

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:

Čančar, T., 2013. Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Isaković, T.): 84 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:

Čančar, T., 2013. Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Isaković, T.): 84 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

PRVOSTOPENJSKI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO (VS)  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

**TONI ČANČAR**

**PROJEKTIRANJE PREKLADNE KONSTRUKCIJE  
ARMIRANOBETONSKEGA GREDNEGA MOSTU V SKLADU  
Z EVROKOD STANDARDI**

Diplomska naloga št.: 29/OG-MK

**ANALYSIS AND DESIGN OF REINFORCED CONCRETE  
BRIDGE DECK ACCORDING TO EUROCODE STANDARDS**

Graduation thesis No.: 29/OG-MK

**Mentorica:**

prof. dr. Tatjana Isaković

**Predsednik komisije:**

doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 05. 09. 2013

## **STRAN ZA POPRAVKE**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVE**

Podpisani Toni Čančar izjavljam, da sem avtor napisane diplomske naloge z naslovom : »Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi« .

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

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

Ljubljana, 4.9.2013

Toni Čančar

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

**UDK:** 006.77:624.012.45(043.2)  
**Avtor:** Toni Čančar  
**Mentorica:** prof. dr. Tatjana Isaković  
**Naslov:** Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi  
**Tip dokumenta:** Diplomaska naloga - visokošolski strokovni študij  
**Obseg in oprema:** 84 str., 16 pregl., 134 sl.  
**Ključne besede:** Evrokod, plošča, nosilec, most, prekladna konstrukcija, armirani beton

### **IZVLEČEK:**

V diplomski nalogi je analizirana in dimenzionirana armiranobetonska prekladna konstrukcija grednega mostu po Evrokod standardih. Konstrukcija je zasnovana na osnovi originalnega projekta. Prikazana sta analiza prekladne konstrukcije, ki je izvedena z računalniškim programom SAP2000 in dimenzioniranje konstrukcije po standardu Evrokod 2 za projektiranje betonskih konstrukcij. Poleg omenjenega standarda sta uporabljena tudi Evrokod 0 za osnove projektiranja in Evrokod 1 za vplive na konstrukcijo. Pri dimenzioniranju je upoštevano samo mejno stanje nosilnosti. V programu SAP2000 je za analizo konstrukcije uporabljeno več različnih modelov, ki so med seboj primerjani. V nalogi so tudi prikazane nekatere primerjave z originalnim projektom, ki je izdelan po predhodno veljavnih predpisih.

Naloga obsega sedem poglavij, med katerimi so: analiza obtežbe, analiza prekladne konstrukcije, dimenzioniranje tipičnih elementov in primerjava potrebne količine armature. Med priloge so priloženi načrti konstrukcije, armaturni načrti in izvlečki armature. Armaturni načrti in nekatere slike so narisani z programom AutoCAD.

## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 006.77:624.012.45(043.2)  
**Autor:** Toni Čančar  
**Supervisor:** prof. Tatjana Isaković, Ph. D.  
**Title:** Analysis and design of reinforced concrete bridge deck according to EUROCODE standards  
**Document type:** Graduation thesis - Higher professional studies  
**Notes:** 84 p., 16 tab., 134 fig.  
**Key words:** Eurocode, slab, beam, bridge, deck, reinforced concrete

### **ABSTRACT:**

In thesis is presented analysis and design of reinforced concrete bridge deck according to Eurocode standards. Construction was defined on already existing project and plans. There are showed analysis of construction with computer program SAP2000 and detail designing according to Eurocode 2 standard, for design of concrete structures. Besides of mentioned standard Eurocode 2, were also used Eurocode 0 for basis of structural design and Eurocode 1 for all actions on superstructure. In design were considered only Ultimate Limit States. Construction was analysed in computer program SAP2000 on several different models, which were compared to each other. In thesis are also showed some comparisons with original project, which was made by previous standards.

Thesis covers seven chapters, among those are; load analysis, analysis of deck, design of typical structural elements and comparison of needed steel reinforcement. In annexes are attached construction planes, reinforcement plans and summary of the reinforcement. Reinforcement plans and some graphics are been provided by using computer program AutoCad.

## **ZAHVALA**

Iskreno se zahvaljujem mentorici prof. dr. Tatjani Isaković za vse praktične nasvete, razlage in pomoč pri nastajanju diplomske naloge. Zahvaljujem se vsem profesorjem na UL FGG za pridobljeno znanje tekom študija.

Zahvala gre tudi staršema in bratu ter prijateljem za podporo v času študija.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>KONSTRUKCIJA</b> .....	<b>2</b>
2.1	Zasnova armiranobetonske prekladne konstrukcije .....	2
2.2	Materiali in karakteristike .....	5
<b>3</b>	<b>OBTEŽBA</b> .....	<b>6</b>
3.1	Lastna in stalna obtežba .....	6
3.1.1	Konzolna plošča .....	6
3.1.2	Plošča med nosilcema .....	7
3.2	Prometna obtežba .....	8
3.3	Temperaturni vpliv .....	10
<b>4</b>	<b>KOMBINACIJE</b> .....	<b>12</b>
5.1	Mejno stanje nosilnosti .....	12
<b>5</b>	<b>ANALIZA PREKLADNE KONSTRUKCIJE</b> .....	<b>13</b>
5.1	Računalniški model .....	13
5.1.1	Osnovni 3D računalniški model .....	14
5.1.2	3D Računalniški model s spušenimi gredami .....	15
5.2	Račun in analiza .....	19
5.2.1	Plošča .....	19
5.2.2	Nosilca .....	31
5.2.3	Prečniki .....	41
<b>6</b>	<b>DIMENZIONIRANJE PREKLADNE KONSTRUKCIJE</b> .....	<b>44</b>
6.1	Materiali in varnostni faktorji .....	44
6.2	Dimenzioniranje plošče .....	44
6.2.1	Dimenzioniranje plošče na sredini razpona (POZ2) .....	45
6.2.2	Dimenzioniranje plošče ob stebri (POZ 3) .....	52
6.2.3	Dimenzioniranje konzolne plošče (POZ 4) .....	57
6.3	Dimenzioniranje vzdolžnega nosilca .....	58
6.4	Dimenzioniranje prečnika .....	74
<b>7</b>	<b>PRIMERJAVA KOLIČINE ARMATURE PO EVROKODU IN V ORIGINALNEM PROJEKTU</b> .....	<b>81</b>
<b>8</b>	<b>ZAKLJUČEK</b> .....	<b>82</b>
<b>VIRI</b>	.....	<b>83</b>



## KAZALO SLIK

Slika 1: Prečni prerez prekladne konstrukcije.....	3
Slika 2: 3D model prekladne konstrukcije (vir: Google Sketch Up) .....	3
Slika 4: Prečni prerez in sestava konzole.....	6
Slika 5: Prečni prerez in sestava plošče med nosilcema .....	7
Slika 6: Shema lastne in stalne obtežbe na prečnem prerezu.....	7
Slika 7: Shema prometne obtežbe gr1a.....	9
Slika 8: Shema prometne obtežbe gr2.....	9
Slika 9: Shema obtežnega modela LM1 v tlorisu .....	9
Slika 10: Neenakomerna temperaturna sprememba - zgoraj topleje .....	11
Slika 11: Neenakomerna temperaturna sprememba - spodaj topleje .....	11
Slika 12: Prerez in tloris z označenimi dimenzijami plošče .....	13
Slika 13: Osnovni računalniški model mostu, pogled v tlorisu iz SAP2000 .....	14
Slika 14: Osnovni računalniški model mostu iz v 3D-pogledu (SAP2000).....	14
Slika 15: Osnovni računalniški model mostu v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov .....	14
Slika 16: Model 1 v tlorisu.....	15
Slika 17: Model 1 v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov.....	15
Slika 19: Model 2 v 3D-pogledu.....	15
Slika 20: Model 2 v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov.....	16
Slika 21: Model 3 v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov.....	16
Slika 22: Vmesni steber in virtualna sila v 3D-pogledu .....	17
Slika 23: Vmesni steber v pogledu .....	17
Slika 24: Pomiki stebra zaradi virtualne sile za vsak končni element stebra.....	17
Slika 25: Originalna zasnova ležišč v vzdolžni smeri.....	18
Slika 26: Spremenjena zasnova ležišč v vzdolžni smeri.....	18
Slika 27: Zasnova ležišč v prečni smeri.....	18
Slika 30: Upogibni momenti $M_x$ na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.....	19
Slika 31: Upogibni momenti $M_y$ na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.....	19
Slika 32: Upogibni momenti $M_x$ na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.....	20
Slika 33: Upogibni momenti $M_y$ na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.....	20
Slika 35: Plošča vpeta na vseh robovih.....	21
Slika 36: Plošča vpeta na krajših robovih .....	22
Slika 37: Kombinacija dveh plošč, ki sta različno podprti.....	22
Slika 38: Plošča, ki je elastično vpeta ob daljših robovih.....	23
Slika 39: Plošča, ki je na vseh robovih vpeta.....	24

Slika 40: Konzolna plošča .....	25
Slika 41: Upogibni momenti plošče v prečni smeri mostu .....	25
Slika 42: Vplivnica za upogibni moment $M_y$ na sredini plošče (pogled v tlorisu).....	27
Slika 43: Vplivnica za upogibni moment $M_y$ na sreini plošče (3D-pogled).....	27
Slika 44: Pripadajoča postavitev obtežbe .....	27
Slika 45: Vplivnica za upogibni moment $M_y$ plošče ob vzdolžnem nosilcu (tloris) .....	28
Slika 46: Vplivnica za upogibni moment $M_y$ plošče ob vzdolžnem nosilcu (3D) .....	28
Slika 47: Pripadajoča postavitev obtežbe .....	28
Slika 44: Negativni upogibni momenti plošče $M_x$ zaradi prometne obtežbe gr1a .....	29
Slika 45: Pozitivni upogibni momenti plošče $M_x$ zaradi prometne obtežbe gr1a .....	29
Slika 46: Negativni upogibni momenti plošče $M_y$ zaradi prometne obtežbe gr1a .....	29
Slika 47: Pozitivni upogibni momenti plošče $M_y$ zaradi prometne obtežbe gr1a .....	29
Slika 48: Negativni upogibni momenti plošče $M_x$ zaradi prometne obtežbe gr2.....	30
Slika 49: Pozitivni upogibni momenti plošče $M_x$ zaradi prometne obtežbe gr2. ....	30
Slika 50: Negativni upogibni momenti plošče $M_y$ zaradi prometne obtežbe gr2.....	30
Slika 51: Pozitivni upogibni momenti plošče $M_y$ zaradi prometne obtežbe gr2. ....	30
Slika: 52 Lastnosti osnovnega modela .....	31
Slika 53: Lastnosti modela z spuščeniimi gredami .....	31
Slika 54: Integracija notranjih sil .....	32
Slika 55: Diagram osnih sil v nosilcu zaradi ekscentričnosti .....	32
Slika 56: Diagram upogibnih momentov $M_y$ v nosilcu zaradi ekscentričnosti .....	32
Slika 57: Označen prerez konstrukcije v tlorisu.....	33
Slika 58: Sile v prerezu (SAP2000) .....	33
Slika 61: Prikaz smeri v SAP-u ko prerežemo konstrukcijo ali element .....	34
Slika 62: Prikaz prerezov iz preglednice 8 .....	35
Slika 63: Prikaz prerezov iz preglednice 9 .....	36
Slika 64: Prikaz prerezov iz preglednice 10.....	36
Slika 65: Diagram upogibnih momentov $M_y$ zaradi lastne in stalne teže (kNm) .....	37
Slika 66: Diagram prečnih sil $V_z$ zaradi lastne in stalne teže (kN) .....	37
Slika 67: Prikaz vplivnice za nosilec ob podpori v SAP-u (tloris).....	38
Slika 68: Prikaz vplivnice za nosilec ob podpori v SAP-u (3D pogled) .....	38
Slika 69: Prikaz vplivnice za nosilec ob podpori v SAP-u (pogled iz strani) .....	38
Slika 70: Pripadajoča postavitev obtežbe gr1a, pogled v tlorisu.....	39
Slika 71: Ovojnica upogibnih momentov $M_y$ (kNm) .....	39
Slika 72: Ovojnica prečnih sil $V_z$ (kN).....	39
Slika 73: Ovojnica upogibnih momentov $M_y$ (kNm) .....	39

Slika 74: Ovojnica prečnih sil $V_z$ (kN) .....	40
Slika 75: Diagram $M_y$ zaradi zavornih sil (kNm) .....	40
Slika 76: Diagram osnih sil zaradi zavornih sil (kN).....	40
Slika 77: Diagram pozitivnih in negativnih osnih sil v nosilcu zaradi enakomerne temperature(kN) .	40
Slika 78: Diagram pozitivnih in negativnih momentov v nosilcu zaradi enakomernih temp.sprememb (kNm).....	41
Slika 79: Diagram pozitivnih in negativnih momentov v nosilcu zaradi neeenakomernih temp. sprememb (kNm) .....	41
Slika 80: Diagram momentov $M_y$ v prečniku zaradi lasnte in stalne teže(kNm).....	41
Slika 81: Diagram prečnih sil $V_z$ zaradi lastne in stalne teže (kN) .....	41
Slika 81: Diagram momentov $M_y$ v prečniku pri prometni obtežbi $gr_2$ (kNm).....	42
Slika 81: Diagram prečnih sil $V_z$ v prečniku pri prometni obtežbi $gr_2$ (kN).....	42
Slika 81: Diagram momentov $M_y$ v prečniku pri prometni obtežbi $gr_2$ (kNm).....	42
Slika 81: Diagram prečnih sil $V_z$ v prečniku pri prometni obtežbi $gr_2$ (kN).....	43
Slika 82: Diagram momentov $M_y$ v prečniku pri delovanju neeenakomerne temperature (kNm) .....	43
Slika 83: Diagram momentov $M_y$ v prečniku pri pri delovanju neeenakomerne temperature (kNm) ..	43
Slika 85: Označene pozicije plošče v tlorisu.....	45
Slika 86: Potek zgornje upogibne armature nad prečnimi nosilci.....	45
Slika 87: Ovojnica upogibnih momentov $M_x$ v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000 .....	45
Slika 88: Postavitev zgornje armature.....	46
Slika 89: Potek spodnje upogibne armature v vzdolžni smeri .....	47
Slika 90: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000 .....	47
Slika 91: Postavitev spodnje armature .....	47
Slika 92: Potek zgornje upogibne armature nad nosilci.....	48
Slika 93: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer), SAP2000.....	48
Slika 94: Potek spodnje upogibne armature v prečni smeri .....	49
Slika 95: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer), SAP2000.....	49
Slika 96: Razpored in količina upogibne armature v plošči na sredini razpona .....	49
Slika 97: Prikazan je del mostu v tlorisu z ovojnico prečnih sil $V_{xz}$ za običajno projektno stanje .....	50
Slika 98: Prikazan je del mostu v tlorisu z ovojnico prečnih sil $V_{yz}$ za običajno projektno stanje .....	51
Slika 97: Potek zgornje upogibne armature nad stebrom.....	52
Slika 99: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000 .....	52
Slika 100:Potek zgornje upogibne armature nad prečnim nosilcem .....	53
Slika 101: Potek spodnje upogibne armature v vzdolžni smeri .....	54
Slika 102: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000 .....	54
Slika 103:Potek zgornje upogibne armature nad nosilcema .....	55
Slika 104: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer), SAP2000.....	55

Slika 105. Potek spodnje upogibne armature v prečni smeri .....	56
Slika 106: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer) .....	56
Slika 107: Razpored in količina upogibne armature v plošči ob stebri .....	56
Slika 108: Ovojnica upogibnih momentov v konzolni plošči, SAP2000 .....	57
Slika 109: Robna armatura plošče (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.161) .....	57
Slika 110: Ovojnica upogibnih momentov $M_y$ v nosilcu (kNm) .....	58
Slika 111: Ovojnica prečnih sil $V_z$ v nosilcu (kN) .....	58
Slika 112: Redukcija momenta nad vrtljivo podporo .....	59
Slika 113: Napetosti in deformacije v pravokotnih prerezih (simbolična slika) .....	60
Slika 114: Razpored natezne armature pri prečnem prerezu z pasnico (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.155) .....	60
Slika 115: Določitev upogibne armature nosilca ob podpori, v programu DIAS .....	61
Slika 116: Medsebojna razdalja palic v nosilcu (simbolična slika) .....	62
Slika 117: Določitev upogibne armature nosilca v polju, v programu DIAS .....	63
Slika 118: Medsebojna razdalja palic v nosilcu (simbolična slika) .....	64
Slika 119: Opis pogojev sidranja (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.137) .....	65
Slika 120: Vrednost $c_d$ za plošče in nosilce (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.138) .....	66
Slika 121: Sidranje spodnje armature nad vmesnimi podporami (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.157) ..	67
Slika 122: Sidranje spodnje armature na končnih podporah (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.156) .....	67
Slika 123 : Prekinjanje vzdolžne armature v vzdolžnem nosilcu .....	68
Slika 124: Definicija $A_{sl}$ (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.88) .....	69
Slika 125: Razpored strižne armature v nosilcu .....	73
Slika 126: Primeri strižne armature (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.158) .....	73
Slika 127: Paramteri sodelujoče širine pasnice (SIST EN 1992-1-1: 2005, str. 60) .....	74
Slika 128: Določitev $l_0$ za račun sodelujoče širine pasnice (SIST EN 1992-1-1: 2005, str. 60) .....	74
Slika 129: Ovojnica upogibnih momentov $M_y$ za osnovno projektno stanje (kNm) .....	75
Slika 130: Ovojnica prečnih sil $V_z$ za osnovno projektno stanje (kN) .....	75
Slika 131: Določanje vzdolžne armature prečnika v programu DIAS .....	76
Slika 132: Razpored natezne armature pri prečnem prerezu z pasnico (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.155) .....	77
Slika 133: Medsebojna razdalja palic v nosilcu (simbolična slika) .....	77
Slika 134: Razpored strižne armature v prečnem nosilcu .....	80

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Razdelitev cestišča na namišljene pasove .....	8
Preglednica 2: Karakteristične vrednosti navpične prometne obtežbe .....	8
Preglednica 3: Pogoste vrednosti navpične prometne obtežbe .....	8
Preglednica 4: Pozitivni upogibni momenti za zasnovno plošče na slikah 37 in 38.....	23
Preglednica 5: Negativni upogibni momenti za zasnovno plošče na sliki 37in 38.....	23
Preglednica 6: Pozitivni upogibni momenti za zasnovno plošče na sliki 37 .....	24
Preglednica 7: Negativni upogibni momenti za zasnovno plošče na sliki 37 .....	24
Preglednica 8: Preglednica upogibnih momentov za polje na sredini razpona.....	26
Preglednica 9: Preglednica upogibnih momentov za polje ob stebru .....	26
Preglednica 10: $M_y$ zaradi lastne in stalne teže pri posameznih modelih (kNm).....	35
Preglednica 11: Tlačne sile v nosilcu zaradi raztezanja - drsne podpore na koncih .....	36
Preglednica 13: Tlačne sile v nosilcu zaradi raztezanja - nepomične podpore na koncih.....	36
Preglednica 14: Primerjava potrebne količine upogibne armature v osrednjem polju plošče .....	81
Preglednica 15: Primerjava potrebne količine upogibne armature v vzdolžnem nosilcu .....	81
Preglednica 16: Primerjava potrebne količine upogibne armature v prečnem nosilcu .....	82



## 1 UVOD

V okviru diplomske naloge smo analizirali armiranobetonsko prekladno konstrukcijo grednega mostu. Namen naloge je bil prikazati analizo in dimenzioniranje betonske prekladne konstrukcije po standardih Evrokod ter primerjati izračunane količine armature s količinami, izračunanimi na podlagi predhodnih predpisov.

Originalni projekt omenjenega grednega mostu je bil izdelan v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja, pri čemer so bili upoštevani tedanji predpisi. Naša naloga je bila opraviti analizo konstrukcije s programom SAP2000 in dimenzioniranje prekladne konstrukcije v skladu s trenutno veljavnimi standardi Evrokod. Na koncu smo naredili primerjavo količine armature z originalnim projektom.

Pri analizi smo upoštevali le redne prometne situacije in mejna stanja nosilnosti. Poleg lastne in stalne obtežbe smo upoštevali še vertikalno in horizontalno prometno obtežbo ter temperaturne vplive. Obtežbe snega in vetra ter potresna obtežba niso bile upoštevane. Prometna obtežba je upoštevana po zahtevah EN 1991-2 in temperaturni vplivi po zahtevah SIST EN 1991-5. Obtežbe so predstavljene v tretjem poglavju diplomske naloge.

Analizo konstrukcije smo izvedli z računalniškim programom SAP2000. Primerjali smo več računskih modelov, kar je opisano v četrtem poglavju. Analizo plošče smo izvedli na računalniških modelih v programu SAP2000 in tudi po "peš" postopku za primer delovanja lastne in stalne obtežbe. Pri tem smo uporabili tabele različnih avtorjev, ki omogočajo račune notranjih sil brez računalniških programov. Pri dimenzioniranju konstrukcije, prikazanem v šestem poglavju, smo uporabili program DIAS in preglednice za dimenzioniranje. Konstrukcija je dimenzionirana v skladu s standardi EN 1992-1-1 in EN 1992-1-2. Na koncu diplomske naloge smo naredili primerjavo potrebne količine armature po standardih Evrokod in tistem, ki je določen v originalnem projektu.

## 2 KONSTRUKCIJA

### 2.1 Zasnova armiranobetonske prekladne konstrukcije

Dolžina konstrukcije je 65 m. Podprta je s krajnima opornikoma višine 8,8 m in dvema vmesnima stenastima stebroma višine 7,1 m. Vse podpore temeljijo na plitvih pasovnih temeljih. Trasa objekta poteka v premi in je pravokotna na smer struge, v prečnem profilu pa je nagnjena za 1 %. Dolžina posameznih polj prekladne konstrukcije znaša 20 m + 25 m + 20 m. Prekladna konstrukcija je sestavljena iz dveh kontinuiranih nosilcev, ki sta povezana s štirinajstimi prečniki. Vzdolžna nosilca in prečniki podpirajo armiranobetonsko ploščo, ki je nosilna v dveh smereh. Ob straneh je vpeta konzolna plošča. Vzdolžni prerez in 3D-prikaz konstrukcije sta razvidna iz slik 2 in 3.

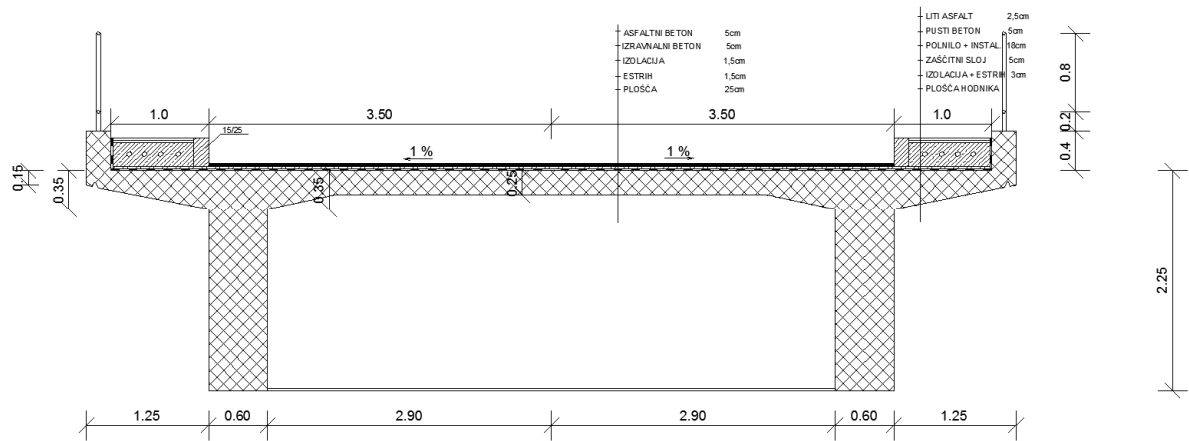
Vzdolžna nosilca prek treh polj sta dimenzij 225/60 cm. Konstrukcija ima tri tipe prečnih nosilcev: končne, vmesne in močnejše podporne prečnike. Končna oziroma začetna prečnika sta dimenzij 225/40 cm, vmesni prečniki 155/40 cm, podporni prečniki nad stebri pa 225/80 cm. Plošča med nosilcema je debeline 25 cm in je ob nosilcih odebeljena na 35 cm. Konzolna plošča ob straneh, debeline 35 cm, se na zunanjem robu stanjša na 15 cm. Geometrija tipičnega prečnega prereza je razvidna iz slike 1.

Vsi vplivi, ki delujejo na preklado, se prek plošče prenašajo na vzdolžne in prečne nosilce. Navpična obremenitev se potem prek stebrov in krajnih opornikov prenese v temeljna tla. Prečni nosilci pomagajo pri raznosu obtežbe v prečni smeri, nudijo torzijsko odpornost nosilcev in povežejo nosilce v celoto. Prečni in vzdolžni nosilci so monolitno povezani.

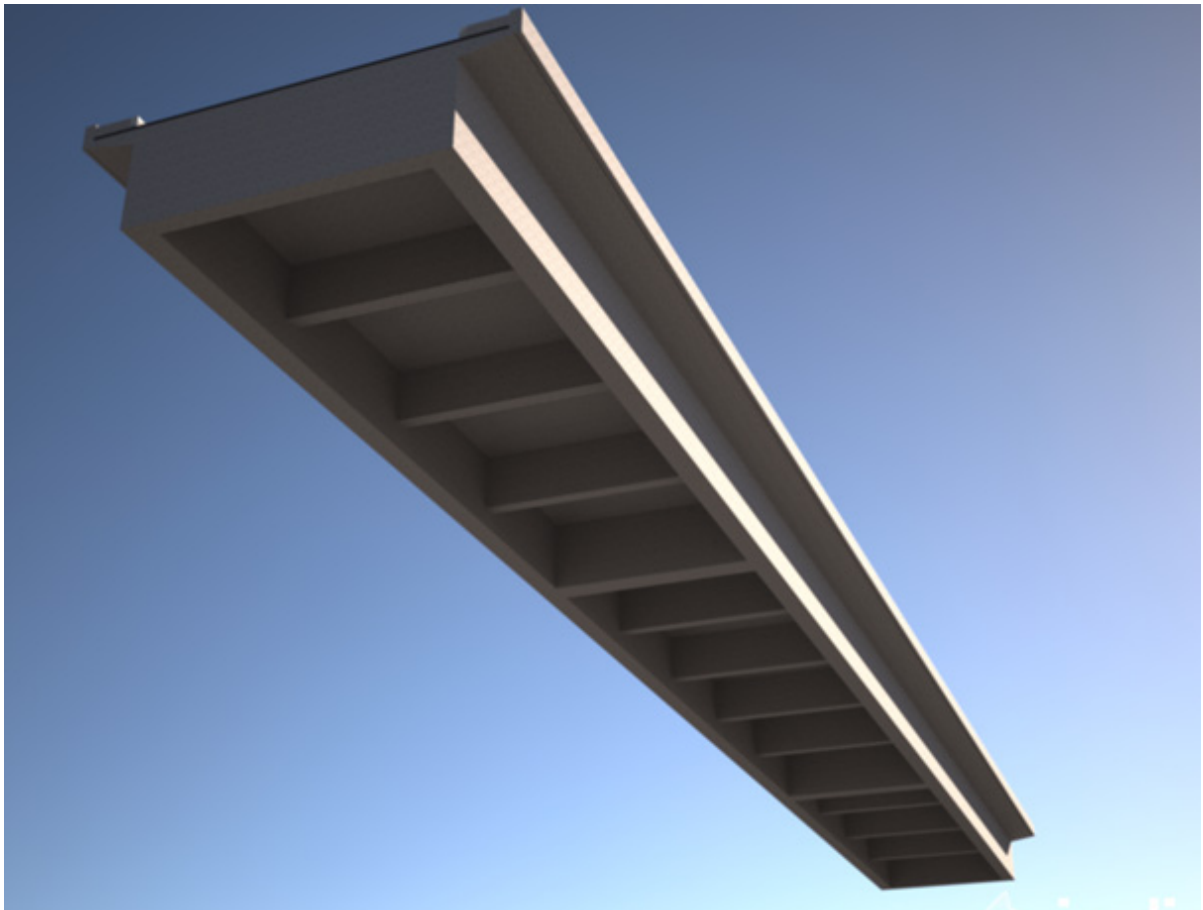
V originalnem projektu so relativni horizontalni pomiki med preklado in oporniki preprečeni, saj so na tem mestu izvedena betonska ležišča oziroma armiranobetonski členki. Ta ležišča omogočajo prost zasuk, vendar so nepomična. V diplomski nalogi smo obravnavali dva primera, prvega z originalno zasnovo ležišč, v drugem primeru pa smo relativne pomike med preklado in krajnima opornikoma omogočili.

Za konstrukcijo sta bila predvidena beton C25/30 in jeklena armatura S240. V analizi po standardih Evrokod smo uporabili beton C 30/37 in jekleno armaturo S500.

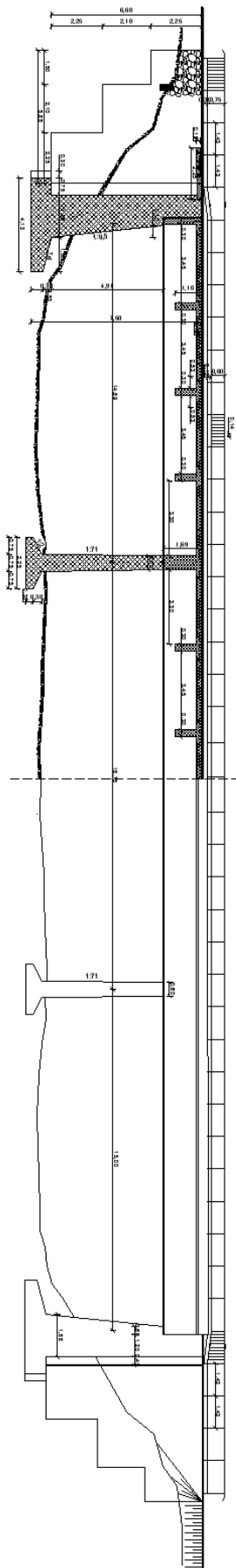




Slika 1: Prečni prerez prekladne konstrukcije



Slika 2: 3D model prekladne konstrukcije (vir: Google Sketch Up)



Slika 3: Vzdolžni prerez konstrukcije iz originalnega projekta

## 2.2 Materiali in karakteristike

Za prekladno konstrukcijo so uporabljeni:

Beton C30/37, ki ima naslednje karakteristike:

Modul elastičnosti betona  $E_{cm} = 3300 \text{ kN/cm}^2$

Srednja vrednost osne natezne trdnosti betona  $f_{ctm} = 0,29 \text{ kN/cm}^2$

Karakteristična tlačna trdnost 28 dni starega betona, določena na kocki  $f_{ck,cube} = 3,7 \text{ kN/cm}^2$

Karakteristična tlačna trdnost 28 dni starega betona, določena na valju  $f_{ck} = 3,0 \text{ kN/cm}^2$

Poissonov količnik  $\nu = 0,2 \text{ kN/cm}^2$

Specifična teža betona  $\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$

Jeklo S500, ki ima naslednje karakteristike:

Modul elastičnosti jekla  $E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$

Karakteristična meja tečenja jekla  $f_{yk} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$

Karakteristična natezna trdnost  $f_t = 50,0 \text{ kN/cm}^2$

Specifična teža jekla  $\gamma_s = 78,5 \text{ kN/cm}^2$

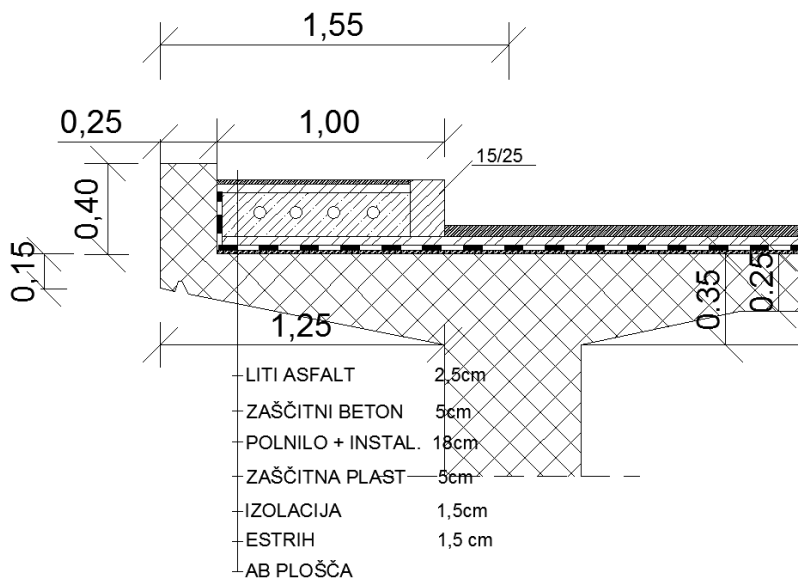
### 3 OBTEŽBA

#### 3.1 Lastna in stalna obtežba

##### 3.1.1 Konzolna plošča

Dolžina konzole v računskem modelu znaša 1,55 m.

