

Statický výpočet

Obsah:

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 1. | ÚVOD..... | 2 |
| 1.1. | VŠEOBECNĚ | 2 |
| 1.2. | POPIS KONSTRUKCE..... | 2 |
| 1.3. | PŘEDPOKLADY VÝPOČTU | 2 |
| 1.3.1. | Obecné předpoklady výpočtu..... | 2 |
| 1.3.2. | Návrhové materiálové charakteristiky nosné konstrukce | 3 |
| 2. | GEOMETRIE..... | 4 |
| 2.1. | TVAR KONSTRUKCE | 5 |
| 2.2. | MODEL NOSNÉ KONSTRUKCE | 8 |
| 3. | ZATÍŽENÍ KONSTRUKCE | 10 |
| 3.1. | STÁLÉ ZATÍŽENÍ | 10 |
| 3.1.1. | Vlastní tíha nosné konstrukce | 10 |
| 3.1.2. | Ostatní stálá zatížení | 10 |
| 3.2. | NAHODILÁ ZATÍŽENÍ | 10 |
| 3.2.1. | Nahodilé zatížení sněhem | 10 |
| 3.2.2. | Nahodilé zatížení větrem..... | 10 |
| 3.2.3. | Nahodilé zatížení teplotou | 10 |
| 3.2.4. | Nahodilé zatížení dopravou | 11 |
| 3.2.4.1. | Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů | 11 |
| 3.2.4.2. | Model zatížení 1 (LM1)..... | 11 |
| 3.2.4.3. | Model zatížení 2 (LM2)..... | 12 |
| 3.2.4.4. | Model zatížení 3 (LM3)..... | 12 |
| 3.2.4.5. | Model zatížení 4 (LM4)..... | 12 |
| 3.2.4.6. | Brzdné a rozjezdové síly..... | 13 |
| 3.2.4.7. | Odstředivé a jiné příčné síly..... | 13 |
| 3.2.4.8. | Nahodilá zatížení na únavu | 13 |
| 4. | SESTAVENÉ ZATĚŽOVACÍ STAVY | 13 |
| 5. | VÝPOČET VNITŘNÍCH SIL..... | 16 |
| 5.1. | REKAPITULACE VNITŘNÍCH SIL | 16 |
| 5.2. | PRŮBĚH VNITŘNÍCH SIL | 16 |
| 5.3. | SUPERPOZICE ZATĚŽOVACÍCH STAVŮ..... | 19 |
| 6. | POSOUZENÍ NOSNÉ KONSTRUKCE | 26 |
| 6.1. | DESKA MOSTOVKY | 26 |
| 6.1.1. | Posouzení na ohyb v MSU | 26 |
| 6.1.2. | Posouzení na smyk..... | 29 |
| 6.2.1. | Omezení trhlin a napětí | 30 |
| 6.2.2. | Posouzení průhybů | 30 |
| 6.2.3. | Posouzení na únavu | 31 |
| 7. | SPODNÍ STAVBA | 32 |
| 7.1. | STĚNA OPĚRY | 32 |
| 7.2. | ZÁKLADY | 35 |
| 9. | ZÁVĚR..... | 36 |

1. Úvod

1.1. Všeobecně

Jedná se o most ev.č.M-10 v Novém Boru v ulici Nábřežní u č.p.111. Most převádí místní komunikaci přes potok Šporka. Stávající most je ve velmi špatném stavebním stavu s nedostatečnou zatížitelností a nevhodným šířkovým uspořádáním s proměnnou šířkou, se zúžením. V rámci rekonstrukce dojde k úplné výměně mostu včetně spodní stavby.

1.2. Popis konstrukce

Nový most je charakteru rozpěrákové konstrukce o jednom poli uloženém na vrubových kloubech. Deska mostovky je z monolitického železobetonu. Opěry jsou stěnové charakteru tížné zdi rovněž ze železobetonu, plošně založené. Základy vlivem pružného podkladu umožňují mírné natočení bez vlivu na redistribuci vnitřních sil a opěry tak fungují jako kyvné stojky rozpěráku.

Most je kolmý. Deska s rovným podhledem má tloušťku min.30cm, vlivem příčného spádování v ose až 35cm. Střechovitý spád je u krajů s protispády pro omezení zatékání na boky. Deska je do boků vykonzolovaná do jakési přelivné římsy s okapnicovou hranou.

Mostní svršek je řešen jako bezřímsový. Vozovku tvoří přímo pojížděná deska opatřená přímo pojížděnou hydroizolací. Zábradlí je dodatečně kotvené k desce mostovky.

Na opěry navazují regulační zdi toku ve funkci kolmých křídel.

1.3. Předpoklady výpočtu

1.3.1. Obecné předpoklady výpočtu

Betonáž nosné konstrukce bude prováděna na skruži jako celek bez vytváření pracovních spar.

Model je uvažován jako kolmá deska prostě uložená, vliv redistribuce vnitřních sil rozpěrákovým působením je zanedbatelný.

Předpokládá se dostatečně velký pasivní odpor základů proti bočnímu zemnímu tlaku výplně za opěrami a kvalitní opevnění dna dlažbou ve funkci rozpěry.

1.3.2. Návrhové materiálové charakteristiky nosné konstrukce

Beton: C 30/37-XD1, XF2 (CZ) – CI 0.40 – D_{max}22 – S5

Návrhová pevnost betonu v tlaku EN 1992-2 ods. 3.1.6

| | | | | |
|---|--------------|------------|----------------------|--|
| $f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c$ | | | EN 1992-2, 3.1.6 | |
| $f_{ck} = 30$ | Mpa | | EN 1992-1-1, tab 3.1 | charakteristická pevnost betonu |
| $a_{cc} = 0.85$ | | | EN 1992-2, 3.1.6 | souč. zohledňující dlouhodobé účinky uvedená hodnota je doporučena pro mosty |
| $\gamma_c = 1.5$ | | | EN 1992-1-1, 2.4.2.4 | pro trvalé a dočasné návrhové situace |
| $\gamma_c = 1.2$ | | | EN 1992-1-1, 2.4.2.4 | pro mimořádné návrhové situace |
| $f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$ | 17.0 | Mpa | | |
| $f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$ | 21.25 | Mpa | | |

Návrhová pevnost betonu v tahu EN 1992-2 ods. 3.1.6

| | | | | |
|---|------------|------------|----------------------|--|
| $f_{ctd} = a_{ct} \cdot f_{ctk0.05} / \gamma_c$ | | | EN 1992-2, 3.1.6 | |
| $f_{ctk0.05} = 2.0$ | Mpa | | EN 1992-1-1, tab 3.1 | charakteristická pevnost betonu |
| $a_{ct} = 1.0$ | | | EN 1992-2, 3.1.6 | souč. zohledňující dlouhodobé účinky uvedená hodnota je doporučena pro mosty |
| $\gamma_c = 1.5$ | | | EN 1992-1-1, 2.4.2.4 | pro trvalé a dočasné návrhové situace |
| $\gamma_c = 1.2$ | | | EN 1992-1-1, 2.4.2.4 | pro mimořádné návrhové situace |
| $f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$ | 1.3 | Mpa | | |
| $f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c =$ | 1.7 | Mpa | | |

Ocel: B 500B
Návrhová pevnost oceli EN 1992-1-1 ods. 3.2.7, obr 3.8

| | | | | | |
|---------------------------------|-----|--|----------------------|---|--|
| $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s$ | | | EN 1992-1-1, obr 3.8 | | |
| $f_{yk}= 500$ | Mpa | | EN 1992-1-1, tab 3.1 | charakteristická pevnost oceli mez kluzu oceli v ČSN 42 0139 $R_e=f_{yk}$ | |
| $\gamma_s= 1.15$ | | | EN 1992-1-1, 2.4.2.4 | pro trvalé a dočasné návrhové situace | |
| $\gamma_s= 1.0$ | | | EN 1992-1-1, 2.4.2.4 | pro mimořádné návrhové situace | |
| $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s= 434.8$ | Mpa | | | | |
| $f_{yd}=f_{yk}/\gamma_s= 500$ | Mpa | | | | |

Krycí vrstva EN 1992-2 ods. 4.

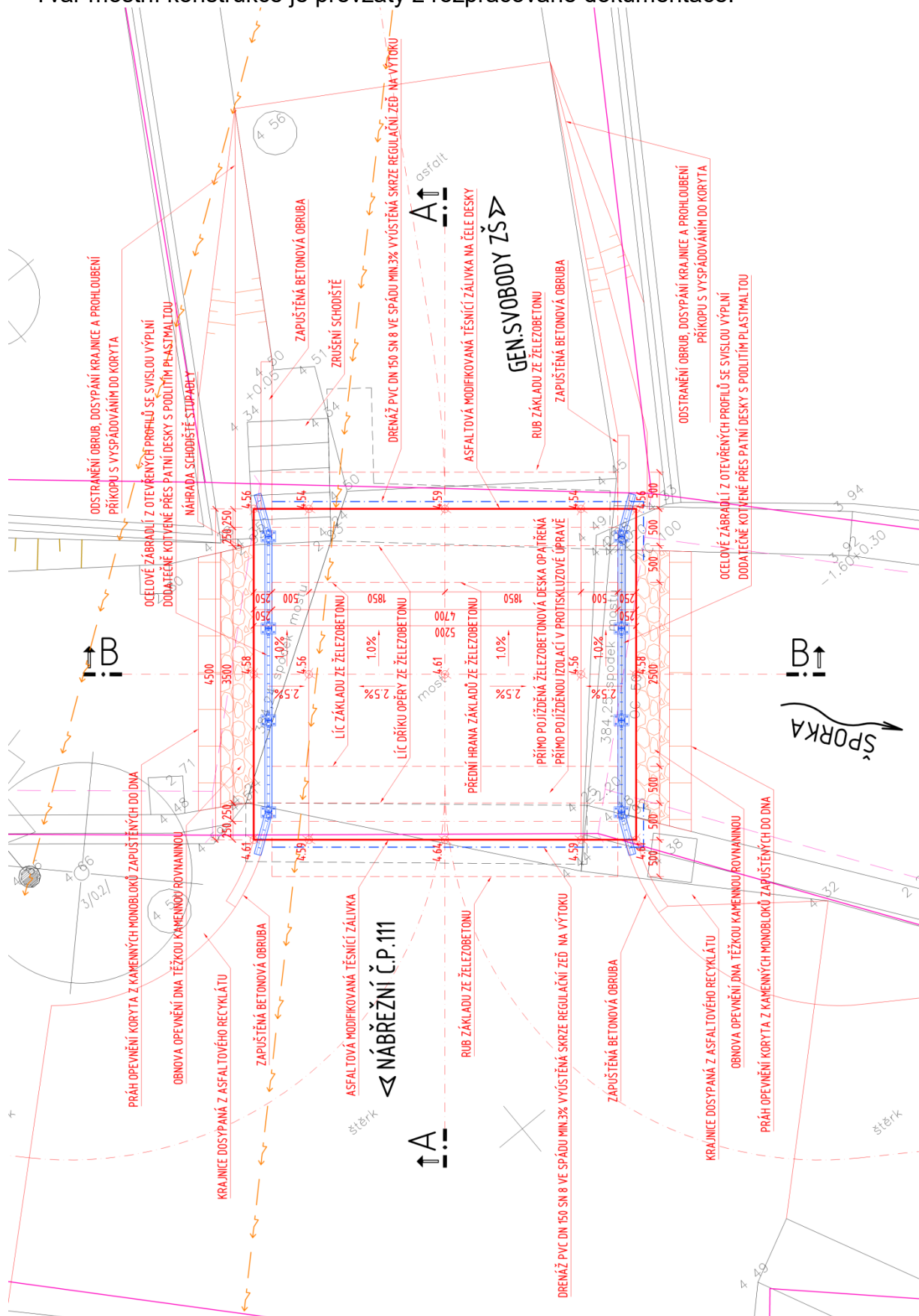
| | | | | |
|---|----|--|--------------------------------|---|
| S 4 | | | pozn. | základní třída konstrukce životnost 50 let |
| +2 třídy | 2 | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2, tab 3.4N | návrhová životnost 100 let |
| -1 třídy | -1 | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2, tab 3.4N | zajištění zvláštní kontroly kvality výroby betonu |
| S 5 | | | | výsledná třída konstrukce |
| $c_{min,dur}= 40$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2, tab 4.4N | minimální krycí vrstva z hlediska vlivu prostředí pro uvažovaný vliv prostředí XD1 |
| $c_{min,b}= 0$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2, tab 4.2N | minimální krycí vrstev z hlediska soudržnosti, $D_{max} < 32mm \rightarrow \phi_p$ ak $D_{max} > 32mm \rightarrow \phi_p + 5mm$ |
| $\Delta c_{dur,\gamma}= 0$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2 | přídavná bezpečnostní složka |
| $\Delta c_{dur,st}= 0$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2 | pro korozivzdornou ocel |
| $\Delta c_{dur,add}= 0$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.2 | pro beton s ochrannými vrstvami |
| $\Delta c_{dev}= 10$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.3. pozn. | přídavek pro návrhovou odchylku |
| $c_{min}=\max\{c_{min,b}; c_{min,dur}+\Delta c_{dur,\gamma}-\Delta c_{dur,st}-\Delta c_{dur,add}; 10mm\}$ | | | | |
| $c_{min}= 40$ | mm | | | |
| $c_{nom}=c_{min}+\Delta c_{dev}= 50$ | mm | | EN 1992-1-1, 4.4.1.1 | |

2. Geometrie

Tvar a základní rozměry mostu jsou patrné z přiložených schémat. Vstupní údaje a údaje o modelu jsou s ohledem na množství dat uvedeny pouze základní, kompletní vstupy jsou archivovány u projektanta. Model nosné konstrukce je zvolen jako kolmá deska.

2.1. Tvar konstrukce

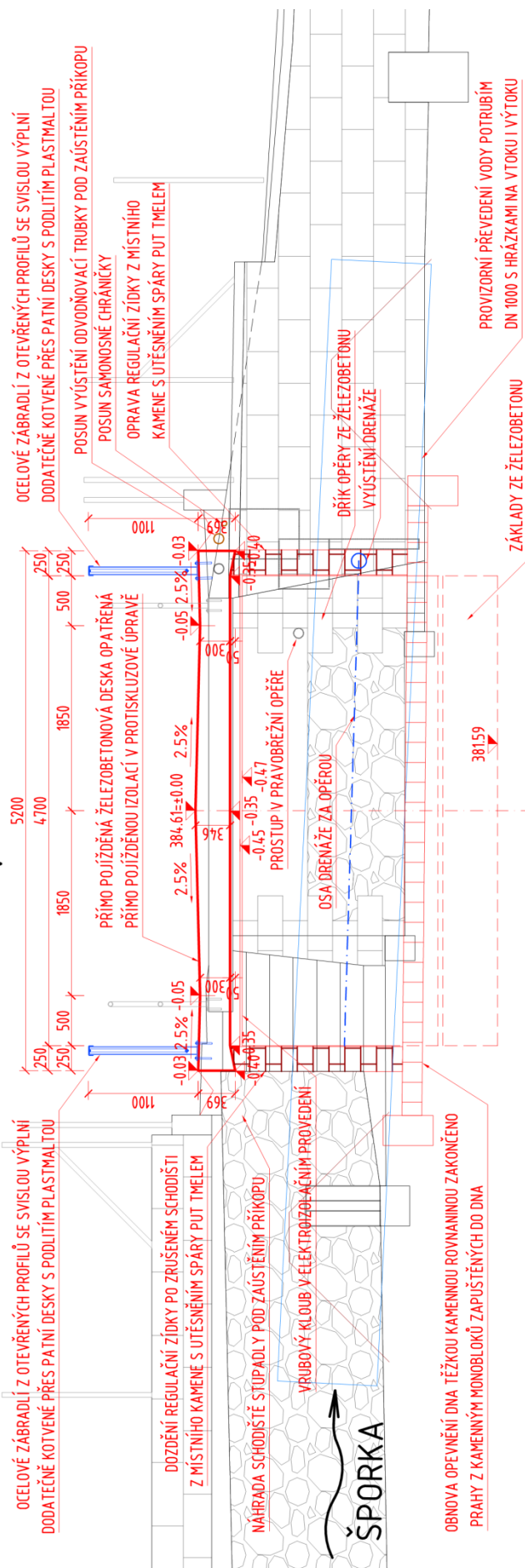
Tvar mostní konstrukce je převzatý z rozpracované dokumentace.



