

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/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Kerševan, G., 2013. Statični izračun in dimenzioniranje obstoječega cestnega mostu čez Savo v Črnučah. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Beg, D., somentor Gruden, G.): 122 str.

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/>

This is original version of final thesis.

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

Kerševan, G., 2013. Statični izračun in dimenzioniranje obstoječega cestnega mostu čez Savo v Črnučah. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Beg, D., co-supervisor Gruden, G.): 122 pp.

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

GAŠPER KERŠEVAN

**STATIČNI IZRAČUN IN DIMENZIONIRANJE
OBSTOJEČEGA CESTNEGA MOSTU ČEZ SAVO V
ČRNUČAH**

Diplomska naloga št.: 3346/KS

**STATIC ANALYSIS AND DESIGN OF THE EXISTING
ROAD BRIDGE OVER THE SAVA RIVER IN ČRNUČE**

Graduation thesis No.: 3346/KS

Mentor:

prof. dr. Darko Beg

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

Gregor Gruden, univ. dipl. inž. grad.

Član komisije:

doc. dr. Boštjan Pulko

Ljubljana, 29. 11. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Gašper Kerševan izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom **»Statični izračun in dimenzioniranje obstoječega cestnega mostu čez Savo v Črnučah«**.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 13. 11. 2013

Gašper Kerševan

BIBLIOGRAFSKA-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	624.04:625.745.12(497.4)(043.2)
Avtor:	Gašper Kerševan
Mentor:	prof. dr. Darko Beg
Somentor	Gregor Gruden, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Statični izračun in dimenzioniranje obstoječega cestnega mostu čez Savo v Črnučah
Tip dokumenta:	Dipl. nal. – UNI
Obseg in oprema:	122 str., 119 pregl., 67 sl.
Ključne besede:	Statična analiza, dimenzioniranje, most, jeklena nosilna konstrukcija, prometna obtežba, Scia Engineer

Izvodček:

V diplomski nalogi smo obravnavali obstoječi cestni most čez reko Savo v Črnučah. Opravili smo statično analizo in dimenzioniranje konstrukcije skladno z Evrokod standardi. Leto izgradnje sega v čas pred prvo svetovno vojno, vendar so ga po tem večkrat obnovili in prenovili. Najprej smo s pomočjo literature in terenskega pregleda določili idealizirano stanje konstrukcije in sestavili primerne računske modele za analizo. Upoštevali smo tri glavne vplive, lastno s stalno, prometno ter vetrno obtežbo. Za določitev dilatacij in kontrolo pomikov v ležiščih konstrukcije smo upoštevali še temperaturni vpliv. Ugotovili smo, da se pri večini elementov kontrola nosilnosti in stabilnosti ne izide. Prav tako so problematični tudi spoji. To je sicer smiselno, saj je bila konstrukcija nazadnje obnovljena in ojačena leta 1975, od takrat pa se je količina prometa (in prometna obremenitev, ki jo določa standard) povečala. Če bi torej želeli, da bi bil most skladen z Evrokod standardi, bi morali zamenjati več kot polovico elementov. Posledično bi se lastna teža mostu, ki je že tako velika, podvojila. Pri analizi smo upoštevali zmanjšano prometno obtežbo najbolj obremenjenega prometnega pasu za 20%, kljub temu, da naš nacionalni dodatek tega ne dovoljuje. Kljub temu, da je most pomemben za lokalni promet, smo predpostavili, da ni prometno tako obremenjen, da bi bilo potrebno upoštevati celotno prometno obtežbo. V diplomski nalogi smo analizirali še obremenitev na ležišča, določili smo potrebne dilatacije jeklene konstrukcije in preverili dva detajla na utrujanje.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624.04:625.745.12(497.4)(043.2)

Author: Gašper Kerševan

Supervisor: prof. Darko Beg, Ph. D.

Cosupervisor Gregor Gruden, B. Sc.

Title: Static analysis and design of the existing road bridge over the Sava river in Črnuče

Document type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools: 122 p., 119 tab., 67 fig.

Key words: Static analysis, design, bridge, steel structure, traffic loads, Scia Engineer

Abstract:

In this thesis we discussed the existing road bridge over the Sava river in Črnuče. We performed static analysis and designed the structure in accordance with the Eurocodes. The bridge was built before the First World War and was since then renovated and reconstructed many times. With the help of the literature and field examination we constructed idealized models for analysis. On these models we applied three main actions, self-weight, wind action and traffic loads. To design expansion joints and bridge bearings we also took in consideration thermal action. We found out that most elements don't comply with stability and cross-section check, furthermore also many connections don't comply with design provisions. Bridge was last renovated in year 1975 and since then the amount of traffic had certainly doubled, therefore acquired results make sense. If we wanted the static analysis and design of the bridge to be in accordance with Eurocodes, we would have to reinforce or replace more than half of the construction elements. As a result, bridge's self weight would double. Adequate standard for traffic loads SIST EN 1991-2 allows us to reduce the traffic action on the notional lane with the most unfavourable effect for 20 %. Although this is not allowed in our National Annex, we used this reduction anyway. Despite the fact that over the bridge runs an important transport link to the city centre we presumed that the actual traffic load is lower than the maximal value directed in Eurocode. Additionally we analyzed two different bridge bearings, we defined the necessary expansion joints and controlled two construction details for fatigue.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju prof. dr. Darku Begu in somentorju univ. dipl. inž. grad. Gregorju Grudnu za usmerjanje in koristne nasvete pri pisanju diplomske naloge. Zahvaljujem se tudi univ. dipl. inž. grad. Tanji Vesel za nesebično pomoč, nasvete in konstruktivne debate tekom pisanja diplomskega dela.

Najlepša hvala tudi Inštitutu za metalne konstrukcije za ponujeno priložnost, strokovno podporo in izkazano zaupanje.

Miha², Matej, Saško, Ester, Ana, Cene, Gašper, Anja, Janez in ostali – hvala za »ludo i nezaboravno« študentsko izkušnjo.

Maja – hvala za vso motivacijo in podporo, še posebej v trenutkih, ko sem to najbolj potreboval.

Hvala mami, očetu, mami Jožici, dedku in babici, da so poskrbeli, da so bile moje težave povezane samo s študijem.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKA-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 TEHNIČNI OPIS KONSTRUKCIJE	3
2.1 Opis lokacije in zasnova konstrukcije	3
2.2 Posegi v konstrukcijo skozi čas (vir IMK).....	14
2.3 Vplivi na konstrukcijo.....	15
2.3.1 Stalna obtežba	15
2.3.2 Prometna obtežba	15
2.3.3 Vpliv vetra	16
2.3.4 Toplotni vpliv	16
2.4 Materiali	17
2.4.1 Beton	17
2.4.2 Armatura	18
2.4.3 Konstrukcijsko jeklo.....	18
2.4.3.1 Lomna žilavost.....	18
2.5 Predpisi in standardi.....	19
3 ANALIZA OBTEŽBE	20
3.1 Stalna obtežba	20
3.1.1 Stalna obtežba glavnega jeklenega nosilca	20
3.1.2 Stalna obtežba sekundarne nosilne konstrukcije	22
3.2 Prometna obtežba.....	23
3.3 Vetrna obtežba.....	25
3.3.1 Vpliv vetra na most v smeri X	26
3.3.1.1 Vpliv vetra na prazen most v smeri X.....	26
3.3.1.2 Vpliv vetra na most s prometom v smeri X	28
3.3.2 Vpliv vetra na most v smeri Y	29
3.3.2.1 Vpliv vetra na prazen most v smeri Y	29
3.3.2.2 Vpliv vetra na most s prometom v smeri Y	29
3.3.3 Vpliv vetra na most v smeri Z	29
3.4 Temperaturna obtežba	29
3.5 Obtežne kombinacije.....	31

4 STATIČNI IZRAČUN NOSILNOSTI	32
4.1 Računski model	32
4.1.1 Glavni palični nosilec.....	32
4.1.2 Sekundarna nosilna konstrukcija.....	35
4.1.3 Elementi hodnika.....	36
4.2 Obtežba	37
4.2.1 Glavni palični nosilec.....	37
4.2.2 Sekundarna nosilna konstrukcija.....	42
4.2.3 Elementi hodnika.....	44
4.3 Notranjih statične količine v elementih nosilne konstrukcije.....	45
4.3.1 Glavni palični nosilec.....	45
4.3.2 Sekundarni nosilni elementi	53
4.3.3 Elementi hodnika.....	59
4.4 Kontrola stabilnosti in nosilnosti	60
4.4.1 Glavni palični nosilec.....	60
4.4.2 Sekundarni nosilni elementi	77
4.4.3 Elementi hodnika.....	88
5 KONTROLA SPOJEV.....	93
5.1 Glavni palični nosilec	93
5.2 Sekundarna nosilna konstrukcija.....	96
5.2.1 Spoji v paličnem prečniku.....	96
5.2.2 Spoj prečne povezave glavnih paličnih nosilcev	98
5.2.3 Spoj med vzdolžno vezjo med prečniki in zgornjim pasom paličnega prečnika.....	99
5.2.4 Spoj zavorne vezi.....	100
5.2.5 Spoj med prečnikom vozišča in vertikalno glavnega paličnega nosilca.....	102
5.2.6 Spoj med prečnikom in srednjim vzdolžnikom vozišča	103
5.2.7 Podaljševanje vzdolžnikov s preklopnim spojem	104
6 KONTROLA UTRUJANJA	106
6.1 Obtežni model za utrujanje	106
6.2 Kontrola utrujanja.....	107
7 LEŽIŠČA IN DILATACIJE	110
7.1 Kontrola ležišč	110
7.2 Določitev potrebnih dilatacij	112
7.2.1 Dilataciji na mestu krajnih opornikov (os 1' in 1).....	112
7.2.2 Dilatacija na mestu pomičnega členka (os 17').....	113
7.2.3 Dilatacija na mestu nepomičnega členka (os 17).....	114
8 OJAČITVE	115

8.1 Sanacija (vir IMK)..... 118

9 ZAKLJUČEK 119

VIRI..... 121

KAZALO PREGLEDNIC

Pr. 1: Geometrijske lastnosti prerezov spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca	5
Pr. 2: Geometrijske lastnosti prerezov zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca	6
Pr. 3: Geometrijske lastnosti prerezov vertikal glavnega paličnega nosilca	7
Pr. 4: Geometrijske lastnosti prerezov diagonal glavnega paličnega nosilca	8
Pr. 5: Geometrijske lastnosti elementov sekundarne nosilne konstrukcije z izjemo paličnega prečnika	11
Pr. 6: Geometrijske lastnosti elementov paličnega prečnika	12
Pr. 7: Geometrijske lastnosti elementov hodnika	13
Pr. 8: Delni varnostni faktorji za materiale (beton in armatura) skladno s SIST EN 1992-1-1	17
Pr. 9: Delni varnostni faktorji za materiale (konstrukcijsko jeklo) skladno s SIST EN 1993-2 in Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken	17
Pr. 10: Izračun lastne teže AB voziščne plošče	20
Pr. 11: Izračun lastne teže AB plošče hodnika za pešce	20
Pr. 12: Izračun stalne obtežbe na hodniku za pešce (dodatna oprema mostu)	20
Pr. 13: Izračun lastne in stalne obtežbe glavnega nosilca	21
Pr. 14: Določitev števila in širine voznih pasov	23
Pr. 15: Določitev vertikalne obtežbe pri obtežnem modelu LM 1	23
Pr. 16: Določitev vertikalne obtežbe pri obtežnem modelu LM 2	24
Pr. 17: Določitev vertikalne obtežbe hodnika za pešce	24
Pr. 18: Določitev obtežnih skupin	25
Pr. 19: Obtežne kombinacije za mejno stanje nosilnosti	31
Pr. 20: Največja reakcija zaradi prometne obtežbe	38
Pr. 21: Izračun prometne obtežbe na glavni palični nosilec	39
Pr. 22: Osne sile v spodnjem pasu zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra	45
Pr. 23: Osne sile v spodnjem pasu zaradi vpliva prometne obtežbe	46
Pr. 24: Osne sile v zgornjem pasu zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra	47
Pr. 25: Osne sile v zgornjem pasu zaradi vpliva prometne obtežbe	48
Pr. 26: Osne sile v vertikalah zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra	49
Pr. 27: Osne sile v vertikalah zaradi vpliva prometne obtežbe	50
Pr. 28: Osne sile v diagonalah zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra	51
Pr. 29: Osne sile v diagonalah zaradi vpliva prometne obtežbe	52
Pr. 30: Notranje statične količine v srednjem vzdolžniku vozišča in reakcije v podporah	53
Pr. 31: Notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku vozišča in reakcije v podporah	54
Pr. 32: Notranje statične količine v robnem vzdolžniku vozišča in reakcije v podporah	54
Pr. 33: Notranje statične količine v prečniku vozišča	54

Pr. 34: Največje in najmanjše osne sile v vertikalah	55
Pr. 35: Notranje sile v elementih paličja paličnega prečnika	55
Pr. 36: Dodatna obremenitev v spodnjem pasu paličnega prečnika zaradi delovanja vetrne vezi	56
Pr. 37: Osne sile v diagonalah vetrne vezi	56
Pr. 38: Obtežba v prečni povezavi zgornjih pasov glavnih nosilcev	57
Pr. 39: Notranje statične količine v robnem vzdolžniku hodnika in reakcije v podporah	59
Pr. 40: Notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku hodnika in reakcije v podporah	60
Pr. 41: Notranje statične količine v vodoravnem nosilcu konzole	60
Pr. 42: Osne sile v diagonalni konzole	60
Pr. 43: Kompaktnost prerezov spodnjega pasu	61
Pr. 44: Kompaktnost prerezov zgornjega pasu	61
Pr. 45: Kontrola kompaktnosti previsnega dela pločevine vertikal	62
Pr. 46: Kontrola kompaktnosti kotnikov vertikal	62
Pr. 47: Kompaktnost prerezov diagonal	62
Pr. 48: Merodajne osne sile v spodnjem pasu glavnega paličnega nosilca	63
Pr. 49: Merodajne osne sile v zgornjem pasu glavnega paličnega nosilca	63
Pr. 50: Merodajne osne sile v vertikalah glavnega paličnega nosilca	64
Pr. 51: Merodajne osne sile v diagonalah glavnega paličnega nosilca	64
Pr. 52: Geometrijske lastnosti elementov spodnjega pasu za kontrolo nosilnosti in stabilnosti	66
Pr. 53: Kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov spodnjega pasu	67
Pr. 54: Geometrijske lastnosti elementov zgornjega pasu za kontrolo nosilnosti in stabilnosti	68
Pr. 55: Kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov zgornjega pasu	69
Pr. 56: Geometrijske karakteristike diagonal za kontrolo nosilnosti in stabilnosti	70
Pr. 57: Kontrola nosilnosti in stabilnosti diagonal	71
Pr. 58: Geometrijske lastnosti vertikal nosilnosti in stabilnosti	73
Pr. 59: Kontrola nosilnosti in stabilnosti vertikal pri čistem uklonu	74
Pr. 60: Kontrola nosilnosti vertikal pri interakciji osne sile in enoosnega upogiba	75
Pr. 61: Določitev elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve	77
Pr. 62: Kontrola stabilnosti proti bočni zvrnitvi	77
Pr. 63: Kontrola interakcije	77
Pr. 64: Kompaktnost vzdolžnikov in prečnika vozišča ter zgornjega pasu paličnega prečnika	77
Pr. 65: Kompaktnost vertikal prečnika, vertikal, diagonal in spodnjega pasu paličnega prečnika ter diagonal vetrne vezi	78

Pr. 66: Merodajne notranje statične količine v srednjem vzdolžniku vozišča	78
Pr. 67: Merodajne notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku vozišča	78
Pr. 68: Merodajne notranje statične količine v robnem vzdolžniku vozišča	78
Pr. 69: Merodajne notranje statične količine v prečniku vozišča	79
Pr. 70: Merodajne notranje statične količine v vertikalih prečnika.....	79
Pr. 71: Merodajne osne sile v elementih paličnega prečnika, z izjemo spodnjega pasu	79
Pr. 72: Merodajne osne sile v spodnjem pasu paličnega prečnika	79
Pr. 73: Merodajne osne sile v diagonalah vetrne vezi	79
Pr. 74: Geometrijske lastnosti vzdolžnikov in prečnika vozišča	81
Pr. 75: Kontrola kompaktnosti stojine.....	81
Pr. 76: Kontrola pogoja za upoštevanje vpliva prečnih sil.....	81
Pr. 77: Kontrola nosilnosti elementov pri enoosnem upogibu	82
Pr. 78: Kontrola nosilnosti elementov pri enoosnem upogibu in upoštevanju vpliva prečnih sil	82
Pr. 79: Določitev L_{eff} , 1.del	84
Pr. 80: Določitev L_{eff} , 2.del	84
Pr. 81: Kontrola vnosa koncentrirane sile na mestu podpore (prečnika).....	84
Pr. 82: Določitev elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve	84
Pr. 83: Kontrola stabilnosti proti bočni zvrnitvi	84
Pr. 84: Geometrijske lastnosti elementov paličnega prečnika in vertikal prečnika vozišča za kontrolo nosilnosti in stabilnosti.....	85
Pr. 85: Kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov paličnega prečnika in vertikal prečnika vozišča	85
Pr. 86: Geometrijske karakteristike diagonal vetrne vezi za kontrolo nosilnosti in stabilnosti	86
Pr. 87: Kontrola nosilnosti in stabilnosti diagonal vetrne vezi	87
Pr. 88: Merodajne notranje statične količine v robnem vzdolžniku hodnika	90
Pr. 89: Merodajne notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku hodnika	90
Pr. 90: Merodajne notranje statične količine v vodoravnem nosilcu konzole hodnika	90
Pr. 91: Merodajne osne sile v diagonalni konzole hodnika	90
Pr. 92: Geometrijske lastnosti robnega in vmesnega vzdolžnika hodnika.....	90
Pr. 93: Kontrola pogoja za upoštevanje vpliva prečnih sil.....	91
Pr. 94: Kontrola nosilnosti elementov pri enoosnem upogibu	91
Pr. 95: Določitev elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve	92
Pr. 96: Kontrola stabilnosti proti bočni zvrnitvi	92
Pr. 97: Obremenitev v obravnavanem spoju in površina delov prereza	94
Pr. 98: Kontrola nosilnosti posamezne vezne pločevine.....	94
Pr. 99: Strižna nosilnost zakovic	95

Pr. 100: Lastnosti spoja potrebne za izračun nosilnosti na bočni pritisk	96
Pr. 101: Kontrola nosilnosti na bočni pritisk.....	96
Pr. 102: Izračun projektne obremenitve na eno zakovico	101
Pr. 103: Kontrola strižne nosilnosti ene zakovice	101
Pr. 104: Izračun projektne obremenitve na eno zakovico	102
Pr. 105: Kontrola strižne nosilnosti ene zakovice	102
Pr. 106: Izračun projektne obremenitve na eno zakovico	104
Pr. 107: Kontrola strižne nosilnosti ene zakovice	104
Pr. 108: Kontrola utrujanja detajla spoja na glavnem paličnem nosilcu	109
Pr. 109: Kontrola utrujanja detajla spoja vzdolžne vezi prečnikov vozišča.....	109
Pr. 110: Vertikalne reakcije v ležiščih zaradi različnih vplivov.....	110
Pr. 111: Merodajna obremenitev v pomičnem in nepomičnem ležišču	111
Pr. 112: Kontrola nosilnosti ležišča	111
Pr. 113: Kontrola strižne nosilnosti zoba v ležišču.....	111
Pr. 114: Pomik ležišča zaradi delovanja prometne obtežbe	112
Pr. 115: Pomik zgornjega pasu konstrukcije na mestu krajnih opornikov zaradi prometne obtežbe.....	113
Pr. 116: Pomik zgornjega pasu konstrukcije na mestu pomičnega členka zaradi prometne obtežbe.....	113
Pr. 117: Pomik zgornjega pasu konstrukcije na mestu nepomičnega členka zaradi prometne obtežbe.....	114
Pr. 118: Izkoriščenost elementov oz. delov nosilne konstrukcije	119

KAZALO SLIK

Sl. 1: Pogled na most v času pred veliko obnovo leta 1957, ko je bilo vozišče še med glavnima vzdolžnima nosilcema.....	1
Sl. 2: Pogled na most.....	1
Sl. 3: Zamakanje na mestu dilatacije.....	3
Sl. 4: Vzdolžni prerez mostu	4
Sl. 5: Prečni prerez mostu (za podrobnejšo sliko glej 0).....	4
Sl. 6: Prečni prerezi spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca (1. del)	5
Sl. 7: Prečni prerezi spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca (2. del)	6
Sl. 8: Prečni prerezi zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca	7
Sl. 9: Prečni prerezi vertikal glavnega paličnega nosilca	8
Sl. 10: Prečni prerezi diagonal glavnega paličnega nosilca (1. del).....	9
Sl. 11: Prečni prerezi diagonal glavnega paličnega nosilca (2. del).....	10
Sl. 12: Prečni prerezi elementov sekundarne konstrukcije z izjemo paličnega prečnika	11
Sl. 13: Prečni prerezi elementov paličnega prečnika	12
Sl. 14: Prečni prerezi elementov hodnika	13
Sl. 15: Vmesni opornik.....	14
Sl. 16: Pomembne letnice v življenjski dobi mostu	14
Sl. 17: Razmerja $T_{max,p}/T_{max}$ in $T_{min,p}/T_{min}$ (vir: SIST EN 1991-1-5).....	19
Sl. 18: Smeri za vplive vetra po SIST EN 1991-1-4.....	25
Sl. 19: Faktor izpostavljenosti skladno s SIST EN 1991-1-4.....	26
Sl. 20: Koeficient sile za mostove $c_{f,x,0} = c_{f,x}$ skladno s SIST EN 1991-1-4	27
Sl. 21: Shematični prikaz referenčne površine praznega mostu	27
Sl. 22: Shematični prikaz referenčne površine mostu s prometom	28
Sl. 23: Povezava med najvišjo/najnižjo temperaturo v senci ter najvišjo/najnižjo enakomerno temperaturno komponento mostu	30
Sl. 25: Statična zasnova glavnega paličnega nosilca	32
Sl. 26: Robna (levo) in vmesna (desno) podpora	32
Sl. 27: Pomični členek na črnuški strani	33
Sl. 28: Model glavnega paličnega nosilca v programu Scia Engineer.....	34
Sl. 29: Računski model spodnjega prereza mostu (model je simetričen).....	35
Sl. 30: Računski model vzdolžnika vozišča	35
Sl. 31: Računski model prečnika vozišča	35
Sl. 32: Računski model vertikale prečnika.....	36
Sl. 33: Računski model paličnega prečnika	36
Sl. 34: Računski model konzole hodnika.....	36

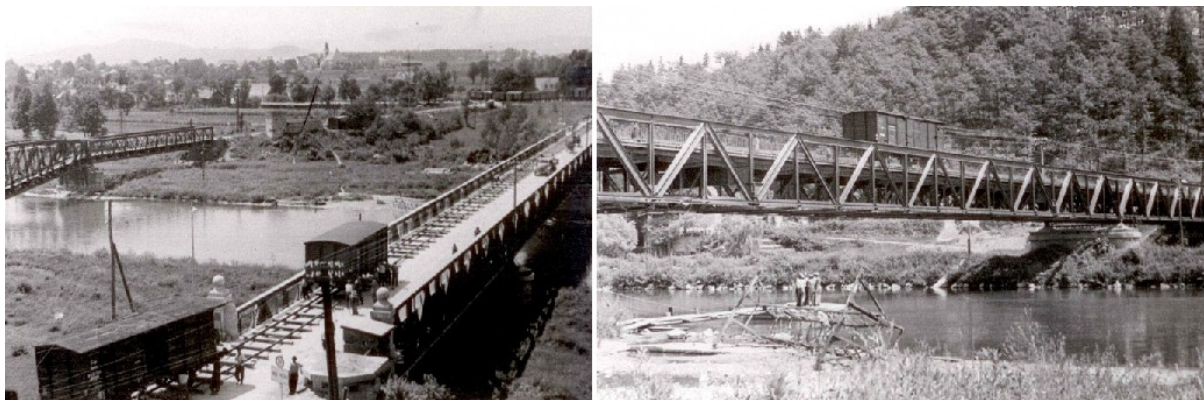
Sl. 37: Lastna in stalna obtežba glavnega paličnega nosilca	37
Sl. 38: Računski model za izračun najbolj neugodne lege vozniških pasov	37
Sl. 39: Vplivnica za reakcijo v levi podpori.....	37
Sl. 40: Postavitev prometne obtežbe prečno na most	38
Sl. 41: Najbolj neugodna postavitev prometne obtežbe	38
Sl. 42: Postavitev prometne obtežbe na glavni palični nosilec.....	39
Sl. 43: Vodoravne sile zaviranja in pospeševanja.....	40
Sl. 44: Vertikalni vpliv vetrne obtežbe (konstanten po celotni dolžini mostu in deluje v obeh smereh)	40
Sl. 45: Vodoravna vetrna obtežba mostu (deluje v obeh smereh)	42
Sl. 46: Postavitev stalne in lastne obtežbe na vzdolžnike.....	42
Sl. 47: Postavitev stalne in lastne obtežbe na prečnik vozišča	42
Sl. 48: Postavitev stalne in lastne obtežbe na palični prečnik.....	43
Sl. 49: Določanje obtežbe, ki "pade" na vplivno območje enega vzdolžnika	43
Sl. 50: Različna postavitve linijske prometne obtežbe	44
Sl. 51: Različna postavitve točkovne prometne obtežbe.....	44
Sl. 52: Postavitev stalne in lastne obtežbe na konzolo hodnika.....	45
Sl. 53: Diagram momentov zaradi vpliva prometa gr1a	55
Sl. 54: Shematski prikaz izbočnih sil, ki jih prevzame vzdolžna vez med prečkami.....	58
Sl. 55: Obremenitev na robni vzdolžnik	59
Sl. 56: Priključek pasnice; preklopni spoj z dodatno lamelo na pasnici (n = 1)	93
Sl. 57: Priključek kotnikov; preklopni spoj s kotnikoma (n = 2).....	93
Sl. 58: Priključek stojine; preklopni spoj z obojestransko vezno ploščevino (n = 2)	93
Sl. 59: Spoj v zgornjem pasu paličnega prečnika	96
Sl. 60: Spoj v spodnjem pasu paličnega prečnika	97
Sl. 61: Priključek prečne povezave na vertikalo glavnega paličnega nosilca	98
Sl. 62: Priključek vzdolžne vezi na zgornjo pasnico zgornjega pasu paličnega prečnika	99
Sl. 63: Spoj zavorne vezi.....	100
Sl. 64: Priključek prečnika vozišča na vertikalo glavnega paličnega nosilca	102
Sl. 65: Spoj med prečnikom in vzdolžnikom	103
Sl. 66: Spoj med dvema vzdolžnikoma.....	104
Sl. 67: Obtežni model za utrujanje 3	106
Sl. 68: Postavitev prometne obtežbe na glavni palični nosilec pri utrujanju	106
Sl. 69: Graf za določitev λ_{max}	108
Sl. 70: Graf za določitev λ_1	108
Sl. 71: Robna pomična podpora na krajnih opornikih (os 1' in 1).....	110
Sl. 72: Nepomična podpora na vmesnih opornikih (os 13' in 13).....	110

Sl. 73: Stari in novi prerez na mestu S(21) spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca....	116
Sl. 74: Stari in novi prerez na mestu S(7-8) spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca ..	117
Sl. 75: Stari in novi prerez spodnjega pasu paličnega prečnika.....	117

Ta stran je namenoma prazna.

1 UVOD

Cestni most čez Savo v Črnučah je bil zgrajen leta 1906 in je skupaj z železniškim predstavljal glavni vhod v mesto Ljubljana s severne strani. To nalogo je sedaj nadomestila obvoznica, a je kljub temu ostal pomembna lokalna povezava na tem delu mesta. Zaradi dnevnih migrantov je prometno še vedno zelo obremenjen, zato je ključnega pomena, da ostane v uporabnem stanju.



Sl. 1: Pogled na most v času pred veliko obnovo leta 1957, ko je bilo vozišče še med glavnima vzdolžnima nosilcema

Od zadnje obnove, v zadnjih slabih dvajsetih letih je zaradi nerednega vzdrževanja mostu prišlo do hujših poškodb na jekleni nosilni konstrukciji, AB voziščni plošči in plošči hodnikov. Prav tako so sanacije potrebni oporniki. Največji problem je predstavljalo zamakanje dilatacij in dotrajanost odvodnjavanja, kar je povzročilo korodiranje vseh jeklenih elementov konstrukcije.



a.) Pogled na jekleno nosilno konstrukcijo mostu

b.) Pogled na voziščno površino

Sl. 2: Pogled na most

Za jekleno nosilno konstrukcijo je predvidena celovita sanacija protikorozijske zaščite (kar za nekatera mesta pomeni tudi ročno odstranjevanje korodiranega materiala s kladivi in lopaticami) in zamenjava elementov, ki so korozijsko tako močno poškodovani, da imajo že oslabiljene nosilne prečne prereze. AB ploščam je potrebno na poškodovanih mestih (obvezno na mestih dilatacijskih reg in mostnih izlivnikov) odstraniti kontaminiran beton, očistiti in zaščititi armaturo ter zagotoviti primeren zaščitni sloj betona. Sanacija opornikov

obsega površinsko odstranitev kontaminiranega betona, reprofilacijo površin s primernim vodoodbojnim in zmrzlinško odpornim materialom ter obdelava zgornje površine temeljne pete, da se z naklonom zagotovi odtekanje vode. Predvidena je tudi zamenjava opreme objekta, kot so dilatacije AB plošč, mostni izlivniki, jeklena ograja za pešce, drogovi, svetilke javne razsvetljave in servisni voziček.

V diplomski nalogi bo prikazan izračun statične nosilnosti mostu, ki zaradi svoje starosti in velikega števila obnov predstavlja zahtevno nalogo ter hkrati zaradi bližajoče se sanacije aktualno temo. Izračun bo izvršen v skladu z Evrokodi na idealiziranem modelu trenutne konstrukcije, torej brez upoštevanja poškodb nosilnih elementov in s pomočjo računalniškega programa Scia Engineer. V kolikor se bo izkazalo, da jeklena konstrukcija ni statično ustrezna za prevzem obremenitev po SIST EN 1991-2, bodo predlagane ojačitve. Prav tako bodo preverjeni najbolj obremenjeni spoji in dva detajla na utrujanje.

V Sloveniji se prometno obtežbo za vse ceste obravnava enako, medtem ko v nekaterih evropskih državah že poznajo razdelitev glede na kategorijo ceste. Standard namreč dovoljuje, da obtežbo najbolj obremenjenega prometnega pasu zmanjšamo do 20 % skladno s kategorijo ceste. Pri izbiranju med obnovo ali zamenjavo dela ali celotnega cestnega odseka, bi imelo to zmanjšanje velik pomen, zato bi bilo smiselno uvesti podobno ureditev tudi v našem nacionalnem dodatku.

2 TEHNIČNI OPIS KONSTRUKCIJE

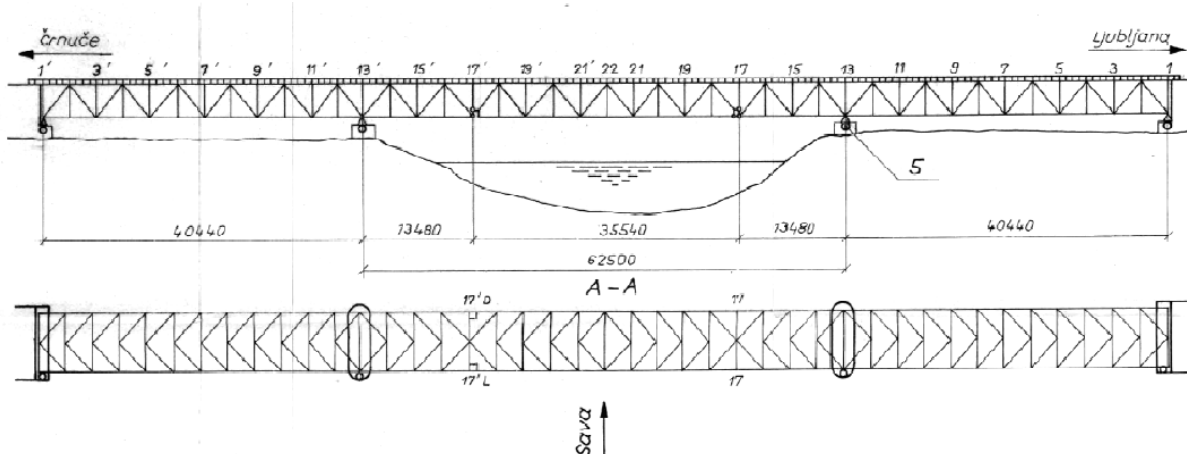
2.1 Opis lokacije in zasnova konstrukcije

Most se nahaja v Ljubljani na nadmorski višini 290 m. Premošča reko Savo in povezuje Črnuče z ostalim delom Ljubljane. Čezenj poteka Dunajska cesta, ki je ena izmed najdaljših in, kljub obvoznici, najbolj obremenjenih cest v mestu. Ker je to glavna mestna cesta, je po obnovi leta 1994 prešla iz upravljanja Direkcije Republike Slovenije za ceste pod upravljanje Mestne občine Ljubljana. Zaradi vremenskih razmer je v zimskih mesecih cestišče redno posoljeno, kar pomeni, da se slana voda preliva po konstrukciji (zaradi slabih dilatacij in mostnih izlivnikov) in povzroča korodiranje jeklenih elementov. Redno pluženje in naleti plugov lahko povzročijo poškodbe dilatacije (pride do iztrga sidrnih vijakov dilatacij, zaradi česar ni več zagotovljena vodotesnost stika vozišče-dilatacija). Konstrukcija leži na vodnem in priobalnem zemljišču, zato so gradnja in posegi mogoči le ob upoštevanju projektnih pogojev oz. pogojev za drug poseg v prostor, ki lahko vpliva na vodni režim ali stanje voda. Problemov glede poplavljanja ni, saj je potrebno za upoštevanje zgoraj omenjenih pogojev zagotoviti prevodnost merodajnih stoletnih visokih voda z zagotovitvijo 0,5 m varnostne višine nad njihovo gladino. Problem predstavlja erodiranje reke Save, kar povzroča posedanje vmesnega desnoobrežnega opornika (posledično so vgrajeni reperji za opazovanje premikanja mostu).



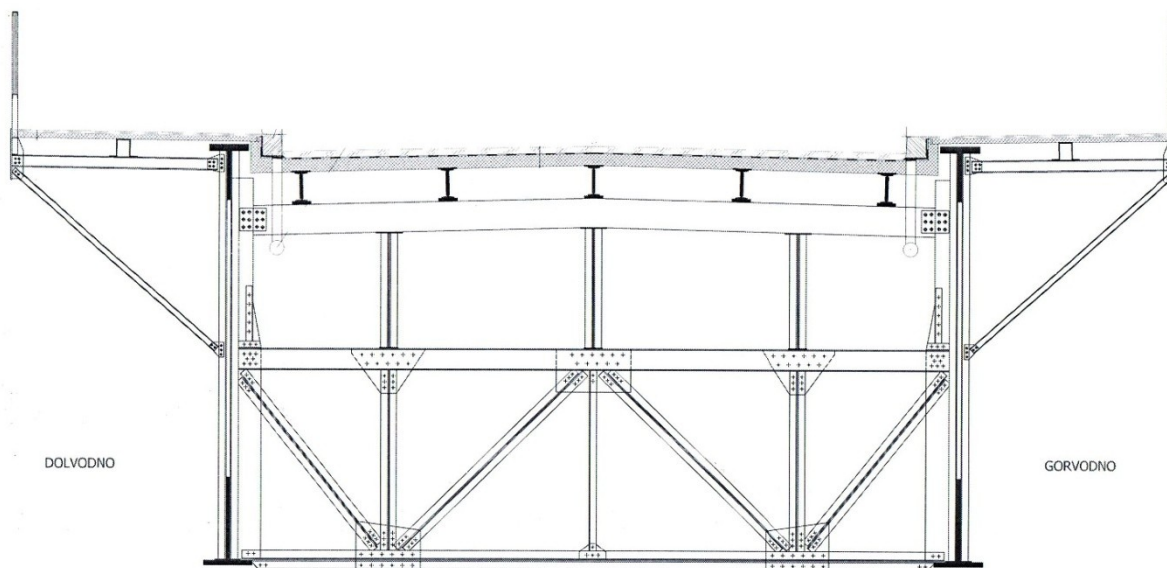
Sl. 3: Zamakanje na mestu dilatacije

Cestni most čez Savo v Črnučah je sestavljen iz dveh Gerberjevih paličnih nosilcev, ki se raztezata čez tri razpetine dolžine 40,44 m (prva in zadnja) in 62,50 m (vmesna razpetina). Skupna dolžina mostu znaša torej 143,38 m. Na vmesnih opornikih so ležišča nepomična, na krajnih opornik pa pomična. Srednja razpetina je razdeljena na dva konzolna dela dolžine 13,48 m in vmesni prostoležeči nosilec dolžine 35,54 m, ki ima nepomično ležišče na ljubljanski, pomično pa na črnuški strani.



Sl. 4: Vzdolžni prerez mostu

Višina glavnih paličnih nosilcev znaša 4,14 m, medsebojni razmik pa 7,50 m. Prečni nosilci so podprti s tremi vertikalami na stari palični prečnik in povezujejo oba glavna nosilca v okvirni sistem, ki omogoča prenos horizontalnih sil na spodnjo vetrno vez. Izbočne sile zgornjega pasu starih prečnikov prevzema natezna vez, ki je nameščena na sredini starih prečnikov in je na obeh koncih mostu ter na mestu členkov diagonalno priključena na glavne nosilce. Vzdolžniki so kontinuirni nosilci. Hodniki za pešce in kolesarje so položeni na konzole na zunanji strani jeklene konstrukcije, ki so v razmiku 3,37 m in 3,55 m.



Sl. 5: Prečni prerez mostu (za podrobnejšo sliko glej PRILOGA A)


Glavni palični nosilec je sestavljen iz kotnikov in pločevin, ki so med seboj pritrjene z zakovicami. Prezezi so v večini oblike H ali T. Neto prezeze smo določili s pomočjo starih načrtov in terenskega pregleda konstrukcije. Zakovice so smiselno razporejene, tako da so prezezi čim manj oslabljeni.


- **Spodnji pas** je obrnjen T profil, sestavljen iz dveh kotnikov in stojine. Ojačen je lahko z dodatnimi lamelami v pasnici ali pločevinami v stojini.

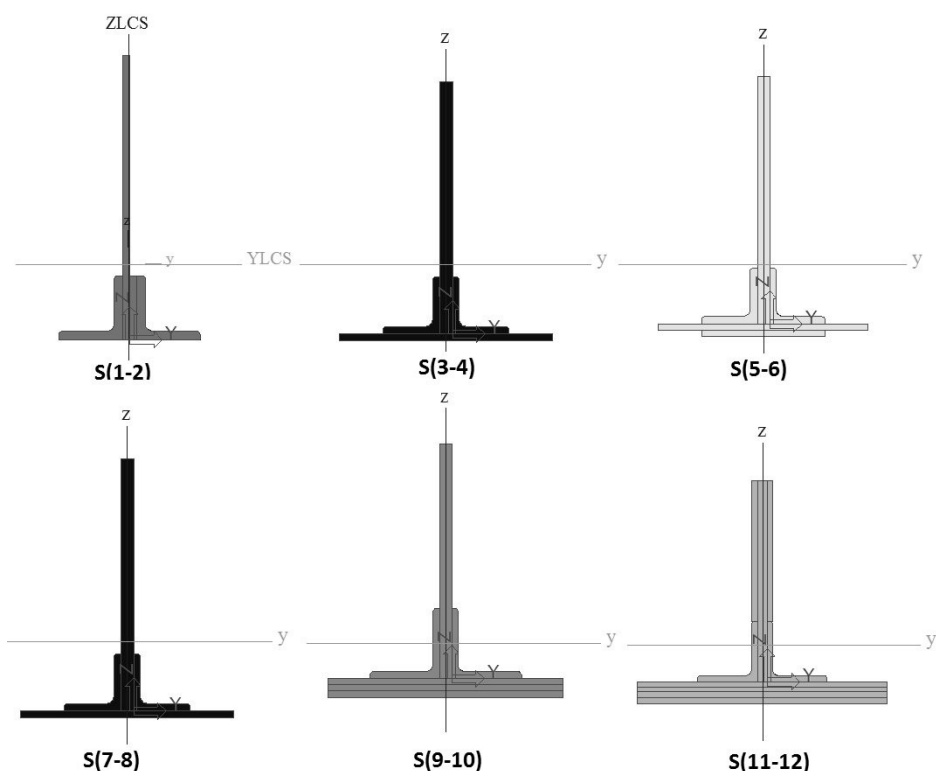
Pr. 1: Geometrijske lastnosti prereзов spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI – ZGORNJI PAS							
Prerez	Profil	A_{bruto} [cm ²]	Zakovice	ΔA [cm ²]	A_{neto} [cm ²]	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]
S(1-2)	T	89,65	4x Φ 22	16,28	73,37	12126,0	851,8
S(3-4)	T	154,65	6x Φ 22	27,28	127,37	24769,0	4144,3
S(5-6)	T	174,65	2x Φ 20 + 4x Φ 24	32,96	141,69	27509,0	4810,9
S(7-8)	T	154,65	3x Φ 22 + 3x Φ 24	28,48	126,17	24769,0	4144,3
S(9-10)	T	263,09	6x Φ 22	39,04	224,05	34958,0	18893,0
S(11-12)	T	422,29				73242,0	47840,0
S(13-14)	T	393,49				69483,0	37097,0
S(15-16)	T	160,65				25525,0	6202,3
S(17-18)	T	89,65	4x Φ 22	16,28	73,37		
S(19-20)	T	188,65	6x Φ 22	31,68	156,97		
S(21)	T	222,65	6x Φ 20	32,8	189,85		

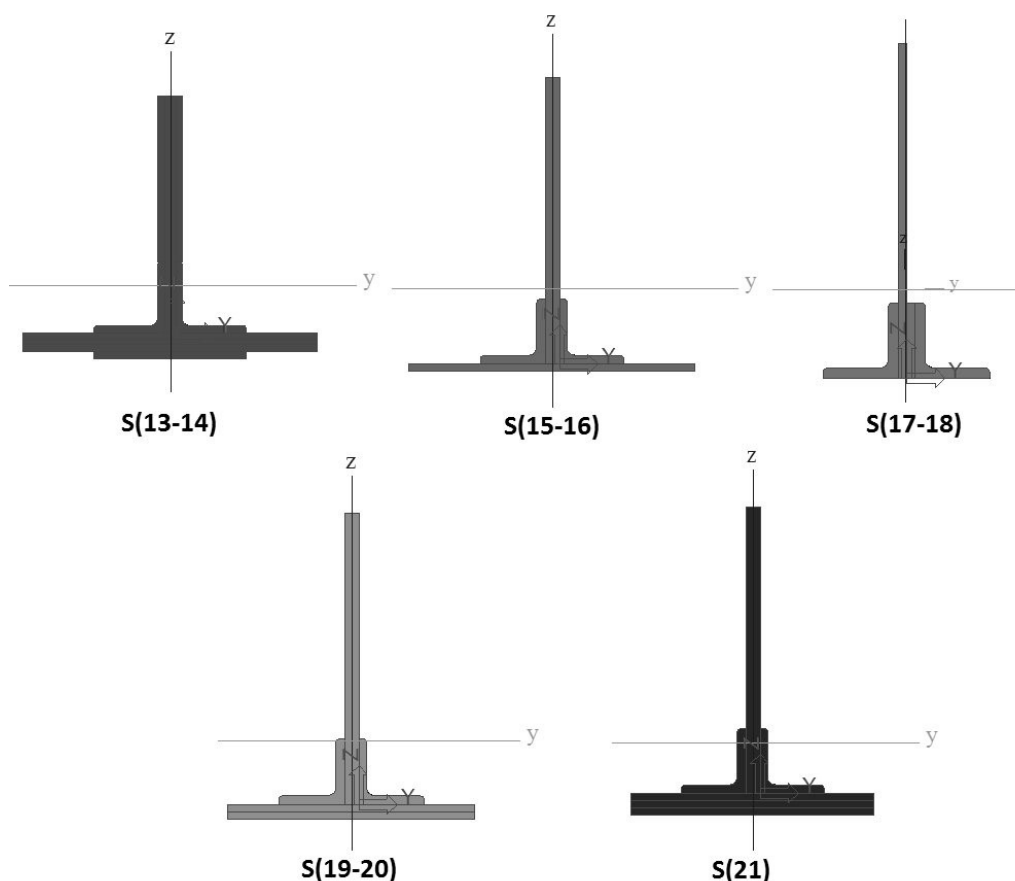
Legenda:

 Element samo v tlaku

 Element samo v nategu



Sl. 6: Prečni prerezi spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca (1. del)

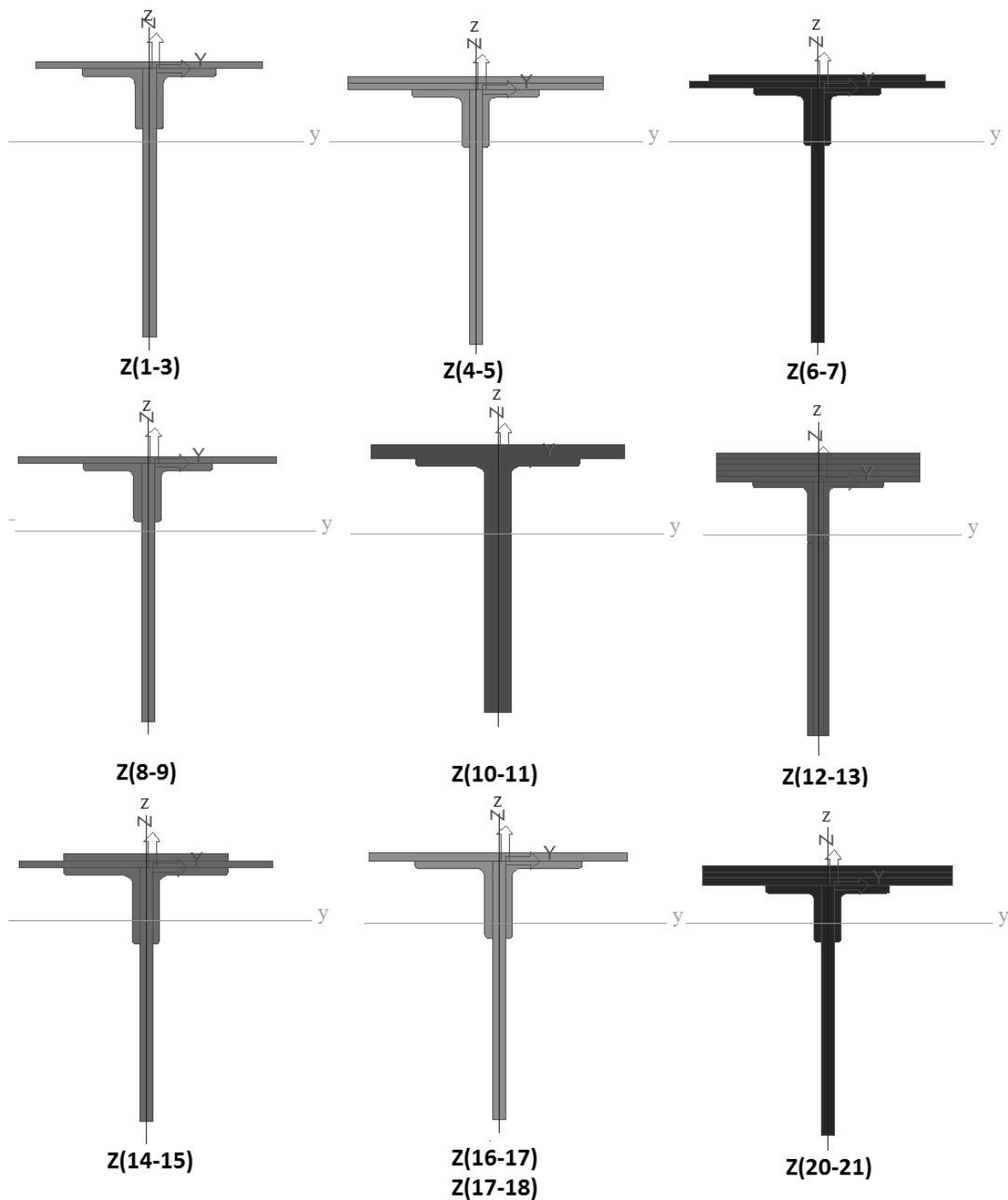


Sl. 7: Prečni prerezi spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca (2. del)

- **Zgornji pas** je T profil, sestavljen iz dveh kotnikov in stojine. Ojačen je lahko z dodatnimi lamelami v pasnici ali pločevinami v stojini.

Pr. 2: Geometrijske lastnosti prerezov zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI – ZGORNJI PAS							
Prerez	Profil	A_{bruto} [cm ²]	Zakovice	ΔA [cm ²]	A_{neto} [cm ²]	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]
Z(1-3)	T	154,65	6xΦ22	27,28	127,37	24769,0	4144,3
Z(4-5)	T	200,65	6xΦ22	31,68	168,97	30146,0	11536,0
Z(6-7)	T	194,65	6xΦ22	31,68	162,97	29574,0	9477,6
Z(8-9)	T	160,65	2xΦ22+4xΦ24	29,36	131,29	25525,0	6202,3
Z(10-11)	T	290,29	5xΦ24	42,24	248,05	53292,0	13740,0
Z(12-13)	T	470,29	2xΦ22+Φ24+3xΦ26	69,52	400,77		
Z(14-15)	T	206,29	3xΦ24+2xΦ22	35,68	170,61		
Z(16-17)	T	183,09					
Z(18-19)	T	183,09				27175,0	8226,3
Z(20-21)	T	262,72				34599,0	18847,8
Legenda:							
		Element samo v tlaku					
		Element samo v nategu					

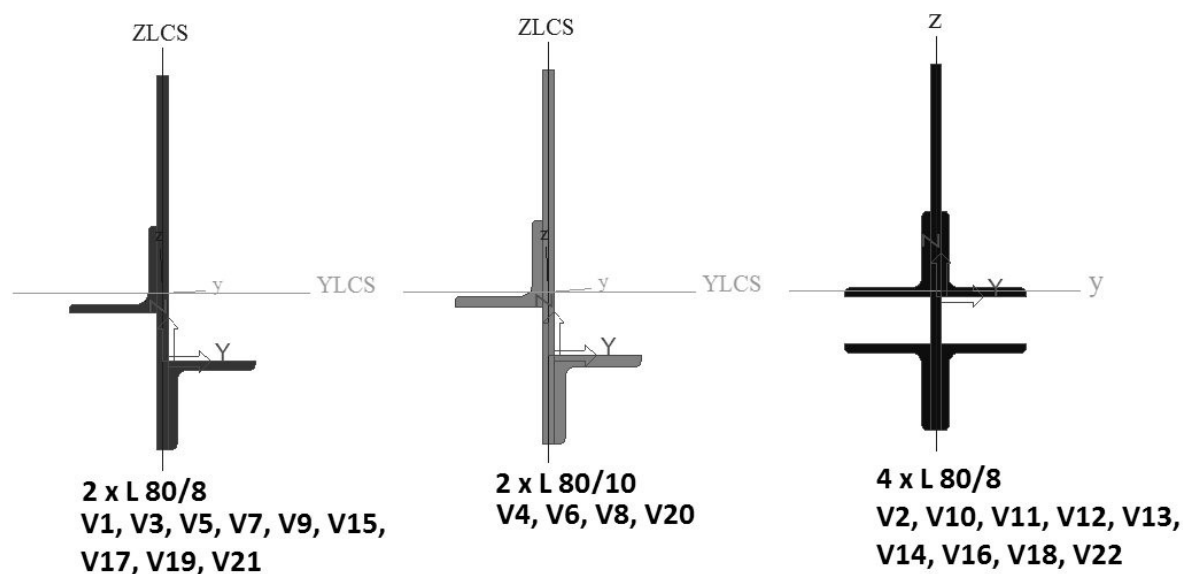


Sl. 8: Prečni prerezi zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca

- **Vertikale** so sestavljene iz dveh kotnikov in stojine.