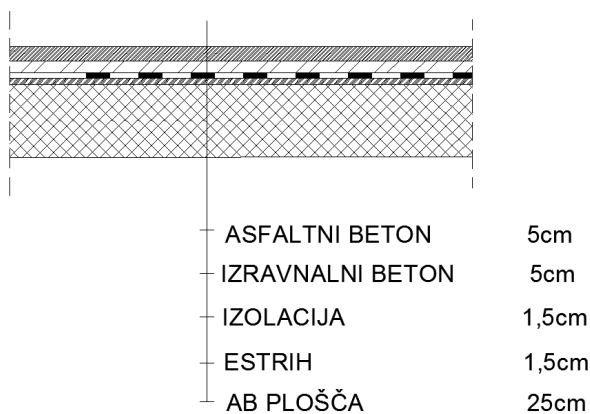
Plošča	$0,50 \cdot (0,15 \text{ m} + 0,35 \text{ m}) \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	$6,25 \text{ kN/m}^2$
Estrih in zaščitni beton	$(0,015 \text{ m} + 0,05 \text{ m}) \cdot 1,3 \text{ m} / 1,55 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 =$	$1,31 \text{ kN/m}^2$
Izolacija	$0,015 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m} / 1,55 \text{ m} \cdot 16 \text{ kN/m}^3 =$	$0,20 \text{ kN/m}^2$
Inštalacije in polnilo	$0,18 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m} / 1,55 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 =$	$2,55 \text{ kN/m}^2$
Liti asfalt	$0,025 \text{ m} \cdot 1,3 \text{ m} / 1,55 \text{ m} \cdot 22 \text{ kN/m}^3 =$	$0,46 \text{ kN/m}^2$ <u><math>= 10,77 \text{ kN/m}^2</math></u>
Robni venec	$0,25 \text{ m} \cdot 0,40 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	$2,50 \text{ kN/m}^1$
Ograja		$0,20 \text{ kN/m}^1$ <u><math>= 2,70 \text{ kN/m}^1</math></u>



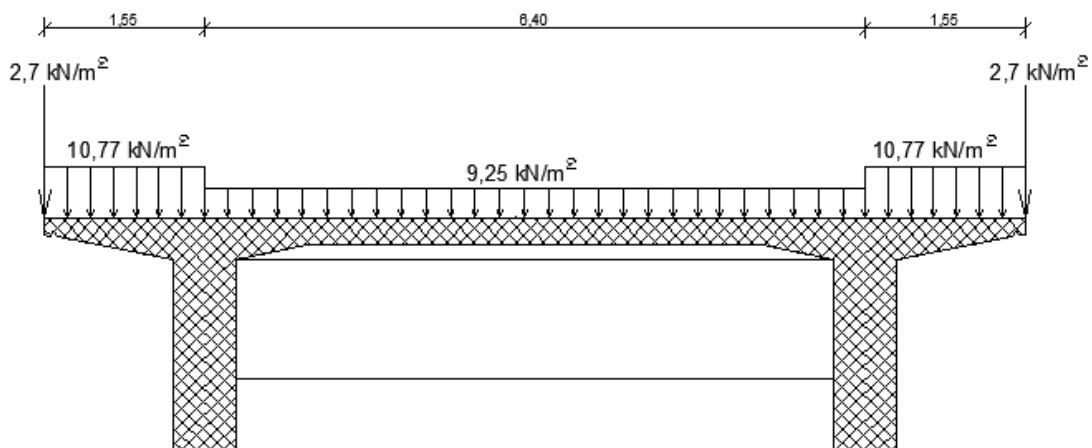
Slika 4: Prečni prerez in sestava konzole

### 3.1.2 Plošča med nosilcema

Plošča	$0,25 \text{ m} \cdot 25 \text{ kN/m}^3 =$	$6,25 \text{ kN/m}^2$
Estrih in izravnalni beton	$(0,015 \text{ m} + 0,05 \text{ m}) \cdot 24 \text{ kN/m}^3 =$	$1,56 \text{ kN/m}^2$
Izolacija	$0,015 \cdot 16 \text{ kN/m}^3 =$	$0,24 \text{ kN/m}^2$
Asfaltni beton	$0,05 \text{ m} \cdot 24 \text{ kN/m}^3 =$	$\frac{1,2 \text{ kN/m}^2}{= 9,25 \text{ kN/m}^2}$



Slika 5: Prečni prerez in sestava plošče med nosilcema



Slika 6: Shema lastne in stalne obtežbe na prečnem prerezu

### 3.2 Prometna obtežba

Širina cestišča  $w$  meri 7 m. Cestišče po zahtevi iz Evrokoda 1, 2. dela razdelimo na namišljena pasova. Širina obeh pasov znaša 3 m in ostanek 1 m. Pas, ki povzroča najbolj neugoden vpliv oštevilčimo s št. 1, naslednji najbolj neugoden pa s št. 2.

Preglednica 1: Razdelitev cestišča na namišljene pasove

$6 \text{ m} \leq w$	$n_1 = \text{Int}(w/3)$	3 m	$w - 3 n_1$
----------------------	-------------------------	-----	-------------

Pri prometni obtežbi upoštevamo skupini obtežb gr1a in gr2 iz sistema LM1. Skupina obtežb gr1a je sestavljena iz karakteristične navpične obtežbe vozišča in kombinacijske vrednosti obtežbe hodnikov. Skupina obtežb gr2 je sestavljena iz pogoste vrednosti navpične obtežbe in horizontalne obtežbe. Navpično obtežbo voziščnih pasov sestavljajo enakomerna porazdeljena obtežba UDL, ki predstavlja lahka vozila in točkovne obtežbe TS, ki predstavljajo težka vozila.

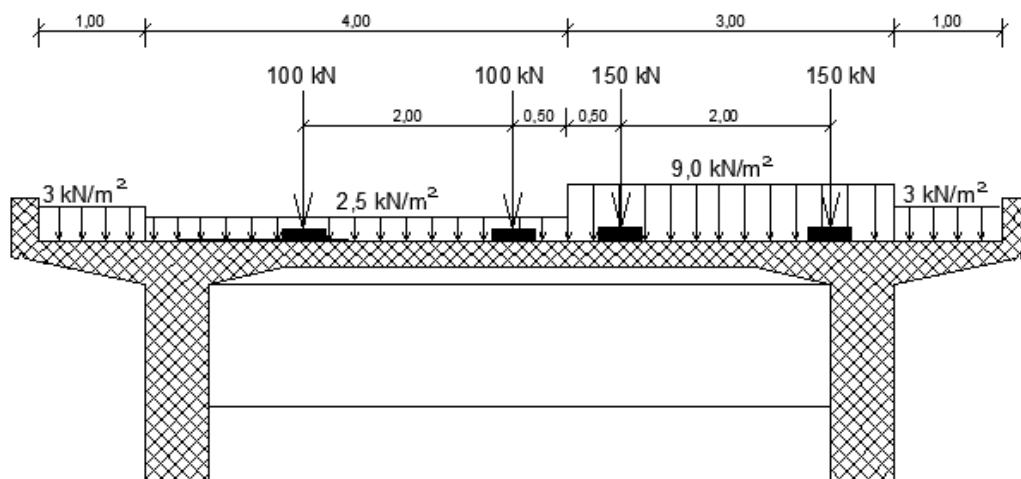
Preglednica 2: Karakteristične vrednosti navpične prometne obtežbe

Pas	TS	UDL
	Točkovna obremenitev kolesa $Q_{ik}$ [kN]	Zvezna obremenitev $q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	150	9
2	100	2,5
Preostali del	/	2,5
Hodnik	/	3

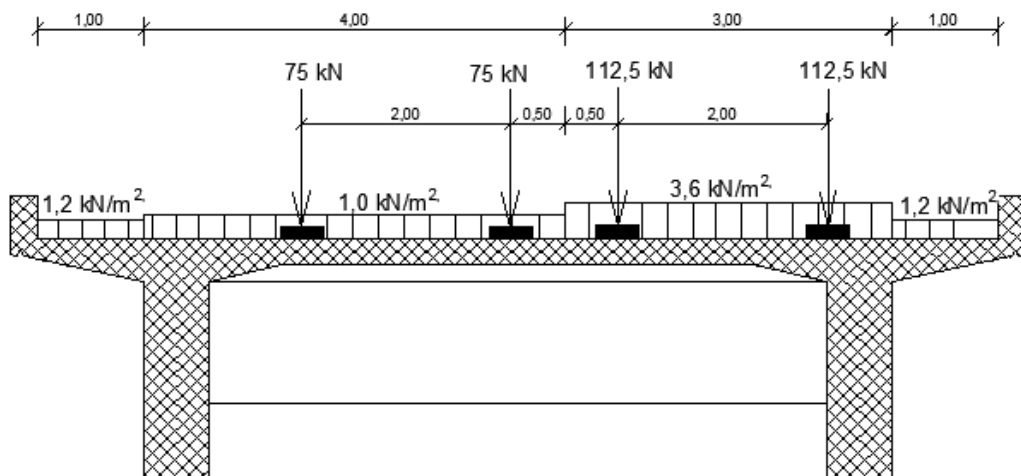
Preglednica 3: Pogoste vrednosti navpične prometne obtežbe

Pas	TS	UDL
	Točkovna obremenitev kolesa $Q_{ik}$ [kN]	Zvezna obremenitev $q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
1	112,5	3,6
2	75	1
Preostali del	/	1
Hodnik	/	1,2

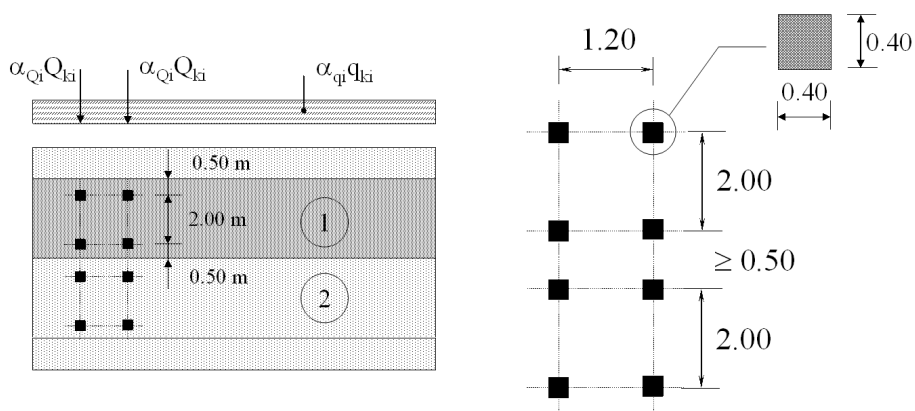
Pri analizi obtežbe v programu SAP2000, so sheme vertikalne prometne obtežbe prikazane na slikah 8 in 9, poenostavljene oz. prilagojene mreži končnih elementov.



Slika 7: Shema prometne obtežbe gr1a



Slika 8: Shema prometne obtežbe gr2



Slika 9: Shema obtežnega modela L1 v tlorisu

## Horizontalna prometna obtežba - Zavorne sile in sile pospeševanja

Zavorne sile in sile pospeševanja so sestavni del obtežbe gr2.

Ta obtežba je na 3D modelu podana kot točkovna horizontalna sila in zvezna porazdeljena obtežba, ki deluje na površino vozišnega pasu.

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot (2 \cdot Q_{lk}) + 0,1 \cdot q_{ql} \cdot \omega_l \cdot L$$

Na voziščni pas 3D modela je podana obtežba:

$$Q_{lk} = 0,6 \cdot (4 \cdot 150 \text{ kN}) = 360 \text{ kN}$$

$$q_{lk} = 0,1 \cdot 9 \text{ kN/m}^2 = 0,9 \text{ kN/m}^2$$

### 3.3 Temperaturni vpliv

#### Enakomerna sprememba temperature

Most se nahaja v okolici Maribora. Podatki o ocenjeni najvišji in najnižji temperaturi ozračja v senci za Maribor:

$$T_{min} = -23,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{max} = 38,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Predpostavljena temperatura po zaključku gradnje:

$$T_0 = 10 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Na osnovi najvišje in najnižje temperature zraka v senci določim najvišjo oz. najnižjo pripadajočo efektivno temperaturo konstrukcije. Upoštevam 3. tip konstrukcije, to so betonske voziščne konstrukcije.

$$T_{e,max} = T_{max} + 2 \text{ }^{\circ}\text{C} = 40,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$T_{e,min} = T_{min} + 8 \text{ }^{\circ}\text{C} = -15,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Pripadajoči enkomerni spremembi temperature konstrukcije:

$$\Delta T_{N,EXP} = T_{e,max} - T_0 = 40,7 \text{ }^{\circ}\text{C} - 10 \text{ }^{\circ}\text{C} = 30,7 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{raztezanje})$$

$$\Delta T_{N,CON} = T_0 - (-T_{e,min}) = 10 \text{ }^{\circ}\text{C} - (-15,1 \text{ }^{\circ}\text{C}) = -25,1 \text{ }^{\circ}\text{C} \quad (\text{krčenje})$$



### Neenakomerna sprememba temperature

Debelina obloge znaša 130 mm. Konstrukcija spada v 3. tip konstrukcij - betonske voziščne konstrukcije (škatlasti prerezi, nosilci, plošče).

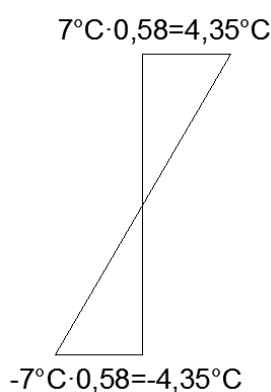
$$k_{sur} = 0,7 \text{ (100 mm)}$$

$$k_{sur} = 0,5 \text{ (150 mm)}$$

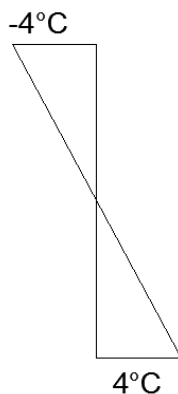
Po interpolaciji dobim  $k_{sur} = 0,58$

$$\Delta T_{M,HEAT} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \cdot k_{sur} = 15 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 0,58 = 8,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_{M,COOL} = -8 \text{ }^\circ\text{C} \cdot k_{sur} = -8 \text{ }^\circ\text{C} \cdot 1 = -8 \text{ }^\circ\text{C}$$



Slika 10: Neenakomerna temperaturna sprememba - zgoraj topleje



Slika 11: Neenakomerna temperaturna sprememba - spodaj topleje

Kombinaciji za sočasen vpliv enakomerne in neenakomerne spremembe temperature:

$$\Delta T_{M,HEAT} \text{ (ali } \Delta T_{M,COOL} \text{ )} + 0,35 T_{N,EXP} \text{ (ali } T_{N,CON} \text{)}$$

ali

$$0,75 \Delta T_{M,HEAT} \text{ (ali } \Delta T_{M,COOL} \text{ )} + T_{N,EXP} \text{ (ali } T_{N,CON} \text{)}$$

## 4 KOMBINACIJE

### 5.1 Mejno stanje nosilnosti

Kombinacija 1: Prevladujoča prometna obtežba gr1a

$$1,35 (1,0) G + 1,35 (TS + UDL + \text{obtežba hodnika}) + 1,5 \cdot 0,6 T$$

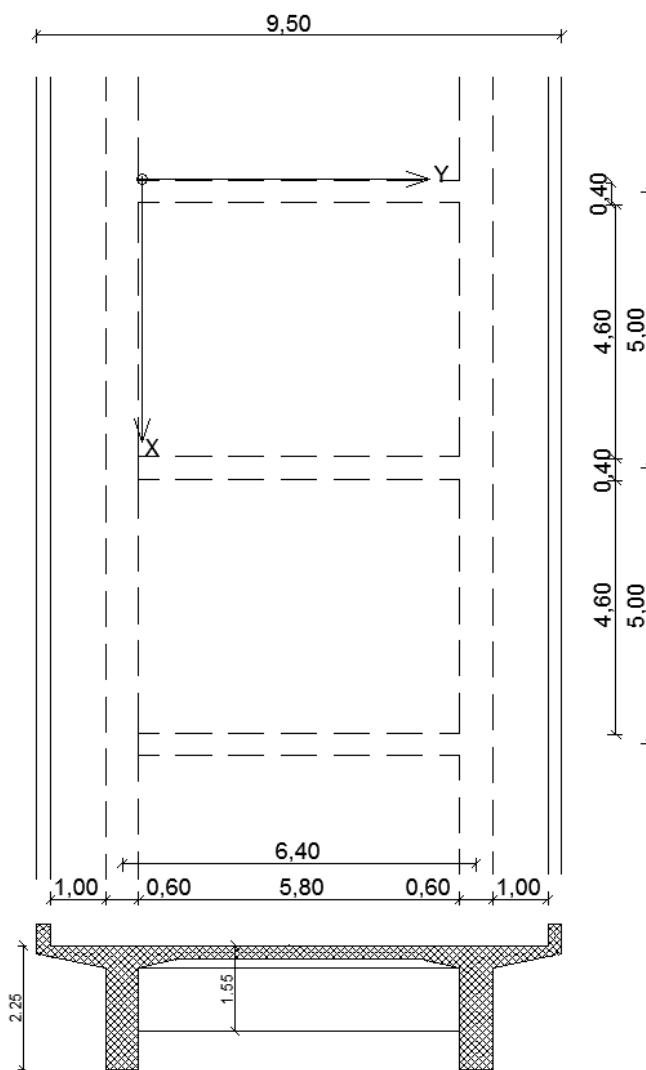
Kombinacija 2: Prevladujoča prometna obtežba gr2

$$1,35 (1,0) G + 1,35 (0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 \text{ obtežba hodnika} + \text{zavorne sile}) + 1,5 \cdot 0,6 T$$

Kombinacija 3: Prevladujoča temperatura

$$1,35 (1,0) G + 1,35 (0,75 TS + 0,4 UDL + 0,4 \text{ obtežba hodnika}) + 1,5 T$$

## 5 ANALIZA PREKLADNE KONSTRUKCIJE

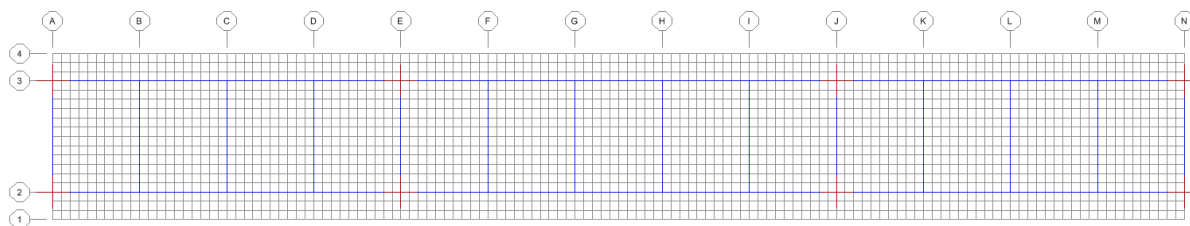


Slika 12: Prerez in tloris z označenimi dimenzijami plošče

### 5.1 Računalniški model

Analizo v računalniškem programu SAP2000 smo izvedli z več različnimi modeli. Predstavili bomo osnovni 3D model in dodatna 3D modela konstrukcije ter model samostojnega nosilca. Model 1 in model 2 sta v splošnem izdelana bolj detajlno, imata spuščene grede in predstavljene podpore na spodnjo ravnino nosilcev. Razlika med modeli je v medsebojni legi plošče in nosilca. Poleg prostorskih modelov, je predstavljen tudi linisjki model vzdolžnih nosilcev konstrukcije. Analiza plošče je izvedena tudi s tabelami za račun notranjih sil. Na koncu poglavja je predstavljena primerjava rezultatov. Osnovna geometrija mostu je bila prikazana v 2. poglavju, geometrija plošče pa je razvidna na sliki 12.

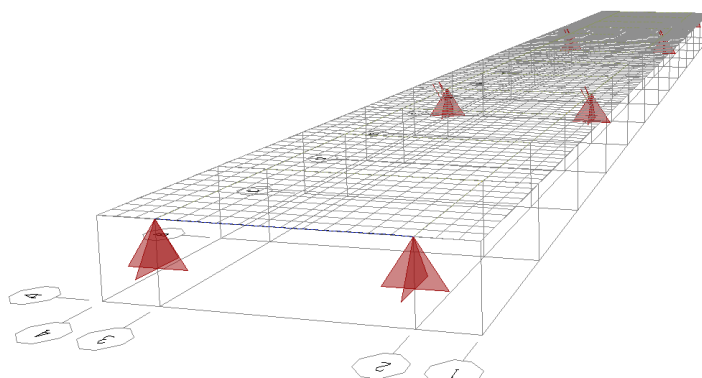
### 5.1.1 Osnovni 3D računalniški model



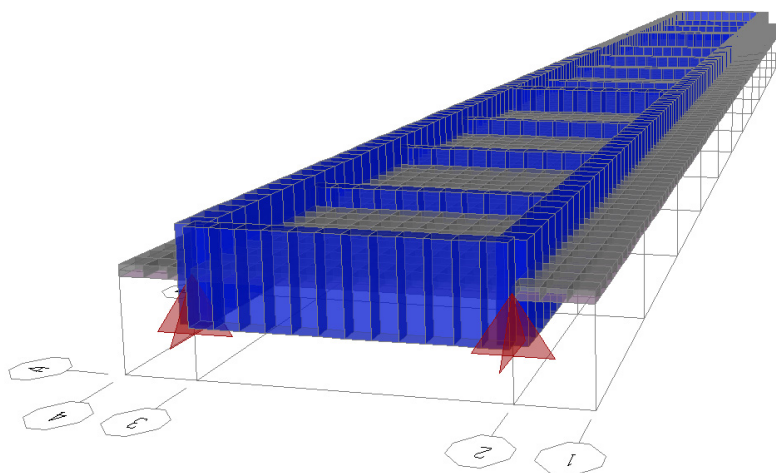
Slika 13: Osnovni računalniški model mostu, pogled v tlorisu iz SAP2000

Računalniški 3D modeli v programu SAP2000 imajo ploščo debeline 25 cm, ki je modelirana s pravokotnimi končnimi elementi dimenzij 50/53 cm. Nosilce smo modelirali s standardnimi linijskimi grednimi elementi.

Osnovni model je prikazan na slikah 13, 14 in 15. Pri osnovnem modelu težišča linijskih elementov in plošče sovpadajo. V realnosti zgornji rob nosilca podpira ploščo, zato smo obravnavani model v nadaljevanju spremenili, tako da smo spodnji rob plošče in zgornji rob nosilca poravnali. Podpore so definirane v višini težišča plošče.



Slika 14: Osnovni računalniški model mostu iz v 3D-pogledu (SAP2000)

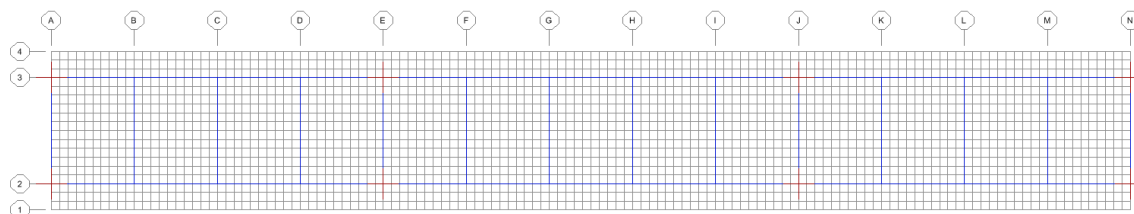


Slika 15: Osnovni računalniški model mostu v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov

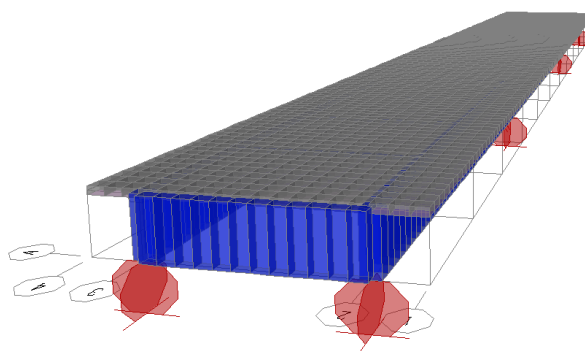
## 5.1.2 3D Računalniški model s spuščeni gredami

### 5.1.2.1 Model 1

Osnovni model smo spremenili tako, da smo grede spustili pod ploščo, z ukazom Insertion Point. V tem primeru je nosilec ekscentrično priključen na ploščo, saj imata težišče na različnih višinah. Podpore so povezane z nosilci s togimi vezmi, ki so postavljene v višini spodnjega roba nosilca.



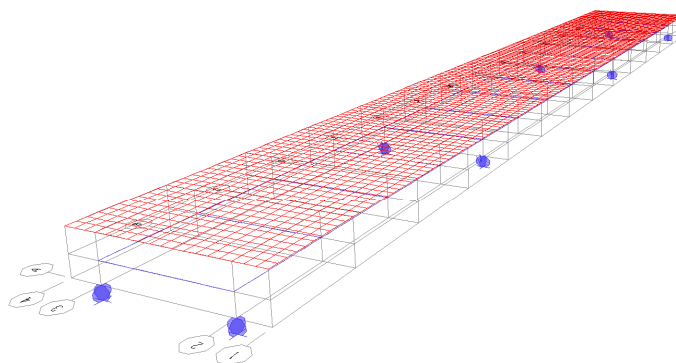
Slika 16: Model 1 v tlorisu



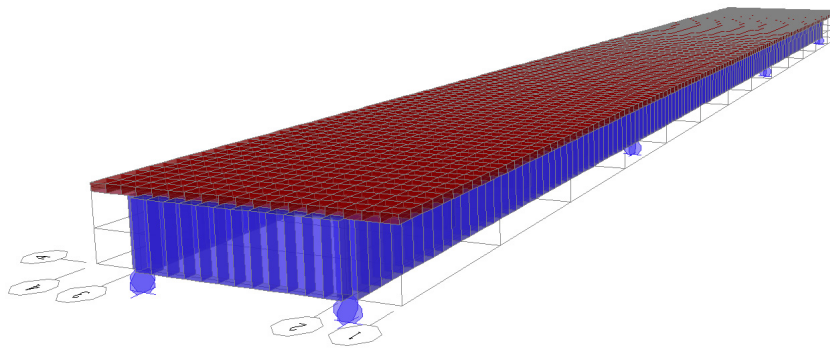
Slika 17: Model 1 v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov

### 5.1.2.2 Model 2

V Modelu 2 smo premaknili ploščo nad nosilce in sicer tako, da smo premaknili osi. Tudi v tem primeru smo upoštevali, da so nosilci ekscentrično povezani s ploščo. Pri tem modelu sta referenčna os linijskih elementov in ravnina plošče na različnih višinah, v vsakem vozlišču pa sta povezani s togimi vezmi. Tudi tukaj so podpore povezane s togimi vezmi z osjo nosilca.



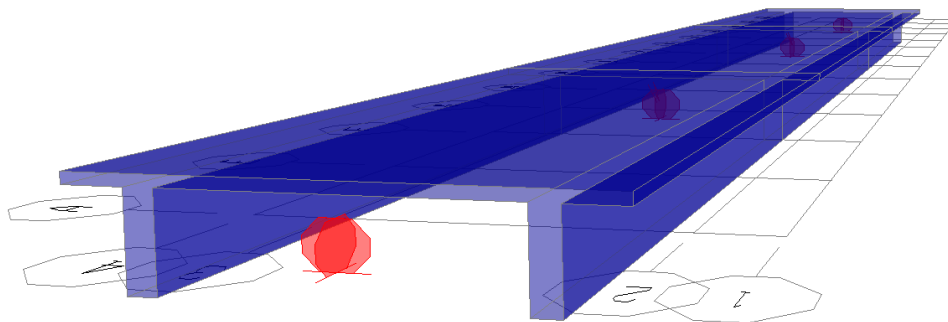
Slika 19: Model 2 v 3D-pogledu



Slika 20: Model 2 v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov

### 5.1.3 Model 3

Model 3 je v SAP-u definiran kot linijski nosilec z obliko dvjnega T prereza, brez prečnih nosilcev in plošče. Primeren je za analizo vzdolžnih nosilcev za vpliv vertikalne obtežbe.

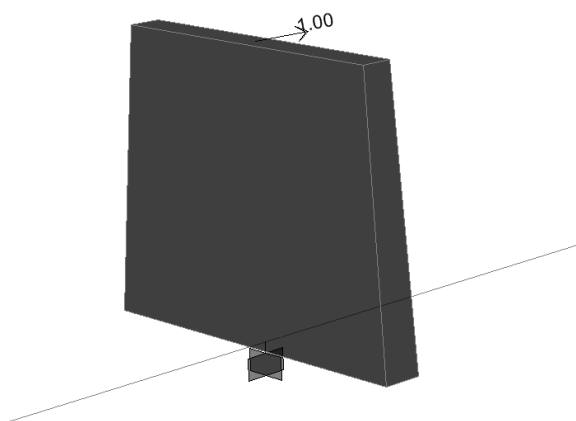


Slika 21: Model 3 v 3D-pogledu s prikazano geometrijo elementov

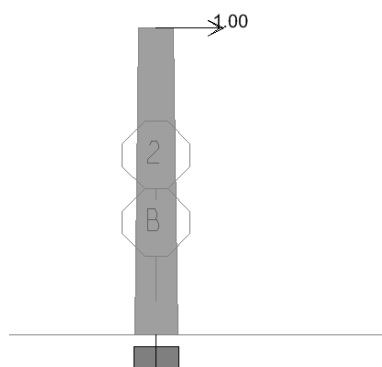
### Ležišča

Pri delovanju horizontalne prometne obtežbe in temperaturnih vplivov, je pomembna lega in zasnova ležišč. V originalnem projektu so na vmesnih stebrih in končnih podporinikih, pod vzdolžnima nosilcema izvedena armiranobetonska ležišča. Izračunali smo podajnosti in nato togosti obeh vrst podpornikov in vpliv stebrov nadomestili z elastičnimi vzmetmi.

Vmesni steber je stenaste oblike spremenljive širine in debeline, povprečne širine 8,4 m in povprečne debeline 0,9 m, višina pa je 7,1 m. V SAP-u na modeliran steber postavimo virtualno silo velikosti 1 v horizontalni smeri (sliki 20 in 21) in iz odčitanege pomika izračunamo togost.



Slika 22: Vmesni steber in virtualna sila v 3D-pogledu



Slika 23: Vmesni steber v pogledu

Joint Displacements

File View Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted

	Joint Text	OutputCase Text	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	1	sila 1	LinStatic	0	0	0	0	0	0
	2	sila 1	LinStatic	0.000006157	0	0	0	0.000001371	0
	3	sila 1	LinStatic	1.00000008324	0	0	0	0.0000002118	0
	4	sila 1	LinStatic	0.0000003134	0	0	0	0.0000004128	0
	5	sila 1	LinStatic	0.0000006822	0	0	0	0.0000006016	0
	6	sila 1	LinStatic	0.000001181	0	0	0	0.0000007766	0
	7	sila 1	LinStatic	0.000001798	0	0	0	0.0000009355	0
	8	sila 1	LinStatic	0.000002522	0	0	0	0.000001076	0
	9	sila 1	LinStatic	0.000003339	0	0	0	0.000001195	0
	10	sila 1	LinStatic	0.000004231	0	0	0	0.000001287	0
	11	sila 1	LinStatic	0.000005179	0	0	0	0.000001349	0

Record: 1 of 22

Add Tables... Done

Slika 24: Pomiki stebra zaradi virtualne sile za vsak končni element stebra

$$k = 1 / d = 1 / 5,179 \cdot 10^{-5} = 193087 \text{ kN/m}$$

$$k_{vzmeti} = k / 2 = 96544 \text{ kN/m}$$

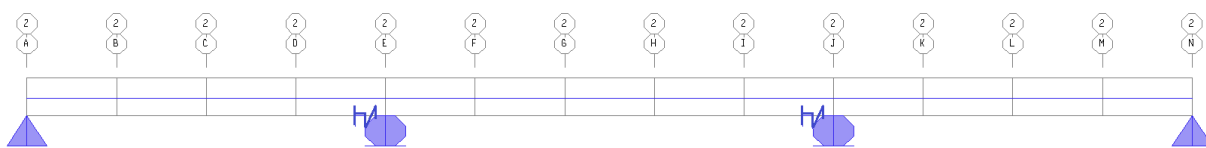
Polovica togosti stebra pripade enemu ležišču, zato lahko v računskem modelu, ležišča na stebrih nadomestimo z elastičnimi vzmetmi s togostjo 96544 kN/m.

Togost stebra lahko izračunamo "peš":

$$d = h^3 / (3 \cdot EI) + h / (G \cdot A_s)$$

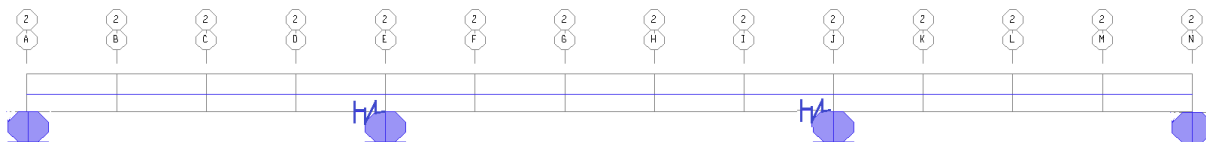
$$k = l / d$$

Za račun upoštevamo prerez na sredini stebra in vzrajnosti moment v smeri šibke osi stebra. Na enak način dobimo togost vzmeti za ležišča na krajnih podpornikih, vendar zaradi njihovih karakteristik dobimo zelo veliko togost, zato jih lahko upoštevamo kot toge nepomične podpore. Izkaže se da rečna opornika lahko nadomestimo z elastično vzmetjo, krajna podpornika pa s togo nepomično podporo. Vendar tako podpiranje prekladne konstrukcije pri delovanju temperaturnih vplivov in druge horizontalne obtežbe povzroča velike osne napetosti v prekladi. Primer je razviden na sliki 25.



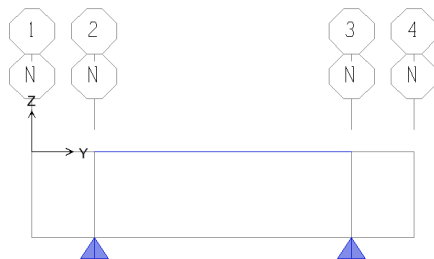
Slika 25: Originalna zasnova ležišč v vzdolžni smeri

Primernejša zasnova bi bila, da prekladni konstrukciji omogočimo prost relativni pomik v horizontalni smeri na krajnih podporah. Posledično na krajnih podpornikih postavimo drsne podpore, kar je vidno na sliki 26. Primerjava zasnove ležišč bo prikazana v naslednjih poglavjih.



Slika 26: Spremenjena zasnova ležišč v vzdolžni smeri

V prečni smeri mostu so v originalnem projektu ležišča nad vsemi podporami nepomična. Ležišča v prečni smeri pustimo nespremenjena.



Slika 27: Zasnova ležišč v prečni smeri



## 5.2 Račun in analiza

### 5.2.1 Plošča

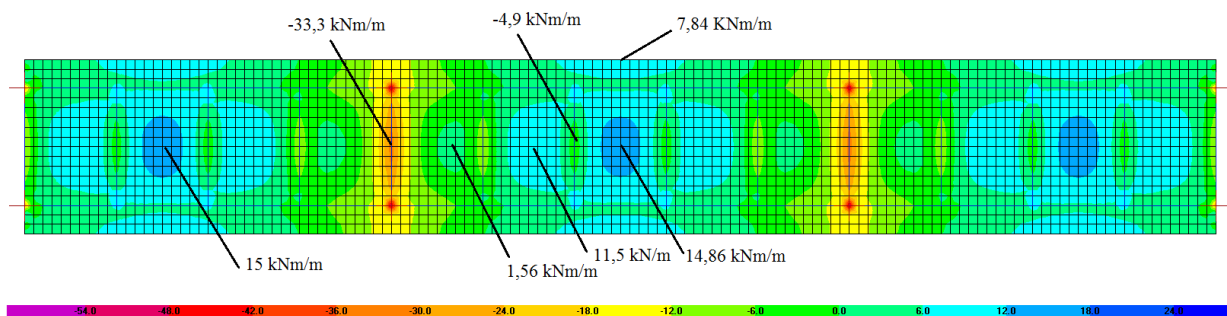
#### 5.2.1.1 Račun z programom SAP 2000

##### Lastna teža

Lastna in stalna teža ploskovnih elementov je definirana kot enakomerna porazdeljena obtežba. Lastna in stalna obtežba plošči med nosilcema je manjša kot na konzolni plošči. Lastna teža nosilcev in prečnikov je podana kot zvezna linijska obtežba.

