglednica 3: Obtežbe vetra na zunanje ploskve (smer Y)

Področje	q_p	c_{pe}	w_e [kN/m ²]
A	0,44	1,2	0,53
B	0,44	-0,8	-0,35
C	0,44	-0,5	-0,22
D	0,44	0,7	0,31
E	0,44	-0,3	-0,13

3.2.2.1.3 Obtežba vetra na dvokapno poševno streho

Na osnovi razmerja med širino stranice objekta, ki je pravokotna na smer vetrne obtežbe, višino in kotom naklona strehe objekta, določimo velikosti koeficientov in območja od F do J. Podatke določamo po priporočilih, ki veljajo za dvokapne strehe.

a) Koeficienti zunanjega tlaka na dvokapno poševno streho pri delovanju vetrne obtežbe v X (prečni) smeri

$$e = b \text{ ali } 2h$$

Kjer je:

b širina prečno na veter

h višina konstrukcije

α naklon strehe

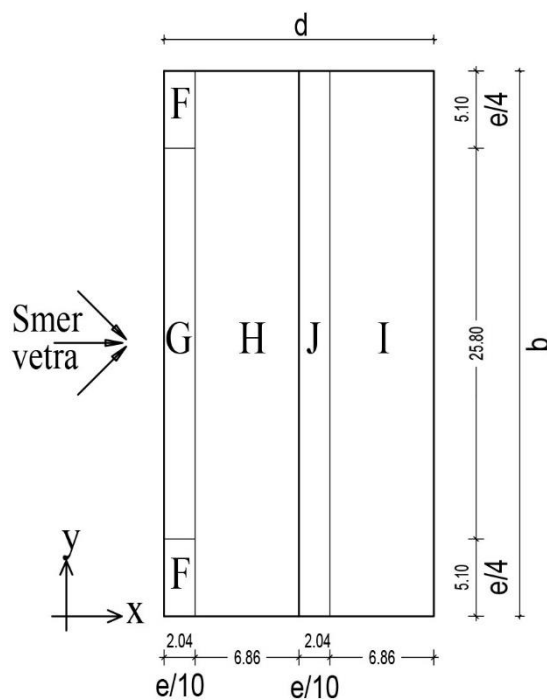
$$e = b \text{ ali } 2h = 36m \text{ ali } 20,4m \text{ (manjši izmed vrednosti)}$$

$$e = 20,4m$$

$$2h = 2 \cdot 10,2m = 20,4m$$

$$b = 36m$$

$$\alpha = 9,0^\circ$$



Slika 9: Razdelitev dvokapnice na področja F, G, H, I in J

Preglednica 4: Obtežbe vetra na streho (smer x)

Področje	q_p	c_{pe}	w_e [kN/m ²]
F	0,44	-1,3	-0,57
F	0,44	0,1	0,04
G	0,44	-1	-0,44
G	0,44	0,1	0,04
H	0,44	-0,45	-0,20
H	0,44	0,1	0,04
I	0,44	-0,5	-0,22
I	0,44	0	0,00
J	0,44	0,1	0,04
J	0,44	-0,8	-0,35

b) Koefficienti zunanje tlaka na dvokapno poševno streho pri delovanju vetrne obtežbe v Y (vzdolžni) smeri

$$e = b \text{ ali } 2h$$

b širina konstrukcije

h višina konstrukcije

α naklon strehe

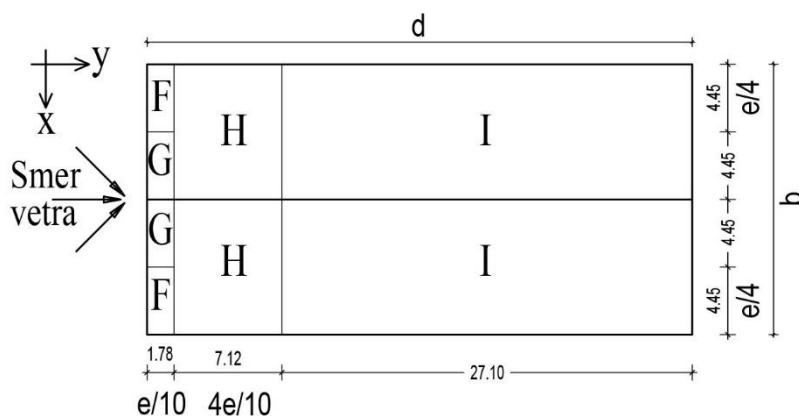
$e = b$ ali $2h = 17,8m$ ali $20,4m$ (manjši izmed vrednosti)

$e = 17,8m$

$2h = 2 \cdot 10,2m = 20,4m$

$b = 17,8m$

$\alpha = 9,0^\circ$



Slika 10: Razdelitev dvokapnice na področja F, G, H in I

Preglednica 5: Obtežbe vetra na streho (smer Y)

Področje	q_p	c_{pe}	w_e [kN/m ²]
F	0,44	-1,45	-0,64
G	0,44	-1,3	-0,57
H	0,44	-0,65	-0,29
I	0,44	-0,55	-0,24

3.2.2.2 Neto tlak

Neto tlak je sočasni vpliv delovanja vetrne obtežbe na zunanje in notranje ploskve v vsaki smeri. Izračunamo ga po enačbi:

$$w_{e-i} = q_p(z_e) \cdot c_{pe} - q_p(z_e) \cdot c_{pi} = w_e - w_i$$

Preglednica 6: Obtežba zunanega vetra in notranjega tlaka v smeri X

Področje	q_p	C_{pe}	C_{pi}	w_{e-i} [kN/m ²]
A	0,44	-1,2	0,2	-0,62
B	0,44	-0,8	0,2	-0,44
D	0,44	0,75	0,2	0,24
E	0,44	-0,4	0,2	-0,26
F	0,44	-1,3	0,2	-0,66
F	0,44	0,1	0,2	-0,04
G	0,44	-1	0,2	-0,53
G	0,44	0,1	0,2	-0,04
H	0,44	-0,45	0,2	-0,29
H	0,44	0,1	0,2	-0,04
I	0,44	-0,5	0,2	-0,31
J	0,44	-0,8	0,2	-0,44
J	0,44	0,1	0,2	-0,04

Preglednica 7: Obtežba zunanega vetra in notranjega srka v smeri X

Področje	q_p	C_{pe}	C_{pi}	w_{e-i} [kN/m ²]
A	0,44	-1,2	-0,3	-0,40
B	0,44	-0,8	-0,3	-0,22
D	0,44	0,75	-0,3	0,46
E	0,44	-0,4	-0,3	-0,04
F	0,44	-1,3	-0,3	-0,44
F	0,44	0,1	-0,3	0,18
G	0,44	-1	-0,3	-0,31
G	0,44	0,1	-0,3	0,18
H	0,44	-0,45	-0,3	-0,07
H	0,44	0,1	-0,3	0,18
I	0,44	-0,5	-0,3	-0,09
J	0,44	-0,8	-0,3	-0,22
J	0,44	0,1	-0,3	0,18

Preglednica 8: Obtežba zunanega vetra in notranjega tlaka v smeri Y

Področje	q_p	C_{pe}	C_{pi}	w_{e-i} [kN/m ²]
A	0,44	1,2	0,2	0,44
B	0,44	-0,8	0,2	-0,44
C	0,44	-0,5	0,2	-0,31
D	0,44	0,7	0,2	0,22
E	0,44	-0,3	0,2	-0,22
F	0,44	-1,45	0,2	-0,73
G	0,44	-1,3	0,2	-0,66

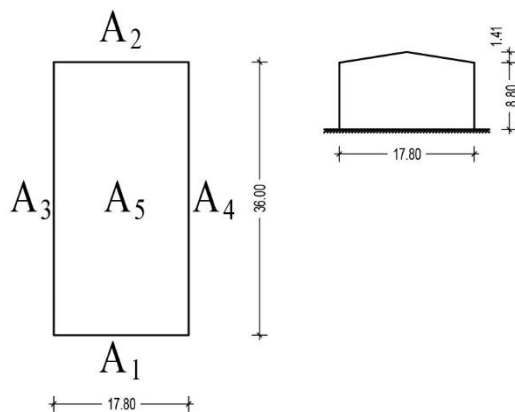
H	0,44	-0,65	0,2	-0,37
I	0,44	-0,55	0,2	-0,33

Preglednica 9: Obtežba zunanega vetra in notranjega srka v smeri Y

Področje	q_p	c_{pe}	c_{pi}	w_{e-i} [kN/m ²]
A	0,44	1,2	-0,3	0,66
B	0,44	-0,8	-0,3	-0,22
C	0,44	-0,5	-0,3	-0,09
D	0,44	0,7	-0,3	0,44
E	0,44	-0,3	-0,3	0,00
F	0,44	-1,45	-0,3	-0,51
G	0,44	-1,3	-0,3	-0,44
H	0,44	-0,65	-0,3	-0,15
I	0,44	-0,55	-0,3	-0,11

3.2.2.3 Trenje vetra

Učinek trenja vetra na ploskev se lahko zanemari, če je celotna površina vseh ploskev, vzporednih (ali pod majhnim kotom) z vetrom, enaka ali manjša od štirikratne površine zunanjih ploskev, pravokotnih na veter (priveternih in zavetnih).



Slika 11: Površine vseh ploskev

$$A_1 = 17,8m \cdot \left(8,8m + \frac{1,41m}{2} \right) = 169,19m^2$$

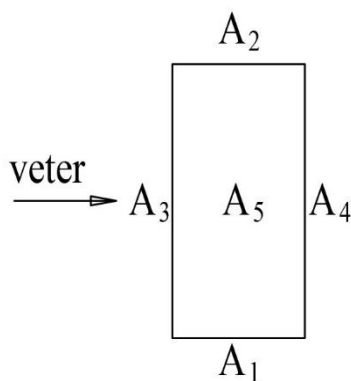
$$A_1 = A_2$$

$$A_3 = 8,8m \cdot 36m = 316,8m^2$$

$$A_4 = A_3$$

$$A_5 = 2 \cdot 9,01m \cdot 36m = 648,79m^2$$

a) Kontrola vpliva trenja vetra v smeri x



Slika 12: Veter vzporeden s krajšo ploskvijo

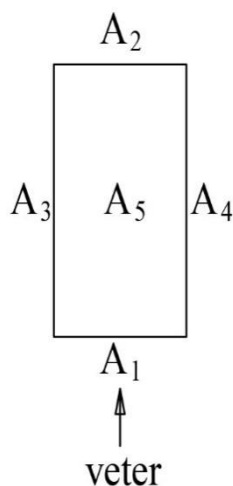
$$A_{vzp} = A_1 + A_2 + A_5 = 169,19m^2 \cdot 2 + 648,79m^2 = 987,17m^2$$

$$A_{prav} = A_3 + A_4 = 316,8m^2 \cdot 2 = 633,6m^2$$

$$A_{vzp} \leq 4A_{prav}$$

$$987,17 \leq 4 \cdot 633,60m^2 = 2534,40m^2 \Rightarrow \text{Trenje vetra lahko zanemarimo}$$

b) Kontrola vpliva trenja vetra v smeri y



Slika 13: Veter vzporeden s daljšo ploskvijo

$$A_{vzp} = A_3 + A_4 + A_5 = 316,80m^2 \cdot 2 + 648,79m^2 = 1282,39m^2$$

$$A_{prav} = A_1 + A_2 = 169,19m^2 \cdot 2 = 338,38m^2$$

$$A_{vzp} \leq 4A_{prav}$$

$$1282,39 \leq 4 \cdot 338,38 = 1353,52 \Rightarrow \text{Trenje vetra lahko zanemarimo.}$$

3.3 Obtožbe žerjava

(SIST EN 1991-3)

Splošno

V projektirani hali je predviden 10 tonski žerjav z razponom 17m na katerega je možno pritrditi kljuko ali magnet. Tip dvigala je HC3 (Hiosting class) S4 (S-class). Izbral sem žerjav NSC 10t x 17m podjetja Indenna d.o.o. (glej prilogo H) z naslednjimi tehničnimi karakteristikami:

$$Q_h = \text{nosilnost žerjava (teža tovora)} \quad 100\text{kN}$$

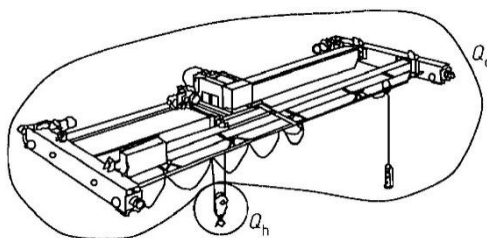
$$Q_v = \text{lastna teža vozička} \quad 6,4\text{kN}$$

$$Q_c = \text{lastna teža mostnega žerjava (brez vozička)} \quad 44,88\text{kN} \approx q_c = 2,64\text{kN/m}$$

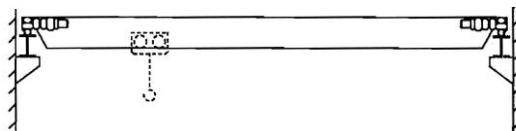
$$v_h = \text{hitrost dvigovanja tovora (2 hitrosti)} \quad 5/0,83\text{m/min}$$

$$v_v = \text{hitrost vozička po mostnem žerjavu} \quad 20\text{m/min}$$

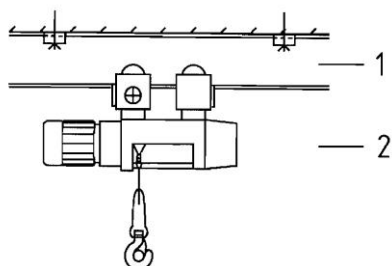
$$v_c = \text{hitrost mostnega žerjava} \quad 25\text{m/min}$$



Slika 14: Prikaz teže tovora in lastna teža žerjava



Slika 15: Mostno dvigalo, ki potuje po vrhu nosilca žerjavne proge



Slika 16: Žerjavni most s pomičnim vozičkom (1 žerjavni most, 2 pomični voziček)

Pri določevanju kritičnih obtežnih primerov moramo upoštevati preglednico obtežnih skupin. Pri tem uporabimo dinamični faktor, odvisen od kombinacije med obtežno skupino in obtežnim primerom.

Preglednica 10: Dinamični faktorji za različne obtežne skupine in obtežne primere

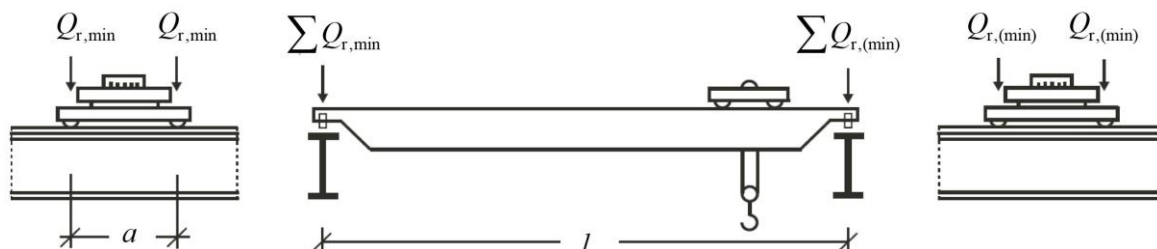
		Oznaka	Skupna obtežba					
			Mejno stanje nosilnosti					
			1	2	3	4	5	6
1	Lastna teža žerjava	Q_c	φ_1	φ_1	1	φ_4	φ_4	φ_4
2	Teža bremena	Q_h	φ_2	φ_3	/	φ_4	φ_4	φ_4
3	Pospeševanje žerjavnega mosta	Q_L, Q_T	φ_5	φ_5	φ_5	φ_5	/	/
4	Rotiranje žerjavnega mosta	Q_S	/	/	/	/	1	/
5	Pospeševanje - zaviranje vozička	Q_{T3}	/	/	/	/	/	1

Preglednica 11: Dinamični faktorji

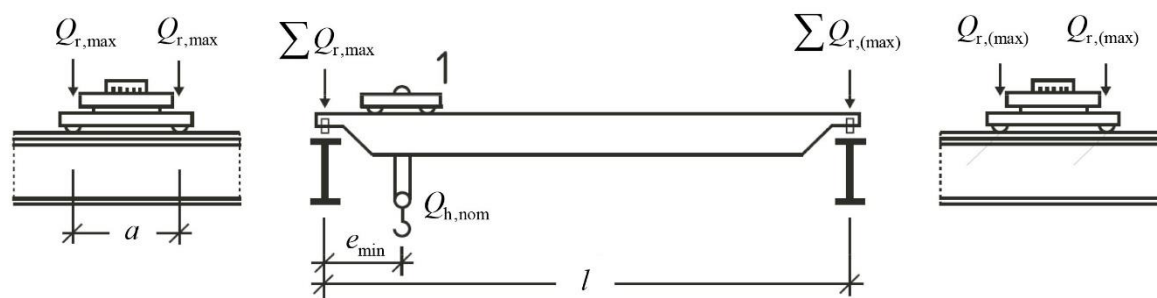
Dinamični faktorji	Vpliv, ki ga zajema	Kje se upošteva	Podan od proizvajalca dvigal
φ_1	vzbujanje žerjava zaradi dvigovanja bremena od tal	Lastna teža žerjava	1,10
φ_2	Dinamični učinki, ki se pojavijo zaradi prenosa bremena od tal do žerjava	Teža bremena	1,19
ali φ_3	Dinamični učinki, ki so posledica nenadnega spusta bremena		1,00
φ_4	Dinamični učinki, ki so posledica premikanja žerjava po tirnicah	Lastna teža žerjava in teža bremena	1,00
φ_5	Dinamičen učinek zaradi sil, ki se pojavijo med vožnjo žerjava po žerjavni progi	Vozne sile	1,20

3.3.1 Vertikalna obtežba žerjava

Položaj obtežbe pri minimalni in maksimalni obremenitvi je prikazan spodaj.



Slika 17: Postavitev obtežbe za določitev minimalnih vertikalnih vplivov



Slika 18: Postavitev obtežbe za določitev maksimalnih vertikalnih vplivov

3.3.1.1 Vertikalna obtežba koles žerjava zaradi lastne teže

Vsota obtežb na kolesa neobremenjenega žerjava

$$\Sigma Q_{r,min} = \frac{q_c \cdot l}{2} + \frac{Q_v \cdot e_{min}}{l} \cdot \varphi_i$$

Obtežna skupina 1 in 2 ($\varphi_1=1,10$)

$$\left(\frac{2,64 \cdot 17}{2} + \frac{6,4 \cdot 0,5}{17} \right) \cdot 1,1 = 24,89 \text{ kN}$$

Obtežna skupina 3, 4, 5 in 6 ($\varphi_4=1,0$)

$$\left(\frac{2,64 \cdot 17}{2} + \frac{6,4 \cdot 0,5}{17} \right) \cdot 1,0 = 22,63 \text{ kN}$$

Pripadajoča vsota obtežb na kolesa neobremenjenega žerjava

$$\Sigma Q_{r,(min)} = \frac{q_c \cdot l}{2} + \frac{Q_v \cdot (l - e_{min})}{l} \cdot \varphi_i$$

Obtežna skupina 1 in 2 ($\varphi_1=1,10$)

$$\left(\frac{2,64 \cdot 17}{2} + \frac{6,4 \cdot (17 - 0,5)}{17} \right) \cdot 1,1 = 31,52 kN$$

Obtežna skupina 3, 4, 5 in 6 ($\varphi_4=1,0$)

$$\left(\frac{2,64 \cdot 17}{2} + \frac{6,4 \cdot (17 - 0,5)}{17} \right) \cdot 1,0 = 28,65 kN$$

3.3.1.2 Vertikalna obtežba koles žerjava zaradi teže tovora

Vsota obtežb na kolesa zaradi teže tovora

$$\Sigma Q_{h,max} = \frac{Q_h \cdot (l - e_{min})}{l} \cdot \varphi_i$$

a) Obtežna skupina 1 ($\varphi_2=1,19$)

$$\frac{100 \cdot (17 - 0,5)}{17} \cdot 1,19 = 115,50 kN$$

b) Obtežna skupina 2, 4, 5 in 6 ($\varphi_3=\varphi_4=1,0$)

$$\frac{100 \cdot (17 - 0,5)}{17} \cdot 1,0 = 97,06 kN$$

Pripadajoča vsota obtežb na kolesa zaradi teže tovora

$$\Sigma Q_{h(max)} = \frac{Q_h \cdot e_{min}}{l} \cdot \varphi_i$$

a) Obtežna skupina 1 ($\varphi_2=1,19$)

$$\frac{100 \cdot 0,5}{17} \cdot 1,19 = 3,50kN$$

b) Obtežna skupina 2, 4, 5 in 6 ($\varphi_3=\varphi_4=1,0$)

$$\frac{100 \cdot 0,5}{17} \cdot 1,0 = 2,94kN$$

Skupna obtežba na kolesih zaradi tovora in žerjava

$$\Sigma Q_{r,max} = \Sigma Q_{r,(min)} + \Sigma Q_{h,max}$$

a) Obtežna skupina 1

$$31,52kN + 115,50kN = 146,75kN$$

b) Obtežna skupina 4,5 in 6

$$28,65kN + 97,06kN = 125,71kN$$

Pripadajoča skupna obtežba na kolesih zaradi tovora in žerjava

$$\Sigma Q_{r,(max)} = \Sigma Q_{r,min} + \Sigma Q_{h(max)}$$

a) Obtežna skupina 1

$$24,89kN + 3,50kN = 28,39kN$$

b) Obtežna skupina 4,5 in 6

$$22,63kN + 2,94kN = 25,57kN$$

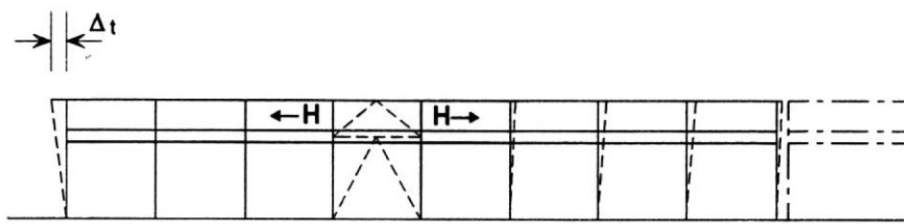
3.3.2 Horizontalna obtežba žerjava

3.3.2.1 Vpliv pospeševanja in zaviranja dvigala

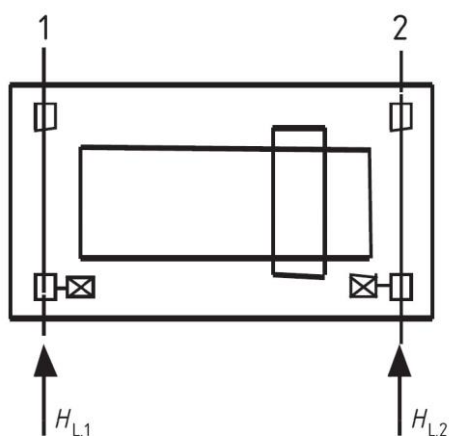
Pri pospeševanju in zaviranju dvigala nastane trenje med kolesi in tirnico. Zaradi tega pride do vzdolžne horizontalne sile v žerjavni progi. Kadar je dvigalo obremenjeno nesimetrično, se poleg vzdolžnih sil v žerjavni progi pojavijo tudi prečne sile.

a) Vzdolžna sila H_L

Vzdolžne sile v žerjavni progi nastanejo zaradi pospeševanja in zviranja mostnega žerjava in so posledica trenja med kolesom in tirnico žerjavne proge.