Pr. 3: Geometrijske lastnosti prerezov vertikal glavnega paličnega nosilca

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI - VERTIKALE					
Prerez	A [cm ²]	I _ξ [cm ⁴]	I _η [cm ⁴]	W _{ξ,el} [cm ³]	W _{η,el} [cm ³]
2 x L 80/80/8	58,50	4576,7	322,4	230,0	39,2
2 x L 80/80/10	64,20	4830,3	402,2	238,2	49,5
4 x L 80/80/8	83,08	5466,7	664,0	260,1	78,1

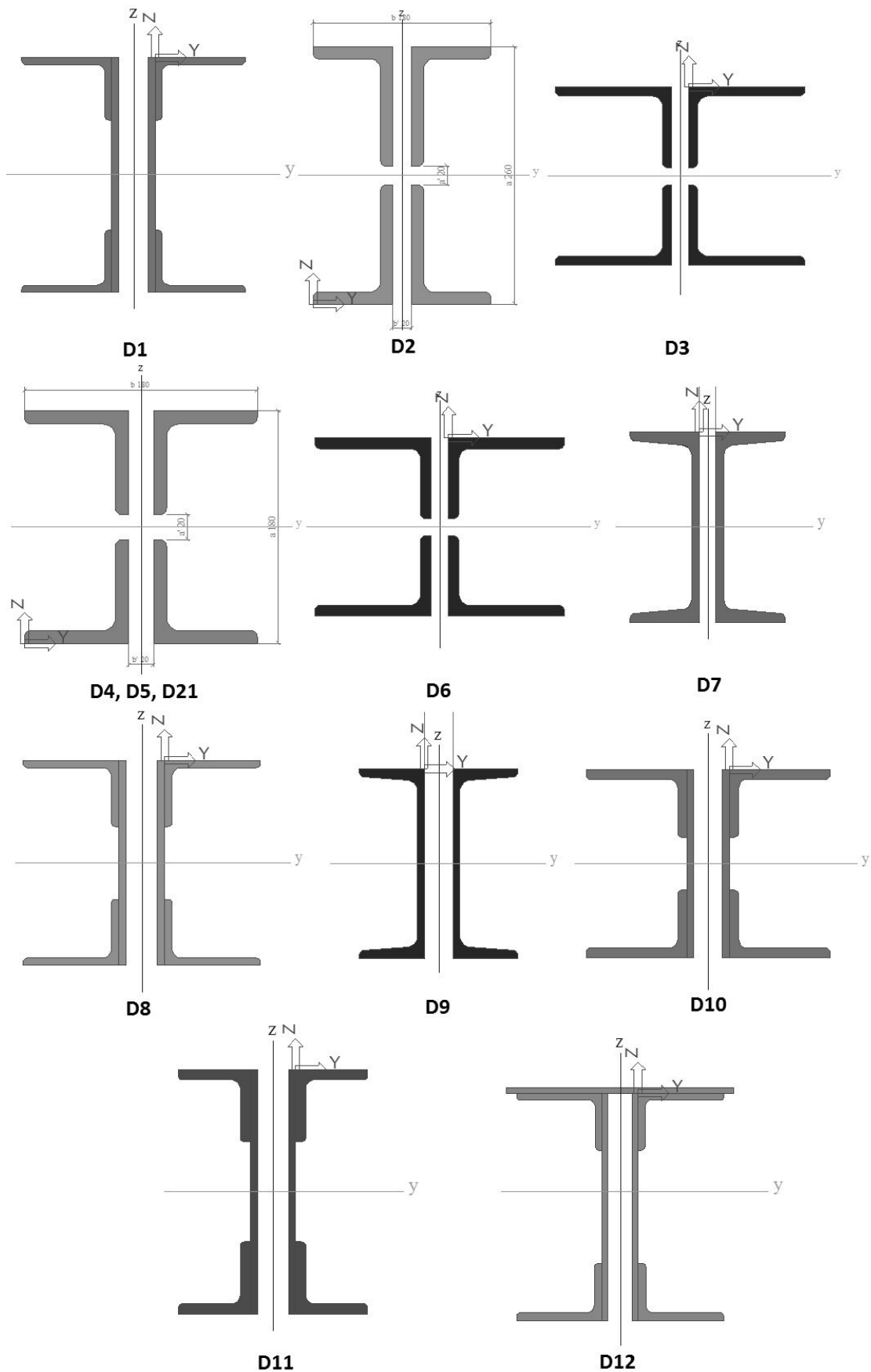


Sl. 9: Prečni prerezi vertikal glavnega paličnega nosilca

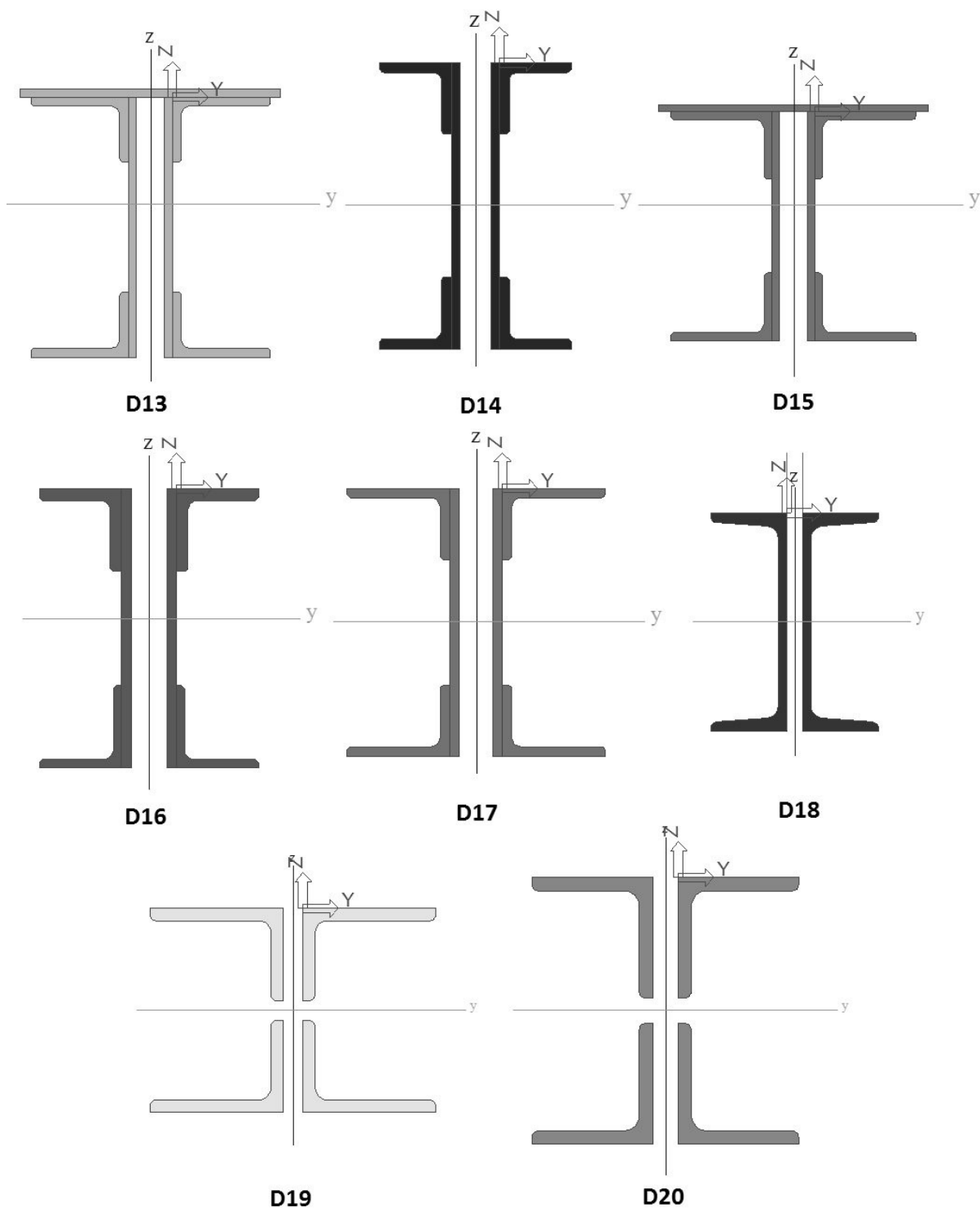
- **Diagonale** so sestavljene iz štirih kotnikov ali dveh C profilov, ki pa so lahko ojačeni še s pločevinami v stojini ali pasnici.

Pr. 4: Geometrijske lastnosti prerezov diagonal glavnega paličnega nosilca

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI - DIAGONALE							
Prerez	Profil	A_{bruto} [cm ²]	Zakovice	ΔA [cm ²]	A_{neto} [cm ²]	I_y [cm ⁴]	I_z [cm ⁴]
D1	H	152,6	2xΦ22	17,6	135	25694,0	6501,8
D2	H	97,24	2xΦ24	29,9	67,34	8637,7	1287,1
D3	H	84,6	2xΦ26	10,4	74,2	5736,0	3674,0
D4	H	65,56	2xΦ22	24,86	40,7	3034,2	1123,7
D5	H	65,56	2xΦ22	24,86	40,7	3034,2	1123,7
D6	H	91,96	2xΦ24	10,56	81,4	6674,8	4115,8
D7	H	81,28	2xΦ20	7,6	73,68	5478,7	1165,3
D8	H	140,6				16041,0	6413,3
D9	H	117,04	3xΦ22	14,52	102,52		
D10	H	188,86				22300,0	12247,0
D11	H	172,29	1xΦ26+2xΦ24	28,8	143,49		
D12	H	243,9				64768,0	16894,0
D13	H	276,86				71411,0	19438,0
D14	H	200,79	2xΦ24+Φ22	30,24	170,55		
D15	H	222,94				41979,0	15943,0
D16	H	172,31	2xΦ24+Φ22	28,32	143,99		
D17	H	182,04				30341,0	8183,8
D18	H	103,9	3xΦ22	13,86	90,04		
D19	H	107,64				6674,8	4875,3
D20	H	73,36	2xΦ26	28,82	44,54	4286,8	1391,6
D21	H	65,56	2xΦ22	24,86	40,7	3034,2	1123,7
Legenda:							
	Element samo v tlaku						
	Element samo v nategu						



Sl. 10: Prečni prerezi diagonal glavnega paličnega nosilca (1. del)



Sl. 11: Prečni prerezi diagonal glavnega paličnega nosilca (2. del)

Sekundarna nosilna konstrukcija je sestavljena iz naslednjih elementov:

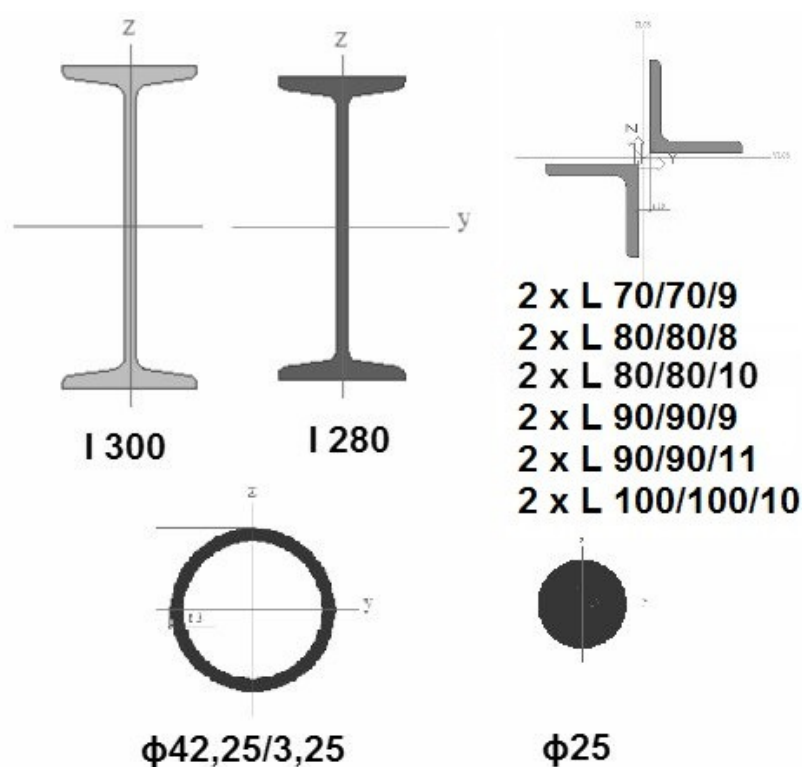
- **Vzdolžniki vozišča** so vroče valjani profili INP 30 na sredini in INP 28 na krajnih mestih. Na prečnik so pritrjeni s štirimi zakovicami.
- **Prečnik vozišča** je vroče valjani profil INP 30. Podprt je s tremi vertikalami nad vozišči starega prečnika. Na obeh koncih pa je pritrjen na vertikalo glavnega nosilca.

- **Vertikale prečnika** so izvedene iz dveh vroče valjanih kotnikov L 80 x 10. Pritrjene so preko veznih pločevin na pasnice prečnika.
- **Vetrna vez** je sestavljena iz dveh vroče valjanih kotnikov L 80 x 10. Pritrjena je na spodnji pas paličnega prečnika in glavnega nosilca.
- **Vzdolžna vez** je cev z zunanjim premerom 42,25 mm in debelino 3,25 mm. Pritrjena je z dvema zakovicama na zgornji pas paličnega prečnika.
- **Prečna povezava** je palica $\phi 25$, ki je s tremi zakovicami pritrjena na vertikalo glavnega paličnega nosilca.

Pr. 5: Geometrijske lastnosti elementov sekundarne nosilne konstrukcije z izjemo paličnega prečnika

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI - SEKUNDARNI NOSILNI ELEMENTI						
Prerez	Profil	A [cm ²]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	W _{el,y} [cm ³]	W _{el,z} [cm ³]
Vzdolžnik vozišča	I 300	69,0	9800,0	541,0	653,0	72,2
Vzdolžnik vozišča	I 280	61,0	7590,0	364,0	542,0	61,2
Prečnik vozišča	I 300	69,0	9800,0	541,0	653,0	72,2
Vertikale prečnika	2 x L 80/80/10	30,2	277,2	558,7	49,2	83,2
Vetrna vez	2 x L 70/70/9	23,8	166,1	353,1	34,6	59,1
	2 x L 80/80/8	24,5	229,1	432,1	38,9	65,7
	2 x L 80/80/10	30,2	277,2	558,7	49,2	83,2
	2 x L 90/90/9	31,0	367,4	668,8	54,5	91,4
	2 x L 90/90/11	40,6	476,5	947,0	74,9	119,6
	2 x L 100/100/10	38,3	560,5	991,5	73,9	123,0
Vzdolžna vez	$\phi 42,25/3,25$	4,0	7,6	7,6	3,6	3,6
Prečna povezava	$\phi 25$	4,9	1,9	1,9	1,5	1,5

Opomba: Pri kotnikih je y glavna smer ξ in z glavna smer η

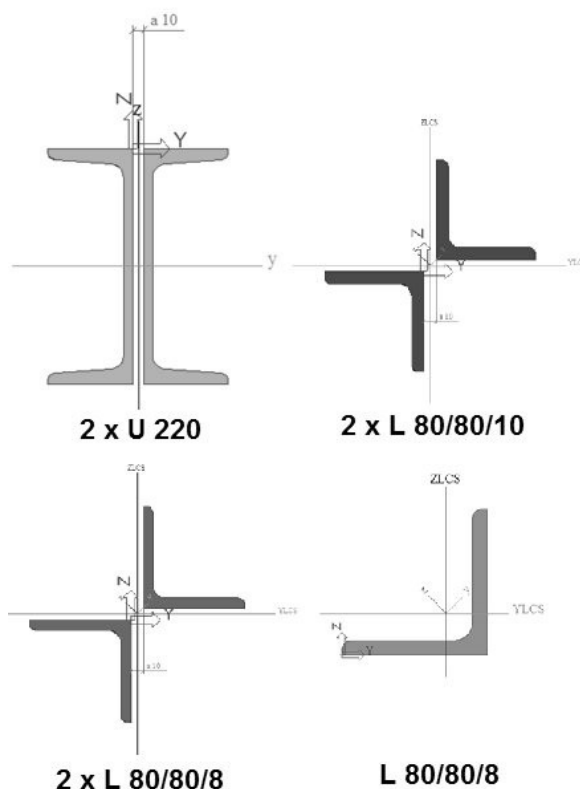


Sl. 12: Prečni prerezi elementov sekundarne konstrukcije z izjemo paličnega prečnika

- **Palični prečnik** je sestavljen iz para vroče valjanih U 220 za zgornji pas, L 80 x 10 za spodnji pas ter zunanji diagonalni, L 80 x 8 za notranji diagonalni ter vse vertikale z izjemo srednje, ki je izvedena iz enega L 80 x 8.

Pr. 6: Geometrijske lastnosti elementov paličnega prečnika

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI - PALIČNI PREČNIK						
Prerez	Profil	A [cm ²]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	W _{el,y} [cm ³]	W _{el,z} [cm ³]
Zgornji pas	2 x U 220	75,9	5478,7	943,4	498,1	111,0
Spodnji pas	2 x L 80/80/10	30,2	277,2	558,7	49,2	83,2
Vmesni vertikali	2 x L 80/80/8	24,5	229,1	432,1	38,9	65,7
Notranja vertikala	L 80/80/8	12,3	29,9	114,6	9,4	20,3
Zunanji diagonalni	2 x L 80/80/10	30,2	229,1	432,1	49,2	83,2
Notranji diagonalni	2 x L 80/80/8	24,5	330,6	330,6	38,9	65,7
Opomba: Pri kotnikih je y glavna smer ξ in z glavna smer η						



Sl. 13: Prečni prerezi elementov paličnega prečnika

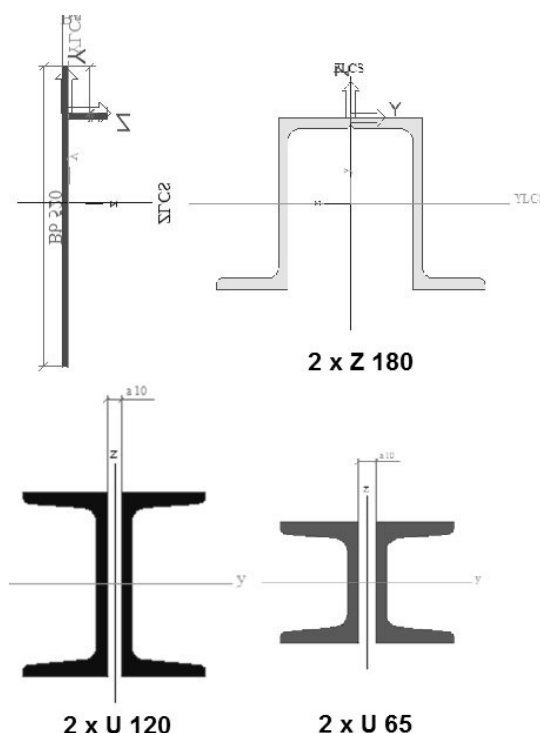
Hodnik za pešce je sestavljen iz naslednjih elementov.

- **Robni vzdolžnik hodnika za pešce** je sestavljen iz dveh skupaj privarjenih pločevin. Stojina je visoka 520 mm in debeline 8 mm, horizontalna ojačitev, ki je privarjena na stojino pa je širine 80 mm in debeline 10 mm. Na konzole je pritrjen preko vezne pločevine in zakovic.
- **Vmesni vzdolžnik hodnika za pešce** je sestavljen iz dveh vroče valjanih profilov Z 180. Vsak je pritrjen na zgornjo pasnico konzole z dvema zakovicama.

- **Konzola hodnika za pešce** je izvedena kot enostavni palični sistem iz para vroče valjanih profilov U 120 za zgornji pas in U 65 za diagonalo.

Pr. 7: Geometrijske lastnosti elementov hodnika

GEOMETRIJSKE LASTNOSTI - ELEMENTI HODNIKA						
Prerez	Profil	A [cm ²]	I _y [cm ⁴]	I _z [cm ⁴]	W _{el,y} [cm ³]	W _{el,z} [cm ³]
Robni vzdolžnik	/	49,6	11429,0	174,8	393,8	18,8
Vmesni vzdolžnik	2 x Z 180	66,6	3830,0	3200,0	355,0	272,0
Zgornji pas konzole	2 x U 120	34,5	742,5	244,4	123,8	40,7
Diagonala konzole	2 x U 65	18,4	117,1	97,8	36,0	20,8



Sl. 14: Prečni prerezi elementov hodnika

Pri elementih s sestavljenim prečnim presekom so prečke v vlogi polnilnih palic na razdalji:

$$a \leq 30 * i$$

kjer sta:

a razdalja med polnilnimi palicami

i vztrajnostni radij sestavljenega preseza

Nad primarnimi in sekundarnimi jeklenimi nosilnimi elementi je izvedena AB voziščna plošča debeline 14,0 cm, širine 6,40 m, dolžine po 4 x 13,48 m + 2 x 12,03 m + 12,05 m + 4 x 13,48 m ter AB plošča hodnika debeline 7,5 cm in širine 2,78 m. AB plošče vozišča in hodnikov so med seboj ločene z dilatacijskimi regami. Le te so na vozišču zapolnjene z elastomernimi dilatacijami, na hodnikih pa s fleksibilnimi dilatacijami.

Krajna opornika na obeh bregovih sta betonska, obodna vidna površina je zaključena z imitacijo kamna. Obodna površina vmesnih betonskih opornikov je zaključena s klesanim kamnom.



Sl. 15: Vmesni opornik

2.2 Posegi v konstrukcijo skozi čas (vir IMK)

Most je bil zgrajen leta **1906**.



Sl. 16: Pomembne letnice v življenjski dobi mostu

Med drugo svetovno vojno je bil poškodovan in saniran.

Leta **1957** je bila voziščna plošča dvignjena nad glavne nosilce. S tem se je vozišče razširilo iz 4,60 m na 6,80 m. Na vzorcih so bile preverjene mehanske karakteristike in narejeni so bili preizkusi utrujenosti materiala. Izdelana so bila navodila za periodične ultrazvočne preglede najbolj obremenjenih kovičenih stikov. Sanirane so bile korozijske poškodbe obstoječe jeklene konstrukcije in zvedena je bila obremenilna preizkušnja mostu.

Leta **1965** je bila izvedena sanacija antikorozijske zaščite.

Leta **1967** je bil izveden detajlni pregled konstrukcije, ki je obsegal splošni pregled stanja konstrukcije, pregled nekaterih stikov z ultrazvokom, preiskave mehanskih lastnosti materiala, statično kontrolo konstrukcije in meritve napetosti ter oscilacij v spodnjem pasu

glavnih nosilcev. Preiskave materiala na elementih, ki do tedaj še niso bili kontrolirani, so pokazala precej bolj neugodne rezultate, kot so bili upoštevani v statičnem računu leta 1957.

Leta **1968** so bile opravljene detajlne meritve jeklene konstrukcije in preiskave trajne trdnosti materiala. Po obnovi vozišča je bila narejena obremenilna preizkušnja mostu. Meritve mostu so pokazale, da v srednjem polju ni rezervne nosilnosti in so jekleni prerezi 100% izkoriščeni.

Leta **1969** je bil izdelan projekt popravil konstrukcije mostu, po katerem je bila konstrukcija tudi sanirana.

Leta **1975** je bil opravljen izredni pregled mostu zaradi poškodb montažnih AB plošč na hodnikih za pešce.

Leta **1977** so bile odkrite resnejše poškodbe dilatacij.

Leta **1979** je bil most saniran zaradi korozijskih poškodb in ojačen. Poškodovani elementi zaradi korozijskih poškodb so bili sanirani, ojačeni so bili spodnji pasovi gorvodnega nosilca. Zamenjane so bile glavne dilatacije vozišča. Zavarjene so bile dilatacije vmesnih polj v skladu z izdelanim projektom. Zamenjane so bile montažne AB plošče z in-situ vlitimi AB ploščami. Jeklena konstrukcija je bila v celoti antikorozijsko zaščitena.

Leta **1987** so bile ugotovljene resnejše oslavitve prečnih prerezov jeklenih elementov zaradi korozije, predvsem na diagonalah vetrne vezi in zgornjih pasovih paličnih prečnikov.

Leta **1992** je bil opravljen detajlni pregled stanja mostne konstrukcije. Ugotovljeno je bilo, da se je vmesni desnoobrežni opornik posedel zaradi erodiranja Save. Posledično se je nosilna konstrukcija mostu nepravilno ter prekomerno premaknila. Pojavile so se odprte razpoke na oporniku med kamnitimi bloki. Ugotovljene so bile tudi resnejše korozijske poškodbe elementov jeklene nosilne konstrukcije v področju izlivnikov in dilatacij. Kovičeni stiki zavornih vezi med AB ploščami in glavno jekleno nosilno konstrukcijo so bili v celoti potrgani. Izdelan je bil projekt sanacije jeklene konstrukcije mostu. Izvedena je bila 1. faza sanacije mostu.

Leta **1994** je bila izvedena 2. faza sanacije mostu. Vzpostavljena je bila pravilna lega mostu s premikom 2/3 konstrukcije na nepomičnih ležiščih na desnem bregu. Vgrajeni so bili reperji za opazovanje premikanja mostu. Sanirane so bile AB plošče vozišča in jeklene konstrukcije vozišča. Zamenjane so bile zavorne vezi in ponovno so bile izvedene vmesne dilatacije AB plošč, tako da se je vzpostavilo prvotno stanje konstrukcije pred letom 1979.

2.3 Vplivi na konstrukcijo

2.3.1 Stalna obtežba

Stalno obtežbo smo določili skladno s standardom SIST EN 1991-1-1. Stalno obtežbo predstavlja lastna teža AB voziščne plošče, plošče hodnikov, jeklene nosilne konstrukcije in ostale opreme mostu (ograja, razsvetljava).

2.3.2 Prometna obtežba

Prometno obtežbo smo določili skladno s standardom SIST EN 1991-2. Dolžina mostu znaša 143,38 m, kar je manjše od 200 m, ki jo standard navaja kot mejo za uporabo v njem navedenih obtežnih primerov. Najprej smo določili širino cestišča, ki je lahko razdalja med robnikoma, če sta le ta višja od 100 mm. Cestišče smo potem razdelili na namišljene pasove. Pas 1 predstavlja najbolj neugodno lego, pas 2 naslednjo neugodno lego itd. Pas, ki ostane je preostali del.

Za določitev vplivov prometa smo uporabili dva obtežna modela (»load model«) Load Model 1 (LM1) in Load Model 2 (LM2). LM1 zajema večino vplivov prometa osebnih in tovornih vozil in je sestavljen iz točkovne ter enakomerno porazdeljene obtežbe. Ta obtežni model se uporablja pri globalnem in lokalnem preverjanju. V diplomski nalogi smo upoštevali zmanjšanje prometne obtežbe na najbolj obremenjenem prometnem pasu za 20 %. Predpostavili smo, da za dani most ni potrebno upoštevati celotne prometne obtežbe. LM 2 zajema dinamični vpliv običajnega prometa na kratke konstrukcijske elemente in je sestavljen iz točkovne obtežbe, ki predstavlja enoosno obremenitev vozil. Obtežna modela LM 3 in LM 4 se upoštevata, kjer je to smotno (posebej zahtevano s strani naročnika, določeno v nacionalnem dodatku itd.). Za dano konstrukcijo sta zato izpuščena.

Poleg zgoraj omenjenih obtežnih modelov je potrebno upoštevati tudi vodoravno silo zaviranja in pospeševanja ter vertikalno obtežbo hodnikov za pešce. Sočasnost delovanja vseh obtežb smo upoštevali z obtežnimi skupinami (»group load«). Za analizo smo uporabili naslednje skupine:

- **Skupina gr1a:**
Pri skupini gr1a je upoštevana karakteristična vrednost dvoosne in zvezne obtežbe cestišča (LM 1) ter kombinacijska vrednost zvezne obtežbe hodnika za pešce.
- **Skupina gr1b:**
Pri skupini gr1b je upoštevana karakteristična vrednost enoosne obremenitve vozil, določene z obtežnim modelom LM 2.
- **Skupina gr2:**
Pri skupini gr2 je upoštevana pogosta vrednost enoosne in zvezne obtežbe cestišča (LM 1) ter karakteristična vrednost vodoravne sile zaviranja in pospeševanja. Centrifugalna in prečna sila sta zanemarljivi, ker je most v premi oz. je radij horizontalne zaokrožitve dovolj velik ($r > 1500$ m).
- **Skupina gr3:**
Pri skupini gr3 je upoštevana karakteristična vrednost obtežbe hodnika za pešce, ki pa je lahko enakomerno porazdeljena ali pa točkovna (v primeru, da je po hodniku za pešce mogoča vožnja vzdrževalnih vozil).

2.3.3 Vpliv vetra

Vpliv vetra smo določili skladno s standardom SIST EN 1991-1-4. Most se nahaja v vetrovni coni I, kar velja za večino Slovenije in v kategoriji terena II, ki označuje področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (stavbe, drevesa) na razdalji najmanj 20-tih višinskih ovir. Nadmorska višina mostu znaša približno 290 m.

Za konstrukcijo smo določili dva vpliva. En vpliv obsega obtežbo vetra skupaj s prometom, drugi pa obtežbo vetra brez prometa in pri nezapolnjenih ograjah. Vetrna obtežba sicer deluje v vse smeri (vzdolžno, prečno in navpično), vendar je prevladujoča smer samo tista, ki je prečno na naš most.

2.3.4 Toplotni vpliv

Toplotni vpliv smo določili skladno s standardom SIST EN 1991-1-5. Most smo uvrstili v 2. tip konstrukcij, saj je sestavljen iz jeklenih nosilcev in betonske plošče. Glede na območje (LJ-Bežigrad) smo odčitali enakomerne najnižje in najvišje temperature, ki delujejo na jekleno konstrukcijo. Betonsko ploščo pa smo hkrati obremenili še z neenakomerno temperaturno spremembo (uporabimo poenostavljen postopek za 2. tip konstrukcij). Temperaturna

sprememba jeklene konstrukcije je pomembna samo zaradi pomika konstrukcije. Do povečanja notranjih statičnih količin ne pride, ker je konstrukcija statično določena in je raztezanje ali krčenje neovirano.

2.4 Materiali

Pri izgradnji mostu je bil uporabljen beton za opornike, armiran beton za voziščno konstrukcijo in hodnike za pešce ter konstrukcijsko jeklo za glavno mostno konstrukcijo. Slednjega delimo na novo (vgrajeno v času rekonstrukcije mostu leta 1957) in staro konstrukcijsko jeklo (ohranjeno od prvotnega mostu), ki je definiran s smernico za preračun obstoječih cestnih mostov in ima posledično druge delne varnostne faktorje za material (Pr. 8).

Pr. 8: Delni varnostni faktorji za materiale (beton in armatura) skladno s SIST EN 1992-1-1

Material	Beton	Armatura
Oznaka	γ_c	γ_s
Stalna in začasna projektna stanja (MSN)	1,50	1,15
Stalna in začasna projektna stanja (MSU)	1,00	1,00
Nezgodna projektna stanja	1,20	1,00

Pr. 9: Delni varnostni faktorji za materiale (konstrukcijsko jeklo) skladno s SIST EN 1993-2 in

Nachrechnungsrichtlinie für Straßenbrücken

Material	Konstrukcijsko jeklo							
	Novo				Staro			
Oznaka	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	γ_{Mser}	γ_{M0}	γ_{M1}	γ_{M2}	γ_{Mser}
Stalna in začasna projektna stanja (MSN)	1,00	1,10	1,25	1,00	1,10	1,15	1,35	1,00
Stalna in začasna projektna stanja (MSU)	1,00	/	/	1,00	1,00	/	/	1,00
Nezgodna projektna stanja	1,00	1,10	/	/	1,00	1,00	1,25	/

Deli konstrukcije, ki so še iz časa pred prvo svetovno vojno, so vzdolžniki vozišča, vsi elementi paličnih prečnikov in glavnih paličnih nosilcev ter vetrna vez. Ostali elementi pa so bili zamenjani ob rekonstrukciji leta 1957 ali kasneje.

2.4.1 Beton

Beton je uporabljen za masivne elemente opornikov, AB voziščno ploščo in AB ploščo hodnika. Uporabljen je beton kvalitete C30/37 za AB ploščo hodnika in C20/25 za AB voziščno ploščo skladno s SIST EN 1992-1-1. Kvaliteta betona pri opornikih je lahko dokaj nizka zaradi njihove starosti.

2.4.2 Armatura

Uporabljena armatura je GA 240/360. Armirana je voziščna plošča in plošča hodnika.

2.4.3 Konstrukcijsko jeklo

Konstrukcijsko jeklo je kvalitete S 235 skladno s SIST EN 1993-1-1.

- napetost na meji tečenja jekla $f_y = 235 \text{ N/mm}^2$
- natezna trdnost jekla $f_u = 360 \text{ N/mm}^2$
- modul elastičnosti jekla $E = 210000 \text{ N/mm}^2$
- strižni modul jekla $G \approx 81000 \text{ N/mm}^2$
- koeficient linearnega toplotnega raztezka jekla $\alpha = 12 \times 10^{-6} /\text{K}$

2.4.3.1 Lomna žilavost

V skladu s SIST EN 1993-1-1 mora imeti material zadostno lomno žilavost, da ne bi prišlo do krhkega loma natezno obremenjenih elementov pri najnižji delovni temperaturi, ki se pričakuje v vsej predvideni življenjski dobi konstrukcije. Ta temperatura za Bežigrad znaša $T_{Ed} = T_{min,100} = -24,1 \text{ }^\circ\text{C}$ (Sl. 17).

$$p = \frac{1}{100 \text{ let}} = 0,01$$

kjer je:

p letna verjetnost prekoračitve temperature

$$T_{Ed} = T_{min,100} = \frac{T_{min,p}}{T_{min}} \cdot T_{min,50} = 1,1 \cdot (-21,9 \text{ }^\circ\text{C}) = -24,1 \text{ }^\circ\text{C}$$

kjer so:

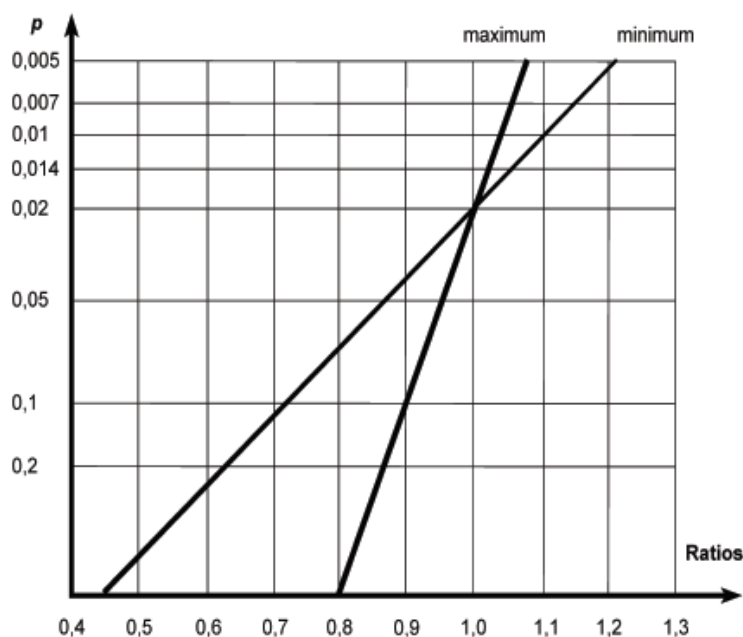
T_{Ed} referenčna temperatura na mestu, kjer je pričakovati prelom

$T_{min,100}$ najnižja temperatura zraka za povratno dobo 100 let

$T_{min,p}$ iskana najnižja temperatura zraka za predpisano povratno dobo

T_{min} znana najnižja temperatura zraka

$T_{min,50}$ najnižja temperatura zraka za povratno dobo 50 let



Sl. 17: Razmerja $T_{max,p}/T_{max}$ in $T_{min,p}/T_{min}$ (vir: SIST EN 1991-1-5)

Največja dovoljena debelina elementov pri najnižji delovni temperaturi za jeklo kvalitete S 235 JR (določeno pri $\sigma_{Ed} = 0,75 f_y$) je $t = 33$ mm. Elementi te debeline ne presegajo.

2.5 Predpisi in standardi

Za projektiranje mostu so bili uporabljeni naslednji standardi:

- SIST EN 1990: Evrokod - Osnove projektiranja
- SIST EN 1991-1-1: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Gostote, lastna teža, koristne obtežbe stavb
- SIST EN 1991-1-4: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Obtežbe vetra
- SIST EN 1991-1-5: Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-5. del: Splošni vplivi - Toplotni vplivi
- SIST EN 1991-2: Evrokod 1: Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije - 2. del: Prometna obtežba mostov
- SIST EN 1992-1-1: Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
- SIST EN 1993-1-1: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
- SIST EN 1993-1-5: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-5. del: Elementi pločevinaste konstrukcije
- SIST EN 1993-1-9: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-9. del: Utrujanje
- SIST EN 1993-1-10: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-10. del: Izbira kakovosti jekla glede na žilavost in lamelarni lom
- SIST EN 1993-2: Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 2. del: Mostovi

3 ANALIZA OBTEŽBE

3.1 Stalna obtežba

Lastno težo jeklenih elementov smo upoštevali v programu samem. Da smo zajeli še dodatne elemente konstrukcije, kot so zakovice, zvari, vijaki, matice in vezne pločevine, smo jo povečali za 15 – 25 %. Povečanje smo upoštevali samo na glavnih nosilcih, saj je na ostalih elementih zanemarljivo majhno. Lastno težo AB plošče pa smo razdelili na vplivna območja, ki »odpadejo« na posamezni element.

Pr. 10: Izračun lastne teže AB voziščne plošče

Del prečnega prereza	Debelina sloja	Izračun	Rezultat
AB plošča	$d_{AB} = 14 \text{ cm}$	$g_{AB} = \gamma_{AB} * d_{AB} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,14 \text{ m} =$	$3,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Obrabni sloj	$d_{os} = 7 \text{ cm}$	$g_{os} = \gamma_{os} * d_{os} = 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,07 \text{ m} =$	$1,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Hidroizolacija	$d_h = 1 \text{ cm}$	$g_h = \gamma_h * d_h = 22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,01 \text{ m} =$	$0,22 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Skupaj $g_s' =$			$5,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pr. 11: Izračun lastne teže AB plošče hodnika za pešce

Del prečnega prereza	Debelina sloja	Izračun	Rezultat
AB plošča	$d_{AB} = 7,5 \text{ cm}$	$g_{AB} = \gamma_{AB} * d_{AB} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,075 \text{ m} =$	$1,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Mikroarmiran beton	$d_{mAB} = 4 \text{ cm}$	$g_{mAB} = \gamma_{mAB} * d_{mAB} = 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} * 0,04 \text{ m} =$	$1,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
Skupaj $g_s' =$			$2,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Pr. 12: Izračun stalne obtežbe na hodniku za pešce (dodatna oprema mostu)

Dodatna oprema	Obtežba
Ograja	$1,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Inštalacijske obloge	$0,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
Skupaj $g_{do} =$	$1,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Stalno obtežbo dodatne opreme prevzame v celoti robni vzdolžnik hodnika za pešce.

3.1.1 Stalna obtežba glavnega jeklenega nosilca

Glavni jekleni nosilec neposredno nosi samo del AB plošče hodnika za pešce (vplivna širina za glavni jekleni nosilec znaša 0,575 m).

$$g_s = g_s' * l_{vš} = 2,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 0,575 \text{ m} = 1,66 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

kjer so:

g_s' lastna teža (v tem primeru AB plošče hodnika za pešce)

$l_{vš}$ vplivna širina

Ostala lastna in stalna obtežba se na glavni jekleni nosilec prenaša preko sekundarnih elementov na mestih vozlišč.

Obtežbo smo poenostavili, tako da smo vsak glavni nosilec obtežili s polovico celotne lastne in stalne teže mostu na meter konstrukcije.

Pr. 13: Izračun lastne in stalne obtežbe glavnega nosilca

Del mostu	Teža na enoto površine ali dolžine	Izračun	Rezultat
AB elementi			
AB voziščna plošča	$g_s' = 5,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$G_{AB} = g_s' * A = 5,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 6,40 \text{ m} * 143,38 \text{ m} =$	4826,74 kN
AB plošča hodnika	$g_s' = 2,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	$G_{AB} = g_s' * A = 2,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 2,78 \text{ m} * 143,38 \text{ m} =$	1147,96 kN
Jekleni elementi primarne nosilne konstrukcije			
Spodnji pas	$g_s = 1,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 2 * 1,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	473,15 kN
Zgornji pas	$g_s = 1,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 2 * 1,81 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	519,04 kN
Diagonale	$g_s = 1,09 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 2 * 1,09 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 227,32 \text{ m} =$	495,56 kN
Vertikale	$g_s = 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 2 * 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 43 * 4,20 \text{ m} =$	195,05 kN
Jekleni elementi sekundarne nosilne konstrukcije			
Vzdolžniki INP 30	$g_s = 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	77,66 kN
Vzdolžniki INP 28	$g_s = 0,48 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 4 * 0,48 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	274,63 kN
Prečnik INP 30	$g_s = 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 43 * 0,54 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 7,00 \text{ m} =$	162,54 kN
Vertikala vzdolžnika 2 x L80/80/10	$g_s = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 3 * 43 * 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 1,15 \text{ m} =$	35,60 kN
Zgornji pas paličnega prečnika 2 x U 220	$g_s = 0,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 41 * 0,60 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 7,00 \text{ m} =$	172,20 kN
Spodnji pas paličnega prečnika 2 x L80/80/10	$g_s = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 41 * 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 7,00 \text{ m} =$	68,88 kN
Zunanji diagonalni paličnega prečnika 2 x L80/80/10	$g_s = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 2 * 41 * 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,63 \text{ m} =$	51,76 kN
Notranji diagonalni paličnega prečnika 2 x L80/80/8	$g_s = 0,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 2 * 41 * 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,93 \text{ m} =$	57,66 kN
Vertikale paličnega prečnika 2 L 80 x 8	$g_s = 0,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 2 * 41 * 0,19 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,05 \text{ m} =$	31,94 kN
Srednja vertikala paličnega prečnika L80/80/8	$g_s = 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 41 * 0,10 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,05 \text{ m} =$	8,41 kN
Polnostenski nosilec	$g_s = 1,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 2 * 1,40 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 7,00 \text{ m} =$	19,60 kN

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 13

Robni vzdolžnik hodnika	$g_s = 0,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 2 * 0,39 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	111,84 kN
Vzdolžnik hodnika za pešce 2 x Z 180	$g_s = 0,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * L = 2 * 0,52 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	149,12 kN
Zgornji pas konzole hodnika za pešce 2 x U 120	$g_s = 0,27 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 2 * 43 * 0,27 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,15 \text{ m} =$	49,92 kN
Diagonala konzole za pešce 2 x U 65	$g_s = 0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l = 2 * 43 * 0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 2,92 \text{ m} =$	35,16 kN
Vzdolžna vez	$g_s = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l' = 0,03 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 150,12 =$	4,50 kN
Vetrna vez 2 x L80/80/10	$g_s = 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_s = g_s * l' = 2 * 0,24 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 166,49 \text{ m} =$	79,91 kN
Dodatna oprema mostu			
Robnik	$g_{rob} = 1,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_{robnik} = g_{rob} * L = 2 * 1,00 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	286,76 kN
Ograje in inštalacijske obloge	$g_{DO} = 1,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	$G_{DO} = g_{DO} * L = 2 * 1,50 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * 143,38 \text{ m} =$	430,14 kN
Skupaj $G_s =$			9730,57 kN

Obtežba na en glavni nosilec znaša torej:

$$g_s = \frac{G_s}{2 * L} = \frac{9730,6 \text{ kN} * 1,25}{2 * 143,38 \text{ m}} = 42,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

kjer so:

g_s lastna in stalna obtežba na en glavni nosilec

G_s teža mostu (brez glavnih nosilcev)

L dolžina mostu

l dolžina elementa

l' popravljena dolžina elementa (upoštevana je različna dolžina elementov, ki je pomnožena s številom le teh)

3.1.2 Stalna obtežba sekundarne nosilne konstrukcije

- **Srednji in notranja vzdolžnika vozišča** nosijo del AB voziščne plošče. Razpon med nosilci je 1,5 m in je enak vplivni širini.

$$g_s = g_s' * l_{vš} = 5,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1,5 \text{ m} = 7,89 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- **Zunanja vzdolžnika vozišča** nosita poleg dela AB voziščne plošče še robnik ($g_{s,robnik} = 1 \text{ kN} / \text{m}$). Vplivna širina znaša 0,75 m proti sredini vozišča in še 0,5 m proti robu.

$$g_s = g_s' * l_{vš} + g_{s,robnik} = 5,26 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 1,25 \text{ m} + 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 7,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- **Robni vzdolžnik hodnika za pešce** nosi poleg dela AB plošče hodnika za pešce tudi vso dodatno opremo mostu. Vplivna širina znaša 0,625 m.

$$g_s = g_s' * l_{vš} + g_{do} = 2,88 \frac{kN}{m^2} * 0,625 m + 1,5 \frac{kN}{m} = 3,30 \frac{kN}{m}$$

- **Vzdolžni nosilec hodnika za pešce** nosi del AB plošče hodnika za pešce. Vplivna širina je 1,25 m.

$$g_s = g_s' * l_{vš} = 2,88 \frac{kN}{m^2} * 1,25 m = 3,60 \frac{kN}{m}$$

Na ostale elemente sekundarne nosilne konstrukcije se lastna in stalna obtežba prenaša preko mest stikovanja.

3.2 Prometna obtežba

- **Določitev širine vozišča w :**
Ker sta robnika višja od 100 mm, je širina vozišča enaka širini AB voziščne plošče med robnikoma, ki znaša 6,4 m.
- **Določitev števila (n_l) in širine (w_l) voznih pasov:**

Pr. 14: Določitev števila in širine voznih pasov

Širina vozišča w	Število voznih pasov	Širina voznega pasu w_l	Širina preostalega dela
$6 m \leq w$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{w}{3}\right)$	3 m	$w - 3 * n_l$
$w = 6,4 m$	$n_l = \text{Int}\left(\frac{6,4}{3}\right) = 2$	3 m	$w - 3 * n_l = 6,4 m - 3 * 2 = 0,4 m$

- **Določitev pozicije voznih pasov** ni nujno povezana z oštevilčenostjo pasov. Razporeditev mora biti taka, da je pas z najbolj neugodnim vplivom pas 1, pas z drugim najbolj neugodnim vplivom pa pas 2. Preostali pas ne sme biti med voznim pasom 1 in 2, saj mora vedno biti ob robu vozišča, lahko pa je ob pasu 1 ali 2.
- **Določitev vertikalne obtežbe z obtežnimi modeli (»load model«):**

Pr. 15: Določitev vertikalne obtežbe pri obtežnem modelu LM 1

Položaj	Dvoosna koncentrirana obtežba (»tandem system: TS«)	Enakomerno porazdeljena obtežba (»uniformly distributed loads: UDL«)
	Osna obtežba Q_{ik} (kN)	q_{ik} ali q_{rk} (kN/m ²)
Vozni pas 1	$\alpha_{q1} * Q_{1k} = 0,8 * 300 \text{ kN} = 240 \text{ kN}$	$\alpha_{q1} * q_{1k} = 0,8 * 9 \frac{kN}{m^2} = 7,2 \frac{kN}{m^2}$
Vozni pas 2	$\alpha_{q2} * Q_{2k} = 1 * 200 \text{ kN} = 200 \text{ kN}$	$\alpha_{q2} * q_{2k} = 1 * 2,5 \frac{kN}{m^2} = 2,5 \frac{kN}{m^2}$
Preostali pas	0	$\alpha_{qr} * q_{rk} = 1 * 2,5 \frac{kN}{m^2} = 2,5 \frac{kN}{m^2}$

Pr. 16: Določitev vertikalne obtežbe pri obtežnem modelu LM 2

Položaj	Enoosna koncentrirana obtežba
	Osna obtežba Q_{ak} (kN)
Vozni pas 1	$\beta_Q * Q_{ak} = 0,8 * 400 \text{ kN} = 320 \text{ kN}$
Vozni pas 2	0
Preostali pas	0
Priporočena vrednost za $\beta_q = \alpha_{Q1} = 0,8$	

- **Določitev vertikalne obtežbe hodnika za pešce:**

Pr. 17: Določitev vertikalne obtežbe hodnika za pešce

	Vpliv hkrati s prometom (enakomerno porazdeljena obtežba)	Vpliv brez prometa (enakomerno porazdeljena obtežba)	Vpliv vzdrževalnega vozila (dvoosna koncentrirana obtežba)	
			Q_{sv1}	Q_{sv2}
Obtežba	$3 \frac{\text{kN}^*}{\text{m}^2}$	$5 \frac{\text{kN}^*}{\text{m}^2}$	80 kN	40 kN
* Priporočena vrednost				

- **Določitev vodoravne obtežbe zaviranja in pospeševanja**, ki je upoštevana kot vzdolžna sila, ki deluje na površini vozišča. Izračunana je kot delež celotne največje vertikalne obtežbe, ki ustreza obtežnemu modelu LM 1. Vsak nepomični del mostu prevzame svoj del horizontalne obtežbe zaviranja in pospeševanja.

$$Q_{lk1} = 0,6 * \alpha_{Q1} * (2 * Q_{1k}) + 0,1 * \alpha_{q1} * q_{1k} * w_l * L_1 =$$

$$Q_{lk2} = 0,6 * \alpha_{Q1} * (2 * Q_{1k}) + 0,1 * \alpha_{q1} * q_{1k} * w_l * L_2 =$$

$$= 0,6 * 0,8 * 2 * 300 \text{ kN} + 0,1 * 0,8 * 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * 3 \text{ m} * 89,46 \text{ m} = 481,2 \text{ kN}$$

kjer sta:

L_1 dolžina nepomičnega dela mostu s črnuške strani

L_2 dolžina nepomičnega dela mostu z ljubljanske strani

Vrednost Q_{jk} je omejena s spodnjo enačbo:

$$180 * \alpha_{Q1} = 180 * 0,8 \text{ kN} = 144 \text{ kN} \leq Q_{lk1,2} = \{404,5; 481,2 \text{ kN}\} \leq 900 \text{ kN}$$

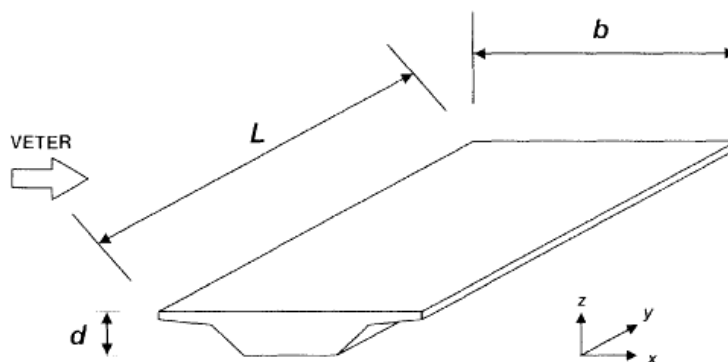
• **Določitev obtežnih skupin (»group load«):**

Pr. 18: Določitev obtežnih skupin

Vrsta obtežbe			Vozišče			Hodnik za pešce		
			Vertikalna obtežba		LM 2	Horizontalna obtežba	Vertikalna obtežba	
Sistem obteževanja			LM 1			LM 2	Vodoravna obtežba zaviranja in pospeševanja	Enakomerno porazdeljena obtežba
			TS	UDL				
Obtežne skupine	gr1a	Pas 1	240 kN	$7,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	/	/	$0,4 * 3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$ $= 1,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
		Pas 2	200 kN	$2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$				
		Preostali pas	0 kN	$2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$				
	gr1b		/		320 kN	/	/	
	gr2	Pas 1	$0,75 * 240 \text{ kN} = 180 \text{ kN}$	$0,4 * 7,2 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 2,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$	/	597,7 kN	/	
		Pas 2	$0,75 * 200 \text{ kN} = 150 \text{ kN}$	$0,4 * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$				
		Preostali pas	0 kN	$0,4 * 2,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 1 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$				
	gr3a		/		/	/	$5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$	
	gr3b		/		/	/	Q_{sv1} 80 kN	Q_{sv2} 40 kN

3.3 Vetrna obtežba

Vpliv vetra na most je v vseh treh koordinatnih smereh, vendar upoštevamo samo smer prečno na most, smer X (Sl. 18).