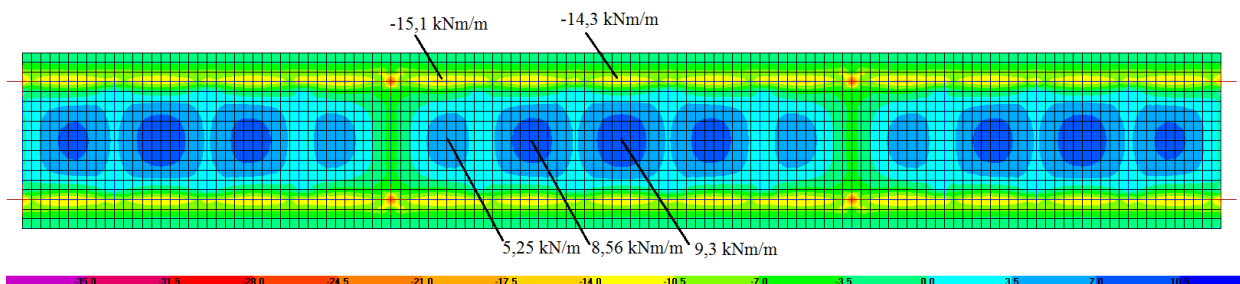
##### Osnovni model

Upogibni momenti  $M_x$ :



Slika 30: Upogibni momenti  $M_x$  na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.

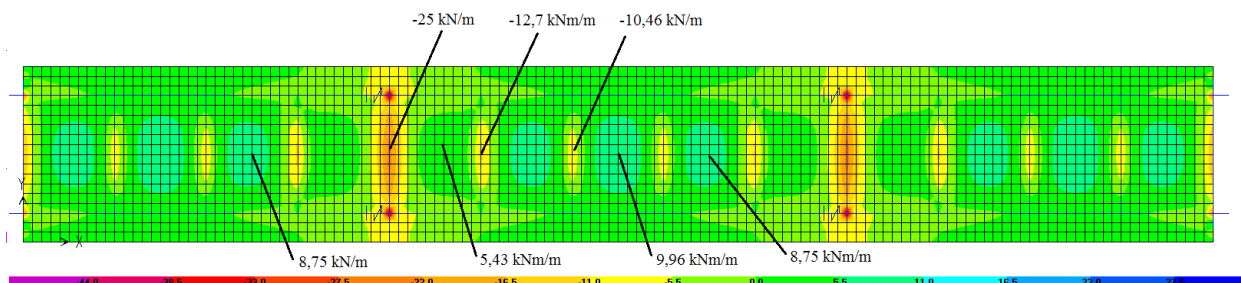
Upogibni momenti  $M_y$ :



Slika 31: Upogibni momenti  $M_y$  na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.

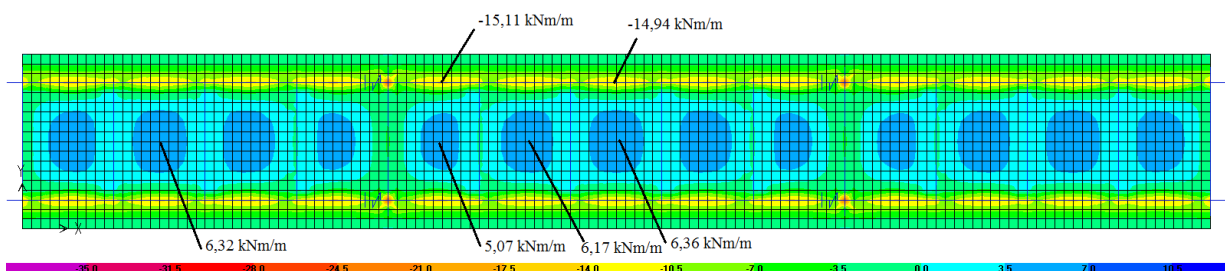
## Model 1

Upogibni momenti  $M_x$ :



Slika 32: Upogibni momenti  $M_x$  na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.

Upogibni momenti  $M_y$ :



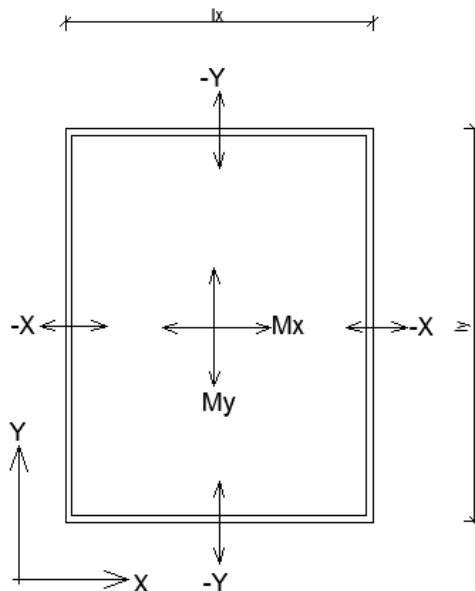
Slika 33: Upogibni momenti  $M_y$  na plošči pri modelu 1 zaradi vpliva lastne in stalne teže.

### 5.2.1.2 Analiza s tabelami

Momente zaradi lastne teže v plošči smo izračunali tudi s tabelami (Hahnove tabele, itd.). Način podpiranja plošče in razmerje dolžin strani plošče, omogoča raznos obtežbe plošče v dveh smereh. Plošča je toga vpeta v glavne nosilce. V vzdolžni smeri mostu, kjer je plošča vpeta v prečne nosilce, ni povsem jasno kakšni so robni pogoji. Zaradi manjše togosti prečnikov od vzdolžnih nosilcev, lahko sklepamo da so ti robovi manj vpeti. V realnosti se odstotek vpetosti plošče na prečne nosilce spreminja glede na oddaljenost od podpor, kot smo videli pri analizi plošč s programom SAP2000. Upogibni momenti so na manj vpetem robu, zaradi prometne obtežbe lahko večji, saj je stopnja vpetosti odvisna tudi od vrste obtežbe.

## Račun momentov v plošči zaradi lastne in stalne teže

Polje plošče vpeto v vzdolžne in prečne nosilce:



Slika 35: Plošča vpeta na vseh robovih

$$\text{Razmerje stranic: } \varepsilon = \frac{l_y}{l_x} = \frac{6,4}{5,0} = 1,28$$

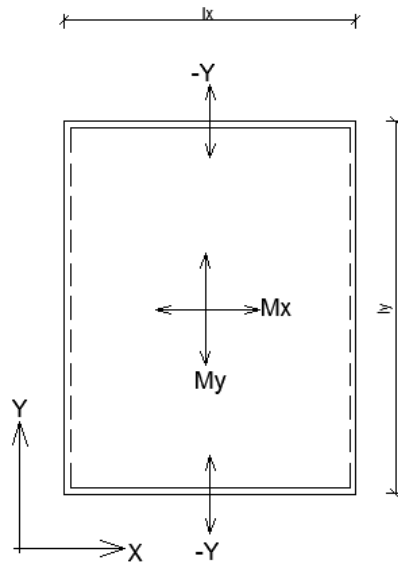
$$M_x = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,024 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = 7,1 \text{ kNm/m}$$

$$M_y = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,0154 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = 4,56 \text{ kNm/m}$$

$$-X = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,053 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = -15,69 \text{ kNm/m}$$

$$-Y = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,0446 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = -13,2 \text{ kNm/m}$$

Polje plošče vpeto v vzdolžne nosilce:



Slika 36: Plošča vpeta na krajših robovih

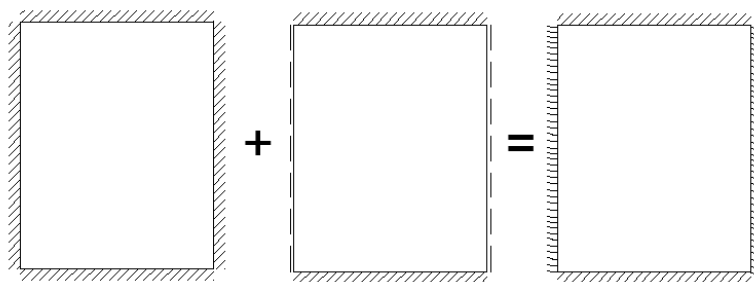
Razmerje stranic:  $\varepsilon = \frac{l_y}{l_x} = \frac{6,4}{5,0} = 1,28$

$$M_x = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,0312 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = 9,24 \text{ kNm/m}$$

$$M_y = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,0302 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = 8,94 \text{ kNm/m}$$

$$-Y = 9,25 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,0722 \cdot 5\text{m} \cdot 6,4\text{m} = -21,37 \text{ kNm/m}$$

Zasnova plošče pri kateri sta daljša robova elastično vpeta, krajša pa togo vpeta:



Slika 37: Kombinacija dveh plošč, ki sta različno podprti

$$M_x = \frac{M_x + M_x}{2} = \frac{7,1 + 9,24}{2} = 8,17 \text{ kNm/m}$$

$$M_y = \frac{M_y + M_y}{2} = \frac{4,56 + 8,94}{2} = 6,75 \text{ kNm/m}$$

$$-X = -15,69 \text{ kNm/m}$$

$$-Y = -13,2 \text{ kNm/m}$$

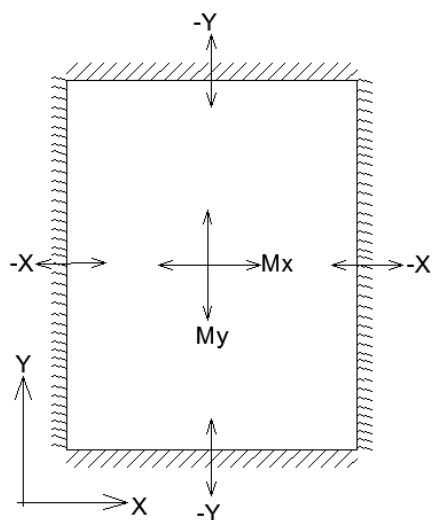
Preglednici momentov za ploščo, kjer sta daljša robova elastično vpeta, krajša pa togo vpeta (sl.37 in 38):

*Preglednica 4: Pozitivni upogibni momenti za zasnovo plošče na slikah 37 in 38*

Pozitivni upogibni momenti (kNm)		
Czerny	8,02	$M_x$
	5,28	$M_y$
Marcus	7,93	$M_x$
	5,09	$M_y$
Šolske tabele	8,17	$M_x$
	6,75	$M_y$

*Preglednica 5: Negativni upogibni momenti za zasnovo plošče na sliki 37 in 38*

Negativni upogibni momenti (kNm)		
Czerny	-15,78	$-X$
	-13,09	$-Y$
Marcus	-17,94	$-X$
	-20,44	$-Y$
Šolske tabele	-15,7	$-X$
	-13,2	$-Y$



*Slika 38: Plošča, ki je elastično vpeta ob daljših robovih*

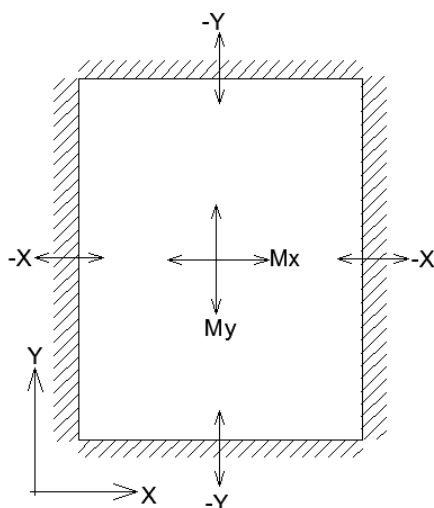
Preglednici momentov za ploščo vpeto na vseh straneh (sl. 39):

Preglednica 6: Pozitivni upogibni momenti za zasnovo plošče na sliki 37

Pozitivni upogibni momenti (kNm)		
Czerny	7,54	$M_x$
	3,73	$M_y$
Marcus	7,13	$M_x$
	4,36	$M_y$
Šolske tabele	7,1	$M_x$
	4,56	$M_y$

Preglednica 7: Negativni upogibni momenti za zasnovo plošče na sliki 37

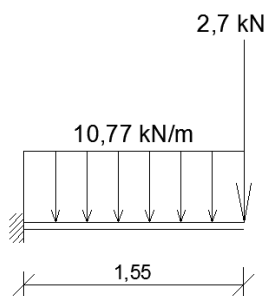
Negativni upogibni momenti (kNm)		
Czerny	-18,3	$-X$
	-15,2	$-Y$
Marcus	-16,3	$-X$
	-11,2	$-Y$
Šolske tabele	-15,7	$-X$
	-13,2	$-Y$



Slika 39: Plošča, ki je na vseh robovih vpeta

## Izravnava upogibnih momentov v plošči

Momente v poljih plošče v vzdolžni smeri ni potrebno izravnati, ker so polja enako dolga. V prečni smeri, imamo ploščo med nosilcema, ki se poveže s previsoma. Momenta na stiku previsa in srednjega polja plošče sta različna (sl. 41). Moment na previsnem delu je nekoliko večji, vendar razlika ni tako velika. Zato izravnave momenta ne naredimo in upoštevamo vrednost na konzoli.



Slika 40: Konzolna plošča

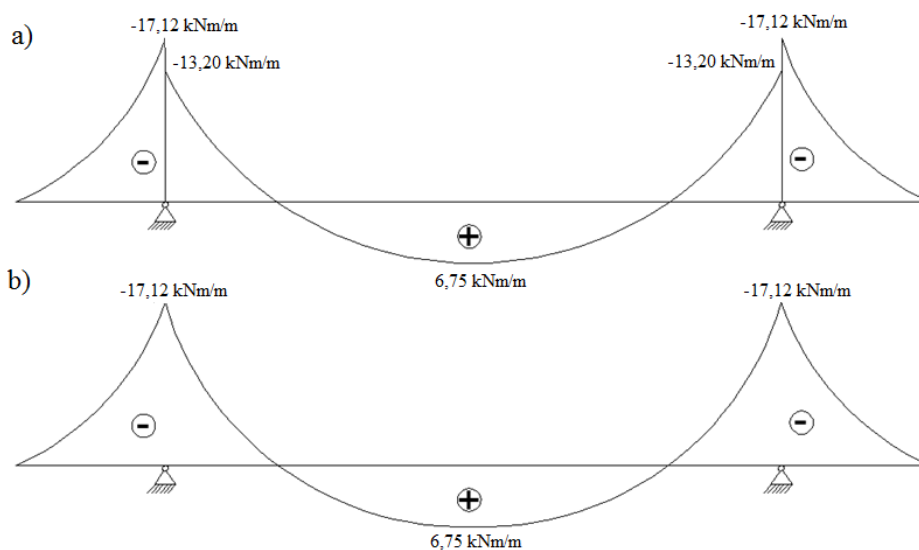
Moment na konzoli, kjer je upoštevana tudi linijska obtežba zaradi robnega venca:

$$M_{Ed,konzola} = -10,77 \text{ kN/m} \cdot (1,55 \text{ m})^2 / 2 - 2,7 \text{ kN} \cdot 1,55 \text{ m} = \underline{-17,12 \text{ kNm}}$$

$$M_{Ed,konzola} = -17,12 \text{ kNm/m} > -Y = -13,2 \text{ kNm/m}$$

Upogibni moment  $-Y = -13,2 \text{ kNm/m}$  pripada robu polno vpete plošče (slika 35), ker je plošča polno vpeta v vzdolžni nosilec. V nadaljevanju za ta rob upoštevamo vrednost upogibnega momenta  $M_{Ed,konzola} = -17,12 \text{ kNm/m}$ .

Prerez mostu v prečni smeri, kjer gre za prostoležeči nosilec s previsoma:



Slika 41: Upogibni momenti plošče v prečni smeri mostu

### 5.2.1.3 Plošča - Primerjava rezultatov računskih modelov in obeh računskih postopkov

Primerjava upogibnih momentov v plošči je izvedena samo za primer lastne in stalne obtežbe. Primerjani so rezultati treh modelov v programu SAP in računov v tabelah. Iz opazovanja lahko sklepamo, da se vpetost plošče v prečne nosilce spreminja vzdolž mostu. Odstotek vpetosti se spreminja glede na vrsto prečnika in oddaljenost plošče od stebrov. Plošča je polno vpeta v prečni smeri mostu v glavne nosilce. Pri "peš" analizi bi lahko upoštevali, da je plošča togo vpeta v vzdolžne nosilce in elastično vpeta v prečnike, ob vmesnih stebrih pa je polno vpeta. Pri dimenzioniranju z rezultati iz tabel bi upoštevali malo večje upogibne momente, tako da bi bili na varni strani.

Primerjava upogibnih momentov (kNm/m) za ploščo na sredini dolžine mostu:

Preglednica 8: Preglednica upogibnih momentov za polje na sredini razpona

	Račun s tabelami	SAP 2000		
	Plošča elastično podprta v prečnike	Osnovni model	Model 1	Model 2
$M_x$	8,17	14,86	9,96	9,97
$M_y$	6,75	9,1	6,36	5,95
$-X$	-15,69	-4,96	-10,47	-10,73
$-Y$	-17,12	-14,27	-14,94	-14,87

Primerjava upogibnih momentov (kNm/m) za polje ob podpori:

Preglednica 9: Preglednica upogibnih momentov za polje ob stebri

	Račun s tabelami	SAP 2000		
	Polno vpeta plošča	Osnovni model	Model 1	Model 2
$M_x$	7,1	1,48	5,43	5,45
$M_y$	4,56	5,1	5,07	4,9
$-X$	-15,69	-11,47/-33,3	-12,74 / -25,04	-13,21 / -24,81
$-Y$	-17,12	-15,1	-15,12	-15,15

Pri osnovnem modelu opazimo odstopanje rezultatov, plošča je v vzdolžni smeri mostu bolj podajna. Upogibni momenti na plošči so pri osnovnem modelu precej drugačni, saj ima lastna teža nosilcev velik vpliv na rezultat.

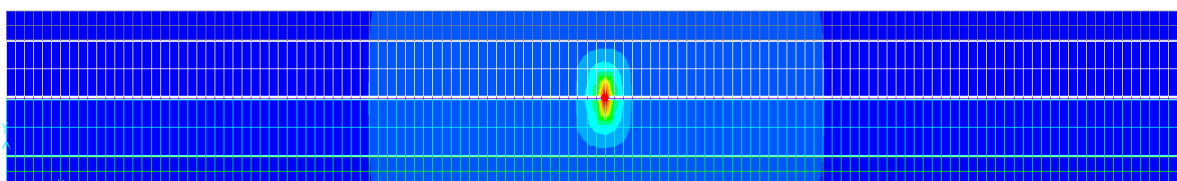
Modela s spuščeno gredo (modela 1 in 2) nam pokazeta drugačno obnašanje kot osnovni model. Upogibni momenti so v tem primeru primerljivi z rezultati računov v tabelah. Za dimenzioniranje plošče uporabimo rezultate iz modela, ki ima spuščene grede.



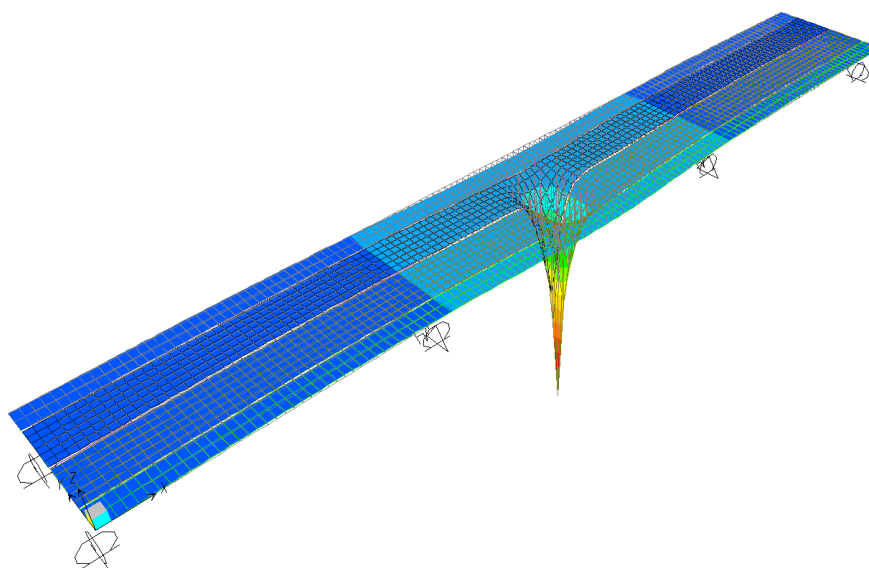
## Vertikalna prometna obtežba

Pri postavljanju navpične prometne obtežbe, moramo poznati najbolj neugoden položaj obtežbe, da bi dobili največje vplive v določenem končnem elementu plošče. V SAP-u definiramo os premikanja za obe vozili, da lahko dobimo vplivnice za določeno statično količino. Vplivnice so v tem primeru matematična funkcija dveh spremenljivk, ki jo vidimo tudi v 3D-pogledu.

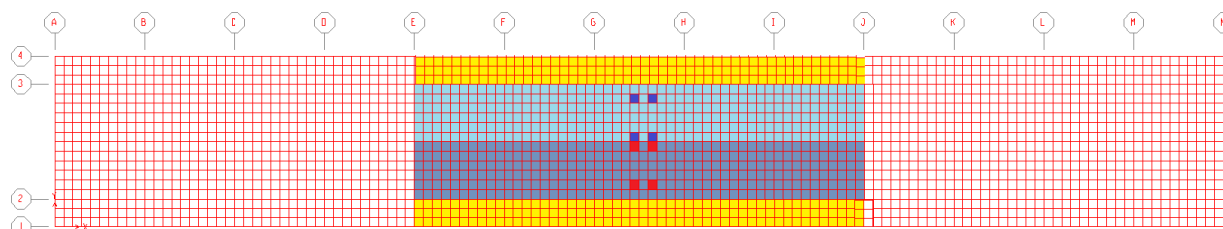
Vplivnica za  $M_y$  v polju na sredini drugega razpona in pripadajoča postavitev promente obtežbe:



Slika 42: Vplivnica za upogibni moment  $M_y$  na sredini plošče (pogled v tlorisu)

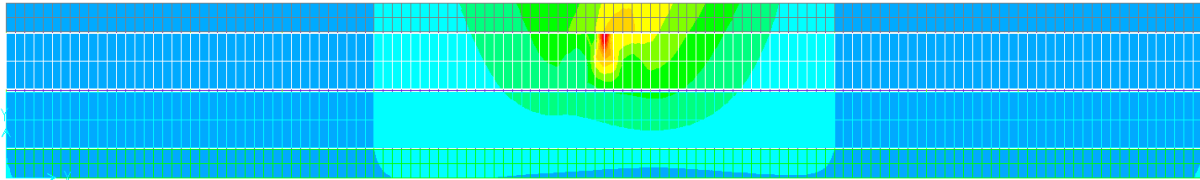


Slika 43: Vplivnica za upogibni moment  $M_y$  na sredini plošče (3D-pogled)

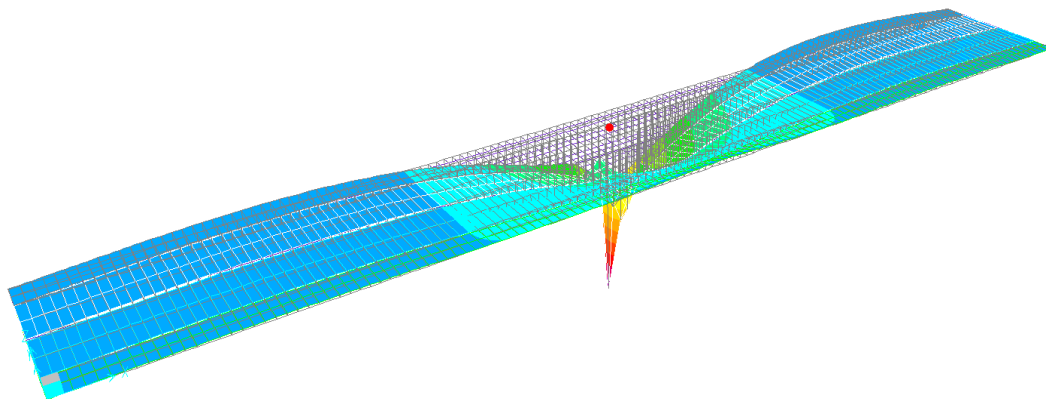


Slika 44: Pripadajoča postavitev obtežbe

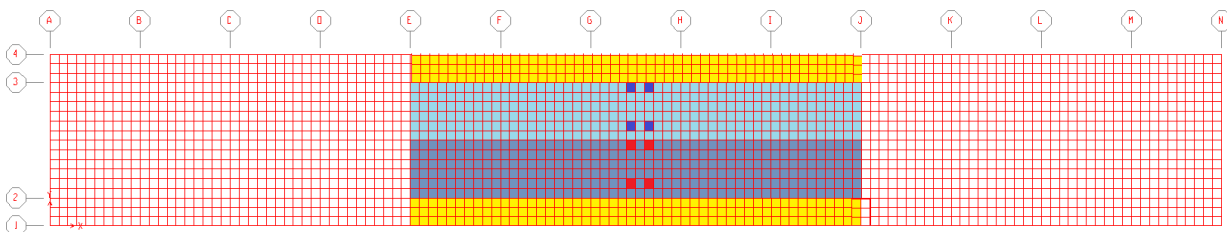
Vplivnica za  $M_y$  ob vzdolžnem nosilcu na sredini drugega razpona in pripadajoča postavitev prometne obtežbe:



Slika 45: Vplivnica za upogibni moment  $M_y$  plošče ob vzdolžnem nosilcu (tloris)



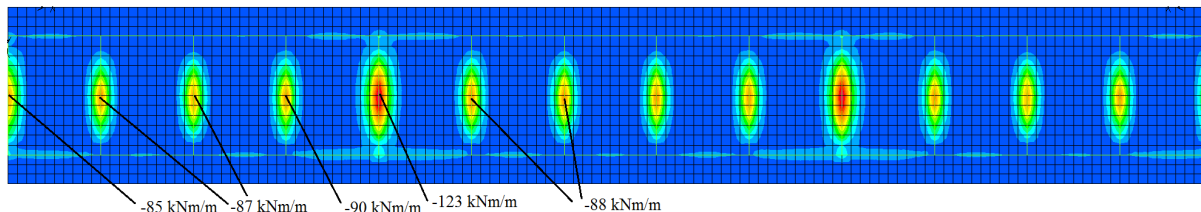
Slika 46: Vplivnica za upogibni moment  $M_y$  plošče ob vzdolžnem nosilcu (3D)



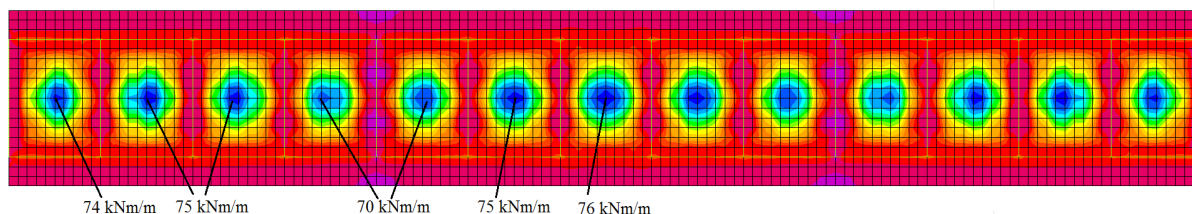
Slika 47: Pripadajoča postavitev obtežbe

Prikazane ovojnice upogibnih momentov iz Modela 1.

Ovojnici momentov  $M_x$  za obtežbo grla:

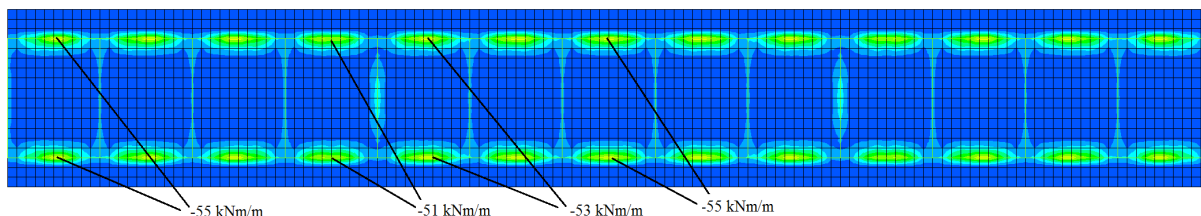


Slika 44: Negativni upogibni momenti plošče  $M_x$  zaradi prometne obtežbe grla

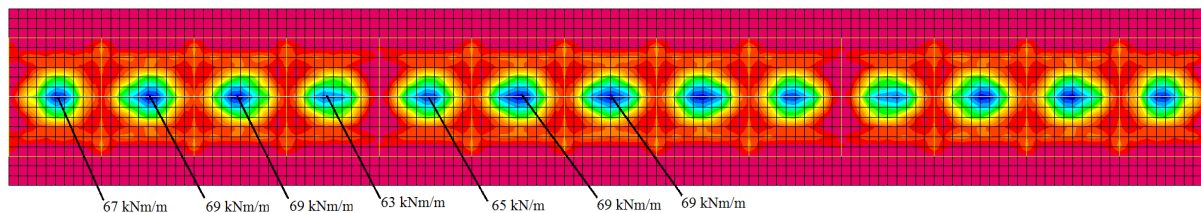


Slika 45: Pozitivni upogibni momenti plošče  $M_x$  zaradi prometne obtežbe grla

Ovojnici momentov  $M_y$  za obtežbo grla:

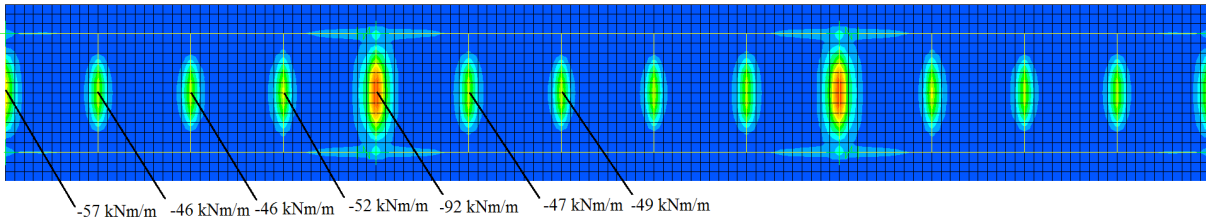


Slika 46: Negativni upogibni momenti plošče  $M_y$  zaradi prometne obtežbe grla

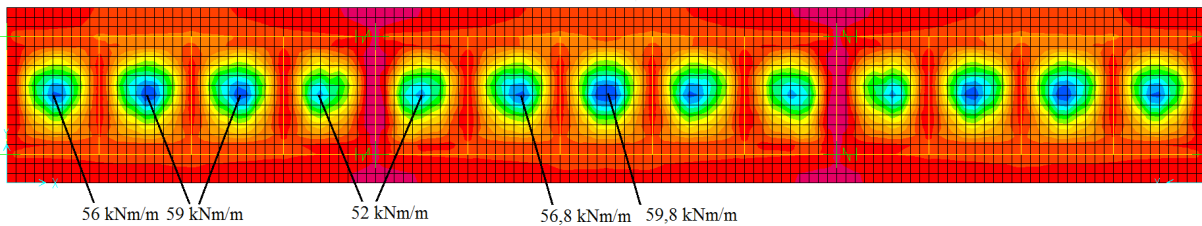


Slika 47: Pozitivni upogibni momenti plošče  $M_y$  zaradi prometne obtežbe grla

Ovojnici momentov  $M_x$  za obtežbo gr2:

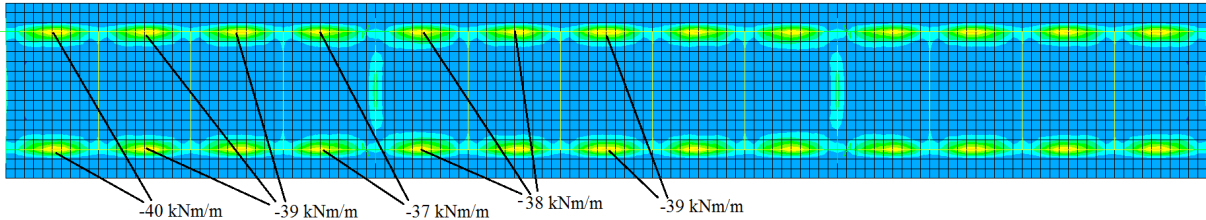


Slika 48: Negativni upogibni momenti plošče  $M_x$  zaradi prometne obtežbe gr2.

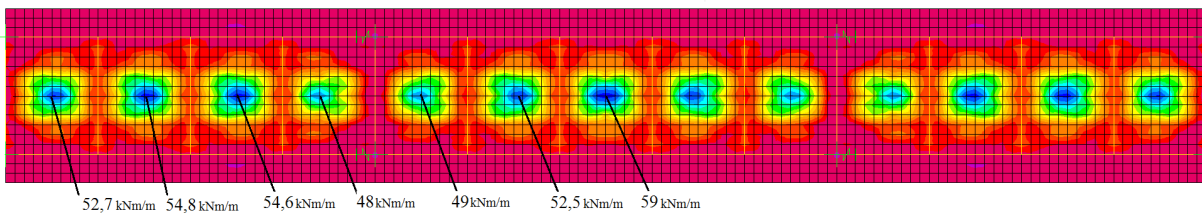


Slika 49: Pozitivni upogibni momenti plošče  $M_x$  zaradi prometne obtežbe gr2.

Ovojnica negativnih momentov  $M_y$  za obtežbo gr2:



Slika 50: Negativni upogibni momenti plošče  $M_y$  zaradi prometne obtežbe gr2.



Slika 51: Pozitivni upogibni momenti plošče  $M_y$  zaradi prometne obtežbe gr2.

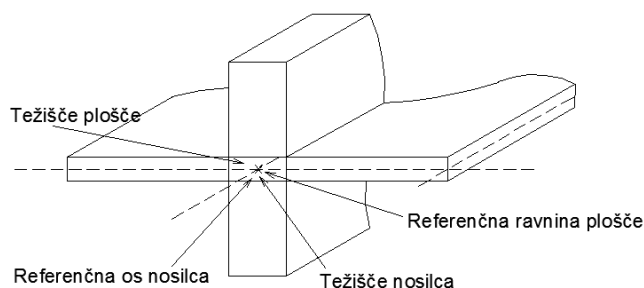
## 5.2.2 Nosilca

V tem poglavju je prikazana analiza vzdolžnih nosilcev, ki jih obravnamo kot posamezne linijske elemente, s pripadajočo sodelujočo širino plošče. Pri analizi s 3D modeli, ki imajo spuščene grede, moramo zaradi ekscentričnosti težišč elementov seštevati diagrame notranjih sil. Ti diagrami so značilne "žgaste" oblike in imajo razdeljene notranje sile elementov. Pri analizi horizontalne obtežbe, so notranje sile v nosilcu vzdolž cele preklade določene z upoštevanjem pripadajoče širine plošče.