⇒ PŘÍČNÝ ŘEZ B-B

1:50

NÁBŘEŽNÍ Č.P.111

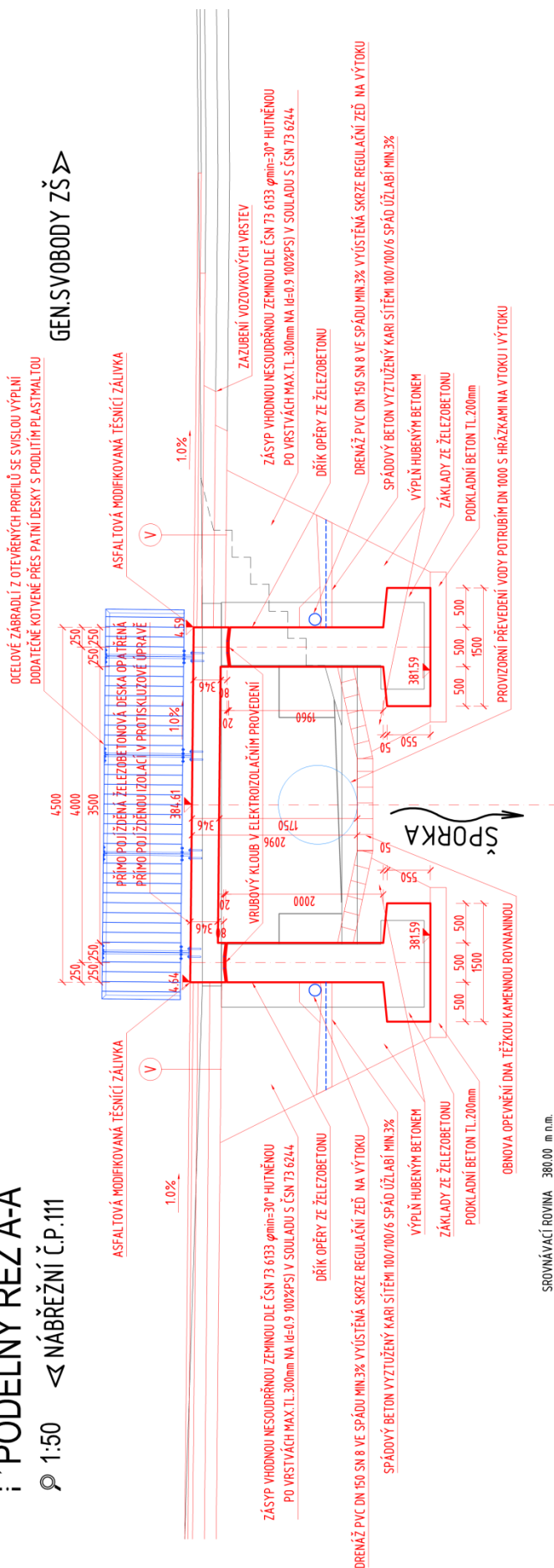


SROVNÁVACÍ ROVINA 380,00 m n.m.

PODÉLNÝ ŘEZ A-A

1:50 < NÁBŘEŽNÍ Č.P.111

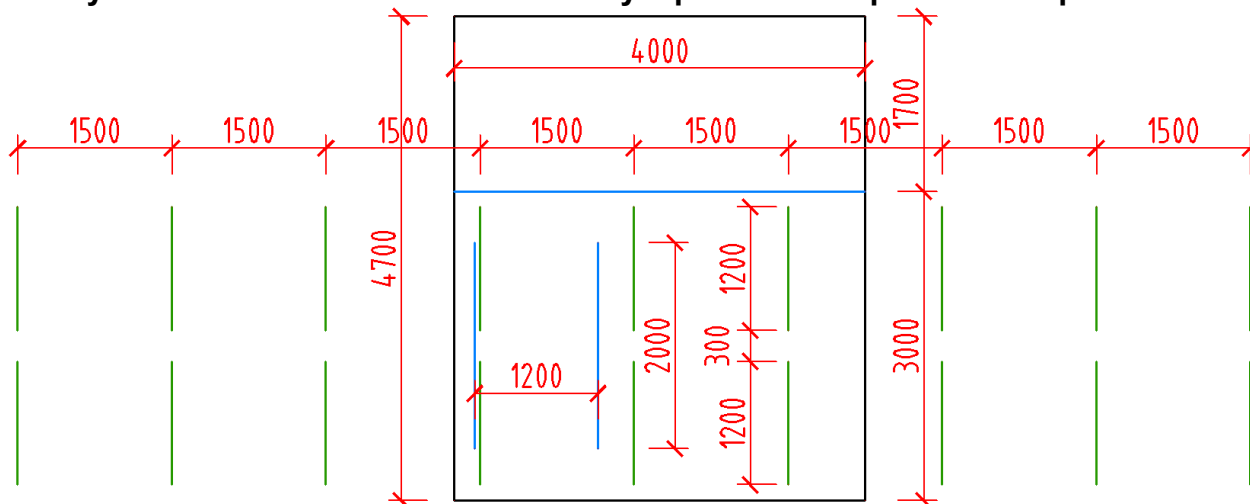
GEN.SVOBODY ZŠ



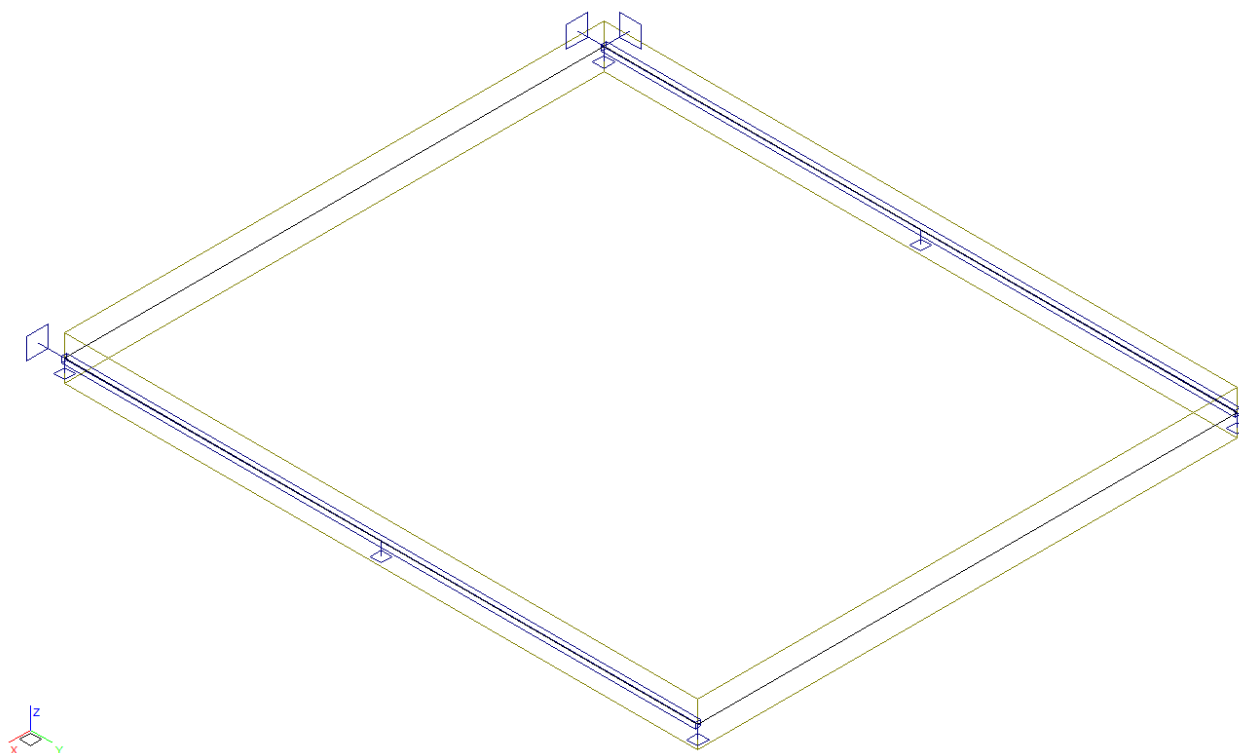
2.2. Model nosné konstrukce

Model je uvažován jako šikmá deska šířkově odpovídající polovině nedokončeného mostu. Chodníková konzola je modelována centricky připojenou deskou odstupňované tloušťky ve čtvrtinách náběhu. Model je přiložen formou výpisu a schémat z použitého výpočetního programu.

Půdorysné schéma se základními rozměry s počátečními polohami náprav



Model v axonometrii



Údaje o konstrukci

| | | | | | |
|-----------------|--------------|------------|-----|-----------------------------|-----|
| Jméno projektu | NK | Prutů | 0 | Geometrie - délky | m |
| Autor projektu | Ing.T.Humpal | Ploch | 1 | Geometrie - úhly | deg |
| Popis projektu | deska | Zatížení | 125 | Průřezy - délky | m |
| Rozměr projektu | Prostor | Podpor | 4 | Zatížení, výsledky - síly | kN |
| Datum | 19.2.2020 | Bodů | 0 | Zatížení, výsledky - napětí | kPa |
| Čas | 14:42 | Linií | 25 | Zatížení, výsledky - délky | m |
| | | Ploch | 0 | Deformace - posuny | m |
| | | Kontaktů | 0 | Deformace - natočení | deg |
| | | Materiálů | 1 | Čas | sec |
| | | Průřezů | 0 | Teplota | °C |
| | | Tloušťek | 1 | Hmota | t |
| | | Podloží | 0 | | |
| | | Skupin | 4 | | |
| | | Zat. stavů | 77 | | |

Výpis zadanych materiálů:

| | | |
|--------|---------|---|
| E1, E2 | [kPa] | moduly pružnosti (E2 pouze pro ortotropní materiál) |
| ni | | Poissonův součinitel |
| gama | [t/m3] | objemová hmotnost |
| K1, K2 | [kN/m3] | koefficienty tepelné roztažnosti |
| útlum | | dekrement útlumu |

| Materiál | Typ | E 1 [kPa] | ni | gama [t/m3] | K 1 [kN/m3] | E 2 [kPa] | K 2 [kN/m3] | útlum |
|----------|---------------|-----------------|-------|----------------|----------------|--------------|----------------|-------|
| BETON | BETON | 2.600e+07 | 0.200 | 2.500 | 1.000e-05 | | | 0.100 |
| Materiál | Objem [m3] | Hmotnost [t] | | | | | | |
| BETON | 6.110 | 15.275 | | | | | | |
| celkem | | 15.275 | | | | | | |

Výpis zadanych tloušťek:

| Označení | Materiál | Tloušťka [m] |
|----------|----------|-----------------|
| deska_nk | -BETON | 0.325 |

Výpis plošných dílců - parametry ploch:

| Plocha | Typ plochy | Deska | Tloušťka [m] | Objem [m3] | Skupina |
|--------|---------------|-------------|-----------------|---------------|-------------|
| 1 | Rovinná deska | Tenká deska | 0.325 | 6.110 | Skupina č.1 |

Výpis plošných dílců - souřadnice vrcholů ploch:

| Plocha | Hrana | Počátek [m] | Konec [m] |
|----------|-------|---------------------|---------------------|
| Polygon1 | 1 | 2.000,-2.350,0.000 | -2.000,-2.350,0.000 |
| | 2 | -2.000,-2.350,0.000 | -2.000,2.350,0.000 |
| | 3 | -2.000,2.350,0.000 | 2.000,2.350,0.000 |
| | 4 | 2.000,2.350,0.000 | 2.000,-2.350,0.000 |

3. Zatížení konstrukce

3.1. Stálé zatížení

3.1.1. Vlastní tíha nosné konstrukce

Zatížení vlastní tíhou nosné konstrukce je v programu vygenerováno ze zadaných průřezových a materiálových charakteristik z databanky programu zadáním gravitačního zrychlení.

$$q_{deska\ tl.325mm} = 0.325 \cdot 25 = 8.125 kN/m^2$$

3.1.2. Ostatní stálá zatížení

Zatížení jsou definována následovně.

$$q_{římسا} = 0.37 \cdot 0.25 \cdot 25 = 2.3125 kN/m$$

$$q_{zábradlí} = 1.0 kN/m$$

$$q_{výplň\ za\ opěrou} = 20 \cdot h \cdot (1 - \sin 30^\circ) = 10 \cdot h \rightarrow 10 \cdot 2.2 = 22 kN/m^2$$

Smršťování je uvažováno jako ochlazení o 15°C.

Sedání základů není uvažováno s ohledem na statické schéma prostého pole a geotechnickou kategorii.

3.2. Nahodilá zatížení

3.2.1. Nahodilé zatížení sněhem

Vzhledem k velikosti a tvaru mostu nemá zatížení sněhem rozhodující vliv na vnitřní síly a není uvažováno.

3.2.2. Nahodilé zatížení větrem

Vzhledem k velikosti a tvaru mostu nemá zatížení větrem rozhodující vliv na vnitřní síly a není uvažováno.

3.2.3. Nahodilé zatížení teplotou

Rovnoměrná složka teploty je uvažována při návrhu spodní stavby dilatace a uložení jako ochlazení o -30°C a oteplení o +30°C.

Rozdílové složky teploty neuvažují s ohledem na systém prostého uložení, které nebrání deformacím.

