

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

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



Visokošolski program Gradbeništvo,  
diferencialni 3.1 po VŠ-VSS

Kandidat:

**Ivo Jereb**

# **Podporne konstrukcije za premostitvene objekte**

**Diplomska naloga št.: 285**

**Mentor:**  
prof. dr. Darko Beg

**Somentor:**  
Primož Može

Ljubljana, 28. 6. 2007

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisani **IVO JEREB** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: >

**PODPORNE KONSTRUKCIJE ZA PREMOSTITVENE OBJEKTE** <.

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL,  
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 18.06.2007

## **IZJAVE O PREGLEDU DIPLOME**

## **BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>006(4):624</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Ivo Jereb</b>
<b>Mentor:</b>	<b>prof. dr. Darko Beg</b>
<b>Somentor:</b>	<b>Primož Može, univ.dipl.inž.grad.</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Podporne konstrukcije za premostitvene objekte</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>76 str., 5 pregl., 24 sl., 15 diag.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Evropski standard, dimenzioniranje, nosilni odri, geometrijska nepopolnost</b>

### **Izveček**

V diplomski nalogi je obravnavana globalna analiza in dimenzioniranje podporne konstrukcije ob upoštevanju evropskega standarda EN 12812 in evrokod standardizacije.

V prvem delu je opisan standard SIST EN 12812. V tem standardu so podane lastnosti in zahteve za projektante, ki projektirajo nosilne odre in jim podajajo vse potrebne zahteve za doseganje tega standarda. Standard opisuje različne projektne razrede. To omogoča projektantu, da izbere med bolj ali manj zahtevno metodo, istočasno pa mora doseči enako raven varnosti konstrukcije.

V drugem delu je opisana zasnova podporne konstrukcije za premostitveni objekt. Pridobljeni so osnovni podatki za dopustne in mejne obtežbe, ki jih mora nosilec prenesti.

V tretjem, oziroma zadnjem sklopu pa je prikazan izračun notranjih statičnih količin z računalniškim programom SCIA ESA PT in dimenzioniranje osnovnih elementov. Poseben poudarek je namenjen povezju za horizontalno stabilizacijo nosilcev. V izračunu je bila izvedena primerjava med linearno in nelinearno analizo, po teoriji drugega reda z upoštevanjem začetne geometrijske nepopolnosti.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 006(4):624  
**Author:** Ivo Jereb  
**Supervisor:** prof.dr. Darko Beg  
**Co Supervisor:** Primož Može, univ.dipl.inž.grad.  
**Title:** Supporting structures for bridging  
**Notes:** 76 p., 5 tab., 24 fig., 15 diag.  
**Key words:** European standard, dimensional, falsework, imperfections

### **Abstract**

In my diploma I am to discuss the global analysis and dimensional structural support whilst taking into consideration the European Standard EN 12812 and the Eurocode for standardisation.

The standard SIST EN 12812 is described in the first section. This standard gives the properties and performance requirements for designers who design falseworks and presents all the requirements necessary in order to achieve this standard. The standard describes various design classes which allows the designer to choose between more or less complex methods, but at the same time, achieving the same level of structural safety.

The second section describes the design of falsework for bridging structures.

Preliminary data for permissible and load bearing capacity, which the support must carry, has been acquired.

The third and respectively, final section, shows a calculation of the internal static quantity with the SCIA ESA PT computer software programme and the dimensional fundamental elements.

Particular emphasis is given to the diagonal and vertical system for the horizontal stabilisation of the falsework. The calculation carries out a comparison between the linear and non-linear analysis with regard to the second order theory whilst taking into account the initial imperfections.

## **ZAHVALA**

**Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Darku Begu in somentorju Primožu Možetu univ.dipl,inž.grad.**

**Posebej se zahvaljujem svoji ženi, mojima otrokoma ter staršema, ki so me ves čas študija razumeli in me podpirali.**

**Nenazadnje se zahvaljujem tudi družbi ZIL inženiring d.d. v kateri sem zaposlen, ki mi je študij tudi finančno omogočila.**

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>Uvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Opis Slovenskega standarda SIST EN 12812</b>	<b>5</b>
2.1	Področje uporabe standarda	5
2.2	Normativi	6
2.3	Pogoji in definicije	6
2.4	Projektni razredi	6
2.5	Materiali	7
2.6	Povzetek	7
2.7	Projektne zahteve	7
2.8	Obtežbe na nosilne odre	10
2.9	Načrt gradbenih konstrukcij	12
2.9.1	Tehnična dokumentacija	12
2.9.2	Konstrukcijska zasnova	12
2.9.3	Mejni pogoji za geometrijsko nepopolnost	15
2.9.4	Račun notranjih sil	21
2.9.5	Karakteristične vrednosti, odpornost, trenje	27
<b>3</b>	<b>Opis objekta za katerega smo izdelali podporni oder</b>	<b>29</b>
3.1	Splošni podatki	29
3.2	Namen in vrsta objekta	29
3.3	Normalni profil na objektu	29
3.4	Opis nosilne konstrukcije in detajlov	29
3.5	Materiali	30
3.6	Tehnologija gradnje	30
3.7	Prečni prerez objekta	30
<b>4</b>	<b>Tehnično poročilo</b>	<b>31</b>
4.1	Splošno	31
4.2	Obtežbe	31
4.3	Materiali	31
4.4	Račun notranjih sil	31
4.5	Protikorozijska zaščita	32
4.6	Izdelava, montaža in uporaba	32

<b>5</b>	<b>Povzetek osnovnih karakteristik</b>	<b>33</b>
5.1	Lastnosti nosilca	33
5.2	Določitev obtežbe	33
5.3	Zasnova opažnih nosilcev	34
<b>6</b>	<b>Statični račun nosilca</b>	<b>35</b>
6.1	Zasnova nosilca	35
6.2	Izračun notranjih sil	39
6.2.1	Obtežne kombinacije	40
6.2.2	Podatki za geometrijsko nepopolnost nosilca	41
6.2.3	Rezultati (SCIA ESA PT)	43
6.3	Dimenzioniranje nosilcev in povezja	55
<b>7</b>	<b>Zaključek</b>	<b>75</b>
	<b>Viri</b>	<b>76</b>



## KAZALO SLIK

- Slika 1:** Zgrajeni in planirani AC
- Slika 2:** Objekt »ČRNI KAL« v gradnji
- Slika 3:** Nepomični nosilni oder
- Slika 4:** Prikaz posedkov, pomikov
- Slika 5:** Podlaganje podpor
- Slika 6:** Kopičenje betona
- Slika 7:** Sile v podpori
- Slika 8:** Ekscentričnost spojev
- Slika 9:** Geometrijska nepopolnost nosilcev
- Slika 10:** Geometrijska nepopolnost stolpov
- Slika 11:** Detajl spoja gradbenega odra
- Slika 12:** Pritrditev horizontalnega povezja na nosilec
- Slika 13:** Postavitev prečnih ojačitev med nosilci
- Slika 14:** Prikaz dejanske in teoretične povezave diagonal
- Slika 15:** Leseni okvir
- Slika 16:** Spojke za pritrjevanje cevni profilov
- Slika 17:** Prečni prerez objekta
- Slika 18:** Prikaz obremenilne preizkušnje na nosilni oder
- Slika 19:** Prostoležeč nosilec, maksimalne sile
- Slika 20:** Prikaz podatkov za geometrijsko nepopolnost
- Slika 21:** Sistem nosilcev in povezij
- Slika 22:** Spoj nateznega pasu nosilca
- Slika 23:** Par nosilcev za podporni oder
- Slika 24:** Nosilni stolp za podporni oder

## **KAZALO DIAGRAMOV:**

- Diagram 1:** Prikaz osnih in prečnih sil ter upogibnih momentov za tlačeni pas, nelinearno
- Diagram 2:** Prikaz osnih in prečnih sil ter upogibnih momentov za natezni pas, nelinearno
- Diagram 3:** Prikaz osnih sil v vertikalah in diagonalah, nelinearno
- Diagram 4:** Prikaz osnih sil v prečniku, nelinearno
- Diagram 5:** Poves nosilca za MSN in MSU, nelinearno
- Diagram 6:** Prikaz osnih in prečnih sil ter upogibnih momentov za tlačeni pas, linearno
- Diagram 7:** Prikaz osnih in prečnih sil ter upogibnih momentov za natezni pas, linearno
- Diagram 8:** Prikaz osnih sil v vertikalah in diagonalah, linearno
- Diagram 9:** Prikaz osnih sil v prečniku, linearno
- Diagram 10:** Poves nosilca za MSN in MSU, linearno
- Diagram 11:** Osne sile v diagonalah, 1. obtežni primer
- Diagram 12:** Osne sile v diagonalah, 2. obtežni primer
- Diagram 13:** Osne sile v diagonalah, 3. obtežni primer
- Diagram 14:** Pomik vozlišč
- Diagram 15:** Osne sile v vertikalah povezja, 2. obtežni primer

## KAZALO PREGLEDNIC:

- Preglednica 1:** Redukcijski faktorji  $\psi$
- Preglednica 2:** Karakteristične vrednosti odpornosti proti zdrs
- Preglednica 3:** Vrednosti  $\mu$  - koeficienti trenja, med posameznimi materiali
- Preglednica 4:** Podatki za geometrijsko nepopolnost
- Preglednica 5:** Maksimalne obremenitve v elementih

## SEZNAM OKRAJŠAV

<b>AB.....</b>	<b>Armiran beton</b>
<b>AC.....</b>	<b>Avtocesta</b>
<b>CO1,2,3,4</b>	<b>Obtežbene kombinacije</b>
<b>DARS.....</b>	<b>Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji</b>
<b>ENV</b>	<b>Evropski standard</b>
<b>LC1,2,3,4,5,</b>	<b>Obtežni primeri</b>
<b>MSN</b>	<b>Mejno stanje nosilnosti</b>
<b>MSU</b>	<b>Mejno stanje uporabnosti</b>
<b>SCIA ESA PT</b>	<b>Računalniški program</b>
<b>SIST</b>	<b>Slovenski standard</b>

## 1 Uvod

V Sloveniji se je leta 1970 začel graditi prvi avtocestni odsek, Vrhnika – Postojna, ki je bil zgrajen v dveh letih. Od takrat pa do danes je bilo skupaj zgrajenih 370,3 km avtocest s spremljajočimi objekti.

Resolucija o nacionalnem programu izgradnje avtocest v Republiki Sloveniji, ki jo je državni zbor RS sprejel leta 2004 (Ur.l.RS šte.v.50/04), obsega izgradnjo avtocestnih povezav:

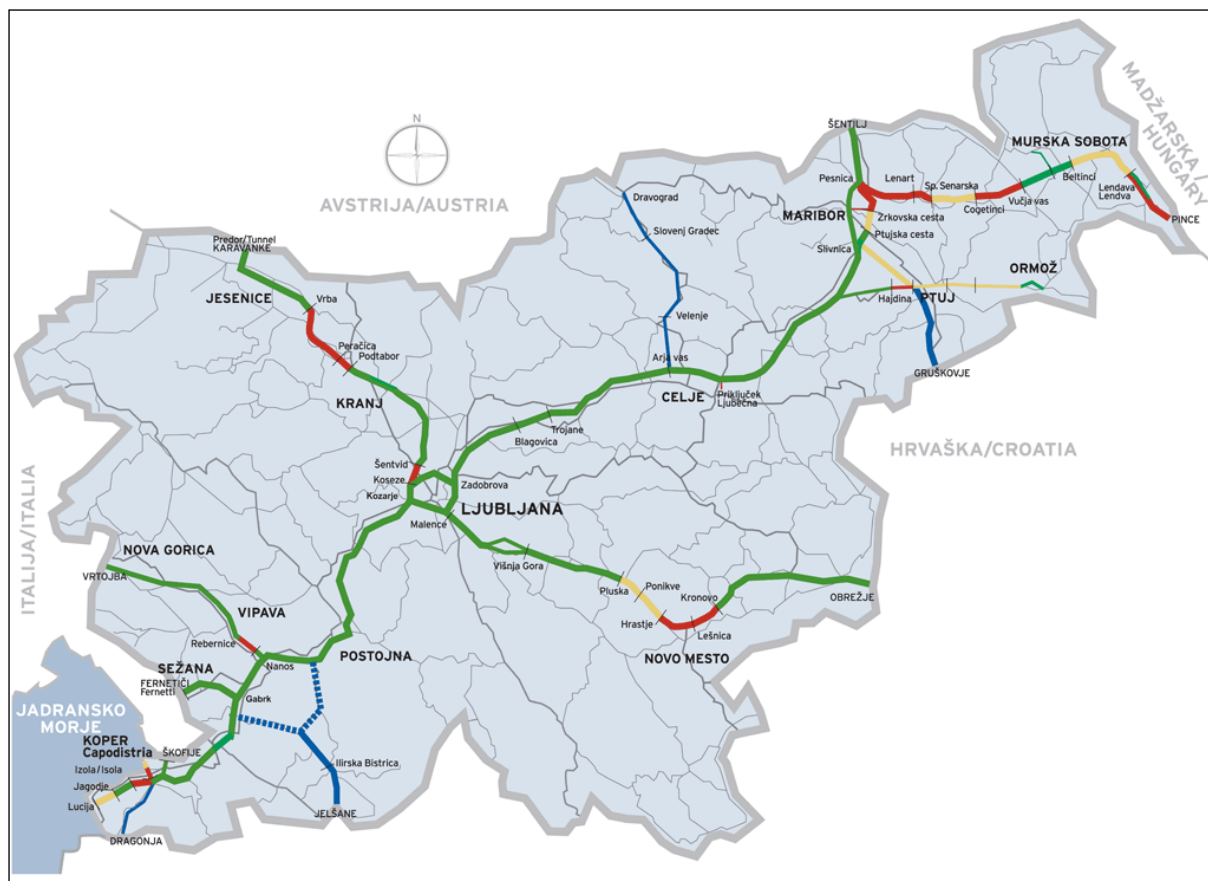
- v smeri jugozahod - severovzhod od Kopra do Šentilja na slovensko - avstrijski meji z odcepi do slovensko - italijanske meje pri Fernetičih in Vrtojbi, ter slovensko - madžarske meje pri Pincah,
- v smeri severozahod - jugovzhod od predora Karavanke na slovensko - avstrijski meji do Obrežja na slovensko - hrvaški meji,
- v smeri od Maribora proti Gruškovju na slovensko- hrvaški meji.

Nacionalni program izgradnje avtocest v republiki Sloveniji do leta 2013 tako vključuje izgradnjo:

- 538,6 km avtocest in hitrih cest,
- 34 km navezovalnih cest na avtocestno omrežje in







izgradnjo avtocest v območju mednarodnih mejnih prehodov, priključkov na obstoječe in bodoče avtocestno omrežje, ter dograjevanje obstoječega cestninskega sistema in uvedbo elektronskega cestninskega sistema v prostem prometnem toku.

Spodnja slika prikazuje avtoceste in hitre ceste, ki so že zgrajene in prenesene v upravljanje DARS - a, odseke v gradnji oziroma v pripravi, ter planirane avtocestne odseke za celotno Slovenijo.



Slika 1

### Legenda

-  zgrajene avtoceste in hitre ceste, december 2006 (451,3 km)
-  avtocestni odseki v gradnji oz. pripravi na gradnjo
-  avtocestni odseki v gradnji po letu 2006
-  avtocestni odseki iz t.i. "dodatnega programa"
-  variantno priključevanje
-  odseki hitrih cest iz t.i. "dodatnega programa"

Slika 1: Zgrajeni in planirani avtocestni odseki ter odseki, ki so v trenutno v gradnji

Pri gradnji avtocestnih odsekov, je poleg same trase AC potrebno zgraditi tudi veliko premostitvenih objektov za deviacije cest in regulacije vodotokov. V nekaj več kot tridesetih letih gradnje avtocest v Sloveniji je bilo zgrajenih, ali pa je trenutno v izgradnji, več kakor 500 km avtocest in štiripasovnih hitrih cest, z več kot 800 inženirskih konstrukcij (viaduktov, mostov, nadvoзов, podvoзов ...), od tega skoraj 300 viaduktov in mostov.

Med samo gradnjo objektov je eden najvažnejših začasnih konstrukcijskih elementov jekleni podporni oder. Poznamo več sistemov nosilnih odrov kot so: DOKA, HUNNEBECK, SISAK...

Ti sistemi se uporabljajo za podporne odre, nosilne stolpe, ker dosegajo visoke višine podpiranja, za sovprežne konstrukcije, ker se odlično prilagajajo na različne geometrije, za robne vence in oporne konzole enostranskega opaža.

Z nabavo jeklenega odra, posebej jeklenih paličnih nosilcev dolžine do 36m, je gradnja prekladnih konstrukcij mostov in viaduktov na nepremičnem odru postala konkurenčna za objekte razpetin do 36m in skupne dolžine do 200m. Posebna prednost izgradnje na nepomičnem odru je možnost obvladovanja zapletenih geometrij prekladnih konstrukcij, kot poševnih objektov in pri objektih z vijačenjem prekladne konstrukcije.

Na fiksnem odru so zgrajeni mostovi čez Savinjo, Savo v Šentjakobu, viaduktih v razcepu Malence, na stičišču južne in vzhodne ljubljanske avtoceste, dolenjskega avtocestnega kraka, ter viaduktov Črni mlinar in Jelševica na avtocesti preko Trojan.



Slika 2

Na sliki 2 so prikazani omenjeni elementi podpiranja na objektu »ČRNI KAL« , katere je za naročnika projektno obdelala Katedra za metalne konstrukcije, FGG, Ljubljana.



Slika 3

Na sliki 3 je prikazan nepomični nosilni oder za prekladno konstrukcijo



## **2 Opis Slovenskega standarda SIST EN 12812**

Nosilni odri – Zahtevane lastnosti in projektiranje

### **Uvod**

Večina nosilnih odrov se uporablja za:

- prenos obtežbe svežega betona do strditve betona,
- prevzem obtežbe skladiščenega materiala in opreme v času gradnje konstrukcije,

V tem standardu so podane lastnosti in zahteve za projektante, ki projektirajo nosilne odre in jim podajajo vse potrebne zahteve za doseganje tega standarda. Člen 9 navaja zahtevane postopke za projektiranje. Opravičuje poenostavljene postopke projektiranja nosilnih odrov, narejenih iz cevi in spojk, katere so že uveljavljene.

Standard opisuje različne projektne razrede. To omogoča projektantu, da izbere med bolj ali manj zahtevno metodo, istočasno pa mora doseči enako raven varnosti konstrukcije.

Ker ne obstajajo Evropski standardi za materiale, ki podpirajo te standarde do popolnosti je bil pripravljen tako, da dovoljuje uporabo enakovrednih nacionalnih standardov. Ko pride v veljavo Evropski standard, se nacionalni standard ne upošteva.

### **2.1 Področje uporabe standarda**

- standard določa lastnosti in zahteve ter mejna stanja za dva razreda nosilnih odrov,
- vsebuje pravila, ki jih mora projektant upoštevati za varno načrtovanje nosilnega odra,
- poda informacijo za nosilne odre, ki stalno podpirajo konstrukcijo,
- poda informacijo za temeljenje,
- ne opisuje zahtev za opaže, delovne odre...
- ne daje nobenih informacij glede standardiziranih elementov

## **2.2 Normativi**

V tej točki so naštetni vsi evrokodi za projektiranje konstrukcij z različnimi materiali (jeklo, beton, AB, les, kamen ....)

## **2.3 Pogoji in definicije**

V tej točki standard opisuje posamezne izraze in njihov pomen

## **2.4 Projektni razredi**

Pri projektiranju jeklenih konstrukcij je potrebno upoštevati enega od naslednjih treh razredov:

A, B1, B2.

Razred A

Uporablja se za dimenzioniranje nosilnih opažev enostavnejših konstrukcij kjer:

- prečni prerez stebrov ne presega 0,3 m<sup>2</sup>,
- prečni prerez nosilcev ne presega 0,5 m<sup>2</sup>,
- dolžina oziroma višina ne presejata 6,0 m,

Projektiranje mora biti izvedeno v mejah, opisanih v poglavjih 5 in 7.

Razred B1

Projektiranje mora biti skladno z ostalimi evrokod standardi (EN 1990, ENV 1991 – ENV 1999) v povezavi s poglavjem 9 tega standarda.

## Razred B2

Projektiranje mora biti skladno s poglavji 5,6,7,8,9 in ostalimi Evrokod standardi (EN 1990, ENV 1991 – ENV 1999). V kolikor pride do razlik med njimi, se upoštevajo pogoji s tega standarda.

### **2.5 Materiali**

Material, ki se uporablja, mora biti varljiv, razen v primeru, kadar je predvideno, da se elementi med seboj ne bodo varili.

### **2.6 Povzetek**

Projekt mora vsebovati seznam z vsemi potrebnimi podatki, vključno z informacijo o uporabi, montaži, demontaži in obremenitvah (npr. količina betona).

Ravno tako morajo v povzetku biti podatki o lokaciji (tloris z vrisanimi sosednjimi objekti, cona vetra, obstoječi komunalni vodi, dostopne poti, geološki podatki)

### **2.7 Projektne zahteve**

- Konstrukcija mora biti projektirana tako, da se vsa obtežba prenese preko odra v temeljna tla,
- Upoštevati je potrebno razpoložljive možnosti glede montaže upoštevajoč znane okoliščine,
- Debelina uporabljenega materiala ne sme biti manjša od 2mm,
- Cevi, uporabljene za nosilni oder, morajo biti v skladu s standardom EN 12810, EN 12811,
- Spojni členi morajo biti projektirani tako, da ne popustijo sami od sebe med uporabo. Prekrivna dolžina veznega elementa v cevi naj bo ali 25% dolžine tega elementa ali 150mm, katerakoli je večja.