### 5.2.2.2 Primerjava računalniških modelov

#### Osnovni model

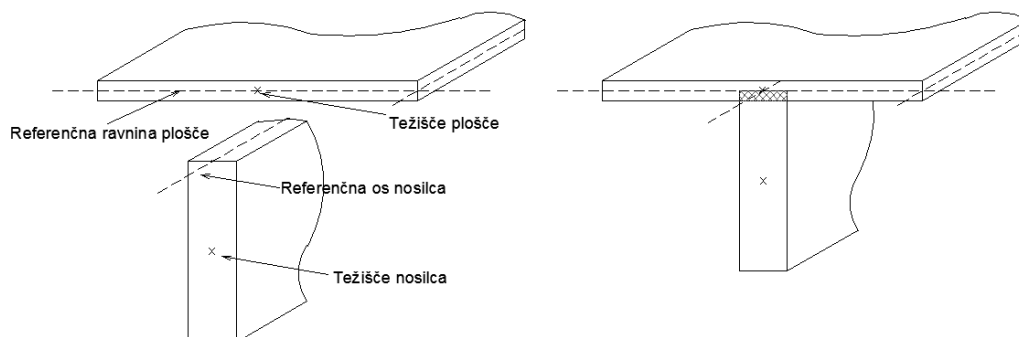
Pri osnovnem 3D modelu imamo težišče plošče in nosilca v isti točki, v tej točki se sekata tudi referenčna os nosilca in referenčna ravnina plošče.



Slika: 52 Lastnosti osnovnega modela

#### Model z spuščeniimi gredami (Model 1 in Model 2)

Pri teh računalniških modelih imata priključena elementa (plošča in nosilec) različno lego težišč, kjer pride do ekscentričnosti. Modela se razlikujeta po načinu izdelave v programu SAP2000 oz. glede na položaj referenčne osi nosilca, pri prvem je os nosilca na vrhu, pri drugem modelu pa je na sredini nosilca oz. v njegovem težišču.



Slika 53: Lastnosti modela z spuščeniimi gredami

Pri modelih z spuščeno gredo, izračunamo skupni upogibni moment prereza po enačbi:

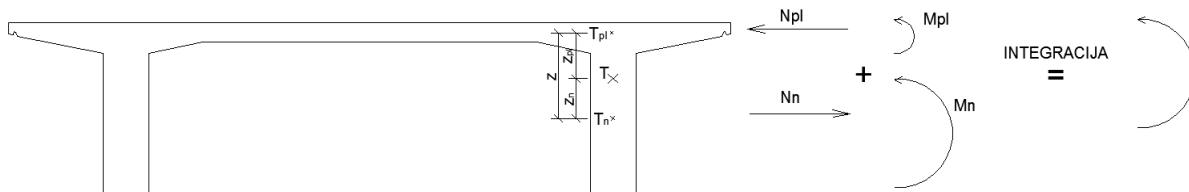
$$M = M_n + M_{pl} + N_n \cdot z_n - N_{pl} \cdot z_{pl}$$

Upoštevamo lahko ravnotežje sil:  $N_n = -N_{pl}$ , razlika pa je osna sila v prerezu

Ker velja da je ročica sil  $z = z_n + z_{pl}$ , lahko enačbo poenostavimo:

$$M = M_n + M_{pl} + N_n \cdot (z_n + z_{pl})$$

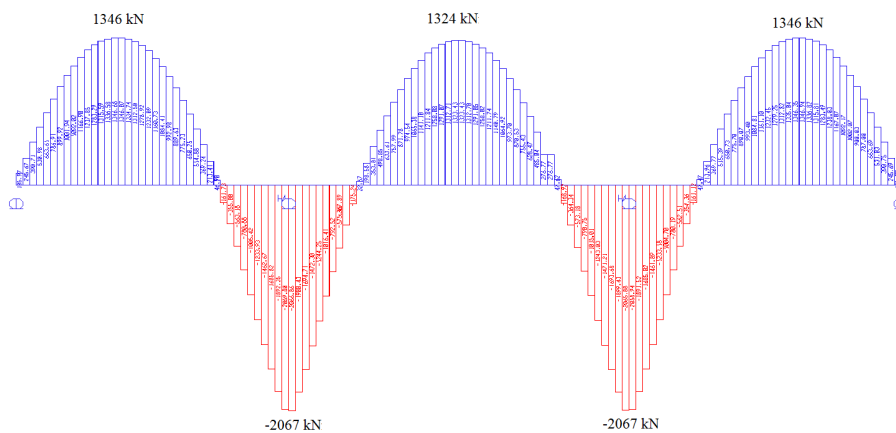
Na naslednji sliki je prikazan princip seštevanja notranjih sil:



Slika 54: Integracija notranjih sil

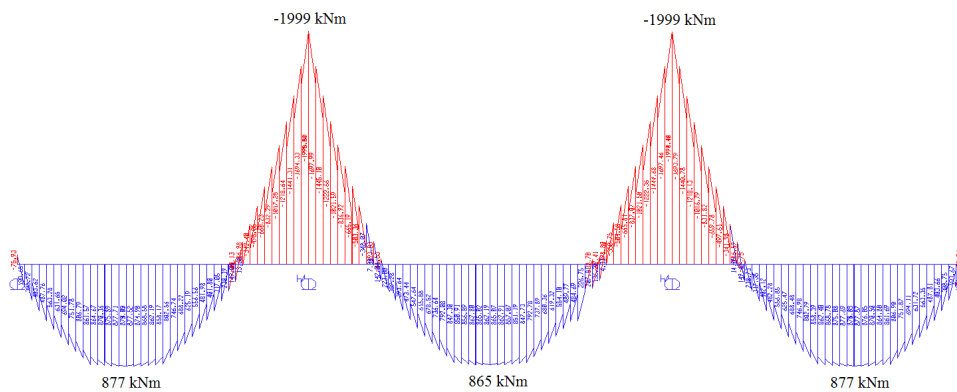
Pri analizi s 3D modeli, ki imajo spuščene grede, moramo zaradi ekscentričnosti integrirati notranje sile:

Osne sile  $N_n$  v nosilcu:



Slika 55: Diagram osnih sil v nosilcu zaradi ekscentričnosti

Upogibni momenti  $M_n$  v nosilcu:



Slika 56: Diagram upogibnih momentov  $M_n$  v nosilcu zaradi ekscentričnosti

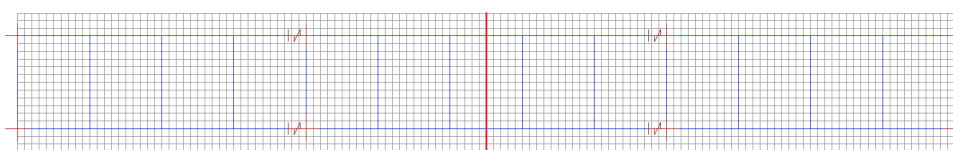
Diagrame notranjih sil (sliki 55 in 56) lahko seštejem. Naredim peš izračun za upogibni moment za nosilec na sredini mostu ( $x=32,5\text{m}$ ):

$$M = M_n + N_n \cdot z + M_{pl}$$

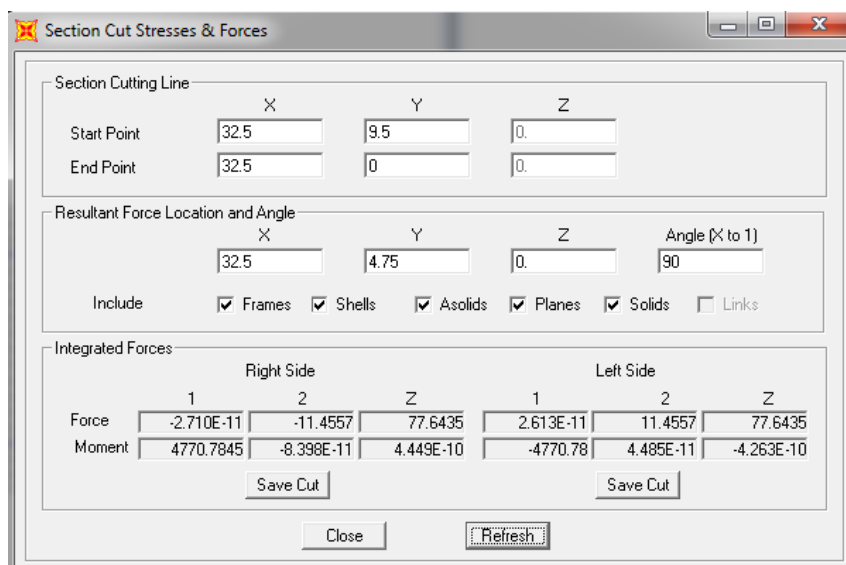
$$M = 865 \text{ kNm} + 1324 \text{ kN} \cdot (1,125 \text{ m}) + 21 \text{ kNm} = 2375 \text{ kNm}$$

Moment na plošči  $M_{pl}$  dobimo z integriranjem napetosti po vplivni širini ( $M_{pl} = \int m_{pl} ds$ ). Moment in osne sile v plošči lahko integriramo z računalniškimi programi, lahko pa tudi v programu SAP2000 z orodjem Section Cut.

Section Cut v SAP-u na modelu 1, za prerez po celi širini konstrukcije, na sredini drugega razpona:



Slika 57: Označen prerez konstrukcije v tlorisu



Slika 58: Sile v prerezu (SAP2000)

Vidimo, da SAP2000 avtomatsko sešteje notranje sile v celotnem prerezu in dobimo:

$$M_y = 4770 \text{ kNm}$$

$$V_z = 78 \text{ kN}$$

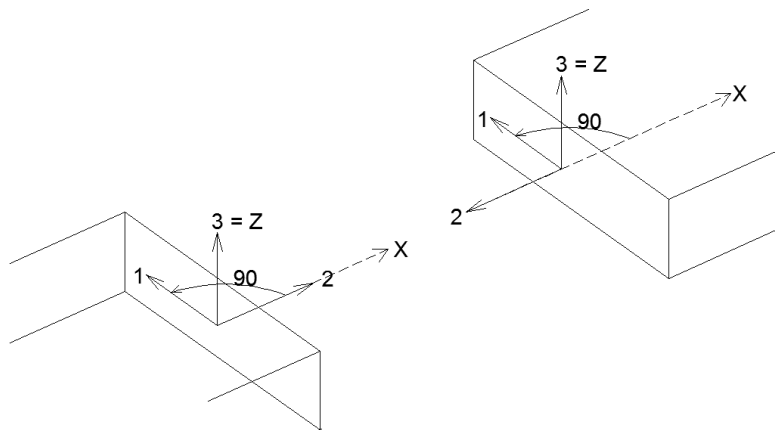
Zanimajo nas notranje sile za en nosilec in pripadajočo sodelujočo širino plošče, zato jih lahko delimo z 2 ( $b_{eff}$  nosilca je približno polovica plošče) in dobimo notranje sile za en nosilec ter pripadajočo ploščo.

Notranje sile nosilca:

$$M_{y, \text{nosilec}} = M_{y, \text{prerez}} / 2 = 4770 \text{ kNm} / 2 = 2385 \text{ kNm}$$

$$V_{z, \text{nosilec}} = V_{z, \text{prerez}} / 2 = 78 \text{ kN} / 2 = 39 \text{ kN}$$

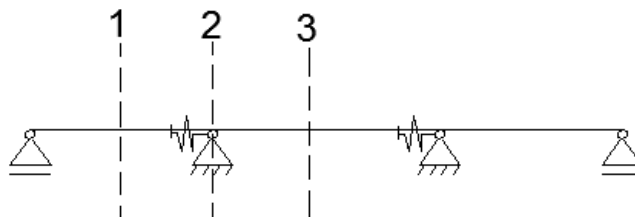
Na enak oz. podoben način lahko dobimo rezultate pri drugih omenjenih modelih.



Slika 61: Prikaz smeri v SAP-u ko prerežemo konstrukcijo ali element



Vzdolžni nosilci - Primerjava  $M_y$  (kNm); lastna in stalna obtežba:



Slika 62: Prikaz prerezov iz preglednice 8

Preglednica 10:  $M_y$  zaradi lastne in stalne teže pri posameznih modelih (kNm)

Lega	Osnovni model	Model 1	Model 2	Model 3
1	2380	2405	2426	2328
2	-4427	-4385	-4415	-4299
3	2343	2378	2375	2285

Iz primerjave rezultatov v preglednici 10 je razvidno, da so rezultati za nosilec pri vertikalni obtežbi precej podobni. Razlike rezultatov se lahko pojavijo pri delovanju horizontalne obtežbe.

Modela s spuščeni gredami (modela 1 in 2) se obnašata drugače kot osnovni model, ki je brez togih vezi. Konstrukcija, ki ima toge vezi podprte z nepomičnimi podporami, se lahko obnaša kot okvir. V primeru, da so toge vezi podprte z nepomično podporo, se lahko pokažejo drugačni rezultati pri vplivih vertikalne obtežbe. Vezi z neskončno togostjo lahko povzročijo neke dodatne oziroma večje notranje sile zaradi možnih preprečenih pomikov v modelu. Enako velja za primere horizontalne obtežbe.

Upogibne momente v nosilcih lahko pri modelih s spuščeni gredami, kjer se upošteva ekscentričnost, dobimo na dva načina. Prvi način je, da notranje sile na modelu dobimo tako, da vsako vozlišče odčitamo z orodjem Section Cut v programu SAP2000. Drugi način pa je, da s tabelo rezultatov iz SAP-a izračunamo momente po "peš" postopku s pomočjo programa Excel.

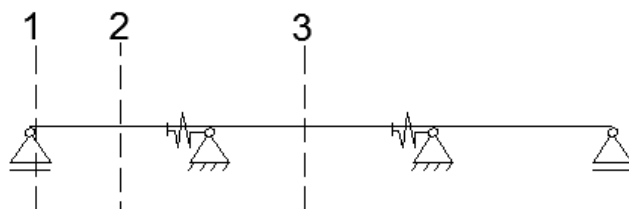
Prednost osnovnega 3D-modela brez togih vezi je hitra in enostavna izdelava v MKE-programu. Uporaben pa je za poenostavljeno analizo konstrukcij oziroma za analizo linijskih elementov konstrukcije.

Računalniški model 3, ki predstavlja model samostojnega nosilca, je uporaben za poenostavljeno analizo vertikalne obtežbe na nosilcu.

### 5.2.2.3 Primerjava zasnove ležišč

Vzdolžni nosilci - Primerjava  $N_x$  (kN); enakomerna temperaturna sprememba - raztezanje:

**Pomična krajna ležišča:**

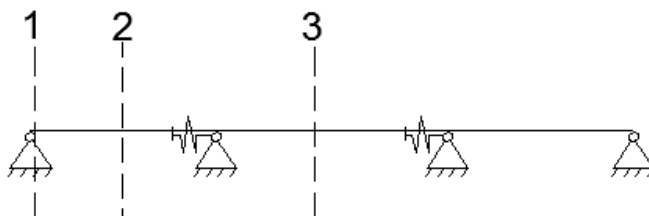


Slika 63: Prikaz prerezov iz preglednice 9

Preglednica 11: Tlačne sile v nosilcu zaradi raztezanja - drsne podpore na koncih

Lega	Osnovni model	Model 1	Model 2	Model 3
1	0	0	0	0
2	0	0	≈0	0
3	-357 kN	-354 kN	-356 kN	-364 kN

**Nepomična krajna ležišča:**



Slika 64: Prikaz prerezov iz preglednice 10

Preglednica 13: Tlačne sile v nosilcu zaradi raztezanja - nepomične podpore na koncih

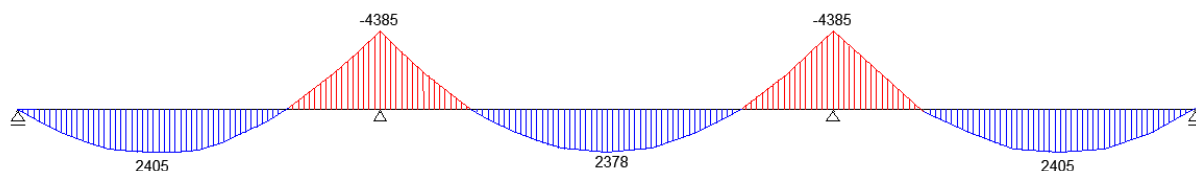
Lega	Osnovni model	Model 1	Model 2	Model 3
1	-19000 kN	-12520 kN	-14000 kN	-24050 kN
2	-22800 kN	-11350 kN	-12500 kN	-24050 kN
3	-21200 kN	-11620 kN	-12850 kN	-24050 kN

Ob primerjavi preglednic 11 in 12, lahko vidimo, da se pri nepomični zasnovi ležišč iz originalnega projekta, pojavijo velike osne sile. Zasnova ležišč z krajnimi drsnimi ležišči je bolj ustrezna, zato jo uporabimo v nadaljni analizi konstrukcije. Pri novi zasnovi ležišč, pomik na koncih ni velik, tako bi zadostovala nekaj centimetrov široka dilatacija.

Za nadaljno analizo in dimenzioniranje konstrukcije bom izbral Model 1 z pomičnimi ležišči na krajnih podporah.

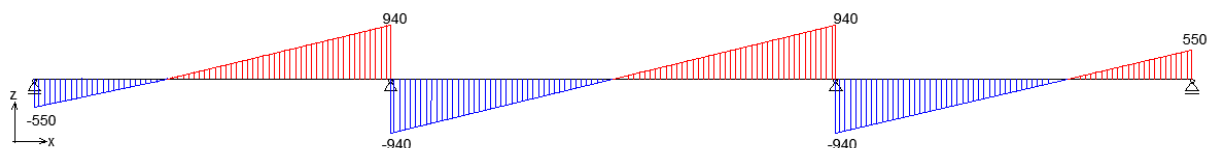
#### 5.2.2.4. Lastna in stalna teža

Upogibni moment  $M_y$  zaradi lastne teže:



Slika 65: Diagram upogibnih momentov  $M_y$  zaradi lastne in stalne teže (kNm)

Prečna sila  $V_z$  zaradi lastne teže:

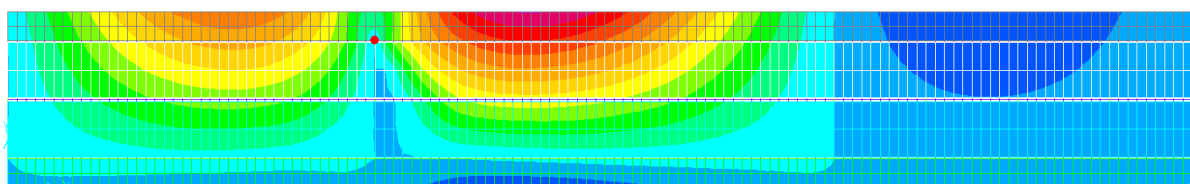


Slika 66: Diagram prečnih sil  $V_z$  zaradi lastne in stalne teže (kN)

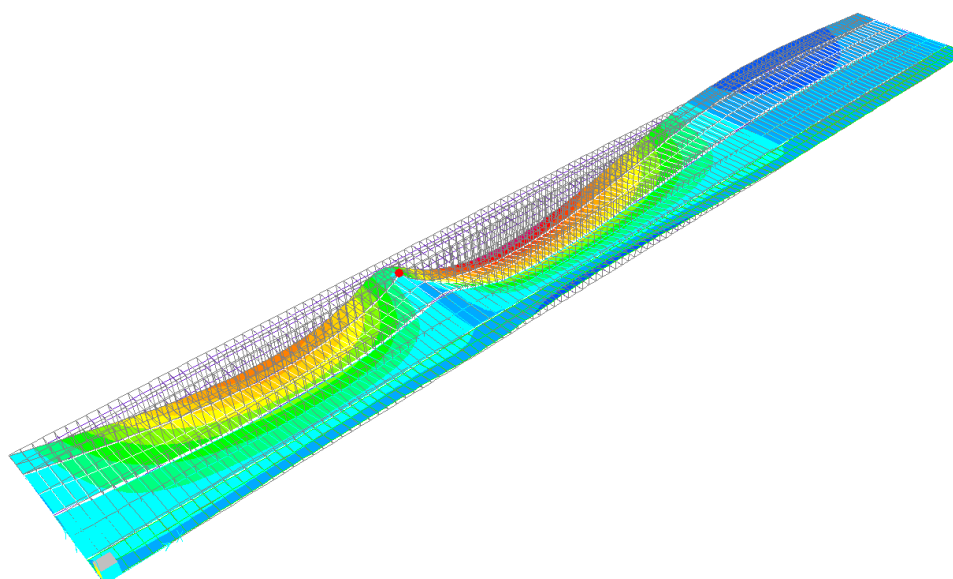
### 5.2.2.5 Vertikalna Prometna obtežba

Vplivnice za nosilec dobimo na enak način kot za plošče, vendar tokrat v SAP-u ne iščemo vpliv za končni element plošče, ampak za končni element nosilca. Zanimajo nas najbolj kritični prerezi na nosilcu. Prikazana je vplivnica samo za prerez nad vmesno podporo. Največji vpliv na tem mestu ima obtežba, če jo postavimo tako kot kaže vplivnica.

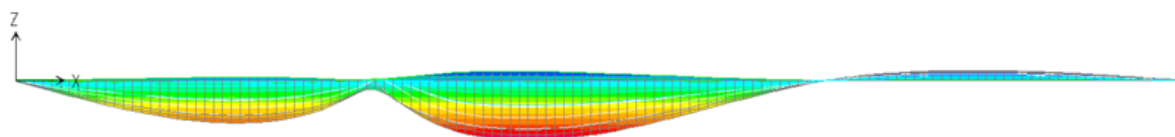
Vplivnica za  $M_y$  nad podporo:



Slika 67: Prikaz vplivnice za nosilec ob podpori v SAP-u (tloris)

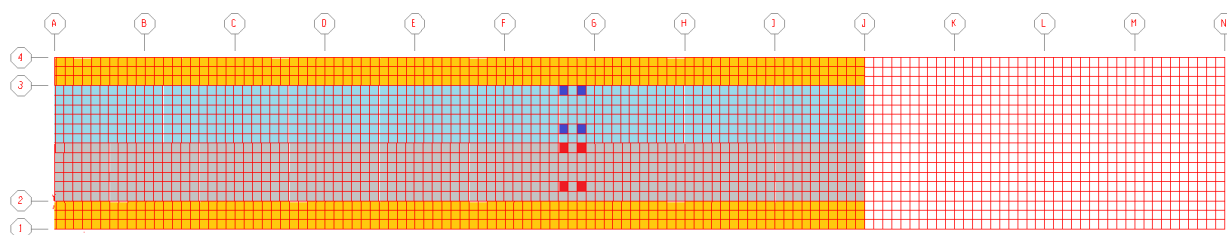


Slika 68: Prikaz vplivnice za nosilec ob podpori v SAP-u (3D pogled)



Slika 69: Prikaz vplivnice za nosilec ob podpori v SAP-u (pogled iz strani)

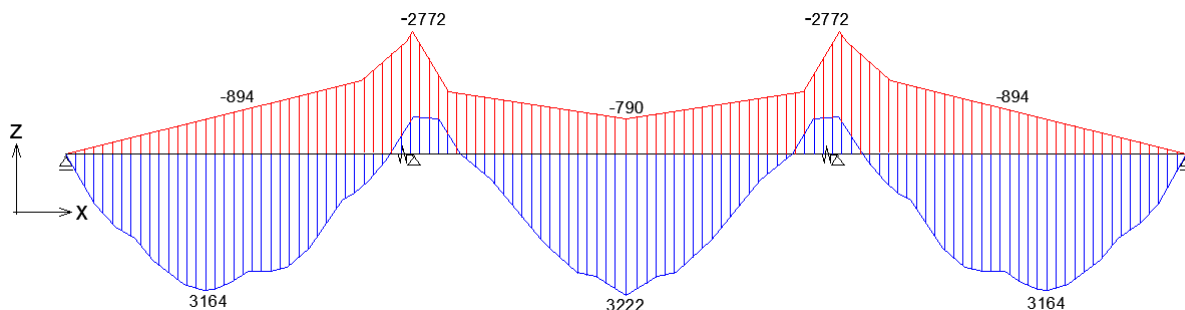
Ko pogledamo vplivnico v 3D pogledu ali XY ravnini, vidimo tudi vplivnico v prečni smeri in vidimo, da moramo za  $M_{y,min}$  obtežbo skoncentrirati ob nosilcu.



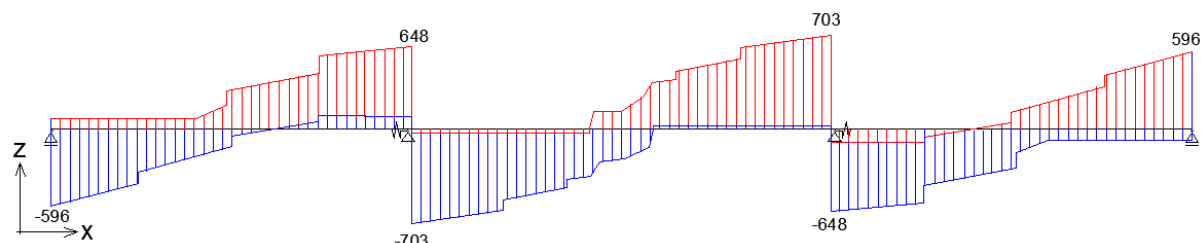
Slika 70: Pripadajoča postavitev obtežbe gr1a, pogled v tlorisu

Na enak način določimo tudi vplivnice za druge kritične prereze nosilca. Pri naslednjih slikah so prikazane ovojnice notranjih sil.

Ovojnice notranjih sil za prometno obtežbo gr1a:

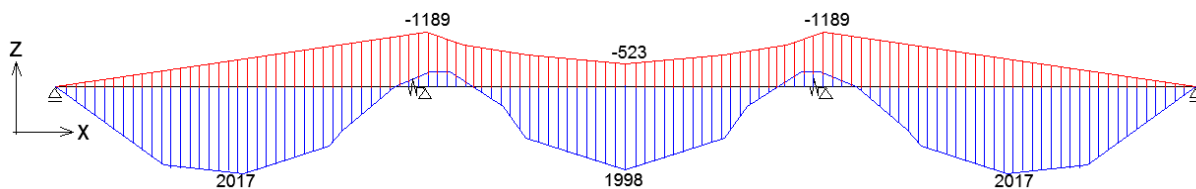


Slika 71: Ovojnica upogibnih momentov  $M_y$  (kNm)

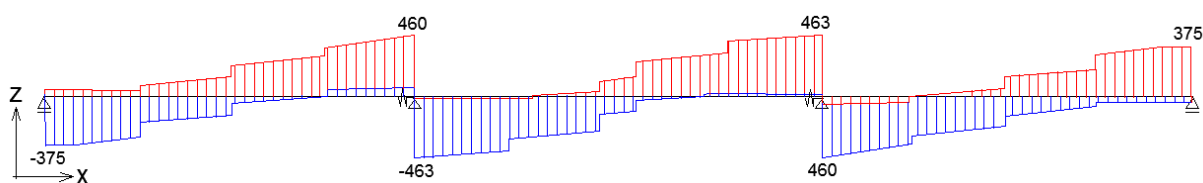


Slika 72: Ovojnica prečnih sil  $V_z$  (kN)

Ovojnice notranjih sil za prometno obtežbo gr2:



Slika 73: Ovojnica upogibnih momentov  $M_y$  (kNm)

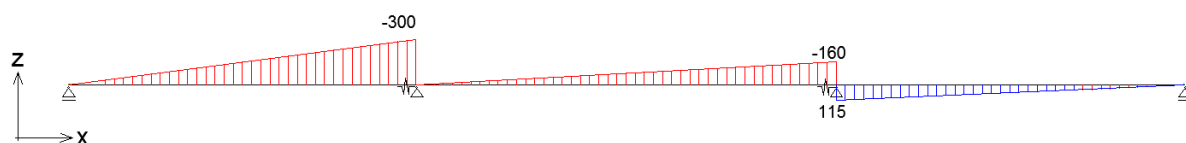


Slika 74: Ovojnica prečnih sil  $V_z$  (kN)

### 5.2.2.6 Horizontalna prometna obtežba - Zavorne sile in sile pospeševanja

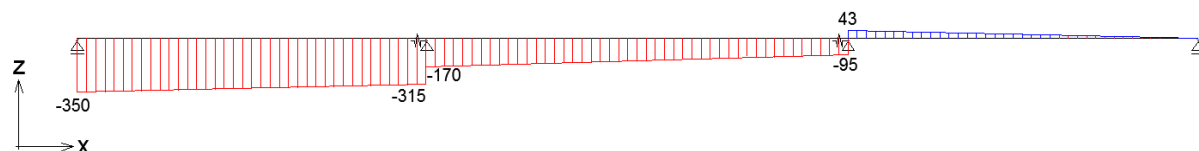
Obtežba je podana na ploščo kot zvezna porazdeljena obtežba vzdolž pasu 1 in točkovna obtežba TS1 na neugodni legi, obtežba je bila prikazana v poglavju 3.2. Upoštevam osno silo v nosilcu in polovici plošče, ki pripade na nosilec. Rezultati so prikazani za zasnovano ležišč z drsnimi podporami na krajnih podporah, pri modelu 1. Enote so v kN, diagrami niso v merilu.

Upogibni momenti  $M_y$ :



Slika 75: Diagram  $M_y$  zaradi zavornih sil (kNm)

Osne sile v nosilcu in pripadajoči plošči:



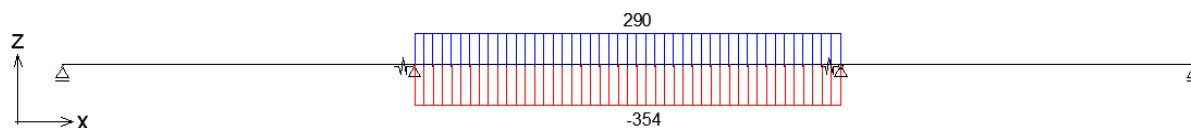
Slika 76: Diagram osnih sil zaradi zavornih sil (kN)

### 5.2.2.7 Temperaturni vplivi

#### Enakomerna sprememba temperature

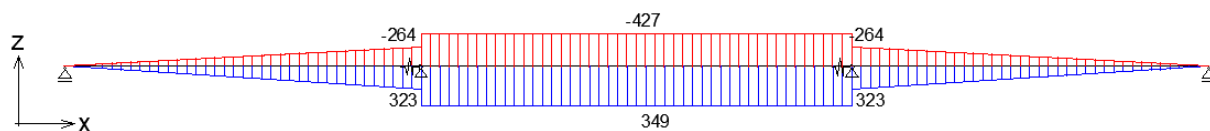
Upoštevam osno silo v nosilcu in v polovici plošče, ki pripade na nosilec. Rezultati so prikazani za zasnovano ležišč z drsnimi podporami na krajnih podporah. Diagrami niso v merilu.

Osne sile  $N$  (kN):



Slika 77: Diagram pozitivnih in negativnih osnih sil v nosilcu zaradi enakomerne temperature (kN)

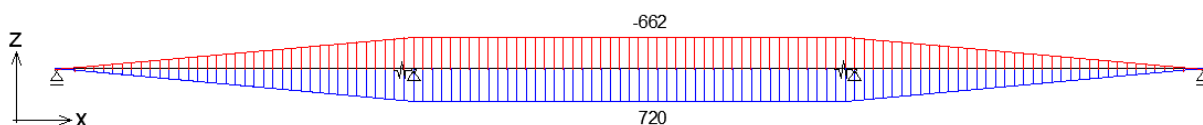
Upogibni momenti  $M_y$  (kNm):



Slika 78: Diagram pozitivnih in negativnih momentov v nosilcu zaradi enakomernih temp.sprememb (kNm)

### Neenakomerna sprememba temperature

Upogibni moment  $M_y$  (kNm):



Slika 79: Diagram pozitivnih in negativnih momentov v nosilcu zaradi neeenakomernih temp. sprememb (kNm)

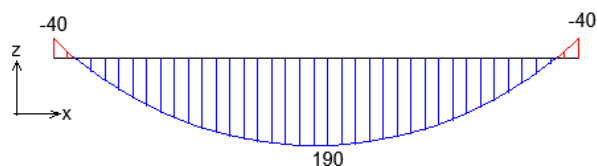
### 5.2.3 Prečniki

Prečnika nad vmesnima stebroma se obnašata kot polno vpeta nosilca, vpetost vmesnih prečnih nosilcev se zmanjšuje z oddaljevanjem od vmesnih stebrov.

Prikazali bomo rezultate za prečni nosilec, ki se nahaja na sredini drugega razpona prekladne konstrukcije. Diagrami prikazane ovojnic za delujoče obtežbe niso v merilu.

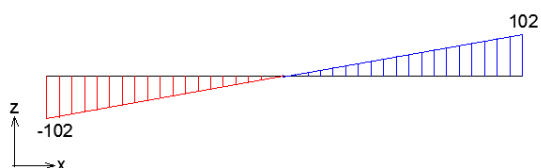
#### 5.2.3.1 Lastna in stalna obtežba

Upogibni moment  $M_y$  (kNm):



Slika 80: Diagram momentov  $M_y$  v prečniku zaradi lastne in stalne teže (kNm)

Prečna sila  $V_z$  (kN):

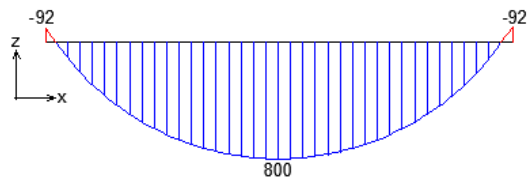


Slika 81: Diagram prečnih sil  $V_z$  zaradi lastne in stalne teže (kN)

### 5.2.3.2 Prometna obtežba

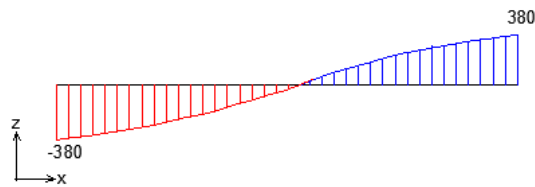
#### Gr1a

Upogibni moment  $M_y$  (kNm):



Slika 81: Diagram momentov  $M_y$  v prečniku pri prometni obtežbi gr2(kNm)

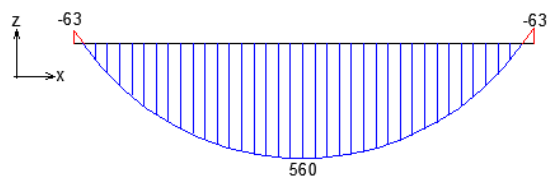
Prečna sila  $V_z$  (kN):



Slika 81: Diagram prečnih sil  $V_z$  v prečniku pri prometni obtežbi gr2(kN)

#### Gr2

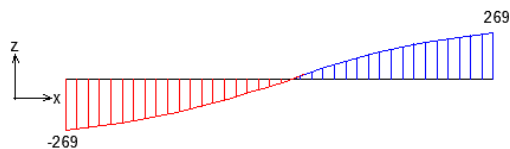
Upogibni moment  $M_y$  (kNm):



Slika 81: Diagram momentov  $M_y$  v prečniku pri prometni obtežbi gr2(kNm)



Prečna sila  $V_z$  (kN):

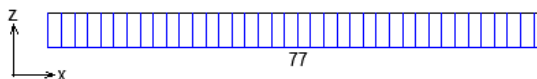


Slika 81: Diagram prečnih sil  $V_z$  v prečniku pri prometni obtežbi gr2(kN)

### 5.2.3.3 Temperaturni vplivi

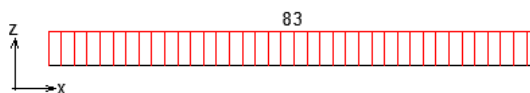
#### Neenakomerna sprememba temperature

Upogibni momenti  $M_y$  ( $\Delta T_{M,HEAT}$ ):



Slika 82: Diagram momentov  $M_y$  v prečniku pri delovanju neeenakomerne temperature (kNm)

Upogibni momenti  $M_y$  ( $\Delta T_{M,COOL}$ ):



Slika 83: Diagram momentov  $M_y$  v prečniku pri delovanju neeenakomerne temperature (kNm)

## 6 DIMENZIONIRANJE PREKLADNE KONSTRUKCIJE

Pri dimenzioniranju upoštevamo mejno stanje nosilnosti.