3.2.4. Nahodilé zatížení dopravou

3.2.4.1. Rozdělení vozovky do zatěžovacích pruhů

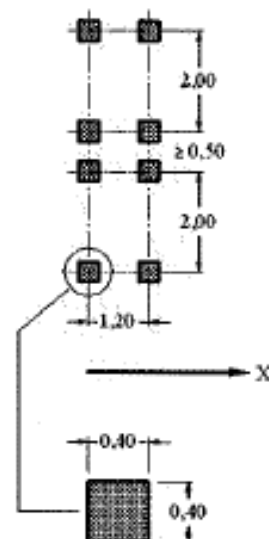
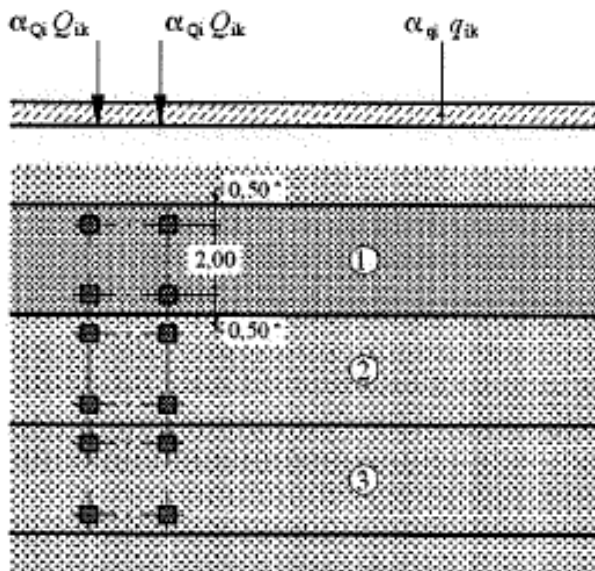
Rozdělení je důležité pro správnou volbu zatěžovacích schémat.

| | | | |
|----|-------|----------------------------|--|
| w= | 4.7 m | | skutečná šířka vozovky na mostě |
| w= | 3.0 m | EN 1991-2, str 29, tab 4.1 | šířka jednoho zatěžovacího pruhu max. 3.0m |
| n= | 1 | EN 1991-2, str 29, tab 4.1 | navržený počet zatěžovacích pruhů |
| | 1.7 m | | šířka zbývajících plochy |

3.2.4.2. Model zatížení 1 (LM1)

Zatížení LM1 sestává z nápravových tlaků ideální dvounápravy TS a rovnoměrného zatížení UDL.

| umístění | Soustředěné zatížení | | | | Rovnoměrné zatížení | | |
|----------|----------------------|---------------|---------------------------------|---|----------------------------------|---------------|---|
| | Q_{ik} [kN] | α_{Qi} | $\alpha_{Qi} \cdot Q_i$ [kN] | $\alpha_{Qi} \cdot Q_i / 0.4 \cdot 0.4$ [kN/m ²] | q_{ik} [kN/m ²] | α_{qi} | $\alpha_{qi} \cdot q_i$ [kN/m ²] |
| Pruh č.1 | 300 | 0.8 | 240 | 1500 | 9 | 0.8 | 7.2 |
| Pruh č.2 | 200 | 0.8 | 160 | 1000 | 2.5 | 1 | 2.5 |
| Pruh č.3 | 100 | 0.8 | 80 | 500 | 2.5 | 1 | 2.5 |
| Ostatní | | | | | 2.5 | 1 | 2.5 |



Vzhledem k postupu výstavby za provozu po polovinách uvažují LM1 v pruhu 2 stejné jako v pruhu 1.

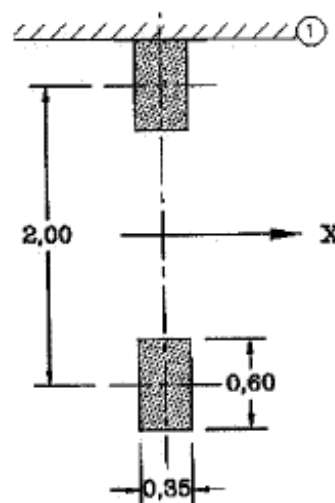
Přítížení povrchu předpolí pro návrh výztuže opěr je uvažováno rozneseným zatížením TS LM1 následovně:

$$q_{\text{předpolí}} = \frac{4 \cdot 120}{5.0 \cdot 2.2} = 43.6 \text{ kN/m}^2$$

3.2.4.3. Model zatížení 2 (LM2)

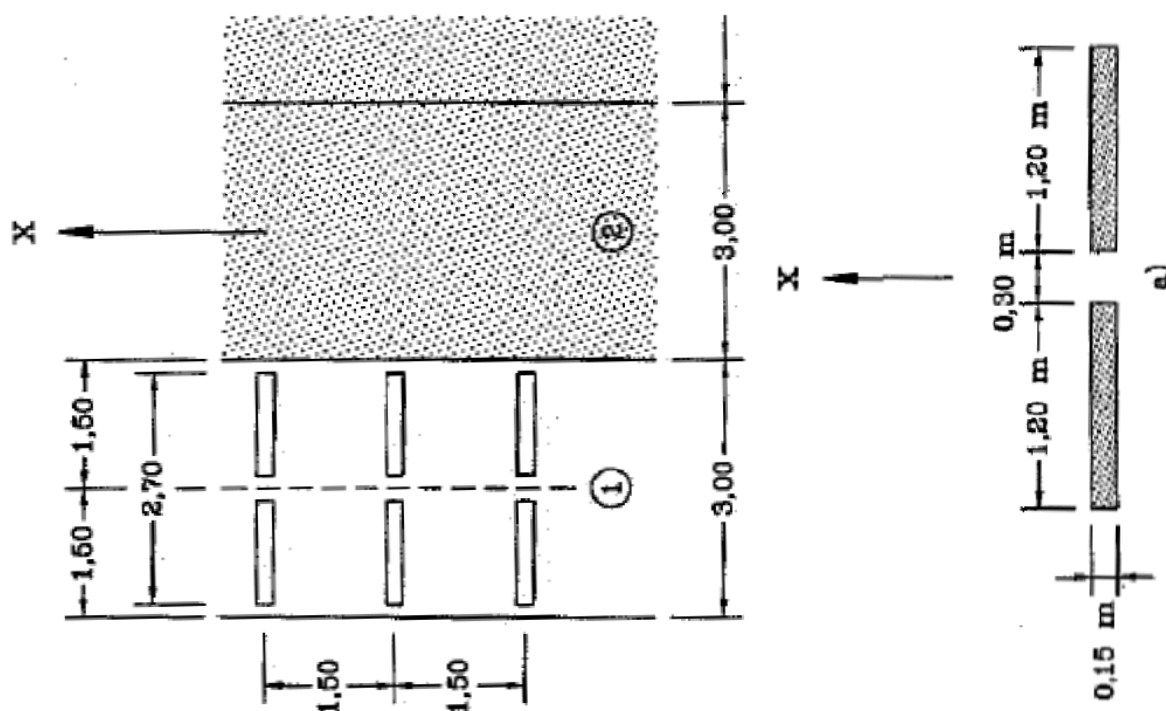
Zatížení ideální nápravou.

| umístění | Soustředěné zatížení | | | |
|----------|----------------------|-------------------------|-----------------------------------|--|
| | Q_{ak} [kN] | $\beta_Q = \alpha_{Q1}$ | $\beta_{Q1} \cdot Q_{ak}$ [kN] | $\alpha_{Q1} \cdot Q / 0.35 \cdot 0.6$ [kN/m ²] |
| | 400 | 0.8 | 320 | 1524 |



3.2.4.4. Model zatížení 3 (LM3)

Uvažuji zvláštní vozidlo 1800/200(9náprav 200kN po 1.5m) s rovnoměrným zatížením LM1.



3.2.4.5. Model zatížení 4 (LM4)

Zatížení davem lidí 5kN/m² není rozhodující a proto ho neuvažuji.

3.2.4.6. Brzdné a rozjezdové síly

Brzdné síly uvažují s ohledem na rozpěrákový charakter konstrukce, pasivní odpor zeminy za opěrami je dostatečný. Pro návrh vrubového kloubu uvažují následující brzdné síly.

| | | | | |
|--|-----|-------------------|-----------------------------|--|
| $Q_{1k} =$ | 300 | kN | EN 1991-2, str 32 | charakteristické hodnoty model zatížení 1 |
| $q_{1k} =$ | 9 | kN/m ² | EN 1991-2, str 32 | charakteristické hodnoty model zatížení 1 |
| $\alpha_{Q1} =$ | 0.8 | | EN 1991-2, str 143, NA 2.12 | |
| $\alpha_{q1} =$ | 0.8 | | EN 1991-2, str 143, NA 2.12 | |
| $w_1 =$ | 3 | m | EN 1991-2, str 29, tab 4.1 | šířka jednoho zatěžovacího pruhu max. 3.0m |
| $L =$ | 4.5 | m | EN 1991-2, str 36 | délka nosné konstrukce nebo uvažované části |
| $Q_{1k} = 0.6 \cdot \alpha_{Q1} \cdot (2 \cdot Q_{1k}) + 0.1 \cdot \alpha_{q1} \cdot q_{1k} \cdot w_1 \cdot L =$ | | 297.7 | kN | EN 1991-2, str 36 |
| | | | | uvažuje se v úrovni povrchu vozovky $180 \cdot \alpha_{Q1} \text{ kN} \leq Q_{1k} \leq 900 \text{ kN}$ |

3.2.4.7. Odstředivé a jiné příčné síly

Odstředivé síly nejsou v tomto případě rozhodující, neuvažují s nimi.

3.2.4.8. Nahodilá zatížení na únavu

Uvažují zatížení LM1 s odpovídající redukcí.

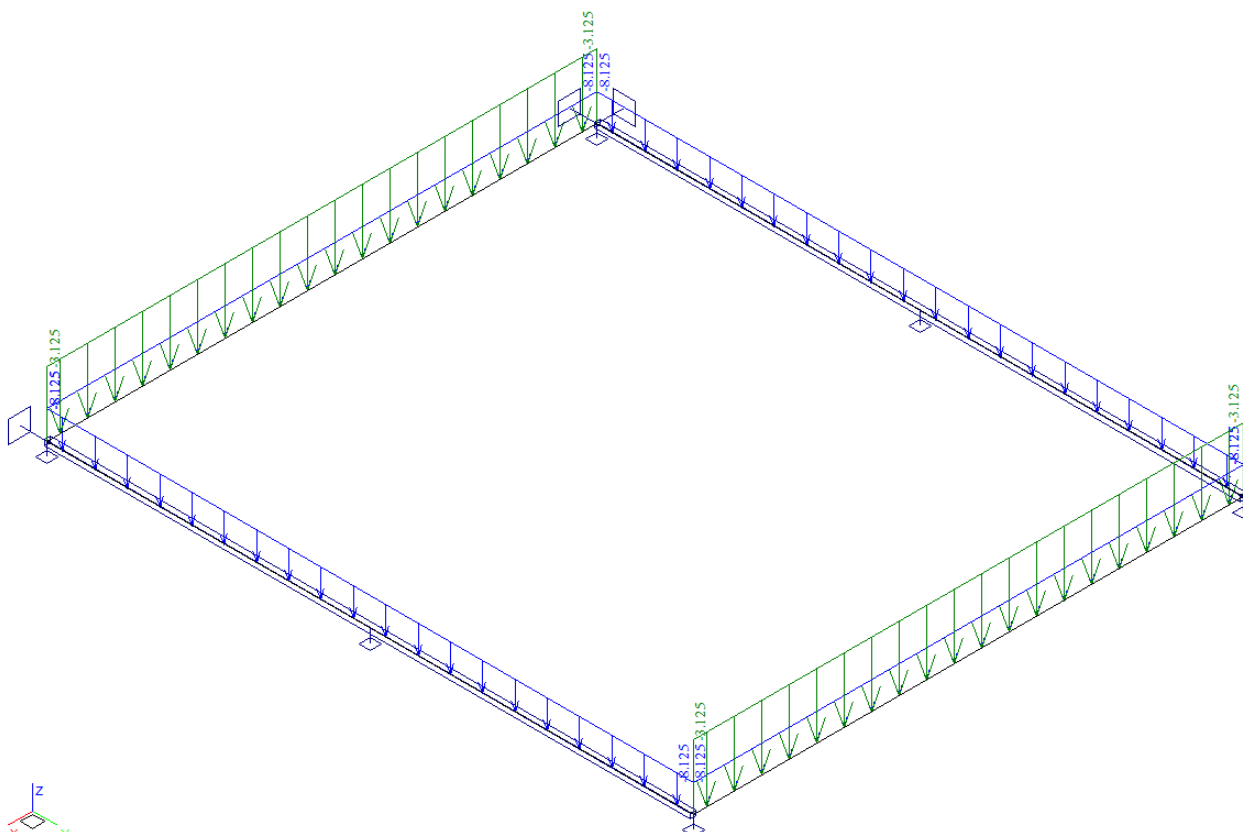
4. Sestavené zatěžovací stavy

Rekapitulace sestavených zatěžovacích stavů je uvedena formou výpisu z použitého programu. Dále jsou přiložena schémata vybraných zatěžovacích stavů, jedná se o stálá zatížení a počátky simulace pojezdu nahodilých zatížení.

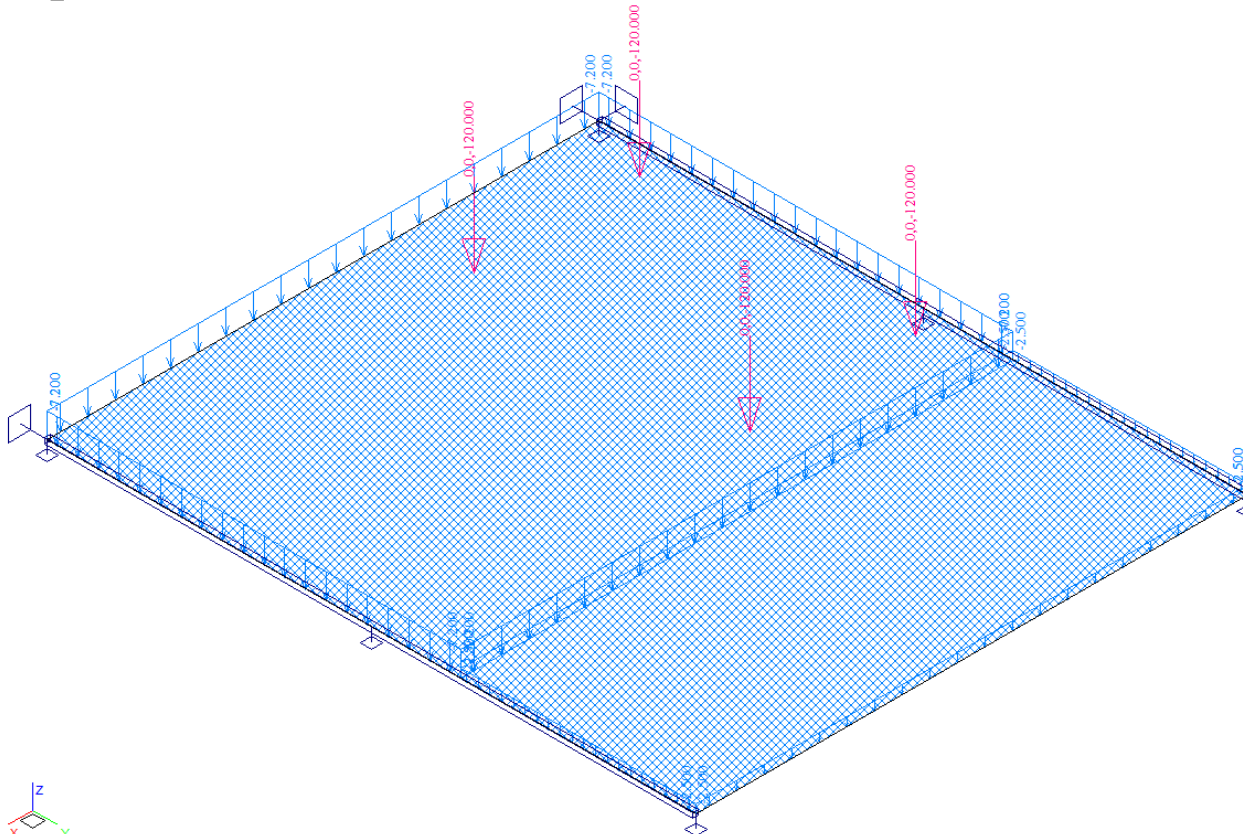
Výpis zatěžovacích stavů :

| Jméno | Koeficient | Komentář | Typ zatížení | Skupina | Parametry | Výběrový |
|--------|------------|---------------------|--------------------|---------|-----------|----------|
| G0 | 1.350 | stálé zatížení | Perm - stálé | 0 | Perm | Ne |
| LM1_ | 1.500 | TS 48t + UDL 7.2kPa | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| LM1_1 | 1.500 | TS 48t + UDL 7.2kPa | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| až | | | | | | |
| LM1_9 | 1.500 | TS 48t + UDL 7.2kPa | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| LM2_ | 1.500 | ideální náprava 32t | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| LM2_1 | 1.500 | ideální náprava 32t | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| až | | | | | | |
| LM2_14 | 1.500 | ideální náprava 32t | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| LM3_ | 1.500 | devítinápřava 180t | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| LM3_1 | 1.500 | devítinápřava 180t | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |
| až | | | | | | |
| LM3_5 | 1.500 | devítinápřava 180t | Short - krátkodobé | 0 | Short ! | Ano |