Slika 19: Pospeševanje in zavijanje mostu žerjava



Slika 20: Vzdolžna sila

$$H_{Li} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r}$$

Kjer je:

n_r število žerjavnih prog, ki podpirajo dvigalo = 2

φ_5 1,20 (podatek od proizvajalca dvigal)

K vozna sila

$$K = \mu \cdot \Sigma Q_{r,min}^* = \mu \cdot \left(\frac{\Sigma Q_{r,min}}{2} + \frac{\Sigma Q_{r,(min)}}{2} \right) = 0,2 \cdot (14,33kN + 11,32kN) = 5,13kN$$

(enačbo izberemo na podlagi tega, da ima mostno dvigalo centralni pogon)

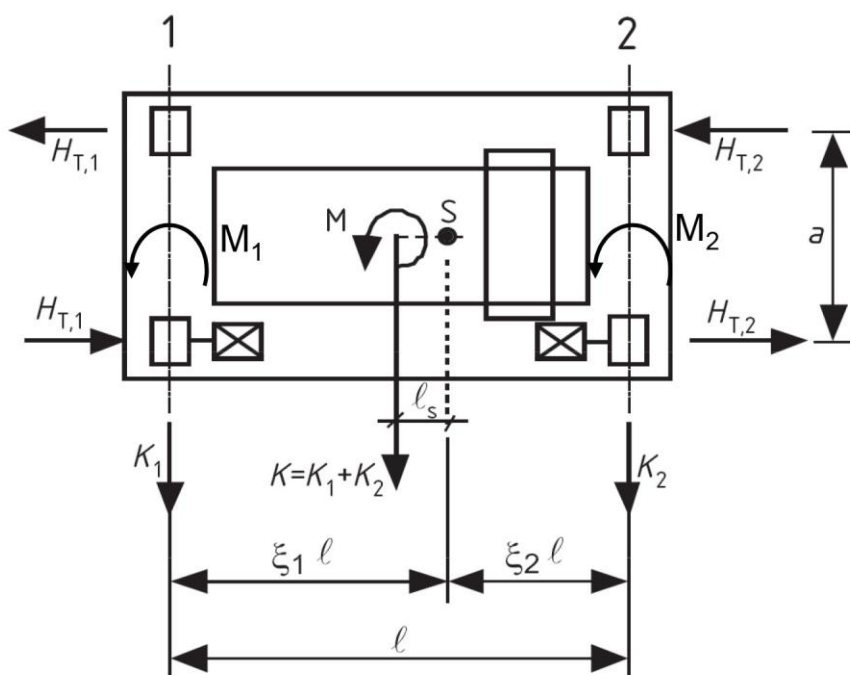
$$H_{Li} = \varphi_5 \cdot K \cdot \frac{1}{n_r}$$

$$H_L = 1,20 \cdot 5,13kN \cdot \frac{1}{2}$$

$$H_L = 3,08kN$$

b) Prečna sila $H_{T,1}$ in $H_{T,2}$

Prečna sila je posledica pospeševanja in zaviranja zaradi ekscentrično obremenjenega žerjavnega mostu



Slika 19: Prečna sila

$$H_{T1} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a}$$

Kjer je:

$\xi_{1,2}$ razdalja med centrom rotacije žerjava in žerjavne proge

M rotacijski moment žerjavne proge

a razdalja med kolesi

$$\xi_1 = \frac{\sum Q_{r,max}}{\sum Q_r} = \frac{125,71kN}{125,71kN + 25,47kN} = 0,83$$

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)}$$

$$\xi_2 = 1 - \xi_1$$

$$\xi_2 = 0,17$$

$$l_s = (\xi_1 - 0,5) \cdot l = (0,83 - 0,5) \cdot 17m = 5,61m$$

$$M = K \cdot l_s = 5,13kN \cdot 5,61m = 28,78kNm$$

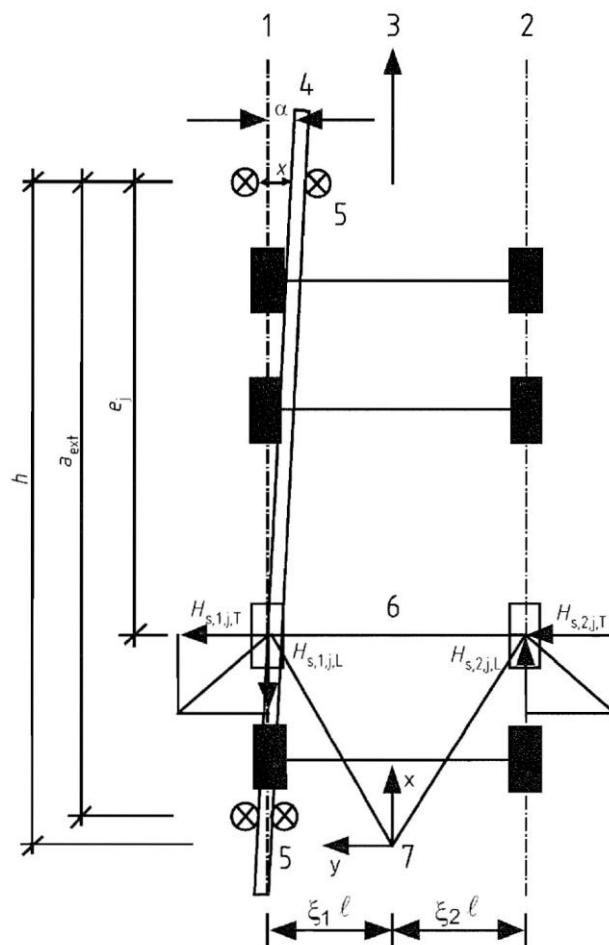
$$H_{T1} = \varphi_5 \cdot \xi_2 \cdot \frac{M}{a} = 1,20 \cdot 0,17 \cdot \frac{28,78kNm}{2,5m} = 2,35kN$$

$$H_{T2} = \varphi_5 \cdot \xi_1 \cdot \frac{M}{a} = 1,20 \cdot 0,83 \cdot \frac{28,78kNm}{2,5m} = 11,47kN$$

3.3.2.2 Odklon med vodili in tirnico zaradi nesimetričnosti

Kadar je mostni žerjav nesimetrično obremenjen in se premika vzdolž proge, se v njegovem težišču pojavi moment, ki ga nosilec žerjavne proge prevzame z dvojico sil.

Velikost teh sil je odvisna od velikosti špranje med vodilom in tirnico, obrabe tirnice tolerance pri izdelavi ter razdalje a med kolesi.



Slika 20: Kot in razdalja h (1,2 tirnica, 3 smer gibanja, 4 smer gibanja, 5 stranska vodila, 6 pari koles, 7 center rotacije)

Sila vodila na žerjavno progo zaradi torzičnega zasuka žerjava.

$$S = f \cdot \lambda_{sj} \Sigma Q_r$$

Prečne sile v posameznih kolesih, ki jih povzroča torzični zasuk žerjava.

$$H_{s,i,j,k} = f \cdot \lambda_{s,i,j,k} \Sigma Q_r$$

Kjer je

f faktor = $0,3 \cdot (1 - \exp(-250\alpha))$

α kot odklona med vodili in tirnico

$\lambda_{S,j}$ faktor sile

a) Kot odklona med vodili in tirnico α

Kot naklona je odvisen od naslednjih parametrov: velikost špranje med tirnico in vodilom α_F , obrabe tirnice α_{FV} in tolerance pri izdelavi α_0 .

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 \leq 0,015rad$$

$$\alpha_F = \frac{0,75 \cdot x}{a_{ext}} = \frac{10}{2500} = 0,004rad$$

$$\alpha_V = \frac{y}{a_{ext}} = \frac{0,1 \cdot b}{2500} = \frac{0,1 \cdot 55}{2500} = 0,0022rad$$

$$\alpha = 0,001rad$$

$$\alpha = \alpha_F + \alpha_V + \alpha_0 = 0,004 + 0,0022 + 0,001 = 0,0072rad \leq 0,015rad$$

b) Faktor f

$$f = 0,3 \cdot (1 - \exp(-250\alpha)) = 0,3 \cdot (1 - \exp(-250 \cdot 0,0072)) = 0,25 \leq 0,3$$

c) Faktor sile λ_{Sj}

Faktor λ_{Sj} je odvisen od kombinacije kolesnih parov in razdalje h med središčem rotacije in pripadajočim vodilom.

Iz tabele 2.8 (EN 1991.3.3;2006) vzamem IFF (independent fixed/fixed) sistem kombinacije med pari koles. Kolesa imajo sredinski utor tako, da se kolo obravnava kot stransko vodilo.

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j}$$

kjer je

m število parov dvojnih koles ($m=0$ za neodvisne pare koles)

e_j razdalja med kolesom in vodilom

$$h = \frac{m \cdot \xi_1 \cdot \xi_2 \cdot l^2 + \Sigma e_j^2}{\Sigma e_j} = \frac{2500^2}{2500} = 2500 \text{ mm}$$

$$\lambda_{s,j} = 1 - \frac{\Sigma e_j}{n \cdot h}$$

Kjer je

n število parov kolesnih = 2

h razdalja med centrom rotacije in vodilom

$$\lambda_{s,j} = 1 - \frac{\Sigma e_j}{n \cdot h} = 1 - \frac{2500}{2 \cdot 2500} = 0,5$$

$$\lambda_{s,1,j,L} = \lambda_{s,2,j,L} = 0$$

$$\lambda_{s,1,j,T} = \frac{\xi_2}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$$

$$\lambda_{s,1,1,T} = \frac{0,17}{2} \cdot (1 - 0) = 0,085$$

$$\lambda_{s,1,2,T} = \frac{0,17}{2} \cdot (1 - 1) = 0$$

$$\lambda_{s,2,j,T} = \frac{\xi_1}{n} \cdot \left(1 - \frac{e_j}{h}\right)$$

$$\lambda_{s,2,1,T} = \frac{0,83}{2} \cdot (1 - 0) = 0,415$$

$$\lambda_{s,2,2,T} = \frac{0,83}{2} \cdot (1 - 1) = 0$$

$$\Sigma Q_r = \Sigma Q_{r,max} + \Sigma Q_{r,(max)} = 125,71 \text{ kN} + 25,47 \text{ kN} = 151,18 \text{ kN}$$

$$S = f \cdot \lambda_{s,j} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0,5 \cdot 151,18 \text{ kN} = 18,90 \text{ kN}$$

$$H_{s,1,L} = f \cdot \lambda_{s,1,L} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0 \cdot 151,18 \text{ kN} = 0$$

$$H_{s,2,L} = f \cdot \lambda_{s,2,L} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0 \cdot 151,18 \text{ kN} = 0$$

$$H_{S,1,1,T} = f \cdot \lambda_{S,1,1,T} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0,085 \cdot 151,18kN = 3,21kN$$

$$H_{S,1,2,T} = f \cdot \lambda_{S,1,2,T} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0 \cdot 151,18kN = 0$$

$$H_{S,2,1,T} = f \cdot \lambda_{S,2,1,T} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0,415 \cdot 151,18kN = 15,68kN$$

$$H_{S,2,2,T} = f \cdot \lambda_{S,2,2,T} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0 \cdot 151,18kN = 0$$

$$S = f \cdot \lambda_{S,j} \cdot \Sigma Q_r = 0,25 \cdot 0,5 \cdot 151,18kN = 18,90kN$$

3.3.2.3 Pospeševanje in ustavljanje vozička

Predpostavimo, da sila pospeševanja oziroma zaviranja vozička, ki vozi po mostu žerjava ne presega 10% mase vozička in bremena.

$$H_{T,3} = 0,1 \cdot (Q_h + Q_v)$$

Kjer je:

Q_v = lastna teža vozička

Q_h = teža tovora

$$H_{T3} = 0,1 \cdot (Q_h + Q_v) = 0,1 \cdot (100 + 6,4) = 10,64kN$$

Preglednica 12: Projektna obtežba žerjava

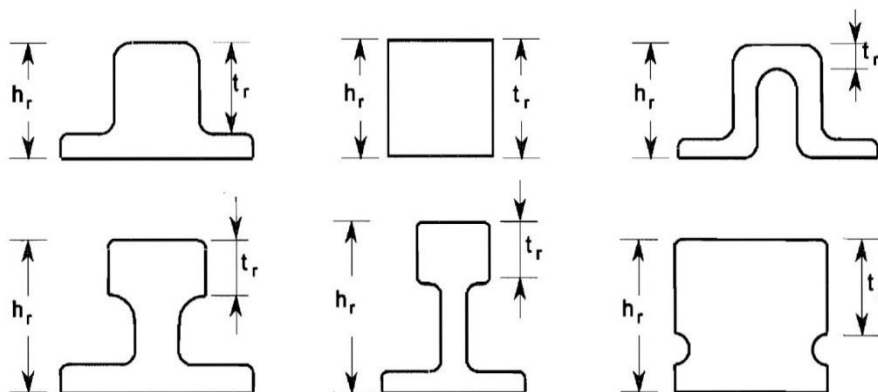
Oznaka	Obtežne skupine					
	1	2	3	4	5	6
$\Sigma Q_{r,min}$	24,89	24,89	22,63	22,63	22,63	22,63
$\Sigma Q_{r,(min)}$	31,25	31,25	28,65	28,65	28,65	28,65
$\Sigma Q_{h,max}$	115,50	97,06	/	97,06	97,06	97,06
$\Sigma Q_{h,(max)}$	3,50	2,94	/	2,94	2,94	2,94
$\Sigma Q_{r,max}$	146,75	128,31	/	125,71	125,71	125,71
$\Sigma Q_{r,(max)}$	28,39	27,83	/	25,57	25,57	25,57
H_L	3,08	3,08	3,08	3,08	/	/
$H_{T,1}$	2,35	2,35	2,35	2,35	/	/
$H_{T,2}$	11,47	11,47	11,47	11,47	/	/
$H_{S,1,T}$	/	/	/	/	3,21	/
$H_{S,2,T}$	/	/	/	/	15,68	/
$H_{T,3}$	/	/	/	/	/	10,64

3.4 Žerjavna proga

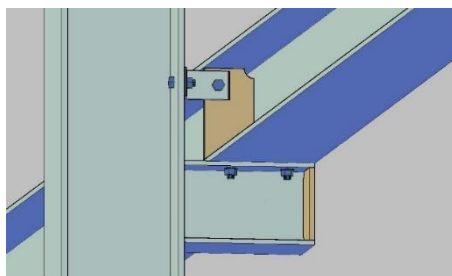
(SIST EN 1993-6)

Žerjavna proga poteka na višini 6,8m, na medsebojni razdalji 17m. Podprta je preko konzole s 6 stebri momentnih okvirjev na vsaki strani v razmaku 6 metrov. Računa se kot kontinuirni nosilec, ki je v vsaki podpori tudi bočno podprt. Na zgornjo pasnico nosilca je privarjena kvadratna tirnica 50/50 mm, ki pa se zaradi obrabe upošteva zmanjšana višina za 25% .

$$t_f = 0,25 \cdot 50\text{mm} = 37,5\text{mm}$$



Slika 23: Minimalna debelina pod voziščno ploskvijo



Slika 24: Detajl priključka žerjavne proge na steber

3.4.1 Določitev nosilca žerjavne proge

Za dimenzioniranje nosilca žerjavne proge moramo zaradi obtežbe žerjava upoštevati naslednje notranje sile in momente:

- dvoosni upogib zaradi vertikalne in prečne obtežbe na nosilec,
- tlak oziroma nateg zaradi vzdolžne obtežbe na nosilec,
- torzija zaradi ekscentričnosti prečne obtežbe glede na os prereza nosilca.

3.4.1.1 Obtežba

Nosilec žerjavne proge določimo tako, da ga obremenimo z največjo vertikalno silo mostnega žerjava, ki se preko dveh koles na vsaki strani prenaša na nosilec. Z vplivnicami preverimo najbolj neugodne vplive notranjih statičnih količin in mesta, kjer se takrat nahajata kolesi mostnega žerjava. Lastno težo žerjavne proge upošteva program.

$$Q_{r,max} = \frac{\Sigma Q_{h,max} + \Sigma Q_{r,(min)}}{2}$$

$Q_{r,max}$ obtežba posameznega kolesa pri prvi obtežni skupini



Slika 21: Vertikalna obtežba žerjavne proge

3.4.1.2 Mejno stanje uporabnosti (MSU)

Pri mejnem stanju uporabnosti preverimo vertikalne pomike, določimo mesto obteženih koles žerjavnega mostu pri maksimalnem momentu in preverimo reakcije za posamezno obtežbo $Q_{r,max}$ in $Q_{r,(max)}$

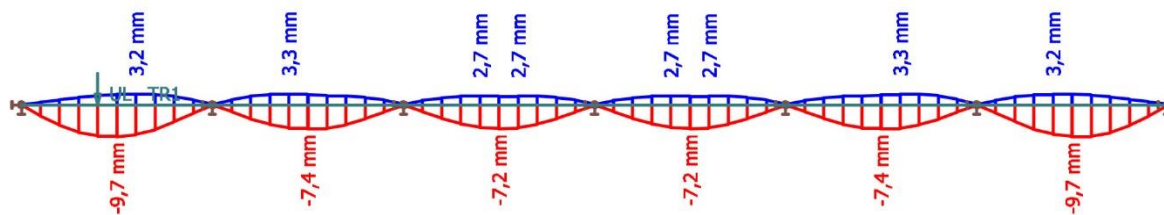
$$1,0 \cdot G + 1,0 \cdot Q$$

$$Q_{r,max} = \frac{1,0 \cdot \Sigma Q_{h,max} + 1,0 \cdot \Sigma Q_{r,(min)}}{2} = \frac{1,0 \cdot 115,50 + 1,0 \cdot 31,25}{2} = 73,38 kN$$

$$Q_{r,(max)} = \frac{1,0 \cdot \Sigma Q_{h,(max)} + 1,0 \cdot \Sigma Q_{r,min}}{2} = \frac{1,0 \cdot 3,50 + 1,0 \cdot 24,89}{2} = 14,20 kN$$

- Pomiki

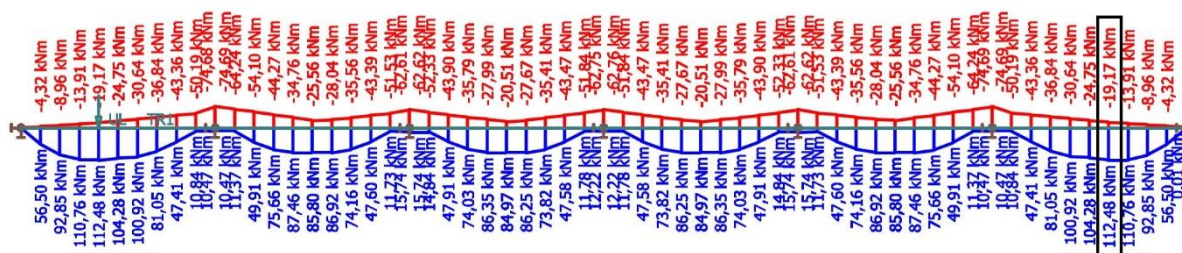
Z vplivnicami izračunamo maksimalne vertikalne pomike žerjavne proge, ki morajo biti manjši od $L/600$



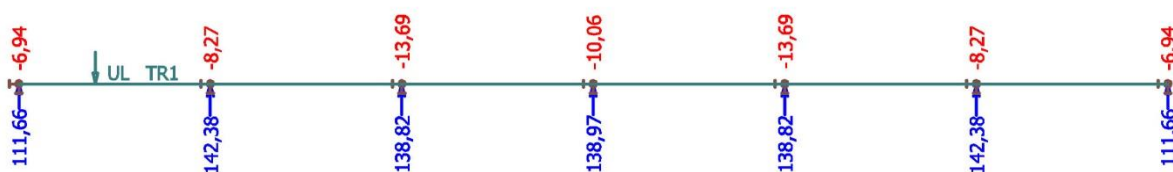
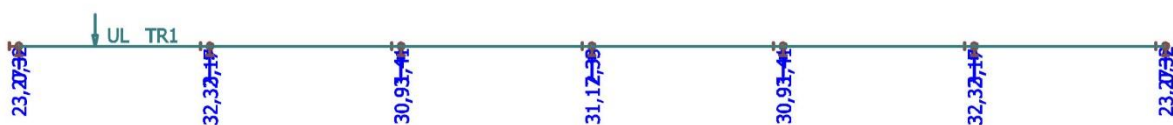
Slika 22: Maksimalen vertikalni pomik žerjavne proge [mm]

$$\delta_{dej} = 9,9 mm \leq \frac{L}{600} = \frac{6000 mm}{600} = 10 mm$$

- Pozicija koles mostnega žerjava pri maksimalnem momentu je 2,4m od skrajne podpore. V nadaljevanju na tem mestu naredimo kontrolo stabilnosti in nosilnosti prereza s pripadajočima horizontalnima silama.



Slika 25: Ovojnica momentov žerjavne proge

Slika 24: Reakcije žerjavne proge pri maksimalni obtežbi koles $Q_{r,max}$ Slika 23: Reakcije žerjavne proge s pripadajoči obtežbi koles $Q_{r,(max)}$

- Reakcije žerjavne proge potrebujemo pri obtežbi glavnega momentnega okvirja.

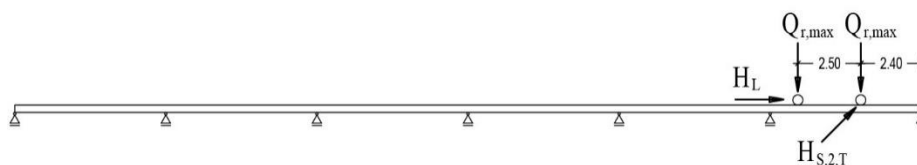
3.4.1.3 Mejno stanje nosilnosti (MSN)

Pri mejnem stanju nosilnosti upoštevam:

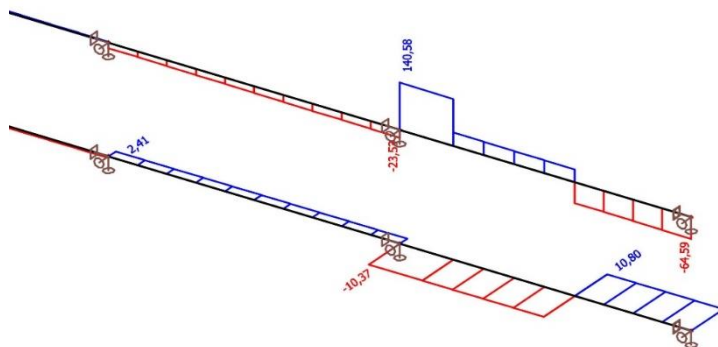
$$1,35 \cdot G + 1,35 \cdot Q$$

3.4.1.4 Dimenzioniranje žerjavne proge

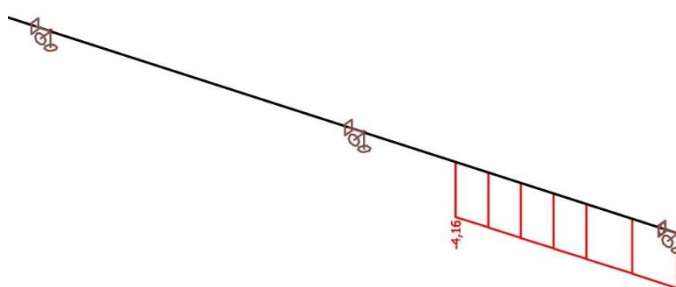
Mesto maksimalnih momentov je 2,4m od krajne podpore. Na tem mestu naredim kontrolo stabilnosti in nosilnosti prečnega prereza žerjavne proge. (Glej prilogo A)



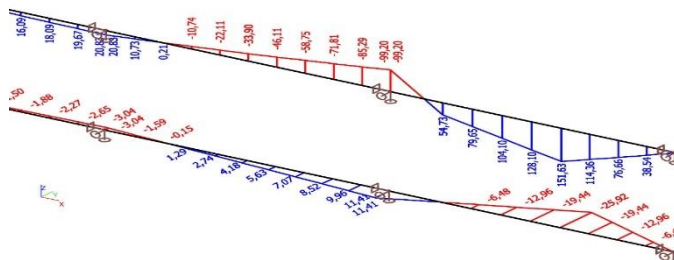
Slika 26: Primer najbolj neugodnega vpliva obtežbe na žerjavno progo



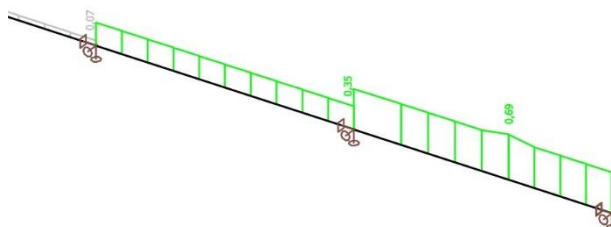
Slika 29: Prečne sile V_z in V_y [kN]



Slika 28: Osne sile [kN]



Slika 27: Momenti M_y in M_z [kNm]



Slika 30: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti žerjavne proge [%]