- Montažni podporni stolpi morajo biti projektirani tako da, prevzamejo,  $R_d^*$ , 90% normalne obtežbe  $R_d$ , ko se zgodi diferenčni posedek  $\delta_s$ , ali premik zaradi
- spremembe temperature v horizontalni smeri  $\delta_t$  (glej sliko). Velikost posedka  $\delta_s$  mora biti manjša od 5 mm in izračunana po naslednji formuli:

$$\delta_s = 2,5 \times 10^{-3} \times \ell$$

Maksimalen pomik zaradi spremembe temperature pa se izračuna po formuli:

$$\delta_t = \delta_s \times h / \ell \quad \text{kjer je:}$$

$R_d$  projektna nosilnost

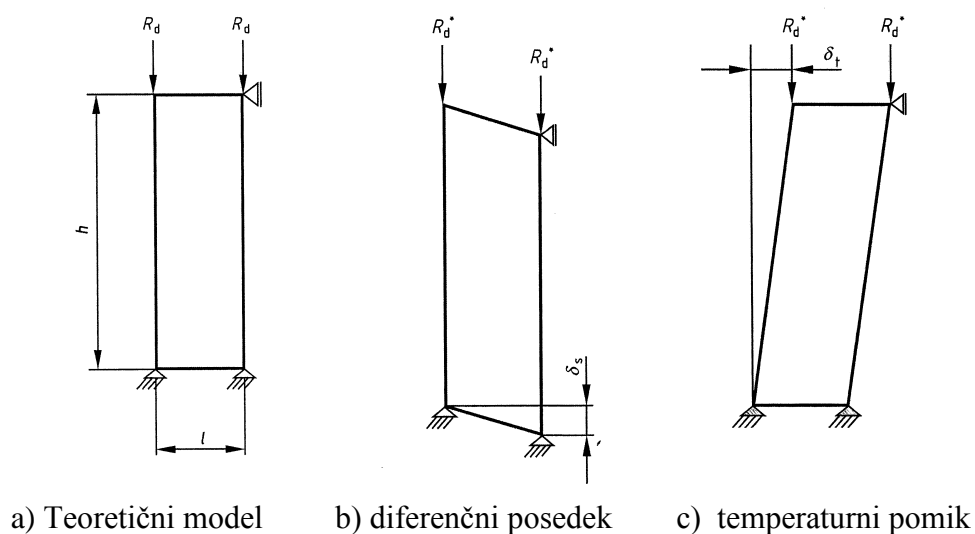
$R_d^*$  projektna nosilnost, ko se zgodi diferenčni posedek ali pomik zaradi spremembe Temperature

$h$  višina stolpa

$\ell$  širina stolpa

$\delta_s$  diferenčni posedek

$\delta_t$  pomik zaradi spremembe temperature



Slika 4

- Posebno pozornost je potrebno posvetiti temeljenju podpornega odra, da ne pride v času med uporabo do neželenih dogodkov zaradi zunanjih vplivov.

osnovne zahteve za podpiranje:

- a) pomožni objekt
- b) kamnita podlaga
- c) delno odstranjena in izboljšana temeljna tla
- d) obstoječi objekt

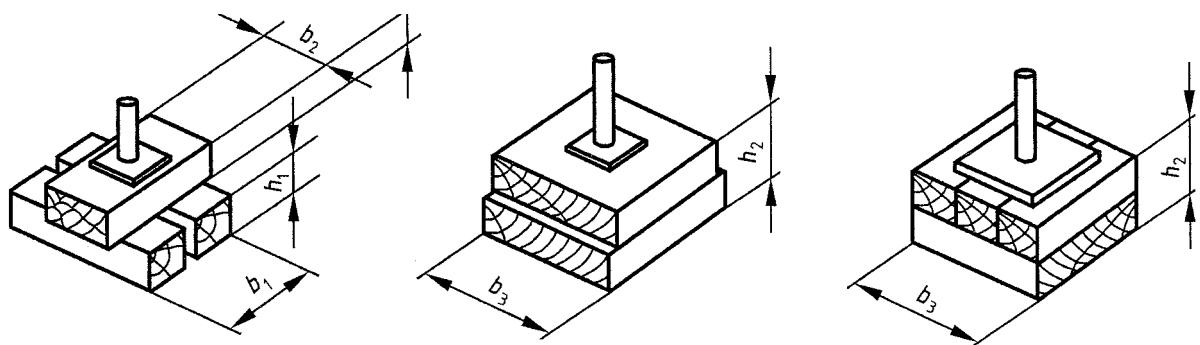
V primeru, da je potreben večji poseg za pripravo temeljnih tal je potrebno ves humus odstraniti, ter ga zamenjati z ustreznim materialom.

- podlaga mora biti tako pripravljena, da med uporabo nosilnega odra ne more priti do izpiranja materiala na temeljnih tleh (ustrezna drenaža),

Podlaganje podpor

V primeru, da se podpore odra podlaga z lesenimi elementi je potrebno upoštevati naslednje:

- dva elementa položena eden nad drugega, kjer morata biti njuni daljši stranici vzporedni
- osnovna širina  $b$  je manjša od dvakratne višine  $h$
- maksimalna višina ne sme presegati 400mm.



Slika 5

## 2.8 Obtežbe na nosilne odre

### Stalna obtežba (Q1)

- lastna teža

### Spremenljiva vertikalna obtežba (Q2)

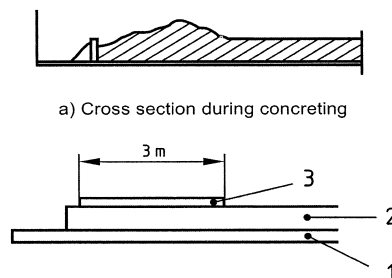
- vgrajevanje betona ( $2500\text{kg/m}^3$ )
- skladiščenje ( $1,5\text{ kN/m}^2$ )
- ljudje ( $0,75\text{ kN/m}^2$ )
- sneg in led ( se upošteva v primeru, da obtežba preseže  $0,75\text{ kN/m}^2$  )

### Spremenljiva horizontalna obtežba (Q3)

- upošteva se 1% od obtežbe Q1+Q2

### Spremenljiva začasna obtežba (Q4)

- kopičenje materiala ( $1,75\text{ kN/m}^2$  v območju  $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ )



Slika 6

- 1) minimalna obtežba delavcev
- 2) obtežba betona
- 3) kopičenje betona

### Obtežba vetra (Q5)

- vpliv maksimalnega vetra se upošteva po standardu (ENV 1991-1-4), v primeru da konstrukcija ne bo v uporabi več kot 24 mesecev, lahko uporabimo redukcijski faktor 0,7.
- za delovni veter (za čas gradnje) se vzame obtežba  $0,2\text{ kN/m}^2$

### Obtežba tekočih voda (Q6)

- $q_w = 500 V_w^2$ , kjer je  $V_w$  hitrost vode v (m/s), predstavlja dinamično obtežbo
- naplavine,  $F_w = 666 A V_w^2$

Vpliv potresa se upošteva po standardu ENV 1998.

### Posredna obtežba (Q7)

- vpliv temperature se upošteva v primeru, ko je konstrukcija daljša od 60m; (jeklena, +-20°C)
- vpliv prednapenjanja

## OBTEŽBENE KOMBINACIJE

Običajno se upoštevajo naslednje obtežbene kombinacije:

- CO1; brez obtežbe na nosilni oder + maksimalen veter,
- CO2; polna obtežba + delovni veter,
- CO3; polna obtežba + maksimalen veter,
- CO4; vpliv potresa

Preglednica 1. z redukcijskimi faktorji  $\psi$

Sila	Obtežba	Kombinacijski faktorji $\psi$			
		lastna teža + max. Veter	delovni veter	maksimalni veter	potres
Q1	lastna teža	1,0	1,0	1,0	1,0
Q2	vertikalna	0	1,0	1,0	0,7
Q3	horizontalna	0	1,0	0	0
Q4	začasna	0	1,0	0	0
Q5	max. Veter	0,7	0	1,0	0
Q6	delovni veter	0	1,0	0	0
Q7	tekoče vode	0,7	0,7	0,7	0,7
	potres	0	0	0	0,7
Q8	ostalo	0	0,7	0,7	0

## **2.9 Načrt gradbenih konstrukcij**

### **2.9.1 Tehnična dokumentacija mora vsebovati:**

- razred projektiranja
- zasnovo nosilnega odra, za kaj je namenjen in prikaz prenosa obtežbe v temeljna tla
- zaporedje izvedbenih del
- opis modela, z morebitnimi predpostavkami in domnevami
- seznam dokumentov, ki so bili upoštevani pri projektiranju in dimenzioniranju
- specifikacija materiala in elementov
- shematski prikaz vseh elementov

Načrti:

Za razred B1; detajlni načrti, skladno s standardom

Za razred B2; v načrtih mora biti v celoti opisan nosilni oder; višinske kote, obdelani morajo biti potrebni prerezi, detajli, dimenzije, materiali, podpore, zaporedje obtežbe, detajli temeljenja.

Informacija o lokaciji:

- geološko poročilo
- informacija v primeru uporabe specialne opreme
- morebitne zahteve po že uporabljenem materialu
- označena lokacija za skladiščenje

### **2.9.2 Konstrukcijska zasnova:**

Zasnova objekta mora biti skladna z naslednjimi zahtevami

- mejno stanje nosilnosti (MSN): nosilnost prerezov, odpornost elementov proti nestabilnosti (uklon, bočna zvrnitev, ...)
- mejno stanje uporabnosti (MSU): dejanski povos nosilnega odra



### Mejno stanje nosilnosti, MSN

- a)  $E_d < R_d$  , obtežba < projektna nosilnost  
b)  $Q_d = \sum \gamma^* \psi^* Q_k$

kjer je:  $Q_d$  – projektna obtežba

$Q_k$  - karakteristična obtežba

$\gamma$  – parcialni varnostni faktor: 1,35 za lastno težo, 1,50 za ostale obtežbe

$\psi$  – kombinacijski obtežni faktor ( glej preglednico 1).

- c) glede na karakteristične vrednosti obtežb iz poglavja 8 se pri računu projektne obtežbe  $Q_d$  za potres upošteva parcialni varnostni faktor  $\gamma=1,0$   
d) nosilnost materiala za razreda B1 in B2 se računa po formulah:

$$R_d = R_k / \gamma_m \quad (\text{razred B1})$$

$$R_d = R_k / \gamma_m * 1,15 \quad (\text{razred B2})$$

kjer je:  $R_k$  - nosilnost materiala

$\gamma_m$  – delni varnostni faktor nosilnosti materiala (SIST EN 12812, tč. 9.5.1)

### Mejno stanje uporabnosti, MSU

Stanje, ki mora zagotoviti, da bo nosilni oder dimenzioniran tako, da bo nosilna konstrukcija, ki podpira, v končnem stanju v zahtevani obliki in velikosti.

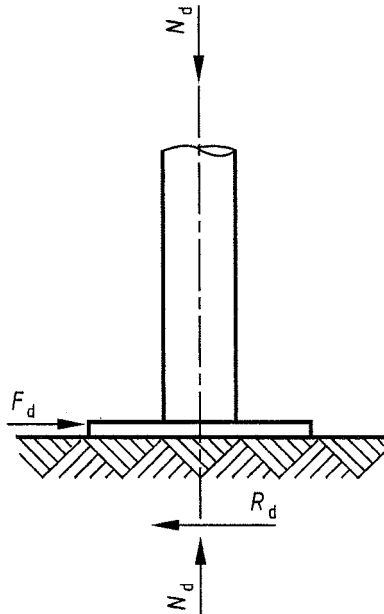
Preučiti je potrebno naslednje:

- način temeljenja
- elastično deformacijo betona zaradi krčenja in prednapenjanja
- uklon elementov

Za račun mejnega stanja uporabnosti se upošteva za delne varnostne faktorje materiala in obtežbe ( $\gamma_m$ ,  $\gamma$ ) vrednost 1.0.

## Stabilnost podpor

Konstrukcija mora ostati stabilna, ko nanjo delujejo posamezne obtežbene kombinacije iz poglavja 8 (vpliv osne sile, prečne sile, momenta). Za vsako kombinacijo obtežb se določi ali je konstrukcija stabilna ali nestabilna.



Slika 7.

Zagotoviti je potrebno pogoj, da je prečna sila, katera zagotavlja odpor proti drsenju  $F_{stb} > F_{dst}$ , prečne sile, katera povzroča drsenje.

Zagotoviti je potrebno pogoj, da je odpornostni moment proti prevrnitvi  $M_{stb} > M_{dst}$  momenta, ki ga povzroča.

Zagotoviti je potrebno pogoj, da je osna sila  $N_{stb} > N_{dst}$  osne sile, katera poskuša podporo dvigniti..

Stabilnost podpor se zagotovi že z upoštevanjem lastne teže, vgrajene armature in mehanskim vpetjem odra.

## Lokalni pomik podpore

Pomik podpore mora biti preprečen že s samim trenjem med podlago in podporo, lahko mehansko ali v kombinaciji obeh. Kjer se lahko dokaže, da mehanska opora deluje skupaj s trenjem, potem lahko upoštevamo oboje.

Togost mehanske opore, krčenje, ohlapnost, vse to je potrebno upoštevati preden določimo opiranje.

Potrebno je zagotoviti:

$$F_d < R_{f,d} \quad \text{kjer je:}$$

$R_{f,d}$  projektna vrednost, katera preprečuje horizontalen pomik podpore glede na temeljna tla (glej sliko 4.) in se izračuna po naslednji formuli:

$$R_{f,d} = \frac{\mu}{\gamma_\mu} x N_d + R_{m,d,i} \quad \text{kjer je:}$$

$F_d$  je sila, ki deluje vzporedno s temeljnimi tlemi in povzroča horizontalni pomik (slika 7).

$N_d$  je sila, ki deluje v osi podpore

$R_{m,d,i}$  projektna vrednost odpora mehanske opore

$\gamma_\mu$  parcialni faktor trenja vzamemo 1,3

$\mu$  minimalni koeficient trenja (glej adendum B)

### 2.9.3 Mejni pogoji za geometrijsko nepopolnost

Vpliv geometrijske nepopolnosti je potrebno upoštevati v primeru:

- ekscentričnosti obtežbe
- kotne ekscentričnosti zaradi nenatančnosti spoja
- odmika od teoretične osi

Kotna geometrijska nepopolnost na cevni spojih:

Enojna cev

Za enojne cevi je za kotno imperfektnost  $\varphi$  od teoretične osi med dvema elementoma potrebno upoštevati formulo:  $\tan \varphi = 1,25(d_i - d_0)/l_0$

kjer je:

$d_i$  notranji premer cevi v milimetrih

$d_0$  zunanji premer konca cevi ali spojnice v milimetrih

$l_0$  prekrita dolžina v milimetrih

$\varphi_0$  kot v radianih med dvema elementoma (glej sliko 8a in 8b).

Če je v vrsti več kot ena podpora se za izračun  $\varphi_0$  uporabi naslednja formula:

$$\tan \varphi_0' = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_v}} \tan \varphi_0 \quad \text{kjer je: } n_v \text{ vsota vseh vertikalnih podpor v vrsti}$$

$\tan \varphi_0'$  reducirani kot med elementi

Leseni elementi

Za lesene elemente, ki so zaporedno spojeni s čepi, je potrebno upoštevati ekscentričnost.

Za par elementov sestavljenih eden za drugim, se upošteva ekscentričnost po formuli:

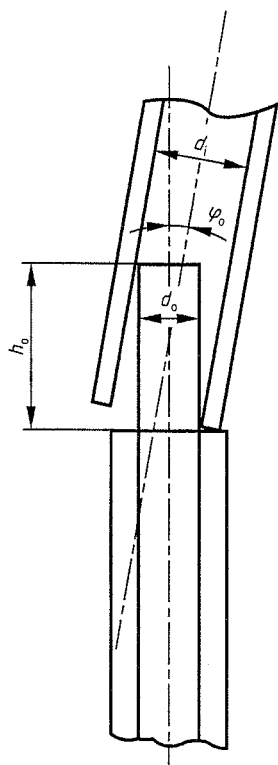
$$e = 1,25 \frac{(d_i - d_0)}{2} \quad \text{kjer: } d_i \text{ in } d_0 \text{ (glej za enojno cev)}$$

$e$  je medosna razdalja med dvema elementoma (slika 8b)

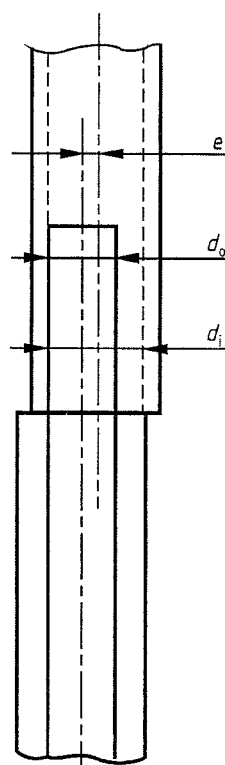
Kjer se zaporedni elementi odklonijo v eni smeri, kot kaže slika 8c, je odmik potrebno upoštevati kot  $(n-1)e$ , kjer je  $n$  število elementov, ki se spajajo zaporedno.

V primeru, da pride do nepopolnosti v obliki loka (začetek prvega elementa in konec zadnjega elementa sta eden nad drugim), pa se geometrijska nepopolnost upošteva kot  $(\frac{n}{2})e$ , kot kaže

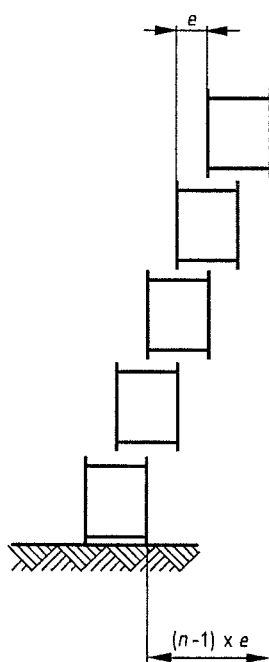
slika 8d.



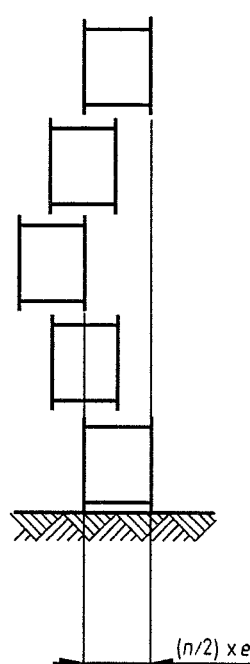
a) kotna nepopolnost



b) medosni odmik



c) odklon



d) nepopolnost v obliki loka

Slika 8, primeri ekscentričnosti zaradi spojev

### **Deviacija od teoretične osi za razred projektiranja: B1**

Vrednosti za odmik in nepopolnost v obliki loka za jeklene konstrukcije so podane v ENV 1993-1-1. Kotna geometrijska nepopolnost in ekscentričnost opisana zgoraj, se lahko uporabi, ko se prekoračijo zahteve iz ENV 1993-1-1.

### **Deviacija od teoretične osi za razred projektiranja: B2**

Geometrijska nepopolnost za tlačene elemente

Za tlačene elemente se predvideva, da imajo začetno geometrijsko nepopolnost. Slika 6 prikazuje nepopolnost tlačnega elementa po celi dolžini.

Vrednost za začetno nepopolnost od teoretične osi,  $e$ , v milimetrih za tlačene elemente se izračuna po naslednji formuli:

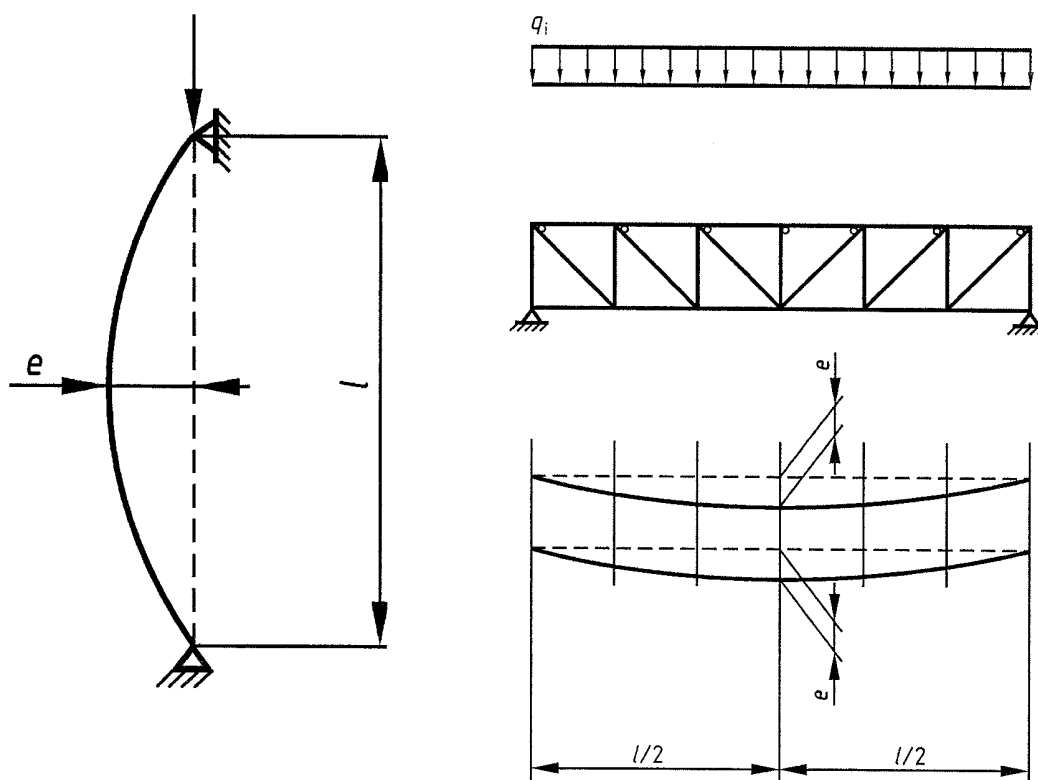
$$e = \frac{\ell}{250} r \quad \text{kjer je:}$$

$\ell$  dolžina tlačnega elementa v milimetrih

$r$  redukcijski faktor izračunan po enačbi:

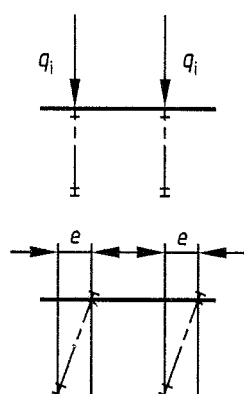
$$r = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_v}} < 1,0 \quad \text{kjer je:}$$

$n_v$  število konstrukcijskih elementov postavljenih vzporedno in med seboj povezanih



a) nepopolnost

b) vzdolžni prerez in tloris dveh paličij



c) prečni prerez dveh paličij

$q_i$  prikaz obtežbe na elemente

slika 9, geometrijska nepopolnost

## Nepopolnost vertikalnih tlačnih elementov

Odklon od vertikal  $\varphi$ , za konstrukcije, ki so nižje od 10m, se računa po formuli:

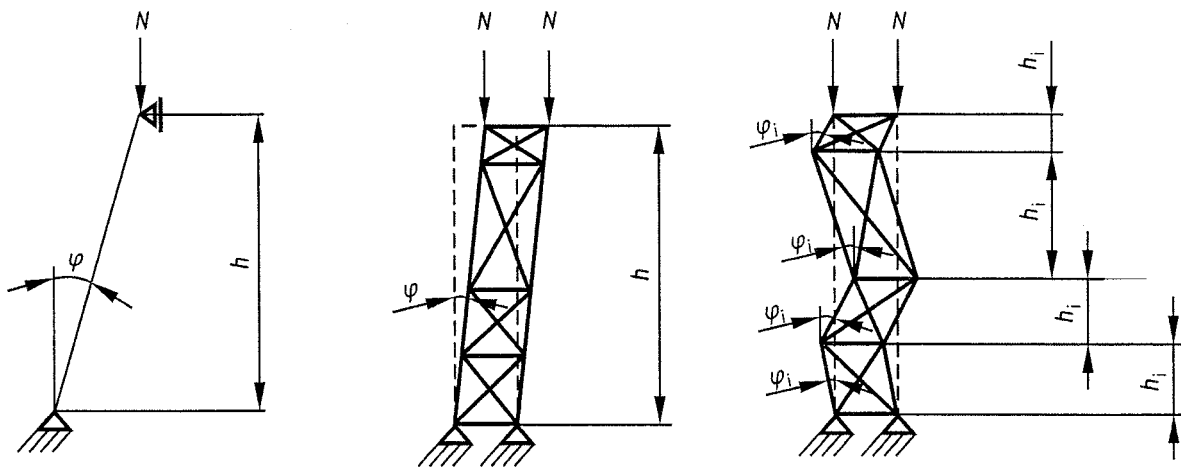
$$\tan \varphi = 0,01 \sqrt{\frac{10}{h}} \quad \text{kjer je:}$$

$h$  višina tlačnenega elementa ali stolpa

$\varphi$  odklon vertikalnega elementa od teoretične osi

Za konstrukcije kjer je  $h < 10\text{m}$ , se za  $\tan \varphi$  privzame vrednost 0,01.