### 6.1 Materiali in varnostni faktorji

Delni varnostni faktorji za material:

Beton  $\gamma_c = 1,50$

Jeklo  $\gamma_s = 1,15$

Beton C30/37, ki ima naslednje karakteristike:

$$E_{cm} = 3200 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{cm} = 0,29 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ck,cube} = 3,7 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ck} = 3,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ctk,0,05} = 0,2 \text{ kN/cm}^2$$

Jeklo S500, ki ima naslednje karakteristike:

$$E_s = 20000 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{yk} = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_t = 50,0 \text{ kN/cm}^2$$

### 6.2 Dimenzioniranje plošče

#### Krovni sloj betona za ploščo

Za prekladno konstrukcijo upoštevam razred izpostavljenosti XD1. Priporočen razred konstrukcije za življensko dobo 50 let je S4. Za elemente z geometrijo plošč razred lahko znižamo za 1. Upoštevam razred S3, na osnovi tabele 4.4N v SIST EN 1992-1-1:2004 odčitam  $c_{min,dur} = 30 \text{ mm}$ .

$c_{min,b} = 28 \text{ mm}$  (najmanjša debelina krovnega sloja gledena zahteve sprimjemnosti, enaka je primeru palice)

$$\Delta c_{dur,Y} = c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$$

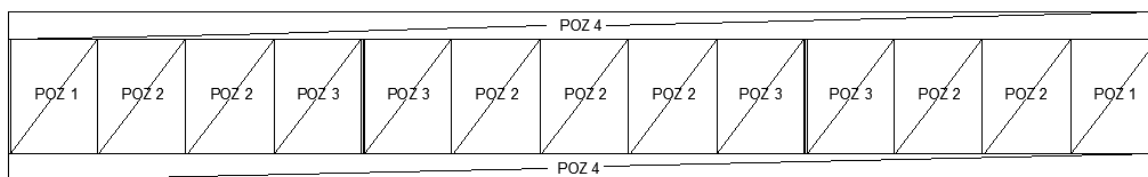
$$c_{min} = \max \{ c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,Y} - c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10 \text{ mm} \}$$

$$c_{min} = \max \{ 16; 30; 10 \} = 30 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (priporočena vrednost)}$$

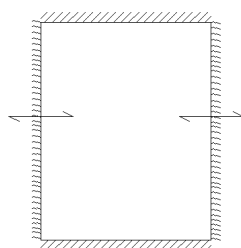
$$c_{nom} = 30 + 10 = 40 \text{ mm}$$



Slika 85: Označene pozicije plošče v tlorisu

## 6.2.1 Dimenzioniranje plošče na sredini razpona (POZ2)

### Armatura nad prečnim noslicem



Slika 86: Potek zgornje upogibne armature nad prečnimi nosilci



Slika 87: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000

$h = 35 \text{ cm}$ .....višina odebeljene plošče

$a = 4 \text{ cm} + (\Phi + \Phi / 2) = 4 \text{ cm} + (1,6 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm}) = 6,4 \text{ cm}$

$d = h - a = 35 \text{ cm} - 6,4 \text{ cm} = 28,6 \text{ cm}$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 88 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 10,47 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = -133 \text{ kNm/m}$$

Zmanjšanje momenta nad podporo:

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 253 \text{ kN} \cdot 0,4 \text{ m} / 8 = 12,65 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_y - \Delta M_{Ed} = 133 \text{ kNm/m} - 12,65 \text{ kNm/m} = \underline{-120,35 \text{ kNm/m}}$$

$$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 3 \text{ kN/cm}^2 / 1,5 = 2 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_h = M_{Ed,Rdc} / (f_{cd} b d^2)$$

$$k_h = 12035 \text{ kNm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6^2 \text{ cm}) = 0,073$$

$$k_s = 1,051$$

$$A_s = 12035 \text{ kNm} / (28,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,051 = 10,16 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 20 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 10,05 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6 \text{ cm}$$

$$A_{s,min} = 4,32 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 3,72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$b_t$ ...širina natezne cone prereza

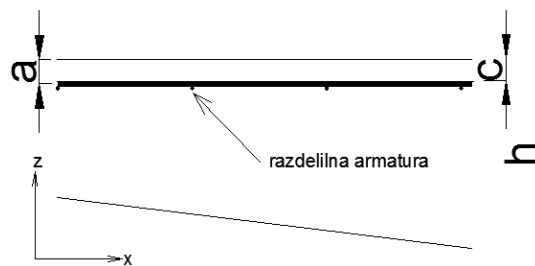
$d$ ...statična višina prereza

$f_{ctm}$ ...povprečna natezna trdnost betona (C30/37: 0,29 kN/cm<sup>2</sup>)

Razdelilna armatura:

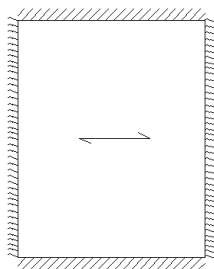
$$A_{s,razd} = 0,2 A_{s,min} = 0,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 40 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )



Slika 88: Postavitev zgornje armature

### Spodnja armatura v vzdolžni smeri



Slika 89: Potek spodnje upogibne armature v vzdolžni smeri



Slika 90: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000

$h = 25 \text{ cm}$  .....debelina plošče

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi + \Phi / 2) = 4 \text{ cm} + (1,6 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm}) = 6,4 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 25 \text{ cm} - 6,4 \text{ cm} = 18,6 \text{ cm}$$

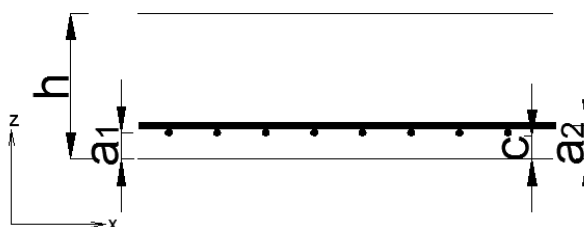
$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 76 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 9,96 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = 116 \text{ kNm/m}$$

$$k_h = 11600 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 18,6^2 \text{ cm}) = 0,167$$

$$k_s = 1,106$$

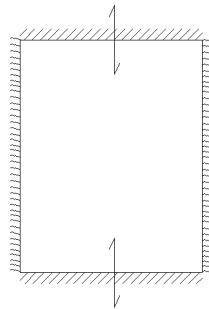
$$A_s = 11600 \text{ kNcm} / (18,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,106 = 15,85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 12,5 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 16,1 \text{ cm}^2/\text{m}$ )



Slika 91: Postavitev spodnje armature

## Armatura nad nosilci



Slika 92: Potek zgornje upogibne armature nad nosilci



Slika 93: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer), SAP2000

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi / 2) = 4 \text{ cm} + 1,6 \text{ cm} / 2 = 4,8 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 35 \text{ cm} - 4,8 \text{ cm} = 30,2 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 55 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 14,94 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = -94,77 \text{ kNm/m}$$

Zmanjšanje momenta nad podporo:

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 228 \text{ kN/m} \cdot 0,6 \text{ m} / 8 = 17,1 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_y - \Delta M_{Ed} = 94,77 \text{ kNm/m} - 17,1 \text{ kNm/m} = \underline{-77 \text{ kNm/m}}$$

$$k_h = 7700 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2^2 \text{ cm}) = 0,042$$

$$k_s = 1,039$$

$$A_s = 7700 \text{ kNcm} / (30,2 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,039 = 6,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 30 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 6,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm}$$

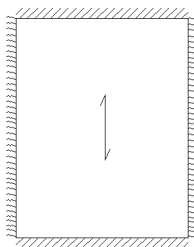
$$A_{s,min} = 4,55 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdelilna armatura:

$$A_{s,razd} = 0,2 A_{s,min} = 0,89 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 40 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

## Spodnja armatura v prečni smeri



Slika 94: Potek spodnje upogibne armature v prečni smeri



Slika 95: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer), SAP2000

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi / 2) = 4 \text{ cm} + 1,6 \text{ cm} / 2 = 4,8 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 25 \text{ cm} - 4,8 \text{ cm} = 20,2 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 69 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 6,36 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = 101,8 \text{ kNm/m}$$

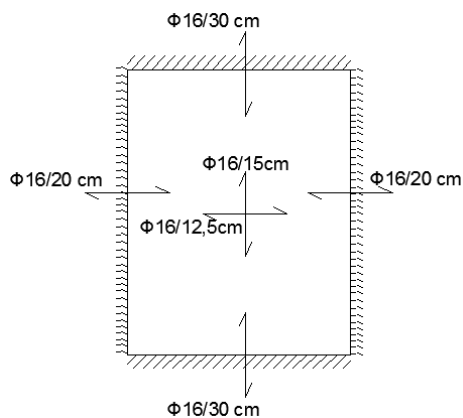
$$k_h = 10180 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 20,2^2 \text{ cm}) = 0,125$$

$$k_s = 1,078$$

$$A_s = 10180 \text{ kNcm} / (20,2 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,078 = 12,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 15 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### Razpored upogibne armature v plošči:



Slika 96: Razpored in količina upogibne armature v plošči na sredini razpona

## Spodnja armatura v prečni smeri

### Strig plošče ob glavnem nosilcu:

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$v_1 = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck} \text{ (Mpa)}}{250} \right] = 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (ctg\theta + tg\theta)$$

$$V_{rd,max} = 1/2 \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 27,18 \text{ cm} \cdot 0,528 \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2 = 1435 \text{ kN/m}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/302} = 1,81 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,285$$

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 6,7 \text{ cm}^2 / (100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm}) = 0,0022 \geq 0,002$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

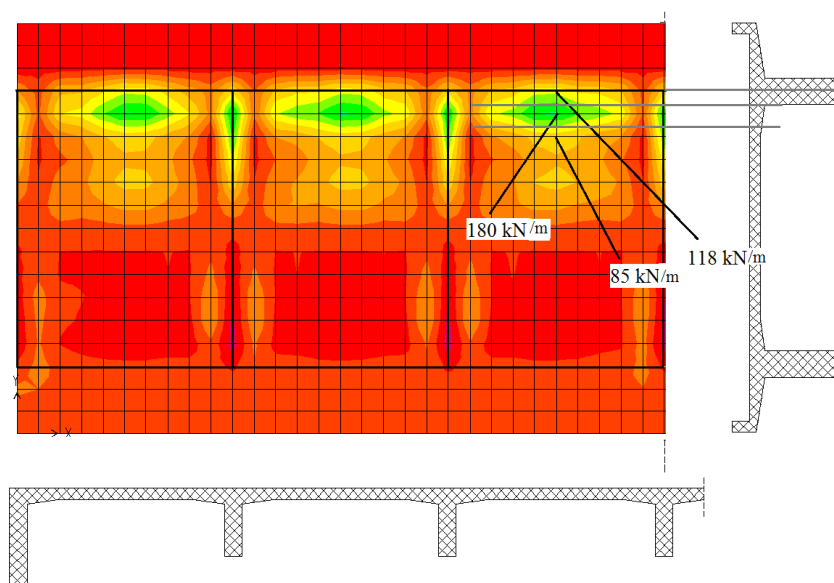
$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 + \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,81 \cdot (100 \cdot 0,002 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 1000 \cdot 302 = 119,2 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c} = 119,2 \text{ kN} \geq 0,285 \cdot 1000 \cdot 302 = 86,1 \text{ kN/m}$$

Prečna sila na oddaljenosti za statično višino plošče od oba nosilca  $V_{Ed} = 118 \text{ kN/m}$

$$\underline{V_{Rd,c} = 119,2 \text{ kN/m} \geq V_{Ed} = 115 \text{ kN/m}} \quad (\text{Ni potrebna strižna armatura})$$



Slika 97: Prikazan je del mostu v tlorisu z ovojnico prečnih sil  $V_{xz}$  za običajno projektno stanje



**Strig plošče ob prečnem nosilcu:**

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$v_l = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck} \text{ (Mpa)}}{250} \right] = 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta)$$

$$V_{rd,max} = 1/2 \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 26,46 \text{ cm} \cdot 0,528 \cdot 2,0 \text{ kN/cm}^2 = 1397 \text{ kN/m}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_l = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/286} = 1,83 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,287$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 10,05 \text{ cm}^2 / (100 \text{ cm} \cdot 28,6 \text{ cm}) = 0,0035 \geq 0,002$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l + \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

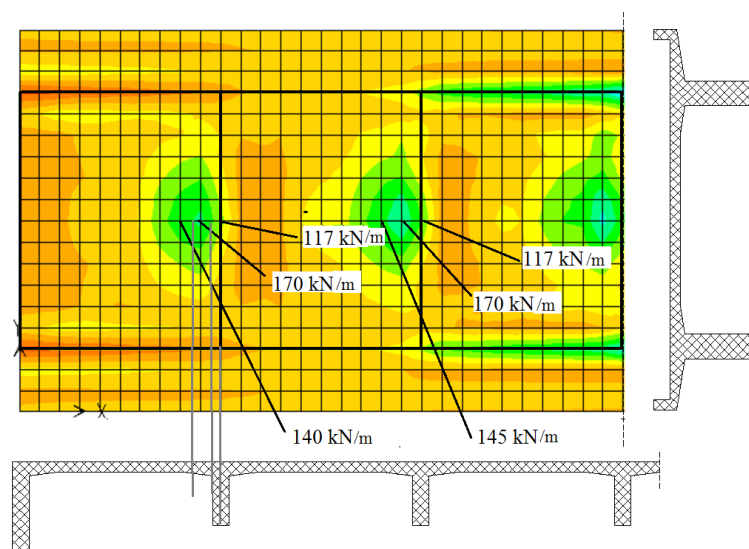
$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,83 \cdot (100 \cdot 0,002 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 1000 \cdot 286 = 114 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd,c} = 114 \text{ kN/m} \geq 0,287 \cdot 1000 \cdot 286 = 82 \text{ kN/m}$$

Prečna sila na oddaljenosti za statično višino plošče od roba nosilca  $V_{Ed} = 145 \text{ kN/m}$ .

$$\underline{V_{Rd,c} = 114 \text{ kN/m} \leq V_{Ed} = 145 \text{ kN/m}} \text{ (Prečne sile zaradi vpliva koles vozila TS se lahko še reducirajo)}$$

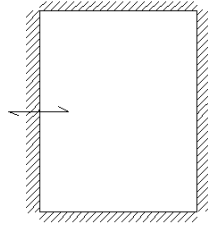
Ker so prečne sile v resnici manjše, bom upošteval, da strižna armatura ni potrebna.



Slika 98: Prikazan je del mostu v tlorisu z ovojnico prečnih sil  $V_{yz}$  za običajno projektno stanje

## 6.2.2 Dimenzioniranje plošče ob stebri (POZ 3)

### Zgornja armatura nad stebrom



Slika 97: Potek zgornje upogibne armature nad stebrom



Slika 99: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi + \Phi / 2) = 4 \text{ cm} + (1,6 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm}) = 6,4 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 35 \text{ cm} - 6,4 \text{ cm} = 28,6 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 123 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 25 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = -199,8 \text{ kNm/m}$$

Zmanjšanje momenta nad podporo:

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 208 \text{ kN/m} \cdot 0,8 \text{ m} / 8 = 20,8 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_{Ed} - \Delta M_{Ed} = 199,8 \text{ kNm/m} - 20,8 \text{ kNm/m} = \underline{-179 \text{ kNm/m}}$$

$$k_f = 17900 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6^2 \text{ cm}) = 0,109$$

$$k_s = 1,070$$

$$A_s = 17900 \text{ kNcm} / (28,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,070 = 15,4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Izberem } \Phi 16 / 12,5 \text{ cm } (A_{s,dej} = 16,1 \text{ cm}^2/\text{m})$$

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,4 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,4 \text{ cm}$$

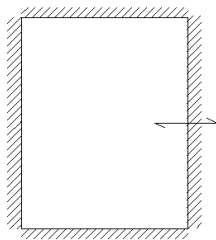
$$A_{s,min} = 4,28 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 3,69 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdelilna armatura:

$$A_{s,razd} = 0,2 A_{s,min} = 0,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Izberem } \Phi 16 / 40 \text{ cm } (A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m})$$

### Zgornja armatura nad prečnikom



Slika 100: Potek zgornje upogibne armature nad prečnim nosilcem

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi + \Phi / 2) = 4 \text{ cm} + (1,6 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm}) = 6,4 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 35 \text{ cm} - 6,4 \text{ cm} = 28,6 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 88 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 12,7 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = -133,9 \text{ kNm/m}$$

Zmanjšanje momenta nad podporo:

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 200 \text{ kN/m} \cdot 0,4 \text{ m} / 8 = 10 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_{Ed} - \Delta M_{Ed} = 133,9 \text{ kNm} - 10 \text{ kNm/m} = \underline{-123,9 \text{ kNm/m}}$$

$$k_h = 12390 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6^2 \text{ cm}) = 0,076$$

$$k_s = 1,052$$

$$A_s = 12390 \text{ kNcm} / (28,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,052 = 10,5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 17,5 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 11,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 28,6 \text{ cm}$$

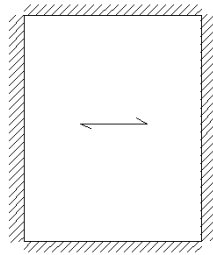
$$A_{s,min} = 4,32 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 3,72 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdelilna armatura:

$$A_{s,razd} = 0,2 A_{s,min} = 0,86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 40 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### Spodnja armatura v vzdolžni smeri



Slika 101: Potek spodnje upogibne armature v vzdolžni smeri



Slika 102: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (vzdolžna smer), SAP2000

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi + \Phi / 2) = 4 \text{ cm} + (1,6 \text{ cm} + 0,8 \text{ cm}) = 6,4 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 25 \text{ cm} - 6,4 \text{ cm} = 18,6 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 70 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 5,43 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = 101,83 \text{ kNm/m}$$

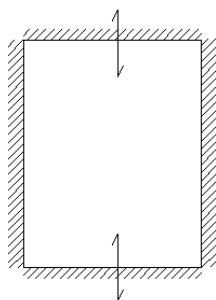
$$k_h = 10183 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 18,6^2 \text{ cm}) = 0,147$$

$$k_s = 1,093$$

$$A_s = 10183 \text{ kNcm} / (18,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,093 = 13,75 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 15 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 13,4 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

## Zgornja armatura nad nosilcem



Slika 103: Potek zgornje upogibne armature nad nosilcema



Slika 104: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer), SAP2000

$$a = 4 \text{ cm} + (1,6 \text{ cm} / 2) = 4,8 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 35 \text{ cm} - 4,8 \text{ cm} = 30,2 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 55 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 15,1 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = -94,6 \text{ kNm/m}$$

Zmanjšanje momenta nad podporo:

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 230 \text{ kN/m} \cdot 0,6 \text{ m} / 8 = 17,2 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_{Ed} - \Delta M_{Ed} = 94,6 \text{ kNm} - 17,2 \text{ kNm/m} = \underline{\underline{- 77,4 \text{ kNm/m}}}$$

$$k_h = 7740 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2^2 \text{ cm}) = 0,042$$

$$k_s = 1,036$$

$$A_s = 7740 \text{ kNcm} / (30,2 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,036 = 6,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 30 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 6,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm}$$

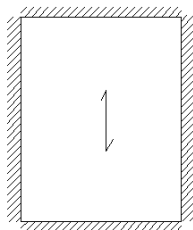
$$A_{s,min} = 4,55 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdelilna armatura:

$$A_{s,razd} = 0,2 A_{s,min} = 0,91 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 40 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### Spodnja armatura v prečni smeri



Slika 105. Potek spodnje upogibne armature v prečni smeri



Slika 106: Ovojnica upogibnih momentov v prerezu plošče (prečna smer)

$$a = 4 \text{ cm} + (\Phi / 2) = 4 \text{ cm} + 1,6 \text{ cm} / 2 = 4,8 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 25 \text{ cm} - 4,8 \text{ cm} = 20,2 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 65 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 5,07 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = 94,6 \text{ kNm/m}$$

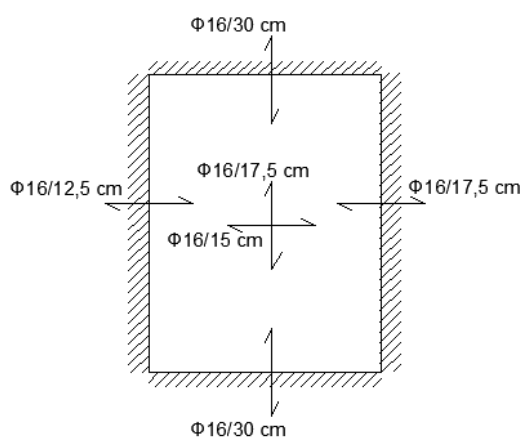
$$k_h = 9460 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 20,2^2 \text{ cm}) = 0,116$$

$$k_s = 1,074$$

$$A_s = 9460 \text{ kNcm} / (20,2 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,074 = 11,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 17,5 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 11,5 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

### Razpored upogibne armature v plošči:



Slika 107: Razpored in količina upogibne armature v plošči ob stebri

### 6.2.3 Dimenzioniranje konzolne plošče (POZ 4)



Slika 108: Ovojnica upogibnih momentov v konzolni plošči, SAP2000

$$a = 4 \text{ cm} + (1,6 / 2 \text{ cm}) = 4,8 \text{ cm}$$

$$d = h - a = 35 \text{ cm} - 4,8 \text{ cm} = 30,2 \text{ cm}$$

$$M_{Ed} = M_{Ed,q} \cdot 1,35 + M_{Ed,g} \cdot 1,35 = 55 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 + 14,94 \text{ kNm/m} \cdot 1,35 = -94,77 \text{ kNm/m}$$

Zmanjšanje momenta nad podporo:

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 230 \text{ kN/m} \cdot 0,6 \text{ m} / 8 = 17,25 \text{ kNm/m}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_{Ed} - \Delta M_{Ed} = 94,77 \text{ kNm/m} - 17,25 \text{ kNm/m} = \underline{\underline{-77,5 \text{ kNm/m}}}$$

$$k_h = 7750 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2^2 \text{ cm}) = 0,042$$

$$k_s = 1,036$$

$$A_s = 7750 \text{ kNcm} / (30,2 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,036 = 6,1 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 30 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 6,7 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

Minimalna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 100 \text{ cm} \cdot 30,2 \text{ cm}$$

$$A_{s,min} = 4,55 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 3,93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Razdelilna armatura:

$$A_{s,razd} = 0,2 A_{s,min} = 0,89 \text{ cm}^2/\text{m}$$

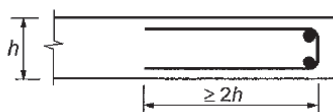
Izberem  $\Phi 16 / 40 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

**Spodnja armatura**

$$A_{s,min} = 4,55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Izberem  $\Phi 16 / 40 \text{ cm}$  ( $A_{s,dej} = 5,03 \text{ cm}^2/\text{m}$ )

**Robna armatura plošče**



Slika 109: Robna armatura plošče (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.161)

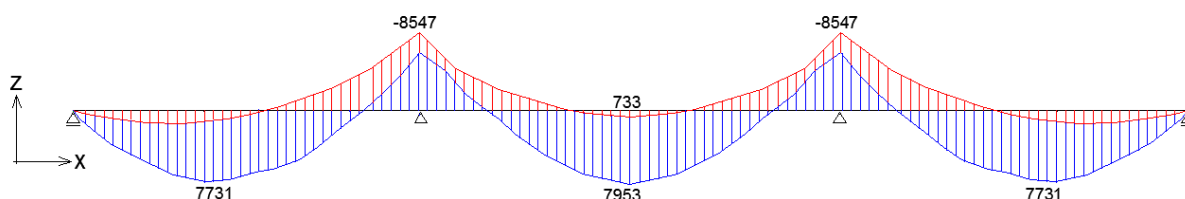
### 6.3 Dimenzioniranje vzdolžnega nosilca

#### Ovojnice notranjih sil

Za vse prereze na nosilcu je merodajna kombinacija, kjer je prevladujoča vertikalna prometna obtežba grla:

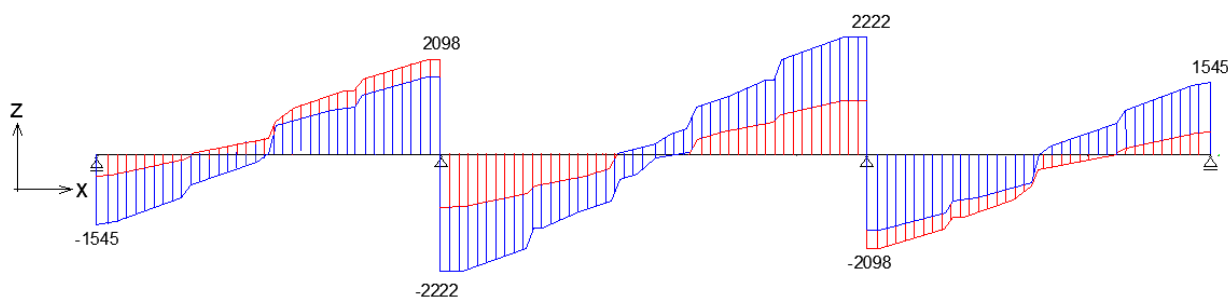
$$1,35(1,0) \cdot G + 1,35 \cdot (TS + UDL + \text{obtežba hodnika}) + 1,5 \cdot 0,6 \cdot T$$

Ovojnica upogibnih momentov  $M_y$ :



Slika 110: Ovojnica upogibnih momentov  $M_y$  v nosilcu (kNm)

Ovojnica prečnih sil  $V_z$ :



Slika 111: Ovojnica prečnih sil  $V_z$  v nosilcu (kN)

Redukcija momenta  $M_y$  nad vrtljivo podporo (slika 112):

$$M_y = -8547 \text{ kNm} \quad (\text{upogibni moment nad podporo})$$

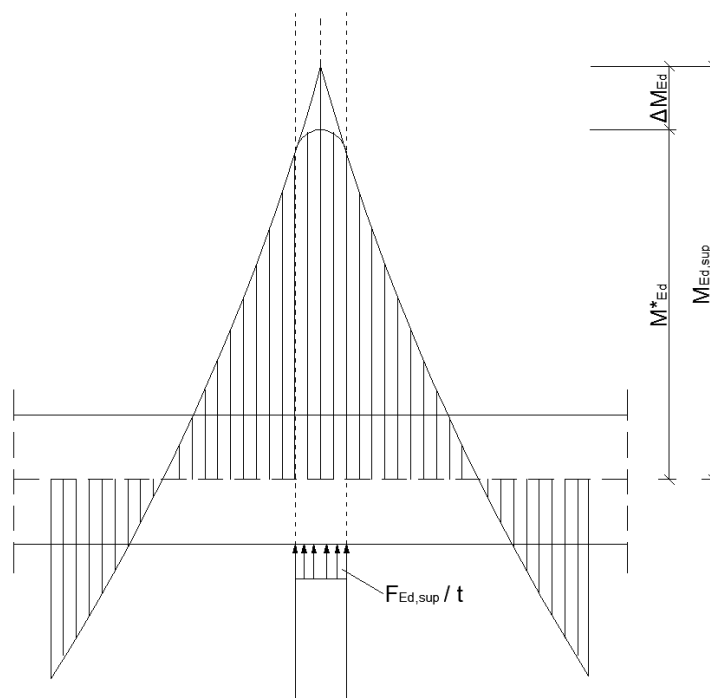
$$F_{Ed,sup} = 4320 \text{ kN} \quad (\text{reakcija v podpori})$$

$$t = 0,8 \text{ m} \quad (\text{širina podpore})$$

$$\Delta M_{Ed} = F_{ed,sup} \cdot t / 8 = 3587 \text{ kN} \cdot 0,8 \text{ m} / 8 = 358,7 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,Rdc} = M_y - \Delta M_{Ed} = 8547 \text{ kNm} - 358,7 \text{ kNm} = \underline{\underline{-8188 \text{ kNm}}}$$





Slika 112: Redukcija momenta nad vrtljivo podpora

### Krovni sloj betona za nosilce

Za prekladno konstrukcijo upoštevam razred izpostavljenosti XD1. Priporočen razred konstrukcije za življensko dobo 50 let je S4. Upoštevam razred S4, na osnovi tabele 4.4N v SIST EN 1992-1-1:2004 odčitam  $c_{min,dur} = 35$  mm.

$c_{min,b} = 28$  mm (najmanjša debelina krovnega sloja gledena zahteve sprimjemnosti, enaka je primeru palice)

$$\Delta c_{dur,\gamma} = c_{dur,st} = \Delta c_{dur,add} = 0$$

$$c_{min} = \max\{c_{min,b}; c_{min,dur} + \Delta c_{dur,\gamma} - c_{dur,st} - \Delta c_{dur,add}; 10\text{mm}\}$$

$$c_{min} = \max\{28; 35; 10\} = 30 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{min} + \Delta c_{dev}$$

$$\Delta c_{dev} = 10 \text{ mm (priporočena vrednost)}$$

$$c_{nom} = 35 + 10 = 45 \text{ mm}$$

### Vzdolžna armatura nad podporo

Vzdolžna armatura v dveh plasteh:

$$d = h - a = 225 \text{ cm} - 11,1 \text{ cm} = 213,9 \text{ cm}$$

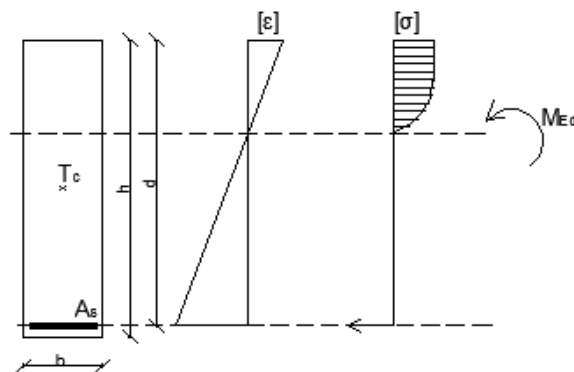
Upogibni moment nad podporo:

$$M_{Ed} = -8188 \text{ kNm}$$

$$k_h = M_{Ed} / (f_{cd} b d^2) = 818800 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 213,9^2 \text{ cm}) = 0,149$$

$$k_s = 1,094$$

$$A_{s,pour} = k_s \cdot M_{Ed} / (d \cdot \delta_s) = 818800 \text{ kNcm} / (213,9 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,094 = 96,3 \text{ cm}^2$$



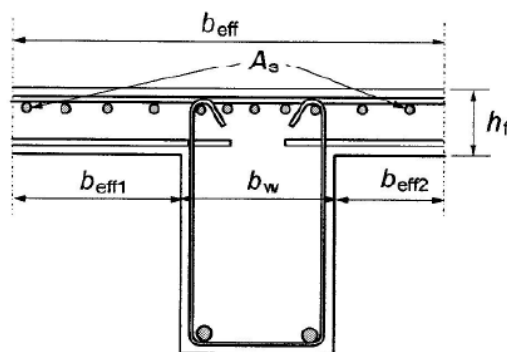
Slika 113: Napetosti in deformacije v pravokotnih prerezih (simbolična slika)

Minimalna vzdolžna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

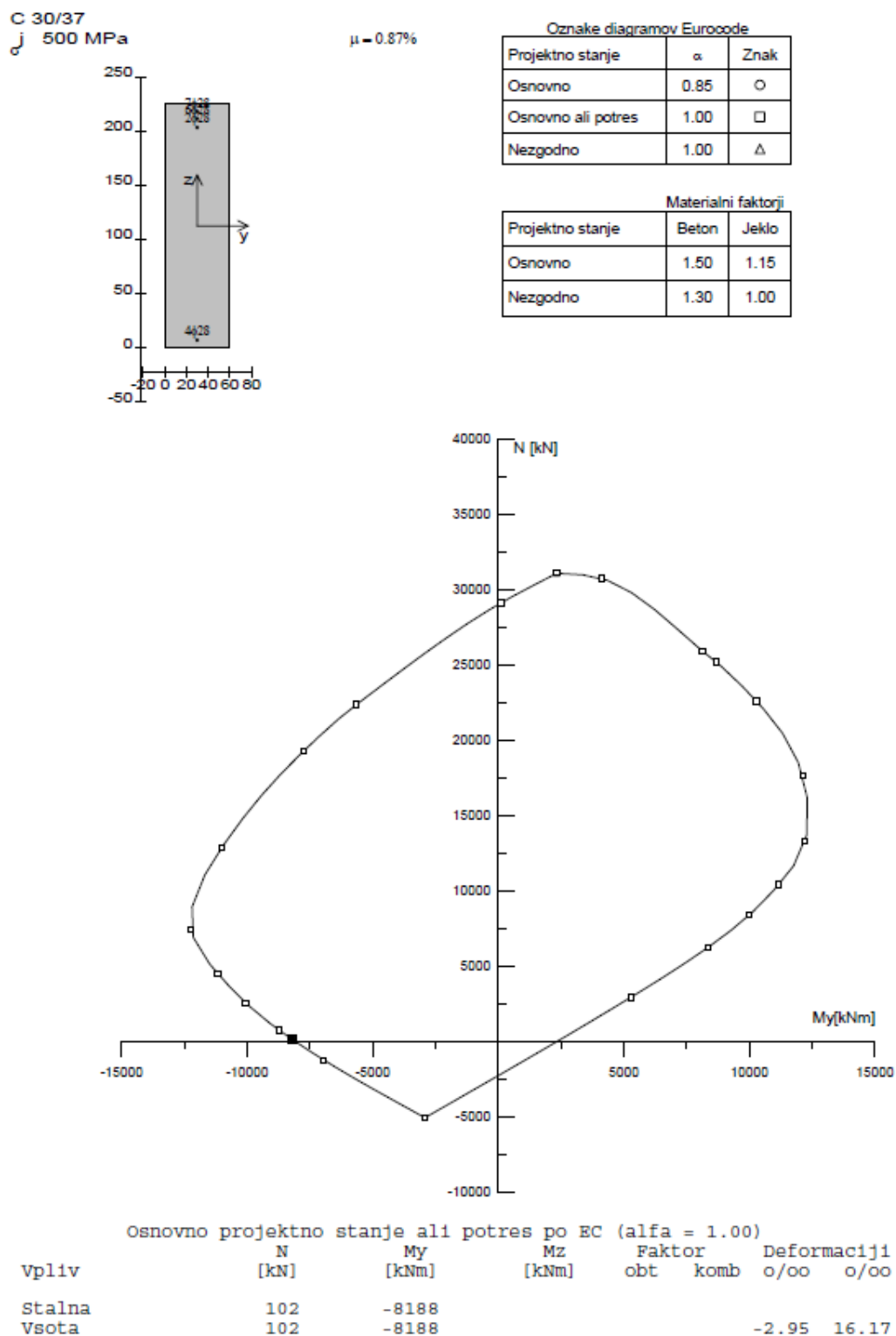
$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 213,9 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 213,9 \text{ cm}$$

$$A_{s,min} = 19,35 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 16,7 \text{ cm}^2$$



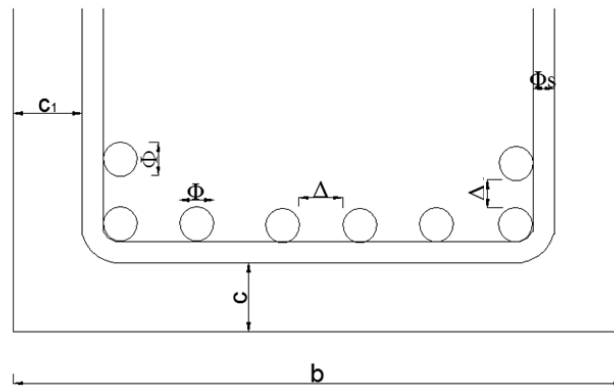
Slika 114: Razpored natezne armature pri prečnem prerezu z pasnico (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.155)

Dimenzioniranje vzdolžne armature nad podporo v DIAS-u (Izberem  $15\Phi 28$ ,  $A_{s,dej} = 92,36 \text{ cm}^2$ ):



Slika 115: Določitev upogibne armature nosilca ob podpori, v programu DIAS

Medsebojna oddaljenost palic:



Slika 116: Medsebojna razdalja palic v nosilcu (simbolična slika)

$$\Delta_{min} \geq 20 \text{ mm}$$

$$\Delta_{min} \geq \Phi = 28 \text{ mm}$$

$$\Delta_{min} \geq d_g + 5 \text{ mm} = 31,5 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 36,5 \text{ mm}$$

$$\Delta = \max(20 \text{ mm} ; 28 \text{ mm} ; 36,5 \text{ mm}) = 36,5 \text{ mm}$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot \Phi_s + \Phi \cdot n + (n-1) \cdot \Delta$$

$$\Delta = (b - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_s - \Phi \cdot n) / (n-1)$$

$$\Delta = (60 \text{ cm} - 2 \cdot 4,5 \text{ cm} - 2 \cdot 1,4 \text{ cm} - 7 \cdot 2,8 \text{ cm}) / (7-1) = 4,77 \text{ cm} \geq \Delta_{min} = 3,65 \text{ cm}$$

Palice postavimo v treh plasteh (7, 6 in 2 palici).