Sl. 18: Smeri za vplive vetra po SIST EN 1991-1-4

3.3.1 Vpliv vetra na most v smeri X

- **Določitev osnovne hitrosti vetra** za vetrovno cono I in kategorijo terena II:

$$v_b = c_{dir} * c_{season} * v_{b,0} = 1 * 1 * 20 \frac{m}{s} = 20 \frac{m}{s}$$

kjer so:

c_{dir} smerni faktor, priporočena vrednost 1,0

c_{season} faktor letnega časa, priporočena vrednost 1,0

$v_{b,0}$ temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra

3.3.1.1 Vpliv vetra na prazen most v smeri X

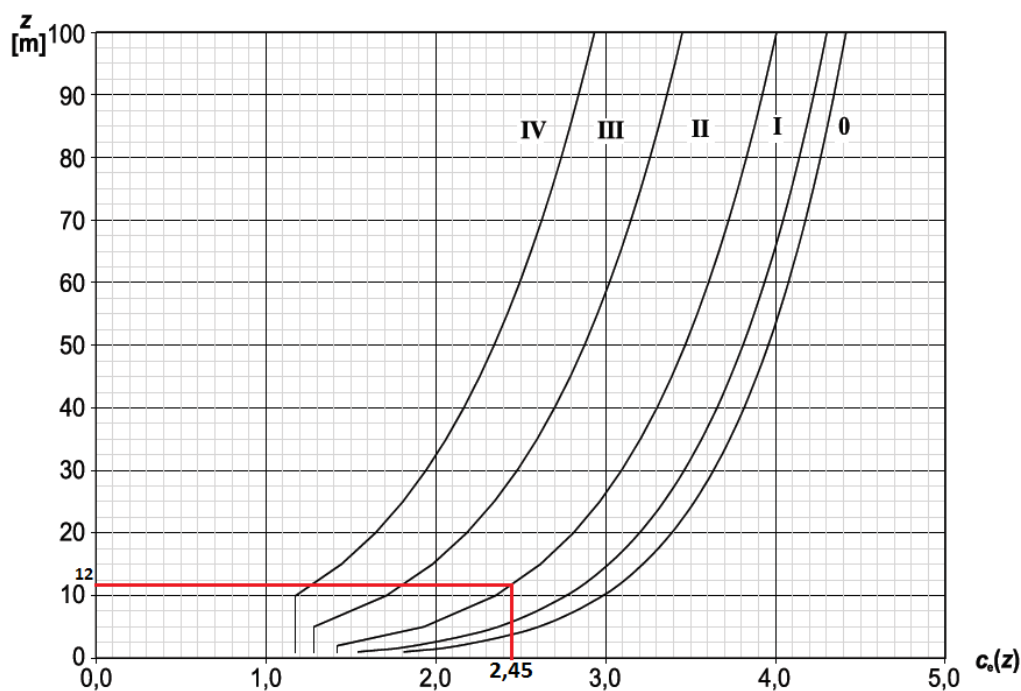
- **Določitev faktorja obtežbe vetra:**

$$C = c_e * c_{f,x} = 2,45 * 1,8 = 4,4$$

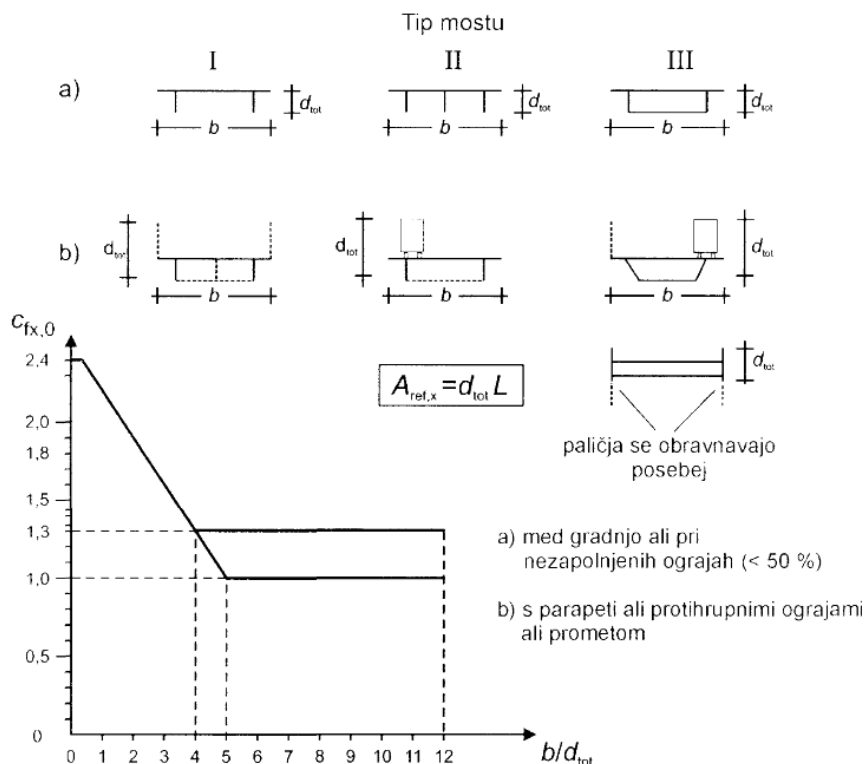
kjer so:

c_e faktor izpostavljenosti (določen na Sl. 19)

$c_{f,x}$ koeficient sile za vplive vetra (določen na Sl. 20)



Sl. 19: Faktor izpostavljenosti skladno s SIST EN 1991-1-4

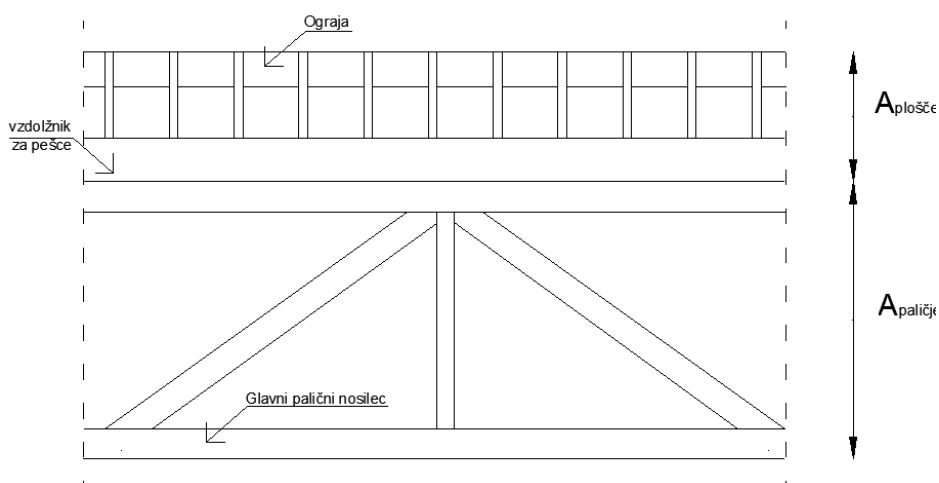


Sl. 20: Koeficient sile za mostove $c_{fx,0} = c_{f,x}$ skladno s SIST EN 1991-1-4

Za določitev $c_{fx,0}$ smo potrebovali višino prereza d_{tot} (določen s pomočjo Preglednice 8.1 v SIST EN 1991-1-4), ki smo jo potem uporabili tudi za izračun referenčne površine $A_{ref,x}$ in širino mostne konstrukcije:

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{12 \text{ m}}{5,24 \text{ m}} = 2,29$$

Iz Sl. 20 in z interpolacijo smo določili, da je $c_{fx,0} = c_{f,x} = 1,8$. Referenčna površina $A_{ref,x}$ je vsota čelne površine konzole in tiste čelne površine glavnih paličnih nosilcev pod njo.



Sl. 21: Shematični prikaz referenčne površine praznega mostu

$$A_{ref,x} = A_{plošče} + A_{paličje}$$

$$A_{ref,x} = 1,1 \text{ m} * 143,38 \text{ m} + 143,38 \text{ m} * (0,556 \text{ m} + 0,444 \text{ m}) + \\ + 43 * 4,14 \text{ m} * 0,204 \text{ m} + 42 * 5,46 \text{ m} * 0,4 \text{ m} = 429,1 \text{ m}^2$$

• **Določitev sile v smeri X:**

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x} = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \left(20,0 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 * 4,4 * 429,1 \text{ m}^2 = 472,1 \text{ kN}$$

kjer je:

ρ gostota zraka, priporočena vrednost je $1,25 \text{ kg/m}^3$

$$q_w = \frac{F_w}{L} = \frac{472,1 \text{ kN}}{143,38 \text{ m}} = 3,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

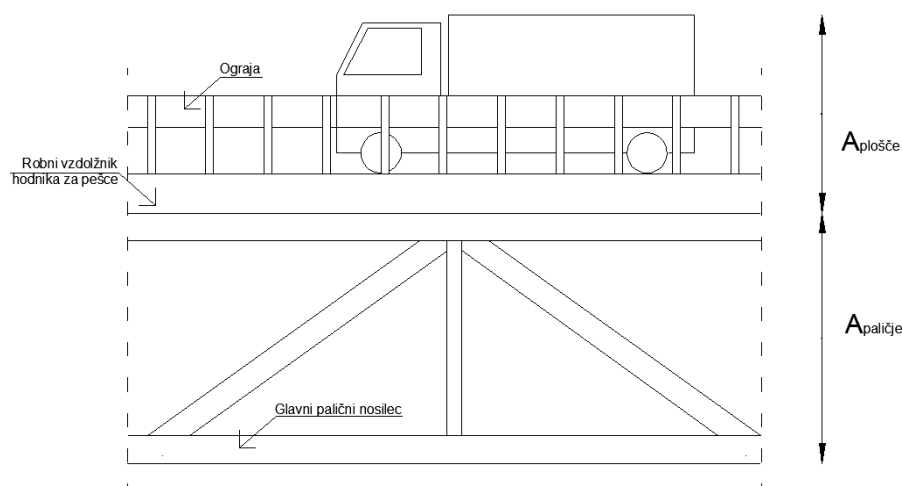
3.3.1.2 Vpliv vetra na most s prometom v smeri X

• **Določitev faktorja obtežbe vetra:**

$$C = c_e * c_{f,x} = 2,45 * 2,0 = 4,9$$

$$\frac{b}{d_{tot}} = \frac{12 \text{ m}}{6,64 \text{ m}} = 1,80$$

Iz Sl. 20 in z interpolacijo smo izračunali, da je $c_{f,x,0} = c_{f,x} = 2,0$.



Sl. 22: Shematični prikaz referenčne površine mostu s prometom

$$A_{ref,x} = A_{plošče} + A_{paličje}$$

$$A_{ref,x} = 2,5 \text{ m} * 143,38 \text{ m} + 143,38 \text{ m} * (0,556 \text{ m} + 0,444 \text{ m}) + \\ + 43 * 4,14 \text{ m} * 0,204 \text{ m} + 42 * 5,46 \text{ m} * 0,4 \text{ m} = 629,9 \text{ m}^2$$

- **Določitev sile v smeri X:**

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,x} = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{kg}{m^3} * \left(20 \frac{m}{s}\right)^2 * 4,9 * 629,9 m^2 = 771,6 kN$$

$$q_w = \frac{F_w}{L} = \frac{771,6 kN}{143,38 m} = 5,4 \frac{kN}{m}$$

3.3.2 Vpliv vetra na most v smeri Y

Če je potrebno upoštevati vzdolžne sile vetra v smeri Y, se te lahko izračuna kot 50% sile vetra v smeri X. Smiselno jih je upoštevati, če so večje od vodoravne sile pospeševanja in zaviranja. V našem primeru to ne velja.

3.3.2.1 Vpliv vetra na prazen most v smeri Y

$$F_w = \frac{1}{2} * F_{w,x} = \frac{1}{2} * 472,1 = 236,1 kN$$

3.3.2.2 Vpliv vetra na most s prometom v smeri Y

$$F_w = \frac{1}{2} * F_{w,x} = \frac{1}{2} * 771,6 = 385,8 kN$$

3.3.3 Vpliv vetra na most v smeri Z

Standard navaja, da ima ta sila pomemben učinek samo, če je enako velika kot stalna obtežba. Koeficienti sile $c_{f,z}$ so usmerjeni navzgor in navzdol. Priporočena vrednost za $c_{f,z}$ je $\pm 0,9$.

$$C = c_e * c_{f,z} = 2,45 * \pm 0,9 = \pm 2,2$$

$$A_{ref,z} = b * L = 12 m * 143,38 m = 1720,6 m^2$$

$$F_w = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2 * C * A_{ref,z} = \frac{1}{2} * 1,25 \frac{kg}{m^3} * \left(20 \frac{m}{s}\right)^2 * \pm 2,2 * 1720,6 m^2 = \pm 946,3 kN$$

$$q_w = \frac{F_w}{A} = \frac{946,3 kN}{1720,6 m} = \pm 0,55 \frac{kN}{m^2}$$

3.4 Temperaturna obtežba

Konstrukcija je statično določena, tako da zaradi temperaturnih vplivov ne pride do spremembe notranjih sil. Posledično pa smo preverili pomike, ki se zgodijo zaradi enakomerne temperaturne spremembe. V nacionalnem dodatku smo odčitali najvišjo in najnižjo temperaturo v senci za lokacijo Ljubljana Bežigrad.

$$T_{min,50} = -21,9^{\circ}C \quad \text{najnižja temperatura v senci za obdobje 50 let}$$

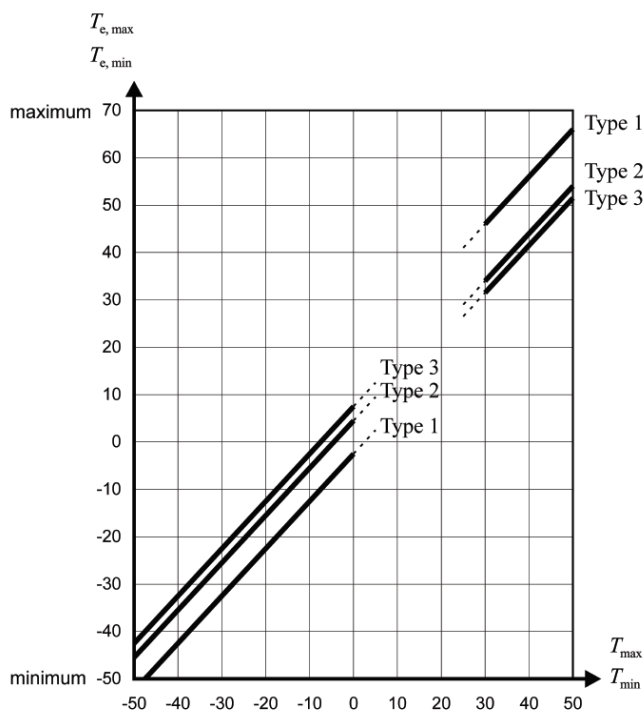
$$T_{max,50} = 38,1^{\circ}C \quad \text{najvišja temperatura v senci za obdobje 50 let}$$

Da smo dobili temperaturo za obdobje 100 let, smo vrednosti pomnožili s faktorjem 1,1.

$$T_{min,100} = 1,1 * T_{min,50} = 1,1 * (-21,9^{\circ}C) = -24,1^{\circ}C$$

$$T_{max,100} = 1,1 * T_{max,50} = 1,1 * 38,1^{\circ}C = 41,9^{\circ}C$$

Iz Sl. 23 določimo $T_{e,min}$ in $T_{e,max}$ za tip konstrukcije 2.



Sl. 23: Povezava med najvišjo/najnižjo temperaturo v senci ter najvišjo/najnižjo enakomerno temperaturno komponento mostu

$T_{e,min} = -20^{\circ}\text{C}$ najnižja temperatura v senci za obdobje 100 let

$T_{e,max} = 45^{\circ}\text{C}$ najvišja temperatura v senci za obdobje 100 let

Karakteristično vrednost največjega krčenja in raztezanja zaradi enakomerne temperaturne spremembe za most se določi na naslednji način:

$$\Delta T_{N,con} = T_0 - T_{e,min} = 10^{\circ}\text{C} - (-20^{\circ}\text{C}) = 30^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = T_{e,max} - T_0 = 45^{\circ}\text{C} - 10^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C}$$

kjer je:

T_0 začetna temperatura dokončanega mostu (upoštevamo priporočeno vrednost 10°C , ker točna temperatura ali povprečna temperatura v času gradnje ni znana)

Podobno smo izračunali tudi karakteristične vrednosti največjega krčenja in raztezanja zaradi enakomerne temperaturne spremembe za ležišča in dilatacije. Temperatura, pri kateri so ležišča in dilatacije v nevtralni poziciji, ni znana.

$$\Delta T_{N,con} = \Delta T_{N,con} + 20^{\circ}\text{C} = 30^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta T_{N,exp} = \Delta T_{N,exp} + 20^{\circ}\text{C} = 35^{\circ}\text{C} + 20^{\circ}\text{C} = 55^{\circ}\text{C}$$

3.5 Obtežne kombinacije

Pri določevanju obtežnih kombinacij smo upoštevali navodila SIST EN 1990, poglavje 6.4, 6.5 in dodatek A2:

- obtežni model LM2 ne kombiniramo z drugimi vplivi, ki niso povezani s prometom
- vplive vetra ne kombiniramo z obtežno skupino gr2 ali gr3 (a in b)
- vplive snega ne kombiniramo z obtežnima modeloma LM1 in LM2, ter z njima povezanimi obtežnima skupinama gr1a in gr1b
- vplive vetra in temperature ne upoštevamo skupaj

Pr. 19: Obtežne kombinacije za mejno stanje nosilnosti

Kombinacija Vpliv	MSN 1	MSN 2	MSN 3	MSN 4	MSN 5	MSN 6
Lastna in stalna	1,35 (1,0)	1,35 (1,0)	1,35 (1,0)	1,35 (1,0)	1,35 (1,0)	1,35 (1,0)
gr1a	1,35	/	$1,35 * (0,75 * TS + 0,4 * UDL)$	/	/	/
gr1b	/	/	/	/	1,35	/
gr2	/	1,35	/	/	/	
gr3	/	/	/	/	/	1,35
Veter s prometom	1,5 * 0,6	/	1,5	/	/	/
Veter na prazen most	/	/	/	1,5	/	/

Vse elemente nosilne konstrukcije ni potrebno obremeniti z vsemi obtežnimi kombinaciji. Tako smo glavna palična nosilca obremenili z MSN 1, MSN 2, MSN 3 in MSN 4, sekundarne nosilne elemente voziščne konstrukcije pa z MSN 1 in MSN 5. Glavnega paličnega nosilca nismo obremenili z MSN 5, saj je le ta manj neugodna od MSN 1. Za sekundarne elemente pa se lahko pojavijo mesta, kjer je MSN 5 merodajna, saj ima lokalno zelo velik vpliv, ni pa potrebno upoštevati MSN 2 in MSN 3, saj sekundarni elementi ne prevzemajo vodoravne obtežbe pospeševanja in zaviranja, in prav tako ne vetrne obtežbe (z izjemo spodnjega pasu paličnega prečnika). Nosilno konstrukcijo hodnikov smo obremenili samo z MSN 1 in MSN 6, saj sta to edini obtežni kombinaciji, pri katerih sta hodnika obtežena.

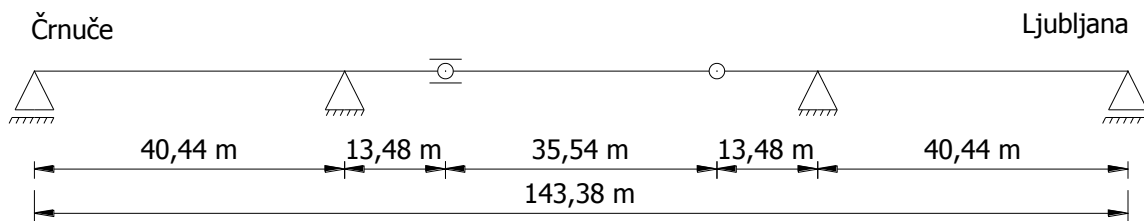
4 STATIČNI IZRAČUN NOSILNOSTI

4.1 Računski model

Za izračun notranjih sil smo postavili več računskih modelov. Ločili smo računanje notranjih statičnih količin za primarne in za sekundarne elemente nosilne konstrukcije. Dodatno smo potrebovali še računske modele za določitev prometne obtežbe. Pri elementih primarne nosilne konstrukcije smo uporabili dva računska modela. Prvi je predstavljal glavni palični nosilec, drugi pa je bil za izračun notranjih sil v vetrni vezi in dodatnih obremenitev v spodnjem pasu glavnega paličnega nosilca zaradi vpliva vetra. Pri sekundarni nosilni konstrukciji pa je vsak element potreboval svoj računski model. Računanje smo izvedli s pomočjo programa Scia Engineer 2012 (student version).

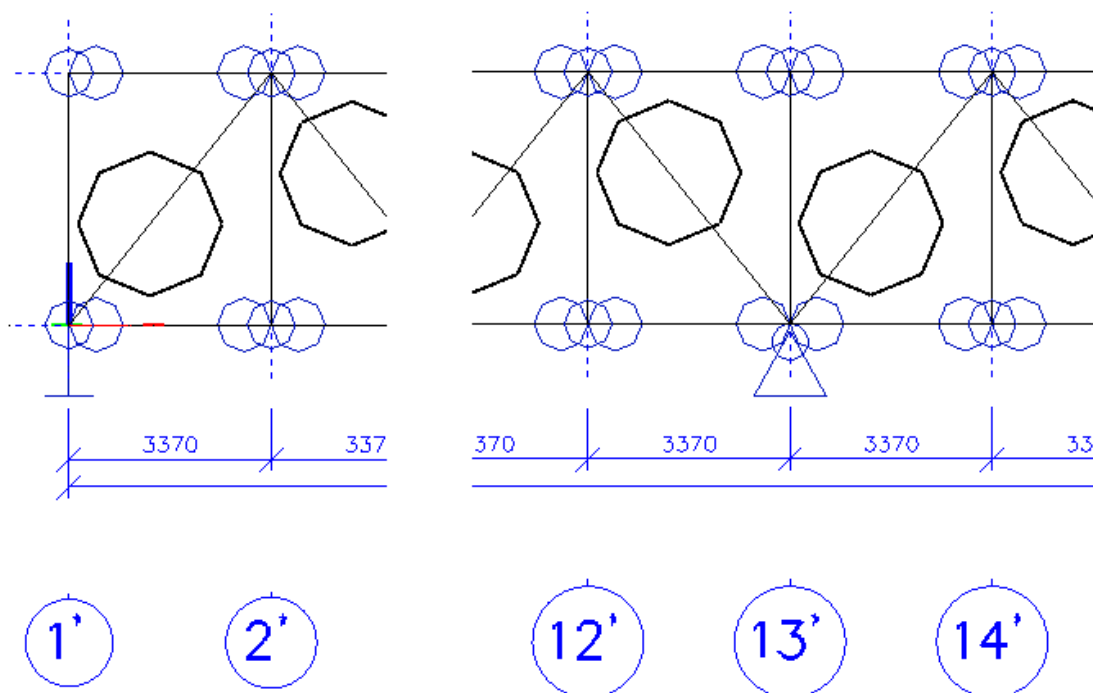
4.1.1 Glavni palični nosilec

Statična zasnova glavnega paličnega nosilca je Gerberjev nosilec, prikazan na Sl. 24.



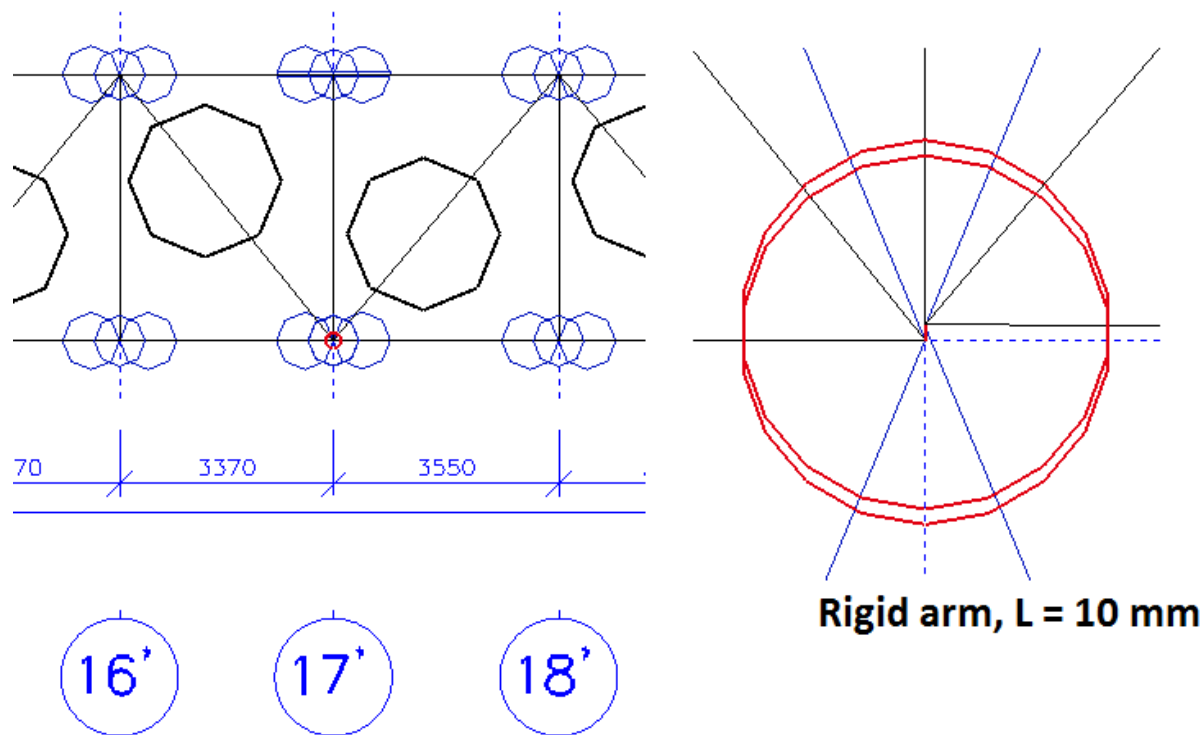
Sl. 24: Statična zasnova glavnega paličnega nosilca

Konstrukcija je podprta na robovih s pomično členkasto podporo in pred srednjim poljem z nepomično členkasto podporo (Sl. 25).



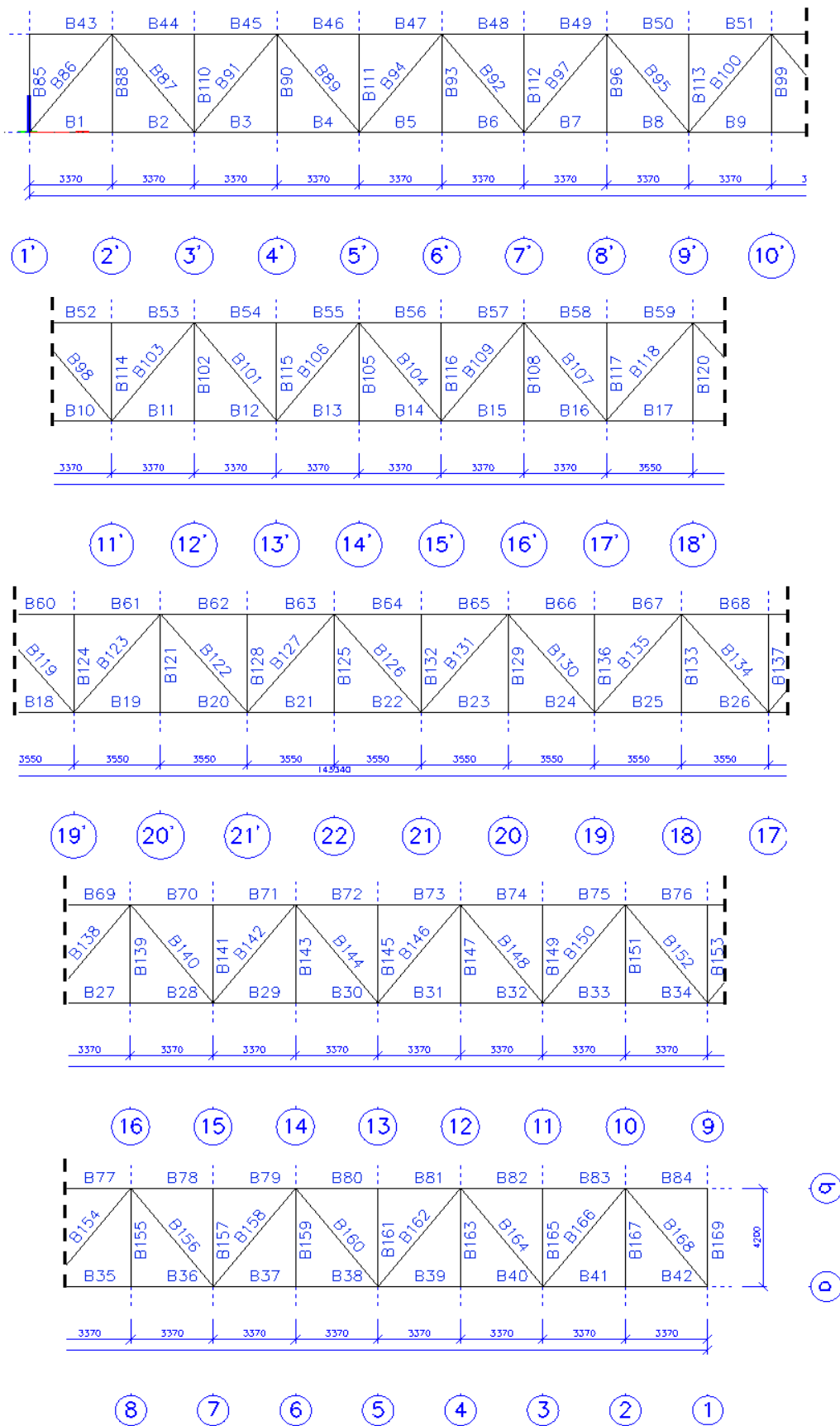
Sl. 25: Robna (levo) in vmesna (desno) podpora

Srednje polje je ločeno s členkoma, pri tem pa je členek na črnuški strani še pomičen v vodoravni smeri (vzdolžna smer mostu). Pomičen členek smo zagotovili s pomočjo toge vezi (Rigid arm) in ga v konstrukcijo umestili, tako da dovoljuje vodoravne pomike (Sl. 26). Dolžina toge vezi znaša 10 mm, zato da čim manj vplivamo na geometrijo konstrukcije.



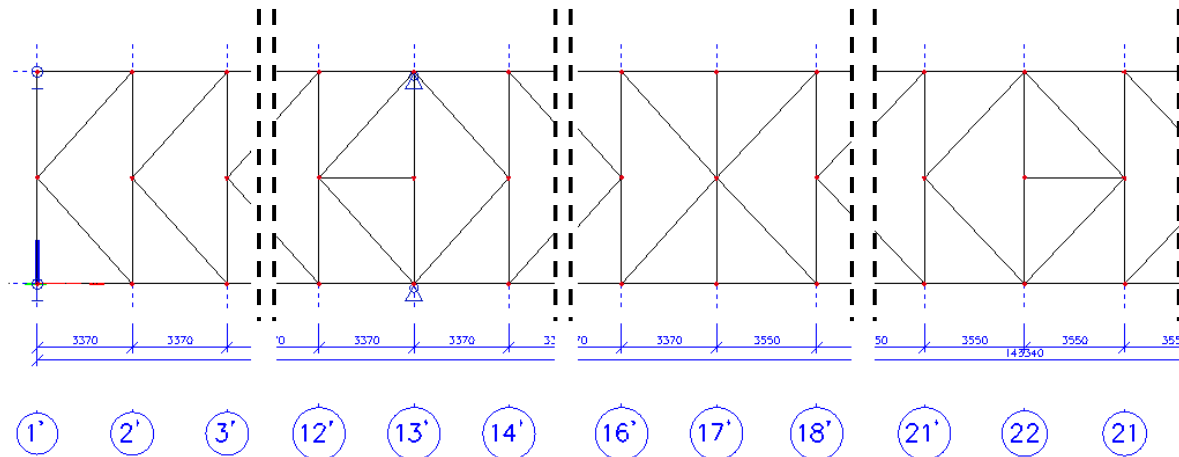
Sl. 26: Pomični členek na črnuški strani

Vsak element zgornjega in spodnjega pasu je imel na začetku in koncu predpisan členek, ki je dovoljeval zasuke okoli lokalne os y . Diagonale pa smo določili kot končne elemente, ki so sposobni prenašati samo osno silo.



Sl. 27: Model glavnega paličnega nosilca v programu Scia Engineer

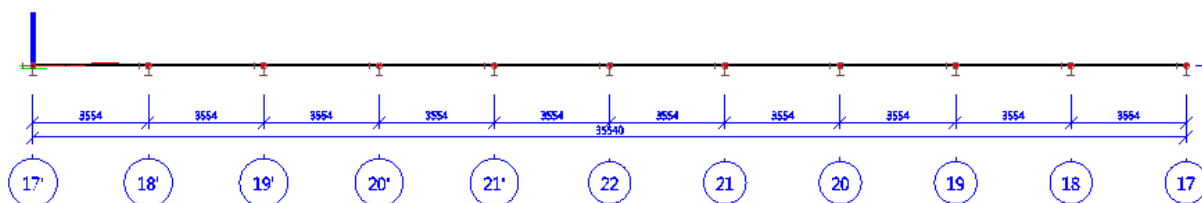
Za določitev notranjih statičnih količin v vetrni vezi in dodatnih obremenitev v spodnjem pasu, zaradi vpliva vetra, je računski model sestavljen iz spodnjih pasov obeh glavnih paličnih nosilcev, ki sta med seboj povezana s spodnjim pasom prečnikov in vetrnimi vezmi (Sl. 28). Konstrukcija je podprta z robnima, pomičnima in vmesnima, nepomičnima členkastima podporama (podprta sta oba pasova).



Sl. 28: Računski model spodnjega prereza mostu (model je simetričen)

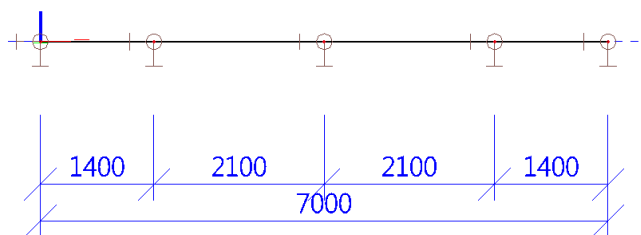
4.1.2 Sekundarna nosilna konstrukcija

- **Vzdolžnik vozišča** je kontinuiran nosilec preko desetih polj (Sl. 29). Podprt je s pomičnimi členkastimi podporami, z izjemo prve, ki je nepomična. Razpon enega polja znaša 3,55 m. Ta nosilec se nahaja na sredini Gerberjevega nosilca, od osi 17' do osi 17 (vzdolžniki so dilatirani v teh oseh). Med tema dvema osema je razpon polja največji, zato je vpliv obtežbe najbolj neugoden.



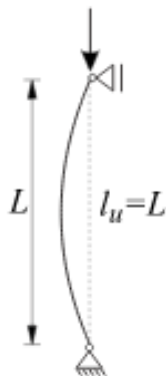
Sl. 29: Računski model vzdolžnika vozišča

- **Prečnik vozišča** je kontinuiran nosilec preko štirih polj (Sl. 30). Podprt je tako kot vzdolžnik vozišča. Razpon obeh robnih polj je 1,4 m, obeh vmesnih polj pa 2,1 m.



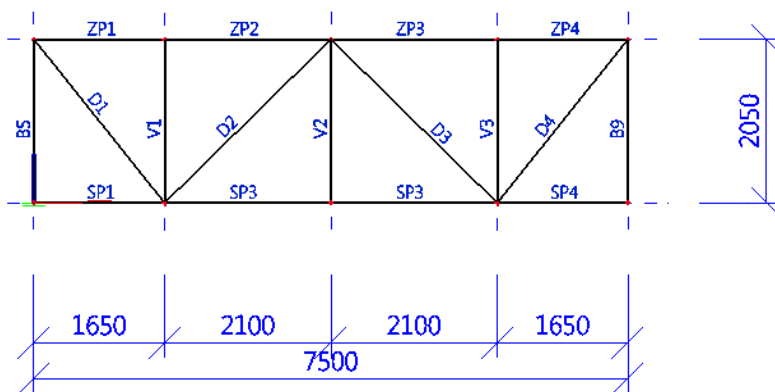
Sl. 30: Računski model prečnika vozišča

- **Vertikala prečnika** je tlačena palica (Sl. 31), ki je spodaj podprta z nepomično, zgoraj pa s pomično členkasto podporo. Višina vertikale znaša 1,5 m.



Sl. 31: Računski model vertikalne prečnika

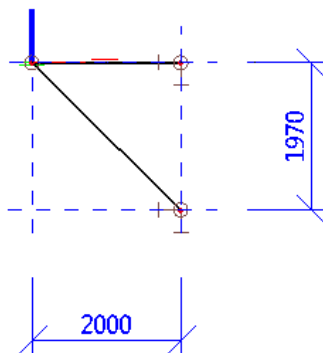
- **Palični prečnik** je enostavno paličje (Sl. 32). Računski model je v osnovi enak kot za glavni palični nosilec z izjemo, da je statična zasnova prostoležeči nosilec.



Sl. 32: Računski model paličnega prečnika

4.1.3 Elementi hodnika

- **Robni in vmesni vzdolžnik hodnika** je kontinuiran nosilec preko desetih polj. Računski model je enak kot pri vzdolžniku vozišča (Sl. 29).
- **Konzola hodnika** je sestavljena iz zgornjega pasu in diagonale (Sl. 33). Oba sta podprta na mestu, kjer sta pritrjena na vertikalo glavnega paličnega nosilca.

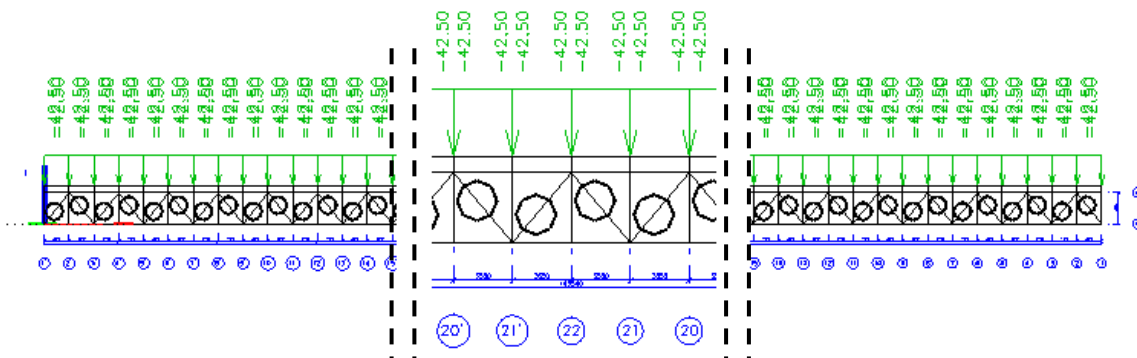


Sl. 33: Računski model konzole hodnika

4.2 Obtežba

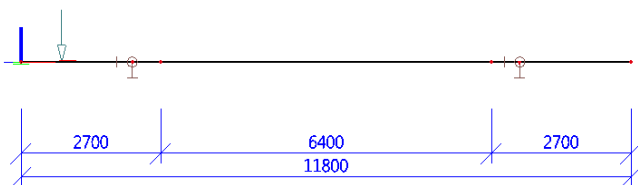
4.2.1 Glavni palični nosilec

- **Stalna in lastna obtežba** je na glavni palični nosilec podana kot linijska obtežba. Ker je konstrukcijski sistem paličje, dodamo računskemu modelu elemente »raznosa«, ki v resnici ne obstajajo in jih zato ne preverjamo, lahko pa jih obtežimo z linijsko obtežbo, le ta pa se na glavni palični nosilec prenaša kot točkovna sila v vozliščih (Sl. 34).

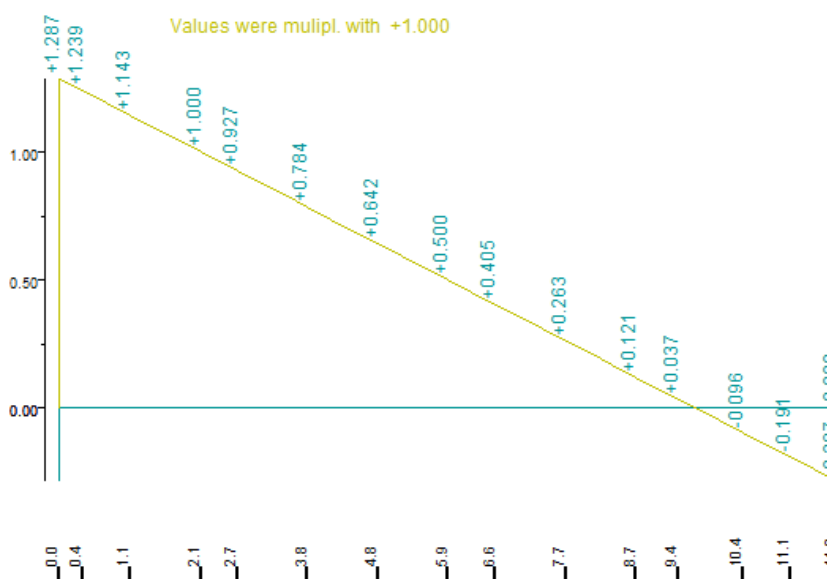


Sl. 34: Lastna in stalna obtežba glavnega paličnega nosilca

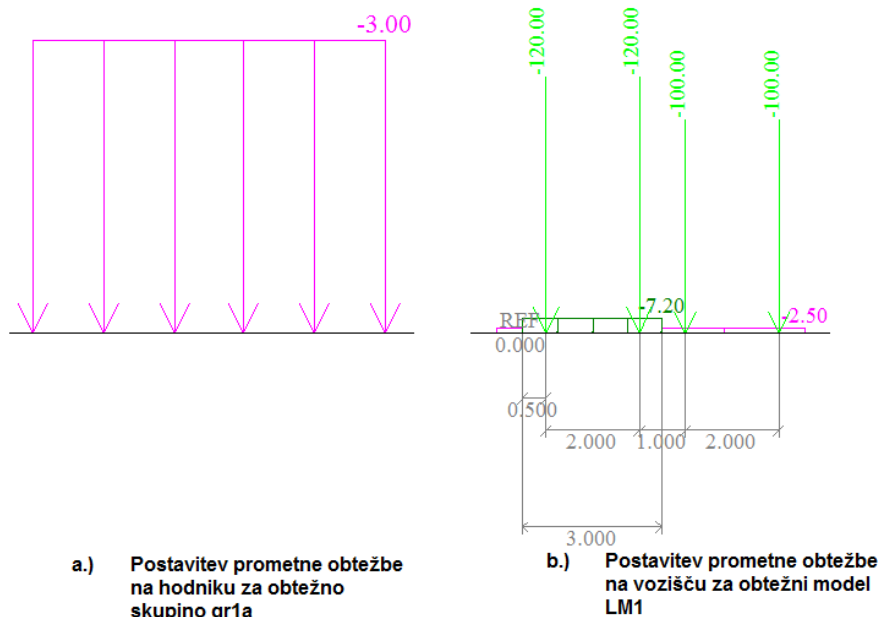
- **Prometna obtežba** je za vsako obtežno skupino podana posebej. Najprej je potrebno s pomočjo vplivnic določiti najbolj neugoden položaj voznih pasov glede na prečni presek mostu (Sl. 35, Sl. 36 in Sl. 38).



Sl. 35: Računski model za izračun najbolj neugodne lege voznih pasov

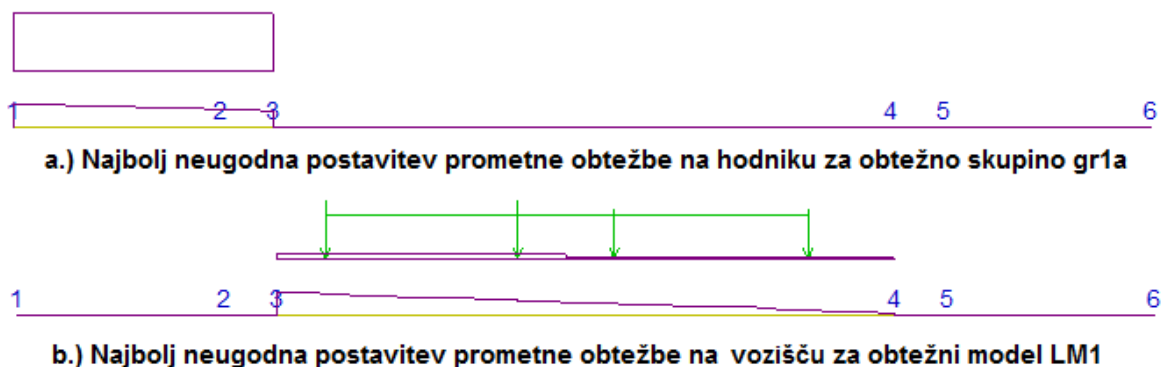


Sl. 36: Vplivnica za reakcijo v levi podpori



Sl. 37: Postavitev prometne obtežbe prečno na most

Za vsako postavitev (Sl. 37) smo določili največjo reakcijo v levi podpori (ker je konstrukcija simetrična, je dovolj, da smo izračunali reakcije samo v eni podpori), ki nam je predstavljala prometno obtežbo na glavni palični nosilec. Za primer b.) določimo reakcijo ločeno za linijsko in točkovno obtežbo.



Sl. 38: Najbolj neugodna postavitev prometne obtežbe

Pr. 20: Največja reakcija zaradi prometne obtežbe

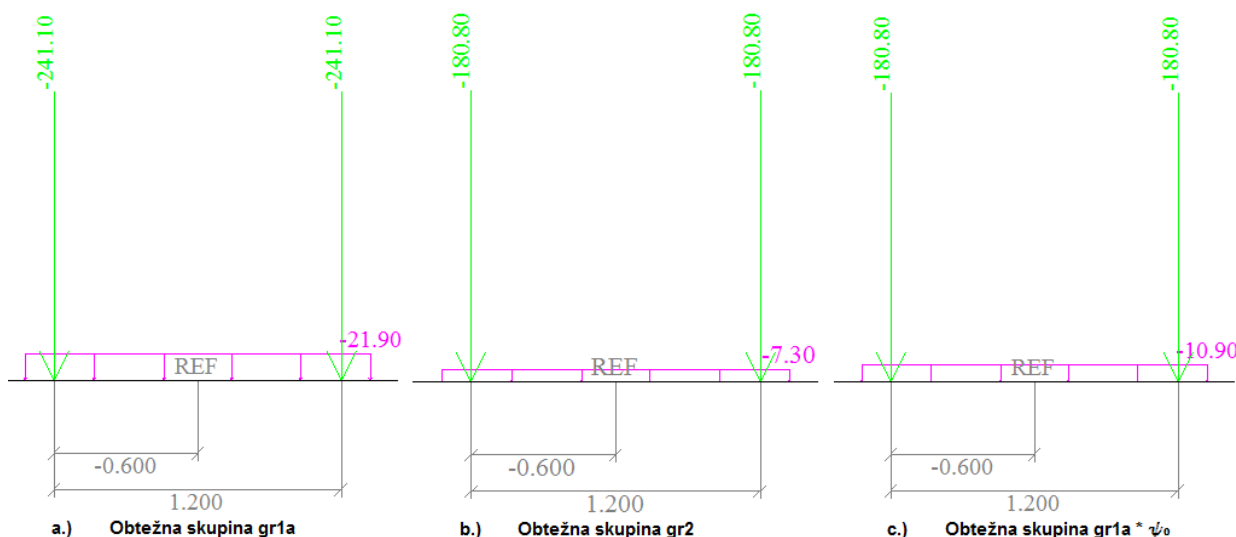
Postavitev prometne obtežbe	Reakcija zaradi linijske obtežbe [kN/m]	Reakcija zaradi točkovne obtežbe [kN]
gr1a (hodnik)	9,0	/
LM 1	18,3	241,1

Vzdolžno smo glavni palični nosilec obremenili z linijsko in točkovno obtežbo (Sl. 39), zato smo zopet obtežbo postavili na elemente »raznosa«. Za najbolj stvarno obnašanje konstrukcije smo morali zagotoviti pravi prenos prometne obtežbe iz elementov »raznosa« v vozišča zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca. Elementi

»raznosa« ne smejo imeti prevelike togosti (izbran prerez 2 x L 100 / 75 /12), saj bi se obtežba drugače preveč enakomerno razporedila še na sosednja vozlišča.

Pr. 21: Izračun prometne obtežbe na glavni palični nosilec

Obtežna skupina	Prometna obtežba na glavni palični nosilec		
gr1a	UDL [kN/m]	$18,3 + 0,4 * 9,0 =$	21,9
	TS [kN]	$241,1 * 1 =$	241,1
gr2	UDL [kN/m]	$18,3 * 0,4 =$	7,3
	TS [kN]	$241,1 * 0,75 =$	180,8
gr1a * ψ_0	UDL [kN/m]	$0,4 * (18,3 + 9) =$	10,9
	TS [kN]	$241,1 * 0,75 =$	180,8



Sl. 39: Postavitev prometne obtežbe na glavni palični nosilec

Določanje vplivnic za vsak element posebej bi bilo preveč zamudno, zato program Scia Engineer določi obtežna primera, s katerima izračunamo največje in najmanjše osne sile v elementih glavnega paličnega sistema.

K prometni obtežbi spadajo tudi vodoravne sile zaviranja in pospeševanja, ki se preko zavornih vezi prenašajo direktno iz AB voziščne plošče na zgornji pas glavnega paličnega nosilca. Konstrukcijo smo obremenili na mestih zavornih vezi (v oseh 3', 7', 11', 15', 19', 22, 19, 15, 11, 7, 3), vrednost pa določili s spodnjimi enačbami (Sl. 40):

$$F(Q_{lk1}) = \frac{Q_{lk1}}{2 * L_1} * l_{d1} = \frac{\pm 404,5 \text{ kN}}{2 * 53,92 \text{ m}} * 13,48 \text{ m} = \pm 50,6 \text{ kN}$$

$$F(Q_{lk2,1}) = \frac{Q_{lk2}}{2 * L_2} * l_{d2} = \frac{\pm 481,2 \text{ kN}}{2 * 89,46 \text{ m}} * 12,03 \text{ m} = \pm 32,4 \text{ kN}$$

$$F(Q_{lk2,2}) = \frac{Q_{lk2}}{2 * L_2} * l_{d1} = \frac{\pm 481,2 \text{ kN}}{2 * 89,46 \text{ m}} * 13,48 \text{ m} = \pm 36,3 \text{ kN}$$

kjer so:

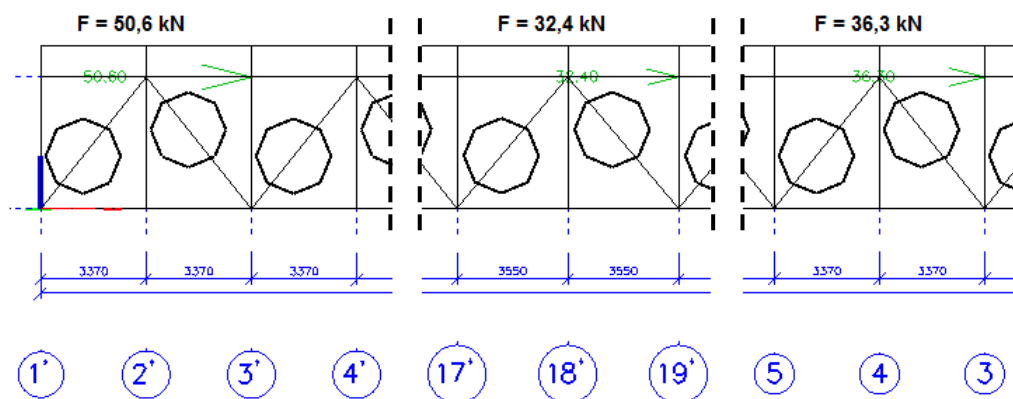
$F (Q_{Ik})$ vodoravna sila zaviranja, ki deluje na eno zavorno vez

L_1 dolžina nepomičnega dela mostu s črnuške strani

L_2 dolžina nepomičnega dela mostu z ljubljanske strani

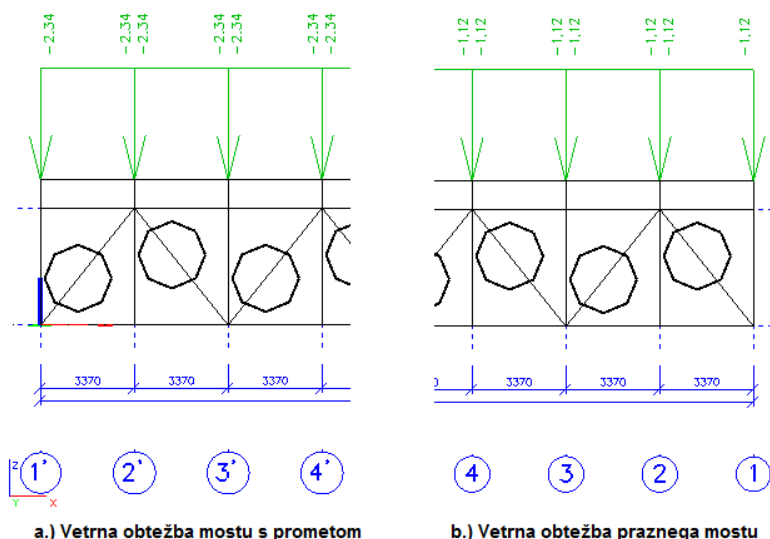
l_{d1} razdalja med zavornimi vezmi na območju od osi 1' do 17' in od 17 do 1

l_{d2} razdalja med zavornimi vezmi na območju od osi 18' do 18



Sl. 40: Vodoravne sile zaviranja in pospeševanja

- **Vetrna obtežba** ima vpliv v vodoravni in navpični (Sl. 41) smeri. S slednjim smo konstrukcijo obremenili zopet preko elementov »raznosa«, z vplivom v vodoravni smeri pa smo obremenili spodnja pasova (Sl. 42). Veter deluje v pozitivni in negativni smeri.