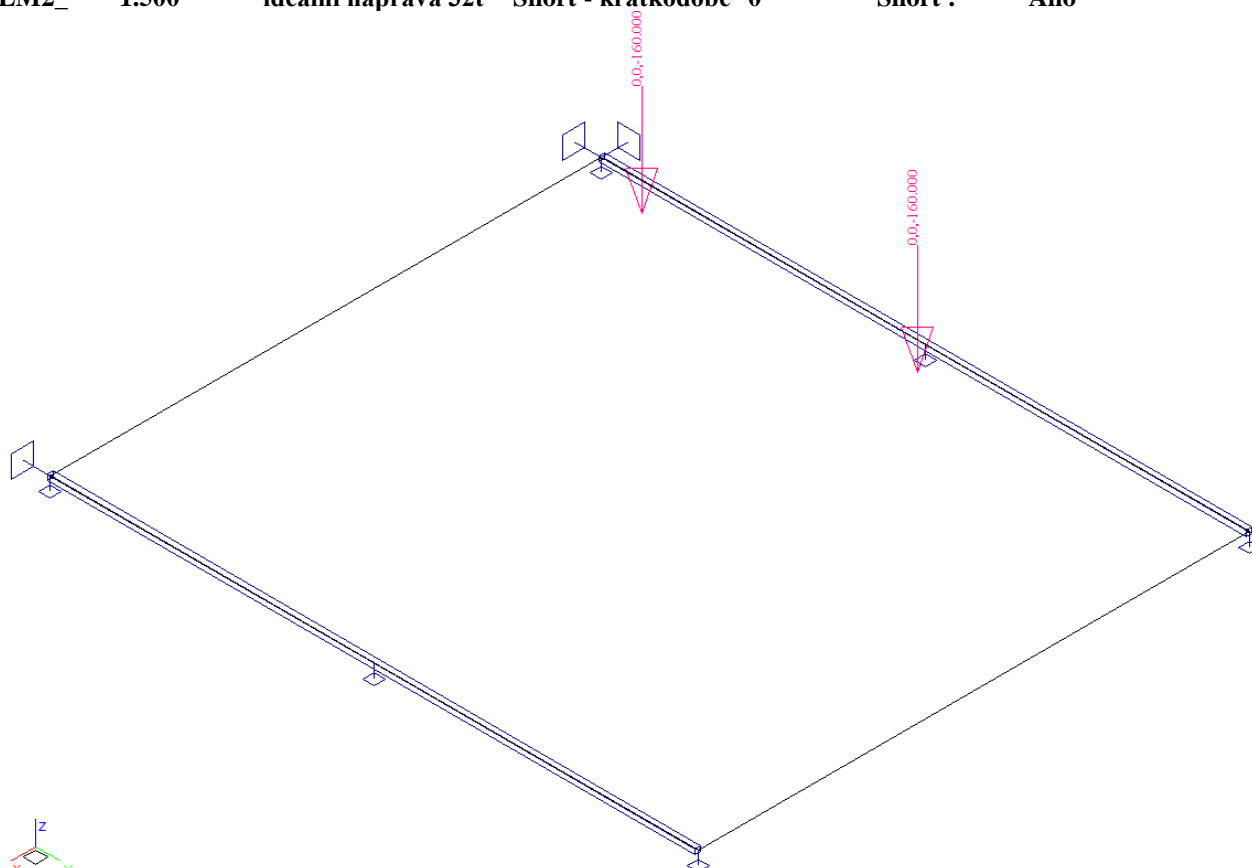
G0 1.350 stálé zatížení Perm - stálé 0 Perm Ne



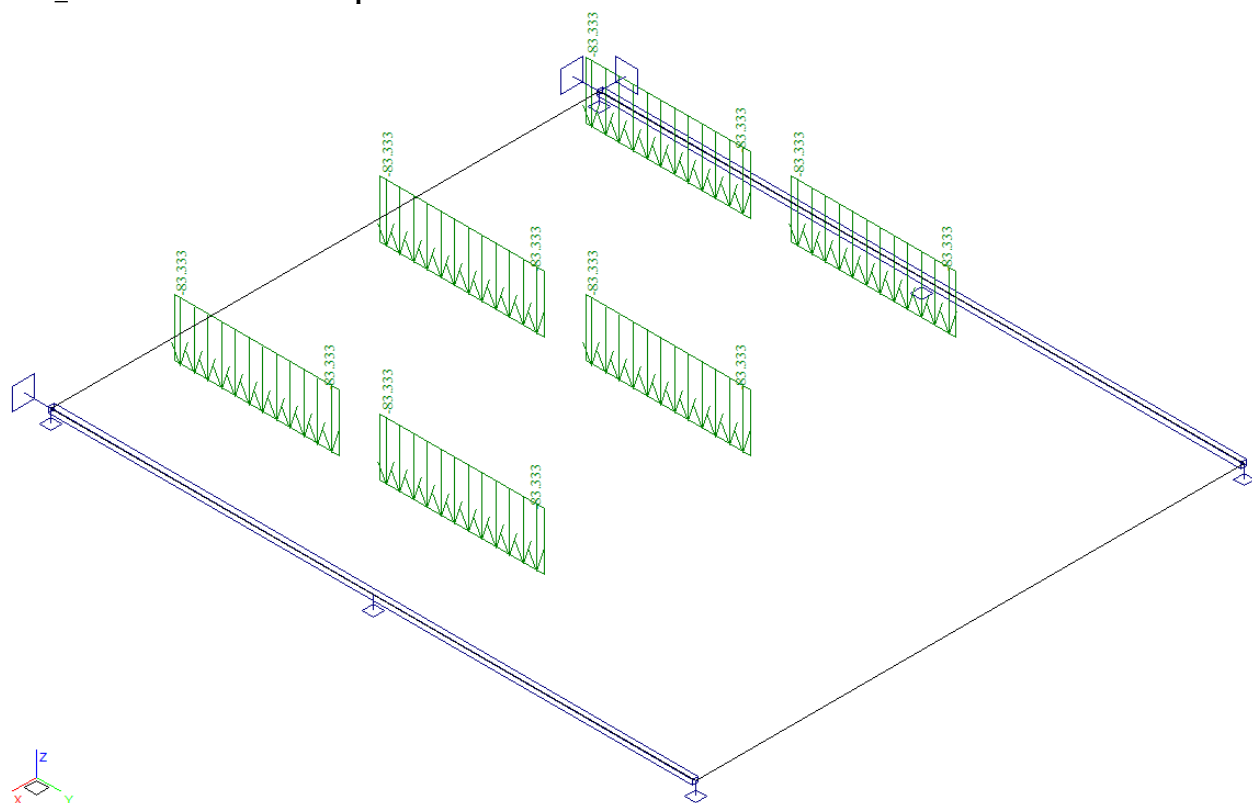
LM1_ 1.500 TS 48t + UDL 7.2kPa Short - krátkodobé 0 Short ! Ano



LM2_ 1.500 ideální náprava 32t Short - krátkodobé 0 Short ! Ano



LM3_ 1.500 devítináprava 180t Short - krátkodobé 0 Short ! Ano



5. Výpočet vnitřních sil

Výpočet je proveden pomocí programu FEAT'2000 pro řešení konstrukcí metodou konečných prvků. Kompletní výstupní data jsou archivována u projektanta, s ohledem na množství výstupních údajů jsou přiloženy pouze vybrané údaje, grafy a schémata.

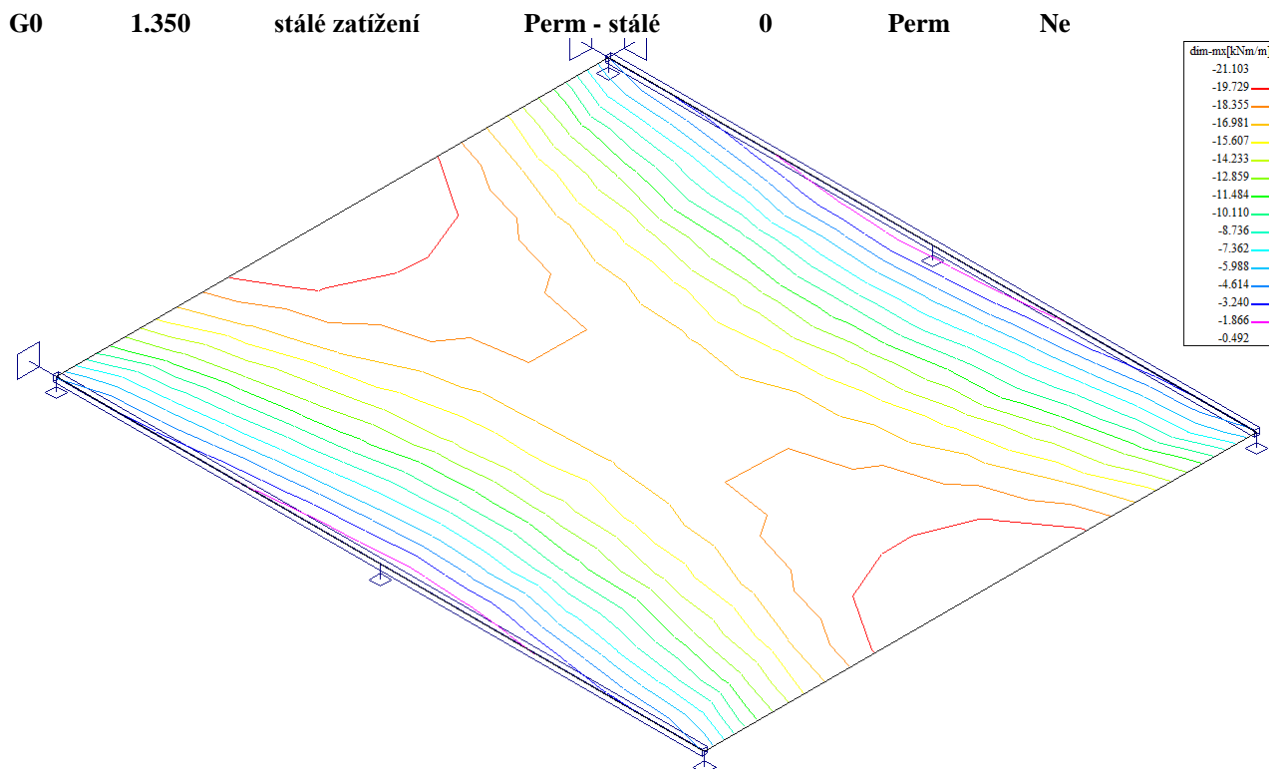
5.1. Rekapitulace vnitřních sil

Rekapitulace je provedena pouze pro vybrané vnitřní síly v rozhodujících profilech tak, aby bylo možné ověřit správnost superpozice. Ostatní vnitřní síly a polohy jsou zohledněny ve strojové superpozici. Průběh podélných momentů po desce v rozhodujících zatěžovacích stavech je přiložen dále. V tabulce jsou uvedeny hodnoty v kNm/m.

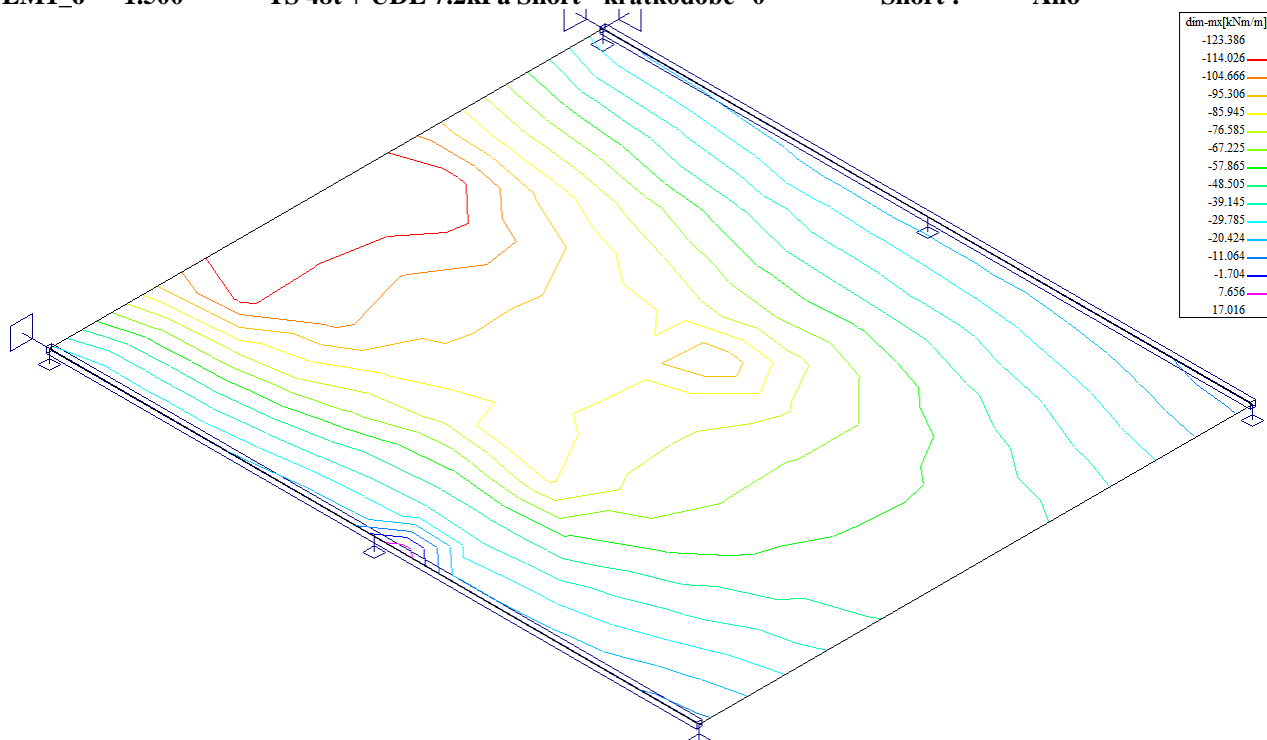
| zat.stav | dim M_x v poli | γ_f | dim M_{xd} v poli |
|---------------------------------|------------------|------------|---------------------|
| G0 vlastní tíha a mostní svršek | 21.0 | 1.35 | 28 |
| LM1 extrém ze simulace pojezdu | 130.0 | 1.50 | 195 |
| LM2extrém ze simulace pojezdu | 110.0 | 1.50 | 165 |
| LM3 extrém ze simulace pojezdu | 87.0 | 1.50 | 131 |