3.4.2 Kontrola lokalnih napetosti v žerjavni progi

3.4.2.1 Lokalne vertikalne tlačne napetosti v stojini

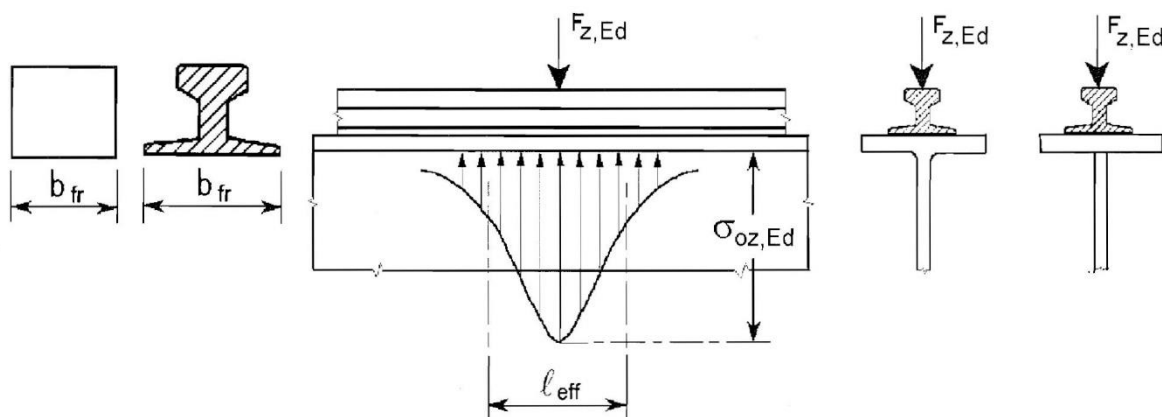
$$\sigma_{Oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w}$$

Kjer je

$F_{z,Ed}$ projektna obtežba kolesa na zgornjo pasnico

l_{eff} efektivna tlačna širina

t_w debelina stojine



Slika 31: Efektivna širina obtežbe

Velja za tirnico, ki je privarjena na pasnico.

$$l_{eff} = 3,25 \left[\frac{(I_{rf})}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}}$$

Kjer je

$I_{rf} = 114,79 \text{ cm}^4$ vztrajnostni moment okoli zgornje pasnice in zmanjšane tirnice

$$l_{eff} = 3,25 \left[\frac{(I_{rf})}{t_w} \right]^{\frac{1}{3}} = 3,25 \left[\frac{114,79 \text{ cm}^4}{0,85 \text{ cm}} \right]^{\frac{1}{3}} = 16,51 \text{ cm}$$

$$\sigma_{Oz,Ed} = \frac{F_{z,Ed}}{l_{eff} \cdot t_w} = \frac{99,06 \text{ kN}}{16,51 \text{ cm} \cdot 0,85 \text{ cm}} = 7,06 \text{ kN/cm}^2 < f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$F_{z,Ed} = Q_{Vi} = 99,06 \text{ kN}$$

Tlačene napetosti preverim še v spodnjem delu stojine na mestu podpore.

$$\sigma_{Oz,Ed}^{R_z} = \frac{F_{z,Ed}^{R_z}}{(b + 2 \cdot t_f + 2 \cdot r) t_w}$$

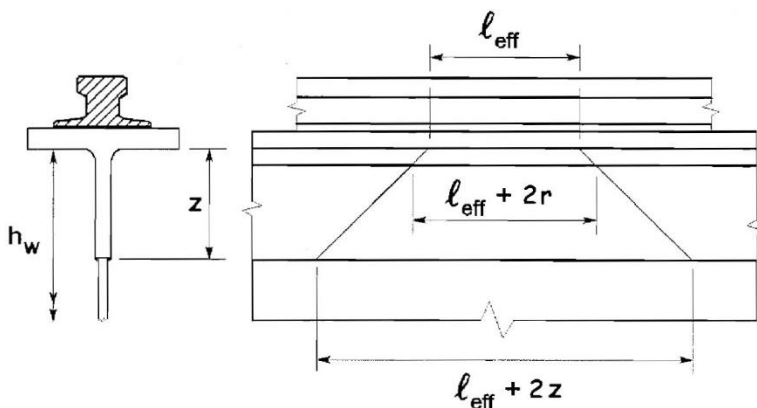
Kjer je

$$F_{z,Ed}^{R_z} = R_z = 184,23 kN \quad \text{reakcija v podpori}$$

$$b = 24 cm \quad \text{širina podpore}$$

$$t_f \quad \text{debelina stojine}$$

$$r \quad \text{radij med pasnico in stojino}$$



Slika 32: Raznos obtežbe pod kotom 45 pod zgornjo pasnico

$$\begin{aligned} \sigma_{Oz,Ed}^{R_z} &= \frac{F_{z,Ed}^{R_z}}{(b + 2 \cdot t_f + 2 \cdot r) t_w} = \frac{184,23 kN}{(24 cm + 2 \cdot 1,4 cm + 2 \cdot 2,7 cm) \cdot 0,85 cm} = \\ &= 6,73 kN/cm^2 < f_y = 23,5 kN/cm^2 \end{aligned}$$

3.4.2.2 Lokalne strižne napetosti v stojini

- a) Predpostavim, da so lokalne strižne napetosti 20% vrednosti lokalne vertikalne napetosti $\sigma_{Oz,Ed}$

$$\tau_{Oxz,Ed} = 0,2 \cdot \sigma'_{Oz,Ed} = 0,2 \cdot 5,32 kN/cm^2 = 1,06 kN/cm^2$$

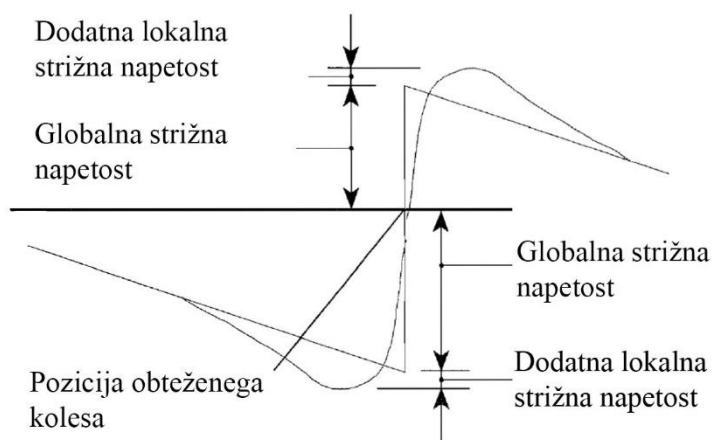
b) Strižna napetost zaradi maksimalne prečne sile ob podpori

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{t_w \cdot d} = \frac{184,23kN}{0,85cm \cdot 20,8cm} = 10,42kN/cm^2$$

Kjer je:

$V_{Ed} = R_z$ maksimalna prečna sila

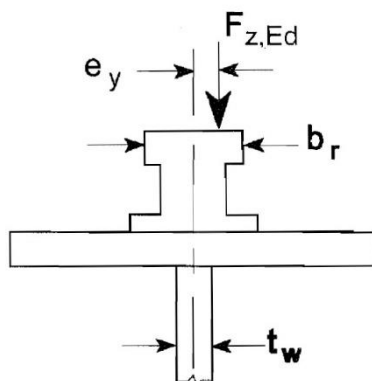
d višina stojine



Slika 33: Lokalna in globalna strižna napetost zaradi obtežbe koles žerjava

$$\tau_{Oxz,Ed} + \tau_{Ed} = 1,06kN/cm^2 + 10,42kN/cm^2 = 11,48kN/cm^2 < \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 13,57kN/cm^2$$

3.4.2.3 Lokalna uklonska napetost stojine zaradi ekscentričnosti obtežbe kolesa



Slika 34: Ekscentrična sila na tirnici

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta)$$

Kjer je

$\sigma_{T,Ed}$ uklonska napetost zaradi tozijskega momenta

a razdalja med prečnimi ojačitvami

h_w celotna višina stojine (svetla višina med pasnicama)

T_{Ed} tozijski moment, ki ga povzroča sila $F_{z,Ed}$ z ekscentričnostjo e_y

t_w debelina stojine

I_t vztrajnostni torzijski moment pasnice in nanjo privarjene tirnice

$$T_{Ed} = F_{z,Ed} \cdot e_y$$

$$T_{Ed} = 99,06 \cdot 1,25$$

$$T_{Ed} = 123,83 \text{ kN/cm}$$

$$e_y = 0,25 \cdot b_r$$

$$e_y = 0,25 \cdot 5,0 = 1,25 \text{ cm} > 0,5 \cdot t_w = 0,5 \cdot 0,85 \text{ cm} = 0,425 \text{ cm}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot a \cdot t_w}{I_t} \cdot \frac{\sinh^2\left(\pi \cdot \frac{h_w}{a}\right)}{\sinh\left(2\pi \frac{h_w}{a}\right) - 2\pi \frac{h_w}{a}}}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,75 \cdot 600 \cdot 0,85}{116,78 \text{ cm}^4} \cdot \frac{\sinh^2(0,137)}{\sinh(0,274) - 0,274}}$$

$$\eta = \sqrt{3,28 \cdot 5,49}$$

$$\eta = 4,24$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot T_{Ed}}{a \cdot t_w^2} \cdot \eta \cdot \tanh(\eta)$$

$$\sigma_{T,Ed} = \frac{6 \cdot 123,83}{600 \cdot 0,85^2} \cdot 4,24 \cdot \frac{e^{4,24} - e^{-4,24}}{e^{4,24} + e^{-4,24}} = 1,71 \cdot 4,24 \cdot 1,0 = 7,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$7,25 \text{ kN/cm}^2 < f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

3.4.3 Utrujanje

(SIST EN 1993-1-9)

Kontrola utrujanja zagotavlja varnost konstrukcije, da ne pride do večjih konstrukcijskih poškodb skozi celo življenjsko dobo obratovanja. Kontrolo utrujanja naredim po poenostavljenem pristopu.

3.4.3.1 Obtežba pri kontroli utrujanja

V normalnih pogojih delovanja žerjava, je lahko obtežba za utrujanje izražena kot nadomestna obtežba zaradi utrujanja Q_e , ki je lahko konstantna v vseh pozicijah žerjava. V nadomestni obtežbi zaradi utrujanja se upošteva število delovnih ciklov $N = 2,0 \cdot 10^6$ za pričakovano dobo delovanja konstrukcije.

Obtežba pri utrujanju

$$Q_e = \rho_{fat} \cdot \lambda_i \cdot Q_{max,i}$$

Dvigalo klase "S4" preglednica

Faktor poškodbe zaradi cikličnega obremenjevanja

- Normalne napetosti $\lambda_i = 0,5$
- Strižne napetosti $\lambda_i = 0,66$

Dinamični faktor poškodb

$$\rho_{fat,1} = \frac{1 + \rho_1}{2} = \frac{1 + 1,1}{2} = 1,05$$

$$\rho_{fat,1} = \frac{1 + \rho_2}{2} = \frac{1 + 1,19}{2} = 1,10$$

Maksimalna vertikalna karakteristična obtežba kolesa

$$Q_{max,i} = \frac{1}{2} \Sigma Q_{r,max} = \frac{125,71 kN}{2} = 62,86 kN$$

Obtežba za normalne napetosti

$$Q_{e,1} = \lambda_i \cdot \rho_{fat,1} \cdot Q_{max,i} = 0,5 \cdot 1,05 \cdot 62,86 kN = 33,00 kN$$

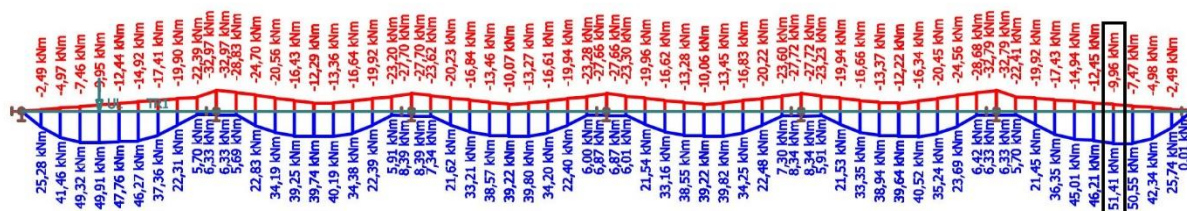
$$Q_{e,2} = \lambda_i \cdot \rho_{fat,2} \cdot Q_{max,i} = 0,5 \cdot 1,10 \cdot 62,86 kN = 34,57 kN$$

Obtežba za strižne napetosti

$$Q'_{e,1} = \lambda_i \cdot \rho_{fat,1} \cdot Q_{max,i} = 0,66 \cdot 1,05 \cdot 62,86 kN = 43,56 kN$$

$$Q'_{e,2} = \lambda_i \cdot \rho_{fat,2} \cdot Q_{max,i} = 0,66 \cdot 1,10 \cdot 62,86 kN = 45,64 kN$$

Iz ovojnice upogibnih momentov zaradi obtežbe za normalne napetosti $Q_{e,1}$ odčitamo maksimalno razliko momentov.



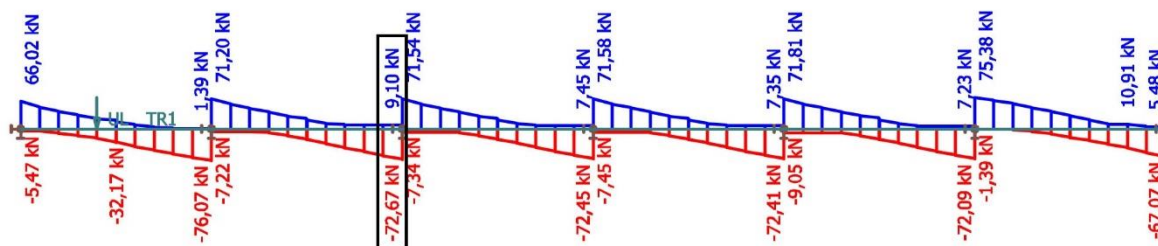
Slika 35: Ovojnica momentov [kNm]

Največja razlika momentov je 2,4m od skrajne podpore

$$M_{y,max} = 51,41 kNm$$

$$M_{y,min} = -9,96 kNm$$

Iz ovojnice prečnih sil zaradi obtežbe za strižne napetosti $Q'_{e,1}$ odčitamo maksimalno razliko prečnih sil.



Slika 36: Ovojnica prečnih sil [kN]

Največja razlika prečnih sil je 11,99m od krajne podpore.

$$V_{z,max} = -72,67 \text{ kN}$$

$$V_{z,min} = 9,10 \text{ kN}$$

a) Za kontrolo utrujanja se uporabi poenostavljena metoda

Izračunam:

- maksimalne razlike normalnih napetosti

$$\Delta\sigma_{E,2} = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}| = \frac{M_{y,max}}{W_{pl}} - \frac{M_{y,min}}{W_{pl}} = \frac{5141 \text{ kNcm}}{1260 \text{ cm}^2} - \frac{-996 \text{ kNcm}}{1260 \text{ cm}^2} = 4,87 \text{ kN/cm}^2$$

- maksimalne razlike strižnih napetosti

$$\Delta\tau_{E,2} = |\tau_{p,max} - \tau_{p,min}| = \frac{V_{z,max}}{d \cdot t_w} - \frac{-V_{z,min}}{d \cdot t_w} = \frac{9,10 \text{ kN}}{20,8 \text{ cm} \cdot 0,85 \text{ cm}} - \frac{-72,67 \text{ kN}}{20,8 \text{ cm} \cdot 0,85 \text{ cm}} = 4,49 \text{ kN/cm}^2$$

Kategorija detajla 80Mpa, ki velja za navpične ojačitve privarjene na nosilec je najstrožji kriterij vseh detajlov, ki se pojavijo na nosilcu.

Kontrola za normalne napetosti

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\sigma_c}{\gamma_{Mf}}} = \frac{1,0 \cdot 1,15 \cdot 4,87}{8,00} = 0,70 < 1$$

$\gamma_{Ff} = 1$ varnostni faktor za ekvivalentno konstantno razliko napetosti (amplitudo)

$\gamma_{Mf} = 1,15$ varnostni faktor za trdnost utrujanja materiala

$$\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta \tau_{E,2}}{\frac{\tau_c}{\gamma_{Mf}}} = \frac{1,0 \cdot 1,15 \cdot 4,63}{8,00} = 0,66 < 1$$
$$\left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\sigma_{E,2}}{\frac{\sigma_c}{\gamma_{Mf}}}\right)^3 + \left(\frac{\gamma_{Ff} \cdot \Delta\tau_{E,2}}{\frac{\tau_c}{\gamma_{Mf}}}\right)^5 = 0,70^3 + 0,66^5 = 0,47 < 1$$
$$\Delta\tau \leq 1,5 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

$\Delta\tau$	maksimalna razlika strižnih napetost pri projektni obtežbi
--------------	--

Diagram illustrating the bridge structure and dimensions. The bridge is supported by 11 piers, creating 10 spans. The dimensions are given in meters (m) and kilometers (km).

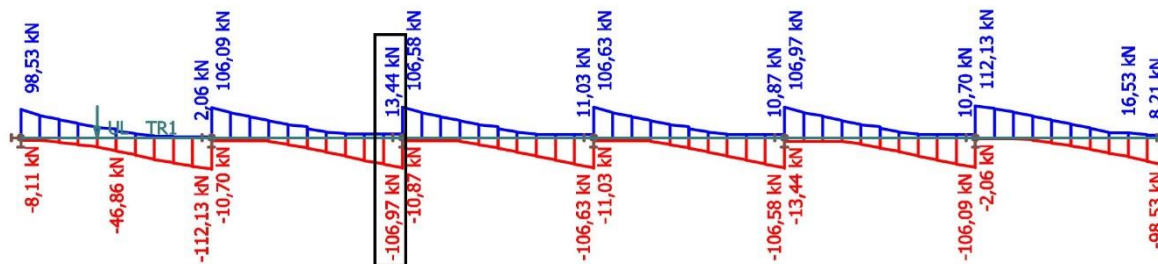
Span	Length (m)	Length (km)
1	49.87	0.04987
2	81.90	0.08190
3	97.61	0.09761
4	99.03	0.09903
5	91.80	0.09180
6	89.21	0.08921
7	72.05	0.07205
8	42.78	0.04278
9	12.88	0.01288
10	45.46	0.04546
11	67.85	0.06785
12	71.97	0.07197
13	76.26	0.07626
14	77.34	0.07734
15	66.20	0.06620
16	42.93	0.04293
17	14.35	0.01435
18	43.10	0.04310
19	65.93	0.06593
20	76.61	0.07661
21	75.26	0.07526
22	65.83	0.06583
23	62.95	0.06295
24	42.95	0.04295
25	65.83	0.06583
26	76.57	0.07657
27	75.26	0.07526
28	66.61	0.06661
29	65.93	0.06593
30	43.10	0.04310
31	14.35	0.01435
32	42.93	0.04293
33	66.20	0.06620
34	77.34	0.07734
35	76.26	0.07626
36	71.97	0.07197
37	67.85	0.06785
38	45.46	0.04546
39	12.88	0.01288
40	42.78	0.04278
41	89.21	0.08921
42	91.80	0.09180
43	99.03	0.09903
44	97.61	0.09761
45	81.90	0.08190
46	49.87	0.04987

Slika 37: Ovojnica momentov [kNm]

$$\Delta\sigma = |\sigma_{max} - \sigma_{min}| = \frac{M_{y,Ed,max}}{W_{pl}} - \frac{M_{y,Ed,min}}{W_{pl}} = \frac{9903kNcm}{1260cm^3} - \frac{-1946kNcm}{1260cm^3} =$$

$$9,4kN/cm^2 \leq 1,5 \cdot f_y = 1,5 \cdot 23,5kNcm = 35,25kNcm$$

Iz ovojnice prečnih sil zaradi pogoste spremenljive obtežbe $\Psi_1 \cdot Q_k$ odčitamo maksimalno razliko prečnih sil in izračunamo $\Delta\tau$.

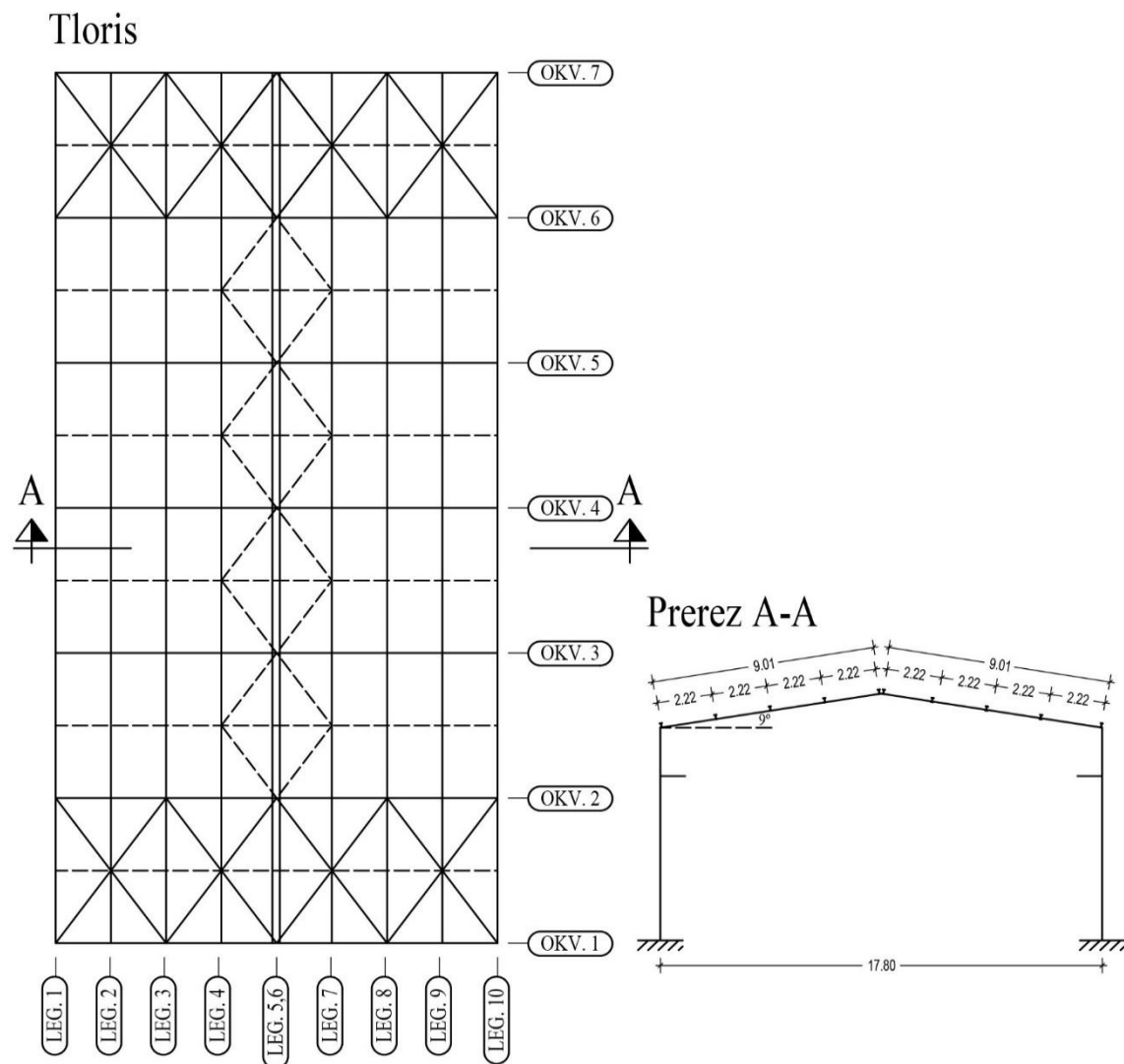


Slika 38: Ovojnica prečnih sil [kN]

$$\begin{aligned} \Delta\tau = |\tau_{max} - \tau_{min}| &= \frac{V_{z,Ed,max}}{d \cdot t_w} - \frac{V_{z,Ed,min}}{d \cdot t_w} = \frac{13,44kN}{20,8cm \cdot 0,85cm} - \frac{-106,97kN}{20,8cm \cdot 0,85cm} \\ &= 6,81kN/cm^2 \leq 1,5 \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} = 1,5 \cdot \frac{23,5kNcm}{\sqrt{3}} = 20,35kNcm \end{aligned}$$

4 STREŠNA LEGA

4.1 Zasnova



Slika 39: Strešne lege

4.2 Obtežba

4.2.1 Lastna in stalna

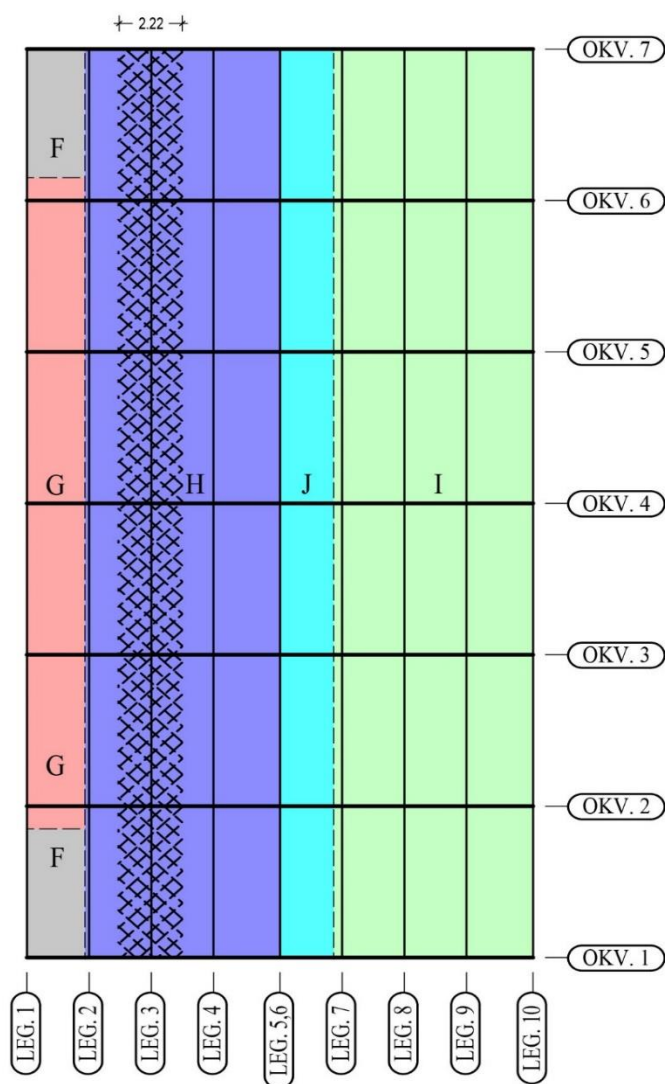
Lastno obtežbo upošteva program.