Sl. 41: Vertikalni vpliv vetrne obtežbe (konstanten po celotni dolžini mostu in deluje v obeh smereh)

Vertikalni vpliv smo izračunali na sledeč način:

$$w_{promet} = \frac{q_{w,promet} * r_{promet}}{b} = \frac{\pm 5,4 \frac{kN}{m} * \frac{(4 m + 2,5 m)}{2}}{7,5 m} = \pm 2,3 \frac{kN}{m}$$

$$w_{prazen} = \frac{q_{w,prazen} * r_{prazen}}{b} = \frac{\pm 3,3 \frac{kN}{m} * \frac{(4 m + 1,1 m)}{2}}{7,5 m} = \pm 1,1 \frac{kN}{m}$$

kjer so:

w_{promet} vertikalni vpliv vetrne obtežbe na most s prometom

w_{prazen} vertikalni vpliv vetrne obtežbe na prazen most

$q_{w,promet}$ vetrna obtežba na most s prometom

$q_{w,prazen}$ vetrna obtežba na prazen most

r_{promet} ročica delovanja vetrne obtežbe na most s prometom

r_{prazen} ročica delovanja vetrne obtežbe na prazen most

b razpon med glavnima paličnima nosilcema

Vodoravni vpliv vetra smo podali s točkovnimi silami v vozlišča enega izmed spodnjih pasov (Sl. 42). V osi 1' in 1 znaša točkovna sila:

$$F_{w,promet} = q_{w,promet} * l_v = \pm 5,4 \frac{kN}{m} * \frac{3,37 m}{2} = \pm 9,1 kN$$

$$F_{w,prazen} = q_{w,prazen} * l_v = \pm 3,3 \frac{kN}{m} * \frac{3,37 m}{2} = \pm 5,6 kN$$

V oseh od 2' do 16' in od 16 do 2 znaša točkovna sila:

$$F_{w,promet} = q_{w,promet} * l_v = \pm 5,4 \frac{kN}{m} * 3,37 m = \pm 18,2 kN$$

$$F_{w,prazen} = q_{w,prazen} * l_v = \pm 3,3 \frac{kN}{m} * 3,37 m = \pm 11,1 kN$$

V osi 17' in 17 znaša točkovna sila:

$$F_{w,promet} = q_{w,promet} * l_v = \pm 5,4 \frac{kN}{m} * \frac{3,37 m + 3,55 m}{2} = \pm 18,7 kN$$

$$F_{w,prazen} = q_{w,prazen} * l_v = \pm 3,3 \frac{kN}{m} * \frac{3,37 m + 3,55 m}{2} = \pm 11,4 kN$$

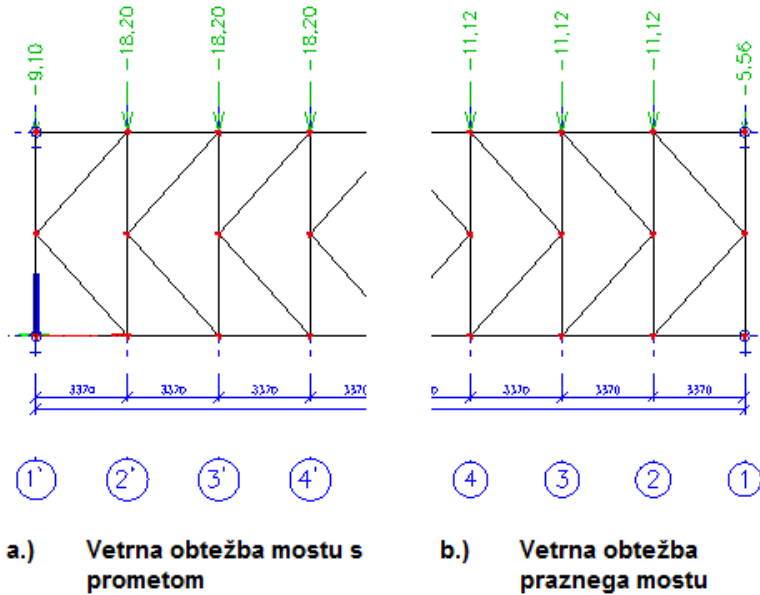
V oseh od 18' do 18 znaša točkovna sila:

$$F_{w,promet} = q_{w,promet} * l_v = \pm 5,4 \frac{kN}{m} * 3,55 m = \pm 19,2 kN$$

$$F_{w,prazen} = q_{w,prazen} * l_v = \pm 3,3 \frac{kN}{m} * 3,55 m = \pm 11,7 kN$$

kjer je:

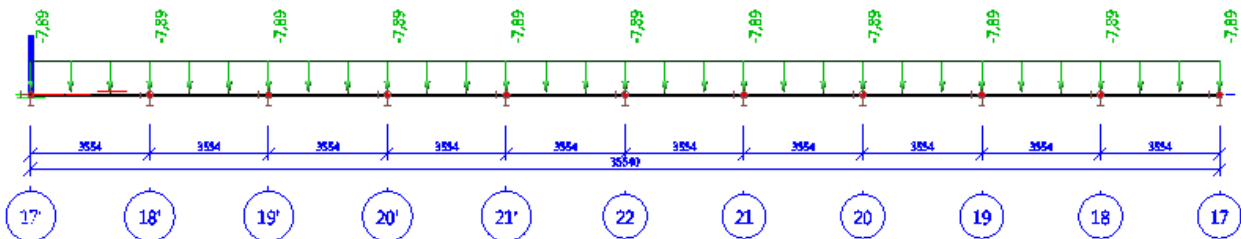
l_v dolžina vplivnega območja



Sl. 42: Vodoravna vetрна obtežba mostu (deluje v obeh smereh)

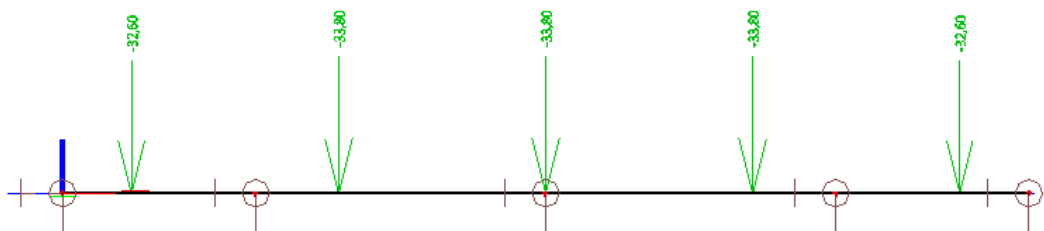
4.2.2 Sekundarna nosilna konstrukcija

- **Stalna in lastna obtežba** je za vzdolžnike vozišča podana kot linijska obtežba (Sl. 43). Velikost obremenitve smo dobili tako, da smo prostorninsko težo vozišča pomnožili s širino vplivnega območja, ki pripada vzdolžniku (robnim vzdolžnikom pripada manj, vendar nosijo hkrati še robnik).

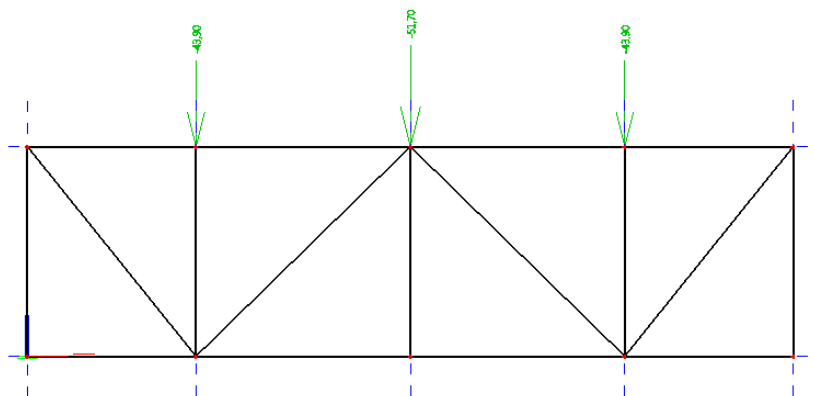


Sl. 43: Postavitev stalne in lastne obtežbe na vzdolžnike

Obtežba se potem na mestu podpor prenaša na prečnik vozišča (Sl. 44) in naprej na vertikale ter palični prečnik (Sl. 45).

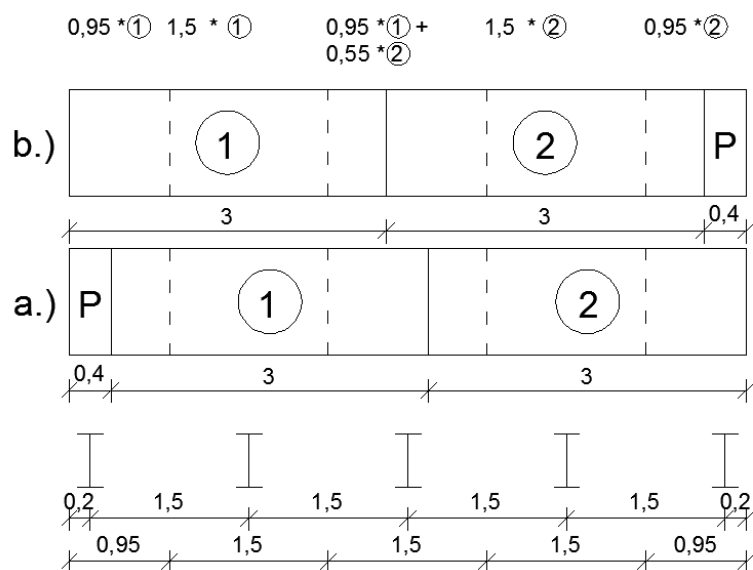


Sl. 44: Postavitev stalne in lastne obtežbe na prečnik vozišča



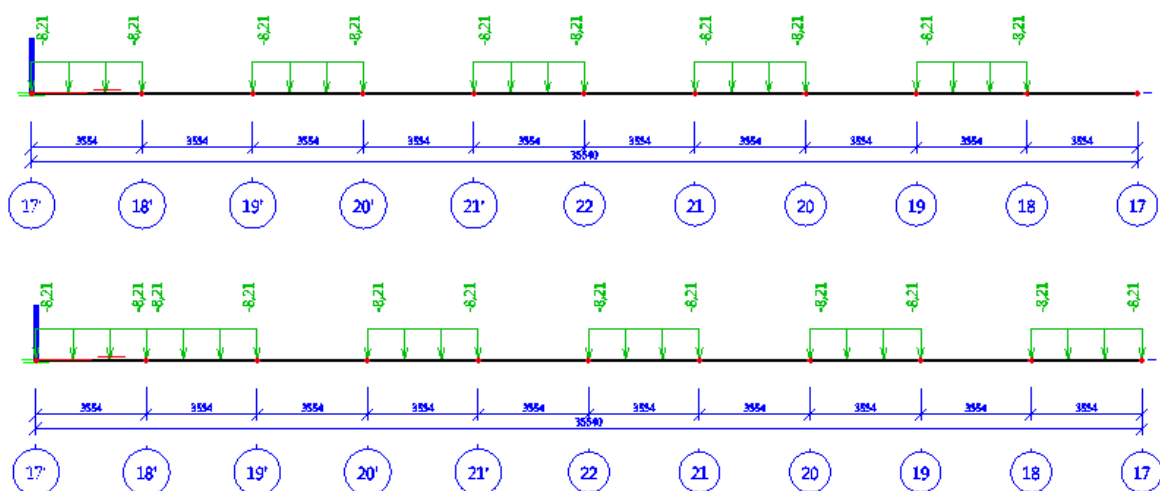
Sl. 45: Postavitev stalne in lastne obtežbe na palični prečnik

- Prometna obtežba** je zaradi goste postavitve vzdolžnikov in prečnikov (mreža 3,554m x 1,5 m) podana malo drugače. V tem primeru nismo uporabili razporeditve vozniških pasov s pomočjo vplivnic, ampak smo predpostavili, da je obtežba »nepomična« in določili obremenitve na posamezne elemente lokalno. Vsak element prevzame nase obtežbo, ki se nahaja na njegovem vplivnem območju (Sl. 46). Za najbolj neugoden vpliv prometne obtežbe smo uporabili metodo šahovnice za linijsko obtežbo, točkovno obtežbo pa smo postavili v prvem primeru simetrično glede na sredino elementa, v drugem z eno osjo točno na sredino elementa in v tretjem primeru z eno osjo direktno nad podporo (Sl. 47 in Sl. 48).

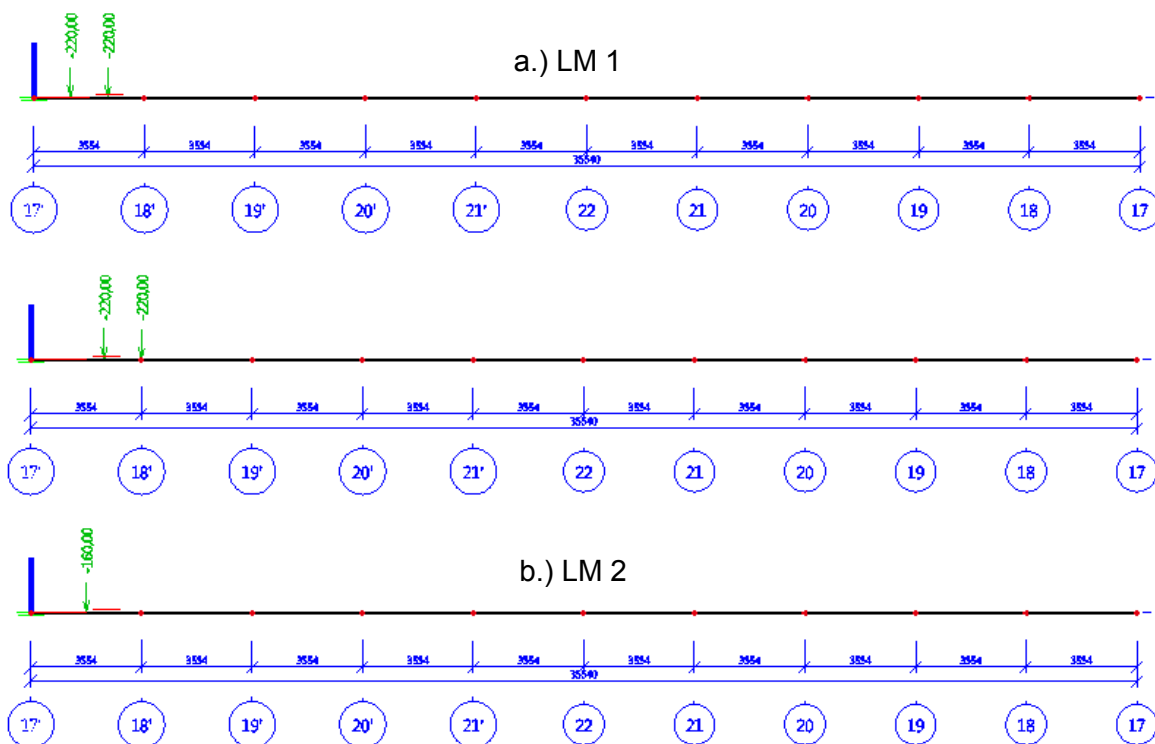


Sl. 46: Določanje obtežbe, ki "pade" na vplivno območje enega vzdolžnika

Na Sl. 46 a.) in b.) prikazujeta možno razporeditev vozniških pasov (med seboj so ločeni s polno črto), pri čemer oznake v krogih in *P* pomenijo 1., 2. ali preostali vozni pas. Pod voziščem je izrisana še postavitve vzdolžnikov. S črtkano črto označeno vplivno območje, ki ga dobi en vzdolžnik. Linijsko obtežbo za vsak vzdolžnik smo dobili tako, da smo širino vplivnega območja pomnožili z obtežbo pasu, ki se nahaja na tem območju (zapisano nad voziščem). Ker je postavitve vozniških pasov simetrična, smo uporabili najbolj neugodno vrednost za vsak vzdolžnik.



Sl. 47: Različna postavitev linijske prometne obtežbe

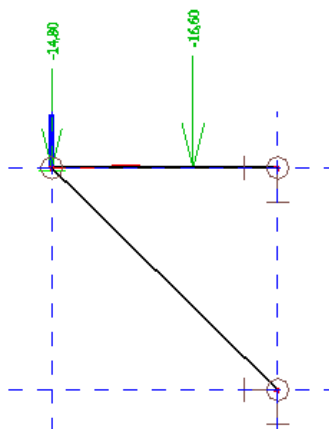


Sl. 48: Različna postavitev točkovne prometne obtežbe

Na naslednje elemente, prečnik, vertikale in palični prečnik, se prometna obtežba prenaša enako, kot se je stalna in lastna obtežba.

4.2.3 Elementi hodnika

- **Lastna in stalna obtežba** je podana enako kot pri sekundarni nosilni konstrukciji (Sl. 43). Na konzolo se prenaša na mestih stikovanja z vzdolžniki (Sl. 49).



Sl. 49: Postavitev stalne in lastne obtežbe na konzolo hodnika

- **Prometna obtežba** je določena in podana enako kot pri sekundarni nosilni konstrukciji in se iz vzdolžnikov na konzolo prenaša tako kot lastna in stalna obtežba.

4.3 Notranjih statične količine v elementih nosilne konstrukcije

Kjer je to smiselno so notranje statične količine prikazane s pomočjo grafov, drugače so tabelirane. Prikazane so za vse elemente glavnega paličnega nosilca (grafi so v *PRILOGA B*) in samo za najbolj obremenjene elemente sekundarne nosilne konstrukcije, saj se pri slednjih geometrijske karakteristike ne spreminjajo.

4.3.1 Glavni palični nosilec

- **Spodnji pas** se pri vertikalnih obtežbah obnaša kot spodnji rob nosilca, kar pomeni, da je nad podporo v tlaku, v polju pa v nategu. Notranje sile so prikazane v *Pr. 22* in *Pr. 23*.

Pr. 22: Osne sile v spodnjem pasu zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra

Element		G (L+S)	Q (W _{promet})		Q (W _{prazen})	
		N [kN]	N ₋ [kN]	N ₊ [kN]	N ₋ [kN]	N ₊ [kN]
S(1-2)	B1	365,8	20,1	-20,1	9,6	-9,6
S(1-2)	B2	365,8	20,1	-20,1	9,6	-9,6
S(3-4)	B3	726,1	40,0	-40,0	19,1	-19,1
S(3-4)	B4	726,1	40,0	-40,0	19,1	-19,1
S(5-6)	B5	628,9	34,6	-34,6	16,6	-16,6
S(5-6)	B6	628,9	34,6	-34,6	16,6	-16,6
S(7-8)	B7	72,1	4,0	-4,0	1,9	-1,9
S(7-8)	B8	72,1	4,0	-4,0	1,9	-1,9
S(9-10)	B9	-944,3	-52,0	52,0	-24,9	24,9
S(9-10)	B10	-944,3	-52,0	52,0	-24,9	24,9
S(11-12)	B11	-2420,5	-133,3	133,3	-63,8	63,8
S(11-12)	B12	-2420,5	-133,3	133,3	-63,8	63,8
S(13-14)	B13	-2309,4	-127,2	127,2	-60,9	60,9
S(13-14)	B14	-2309,4	-127,2	127,2	-60,9	60,9
S(15-16)	B15	-636,8	-35,1	35,1	-16,8	16,8
S(15-16)	B16	-636,8	-35,1	35,1	-16,8	16,8

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 22

S(17-18)	B17	601,1	33,1	-33,1	15,8	-15,8
S(17-18)	B18	601,1	33,1	-33,1	15,8	-15,8
S(19-20)	B19	1363,6	75,1	-75,1	35,9	-35,9
S(19-20)	B20	1363,6	75,1	-75,1	35,9	-35,9
S(21)	B21	1618,5	89,1	-89,1	42,7	-42,7
S(21)	B22	1618,5	89,1	-89,1	42,7	-42,7
S(19-20)	B23	1363,7	75,1	-75,1	35,9	-35,9
S(19-20)	B24	1363,7	75,1	-75,1	35,9	-35,9
S(17-18)	B25	601,1	33,1	-33,1	15,8	-15,8
S(17-18)	B26	601,1	33,1	-33,1	15,8	-15,8
S(15-16)	B27	-636,8	-35,1	35,1	-16,8	16,8
S(15-16)	B28	-636,8	-35,1	35,1	-16,8	16,8
S(13-14)	B29	-2309,4	-127,2	127,2	-60,9	60,9
S(13-14)	B30	-2309,4	-127,2	127,2	-60,9	60,9
S(11-12)	B31	-2420,5	-133,3	133,3	-63,8	63,8
S(11-12)	B32	-2420,5	-133,3	133,3	-63,8	63,8
S(9-10)	B33	-944,3	-52,0	52,0	-24,9	24,9
S(9-10)	B34	-944,3	-52,0	52,0	-24,9	24,9
S(7-8)	B35	72,1	4,0	-4,0	1,9	-1,9
S(7-8)	B36	72,1	4,0	-4,0	1,9	-1,9
S(5-6)	B37	628,9	34,6	-34,6	16,6	-16,6
S(5-6)	B38	628,9	34,6	-34,6	16,6	-16,6
S(3-4)	B39	726,1	40,0	-40,0	19,1	-19,1
S(3-4)	B40	726,1	40,0	-40,0	19,1	-19,1
S(1-2)	B41	365,8	20,1	-20,1	9,6	-9,6
S(1-2)	B42	365,8	20,1	-20,1	9,6	-9,6

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

Pr. 23: Osne sile v spodnjem pasu zaradi vpliva prometne obtežbe

Element	Q (gr1a)		Q (Ψ_0 * gr1a)		Q (gr2)		Q (zavorne sile)		
	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_+ [kN]	N_- [kN]	
S(1-2)	B1	-270,2	700,0	-166,5	441,2	-142,9	386,6	-13,8	13,8
S(1-2)	B2	-270,2	700,0	-166,5	441,2	-142,9	386,6	-13,8	13,8
S(3-4)	B3	-810,7	1673,8	-499,4	1052,3	-428,7	920,1	-41,4	41,4
S(3-4)	B4	-810,7	1673,8	-499,4	1052,3	-428,7	920,1	-41,4	41,4
S(5-6)	B5	-1351,1	2160,3	-832,3	1357,5	-714,4	1186,3	-69,0	69,0
S(5-6)	B6	-1351,1	2160,3	-832,3	1357,5	-714,4	1186,3	-69,0	69,0
S(7-8)	B7	-1891,6	2160,4	-1165,3	1357,5	-1000,2	1186,3	-96,5	96,5
S(7-8)	B8	-1891,6	2160,4	-1165,3	1357,5	-1000,2	1186,3	-96,5	96,5
S(9-10)	B9	-2432,1	1673,8	-1498,3	1052,3	-1286,0	920,1	-124,1	124,1
S(9-10)	B10	-2432,1	1673,8	-1498,3	1052,3	-1286,0	920,1	-124,1	124,1
S(11-12)	B11	-2973,2	701,1	-1831,5	442,2	-1572,1	387,8	-151,7	151,7
S(11-12)	B12	-2973,2	701,1	-1831,5	442,2	-1572,1	387,8	-151,7	151,7
S(13-14)	B13	-2337,7	30,8	-1452,1	22,2	-1255,9	21,7	25,4	-25,4
S(13-14)	B14	-2337,7	30,8	-1452,1	22,2	-1255,9	21,7	25,4	-25,4
S(15-16)	B15	-714,6	27,2	-452,4	19,7	-397,9	19,2	6,9	-6,9
S(15-16)	B16	-714,6	27,2	-452,4	19,7	-397,9	19,2	6,9	-6,9
S(17-18)	B17	-5,3	693,9	-3,6	441,9	-3,4	390,7	-12,0	12,0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 23

S(17-18)	B18	-5,3	693,9	-3,6	441,9	-3,4	390,7	-12,0	12,0
S(19-20)	B19	-5,3	1564,0	-3,6	995,3	-3,4	879,6	-31,5	31,5
S(19-20)	B20	-5,3	1564,0	-3,6	995,3	-3,4	879,6	-31,5	31,5
S(21)	B21	-5,3	1853,7	-3,6	1179,4	-3,4	1042,1	-50,9	50,9
S(21)	B22	-5,3	1853,7	-3,6	1179,4	-3,4	1042,1	-50,9	50,9
S(19-20)	B23	-5,3	1564,0	-3,6	995,3	-3,4	879,6	-70,4	70,4
S(19-20)	B24	-5,3	1564,0	-3,6	995,3	-3,4	879,6	-70,4	70,4
S(17-18)	B25	-5,3	693,9	-3,6	441,9	-3,4	390,7	-89,8	89,8
S(17-18)	B26	-5,3	693,9	-3,6	441,9	-3,4	390,7	-89,8	89,8
S(15-16)	B27	-714,7	27,2	-452,4	19,6	-398,0	19,2	-108,7	108,7
S(15-16)	B28	-714,7	27,2	-452,4	19,6	-398,0	19,2	-108,7	108,7
S(13-14)	B29	-2337,7	30,8	-1452,1	22,2	-1255,9	21,7	-127,2	127,2
S(13-14)	B30	-2337,7	30,8	-1452,1	22,2	-1255,9	21,7	-127,2	127,2
S(11-12)	B31	-2973,2	701,1	-1831,5	442,2	-1572,1	387,8	99,3	-99,3
S(11-12)	B32	-2973,2	701,1	-1831,5	442,2	-1572,1	387,8	99,3	-99,3
S(9-10)	B33	-2432,1	1673,8	-1498,3	1052,3	-1286,0	920,1	81,2	-81,2
S(9-10)	B34	-2432,1	1673,8	-1498,3	1052,3	-1286,0	920,1	81,2	-81,2
S(7-8)	B35	-1891,6	2160,4	-1165,3	1357,5	-1000,2	1186,3	63,2	-63,2
S(7-8)	B36	-1891,6	2160,4	-1165,3	1357,5	-1000,2	1186,3	63,2	-63,2
S(5-6)	B37	-1351,1	2160,3	-832,3	1357,5	-714,4	1186,3	45,1	-45,1
S(5-6)	B38	-1351,1	2160,3	-832,3	1357,5	-714,4	1186,3	45,1	-45,1
S(3-4)	B39	-810,7	1673,8	-499,4	1052,3	-428,7	920,1	27,1	-27,1
S(3-4)	B40	-810,7	1673,8	-499,4	1052,3	-428,7	920,1	27,1	-27,1
S(1-2)	B41	-270,2	700,0	-166,5	441,2	-142,9	386,6	9,0	-9,0
S(1-2)	B42	-270,2	700,0	-166,5	441,2	-142,9	386,6	9,0	-9,0

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

- **Zgornji pas** se pri vertikalnih obtežbah obnaša kot zgornji rob nosilca, kar pomeni, da je nad podporo v nategu, v polju pa v tlaku. Notranje sile so prikazane v Pr. 24 in Pr. 25.

Pr. 24: Osne sile v zgornjem pasu zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra

Element		G (L+S)	Q (W _{promet})		Q (W _{prazen})	
		N [kN]	N ₋ [kN]	N ₊ [kN]	N ₋ [kN]	N ₊ [kN]
Z(1-3)	B43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(1-3)	B44	-601,3	-33,1	33,1	-15,9	15,9
Z(1-3)	B45	-601,3	-33,1	33,1	-15,9	15,9
Z(4-5)	B46	-734,7	-40,5	40,5	-19,4	19,4
Z(4-5)	B47	-734,7	-40,5	40,5	-19,4	19,4
Z(6-7)	B48	-407,8	-22,5	22,5	-10,8	10,8
Z(6-7)	B49	-407,8	-22,5	22,5	-10,8	10,8
Z(8-9)	B50	378,8	20,9	-20,9	10,0	-10,0
Z(8-9)	B51	378,8	20,9	-20,9	10,0	-10,0
Z(10-11)	B52	1625,1	89,5	-89,5	42,8	-42,8
Z(10-11)	B53	1625,1	89,5	-89,5	42,8	-42,8
Z(12-13)	B54	3330,9	183,4	-183,4	87,8	-87,8
Z(12-13)	B55	3330,9	183,4	-183,4	87,8	-87,8
Z(14-15)	B56	1431,6	78,8	-78,8	37,7	-37,7
Z(14-15)	B57	1431,6	78,8	-78,8	37,7	-37,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 24

Z(16-17)	B58	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(16-17)	B59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(18-19)	B60	-1030,0	-56,7	56,7	-27,1	27,1
Z(18-19)	B61	-1030,0	-56,7	56,7	-27,1	27,1
Z(20-21)	B62	-1540,8	-84,8	84,8	-40,6	40,6
Z(20-21)	B63	-1540,8	-84,8	84,8	-40,6	40,6
Z(20-21)	B64	-1540,8	-84,8	84,8	-40,6	40,6
Z(20-21)	B65	-1540,8	-84,8	84,8	-40,6	40,6
Z(18-19)	B66	-1030,0	-56,7	56,7	-27,1	27,1
Z(18-19)	B67	-1030,0	-56,7	56,7	-27,1	27,1
Z(16-17)	B68	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(16-17)	B69	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(14-15)	B70	1431,6	78,8	-78,8	37,7	-37,7
Z(14-15)	B71	1431,6	78,8	-78,8	37,7	-37,7
Z(12-13)	B72	3330,9	183,4	-183,4	87,8	-87,8
Z(12-13)	B73	3330,9	183,4	-183,4	87,8	-87,8
Z(10-11)	B74	1625,0	89,5	-89,5	42,8	-42,8
Z(10-11)	B75	1625,0	89,5	-89,5	42,8	-42,8
Z(8-9)	B76	378,8	20,9	-20,9	10,0	-10,0
Z(8-9)	B77	378,8	20,9	-20,9	10,0	-10,0
Z(6-7)	B78	-407,8	-22,5	22,5	-10,8	10,8
Z(6-7)	B79	-407,8	-22,5	22,5	-10,8	10,8
Z(4-5)	B80	-734,7	-40,5	40,5	-19,4	19,4
Z(4-5)	B81	-734,7	-40,5	40,5	-19,4	19,4
Z(1-3)	B82	-601,3	-33,1	33,1	-15,9	15,9
Z(1-3)	B83	-601,3	-33,1	33,1	-15,9	15,9
Z(1-3)	B84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

Pr. 25: Osne sile v zgornjem pasu zaradi vpliva prometne obtežbe

Element		Q (gr1a)		Q (Ψ_0 * gr1a)		Q (gr2)		Q (zavorne sile)	
		N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_+ [kN]	N_- [kN]
Z(1-3)	B43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(1-3)	B44	-1247,1	540,5	-784,8	332,9	-686,7	285,8	27,6	-27,6
Z(1-3)	B45	-1247,1	540,5	-784,8	332,9	-686,7	285,8	-23,0	23,0
Z(4-5)	B46	-1977,6	1080,9	-1242,8	665,9	-1086,3	571,6	4,6	-4,6
Z(4-5)	B47	-1977,6	1080,9	-1242,8	665,9	-1086,3	571,6	4,6	-4,6
Z(6-7)	B48	-2220,9	1621,4	-1395,5	998,9	-1219,4	857,4	32,2	-32,2
Z(6-7)	B49	-2220,9	1621,4	-1395,5	998,9	-1219,4	857,4	-18,5	18,5
Z(8-9)	B50	-1977,6	2161,8	-1242,9	1331,8	-1086,3	1143,1	9,1	-9,1
Z(8-9)	B51	-1977,6	2161,8	-1242,9	1331,8	-1086,3	1143,1	9,1	-9,1
Z(10-11)	B52	-1247,5	2702,2	-785,0	1664,6	-686,9	1428,9	36,7	-36,7
Z(10-11)	B53	-1247,5	2702,2	-785,0	1664,6	-686,9	1428,9	-13,9	13,9
Z(12-13)	B54	-30,6	3241,2	-22,1	1996,9	-21,6	1714,2	13,7	-13,7
Z(12-13)	B55	-30,6	3241,2	-22,1	1996,9	-21,6	1714,2	13,7	-13,7
Z(14-15)	B56	-30,4	1501,8	-22,0	939,3	-21,4	817,5	32,1	-32,1
Z(14-15)	B57	-30,4	1501,8	-22,0	939,3	-21,4	817,5	-18,5	18,5
Z(16-17)	B58	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 25

Z(16-17)	B59	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(18-19)	B60	-1186,2	0,0	-755,7	0,0	-668,4	0,0	19,4	-19,4
Z(18-19)	B61	-1186,2	0,0	-755,7	0,0	-668,4	0,0	-13,0	13,0
Z(20-21)	B62	-1763,7	0,0	-1122,4	0,0	-991,9	0,0	6,5	-6,5
Z(20-21)	B63	-1763,7	0,0	-1122,4	0,0	-991,9	0,0	6,5	-6,5
Z(20-21)	B64	-1763,7	0,0	-1122,4	0,0	-991,9	0,0	-6,5	6,5
Z(20-21)	B65	-1763,7	0,0	-1122,4	0,0	-991,9	0,0	-6,5	6,5
Z(18-19)	B66	-1186,2	0,0	-755,7	0,0	-668,4	0,0	13,0	-13,0
Z(18-19)	B67	-1186,2	0,0	-755,7	0,0	-668,4	0,0	-19,4	19,4
Z(16-17)	B68	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(16-17)	B69	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Z(14-15)	B70	-30,4	1501,8	-22,0	939,3	-21,4	817,5	18,5	-18,5
Z(14-15)	B71	-30,4	1501,8	-22,0	939,3	-21,4	817,5	-17,8	17,8
Z(12-13)	B72	-30,6	3241,2	-22,1	1996,9	-21,6	1714,2	0,6	-0,6
Z(12-13)	B73	-30,6	3241,2	-22,1	1996,9	-21,6	1714,2	0,6	-0,6
Z(10-11)	B74	-1247,5	2702,2	-785,0	1664,6	-686,9	1428,9	18,7	-18,7
Z(10-11)	B75	-1247,5	2702,2	-785,0	1664,6	-686,9	1428,9	-17,6	17,6
Z(8-9)	B76	-1977,6	2161,8	-1242,9	1331,8	-1086,3	1143,1	0,4	-0,4
Z(8-9)	B77	-1977,6	2161,8	-1242,9	1331,8	-1086,3	1143,1	0,4	-0,4
Z(6-7)	B78	-2220,9	1621,4	-1395,5	998,9	-1219,4	857,4	18,5	-18,5
Z(6-7)	B79	-2220,9	1621,4	-1395,5	998,9	-1219,4	857,4	-17,9	17,9
Z(4-5)	B80	-1977,6	1080,9	-1242,8	665,9	-1086,3	571,6	0,2	-0,2
Z(4-5)	B81	-1977,6	1080,9	-1242,8	665,9	-1086,3	571,6	0,2	-0,2
Z(1-3)	B82	-1247,1	540,5	-784,8	332,9	-686,7	285,8	18,3	-18,3
Z(1-3)	B83	-1247,1	540,5	-784,8	332,9	-686,7	285,8	-18,1	18,1
Z(1-3)	B84	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

- **Vertikale** so zaradi vertikalne obtežbe tlačene. Notranje sile so prikazane v Pr. 26 in Pr. 27.

Pr. 26: Osne sile v vertikalah zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra

Element		G (L+S)	Q (W _{promet})		Q (W _{prazen})	
		N [kN]	N ₋ [kN]	N ₊ [kN]	N ₋ [kN]	N ₊ [kN]
V1	B85	-56,5	-3,1	3,1	-1,5	1,5
V2	B88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V3	B110	-137,9	-7,6	7,6	-3,6	3,6
V4	B90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V5	B111	-142,6	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V6	B93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V7	B112	-142,8	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V8	B96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V9	B113	-142,8	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V10	B99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V11	B114	-143,0	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V12	B102	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V13	B115	-143,0	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V14	B105	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V15	B116	-138,0	-7,6	7,6	-3,6	3,6

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 26

V16	B108	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V17	B117	-115,9	-6,4	6,4	-3,1	3,1
V18	B120	-1,7	-0,1	0,1	0,0	0,0
V19	B124	-145,3	-8,0	8,0	-3,8	3,8
V20	B121	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V21	B128	-150,3	-8,3	8,3	-4,0	4,0
V22	B125	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V21	B132	-150,3	-8,3	8,3	-4,0	4,0
V20	B129	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V19	B136	-145,3	-8,0	8,0	-3,8	3,8
V18	B133	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V17	B137	-115,9	-6,4	6,4	-3,1	3,1
V16	B139	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V15	B141	-138,0	-7,6	7,6	-3,6	3,6
V14	B143	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V13	B145	-143,0	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V12	B147	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V11	B149	-143,0	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V10	B151	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V9	B153	-142,8	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V8	B155	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V7	B157	-142,8	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V6	B159	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V5	B161	-142,6	-7,9	7,9	-3,8	3,8
V4	B163	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V3	B165	-137,9	-7,6	7,6	-3,6	3,6
V2	B167	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V1	B169	-56,5	-3,1	3,1	-1,5	1,5

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

Pr. 27: Osne sile v vertikalnih zaradi vpliva prometne obtežbe

Element		Q (gr1a)		Q ($\Psi_0 * gr1a$)		Q (gr2)		Q (zavorne sile)	
		N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_+ [kN]	N_- [kN]
V1	B85	-409,5	35,5	-298,7	25,7	-293,3	25,0	0,0	0,0
V2	B88	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V3	B110	-535,6	82,3	-380,1	58,1	-366,0	55,7	0,0	0,0
V4	B90	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V5	B111	-536,4	68,0	-380,3	47,6	-366,0	45,4	0,0	0,0
V6	B93	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V7	B112	-536,6	68,0	-380,5	47,6	-366,2	45,4	0,0	0,0
V8	B96	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V9	B113	-536,6	68,0	-380,5	47,6	-366,2	45,4	0,0	0,0
V10	B99	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V11	B114	-536,8	68,0	-380,6	47,6	-366,3	45,4	0,0	0,0
V12	B102	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V13	B115	-537,0	68,0	-380,7	47,6	-366,4	45,4	0,0	0,0
V14	B105	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V15	B116	-535,8	82,3	-380,2	58,1	-366,1	55,7	0,0	0,0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 27

V16	B108	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V17	B117	-449,2	40,3	-319,8	28,2	-308,6	26,9	0,0	0,0
V18	B120	-2,0	0,0	-1,2	0,0	-1,1	0,0	0,0	0,0
V19	B124	-543,7	84,5	-385,0	59,5	-370,2	57,0	0,0	0,0
V20	B121	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V21	B128	-544,6	70,0	-385,3	48,9	-370,3	46,6	0,0	0,0
V22	B125	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V21	B132	-544,6	70,0	-385,3	48,9	-370,3	46,6	0,0	0,0
V20	B129	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V19	B136	-543,7	84,5	-385,0	59,5	-370,2	57,0	0,0	0,0
V18	B133	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V17	B137	-449,2	40,3	-319,8	28,2	-308,6	26,9	0,0	0,0
V16	B139	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V15	B141	-535,8	82,3	-380,2	58,1	-366,1	55,7	0,0	0,0
V14	B143	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V13	B145	-537,0	68,0	-380,7	47,6	-366,4	45,4	0,0	0,0
V12	B147	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V11	B149	-536,8	68,0	-380,6	47,6	-366,3	45,4	0,0	0,0
V10	B151	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V9	B153	-536,6	68,0	-380,5	47,6	-366,2	45,4	0,0	0,0
V8	B155	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V7	B157	-536,6	68,0	-380,5	47,6	-366,2	45,4	0,0	0,0
V6	B159	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V5	B161	-536,4	68,0	-380,3	47,6	-366,0	45,4	0,0	0,0
V4	B163	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V3	B165	-535,6	82,3	-380,1	58,1	-366,0	55,7	0,0	0,0
V2	B167	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V1	B169	-409,5	35,5	-298,7	25,7	-293,3	25,0	0,0	0,0

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

- **Diagonale** so postavljene v paličju tako, da so podvržene tlaku in nategu. Notranje sile so prikazane v Pr. 28 in Pr. 29.

Pr. 28: Osne sile v diagonalah zaradi lastne in stalne obtežbe ter vpliva vetra

Element		G (L+S)	Q (W _{promet})		Q (W _{prazen})	
		N [kN]	N. [kN]	N+ [kN]	N. [kN]	N+ [kN]
D1	B86	-584,5	-32,2	32,2	-15,4	15,4
D2	B87	376,2	20,7	-20,7	9,9	-9,9
D3	B91	-199,4	-11,0	11,0	-5,3	5,3
D4	B89	13,7	0,8	-0,8	0,4	-0,4
D5	B94	169,1	9,3	-9,3	4,5	-4,5
D6	B92	-353,3	-19,5	19,5	-9,3	9,3
D7	B97	536,3	29,5	-29,5	14,1	-14,1
D8	B95	-720,5	-39,7	39,7	-19,0	19,0
D9	B100	903,6	49,8	-49,8	23,8	-23,8
D10	B98	-1087,7	-59,9	59,9	-28,7	28,7
D11	B103	1271,0	70,0	-70,0	33,5	-33,5
D12	B101	-1454,8	-80,1	80,1	-38,3	38,3
D13	B106	-1610,2	-88,7	88,7	-42,4	42,4

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 28

D14	B104	1424,8	78,5	-78,5	37,6	-37,6
D15	B109	-1247,9	-68,7	68,7	-32,9	32,9
D16	B107	1039,5	57,2	-57,2	27,4	-27,4
D17	B118	-908,5	-50,0	50,0	-23,9	23,9
D18	B119	685,7	37,8	-37,8	18,1	-18,1
D19	B123	-495,5	-27,3	27,3	-13,1	13,1
D20	B122	295,8	16,3	-16,3	7,8	-7,8
D21	B127	-99,0	-5,5	5,5	-2,6	2,6
D21	B126	-99,0	-5,5	5,5	-2,6	2,6
D20	B131	295,8	16,3	-16,3	7,8	-7,8
D19	B130	-495,5	-27,3	27,3	-13,1	13,1
D18	B135	685,7	37,8	-37,8	18,1	-18,1
D17	B134	-909,8	-50,1	50,1	-24,0	24,0
D16	B138	1039,5	57,2	-57,2	27,4	-27,4
D15	B140	-1247,9	-68,7	68,7	-32,9	32,9
D14	B142	1424,8	78,5	-78,5	37,6	-37,6
D13	B144	-1610,2	-88,7	88,7	-42,4	42,4
D12	B146	-1454,8	-80,1	80,1	-38,3	38,3
D11	B148	1271,0	70,0	-70,0	33,5	-33,5
D10	B150	-1087,7	-59,9	59,9	-28,7	28,7
D9	B152	903,6	49,8	-49,8	23,8	-23,8
D8	B154	-720,5	-39,7	39,7	-19,0	19,0
D7	B156	536,3	29,5	-29,5	14,1	-14,1
D6	B158	-353,3	-19,5	19,5	-9,3	9,3
D5	B160	169,1	9,3	-9,3	4,5	-4,5
D4	B162	13,7	0,8	-0,8	0,4	-0,4
D3	B164	-199,4	-11,0	11,0	-5,3	5,3
D2	B166	376,2	20,7	-20,7	9,9	-9,9
D1	B168	-584,6	-32,2	32,2	-15,4	15,4

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

Pr. 29: Osne sile v diagonalah zaradi vpliva prometne obtežbe

Element		Q (gr1a)		Q (Ψ_0 * gr1a)		Q (gr2)		Q (zavorne sile)	
		N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_+ [kN]	N_- [kN]
D1	B86	-1118,4	431,8	-705,0	266,0	-617,8	228,3	22,0	-22,0
D2	B87	-444,1	984,8	-272,1	628,7	-232,4	557,1	-22,0	22,0
D3	B91	-852,9	453,7	-550,4	276,9	-492,2	235,6	22,0	-22,0
D4	B89	-476,3	728,1	-288,2	475,2	-243,2	429,0	-22,0	22,0
D5	B94	-612,7	544,9	-404,8	332,1	-369,2	282,1	22,0	-22,0
D6	B92	-635,9	505,1	-390,4	338,3	-334,1	311,8	-22,1	22,1
D7	B97	-406,5	734,2	-276,2	452,2	-257,6	388,2	22,0	-22,0
D8	B95	-842,0	315,9	-519,0	218,1	-445,7	205,8	-22,1	22,1
D9	B100	-234,5	957,4	-164,6	589,3	-157,3	505,5	22,0	-22,0
D10	B98	-1081,9	160,6	-664,4	114,8	-568,6	111,2	-22,1	22,1
D11	B103	-97,7	1216,2	-70,6	744,1	-68,8	634,7	22,0	-22,0
D12	B101	-1355,3	38,8	-826,4	28,3	-702,6	27,7	-22,0	22,0
D13	B106	-1510,1	61,9	-921,5	44,7	-784,0	43,6	14,8	-14,8
D14	B104	-62,0	1415,2	-44,8	874,4	-43,7	752,6	-14,7	14,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 29

D15	B109	-1336,6	60,6	-838,5	43,8	-731,7	42,7	14,8	-14,8
D16	B107	-45,6	1148,4	-32,9	724,8	-32,1	635,9	-14,7	14,7
D17	B118	-1055,1	0,0	-673,2	0,0	-596,2	0,0	15,0	-15,0
D18	B119	-123,6	905,9	-89,0	586,6	-86,7	526,1	-15,1	15,1
D19	B123	-759,3	189,0	-498,0	134,7	-451,5	130,1	15,1	-15,1
D20	B122	-281,1	622,6	-196,3	414,0	-186,9	379,5	-15,1	15,1
D21	B127	-497,8	383,4	-336,0	263,1	-311,7	247,2	15,1	-15,1
D21	B126	-497,8	383,4	-336,0	263,1	-311,7	247,2	-15,1	15,1
D20	B131	-281,1	622,6	-196,3	414,0	-186,9	379,5	15,1	-15,1
D19	B130	-759,3	189,0	-498,0	134,7	-451,5	130,1	-15,1	15,1
D18	B135	-123,6	905,9	-89,0	586,6	-86,7	526,1	15,0	-15,0
D17	B134	-1056,6	0,0	-674,1	0,0	-597,1	0,0	-15,1	15,1
D16	B138	-45,6	1148,4	-32,9	724,8	-32,1	635,9	14,7	-14,7
D15	B140	-1336,6	60,6	-838,5	43,8	-731,7	42,7	-14,8	14,8
D14	B142	-62,0	1415,2	-44,8	874,4	-43,7	752,6	14,7	-14,7
D13	B144	-1510,1	61,9	-921,5	44,7	-784,0	43,6	-14,8	14,8
D12	B146	-1355,3	38,8	-826,4	28,3	-702,6	27,7	14,4	-14,4
D11	B148	-97,7	1216,2	-70,6	744,1	-68,8	634,7	-14,4	14,4
D10	B150	-1081,9	160,6	-664,4	114,8	-568,6	111,2	14,4	-14,4
D9	B152	-234,5	957,4	-164,6	589,3	-157,3	505,5	-14,4	14,4
D8	B154	-842,0	315,9	-519,0	218,1	-445,7	205,8	14,4	-14,4
D7	B156	-406,5	734,2	-276,2	452,2	-257,6	388,2	-14,4	14,4
D6	B158	-635,9	505,1	-390,4	338,3	-334,1	311,8	14,4	-14,4
D5	B160	-612,7	544,9	-404,8	332,1	-369,2	282,1	-14,4	14,4
D4	B162	-476,3	728,1	-288,2	475,2	-243,2	429,0	14,4	-14,4
D3	B164	-852,9	453,7	-550,4	276,9	-492,2	235,6	-14,4	14,4
D2	B166	-444,1	984,8	-272,1	628,7	-232,4	557,1	14,4	-14,4
D1	B168	-1118,4	431,8	-705,0	266,0	-617,8	228,3	-14,4	14,4

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N.) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

4.3.2 Sekundarni nosilni elementi

- **Vzdolžniki vozišča** so kontinuirani nosilci, zato se v polju pojavljajo pozitivni momenti, nad podporami negativni. V Pr. 30, Pr. 31 in Pr. 32 so prikazani največji in najmanjši momenti zaradi različnih vplivov in pripadajoče vrednosti ostalih notranjih statičnih količin. Prikazane so tudi največje in najmanjše reakcije.

Pr. 30: Notranje statične količine v srednjem vzdolžniku vozišča in reakcije v podporah

SREDNJI VZDOLŽNIK VOZIŠČA				
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	R_z [kN]
G + S	Največji M_y ali R_z	8,3	0,0	33,8
	Najmanjši M_y ali R_z	-11,1	36,2	0,0
gr1a	Največji M_y ali R_z	224,5	221,5	448,9
	Najmanjši M_y ali R_z	-147,2	340,9	-61,7
gr1b	Največji M_y ali R_z	114,4	160,0	160,0
	Najmanjši M_y ali R_z	-55,4	115,1	-24,3
gr2	Največji M_y ali R_z	164,8	165,6	324,3
	Najmanjši M_y ali R_z	-106,2	243,3	-45,4

Pr. 31: Notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku vozišča in reakcije v podporah

VMESNI VZDOLŽNIK VOZIŠČA				
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	R_z [kN]
G + S	Največji M_y ali R_z	8,3	0,0	33,8
	Najmanjši M_y ali R_z	-11,1	36,2	0,0
gr1a	Največji M_y ali R_z	130,5	120,0	272,1
	Najmanjši M_y ali R_z	-89,7	213,1	-35,5
gr1b	Največji M_y ali R_z	114,4	160,0	160,0
	Najmanjši M_y ali R_z	-55,4	115,1	-24,3
gr2	Največji M_y ali R_z	93,1	90,0	187,8
	Najmanjši M_y ali R_z	-61,6	143,6	-25,5

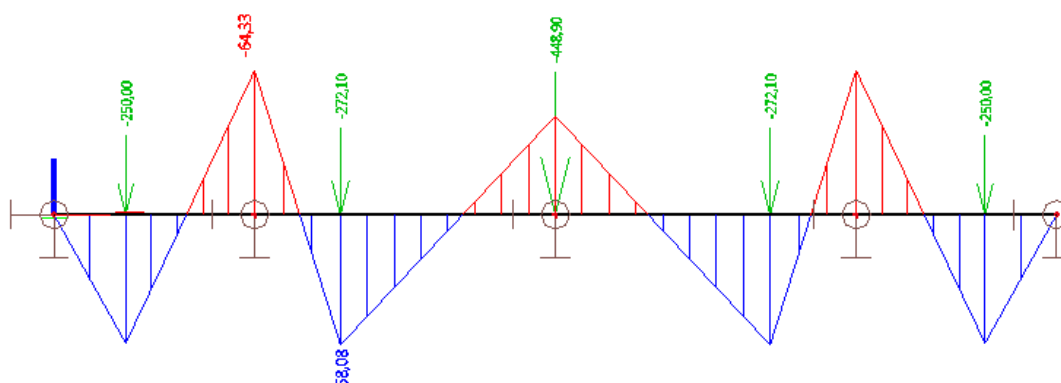
Pr. 32: Notranje statične količine v robnem vzdolžniku vozišča in reakcije v podporah

ROBNI VZDOLŽNIK VOZIŠČA				
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	R_z [kN]
G + S	Največji M_y ali R_z	8,0	0,0	32,6
	Najmanjši M_y ali R_z	-10,7	34,8	0,0
gr1a	Največji M_y ali R_z	125,5	120,0	250,0
	Najmanjši M_y ali R_z	-83,8	196,1	-34,3
gr1b	Največji M_y ali R_z	114,4	160,0	160,0
	Najmanjši M_y ali R_z	-55,4	115,1	-24,3
gr2	Največji M_y ali R_z	91,1	90,0	179,0
	Najmanjši M_y ali R_z	-59,3	136,7	-25,0

- **Prečnik vozišča** je obremenjen na mestih, kjer nanj nalegajo vzdolžniki. V Pr. 33 so prikazani največji in najmanjši momenti ter pripadajoče prečne sile. Prikazane so tudi reakcije v srednji ($R_{z,2}$) in vmesnih ($R_{z,1}$ in $R_{z,3}$) podporah. Na Sl. 50 je diagram momentov pri vplivu gr1a.

Pr. 33: Notranje statične količine v prečniku vozišča

PREČNIK VOZIŠČA					
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	$R_{z,1,3}$ [kN]	$R_{z,2}$ [kN]
G + S	Največji M_y ali R_z	7,6	33,1	43,9	51,7
	Najmanjši M_y ali R_z	-8,3	43,9	0,0	0,0
gr1a	Največji M_y ali R_z	58,1	272,1	339,3	585,1
	Najmanjši M_y ali R_z	-64,3	339,3	-44,3	-79,5
gr1b	Največji M_y ali R_z	37,5	160,0	205,7	238,5
	Najmanjši M_y ali R_z	-39,0	205,7	-31,3	-36,2
gr2	Največji M_y ali R_z	41,5	179,0	237,3	417,5
	Najmanjši M_y ali R_z	-45,0	237,3	-32,6	-58,0



Sl. 50: Diagram momentov zaradi vpliva prometa gr1a

- **Vertikale** so obremenjene samo s tlačno ali natezno osno silo (reakcije v podporah prečnika vozišča, Pr. 33). V Pr. 34 so prikazane največje in najmanjše notranje sile.

Pr. 34: Največje in najmanjše osne sile v vertikalah

VERTIKALE PREČNIKA		
Vpliv	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]
G + S	-51,7	0,0
gr1a	-585,1	79,5
gr1b	-238,5	36,2
gr2	-417,5	58,0

- **Palični prečnik** je obremenjen podobno kot glavni palični prečnik. Diagonale so natezne in tlačne, spodnji pas se obnaša kot spodnji rob in zgornji pas kot zgornji rob prostoležečega nosilca. V Pr. 35 so prikazane notranje sile v elementih paličja. V spodnjem pasu se pojavijo tudi dodatne sile zaradi delovanja vetrne vezi pri (Pr. 36).

Pr. 35: Notranje sile v elementih paličja paličnega prečnika

Element	PALIČNI PREČNIK						
	G + S	gr1a		gr1b		gr2	
	N [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]
Spodnji pas							
SP1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SP2	86,9	808,3	-108,4	383,7	-58,3	572,9	-79,3
SP3	86,9	808,3	-108,4	383,7	-58,3	572,9	-79,3
SP4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Zgornji pas							
ZP1	-59,1	67,7	-508,6	39,8	-261,6	49,6	-359,0
ZP2	-59,1	67,7	-508,6	39,8	-261,6	49,6	-359,0
ZP3	-59,1	67,7	-508,6	39,8	-261,6	49,6	-359,0
ZP4	-59,1	67,7	-508,6	39,8	-261,6	49,6	-359,0
Vertikale							
V1	-45,4	44,3	-339,3	31,3	-205,7	32,6	-237,3
V2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V3	-45,4	44,3	-339,3	31,3	-205,7	32,6	-237,3

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 35

Diagonale							
D1	94,5	811,1	-107,9	417,1	-63,4	572,6	-79,1
D2	-39,0	56,9	-418,8	25,9	-170,7	41,5	-298,8
D3	-39,0	56,9	-418,8	25,9	-170,7	41,5	-298,8
D4	94,5	811,1	-107,9	417,1	-63,4	572,6	-79,1

Pr. 36: Dodatna obremenitev v spodnjem pasu paličnega prečnika zaradi delovanja vetrne vezi

Element	PALIČNI PREČNIK			
	Veter s prometom		Veter brez prometa	
	N_+ [kN]	N_- [kN]	N_+ [kN]	N_- [kN]
Spodnji pas				
SP1	81,63	-81,63	49,89	-49,89
SP2	81,63	-81,63	49,89	-49,89
SP3	81,63	-81,63	49,89	-49,89
SP4	81,63	-81,63	49,89	-49,89

Predznak v označbi obtežbe (npr. N_-)
Opomba: pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

- **Diagonale vetrne vezi** prevzamejo izbočne sile in vetrno obtežbo. V Pr. 37 so prikazane največje in najmanjše osne sile za različne obtežne primere.