5.2. Průběh vnitřních sil

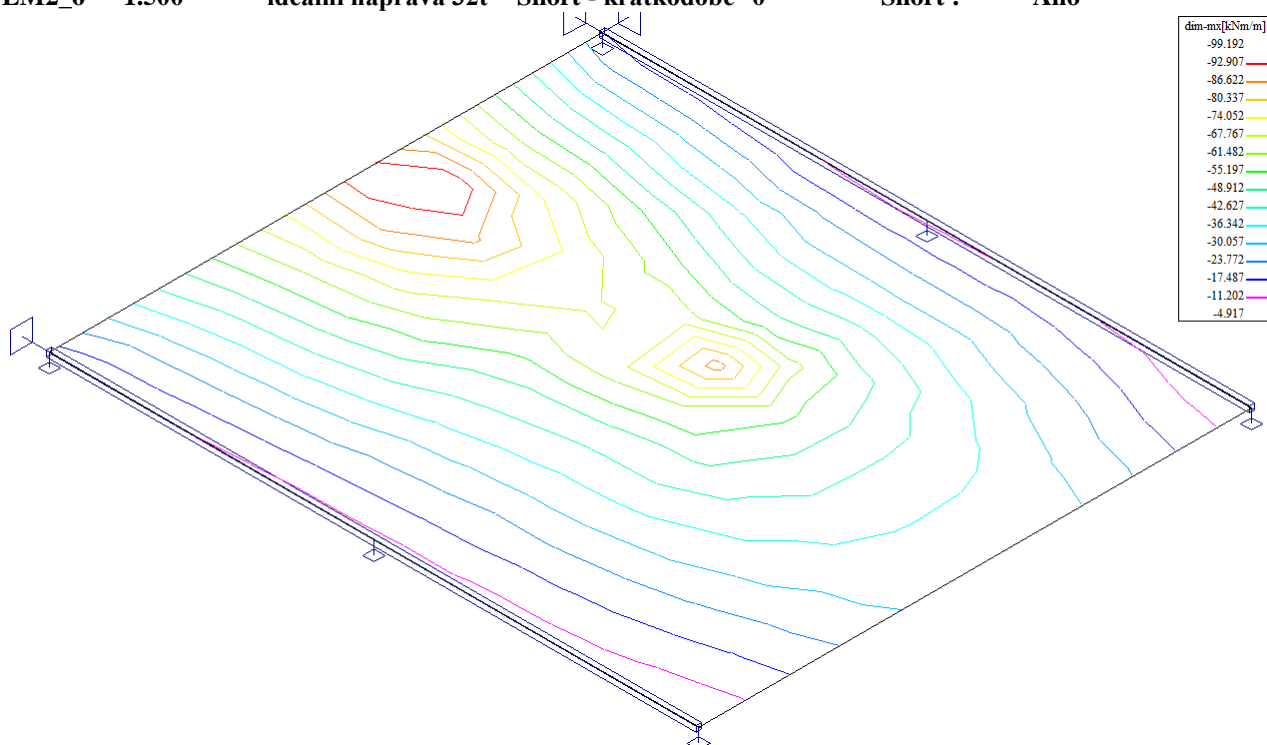
Přiloženy jsou pouze průběhy podélných dimenzačních ohybových momentů v rozhodujících zatěžovacích stavech ve středu rozpětí horní rámové příče. Ostatní vnitřní síly a prvky konstrukce jsou zohledněny ve strojové superpozici.



LM1_6 1.500 TS 48t + UDL 7.2kPa Short - krátkodobé 0 Short ! Ano



LM2_6 1.500 ideální náprava 32t Short - krátkodobé 0 Short ! Ano



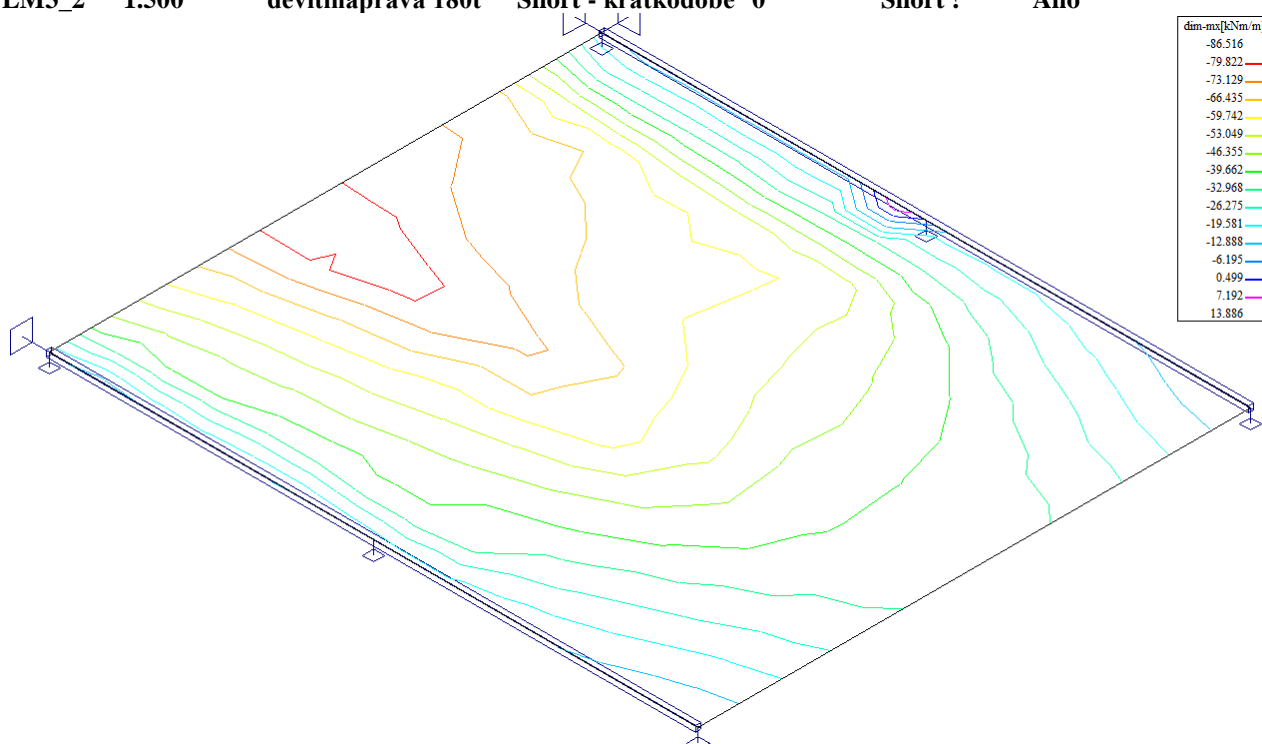
LM3_2 1.500

devítinápřeva 180t

Short - krátkodobé 0

Short !

Ano



5.3. Superpozice zatěžovacích stavů

Superpozice je provedena strojovým výpočtem pro všechny vnitřní síly v konstrukci se zohledněním součinitelů zatížení. Zahrnutý je vliv vlastní tíhy nosné konstrukce, ostatního stálého zatížení a nahodilého zatížení podle následujícího schématu.

Výpis obalových křivek :

| Jméno | ZS | Komentář |
|------------|---------|--|
| dimenzační | min/max | DIM0001, DIM0002, DIM0003, DIM0004, DIM0005, DIM0006, DIM0007, DIM0008, DIM0009, DIM0010, DIM0011, DIM0012 |
| | DIM0001 | 1.35*G0 |
| | DIM0002 | 1.35*G0+1.50*LM1_5 |
| | DIM0003 | 1.35*G0+1.50*LM1_4 |
| | DIM0004 | 1.35*G0+1.50*LM1_6 |
| | DIM0005 | 1.35*G0+1.50*LM2_ |
| | DIM0006 | 1.35*G0+1.50*LM2_14 |
| | DIM0007 | 1.35*G0+1.50*LM1_9 |
| | DIM0008 | 1.35*G0+1.50*LM3_2 |
| | DIM0009 | 1.35*G0+1.50*LM1_3 |
| | DIM0010 | 1.35*G0+1.50*LM2_6 |
| | DIM0011 | 1.35*G0+1.50*LM1_1 |
| | DIM0012 | 1.35*G0+1.50*LM3_ |

Výsledky výpočtu - vnitřní síly, všechny plochy, celkové extrémy na dílcích

Vnitřní síly vypsány pro : vybrané výsledky
osy veličiny lokální

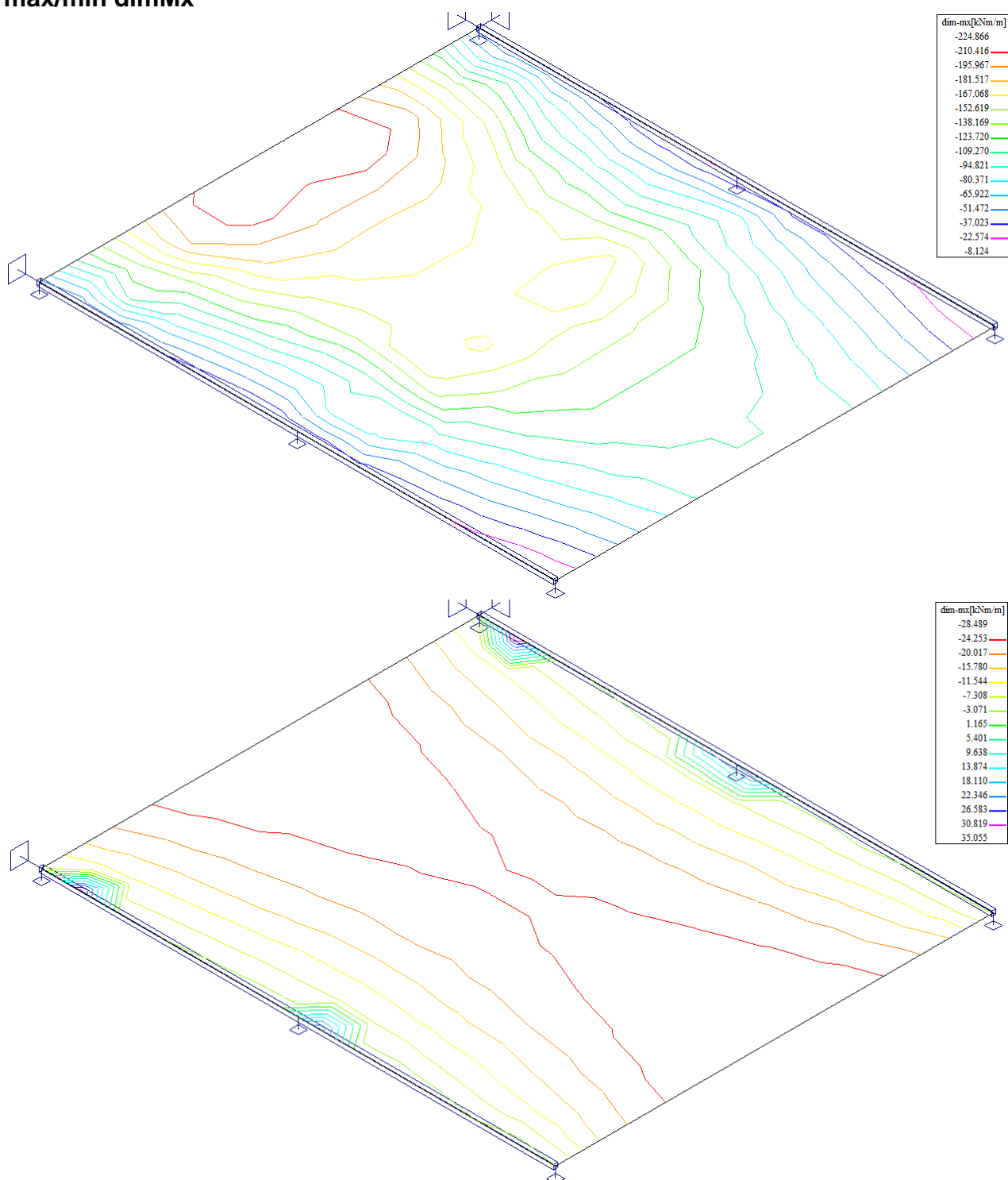
| | | |
|-----------------------------|---------|-----------------------------------|
| mx, my, mxy, dim-mx, dim-my | [kNm/m] | ohybové momenty v lokálních osách |
| sx, sy, sxy, sef | [kPa] | napětí v lokálních osách |
| qx, qy | [kN/m] | smykové síly v lokálních osách |

Extrémy pro výsledek : 45 - dimenzační Obal. křivka stand.