Dejanska statična višina:

$$d_{dej} = h - ((\sum n_i \cdot a_i) / (\sum n_i)) = 225 \text{ cm} - ((7 \cdot 7,3 \text{ cm} + 6 \cdot 14,87 \text{ cm} + 2 \cdot 22,44 \text{ cm}) / (7 + 6 + 2)) = 212,6 \text{ cm}$$

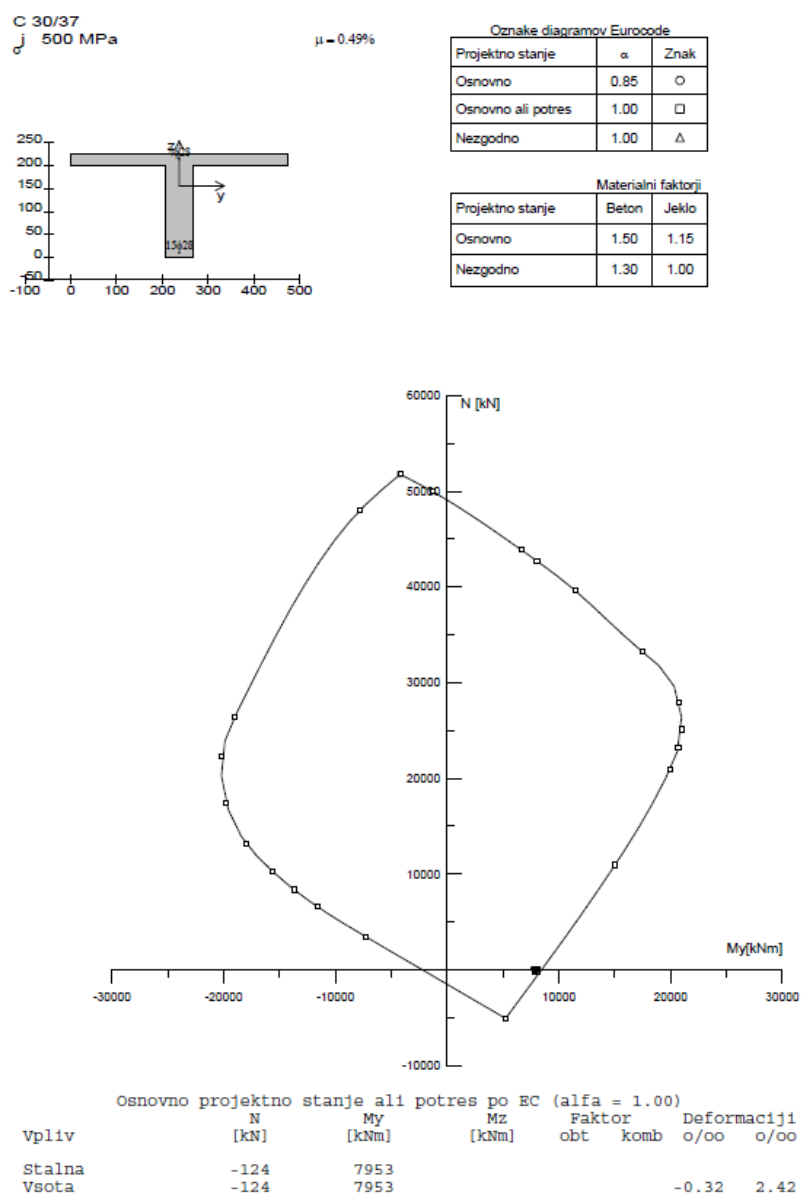
## Vzdolžna armatura v polju

Za dimenzioniranje armature v polju izberem upogibni moment v 2. polju.

$$M_{Ed} = 7953 \text{ kNm}$$

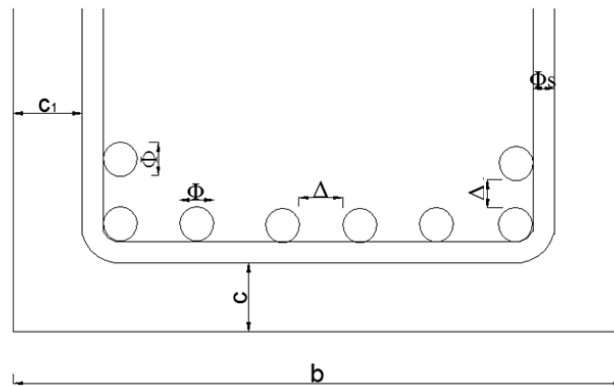
Nosilec v polju dimenzioniram kot nosilec z T-prerezom, z pripadajočo sodelujočo širino plošče.  
 $b_{eff} = 4,18 \text{ m}$  (V DIAS-u je prerez definiran kot simetričen).

Dimenzioniranje s programom DIAS: Izberem 14  $\Phi 28$  ( $A_{sdej} = 88,5 \text{ cm}^2$ )



Slika 117: Določitev upogibne armature nosilca v polju, v programu DIAS

Medsebojna oddaljenost palic:



Slika 118: Medsebojna razdalja palic v nosilcu (simbolična slika)

$$\Delta_{min} \geq 20 \text{ mm}$$

$$\Delta_{min} \geq \Phi = 28 \text{ mm}$$

$$\Delta_{min} \geq d_g + 5 \text{ mm} = 31,5 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 36,5 \text{ mm}$$

$$\Delta = \max(20 \text{ mm} ; 28 \text{ mm} ; 36,5 \text{ mm}) = 36,5 \text{ mm}$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot \Phi_s + \Phi \cdot n + (n-1) \cdot \Delta$$

$$\Delta = (b - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_s - \Phi \cdot n) / (n-1)$$

$$\Delta = (60 \text{ cm} - 2 \cdot 4,5 \text{ cm} - 2 \cdot 1,4 \text{ cm} - 7 \cdot 2,8 \text{ cm}) / (7-1) = 4,77 \text{ cm} \geq \Delta_{min} = 3,65 \text{ cm}$$

Palice postavim v dveh plasteh po 7 palic.

Dejanska statična višina:

$$d_{dej} = h - ((n_1 \cdot a_1 + n_2 \cdot a_2) / (n_1 + n_2)) = 225 \text{ cm} - ((7 \cdot 7,3 \text{ cm} + 7 \cdot 14,87 \text{ cm}) / (7 + 7)) = 213,9 \text{ cm}$$

Minimalna vzdolžna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 213,9 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 213,9 \text{ cm}$$

$$A_{s,min} = 19,35 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 16,7 \text{ cm}^2$$

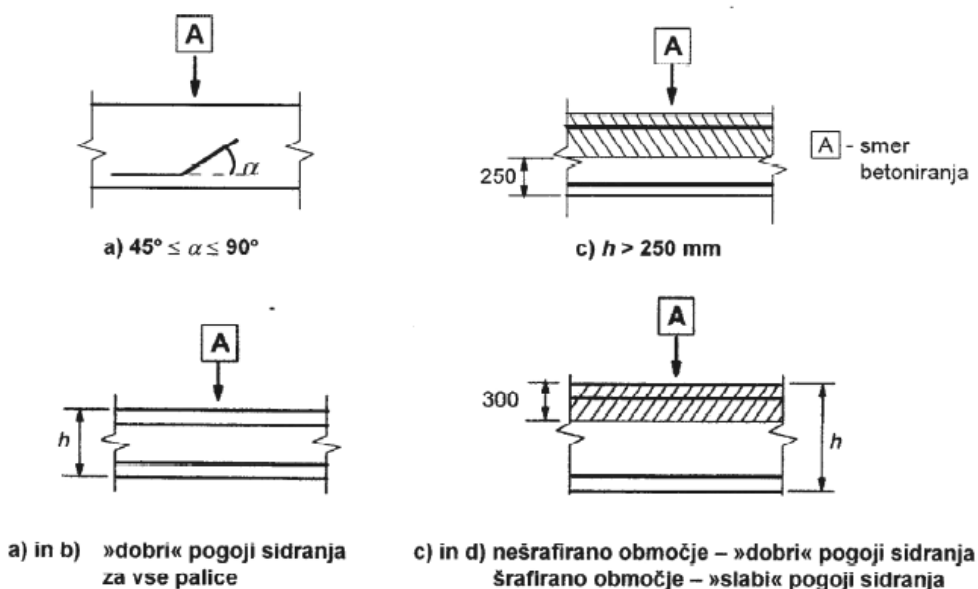
Maksimalna vzdolžna armatura:

$$A_{s,max} = 0,04 A_c$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot 22450 \text{ cm}^2 = 898 \text{ cm}^2$$

$$A_{sdej} = 88,5 \text{ cm}^2 \leq A_{s,max} = 898 \text{ cm}^2$$

### Sidrna dolžina zgornje armature ( $\Phi 28$ )



Slika 119: Opis pogojev sidranja (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.137)

Mejna sprejemnost betona:

$$f_{bd} = 2,25 \mu_1 \mu_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,133 \text{ kN/cm}^2 = 0,209 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c = 0,2 \text{ kN/cm}^2 / 1,5 = 0,133 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_1 = 0,7 \text{ za slabe pogoje sidranja}$$

$$\mu_2 = 1,0 \text{ za } \leq \Phi 32$$

Osnovna sidrna dolžina palic:

$$l_{b,req} = (\Phi/4) (\delta_{sd} / f_{bd}) = (2,8 \text{ cm} / 4) (43,5 \text{ kN/cm}^2 / 0,209 \text{ kN/cm}^2) = 145,7 \text{ cm}$$

$$\delta_{sd} = f_{yd} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

Minimalna sidrna dolžina palic:

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,req}; 10\Phi; 100\text{mm}) = 43,7 \text{ cm}$$

Projektna sidrna dolžina palic:

Koeficient  $c_d$  za ravne palice odčitam iz preglednice 8.2 (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.139), na osnovi slike 40:



Slika 120: Vrednost  $c_d$  za plošče in nosilce (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.138)

$$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3 \Phi) \Phi = 1 - 0,15 \cdot (4,5 \text{ cm} - 3 \cdot 2,8 \text{ cm}) / 2,8 \text{ cm} = 1,2 \geq 1,0$$

$$c_d = \min(a/2, c_1, c) = \min(9,6 \text{ cm}, 4,5 \text{ cm}) = 4,5 \text{ cm}$$

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1,0$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,req} = 1,0 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 145,7 \text{ cm} = 145,7 \text{ cm} \geq l_{b,min} = 43,7 \text{ cm}$$

$$\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \geq 0,7$$

Izberem  $l_{bd} = 146 \text{ cm}$

Dolžina prekrivanja:

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,req} \geq l_{0,min}$$

$$\alpha_6 = 1,0$$

$$l_{0,min} \geq \max(0,3 \alpha_6 l_{b,req}; 15\Phi; 200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} = 43,7 \text{ cm}$$

$$l_0 = 145,7 \text{ cm} \geq l_{0,min} = 43,7 \text{ cm}$$

**Sidrna dolžina spodnje armature ( $\Phi 28$ )**

Mejna sprijemnost betona

$$f_{bd} = 2,25 \mu_1 \mu_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,133 \text{ kN/cm}^2 = 0,299 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c = 0,2 \text{ kN/cm}^2 / 1,5 = 0,133 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_1 = 1,0 \text{ za dobre pogoje sidranja}$$

$$\mu_2 = 1,0 \text{ za } \leq \Phi 32$$

Osnovna sidrna dolžina palic:

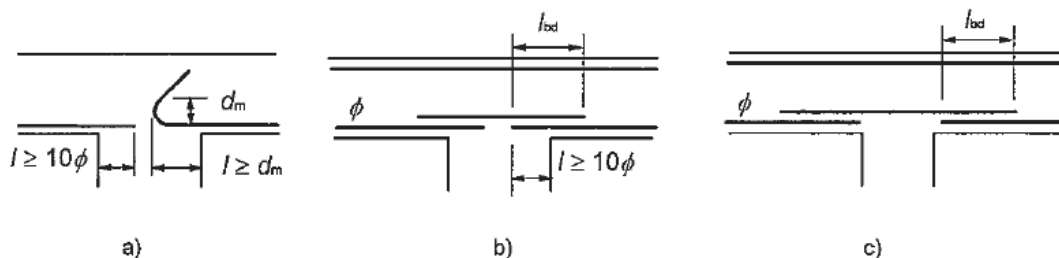
$$l_{b,req} = (\Phi/4) (\delta_{sd} / f_{bd}) = (2,8 \text{ cm} / 4) (43,5 \text{ kN/cm}^2 / 0,299 \text{ kN/cm}^2) = 101,8 \text{ cm}$$

$$\delta_{sd} = f_{yd} = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

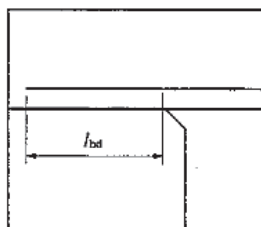


Minimalna sidrna dolžina palic:

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,req}; 10\Phi; 100\text{mm}) = 30,5 \text{ cm}$$



Slika 121: Sidranje spodnje armature nad vmesnimi podporami (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.157)



a) neposredna podpora: nosilec, podprt s steno ali stebrom

Slika 122: Sidranje spodnje armature na končnih podporah (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.156)

Projektna sidrna dolžina palic:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1,0$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,req} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 101,8 \text{ cm} = 101,8 \text{ cm} \geq l_{b,min} = 30,6 \text{ cm}$$

$$\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \geq 0,7$$

Izberem  $l_{bd} = 102 \text{ cm}$

Dolžina prekrivanja:

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,req} \geq l_{0,min}$$

$$\alpha_6 = 1,0$$

$$l_{0,min} \geq \max(0,3 \alpha_6 l_{b,req}; 15\Phi; 200 \text{ mm})$$

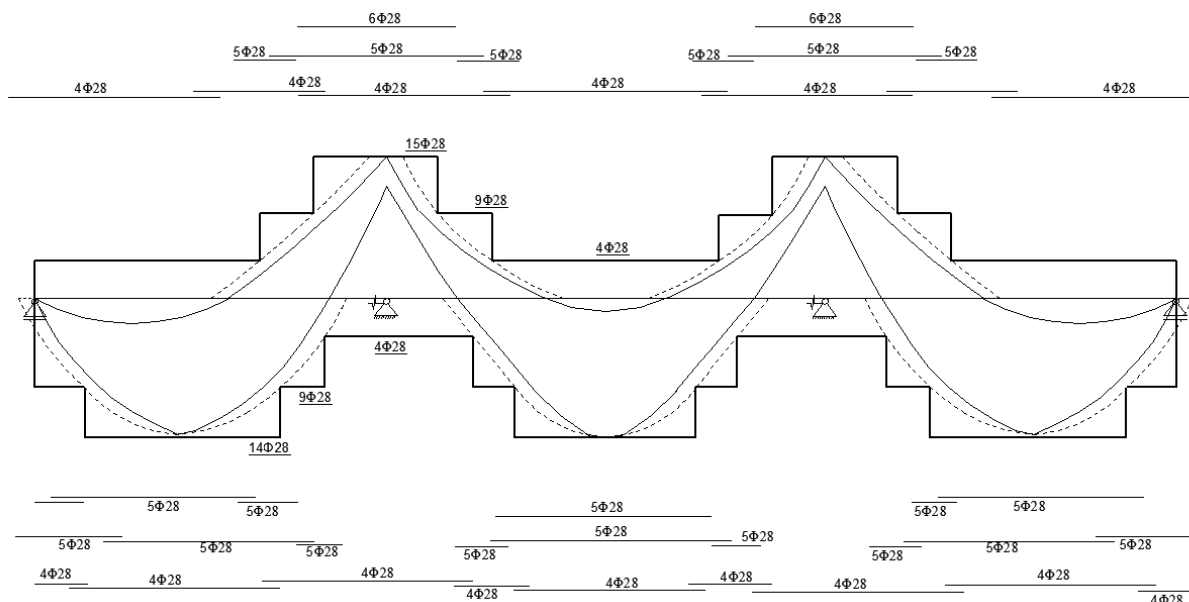
$$l_{0,min} = 42 \text{ cm}$$

$$l_0 = 101,8 \text{ cm} \geq l_{0,min} = 42 \text{ cm}$$

### Prekinjanje vzdolžne armature nosilca

Dodatna vzdolžna armatura za prevzem prečnih sil:

Premik momentne črte za vrednost  $a_l = z \cdot (\cot\theta - \cot\alpha) / 2 = 0,9 \cdot 213,9 \text{ cm} / 2 = 96,3 \text{ cm}$



Slika 123 : Prekinjanje vzdolžne armature v vzdolžnem nosilcu

### Strižna armatura

Prerezi za katere je računana strižna armatura, so prikazani na sliki 125, na strani 73.

#### Prerez A-A:

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kot tlačne diagonale)}$$

$$v_l = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck} \text{ (Mpa)}}{250} \right] = 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{rd,max} = 1/2 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 192,5 \text{ cm} \cdot 0,528 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2 = 6099 \text{ kN}$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l + \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,30 \cdot (100 \cdot 0,0013 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 600 \cdot 2139 = 315 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 315 \text{ kN} \geq 0,228 \cdot 600 \cdot 2139 = 292,6 \text{ kN}$$

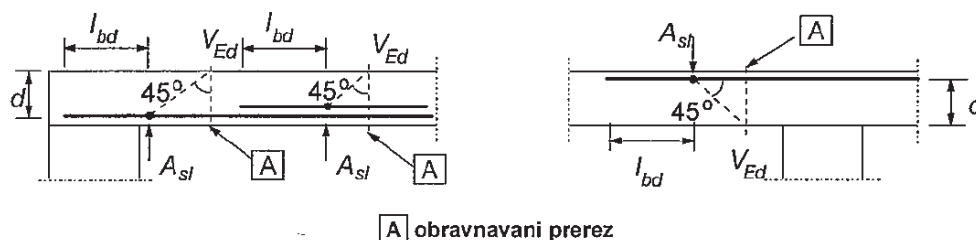
$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_l = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/2139} = 1,30 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,228$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 24,6 \text{ cm}^2 / (60 \text{ cm} \cdot 213,9 \text{ cm}) = 0,0013 \leq 0,02$$



Slika 124: Definicija  $A_{sl}$  (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.88)

Reducirana prečna sila zaradi zvezno porazdeljene obtežbe:

$$X = b_{podpore} / 2 + d = 60 \text{ cm} / 2 + 213,9 \text{ cm} = 243,9 \text{ cm}$$

Prečna sila na razdalji  $X$  od podpore:

$$V_{Ed,red} = 1143 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed,red} = 1143 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 315 \text{ kN} \text{ (Strižna armatura je potrebna)}$$

Potrebna strižna armatura:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14$ :

$$A_{sw} = n \cdot A_{swl} = 2 \cdot 1,54 \text{ cm}^2 = 3,08 \text{ cm}^2$$

Razmak med stremenji:

$$s_{potr} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{1143 \text{ kN}} \cdot 0,9 \cdot 213,9 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 22,6 \text{ cm} = 20 \text{ cm}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14 / 20 \text{ cm}$

Dejanska strižna nosilnost prereza:

$$V_{Rd,s} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{20 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 213,9 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 1290 \text{ kN} \geq V_{Ed,red} = 1143 \text{ kN}$$

**Prerez B-B:**

$$V_{Ed} = 478 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 315 \text{ kN} \text{ (Strižna armatura je potrebna)}$$

Na tem mestu uporabim minimalno strižno armaturo:

$$\rho_{w,min} = (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}$$

$$\rho_{w,min} = (0,08 \sqrt{30 \text{ MPa}}) / 500 \text{ MPa} = 0,000876$$

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \cdot \sin\alpha)$$

$$s_{max} = A_{sw} / (\rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin\alpha) = 2,26 \text{ cm}^2 / (0,000876 \cdot 60 \text{ cm}) = 43 \text{ cm}$$

### Izberem dvostrizno streme $\Phi 12 / 25 \text{ cm}$

Dejanska strižna nosilnost prereza:

$$V_{Rd,s} = \frac{2,26 \text{ cm}^2}{25 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 213,9 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 757 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 478 \text{ kN}$$

Maksimalna vzdolžna razdalja med stremeni:

$$s_{l,max} = 0,75d (1 + \cot\alpha)$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot 213,9 \text{ cm} \cdot (1 + \cot 90^\circ) = 161,4 \text{ cm} = 160 \text{ cm}$$

### **Prerez C-C:**

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\cot\theta + \tan\theta)$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kot tlačne diagonale)}$$

$$v_l = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck} \text{ (Mpa)}}{250} \right] = 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{rd,max} = 1/2 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 192,5 \text{ cm} \cdot 0,528 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2 = 6099 \text{ kN}$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l + \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,30 \cdot (100 \cdot 0,0013 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 600 \cdot 2139 = 315 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 315 \text{ kN} \geq 0,228 \cdot 600 \cdot 2139 = 292,6 \text{ kN}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_l = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/2139} = 1,30 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,228$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 24,6 \text{ cm}^2 / (60 \text{ cm} \cdot 213,9 \text{ cm}) = 0,0013 \leq 0,02$$

Prečna sila:

$$V_{Ed} = 1424 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed} = 1424 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 315 \text{ kN} \text{ (Strižna armatura je potrebna)}$$

Potrebna strižna armatura:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{y,wd} \cdot \cot\theta}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14$ :

$$A_{sw} = n \cdot A_{swl} = 2 \cdot 1,54 \text{ cm}^2 = 3,08 \text{ cm}^2$$

Razmak med stremenji:

$$s_{potr} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{1424 \text{ kN}} \cdot 0,9 \cdot 213,9 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 18,1 \text{ cm}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14 / 17,25 \text{ cm}$

Dejanska strižna nosilnost prereza:

$$V_{Rd,s} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{17,25 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 213,9 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 1495 \text{ kN} \geq V_{Ed} = 1424 \text{ kN}$$

**Prerez D-D:**

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta)$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kot tlačne diagonale)}$$

$$v_l = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck} \text{ (Mpa)}}{250} \right] = 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{rd,max} = 1/2 \cdot 60 \text{ cm} \cdot 192,5 \text{ cm} \cdot 0,528 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2 = 6098 \text{ kN}$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l + \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,31 \cdot (100 \cdot 0,007 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 600 \cdot 2126 = 553 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 553 \text{ kN} \geq 0,229 \cdot 600 \cdot 2126 = 292 \text{ kN}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_l = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/2126} = 1,31 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,229$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 92,4 \text{ cm}^2 / (60 \text{ cm} \cdot 212,6 \text{ cm}) = 0,007 \leq 0,02$$

Reducirana prečna sila zaradi zvezno porazdeljene obtežbe:

$$X = b_{podpore} / 2 + d = 60 \text{ cm} / 2 + 212,6 \text{ cm} = 242,6 \text{ cm}$$

Prečna sila na razdalji X od podpore:

$$V_{Ed,red} = 1900 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed,red} = 1900 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 553 \text{ kN} \text{ (Strižna armatura je potrebna)}$$

Potrebna strižna armatura:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{y,wd} \cdot \text{cot}\theta}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14$ :

$$A_{sw} = n \cdot A_{swl} = 2 \cdot 1,54 \text{ cm}^2 = 3,08 \text{ cm}^2$$

Razmak med stremeni:

$$s_{potr} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{1900 \text{ kN}} \cdot 0,9 \cdot 212,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 13,5 \text{ cm} = 12,5 \text{ cm}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14 / 12,5 \text{ cm}$

Dejanska strižna nosilnost prereza:

$$V_{Rd,s} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{12,5 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 212,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 2051 \text{ kN} \geq V_{Ed,red} = 1900 \text{ kN}$$

**Prerez E-E:**

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$V_{rd,max} = 6082 \text{ kN}$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

$$V_{Rd,c} = 553 \text{ kN}$$

Reducirana prečna sila zaradi zvezno porazdeljene obtežbe:

$$X = b_{podpore} / 2 + d = 60 \text{ cm} / 2 + 212,6 \text{ cm} = 243,3 \text{ cm}$$

Prečna sila na razdalji X od podpore:

$$V_{Ed,red} = 1967 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}$$

$$V_{Ed,red} = 1967 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 553 \text{ kN} \text{ (Strižna armatura je potrebna)}$$

Potrebna strižna armatura:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14$ :

$$A_{sw} = n \cdot A_{swl} = 2 \cdot 1,54 \text{ cm}^2 = 3,08 \text{ cm}^2$$

Razmak med stremeni:

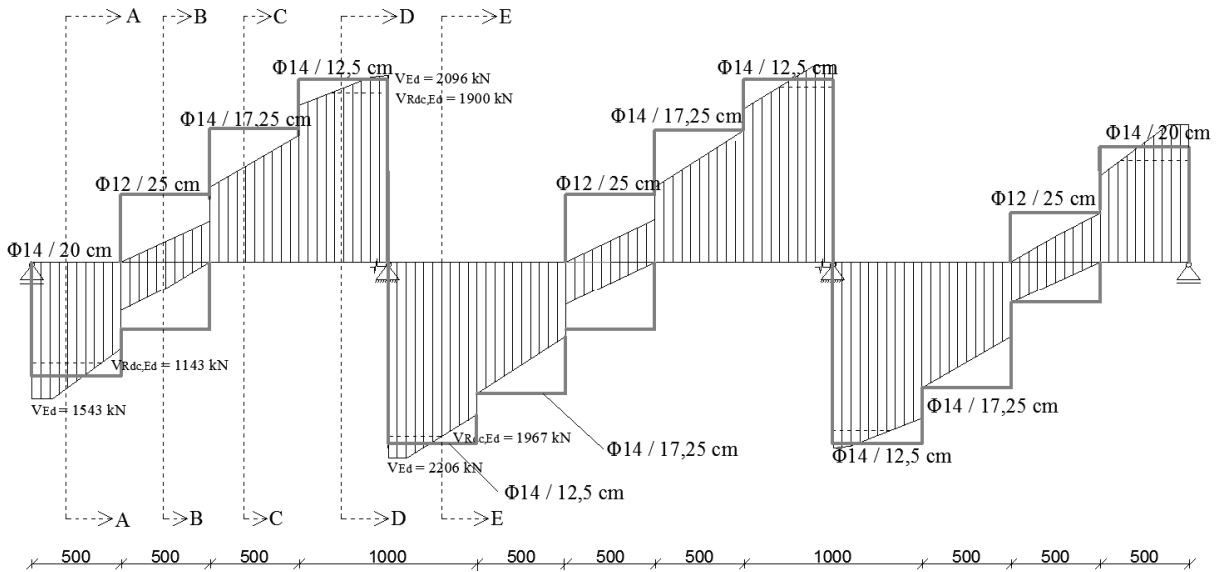
$$s_{potr} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{1967 \text{ kN}} \cdot 0,9 \cdot 212,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 13 \text{ cm} = 12,5 \text{ cm}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 14 / 12,5 \text{ cm}$

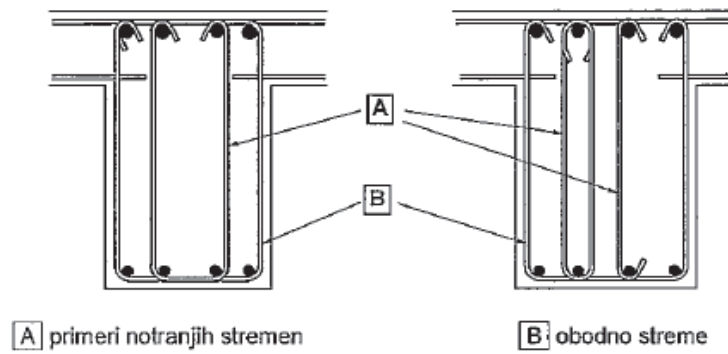
Dejanska strižna nosilnost prereza:

$$V_{Rd,s} = \frac{3,08 \text{ cm}^2}{12,5 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 212,6 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 2051 \text{ kN} \geq V_{Ed,red} = 1967 \text{ kN}$$

**Razpored strižne armature:**



Slika 125: Razpored strižne armature v nosilcu

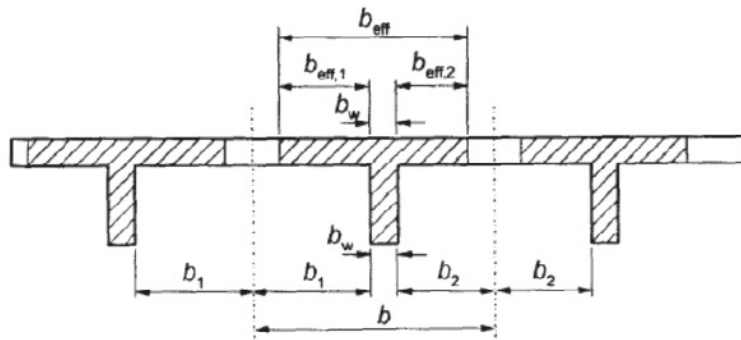


Slika 126: Primeri strižne armature (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.158)

## 6.4 Dimenzioniranje prečnika

### Sodelujoča širina

Pri prečni nosilcih upoštevamo sodelujočo širino plošče.