Stalna obtežba:

Elementi	Teža [kN/m ²]	Širina [m]	Teža [kN/m]
Strešni paneli trimo	0,237	2,22	0,53
Lahke inštalacije in luči	0,150	2,22	0,33
		$g_t =$	0,86

4.2.2 Veter

Pri računu obtežbe vetra na strešno lego je merodajno območje z največjim pritiskom vetra na streho. Glej tabelo 7.



Slika 40: Območja vetrne obtežbe na strehi

$$W_e = 0,18 \text{ kN/m}^2$$

$$l = 2,22 \text{ m}$$

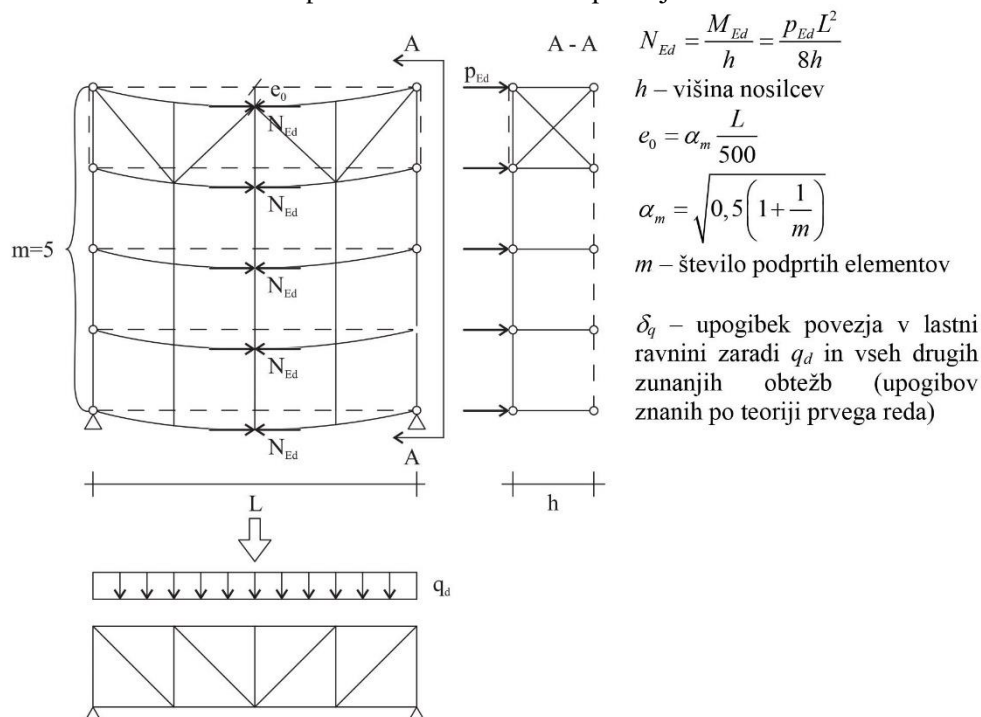
$$w_L = 0,18 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,21 \text{ m} = 0,4 \text{ kN/m}$$

4.2.3 Sneg

$$s_L = S \cdot l \cdot \cos\varphi = 1,21 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,22 \text{ m} \cdot \cos\varphi = 2,65 \text{ kN/m}$$

4.2.4 Izbočene sile okvirjev

Zaradi izbočenja strešnih nosilcev okvirja dobimo v strešni ravnini sile, ki jih preko strešnih leg prevzemamo z strešnim povezjem.



$e_0 = \alpha_m \frac{L}{500}$		m = 1	m = 2	m = 3	m = 4	m = 5	m = ∞
$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{1}{m}\right)}$							
m – število tlačnih elementov, ki jih povezje podpira	δ_q	β^*					
$q_d = \sum_{i=1}^m N_{Ed,i} 8 \frac{(e_0 + \delta_q)}{L^2}$	$\frac{L}{2000}$	$\frac{1}{50,0}$	$\frac{1}{56,0}$	$\frac{1}{58,6}$	$\frac{1}{60,1}$	$\frac{1}{61,0}$	$\frac{1}{65,3}$
$q_d = \beta \frac{\sum_{i=1}^m N_{Ed,i}}{L}$	$\frac{L}{1500}$	$\frac{1}{46,9}$	$\frac{1}{52,1}$	$\frac{1}{54,4}$	$\frac{1}{55,6}$	$\frac{1}{56,4}$	$\frac{1}{60,1}$
	$\frac{L}{1000}$	$\frac{1}{41,7}$	$\frac{1}{45,8}$	$\frac{1}{47,5}$	$\frac{1}{48,4}$	$\frac{1}{49,0}$	$\frac{1}{51,8}$
	$\frac{L}{500}$	$\frac{1}{31,3}$	$\frac{1}{33,5}$	$\frac{1}{34,4}$	$\frac{1}{34,9}$	$\frac{1}{35,2}$	$\frac{1}{36,6}$

Slika 41: Sistem izbočnih sil na povezje

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h}$$

Kjer je

h

višina nosilca

M_{Ed}

maksimalni moment v polju strešnega nosilca okvirja

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{221,06 \text{ kNm}}{0,45\text{m}} = 491,24\text{kN}$$

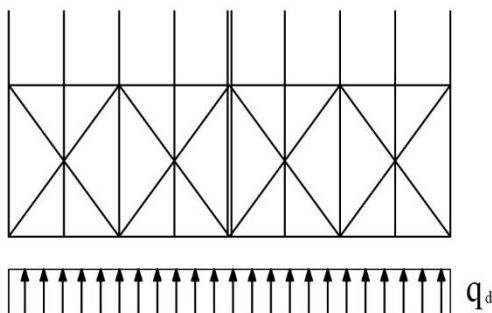
$$q_d = \beta \frac{\sum_{i=1}^m N_{Edi}}{L}$$

Kjer je

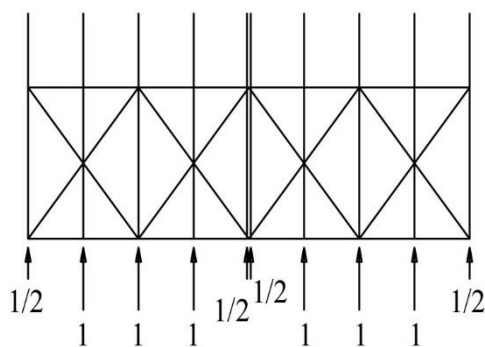
$$\beta \quad \frac{1}{55,6} \text{ (iz tabele)}$$

$$L \quad 17,8 \text{ m}$$

$$q_d = \beta \frac{\sum_{i=1}^m N_{Edi}}{L} = \frac{1}{55,6} \cdot \frac{3 \cdot 491,24\text{kN}}{17,8\text{m}} = 1,49\text{kN/m}$$



Slika 42: Zvezna obtežba izbočnih sil



Slika 43: Razmerje izbočnih sil v legah

Sila na eno lego

$$F_L = \frac{q_d \cdot L}{8} = \frac{1,49 \cdot 17,8}{8} = 3,32 kN$$

4.3 Obtežne kombinacije

Mejno stanje nosilnosti

MSN1

$$1,35 \cdot g_L + 1,5 \cdot s_L + 1,5 \cdot 0,6 \cdot w_L + 1,0 \cdot F_L$$

MSN2

$$1,35 \cdot g_L + 1,5 \cdot 0,5 \cdot s_L + 1,5 \cdot w_L + 1,0 \cdot F_L$$

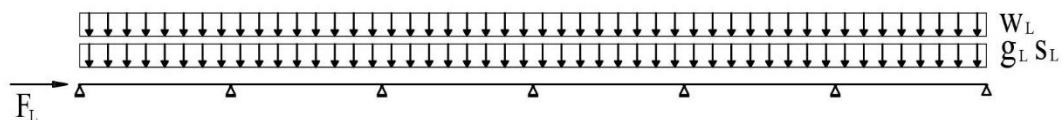
Mejno stanje uporabnosti

MSU1

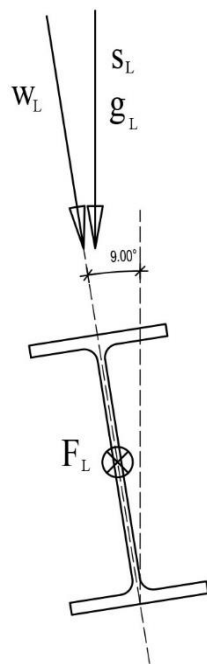
$$1,0 \cdot g_L + 1,0 \cdot s_L + 0,6 \cdot w_L + 1,0 \cdot F_L$$

MSU2

$$1,0 \cdot g_L + 0,5 \cdot s_L + 1,0 \cdot w_L + 1,0 \cdot F_L$$



Slika 44: Obtežbe na legi

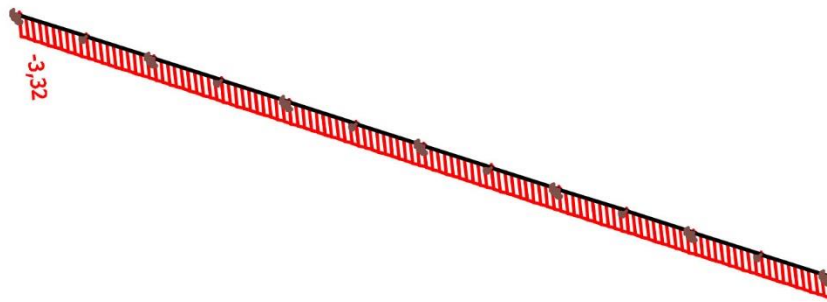


Slika 45: Smeri različnih obtežb na lego

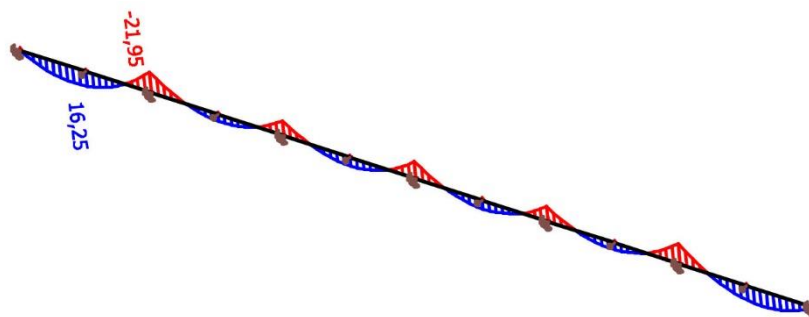
4.4 Analiza in demontiranje strešne lege

Analiza in dimenzioniranje izbrane strešne lege IPE180 je narejeno v programu SCIA Engineer.

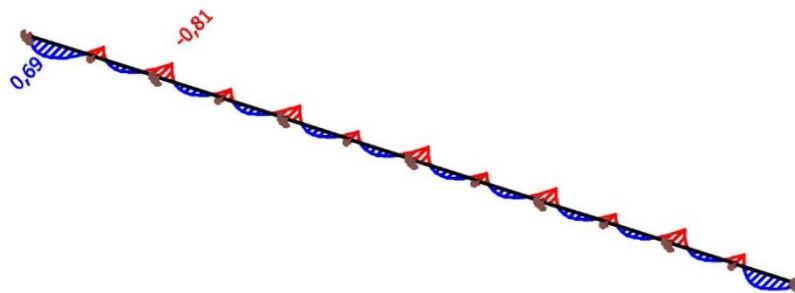
(Glej prilogo B)



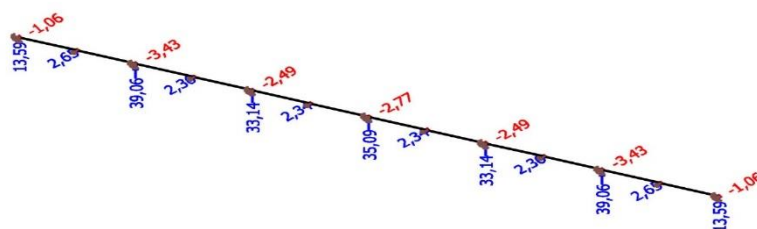
Slika 50: Osna sila [kN]



Slika 51: Momenti M_y [kNm]



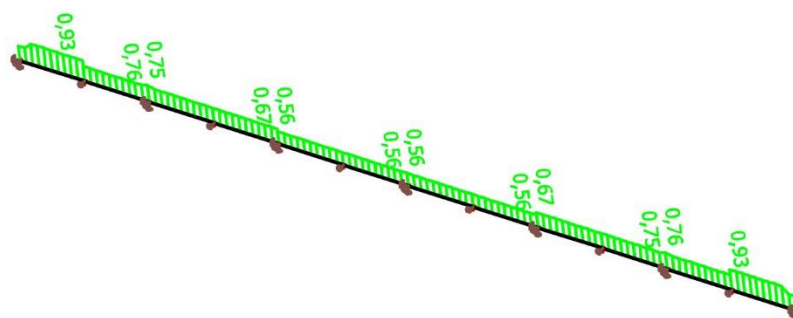
Slika 46: Momenti M_z [kNm]



Slika 47: Reakcije R_y in R_z [kN]



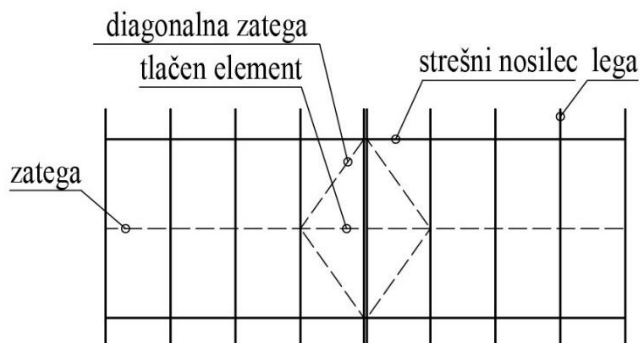
Slika 48: Pomiki u_z [mm]



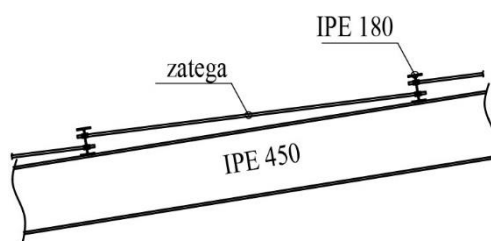
Slika 49: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]

5 ZATEGE MED STREŠNIMI LEGAMI

5.1 Zasnova



Slika 50: Sistem bočnega podpiranja strešnih leg z zategami



Slika 51: Zatege v pogledu

Reakcija izbočnih sil strešne lege med njenimi podporami je sila F_z , ki jo preko strešnih zateg in diagonalnih elementov "peljemo" v podprti del strešne lege z nosilci okvirne konstrukcije. Sile F_z se proti slemenu seštevajo.

5.2 Zatege

5.2.1 Obtežba

Računamo na maksimalno silo, ki se pojavi v tretji zategi. Zaradi varnosti upoštevamo vse tri bočne sile v legi enake, čeprav je prva obremenjena samo z polovico sile F_z .

$$F_z = 3 \cdot 2,65 \text{ kN (nateg)}$$

5.2.2 Dimenzioniranje

$$A_{dej} \geq \frac{F_{z,vse} \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{7,95 \text{ kN} \cdot 1,0}{23,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,338 \text{ cm}^2$$

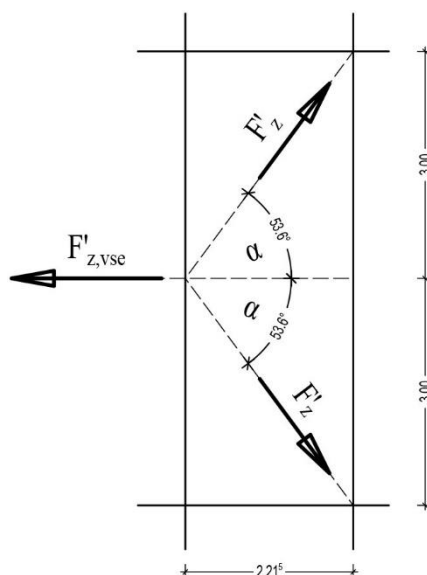
$$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

Izberemo $\phi 12mm$, $A_{dej} = 1,13cm^2$

5.3 Diagonalne zatege

Izbočno silo vseh petih leg, preko diagonalnih zateg, prenesemo v podporni sistem. Zaradi varnosti upoštevamo vse izbočne sile v legah kot enake.



Slika 52: Sile v zategah

5.3.1 Obtežba

$$F'_{z,vse} = 5 \cdot F_z = 5 \cdot 2,65kN = 13,25kN$$

Iz slike 58 izračunamo ravnotežni pogoj

$$\Sigma x = 0$$

$$2 \cdot F'_z \cdot \cos \alpha = F'_{z,vse}$$

$$F'_z = \frac{F'_{z,vse}}{2 \cdot \cos \alpha} = \frac{13,25kN}{2 \cdot \cos \alpha} = 11,16kN$$

5.3.2 Dimenzioniranje

$$A_{dej} \geq \frac{F'_z \cdot \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{11,16kN \cdot 1,0}{23,5kN/cm^2} = 0,47cm^2$$

Izberemo $\phi 12mm$, $A_{dej} = 1,13cm^2$

5.4 Tlačena palica

Prva lega (slemenska lega) je bočno podprta z tlačno obremenjeno okroglo cevjo.

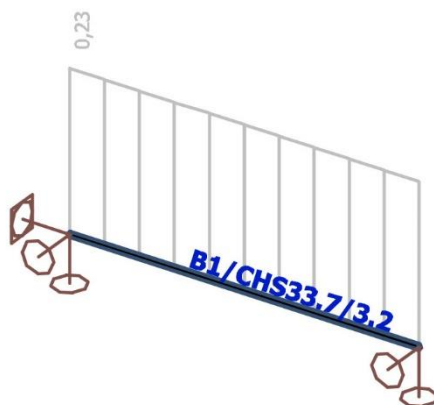
5.4.1 Obtežba

$$F_z = 2,65 \text{ kN (tlak)}$$

5.4.2 Dimenzioniranje

Izberemo okroglo cev $\phi 33,7/3 \text{ mm}$ in v SCI-ji preverim stabilnost in nosilnost tlačene palice.

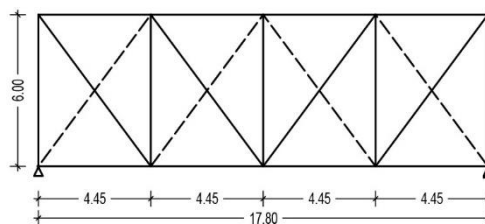
Glej prilogo C



Slika 53: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]

6 HORIZONTALNO POVEZJE V OBMOČJU STREHE

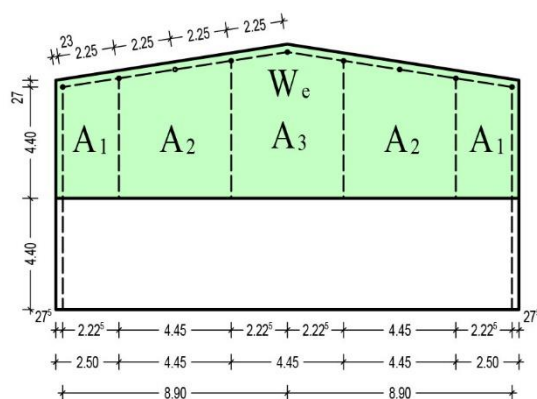
6.1 Zasnova



Slika 54: Horizontalno povezje v strehi

6.2 Obtežbe

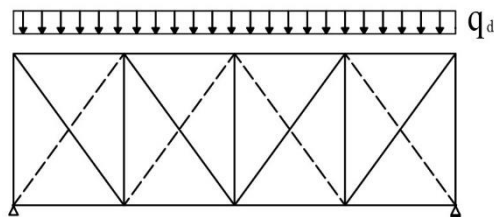
6.2.1 Veter



Slika 55: Vplivna območja vetra na povezje

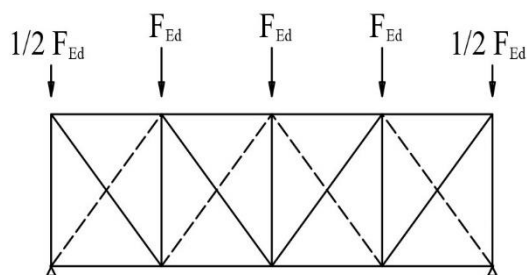
Preglednica 13: Vpliv vetra na strešno povezje

Območje	Površina [m ²]	Veter [kN/m ²]	Sila vetra [kN]
1	12,16	0,44	5,35
2	24,04	0,44	10,58
3	26,35	0,44	11,59



Slika 56: Zvezna obtežba na strešno povezje

6.2.2 Sile zaradi izbočenja momentnih okvirjev



Slika 57: Porazdelitev zvezne obtežbe na sile

$$F_{Ed} = \frac{q_d \cdot L}{4} = \frac{1,49 \text{ kN/m} \cdot 17,8 \text{ m}}{4} = 6,63 \text{ kN}$$

6.2.3 Obtežne kombinacije

Mejno stanje nosilnosti MSN

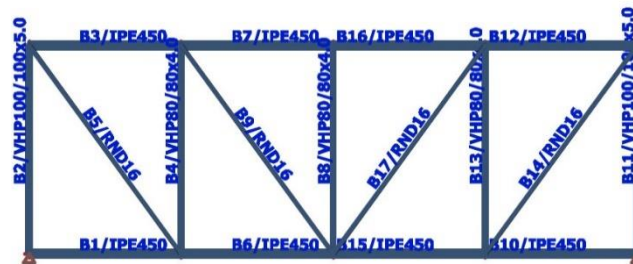
$$1,5 \cdot W_i + 1,0 \cdot F_i$$

Mejno stanje uporabnosti MSU

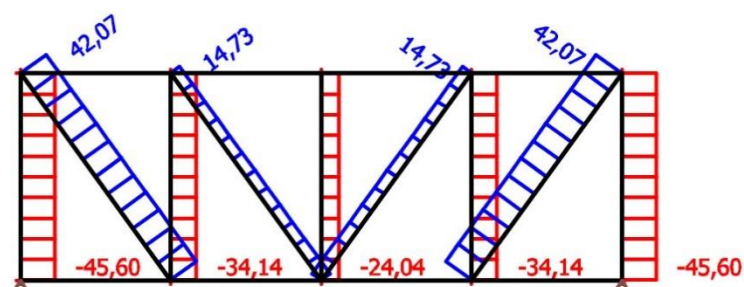
$$1,0 \cdot W_i + \frac{1,0}{1,4} \cdot F_i \quad \text{MSU}$$

6.3 Analiza in dimenzioniranje horizontalnega povezja

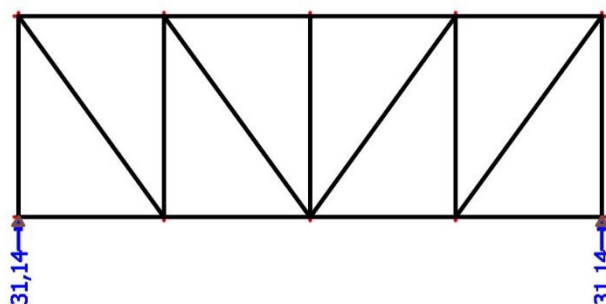
Analiza in dimenzioniranje je narejeno v programu SCIA Engineer. (Glej prilogo D)



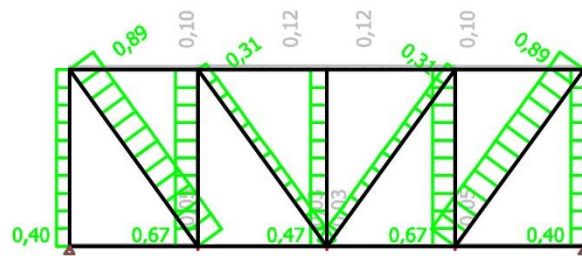
Slika 64: Izbrani profili



Slika 65: Osne sile [kN]



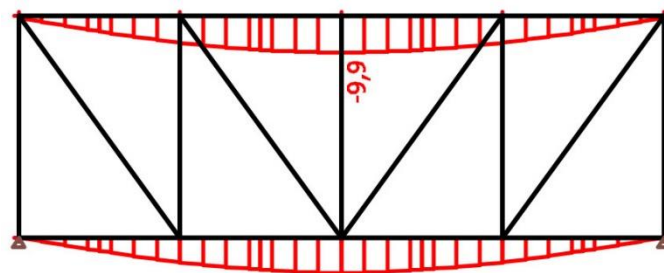
Slika 58: Reakcije [kN]



Slika 59: Kontrola stabilnosti in nosilnosti povezja [%]

Kontrola predpostavljenega pomika

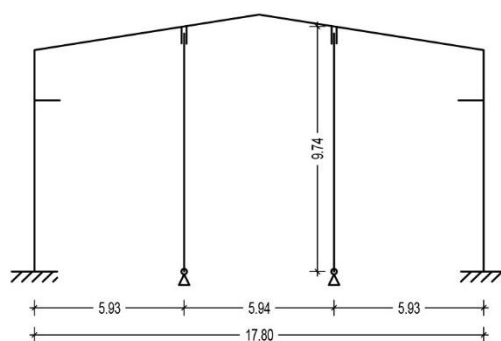
$$\delta_z = 9,9mm \leq \delta_d = \frac{L}{1500} = \frac{17800mm}{1500} = 11,9mm$$



Slika 60: Pomiki strešnega povezja $\delta_z[mm]$

7 FASADNI STEBER

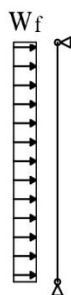
7.1 Zasnova



Slika 61: Prvi in zadnji okvir s fasadnima stebroma

7.2 Obtežba z vetrom

Poleg lastne teže, ki jo upošteva program na fasadni steber deluje še veter.