Odklon  $\varphi$  se običajno vzame za geometrijsko nepopolnost, kot je prikazano na sliki 10a za posamezni element, ali 10b za paličje. V primeru, kjer tlačeni elementi niso kontinuirni, pa se odklon upošteva za vsak element posamezno kot kaže slika 10c.



a) posamičen element

b) kontinuirni stolp

c) sestavljen stolp

slika 10, geometrijska nepopolnost stolpov

$h_i$  vertikalna razdalja med dvema elementoma, ki sta sestavljena med seboj

$N$  vertikalna obtežba



## Spojni elementi

V tem standardu ni posebnih zahtev. Glej EN 12811-1:2003, 10.2.3.2

### 2.9.4 Račun notranjih sil

#### Projektni razred B1

Notranje sile morajo biti izračunane skladno z Evropskim ali mednarodnim standardom za zgradbe.

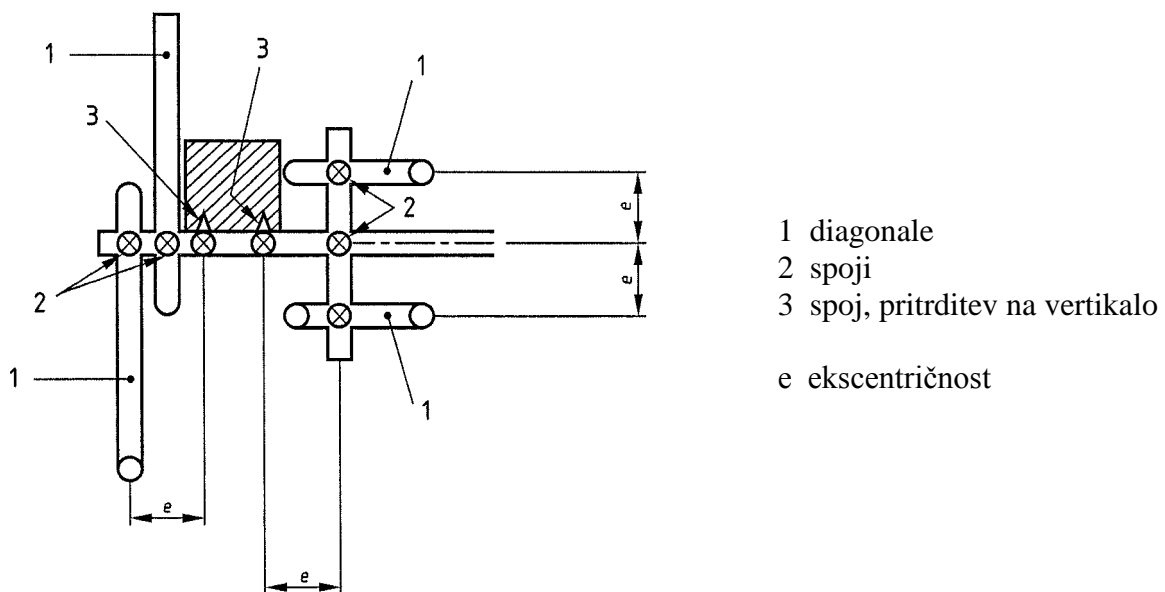
#### Projektni razred B2

Izračuni morajo biti skladni z izbranim projektним modelom (v eni ravnini, 3D).

Ko računamo notranje količine lahko konstrukcijo razdelimo na več delov. Na primer vzporedna okvirja se lahko računa posamično.

### Ekscentričnost za cevi ki se spajajo v istem vozlišču

Za cevi premera 48,3 mm se uporablja ta metoda, v primeru ko ekscentričnost v vozlišču ne preseže 160 mm (glej sliko 11).



Slika 11, maksimalna ekscentričnost za cevi (48,3 mm) za gradbene odre

## Račun sil v paličnem nosilec

a) uklonska dolžina tlačnih elementov;

Bočne podpore morajo biti pritrjene na tlačni element tako, da je uklonska dolžina minimalna.

b) pritržitev bočne podpore na palični nosilec;

Z bočnimi podporami zagotovimo potrebno uklonsko dolžino tlačnega elementa in preko njih prenesemo sile v podpore. Ekscentričnost spoja lahko zanemarimo ob upoštevanju enega od naslednjih pogojev (slika 12).

$$\begin{array}{ll} e < 1,5b & e < 5,0a \\ e < 1,5h & e < 0,2H \end{array}$$

kjer je:

b širina tlačnega elementa

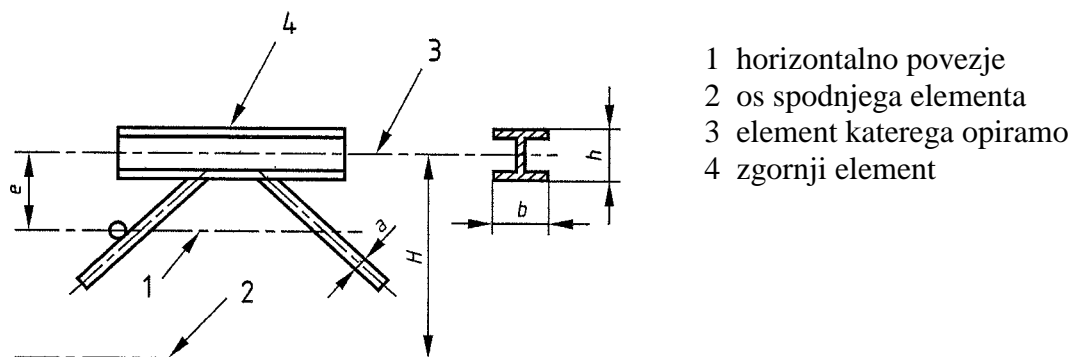
a najmanjši presek elementa, ki podpira tlačni pas

h višina tlačnega elementa

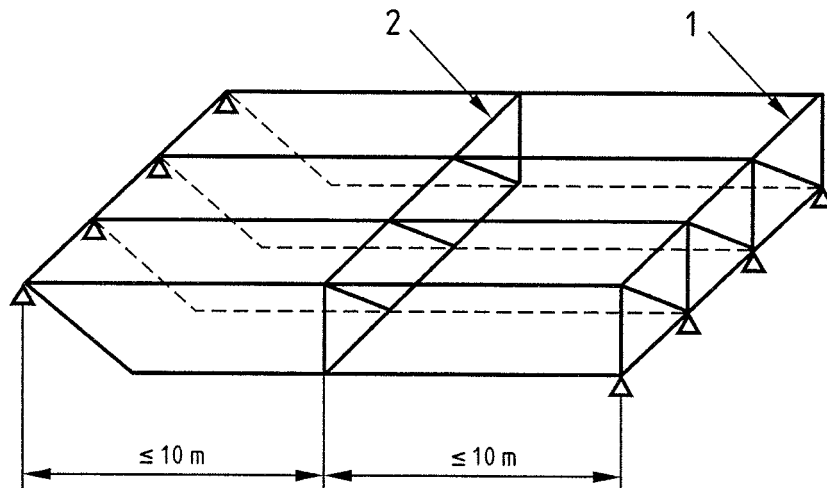
H razdalja med dvema osema (tlačeno in natezno)

Bočne podpore uporabimo v obeh pasovih (tlak, nateg), da zagotovimo bočno stabilnost elementov, ko je paličje podprto na spodnjem elementu (glej slika 13).

Razdalja med prečnimi bočnimi podporami ne sme presegati 10m.



Slika 12, ekscentričnost pritržitve horizontalnega povezja na palični nosilec



1 končna prečna ojačitev

2 vmesna prečna ojačitev

Slika 13, postavitev prečnih ojačitev

### Strižna togost, odpornost cevi in spojk

Kjer je konstrukcija povezana med seboj z cevmi premera 48,3 mm, pravokotno z vrtljivimi spojkami v skladu z EN 74, ekscentričnostjo spojev v mejah opisanih predhodno, se odpornost povezij računa po naslednji formuli:

$$S_i = \frac{E}{\beta} \sum n_i x A_i x \sin^2 \alpha_i x \cos \alpha_i$$

Kjer je:

E elastični modul diagonal

$n_b$  število vertikalnih povezij

$n_i$  število diagonal v eni ravnini

$S_i$  odpornost celotnega sistema povezij

$A_i$  presek diagonale v ravnini povezja

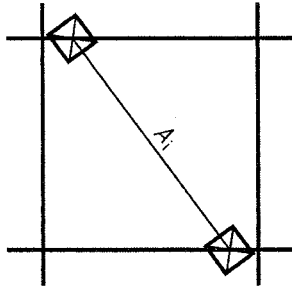
$\alpha_i$  kot med vertikalo in teoretično diagonalo v polju

$\beta$  redukcijski faktor zaradi ekscentričnosti in togosti spoja in se računa po formuli:

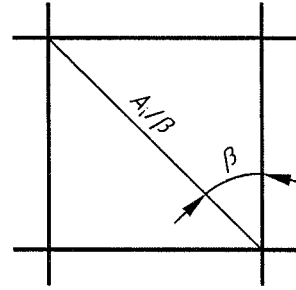
$$\beta = \frac{35(1+m)}{2xm}$$

kjer je:

$$m = \sum_b n_b$$

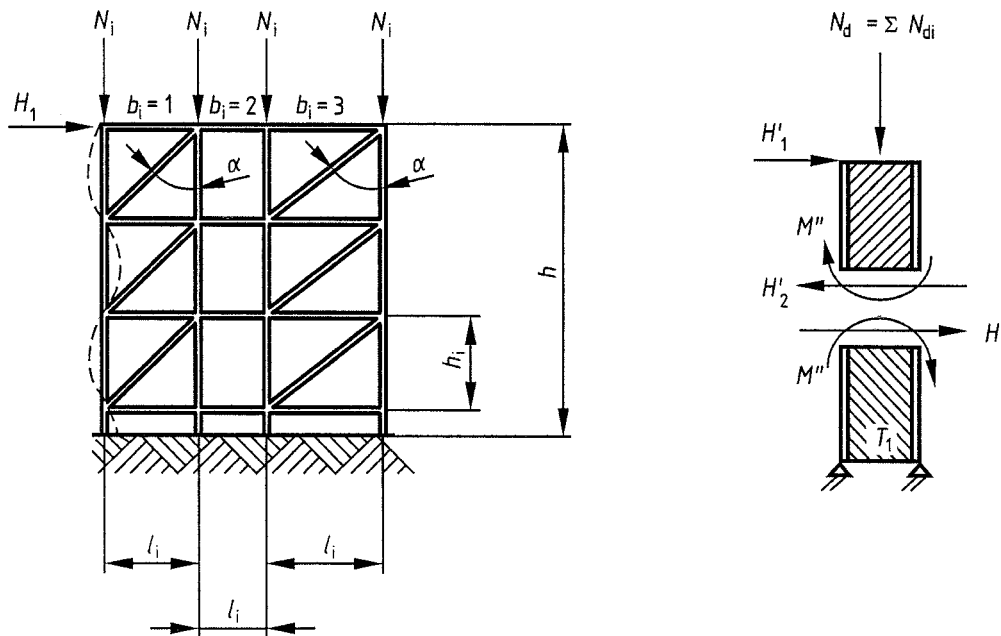


a) dejanska povezava



b) teoretična povezava

Slika 14



$b_i$  število povezij

$l_i$  razdalja med sosednjimi vertikalnimi povezji

$H_1$  vsota zunanjih sil, ki vplivajo na konstrukcijo (npr. veter)

$h$  višina celotne konstrukcije

$h_i$  vertikalna razdalja med dvema zaporednima elementoma

$N$  vertikalna obtežba

$N_i$  točkovna obtežba

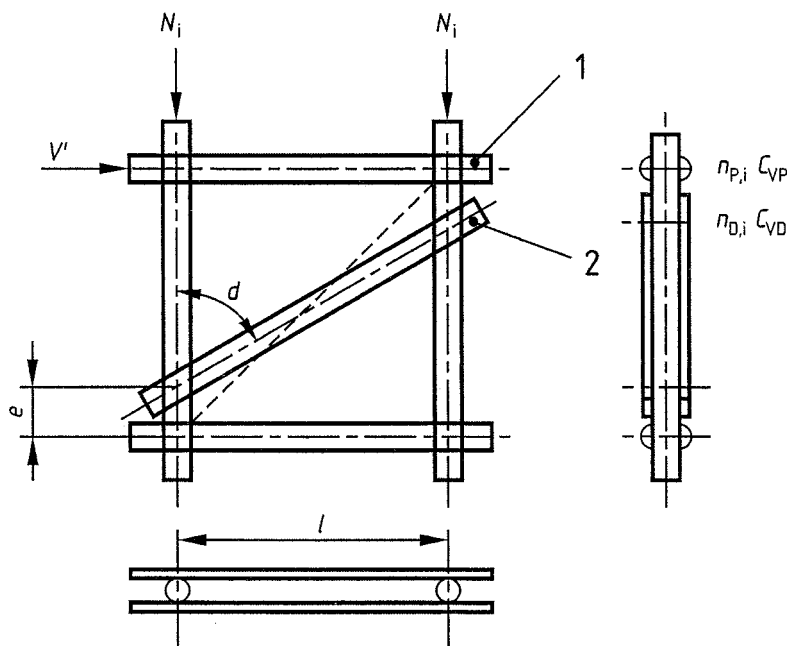
### Strižna togost, odpornost lesenih okvirjev

Pri lesenih elementih kjer je povezje pritrjeno z žebliji ali mozniki in ekscentričnost,  $e$ , v spoju ne presega 250 mm, se odpornost povezja  $S_i$  izračuna po formuli:

$$S_i = \sum_i \frac{a_i \times \sin \alpha_i \times \cos \alpha_i}{\left[1/(n_{D,i} \times C_{VD})\right] + \left[\sin^2 \alpha_i / (n_{P,i} \times C_{VP})\right]}$$

kjer je:

- $l$  horizontalna razdalja med dvema vertikalnima elementoma v milimetrih
- $C_{VD}$  in  $C_{VP}$  modul premika odvisen od tipa spoja in velikosti v N/mm
- $n_{D,i}$  število diagonal
- $n_{P,i}$  število spojev
- $\alpha_i$  kot med vertikalno in teoretično osjo diagonale
- $N_i$  vertikalna obtežba



- 1 zgornji element
- 2 diagonala

Slika 15, leseni okvir

Odpornost vertikalnih elementov podprtih z palicami, ki so tlačene se računa na način, ki je prikazan v poglavju odpornost cevi in spojk z upoštevanjem  $\beta = 2,0$ .

## Sile in momenti

Odpornost prosto stoječega rešetkastega stolpa

Togost prosto stoječega rešetkastega nosilca se računa s pomočjo prečne sile  $H_d''$ . Za uklonsko dolžina vseh tlačnih elementov se vzame sistemska dolžina od vozlišča do vozlišča.

Za računski model, prikazan na sliki 14b, se horizontalna projektna sila na  $H_d''$  izračuna po formuli:

$$H_d'' = \frac{H_d' + N_d \times \varphi}{1 - (N_d / N_{Cr})} \quad \text{kjer: } N_{Cr} \text{ kritična obtežba in se izračuna po formuli:}$$

$$N_{Cr} = \frac{1}{(1 - S_i) + (1 / N_e)} \quad \text{kjer:}$$

$N_e$  sila glede na uklonsko nosilnost

$N_d$  osna sila v tlaku

$H_d'$  projektna vsota vseh sil zaradi zunanje obtežbe, ki deluje na podpore

$S_i$  togost (glej odpornost lesenih okvirjev)

$\varphi$  kot geometrijske nepopolnosti

Odpornostni moment  $M''$  se izračuna po formuli:

$$M'' = H_d'' \times h \quad \text{kjer:}$$

$H_d''$  prečna sila, izračunana po teoriji drugega reda

$h$  celotna višina

$M''$  upogibni moment po teoriji drugega reda

## Togost paličja

Ta metoda se lahko uporablja kjer je vsota strižne odpornosti vseh prečnih elementov večja od 40% vsote vertikalne obtežbe na element

$$\sum S_i > 0,4 \times N_d \quad \text{kjer:}$$

$N_d$  vsota vertikalne obtežbe na paličja

$S_i$  strižna odpornost horizontalnega povezja med dvema elementoma

Teoretična projektna obtežba  $H''$  se izračuna po formuli:

$$H'' = \frac{H_{1,d} + 5N \frac{e}{\ell}}{1 - \frac{N}{N_{cr}}} \quad \text{kjer:}$$

$\ell$  razdalja med podporami  
 $e$  imperfektnost za tlačene elemente  
 $N$  maksimalna sila, ki povzroča tlak  
 $N_{cr}$  kritična obtežba

Upogibni moment v ravnini na sredini elementa se izračuna po formuli:

$$M'' = H'' \times \frac{\ell}{\pi}$$

### 2.9.5 Karakteristične vrednosti, odpornost, trenje

Za izračun projektne vrednosti odpornosti materiala (jeklo, aluminij) se upošteva parcialni varnostni faktor  $\gamma_m = 1,1$ , razen če je določeno drugače.

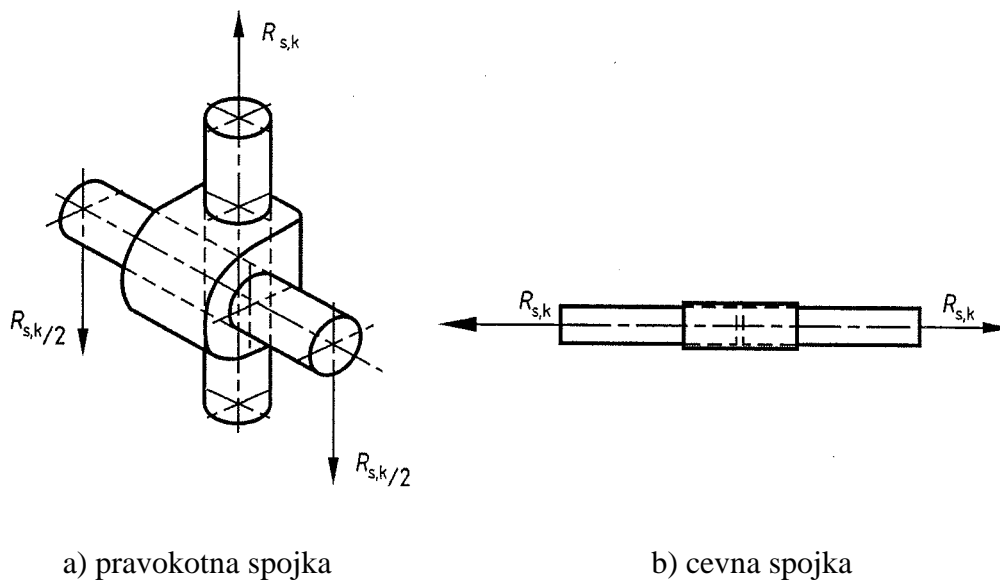
## Spojke, skladno po EN 74

Karakteristična upornost spojk ( $R_{s,k}$ ) proti zdrs, ko se ta uporablja za pritrnitev cevi skladno z odobritvijo v EN 39, podano v EN 74 in prikazano v spodnji tabeli.

	tip spojke	karakteristične vrednosti odpornosti proti zdrs	
		razred A (kN)	razred B (kN)
1	pravokotna spojka	10	15
2	cevna spojka	3	6
3	vrteča spojka	8,5	/
4	vzporedna spojka	15	/

Ostale vrednosti so podane v EN 12811-1 in EN 74

Preglednica 2, Karakteristične vrednosti odpornosti proti zdrs



slika 16, odpornost spojk proti zdrs



V spodnji preglednici so podane vrednosti  $\mu$  - koeficienti trenja, med posameznimi materiali

	kombinacija gradbenih materialov	koeficient trenja $\mu$	
		max	min
1	les/les - vzporedno ali pravokotno med elementi	1,0	0,4
2	les/les - dva elementa zaporedno ali vertikala na gredu	1,0	0,6
3	les/jeklo	1,2	0,5
4	les/beton	1,0	0,8
5	jeklo/jeklo	0,8	0,2
6	jeklo/beton	0,4	0,3
7	jeklo/malta	1,0	0,5
8	beton/beton	1,0	0,5

Preglednica 3, Vrednosti  $\mu$  - koeficienti trenja, med posameznimi materiali

Karakteristične vrednosti trenja se lahko privzamejo tudi iz drugih podrobnejših raziskovalnih nalogah.

### **3 Opis objekta za katerega smo izdelali podporni oder**

#### **3.1 Splošni podatki**

Objekt: **NADVOZ**

#### **3.2 Namen in vrsta objekta**

Da omogočimo izven nivojsko križanje dveh prometnic, je potrebno na mestu križanja zgraditi nadvoz dolžine 40,00 m.

#### **3.3 Normalni profil na objektu**

vozišče 2 x 3,50	7,00 m
hodniki za pešce 2 x 2,40	4,80 m
<u>ograjja in robni venec 2 x 0,25</u>	<u>0,50 m</u>
skupaj	12,30 m

#### **3.4 Opis nosilne konstrukcije in detajlov**

Statična zasnova nosilne konstrukcije je pravokotni, kontinuirani, monolitni, AB prednapeti okvir, s teoretičnimi razponi  $20\text{m}+20\text{m} = 40,00\text{ m}$ .

Prečka okvirja je omejeno prednapeta plošča, debeline 1,2 m in širine 6,0 m, s stranskimi konzolami širine 2,8 m. Debelina konzole na mestu vpetja v ploščo je 40 cm.

Vmesne podpore so dvojni pravokotni stebri 2 x 150 x 80 cm, v prečni smeri povezani s 40 cm debelo steno. Stebri so polno vpeti v razponsko konstrukcijo in podprti s temeljno gredo.

Krajne podpore so polne stene, na katere so obešena konzolna krila.

### 3.5 Materiali

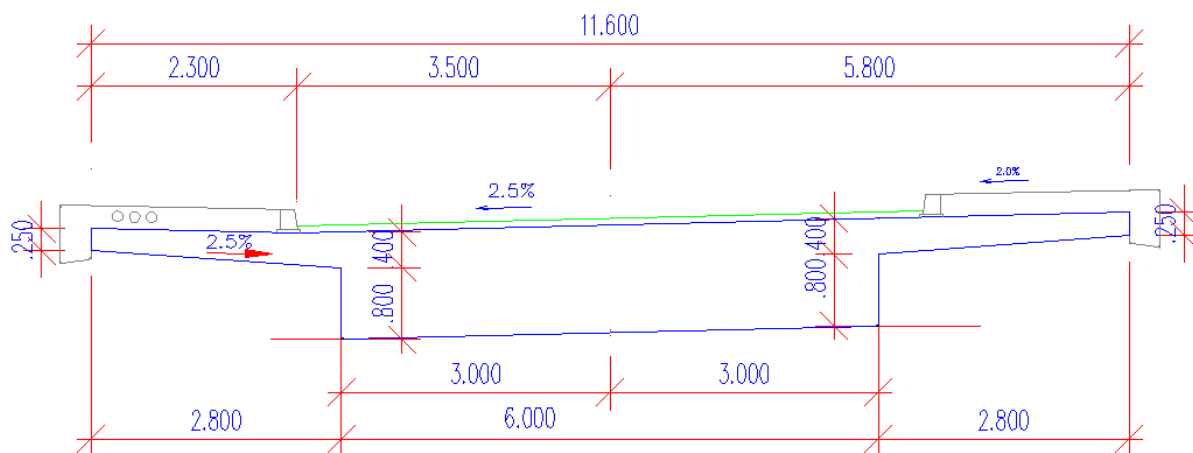
BETON: C30/37: plošča, stebri, krajni oporniki, vezne grede nad koli  
C25/30: koli, hodniki in robni venci  
C12/15: podložni beton  
ARMATURA: BSt500  
MAG 500/560

### 3.6 Tehnologija gradnje

Objekt je klasična armiranobetonska konstrukcija, betonirana na licu mesta.