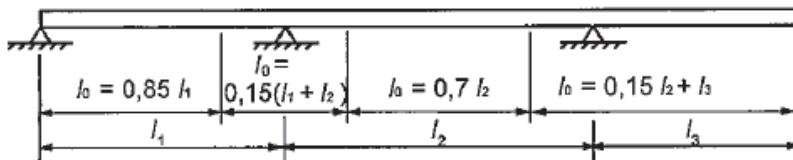
Slika 127: Parametri sodelujoče širine pasnice (SIST EN 1992-1-1: 2005, str. 60)

Upoštevamo, da je analitični model prečnega nosilca praktično model prostoležečega nosilca.

$$l_0 = l = 6,4 \text{ m} = 6,4 \text{ m}$$

$$b_{e1} = b_{e2} = 2,3 \text{ m}$$

$$b = 5,0 \text{ m}$$



Slika 128: Določitev  $l_0$  za račun sodelujoče širine pasnice (SIST EN 1992-1-1: 2005, str. 60)

$$b_{eff1} = 0,2 \cdot b_1 + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

$$b_{eff2} = 0,2 \cdot b_2 + 0,1 \cdot l_0 \leq 0,2 \cdot l_0$$

$$b_{eff} = \sum b_{effi} + b_w \leq b$$

$$b_{eff1} = 0,2 \cdot 2,3 \text{ m} + 0,1 \cdot 6,4 \text{ m} = 1,1 \text{ m} \leq 0,2 \cdot 6,4 \text{ m} = 1,28 \text{ m}$$

$$b_{eff2} = b_{eff1}$$

$$b_{eff} = 1,1 \text{ m} \cdot 2 + 0,4 \text{ m} = 2,60 \text{ m} \leq 5,0 \text{ m}$$

$$b_{eff} = 2,60 \text{ m}$$

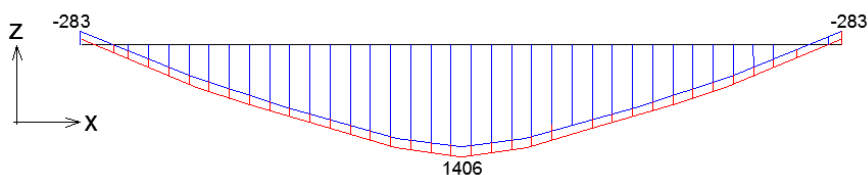


## Ovojnice notranjih sil

Za vse prereze na nosilcu je merodajna kombinacija kjer je prevladujoča vertikalna prometna obtežba grla:

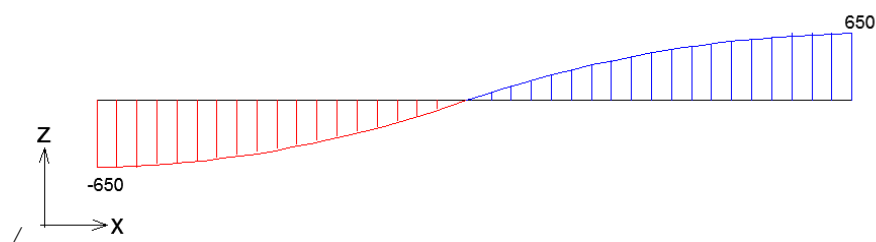
$$1,35(1,0) \cdot G + 1,35 \cdot (TS + UDL + \text{obtežba hodnika}) + 1,5 \cdot 0,6 \cdot T$$

Ovojnica upogibnih momentov  $M_y$ :



Slika 129: Ovojnica upogibnih momentov  $M_y$  za osnovno projektno stanje (kNm)

Ovojnica prečnih sil  $V_z$ :



Slika 130: Ovojnica prečnih sil  $V_z$  za osnovno projektno stanje (kN)

Minimalna vzdolžna armatura:

$$A_{s,min} = 0,26 f_{ctm} b_t d / f_{yk} \geq 0,0013 b_t d$$

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot 0,29 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 148 \text{ cm} / 50 \text{ kN/cm}^2 \geq 0,0013 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 148 \text{ cm}$$

$$A_{s,min} = 11,2 \text{ cm}^2/\text{m} \geq 7,7 \text{ cm}^2$$

Maksimalna vzdolžna armatura:

$$A_{s,max} = 0,04 A_c$$

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot 11700 \text{ cm}^2 = 468 \text{ cm}^2$$

$$A_c = b_{pasnice} \cdot h_{pasnice} + b_{stojine} \cdot h_{stojine} = 260 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm} + 40 \text{ cm} \cdot 130 \text{ cm} = 11700 \text{ cm}^2$$

## Spodnja vzdolžna armatura

Začetna statična višina  $d = 148,8$  cm

Račun potrebne vzdolžne armature z tabelami za simetrični T-prerez:

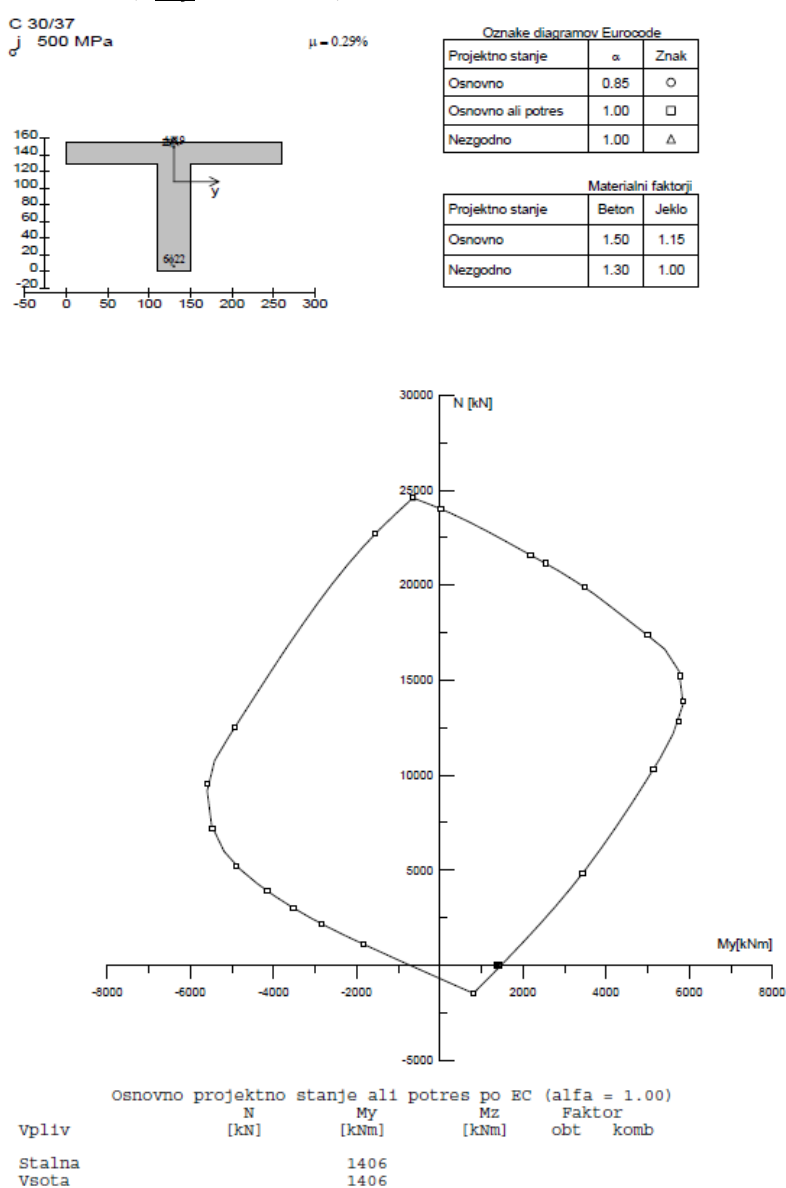
$$k_h = 140600 \text{ kNcm} / (2 \text{ kN/cm}^2 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 148,8^2 \text{ cm}) = 0,080$$

$$k_s = 1,051$$

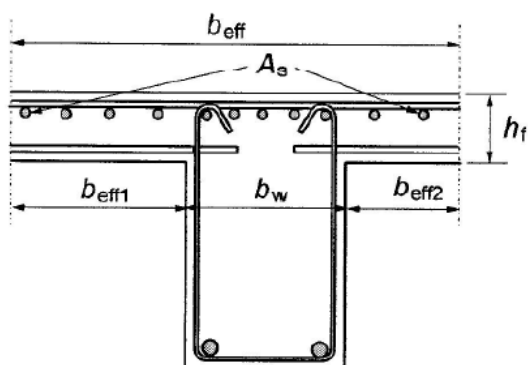
$$A_{s,potr} = 140600 \text{ kNcm} / (148,8 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2) \cdot 1,051 = 22,83 \text{ cm}^2$$

Račun potrebne upogibne armature prečnega nosilca s programom DIAS :

Izberem armaturo 6  $\Phi$  22 ( $A_{s,dej} = 22,81 \text{ cm}^2$ )

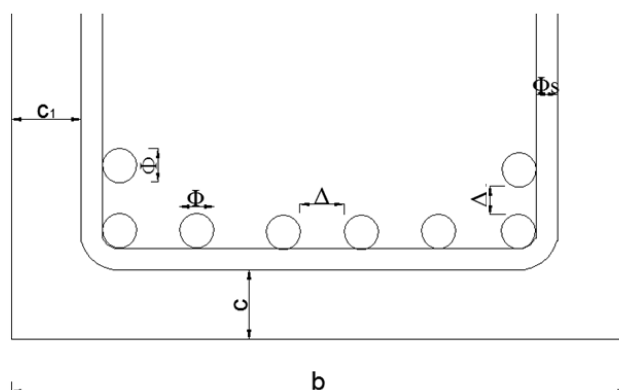


Slika 131: Določanje vzdolžne armature prečnika v programu DIAS



Slika 132: Razpored natezne armature pri prečnem prerezu z pasnico (SIST EN 1992-1-1: 2005, str.155)

Medsebojna razdalja palic:



Slika 133: Medsebojna razdalja palic v nosilcu (simbolična slika)

$$\Delta_{min} \geq 20 \text{ mm}$$

$$\Delta_{min} \geq \Phi = 22 \text{ mm}$$

$$\Delta_{min} \geq d_g + 5 \text{ mm} = 16 \text{ mm} + 5 \text{ mm} = 21 \text{ mm}$$

$$\Delta = \max(20\text{mm} ; 22 \text{ mm} ; 21 \text{ mm}) = 22\text{mm}$$

$$b = 2 \cdot c + 2 \cdot \Phi_s + \Phi \cdot n + (n-1) \cdot \Delta$$

$$\Delta = (b - 2 \cdot c - 2 \cdot \Phi_s - \Phi \cdot n) / (n-1)$$

$$\Delta = (40 \text{ cm} - 2 \cdot 4,5 \text{ cm} - 2 \cdot 1,2 \text{ cm} - 6 \cdot 2,2 \text{ cm}) / (6-1) = 3,1 \text{ cm} \geq \Delta_{min} = 2,2 \text{ cm}$$

### **Sidrna dolžina spodnje armature ( $\Phi 22$ )**

Mejna sprijemnost betona

$$f_{ctk} = 2 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 0,2 \text{ kN/cm}^2 / 1,5 = 0,133 \text{ kN/cm}^2$$

$$\mu_1 = 1,0 \text{ (dobri pogoji sidranja)}$$

$$\mu_2 = 1,0 \text{ (za } \phi \leq 32\text{mm)}$$

$$f_{bd} = 2,25 \mu_1 \mu_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,133 \text{ kN/cm}^2 = 0,299 \text{ kN/cm}^2$$

Osnovna sidrna dolžina palic:

$$l_{b,req} = (\Phi/4) (\delta_{sd} / f_{bd}) = (2,2 \text{ cm} / 4) (43,5 \text{ kN/cm}^2 / 0,299 \text{ kN/cm}^2) = 80 \text{ cm}$$

Minimalna sidrna dolžina palic:

$$l_{b,min} = \max(0,3 l_{b,req}; 10\Phi; 100\text{mm}) = 24 \text{ cm}$$

Projektna sidrna dolžina palic:

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = \alpha_4 = \alpha_5 = 1$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 l_{b,req} = 1,0 \cdot 1 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 80 \text{ cm} = 80 \text{ cm} \geq 24 \text{ cm}$$

$$\alpha_2 \alpha_3 \alpha_5 \geq 0,7$$

Izberem  $l_{bd} = 80 \text{ cm}$

Dolžina prekrivanja:

$$l_0 = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 \alpha_4 \alpha_5 \alpha_6 l_{b,req} \geq l_{0,min}$$

$$\alpha_6 = 1,0$$

$$l_{0,min} \geq \max(0,3 \alpha_6 l_{b,req}; 15 \Phi; 200 \text{ mm})$$

$$l_{0,min} \geq 33 \text{ mm}$$

$$l_0 = 80 \text{ cm} \geq l_{0,min} = 33 \text{ cm}$$

### **Strižna armatura**

Najvišja nosilnost tlačne diagonale:

$$V_{rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\text{ctg}\theta + \text{tg}\theta)$$

$$\alpha_{cw} = 1,0$$

$$\theta = 45^\circ \text{ (kot tlačne diagonale)}$$

$$v_l = 0,6 \left[ 1 - \frac{f_{ck} \text{ (Mpa)}}{250} \right] = 0,6 \left[ 1 - \frac{30}{250} \right] = 0,528$$

$$V_{rd,max} = 0,5 \cdot 40 \text{ cm} \cdot 133,9 \text{ cm} \cdot 0,528 \cdot 2 \text{ kN/cm}^2 = 2828 \text{ kN}$$

Projektna vrednost strižne odpornosti:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l + \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \geq (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot 1,37 \cdot (100 \cdot 0,004 \cdot 30)^{1/3}] \cdot 400 \cdot 1488 = 224 \text{ kN}$$

$$V_{Rd,c} = 224 \text{ kN} \geq 0,236 \cdot 400 \cdot 1488 = 140,5 \text{ kN}$$

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,18 / 1,5 = 0,12$$

$$k_l = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{200/d} = 1 + \sqrt{200/1488} = 1,37 \leq 2,0$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,236$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 22,81 \text{ cm}^2 / (40 \text{ cm} \cdot 148,8 \text{ cm}) = 0,004 \leq 0,02$$

Reducirana prečna sila zaradi zvezno porazdeljene obtežbe:

$$X = b_{podpore} / 2 + d = 60 \text{ cm} / 2 + 148,2 \text{ cm} = 178,2 \text{ cm}$$

Prečna sila pri razdalji  $X$  od podpore:

$$V_{Ed,red} = 450 \text{ kN}$$

Strižna nosilnost prereza:

$$V_{Ed,red} = 450 \text{ kN} \leq V_{rd,max}$$

$$V_{Ed,red} = 450 \text{ kN} \geq V_{Rd,c} = 233 \text{ kN} \text{ (Strižna armatura je potrebna)}$$

Potrebna strižna armatura:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed}}{z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta}$$

Izberem 2-strižno streme  $\Phi 12$ :

$$A_{sw} = n \cdot A_{swl} = 2 \cdot 1,13 \text{ cm}^2 = 2,26 \text{ cm}^2$$

Razmak med stremenj

$$s_{potr} = \frac{A_{sw}}{V_{Ed}} \cdot z \cdot f_{ywd} = \frac{2,26 \text{ cm}^2}{450 \text{ kN}} \cdot 0,9 \cdot 148,8 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 29,3 \text{ cm}$$

Izberem 2 strižno streme  $\Phi 12 / 25 \text{ cm}$

Dejanska strižna nosilnost prereza:

$$V_{Rd,s} = \frac{2,26 \text{ cm}^2}{25 \text{ cm}} \cdot 0,9 \cdot 148,8 \text{ cm} \cdot 43,5 \text{ kN/cm}^2 = 526,6 \text{ kN} \geq V_{Ed,red} = 450 \text{ kN}$$

Minimalna strižna armatura:

$$\rho_{w,min} = (0,08 \sqrt{f_{ck}}) / f_{yk}$$

$$\rho_{w,min} = (0,08 \sqrt{30 \text{ MPa}}) / 500 \text{ MPa} = 0,000876$$

$$\rho_w = A_{sw} / (s \cdot b_w \sin \alpha)$$

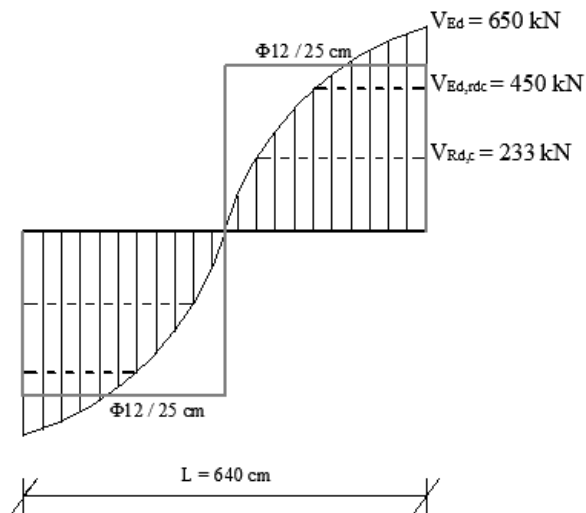
$$s_{max} = A_{sw} / (\rho_{w,min} \cdot b_w) = 3,08 \text{ cm}^2 / (0,000876 \cdot 40 \text{ cm}) = 88 \text{ cm}$$

Maksimalna vzdolžna razdalja med stremeni:

$$s_{l,max} = 0,75d (1 + \cot\alpha)$$

$$s_{l,max} = 0,75 \cdot 148,8 \text{ cm} \cdot (1 + \cot 90^\circ) = 111,2 \text{ cm}$$

**Razpored strižne armature:**



Slika 134: Razpored strižne armature v prečnem nosilcu

## 7 PRIMERJAVA KOLIČINE ARMATURE PO EVROKODU IN V ORIGINALNEM PROJEKTU

V tem poglavju primerjamo količine potrebne armature po standardih Evrokod in predhodnih predpisih. V preglednicah 14, 15 in 16 so primerjane samo količine potrebne upogibne armature.

V originalnem projektu, ki je bil izdelan v sedemdesetih letih dvajsetega stoletja, so elementi dimenzionirani po metodi dopustnih napetosti, uporabljena pa sta jeklena armatura GA240 in beton MB300. Obtežba, ki je upoštevana po takratnih predpisih, je precej manjša. Obtežbo, ki je upoštevana v originalnem projektu, sestavlja merodajno vozilo brez zvezno porazdeljene obtežbe.

*Preglednica 14: Primerjava potrebne količine upogibne armature v osrednjem polju plošče*

Upogibna armatura v plošči	Predhodni predpisi		Evrokod
	S 240	Preračunano v S500	S500
x smer	10,6 cm <sup>2</sup> /m	5,09 cm <sup>2</sup> /m	15,85 cm <sup>2</sup> /m
y smer	4,68 cm <sup>2</sup> /m	2,24 cm <sup>2</sup> /m	12,5 cm <sup>2</sup> /m
Nad prečnim nosilcem	6,95 cm <sup>2</sup> /m	3,33 cm <sup>2</sup> /m	10,14 cm <sup>2</sup> /m
Nad vzdolžnim nosilcem	10,24 cm <sup>2</sup> /m <sup>6</sup>	4,92 cm <sup>2</sup> /m	6,1 cm <sup>2</sup> /m

Vpliv obtežbe na ploščo je bil v originalnem projektu analiziran z Bittnerjevimi tabelami za izračun notranjih sil. Danes z uporabo MKE-programov v elementih konstrukcije dobimo drugačne notranje sile. Lega prometne obtežbe je bila določena na osnovi "peš" izdelanih Bittnerjevih vplivnic za plošče. Merodajno vozilo za notranje sile v plošči je bil kamion s težo 300 kN, kar je precej manj kot obtežba po standardu EN 1991-2. Za rezultate je poleg velikosti obtežbe pomembna tudi oblika obtežbe, ki deluje na ploščo.

Razlog za večjo količino potrebne upogibne armature je tudi v drugačnem sistemu dimenzioniranja po standardih EN 1992-1-1 in EN 1992-1-2 ter varnostnih faktorjih. Med drugim so tudi današnje minimalne zahteve po armaturi drugačne.

*Preglednica 15: Primerjava potrebne količine upogibne armature v vzdolžnem nosilcu*

Upogibna armatura v nosilcu	Predhodni predpisi		Evrokod
	S 240	Preračunano v S500	S500
v polju	125 cm <sup>2</sup>	60 cm <sup>2</sup>	88,5 cm <sup>2</sup>
ob podpori	168 cm <sup>2</sup>	80,6 cm <sup>2</sup>	92,4 cm <sup>2</sup>

V originalnem projektu je obtežba na vzdolžni nosilec določena z "Angerjevimi tabelami". Za obremenitev je bilo merodajno vozilo z težo 600 kN.

*Preglednica 16: Primerjava potrebne količine upogibne armature v prečnem nosilcu*

Upogibna armatura prečniku	Predhodni predpisi		Evrokod
	S 240	Preračunano v S500	S500
Vmesni prečni nosilec	27,4 cm <sup>2</sup>	13,15 cm <sup>2</sup>	22,8 cm <sup>2</sup>

## 8 ZAKLJUČEK

V okviru diplomske naloge sem se ukvarjal z analizo in dimenzioniranjem armiranobetonske prekladne konstrukcije grednega mostu. Upošteval sem zasnovo konstrukcije iz originalnega projekta. Analiza konstrukcije je bila narejena z MKE-programom SAP2000 na več različnih modelih. Izdelani so bili modeli, ki se razlikujejo glede na zasnovo oziroma glede na način izdelave. Nekateri modeli, kot sta linijski in osnovni prostorski model, so primerni za poenostavljeno analizo konstrukcije. Osnovni prostorski model ima vse elemente konstrukcije z enakim težiščem, modela s spuščeni gredami pa imata težišča elementov na različnih višinah. Modela, ki imata spuščene nosilce (modela 1 in 2), sta skoraj enaka, razlikujeta se le v načinu izdelave. V diplomski nalogi je bil narejen statični račun prekladne konstrukcije, in to brez podporne konstrukcije. Originalni projekt je izdelan po predpisih iz sedemdesetih let prejšnjega stoletja. Prekladna konstrukcija je dimenzionirana v skladu s standardi Evrokod, upoštevano pa je le mejno stanje nosilnosti. Pri tem je upoštevano osnovno projektno stanje, brez izrednih obtežnih stanj in potresnega stanja. Na koncu diplomske naloge sem potrebno količino armature primerjal z originalnim projektom.

Za analizo konstrukcije je bil uporabljen model 1, ki je pokazal ustrezne statične količine za linijske elemente in na plošči. Ostali modeli so služili za kontrolo in primerjavo rezultatov. Z analiziranjem prekladne konstrukcije v programu SAP2000 sem ugotovil, da se pri zasnovi ležišč iz originalnega projekta v prekladni konstrukciji ob delovanju temperaturnih sprememb ustvarijo velike osne napetosti. Zasnovo ležišč sem spremenil, tako, da sem na krajnih opornikih omogočil relativni pomik konstrukcije. Ugotovil sem, da so upogibni momenti na plošči odvisni tudi od vrste in oblike obtežbe. Pri zasnovi konstrukcije sem spremenil uporabljen material ter uporabil beton C30/37 in jekleno armaturo kakovosti S500. Uporabljena beton in jeklo imata višje trdnostne karakteristike kot tiste v originalnem projektu. Pri analizi obtežbe po EC-standardih sem dobil na linijskih elementih za 40–60 % večje obremenitve, pri plošči pa so te razlike precej večje. Razlike v potrebni upogibni armaturi plošče se gibljejo v mejah 20–80 %. Razlike v upogibni armaturi nosilca so manjše in se gibljejo v mejah 15–30 %. Tudi potrebe po razdelilni in strižni armaturi so danes večje. Razlogi za večjo armaturo so velikost in oblika obtežbe, sistem dimenzioniranja in način analize konstrukcije. Ugotovil sem, da se količine potrebne upogibne in strižne armature povečata, kljub temu pa dimenzij konstrukcije ni treba spremeniti.



## VIRI

Rogač, R., Saje, F., Lozej, M. 1989. Priročnik za dimenzioniranje armiranobetonskih konstrukcij po metodi mejnih stanj. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 361 str.

Hahn, J. 1970. Durchlaufträger, Rahmen, Platten und Balken auf elastischer Bettung, Werner-Verlag

Neobjavljeni viri:

Rogač, R. 1967. Armiranobetonski gredni most, UL FAGG: loč. pag.

Čančar, T. 2013. Računalniško projektiranje konstrukcij, predavanja prof. dr. Tatjana Isaković v š. l. 2012/13: loč. pag.

Čančar, T. 2013. Masivni mostovi, vaje doc. dr. Sebastjan Bratina v š. l. 2012/13: loč. pag.

Čančar, T. 2013. Masivni mostovi, predavanja izr. prof. dr. Jože Lopatič v š. l. 2012/13: loč. pag.

Čančar, T. 2012. Osnove masivnih konstrukcij, predavanja Prof. dr. Matej Fischinger v š. l. 2011/12: loč. pag.

Standardi:

SIST EN 1990. Evrokod: Osnove projektiranja konstrukcij: september 2004

EN 1991-1-5. Eurocode 1: Actions on structures - part 1-5: General actions - Thermal actions: maj 2003

EN 1991-2. Eurocode 1: Actions on structures - part 2: Traffic loads on bridges; september 2003

SIST EN 1992-1-1. Evrokod 2. Projektiranje betonskih konstrukcij - 1-1. Del: Splošna pravila in pravila za stavbe: maj 2005

SIST EN 1992-1-2. Evrokod 2. Projektiranje betonskih konstrukcij - 2. Del: Betonski mostovi - Projektiranje in pravila za konstruiranje: december 2005

Računalniški programi:

Computers and Structures, Inc. 2009. SAP2000: računalniški program za analizo in dimenzioniranje konstrukcijskih sistemov po metodi končnih elementov. Berkeley, CSI.

Fischinger, M., Isaković, T., Marolt, V., Sočan, S. 1990. DIAS: računalniški program za dimenzioniranje in analizo armiranobetonskih elementov. Ljubljana, UL FGG.

Autodesk, Inc. 2010. AutoCAD: programski paket za računalniško podprto konstruiranje. California

Google Sketch Up 8: računalniški program za 3D modeliranje

## **SEZNAM PRILOG**

PRILOGA A.1: Armaturni načrt plošče

PRILOGA B.1: Armaturni načrt vzdolžnega nosilca

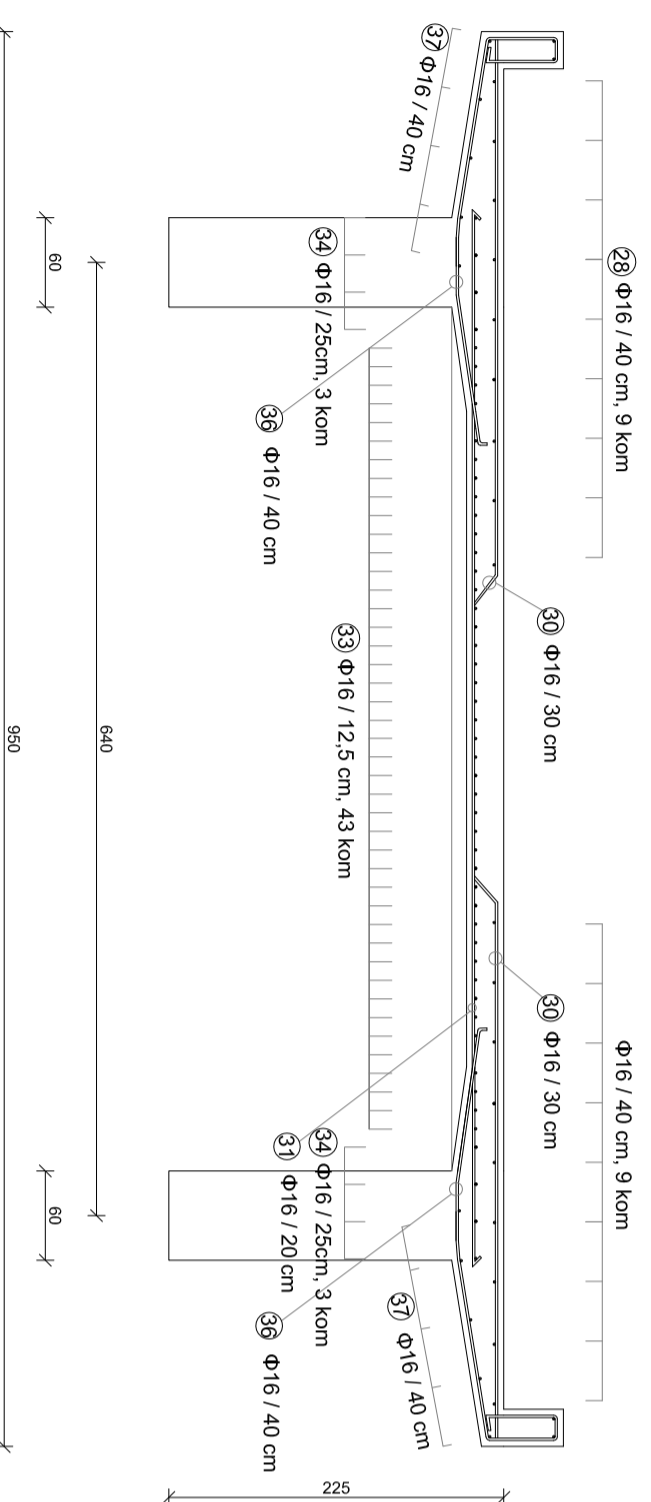
PRILOGA C.1: Armaturni načrt prečnega nosilca

PRILOGA D.1: Prerezi mostu in podporna konstrukcija mostu

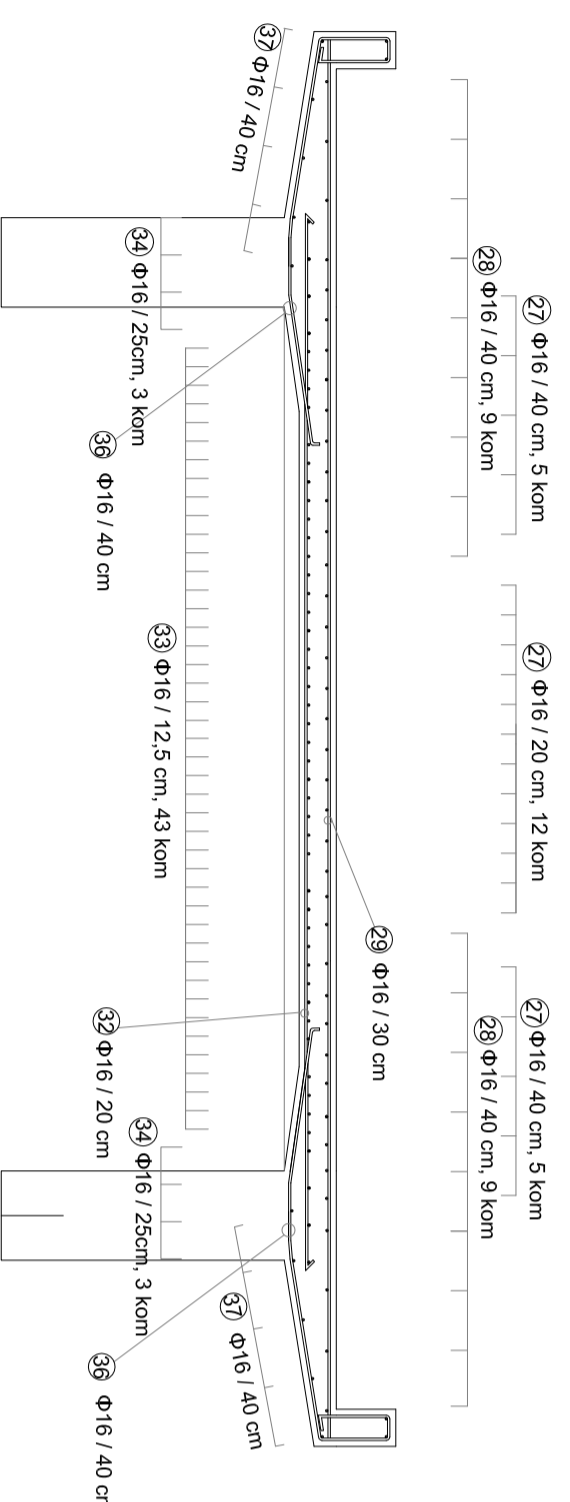
PRILOGA E.1: Izvlečki armature

# Armaturni načrt plošče M 1:50

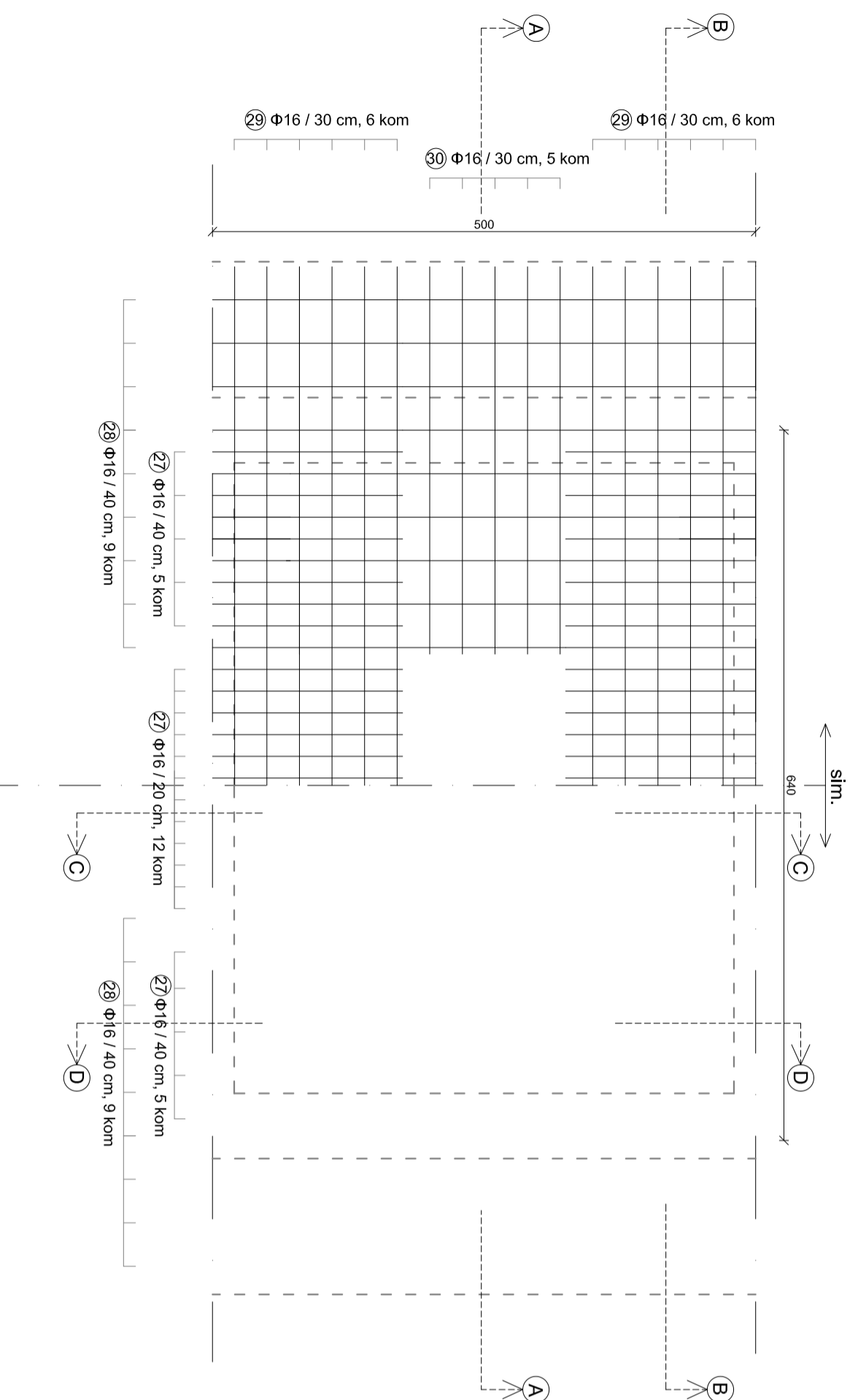
## Prerez A-A



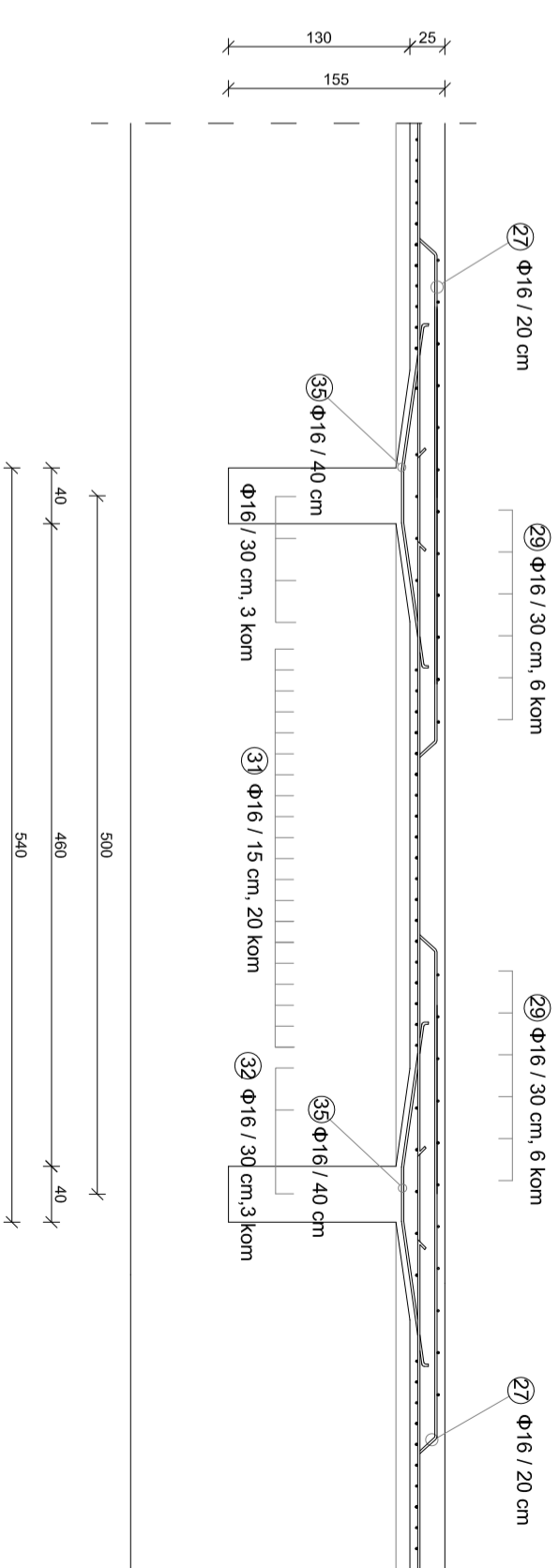
## Prerez B-B



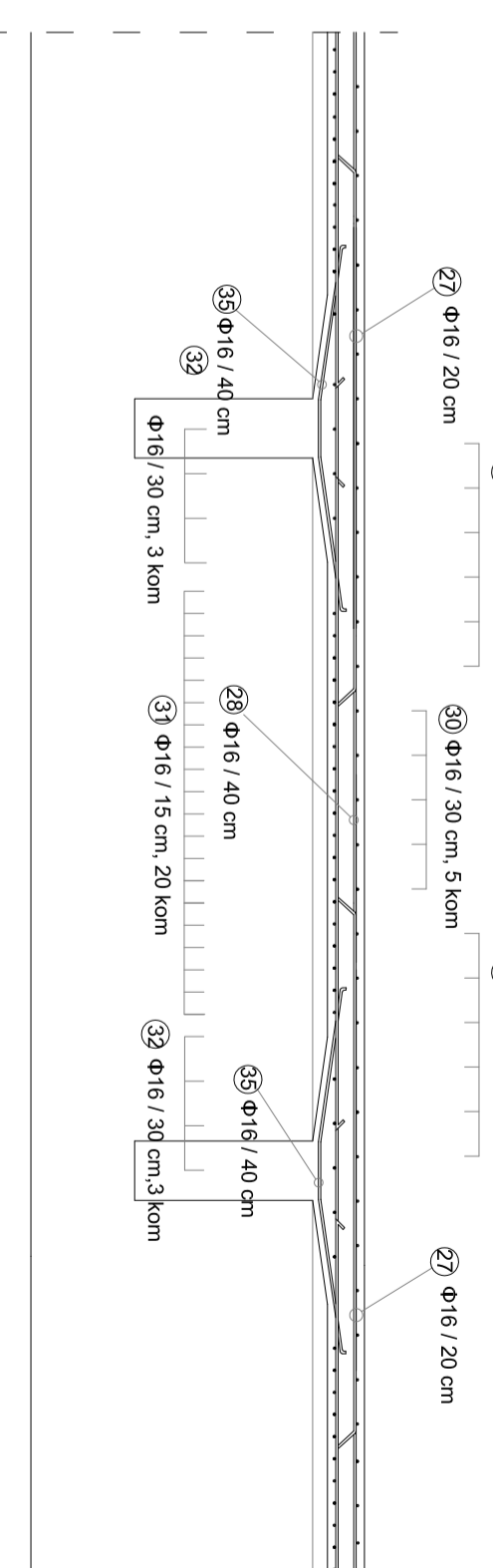
## Tloris polja plošče - zgornja armatura