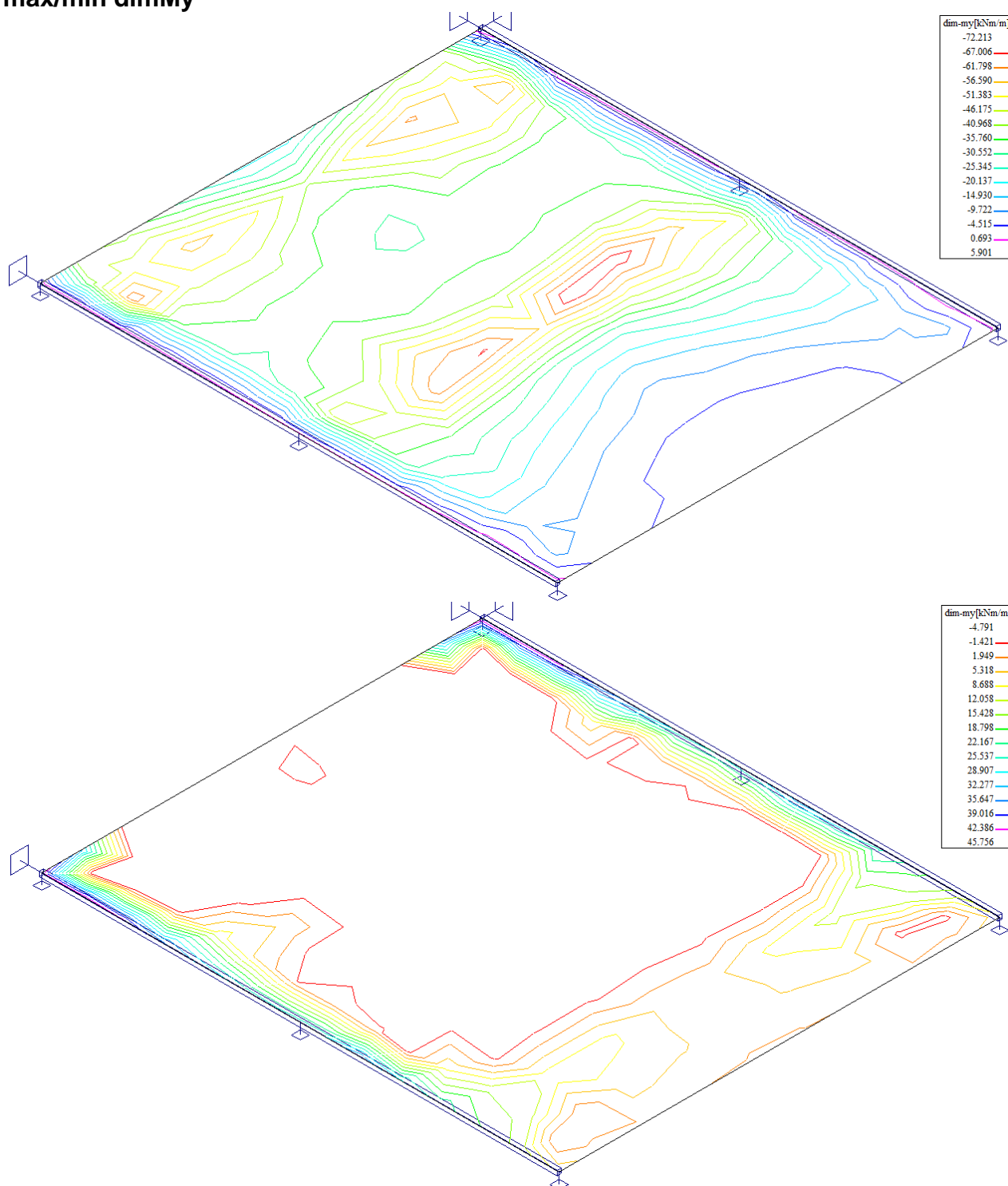
Typ obalové křivky : min/max

| ID plochy | Uzel | Poloha | dim-mx | dim-my | sx horní | sx dolní | qx | qy | |
|-----------|------|-----------------------|-----------------|----------------|-------------------|------------------|-----------------|----------------|---------|
| | | [m] | [kNm/m] | [kNm/m] | [kPa] | [kPa] | [kN/m] | [kN/m] | |
| 1 | 24 | -0.492, -1.940, 0.000 | -224.866 | -55.600 | -11988.011 | 11988.011 | -52.409 | 7.487 | DIM0002 |
| | 33 | -2.000, -1.988, 0.000 | 35.055 | 42.274 | 200.372 | -200.372 | -269.755 | 12.409 | DIM0011 |
| | 81 | -0.333, 0.157, 0.000 | -157.949 | -72.213 | -8771.141 | 8771.141 | -16.917 | 21.471 | DIM0010 |
| | 1 | 2.000, -2.350, 0.000 | -46.477 | 45.756 | -227.941 | 227.941 | 169.093 | 13.382 | DIM0004 |
| | 24 | -0.492, -1.940, 0.000 | -224.866 | -55.600 | -11988.011 | 11988.011 | -52.409 | 7.487 | DIM0002 |
| | 4 | 2.000, -1.988, 0.000 | 15.577 | 18.437 | 423.701 | -423.701 | 303.644 | -8.007 | DIM0006 |
| | 4 | 2.000, -1.988, 0.000 | 15.577 | 18.437 | 423.701 | -423.701 | 303.644 | -8.007 | DIM0006 |
| | 24 | -0.492, -1.940, 0.000 | -224.866 | -55.600 | -11988.011 | 11988.011 | -52.409 | 7.487 | DIM0002 |
| | 33 | -2.000, -1.988, 0.000 | 35.055 | 42.274 | 200.372 | -200.372 | -269.755 | 12.409 | DIM0011 |
| | 4 | 2.000, -1.988, 0.000 | 15.577 | 18.437 | 423.701 | -423.701 | 303.644 | -8.007 | DIM0006 |
| | 31 | -1.757, -2.095, 0.000 | -51.243 | -10.394 | -2396.322 | 2396.322 | -73.211 | -79.954 | DIM0005 |
| | 36 | -2.000, -1.627, 0.000 | -26.545 | 31.252 | -295.073 | 295.073 | -180.247 | 105.190 | DIM0005 |