Nadvišanje odra zaradi elastičnih deformacij in tečenja betonske prekladne konstrukcije mora biti 3,00 cm. K temu je potrebno prišteti še deformacijo odra, ki jo mora podati projektant odra.

### 3.7 Prečni prerez objekta



Slika 17

## **4 Tehnično poročilo**

### **4.1 Splošno**

V diplomski nalogi je obdelan jeklen montažni nosilec konstantne višine in dolžine. Palični nosilec s centrično stikovanimi palicami ima konstantno bruto višino 2200mm in se lahko uporablja za razpone do 36m brez vmesnega podpiranja. Nosilci se uporabljajo kot sestavni del podporne konstrukcije za opaženje masivnih betonskih presekov in za premostitev večjih razpetin. Posamezni segmenti dolžine 2000mm, 4000mm in 6000mm so izdelani v enem kosu v varjeni izvedbi, vzdolžno pa se med seboj vežejo z vijačnimi spoji. Obtežba se preko nosilcev in podpor prenaša na temeljna tla.

Pasovi nosilca so izdelani iz standardnih vroče valjanih profilov. Za spodnji (natezni) pas so uporabljeni HEB 220. Za zgornji (tlačeni) pas je uporabljen 1x HEB 160 + 2x UNP 160.

Diagonale, ki so nameščene v obliki križa, so cevi  $\varnothing$  101,6/5 in 108/5. Vertikale so iz cevi  $\varnothing$  63,5/4,8. Prva vertikala ob podporah pa je HEB 160.

Horizontalno stabilizacijo tlačnega pasu nosilca je potrebno zagotoviti z vgradnjo ustreznih povezij, ki so lahko sestavljena iz cevi za cevne odre (63,5/4). Predvideno je bočno podpiranje na razmaku 2,0m, s cevmi za cevne odre, dimenzije 63,5/4,8.

### **4.2 Obtežbe**

Vertikalna obremenitev je podana v spodnji tabeli in je izračunana na osnovi lastne teže opaža in konstrukcije. Upoštevana je bila tudi obtežba z vetrom po SIST ENV 1991-1-4 in izbočne sile tlačnih elementov zaradi njihove neravnosti po EN 12812.

### **4.3 Materiali**

Nosilec je narejen iz jekla S 355 J2. Vijaki so kvalitete 10.9.

### **4.4 Račun notranjih sil in dimenzioniranje**

Notranje sile so bile izračunane s programom SCIA ESA PT. Konstrukcija je bila preračunana kot ravninski okvir.

#### **4.5 Protikorozijska zaščita**

Protikorozijska zaščita se izvede s po enem osnovnem in vmesnem premazom (vsak debeline 60-80  $\mu\text{m}$  suhega filma) in z dvakratnem vrhnjem premazom v skupni debelini 120  $\mu\text{m}$  suhega filma.

#### **4.6 Izdelava, montaža in uporaba**

Pri izdelavi segmentov opaznega nosilca je potrebno upoštevati določila standarda SIST ENV 1090-1.

Pred uporabo je potrebno izvršiti preizkusno montažo in obremenilno preizkušnjo tipičnega nosilca.

Montaža in sestavljanje se vrši pod nadzorom strokovne osebe in po projektu podpornega odra. Elementi dolžine po modulih (2000, 4000, 6000mm) se med seboj sestavljajo do maksimalne dolžine 36m. Pasnice se sestavljajo z vijachenimi spoji. Nadvišanje izvedemo s pomočjo vijakov na spodnji pasnici.

Nosilec je navezan na zunanjih četrтинah in se s pomočjo avtodvigala namesti na podpore. Pri namestitvi je zahtevana velika pazljivost, ki jo dosežemo tako, da na nosilec pred montažo navežemo vrvi, da prosto visijo, s katerimi preprečimo vrtenje in ga z njimi usmerjamo na ležišče. Tako preprečimo tudi nezaželene horizontalne sunke na vertikalno podporno konstrukcijo.

Zgornje tlačene pasove je potrebno po montaži med seboj uklonsko povezati na razdalji 2,00m, preko vertikal na spodnje in zgornje pasnice, z enojnimi spojki pravokotno in diagonalno.

V času montaže je prepovedan prehod in zadrževanje pod nosilci.

Omenjeni nosilci se uporabljajo kot sestavni del podporne konstrukcije za opaženje masivnih betonskih presekov in za premostitev večjih razpetin. Možno je premostiti razpetino do 36,00m brez vmesnega podpiranja.

## 5 Povzetek osnovnih karakteristik

### 5.1 Lastnosti nosilca

- Razpon do 36m
- Višina nosilca 2.20m (enostaven transport)
- Največja teža 42kN pri razponu 20m
- Takoj po montaži mora tlačni zgornji pas uklonsko vzdržati obremenitve lastne teže nosilca in 1kN koristne obtežbe v sredini razpona. Nosilec se brez dodatnega bočnega podpiranja v fazi montaže ne sme bočno zvrniti
- Površini zgornjega in spodnjega pasu morata biti ravni zaradi možnosti narivanja
- Montažni sistem mora zagotavljati možnost nadvišanja
- Nosilci morajo biti montažno-demontažni
- Material S355
- Osnove za projektiranje so evropski predstandardi iz družine EUROCODE in evropski standard za opažne sisteme EN 12812.

### 5.2 Določitev obtežbe:

Upoštevane so bile naslednje obtežbe:

- **obtežba po EN 12812**, v tej obtežbi je vključena vsa vertikalna obtežba: teža opažnih nosilcev, teža opažnega sistema, teža vgrajenega betona in armature, koristna obtežba (oprema, delavci), kopičenje. Kopičenje v tipičnih primerih nima večjega vpliva, saj znaša 1.75 kN na 3x3 m, kar je le 15.75 kN.

Vertikalna obtežba

Lastna teža nosilcev (Q1)		2,10kN/m1
Opaz:	bled plošče	0,20kN/m2 ..... 1,2m2/m2 ..... 0,24kN/m2
	tramčki 12/12-50	0,10 kN/m2 ..... 2,2m1/m2..... 0,22 kN/m2
		<hr/>
		2,46 kN/m2
Koristna obtežba (Q2)		
	vgrajevanje betona v prekladno konstrukcijo	31,20kN/m2
	vgrajevanje betona v hodnike za pešce	8,45kN/m2
	skladiščenje	1,50kN/m2
	delavci	0,75kN/m2
		<hr/>
		40,78kN/m2

Sneg in led se upošteva takrat ko se pričakuje več kot  $0,75\text{kN/m}^2$ .

Horizontalna obtežba (Q3)

Horizontalna obtežba je enaka 1% vertikalne obtežbe od (Q1+Q2)

Kopičenje betona (Q4)

Na območju  $3\times 3\text{m}$  se vzame

$1,75\text{kN/m}^2$

Veter (Q5)

Veter je upoštevan po SIST 1991-1-4 z referenčno hitrostjo, ki v Sloveniji znaša  $25\text{m/s}$  ali  $30\text{m/s}$ . Zaradi vgrajevanja betona do ustrezne strditve, (nekaj dni), je v skladu s EN 12812 upoštevana redukcija referenčnih hitrosti, zaradi manjše verjetnosti nastopa močnega vetra. Redukcijski koeficient znaša  $0.70$ , kar velja za odre, ki so v uporabi manj kot 24 mesecev. Z referenčnimi hitrostmi določimo največji vpliv vetra. Za »delovni veter« med vgrajevanjem betona je privzeta vrednost  $0.2\text{kN/m}^2$  po EN 12812.

### **5.3 Zasnova opažnih nosilcev**

Izbran je sistem ravninskega paličnega nosilca bruto višine  $2200\text{mm}$  in dolžine  $6000\text{mm}$ ,  $4000\text{mm}$  ali  $2000\text{mm}$ . Robni elementi z oznako Q 600 so namenjeni vnosu podporne reakcije in za prevzemanje večjih prečnih sil in manjših upogibnih momentov nosilca. Vmesni elementi M 400, M 200 prevzemajo največje upogibne momente v polju.

## 6 Statični račun nosilca

### 6.1 Zasnova nosilca

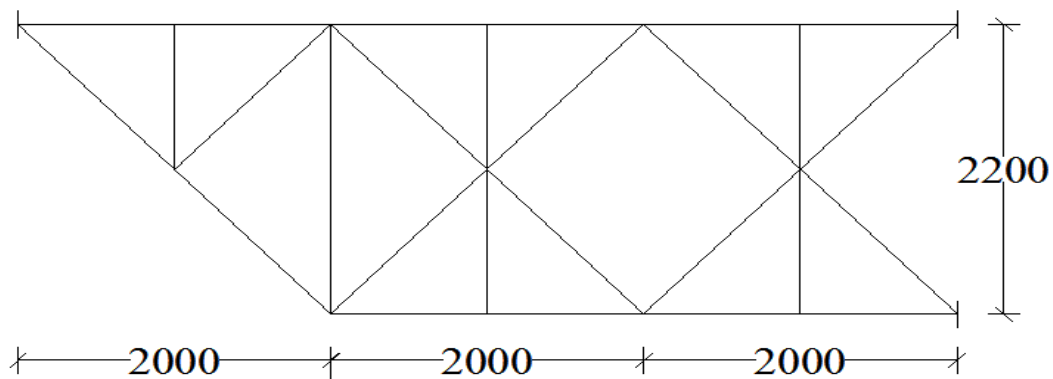
Opažni nosilec je zasnovan kot montažni nosilec bruto višine 2200 mm. Namenjen je uporabi pri razponih do 36m. Predvideni so naslednji montažni kosi:



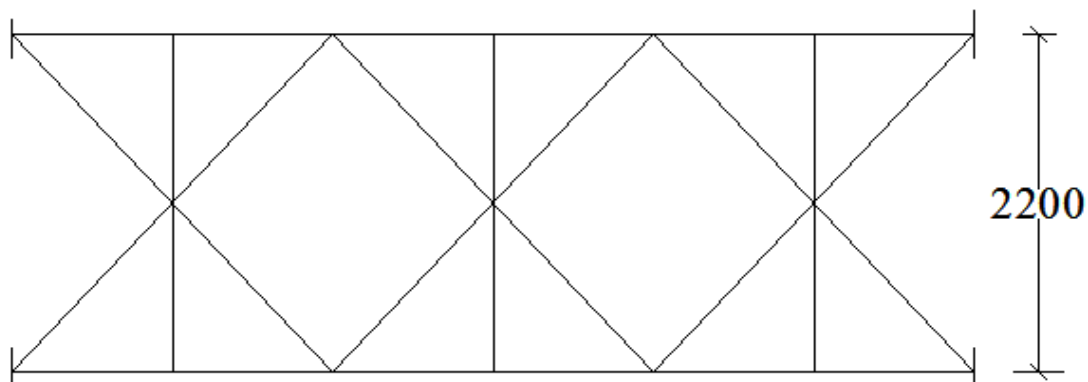
Slika 18



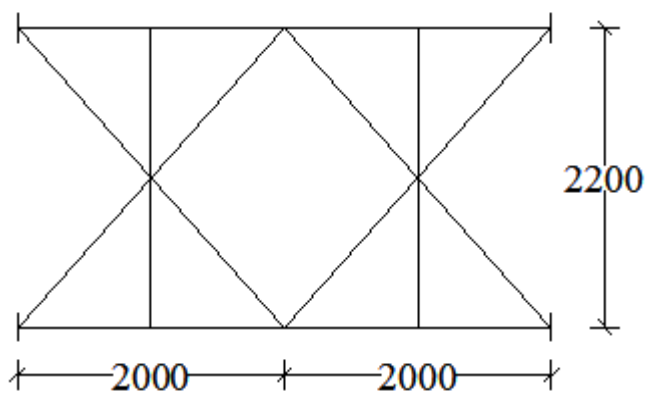
Q600 - Robni element



M600 - Vmesni element



M400 - Vmesni element



Na naslednjih straneh so podane dopustne in mejne obtežbe, ki ji mora nosilec prenesti in grafični prikaz potrebnih nosilnosti za posamezne segmente nosilca.

Račun mase:

$$\gamma \text{ betona} = 26 \text{ KN/m}^3$$

$$\text{Nosilna konstrukcija} - 40,80 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} \times 6,00 \text{ m} \times 26 \text{ kN/m}^3 = 7637,76 \text{ kN}$$

$$\text{masa betona v polju} \quad G = 7637,76 \text{ kN}$$

$$40,80 \text{ m} \times 0,91 \text{ m}^2 \times 26 \text{ kN/m}^3 = 965,34 \text{ kN}$$

$$\text{masa betona hodnikov} \quad G = 965,34 \text{ kN}$$

---


$$\text{SKUPAJ:} \quad \text{teža AB} \quad G = 8603,10 \text{ kN}$$

Obtežba za eno polje:

$$\text{Prekladna konstrukcija} - (6,00 \text{ m} \times 1,20 \text{ m} \times 20,40 \text{ m}) \times 2600 \text{ kg/m}^3 = 381.888 \text{ kg}$$

$$\text{Polni prerez:} \quad 3120 \text{ kg/m}^2 = 31,20 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Hodniki za pešce} \quad - (((0,40+0,25) \times 2,80)/2) \times 20,40 \text{ m} \times 2600 \text{ kg/m}^3 = 48.266 \text{ kg}$$

$$845 \text{ kg/m}^2 = 8,45 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Skupaj obtežba betona na oder} = 39,65 \text{ kN/m}^2$$

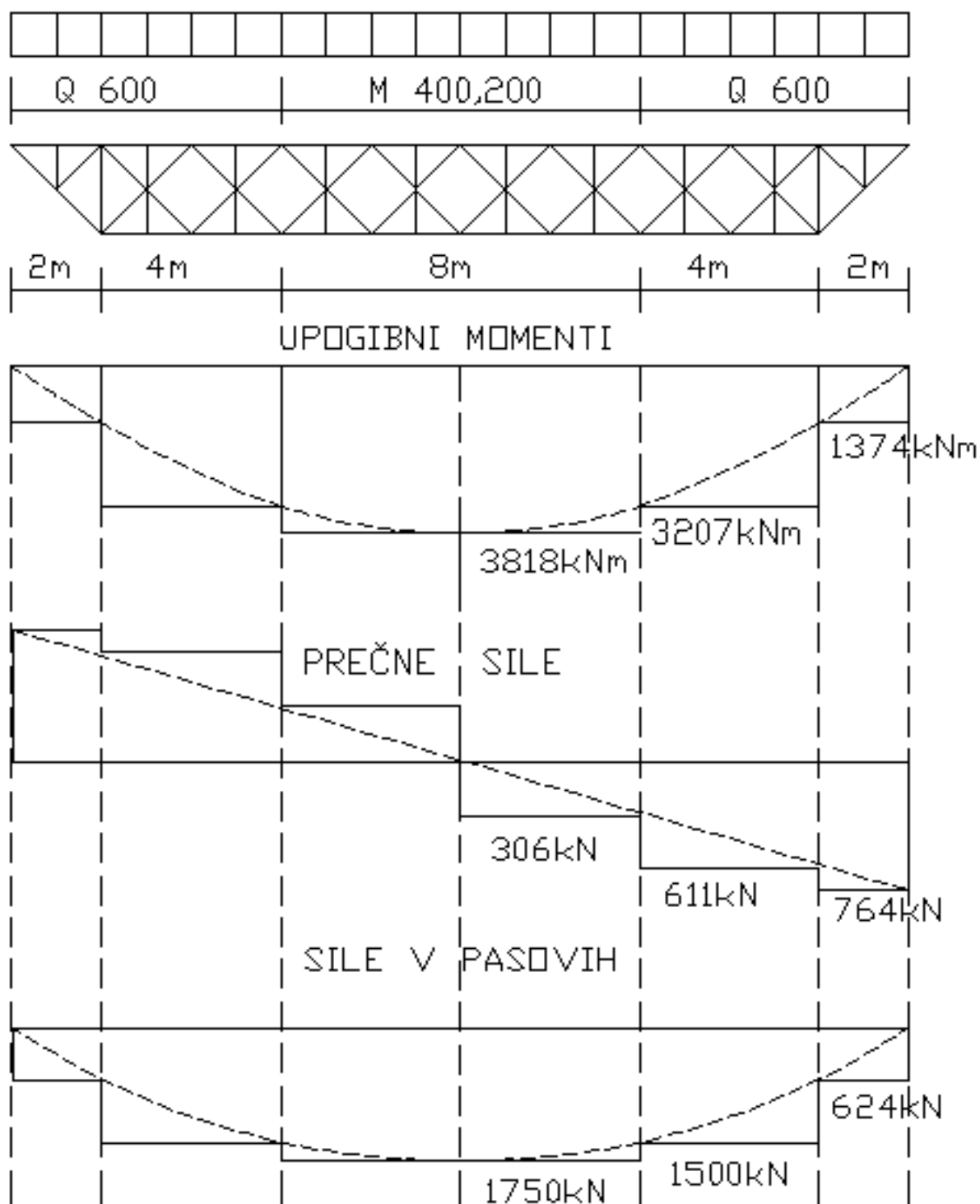
Dopustne obremenitve za nosilec razpetine 20m:

	x=0		x=2		x=6		x=10	
Q(kN/m)	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	V(kN)	M(kNm)	V(kN)
50,9	0	509	916	407	2138	204	2545	0

Mejne obremenitve:

	x=0		x=2		x=6		x=10	
Qsd(kn/m)	Msd(kNm)	Vsd(kN)	Msd(kNm)	Vsd(kN)	Msd(kNm)	Vsd(kN)	Msd(kNm)	Vsd(kN)
76,35	0	764	1374	611	3207	306	3818	0

### NAJVEČJA NOSILNOST - PROSTOLEŽEČ NOSILEC MSN Mejno stanje nosilnosti



Slika 19

## 6.2 Izračun notranjih sil

Izračun notranjih sil je bil izvršen s programom SCIA ESA PT. Pri računu so bile upoštevane naslednje predpostavke:

- nosilec dolžine  $L=20\text{m}$ ,
- statični model; ravninski okvir,
- račun;               Linearno,  
                              Nelinearno, upoštevana teorija II.reda, upoštevanje nepopolnosti
- obtežba; enakomerno zvezna po celi dolžini  $q_{del}=50,9\text{kN}$

Obtežba je določena tako, da so izpolnjeni kriteriji za zahtevano nosilnost. Račun je izdelan za mejno stanje uporabnosti ( $q_{del}$ ) in za mejno stanje nosilnosti( $q_{Ed} = \gamma * q_{del}$ ).

Za lastno težo je bil upoštevan varnostni faktor  $\gamma = 1,35$ , za koristno in spremenljivo obtežbo pa je bil privzet varnostni faktor  $\gamma = 1,5$ .

Delujoča obtežba zajema vse vrste obtežb:

- Lastna teža nosilca (LC1)
- Lastna teža opažnega sistema (LC2)
- Teža vgrajenega betona in armature v glavnem polju (LC2)
- Teža vgrajenega betona in armature v konzolah (LC4)
- Kopičenje (LC3)
- Teža materiala in ljudi (LC2)
- Delovni veter (LC6)
- Maksimalen veter (LC5)

V računu so bili upoštevani naslednji obtežni primeri po evropskem standardu EN 12812:

1. Obtežni primer (CO1);   lastna teža (LC1) + maksimalen veter (LC5)
2. Obtežni primer (CO2);   lastna teža (LC1) + koristna obtežba (LC2, LC3, LC4) + delovni veter (LC6)
2. Obtežni primer (CO3);   lastna teža (LC1) + koristna obtežba (LC2, LC3, LC4) + maksimalni veter (LC5)

$$Q_{Ed} = \sum \gamma_{fi} * Q_{ki} * \psi_i$$

$Q_{Ed}$  - računska obtežba

$\gamma_i$  - parcialni varnostni faktor

- 1,35 za lastno težo
- 1,50 za vso ostalo obtežbo

$\psi_i$  - obtežni kombinacijski faktor

### 6.2.1 Obtežne kombinacije:

$$CO1: Q_{Ed} = 1,35 * LC1 * 1,0 + 1,5 * LC5 * 0,7$$

$$CO2: Q_{Ed} = 1,35 * LC1 * 1,0 + 1,5 * LC2 * 1,0 + 1,5 * LC4 * 1,0 + 1,5 * LC6 * 1,0$$

$$CO3: Q_{Ed} = 1,35 * LC1 * 1,0 + 1,5 * LC2 * 1,0 + 1,5 * LC4 * 1,0 + 1,5 * LC5 * 0,7$$

Zgoraj našteje kombinacije so upoštevane pri linearnem računu. Za nelinearni izračun po teoriji II. reda z upoštevanjem začetne nepopolnosti, pa je bila upoštevana nelinearna kombinacija NC1 = CO3.