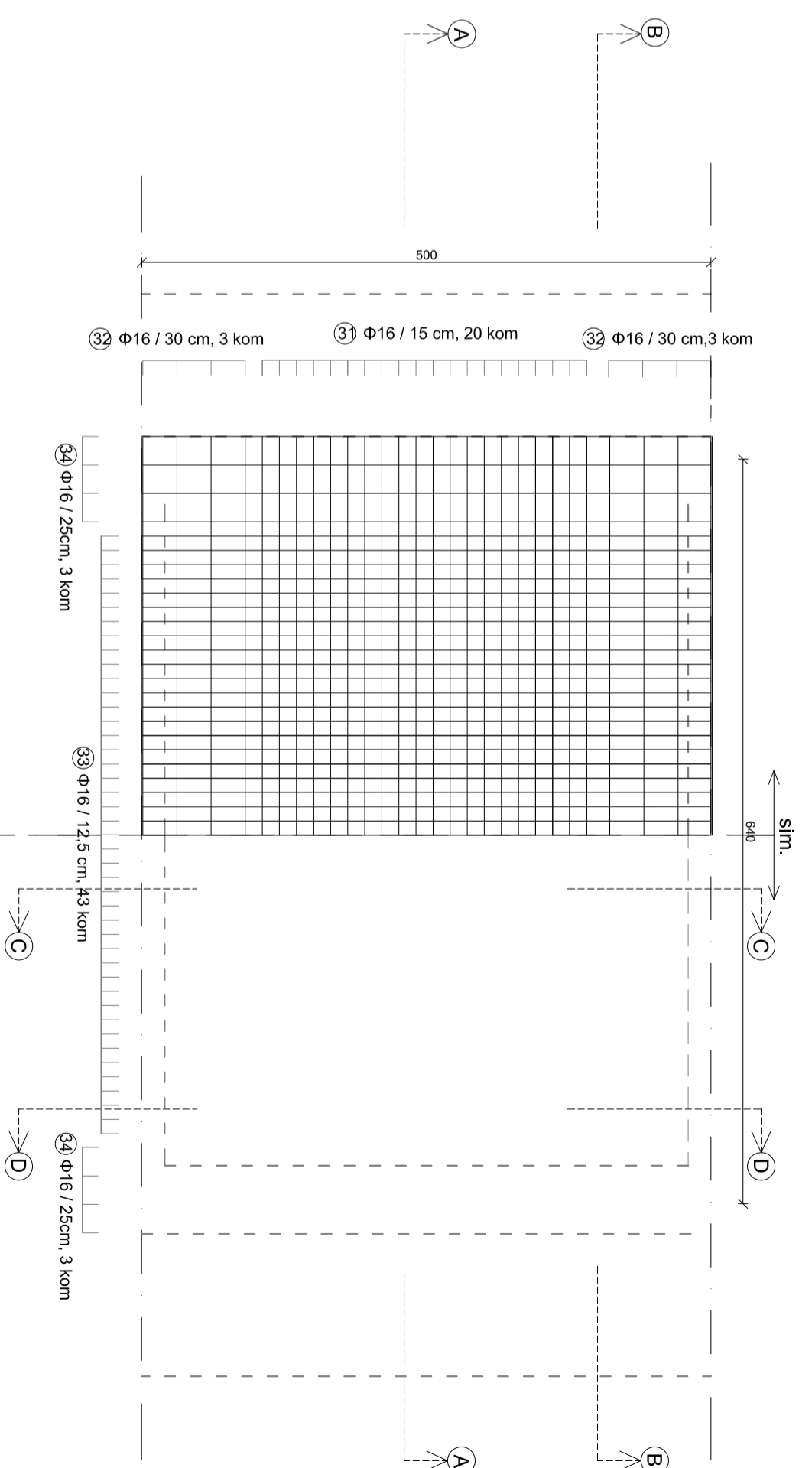
## Prerez C-C



## Prerez D-D



## Tloris polja plošče - spodnja armatura



Način: digitalna tiskanja

Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi

Vidiki: notranje

Armaturni načrt polja plošče na sredini razpona (beton C30/37, jeklo S500, krovna plast betona 4 cm)

Projektant: Prof. dr. Tatjana Isaković

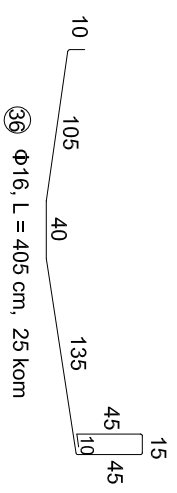
Skala: M 1:50

Datum: 15.8.2013

Ime: Toni Čančar

Št. list: A.1. : 1.list

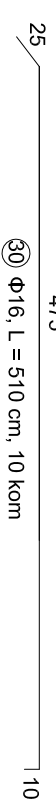
UL FGG Ljubljana



650

28  $\Phi$  16, L = 650 cm, 18 kom

475



1000

37  $\Phi$  16, L = 1000 cm, 14 kom

955

29  $\Phi$  16, L = 955 cm, 12 kom

700

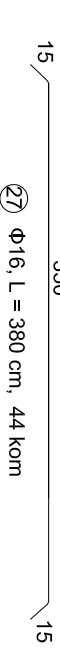
31  $\Phi$  20, L = 700 cm, 14 kom

700

32  $\Phi$  16, L = 700 cm, 6 kom



350



33  $\Phi$  16 / 30 cm, 43 kom

650

34  $\Phi$  16 / 30 cm, 6 kom

650

Naslov diplomske naloge:

Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi

Mentor:

Prof. dr. Tatjana Isaković

Avtor:

Toni Čančar

UL FGG Ljubljana

Vsebina nacrta:

Armaturni načrt plošče na sredini razpona (beton C30/37, jeklo S500, krovna plast betona 4 cm)

Merilo:

M 1:50

Datum:

15.8.2013

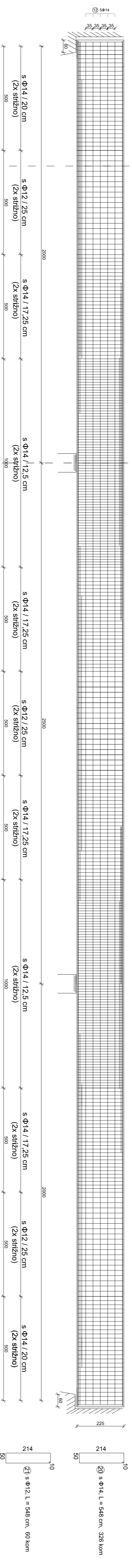
Št. lista:

Priloga A.1 - 2. list

Armature palice - zgornja armatura:

① Ø28, L = 400 cm, 4 kom	② Ø28, L = 645 cm, 4 kom	③ Ø28, L = 570 cm, 4 kom	④ Ø28, L = 540 cm, 4 kom	⑤ Ø28, L = 645 cm, 4 kom
400	645	570	540	645
⑥ Ø28, L = 570 cm, 4 kom	⑦ Ø28, L = 540 cm, 4 kom	⑧ Ø28, L = 570 cm, 4 kom	⑨ Ø28, L = 570 cm, 4 kom	⑩ Ø28, L = 400 cm, 4 kom
570	540	570	570	400
⑪ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	⑫ Ø28, L = 320 cm, 5 kom	⑬ Ø28, L = 900 cm, 6 kom	⑭ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	⑮ Ø28, L = 356 cm, 5 kom
356	320	900	356	356
⑯ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	⑰ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	⑱ Ø28, L = 900 cm, 6 kom	⑲ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	⑳ Ø28, L = 356 cm, 5 kom
356	356	900	356	356
⑳ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	㉑ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	㉒ Ø28, L = 900 cm, 6 kom	㉓ Ø28, L = 356 cm, 5 kom	㉔ Ø28, L = 356 cm, 5 kom
356	356	900	356	356

Vzdolžni nosilec - armaturni načrt M:1:100



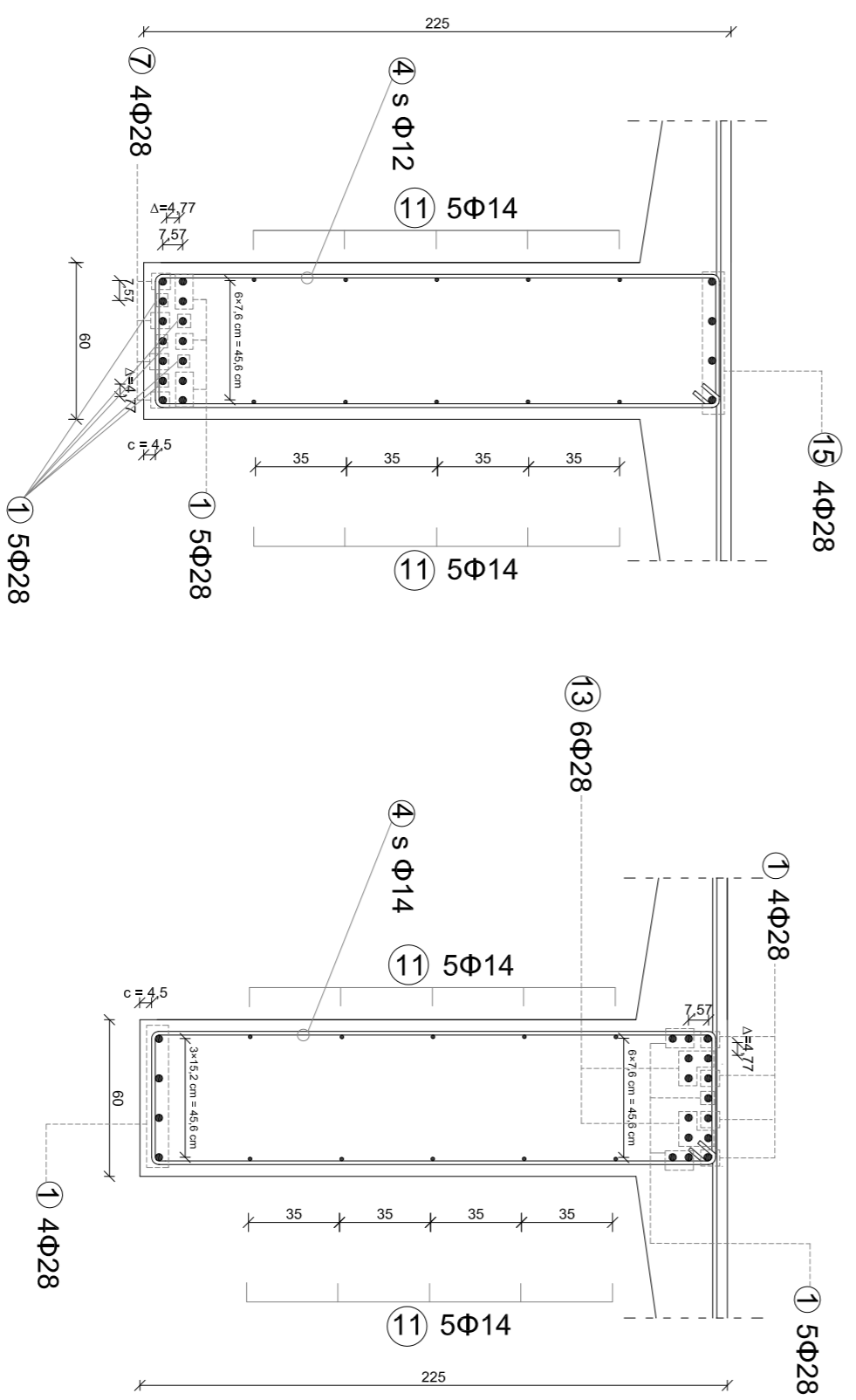
Armaturne palice - spodnja armatura:

① Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	② Ø28, L = 220 cm, 5 kom	③ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	④ Ø28, L = 220 cm, 5 kom	⑤ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom
1200	220	1200	220	1200
⑥ Ø28, L = 591 cm, 5 kom	⑦ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	⑧ Ø28, L = 308 cm, 5 kom	⑨ Ø28, L = 308 cm, 5 kom	⑩ Ø28, L = 591 cm, 5 kom
494	1200	308	308	494
⑪ Ø28, L = 355 cm, 4 kom	⑫ Ø28, L = 1100 cm, 4 kom	⑬ Ø28, L = 1200 cm, 4 kom	⑭ Ø28, L = 355 cm, 4 kom	⑮ Ø28, L = 355 cm, 4 kom
278	1100	1200	278	278
⑯ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	⑰ Ø28, L = 220 cm, 5 kom	⑱ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	⑲ Ø28, L = 220 cm, 5 kom	㉑ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom
1200	220	1200	220	1200
② Ø28, L = 220 cm, 5 kom	③ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	④ Ø28, L = 308 cm, 5 kom	⑤ Ø28, L = 308 cm, 5 kom	⑥ Ø28, L = 591 cm, 5 kom
220	1200	308	308	494
⑦ Ø28, L = 1100 cm, 4 kom	⑧ Ø28, L = 591 cm, 5 kom	⑨ Ø28, L = 1200 cm, 4 kom	⑩ Ø28, L = 410 cm, 4 kom	⑪ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom
1100	591	1200	410	1165
⑫ Ø28, L = 1200 cm, 4 kom	⑬ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom	⑭ Ø28, L = 410 cm, 4 kom	⑮ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom	⑯ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom
1200	1165	410	1165	1165
⑰ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	⑱ Ø28, L = 308 cm, 5 kom	⑲ Ø28, L = 410 cm, 4 kom	㉑ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom	㉒ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom
1200	308	410	1165	1165
⑳ Ø28, L = 1200 cm, 5 kom	㉑ Ø28, L = 308 cm, 5 kom	㉒ Ø28, L = 410 cm, 4 kom	㉓ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom	㉔ Ø28, L = 1165 cm, 4 kom
1200	308	410	1165	1165

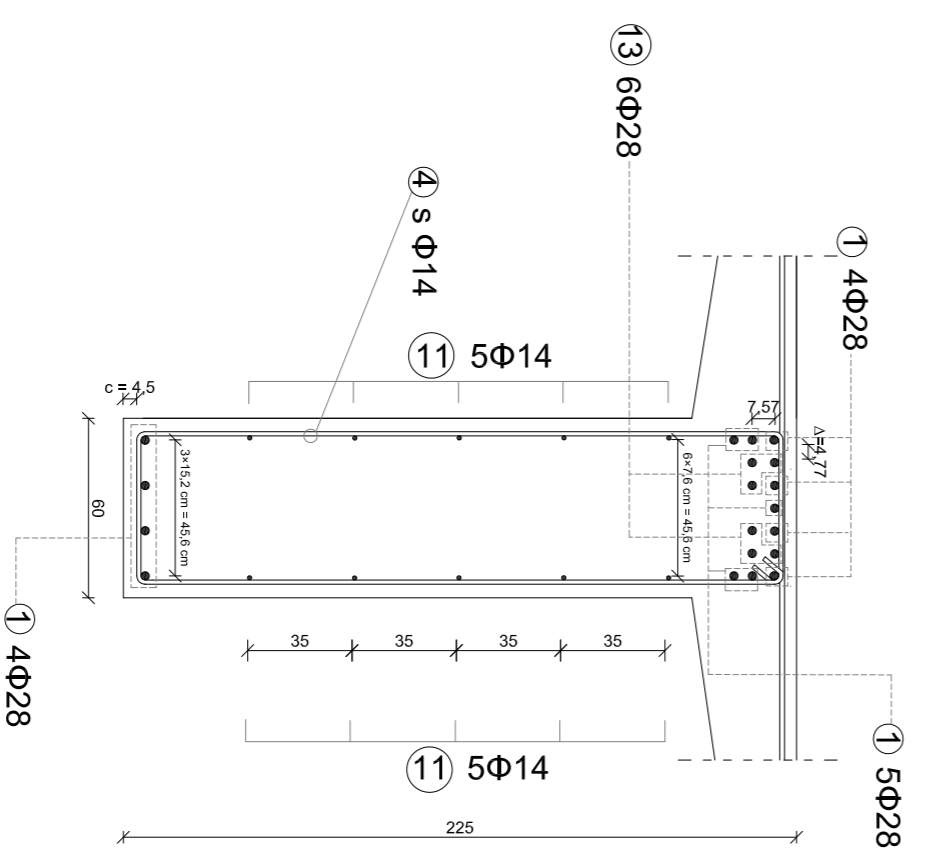
Armaturne palice - bočna armatura:

① Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	② Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	③ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	④ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑤ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom
1200	1200	1200	1200	1200
⑥ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑦ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑧ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑨ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑩ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom
1200	1200	1200	1200	1200
⑪ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑫ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑬ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑭ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑮ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom
1200	1200	1200	1200	1200
⑯ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑰ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑱ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	⑲ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	㉑ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom
1200	1200	1200	1200	1200
㉒ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	㉓ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	㉔ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	㉕ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom	㉖ Ø14, L = 1200 cm, 10 kom
1200	1200	1200	1200	1200

Prežez A-A, M:1:25



Prežez B-B, M:1:25



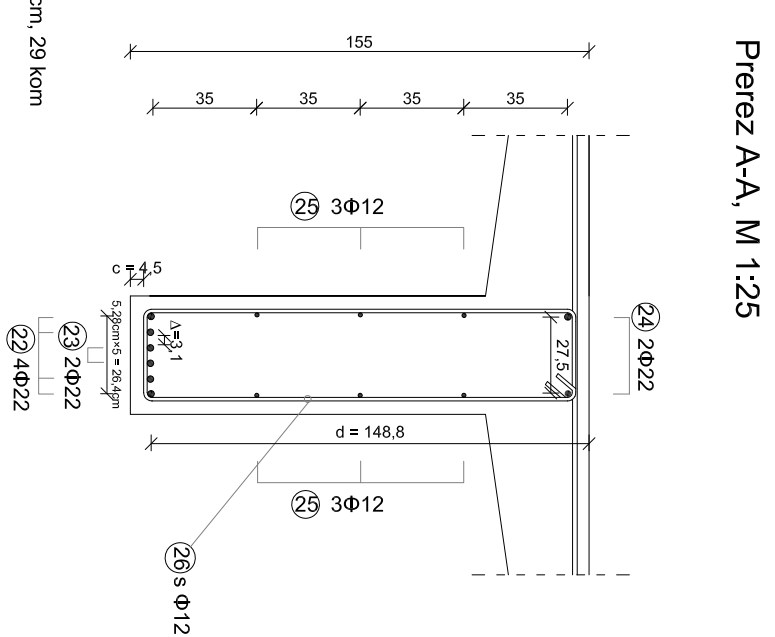
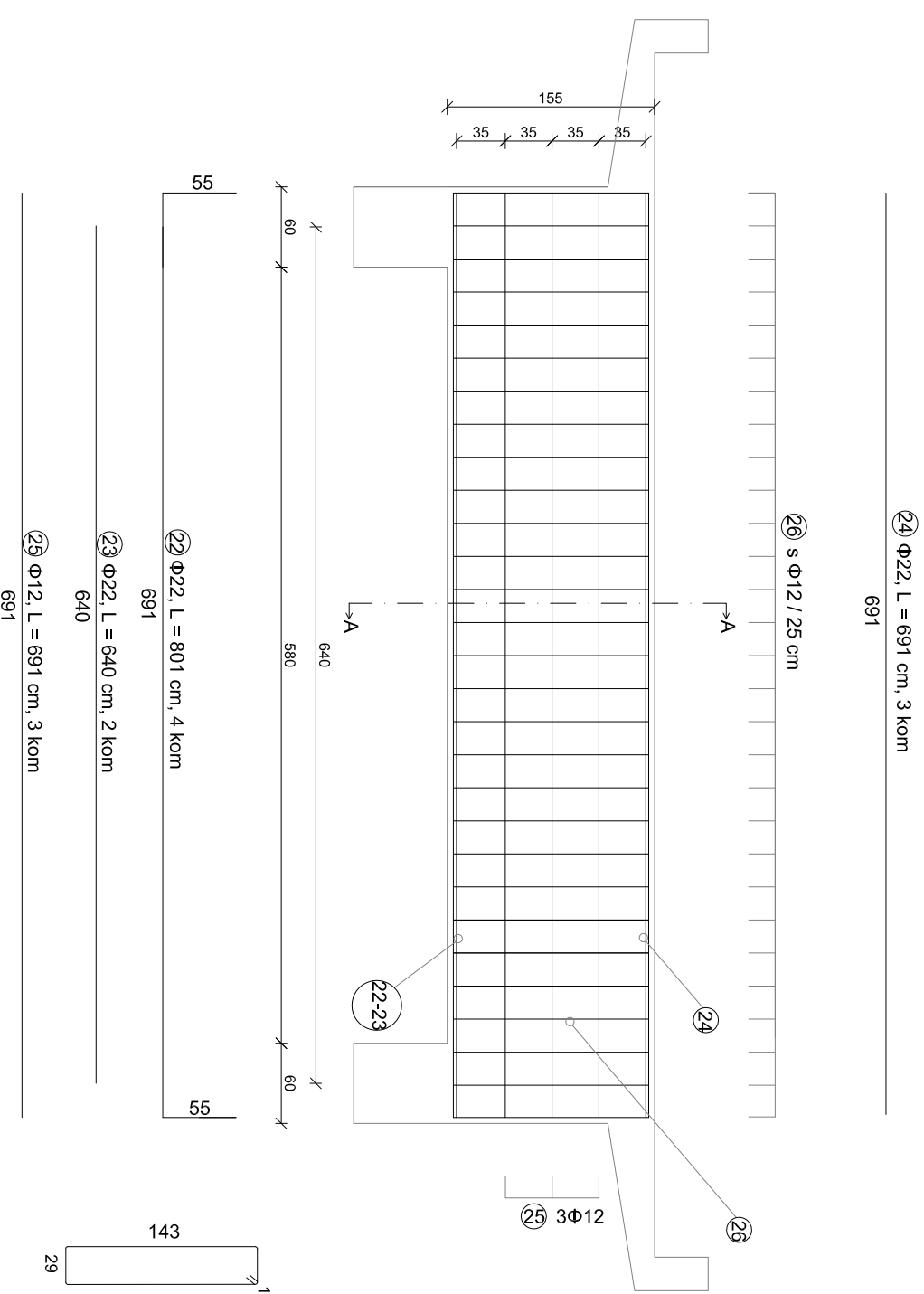
Način odčitavanja:   
 Pregledanje predložitve konstrukcije armaturno-betonskega gradiva   
 mosu v skladu z EVROKOD standardi

Prof. dr. Tajana Isaković   
 Tomi Čančar

M:1:100 in M:1:25   
 15.8.2013

Ul. FGG Ljubljana   
 Pihloga B. I

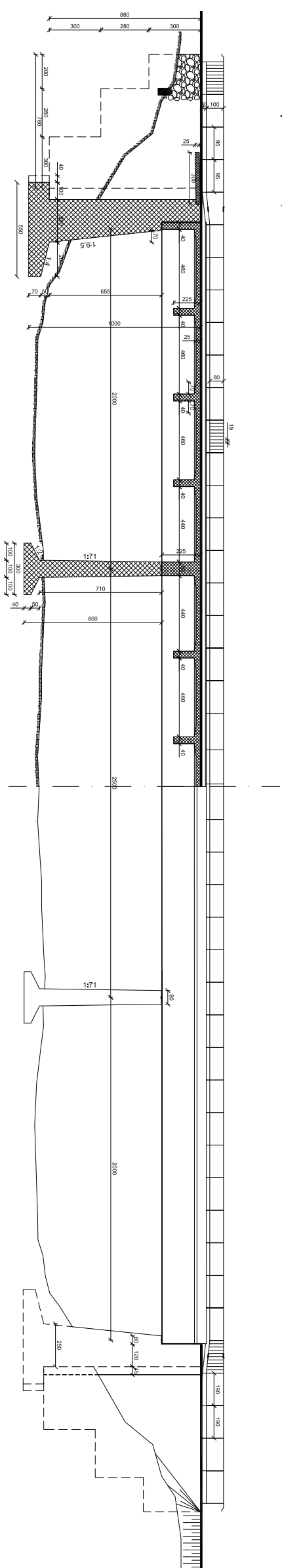
# Prečni nosilec- armaturni načrt M 1:50



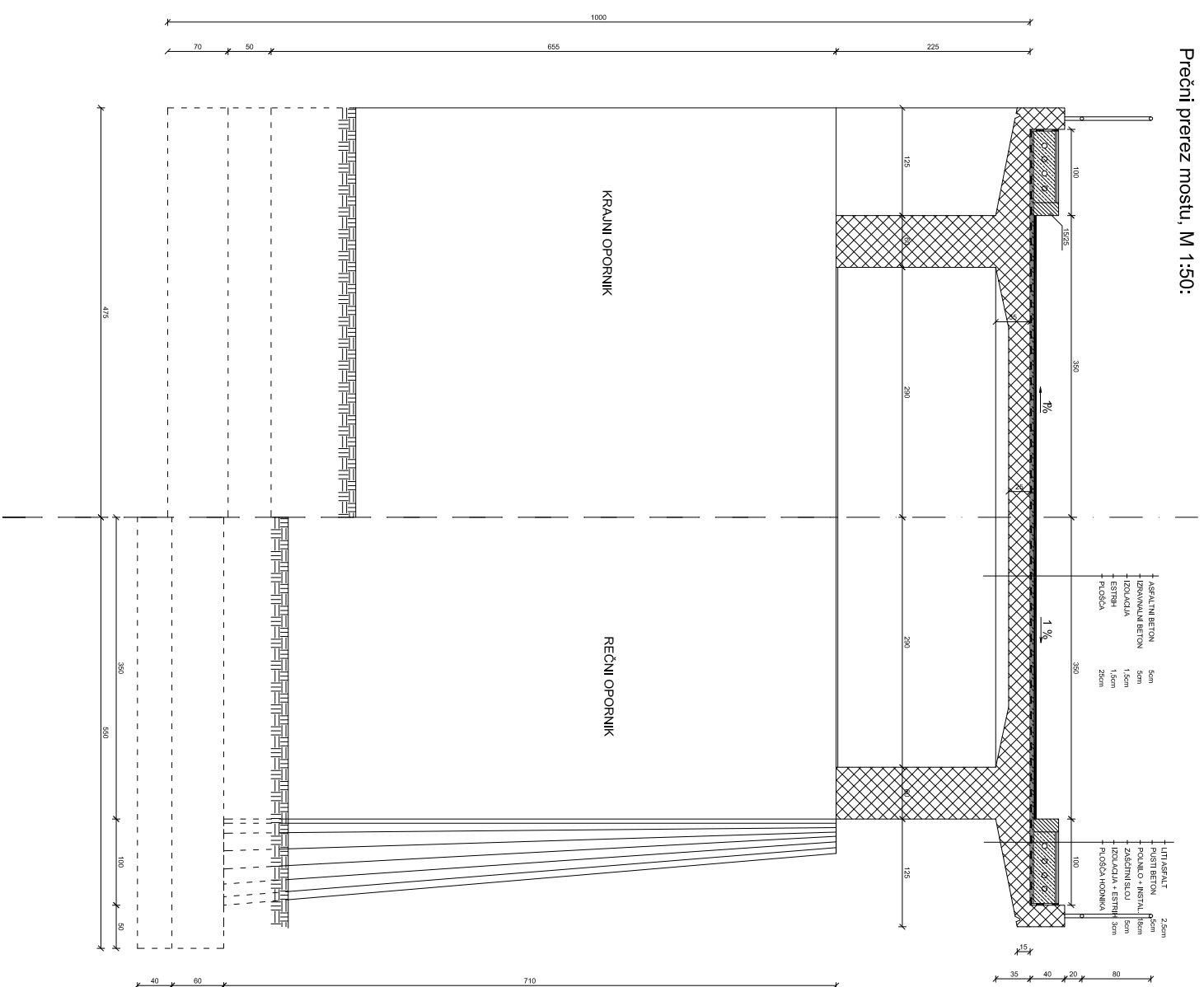
Naslov diplomske naloge:	Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi	
Mentor:	Prof. dr. Tatjana Isaković	
Avtor:	Toni Čančar	
Vsebina načrta:	Armaturni načrt prečnega nosilca (beton C30/37, jeklo S500, krovna plast betona 4,5 cm)	Datum:

UL FGG Ljubljana	Priloga C.1
M 1:50 in M 1:25	
15.8.2013	

Vzdolžni prerez mostu, M 1:200:



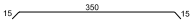

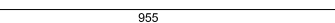
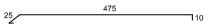

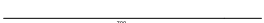



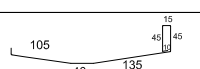

Prečni prerez mostu, M 1:50:



Naslovni list		Varnostni list	
Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi			
Mentor:	Prof. dr. Tatjana Isaković	Skizma:	M 1:100 in M 1:50
Avtor:	Toni Čančar	Datum:	15.8.2013
UL FGG Ljubljana		Priloga D.1	



Izveček armature za polje plošče na sredini razpona:

POZ	Φ (mm)	Število	Oblika	Dolžina (cm)	Teža (kg)	ΣTeža (kg)
27	16	44		380	6	264
28	16	18		650	10,3	185
29	16	12		955	15,1	181,1
30	16	10		510	8,1	80,1
31	16	20		700	11	220
32	16	6		700	11	66
33	16	43		600	9,5	408
34	16	6		600	9,5	57
35	16	32		270	4,3	136,5
36	16	25		405	6,4	160
37	16	14		1000	15,8	221,2
						Σ= 1978 kg

Naslov diplomske naloge:

Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi

Vsebina načrta:

Izveček armature - segment plošče na sredini razpona ( jeklo S500)

Mentor:

**Prof. dr. Tatjana Isaković**

Merilo:

Datum:

**15.8.2013**

Avtor:

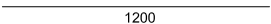
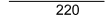
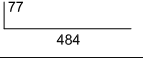
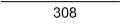
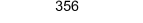
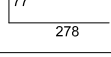
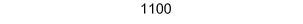
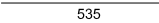
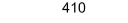
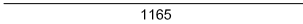
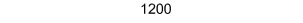
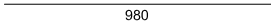

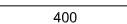
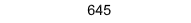
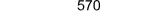
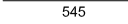
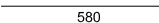
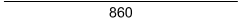


**Toni Čančar**

Št. lista:

**Priloga E.1 - 1. list**

**UL FGG Ljubljana**

Izveček armature za vzdolžni nosilec:

POZ	Φ (mm)	Število	Oblika	Dolžina (cm)	Teža (kg)	ΣTeža (kg)
1	28	58		1200	58	3364
2	28	10		220	10,6	106
3	28	10		561	27,1	271
4	28	10		308	14,9	149
5	28	30		356	17,2	516
6	28	8		355	17,2	138
7	28	8		1100	53,1	425
8	28	4		535	28,8	115
9	28	4		410	19,8	79
10	28	4		1165	56,3	225
11	14	50		1200	14,5	725
12	14	10		980	11,9	119
13	28	12		900	43,5	522
14	28	8		400	19,3	154
15	28	8		645	31,1	249
16	28	8		570	27,5	220
17	28	8		545	26,3	210
18	28	4		580	28	112
19	28	4		860	41,5	166
20	14	326		548	6,63	2161
21	12	60		548	4,9	294
						Σ= 10320 kg

Naslov diplomske naloge:

Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi

Vsebina načrta:

Izveček armature - vzdolžni nosilec ( jeklo S500)

Mentor:

**Prof. dr. Tatjana Isaković**

Merilo:

Datum:

**15.8.2013**

Avtor:

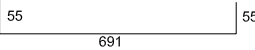
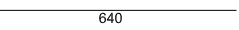
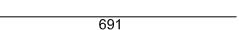
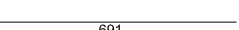

**Toni Čančar**

Št. lista:

**Priloga E.1 - 2. list**

**UL FGG Ljubljana**

Izvleček armature za tipični prečni nosilec:

POZ	$\Phi$ (mm)	Število	Oblika	Dolžina (cm)	Teža (kg)	$\Sigma$ Teža (kg)
22	22	4		801	23,9	95,6
23	22	2		640	19,1	38,1
24	22	2		691	20,6	41,2
25	12	6		691	6,14	36,8
26	12	29		364	3,23	93,7
						$\Sigma = 305,4$ kg

Naslov diplomske naloge:

Projektiranje prekladne konstrukcije armiranobetonskega grednega mostu v skladu z EVROKOD standardi

Vsebina načrta:

Izvleček armature - prečni nosilec ( jeklo S500)

Mentor:

**Prof. dr. Tatjana Isaković**

Merilo:

Datum:

**15.8.2013**

Avtor:

**Toni Čančar**

Št. lista:

**UL FGG Ljubljana**

**Priloga E.1 - 3. list**