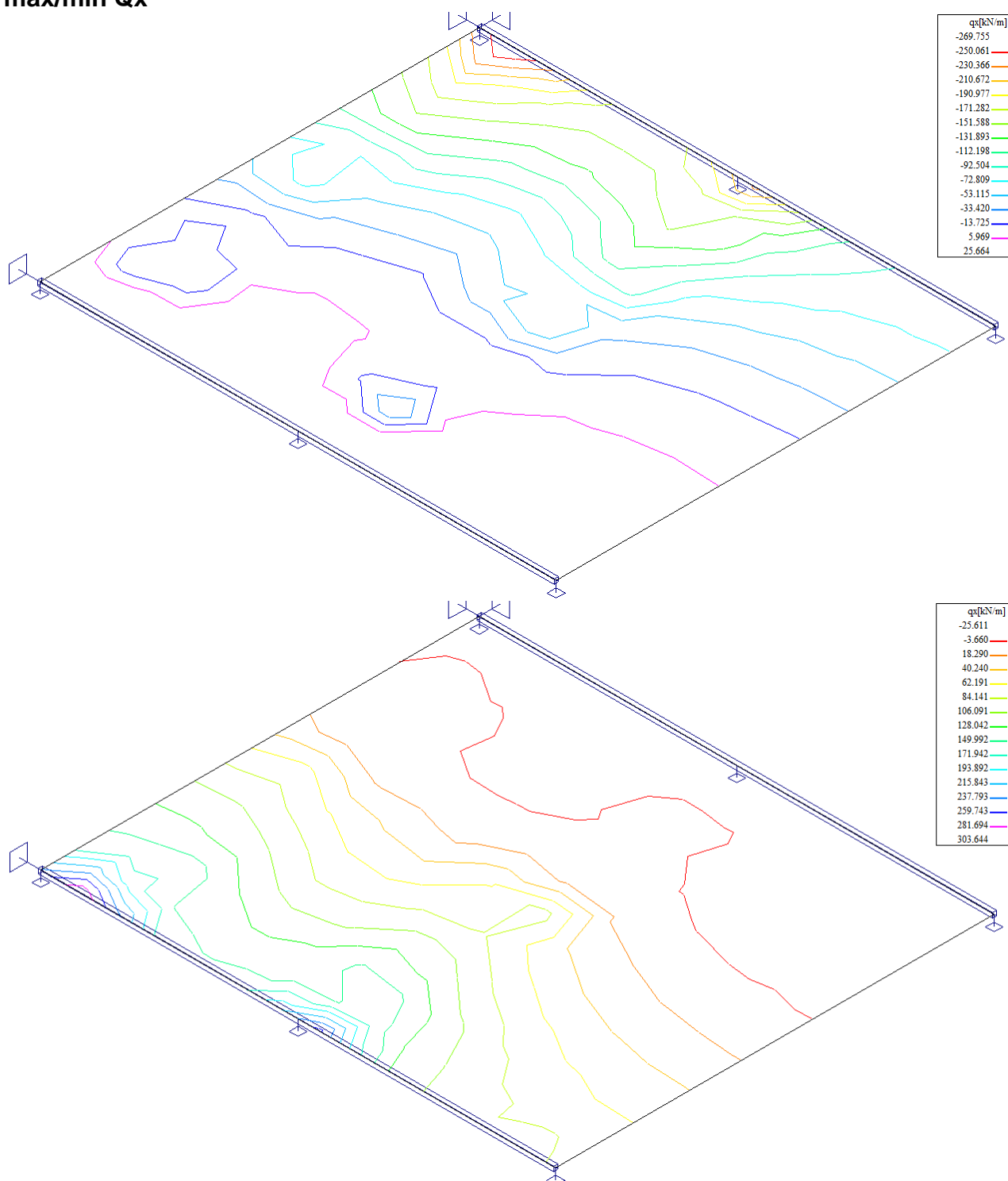
max/min dimMx



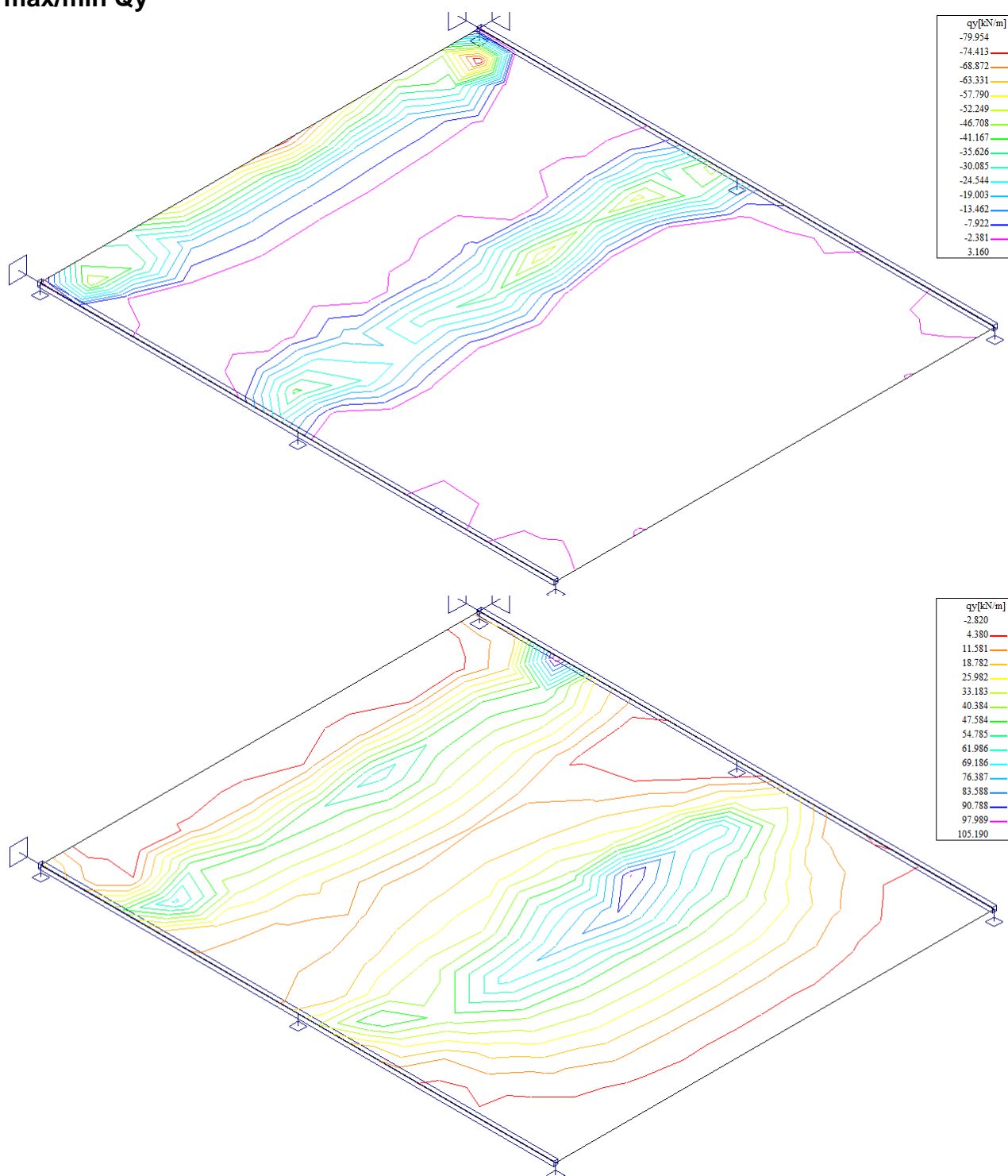
max/min dimMy



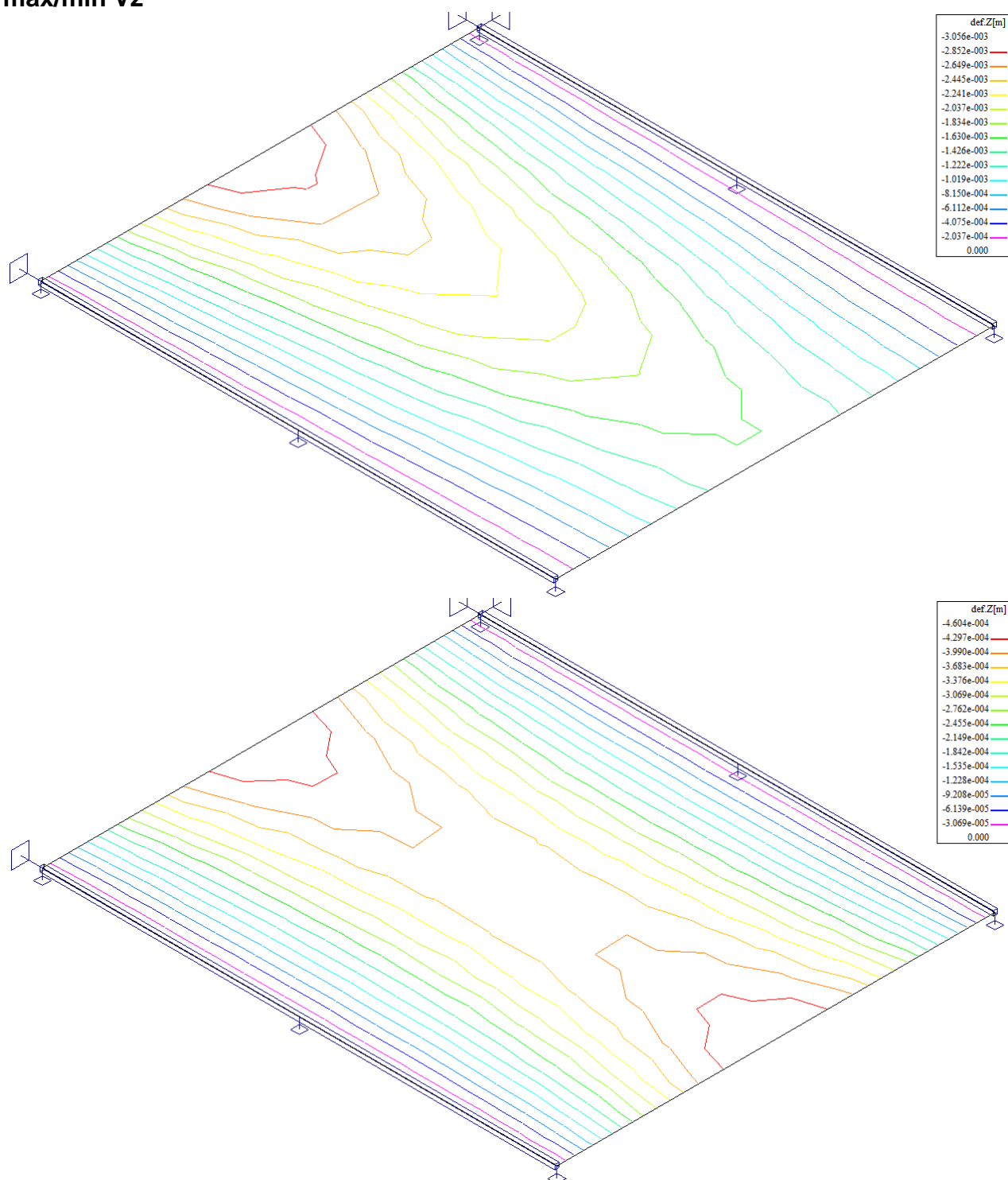
max/min Qx



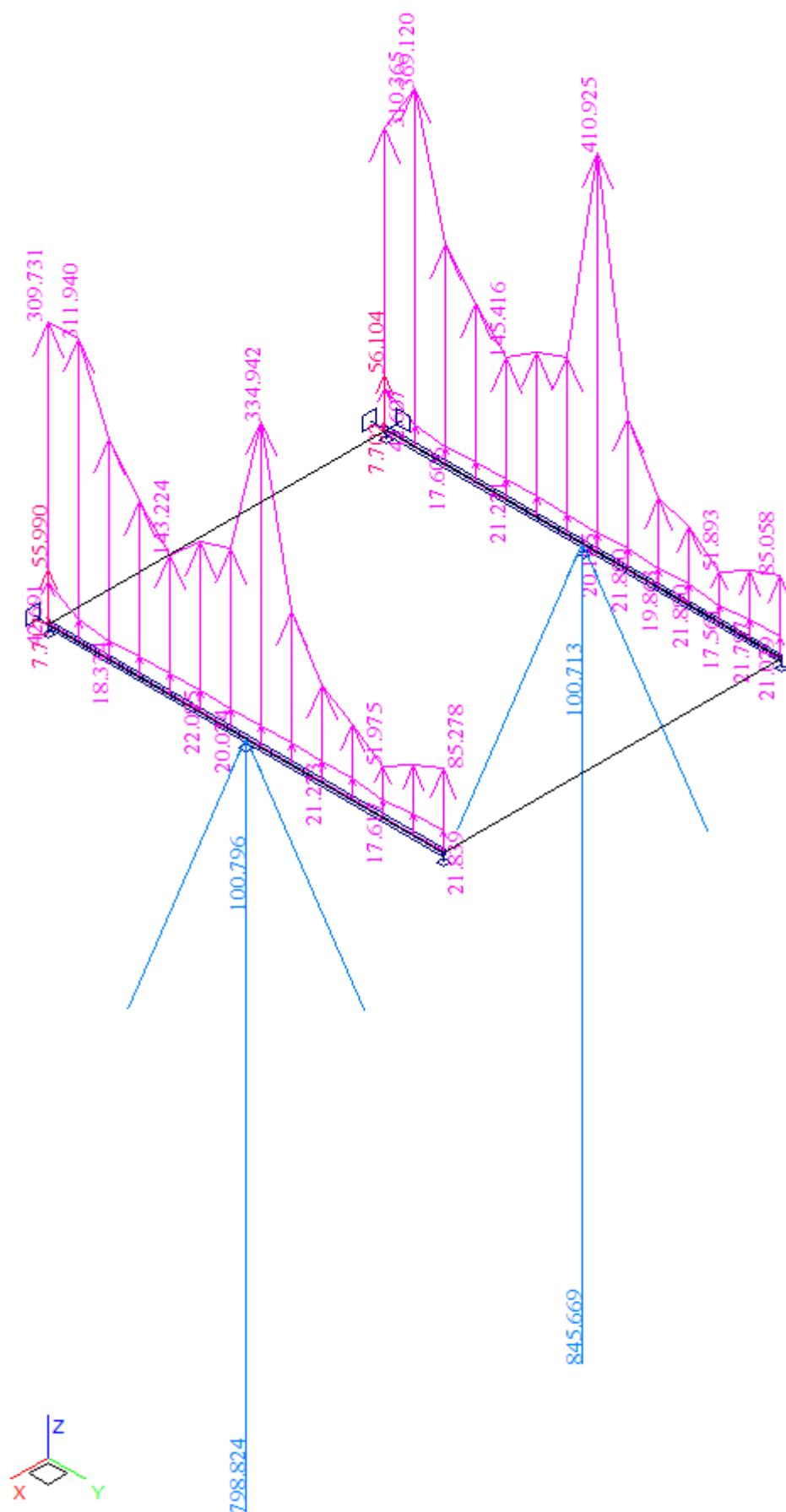
max/min Qy



max/min Vz



max/min Rz



6. Posouzení nosné konstrukce

6.1. Deska mostovky

6.1.1. Posouzení na ohyb v MSU

Posouzení je provedeno na dimenzační momenty, které jsou převzaté ze strojové superpozice a zahrnují vliv kroucení podle vztahu:

$$\dim M_x = \text{sign}(m_{xx}) \cdot [\text{sign}(m_{xx}) + \text{abs}(m_{xy})]$$

$$\dim M_y = \text{sign}(m_{yy}) \cdot [\text{sign}(m_{yy}) + \text{abs}(m_{xy})]$$

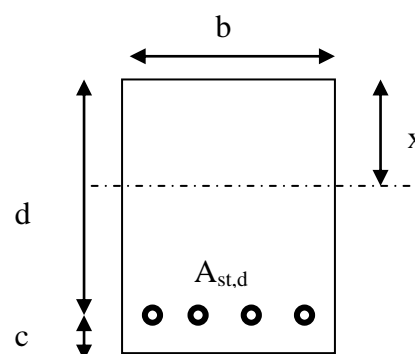
Návrh výztuže v železobetonovém průřezu je proveden v následující tabulce podle teorie mezních stavů:

Návrh plochy výztuže: $\lambda = 0.8$ $\eta = 1.0$

$$x = \frac{d}{\lambda} \cdot \left(-1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right) < x_{bal} = d \cdot \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \frac{f_{yd}}{E_s}}$$

$$A_{st,req} = \frac{b \cdot d \cdot \eta \cdot f_{cd}}{f_{yd} \cdot r} \cdot \left(-1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{ed}}{b \cdot d^2 \cdot \eta \cdot f_{cd}}} \right)$$

$$A_{x,min} = 0.26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yd}} \cdot b \cdot d \quad A_{x,min} = 0.0013 \cdot b \cdot d$$



Posouzení únosnosti:

$$x = \frac{A_{st,d} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad M_{Rd} = A_{st,d} \cdot f_{yd} \cdot (d - 0.5 \cdot \lambda \cdot x)$$

Dolní podélná výztuž uprostřed rozpětí u středové spáry

| Namáhání | | Návrh výztuže | | | | |
|---|----------|--|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| $M_{ed}[\text{MNm}] =$ | 0.224 | $A_{st,d}$ | 8 | ϕ | 20 | |
| Beton-průřez | | Materiálové charakteristiky betonu a oceli | | | | |
| $b[\text{m}] =$ | 1.000 | $f_{ctm}[\text{MPa}] =$ | 2.9 | $f_{yk}[\text{MPa}] =$ | 500 | $\varepsilon_{cu} =$ 0.0035 |
| $h[\text{m}] =$ | 0.300 | $f_{ck}[\text{MPa}] =$ | 30.0 | $f_{yd}[\text{MPa}] =$ | 435 | $\lambda =$ 0.800 |
| $c[\text{m}] =$ | 0.060 | $f_{cd}[\text{MPa}] =$ | 17.0 | $E_s[\text{Mpa}] =$ | 200000 | $\eta =$ 1.000 |
| $d[\text{m}] =$ | 0.240 | | | | | |
| Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky | | | | | | |
| $A_{xmin-f}[\text{m}^2] =$ | 0.000362 | | $A_{xmin-\lambda}[\text{m}^2] =$ | 0.000312 | mimimální plocha výztuže | |
| $x_{bal}[\text{m}] =$ | 0.148046 | > | $x[\text{m}] =$ | 0.079040 | omezení výšky tlacené oblasti | |
| $A_{st,req}[\text{m}^2] =$ | 0.002472 | < | $A_{st,d}[\text{m}^2] =$ | 0.002513 | ověření návrhové plochy výztuže | |
| $\mu_{minx}[\%] =$ | 0.15 | < | $\mu[\%] =$ | 1.05 | < | $\mu_{max}[\%] =$ 1.60 |
| Moment únosnosti | | | | | | |
| $x[\text{m}] =$ | 0.080348 | | $M_{Rd}[\text{MNm}] =$ | 0.227 | > | $M_{ed}[\text{MNm}] =$ 0.224 |

Dolní příčná výztuž

| Namáhání | | | Návrh výztuže | | | | | |
|---|----------|--|----------------------|----------------|--------|---------------------------------|--------|--|
| $M_{ed}[MNm]=$ | 0.072 | | $A_{st,d}$ | 8 | ϕ | 14 | | |
| Beton-průřez | | Materiálové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | |
| $b[m]=$ | 1.000 | $f_{ctm}[MPa]=$ | 2.9 | $f_{yk}[MPa]=$ | 500 | $\varepsilon_{cu}=$ | 0.0035 | |
| $h[m]=$ | 0.300 | $f_{ck}[MPa]=$ | 30.0 | $f_{yd}[MPa]=$ | 435 | $\lambda=$ | 0.800 | |
| $c[m]=$ | 0.060 | $f_{cd}[MPa]=$ | 17.0 | $E_s[MPa]=$ | 200000 | $\eta=$ | 1.000 | |
| $d[m]=$ | 0.240 | | | | | | | |
| Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky | | | | | | | | |
| $A_{xmin-f}[m^2]=$ | 0.000362 | | $A_{xmin-\mu}[m^2]=$ | 0.000312 | | mimimální plocha výztuže | | |
| $x_{bal}[m]=$ | 0.148046 | > | $x[m]=$ | 0.022936 | | omezení výšky tlačené oblasti | | |
| $A_{st,req}[m^2]=$ | 0.000717 | < | $A_{st,d}[m^2]=$ | 0.001232 | | ověření návrhové plochy výztuže | | |
| $\mu_{min}[\%]=$ | 0.15 | < | $\mu[\%]=$ | 0.51 | < | $\mu_{max}[\%]=$ | 1.60 | |
| Moment únosnosti | | | | | | | | |
| $x[m]=$ | 0.039370 | | $M_{Rd}[MNm]=$ | 0.120 | > | $M_{ed}[MNm]=$ | 0.072 | |

Horní podélná výztuž v rohu

| Namáhání | | | Návrh výztuže | | | | | |
|---|----------|--|----------------------|----------------|--------|---------------------------------|--------|--|
| $M_{ed}[MNm]=$ | 0.035 | | $A_{st,d}$ | 8 | ϕ | 12 | | |
| Beton-průřez | | Materiálové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | |
| $b[m]=$ | 1.000 | $f_{ctm}[MPa]=$ | 2.9 | $f_{yk}[MPa]=$ | 500 | $\varepsilon_{cu}=$ | 0.0035 | |
| $h[m]=$ | 0.300 | $f_{ck}[MPa]=$ | 30.0 | $f_{yd}[MPa]=$ | 435 | $\lambda=$ | 0.800 | |
| $c[m]=$ | 0.060 | $f_{cd}[MPa]=$ | 17.0 | $E_s[MPa]=$ | 200000 | $\eta=$ | 1.000 | |
| $d[m]=$ | 0.240 | | | | | | | |
| Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky | | | | | | | | |
| $A_{xmin-f}[m^2]=$ | 0.000362 | | $A_{xmin-\mu}[m^2]=$ | 0.000312 | | mimimální plocha výztuže | | |
| $x_{bal}[m]=$ | 0.148046 | > | $x[m]=$ | 0.010922 | | omezení výšky tlačené oblasti | | |
| $A_{st,req}[m^2]=$ | 0.000342 | < | $A_{st,d}[m^2]=$ | 0.000905 | | ověření návrhové plochy výztuže | | |
| $\mu_{min}[\%]=$ | 0.15 | < | $\mu[\%]=$ | 0.38 | < | $\mu_{max}[\%]=$ | 1.60 | |
| Moment únosnosti | | | | | | | | |
| $x[m]=$ | 0.028925 | | $M_{Rd}[MNm]=$ | 0.090 | > | $M_{ed}[MNm]=$ | 0.035 | |

Horní příčná výztuž v poli

| Namáhání | | Návrh výztuže | | | | | |
|---|----------|--|----------------------|----------------|---------------------------------|---------------------|--------|
| $M_{ed}[MNm]=$ | 0.045 | $A_{st,d}$ | 8 | ϕ | 12 | | |
| Beton-průřez | | Materiálové charakteristiky betonu a oceli | | | | | |
| $b[m]=$ | 1.000 | $f_{ctm}[MPa]=$ | 2.9 | $f_{yk}[MPa]=$ | 500 | $\varepsilon_{cu}=$ | 0.0035 |
| $h[m]=$ | 0.300 | $f_{ck}[MPa]=$ | 30.0 | $f_{yd}[MPa]=$ | 435 | $\lambda=$ | 0.800 |
| $c[m]=$ | 0.060 | $f_{cd}[MPa]=$ | 17.0 | $E_s[MPa]=$ | 200000 | $\eta=$ | 1.000 |
| $d[m]=$ | 0.240 | | | | | | |
| Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky | | | | | | | |
| $A_{xmin-f}[m^2]=$ | 0.000362 | | $A_{xmin-\mu}[m^2]=$ | 0.000312 | mimimální plocha výztuže | | |
| $x_{bal}[m]=$ | 0.148046 | > | $x[m]=$ | 0.014119 | omezení výšky tlacené oblasti | | |
| $A_{st,req}[m^2]=$ | 0.000442 | < | $A_{st,d}[m^2]=$ | 0.000905 | ověření návrhové plochy výztuže | | |
| $\mu_{min}[\%]=$ | 0.15 | < | $\mu[\%]=$ | 0.38 | < | $\mu_{max}[\%]=$ | 1.60 |
| Moment únosnosti | | | | | | | |
| $x[m]=$ | 0.028925 | | $M_{Rd}[MNm]=$ | 0.090 | > | $M_{ed}[MNm]=$ | 0.045 |

6.1.2. Posouzení na smyk

Návrh smykové výztuže je proveden na redukovanou výslednou smykovou sílu (neuvažují lokální extrém, ale izolinii v linii líce opěry) ze strojové superpozice:

$$Q_{dim-extrem} = \sqrt{q_x^2 + q_y^2} = \sqrt{303^2 + 8^2} = 303 \text{ kNm/m}$$