Pr. 37: Osne sile v diagonalah vetrne vezi

Element		Q (izbočne-MSN1)		Q (izbočne-MSN3)		Q (izbočne-MSN4)		Q (W_{poln})		Q (W_{prazen})	
		N_{1+}	N_2	N_{1+}	N_2	N_{1+}	N_2	N_{1+}	N_2	N_{1+}	N_2
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
B467	B468	-49,2	49,2	-39,5	39,5	-22,4	22,4	-51,4	51,4	-31,4	31,4
B469	B470	-37,5	37,5	-30,1	30,1	-17,0	17,0	-39,2	39,2	-23,9	23,9
B471	B472	-25,7	25,7	-20,7	20,7	-11,7	11,7	-26,9	26,9	-16,4	16,4
B473	B474	-14,1	14,1	-11,3	11,3	-6,4	6,4	-14,7	14,7	-9,0	9,0
B475	B476	-2,4	2,4	-1,9	1,9	-1,1	1,1	-2,5	2,5	-1,5	1,5
B477	B478	9,3	-9,3	7,5	-7,5	4,2	-4,2	9,7	-9,7	5,9	-5,9
B479	B480	21,1	-21,1	16,9	-16,9	9,6	-9,6	22,0	-22,0	13,4	-13,4
B481	B482	32,6	-32,6	26,2	-26,2	14,8	-14,8	34,1	-34,1	20,8	-20,8
B483	B484	44,7	-44,7	35,9	-35,9	20,3	-20,3	46,7	-46,7	28,5	-28,5
B485	B486	55,9	-55,9	44,9	-44,9	25,4	-25,4	58,4	-58,4	35,7	-35,7
B487	B488	70,1	-70,1	56,3	-56,3	31,9	-31,9	73,2	-73,2	44,7	-44,7
B489	B490	66,9	-66,9	53,7	-53,7	30,4	-30,4	69,8	-69,8	42,7	-42,7
B491	B492	90,2	-90,2	72,4	-72,4	41,0	-41,0	94,2	-94,2	57,6	-57,6
B494	B495	93,2	-93,2	74,8	-74,8	42,4	-42,4	97,3	-97,3	59,5	-59,5
B496	B497	78,9	-78,9	63,4	-63,4	35,9	-35,9	82,4	-82,4	50,4	-50,4
B498	B499	71,9	-71,9	57,7	-57,7	32,7	-32,7	75,1	-75,1	45,9	-45,9
B501	B500	-61,0	61,0	-48,9	48,9	-27,7	27,7	-63,7	63,7	-38,9	38,9
B503	B502	-44,2	44,2	-35,5	35,5	-20,1	20,1	-46,1	46,1	-28,2	28,2
B505	B504	-31,6	31,6	-25,3	25,3	-14,3	14,3	-33,0	33,0	-20,2	20,2
B507	B506	-18,9	18,9	-15,1	15,1	-8,6	8,6	-19,7	19,7	-12,0	12,0
B509	B508	-6,4	6,4	-5,1	5,1	-2,9	2,9	-6,7	6,7	-4,1	4,1
B511	B510	-6,4	6,4	-5,1	5,1	-2,9	2,9	-6,7	6,7	-4,1	4,1

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 37

B513	B512	-18,9	18,9	-15,1	15,1	-8,6	8,6	-19,7	19,7	-12,0	12,0
B515	B514	-31,6	31,6	-25,3	25,3	-14,3	14,3	-33,0	33,0	-20,2	20,2
B517	B516	-44,2	44,2	-35,5	35,5	-20,1	20,1	-46,1	46,1	-28,2	28,2
B519	B518	-61,0	61,0	-48,9	48,9	-27,7	27,7	-63,7	63,7	-38,9	38,9
B521	B520	71,9	-71,9	57,7	-57,7	32,7	-32,7	75,1	-75,1	45,9	-45,9
B523	B522	78,9	-78,9	63,4	-63,4	35,9	-35,9	82,4	-82,4	50,4	-50,4
B525	B524	93,2	-93,2	74,8	-74,8	42,4	-42,4	97,3	-97,3	59,5	-59,5
B527	B526	90,2	-90,2	72,4	-72,4	41,0	-41,0	94,2	-94,2	57,6	-57,6
B529	B528	66,9	-66,9	53,7	-53,7	30,4	-30,4	69,8	-69,8	42,7	-42,7
B531	B530	70,1	-70,1	56,3	-56,3	31,9	-31,9	73,2	-73,2	44,7	-44,7
B533	B532	55,9	-55,9	44,9	-44,9	25,4	-25,4	58,4	-58,4	35,7	-35,7
B535	B534	44,7	-44,7	35,9	-35,9	20,3	-20,3	46,7	-46,7	28,5	-28,5
B537	B536	32,6	-32,6	26,2	-26,2	14,8	-14,8	34,1	-34,1	20,8	-20,8
B539	B538	21,1	-21,1	16,9	-16,9	9,6	-9,6	22,0	-22,0	13,4	-13,4
B541	B540	9,3	-9,3	7,5	-7,5	4,2	-4,2	9,7	-9,7	5,9	-5,9
B543	B542	-2,4	2,4	-1,9	1,9	-1,1	1,1	-2,5	2,5	-1,5	1,5
B545	B544	-14,1	14,1	-11,3	11,3	-6,4	6,4	-14,7	14,7	-9,0	9,0
B547	B546	-25,7	25,7	-20,7	20,7	-11,7	11,7	-26,9	26,9	-16,4	16,4
B549	B548	-37,5	37,5	-30,1	30,1	-17,0	17,0	-39,2	39,2	-23,9	23,9
B551	B550	-49,2	49,2	-39,5	39,5	-22,35	22,4	-51,4	51,4	-31,4	31,4

Opomba: Predznak v označbi obtežbe (npr. N_{1+}) pomeni predznak obtežbe pri podajanju v program Scia Engineer

- **Zavorne vezi** so sestavljene iz pločevine, ki je zabetonirana v AB voziščno ploščo na eni strani in na drugi zakovičena na zgornji pas glavnega paličnega nosilca. Zavorne vezi prevzamejo samo vodoravno obtežbo zaviranja in pospeševanja:

a) Osi 1' – 17'

$$Q_{lk,1} = 50,6 \text{ kN}$$

b) Osi 17' – 17

$$Q_{lk,2} = 32,4 \text{ kN}$$

c) Osi 17 – 1

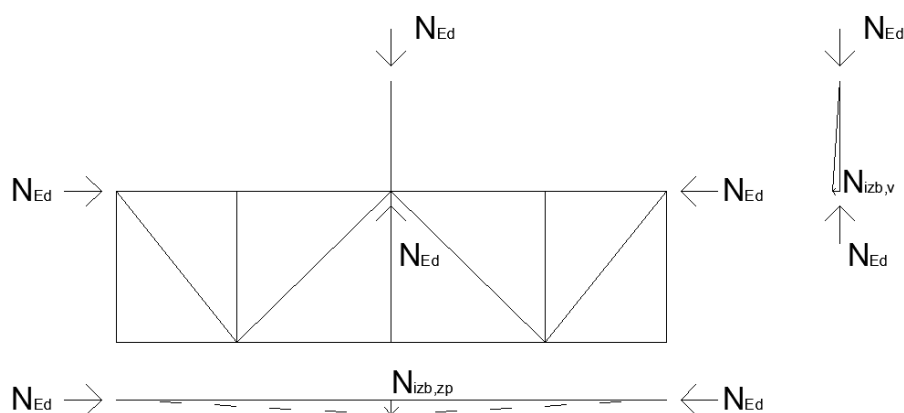
$$Q_{lk,3} = 36,3 \text{ kN}$$

- **Prečna povezava zgornjih pasov glavnih nosilcev** prevzame izbočne sile zgornjega pasu paličnih nosilcev in natezno silo zgornjega pasu konzole hodnika (Pr. 38).

Pr. 38: Obtežba v prečni povezavi zgornjih pasov glavnih nosilcev

Element	OBTEŽNA KOMBINACIJA					
	MSN 1 [kN]	MSN 2 [kN]	MSN 3 [kN]	MSN 4 [kN]	MSN 6a [kN]	MSN 6b [kN]
Največja tlačna sila v zgornjem pasu	4537,4	3427,9	3722,6	2141,0	0,0	0,0
Izbočna sila zgornjega pasu	45,4	34,3	37,2	21,4	0,0	0,0
Natezna sila v zgornjem pasu konzole	37,1	0,0	0,0	0,0	202,5	61,7

- **Vzdolžna vez med prečniki** prevzame izbočne sile srednje vertikalne podpore prečnika vozišča in izbočne sile zgornjega pasu paličnega prečnika. Posebej smo določili izbočno silo zaradi točkovne prometne obtežbe in ostale linijske obtežbe.



Sl. 51: Shematski prikaz izbočnih sil, ki jih prevzame vzdolžna vez med prečniki

a) Izbočne sile pri točkovni obtežbi – vertikala

$$N_{izb,v} = \phi * N_{Ed} = \phi_0 * \alpha_h * \alpha_m * N_{Ed} = \frac{1}{200} * 1,0 * 1,0 * 524,3 \text{ kN} = 2,8 \text{ kN}$$

$$\frac{2}{3} \leq \alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = \frac{2}{\sqrt{1,5}} = 1,6 \leq 1,0$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{m}\right)} = \sqrt{0,5 * \left(1 + \frac{1}{1}\right)} = 1$$

kjer so:

- ϕ_0 začetna nepopolnost
- α_h redukcija zaradi višine
- α_m redukcija zaradi števila nosilnih stebrov
- h višina stebra
- m število nosilnih stebrov

b) Izbočne sile pri točkovni obtežbi – zgornji pas paličnega prečnika

$$N_{izb,zp} = 2 * \phi * N_{Ed} = 2 * \frac{1}{200} * 444,5 \text{ kN} = 4,4 \text{ kN}$$

c) Izbočne sile pri linijski obtežbi – vertikala

$$N_{izb,v} = \phi * N_{Ed} = \phi * (N_{Ed,P} + N_{Ed,L+S}) = \frac{1}{200} * (60,3 \text{ kN} + 51,7 \text{ kN}) = 0,6 \text{ kN}$$

d) Izbočne sile pri linijski obtežbi – zgornji pas paličnega prečnika

$$N_{izb,zp} = 2 * \phi * N_{Ed} = 2 * \phi * (N_{Ed,P} + N_{Ed,L+S}) = 2 * \frac{1}{200} * (65,8 \text{ kN} + 59,1 \text{ kN}) = 1,2 \text{ kN}$$

4.3.3 Elementi hodnika

- **Vzdolžnik hodnika** se obnaša enako kot vzdolžnik vozišča. V *Pr. 39* in *Pr. 40* so prikazani največji in najmanjši momenti zaradi različnih vplivov in pripadajoče vrednosti ostalih notranjih statičnih količin. Prikazane so tudi največje in najmanjše reakcije. V robnem vzdolžniku hodnika se zaradi ekscentričnosti obtežbe pojavi enakomerna torzija, ki smo jo izračunali po enačbi:

$$M_x = \frac{q * l * a}{2}$$



Sl. 52: Obremenitev na robni vzdolžnik

kjer so:

- M_x torzijski moment
- q linijska obtežba na robnem vzdolžniku hodnika
- l razpon enega polja robnega vzdolžnika hodnika, ki znaša 3,554 m
- a ekscentričnost obtežbe, ki znaša 6 cm

Pr. 39: Notranje statične količine v robnem vzdolžniku hodnika in reakcije v podporah

ROBNI VZDOLŽNIK HODNIKA					
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	M_x [kN/m]	R_z [kN]
G + S	Največji M_y ali R_z	3,6	0,0	0,4	14,8
	Najmanjši M_y ali R_z	-4,9	14,8	0,4	0,0
gr1a	Največji M_y ali R_z	0,9	0,0	0,1	3,2
	Najmanjši M_y ali R_z	-1,1	3,2	0,1	-0,2
gr3a	Največji M_y ali R_z	3,9	0,0	0,3	13,5
	Najmanjši M_y ali R_z	-4,7	13,5	0,3	-0,9
gr3b	Največji M_y ali R_z	51,5	80,0	0,3	91,8
	Najmanjši M_y ali R_z	-39,5	91,7	0,3	-2,5

Pr. 40: Notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku hodnika in reakcije v podporah

VMESNI VZDOLŽNIK HODNIKA				
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	R_z [kN]
G + S	Največji M_y ali R_z	4,0	0,0	16,6
	Najmanjši M_y ali R_z	-5,5	16,6	0,0
gr1a	Največji M_y ali R_z	1,9	0,0	6,5
	Najmanjši M_y ali R_z	-2,3	6,5	-0,3
gr3a	Največji M_y ali R_z	7,8	0,0	27,0
	Najmanjši M_y ali R_z	-9,4	27,0	-1,2
gr3b	Največji M_y ali R_z	51,3	80,0	92,1
	Najmanjši M_y ali R_z	-40,0	92,1	-2,6

- V **konzoli hodnika** je diagonala obremenjena samo z osno silo (upoštevamo samo tlačno osno silo, saj je natezna tako majhna, da jo zanemarimo). Notranje statične količine v zgornjem pasu konzole so prikazane v Pr. 41, osne sile v diagonali pa v Pr. 42.

Pr. 41: Notranje statične količine v vodoravnem nosilcu konzole

VODORAVNI DEL KONZOLE				
Vpliv		M_y [kN/m]	V_z [kN]	N [kN]
G + S	Največji M_y	7,9	17,1	21,8
	Najmanjši M_y	0,0	0,0	21,8
gr1a	Največji M_y	3,1	6,5	5,7
	Najmanjši M_y	-0,1	0,3	-0,3
gr3a	Največji M_y	43,2	92,1	128,3
	Najmanjši M_y	-1,2	2,6	-3,5
gr3b	Največji M_y	12,7	27,0	24,0
	Najmanjši M_y	-0,6	1,2	-1,4

Pr. 42: Osne sile v diagonali konzole

DIAGONALA KONZOLE		
Vpliv	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]
G + S	0,0	-30,6
gr1a	0,5	-8,0
gr3a	5,0	-180,0
gr3b	1,9	-33,7

4.4 Kontrola stabilnosti in nosilnosti

Stabilnost in nosilnost elementov smo preverili skladno s SIST EN 1993-1-1. Najprej smo določili kompaktnost prereзов. Glede na kombinacije smo izračunali merodajne notranje statične količine in na koncu izvedli kontrolo nosilnosti in stabilnosti.

4.4.1 Glavni palični nosilec

- **Kompaktnost prereзов** je za vsako skupino elementov in njihove prereze prikazana v Pr. 43, Pr. 44, Pr. 45, Pr. 46 in Pr. 47. Predpostavili smo, da sta prereza spodnjega in zgornjega pasu v obliki T profila, diagonale oblike H oziroma 2 C profila in vertikale sestavljene iz previsnega dela pločevine in kotnikov. Ker so vsi prerezi sestavljeni in običajno še ojačeni z raznimi pločevinami, ki ne potekajo po celotni višini ali širini

prereza, je točno določanje kompaktnosti nemogoče. Da smo ostali na varni strani, smo upoštevali največja možna razmerja debeline in dolžine različnega dela prereza. Vsi prerezi zadostujejo pogojem 3. razreda kompaktnosti.

Pr. 43: Kompaktnost prerezov spodnjega pasu

Prerez	Profil	Previsni del pasnic		Razred kompaktnosti			Notranji tlačeni deli		Razred kompaktnosti		
		c	t	c/t	$\leq 14 \varepsilon$	Razred (vsaj)	c	t	c/t	$\leq 42 \varepsilon$	Razred (vsaj)
S(1-2)	T	66	12	5,5	14	3. RK	376	10	37,6	42	3. RK
S(3-4)	T	118	10	11,8	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
S(5-6)	T	118	10	11,8	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
S(7-8)	T	118	10	11,8	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
S(9-10)	T	178	32	5,6	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
S(11-12)	T	228	44	5,2	14	3. RK	376	44	8,5	42	3. RK
S(13-14)	T	228	32	7,1	14	3. RK	376	44	8,5	42	3. RK
S(15-16)	T	133	10	13,3	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
S(17-18)	T	66	12	5,5	14	3. RK	376	10	37,6	42	3. RK
S(19-20)	T	146	20	7,3	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
S(21)	T	148	30	4,9	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK

Opomba: Razmerje c/t je razmerje dolžine in debeline ali previsnega dela pasnic ali notranjega tlačnega dela. Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1. Upoštevamo, da so prerezi podvrženi čistemu tlaku.

Pr. 44: Kompaktnost prerezov zgornjega pasu

Prerez	Profil	Previsni del pasnic		Razred kompaktnosti			Notranji tlačeni deli		Razred kompaktnosti		
		c	t	c/t	$\leq 14 \varepsilon$	Razred (vsaj)	c	t	c/t	$\leq 42 \varepsilon$	Razred (vsaj)
Z(1-3)	T	103	10	10,3	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(4-5)	T	178	20	8,9	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(6-7)	T	133	10	13,3	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(8-9)	T	133	10	13,3	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(10-11)	T	178	22	8,1	14	3. RK	376	44	8,5	42	3. RK
Z(12-13)	T	178	54	3,3	14	3. RK	476	44	10,8	42	3. RK
Z(14-15)	T	118	10	11,8	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(16-17)	T	118	10	11,8	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(18-19)	T	118	12	9,8	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK
Z(20-21)	T	178	32	5,6	14	3. RK	376	20	18,8	42	3. RK

Opomba: Razmerje c/t je razmerje dolžine in debeline ali previsnega dela pasnic ali notranjega tlačnega dela. Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1. Upoštevamo, da so prerezi podvrženi čistemu tlaku.

Pr. 45: Kontrola kompaktnosti previsnega dela pločevine vertikal

Profil	Previsni del pločevine		Razred kompaktnosti		
	c	t	c/t	≤ 14 ε	Razred (vsaj)
2xL80/8	136	10	13,6	14	3. RK
2xL80/10	136	10	13,6	14	3. RK
4xL80/8	136	10	13,6	14	3. RK

Opomba: Razmerje c/t je razmerje dolžine in debeline previsnega dela pločevine. Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1. Upoštevamo, da so prerezi podvrženi tlaku.

Pr. 46: Kontrola kompaktnosti kotnikov vertikal

Razred kompaktnosti kotnikov										
Element	h	t	h/t	≤ 15 ε	b	h	t	(b+h)/2t	≤ 11,5 ε	Razred (vsaj)
Kotnik L 80 x 10	80	10	8,0	15	80	80	10	8,0	11,5	3. RK
Kotnik L 80 x 8	80	8	10,0	15	80	80	8	10,0	11,5	3. RK

Opomba: Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1. Upoštevamo, da so prerezi podvrženi čistemu tlaku.

Pr. 47: Kompaktnost prerezov diagonal

Prerez	Profil	Previsni del pasnic		Razred kompaktnosti			Notranji tlačeni deli		Razred kompaktnosti		
		c	t	c/t	≤ 14 ε	Razred (vsaj)	c	t	c/t	≤ 42 ε	Razred (vsaj)
D1	2 C	120	10	12,0	14	3. RK	300	10	30,0	42	3. RK
D2	2 C	54	13	4,2	14	3. RK	188	13	14,5	42	3. RK
D3	2 C	110	10	11,0	14	3. RK	140	10	14,0	42	3. RK
D4	2 C	58	11	5,3	14	3. RK	116	11	10,5	42	3. RK
D5	2 C	58	11	5,3	14	3. RK	116	11	10,5	42	3. RK
D6	2 C	108	11	9,8	14	3. RK	136	11	12,4	42	3. RK
D7	2 C	61	14	4,4	14	3. RK	173	9,5	18,2	42	3. RK
D8	2 C	110	10	11,0	14	3. RK	240	10	24,0	42	3. RK
D9	2 C	73	16,5	4,4	14	3. RK	225	11	20,5	42	3. RK
D10	2 C	122	14	8,7	14	3. RK	224	10	22,4	42	3. RK
D11	2 C	72	14	5,1	14	3. RK	284	10	28,4	42	3. RK
D12	2 C	126	12	10,5	14	3. RK	352	10	35,2	42	3. RK
D13	2 C	122	14	8,7	14	3. RK	344	12	28,7	42	3. RK
D14	2 C	72	14	5,1	14	3. RK	344	12	28,7	42	3. RK
D15	2 C	126	12	10,5	14	3. RK	292	10	29,2	42	3. RK
D16	2 C	80	10	8,0	14	3. RK	300	12	25,0	42	3. RK
D17	2 C	118	12	9,8	14	3. RK	292	12	24,3	42	3. RK
D18	2 C	69	15,5	4,5	14	3. RK	208	10,5	19,8	42	3. RK
D19	2 C	104	13	8,0	14	3. RK	128	13	9,8	42	3. RK
D20	2 C	68	11	6,2	14	3. RK	136	11	12,4	42	3. RK
D21	2 C	118	24	4,9	14	3. RK	376	32	11,8	42	3. RK

Opomba: Razmerje c/t je razmerje dolžine in debeline ali previsnega dela pasnic ali notranjega tlačnega dela. Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1. Upoštevamo, da so prerezi podvrženi čistemu tlaku.

- **Merodajne osne sile** so določene s pomočjo v naprej določenih kombinacij. Za vsak element smo dobili največjo in najmanjšo osno silo. Te so prikazane v *Pr. 48*,
- *Pr. 49*, *Pr. 50* in *Pr. 51*. Za merodajno obtežno kombinacijo se vedno izkaže MSN 1

Pr. 48: Merodajne osne sile v spodnjem pasu glavnega paličnega nosilca

Spodnji pas		Merodajna obremenitev		Spodnji pas		Merodajna obremenitev	
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]			$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]
S(1-2)	B1	1457,0	-17,2	S(21)	B22	4940,5	1268,8
S(1-2)	B2	1520,8	-81,0	S(19-20)	B23	4167,6	1065,7
S(3-4)	B3	3388,3	-516,9	S(19-20)	B24	4125,5	1117,2
S(3-4)	B4	3421,7	-550,3	S(17-18)	B25	1824,7	475,4
S(5-6)	B5	3960,8	-1390,5	S(17-18)	B26	1812,7	475,4
S(5-6)	B6	3963,8	-1393,6	S(15-16)	B27	-464,1	-1890,7
S(7-8)	B7	3172,7	-2640,3	S(15-16)	B28	-410,2	-1976,8
S(7-8)	B8	3145,3	-2613,0	S(13-14)	B29	-1816,1	-6611,3
S(9-10)	B9	1447,7	-4690,6	S(13-14)	B30	-1668,3	-6732,2
S(9-10)	B10	1389,7	-4632,6	S(11-12)	B31	-1218,0	-7537,4
S(11-12)	B11	-1309,0	-7446,5	S(11-12)	B32	-1309,0	-7446,5
S(11-12)	B12	-1218,0	-7537,4	S(9-10)	B33	1389,7	-4632,5
S(13-14)	B13	-1668,3	-6732,2	S(9-10)	B34	1447,7	-4690,5
S(13-14)	B14	-1816,1	-6611,3	S(7-8)	B35	3145,4	-2613,0
S(15-16)	B15	-410,1	-1976,7	S(7-8)	B36	3172,7	-2640,3
S(15-16)	B16	-515,2	-1890,7	S(5-6)	B37	3963,9	-1393,6
S(17-18)	B17	1812,7	504,2	S(5-6)	B38	3960,8	-1390,5
S(17-18)	B18	1824,6	489,6	S(3-4)	B39	3421,7	-550,3
S(19-20)	B19	4125,4	1117,2	S(3-4)	B40	3388,3	-516,9
S(19-20)	B20	4167,5	1065,7	S(1-2)	B41	1520,8	-81,0
S(21)	B21	4940,5	1268,8	S(1-2)	B42	1457,0	-17,2

Pr. 49: Merodajne osne sile v zgornjem pasu glavnega paličnega nosilca

Zgornji pas		Merodajna obremenitev		Zgornji pas		Merodajna obremenitev	
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]			$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]
Z(1-3)	B43	0,0	0,0	Z(20-21)	B64	-1413,5	-4537,4
Z(1-3)	B44	158,1	-2525,2	Z(20-21)	B65	-1413,5	-4537,4
Z(1-3)	B45	158,1	-2525,2	Z(18-19)	B66	-944,9	-3042,9
Z(4-5)	B46	761,0	-3697,9	Z(18-19)	B67	-944,9	-3042,9
Z(4-5)	B47	761,0	-3697,9	Z(16-17)	B68	0,0	0,0
Z(6-7)	B48	1801,4	-3569,0	Z(16-17)	B69	0,0	0,0
Z(6-7)	B49	1801,4	-3569,0	Z(14-15)	B70	4030,9	1283,7
Z(8-9)	B50	3448,7	-2309,7	Z(14-15)	B71	4030,9	1283,7
Z(8-9)	B51	3448,7	-2309,7	Z(12-13)	B72	9037,4	3025,9
Z(10-11)	B52	5922,3	-139,6	Z(12-13)	B73	9037,4	3025,9
Z(10-11)	B53	5922,3	-139,6	Z(10-11)	B74	5922,2	-139,6
Z(12-13)	B54	9037,5	3026,0	Z(10-11)	B75	5922,2	-139,6
Z(12-13)	B55	9037,5	3026,0	Z(8-9)	B76	3448,6	-2309,7
Z(14-15)	B56	4030,9	1283,7	Z(8-9)	B77	3448,6	-2309,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 49

Z(14-15)	B57	4030,9	1283,7	Z(6-7)	B78	1801,3	-3569,0
Z(16-17)	B58	0,0	0,0	Z(6-7)	B79	1801,3	-3569,0
Z(16-17)	B59	0,0	0,0	Z(4-5)	B80	761,0	-3697,9
Z(18-19)	B60	-944,9	-3042,8	Z(4-5)	B81	761,0	-3697,9
Z(18-19)	B61	-944,9	-3042,8	Z(1-3)	B82	158,1	-2525,2
Z(20-21)	B62	-1413,5	-4537,4	Z(1-3)	B83	158,1	-2525,2
Z(20-21)	B63	-1413,5	-4537,4	Z(1-3)	B84	0,0	0,0

Pr. 50: Merodajne osne sile v vertikalnih glavnih paličnega nosilca

Vertikale		Merodajna obremenitev		Vertikale		Merodajna obremenitev	
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]			$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]
V1	B85	-5,7	-631,9	V21	B132	-48,3	-945,5
V2	B88	0,0	0,0	V20	B129	0,0	0,0
V3	B110	-20,0	-916,1	V19	B136	-24,0	-937,3
V4	B90	0,0	0,0	V18	B133	0,0	0,0
V5	B111	-43,7	-923,6	V17	B137	-55,7	-768,7
V6	B93	0,0	0,0	V16	B139	0,0	0,0
V7	B112	-43,9	-924,3	V15	B141	-20,0	-916,4
V8	B96	0,0	0,0	V14	B143	0,0	0,0
V9	B113	-43,9	-924,2	V13	B145	-44,1	-925,1
V10	B99	0,0	0,0	V12	B147	0,0	0,0
V11	B114	-44,1	-924,8	V11	B149	-44,1	-924,8
V12	B102	0,0	0,0	V10	B151	0,0	0,0
V13	B115	-44,1	-925,1	V9	B153	-43,9	-924,2
V14	B105	0,0	0,0	V8	B155	0,0	0,0
V15	B116	-20,0	-916,4	V7	B157	-43,9	-924,3
V16	B108	0,0	0,0	V6	B159	0,0	0,0
V17	B117	-55,7	-768,7	V5	B161	-43,7	-923,6
V18	B120	-1,5	-5,0	V4	B163	0,0	0,0
V19	B124	-24,0	-937,3	V3	B165	-20,0	-916,1
V20	B121	0,0	0,0	V2	B167	0,0	0,0
V21	B128	-48,3	-945,5	V1	B169	-5,7	-631,9
V22	B125	0,0	0,0				

Pr. 51: Merodajne osne sile v diagonalah glavnega paličnega nosilca

Diagonale		Merodajna obremenitev		Diagonale		Merodajna obremenitev	
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]			$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]
D1	B86	27,4	-2328,0	D21	B126	423,4	-810,5
D2	B87	1856,0	-242,0	D20	B131	1254,5	-98,4
D3	B91	422,9	-1430,5	D19	B130	-215,9	-1718,5
D4	B89	1002,2	-630,0	D18	B135	2182,6	484,9
D5	B94	972,3	-666,4	D17	B134	-834,7	-2699,7
D6	B92	346,2	-1352,8	D16	B138	3005,2	909,2
D7	B97	1741,8	-39,0	D15	B140	-1085,7	-3550,9
D8	B95	-258,3	-2145,1	D14	B142	3904,5	1246,7

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 51

D9	B100	2557,2	542,3	D13	B144	-1416,8	-4292,1
D10	B98	-817,1	-2982,9	D12	B146	-1296,5	-3865,7
D11	B103	3420,7	1070,7	D11	B148	3420,7	1070,7
D12	B101	-1296,5	-3865,7	D10	B150	-817,1	-2982,9
D13	B106	-1416,8	-4292,1	D9	B152	2557,2	542,3
D14	B104	3904,5	1246,7	D8	B154	-258,3	-2145,1
D15	B109	-1085,7	-3550,9	D7	B156	1741,8	-39,0
D16	B107	3005,2	909,2	D6	B158	346,2	-1352,8
D17	B118	-833,5	-2695,9	D5	B160	972,3	-666,4
D18	B119	2182,6	484,9	D4	B162	1002,2	-630,0
D19	B123	-215,9	-1718,5	D3	B164	422,9	-1430,5
D20	B122	1254,5	-98,4	D2	B166	1856,0	-241,9
D21	B127	423,4	-810,6	D1	B168	27,4	-2328,0

- **S kontrolo nosilnosti in stabilnosti** smo preverili ali elementi glavnega paličnega nosilca prenesejo zgoraj prikazane merodajne notranje sile. Elemente, ki so obremenjeni z natezno osno silo smo preverili glede na nosilnost po bruto in neto prerezu (izkaže se, da je nosilnost po neto prerezu vedno merodajna):

a) Projektna nosilnost bruto prereza

$$N_{Ed} \leq N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

b) Projektna nosilnost neto prereza

$$N_{Ed} \leq N_{u,Rd} = \frac{0,9 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}}$$

kjer so:

N_{Ed} projektna osna sila

$N_{pl,rd}$ projektna nosilnost bruto prereza za vse razrede kompaktnosti

A bruto prečni prerez elementa

A_{net} neto prečni prerez elementa

Elemente, ki so obremenjeni s tlačno osno silo smo preverili glede na uklonsko nosilnost:

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

kjer sta:

$N_{b,rd}$ projektna uklonska nosilnost tlačnih palic za upogibni uklon

χ redukcijski faktor upogibnega uklona:

$$\chi = \begin{cases} 1; \bar{\lambda} \leq 0,2 \\ \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq \bar{\lambda} > 0,2 \end{cases}$$

$$\phi = 0,5 * (1 + \alpha * (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2)$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i * \lambda_1}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$\lambda_1 = \pi * \sqrt{\frac{E}{f_y}}$$

kjer so:

$\bar{\lambda}$ relativna vitkost

α faktor nepopolnosti

l_u uklonska dolžina

I vztrajnostni moment

Pr. 52: Geometrijske lastnosti elementov spodnjega pasu za kontrolo nosilnosti in stabilnosti

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE								
El.	Prerez	L_{sist} [cm]	L_u [cm]	I_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	λ	ϕ	χ
B1	S(1-2)	337,0	337,0	851,8	3,08	1,16	1,41	0,45
B2	S(1-2)	337,0	337,0	851,8	3,08	1,16	1,41	0,45
B3	S(3-4)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B4	S(3-4)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B5	S(5-6)	337,0	337,0	4810,9	5,25	0,68	0,85	0,73
B6	S(5-6)	337,0	337,0	4810,9	5,25	0,68	0,85	0,73
B7	S(7-8)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B8	S(7-8)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B9	S(9-10)	337,0	337,0	18893,0	8,47	0,42	0,64	0,88
B10	S(9-10)	337,0	337,0	18893,0	8,47	0,42	0,64	0,88
B11	S(11-12)	337,0	337,0	47840,0	10,64	0,34	0,59	0,93
B12	S(11-12)	337,0	337,0	47840,0	10,64	0,34	0,59	0,93
B13	S(13-14)	337,0	337,0	37097,0	9,71	0,37	0,61	0,91
B14	S(13-14)	337,0	337,0	37097,0	9,71	0,37	0,61	0,91
B15	S(15-16)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B16	S(15-16)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B17	S(17-18)							
B18	S(17-18)							
B19	S(19-20)							
B20	S(19-20)							
B21	S(21)							
B22	S(21)							
B23	S(19-20)							
B24	S(19-20)							
B25	S(17-18)							
B26	S(17-18)							
B27	S(15-16)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 52

B28	S(15-16)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B29	S(13-14)	337,0	337,0	37097,0	9,71	0,37	0,61	0,91
B30	S(13-14)	337,0	337,0	37097,0	9,71	0,37	0,61	0,91
B31	S(11-12)	337,0	337,0	47840,0	10,64	0,34	0,59	0,93
B32	S(11-12)	337,0	337,0	47840,0	10,64	0,34	0,59	0,93
B33	S(9-10)	337,0	337,0	18893,0	8,47	0,42	0,64	0,88
B34	S(9-10)	337,0	337,0	18893,0	8,47	0,42	0,64	0,88
B35	S(7-8)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B36	S(7-8)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B37	S(5-6)	337,0	337,0	4810,9	5,25	0,68	0,85	0,73
B38	S(5-6)	337,0	337,0	4810,9	5,25	0,68	0,85	0,73
B39	S(3-4)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B40	S(3-4)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B41	S(1-2)	337,0	337,0	851,8	3,08	1,16	1,41	0,45
B42	S(1-2)	337,0	337,0	851,8	3,08	1,16	1,41	0,45

Pr. 53: Kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov spodnjega pasu

EI.	Prerez	MSN		KONTROLA NOSILNOSTI IN STABILNOSTI			
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	Nateg		Tlak	
				$N_{u,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max} / N_{u,Rd}$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,min} / N_{b,Rd}$
B1	S(1-2)	1457,0	-17,2	1638,6	0,89	826,5	0,02
B2	S(1-2)	1520,8	-81,0	1638,6	0,93	826,5	0,10
B3	S(3-4)	3388,3	-516,9	2844,6	1,19	2303,3	0,22
B4	S(3-4)	3421,7	-550,3	2844,6	1,20	2303,3	0,24
B5	S(5-6)	3960,8	-1390,5	3164,4	1,25	2622,0	0,53
B6	S(5-6)	3963,8	-1393,6	3164,4	1,25	2622,0	0,53
B7	S(7-8)	3172,7	-2640,3	2817,8	1,13	2303,3	1,15
B8	S(7-8)	3145,3	-2613,0	2817,8	1,12	2303,3	1,13
B9	S(9-10)	1447,7	-4690,6	5003,8	0,29	4756,9	0,99
B10	S(9-10)	1389,7	-4632,6	5003,8	0,28	4756,9	0,97
B11	S(11-12)	-1309,0	-7446,5			8026,1	0,93
B12	S(11-12)	-1218,0	-7537,4			8026,1	0,94
B13	S(13-14)	-1668,3	-6732,2			7343,5	0,92
B14	S(13-14)	-1816,1	-6611,3			7343,5	0,90
B15	S(15-16)	-410,1	-1976,7			2621,6	0,75
B16	S(15-16)	-515,2	-1890,7			2621,6	0,72
B17	S(17-18)	1812,7	504,2	1638,6	1,11		
B18	S(17-18)	1824,6	489,6	1638,6	1,11		
B19	S(19-20)	4125,4	1117,2	3505,7	1,18		
B20	S(19-20)	4167,5	1065,7	3505,7	1,19		
B21	S(21)	4940,5	1268,8	4240,0	1,17		
B22	S(21)	4940,5	1268,8	4240,0	1,17		
B23	S(19-20)	4167,6	1065,7	3505,7	1,19		
B24	S(19-20)	4125,5	1117,2	3505,7	1,18		
B25	S(17-18)	1824,7	475,4	1638,6	1,11		
B26	S(17-18)	1812,7	475,4	1638,6	1,11		
B27	S(15-16)	-464,1	-1890,7			2621,6	0,72
B28	S(15-16)	-410,2	-1976,8			2621,6	0,75
B29	S(13-14)	-1816,1	-6611,3			7343,5	0,90

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 53

B30	S(13-14)	-1668,3	-6732,2			7343,5	0,92
B31	S(11-12)	-1218,0	-7537,4			8026,1	0,94
B32	S(11-12)	-1309,0	-7446,5			8026,1	0,93
B33	S(9-10)	1389,7	-4632,5	5003,8	0,28	4756,9	0,97
B34	S(9-10)	1447,7	-4690,5	5003,8	0,29	4756,9	0,99
B35	S(7-8)	3145,4	-2613,0	2817,8	1,12	2303,3	1,13
B36	S(7-8)	3172,7	-2640,3	2817,8	1,13	2303,3	1,15
B37	S(5-6)	3963,9	-1393,6	3164,4	1,25	2622,0	0,53
B38	S(5-6)	3960,8	-1390,5	3164,4	1,25	2622,0	0,53
B39	S(3-4)	3421,7	-550,3	2844,6	1,20	2303,3	0,24
B40	S(3-4)	3388,3	-516,9	2844,6	1,19	2303,3	0,22
B41	S(1-2)	1520,8	-81,0	1638,6	0,93	826,5	0,10
B42	S(1-2)	1457,0	-17,2	1638,6	0,89	826,5	0,02
Legenda:		Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa					

Pr. 54: Geometrijske lastnosti elementov zgornjega pasu za kontrolo nosilnosti in stabilnosti

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE								
El.	Prerez	L_{sist} [cm]	L_u [cm]	I_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	λ	ϕ	χ
B43	Z(1-3)							
B44	Z(1-3)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B45	Z(1-3)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B46	Z(4-5)	337,0	337,0	11536,0	7,58	0,47	0,68	0,86
B47	Z(4-5)	337,0	337,0	11536,0	7,58	0,47	0,68	0,86
B48	Z(6-7)	337,0	337,0	9477,6	6,98	0,51	0,71	0,83
B49	Z(6-7)	337,0	337,0	9477,6	6,98	0,51	0,71	0,83
B50	Z(8-9)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B51	Z(8-9)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B52	Z(10-11)	337,0	337,0	13740,0	6,88	0,52	0,71	0,83
B53	Z(10-11)	337,0	337,0	13740,0	6,88	0,52	0,71	0,83
B54	Z(12-13)							
B55	Z(12-13)							
B56	Z(14-15)							
B57	Z(14-15)							
B58	Z(16-17)							
B59	Z(16-17)							
B60	Z(18-19)	355,4	355,4	8226,3	6,70	0,56	0,75	0,81
B61	Z(18-19)	355,4	355,4	8226,3	6,70	0,56	0,75	0,81
B62	Z(20-21)	355,4	355,4	18847,8	8,47	0,45	0,66	0,87
B63	Z(20-21)	355,4	355,4	18847,8	8,47	0,45	0,66	0,87
B64	Z(20-21)	355,4	355,4	18847,8	8,47	0,45	0,66	0,87
B65	Z(20-21)	355,4	355,4	18847,8	8,47	0,45	0,66	0,87
B66	Z(18-19)	355,4	355,4	8226,3	6,70	0,56	0,75	0,81
B67	Z(18-19)	355,4	355,4	8226,3	6,70	0,56	0,75	0,81
B68	Z(16-17)							
B69	Z(16-17)							
B70	Z(14-15)							
B71	Z(14-15)							
B72	Z(12-13)							

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 54

B73	Z(12-13)							
B74	Z(10-11)	337,0	337,0	13740,0	6,88	0,52	0,71	0,83
B75	Z(10-11)	337,0	337,0	13740,0	6,88	0,52	0,71	0,83
B76	Z(8-9)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B77	Z(8-9)	337,0	337,0	6202,3	6,21	0,58	0,76	0,80
B78	Z(6-7)	337,0	337,0	9477,6	6,98	0,51	0,71	0,83
B79	Z(6-7)	337,0	337,0	9477,6	6,98	0,51	0,71	0,83
B80	Z(4-5)	337,0	337,0	11536,0	7,58	0,47	0,68	0,86
B81	Z(4-5)	337,0	337,0	11536,0	7,58	0,47	0,68	0,86
B82	Z(1-3)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B83	Z(1-3)	337,0	337,0	4144,3	5,18	0,69	0,86	0,73
B84	Z(1-3)							

Pr. 55: Kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov zgornjega pasu

El.	Prerez	MSN		KONTROLA NOSILNOSTI IN STABILNOSTI			
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	Nateg		Tlak	
				$N_{u,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max} / N_{u,Rd}$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,min} / N_{b,Rd}$
B43	Z(1-3)	0,0	0,0				
B44	Z(1-3)	158,1	-2525,2	2844,6	0,06	2303,3	1,10
B45	Z(1-3)	158,1	-2525,2	2844,6	0,06	2303,3	1,10
B46	Z(4-5)	761,0	-3697,9	3773,7	0,20	3517,1	1,05
B47	Z(4-5)	761,0	-3697,9	3773,7	0,20	3517,1	1,05
B48	Z(6-7)	1801,4	-3569,0	3639,7	0,49	3321,1	1,07
B49	Z(6-7)	1801,4	-3569,0	3639,7	0,49	3321,1	1,07
B50	Z(8-9)	3448,7	-2309,7	2932,1	1,18	2621,6	0,88
B51	Z(8-9)	3448,7	-2309,7	2932,1	1,18	2621,6	0,88
B52	Z(10-11)	5922,3	-139,6	5539,8	1,07	4928,3	0,03
B53	Z(10-11)	5922,3	-139,6	5539,8	1,07	4928,3	0,03
B54	Z(12-13)	9037,5	3026,0	8950,5	1,01		
B55	Z(12-13)	9037,5	3026,0	8950,5	1,01		
B56	Z(14-15)	4030,9	1283,7	3810,3	1,06		
B57	Z(14-15)	4030,9	1283,7	3810,3	1,06		
B58	Z(16-17)	0,0	0,0				
B59	Z(16-17)	0,0	0,0				
B60	Z(18-19)	-944,9	-3042,8			3016,1	1,01
B61	Z(18-19)	-944,9	-3042,8			3016,1	1,01
B62	Z(20-21)	-1413,5	-4537,4			4682,7	0,97
B63	Z(20-21)	-1413,5	-4537,4			4682,7	0,97
B64	Z(20-21)	-1413,5	-4537,4			4682,7	0,97
B65	Z(20-21)	-1413,5	-4537,4			4682,7	0,97
B66	Z(18-19)	-944,9	-3042,9			3016,1	1,01
B67	Z(18-19)	-944,9	-3042,9			3016,1	1,01
B68	Z(16-17)	0,0	0,0				
B69	Z(16-17)	0,0	0,0				
B70	Z(14-15)	4030,9	1283,7	3810,3	1,06		
B71	Z(14-15)	4030,9	1283,7	3810,3	1,06		
B72	Z(12-13)	9037,4	3025,9	8950,5	1,01		
B73	Z(12-13)	9037,4	3025,9	8950,5	1,01		

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 55

B74	Z(10-11)	5922,2	-139,6	5539,8	1,07	4928,3	0,03
B75	Z(10-11)	5922,2	-139,6	5539,8	1,07	4928,3	0,03
B76	Z(8-9)	3448,6	-2309,7	2932,1	1,18	2621,6	0,88
B77	Z(8-9)	3448,6	-2309,7	2932,1	1,18	2621,6	0,88
B78	Z(6-7)	1801,3	-3569,0	3639,7	0,49	3321,1	1,07
B79	Z(6-7)	1801,3	-3569,0	3639,7	0,49	3321,1	1,07
B80	Z(4-5)	761,0	-3697,9	3773,7	0,20	3517,1	1,05
B81	Z(4-5)	761,0	-3697,9	3773,7	0,20	3517,1	1,05
B82	Z(1-3)	158,1	-2525,2	2844,6	0,06	2303,3	1,10
B83	Z(1-3)	158,1	-2525,2	2844,6	0,06	2303,3	1,10
B84	Z(1-3)	0,0	0,0				
Legenda:		Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa					

Pr. 56: Geometrijske karakteristike diagonal za kontrolo nosilnosti in stabilnosti

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE								
El.	Prerez	L_{sist} [cm]	L_u [cm]	I_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	λ	Φ	χ
B86	D1	538,5	538,5	6501,8	6,53	0,88	1,00	0,67
B87	D2	538,5	538,5	1287,1	3,64	1,58	1,98	0,32
B91	D3	538,5	538,5	3674,0	6,59	0,87	0,99	0,68
B89	D4	538,5	538,5	1123,7	4,14	1,39	1,66	0,39
B94	D5	538,5	538,5	1123,7	4,14	1,39	1,66	0,39
B92	D6	538,5	538,5	4115,8	6,69	0,86	0,98	0,69
B97	D7	538,5	538,5	1165,3	3,79	1,51	1,87	0,34
B95	D8	538,5	538,5	6413,3	6,75	0,85	0,97	0,69
B100	D9							
B98	D10	538,5	538,5	12247,0	8,05	0,71	0,84	0,78
B103	D11							
B101	D12	538,5	538,5	16894,0	8,32	0,69	0,82	0,79
B106	D13	538,5	538,5	19438,0	8,38	0,68	0,82	0,79
B104	D14							
B109	D15	538,5	538,5	15943,0	8,46	0,68	0,81	0,80
B107	D16							
B118	D17	550,0	550,0	8183,8	6,70	0,87	1,00	0,68
B119	D18							
B123	D19	550,0	550,0	4875,3	6,73	0,87	0,99	0,68
B122	D20	550,0	550,0	1391,6	4,36	1,34	1,60	0,41
B127	D21	550,0	550,0	1123,7	4,14	1,41	1,71	0,38
B126	D21	550,0	550,0	1123,7	4,14	1,41	1,71	0,38
B131	D20	550,0	550,0	1391,6	4,36	1,34	1,60	0,41
B130	D19	550,0	550,0	4875,3	6,73	0,87	0,99	0,68
B135	D18							
B134	D17	550,0	550,0	8183,8	6,70	0,87	1,00	0,68
B138	D16							
B140	D15	538,5	538,5	15943,0	8,46	0,68	0,81	0,80
B142	D14							
B144	D13	538,5	538,5	19438,0	8,38	0,68	0,82	0,79
B146	D12	538,5	538,5	16894,0	8,32	0,69	0,82	0,79
B148	D11							

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 56

B150	D10	538,5	538,5	12247,0	8,05	0,71	0,84	0,78
B152	D9	/	/	/	/	/	/	/
B154	D8	538,5	538,5	6413,3	6,75	0,85	0,97	0,69
B156	D7	538,5	538,5	1165,3	3,79	1,51	1,87	0,34
B158	D6	538,5	538,5	4115,8	6,69	0,86	0,98	0,69
B160	D5	538,5	538,5	1123,7	4,14	1,39	1,66	0,39
B162	D4	538,5	538,5	1123,7	4,14	1,39	1,66	0,39
B164	D3	538,5	538,5	3674,0	6,59	0,87	0,99	0,68
B166	D2	538,5	538,5	1287,1	3,64	1,58	1,98	0,32
B168	D1	538,5	538,5	6501,8	6,53	0,88	1,00	0,67

Pr. 57: Kontrola nosilnosti in stabilnosti diagonal

EI.	Prerez	MSN		KONTROLA NOSILNOSTI IN STABILNOSTI			
		N _{Ed,max} [kN]	N _{Ed,min} [kN]	Nateg		Tlak	
				N _{u,Rd} [kN]	N _{Ed,max} / N _{u,Rd}	N _{b,Rd} [kN]	N _{Ed,min} / N _{b,Rd}
B86	D1	27,4	-2328,0	3015,0	0,01	2104,7	1,11
B87	D2	1856,0	-242,0	1503,9	1,23	627,1	0,39
B91	D3	422,9	-1430,5	1657,1	0,26	1176,0	1,22
B89	D4	1002,2	-630,0	909,0	1,10	519,8	1,21
B94	D5	972,3	-666,4	909,0	1,07	519,8	1,28
B92	D6	346,2	-1352,8	1817,9	0,19	1293,9	1,05
B97	D7	1741,8	-39,0	1645,5	1,06	559,6	0,07
B95	D8	-258,3	-2145,1	/	/	1993,1	1,08
B100	D9	2557,2	542,3	2289,6	1,12	/	/
B98	D10	-817,1	-2982,9	/	/	2997,9	0,99
B103	D11	3420,7	1070,7	3204,6	1,07	/	/
B101	D12	-1296,5	-3865,7	/	/	3936,6	0,98
B106	D13	-1416,8	-4292,1	/	/	4483,3	0,96
B104	D14	3904,5	1246,7	3809,0	1,03	/	/
B109	D15	-1085,7	-3550,9	/	/	3625,9	0,98
B107	D16	3005,2	909,2	3215,8	0,93	/	/
B118	D17	-833,5	-2695,9	/	/	2522,6	1,07
B119	D18	2182,6	484,9	2010,9	1,09	/	/
B123	D19	-215,9	-1718,5	/	/	1496,2	1,15
B122	D20	1254,5	-98,4	994,7	1,26	608,5	0,16
B127	D21	423,4	-810,6	909,0	0,47	503,1	1,61
B126	D21	423,4	-810,5	909,0	0,47	503,1	1,61
B131	D20	1254,5	-98,4	994,7	1,26	608,5	0,16
B130	D19	-215,9	-1718,5	/	/	1496,2	1,15
B135	D18	2182,6	484,9	2010,9	1,09	/	/
B134	D17	-834,7	-2699,7	/	/	2522,6	1,07
B138	D16	3005,2	909,2	3215,8	0,93	/	/
B140	D15	-1085,7	-3550,9	/	/	3625,9	0,98
B142	D14	3904,5	1246,7	3809,0	1,03	/	/
B144	D13	-1416,8	-4292,1	/	/	4483,3	0,96
B146	D12	-1296,5	-3865,7	/	/	3936,6	0,98
B148	D11	3420,7	1070,7	3204,6	1,07	/	/
B150	D10	-817,1	-2982,9	/	/	2997,9	0,99
B152	D9	2557,2	542,3	2289,6	1,12	/	/

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 57

B154	D8	-258,3	-2145,1			1993,1	1,08
B156	D7	1741,8	-39,0	1645,5	1,06	559,6	0,07
B158	D6	346,2	-1352,8	1817,9	0,19	1293,9	1,05
B160	D5	972,3	-666,4	909,0	1,07	519,8	1,28
B162	D4	1002,2	-630,0	909,0	1,10	519,8	1,21
B164	D3	422,9	-1430,5	1657,1	0,26	1176,0	1,22
B166	D2	1856,0	-241,9	1503,9	1,23	627,1	0,39
B168	D1	27,4	-2328,0	2979,3	0,01	2104,7	1,11

Legenda:

Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa

Vertikale, ki so obremenjene z osno silo in momentom smo preverili glede na interakcijo med osno silo in enoosnim upogibom:

$$A * \frac{N_{Ed}}{\gamma_{M0} * f_y} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} \leq 1$$

kjer sta:

$M_{y,Ed}$ projektna vrednost momenta

$W_{el,y}$ odpornostni moment

Za kontrolo interakcije med osno silo in enoosnim upogibom smo najprej izračunali vetrno obtežbo, zaradi katere se v vertikali pojavi moment:

a) MSN 1

$$F_w = \frac{q_w}{2} * l = \frac{5,38 \frac{kN}{m}}{2} * 3,554 m = 9,56 kN$$

$$M_{Ed} = 0,9 * l * F_w = 0,9 * 2,15 m * 9,56 kN = 18,50 kNm$$

b) MSN 3

$$F_w = \frac{q_w}{2} * l = \frac{5,38 \frac{kN}{m}}{2} * 3,554 m = 9,56 kN$$

$$M_{Ed} = 1,5 * l * F_w = 1,5 * 2,15 m * 9,56 kN = 30,83 kNm$$

c) MSN 4

$$F_w = \frac{q_w}{2} * l = \frac{3,29 \frac{kN}{m}}{2} * 3,554 m = 5,85 kN$$

$$M_{Ed} = 1,5 * l * F_w = 1,5 * 2,15 m * 5,85 kN = 18,87 kNm$$

Kontrola uklona pri vertikalah je izvedena malo drugače, saj se vertikali z lokalno koordinato x spreminja prerez in osna sila. Standard Evrokod zahteva, da se v takem primeru opravi nelinearna analiza. Sami smo upoštevali smernice iz JUS

U.E7.086/1986 Kontrola stabilnosti nosilnih jeklenih konstrukcij – Uklonske dolžine elementov:

$$\frac{h_i}{l} = \frac{2,05 \text{ m}}{4,20 \text{ m}} = 0,5 \rightarrow \alpha_i (\text{krivulja } b) = 0,5$$

$$N_{Ed} = \alpha_i * N_{Ed,min} \leq \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}}$$

kjer sta:

h_i višina spodnjega dela vertikale

l višina vertikale

Pr. 58: Geometrijske lastnosti vertikal nosilnosti in stabilnosti

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE											
El.	Prerez	L_{sist} [cm]	$L_{u,\xi}$ [cm]	$L_{u,\eta}$ [cm]	I_ξ [cm ⁴]	I_η [cm ⁴]	i_{min} [cm]	α	λ	ϕ	χ
B85	V1	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B88	V2	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B110	V3	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B90	V4	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B111	V5	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B93	V6	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B112	V7	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B96	V8	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B113	V9	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B99	V10	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B114	V11	420,0	205,0	378,0	5466,7	664,0	2,83	0,34	1,42	1,72	0,37
B102	V12	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B115	V13	420,0	205,0	378,0	5466,7	664,0	2,83	0,34	1,42	1,72	0,37
B105	V14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B116	V15	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B108	V16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B117	V17	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B120	V18	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B124	V19	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B121	V20	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B128	V21	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B125	V22	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B132	V21	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B129	V20	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B136	V19	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B133	V18	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B137	V17	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B139	V16	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B141	V15	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B143	V14	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/
B145	V13	420,0	205,0	378,0	5466,7	664,0	2,83	0,34	1,42	1,72	0,37
B147	V12	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 58

B149	V11	420,0	205,0	378,0	5466,7	664,0	2,83	0,34	1,42	1,72	0,37
B151	V10										
B153	V9	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B155	V8										
B157	V7	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B159	V6										
B161	V5	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B163	V4										
B165	V3	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27
B167	V2										
B169	V1	420,0	205,0	378,0	4576,7	322,4	2,35	0,34	1,71	2,23	0,27

Pr. 59: Kontrola nosilnosti in stabilnosti vertikal pri čistem uklonu

El.	Prerez	MSN			KONTROLA NOSILNOSTI IN STABILNOSTI	
		$N_{Sd,max}$ [kN]	$N_{Sd,min}$ [kN]	$0,5 * N_{Sd,min}$ [kN]	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,min} / N_{b,Rd}$
B85	V1	-5,7	-631,9	-315,9	327,5	0,96
B88	V2	0,0	0,0	0,0		
B110	V3	-20,0	-916,1	-458,1	327,5	1,40
B90	V4	0,0	0,0	0,0		
B111	V5	-43,7	-923,6	-461,8	327,5	1,41
B93	V6	0,0	0,0	0,0		
B112	V7	-43,9	-924,3	-462,1	327,5	1,41
B96	V8	0,0	0,0	0,0		
B113	V9	-43,9	-924,2	-462,1	327,5	1,41
B99	V10	0,0	0,0	0,0		
B114	V11	-44,1	-924,8	-462,4	631,1	0,73
B102	V12	0,0	0,0	0,0		
B115	V13	-44,1	-925,1	-462,5	631,1	0,73
B105	V14	0,0	0,0	0,0		
B116	V15	-20,0	-916,4	-458,2	327,5	1,40
B108	V16	0,0	0,0	0,0		
B117	V17	-55,7	-768,7	-384,3	327,5	1,17
B120	V18	-1,5	-5,0	-2,5		
B124	V19	-24,0	-937,3	-468,6	327,5	1,43
B121	V20	0,0	0,0	0,0		
B128	V21	-48,3	-945,5	-472,8	327,5	1,44
B125	V22	0,0	0,0	0,0		
B132	V21	-48,3	-945,5	-472,8	327,5	1,44
B129	V20	0,0	0,0	0,0		
B136	V19	-24,0	-937,3	-468,6	327,5	1,43
B133	V18	0,0	0,0	0,0		
B137	V17	-55,7	-768,7	-384,3	327,5	1,17
B139	V16	0,0	0,0	0,0		
B141	V15	-20,0	-916,4	-458,2	327,5	1,40
B143	V14	0,0	0,0	0,0		
B145	V13	-44,1	-925,1	-462,5	631,1	0,73
B147	V12	0,0	0,0	0,0		

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 59

B149	V11	-44,1	-924,8	-462,4	631,1	0,73
B151	V10	0,0	0,0	0,0		
B153	V9	-43,9	-924,2	-462,1	327,5	1,41
B155	V8	0,0	0,0	0,0		
B157	V7	-43,9	-924,3	-462,1	327,5	1,41
B159	V6	0,0	0,0	0,0		
B161	V5	-43,7	-923,6	-461,8	327,5	1,41
B163	V4	0,0	0,0	0,0		
B165	V3	-20,0	-916,1	-458,1	327,5	1,40
B167	V2	0,0	0,0	0,0		
B169	V1	-5,7	-631,9	-315,9	327,5	0,96
Legenda:		Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa				

Pr. 60: Kontrola nosilnosti vertikal pri interakciji osne sile in enosnega upogiba

Element	A [cm ²]	W _{v,el} [cm ³]	MSN 3		Kontrola nosilnosti
			N _{Ed,min} [kN]	M _{Ed} [kNcm]	
V1	58,5	230	-484,2	3083,0	0,84
V2	83,08	260,1	0,0	3083,0	0,46
V3	58,5	230	-710,7	3083,0	0,99
V4	64,2	238,2	0,0	3083,0	0,50
V5	58,5	230	-717,7	3083,0	0,99
V6	64,2	238,2	0,0	3083,0	0,50
V7	58,5	230	-718,2	3083,0	0,99
V8	64,2	238,2	0,0	3083,0	0,50
V9	58,5	230	-718,2	3083,0	0,99
V10	83,08	260,1	0,0	3083,0	0,46
V11	83,08	260,1	-718,6	3083,0	0,79
V12	83,08	260,1	0,0	3083,0	0,46
V13	83,08	260,1	-718,9	3083,0	0,79
V14	83,08	260,1	0,0	3083,0	0,46
V15	58,5	230	-710,9	3083,0	0,99
V16	83,08	260,1	0,0	3083,0	0,46
V17	58,5	230	-597,7	3083,0	0,91
V18	83,08	260,1	-4,1	3083,0	0,46
V19	58,5	230	-727,8	3083,0	1,00
V20	64,2	238,2	0,0	3083,0	0,50
V21	58,5	230	-735,4	3083,0	1,00
V22	83,08	260,1	0,0	3083,0	0,46

Obremenitve v vertikalih so simetrične preko
Opomba: osi 22, posledično velja enako za kontrolo nosilnosti.