Začetno nepopolnost smo za nosilec izračunali po formuli  $e = \frac{L}{250} \times r$ , kjer je:

- L dolžina nosilca v mm
- r redukcijski faktor podan s spodnjo formulo

$$r = \sqrt{0,5 + \frac{1}{n_v}} < 1,0$$

-  $n_v$  število nosilcev povezanih med seboj

$$r = \sqrt{0,5 + \frac{1}{7}} = 0,80 < 1,0$$

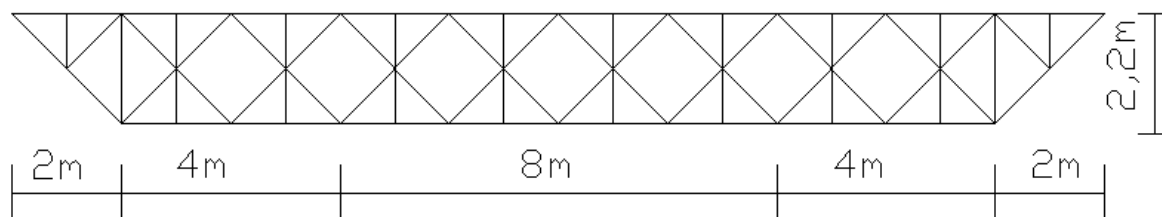
$$e = \frac{20000}{250} \times 0,80 = 64 \text{ mm}$$

### 6.2.2 Podatki za geometrijsko nepopolnost nosilca:

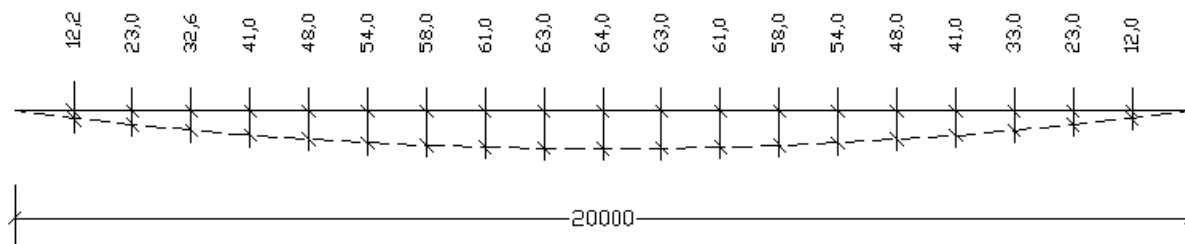
dx(m)	dy(mm)
0	0,0
1	12,2
2	23,0
3	32,6
4	41,0
5	48,0
6	53,8
7	58,2
8	61,4
9	63,4
10	64,0
11	63,4
12	61,4
13	58,2
14	53,8
15	48,0
16	41,0
17	32,6
18	23,0
19	12,2
20	0,0

Preglednica 4, podatki za nepopolnost

Pogled enega nosilca v ravnini x-z

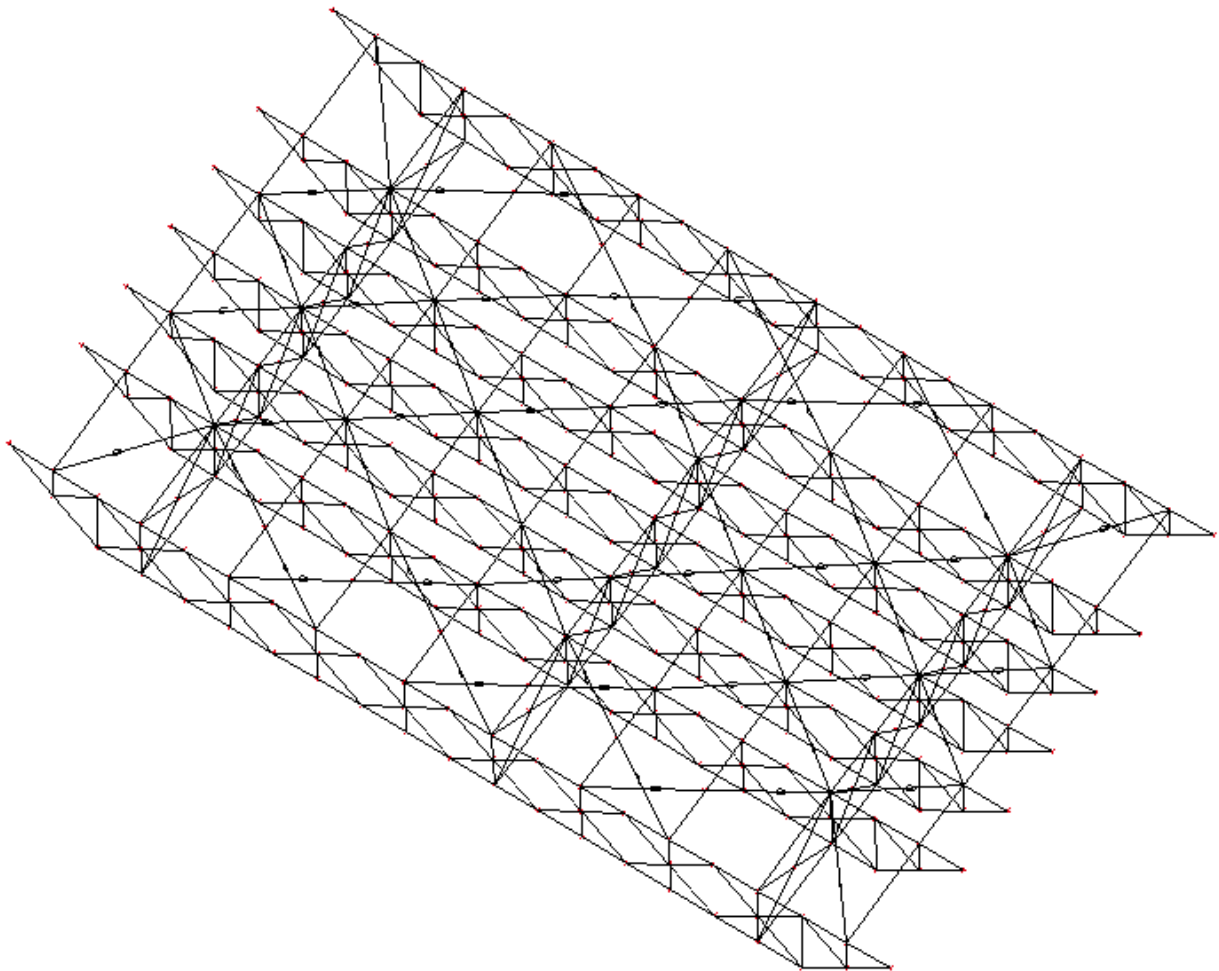


Tloris: začetna nepopolnost nosilca v (mm)



Slika 20

Sistem sedmih nosilcev s tremi prečniki, ter vertikalnim in diagonalnim povezjem (3D).



Slika 21

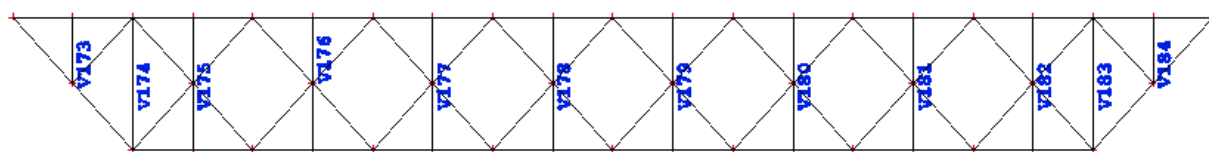
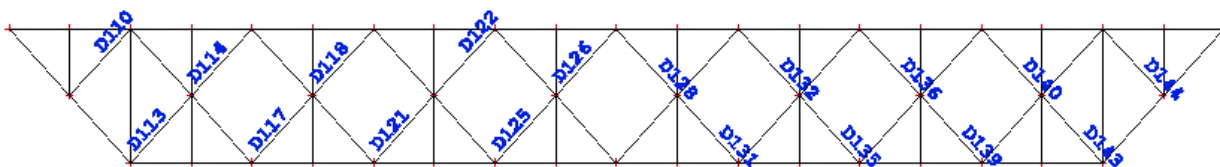
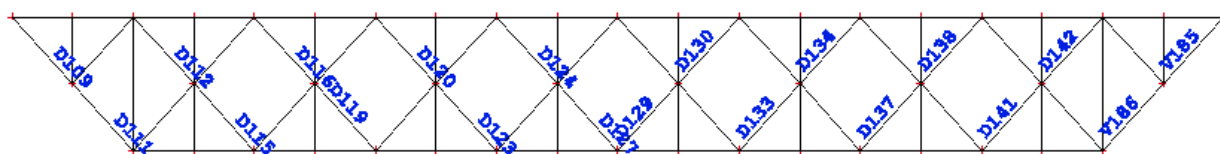
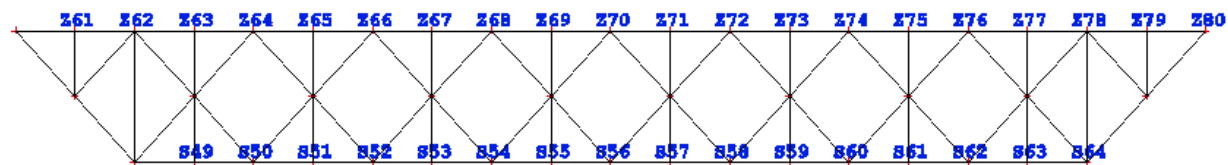
Za srednji nosilec 4 so podani naslednji rezultati:

### 6.2.3 Rezultati v grafični oblik (SCIA ESA PT);

- razpored elementov in vozlišč
- diagrami N,M,V za mejno stanje nosilnosti
- upogibki za mejno stanje uporabnosti
- diagrami osnih sil horizontalnega povezja

Na koncu je v preglednici podan povzetek ekstremnih vrednosti za notranje sile.

Razpored elementov nosilca 4 in pripadajoči diagrami (N, M, V). Diagrami so prikazani za obtežno kombinacijo CO3, z upoštevanjo začetno nepopolnostjo nosilcev, nelinearno.





ZGORNJI PAS (nosilec 4)

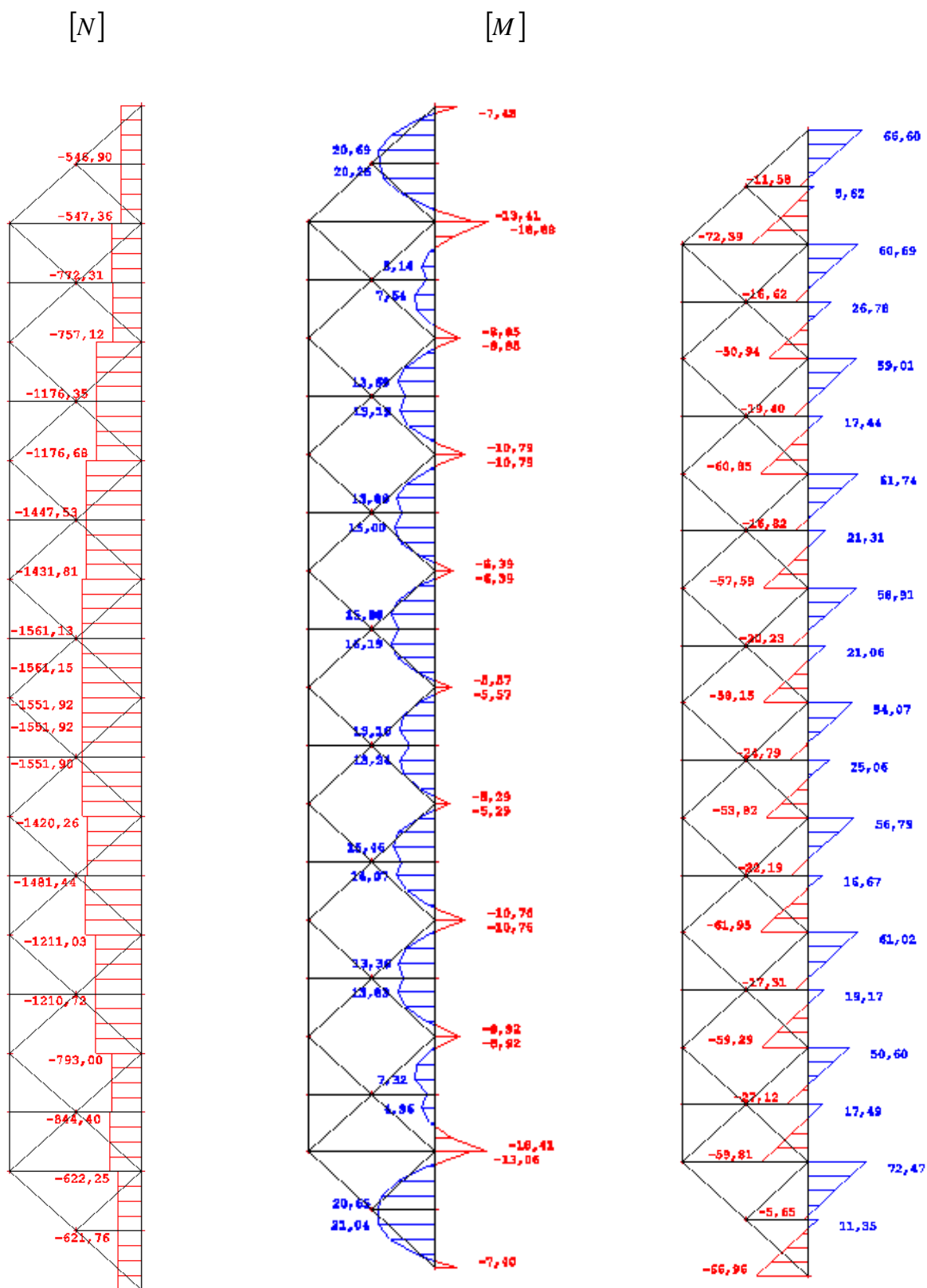


Diagram 1, Obtežbena kombinacija CO3, nelinearno, začetna nepopolnost

SPODNJI PAS (nosilec 4)

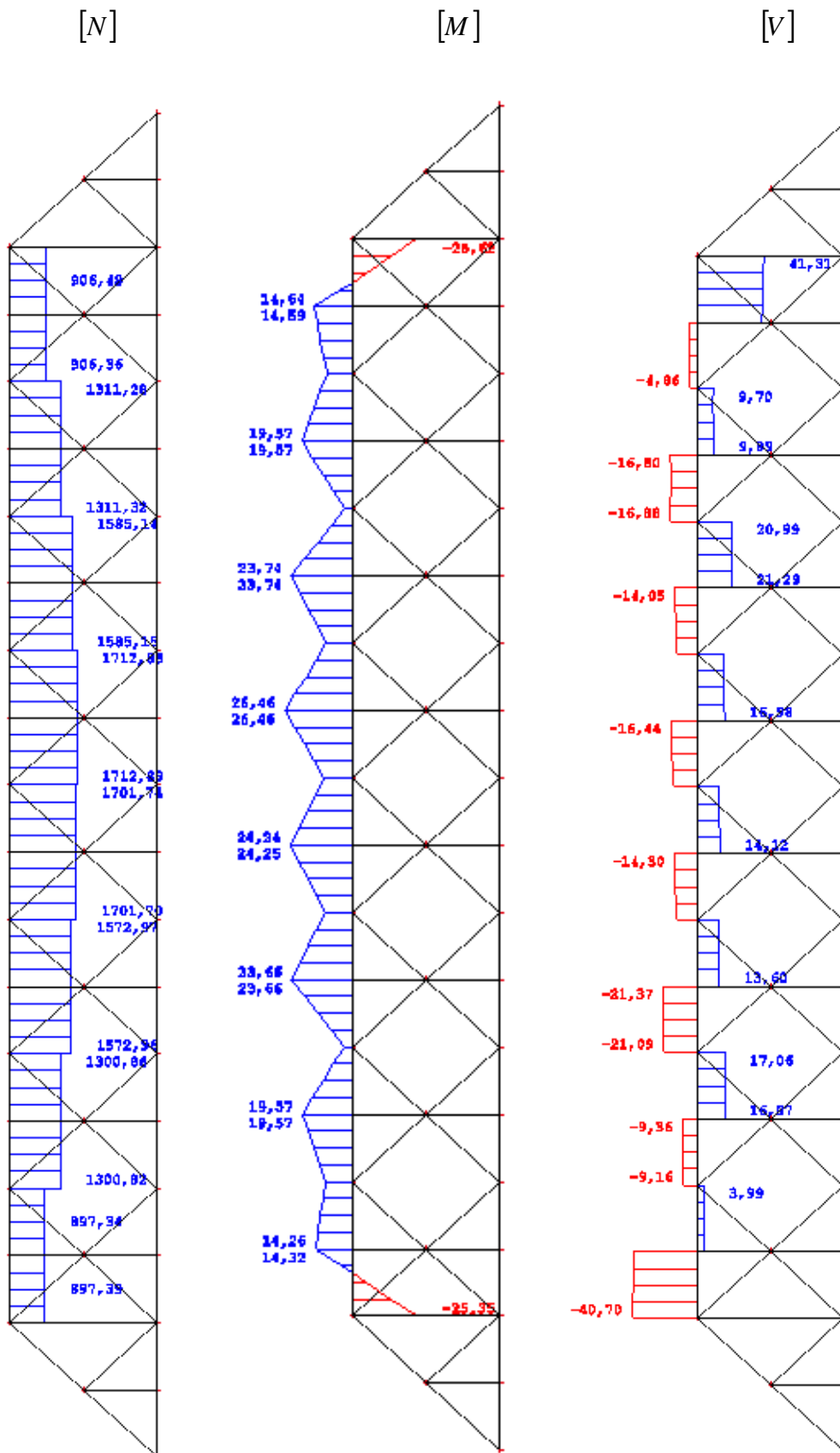


Diagram 2, Obtežbena kombinacija CO3, nelinearno, začetna nepopolnost

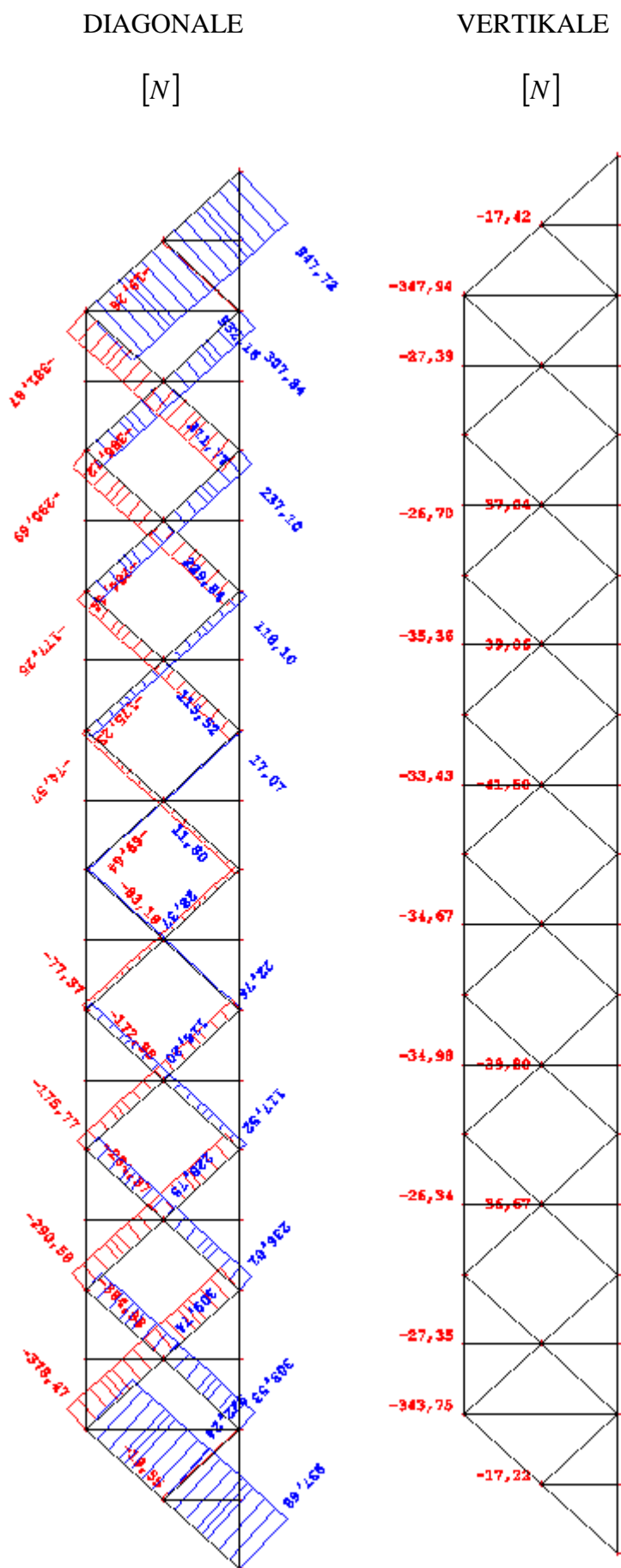


Diagram 3, Obtežbena kombinacija CO3, nelinearno, začetna nepopolnost

PREČNIK 2

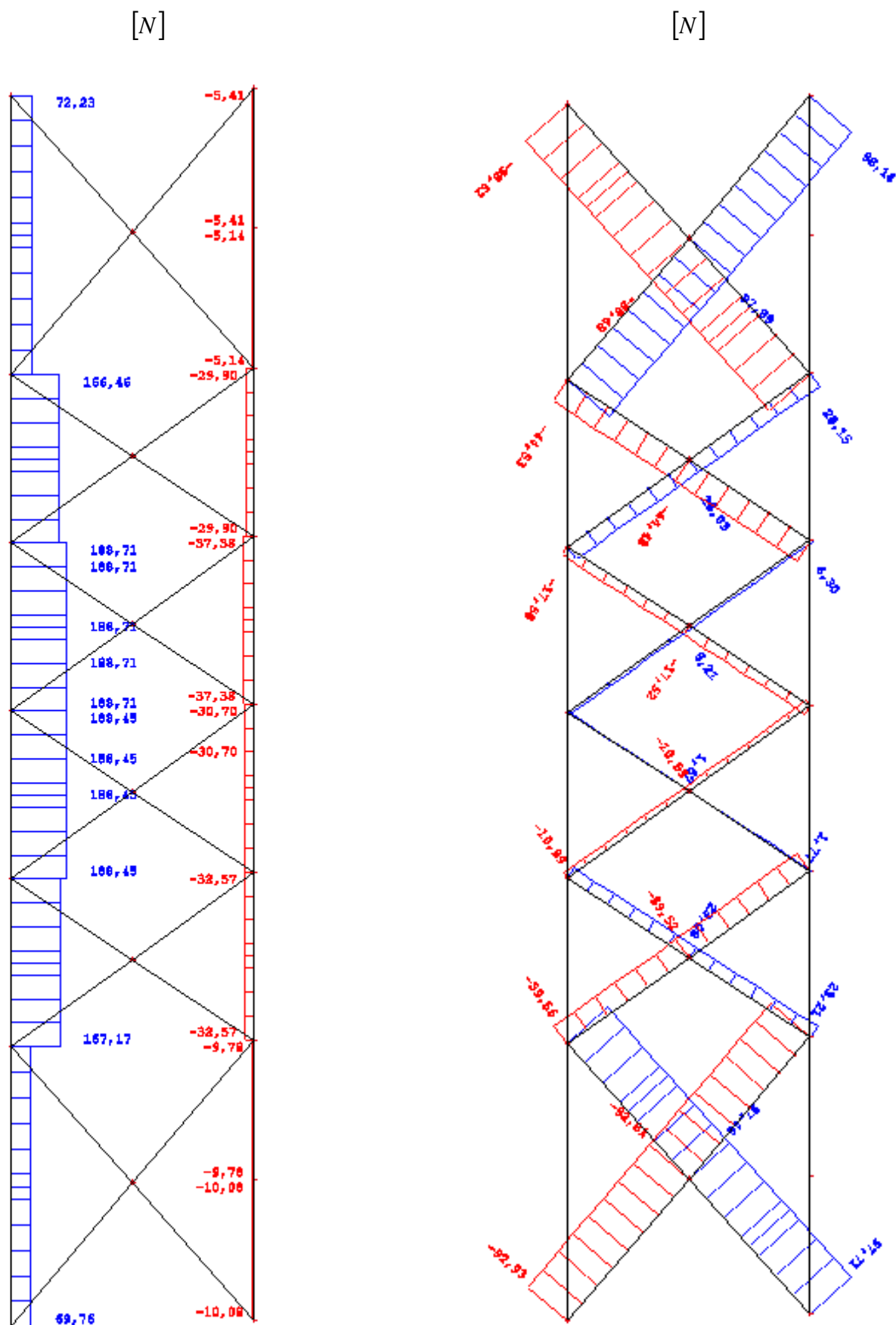


Diagram 4, Obtežbena kombinacija CO3, nelinearno, začetna nepopolnost

POVES NOSILCA (v mm)