Slika 62: obtežba z vetrom

$$w_f = w \cdot d = 0,46 \text{ kN/m}^2 \cdot 5,93 \text{ m} = 2,73 \text{ kN/m}$$

Kjer je:

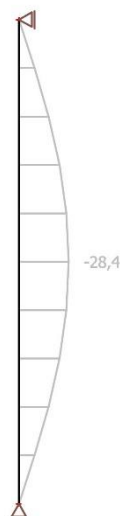
w obtežba vetra iz tabele 9

d širina vplivnega območja fasadnega stebra.

Mejno stanje uporabnosti MSU

$$1,0 \cdot G + 1,0 \cdot w$$

Pri mejnem stanju uporabnosti preverim horizontalne pomike, ki morajo biti manjši od $L/250$.



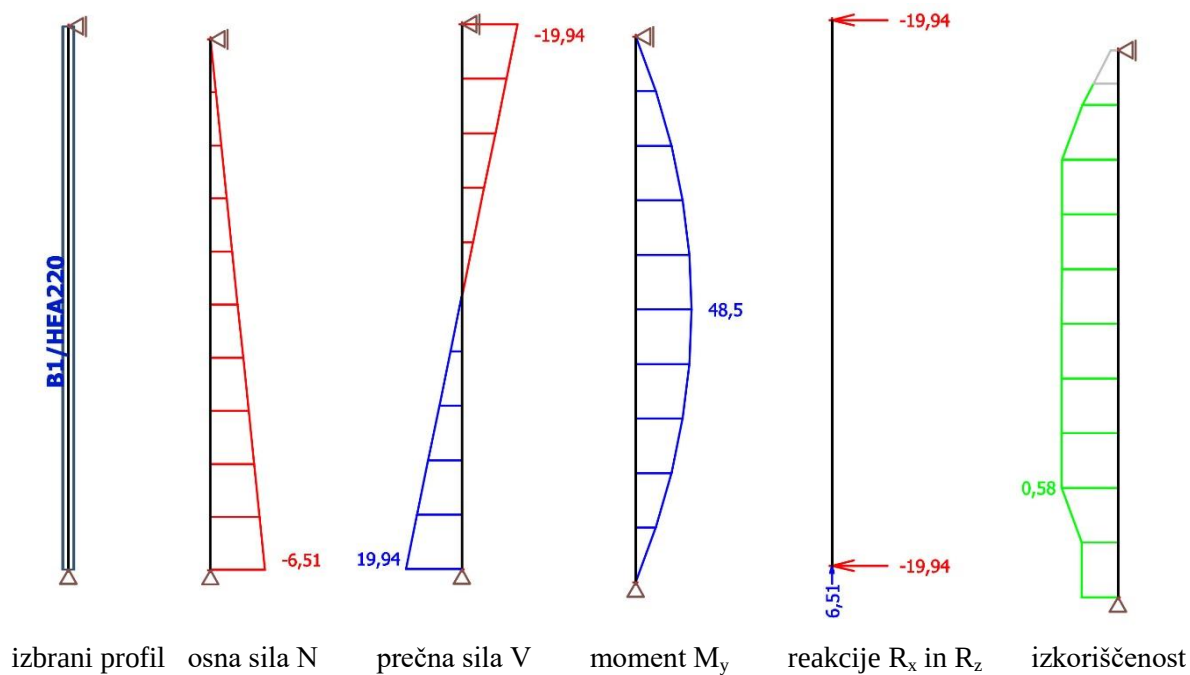
Slika 63: Pomik fasadnega stebra

$$\delta_{dej} = 28mm \leq \delta_{max} = \frac{L}{250} = \frac{9740mm}{250} = 39mm$$

Mejno stanje nosilnosti MSN

$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot w$$

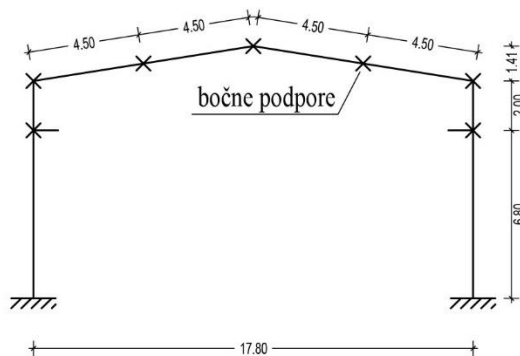
Analiza in dimenzioniranje je narejeno v programu SCIA Engineer. Glej prilogo E



Slika 64: Prikaz notranjih statičnih količin in kontrola stabilnosti za izbrani profil HEA220

8 MOMENTNI OKVIR

8.1 Zasnova



Slika 65: Bočno podprt momentni okvir

8.2 Obtežba

8.2.1 Lastna in stalna obtežba

Lastno težo in začetno nepopolnost okvirja upošteva program.

8.2.1.1 Streha

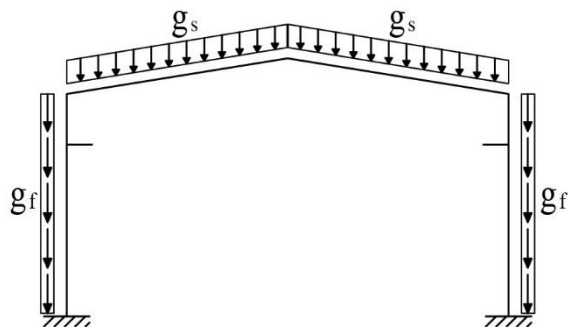
Preglednica 14: Stalna obtežba na strešnih nosilcih

Elementi	Teža [kN/m ²]	Teža [kN/m]	Dolžina [m]	Širina [m]	Število elem.	Teža [kN/m]
Strešni paneli trimo	0,237	/	9,01	6,00	1	1,42
Lahke inštalacije in luči	0,150	/	9,01	6,00	1	0,90
Strešne lege IPE180	/	0,19	9,01	6,00	5	0,63
$g_s =$						2,95

8.2.1.2 Fasada

Preglednica 15: Stalna obtežba na stebrih

Elementi	Teža [kN/m ²]	Dolžina [m]	Teža [kN/m]
Fasadni paneli trimo	0,230	6,00	1,38
$g_f =$			1,38



Slika 66: Stalna obtežba

8.2.2 Sneg

$$q_s = s \cdot d$$

Kjer je

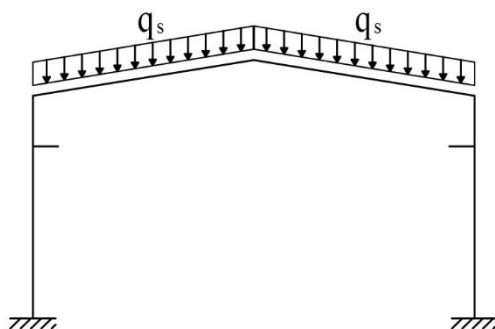
d razmak med okvirji

s obtežba snega [kN/m^2]

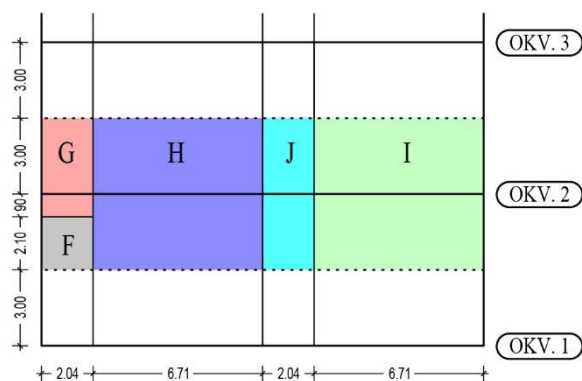
q_s obtežba snega na okvir [kN/m]

$$q_s = s \cdot d = 1,21 kN/m^2 \cdot 6m$$

$$q_s = 7,26 kN/m$$

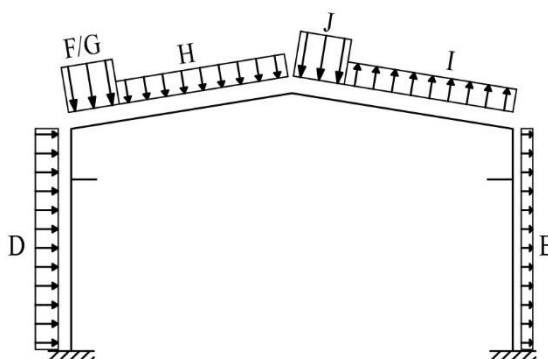


Slika 67: Obtežba s snegom



Slika 68: Območja vetra na okvirju 2

8.2.3 Veter

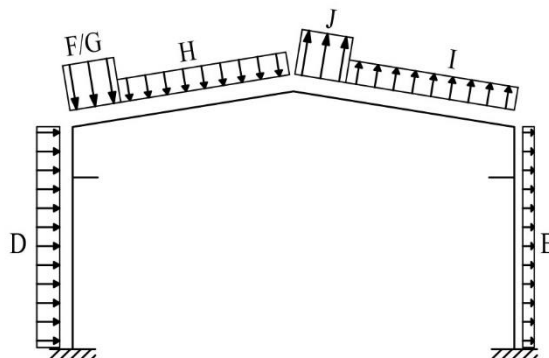


Slika 69: Prvi primer obtežbe z vetrom

a) obtežba z vetrom 1

Preglednica 16: Zunanji veter in notranji srk v smeri X

Področje	w_{e-i} [kN/m ²]	d [m]	w'_{e-i} [kN/m]
D	0,46	6	2,76
F=G=H=J	0,18	6	1,08
I	-0,09	6	-0,54
E	-0,04	6	-0,24

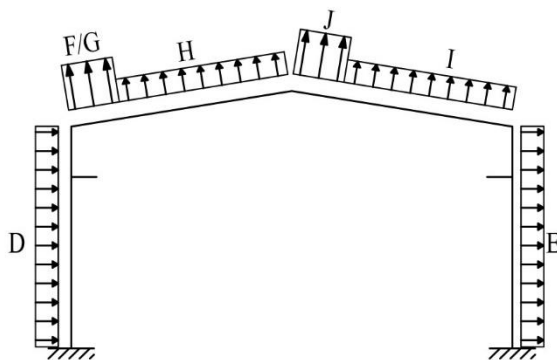


Slika 70: Drugi primer obtežbe z vetrom

b) obtežba z vetrom 2

Preglednica 17: Zunanji veter in notranji srk v smeri X

Področje	w_{e-i} [kN/m ²]	d [m]	w'_{e-i} [kN/m]
D	0,46	6	2,76
F=G=H	0,18	6	1,08
J	-0,22	6	-1,32
I	-0,09	6	-0,54
E	-0,04	6	-0,24



Slika 71: Tretji primer obtežbe z vetrom

c) obtežba z vetrom 3

Preglednica 18: Zunanji veter in notranji tlak v smeri X

Področje	w_{e-i} [kN/m ²]	d [m]	w'_{e-i} [kN/m]
D	0,24	6	1,44
E	-0,26	6	-1,56
F	-0,66	2,1	-3,45
G	-0,53	3,9	
H	-0,29	6	-1,74
I	-0,31	6	-1,86
J	-0,44	6	-2,64

8.2.4 Obtežba žerjava

Pri obtežbi žerjava na okvirno konstrukcijo vzamem iz tabele 12 največje horizontalne sile v prečni smeri ($H_{S,i,T}$), v vertikalni smeri pa obtežimo okvir z reakcijami žerjavne proge, ki so prikazane na slikah 28 in 29.

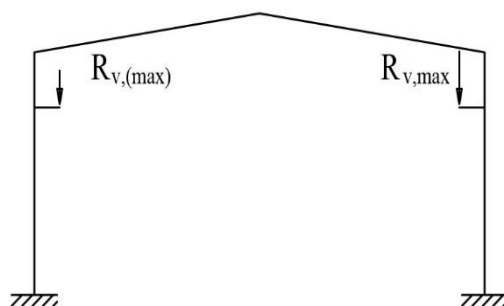
$$R_{v,max} = 142,38 kN$$

$$R_{v,(max)} = 32,32 kN$$

$$H_{S,1,T} = 3,21 kN$$

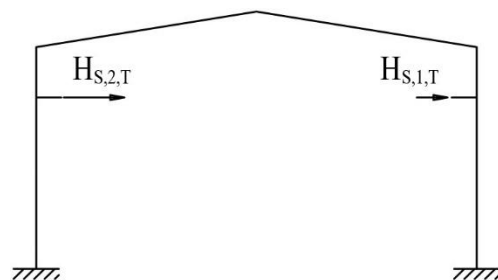
$$H_{S,2,T} = 15,68 kN$$

a) Vertikalna obtežba 1



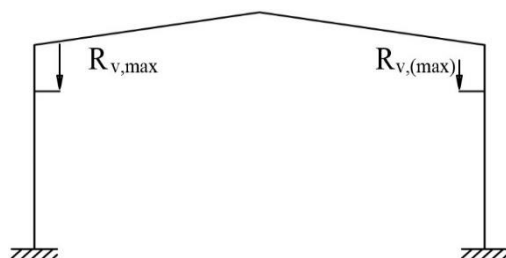
Slika 72: Vertikalna obtežba-obtežni primer 1

b) Vertikalna obtežba 2



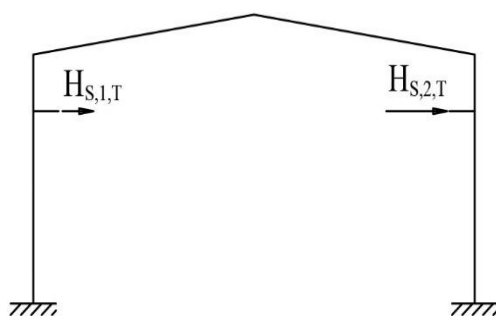
Slika 73: Vertikalna obtežba-obtežni primer 2

c) Horizontalna obtežba 1



Slika 74: Horizontalna obtežba- obtežni primer 1

d) Horizontalna obtežba 2



Slika 75: Horizontalna obtežba-obtežni primer 2

8.3 Obtežne kombinacije

Izpis obtežnih kombinacij iz SCIE Engineer.

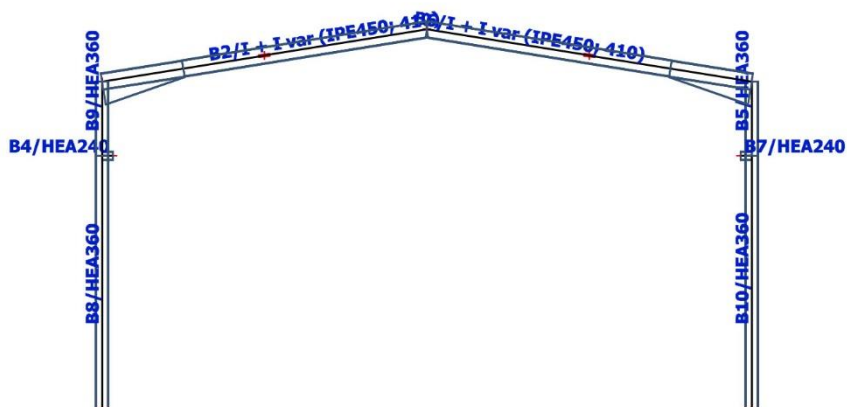
Name	Type	Load cases	Coeff. [-]
MSN 1	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 1	0,90
		zerjav V1	1,35
		zerjav H1	1,35
MSN 2	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 1	0,90
		zerjav V2	1,35
		zerjav H1	1,35
MSN 3	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		w veter 1	0,90
		zerjav V1	1,35
		zerjav H2	1,35
MSN 4	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 1	0,90
		zerjav V2	0,35
		zerjav H2	0,35
MSN 5	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 2	0,90
		zerjav V1	1,35
		zerjav H1	1,35
MSN 6	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 2	0,90
		zerjav V2	1,35
		zerjav H1	1,35
MSN 7	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 2	0,90
		zerjav V1	1,35
		zerjav H2	1,35
MSN 8	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	1,50
		w veter 2	0,90
		zerjav V2	1,35
		zerjav H2	1,35
MSN 9	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 1	1,50
		zerjav V1	1,35
		zerjav H1	1,35
MSN 10	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 1	1,50
		zerjav V2	1,35
		zerjav H1	1,35
MSN 11	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 1	1,50
		zerjav V1	1,35
		zerjav H2	1,35
MSN 12	Ultimate	LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 1	1,50
		zerjav V2	1,35

Name	Type	Load cases	Coeff. [-]
MSN 13	Ultimate	zerjav H2	1,35
		LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 2	1,50
		zerjav V1	1,35
MSN 14	Ultimate	zerjav H1	1,35
		LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 2	1,50
		zerjav V2	1,35
MSN 15	Ultimate	zerjav H1	1,35
		LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 2	1,50
		zerjav V1	1,35
MSN 16	Ultimate	zerjav H2	1,35
		LC1	1,35
		g stalna	1,35
		s sneg	0,75
		w veter 2	1,50
		zerjav V2	1,35
MSU 1	Serviceability	zerjav H2	1,35
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 1	0,60
		zerjav V1	1,00
MSU 2	Serviceability	zerjav H1	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 1	0,60
		zerjav V2	1,00
MSU 3	Serviceability	zerjav H1	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 1	0,60
		zerjav V1	1,00
MSU 4	Serviceability	zerjav H2	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 1	0,60
		zerjav V2	1,00
MSU 5	Serviceability	zerjav H2	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 2	0,60
		zerjav V1	1,00
MSU 6	Serviceability	zerjav H1	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 2	0,60
		zerjav V2	1,00
MSU 7	Serviceability	zerjav H1	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 2	0,60
		zerjav V1	1,00
MSU 8	Serviceability	zerjav H2	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	1,00
		w veter 2	0,60

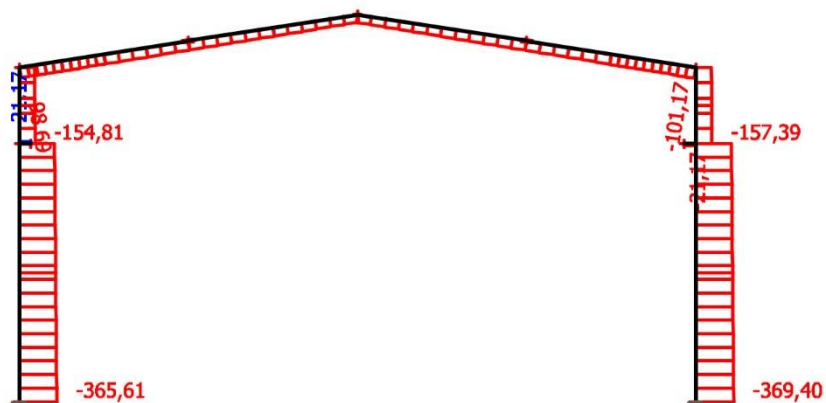
Name	Type	Load cases	Coeff. [-]
MSU 9	Serviceability	zerjav H2	1,00
		LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 1	1,00
		zerjav V1	1,00
		zerjav H1	1,00
MSU 10	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 1	1,00
		zerjav V2	1,00
		zerjav H1	1,00
MSU 11	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 1	1,00
		zerjav V1	1,00
		zerjav H2	1,00
MSU 12	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 1	1,00
		zerjav V2	1,00
		zerjav H2	1,00
MSU 13	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 2	1,00
		zerjav V1	1,00
		zerjav H1	1,00
MSU 14	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 2	1,00
		zerjav V2	1,00
		zerjav H1	1,00
MSU 15	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 2	1,00
		zerjav V1	1,00
		zerjav H2	1,00
MSU 16	Serviceability	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		s sneg	0,50
		w veter 2	1,00
		zerjav V2	1,00
		zerjav H2	1,00
MSN 17	Ultimate	LC1	1,00
		g stalna	1,00
		w veter 3	1,50

8.4 Analiza in dimenzioniranje momentnega okvirja

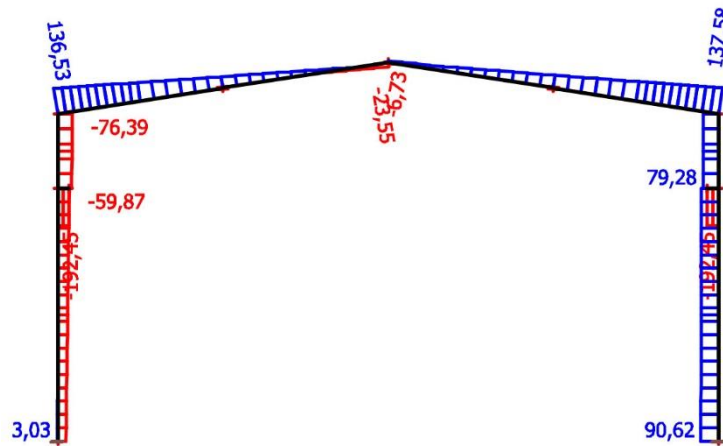
Analiza in dimenzioniranje sta narejena v programu SCIA Engineer. (Glej prilogo F)



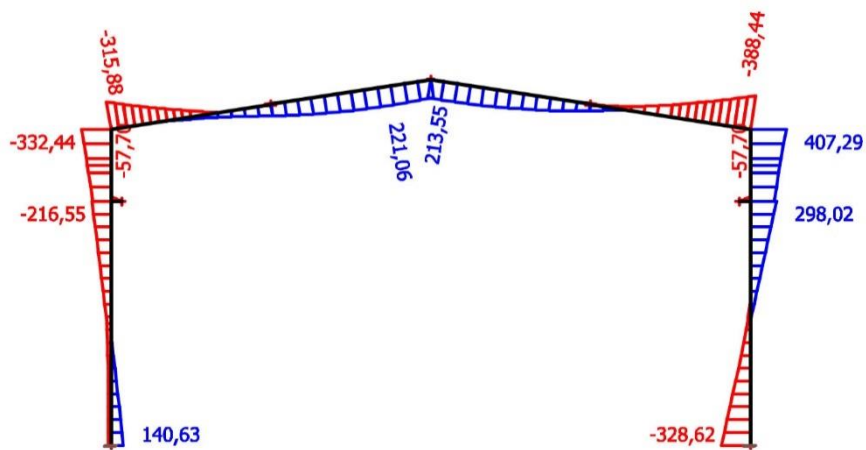
Slika 76: Izbrani profili momentnega okvirja