Za vertikali V13 in V21 preverimo še kontrolo stabilnosti.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y * A * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (1)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z * A * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} * \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} * W_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \quad (2)$$

kjer so:

χ_y, χ_z redukcijska faktorja za uklon

χ_{LT} redukcijski faktor bočne zvrnitve

k_{yy}, k_{zy} interakcijska faktorja

$$\chi_{LT} = \begin{cases} 1; \bar{\lambda}_{LT} \leq 0,4 \\ \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - 0,75 * \bar{\lambda}_{LT}^2}} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} > 0,4 \end{cases}$$

$$\phi_{LT} = 0,5 * (1 + \alpha_{LT} * (\bar{\lambda}_{LT} - 0,4) + 0,75 * \bar{\lambda}_{LT}^2)$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y * f_y}{M_{cr}}}$$

kjer so:

$\bar{\lambda}_{LT}$ relativna vitkost bočne zvrnitve

α_{LT} faktor nepopolnosti

M_{cr} elastični kritični moment bočne zvrnitve

$$M_{cr} = C_1 * \frac{\pi}{k_z * L} * \sqrt{E * I_z * G * I_t + \frac{\pi^2 * E^2 * I_z * I_\omega}{(k_\omega * L)^2}}$$

kjer so:

k_z uklonski koeficient

k_ω koeficient, ki izraža robne pogoje za izbočenje prereza

L razmak med bočnimi podporami

I_t torzijski vztrajnostni moment pri enakomerni torziji

I_ω torzijski vztrajnostni moment pri ovirani torziji

Pr. 61: Določitev elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve

Element	C_1	L [cm]	k_z	k_ω	I_t [cm ⁴]	I_ω [cm ⁶]	M_{cr} [kN/cm]
V13	2,76	420,0	2	2	88,5	6506,0	27039,3
V21	2,76	420,0	2	2	48,8	3816,0	20085,3

Pr. 62: Kontrola stabilnosti proti bočni zvrnitvi

Element	α_{LT}	$\bar{\lambda}_{LT}$	Φ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd}$ [kN/m]	M_{Ed} [kN/m]	$M_{Ed}/M_{b,Rd}$
V13	0,34	0,48	0,60	0,97	51,6	30,8	0,60
V21	0,34	0,52	0,62	0,95	44,8	30,8	0,69

Pr. 63: Kontrola interakcije

Element	χ_y	χ_z	k_{yy}	k_{zy}	$c_{m,y}$	$c_{m,LT}$	(1)	(2)
V13	0,98	0,37	0,64	1,16	0,60	0,60	0,71	1,55
V21	0,64	0,27	0,91	1,31	0,60	0,60	1,35	2,59
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa							
Opomba:	(1) Interakcija med uklonom okoli močne osi in upogibnim momentom (2) Interakcija med uklonom okoli šibke osi in upogibnim momentom							

4.4.2 Sekundarni nosilni elementi

- **Kompaktnost** elementov sekundarne nosilne konstrukcije je prikazana ločeno za kotnike (Pr. 65) in ostale elemente (Pr. 64). Za vzdolžnike in prečnik smo kompaktnost preverjali pri čistem upogibu, za vertikale, elemente paličnega prečnika in diagonale vetrne vezi pa pri čistem tlaku.

Pr. 64: Kompaktnost vzdolžnikov in prečnika vozišča ter zgornjega pasu paličnega prečnika

Element	Previsni del pasnic		Razred kompaktnosti			Notranji tlačeni deli		Razred kompaktnosti		
	c	t	c/t	$\leq 9 \varepsilon$	Razred	c	t	c/t	$\leq 72 \varepsilon$ ali 33ε	Razred
Vzdolžnik I300	57,1	16,2	3,5	9	1. RK	267,6	16,2	16,5	72	1. RK
Vzdolžnik I280	54,45	15,2	3,6	9	1. RK	249,6	15,2	16,4	72	1. RK
Prečnik I300	57,1	16,2	3,5	9	1. RK	267,6	16,2	16,5	72	1. RK
Zgornji pas paličnega prečnika 2 U 220	58,6	12,5	4,7	9	1. RK	170	9	18,9	33	1. RK
Opomba:	Razmerje c/t je razmerje dolžine in debeline ali previsnega dela pasnic ali notranjega tlačenelega dela. Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1. Upoštevamo, da so prerezi podvrženi čistemu upogibu ali tlaku.									

Pr. 65: Kompaktnost vertikal prečnika, vertikal, diagonal in spodnjega pasu paličnega prečnika ter diagonal vetrne vezi

Razred kompaktnosti kotnikov										
Element	h	t	h/t	$\leq 15 \varepsilon$	b	h	t	$(b+h)/2t$	$\leq 11,5 \varepsilon$	Razred (vsaj)
Kotnik L 100 x 10	100	10	10,0	15	100	100	10	10,0	11,5	3. RK
Kotnik L 90 x 11	90	11	8,2	15	90	90	11	8,2	11,5	3. RK
Kotnik L 90 x 9	90	9	10,0	15	90	90	9	10,0	11,5	3. RK
Kotnik L 80 x 10	80	10	8,0	15	80	80	10	8,0	11,5	3. RK
Kotnik L 80 x 8	80	8	10,0	15	80	80	8	10,0	11,5	3. RK
Kotnik L 70 x 9	70	9	7,8	15	70	70	9	7,8	11,5	3. RK
Opomba: Mejne vrednosti za vse razrede kompaktnosti so podane v SIST EN 1993-1-1.										

- Merodajne notranje statične količine so za vzdolžnik vozišča prikazane v Pr. 66, Pr. 67 in Pr. 68, za prečnik vozišča v Pr. 69, za vertikale v Pr. 70, za palični prečnik v Pr. 71 in Pr. 72 ter za diagonale vetrne vezi v Pr. 73. Za vsak element smo dobili največji in najmanjši moment in pripadajočo prečno silo. V elementih paličja ter diagonalah vetrne vezi smo dobili največje in najmanjše osne sile.

Pr. 66: Merodajne notranje statične količine v srednjem vzdolžniku vozišča

SREDNJI VZDOLŽNIK VOZIŠČA			
Kombinacija		M_y [kN/m]	V_z [kN]
MSN 1	Največji M_y	310,2	297,0
	Najmanjši M_y	-213,7	505,8
MSN 5	Največji M_y	165,0	216,0
	Najmanjši M_y	-89,8	201,0

Pr. 67: Merodajne notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku vozišča

VMESNI VZDOLŽNIK VOZIŠČA			
Kombinacija		M_y [kN/m]	V_z [kN]
MSN 1	Največji M_y	185,9	162,0
	Najmanjši M_y	-136,0	333,4
MSN 5	Največji M_y	165,0	216,0
	Najmanjši M_y	-89,8	201,0

Pr. 68: Merodajne notranje statične količine v robnem vzdolžniku vozišča

ROBNI VZDOLŽNIK CESTIŠČA			
Kombinacija		M_y [kN/m]	V_z [kN]
MSN 1	Največji M_y	179,2	162,0
	Najmanjši M_y	-127,5	308,7
MSN 5	Največji M_y	164,6	216,0
	Najmanjši M_y	-89,3	199,3

Pr. 69: Merodajne notranje statične količine v prečniku vozišča

PREČNIK VOZIŠČA			
Kombinacija		M_y [kN/m]	V_z [kN]
MSN 1	Največji M_y	88,1	413,0
	Najmanjši M_y	-98,0	517,3
MSN 5	Največji M_y	66,3	285,7
	Najmanjši M_y	-71,9	379,6

Pr. 70: Merodajne notranje statične količine v vertikalah prečnika

VERTIKALE PREČNIKA		
Kombinacija	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]
MSN 1	55,6	-859,6
MSN 5	0,0	-633,4

Pr. 71: Merodajne osne sile v elementih paličnega prečnika, z izjemo spodnjega pasu

Element	MSN 1		MSN 5	
	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]
Spodnji pas	1208,4	-59,4	635,3	8,2
Zgornji pas	32,2	-766,4	-5,5	-432,9
Vertikala	14,4	-519,3	-3,1	-338,9
Zunanja diagonala	1222,6	-51,1	690,8	8,9
Notranja diagonala	37,9	-618,0	-4,0	-283,0

Pr. 72: Merodajne osne sile v spodnjem pasu paličnega prečnika

	Spodnji pas	
	N_{max} [kN]	N_{min} [kN]
MSN 1	1281,9	-132,9
MSN 3	1013,1	-142,6
MSN 4	192,1	12,0
MSN 5	635,3	8,2

Pr. 73: Merodajne osne sile v diagonalah vetrne vezi

Diagonale vetrne vezi		Merodajna obremenitev		Diagonale vetrne vezi		Merodajna obremenitev	
		$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]			$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]
B467	B468	116,6	-116,6	B511	B510	15,2	-15,2
B469	B470	88,9	-88,9	B513	B512	44,7	-44,7
B471	B472	61,0	-61,0	B515	B514	74,8	-74,8
B473	B474	33,5	-33,5	B517	B516	104,7	-104,7
B475	B476	5,7	-5,7	B519	B518	144,4	-144,4
B477	B478	22,0	-22,0	B521	B520	170,4	-170,4
B479	B480	49,9	-49,9	B523	B522	187,0	-187,0
B481	B482	77,4	-77,4	B525	B524	220,8	-220,8
B483	B484	106,0	-106,0	B527	B526	213,8	-213,8
B485	B486	132,6	-132,6	B529	B528	158,5	-158,5
B487	B488	166,1	-166,1	B531	B530	166,1	-166,1

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Pr. 73

B489	B490	158,5	-158,5	B533	B532	132,6	-132,6
B491	B492	213,8	-213,8	B535	B534	106,0	-106,0
B494	B495	220,8	-220,8	B537	B536	77,4	-77,4
B496	B497	187,0	-187,0	B539	B538	49,9	-49,9
B498	B499	170,4	-170,4	B541	B540	22,0	-22,0
B501	B500	144,4	-144,4	B543	B542	5,7	-5,7
B503	B502	104,7	-104,7	B545	B544	33,5	-33,5
B505	B504	74,8	-74,8	B547	B546	61,0	-61,0
B507	B506	44,7	-44,7	B549	B548	88,9	-88,9
B509	B508	15,1	-15,1	B551	B550	116,6	-116,6

Zavorna vez mora prevzeti samo prečno silo, ki se pojavi zaradi vodoravne obtežbe zaviranja in pospeševanja. Prečna povezava in vzdolžna vez prevzameta osno natezno silo (pri prečni povezavi je osna sila največja, če upoštevamo, da je na hodniku reševalno vozilo, pri vzdolžni vezi pa kadar upoštevamo, da pride do izbočitve dveh prečnikov zaradi točkovne obtežbe in ostalih zaradi linijske):

a) Zavorna vez

$$V_{Ed} = 1,35 * Q_{lk,max} = 1,35 * 50,6 \text{ kN} = 68,3 \text{ kN}$$

b) Prečna povezava zgornjih pasov glavnih paličnih nosilcev (MSN 6b)

$$N_{Ed} = 1,0 * N_{Ed,max} = 1,0 * 202,5 \text{ kN} = 202,5 \text{ kN}$$

c) Vzdolžna vez med prečniki

$$N_{Ed} = 2 * 1,35 * N_{izb,točkovna} + 14 * 1,35 * N_{izb,linijska}$$

$$N_{Ed} = 2 * 1,35 * (2,8 \text{ kN} + 4,4 \text{ kN}) + 14 * 1,35 * (0,6 \text{ kN} + 1,2 \text{ kN}) = 53,5 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = \frac{1,35 * g_L * l^2}{8} = \frac{1,35 * 0,0312 \frac{\text{kN}}{\text{m}} * (3,554 \text{ m})^2}{8} = 0,066 \text{ kNm}$$

- **S kontrolo nosilnosti in stabilnosti** smo preverili ali elementi sekundarne nosilne konstrukcije prenesejo merodajne notranje statične količine, ki so prikazane v zgornjih tabelah. Za vzdolžnike in prečnik smo najprej preverili ali moramo upoštevati vpliv prečnih sil. Tega ni potrebno upoštevati, če velja naslednji pogoj (Pr. 76):

$$V_{Ed} \leq 0,5 * V_{pl,Rd} = \frac{A_v * f_y}{2 * \gamma_{M0} * \sqrt{3}}$$

kjer so:

V_{Ed} projektna strižna obremenitev

$V_{pl,Rd}$ projektna plastična strižna nosilnost

A_v površina strižnega prereza

Pred tem smo preverili ali je stojina kompaktna (Pr. 75):

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta}$$

kjer so:

h_w višina stojine

t_w debelina stojine

η faktor povečanja plastične strižne nosilnosti

Pr. 74: Geometrijske lastnosti vzdolžnikov in prečnika vozišča

Element	Prerez	A [cm ²]	b [cm]	t _f [cm]	h _f [cm]	h _w [cm]	t _w [cm]	W _{pl,y} [cm ³]	A _{v,2} [cm ²]
Srednji vzdolžnik	I300	69	12,5	1,62	26,76	24,1	1,08	762	34,7
Vmesni vzdolžnik	I300	69	12,5	1,62	26,76	24,1	1,08	762	34,7
Robni vzdolžnik	I280	61	11,9	1,52	24,96	22,5	1,01	632	30,3
Prečnik vozišča	I300	69	12,5	1,62	26,76	24,1	1,08	762	34,7

Pr. 75: Kontrola kompaktnosti stojine

Prerez	η	hw/tw	$\leq 72 * \varepsilon / \eta$	
I300	1,2	22,3	60	STOJINA JE KOMPAKTNA
I280	1,2	22,3	60	STOJINA JE KOMPAKTNA

Pr. 76: Kontrola pogoja za upoštevanje vpliva prečnih sil

Element	V _{Ed} [kN]	$\leq V_{pl,Rd}$ [kN]	V _{Ed} /V _{pl,Rd}	$\leq 0,5 * V_{pl,Rd}$ [kN]	
Srednji vzdolžnik	505,8	427,8	1,18	213,9	UPOŠTEVAMO VPLIV PREČNIH SIL
Vmesni vzdolžnik	333,4	427,8	0,78	213,9	UPOŠTEVAMO VPLIV PREČNIH SIL
Robni vzdolžnik	308,7	373,1	0,83	186,6	UPOŠTEVAMO VPLIV PREČNIH SIL
Prečnik vozišča	517,3	470,5	1,10	235,3	UPOŠTEVAMO VPLIV PREČNIH SIL
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa				

Izračunali smo še nosilnost elementa pri enoosnem upogibu (Pr. 77):

$$M_{Ed} \leq M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} * f_y}{\gamma_{M0}}$$

kjer so:

M_{Ed} projektna upogibna obremenitev

$M_{pl,Rd}$ projektna plastična upogibna nosilnost

W_{pl} plastični odpornostni moment

Pr. 77: Kontrola nosilnosti elementov pri enoosnem upogibu

Element	M_{Ed} [kN/m]	$M_{pl,Rd}$ [kN/m]	$M_{Ed}/M_{pl,Rd}$
Vmesni vzdolžnik	185,9	162,8	1,14
Robni vzdolžnik	179,2	135,0	1,33
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa		

V primeru, da moramo upoštevati vpliv prečnih sil, projektno upogibno nosilnost zmanjšamo (Pr. 78):

$$M_{Ed} \leq M_{y,v,Rd} = M_{f,Rd} + M_{w,Rd} * (1 - \rho) \leq M_{y,c,Rd}$$

kjer so:

$M_{y,v,Rd}$ projektna upogibna nosilnost, zmanjšana zaradi vpliva prečnih sil

$M_{f,Rd}$ plastična nosilnost pasnic

$M_{w,Rd}$ plastična nosilnost stojine

$M_{y,c,Rd}$ mejna upogibna nosilnost glede na razred kompaktnosti prereza

$$\rho = \left(\frac{2 * V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

$$M_{f,Rd} = \frac{b * t_f * h_f * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$M_{w,Rd} = M_{pl,Rd} - M_{f,Rd}$$

kjer so:

b širina pasnice

t_f debelina pasnice

h_f razdalja med pasnicama

Pr. 78: Kontrola nosilnosti elementov pri enoosnem upogibu in upoštevanju vpliva prečnih sil

Element	ρ	M_{Ed} [kN/m]	$M_{f,Rd}$ [kN/m]	$M_{w,Rd}$ [kN/m]	$M_{y,v,Rd}$ [kN/m]	$\leq M_{y,c,Rd}$ [kN/m]	$M_{Ed}/M_{pl,Rd}$
Srednji vzdolžnik	1,00	213,7	115,8	47,0	115,8	162,8	1,85
Vmesni vzdolžnik	0,31	136,0	115,8	47,0	148,1	162,8	0,92
Robni vzdolžnik	0,43	127,5	96,5	38,6	118,5	135,0	1,08
Prečnik vozišča	1,00	98,0	127,3	51,7	127,3	179,1	0,77
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa						

V *Pr. 77* smo izračunali upogibno nosilnost momentov pri največjem momentu (pripadajoča prečna sila ne presega polovice projektne strižne nosilnosti prereza), v *Pr. 78* pa smo določili nosilnost elementov pri največji prečni sili in pripadajočem momentu, torej smo upoštevali vpliv prečnih sil na upogibno nosilnost prereza.

Preverili smo tudi vnos koncentrirane sile na mestu podpore (prečnika, *Pr. 81*):

$$F_{Ed} \leq F_{Rd} = \frac{f_{yw} * L_{eff} * t_w}{\gamma_{M1}}$$

kjer so:

F_{Ed} projektna prečna sila

F_{Rd} projektna nosilnost pri vnosu koncentrirane sile

f_{yw} napetost na meji tečenja pasnice

L_{eff} efektivna dolžina, ki sodeluje pri prevzemu koncentrirane sile

$$L_{eff} = \chi_F * l_y$$

kjer sta:

χ_F redukcijski faktor

l_y efektivna obtežena dolžina

$$\chi_F = \frac{0,5}{\bar{\lambda}_F} \leq 1,0$$

$$\bar{\lambda}_F = \sqrt{\frac{l_y * t_w * f_{yw}}{F_{Cr}}}$$

$$F_{Cr} = 0,9 * k_F * E * \frac{t_w^3}{h_w}$$

$$k_F = 2 + 6 * \left(\frac{s_s}{h_w}\right) \leq 6$$

kjer sta:

k_F koeficient ojačitev

s_s dolžina raznosa, na katerem je koncentrirana obtežba enakomerno razporejena

$$l_y = \min \left\{ l_e + t_f + \sqrt{\frac{m_1}{2} + \left(\frac{l_e}{t_f}\right)^2} + m_2; l_e + t_f * \sqrt{m_1 + m_2} \right\}$$

$$l_e = \frac{k_F * E * t_w^2}{2 * f_{yw} * h_w} \leq s_s$$

$$m_1 = \frac{f_{yf} * b_f}{f_{yw} * t_w}$$

$$m_2 = \begin{cases} 0,02 * \left(\frac{h_w}{t_f}\right)^2; \bar{\lambda}_F > 0,5 \\ 0; \bar{\lambda}_F \geq 0,5 \end{cases}$$

Pr. 79: Določitev L_{eff} , 1.del

Element	$I_e \leq s_s$ [cm]	m_1	m_2	I_y
Srednji vzdolžnik	9,6	11,6	0,0	15,1
Vmesni vzdolžnik	9,6	11,6	0,0	15,1
Robni vzdolžnik	9,6	11,8	0,0	14,8

Pr. 80: Določitev L_{eff} , 2.del

Element	s_s [cm]	$k_f \leq 6$	F_{cr} [kN]	$\bar{\lambda}_F$	χ_F	L_{eff}
Srednji vzdolžnik	9,6	4,4	4337,0	0,30	1	15,11
Vmesni vzdolžnik	9,6	4,4	4337,0	0,30	1	15,11
Robni vzdolžnik	9,6	4,6	3946,5	0,30	1	14,82

Pr. 81: Kontrola vnosa koncentrirane sile na mestu podpore (prečnika)

Element	F_{Ed} [kN]	$\leq F_{Rd}$ [kN]	F_{Ed}/F_{Rd}
Srednji vzdolžnik	505,8	333,5	1,52
Vmesni vzdolžnik	333,4	333,5	1,00
Robni vzdolžnik	308,7	305,8	1,01
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa		

Na koncu smo preverili še stabilnost elementov (samo prečnika, saj so vzdolžniki bočno podprti z betonsko ploščo) na bočno zvrnitvev (Pr. 83):

$$M_{Ed} \leq M_{b,Rd} = \frac{\chi_{LT} * W_y * f_y}{\gamma_{M1}}$$

kjer je:

$M_{b,Rd}$ projektna upogibna nosilnost z upoštevanjem redukcije zaradi bočne zvrnitve

Pr. 82: Določitev elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve

Element	C_1	L [cm]	k_z	k_w	I_t [cm ⁴]	I_w [cm ⁶]	M_{cr} [kN/cm]
Prečnik vozišča	1,52	355,4	1	1	46,7	91850	30074,4

Pr. 83: Kontrola stabilnosti proti bočni zvrnitvi

Element	α_{LT}	$\bar{\lambda}_{LT}$	Φ_{LT}	χ_{LT}	$M_{b,Rd}$ [kN/m]	M_{Ed} [kN/m]	$M_{Ed}/M_{b,Rd}$
Prečnik vozišča	0,49	0,77	0,81	0,78	139,9	98,0	0,70

Elemente paličnega prečnika in vertikal prečnika vozišča ter diagonal vetrne vezi smo preverili na enak način kot elemente glavnega paličnega nosilca, ki so obremenjeni s tlačno ali natezno osno silo (Pr. 84, Pr. 85, Pr. 86 in Pr. 87). Pri vertikalih prečnika ter zgornjem pasu, vertikalih in notranjih diagonalah paličnega prečnika smo zanemarili natezno, pri zunanjih diagonalah pa tlačno obremenitev.

Pr. 84: Geometrijske lastnosti elementov paličnega prečnika in vertikal prečnika vozišča za kontrolo nosilnosti in stabilnosti

Element	A_{brujp} [cm ²]	A_{netp} [cm ²]	L_{sist} [cm]	L_u [cm]	I_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	α	λ	Φ	χ
Vertikale prečnika	30,2		150,0	150,0	277,2	3,03	0,49	0,53	0,72	0,83
Spodnji pas	30,2	26,6	420,0	420,0	277,2	3,03	0,49	1,48	1,90	0,32
Zgornji pas	75,9		375,0	375,0	943,4	3,53	0,49	1,13	1,37	0,47
Vertikala	24,5		205,0	205,0	229,1	3,06	0,49	0,71	0,88	0,72
Zunanja diagonal	30,2	26,8								
Notranja diagonal	24,5		293,5	293,5	229,1	3,06	0,49	1,02	1,22	0,53

Pr. 85: Kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov paličnega prečnika in vertikal prečnika vozišča

Element	MSN		KONTROLA NOSILNOSTI IN STABILNOSTI			
	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	Nateg		Tlak	
			$N_{u,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max} / N_{u,Rd}$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,min} / N_{b,Rd}$
Vertikale prečnika	55,6	-859,6			534,0	1,61
Spodnji pas	1281,9	-142,6	594,1	2,16	198,9	0,72
Zgornji pas	32,2	-766,4			724,5	1,06
Vertikala	14,4	-519,3			358,5	1,45
Zunanja diagonal	1222,6	-51,1	597,9	2,04		
Notranja diagonal	37,9	-618,0			264,0	2,34
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost elementa					

Pr. 86: Geometrijske karakteristike diagonal vetrne vezi za kontrolo nosilnosti in stabilnosti

GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE											
Element		Prerez	A_{bruto} [cm ²]	A_{neto} [cm ²]	L_{sist} [cm]	L_u [cm]	I_{min} [cm ⁴]	i_{min} [cm]	λ	ϕ	χ
B467	B468	2 x L90/90/9	31,04	27,44	504,2	504,2	367,4	3,44	1,56	2,05	0,30
B469	B470	2 x L80/80/8	24,54	21,66	504,2	504,2	229,1	3,06	1,76	2,43	0,24
B471	B472	2 x L80/80/8	24,54	21,66	504,2	504,2	229,1	3,06	1,76	2,43	0,24
B473	B474	2 x L70/70/9	23,76	20,52	504,2	504,2	166,1	2,64	2,03	3,01	0,19
B475	B476	2 x L70/70/9	23,76	20,52	504,2	504,2	166,1	2,64	2,03	3,01	0,19
B477	B478	2 x L70/70/9	23,76	20,52	504,2	504,2	166,1	2,64	2,03	3,01	0,19
B479	B480	2 x L80/80/10	30,22	26,62	504,2	504,2	277,2	3,03	1,77	2,46	0,24
B481	B482	2x L80/80/10	30,22	26,62	504,2	504,2	277,2	3,03	1,77	2,46	0,24
B483	B484	2x L90/90/11	37,40	33,44	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B485	B486	2x L90/90/11	37,40	32,56	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B487	B488	2x L90/90/11	37,40	32,56	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B489	B490	2x L100/100/10	38,31	33,91	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B491	B492	2x L100/100/10	38,31	33,51	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B494	B495	2x L100/100/10	38,31	33,91	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B496	B497	2x L100/100/10	38,31	33,91	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B498	B499	2x L90/90/11	37,40	32,56	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B501	B500	2x L90/90/11	37,40	33,00	516,4	516,4	476,5	3,57	1,54	2,02	0,30
B503	B502	2x L80/80/10	30,22	26,62	516,4	516,4	277,2	3,03	1,82	2,54	0,23
B505	B504	2x L80/80/10	30,22	26,62	516,4	516,4	277,2	3,03	1,82	2,54	0,23
B507	B506	2x L70/70/9	23,76	20,52	516,4	516,4	166,1	2,64	2,08	3,12	0,18
B509	B508	2x L70/70/9	23,76	20,52	516,4	516,4	166,1	2,64	2,08	3,12	0,18
B511	B510	2x L70/70/9	23,76	20,52	516,4	516,4	166,1	2,64	2,08	3,12	0,18
B513	B512	2x L70/70/9	23,76	20,52	516,4	516,4	166,1	2,64	2,08	3,12	0,18
B515	B514	2x L80/80/10	30,22	26,62	516,4	516,4	277,2	3,03	1,82	2,54	0,23
B517	B516	2x L80/80/10	30,22	26,62	516,4	516,4	277,2	3,03	1,82	2,54	0,23
B519	B518	2x L90/90/11	37,40	33,00	516,4	516,4	476,5	3,57	1,54	2,02	0,30
B521	B520	2x L90/90/11	37,40	32,56	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B523	B522	2x L100/100/10	38,31	33,91	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B525	B524	2x L100/100/10	38,31	33,91	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B527	B526	2x L100/100/10	38,31	33,51	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B529	B528	2x L100/100/10	38,31	33,91	504,2	504,2	560,5	3,83	1,40	1,78	0,35
B531	B530	2x L90/90/11	37,40	32,56	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B533	B532	2x L90/90/11	37,40	32,56	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B535	B534	2x L90/90/11	37,40	33,44	504,2	504,2	476,5	3,57	1,50	1,95	0,31
B537	B536	2x L80/80/10	30,22	26,62	504,2	504,2	277,2	3,03	1,77	2,46	0,24
B539	B538	2x L80/80/10	30,22	26,62	504,2	504,2	277,2	3,03	1,77	2,46	0,24
B541	B540	2x L70/70/9	23,76	20,52	504,2	504,2	166,1	2,64	2,03	3,01	0,19
B543	B542	2x L70/70/9	23,76	20,52	504,2	504,2	166,1	2,64	2,03	3,01	0,19
B545	B544	2x L70/70/9	23,76	20,52	504,2	504,2	166,1	2,64	2,03	3,01	0,19
B547	B546	2x L80/80/8	24,54	21,66	504,2	504,2	229,1	3,06	1,76	2,43	0,24
B549	B548	2x L80/80/8	24,54	21,66	504,2	504,2	229,1	3,06	1,76	2,43	0,24
B551	B550	2x L90/90/9	31,04	27,44	504,2	504,2	367,4	3,44	1,56	2,05	0,30

Pr. 87: Kontrola nosilnosti in stabilnosti diagonal vetrne vezi

Os	MSN		KONTROLA NOSILNOSTI IN STABILNOSTI			
	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	Nateg		Tlak	
			$N_{u,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,max} / N_{u,Rd}$	$N_{b,Rd}$ [kN]	$N_{Ed,min} / N_{u,Rd}$
1'-2'	116,6	-116,6	612,8	0,19	187,5	0,62
2'-3'	88,9	-88,9	483,7	0,18	122,4	0,73
3'-4'	61,0	-61,0	483,7	0,13	122,4	0,50
4'-5'	33,5	-33,5	458,3	0,07	92,8	0,36
5'-6'	5,7	-5,7	458,3	0,01	92,8	0,06
6'-7'	22,0	-22,0	458,3	0,05	92,8	0,24
7'-8'	49,9	-49,9	594,5	0,08	148,5	0,34
8'-9'	77,4	-77,4	594,5	0,13	148,5	0,52
9'-10'	106,0	-106,0	746,8	0,14	239,3	0,44
10'-11'	132,6	-132,6	727,2	0,18	239,3	0,55
11'-12'	166,1	-166,1	727,2	0,23	239,3	0,69
12'-13'	158,5	-158,5	757,3	0,21	272,3	0,58
13'-14'	213,8	-213,8	748,4	0,29	272,3	0,79
14'-15'	220,8	-220,8	757,3	0,29	272,3	0,81
15'-16'	187,0	-187,0	757,3	0,25	272,3	0,69
16'-17'	170,4	-170,4	727,2	0,23	239,3	0,71
17'-18'	144,4	-144,4	737,0	0,20	230,6	0,63
18'-19'	104,7	-104,7	594,5	0,18	142,7	0,73
19'-20'	74,8	-74,8	594,5	0,13	142,7	0,52
20'-21'	44,7	-44,7	458,3	0,10	89,0	0,50
21'-22	15,1	-15,1	458,3	0,03	89,0	0,17
22-21	15,2	-15,2	458,3	0,03	89,0	0,17
21-20	44,7	-44,7	458,3	0,10	89,0	0,50
20-19	74,8	-74,8	594,5	0,13	142,7	0,52
19-18	104,7	-104,7	594,5	0,18	142,7	0,73
18-17	144,4	-144,4	737,0	0,20	230,6	0,63
17-16	170,4	-170,4	727,2	0,23	239,3	0,71
16-15	187,0	-187,0	757,3	0,25	272,3	0,69
15-14	220,8	-220,8	757,3	0,29	272,3	0,81
14-13	213,8	-213,8	748,4	0,29	272,3	0,79
13-12	158,5	-158,5	757,3	0,21	272,3	0,58
12-11	166,1	-166,1	727,2	0,23	239,3	0,69
11-10	132,6	-132,6	727,2	0,18	239,3	0,55
10-9	106,0	-106,0	746,8	0,14	239,3	0,44
9-8	77,4	-77,4	594,5	0,13	148,5	0,52
8-7	49,9	-49,9	594,5	0,08	148,5	0,34
7-6	22,0	-22,0	458,3	0,05	92,8	0,24
6-5	5,7	-5,7	458,3	0,01	92,8	0,06
5-4	33,5	-33,5	458,3	0,07	92,8	0,36
4-3	61,0	-61,0	483,7	0,13	122,4	0,50
3-2	88,9	-88,9	483,7	0,18	122,4	0,73
2-1	116,6	-116,6	612,8	0,19	187,5	0,62

Pri zavornih vezeh smo izračunali nosilnost pločevine:

$$I_{neto} = \frac{t * l^3}{12} - 2 * d_0 * (z_1^2 + z_2^2)$$

$$I_{neto} = \frac{1 \text{ cm} * (40 \text{ cm})^3}{12} - 2 * 2,0 \text{ cm} * ((15 \text{ cm})^2 + (5 \text{ cm})^2) = 4333 \text{ cm}^4$$

$$M_{Ed} = 12,0 \text{ kNm} \leq M_{el,Rd} = \frac{4333 \text{ cm}^4 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{20 \text{ cm} * 1,0 * 100} = 50,9 \text{ kNm}$$

Pri prečni povezavi zgornjih pasov glavnih nosilcev smo preverili nosilnost prereza ($\phi = 25 \text{ mm}$):

$$N_{Ed} = 202,5 \text{ kN} \leq N_{Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,91 \text{ cm}^2 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 115,4 \text{ kN}$$

Kontrola nosilnosti palice se ne izide.

Pri vzdolžni vezi med prečniki smo izračunali nosilnost prereza ($\phi 42,5/3,25$):

$$\frac{N_{Ed}}{A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}} = \frac{53,5 \text{ kN}}{3,98 \text{ cm}^2 * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0}} + \frac{6,6 \text{ kNcm}}{3,61 \text{ cm}^3 * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0}} = 0,65 \leq 1$$

4.4.3 Elementi hodnika

- **Kompaktnost** stojine robnega in vmesnega vzdolžnika smo določili pri čistem upogibu in strigu:

a) Stojina robnega vzdolžnika – upogib

$$\frac{c}{t} = \frac{50 \text{ cm}}{0,8 \text{ cm}} = 62,5 \leq 72 * \varepsilon = 72 * 1 = 72 \Rightarrow 1. RK$$

b) Stojina robnega vzdolžnika – strig

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{50 \text{ cm}}{0,8 \text{ cm}} = 62,5 \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1} = 72 \Rightarrow \text{STOJINA JE KOMPAKTNA}$$

c) Stojina vmesnega vzdolžnika – upogib

$$\frac{c}{t} = \frac{18 \text{ cm}}{0,95 \text{ cm}} = 18,9 \leq 72 * \varepsilon = 72 * 1 = 72 \Rightarrow 1. RK$$

d) Stojina vmesnega vzdolžnika – strig

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{18 \text{ cm}}{0,95 \text{ cm}} = 18,9 \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1,2} = 60 \Rightarrow \text{STOJINA JE KOMPAKTNA}$$

Kompaktnost pasnice vmesnega vzdolžnika smo določili pri čistem tlaku:

a) Zgornja pasnica – tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{15 \text{ cm}}{1,2 \text{ cm}} = 12,5 \leq 33 * \varepsilon = 33 * 1 = 33 \Rightarrow 1. RK$$

b) Spodnja pasnica – tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{7,5 \text{ cm}}{1,2 \text{ cm}} = 6,3 \leq 9 * \varepsilon = 9 * 1 = 9 \Rightarrow 1. RK$$

Kompaktnost diagonale konzole hodnika smo določili pri čistem tlaku:

a) Stojina diagonale konzole hodnika – tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{(6,5 - 4 * 0,75) \text{ cm}}{0,55 \text{ cm}} = 6,4 \leq 33 * \varepsilon = 33 * 1 = 33 \Rightarrow 1. RK$$

b) Pasnica diagonale konzole hodnika – tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{(4,2 - 0,55 - 0,75) \text{ cm}}{0,75 \text{ cm}} = 3,9 \leq 9 * \varepsilon = 9 * 1 = 9 \Rightarrow 1. RK$$

Kompaktnost stojine zgornjega pasu konzole hodnika smo določili pri čistem upogibu in strigu:

a) Stojina zgornjega pasu konzole hodnika – upogib

$$\frac{c}{t} = \frac{(12 - 4 * 0,9) \text{ cm}}{0,7 \text{ cm}} = 12 \leq 72 * \varepsilon = 72 * 1 = 72 \Rightarrow 1. RK$$

b) Stojina zgornjega pasu konzole hodnika – strig

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{(12 - 4 * 0,9) \text{ cm}}{0,7 \text{ cm}} = 12 \leq 72 * \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 * \frac{1}{1,2} = 60 \Rightarrow \text{STOJINA JE KOMPAKTNA}$$

Kompaktnost pasnice zgornjega pasu konzole hodnika smo določili pri čistem tlaku:

a) Zgornja pasnica – tlak

$$\frac{c}{t} = \frac{(5,5 - 0,9 - 0,7) \text{ cm}}{0,9 \text{ cm}} = 4,3 \leq 9 * \varepsilon = 9 * 1 = 9 \Rightarrow 1. RK$$

- **Merodajne notranje statične količine** so za robni in vmesni vzdolžnik hodnika prikazane v *Pr. 88* in *Pr. 89*, za vodoravni nosilec konzole hodnika v *Pr. 90* in za diagonalo konzole hodnika v *Pr. 91*. Izkaže se, da so tlačne sile v diagonalah in negativni momenti v zgornjem pasu konzole hodnika tako majhni, da smo jih zanemarili.

Pr. 88: Merodajne notranje statične količine v robnem vzdolžniku hodnika

ROBNI VZDOLŽNIK HODNIKA				
Kombinacija		M_y [kN/m]	V_z [kN]	M_x [kN/m]
MSN 1	Največji M_y	6,2	0,0	0,6
	Najmanjši M_y	-8,1	24,3	0,6
MSN 6a	Največji M_y	10,2	0,0	0,9
	Najmanjši M_y	-12,8	38,2	0,9
MSN 6b	Največji M_y	74,5	108,0	0,9
	Najmanjši M_y	-59,9	143,7	0,9

Pr. 89: Merodajne notranje statične količine v vmesnem vzdolžniku hodnika

VMESNI VZDOLŽNIK HODNIKA			
Kombinacija		M_y [kN/m]	V_z [kN]
MSN 1	Največji M_y	8,0	0,0
	Najmanjši M_y	-10,4	31,1
MSN 6a	Največji M_y	16,0	0,0
	Najmanjši M_y	-20,1	58,9
MSN 6b	Največji M_y	74,7	108,0
	Najmanjši M_y	-61,5	146,7

Pr. 90: Merodajne notranje statične količine v vodoravnem nosilcu konzole hodnika

VODORAVNI NOSILEC KONZOLE			
Kombinacija	M_y [kN/m]	V_z [kN]	N [kN]
MSN 1	14,8	31,8	37,1
MSN 6a	68,9	147,4	202,5
MSN 6b	27,7	59,5	61,7

Pr. 91: Merodajne osne sile v diagonali konzole hodnika

DIAGONALA KONZOLE	
Kombinacija	N_{min} [kN]
MSN 1	-52,2
MSN 6a	-284,4
MSN 6b	-86,8

- S kontrolo nosilnosti in stabilnosti smo preverili ali elementi hodnika prenesejo merodajne notranje statične količine, ki so prikazane v zgornjih tabelah. Vmesni vzdolžnik smo preverili tako, kot smo preverili vzdolžnike pri sekundarni nosilni konstrukciji, pri robnem vzdolžniku pa smo preverili še interakcijo upogiba okoli močne osi in torzije. Kontrola bočne zvrnitve ni potrebna, saj sta vzdolžnika podprta z betonsko ploščo.

Pr. 92: Geometrijske lastnosti robnega in vmesnega vzdolžnika hodnika

Element	Prerez	A [cm ²]	$W_{y,el}$ [cm ³]	A_v [cm ²]	I_y [cm ⁴]
robni vzdolžnik	/	40,0	333,3	40,0	8333,3
vmesni vzdolžnik	2 x Z180	66,6	356,0	34,2	3830,0

Pr. 93: Kontrola pogoja za upoštevanje vpliva prečnih sil

Element	V_{Ed} [kN]	$\leq V_{pl,Rd}$ [kN]	$V_{Ed}/V_{pl,Rd}$	$\leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ [kN]
robni vzdolžnik	143,7	542,7	0,26	271,4
vmesni vzdolžnik	146,7	464,0	0,32	232,0

Pr. 94: Kontrola nosilnosti elementov pri enoosnem upogibu

Element	M_{Ed} [kN/m]	$M_{el,Rd}$ [kN/m]	$M_{Ed}/M_{el,Rd}$
robni vzdolžnik	74,5	78,3	0,95
vmesni vzdolžnik	74,7	83,7	0,89

Interakcija $M_y - V_z - M_x$ pri robnem vzdolžniku:

$$\sigma_{x,sd} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,el}} = \frac{74,5 \cdot 100 \text{ kN cm}}{333,3 \text{ cm}^3} = 22,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\tau_{sd} = \frac{M_{x,Ed}}{W_x} + \frac{V_{Ed}}{A_v} = \frac{0,92 \cdot 100 \text{ kN cm}}{10 \text{ cm}^3} + \frac{108 \text{ kN}}{40 \text{ cm}^2} = 11,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$W_x = \beta \cdot b^2 \cdot h = 0,313 \cdot (0,8 \text{ cm})^2 \cdot 50 \text{ cm} = 10,0 \text{ cm}^3$$

$$\beta = 0,313 \text{ pri } \frac{h}{b} > 10 \text{ (vir Stahlbau)}$$

$$\left(\frac{\sigma_{x,sd}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\tau_{sd}}{f_y/\gamma_{M0}} \right)^2 \leq 1,0$$

$$\left(\frac{22,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{11,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right)^2 = 1,67 \not\leq 1,0$$

Prečni prerez robnega vzdolžnika hodnika ni sposoben prenesti merodajne obtežbe.

Zgornji pas konzole smo preverili na interakcijo med natezno osno silo in upogibnim momentom. Najprej smo izračunali nosilnost prereza na natezno osno silo:

$$A_{neto} = A - 2 \cdot 2 \cdot \phi \cdot t_w = 34 \text{ cm}^2 - 4 \cdot 1,4 \text{ cm} \cdot 0,7 \text{ cm} = 30,1 \text{ cm}^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0,9 \cdot A_{neto} \cdot f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 30,1 \text{ cm}^2 \cdot 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 726,0 \text{ kN} \geq 202,5 \text{ kN}$$

Sledi kontrola strižne nosilnosti:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\gamma_{M0} \cdot \sqrt{3}} = \frac{12 \text{ cm} \cdot 0,7 \text{ cm} \cdot 2 \cdot 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0 \cdot \sqrt{3}} = 227,9 \text{ kN} \geq 147,4 \text{ kN}$$

Ker je strižna obremenitev večja od polovice strižne nosilnosti prereza, je potrebno upoštevati zmanjšanje upogibne nosilnosti zaradi vpliva prečnih sil. Izračunali smo upogibno nosilnost prereza:

$$I_{y,neto} = I_y - 4 * A_{\phi} * z_{\phi}^2 = 728 \text{ cm}^4 - 4 * 1,4 \text{ cm} * 0,7 \text{ cm} * (2,5 \text{ cm})^2 = 704 \text{ cm}^4$$

$$W_{y,el,neto} = \frac{I_{y,neto}}{\frac{h}{2}} = \frac{704 \text{ cm}^4}{6 \text{ cm}} = 117,3 \text{ cm}^3$$

$$\rho = \left(\frac{2 * V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 * 147,4 \text{ kN}}{227,9 \text{ kN}} - 1 \right)^2 = 0,09$$

$$M_{f,Rd} = \frac{b * t_f * h_f * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11,0 \text{ cm} * 0,9 \text{ cm} * 10,2 \text{ cm} * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 2373,0 \text{ kNcm}$$

$$M_{w,Rd} = M_{el,Rd} - M_{f,Rd} = \frac{117,3 \text{ cm}^3 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} - 2373,0 \text{ kNcm} = 383,52 \text{ kNcm}$$

$$M_{y,v,Rd} = M_{f,Rd} + M_{w,Rd} * (1 - \rho) = 2373,0 \text{ kNcm} + 383,52 \text{ kNcm} * (1 - 0,09) = 2723,5 \text{ kNcm}$$

$$M_{Ed} = 68,9 \text{ kNm} \not\leq M_{y,v,Rd} = 27,2 \text{ kNm}$$

Prečni prerez ni sposoben prenesti upogibne obremenitve, tudi če je ne bi bilo potrebno zmanjšati zaradi vpliva prečne sile. Preverili smo še interakcijo med natezno osno silo in upogibnim momentom:

$$\frac{N_{Ed}}{A_{neto}} + \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,neto}} = \frac{202,5 \text{ kN}}{30,1 \text{ cm}^2} + \frac{68,9 * 100 \text{ kNcm}}{117,3 \text{ cm}^3} = 65,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \not\leq 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Na koncu smo izračunali stabilnost prereza na bočno zvrnitev, tako kot pri prečniku vozišča:

Pr. 95: Določitev elastičnega kritičnega momenta bočne zvrnitve

Element	C_1	L [cm]	k_z	k_w	I_t [cm ⁴]	I_w [cm ⁶]	M_{cr} [kN/cm]
Zgornji pas konzole	1,77	125	1	1	8,15	2112	41980,2

Pr. 96: Kontrola stabilnosti proti bočni zvrnitvi

Element	α_{LT}	$\bar{\lambda}_{LT}$
Zgornji pas konzole	0,49	0,26

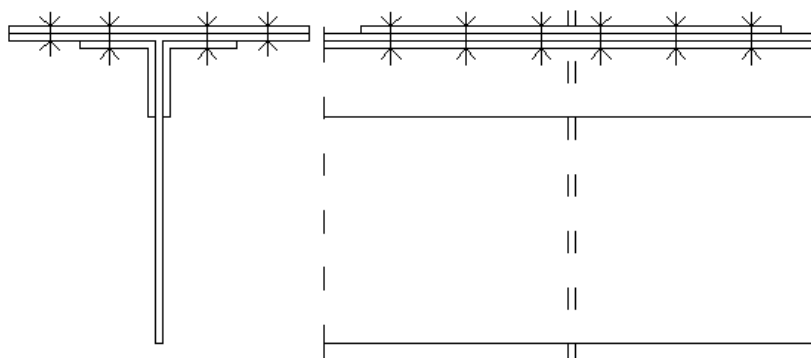
Ker je relativna vitkost bočne zvrnitve manjša od 0,4, ni nevarnosti bočne zvrnitve.

5 KONTROLA SPOJEV

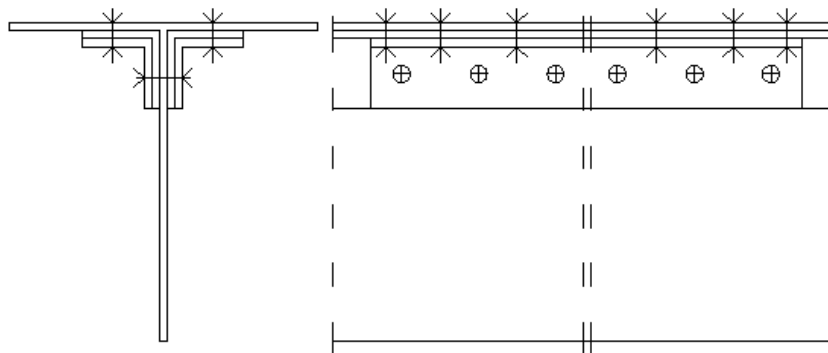
Vsi stari spoji na konstrukciji so izvedeni z zakovicami. Tudi po obnovi so ohranjali obliko mostu in nove spoje ravno tako zakovičili. Izjema sta le spoja prečne povezave glavnih paličnih nosilcev in vzdolžne vez med prečniki, ki prevzmeta izbočne sile. Palica oz. cev sta v tem primeru privarjeni na vezno pločevino.

5.1 Glavni palični nosilec

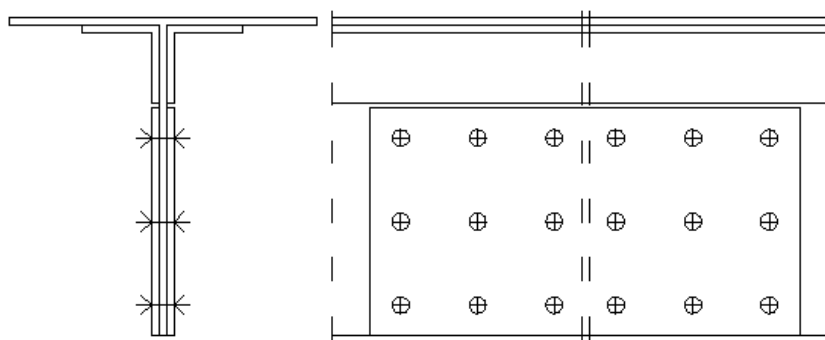
Ker so v elementih samo osne sile, smo spoj preverili na nosilnost pločevine, strižno nosilnost zakovic in nosilnost na bočni pritisk. Vsi spoji so izvedeni na enak način, spojeni so z dodatno lamelo na pasnici (kjer ni potrebe, je ta lahko izpuščena, Sl. 53), dvema kotnikoma, med stojino in pasnico (Sl. 54) ter obojestransko zaplato na stojini (Sl. 55). Preverili smo dva spoja v spodnjem pasu, v prvem primeru se kontrola stabilnosti in nosilnosti ne izide, v drugem primeru pa je izkoriščenost prereza okoli 90%.