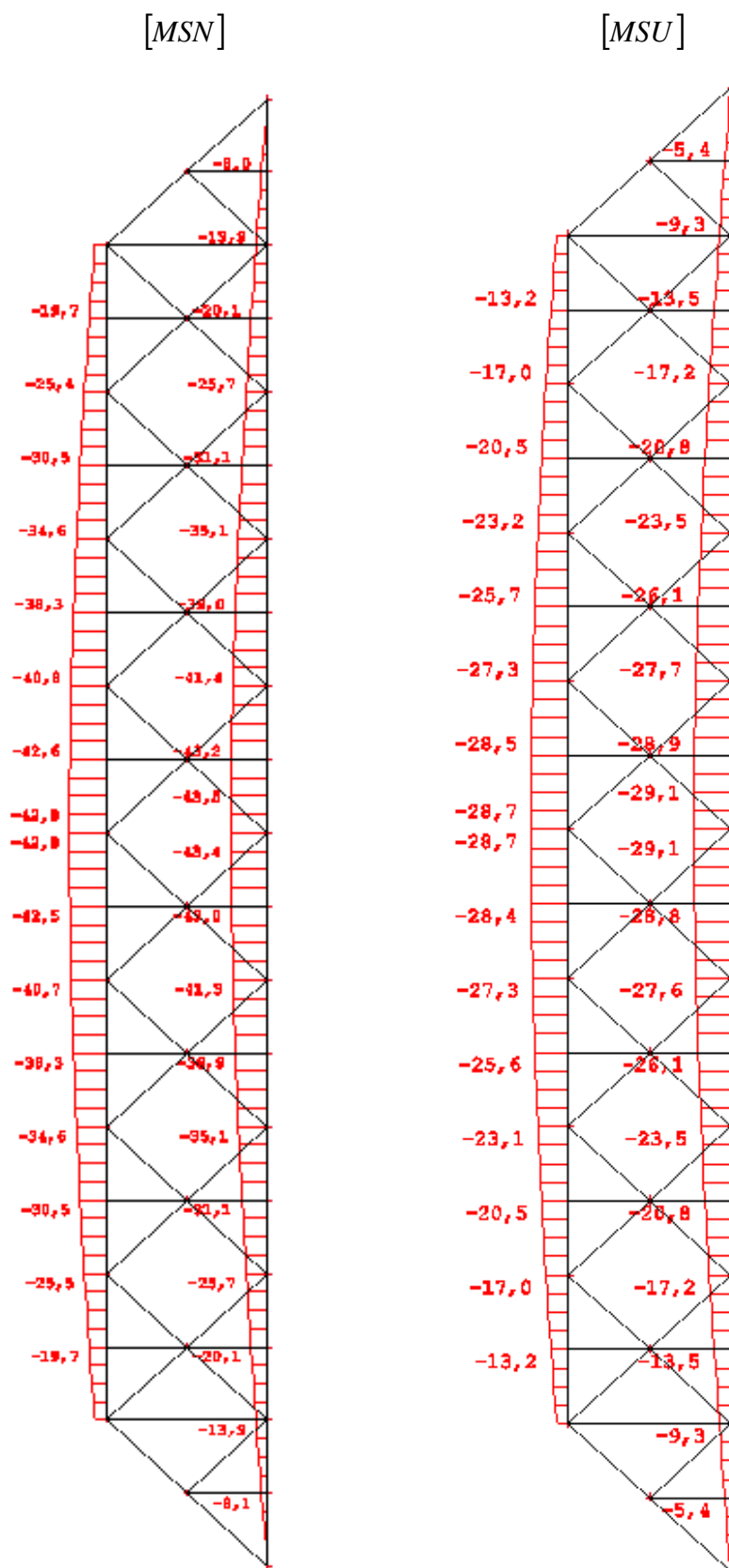
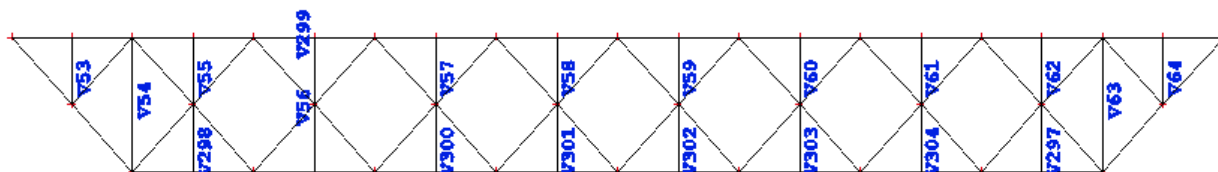
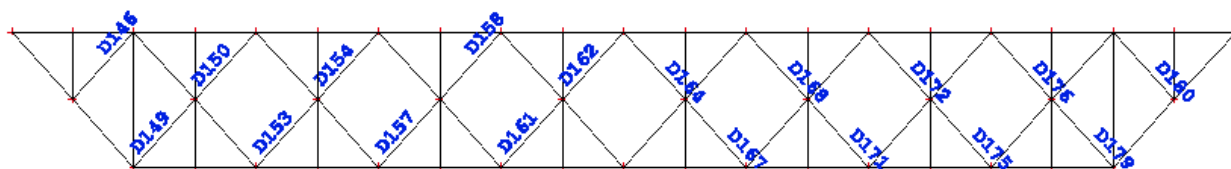
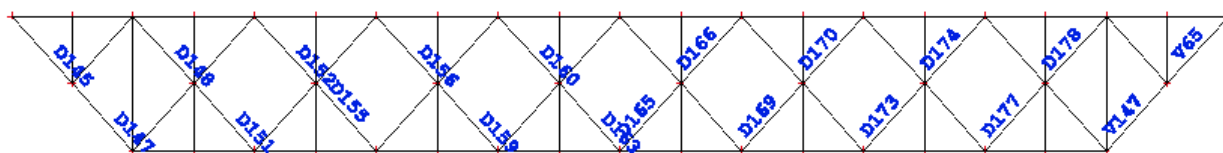
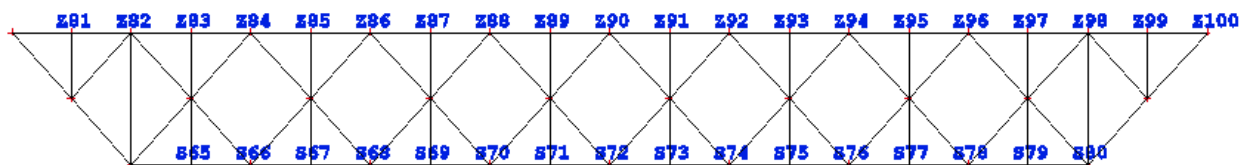


Diagram 5, Obtežbena kombinacija CO3, nelinearno, začetna nepopolnost

Razpored elementov nosilca 4 in pripadajoči diagrami (N, M, V). Diagrami so prikazani za obtežno kombinacijo CO3 , linearno.



ZGORNJI PAS (nosilec 4)

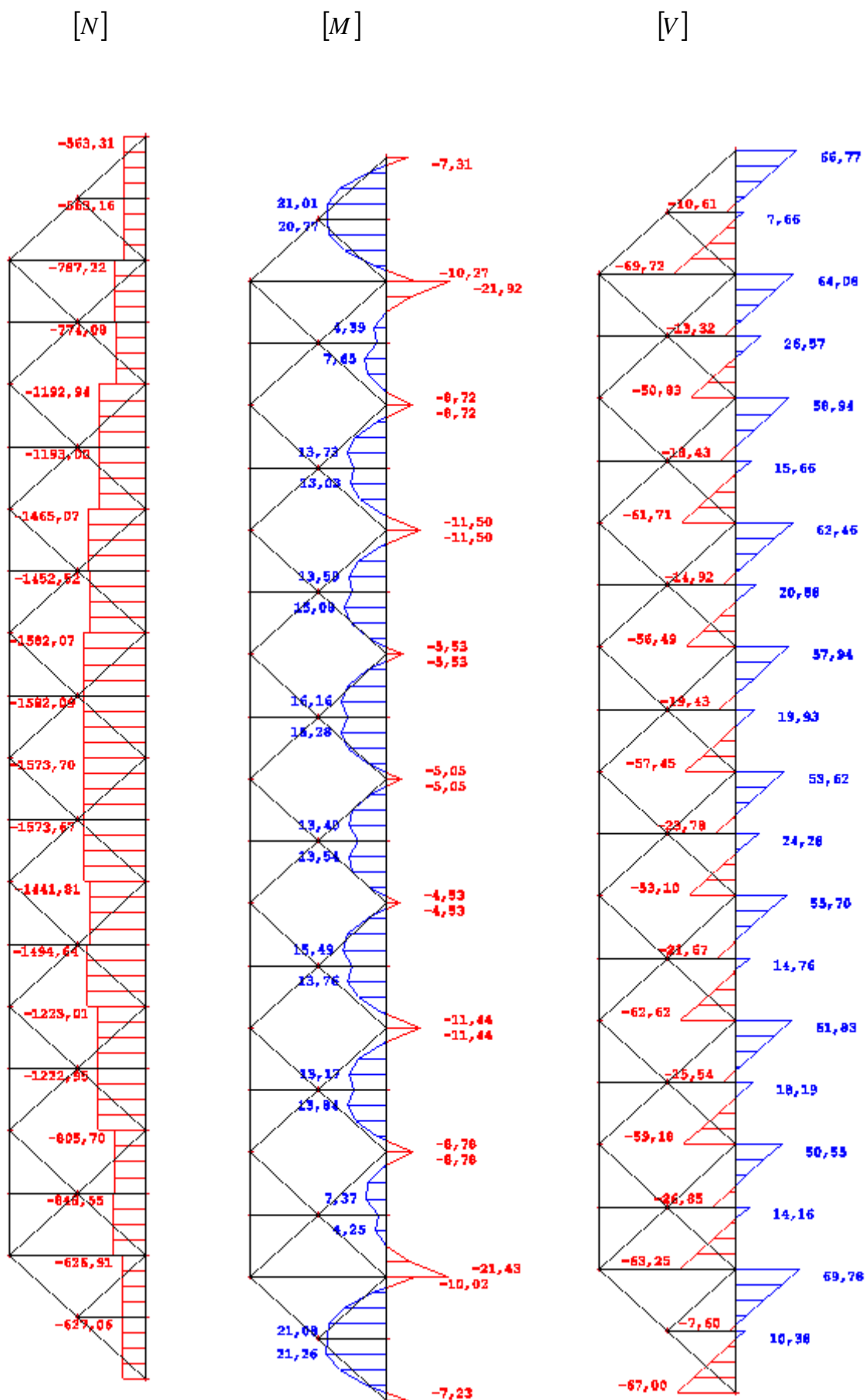


Diagram 6, Obtežbena kombinacija CO3, linearno

SPODNJI PAS (nosilec 4)

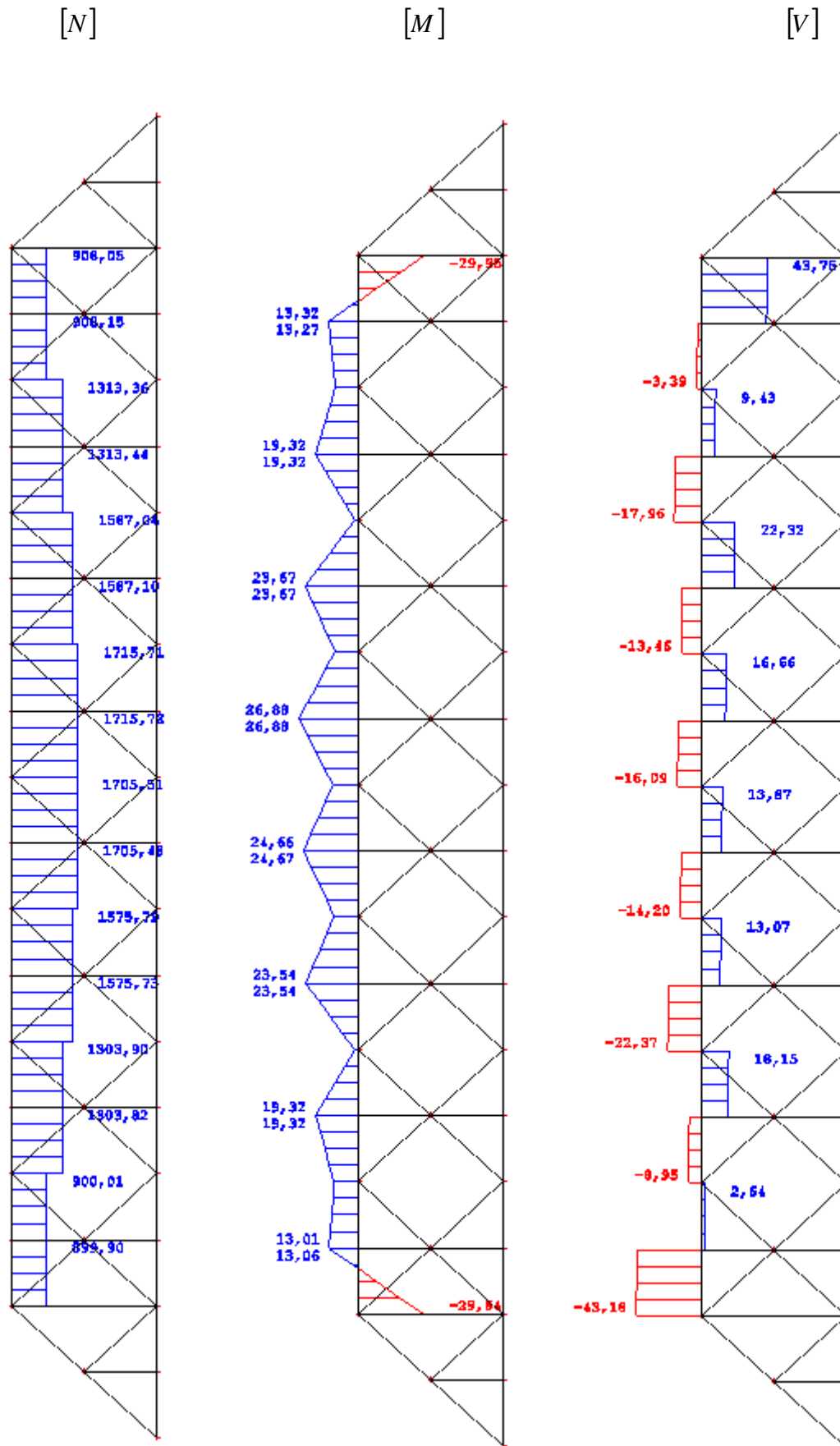


Diagram 7, Obtežbena kombinacija CO3, linearno



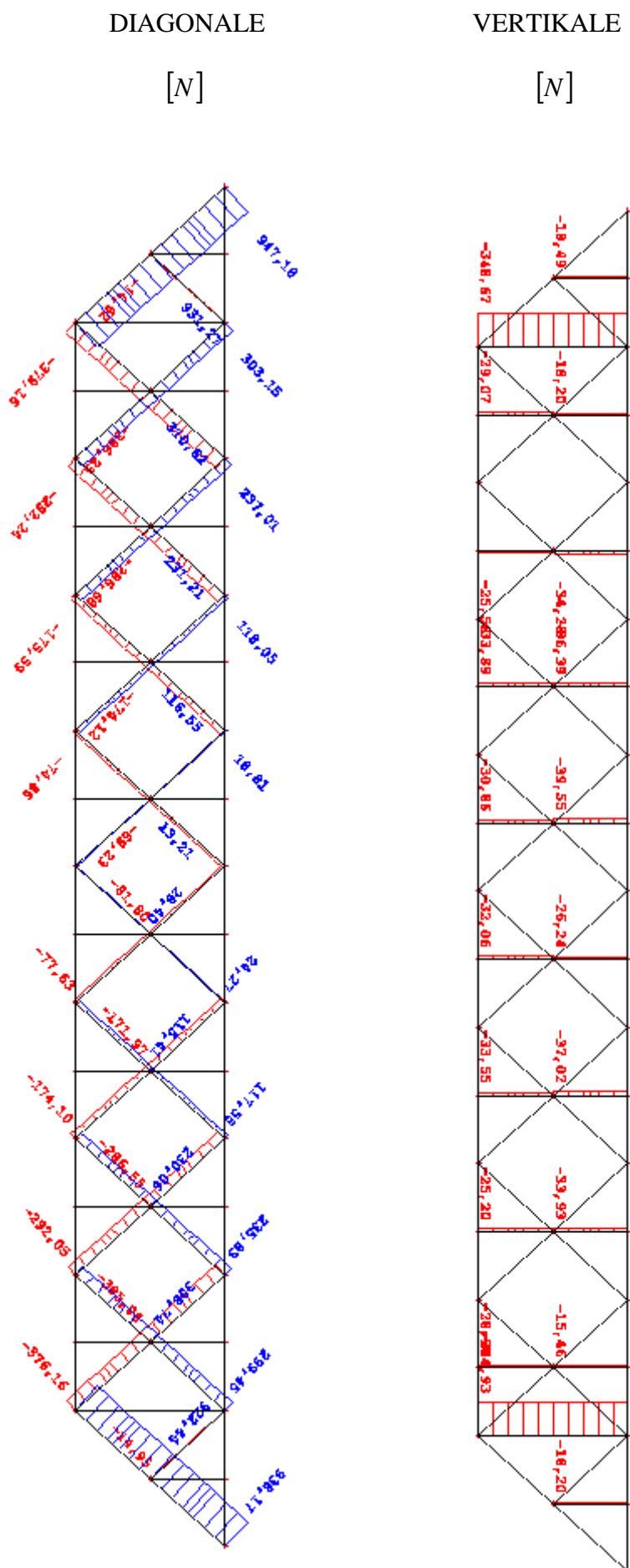


Diagram 8, Obtežbena kombinacija CO3, linearno

PREČNIK 2

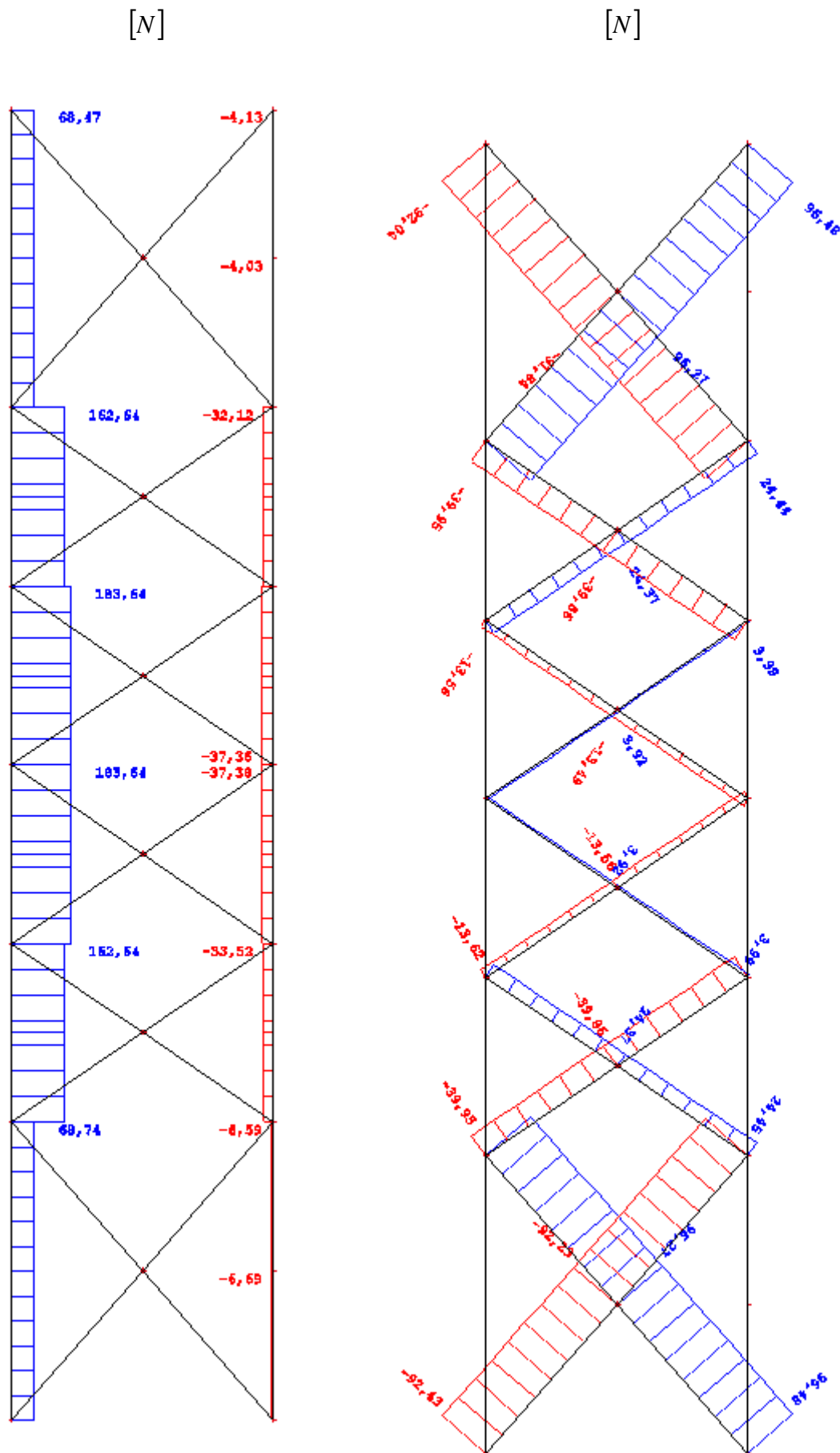


Diagram 9, Obtežbena kombinacija CO3, linearno

POVES NOSILCA (v mm)

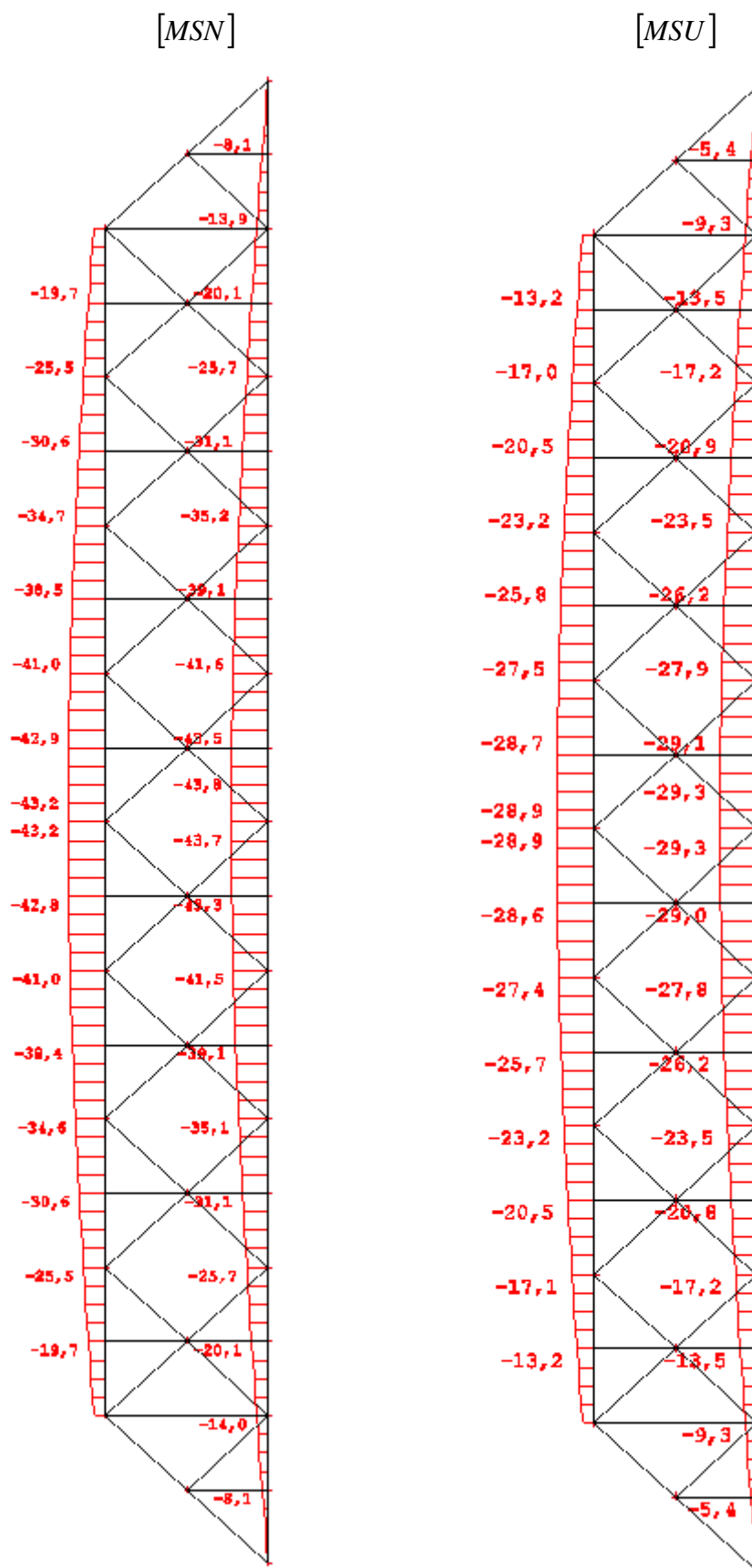


Diagram 10, Obtežbena kombinacija CO3, linearno

### 6.3 Dimenzioniranje nosilcev in povezja

Dimenzioniranje je bilo izvedeno v skladu s;