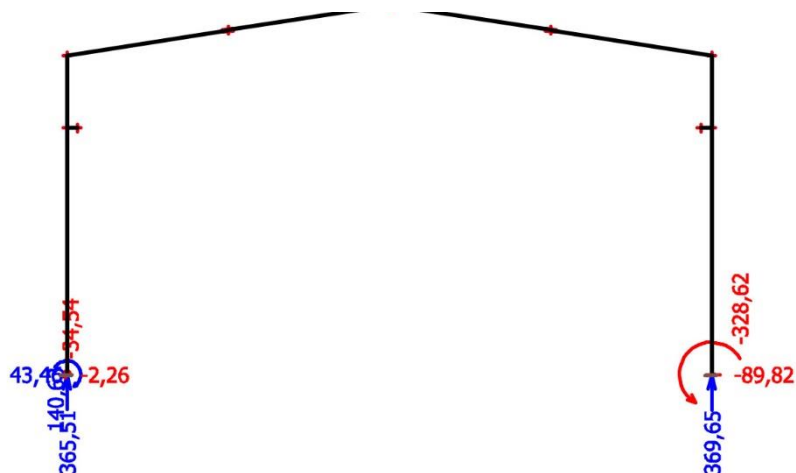
Slika 77: Osne sile [kN]



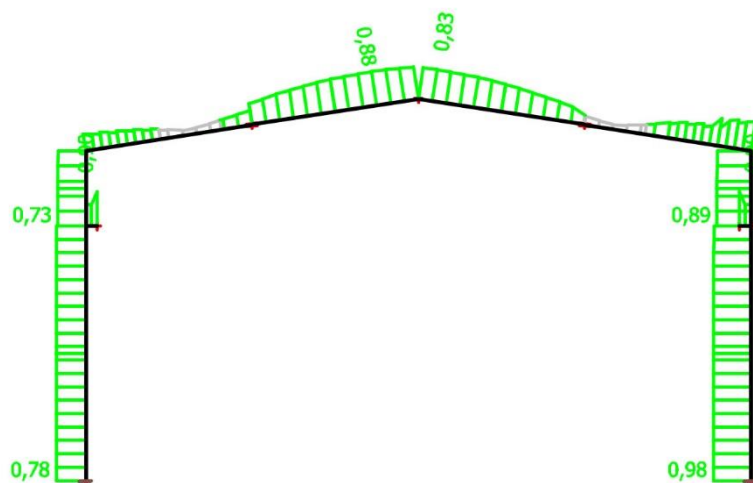
Slika 78: Prečne sile [kN]



Slika 79: Momenti [kNm]



Slika 80: Reakcije [kN]



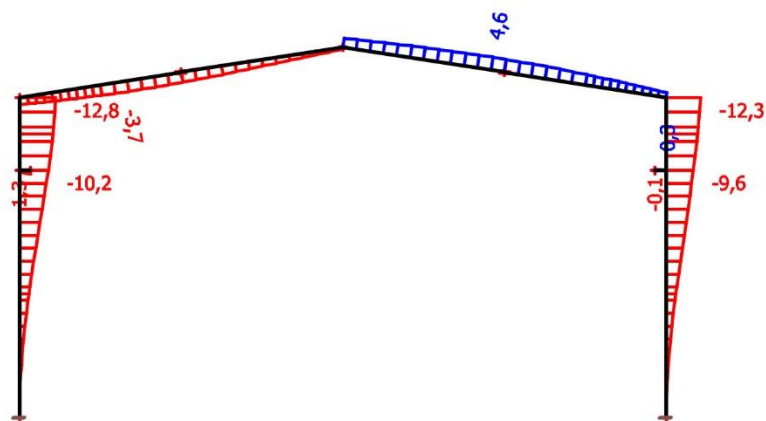
Slika 81: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]

8.5 Kontrola pomikov

Pomik zaradi obtežbe z žerjavom na višini žerjavne proge mora biti manjši od $L/600$.

(EN 1993-6, Preglednica 7.1)

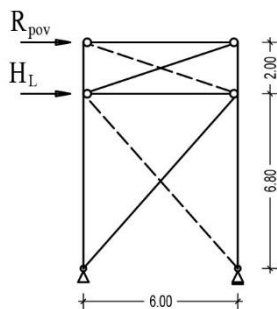
$$\delta_x = 10,2\text{mm} \leq \delta_{max} = \frac{L}{600} = \frac{6800\text{mm}}{600} = 11,3\text{mm}$$



Slika 82: Pomiki zaradi obtežbe z žerjavom [mm]

9 VERTIKALNO CENTRIČNO POVEZJE

9.1 Zasnova



Slika 83: Centrično povezje

9.2 Obtežbe

9.2.1 Veter

Obtežba vetra na čelno fasado in izbočne sile glavnih prečnih nosilcev se preko strešnega povezja prenašajo na vertikalno centrično povezje.

$$R_{pov} = 31,14 kN$$

9.2.2 Žerjav

Vzdolžna sila v žerjavni progi, ki nastane zaradi pospeševanja in zviranja mostnega žerjava.

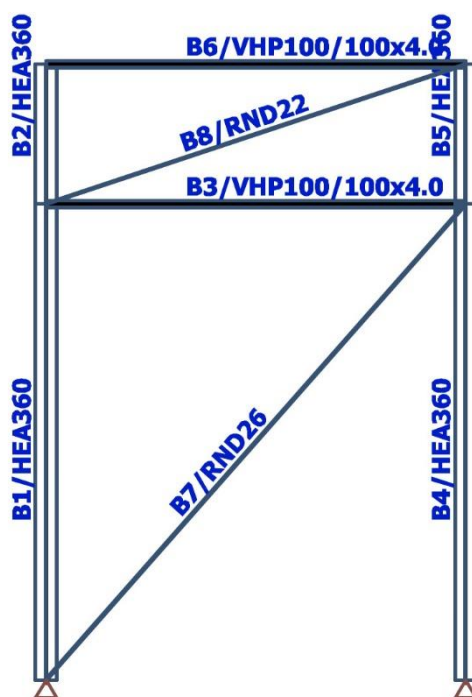
$$H_L = 3,08 kN$$

9.3 Obtežne kombinacije

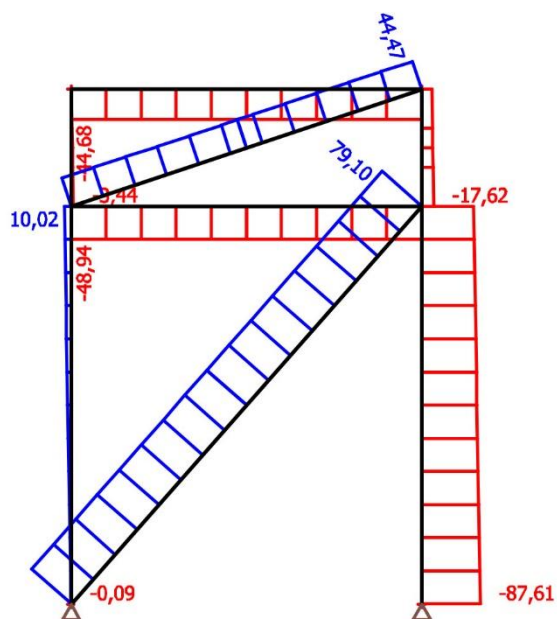
$$1,35 \cdot G + 1,5 \cdot R_{pov} + 1,35 \cdot H_L$$

9.4 Analiza in dimenzioniranje vertikalnega povezja

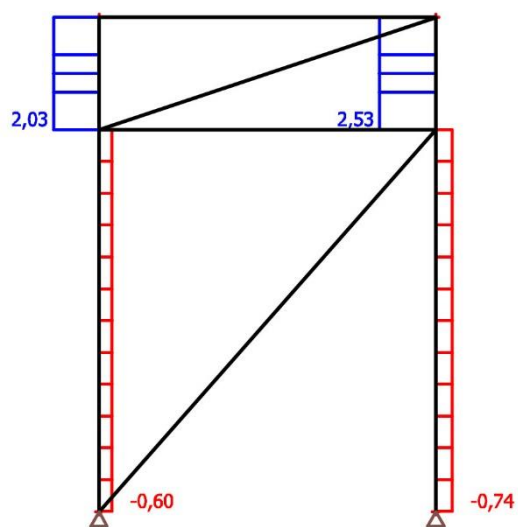
Analiza in dimenzioniranje sta narejena v programu SCIA Engineer. Izbrani prečni elementi (kvadratne cevi 100/100/4) in diagonalni elementi (Ø22 in Ø26) zadostujejo obtežbi mejnega stanja.



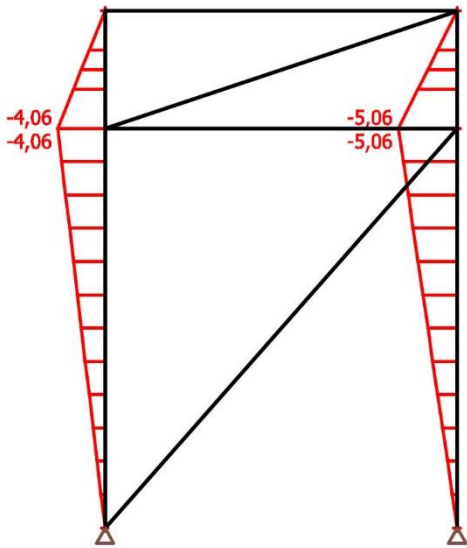
Slika 84: Izbrani profili



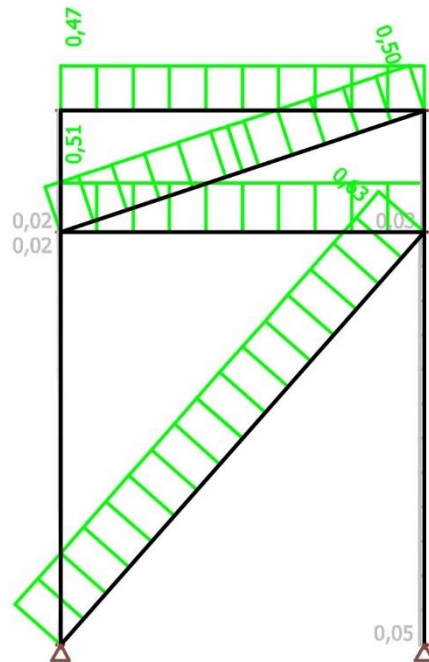
Slika 93: Osna sila [kN]



Slika 94: Prečna sila [kN]



Slika 95: Momenti [kNm]

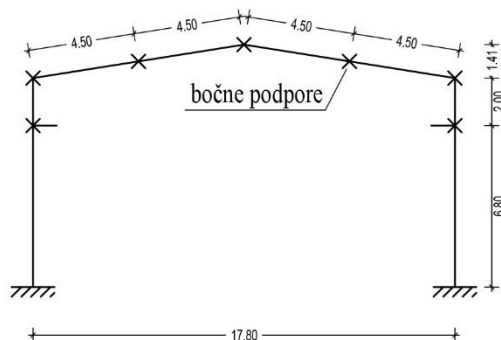


Slika 96: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti elementov [%]

10 DINAMIČNA ANALIZA

10.1 Potresna analiz v prečni smeri (momentni okvir)

10.1.1 Zasnova



Slika 85: Momentni okvir

10.1.2 Izračun mas

a) Lastna in stalna obtežba [G_K]

Preglednica 19: Skupna masa, ki pripada glavnemu okvirju na strešnem delu na koti +8,80m

Elementi	Teža [kg/m ²]	Teža [kg/m]	Teža [kg]	Širina [m]	Dolžina [m]	Število elem.	masa [t]
strešni paneli trimo	23,7	/		9,01	6,00	2	2,56
lahke inštalacije in luči	15,0			9,01	6,00	2	1,62
strešne lege IPE180	/	18,80		/	6,00	10	1,13
strešni nosilec IPE 450			689,00			2	1,38
vuta			180			2	0,36
Skupaj (10% pločevine, vari in vijaki) =							7,76

Preglednica 20: Skupna masa, ki pripada glavnemu okvirju na mestu konzol žerjavne proge koti +6,80m

Elementi	Teža [kg/m ²]	Teža [kg/m]	Širina [m]	Dolžina [m]	Število elem.	masa [t]
fasadni paneli trimo	23,0	/	4,40	6,00	2	1,21
žerjavna proga HEA300	/	88,30	/	6,00	2	1,06
mostni žerjav z vozičkom						5,13
steber HEA360		112		4,40	2	0,99
konzola HEA 240		60,3		0,375	2	0,05
povezave med stebri kv. cev 100/100/5		14,6		6,00	2	0,18
povezave med stebri kv. cev.120/120/5		17,8		6,00	2	0,21
Skupaj (10% pločevine, vari in vijaki) =						9,78

b) Spremenljiva obtežba [Q_K]

Preglednica 21: Upoštevana masa mostnega dvigala na koti +6,80m

Elementi	masa [t]
Maksimalna obremenitev žerjava (tovor)	10

10.1.3 Kombinacije potresnega vpliva

$$G_K + \gamma_I \cdot A_{Ed} + \Psi_2 \cdot Q_K$$

Kjer je:

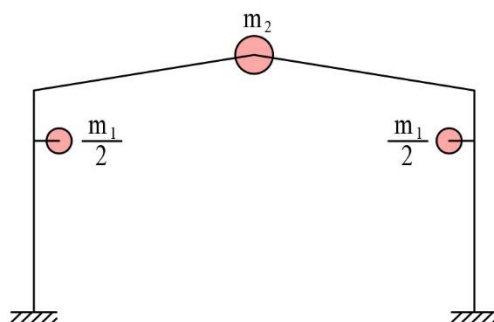
 $\gamma_I \cdot A_{Ed}$ potresni vpliv (potresne sile) $G_K, \Psi_2 \cdot Q_K$ nepotresne sile (gravitacijske sile)

$$\Sigma G_{Kj} + \Sigma \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$\Psi_{E,i} = \varphi \cdot \Psi_{2,i}$$

$$\varphi = 1$$

$$\Psi_2 = \frac{Q_v + Q_c}{Q_v + Q_c + Q_h} = \frac{44,88kN + 6,4kN}{44,88kN + 6,4kN + 100kN} = \frac{51,32kN}{151,32kN} = 0,34$$

 Ψ_2 je razmerje med stalnim in skupnim vplivom mostnega dvigala (SIST EN 1991-3)**10.1.4 Razdelitev mas**

Slika 86: Porazdelitev mas po okvirju

$$m_2 = 7,76t$$

$$m_1 = \Sigma G_{Kj} + \Sigma \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} = 9,87t + 0,34 \cdot 10t = 13,27t$$

10.1.5 Določitev nihajnega časa

$$T_1 = C_t \cdot H^{\frac{3}{4}} = 0,085 \cdot 8,8^{\frac{3}{4}} = 0,434s$$

$$T_1 = 0,434s \leq \begin{cases} 4 \cdot T_c = 4 \cdot 0,6s = 2,4s \\ 2,0s \end{cases}$$

$$T_1 = 0,68s \quad \text{uporabimo nihajni čas dobljen iz programa SCIA}$$

10.1.6 Faktor obnašanja

Izberem

$$q = 1,5$$

in

$$q' = 4$$

10.1.7 Projektni spekter po EC8

Tip tal C (Ljubljana, srednja tla)

$$\Rightarrow \text{izberem } S = 1,15$$

$$T_B = 0,2s$$

$$T_C = 0,6s$$

$$T_D = 2,0s$$

$$a_g = 0,25 \cdot g \text{ (Ljubljana center – karta projektnih pospeškov tal)}$$

$$a_g = 0,25 \cdot 9,81m/s^2 = 2,45m/s^2$$

$$S_{d(T_1)} = 4,148 \quad (q = 1,5)$$

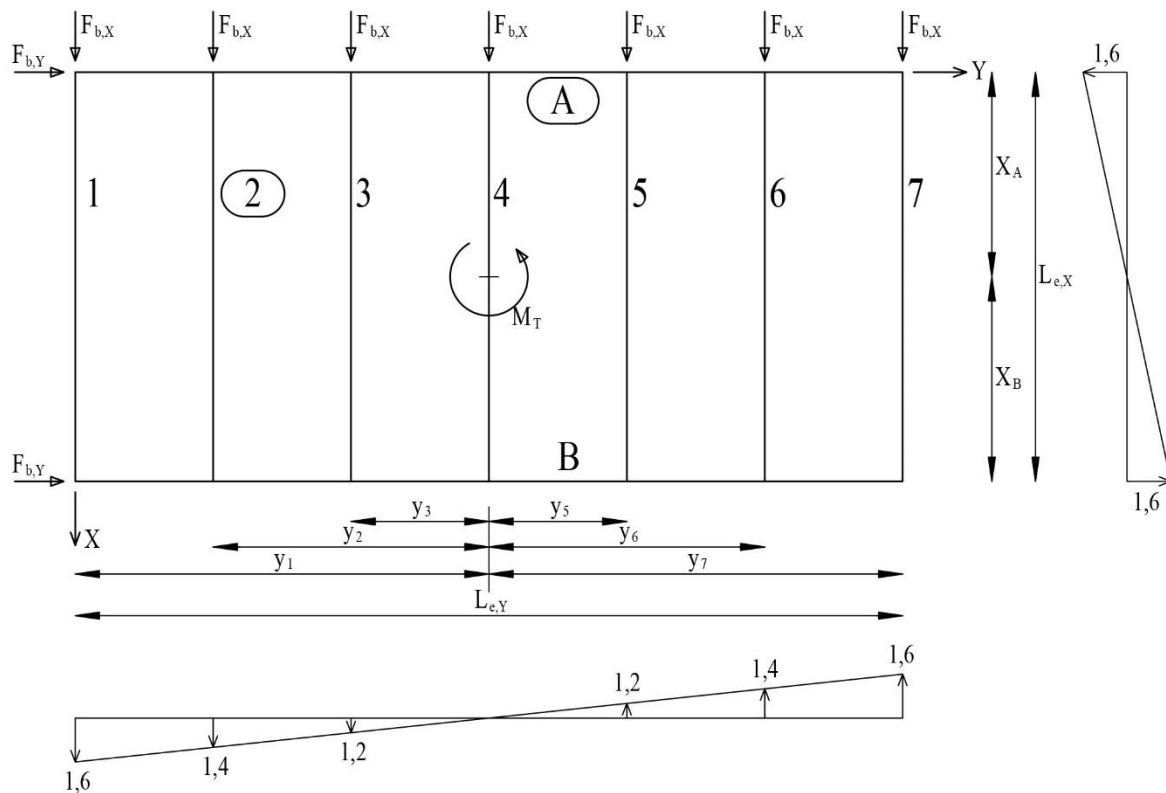
$$S'_{d(T_1)} = 1,556 \quad (q' = 4)$$

10.1.8 Torzijski vpliv

Točka 4.3.3.2.4 (2) po (SIST EN 1998-1)

Analiza z dvema ravninskima modeloma, po eden za vsako glavno vodoravno smer x in y.

$$\delta = 1 + 1,2 \cdot \frac{x_i}{L_{e,i}} = \left(1 + 1,2 \cdot \frac{y_i}{L_{e,i}} \right)$$



Slika 87: Torzijski vpliv z dvema ravninskima modeloma

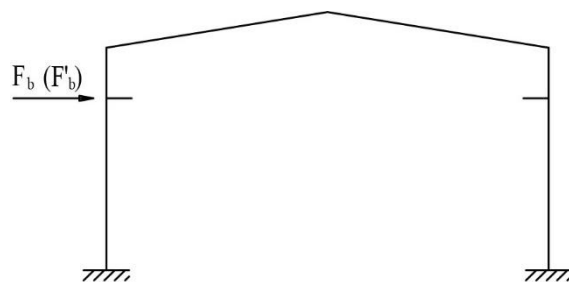
Smer X, okvir 2

$$\delta_2 = 1 + 1,2 \cdot \frac{y_2}{L_{e,Y}} = 1 + 1,2 \cdot \frac{2}{6} = 1,4$$

Smer Y, okvir A

$$\delta_A = 1 + 1,2 \cdot \frac{x_A}{L_{e,X}} = 1 + 1,2 \cdot \frac{1}{2} = 1,6$$

10.1.9 Določitev potresnih sil



Slika 88: Potresne sile

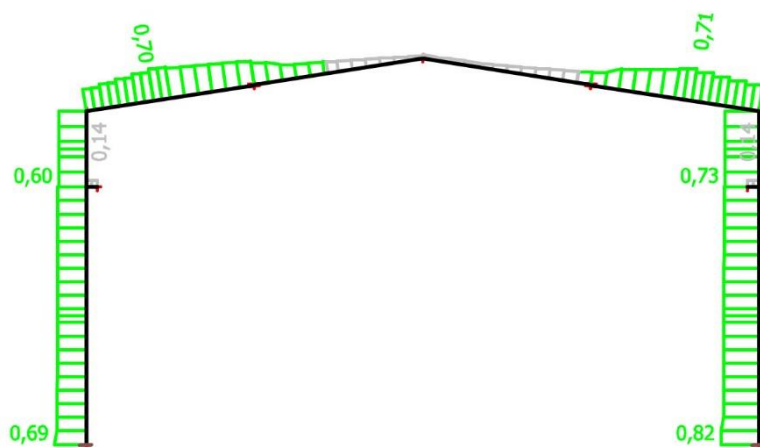
$$F_b = m \cdot S_d \cdot \lambda$$

$$\lambda = \begin{cases} 1 \\ 0,85; T_1 < 2 \cdot T_c \text{ in št. etaž} > 2 \end{cases} \Rightarrow \lambda = 1$$

$$F_b = (m_1 + m_2) \cdot S_{d(T_1)} \cdot \lambda \cdot \delta_2 = (7,76t + 13,27t) \cdot 4,148m/s^2 \cdot 1,4 = 122,13kN$$

$$F'_b = (m_1 + m_2) \cdot S'_{d(T_1)} \cdot \lambda \cdot \delta_2 = (7,76t + 13,27t) \cdot 1,556m/s^2 \cdot 1,4 = 45,81kN$$

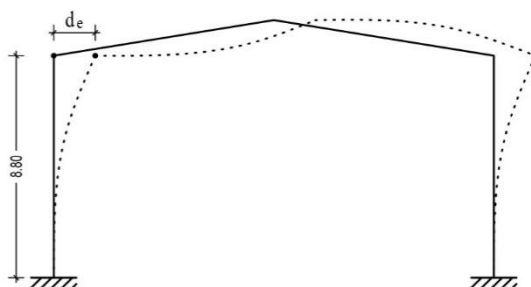
10.1.10 Kontrola stabilnosti in nosilnosti prereza pri $q=1,5$



Slika 89: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti zaradi potresnih obremenitev pri $q=1,5$ [%]

10.1.11 Kontrola pomikov

Pri kontroli pomikov preverimo horizontalne pomike okvirja za potresni del obtežbe pri $q=1,5$ in $q'=4,0$.