Sl. 53: Priključek pasnice; preklopni spoj z dodatno lamelo na pasnici ($n = 1$)



Sl. 54: Priključek kotnikov; preklopni spoj s kotnikoma ($n = 2$)



Sl. 55: Priključek stojine; preklopni spoj z obojestransko vezno pločevino ($n = 2$)

Najprej smo razdelili silo na dele (stojina, lamela, kotnik) prereza v razmerju njihovih površin:

$$F_{i,Ed} = N_{Ed} * \frac{A_i}{A_{bruto}}$$

kjer so:

$F_{i,Ed}$ obremenitev različnega dela prereza ($i=s, l, k$)

N_{Ed} največja obremenitev v spoju

A_i površina delov prereza, za katerega določamo obremenitev ($i=s, l, k$)

A_{bruto} bruto površina prereza

Pr. 97: Obremenitev v obravnavanem spoju in površina delov prereza

Spoj	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	Izkoriščenost	A_{bruto} [cm ²]	A_s [cm ²]	A_k [cm ²]	A_l [cm ²]
S(5-6)	3963,8	-1393,6	1,25	174,7	80,0	/	/
S(13-14)	-1816,1	-6611,3	0,90	393,5	80,0	55,0	100,0
					67,2		60,0

Preverili smo nosilnost vsake vezne pločevine (nosilnost neto oz. bruto prereza, *Pr. 98*) na silo, ki jo ta prevzame. Spoj je narejen z zamikom. Različni deli prereza se spajajo na različnih mestih.

$$F_{i,Ed} \leq N_{i,Rd}$$

kjer je:

$N_{i,Rd}$ nosilnost neto oz. bruto elementa prereza

Pr. 98: Kontrola nosilnosti posamezne vezne pločevine

NOSILNOST PREREZA					
Spoj		$A_{pločevine}$ [cm ²]	$F_{i,Ed}$ [kN]	$N_{i,Rd}$ [kN]	$F_{i,Ed}/N_{i,Rd}$
S(5-6)	stojina	66,0	1815,7	1474,0	1,23
	stojina	93,1	1980,1	1989,4	1,00
S(13-14)	lamela	60,0	2016,4	1281,8	1,57
	kotnik	28,0	665,2	598,2	1,11
Legenda:	Projektna obremenitev presega projektno nosilnost dela prereza				

Izračunali smo strižno nosilnost zakovic (*Pr. 99*):

$$F_{i,Ed} \leq F_{v,Rd} = n * \frac{0,6 * A_0 * f_{ur}}{\gamma_{M2}}$$

kjer so:

$F_{v,Rd}$ strižna nosilnost zakovice za eno strižno ravnino

n število strižnih ravnin

A_0 površina prereza luknje

f_{ur} natezna trdnost zakovic

Pr. 99: Strižna nosilnost zakovic

STRIŽNA NOSILNOST ZAKOVIC							
Spoj		m	ϕ [mm]	A_o [cm ²]	n	$F_{V,Rd}$ [kN]	$F_{i,Ed}/F_{V,Rd}$
S(5-6)	stojina	12	24	4,5	2	1930,2	0,94
S(13-14)	stojina 1	12	24	4,5	2	1930,2	0,70
	stojina 2	9	24	4,5	2	1447,6	0,78
	lamela 1	24	24	4,5	2	3860,4	0,44
	lamela 2	20	20	3,1	1	1117,0	0,90
	kotnik	6	24	4,5	2	965,1	0,96

Na koncu smo preverili še nosilnost na bočni pritisk (Pr. 100 in Pr. 101):

$$F_{i,Ed} \leq F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha_b * f_u * d_o * t_{min}}{\gamma_{M2}}$$

kjer so:

$F_{b,Rd}$ nosilnost na bočni pritisk

d_o premer luknje

t_{min} najmanjša debelina pločevine v spoju

$$\alpha_b = \min\left(\alpha_d; \frac{f_{ur}}{f_u}; 1,0\right)$$

$$\alpha_d = \min\left\{\begin{array}{l} \frac{e_1}{3 * d_o}; \text{ robna zakovica} \\ \frac{p_1}{3 * d_o} - 0,25; \text{ notranja zakovica} \end{array}\right.$$

$$k_1 = \min\left\{\begin{array}{l} \min\left(2,8 * \frac{e_2}{d_o} - 1,7 \leq 2,5; 1,4 * \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \leq 2,5\right); \text{ robna zakovica} \\ 1,4 * \frac{p_2}{d_o} - 1,7 \leq 2,5; \text{ notranja zakovica} \end{array}\right.$$

kjer sta:

e_i razdalja od zakovice do roba pločevine ($i=1$ (smer obtežbe), 2 (pravokotno na smer obtežbe))

p_i razdalja med dvema zakovicama ($i=1$ (smer obtežbe), 2 (pravokotno na smer obtežbe))

Pr. 100: Lastnosti spoja potrebne za izračun nosilnosti na bočni pritisk

Spoj		d_0 [mm]	e_1 [mm]	ρ_1 [mm]	f_{ur} [kN/cm ²]	f_u [kN/cm ²]	e_2 [mm]	ρ_2 [mm]
S(5-6)	stojina	24	120	140	40	33,5	123	150
S(13-14)	stojina 1	24	120	140	40	33,5	120	140
	stojina 2	24	120	140	40	33,5	120	140
	lamela 1	24	120	140	40	33,5	120	140
	lamela 2	20	120	140	40	33,5	120	140
	kotnik	24	50	140	40	33,5	50	140

Pr. 101: Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

NOSILNOST NA BOČNI PRITISK						
Spoj		α_b	k_1	t_{min} [cm]	$F_{b,Rd}$ [kN]	$F_{i,Ed}/F_{b,Rd}$
S(5-6)	stojina	1,0	2,5	1,1	1965,3	0,92
S(13-14)	stojina 1	1,0	2,5	1,2	2144,0	0,63
	stojina 2	1,0	2,5	1,2	1608,0	0,70
	lamela 1	1,0	2,5	1,2	4288,0	0,39
	lamela 2	1,0	2,5	1,2	2977,8	0,34
	kotnik	0,7	2,5	1,0	620,4	1,49
Legenda:		Projektna obremenitev presega projektno nosilnost na bočni pritisk				

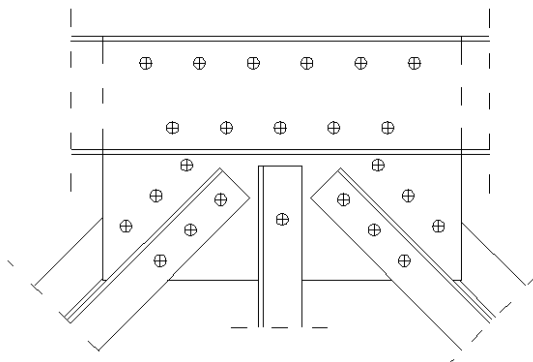
5.2 Sekundarna nosilna konstrukcija

Pri sekundarni konstrukciji se pojavijo spoji, ki morajo biti sposobni prevzeti tudi moment (spoji pri prečnih in vzdolžnikih vozišča), spoji, pri katerih zakovice niso edino vezno sredstvo in spoji v paličju. Preverili smo spoj med prečnikom in vertikalo glavnega paličnega nosilca, med prečnikom in srednjim vzdolžnikom, dva spoja v paličnem prečniku, spoj vzdolžne vezi med prečniki, spoj prečne povezave in spoj zavorne vezi.

5.2.1 Spoji v paličnem prečniku

Spoji v paličnem prečniku so v osnovi enaki spojem v glavnem paličnem nosilcu. Preverili smo spoj v spodnjem in zgornjem pasu.

- V **zgornjem pasu** se na sredini stikajo diagonali D2 in D3 ter vertikala V2. Izračunali smo rezultanto, ki jo mora prevzeti spoj z enajstimi zakovicami ($\phi = 20$ mm). Preverili smo strižno nosilnost zakovic, nosilnost na bočni pritisk in nosilnost pločevine.



Sl. 56: Spoj v zgornjem pasu paličnega prečnika

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic

$$N_{Ed} = 863,4 \text{ kN} \not\leq F_{v,Rd} = 11 * \frac{0,6 * 3,14 \text{ cm}^2 * 33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,35} = 506,6 \text{ kN}$$

Kontrola strižne nosilnosti zakovic se ne izide.

b) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$N_{Ed} = 863,4 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 11 * \frac{2,5 * 0,67 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 2,0 \text{ cm} * 1 \text{ cm}}{1,35} = 914,4 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,67; 1,2; 1,0) = 0,67$$

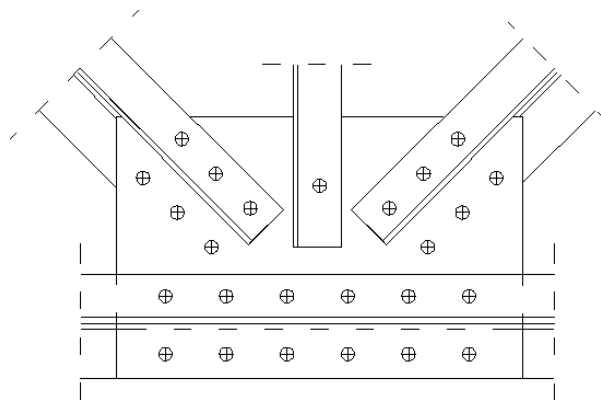
$$\alpha_d = \min\left(\frac{40 \text{ mm}}{3 * 20 \text{ mm}} = 0,67; \frac{90 \text{ mm}}{3 * 20 \text{ mm}} - 0,25 = 1,25\right) = 0,67$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{40 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} - 1,7 = 3,9 \leq 2,5; 1,4 * \frac{100 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} - 1,7 = 5,3 \leq 2,5\right) = 2,5$$

c) Kontrola vezne pločevine

$$N_{Ed} = 863,4 \text{ kN} \leq \frac{58 \text{ cm}^2 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,10} = 1239,1 \text{ kN}$$

- V **spodnjem pasu** smo preverili spoj, kjer se stikajo diagonali D1, D2 in vertikala V1. Spoj iz dvanajstih zakovic ($\phi = 18 \text{ mm}$) mora prenesti celotno natezno silo, ki je v spodnjem pasu. Preverili smo strižno nosilnost zakovic in nosilnost na bočni pritisk.



Sl. 57: Spoj v spodnjem pasu paličnega prečnika

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic

$$N_{Ed} = 1208,4 \text{ kN} \not\leq F_{v,Rd} = 12 * \frac{0,6 * 2,54 \text{ cm}^2 * 33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,35} = 447,9 \text{ kN}$$

Kontrola strižne nosilnosti zakovic se ne izide.

b) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$N_{Ed} = 1208,4 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 12 * \frac{2,5 * 0,74 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 1,8 \text{ cm} * 1 \text{ cm}}{1,35} = 991,6 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,74; 1,2; 1,0) = 0,74$$

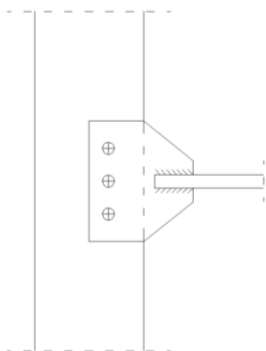
$$\alpha_d = \min\left(\frac{40 \text{ mm}}{3 * 18 \text{ mm}} = 0,74; \frac{100 \text{ mm}}{3 * 18 \text{ mm}} - 0,25 = 1,42\right) = 0,74$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{35 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 3,7 \leq 2,5; 1,4 * \frac{100 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 6,1 \leq 2,5\right) = 2,5$$

Kontrola nosilnosti na bočni pritisk se ne izide.

5.2.2 Spoj prečne povezave glavnih paličnih nosilcev

Priključek na vertikalo glavnega paličnega nosilca je izveden s tremi zakovicami ($\phi = 18 \text{ mm}$) in zvarom. Preverili smo strižno nosilnost zakovic, nosilnost na bočni pritisk in nosilnost zvara.



Sl. 58: Priključek prečne povezave na vertikalo glavnega paličnega nosilca

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic

$$N_{Ed} = 202,5 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 3 * \frac{0,6 * 2,54 \text{ cm}^2 * 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 146,3 \text{ kN}$$

Kontrola strižne nosilnosti zakovic se ne izide.

b) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$N_{Ed} = 202,5 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 3 * \frac{2,5 * 0,65 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 1,8 \text{ cm} * 1 \text{ cm}}{1,25} = 235,2 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,65; 1,2; 1,0) = 0,65$$

$$\alpha_d = \frac{35 \text{ mm}}{3 * 18 \text{ mm}} = 0,65$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{50 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 6,1 \leq 2,5; 1,4 * \frac{60 \text{ mm}}{18 \text{ mm}} - 1,7 = 3,0 \leq 2,5\right) = 2,5$$

c) Kontrola nosilnosti zvara

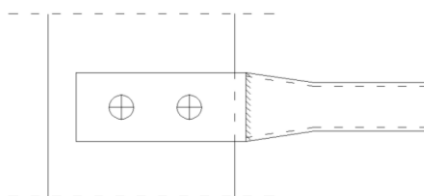
$$N_{Ed} = 202,5 \text{ kN} \leq F_{zv,Rd} = 4 * l_{zv} * a_{zv} * f_{vwd} = 4 * 7 \text{ cm} * 0,5 \text{ cm} * \frac{33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 274,8 \text{ kN}$$

kjer so:

$F_{zv,Rd}$	nosilnost zvara
a_{zv}	debelina zvara (v našem primeru $a_{zv} = 5 \text{ mm}$)
l_{zv}	dolžina zvara (v našem primeru $l_{zv} = 70 \text{ mm}$)
f_{vwd}	projektna strižna trdnost kotnih zvarov

5.2.3 Spoj med vzdolžno vezjo med prečniki in zgornjim pasom paličnega prečnika

Vzdolžna vez je na zgornji pas paličnega prečnika pritrjena z dvema zakovicama ($\phi = 20 \text{ mm}$) in zvarom. Preverili smo strižno nosilnost zakovice, nosilnost na bočni pritisk in nosilnost zvara.



Sl. 59: Priključek vzdolžne vezi na zgornjo pasnico zgornjega pasu paličnega prečnika

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic

$$N_{Ed} = 53,5 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 2 * \frac{0,6 * 3,14 \text{ cm}^2 * 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 120,6 \text{ kN}$$

b) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$N_{Ed} = 53,5 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 2 * \frac{2,5 * 0,67 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 2,0 \text{ cm} * 1 \text{ cm}}{1,25} = 179,6 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,67; 1,2; 1,0) = 0,67$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{40 \text{ mm}}{3 * 20 \text{ mm}} = 0,67; \frac{60}{3 * 20 \text{ mm}} - 0,25 = 0,75\right) = 0,75$$

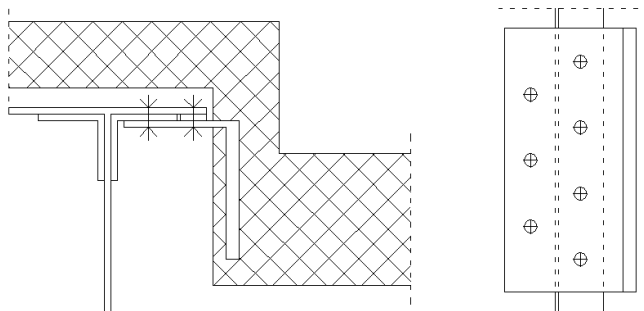
$$k_1 = 2,8 * \frac{30 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} - 1,7 = 2,5 \leq 2,5$$

c) Kontrola nosilnosti zvara ($a_{zv} = 5 \text{ mm}$, $l_{zv} = 60 \text{ mm}$)

$$N_{Ed} = 53,5 \text{ kN} \leq F_{zv,Rd} = 2 * 6 \text{ cm} * 0,5 \text{ cm} * \frac{33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{\sqrt{3} * 0,8 * 1,25} = 117,8 \text{ kN}$$

5.2.4 Spoj zavorne vezi

Zavorna vez je prikovičena s sedmimi zakovicami ($\phi = 20$ mm) na pasnico zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca na eni strani in zabetonirana v voziščno ploščo na drugi strani. Spoj je obremenjen s strižno silo in z momentom. Vodoravna sila zaviranja in pospeševanja se v zavorno vez iz voziščne plošče prenaša na mestu stika med betonom in vezjo. Ker obtežba ne deluje v središču spoja, povzroči dodatni moment. Preverili smo strižno nosilnost zakovic in nosilnost na bočni pritisk.



Sl. 60: Spoj zavorne vezi

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic

$$V_{Ed} = 68,3 \text{ kN} \leq F_{v,Rd} = 7 * \frac{0,6 * 3,14 \text{ cm}^2 * 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 422 \text{ kN}$$

Ročica (oddaljenost od betona do središča spoja) s katero deluje strižna sila znaša 175 mm. To povzroči moment 12,0 kNm. Poiskali smo zakovico, ki je najbolj obremenjena. Zakovice prevzamejo moment v razmerju dolžine ročic od zakovice do središča spoja. Izračunali smo skupno obremenitev ene zakovice in preverili njeno strižno nosilnost (*Pr. 102* in *Pr. 103*).

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_{x,M}^2 + \left(\frac{V_{Ed}}{m} + F_{z,M}\right)^2}$$

kjer so:

$F_{v,Ed}$ projektna obremenitev ene zakovice

m število zakovic

$F_{i,M}$ dodatna obremenitev zakovice zaradi momenta ($i=x, z$)

Pr. 102: Izračun projektne obremenitve na eno zakovico

Št.	r_z [mm]	r_x [mm]	r [cm]	r^2 [cm ²]	F_M [kN]	$F_{z,M}$ [kN]	$F_{x,M}$ [kN]	$F_{z,V}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]
1	45	150	15,7	245,3	21,1	6,1	20,2	9,8	25,6
2	45	50	6,7	45,3	9,0	6,1	6,7	9,8	17,2
3	45	50	6,7	45,3	9,0	6,1	6,7	9,8	17,2
4	45	150	15,7	245,3	21,1	6,1	20,2	9,8	25,6
5	60	100	11,7	136,0	15,7	8,1	13,4	9,8	22,3
6	60	0	6,0	36,0	8,1	8,1	0,0	9,8	17,8
7	60	100	11,7	136,0	15,7	8,1	13,4	9,8	22,3

Pr. 103: Kontrola strižne nosilnosti ene zakovice

Št.	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{v,Ed}/F_{v,Rd}$
1	25,6	60,3	0,43
2	17,2	60,3	0,28
3	17,2	60,3	0,28
4	25,6	60,3	0,43
5	22,3	60,3	0,37
6	17,8	60,3	0,30
7	22,3	60,3	0,37

b) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$N_{Ed} = 25,6 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = \frac{2,5 * 0,83 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 2,0 \text{ cm} * 1 \text{ cm}}{1,25} = 111,2 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,83; 1,2; 1,0) = 0,83$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{50 \text{ mm}}{3 * 20 \text{ mm}} = 0,83; \frac{100}{3 * 20 \text{ mm}} - 0,25 = 1,42\right) = 0,83$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{40 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} - 1,7 = 3,9 \leq 2,5; 1,4 * \frac{105 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} - 1,7 = 5,7 \leq 2,5\right) = 2,5$$

c) Kontrola strižnega iztrga pri ekscentrično obremenjeni skupini vijakov:

$$V_{eff,2,Rd} = 0,5 * A_{nt} * \frac{f_u}{\gamma_{M2}} + A_{nv} * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$A_{nt} = 14,5 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 14,5 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 35,0 \text{ cm} * 1 \text{ cm} = 35,0 \text{ cm}^2$$

$$V_{Ed} = 68,3 \text{ kN} \leq V_{eff,2,Rd} = 0,5 * 14,5 \text{ cm}^2 * \frac{33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} + 35,0 \text{ cm}^2 * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 1016,8 \text{ kN}$$

kjer so:

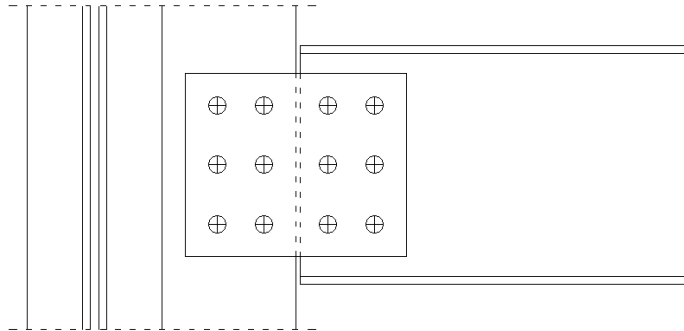
$V_{eff,2,Rd}$ nosilnost pri strižnem iztrgu skupine vijakov

A_{nt} prerez, pravokoten na delujočo obtežbo

A_{nv} prerez, vzporeden z delujočo obtežbo

5.2.5 Spoj med prečnikom vozišča in vertikalno glavnega paličnega nosilca

Prečnik je na vertikalno priključen preko dveh veznih pločevin, ki sta na stojino zakovičeni s šestimi zakovicami ($\phi = 21$ mm). Na mestu spoja deluje samo prečna sila. Ko jo postavimo v središče spoja, povzroči še moment. Spoj smo preverili na strižno nosilnost zakovic, nosilnost na bočni pritisk, nosilnost pločevine in nosilnost na strižni iztrg.



Sl. 61: Priključek prečnika vozišča na vertikalno glavnega paličnega nosilca

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic

$$M_{V,Ed} = V_{Ed} * e = 175,7 \text{ kN} * 7 \text{ cm} = 1230 \text{ kNcm}$$

Pr. 104: Izračun projektne obremenitve na eno zakovico

Št.	r_z [mm]	r_x [mm]	r [cm]	r^2 [cm ²]	F_M [kN]	$F_{z,M}$ [kN]	$F_{x,M}$ [kN]	$F_{z,V}$ [kN]	$F_{V,Ed}$ [kN]
1	30	75	8,1	65,3	35,6	13,2	33,1	29,3	53,9
2	30	0	3,0	9,0	13,2	13,2	0,0	29,3	42,5
3	30	75	8,1	65,3	35,6	13,2	33,1	29,3	53,9
4	30	75	8,1	65,3	35,6	13,2	33,1	29,3	53,9
5	30	0	3,0	9,0	13,2	13,2	0,0	29,3	42,5
6	30	75	8,1	65,3	35,6	13,2	33,1	29,3	53,9

Pr. 105: Kontrola strižne nosilnosti ene zakovice

Št.	$F_{V,Ed}$ [kN]	$F_{V,Rd}$ [kN]	$F_{V,Ed}/F_{V,Rd}$
1	53,9	133,0	0,40
2	42,5	133,0	0,32
3	53,9	133,0	0,40
4	53,9	133,0	0,40
5	42,5	133,0	0,32
6	53,9	133,0	0,40

b) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk

$$N_{Ed} = 53,9 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = \frac{2,3 * 0,63 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 2,1 \text{ cm} * 0,8 \text{ cm}}{1,25} = 65,2 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,63; 1,2; 1,0) = 0,63$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{40 \text{ mm}}{3 * 21 \text{ mm}} = 0,63; \frac{75}{3 * 21 \text{ mm}} - 0,25 = 0,94\right) = 0,63$$

$$k_1 = \min \left(2,8 * \frac{40 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 3,6 \leq 2,5; 1,4 * \frac{60 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 2,3 \leq 2,5 \right) = 2,3$$

c) Kontrola vezne pločevine

$$I_{neto} = \frac{0,8 \text{ cm} * (23 \text{ cm})^3}{12} - 2 * 0,8 \text{ cm} * 2,1 \text{ cm} * (7,5 \text{ cm})^2 - \frac{0,8 \text{ cm} * (2,1 \text{ cm})^3}{12} = 621,5 \text{ cm}^4$$

$$M_{Ed} = 1230 \text{ kNcm} * 0,5 = 615 \text{ kNcm} \leq M_{el,Rd} = \frac{621,5 \text{ cm}^4 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{11,5 \text{ cm} * 1,0} = 1270 \text{ kNcm}$$

d) Kontrola na strižni iztrg

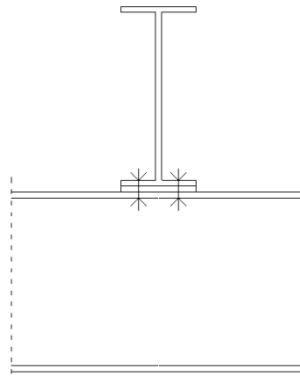
$$A_{nt} = 10,0 \text{ cm} * 0,8 \text{ cm} = 8,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 19,0 \text{ cm} * 0,8 \text{ cm} = 15,2 \text{ cm}^2$$

$$V_{Ed} = 87,9 \text{ kN} \leq V_{eff,2,Rd} = 0,5 * 8,0 \text{ cm}^2 * \frac{33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} + 15,2 \text{ cm}^2 * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 464,4 \text{ kN}$$

5.2.6 Spoj med prečnikom in srednjim vzdolžnikom vozišča

Vzdolžniki so na prečnike pritrjeni s štirimi zakovicami ($\phi = 21 \text{ mm}$), ki morajo prenesti natezno reakcijo. Spoj smo preverili na natezno nosilnost zakovic.

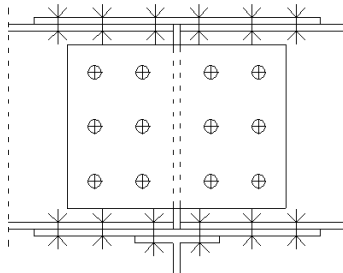


Sl. 62: Spoj med prečnikom in vzdolžnikom

$$V_{Ed} = 36,0 \text{ kN} \leq F_{t,Rd} = 4 * \frac{0,6 * 3,46 \text{ cm}^2 * 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 266,0 \text{ kN}$$

5.2.7 Podaljševanje vzdolžnikov s preklopnim spojem

Spoj med vzdolžniki je sestavljen iz dveh veznih pločevin v stojini, ki sta na vsaki strani pritrjeni s šestimi zakovicami ($\phi = 21$ mm) in ene vezne pločevine na vsaki pasnici, ki je ravno tako pritrjena s šestimi zakovicami ($\phi = 21$ mm). Spoj mora prenesti strižno silo (prevzame stojina) in moment (prevzameta pasnici). Preverili smo strižno nosilnost zakovic, nosilnost na bočni pritisk, nosilnost pločevin in nosilnost pri strižnem iztrgu.



Sl. 63: Spoj med dvema vzdolžnikoma

a) Kontrola strižne nosilnosti zakovic – pasnica

$$N_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{h} = \frac{213,7 \text{ kNm}}{0,284 \text{ m}} = 752,5 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 752,5 \text{ kN} \not\leq F_{v,Rd} = 6 * \frac{0,6 * 3,46 \text{ cm}^2 * 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 398,6 \text{ kN}$$

Kontrola strižne nosilnosti zakovic v pasnici se ne izide.

b) Kontrola strižne nosilnosti zakovic – stojina

$$M_{V,Ed} = V_{Ed} * e = 505,8 \text{ kN} * 8 \text{ cm} = 4046 \text{ kNcm}$$

Pr. 106: Izračun projektne obremenitve na eno zakovico

Št.	r_z [mm]	r_x [mm]	r [cm]	r^2 [cm ²]	F_M [kN]	$F_{z,M}$ [kN]	$F_{x,M}$ [kN]	$F_{z,V}$ [kN]	$F_{v,Ed}$ [kN]
1	35	80	8,7	76,3	107,2	43,0	98,2	84,3	160,8
2	35	0	3,5	12,3	43,0	43,0	0,0	84,3	127,3
3	35	80	8,7	76,3	107,2	43,0	98,2	84,3	160,8
4	35	80	8,7	76,3	107,2	43,0	98,2	84,3	160,8
5	35	0	3,5	12,3	43,0	43,0	0,0	84,3	127,3
6	35	80	8,7	76,3	107,2	43,0	98,2	84,3	160,8

Pr. 107: Kontrola strižne nosilnosti ene zakovice

Št.	$F_{v,Ed}$ [kN]	$F_{v,Rd}$ [kN]	$F_{v,Ed}/F_{v,Rd}$
1	160,8	133,0	1,21
2	127,3	133,0	0,96
3	160,8	133,0	1,21
4	160,8	133,0	1,21
5	127,3	133,0	0,96
6	160,8	133,0	1,21

Legenda: Projektna obremenitev presega projektno strižno nosilnost zakovice

c) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk – pasnica

$$N_{Ed} = 752,5 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = 6 * \frac{2,4 * 0,55 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 2,1 \text{ cm} * 1,2 \text{ cm}}{1,25} = 534,9 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,55; 1,2; 1,0) = 0,55$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{35 \text{ mm}}{3 * 21 \text{ mm}} = 0,55; \frac{64}{3 * 21 \text{ mm}} - 0,25 = 0,77\right) = 0,55$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{44 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 4,2 \leq 2,5; 1,4 * \frac{62 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 2,4 \leq 2,5\right) = 2,4$$

Kontrola na bočni pritisk v pasnici se ne izide.

d) Kontrola nosilnosti na bočni pritisk – stojina

$$N_{Ed} = 160,8 \text{ kN} \leq F_{b,Rd} = \frac{2,5 * 0,63 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} * 2,1 \text{ cm} * 1,0 \text{ cm}}{1,25} = 88,6 \text{ kN}$$

$$\alpha_b = \min(0,63; 1,2; 1,0) = 0,63$$

$$\alpha_d = \min\left(\frac{40 \text{ mm}}{3 * 21 \text{ mm}} = 0,63; \frac{80}{3 * 21 \text{ mm}} - 0,25 = 1,02\right) = 0,63$$

$$k_1 = \min\left(2,8 * \frac{40 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 3,6 \leq 2,5; 1,4 * \frac{70 \text{ mm}}{21 \text{ mm}} - 1,7 = 3,0 \leq 2,5\right) = 2,5$$

Kontrola na bočni pritisk v stojini se ne izide.

e) Kontrola vezne pločevine – pasnica

$$N_{Ed} = 752,5 \text{ kN} \leq N_{u,Rd} = 0,9 * \frac{12,96 \text{ cm}^2 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 312,6 \text{ kN}$$

Kontrola nosilnosti vezne pločevine na pasnici se ne izide.

f) Kontrola na strižni iztrg – stojina

$$A_{nt} = 11,0 \text{ cm} * 1,0 \text{ cm} = 11,0 \text{ cm}^2$$

$$A_{nv} = 20,0 \text{ cm} * 10 \text{ cm} = 20,0 \text{ cm}^2$$

$$V_{Ed} = 252,9 \text{ kN} \leq V_{eff,2,Rd} = 0,5 * 11,0 \text{ cm}^2 * \frac{33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} + 20,0 \text{ cm}^2 * \frac{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,0} = 617,4 \text{ kN}$$

6 KONTROLA UTRUJANJA

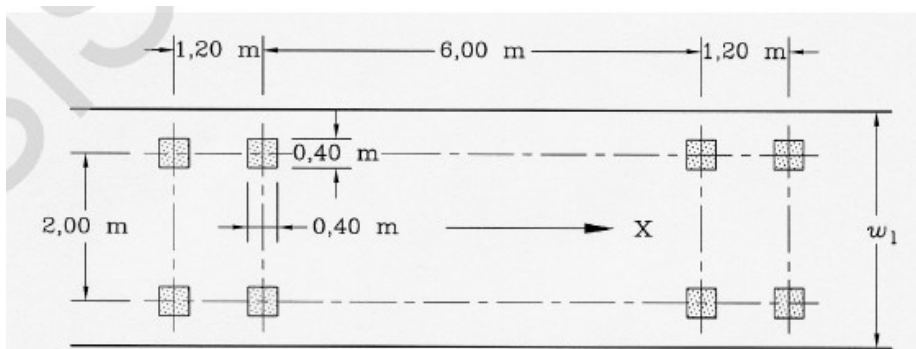
Ker je promet kot nekakšen urejeni kaos (dvosmerni promet, prometne konice in njihova nasprotja), prihaja na mostu do nenehnega nihanja napetosti v konstrukcijskih elementih. Računsko smo določili to nihanje oz. amplitudo napetosti z izbiro primernega obtežnega modela za utrujanje. Preverili smo dva izbrana konstrukcijska detajla z obtežnim modelom za utrujanje 3 (Fatigue Load Model 3). Ker most stoji že slabih 110 let, smo preverili utrujanje za življenjsko dobo 120 let.

Preverili smo detajl na glavnem paličnem nosilcu, ki je ohranjen še iz prvotne konstrukcije in detajl spoja vzdolžne vezi med prečniki vozišča, ki pa je bila vgrajena leta 1957.

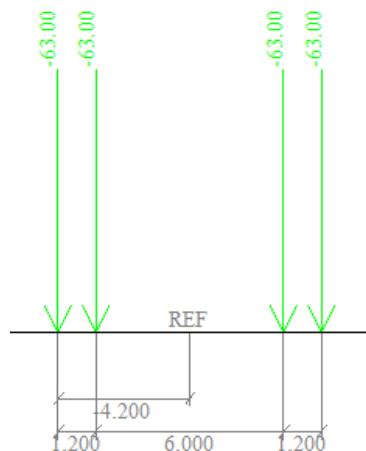
6.1 Obtežni model za utrujanje

FLM 3 se uporablja za določanje največje in najmanjše napetosti pri primerni razporeditvi prometa na mostu. Uporablja se ga za določitev življenjske dobe s pomočjo odpornostnih krivulj za utrujanje ali pa za neposredno kontrolo s pomočjo poenostavljenih metod.

Računska modela za določitev najbolj neugodne postavitve prometne obtežbe sta enaka kot pri določanju obremenitev za mejno stanje nosilnost, razlikuje se le oblika prometne obtežbe (Sl. 64 in Sl. 65, obremenitev na sekundarno nosilno konstrukcijo je določena lokalno) in osna obremenitev, ki znaša 120 kN.



Sl. 64: Obtežni model za utrujanje 3



Sl. 65: Postavitev prometne obtežbe na glavni palični nosilec pri utrujanju

6.2 Kontrola utrujanja

Na mestu detajlov smo izračunali največjo amplitudo napetosti zaradi delovanja prometne obtežbe FLM 3. S tem smo dobili referenčno amplitudo napetosti za določanje poškodb zaradi utrujanja.

$$\Delta\sigma_p = |\sigma_{p,max} - \sigma_{p,min}|$$

kjer so:

$\Delta\sigma_p$ referenčna amplituda napetosti za določanje poškodb zaradi utrujanja

$\sigma_{p,max}$ največja napetost na mestu detajla

$\sigma_{p,min}$ najmanjša napetost na mestu detajla

Določili smo ekvivalentno konstantno amplitudo napetosti pri 2×10^6 ciklov, ki pa mora biti manjša od referenčne vrednosti trdnosti utrujanja pri 2×10^6 ciklov, da lahko za del konstrukcije, ki ga kontroliramo, zatrdimo, da je odporen na utrujanje (*Pr. 108 in Pr. 109*).

$$\Delta\sigma_{E2} = \lambda * \phi_2 * \Delta\sigma_p$$

$$\gamma_{Ff} * \Delta\sigma_{E2} \leq \frac{\Delta\sigma_c}{\gamma_{Mf}}$$

kjer so:

$\Delta\sigma_{E2}$ ekvivalentna konstantna amplituda napetosti pri 2×10^6 ciklov

λ faktor ekvivalentnih poškodb

ϕ_2 ekvivalentni dinamični faktor, ki je za mostove že upoštevan v obtežnem modelu za utrujanje in zato velja $\phi_2 = 1$

$\Delta\sigma_c$ referenčna vrednost trdnosti utrujanja pri 2×10^6 ciklov, ki ustreza izbranemu konstrukcijskemu detajlu iz tabel 8.1 – 8.9 v SIST EN 1993-1-9

γ_{Mf} delni varnostni faktor za odpornost na utrujanje $\Delta\sigma_c$

γ_{Ff} delni varnostni faktor za referenčno amplitudo napetosti $\Delta\sigma_E$

$$\lambda = \lambda_1 * \lambda_2 * \lambda_3 * \lambda_4 \leq \lambda_{max}$$

kjer so:

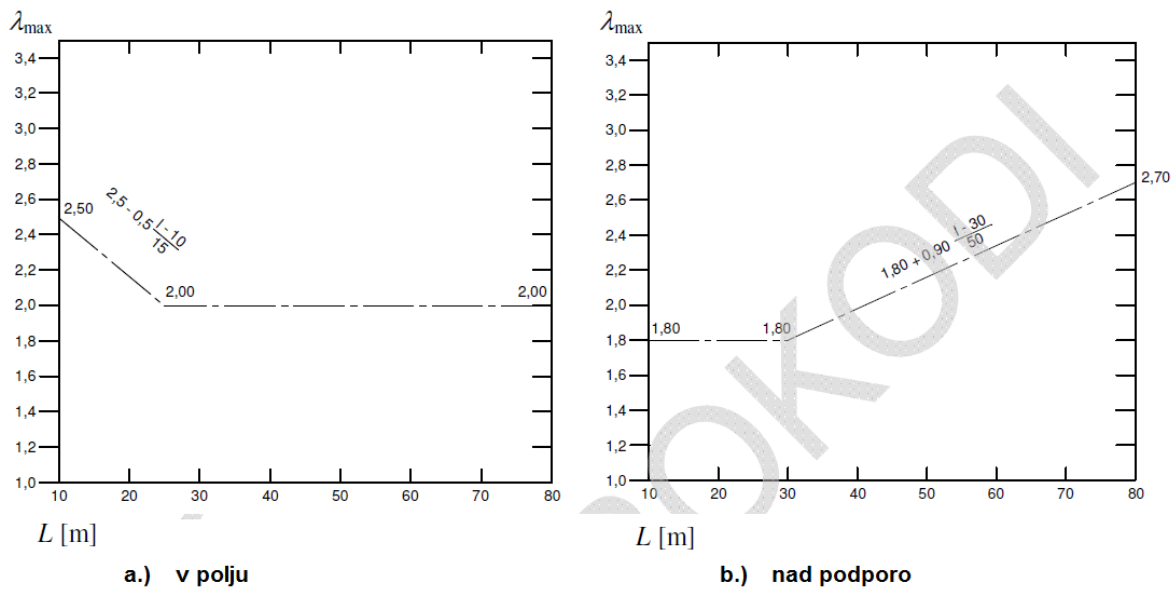
λ_1 vpliv poškodb zaradi prometa (določimo s pomočjo *Sl. 67*)

λ_2 vpliv gostote prometa

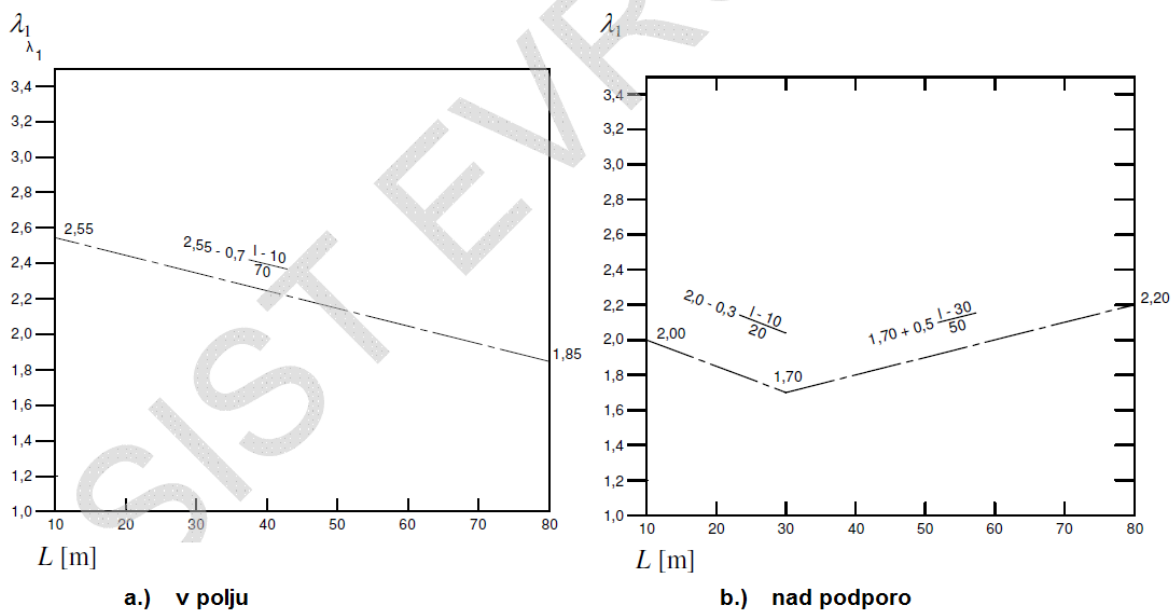
λ_3 vpliv življenjske dobe

λ_4 vpliva zasedenosti vozniških pasov

λ_{max} največja vrednost faktorja ekvivalentnih poškodb (določimo s pomočjo *Sl. 67*)



Sl. 66: Graf za določitev λ_{max}



Sl. 67: Graf za določitev λ_1

$$\lambda_2 = \frac{Q_{m1}}{Q_0} * \left(\frac{N_{Obs}}{N_0} \right)^{1/5} = \frac{233 \text{ kN}}{480 \text{ kN}} * \left(\frac{0,125 * 10^6}{0,5 * 10^6} \right)^{1/5} = 0,37$$

$$Q_{m1} = \left(\frac{\sum n_i Q_i^5}{\sum n_i} \right)^{1/5} = 233 \text{ kN}$$

kjer so:

Q_{m1} povprečna teža tovornjaka na počasnem voznem pasu

$Q_0 = 480 \text{ kN}$

N_{Obs} število tovornjakov na leto na počasnem voznem pasu

$$N_0 = 0,5 \times 10^6$$

n_i število tovornjakov s težo Q_i na počasnem voznem pasu

Q_i teža tovornjaka i na počasnem voznem pasu

$$\lambda_3 = \left(\frac{t_{Ld}}{100} \right)^{1/5}$$

kjer je:

t_{Ld} življenjska doba (120 let za detajl iz glavnega paličnega nosilca in 70 let za detajl iz sekundarne nosilne konstrukcije)

$$\lambda_4 = \left[1 + \frac{N_2}{N_1} * \left(\frac{\eta_2 * Q_{m2}}{\eta_1 * Q_{m1}} \right)^5 + \frac{N_3}{N_1} * \left(\frac{\eta_3 * Q_{m3}}{\eta_1 * Q_{m1}} \right)^5 + \dots + \frac{N_k}{N_1} * \left(\frac{\eta_k * Q_{mk}}{\eta_1 * Q_{m1}} \right)^5 \right]^{1/5}$$

$$\lambda_4 = \left[1 + \frac{N_2}{N_1} * \left(\frac{\eta_2 * Q_{m2}}{\eta_1 * Q_{m1}} \right)^5 \right]^{1/5} = \left[1 + 1 * \left(\frac{0,33 * 1}{0,73 * 1} \right)^5 \right]^{1/5} = 1,0$$

kjer so:

k število voznih pasov s težkim prometom ($k = 2$)

N_j število tovornjakov na leto na voznem pasu j ($N_1 = N_2$)

Q_{mj} povprečna teža tovornjakov na voznem pasu j ($Q_{m1} = Q_{m2}$)

η_j vrednost vplivnice na sredini voznega pasu j

Pr. 108: Kontrola utrujanja detajla spoja na glavnem paličnem nosilcu

GLAVNI PALIČNI NOSILEC									
t_{Ld} [let]	λ_1	λ_3	λ	λ_{max}	kategorija detajla	$\Delta\sigma_p$ [kN/cm ²]	$\Delta\sigma_{E2}$ [kN/cm ²]	$\Delta\sigma_c$ [kN/cm ²]	$\gamma_{FF} * \Delta\sigma_{E2} / \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$
100	2,25	1,00	0,83	2	80	9,1	7,5	8	0,82
120	2,25	1,04	0,86	2	80	9,1	7,8	8	0,85

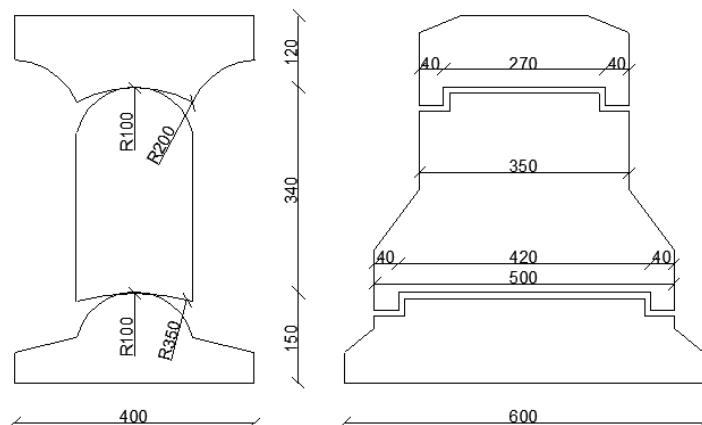
Pr. 109: Kontrola utrujanja detajla spoja vzdolžne vezi prečnikov vozišča

SEKUNDARNA NOSILNA KONSTRUKCIJA									
t_{Ld} [let]	λ_1	λ_3	λ	λ_{max}	kategorija detajla	$\Delta\sigma_p$ [kN/cm ²]	$\Delta\sigma_{E2}$ [kN/cm ²]	$\Delta\sigma_c$ [kN/cm ²]	$\gamma_{FF} * \Delta\sigma_{E2} / \Delta\sigma_c / \gamma_{Mf}$
70	2,58	0,93	0,89	2,60	71	4,37	3,9	7,1	0,48
100	2,58	1,00	0,95	2,60	71	4,37	4,2	7,1	0,51

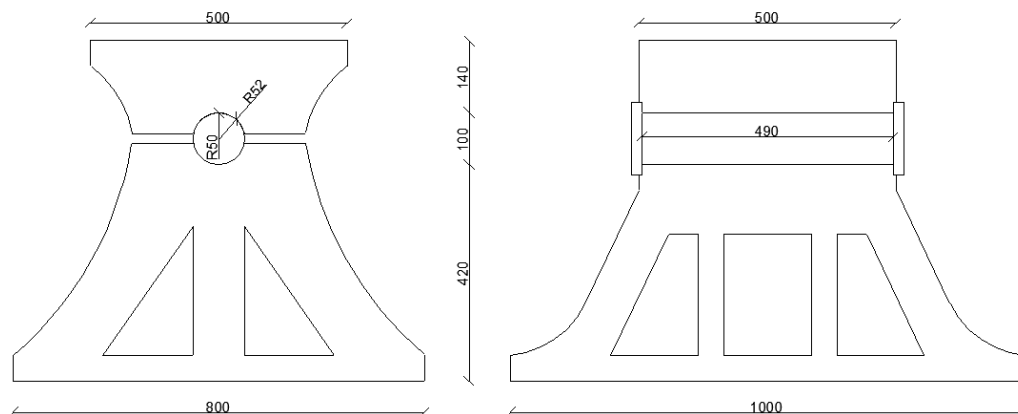
7 LEŽIŠČA IN DILATACIJE

7.1 Kontrola ležišč

Glavni palični nosilec leži na štirih členkastih ležiščih, od tega sta robna pomična (os 1' in 1, Sl. 68), vmesna pa nepomična (os 13' in 13, Sl. 69). Skladno s SIST EN 1337-1 smo vsa ležišča označili kot linijska ali točkovna zasučna ležišča in jih kot taka tudi dimenzionirali.



Sl. 68: Robna pomična podpora na krajnih opornikih (os 1' in 1)



Sl. 69: Nepomična podpora na vmesnih opornikih (os 13' in 13)

Za kontrolo deformacij ležišča se uporablja karakteristična obtežna kombinacija za mejno stanje uporabnosti. Kritično reakcijo smo dobili, ko smo upoštevali prometno obtežbo kot vodilno koristno obtežbo. Preverili smo tudi pomike in zasuke ležišč zaradi prometne in temperaturne obtežbe.

Pr. 110: Vertikalne reakcije v ležiščih zaradi različnih vplivov

Vpliv [kN]	LEŽIŠČE - OS			
	1'	13'	13	1
L + S	512,4	2533,6	2533,6	512,4
gr1a	917,9	1941,3	1941,3	917,9
gr2	521,0	917,7	912,0	515,1
Veter na polni most	28,2	139,5	139,5	28,2
Veter na prazen most	13,5	66,8	66,8	13,5

Pr. 111: Merodajna obremenitev v pomičnem in nepomičnem ležišču

KOMBINACIJA	
Ležišče - os	MSU 1 [kN]
1'	1447,2
13'	4558,6
Opomba: Kombinacija upošteva karakteristične vrednosti obtežb	

Da je ležišče sposobno prenesti reakcijo, mora veljati (vir SIA Norme 161):

a) Pomično ležišče

$$\bar{\sigma} = 0,59 * \sqrt{\frac{F * \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_1}\right)}{\frac{l * 2}{E}}} \leq 3,3 * \sigma_f = \bar{\sigma}_f$$

b) Nepomično ležišče

$$\sigma_m = \frac{F}{d * l} \leq 0,4 * \sigma_f = \bar{\sigma}_f$$

kjer so:

- F projektna osna sila
- R_1 radij konkavne kontaktne površine
- R radij konveksne kontaktne površine
- l kontaktna dolžina
- σ_f natezna trdnost materiala ležišča
- d premer valja v ležišču

Pr. 112: Kontrola nosilnosti ležišča

Ležišče - os	l [cm]	R [cm]	R_1 [cm]	$\bar{\sigma}$ oz. σ_m [kN/cm ²]	$\bar{\sigma}_f$ [kN/cm ²]	$\bar{\sigma} / \bar{\sigma}_f$
1' zgoraj	27,0	10,0	20,0	99,0	110,6	0,9
1' spodaj	42,0	10,0	35,0	94,8	110,6	0,9
13'	49,0	5,0	5,2	18,6	13,4	1,4
Legenda:						
Ležišče ni sposobno prenesti reakcije						

Pr. 113: Kontrola strižne nosilnosti zoba v ležišču

Ležišče - os	A_v [cm ²]	V_{Ed} [kN]	V_{Rd} [kN]	V_{Ed}/V_{Rd}
1'	20,0	47,4	246,7	0,2
13'	62,8	161,3	775,0	0,2

V robni pomični podpori smo določili še pomik in zasuk podpore, ki nastane zaradi temperaturnega raztezka ali skrčka in pomika zaradi prometne obtežbe (Pr. 114).

$$\Delta l_T = \alpha_T * \Delta T_N * L$$

$$\Delta l_{T,con} = \alpha_T * \Delta T_{N,con} * L = 1,2 * 10^{-5} \frac{1}{K} * 50 K * 4044 cm = 2,4 cm$$

$$\Delta l_{T,exp} = \alpha_T * \Delta T_{N,exp} * L = 1,2 * 10^{-5} \frac{1}{K} * 55 K * 4044 cm = 2,7 cm$$

kjer sta:

Δl raztezek elementa ali konstrukcije

L dolžina konstrukcije, ki se raztegne

Pr. 114: Pomik ležišča zaradi delovanja prometne obtežbe

Vpliv	u_x [mm]	
	+	-
gr1a	14,8	14,3
gr2	8,4	8,3

Največji skupni pomik v podpori znaša torej:

$$\Delta l_{con} = \Delta l_{T,con} + u_{x,min} = 24 mm + 14 mm = 38 mm$$

$$\Delta l_{exp} = \Delta l_{T,exp} + u_{x,max} = 27 mm + 15 mm = 42 mm$$

Največji zasuk zaradi pomika pa znaša:

$$\alpha_{\Delta l} = \tan^{-1} \left(\frac{\Delta l_{exp}}{h_l} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{42 mm}{340 mm} \right) = 7^\circ = 12 \% \leq 10 \%$$

kjer je:

h_l višina zasučnega dela ležišča

Največji dovoljen zasuk je prekoračen.

7.2 Določitev potrebnih dilatacij

Dilatacije jeklene konstrukcije se nahajajo na mestih členka (os 17' in 17) in na mestu krajnih opornikov (os 1' in 1).

7.2.1 Dilataciji na mestu krajnih opornikov (os 1' in 1)

Določili smo raztezek zaradi temperature.

$$\Delta l_{T,con} = \alpha_T * \Delta T_{N,con} * L = 1,2 * 10^{-5} \frac{1}{K} * 50 K * 4044 cm = 2,4 cm$$

$$\Delta l_{T,exp} = \alpha_T * \Delta T_{N,exp} * L = 1,2 * 10^{-5} \frac{1}{K} * 55 K * 4044 cm = 2,7 cm$$

Določili smo pomik zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca na mestu krajnega opornika zaradi prometne obtežbe (*Pr. 115*).

Pr. 115: Pomik zgornjega pasu konstrukcije na mestu krajnih opornikov zaradi prometne obtežbe

Vpliv	u_x [mm]	
	+	-
gr1a	4,9	4,9
gr2	3,0	3,0

Največji skupni raztezek in skrčec znaša torej:

$$\Delta l_{con} = \Delta l_{T,con} + u_{x,min} = 24 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{exp} = \Delta l_{T,exp} + u_{x,max} = 27 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 32 \text{ mm}$$

Ker je raztezanje in krčenje v območju ± 40 mm, izberemo dilatacijo D80.

7.2.2 Dilatacija na mestu pomičnega členka (os 17')

Določili smo raztezek zaradi temperature.

$$\Delta l_{T,con} = \alpha_T * \Delta T_{N,con} * L = 1,2 * 10^{-5} \frac{1}{K} * 50 \text{ K} * 6247 \text{ cm} = 3,7 \text{ cm}$$

$$\Delta l_{T,exp} = \alpha_T * \Delta T_{N,exp} * L = 1,2 * 10^{-5} \frac{1}{K} * 55 \text{ K} * 6247 \text{ cm} = 4,1 \text{ cm}$$

Določili smo pomik zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca na mestu pomičnega členka zaradi prometne obtežbe (*Pr. 116*).

Pr. 116: Pomik zgornjega pasu konstrukcije na mestu pomičnega členka zaradi prometne obtežbe

Vpliv	u_x [mm]	
	+	-
gr1a	29,8	20,1
gr2	17,2	11,5

Največji skupni raztezek in skrčec znaša torej:

$$\Delta l_{con} = \Delta l_{T,con} + u_{x,min} = 37 \text{ mm} + 20 \text{ mm} = 57 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{exp} = \Delta l_{T,exp} + u_{x,max} = 41 \text{ mm} + 30 \text{ mm} = 71 \text{ mm}$$

Ker je raztezanje in krčenje v območju ± 75 mm, izberemo dilatacijo D150.

7.2.3 Dilatacija na mestu nepomičnega členka (os 17)

Določili smo pomik zgornjega pasu glavnega paličnega nosilca na mestu nepomičnega členka zaradi prometne obtežbe (*Pr. 117*).

Pr. 117: Pomik zgornjega pasu konstrukcije na mestu nepomičnega členka zaradi prometne obtežbe

Vpliv	u_x [mm]	
	+	-
gr1a	27,4	18,7
gr2	16,8	10,7

Največji skupni raztezek in skrčec znaša torej:

$$\Delta l_{con} = u_{x,min} = 19 \text{ mm}$$

$$\Delta l_{exp} = u_{x,max} = 27 \text{ mm}$$

Ker je raztezanje in krčenje v območju ± 30 mm, izberemo dilatacijo D60.

8 OJAČITVE

Kot smo pokazali v poglavjih 4, 5 in 6, so ojačitve potrebne skoraj na vseh elementih in na nekaterih spojih. Da bi zamenjali elemente glavne nosilne konstrukcije, kateri ne dosegajo zadostne nosilnosti in stabilnosti na že obstoječem mostu, ni ekonomično. Za dodatno ojačitev je smotno uporabiti dodatne lamele.