- SIST ENV 1993-1-1
- EN 12812 (Nosilni odri, zahtevane lastnosti in projektiranje)

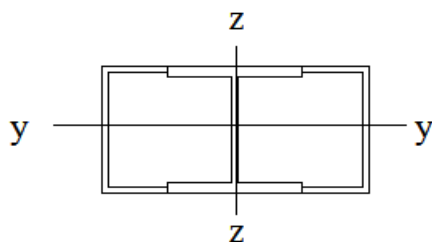
MATERIAL S355 J2

$$f_y = 35,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_u = 51,0 \text{ kN/cm}^2$$

DIMENZIONIRANJE OSNOVNIH ELEMENTOV NOSILCA:

**Zgornji pas: 2x UPN 160 + HEB 160**



$$A = 102,3 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 4340 \text{ cm}^4 \quad I_z = 8753 \text{ cm}^4 \quad l_y = 1,00 \text{ m}$$

$$W_y = 542 \text{ cm}^3 \quad W_z = 604 \text{ cm}^3 \quad l_z = 2,00 \text{ m}$$

$$i_y = 6,51 \text{ cm} \quad i_z = 9,25 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} [M^+] \quad N_{Ed} &= -1583 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= 1628 \text{ kNcm} \quad \lambda_1 = 93,9 \varepsilon \quad \varepsilon = 0,813 \\ V_{Ed} &= 62 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{l_{uy}}{i_y \times \lambda_1} = \frac{100 \text{ cm}}{6,51 \text{ cm} \times 76,4} = 0,201 \quad \text{krivulja b}$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{l_{uz}}{i_z \times \lambda_1} = \frac{200 \text{ cm}}{9,25 \text{ cm} \times 76,4} = 0,283 \quad \text{krivulja c}$$

$$\chi_y = 1,0; \quad \chi_z = 0,97 = \chi_{\min}$$

I Razred kompaktnosti (Z90)

$$\psi = \frac{505}{1372} = 0,37 \quad \beta_{m\psi} = 1,8 - 0,7 \times \psi = 1,54$$

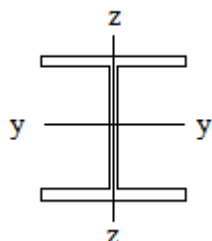
$$\beta_M = \beta_{my} + \frac{M_Q}{\Delta M} (\beta_{MQ} - \beta_{m\psi}) = 1,54 + \frac{461 \text{ kNcm}}{2133 \text{ kNcm}} (1,3 - 1,54) = 1,49$$

$$\mu_y = \bar{\lambda}_y (2\beta_{my} - 4) = 0,201 (2 \times 1,49 - 4) = -0,20$$

$$k_y = 1 - \frac{\mu_{y*} N_{Ed}}{\chi_{y*} A f_y} = 1 - \frac{-0,20 \times 1583 \text{ kN}}{1 \times 102,3 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} = 1,09 < 1,5$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} A f_y / \gamma_m} + \frac{k_y M_{yEd}}{W_{el,y} f_y / \gamma_m} = \frac{1583 \text{ kN} \times 1,1}{0,97 \times 102,3 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} + \frac{0,93 \times 1628 \text{ kN} \times 1,1}{542 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,58 < 1,0$$

**Spodnji pas: HEB 220**



$$A = 91 \text{ cm}^2$$

$$I_y = 8090 \text{ cm}^4 \quad I_z = 2840 \text{ cm}^4 \quad l_y = 1,00 \text{ m}$$

$$W_y = 736 \text{ cm}^3 \quad W_z = 258 \text{ cm}^3 \quad l_z = 2,00 \text{ m}$$

$$i_y = 9,43 \text{ cm} \quad i_z = 5,59 \text{ cm}$$

$$N_{Ed} = 1716 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2688 \text{ kNcm}$$

Kontrola napetosti:

$$\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y}} = \frac{1716 \text{ kN}}{91 \text{ cm}^2} + \frac{2688 \text{ kNcm}}{736 \text{ cm}^3} = 22,51 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = 32,3 \text{ kN/cm}^2$$

**Diagonale:**  $\phi 108/6$



$$\begin{aligned} A &= 20,13 \text{ cm}^2 \\ I &= 261,2 \text{ cm}^4 & l_u &= 148,7 \text{ cm} \\ W &= 48,38 \text{ cm}^3 \\ i &= 3,6 \text{ cm} & k_y &= 1,5 \end{aligned}$$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{i\lambda_1} = 0,54 \xrightarrow{b} \chi = 0,86$$

$$\begin{aligned} \text{Plak: } N_{Ed} &= -387 \text{ kN} \\ M_{Ed} &= 68 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\bar{\lambda} A f_y / \gamma_m} + \frac{k_y M_{Ed}}{W_{el} f_y / \gamma_m} = \frac{387 \text{ kN}}{0,86 \times 20,13 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} + 1,5 \frac{68 \text{ kNm} \times 1,1}{48,38 \text{ cm}^3 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,70 < 1,0$$

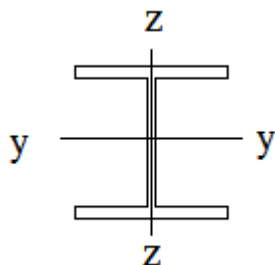
**Vertikale:**  $\phi 63,5/4$



$$\begin{aligned} A &= 7,47 \text{ cm}^2 & N_{Ed} &= -39,55 \text{ kN} \\ I &= 33,24 \text{ cm}^4 & l_u &= 110 \text{ cm} & M_{Ed} &= 2,0 \text{ kNm} \\ W &= 10,4 \text{ cm}^3 \\ i &= 2,1 \text{ cm} & k_y &= 1,23 \end{aligned}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\bar{\lambda} A f_y / \gamma_m} + \frac{k_y M_{Ed}}{W_{el} f_y / \gamma_m} = \frac{39,55 \text{ kN} \times 1,1}{0,686 \times 7,47 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} + 1,23 \frac{2 \text{ kNm} \times 1,1}{10,4 \text{ cm}^3 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,25 < 1,0$$

**Vertikala: HEB 160**



$$N_{Ed} = -349 \text{ kN} \quad I_{uy} = I_{uz} = 220 \text{ cm}^4$$

$$M_{Ed} = 1165 \text{ kNm}$$

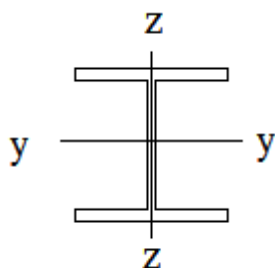
$$V_{Ed} = 10,6 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_y = \frac{l_u}{i\lambda_1} = 0,43 \xrightarrow{b} \chi_y = 0,91$$

$$\bar{\lambda}_z = \frac{l_u}{i\lambda_1} = 0,71 \xrightarrow{c} \chi_z = 0,77 \quad k_y = 1,0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} A f_y / \gamma_m} + \frac{k_y M_{yEd}}{W_{el,y} f_y / \gamma_m} = \frac{349 \text{ kN} \times 1,1}{0,77 \times 54,3 \text{ cm}^2 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} + 1,0 \frac{1165 \text{ kNm} \times 1,1}{311 \text{ cm}^3 \times 35,5 \text{ kN/cm}^2} = 0,38 < 1,0$$

### Diagonala: HEB 160



$$N_{Ed} = 948 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1830 \text{ kNm}$$

Kontrola napetosti:

$$\frac{N_{Ed}}{A} + \frac{M_{Ed}}{W_{el,y}} = \frac{948 \text{ kN}}{54,3 \text{ cm}^2} + \frac{1830 \text{ kNm}}{311 \text{ cm}^3} = 23,3 \text{ kN/cm}^2 < \frac{f_y}{\gamma_{m0}} = 32,3 \text{ kN/cm}^2$$

### Vijačeni stik

Vijaki so nestandardni in bodo narejeni v delavnici, zato bo upoštevana redukcija vijakov 15%.

- spodnji natezni pas (območje največje natezne sile)

$$N_{Ed} = 1716 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 2688 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = \frac{350 \text{ kN} \times 1,35}{2} = 236 \text{ kN}$$

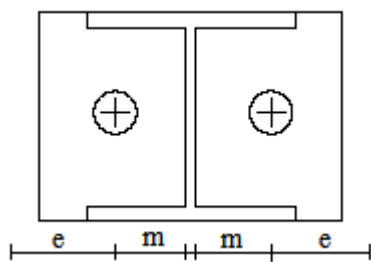
Obremenitev enega vijaka:

$$N_1 = \frac{N_{Ed}}{2} + \frac{M_{Ed}}{2xe} = \frac{1716kN}{2} + \frac{2688kNcm}{2 \times 7cm} = 1050 \text{ kN}$$

$$V_1 = \frac{V_{Ed}}{2} = \frac{236}{2} = 118 \text{ kN}$$

Vijaki 2x M64 10.9

$$A_s = 0,817 \times \pi \times \frac{6,4^2}{4} = 26,3 \text{ cm}^2$$



$$N_{t,Ed} = \frac{0,9 \times 100kN / cm^2 \times 26,3cm^2}{1,25} \times 0,85 = 1607 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \frac{0,5 \times 100kN / cm^2 \times 26,3cm^2}{1,25} \times 0,85 = 895 \text{ kN}$$

$$V_1 = 118kN < 0,28 F_{v,Ed} = 251 \text{ kN}$$



Slika 22



## Povezja za horizontalno stabilizacijo nosilcev

Za izračun povezja smo upoštevali enakomerno porazdeljeno obtežbo na nosilni oder. Izbrali smo 5 opažnih nosilcev, razpona 20,00m na medsebojni razdalji 4x 1,50m.

Račun je narejen v skladu s:

SIST ENV 1993-1-1 (projektiranje jeklenih konstrukcij)

SIST ENV 1991-1-4 (obtežba vetra)

SIST EN 12812 (nosilni odri)

### Obtežba:

- Lastna + stalna

$$q_v = 265 \text{ kN/m}$$

- Horizontalni sunki (EN 12812)

$$q_h = 0,01 q_v = 2,65 \text{ kN/m}$$

- Največji veter (SIST ENV 1991-1-4)

$$q_w^M \times v_{ref} \quad (\text{referenčna hitrost})$$

$$v_{ref} = 0,7 \times 25 \text{ m/s} = 17,5 \text{ m/s}$$

Maksimalni veter je lahko modificiran z faktorjem 0,7 v primeru, da je opaž izpostavljen vplivu vetra manj kot 24 mesecev

- Delovni veter

$$q_w^D = 0,2 \text{ kN/m}^2$$

### Določitev največje obtežbe z vetrom (SIST EN 1991-1-4; 2005)

Cona A; 10 min povprečna hitrost vetra na  $h=10,00\text{m}$

Kat.ter.II – povratna doba 50 let

- Koeficient izpostavljenosti

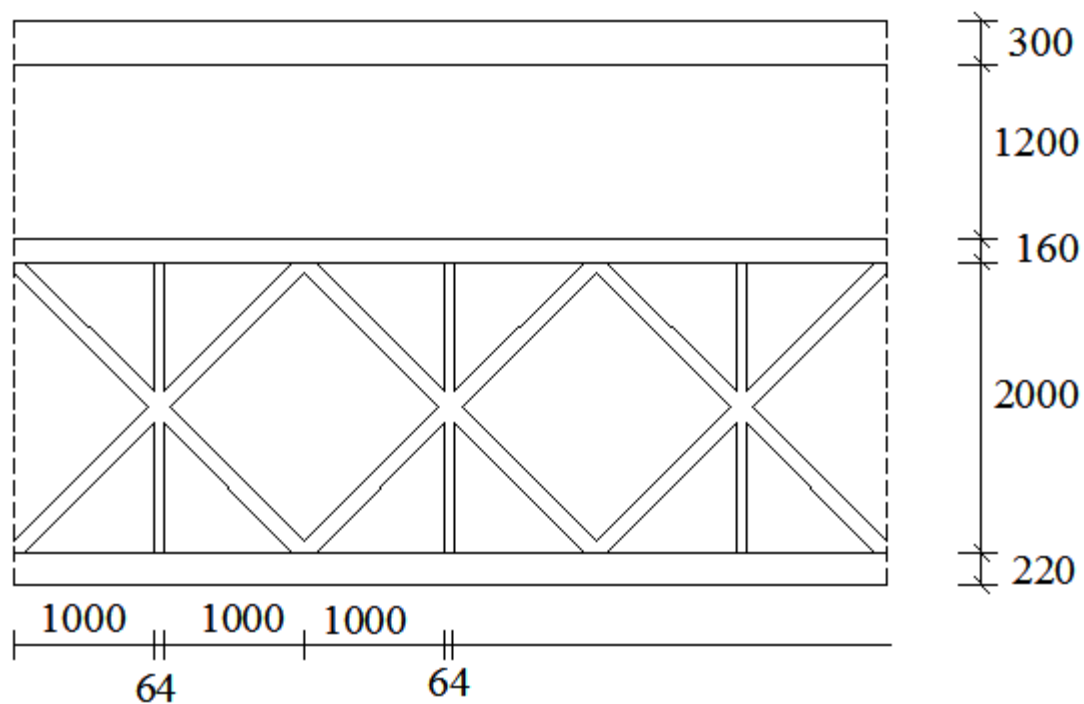
$$C_{e(z)} = 2,35 \quad (\text{odčitek iz grafa fig.4,2, SIST EN 1991-1-4})$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{priporočena vrednost}$$

$$C_d = 1,0 \quad \text{dinamični koeficient}$$

$$q_{ref} = \frac{1}{2} \rho v_{ref}^2 = 0,19 \text{ kN/m}^2$$

$A_{ref}$  ;



(dimenzije na sliki so v mm)

Za 1,0m ;  $A_1$

$$A_1 = 0,30\text{m} + 1,20\text{m} + 0,16\text{m} + 0,22\text{m} + 2,0\text{m} \sqrt{2} \cdot 0,11\text{m} + 2\text{m} \times 0,0325\text{m} = 2,256 \text{ m}^2$$

$$A_1 = 2,30 \text{ m}^2$$

$$A_{brutto} = 3,9\text{m} \times 1,0\text{m} = 3,9 \text{ m}^2$$

$$\varphi = \frac{A_1}{A_B} = 0,59$$

$$\psi_\lambda = 0,88 \text{ (fig. 7.36 , SIST EN 1991-1-4, )}$$

$$\lambda = \frac{l}{b} = 5,13$$

$$\frac{d}{b} = 2,82 \text{ (fig 7.34)} \quad C_{f_0} = 1,7$$

$$C_f = C_{f_0} \times \psi_\lambda = 1,50$$

$$q_w^M = 0,19\text{kN/m}^2 \times 2,35 \times 1,0 \times 1,50 = 0,67 \text{ kN/m}^2$$

$$\overline{q_w^M} = A_1 \times q_w^M = 1,54 \text{ kN/m}$$

### Primerjava horizontalnih vplivov

1. primer:

$$F_{H_{Ed}}^1 = 1,35 q_h + 1,5 q_w^D$$

$$F_{H_{Ed}}^1 = 1,35 \times 2,65 \text{ kN/m} + 1,5 \times 0,2 \text{ kN/m}^2 \times 2,3 \text{ m}^2 = 4,27 \text{ kN/m}$$

2. primer:

$$F_{H_{Ed}}^2 = 1,5 q_w^M$$

$$F_{H_{Ed}}^2 = 1,5 \times 1,54 \text{ kN/m} = 2,31 \text{ kN/m}$$

### Izbočne sile

$n=5$  število nosilcev, ki so med seboj povezani

$$N_{Ed} = \frac{1,35 q_v l^2}{8h} = \frac{1,35 \times 2,10 \text{ kN/m} + 1,5 \times 50,87 \text{ kN/m} \times 20 \text{ m}^2}{8 \times 2,20} = 1734 \text{ kN}$$

$$k_r = \frac{1}{2} \left( 1 + \frac{1}{\sqrt{5}} \right) = 0,72 \quad \text{upogibek zaradi vetra } \delta_q = 1,1 \text{ mm, majhen vpliv izbočnih sil}$$

zaradi vetra

$$\alpha = \frac{500 \times \delta_q}{l} = 0,028$$

$$q_{izb_{Ed}} = \frac{\sum N_{Ed} [k_r + \alpha]}{62,5l} = \frac{5 \times 1734 \text{ kN} [0,72 + 0,028]}{62,5 \times 20 \text{ m}} = 5,19 \text{ kN/m}$$

$$q_{H_{Ed}} = F_{H_{Ed}}^1 + q_{izb_{Ed}} = 4,27 \text{ kN/m} + 5,19 \text{ kN/m} = 9,46 \text{ kN/m}$$

Računska horizontalna sila, ki deluje na povezje,  $q_{H_{Ed}} = 9,46 \text{ kN/m}$

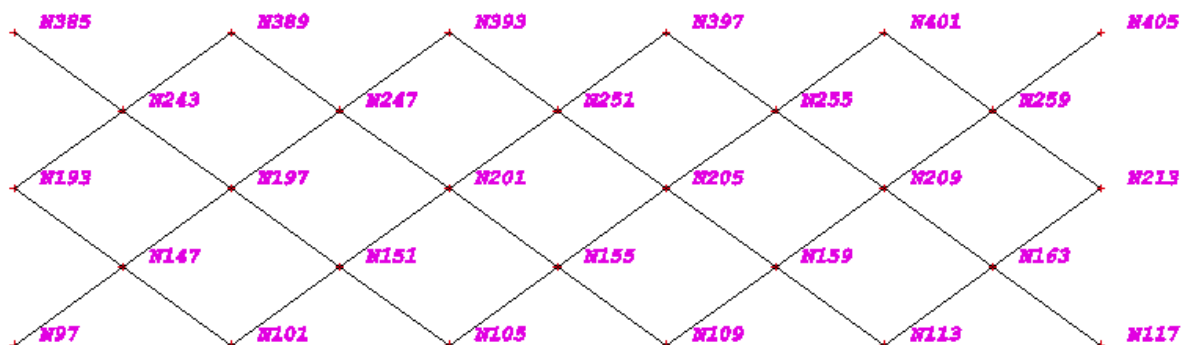
Pri računu po teoriji drugega reda je nastala težava zaradi togosti spojk. V povezju so nastale izredno velike osne sile, ker se cel sistem nosilnega odra upogne za ca. 4,0 cm. Zaradi nastalega upogibka se vozlišča pomaknejo za ca. 1,0 mm (diagram 14), v x-smeri in to je posledica nastanka velikih tlačnih sil v povezju. Dejansko se to ne zgodi, ker so spojke vrtljive in so v zglobov tudi ohlapne.

V nadaljevanju sta prikazana dva različna primera računa. Prvi je linearni račun paličja s prikazom velikosti osnih sil povezja v treh obtežnih kombinacijah. Drugi pa je približni peš račun.



Diagram 11, osne sile v diagonalah povezja zaradi 1. obtežnega primera

Prikaz vozlišč, kjer so diagonale pritrjene na opažne nosilce:



Maksimalna osna sila v palicah za 1. obtežni primer je 31,94kN.

$l_u$  - sistemska dolžina palice (od vozlišča do vozlišča)

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1,50}{2,0} = 0,75 \Rightarrow 36,9^\circ \quad \sin \alpha = 0,6$$

$$\cos \alpha = 0,8$$

$$l_u = \sqrt{150^2 + 200^2} = 250 \text{ cm}$$

Izberem palico  $\phi 63,5 / 4,8$  S235  $A = 8,20 \text{ cm}^2$ ,  $i = 2,1 \text{ cm}$ ,  $\lambda_1 = 93,9 \varepsilon$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{ix\lambda_1} = \frac{250 \text{ cm}}{2,1 \text{ cm} \times 93,9} = 1,28 \quad \xrightarrow{b} \chi = 0,43$$

Nosilnost diagonale v povezju:

$$D_{brd} = \chi A \frac{f_y}{1,0} = 0,43 \times 8,20 \times \frac{23,5 \text{ kN} / \text{m}^2}{1,0} = 82,9 \text{ kN}$$

$$D_{bEd} = 31,94 \text{ kN} < 82,9 \text{ kN} = D_{brd}$$

Obremenitev spoj v vozliščih:

$$F_k = 8,5 \text{ kN (vrtljiva spojka)}$$

$$F_{rd} = \frac{F_k}{\gamma_M} = \frac{8,5 \text{ kN}}{1,1} = 7,73 \text{ kN}$$

Maksimalne sile, ki delujejo na vrtljive spojke v vozliščih za 1. obtežni primer:

- Tlačene diagonale

N193  $\Rightarrow$  N147  $\Rightarrow$  N101 ; 29,06kN  $\Rightarrow$  23,55kN  $\Delta N_{\max} = 5,51\text{kN} < F_{rd} = 7,73\text{kN}$

N385  $\Rightarrow$  N243  $\Rightarrow$  N197  $\Rightarrow$  N151  $\Rightarrow$  N105; 28,87kN  $\Rightarrow$  22,96kN  $\Rightarrow$  16,96kN  $\Rightarrow$  10,98kN

$\Delta N_{\max} = 6,0\text{kN} < F_{rd} = 7,73\text{kN}$

- Natezne diagonale

N192  $\Rightarrow$  N243  $\Rightarrow$  N389; 31,94kN  $\Rightarrow$  26,59kN  $\Delta N_{\max} = 5,35\text{kN} < F_{rd} = 7,73\text{kN}$

N97  $\Rightarrow$  N147  $\Rightarrow$  N197  $\Rightarrow$  N247  $\Rightarrow$  N393; 30,65kN  $\Rightarrow$  26,68kN  $\Rightarrow$  21,98kN  $\Rightarrow$  15,75kN

$\Delta N_{\max} = 6,23\text{kN} < F_{rd} = 7,73\text{kN}$

2. Obtežni primer ; kombinacija ( LASTNA TEŽA + VERTIKALNA OBTEŽBA + VETER + IZBOČNE SILE)

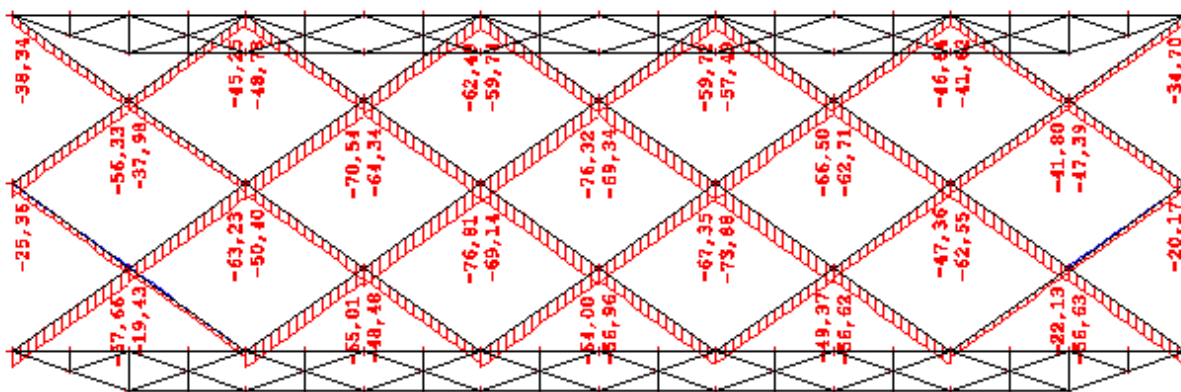
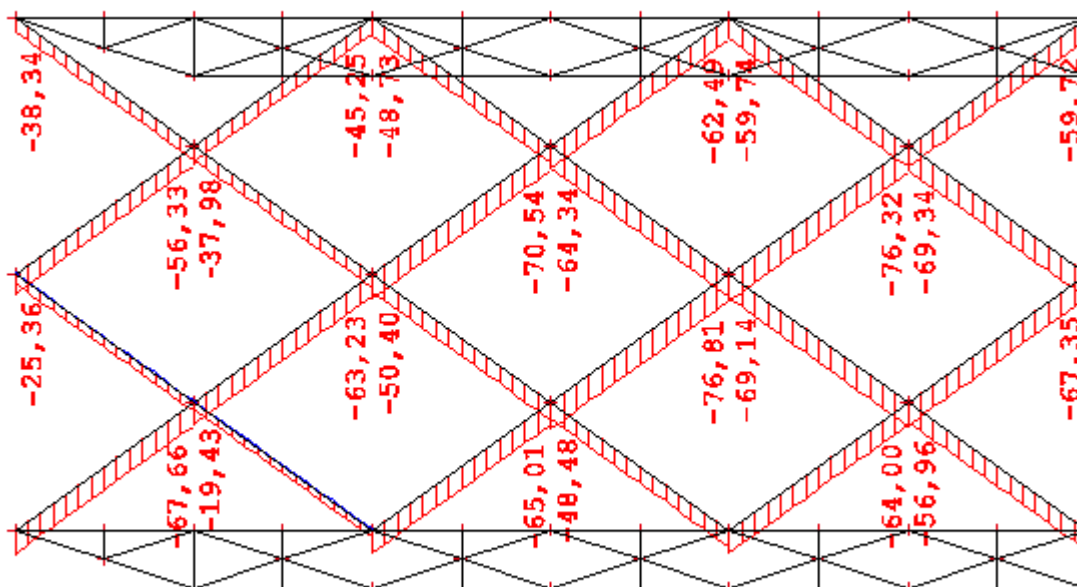


Diagram 12, Osne sile v diagonalah, 2. obtežni primer

Na diagramu se vidi, da se zaradi dodane vertikalne obtežbe, v modelu, osne sile v diagonalah povečajo za 50% , kar pa se dejansko ne zgodi. (obrazložitev v nadaljevanju).