Slika 90: Pomiki okvirja zaradi potresnih sil

$$d_r \cdot v \leq 0,010 \cdot h$$

Kjer je:

d_r projektni etažni pomik

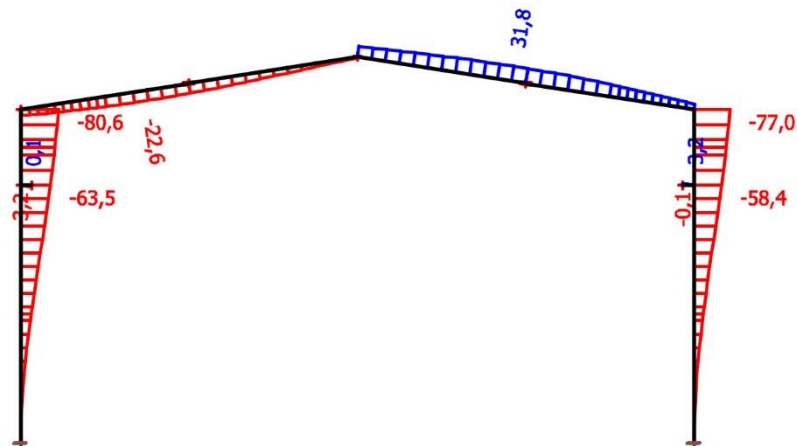
h etažna višina

v redukcijski faktor 0,5 upošteva manjšo povratno dobo potresa z zahtevo po omejitvi poškodbe

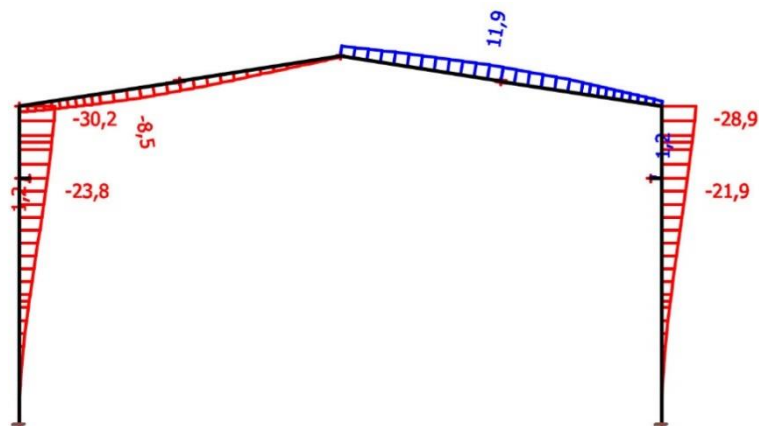
$$d_r = q \cdot d_e$$

$$d_e \cdot q \cdot v \leq 0,010 \cdot h$$

$$80,6\text{mm} \cdot 1,5 \cdot 0,5 = 60,5\text{mm} \leq 0,01 \cdot 8800\text{mm} = 88\text{mm}$$



Slika 103: Pomiki pri potresni obtežbi $q=1,5$ [mm]



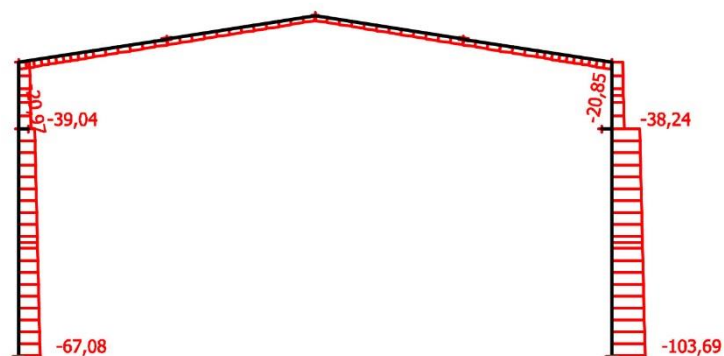
Slika 104: Pomiki pri potresni obtežbi $q=4,0$ [mm]

$$d'_e \cdot q' \cdot v \leq 0,010 \cdot h$$

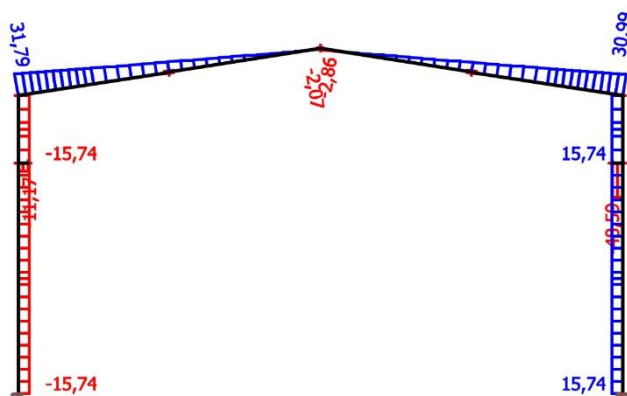
$$30,2\text{mm} \cdot 4,0 \cdot 0,5 = 60,4\text{mm} \leq 0,01 \cdot 8800 = 88\text{mm}$$

10.1.12 Analiza momentnega okvirja pri potresu z $q=4,0$

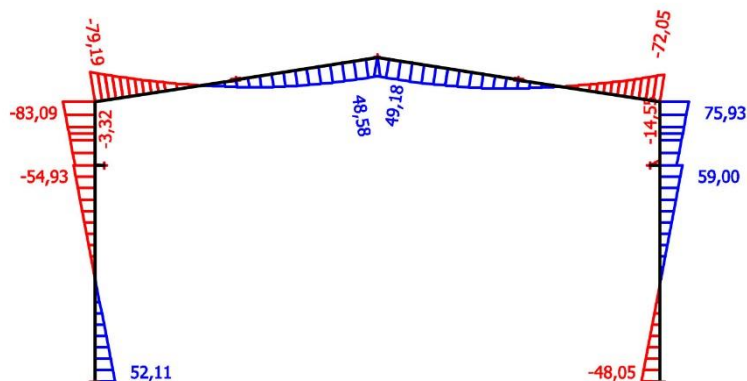
Notranje statične količine pri gravitacijski in koristni obtežbi.



Slika 105: Osne sile [kN]

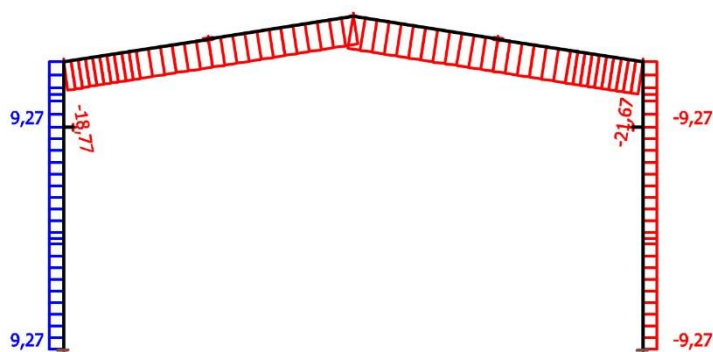


Slika 106: Prečne sile [kN]

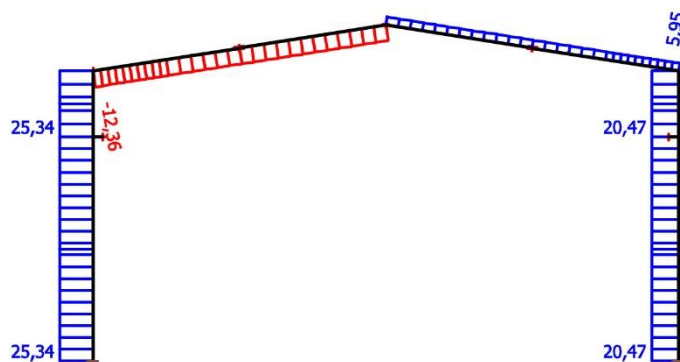


Slika 91: Momenti [kNm]

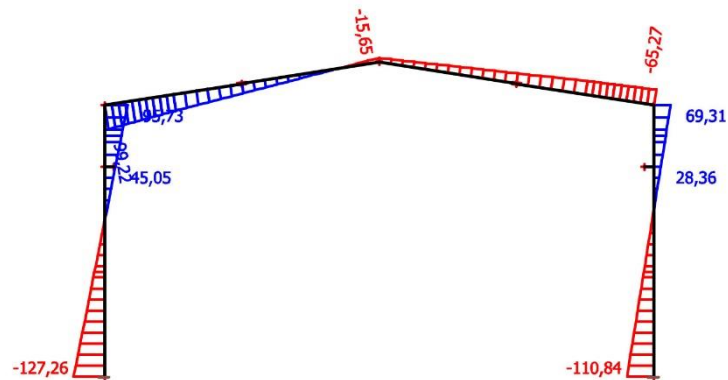
Notranje statične količine pri potresni obtežbi $q=4,0$.



Slika 92: Osne sile [kN]



Slika 93: Prečne sile [kN]



Slika 94: Momenti [kN]

10.1.12.1 Vpliv teorije drugega reda

$$\theta = \frac{P_{tot} \cdot d_r}{V_{tot} \cdot h} \leq 0,1$$

kjer je:

θ koeficient občutljivosti za etažne pomike

P_{tot} celotna sila težnosti v obravnavani etaži in nad njo

d_r projektni etažni pomik, določen kot razlika med povprečnima vodoravnima pomikoma na vrhu in na dnu obravnavane etaže

V_{tot} celotna prečna sila potresa

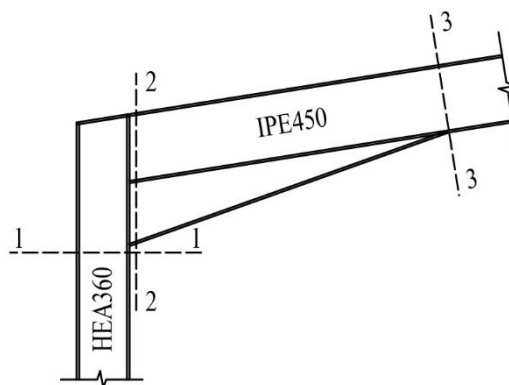
h višina etaže

$$P_{tot} = 67,08 + 103,69 = 170,77$$

$$\theta_1 = \frac{P_{tot,1} \cdot d_{r,1}}{V_{tot,1} \cdot h_1} = \frac{170,77 \text{ kN} \cdot 60,40 \text{ mm}}{45,81 \text{ kN} \cdot 8800 \text{ mm}} = 0,026 \leq 0,10$$

Vpliv teorije drugega reda lahko zanemarimo.

10.1.12.2 Kontrola plastičnih členkov



Slika 95: Mesta kjer se lahko tvorijo plastični členki

- Momenti v prerezu 1-1

$$M_{Ed}^{HEA} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E} = 83,9kNm + 95,73kNm = 179,63kNm$$

$$W_{pl,y}^{HEA} = 2088cm^3$$

$$M_{pl,y,Rd}^{HEA} = W_{pl,y}^{HEA} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2088cm^3 \cdot \frac{23,5kN/cm^2}{1,0} = 49068kNcm$$

- Momenti v prerezu 2-2

$$M_{Ed}^{IPE+V} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E} = 79,19kNm + 99,22kNm = 178,41kNm$$

$$W_{pl,y}^{IPE+V} = 4138cm^3$$

$$M_{pl,y,Rd}^{IPE+V} = W_{pl,y}^{IPE+V} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 4138cm^3 \cdot \frac{23,5kN/cm^2}{1,0} = 97243kNcm$$

- Momenti v prerezu 3-3

$$M_{Ed}^{IPE} = M_{Ed,G} + M_{Ed,E} = 21,68kNm + 68,88kNm = 90,56kNm$$

$$W_{pl,y}^{IPE} = 1702cm^3$$

$$M_{pl,y,Rd}^{IPE} = W_{pl,y}^{IPE} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1702cm^3 \cdot \frac{23,5kN/cm^2}{1,0} = 39997kNcm$$

Plastični členek se tvori na prerezu z najmanjšo Ω

$$\Omega = \frac{M_{pl,Rd}}{M_{Ed}\{M_G + M_E\}}$$

$$\Omega^{1-1} = \frac{49068kNcm}{17963kNcm} = 2,73$$

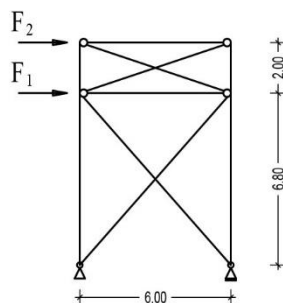
$$\Omega^{2-2} = \frac{97243kNcm}{17841kNcm} = 5,45$$

$$\Omega^{3-3} = \frac{39997kNcm}{9056kNcm} = 4,42$$

$$\min \{\Omega^{1-1}, \Omega^{2-2}, \Omega^{3-3}\} = \Omega^{1-1} \Rightarrow \text{Plastični členek se tvori v stebru}$$

10.2 POTRESNA ANALIZA V VZDOLŽNI SMERI

10.2.1 Zasnova



Slika 96: Vertikalno centrično povezje

10.2.2 Izračun mas na eno centrično povezje

Preglednica 22: Skupna masa, ki pripada centričnemu povezju na koti +8,80m

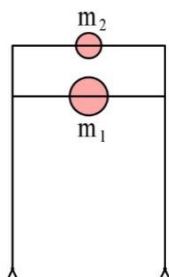
Elementi	Teža [kg/m ²]	Teža [kg/m]	Teža [kg]	Širina [m]	Dolžina [m]	Število elem.	masa [t]
strešni paneli trimo	23,7	/		9,01	18,00	1	3,84
lahke inštalacije in luči	15,0			9,01	18,00	1	2,43
strešne lege IPE180	/	18,8		/	18,00	5	1,69
strešni nosilec IPE 450			689,00			3,5	2,41
vuta			180			3,5	0,63
Skupaj (10% pločevine, vari in vijaki) =							12,11

Preglednica 23: Skupna masa, ki pripada centričnemu povezju na koti +6,80m

Elementi	Teža [kg/m ²]	Teža [kg/m]	Širina [m]	Dolžina [m]	Število elem.	masa [t]
fasadni paneli trimo	23,0	/	4,4	18	1	1,82
žerjavna proga HEA300	/	88,3	/	18	1	1,59
mostni žerjav z vozičkom	/	/	/	/	1	2,92
steber HEA360		112		4,40	3,5	1,72
konzola HEA 240		60,3		0,375	3,5	0,08
povezave med stebri kv. cev 100/100/5		14,6		6,00	3	0,26
povezave med stebri kv. cev 120/120/5		17,8		6,00	3	0,32
Skupaj (10% pločevine, vari in vijaki) =						9,59

Preglednica 24: Upoštevana masa mostnega dvigala na koti +6,80m

Elementi	masa [t]
maksimalna obremenitev žerjava (tovor)	9,89



Slika 97: Mase ki pripadajo enem povezju

10.2.3 Razporeditev mas

$$m_2 = 12,11t$$

$$m_1 = \Sigma G_{Kj} + \Sigma \Psi_{E,i} \cdot Q_{k,i} = 9,59t + 0,34 \cdot 9,59t = 12,95t$$

10.2.4 Določitev nihajnega časa

$$T_1 = C_t \cdot H^{\frac{3}{4}} = 0,05 \cdot 8,8^{\frac{3}{4}}$$

$$T_1 = 0,26s \leq \begin{cases} 4 \cdot T_c = 4 \cdot 0,6s = 2,4s \\ 2,0s \end{cases}$$

$$T_1 = 0,48s \quad \text{uporabimo nihajni čas dobljen iz programa SCIA}$$

10.2.5 Faktor obnašanja

$$\text{Izberem } q = 1,5$$

10.2.6 Projektni spekter po EC8

Tip tal C (Ljubljana, srednja tla)

$$\Rightarrow \text{izberem } S = 1,15$$

$$T_B = 0,2s$$

$$T_C = 0,6s$$

$$T_D = 2,0s$$

$$a_g = 0,25 \cdot g \text{ (Ljubljana center – karta projektnih pospeškov tal)}$$

$$a_g = 0,25 \cdot 9,81 m/s^2 = 2,45 m/s^2$$

$$S_{d(T_1)} = 4,702 m/s^2$$

10.2.7 Določitev potresnih sil

$$F_b = m \cdot S_d \cdot \lambda$$

$$\lambda = \begin{cases} 1 \\ 0,85; T_1 < 2 \cdot T_c \text{ in št. etaž} > 2 \end{cases} \Rightarrow \lambda = 1$$

Razporeditev mas po višini

$$F'_i = F_b \cdot \frac{z_i \cdot F_{Mi}}{\sum z_j \cdot F_{Mj}}$$

$$F_b = (m_1 + m_2) \cdot S_{d(T_1)} \cdot \lambda \cdot \delta_A = (12,11t + 12,95t) \cdot 4,702 m/s^2 \cdot 1 \cdot 1,6 = 188,53 kN$$

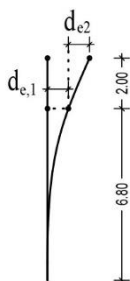
$$F_{M1} = m_1 \cdot g = 12,95t \cdot 9,81 m/s^2 = 127,04 kN$$

$$F_{M2} = m_2 \cdot g = 12,11t \cdot 9,81 m/s^2 = 118,80 kN$$

$$F_1 = F_b \cdot \frac{z_1 \cdot F_{M1}}{z_1 \cdot F_{M1} + z_2 \cdot F_{M2}} = 188,53 kN \cdot \frac{6,8m \cdot 127,04 kN}{6,8m \cdot 127,04 kN + 8,8m \cdot 118,8 kN} = 85,30 kN$$

$$F_2 = F_b \cdot \frac{z_2 \cdot F_{M2}}{z_1 \cdot F_{M1} + z_2 \cdot F_{M2}} = 188,53 kN \cdot 0,548 = 103,23 kN$$

10.2.8 Kontrola pomikov



Slika 98: Horizontalni pomiki

$$d_{e1} = 15,2 mm$$

$$d_{e2} = 22,3 mm - 15,2 mm = 7,1 mm$$

$$d_r \cdot v \leq 0,010 \cdot h$$

$$d_r = q \cdot d_e$$

$$d_{e1} \cdot q \cdot v \leq 0,010 \cdot h$$

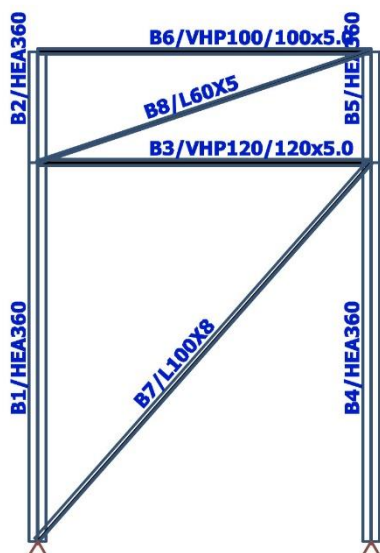
$$15,2\text{mm} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \leq 0,01 \cdot 6800\text{mm}$$

$$11,4\text{mm} \leq 68\text{mm}$$

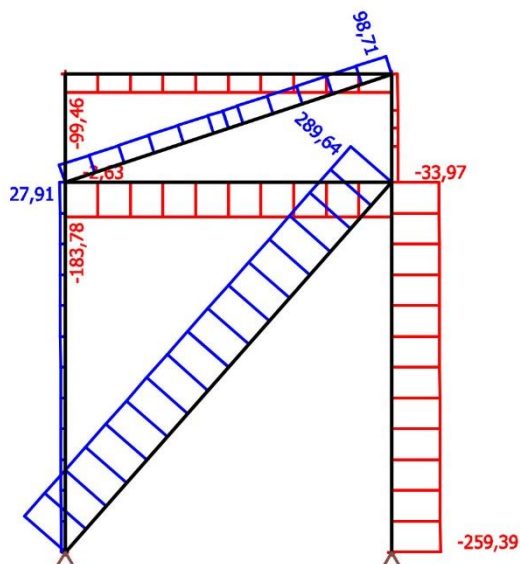
$$d_{e2} \cdot q \cdot v \leq 0,010 \cdot h$$

$$7,1\text{mm} \cdot 1,5 \cdot 0,5 \leq 0,01 \cdot 2000\text{mm}$$

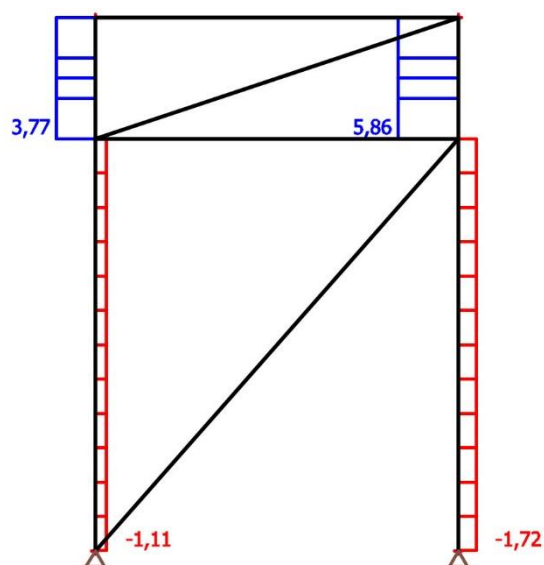
$$5,3\text{mm} \leq 20\text{mm}$$



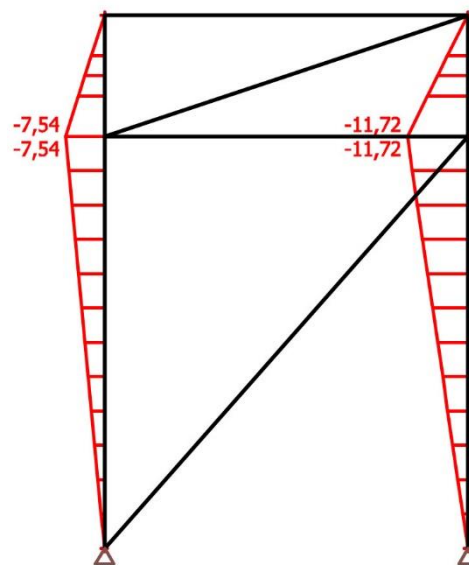
Slika 115: Izbrani profili



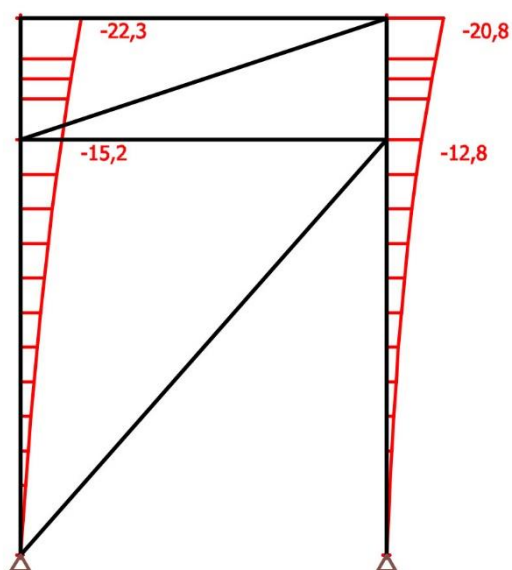
Slika 116: Osna sila [kN]



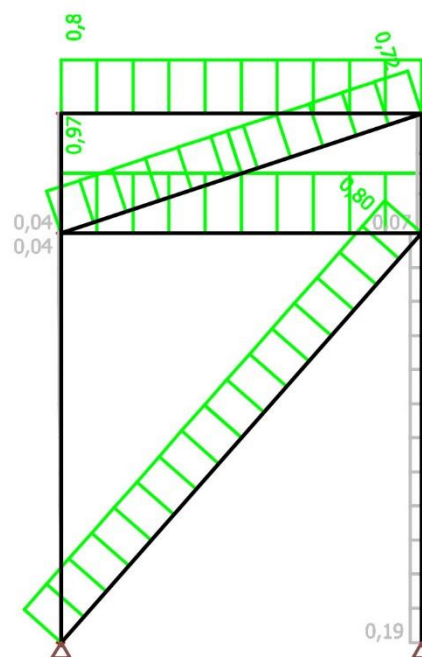
Slika117: Prečna sila [kN]



Slika118: Momenti [kN]



Slika 119: Pomiki (mm)



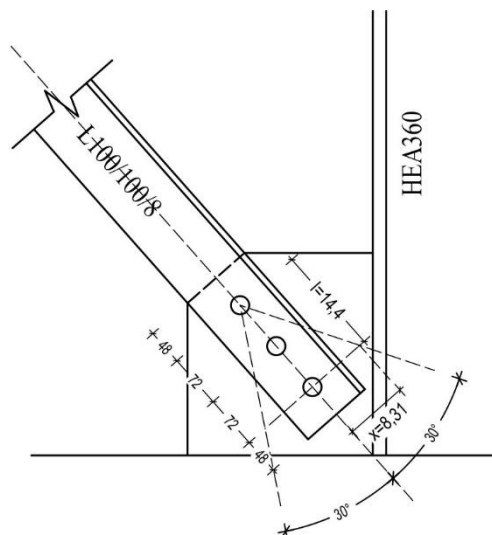
Slika 120: Izkoriščenost nosilnosti in stabilnosti zaradi potresnih obremenitev [%]

Izbrani elementi iz poglavja 8.4 ne zadostujejo potresni obtežbi, zato se poveča horizontalne elemente iz kvadratnih cevi 100/100/4 na 100/100/5 in 120/120/5. Nadomesti se tudi diagonalne natezne elemente z kotnim profilom L60/60/5 in L100/100/8.