Za elemente, ki so obremenjeni samo z natezno osno silo in se kontrola nosilnosti ne izide, smo določili potrebni prečni bruto in neto prerez.

$$A_{net} \geq \frac{N_{Ed} * \gamma_{M2}}{0,9 * f_u}$$

$$A \geq \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y}$$

Izračunali smo potrebne ojačitve za spodnji pas glavnega paličnega nosilca S(21).

$$A_{net,potr} \geq \frac{N_{Ed} * \gamma_{M2}}{0,9 * f_u} = \frac{4940,5 \text{ kN} * 1,35}{0,9 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 221,2 \text{ cm}^2$$

$$A_{\Delta,net} = A_{net,potr} - A_{net,dej} = 221,2 \text{ cm}^2 - 189,9 \text{ cm}^2 = 31,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{ojačitve,1} = A_{\Delta,net} + A_{\phi} = 31,3 \text{ cm}^2 + 4 \text{ cm}^2 = 35,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{potr} \geq \frac{N_{Ed} * \gamma_{M0}}{f_y} = \frac{4940,5 \text{ kN} * 1,1}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 231,3 \text{ cm}^2$$

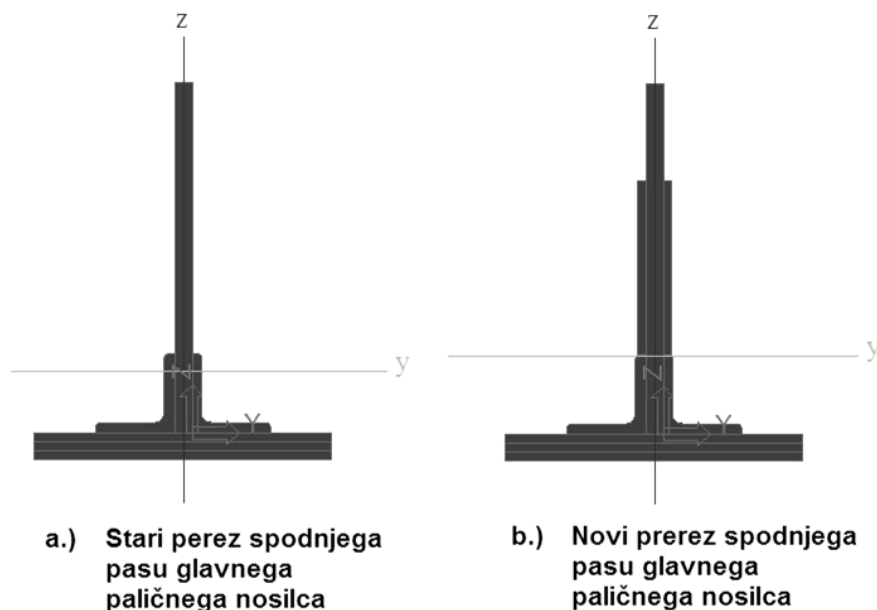
$$A_{ojačitve,2} = A_{potr} - A_{dej} = 231,3 \text{ cm}^2 - 222,7 \text{ cm}^2 = 8,6 \text{ cm}^2$$

$$A_{ojačitve} = \max(A_{ojačitve,1}; A_{ojačitve,2}) = \max(35,3 \text{ cm}^2; 8,6 \text{ cm}^2) = 35,3 \text{ cm}^2$$

Na vsako stran stojine smo dodali eno ojačitveno pločevino (Sl. 70).

$$A_{ojačitve,dej} = 2 * h_{ojačitve} * t_{ojačitve} = 2 * 20 \text{ cm} * 1,0 \text{ cm} = 40,0 \text{ cm}^2$$

Dodana pločevina je dimenzije $h/t = 200/10$ mm, enake kvalitete jekla kot osnovni prerez in je pritrjena z zakovicami. Paziti moramo, da se neto oslabitve prereza ne povečajo.



Sl. 70: Stari in novi prerez na mestu S(21) spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca

Za elemente, ki so obremenjeni s tlačno silo in se kontrola stabilnosti ne izide je potrebno povečati vztrajnostni radij ali zmanjšati uklonsko dolžino. Ker bi slednje pomenilo poseg v obliko konstrukcije, nam preostane le, da dodamo pločevine s katerimi povečamo prerez in vztrajnostni moment prereza. Izbrali smo pločevino, ki smo jo pritrdili na pasnico in preverili, če z novim prerezom izpolnjujemo pogoje stabilnosti.

Določili smo ojačitve za spodnji pas glavnega nosilca S(7-8). Na pasnico smo dodali pločevino dimenzije $h/t = 340/10$ mm (Sl. 71).

$$A_{nov} = 188,7 \text{ cm}^2$$

$$I_{nov,min} = 7419,6 \text{ cm}^4$$

$$i_{nov,min} = \sqrt{\frac{I_{nov,min}}{A_{nov}}} = \sqrt{\frac{7419,6 \text{ cm}^4}{188,7 \text{ cm}^2}} = 6,3 \text{ cm}$$

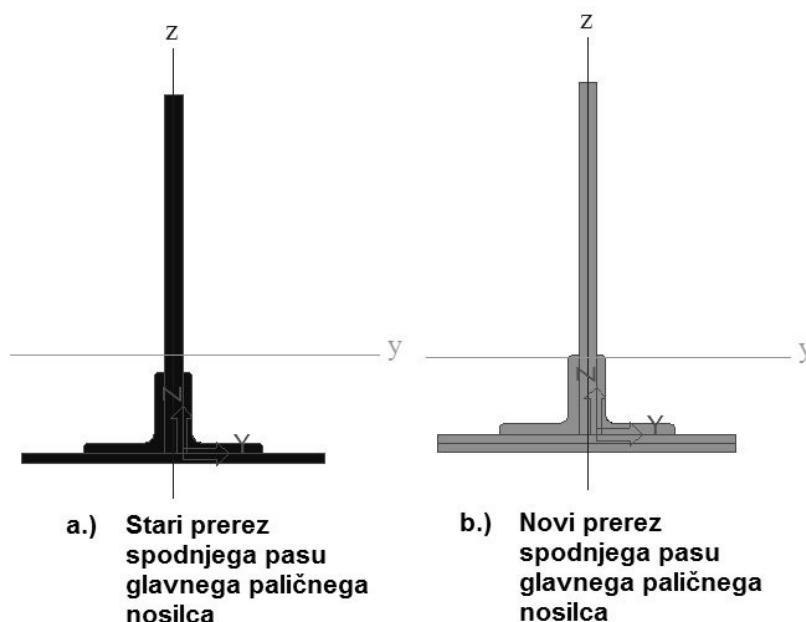
$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i * \lambda_1} = \frac{337,0 \text{ cm}}{6,3 \text{ cm} * 93,9} = 0,57 \rightarrow \chi = 0,80$$

$$N_{b,Rd} = \chi * \frac{A * f_y}{\gamma_{M1}} = 0,80 * \frac{188,7 \text{ cm}^2 * 23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,15} = 3084,8 \text{ kN} \geq N_{Ed,min} = 2640,3 \text{ kN}$$

Izračunali smo še, če se izide tudi kontrola nosilnosti zaradi natezne sile.

$$N_{u,Rd} = 0,9 * \frac{155,8 \text{ cm}^2 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,35} = 3480,0 \text{ kN} \geq N_{Ed,max} = 3172,7 \text{ kN}$$

Z izbrano dodatno pločevino izpolnjujemo pogoje kontrole nosilnosti in stabilnosti elementa.



Sl. 71: Stari in novi prerez na mestu S(7-8) spodnjega pasu glavnega paličnega nosilca

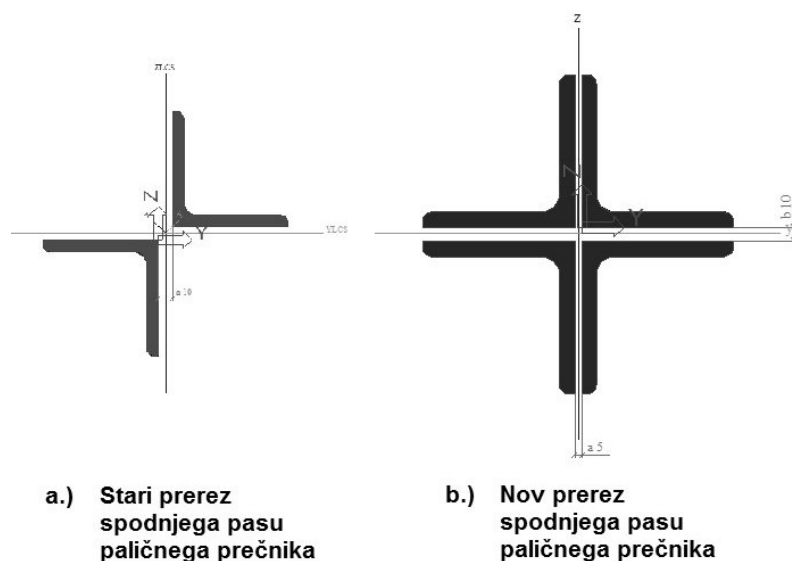
Pri sekundarni nosilni konstrukciji lahko nekatere elemente zamenjamo, če pri tem poskrbimo za ustrezno podpiranje. Pri natezni osni sili je na spodnjem pasu paličnega prečnika problematična nosilnost prereza. Določili smo potrebni prerez enako kot zgoraj za spodnji pas glavnega paličnega nosilca.

$$A_{net,potr} \geq \frac{N_{Ed} * \gamma_{M2}}{0,9 * f_u} = \frac{1281,9 \text{ kN} * 1,35}{0,9 * 33,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 57,4 \text{ cm}^2$$

$$A_{potr} = A_{net,potr} + A_{\phi} = 57,4 \text{ cm}^2 + 7,2 \text{ cm}^2 = 64,6 \text{ cm}^2$$

Kot nov prerez smo izbrali 4 x L 100/100/10 (Sl. 72).

$$A_{dej} = 4 * A = 4 * 19,2 \text{ cm}^2 = 76,8 \text{ cm}^2$$



Sl. 72: Stari in novi prerez spodnjega pasu paličnega prečnika

Pri prečniku vozišča je kritična strižna nosilnost prereza. Prečnikov ni mogoče zamenjati, če se ne menja voziščna plošča in vzdolžniki, zato smo ojačili stojino z eno pločevino na vsaki strani. Določili smo potrebni strižni prerez.

$$A_{v,potr} \geq \frac{V_{Ed} * \gamma_{M0} * \sqrt{3}}{f_y} = \frac{517,3 \text{ kN} * 1,0 * \sqrt{3}}{23,5 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 38,1 \text{ cm}^2$$

$$A_{\Delta,v} = A_{v,potr} - A_{v,dej} = 38,1 \text{ cm}^2 - 34,7 \text{ cm}^2 = 3,4 \text{ cm}^2$$

Izbrali smo pločevino $h/t = 50/8$ mm.

$$A_{ojačitve,dej} = 2 * h_{ojačitve} * t_{ojačitve} = 2 * 5 \text{ cm} * 0,8 \text{ cm} = 8,0 \text{ cm}^2$$

Seveda je mogoče menjati tudi elemente glavnega paličnega nosilca, vendar je za to potrebno prednapeti konstrukcijo. To napravimo tako, da so mesta, kjer bo potekala menjava elementov, razbremenjena. Pri tem velja razmisliti o ekonomičnosti postopka. Problem lahko nastane tudi pri dodajanju pločevin, saj je potrebno nekatera mesta popolnoma razkovičiti (ker je skupaj pritrjeno več lamel). To zopet privede do prednapenjanja konstrukcije. Enako velja tudi za spoje, ki ne izpolnjujejo kontrole nosilnosti, kjer samo dodajanje zakovic ni zadostno in je hkrati potrebno zamenjati še vezno pločevino.

Glavna nosilna konstrukcija je grajena zelo ekonomično, saj imamo 5 različnih prereзов z gornjega pasu, 8 spodnjega pasu, 3 različne prereze vertikal in 20 diagonal. Ker se količina prometa od leta 1974, ko je bil most nazadnje obnovljen, povečala, je zaradi nove, večje obtežbe potrebno ojačiti skoraj vse elemente, Ta ukrep precej poveča lastno težo samega mostu, ki je že tako velika. Posledično je pri računanju ojačitev potrebno upoštevati nekaj rezerve na račun povečanja lastne teže.

8.1 Sanacija (vir IMK)

V sklopu sanacije dejanskega objekta je predvidena celotna obnova protikorozijske zaščite jeklene nosilne konstrukcije in zamenjava elementov, ki so korozijsko tako močno poškodovani, da je prisotna redukcija nosilnega prečnega prereza. Ti elementi so:

- Palični prečniki in prečni nosilci pod vzdolžniki v posameznih oseh dilatacij in izlivnikov
- Vertikale glavnih vzdolžnih nosilcev v posameznih oseh dilatacij in izlivnikov
- Diagonale vetrne vez v posameznih oseh dilatacij in izlivnikov
- Prečne povezave zgornjih pasov glavnih nosilcev v posameznih oseh dilatacij in izlivnikov
- Spodnji pasovi glavnih vzdolžnih nosilcev v posameznih oseh dilatacij in izlivnikov

9 ZAKLJUČEK

Most, ki se nahaja v Črnučah in premošča reko Savo, je bil zgrajen že leta 1906. Do dne začetka naše analize je bil večkrat obnovljen, ojačen in enkrat tudi korenito spremenjen. Voziščno konstrukcijo so leta 1957 dvignili nad glavne palične nosilce, jo razširili in dodali hodnike za pešce. Na mostu tako najdemo elemente oz. material, katerega starost sega pred prvo svetovno vojno in elemente oz. material, katerega starost sega v obdobje po drugi svetovni vojni. Zaradi slabega stanja v katerem se trenutno nahaja most, je predvidena sanacija.

Zaradi aktualnosti tematike in razpoložljivosti potrebne dokumentacije smo se odločili opraviti statično analizo in dimenzionirati obstoječi most. Ne moremo trditi, da se s podobno nalogo nismo srečali tekom študija, vendar zagotovo ne na tako poglobljen način. Cilj diplomske naloge je bil preveriti ustreznost konstrukcije glede na veljavne Evrokod standarde ter na mestih, kjer je to potrebno in tudi mogoče, predlagati spremembe.

Za izdelavo čim bolj točnega računskega modela, smo potrebovali natančne podatke o prerezi in uporabljenem materialu. Ker nekatere spremembe in ojačitve mostu niso bile dovolj jasno zabeležene, smo se poslužili tudi terenskega pregleda. Statična zasnova in izgradnja sta primerna letu izdelave. Konstrukcija je statično nedoločena in v veliki večini sestavljena iz elementov dveh različnih prečnih prerezov. Za glavna palična nosilca in skoraj vse ostale elemente sekundarne nosilne konstrukcije so pri gradnji uporabili L kotnike in navadne pločevine pravokotnega prereza, ki so jih z zakovicami sestavili v profile različnih oblik. Zaradi velikega števila elementov je lastna teža mostu ogromna in se lahko primerja s prometno obremenitvijo. Da bi bilo čim bolj ekonomično in lastna teža konstrukcije čim manjša, je bila izbira prečnih prerezov preiščena. To je privedlo do dveh posledic, in sicer izkoriščenost vseh elementov je zelo visoka, ter število različnih profilov znaša 55. Samo za glavni palični nosilec, pri katerem imamo v osnovi štiri različne elemente (spodnji pas, zgornji pas, diagonale in vertikale), imamo 37 različnih prečnih prerezov, vetrno vez pa sestavlja 6 različnih parov L kotnikov.

Za statično analizo smo potrebovali več različnih računskih modelov (za glavni palični nosilec, vetrno vez, vzdolžnike vozišča in hodnika, prečnik vozišča, palični prečnik ter konzolo hodnika) in jih obremenili s primernimi obtežbami. V skladu s pristojnimi standardi smo analizirali tri glavne vplive, lastno s stalno, prometno ter vetrno obtežbo. Dodatno smo določili še temperaturni vpliv za izračun pomikov konstrukcije v ležiščih in določitev dilatacij jeklene konstrukcije. Čeprav naš nacionalni dodatek tega ne dovoljuje, smo prometno obremenitev najbolj neugodnega voznega pasu zmanjšali za 20 %. Kljub temu, da je most pomemben za lokalni promet, smo predpostavili, da ni prometno tako obremenjen, da bi bilo potrebno upoštevati celotno prometno obtežbo.

Glavni del naloge je bila kontrola nosilnosti in stabilnosti elementov. Izkaže se, da je več kot polovica vseh elementov prekomerno obremenjena pri skoraj vseh ostalih pa se izkoriščenost prereza oz. elementa giblje nad 70 % (Pr. 118).

Pr. 118: Izkoriščenost elementov oz. delov nosilne konstrukcije

IZKORIŠČENOST ELEMENTOV ALI DELA NOSILNE KONSTRUKCIJE			
Element ali del nosilne konstrukcije	Število elementov s prekoračeno izkoriščenostjo	U_{min} [%]	U_{max} [%]
Spodnji pas	22/42	72	125
Zgornji pas	32/42	97	118
Diagonale	32/42	93	126
Vertikale	22/43; vse, ki so obremenjene	155	259
Palični prečnik	Vsi elementi	106	216

Prav tako ugotovimo, da prečnik, vzdolžniki in zgornji pas konzole niso sposobni prenesti upogibne ali strižne obremenitve oz. interakcije teh dveh. Premajhen je tudi profil prečne povezave glavnih paličnih nosilcev. Podobno stanje velja tudi za spoje, kjer nosilnost veznih pločevin in zakovic ni zadostna. Kontrola nosilnosti in stabilnosti je bila izvedena v skladu z Evrokod standardom za jeklene konstrukcije. Izjema je bila kontrola uklonske stabilnosti vertikal, pri katerih se z lokalno koordinato x spreminja oblika prečnega prereza in velikost osne sile v elementu. Za določitev uklonskih dolžin smo uporabili star jugoslovanski standard, ki je temeljil na DIN-u in elegantno rešil problem uklona pri različni osni sili in različnem prerezu. Namesto tega bi lahko vertikalno analizirali z uporabljenim računalniškim programom. Izbrani postopek je bil morda bolj konservativen od računalniške analize, vendar vidimo problem vertikal v tem, da niso bile nikoli ojačene. Obravnavane so bile namreč kot natezno obremenjene, kar je veljalo, ko je bila voziščna konstrukcija med glavnimi paličnimi nosilci. Ko so vozišče premaknili nad glavne palične nosilce, so vertikale »postale« tlačne.

Vse elemente, ki niso sposobni prenesti dane obtežbe, bi bilo potrebno ojačiti ali zamenjati, kar ni enostavno. Pred zamenjavo elementov, bi morali konstrukcijo ustrezno podpreti ali jo celo prednapeti, tako da bi razbremenili dele, ki bi se menjali. V osnovi bi bilo veliko bolj ekonomično uporabljati ojačitve, vendar se ta izbira v nekaterih primerih prav tako izkaže za neekonomično. Do vseh elementov ni mogoče dostopati tako, da bi lahko na njih namestili ojačitve. Poleg tega pa so prerezi večinoma sestavljeni, kar pomeni, da bi jih morali najprej razkovičiti. To bi zopet privedlo do prednapenjanja oz. podpiranja konstrukcije. Če bi glede na dane rezultate želeli vse elemente ojačiti tako, da bi bili vsi sposobni prevzeti obtežbo, bi se po grobi oceni lastna teža mostu podvojila. V primeru, da bi upoštevali polno prometno obtežbo, bi bilo to povečanje za 150 %.

Zmanjšanje prometne obtežbe v določenih primerih pomembno vpliva na cestne konstrukcije, zato bi bilo smiselno uvesti podobno ureditev tudi v našem nacionalnem dodatku. V primeru, ko je realna obremenitev konstrukcije prevelika za upoštevanje zmanjšane prometne obtežbe, enostavno »omejimo« promet. Ena izmed možnih rešitev bi bila, da preprečimo dostop reševalnim vozilom na hodnik za pešce s količki. Samo vozišče je dovolj široko, da bi imeli v primeru nesreče dovolj prostora še za reševalna vozila. Prav tako bi lahko omejili hitrost in največjo težo vozil na mostu. Sile pospeševanja oz. zaviranja (čeprav niso merodajne, pomembne so samo za zavorne vezi) pa so se že tako zmanjšale z uporabo krožišča namesto običajnega križišča.

Zaradi vseh, zgoraj omenjenih spoznanj, lahko konstrukcijo označimo kot neskladno z Evrokod standardi.

Osebnostno sem nekoliko v dvomih ali bi bilo bolj smotrno postaviti nov most ali sanirati starega. Pogled na dele mostu, ki jih rja ni zajela in so stari preko sto let je neverjeten, saj izgledajo, kot da so stari šele nekaj let. Prav tako je poučno spoznanje, da konstrukcija lahko doseže dolgo življenjsko dobo, le če je ta pravilno oskrbovana in sanirana.

Delo diplomske naloge bi lahko še nadaljevali. Namesto idealnih prerezov bi lahko tokrat upoštevali reducirane prečne prereze zaradi rje (morda bi nekatere elemente celo izpustili, saj se je pri pregledu izkazalo, da jih je rja precej uničila). Za to bi potrebovali natančen pregled dejanskega stanja mostu. Dodatno bi med obtežbami lahko upoštevali še potres, ki se običajno izkaže za merodajnega samo pri visokih stebrih in ležiščih. Prav tako pa bi lahko dimenzionirali še voziščno AB ploščo, ki nima nosilne funkcije, vendar mora prenesti obtežbo prometa, dilatacije voziščne AB plošče in AB plošče hodnika ter nosilne elemente dodatne opreme mostu. V zaključek bi še dodal, da bi lahko opravljeno nalogo uporabili tudi pri projektiranju novega mostu, kljub temu, da smo v diplomski nalogi obravnavali obstoječ most. Tu bi bilo predhodno potrebno določiti konstrukcijsko zasnovo.

VIRI

Zbirno projektno poročilo, št. projekta P-29267. 2013. Ljubljana, Inštitut za metalne konstrukcije, PZI rekonstrukcije cestnega mostu čez Savo v Črnučah.

Zbirno projektno poročilo, št. projekta P-29267. 2012. Ljubljana, Inštitut za metalne konstrukcije, IDZ rekonstrukcije cestnega mostu čez Savo v Črnučah.

Statični elaborat, št. projekta P-581-00. 1957. Ljubljana, Inštitut za metalne konstrukcije, Rekonstrukcija jeklenega cestnega mostu čez Savo v Črnučah.

Beg, D. 2010. Projektiranje jeklenih konstrukcij v skladu z Evrokodom 3 – kratak povzetek. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 113 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 1991-2:2004. Evrokod 1: Osnove projektiranja in vplivi na konstrukcije - 2. del: Prometna obtežba mostov.

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

SIST EN 1991-1-4:2005/oA101. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra – Nacionalni dodatek.

SIST EN 1991-1-5:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-5. del: Splošni vplivi - Toplotni vplivi.

SIST EN 1991-1-5:2004/A101:2009. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-5. del: Splošni vplivi - Toplotni vplivi - Nacionalni dodatek – Popravek.

SIST EN 1992-1-1:2005. Evrokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1993-2:2007. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 2. del: Mostovi.

SIST EN 1993-2:2007/A101:2009. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 2. del: Mostovi - Nacionalni dodatek.

SIST EN 1993-1-10:2005. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-10. del: Izbira kakovosti jekla glede na žilavost in lamelarni lom.

SIST EN 1993-1-10:2005/A101:2006. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-10. del: Izbira kakovosti jekla glede na žilavost in lamelarni lom – Nacionalni dodatek.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. 2011. Richtlinie zur Nachrechnung von Straßenbrücken im Bestand (Nachrechnungsrichtlinie).

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

SIST EN 1990:2004/A1:2006. Evrokod - Osnove projektiranja.

SIST EN 1990:2004/A1:2006/A101:2009. Evrokod - Osnove projektiranja - Dopolnilo A1 - Nacionalni dodatek.

Jugoslovanski standard. 1986. JUS J.E7.086.

SIST EN 1993-1-5:2007. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-5. del: Elementi pločevinaste konstrukcije.

SIST EN 1993-1-5:2007/A101:2009. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij - 1-5. del: Elementi pločevinaste konstrukcije - Nacionalni dodatek.

Verein deutscher Eisenhüttenleute. 1969. Stahl im Hochbau. Handbuch für Entwurf, Berechnung und Ausführung von Stahlbauten. Düsseldorf, Verlag Stahleisen M.B.H.

SIST EN 1337-1:2001. Konstrukcijska ležišča - 1. del: Splošna pravila za projektiranje.

SIST EN 1337-6:2004. Konstrukcijska ležišča – 6. del: Linijska in točkovna zasučna ležišča.

SIA Norme 161/79. 1982. Čelične konstrukcije danas. Beograd, Jugoslovanski građevinski centar.

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

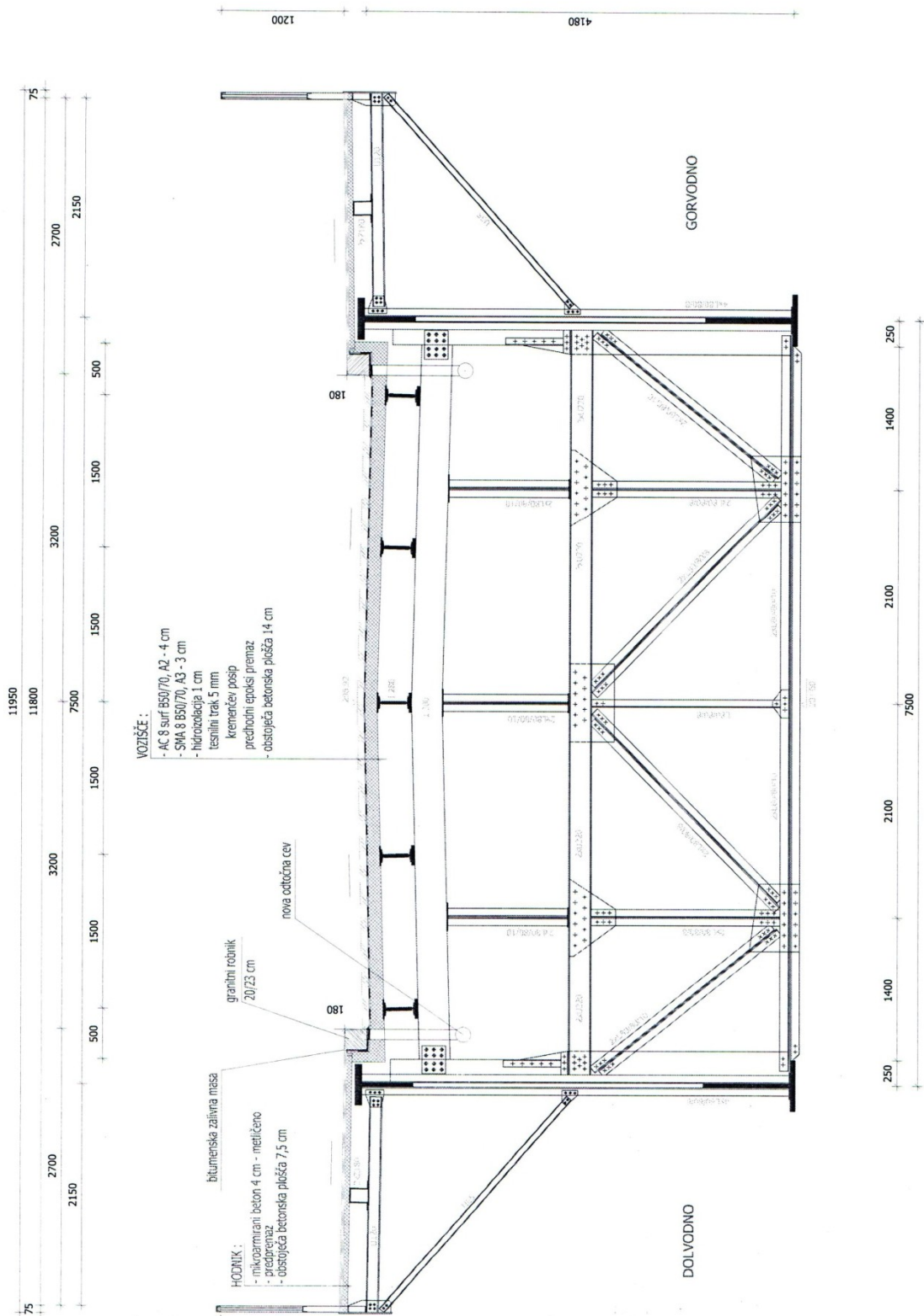
SIST EN 1993-1-9:2005/A101:2006. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-9. del: Utrujanje – Nacionalni dodatek.

KAZALO PRILOG

PRILOGA A	PREČNI PREREZ MOSTU	A1
PRILOGA B	DIAGRAMI OSNIH SIL V GLAVNEM PALIČNEM NOSILCU	B1

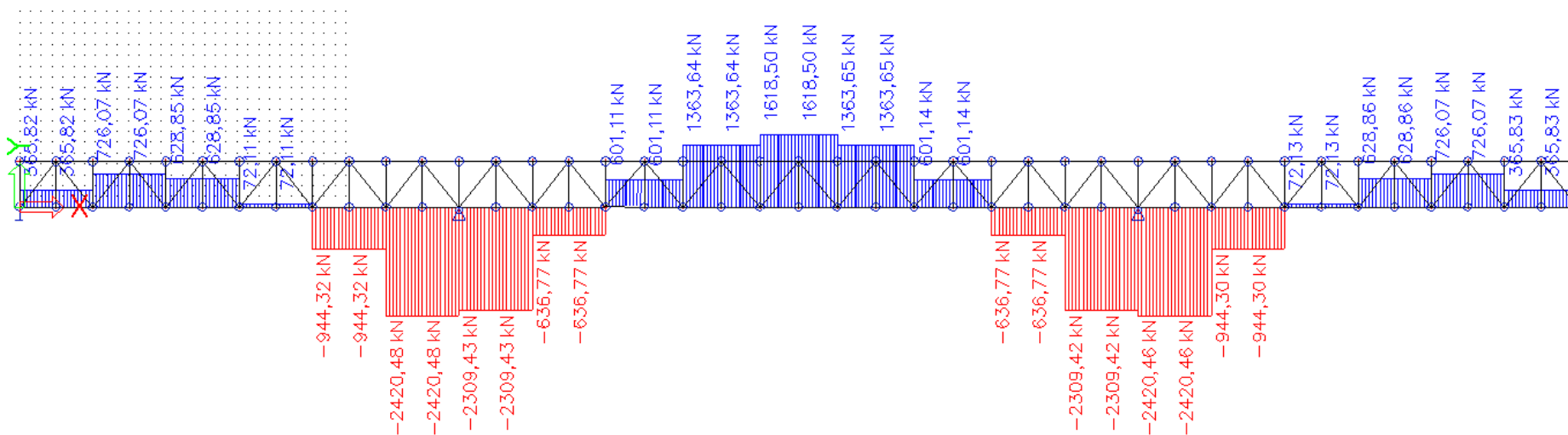
PRILOGE

PRILOGA A PREČNI PREREZ MOSTU

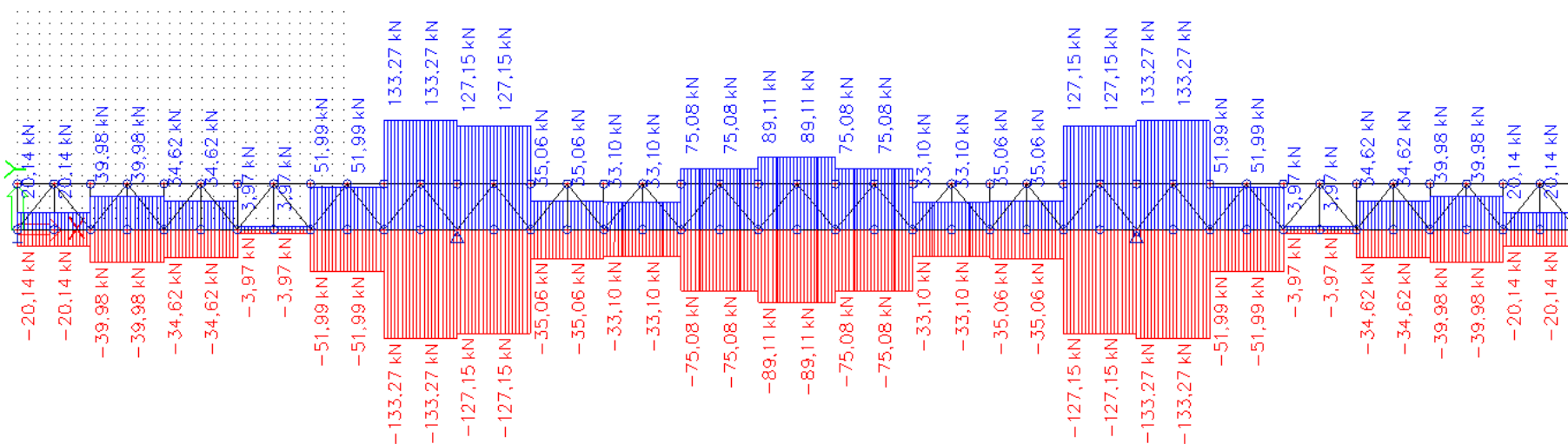


A-1: Prečni prerez mostu

PRILOGA B DIAGRAMI OSNIH SIL V GLAVNEM PALIČNEM NOSILCU

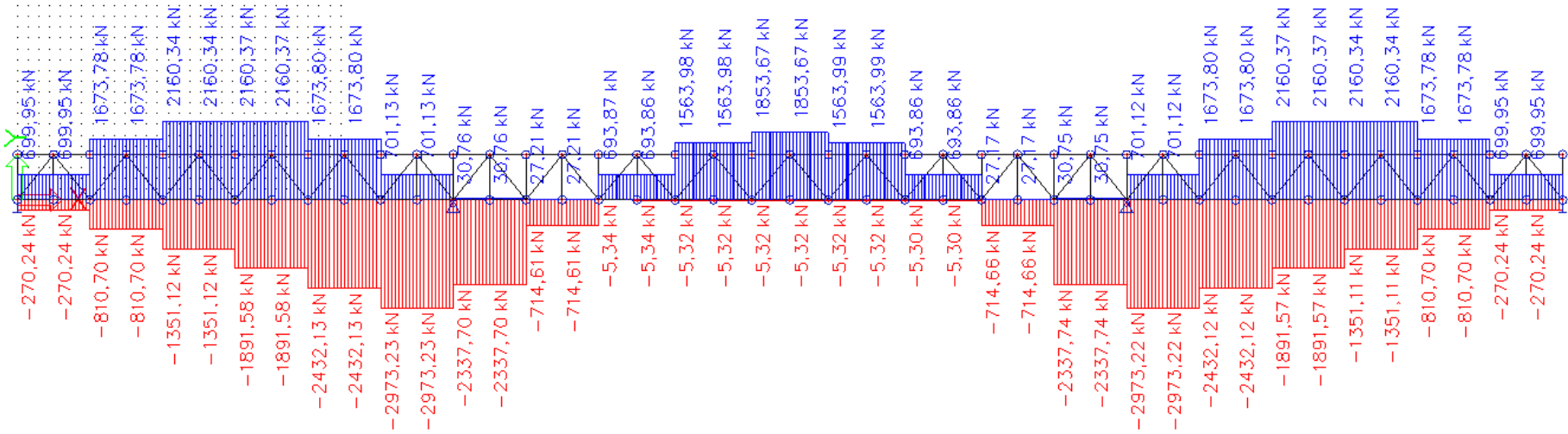


B-1: Osne sile v spodnjem pasu zaradi lastne in stalne obtežbe

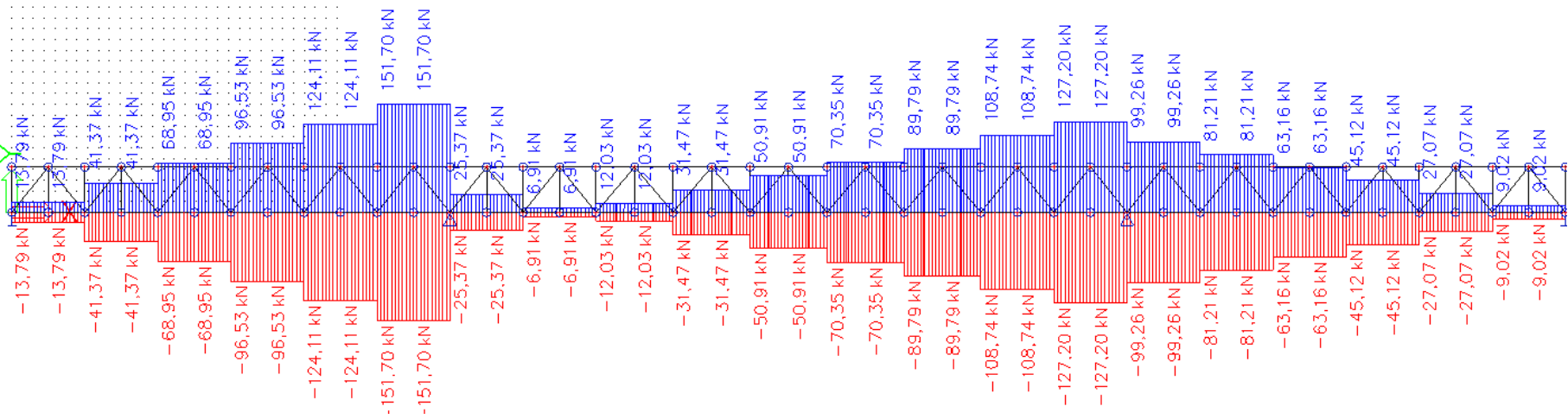


B-2: Ovojnica osnih sil v spodnjem pasu zaradi delovanja vetrne obtežbe na mostu s prometom

Ta stran je namenoma prazna.

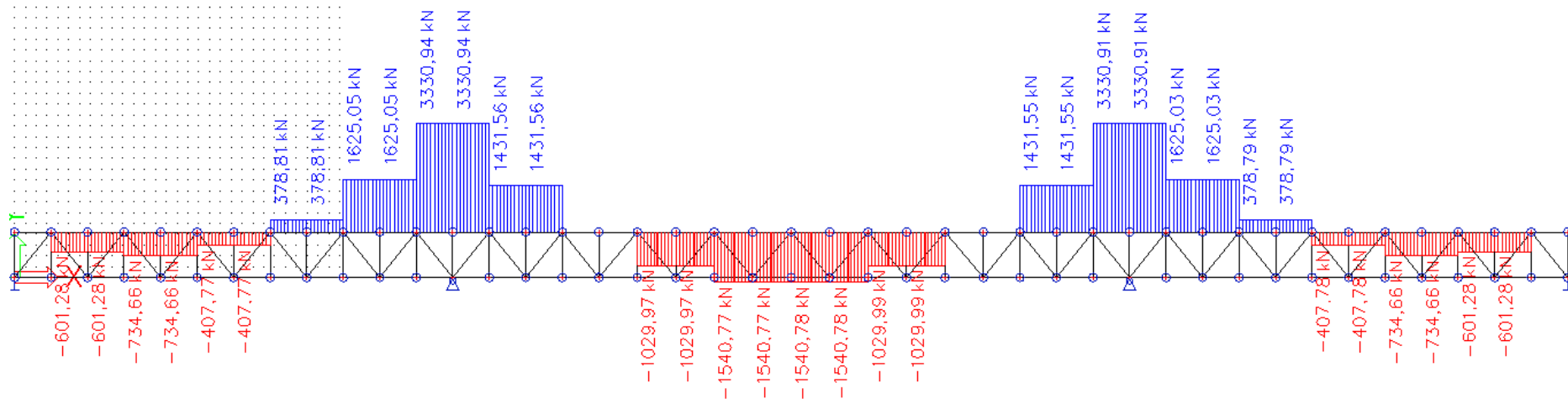


B-3: Ovojnica osnih sil v spodnjem pasu zaradi delovanja prometne obtežbe (obtežna skupina gr1a)

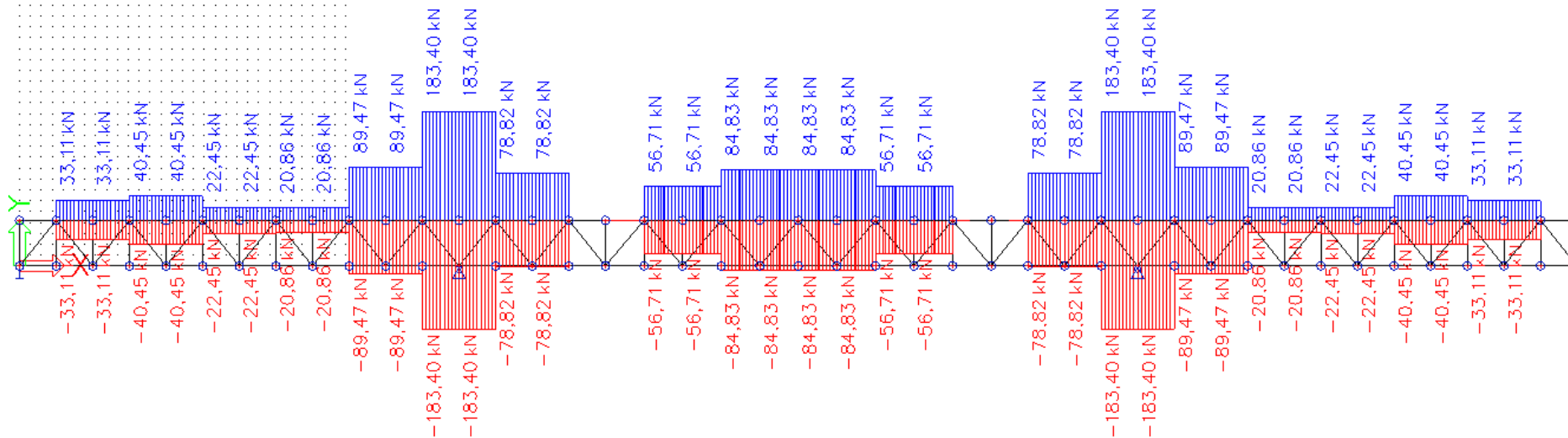


B-4: Ovojnica osnih sil v spodnjem pasu zaradi delovanja vodoravne sile pospeševanja in zaviranja

Ta stran je namenoma prazna.

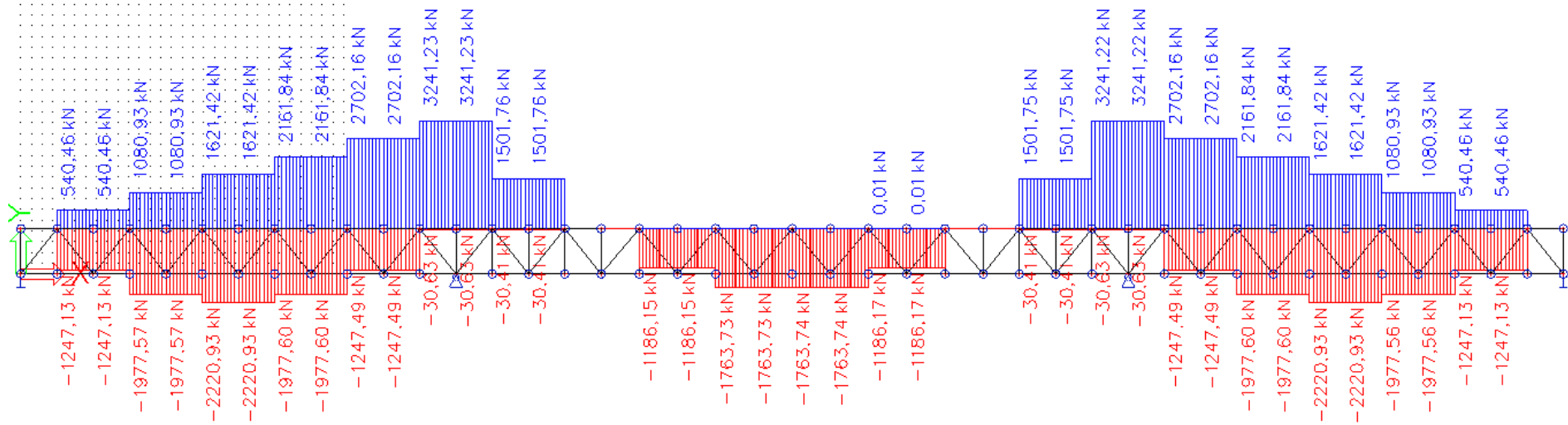


B-5: Osne sile v zgornjem pasu zaradi lastne in stalne obtežbe

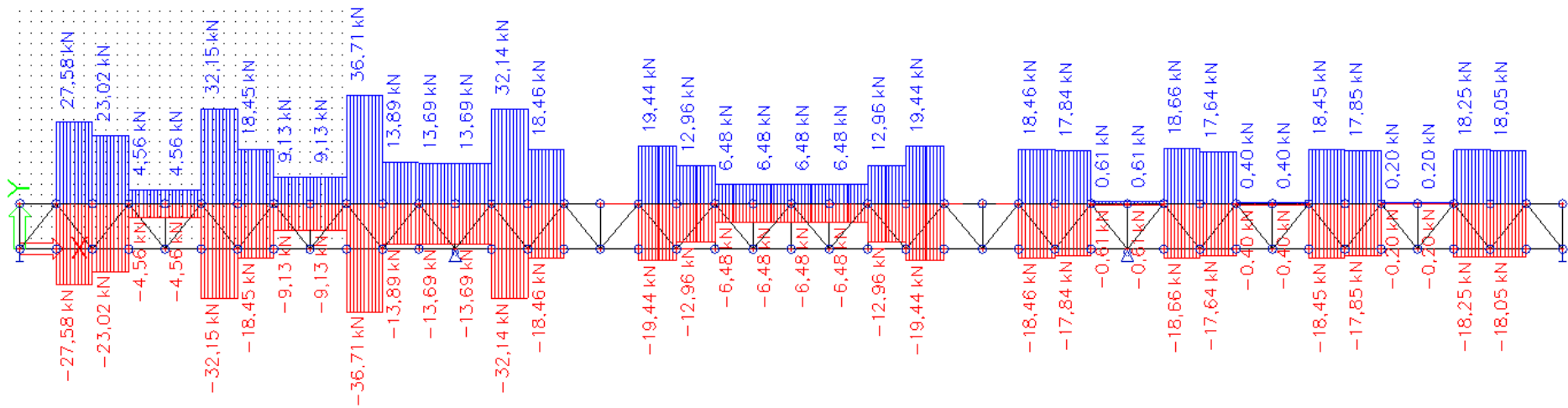


B-6: Ovojnica osnih sil v zgornjem pasu zaradi delovanja vetrne obtežbe na mostu s prometom

Ta stran je namenoma prazna.

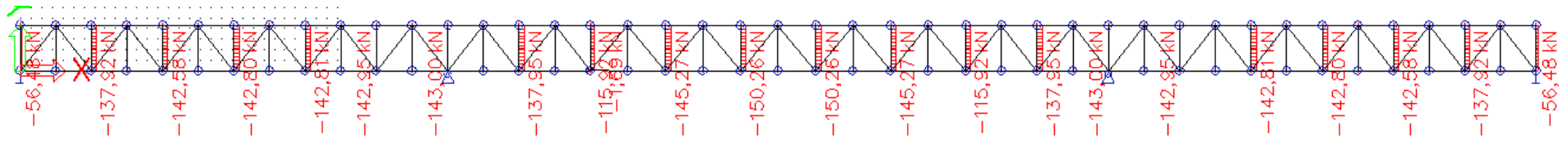


B-7: Ovojnica osnih sil v zgornjem pasu zaradi delovanja prometne obtežbe (obtežna skupina gr1a)

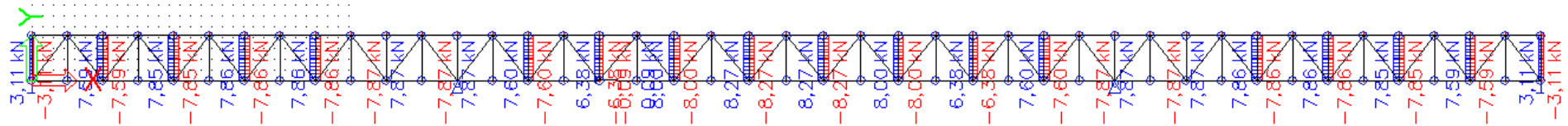


B-8: Ovojnica osnih sil v zgornjem pasu zaradi delovanja vodoravne sile pospeševanja in zaviranja

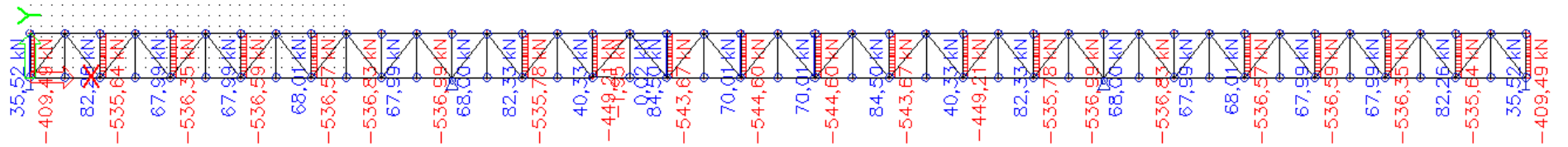
Ta stran je namenoma prazna.



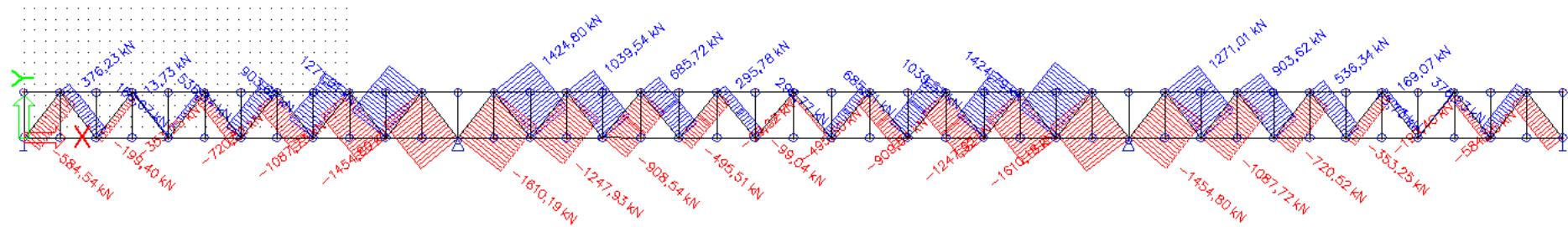
B-9: Osne sile v vertikalnih zaradi lastne in stalne obtežbe



B-10: Ovojnica osnih sil v vertikalnih zaradi delovanja vetrne obtežbe na mostu s prometom

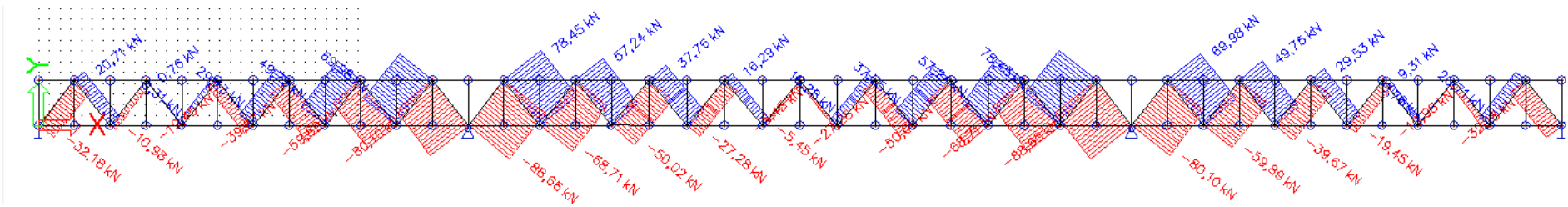


B-11: Ovojnica osnih sil v vertikalnih zaradi delovanja prometne obtežbe (obtežna skupina gr1a)

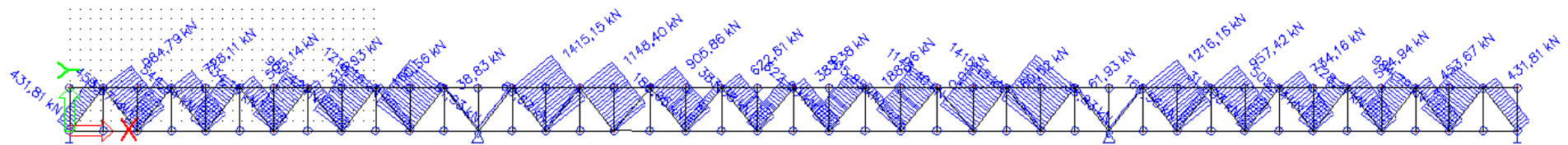


B-12: Osne sile v diagonalah zaradi lastne in stalne obtežbe

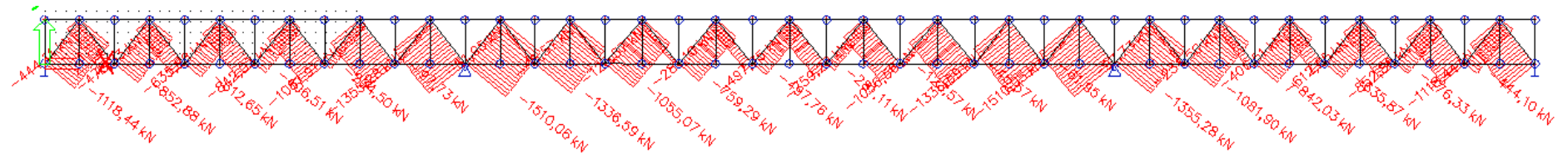
Ta stran je namenoma prazna.



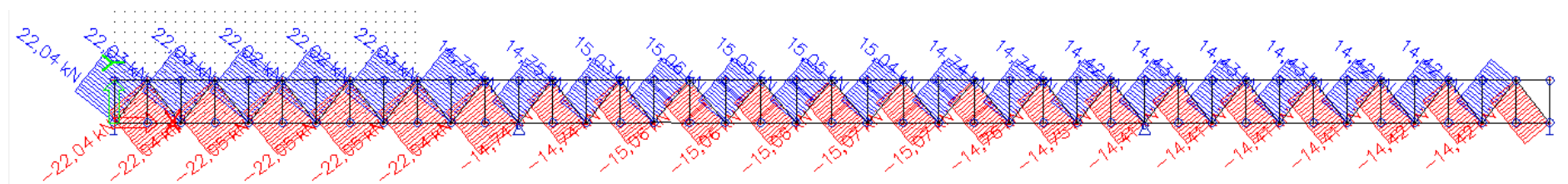
B-13: Osne sile v diagonalah zaradi delovanja vetrne obtežbe (v smeri gravitacije) na mostu s prometom



B-14: Največje osne sile v diagonalah zaradi delovanja prometne obtežbe (obtežna skupina gr1a)



B-15: Najmanjše osne sile v diagonalah zaradi delovanja prometne obtežbe (obtežna skupina gr1a)



B-16: Osne sile v diagonalah zaradi delovanja vodoravne sile pospeševanja in zaviranja (v smeri glavne koordinatne osi X)

Ta stran je namenoma prazna.