Osne sile v diagonalah so v tem obtežnem primeru vse v tlaku zaradi upogiba nosilcev.



Maksimalne sile, ki delujejo na vrtljive spojke v vozliščih za 2. obtežni primer:

$$N_{193} \Rightarrow N_{147} \Rightarrow N_{101} ; 56,33\text{kN} \Rightarrow 45,25\text{kN} \quad \Delta N_{\text{max}} = 11,08\text{kN} > F_{rd} = 7,73\text{kN}$$

$$N_{101} \Rightarrow N_{151} \Rightarrow N_{201} \Rightarrow N_{251} \Rightarrow N_{397}; 65,01\text{kN} \Rightarrow 76,81\text{kN} \Rightarrow 76,32\text{kN} \Rightarrow 59,72\text{kN}$$

$$\Delta N_{\text{max}} = 16,06\text{kN} > F_{rd} = 7,73\text{kN}$$

V naslednjem obtežnem primeru je prikazano, da dejanske sile na spojke niso takšne kot jih je pokazal model 2. obtežnega primera.

### 3. Obtežni primer ; kombinacija ( LASTNA TEŽA + VERTIKALNA OBTEŽBA )

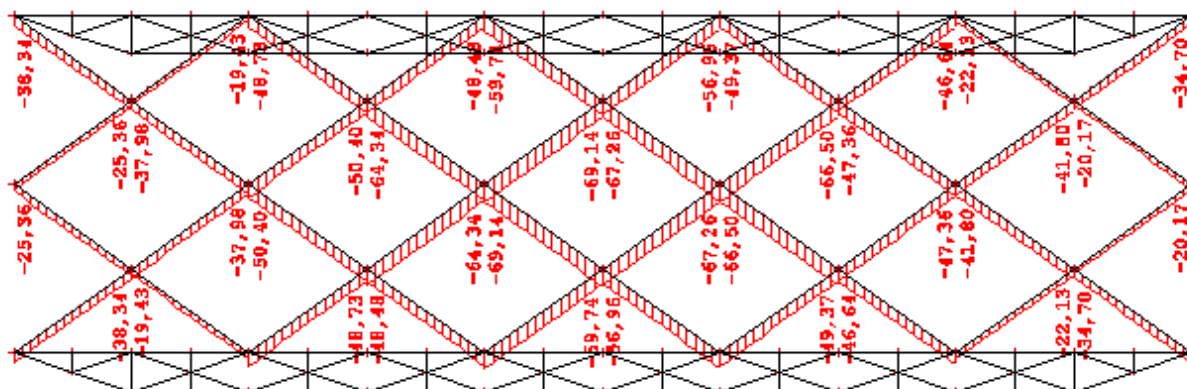


Diagram 13, Osne sile v diagonalah, 3. obtežni primer

Samo zaradi vertikalne obtežbe v diagonalah nastanejo velike osne sile.

Ker se nosilni oder zaradi vertikalne obtežbe posede za ca. 4,0cm, se v vozliščih, kjer je povezje fiksirano, zgodi pomik v x-smeri, kot kaže spodnji diagram.

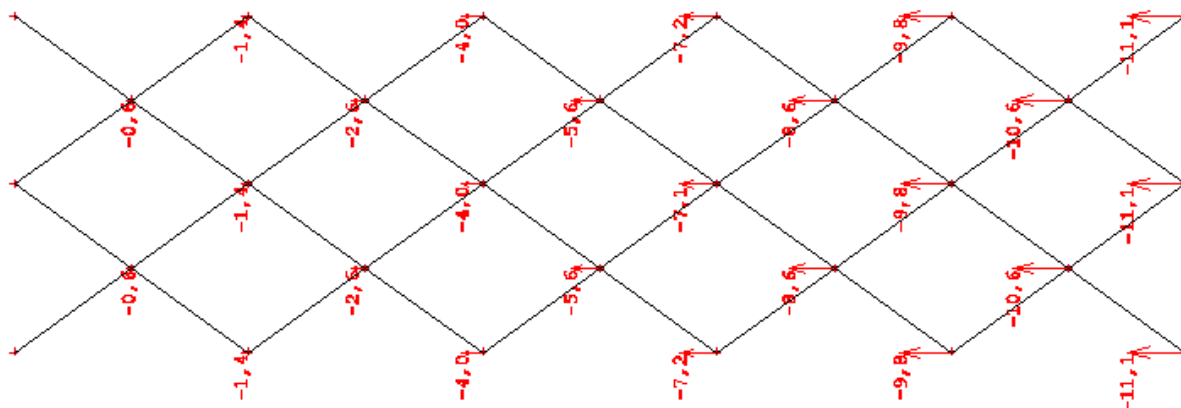


Diagram 14, pomik vozlišč

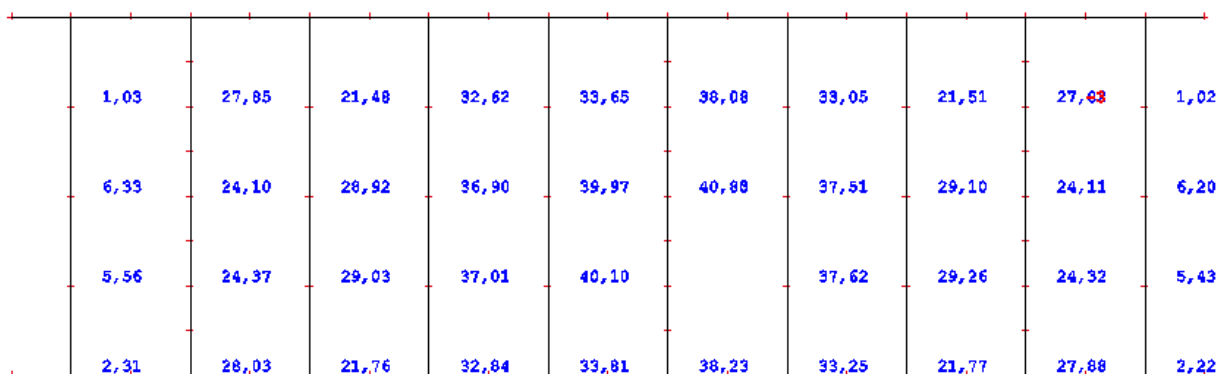
Vsaka diagonala se skrči za ca. 1,0mm in zaradi tega nastane relativno velik tlak v diagonalah.

To bi veljalo le v primeru, da bi za fiksiranje povezja na opazne nosilce uporabili toge spojke.

V našem primeru so diagonale pritrjene z vrtljivimi spojkami, katerih ohlapnost na mestu vrtenja je tolikšna, da se pomik ca. 1,0mm dejansko zgodi.

Iz zgoraj navedenega sledi, da je za dimenzioniranje povezja merodajen 1. obtežni primer.

Na spodnji sliki je prikazano vertikalno povezje, katero bočno podpira nosilce na razmaku 2,0m. Sile v palicah so izračunane za 2. obtežni primer.





### Diagram 15, Osne sile v vertikalnih povezjih, 2. obtežni primer

Pri vertikalnem povezju so spojke pravokotne.

$F_k = 10,0\text{kN}$  (pravokotna spojka)

$$F_{rd} = \frac{F_k}{\gamma_M} = \frac{10,0\text{kN}}{1,1} = 9,10\text{kN}$$

Maksimalna sila, ki deluje na pravokotno spojko je velika 7,60kN v vozlišču N256

$$F_{N256} = 7,60\text{kN} < F_{rd} = 9,10\text{kN}$$

### Približno dimenzioniranje povezja

Pri dimenzioniranju opažnega nosilca je tlačni pas opažnega nosilca podprt na razmaku 2,0m. Vertikale povezja so nameščene tako, da se lahko pritrdijo na vertikale opažnih nosilcev. Enako velja za diagonale povezja. Pri povezovanju diagonal pazimo, da je ekscentričnost priključkov čim manjša.

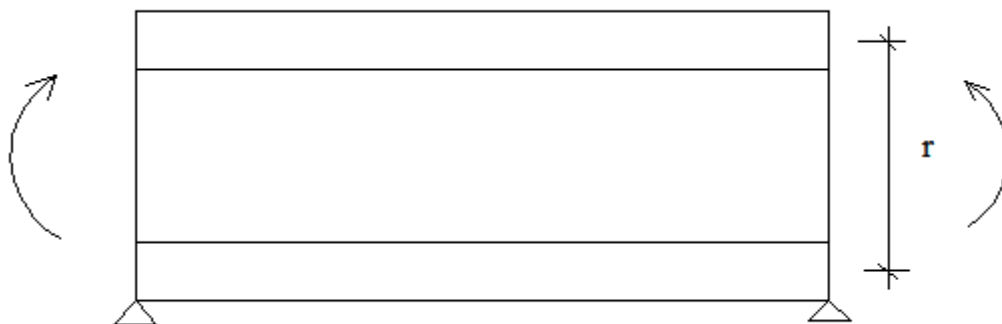
$n_d =$  število diagonal v prečnem prerezu = 4

### Osnovne obremenitve povezja

$$M_{pov}^{\max} = \frac{q_{H_{Ed}} x l^2}{8} = \frac{9,46\text{kN/m} \times 20^2 \text{m}^2}{8} = 473 \text{ kNm}$$

$$V_{pov}^{\max} = \frac{q_{H_{Ed}} x l}{2} = \frac{9,46\text{kN} \times 20}{2} = 94,6\text{kN}$$

Predpostavimo, da moment prevzameta zunanja dva nosilca



$$r = 6,0\text{m} - 1,5\text{m} = 4,5\text{m}$$

Dodatna osna sila na zgornji pas enega nosilca:

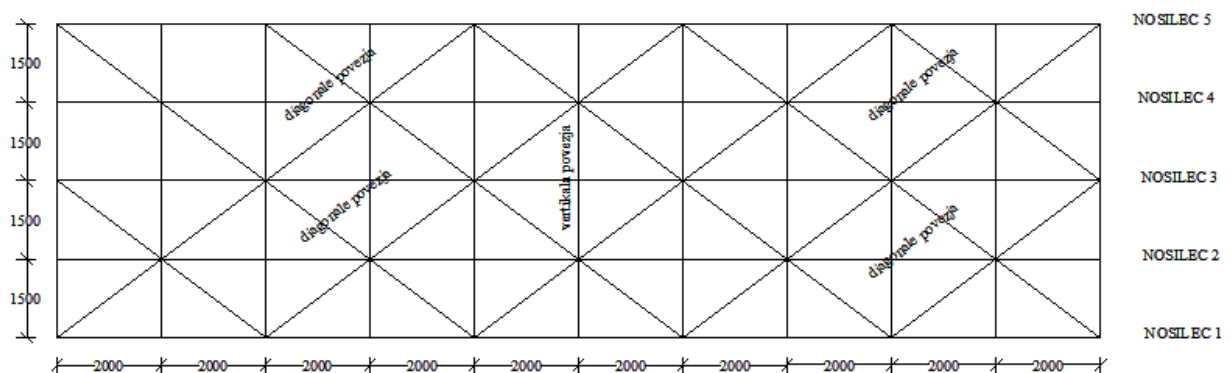
$$N_1 = \frac{M_{pov}^{max}}{rx2} = \frac{473kNm}{4,5mx2} = 52,60 \text{ kN}$$

$$\Delta\sigma = \frac{N_1}{A_{zg,p}} = \frac{52,60kN}{102,3cm^2} = 0,51kN/cm^2$$



Slika 23

### Diagonale povezja



$l_u$  - sistemska dolžina palice (od vozlišča do vozlišča)

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \alpha &= \frac{1,50}{2,0} = 0,75 \Rightarrow 36,9^\circ & \sin \alpha &= 0,6 \\ & & \cos \alpha &= 0,8 \end{aligned}$$

$$l_u = \sqrt{150^2 + 200^2} = 250 \text{ cm}$$

Izberem palico  $\phi 63,5/4,8$  S235  $A = 8,20 \text{ cm}^2$ ,  $i = 2,1 \text{ cm}$ ,  $\lambda_1 = 93,9 \varepsilon$

$$\bar{\lambda} = \frac{l_u}{ix\lambda_1} = \frac{250 \text{ cm}}{2,1 \text{ cm} \times 93,9} = 1,28 \quad \xrightarrow{b} \quad \chi = 0,43$$

Nosilnost diagonale v povezju:

$$D_{brd} = \chi A \frac{f_y}{1,0} = 0,43 \times 8,20 \times \frac{23,5 \text{ kN/m}^2}{1,0} = 82,9 \text{ kN}$$

Obremenitev diagonal

$$D_{Ed} = V_{pov} \times \frac{1}{\sin \alpha n_d} = 94,6 \text{ kN} \times \frac{1}{0,6 \times 4} = 39,42 \text{ kN} < D_{brd} = 82,9 \text{ kN}$$

### **Vertikale povezja**

Predpostavimo zvezni vnos horizontalne obtežbe:

$n = 5$       število vseh nosilcev

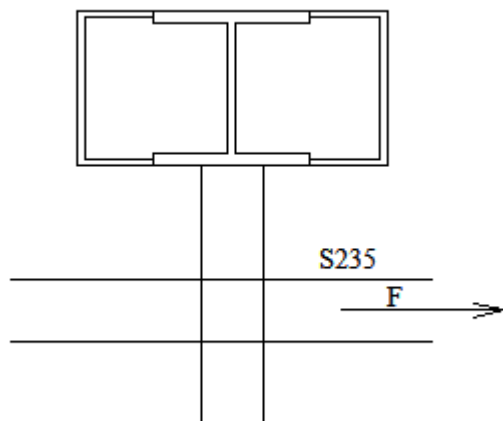
$n_n = 2$       število nosilcev med priključkoma dveh sosednjih diagonal v prečni smeri

$$N_{vrd} = q_{HEd} \times 2,0 \text{ m} \times \frac{n_n}{n} = 9,46 \text{ kN} \times 2,0 \text{ m} \times \frac{2}{5} = 7,57 \text{ kN}$$

Izberemo  $\phi 63,5/4,8$  S235

$$\sigma = \frac{N_{Vsd}}{A} = \frac{7,57 \text{ kN}}{8,2 \text{ cm}^2} = 0,92 \text{ kN/cm}^2$$

## Obremenitev na vertikalno povezje



$$F_H = q_{H_{Ed}} \times \frac{2,0m}{n} = 9,46kN \times \frac{2,0m}{5} = 3,78kN \quad ; \quad \text{povzroča moment izven ravnine nosilca}$$

$$M_z = F_H \times e = 3,78kN \times 15cm = 56,7kNcm$$

Izkoriščenost vertikalne v ravnini nosilca je 25%

$$0,25 + \frac{M_z \times \gamma_M}{W_x f_y} = 0,25 + \frac{56,7kNcm \times 1,0}{10,4cm^3 \times 35,5kN/cm^2} = 0,40$$

## Obremenitev spojk

- stik; vertikalna nosilca  $\Leftrightarrow$  vertikalna povezja

$$F_k = 10,0kN \text{ (pravokotna spojka)} \qquad F_{rd} = \frac{F_k}{\gamma_M} = \frac{10,0kN}{1,1} = 9,10kN$$

$$F_{max} = q_{H_{Ed}} \times 2,0m \times \frac{1}{n} = 9,46kN/m \times 2,0m \times \frac{1}{5} = 3,78kN < F_{rd} = 9,1kN$$

- stik; diagonala  $\Leftrightarrow$  vertikalna povezja

$$F_k = 8,5kN \text{ (vrtljiva spojka)} \qquad F_{rd} = \frac{F_k}{\gamma_M} = \frac{8,5kN}{1,1} = 7,73kN$$

$$F_{max} = (q_{H_{Ed}} \times 2,0m) \times \frac{1}{\sin \alpha n_d} = (9,46kN/m \times 2,0m) \times \frac{1}{0,6 \times 4} = 7,68kN < F_{rd} = 7,73kN$$



Slika 24

MAXIMALNE OBREMENTITVE V ELEMENTIH ZA NOSILEC L=20m

Element	Zg. pas	N(kN)	-564	Z81
		M(kNcm)	2101	Z81
		V(kN)	-70	Z82
	Sp. Pas	N(kN)	948	D145
		M(kNcm)	1505	D147
		V(kN)	-22,8	D147
	Vertikala	N(kN)	-349	V54
		M(kNcm)	-1166	V54
		V(kN)	-10,6	V54
	Ojačitvi	N(kN)	-19	V53
		M(kNcm)	-16	D146
		V(kN)	0	

Element	Zg. pas	N(kN)	-1193	Z86
2-6m		M(kNcm)	1373	Z85
		M(kNcm)	2188	Z83
		V(kN)	64	Z83
	Sp. Pas	N(kN)	1314	S67
		M(kNcm)	1932	S67
		M(kNcm)	2998	S65
		V(kN)	43,8	S65
	Diagonala tlak	N(kN)	-387	D150
		M(kNcm)	-69	D153
		V(kN)	0	
	Diagonala nateg	N(kN)	311	D151
		M(kNcm)	75	D155
		V(kN)	0	
	Vertikale	N(kN)	-25,5	V56
		M(kNcm)	-12	V55
		V(kN)	0	

Element	Zg. pas	N(kN)	-1583	Z90
6-10m		M(kNcm)	1628	Z90
		V(kN)	58	Z89
	Sp. Pas	N(kN)	1716	S72
		M(kNcm)	2688	S72
		V(kN)	22,3	S69
	Diagonala tlak	N(kN)	-174	D158
		M(kNcm)	61	D161
		V(kN)	0	
	Diagonala nateg	N(kN)	117	D159
		M(kNcm)	53	D157
		V(kN)	0	
	Vertikale	N(kN)	-40	V58
		M(kNcm)	6	V300
		V(kN)	0	

Preglednica 5, maksimalne obremenitve v elementih

## 7 Zaključek

Namen diplomske naloge je bil izdelati podporno konstrukcijo za premostitveni objekt, katerega razpon med dvema opornikoma znaša 20,00m. Glede na izbrano zasnovo elementov podpornega paličnega nosilca, sestavljenega iz segmentov, se je izkazalo, da bi lahko za izbrano obtežbo izbrali manjše profile. Izkoristek prikazanega sistema je ca. 70%. V nalogi sta bili uporabljeni dve metodi, linearna in geometrijsko nelinearna analiza po teoriji drugega reda. Glede na SIST EN 12812 so bili opažni nosilci obravnavani v razredu B1.

Večjo pozornost smo namenili povezju za stabilizacijo nosilcev. Pri 1. obtežnem primeru smo upoštevali obtežbo z vetrom in izbočno silo zaradi vertikalne obtežbe. Pokazalo se je, da nastopi maksimalna osna sila v diagonalni reda velikosti 32kN, maksimalna sila katera deluje na spojko v vozlišču diagonal pa prav tako ne preseže  $F_{rd}=7,73\text{kN}$  za vrtljive spojke.

V 2. obtežnem primeru smo dodali vertikalno obtežbo, kar je pokazalo, da se osne sile v diagonalah povečajo za več kot 50%. Ravno tako sile, ki delujejo na spojke presežejo dopustne vrednosti. Pri nadaljnjem reševanju omenjenega problema smo ugotovili, da se cel sistem nosilcev v pomični podpori premakne za ca. 1,0cm. Iz diagrama pomikov podpor v x-smeri se lepo vidi, da se diagonala med dvema sosednjima vozliščema teoretično skrči za ca. 1,0mm in posledično v palici nastopi velika tlačna osna sila, kar pa se dejansko v praksi ne zgodi. Za pritrdjevanje diagonal na nosilne odre se zaradi različnih kotov uporabljajo vrtljive spojke, katere pa so v zglobov toliko ohlapne, da prevzamejo pomik 1,0mm.

Za vertikalne povezja, ki bočno podpirajo nosilce na razmaku 2,0m, smo upoštevali isti obtežni primer. Glede na to, da so pravokotne na nosilce, pa v tem primeru, težav zaradi vertikalne obtežbe ni bilo. Maksimalna tlačna osna sila v vertikalah je 40kN, sila, ki deluje na fiksne spojke pa je  $< F_{rd}=9,10\text{kN}$ .

Če upoštevamo samo obtežbo z vetrom, dobimo osne sile v diagonalah velikosti do 7kN. Z upoštevanjem geometrijske nepopolnosti, pa se zaradi dodatnih izbočnih sil osne sile v diagonalah povečajo za štirikrat, kar pa ni zanemarljivo in je to potrebno pri dimenzioniranju povezja upoštevati. Povedati je potrebno še to, da je velikost sil v povezju odvisna od vhodnih podatkov za geometrijsko nepopolnost.

Za dimenzioniranje povezja je v našem primeru merodajen 1. obtežni primer, v katerem je zajeta obtežba zaradi lastne teže nosilcev, vetra, in izbočnih sil zaradi geometrijske nepopolnosti.

## **Viri**

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

Dobrodošli na slovenski informacijski avtocesti  
<http://www.dars.si/> (12.05.2007)

Slovenski standard SIST EN 12812:2004,  
Nosilni odri – Zahtevane lastnosti in projektiranje

Slovenski standard SIST EN 1993-1-1:2005,  
Evrokod 3, Projektiranje jeklenih konstrukcij

Slovenski standard SIST EN 1993-1-4: 2005,  
Obtežbe z vetrom

Viadukti in mostovi. 2004. Celje, Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji: 164 str.