11 STIKI

11.1 STIK DIAGONALE S STEBOM

11.1.1 Zasnova



Slika 99: Stik diagonale in stebra

11.1.2 Obremenitev

$$N_{Ed} = 289,64 \text{ kN}$$

11.1.3 Dimenzioniranje

Vijaki M20; 8,8

$d = 22 \text{ mm}$ premer vijaka

$d_0 = 24 \text{ mm}$ premer luknje za vijak

$A = 3,8 \text{ cm}^2$ prerez vijaka

$A_s = 3,03 \text{ cm}^2$ strižni prerez vijaka

$f_{ub} = 80 \text{ kN/cm}^2$ natezna trdnost vijaka

Razporeditev vijakov

$$e_1 \approx 2 d_0 = 48 \text{ mm}$$

$$p_1 \approx 3 d_0 = 72 \text{ mm}$$

$$e_2 \approx 1,5 d_0 = 36 \text{ mm}$$

Kontrola strižne nosilnosti vijaka

$$F_{v,Ed} = \frac{N_{Ed}}{m} = \frac{289,64 \text{ kN}}{3} = 96,55 \text{ kN} \leq F_{v,Rd}$$

$m = 3$ strižno silo prevzamejo vsi vijaki

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 \text{ kN/cm}^2 \cdot 3,03 \text{ cm}^2}{1,25} = 116,35 \text{ kN}$$

$n = 1$ strižna ravnina

Vezna pločevina

$$t_{vp} \geq \frac{N_{Ed} \gamma_{M0}}{f_y (b - d_0)} = \frac{289,64 \text{ kN} \cdot 1,0}{23,5 \text{ kN/cm}^2 \cdot (16,62 \text{ cm} - 2,4 \text{ cm})} = 0,87 \text{ cm}$$

$$b = 2x = 2 \cdot 8,31 \text{ cm} = 16,62 \text{ cm}$$

$$x = \operatorname{tg} \gamma \cdot l = \operatorname{tg} 30^\circ \cdot 14,4 \text{ cm} = 8,31 \text{ cm}$$

$$l = 2p_1 = 2 \cdot 7,2 \text{ cm} = 14,4 \text{ cm}$$

Izberem debelino vezne pločevine $t_{vp} = 1 \text{ cm}$

Kontrola neto prereza

$$N_{Ed} = 289,64 \text{ kN} \leq \frac{A_{net} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13,58 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 319,8 \text{ kN}$$

$$A_{net} = A - d \cdot d_0 = 15,5 \text{ cm}^2 - 0,8 \text{ cm} \cdot 2,4 \text{ cm} = 13,58 \text{ cm}^2$$

Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$F_{b,Rd} = m \cdot \frac{2,5 \cdot \alpha \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 3 \cdot \frac{2,5 \cdot 0,67 \cdot 36 \cdot 2,2 \cdot 0,8}{1,25} = 294,70 \text{ kN} \geq N_{Ed} = 289,64 \text{ kN}$$

$$f_u = 36 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{natezna trdnost S235}$$

$$t = \min\{t_L, t_{vp}\} = 0,8 \text{ cm}$$

$$\alpha = \min \begin{cases} \frac{e_1}{3d_0} = \frac{4,8}{3 \cdot 2,4} = 0,67 \\ \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{7,2}{3 \cdot 2,4} - \frac{1}{4} = 0,75 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \\ 1,0 \end{cases}$$

11.1.4 Zvari

Debelina zvara

$$3 \text{ mm} \leq a \leq 0,46 t = 4,6 \text{ mm}$$

$$t = \min\{t_w, t_{vp}\} = 1,0 \text{ cm}$$

Izberem zvar debeline $a = 4 \text{ mm}$

Dolžina zvarov in prerez

$$l_{zv,1} = l_1 - 2a = 25 \text{ cm} - 2 \cdot 0,4 \text{ cm} = 24,2 \text{ cm}$$

$$l_{zv,2} = l_2 - 2a = 27 \text{ cm} - 2 \cdot 0,4 \text{ cm} = 26,2 \text{ cm}$$

$$A = 2 \cdot a \cdot (l_{zv,1} + l_{zv,2}) = 2 \cdot 0,4 \text{ cm} \cdot (24,2 \text{ cm} + 26,2 \text{ cm}) = 40,32 \text{ cm}^2$$

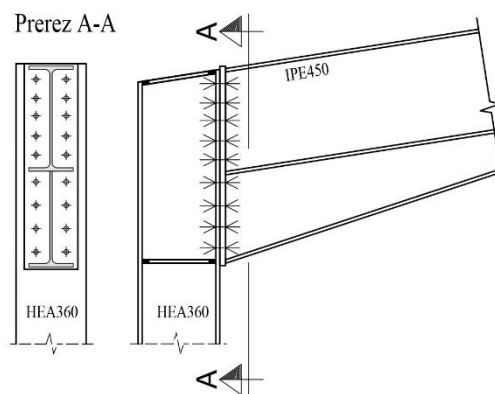
Kontrola nosilnosti kotnega zvara

$$f_{vw,Rd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \beta_w \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{zv} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{289,64 \text{ kN}}{40,32 \text{ cm}^2} = 7,18 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{vw,Rd}$$

11.2 VIJAČEN SPOJ STREŠNEGA NOSILCA IN STEBRA

11.2.1 Zasnova



Slika 100: Stik stebra in strešnega nosilca

11.2.2 Obremenitev

Določitev maksimalnega momenta v prečki pri potresni obtežbi in MSN

$$M_{y,Ed}^{MSN} = 388,44 kNm$$

$$M_{y,Ed}^{q=1,5} = 253,19 kNm$$

$$M_{y,Ed}^{q=4} = M_{Ed,G}^{q=4} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega \cdot M_{Ed,E}^{q=4} = 79,19 kNm + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,73 \cdot 99,22 kNm = 451,63 kNm$$

$$M_{Ed} = \max\{M_{y,Ed}^{MSN}, M_{y,Ed}^{q=1,5}, M_{y,Ed}^{q=4}\} = 451,63 kNm$$

Določitev pripadajočih osnih in prečnih sil

$$N_{Ed} = N_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot N_{Ed,E} = 20,85 kN + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,73 \cdot 21,67 kN = 102,19 kN$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,G} + 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot V_{Ed,E} = 30,99 kN + 1,1 \cdot 1,25 \cdot 2,73 \cdot 5,95 kN = 53,32 kN$$

11.2.3 Dimenzioniranje spoja

Stik dimenzioniramo na potresno obtežbo pri $q=4,0$ (varovani stik)

Uporabim:

Vijaki M16; 8,8

Pločevina $t_{cp}=20\text{mm}$

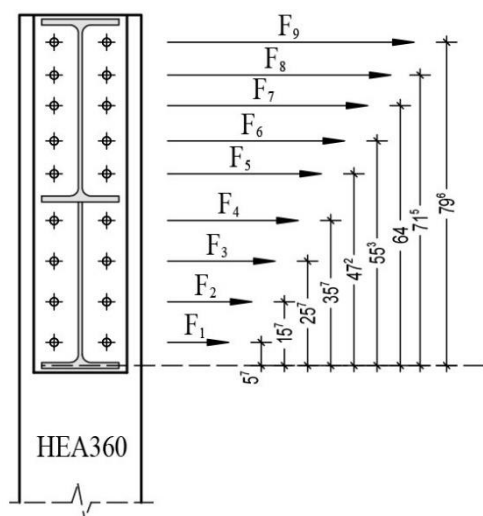
$d = 16\text{mm}$	premer vijaka
$d_0 = 18\text{mm}$	premer luknje
$d_m = 24,67\text{mm}$	glava vijaka
$A = 2,01\text{cm}^2$	prerez vijaka
$A_s = 1,57\text{cm}^2$	strižni prerez vijaka
$f_{ub} = 80\text{kN/cm}^2$	natezna trdnost vijaka

$$e_1 = 2 d_0 = 36 \text{ mm}$$

$$p_1 = 3 d_0 = 54 \text{ mm}$$

$$e_2 = 1,5 d_0 = 27 \text{ mm}$$

$$p_2 = 3 d_0 = 54 \text{ mm}$$



Slika 101: Razporeditev vijakov

Sile v vijakih

$$F_i = \frac{r_i \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2}$$

$$F_1 = \frac{r_1 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{5,7 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 11,21 \text{ kN}$$

$$F_2 = \frac{r_2 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{15,7 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 30,87 \text{ kN}$$

$$F_3 = \frac{r_3 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{25,7 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 50,54 \text{ kN}$$

$$F_4 = \frac{r_4 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{35,7 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 70,20 \text{ kN}$$

$$F_5 = \frac{r_5 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{47,2 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 92,81 \text{ kN}$$

$$F_6 = \frac{r_6 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{55,3 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 108,74 \text{ kN}$$

$$F_7 = \frac{r_7 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{63,4 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 124,67 \text{ kN}$$

$$F_8 = \frac{r_8 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{71,5 \text{ cm} \cdot 45163 \text{ kNcm}}{23278,9 \text{ cm}^2} = 140,59 \text{ kN}$$

$$F_9 = \frac{r_9 \cdot M_{Ed}}{\sum r_i^2} = \frac{79,6cm \cdot 45163kNcm}{23278,9cm^2} = 156,52kN = F_{max}$$

Kontrola natezne nosilnosti v najbolj obremenjenem vijaku

$$F_{t,Ed} = \frac{F_{max}}{n} = \frac{156,52kN}{2} = 78,26kN \leq F_{t,Rd} = 115,78kN$$

$n = 2$ število vojakov v eni vrsti

$$F_{t,Rd} = \frac{0,9 \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 80 kN/cm^2 \cdot 2,01 cm^2}{1,25} = 115,78kN$$

Kontrola strižne nosilnosti vijaka

$$F_{v,Ed} = \frac{V_{Ed}}{m} = \frac{427kN}{18} = 23,72kN \leq F_{v,Rd}$$

$m = 18$ strižna sila se porazdeli na vse vijake

$$F_{v,Rd} = n \cdot \frac{0,6 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = 1 \cdot \frac{0,6 \cdot 80 kN/cm^2 \cdot 4,59cm^2}{1,25} = 176,26kN$$

$n = 1$ strižna ravnina

Interakcija natega in striga

$$\frac{F_{t,Ed}}{1,4 \cdot F_{t,Rd}} + \frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1,0$$

$$\frac{78,26kN}{1,4 \cdot 115,78kN} + \frac{23,72kN}{176,26kN} \leq 1,0$$

$$0,48 + 0,13 = 0,69 \leq 1,0$$

Kontrola preboja pločevine

$$B_{b,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot f_u \cdot t_{cp}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 2,47cm \cdot 36kN/cm^2 \cdot 2,0cm}{1,25} = 267,85kN$$

$$B_{b,Rd} = 267,85kN \geq F_{t,Rd} = 115,78kN$$

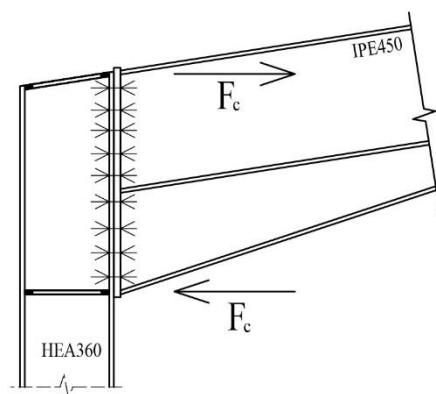
Kontrola stika v stebru

Kontrola v pasnici stebra

$$t_f = 17,5\text{mm} \geq 0,5 \cdot t_{cp} = 0,5 \cdot 20\text{mm} = 10\text{mm}$$

$$t_f = 17,5\text{mm} \geq 0,8 \cdot d = 0,8 \cdot 16 = 12,8\text{mm}$$

Kontrola koncentrirane sile na steber



Slika 102: Koncentrirane sile v stiku

$$F_C = \sum_{i=1}^n F_i = 786,15 \text{ kN}$$

Del koncentrirane sile F_C prevzame stojina stebra, ostalo pa prečna ojačitev (rebro)

$$N_{Rd,w} = b_{eff} \cdot t_w \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 19,46\text{cm} \cdot 1,0\text{cm} \cdot \frac{23,5\text{kN/cm}^2}{1,0} = 457,41\text{kN}$$

$$b_{eff} = t_f + 2 t_{cp} + 2 a \sqrt{2} + 5 K$$

$$b_{eff} = 1,75\text{cm} + 2 \cdot 2,0\text{cm} + 2 \cdot 0,5 \cdot \sqrt{2} + 5 \cdot 2,46\text{cm} = 19,46\text{cm}$$

$$a = 0,5 \cdot t_w = 0,5 \cdot 1,0\text{cm} = 0,5\text{cm}$$

$$K = t_f + a \sqrt{2} = 1,75\text{cm} + 0,5 \cdot \sqrt{2}\text{cm} = 2,46\text{cm}$$

Sila v prečni ojačitvi

$$N_{Rd,po} = F_C - N_{Rd,w} = 786,15\text{kN} - 457,41\text{kN} = 328,74\text{kN}$$

$$N_{Rd,po} \leq b_{po} \cdot t_{po} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$t_{po} \geq \frac{N_{Rd,po} \gamma_{M0}}{b_{po} f_y} = \frac{328,74\text{kN} \cdot 1,0}{30\text{cm} \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,47\text{cm}$$

Izberem rebro $t_{po} = 0,5\text{cm}$

Kontrola striga v stojini stebra

$$V_{Ed} = F_c = 786,15kN \leq V_{pl,Rd} = 515,57kN$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{38cm^2 \cdot 23,5 kN/cm^2}{\sqrt{3} \cdot 1,0} = 515,57kN$$

$$A_v = \max \begin{cases} A - 2 b \cdot t_f + (t_w + 2 r) t_f = \\ = 143cm^2 - 2 \cdot 30cm \cdot 1,75cm = 38cm^2 \\ \eta h_w t_w = \\ = 1,2 \cdot 31,5cm \cdot 1,0 = 37,8cm^2 \end{cases}$$

$V_{Ed} \leq V_{pl,Rd} \Rightarrow$ Pogoj ni izpolnjen, zato na stojino privarimo pločevino

$$\Delta V_{Ed} = V_{Ed} - V_{pl,Rd} = 786,15kN - 515,57kN = 270,58kN$$

$$\Delta V_{Ed} \leq h_w \cdot t_{do} \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

$$t_{do} \geq \frac{\Delta V_{Ed} \sqrt{3} \gamma_{M0}}{h_w f_y} = \frac{270,58 \cdot \sqrt{3} \cdot 1,0}{31,5cm \cdot 23,5 kN/cm^2} = 0,63cm$$

Izberem pločevino $t_{do} = 0,8cm$

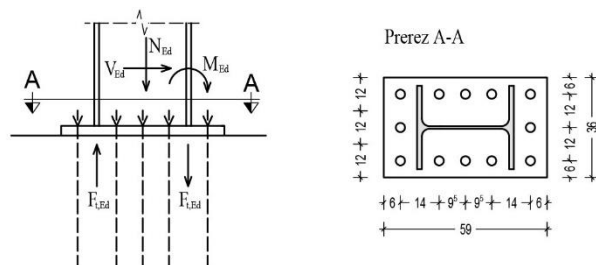
11.2.4 Zvari

Vsi zvari so polno nosilni.

$$a_{max} = 0,46 t$$

11.3 SPOJ STEBRA NA TOČKOVNI TEMELJ

11.3.1 Zasnova



Slika 103: Priključek stebra na temelj

11.3.2 Material

Jeklo S235

Sidra S335

11.3.3 Obremenitev

Stik temelja na steber je zaradi upoštevanja potresne obtežbe $q=4,0$ obravnavan kot varovani spoj.

$$M_{Ed} = M_{pl,Rd} \cdot 1,1 \cdot \gamma_{ov} \cdot \Omega = 49068 \text{ kNcm} \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,0 = 67468,5 \text{ kNcm}$$

$$M_{pl,Rd} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 2088 \text{ cm}^3 \cdot \frac{23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 49068 \text{ kNcm}$$

$$V_{Ed} = \frac{2 \cdot M_{pl,Rd}}{h} = \frac{2 \cdot 49068 \text{ kNcm}}{880 \text{ cm}} = 55,76 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 369,65 \text{ kN} \quad \text{osna sila ugodno vpliva, zato je ne upoštevam pri računu}$$

11.3.4 Dimenzioniranje

- Dimenzioniranje betonskega podlitja

$$F_{c,Rd} = f_{jd} \cdot b_{eff} \cdot l_{eff}$$

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}}$$

$$f_{jd} = \beta \cdot f_{cd} \cdot \alpha$$

Kjer so:

f_{jd} projektna trdnost betonske podlage

β koeficient podlage

f_{cd} projektna trdnost betona

α faktor raznosa obtežbe

f_y napetost tečenja pločevine

Izberem:

C40/50 kvaliteta betonskega podlitja

$t_p = 50mm$ debelina betonskega podlitja

$t_{cp} = 30mm$ debelina pločevine

Obremenjena površina A_{c0}

$$c = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_y}{3 \cdot f_{jd} \cdot \gamma_{M0}}} = 5cm \cdot \sqrt{\frac{23,5kN/cm^2}{3 \cdot 4kN/cm^2 \cdot 1,0}} = 7,0cm$$

$$\begin{aligned} A_{c1} &= 2 \cdot \left((b^{HEA360} + 2 \cdot c) \cdot (t_f + 2 \cdot c) \right) + (h^{HEA360} + 2 \cdot c) \cdot (t_w + 2 \cdot c) = \\ &= 2 \cdot \left((30cm + 2 \cdot 7cm) \cdot (1,75cm + 2 \cdot 7cm) \right) + (35cm + 2 \cdot 7cm) \cdot (1,0cm + 2 \cdot 7cm) = \\ &= 2121cm^2 \end{aligned}$$

$$F_{c,Rd} = f_{jd} \cdot d_{eff} \cdot l_{eff} = 6,11kN/cm^2 \cdot 15,75cm \cdot 44cm = 4231,23kN$$

$$b_{eff} = t_f + 2 \cdot c = 1,75cm + 2 \cdot 7cm = 15,75cm$$

$$l_{eff} = b^{HEA360} + 2 \cdot c = 30cm + 2 \cdot 7cm = 44cm$$

$$N_{Ed} = 369,65kN \leq F_{c,Rd} = 4231,23kN$$

- Dimenzioniranje sidra

$$F_{t,Ed} = \frac{M_{Ed}}{h - t_f} = \frac{67468,5kNcm}{35cm - 1,75cm} = 2029,13kN$$

$$F'_{t,Ed} = \frac{2029,13kN}{12} = 169,09kN$$

$$\phi \geq \sqrt{\frac{F'_{t,Ed} \cdot \gamma_{M0} \cdot 4}{0,85 \cdot f_y \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{169,09kN \cdot 1,25 \cdot 4}{0,85 \cdot 33,5kN/cm^2 \cdot \pi}} = 3,07cm$$

Izberem sidro $\phi = 33mm$

- Kontrola preboja pločevine

$$B_{b,Rd} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot f_u \cdot t_{\check{c}p}}{\gamma_{M2}} = \frac{0,6 \cdot \pi \cdot 5,22cm \cdot 51kN/cm^2 \cdot 2,0cm}{1,25} = 1204,35kN$$

$$B_{b,Rd} = 1204,35kN \geq F'_{t,Ed} = 169,09kN$$

- Dimenzioniranje zvara med stebrom in pločevino

Določitev polno nosilnega zvara

$$a_1 \leq 0,7 \cdot t_1 = 0,7 \cdot 17,5mm = 12,3mm$$

$$t_1 = \min\{t_f, t_{\check{c}p}\} = \min\{17,5mm; 30mm\} = 17,5mm$$

Izberem $a_1 = 12mm$

$$a_2 \leq 0,7 \cdot t_2 = 0,7 \cdot 10mm = 7mm$$

$$t_2 = \min\{t_w, t_{\check{c}p}\} = \min\{10mm; 30mm\} = 10mm$$

Izberem $a_2 = 7mm$

$$b_1 = \frac{b}{2} - \frac{t_w}{2} - a_1 = \frac{30cm}{2} - \frac{1,0cm}{2} - 1,2 = 13,3cm$$

$$h_1 = h - 2 \cdot t_f - 2 \cdot a_2 = 35cm - 2 \cdot 1,75cm - 2 \cdot 0,7cm = 30,1cm$$

Kontrola nosilnosti kotnega zvara

$$I_{zv} = 2 \cdot b \cdot a_1 \cdot \left(\frac{h}{2}\right)^2 + 4 \cdot b_1 \cdot a_1 \cdot \left(\frac{h_w}{2}\right)^2 + 2 \cdot \frac{h_1^3 \cdot a_2}{12} =$$

$$= 2 \cdot 30cm \cdot 1,2cm \cdot \left(\frac{35cm}{2}\right)^2 + 4 \cdot 13,3cm \cdot 1,2cm \cdot \left(\frac{31,5cm}{2}\right)^2 + 2 \cdot \frac{(30,1cm)^3 \cdot 0,7cm}{12} =$$

$$= 18375cm^4 + 15836,31cm^4 + 3181,61cm^4 = 37392,92cm^4$$

$$W_{zv} = \frac{2 \cdot I_{zv}}{h} = \frac{2 \cdot 37392,92 \text{ cm}^4}{35 \text{ cm}} = 2136,74 \text{ cm}^3$$

$$v_{II} = \frac{V_{Ed}}{2 \cdot a_2 \cdot h_1} = \frac{55,76 \text{ kN}}{2 \cdot 0,7 \text{ cm} \cdot 30,1 \text{ cm}} = 1,32 \text{ kN/cm}^2$$

$$n = \frac{M_{Ed}}{W_{zv}} = \frac{67468,5 \text{ kNcm}}{2136,74 \text{ cm}^3} = 31,58 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sqrt{v_{II}^2 + n^2} = \sqrt{1,32^2 + 31,58^2} = 31,61 \text{ kN/cm}^2 \leq f_{v,wd}$$

$$f_{v,wd} = \frac{f_u}{\sqrt{3} \cdot \beta_w \cdot \gamma_{M2}} = \frac{36 \text{ kN/cm}^2}{\sqrt{3} \cdot 0,8 \cdot 1,25} = 20,78 \text{ kN/cm}^2$$

Ker se kontrola ne izide, predpišem čelni zvar s polno penetracijo.

12 ZAKLJUČEK

Pri računu jeklene hale z mostnim dvigalom sem pri glavnih okvirjih zaradi žerjavne obtežbe pri mejnem stanju nosilnosti dobil velike pomike, zato sem pri stebru predvidel polno vpetje v temelj. Tako sem zmanjšal horizontalne pomike na zahtevane. Pri potresni obtežbi s faktorjem obnašanja $q=1,5$ za konstrukcije z majhnim sipanjem energije, dodatno zagotavljanje stabilnosti in nosilnosti prerezov ni bilo potrebno, saj je pri mejnem stanju nosilnosti izkoriščenost prerezov dosti večja kot pa pri potresni obtežbi s faktorjem $q=1,5$.

Jekleno halo sem preveril še s potresne obtežbe za konstrukcije s sposobnostjo sipanja energije (faktor obnašanja $q=4$) in določil območja, kjer se bo konstrukcija obnašala neelastično in lahko nastane plastični členek. Na teh mestih je potrebno zagotoviti zadostno duktilnost in nosilnost. V mojem primeru se plastični členek tvori v stebru, tik pod spodnjo pasnico prečke strešnega nosilca, zato sem dimenzioniral varovan spoj prečka –steber in steber-temelj.

VIRI

Beg, D. 1999. Projektiranje jeklenih konstrukcij po evropskem predstandardu ENV 1993-1-1. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 219 str.

SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-1. del: Splošni vplivi - Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1991-1-3:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-3. del: Splošni vplivi - Obtežba snega.

SIST EN 1991-1-3:2004/A101. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-3. del: Splošni vplivi - Obtežba snega – Nacionalni dodatek.

SIST EN 1991-1-4:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-4. del: Splošni vplivi - Obtežbe vetra.

SIST EN 1991-1-4:2005/A101. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-4. del: Splošni vplivi - Obtežbe vetra – nacionalni dodatek.

SIST EN 1991-3:2006. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 3. del: Vpliv žerjavov in drugih strojev.

SIST EN 1993-1-1:2005. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1993-1-9:2005. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-9. del: Utrujanje

SIST EN 1993-6:2007. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 6. del: Žerjavne proge

SIST EN 1998-1:2005. Evrokod 8: Projektiranje potresno odpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe

Prazna stran

KAZALO PRILOG

PRILOGA A : Kontrola nosilnosti in stabilnosti žerjavne proge

PRILOGA B : Kontrola nosilnosti in stabilnosti strešne lege

PRILOGA C : Kontrola nosilnosti in stabilnosti tlačnega elementa med legama

PRILOGA D : Kontrola nosilnosti in stabilnosti centričnega pivezja v strehi

PRILOGA E : Kontrola nosilnosti in stabilnosti fasadnega stebra

PRILOGA F : Kontrola nosilnosti in stabilnosti momentnega okvirja

PRILOGA G : Kontrola nosilnosti in stabilnosti vertikalnega centričnega povezja

PRILOGA H : Tehnične lastnosti mostnega dvigala

PRILOGA I : Strešni paneli TRIMO

PRILOGA J : Fasadni paneli TRIMO

PRILOGA K : Pozicijski načrti in kosovnica