Návrh smykové výztuže je proveden dle ČSN EN 1992-1-1 kap.6.2.str.77 podle teorie mezních stavů:

beton

$$V_{Rd,c} = [C_{rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck}) + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$V_{Rd,cmin} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$$

$$k = 1 + \sqrt{0.2/d} \leq 2.0 \quad \rho_1 = A_{s1} / (b_w \cdot d)$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0.2 \cdot f_{cd} \quad \text{vliv predpeti}$$

$$C_{Rd,c} = 0.18 / \gamma_c \quad v_{min} = 0.035 \cdot k^{2/3} \cdot f_{ck}^{1/2} \quad k_1 = 0.15$$

svislá výztuž

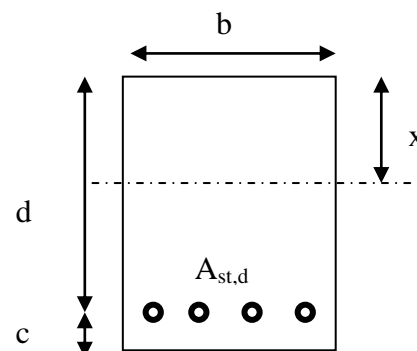
$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta \quad (\theta = 22 - 45^\circ)$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad v_1 = 0.6 \cdot (1 - f_{ck} / 250)$$

šikmá výztuž

$$V_{Rd,s} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} \cdot (\cot \theta + \cot \alpha) / (1 + \cot^2 \theta)$$



Extrém v rohu

| Namáhání | | Ohybová výztuž | | | | | | |
|---|----------------------|----------------------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------|----------------------------|--|--|
| $V_{ed}[MN] = 0.303$ | 8 | ϕ | 12 | | | $A_{st,d}[m^2] = 0.000905$ | | |
| Materiálové a průřezové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | | | |
| $b[m] = 1.000$ | $f_{ctm}[MPa] = 2.9$ | $f_{yk}[MPa] = 500$ | $\varepsilon_{cu} = 0.0035$ | $\theta[^\circ] = 45.0$ | | | | |
| $h[m] = 0.300$ | $f_{ck}[MPa] = 30.0$ | $f_{yd}[MPa] = 435$ | $\lambda = 0.800$ | $\alpha[^\circ] = 45.0$ | | | | |
| $c[m] = 0.060$ | $f_{cd}[MPa] = 17.0$ | $E_s[MPa] = 200000$ | $\eta = 1.000$ | $k_{pom} = 1.91$ | | | | |
| $d[m] = 0.240$ | $x[m] = 0.029$ | $\sigma_{cp}[MPa] = 0$ | $\alpha_{cw} = 1.000$ | $k = 1.91$ | | | | |
| Beton | | | | | | | | |
| $V_{Rd,c}[MN] = 0.124$ | > | $V_{Rd,c,min}[MN] = 0.088$ | $V_{Rd}[MN] = 0.124$ | nutná smyková výztuž | | | | |
| Třmínky | 4 | ϕ | 6 | $s[m] = 0.25$ | $A_{sw}[m^2] = 0.000113$ | | | |
| $V_{Rd,s}[MN] = 0.045$ | < | $V_{Rd,max}[MN] = 1.025$ | $V_{Rd}[MN] = 0.169$ | nutné ohyby | | | | |
| Ohyby | 1 | ϕ | 20 | $s[m] = 0.25$ | $A_{sw}[m^2] = 0.000314$ | | | |
| $V_{Rd,s}[MN] = 0.212$ | < | $V_{Rd,max}[MN] = 0.513$ | $V_{Rd}[MN] = 0.381$ | vyhovuje | | | | |

6.2.1. Omezení trhlin a napětí

Výpočet trhlin je proveden podle ČSN EN 1992-1-1 kap.7.3.4. str.112. Výpočet omezení napětí je proveden dle ČSN EN 1992-2 EC2 část 2

$$\sigma_{c, char} = \frac{M_{char}}{A_c \cdot z} \leq k_c \cdot f_{ck} \quad \sigma_{s, char} = \frac{M_{char}}{A_{s1} \cdot z} \leq k_y \cdot f_{yk} \quad z = d - 0.4 \cdot x$$

$$w_k = s_{r, max} \cdot (\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm}) \quad \alpha_e = \frac{E_s}{E_{cm}} \quad \rho_{p, eff} = \frac{A_s + \xi_1^2 \cdot A_p}{A_{c, eff}}$$

$$\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} = \frac{\sigma_s - k_t \cdot \frac{f_{ct, eff}}{\rho_{p, eff}} (1 + \alpha_e \cdot \rho_{p, eff})}{E_s} \quad s_{r, max} = k_3 \cdot c + \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi}{\rho_{p, eff}}$$

Dolní podélná výztuž uprostřed rozpětí v poli

| | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-----------------------|-------|----------------------|--------------------|-------------------|----------|---|-------|
| $M_{char} [MNm] =$ | 0.151 | $A_s [m^2] =$ | 8 | ϕ | 20 | $A_s [m^2] =$ | 0.002513 | $\sigma_s [Mpa] =$ | 289 |
| $b [m] =$ | 1.000 | $f_{ct, eff} [MPa] =$ | 2.9 | $f_{yk} [MPa] =$ | 500 | $x [m] =$ | 0.080348 | $k_t =$ | 0.600 |
| $h [m] =$ | 0.300 | $f_{ck} [MPa] =$ | 30.0 | $f_{yd} [MPa] =$ | 435 | $\lambda =$ | 0.800 | $k_1 =$ | 0.800 |
| $c [m] =$ | 0.060 | $f_{cd} [MPa] =$ | 17.0 | $\varepsilon_{cu} =$ | 0.0035 | $\eta =$ | 1.000 | $k_2 =$ | 0.500 |
| $d [m] =$ | 0.240 | $E_{cm} [Mpa] =$ | 36000 | $E_s [Mpa] =$ | 200000 | $\alpha_e =$ | 5.556 | $k_3 =$ | 3.400 |
| $h_{c, eff} [m] =$ | 0.073 | $A_p [m^2] =$ | 0 | ϕ | 15.5 | $A_p [m^2] =$ | 0.000000 | $k_4 =$ | 0.425 |
| $A_{c, eff} [m^2] =$ | 0.073 | $\xi =$ | 0.500 | $\xi_1 =$ | 0.803 | $\rho_{p, eff} =$ | 0.034326 | $\varepsilon_{sm} - \varepsilon_{cm} =$ | 0.001 |
| $s_{r, max} [mm] =$ | 99 | $w_k [mm] =$ | 0.11 | $<$ | $w_{lim} [mm] =$ | 0.3 | | | |
| $k_c =$ | 0.600 | $k_y =$ | 0.800 | | | | | | |
| $\sigma_s [Mpa] =$ | 289 | $<$ | 400 | | $\sigma_c [Mpa] =$ | 11.3016 | $<$ | 18 | |

6.2.2. Posouzení průhybů

Maximální průhyby uprostřed rozpětí na kraji konstrukce od stálého i nahodilého zatížení jsou:

$$v_{max} = 3.1 mm < v_{lim} = \frac{4000}{300} = 13.3 mm$$

6.2.3. Posouzení na únavu

Posudek je proveden na namáhání od zatížení bez součinitele zatížení s únavovým zatížením 70% LM1. Uvažují profil u chodníku, rozhoduje po zmonolitnění

$$M_{equ-min} = 21 \text{ kNm/m}$$

$$M_{equ-max} = 21 + 130 \cdot 0.7 = 112 \text{ kNm/m}$$

Únava betonu:

$$x = \frac{A_{st,d} \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot \eta \cdot f_{cd}} \quad \sigma_c = \frac{M}{b \cdot \lambda \cdot x \cdot (d - 0.4x)} \quad \beta_{cc} = \exp \left[s \cdot \left(1 - \sqrt{\frac{28}{t}} \right) \right]$$

$$t = \text{čas poč.cyklického zatížení} \quad k_1 = 0.85 (\text{pro } N = 10^6 \text{ cyklů})$$

$$s_{cement_tř.R} = 0.2 \quad s_{cement_tř.N} = 0.25 \quad s_{cement_tř.N} = 0.38$$

$$f_{cd,fat} = k_1 \cdot \beta_{cc} \cdot f_{cd} \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right)$$

$$\text{metoda1: } \sigma_{cd,max} + 0.43 \cdot \sqrt{1 - \frac{\sigma_{cd,min}}{\sigma_{cd,max}}} \leq 1$$

$$\text{metoda2: } \frac{\sigma_{c,max}}{f_{cd,fat}} \leq 0.5 + 0.45 \cdot \frac{\sigma_{c,min}}{f_{cd,fat}} \leq 0.9 \text{ pro } f_{ck} \leq 50 \text{ MPa} (\leq 0.8 \text{ pro } f_{ck} > 50 \text{ MPa})$$

Únava betonářské oceli

$$\gamma_{F,fat} \cdot \Delta \sigma_{s,eq}(N^*) \leq \frac{\Delta \sigma_{RSK}(N^*)}{\gamma_{s,fat}} \quad \sigma_{s,eq} = \frac{M_{equ}}{A_s \cdot (d - 0.4 \cdot x)}$$

$$\gamma_{F,fat} = 1.0 \quad \gamma_{s,fat} = 1.0 \quad \Delta \sigma_{RSK}(N^*) = 162.5 \text{ MPa}$$

Podhled desky uprostřed rozpětí v podélném směru

| | | | | | | | |
|--|-------|---------------------------------|-------|-------------------------------------|-------|----------------------------|----------|
| $M_{equ,max}[\text{MNm}] =$ | 0.112 | $M_{equ,min}[\text{MNm}] =$ | 0.021 | | 9 | ϕ | 20 |
| Materiálové a průřezové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | $A_{st,d}[\text{m}^2] =$ | 0.002827 |
| $b[\text{m}] =$ | 1.000 | $f_{ctm}[\text{MPa}] =$ | 2.9 | $f_{yk}[\text{MPa}] =$ | 500 | $\lambda =$ | 0.800 |
| $h[\text{m}] =$ | 0.300 | $f_{ck}[\text{MPa}] =$ | 30.0 | $f_{yd}[\text{MPa}] =$ | 435 | $\eta =$ | 1.000 |
| $c[\text{m}] =$ | 0.060 | $f_{cd}[\text{MPa}] =$ | 17.0 | | | | |
| $d[\text{m}] =$ | 0.240 | | | | | $x[\text{m}] =$ | 0.090 |
| Beton: | | $\sigma_{cd,max}[\text{MPa}] =$ | 7.6 | $\sigma_{cd,min}[\text{MPa}] =$ | 1.4 | $\beta_{cc} =$ | 1.099 |
| $s =$ | 0.20 | $t[\text{dni}] =$ | 100 | $k_1 =$ | 0.85 | $f_{cd,fat}[\text{MPa}] =$ | 14.0 |
| podmínka 1 | 0.93 | < | 1.00 | | | vyhovuje | |
| podmínka 2 | 0.54 | < | 0.55 | < | 0.8 | vyhovuje | |
| Ocel: | | $\sigma_{s,max}[\text{MPa}] =$ | 194 | $\sigma_{s,min}[\text{MPa}] =$ | 36 | | |
| $\gamma_{F,fat} =$ | 1.00 | $\gamma_{s,fat} =$ | 1.00 | $\Delta \sigma_{RSK}[\text{MPa}] =$ | 162.5 | | |
| podmínka: | 158 | < | 163 | | | vyhovuje | |

7. Spodní stavba

7.1. Stěna opěry

Stěna opěry je navržena s ohledem rozpěrákový charakter konstrukce na maximální možný odpor zeminy, tedy na pasivní tlak zeminy zásypu, který v sobě zahrnuje i přitížení povrchu předpolí a vliv brzdících sil. Výztuž je navržena podle stejných vztahů, jako deska mostovky, na straně bezpečnosti jsou zanedbány normálové síly od reakcí.

Výpočet namáhání je proveden na modelu prostého nosníku na svislo, zatíženém ve vodorovném směru. Na straně bezpečnosti je přitom uvažován konstantní zemní tlak po celé výšce opěry (neuvažují trojúhelníkové zatížení).

$$q_{\text{zemina dolní}} = 20 \cdot 2.2 \cdot tg^2 \left(45 + \frac{30}{2} \right) = 132 kN/m^2$$

$$M_{\text{stěna d}} = \frac{1}{8} \cdot 132 \cdot 2.2^2 = 80 kNm/m$$

$$Q_{\text{stěna d}} = \frac{1}{2} \cdot 132 \cdot 2.2 = 145 kN/m$$

Vnitřní svislá výztuž stěny opěry

Ohybová výztuž

| Namáhání | | | Návrh výztuže | | | | | |
|---|---|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--|--|
| $M_{\text{ed}}[\text{MNm}] = 0.080$ | | | $A_{\text{st.d}}$ | 5 | ϕ | 14 | | |
| Beton-průřez | | Materiálové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | |
| $b[\text{m}] = 1.000$ | | $f_{\text{ctm}}[\text{MPa}] = 2.9$ | | $f_{\text{yk}}[\text{MPa}] = 500$ | | $\varepsilon_{\text{cu}} = 0.0035$ | | |
| $h[\text{m}] = 0.500$ | | $f_{\text{ck}}[\text{MPa}] = 30.0$ | | $f_{\text{yd}}[\text{MPa}] = 435$ | | $\lambda = 0.800$ | | |
| $c[\text{m}] = 0.070$ | | $f_{\text{cd}}[\text{MPa}] = 17.0$ | | $E_{\text{s}}[\text{Mpa}] = 200000$ | | $\eta = 1.000$ | | |
| $d[\text{m}] = 0.430$ | | | | | | | | |
| Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky | | | | | | | | |
| $A_{\text{xmin-f}}[\text{m}^2] = 0.000648$ | | | $A_{\text{xmin-}\mu}[\text{m}^2] = 0.000559$ | | mimimální plocha výztuže | | | |
| $x_{\text{bal}}[\text{m}] = 0.265249$ | > | | $x[\text{m}] = 0.013859$ | | omezení výšky tlačené oblasti | | | |
| $A_{\text{st.req}}[\text{m}^2] = 0.000433$ | < | | $A_{\text{st.d}}[\text{m}^2] = 0.000770$ | | ověření návrhové plochy výztuže | | | |
| $\mu_{\text{minx}}[\%] = 0.15$ | < | | $\mu[\%] = 0.18$ | < | $\mu_{\text{max}}[\%] = 1.60$ | | | |
| Moment únosnosti | | | | | | | | |
| $x[\text{m}] = 0.024606$ | | | $M_{\text{Rd}}[\text{MNm}] = 0.141$ | > | $M_{\text{ed}}[\text{MNm}] = 0.080$ | | | |

Smyková výztuž

| | | | | | | | | |
|--|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|----------|--|
| Namáhání | Ohybová výztuž | | | | | | | |
| V _{ed} [MN]= 0.145 | 5 | φ | 14 | | | A _{st,d} [m²]= | 0.000770 | |
| Materiálové a průřezové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | | | |
| b[m]= 1.000 | f _{ctm} [MPa]= 2.9 | f _{yk} [MPa]= 500 | ε _{cu} = 0.0035 | θ[°]= 45.0 | | | | |
| h[m]= 0.500 | f _{ck} [MPa]= 30.0 | f _{yd} [MPa]= 435 | λ= 0.800 | α[°]= 45.0 | | | | |
| c[m]= 0.070 | f _{cd} [MPa]= 17.0 | E _s [Mpa]= 200000 | η= 1.000 | k _{pom} = 1.68 | | | | |
| d[m]= 0.430 | x[m]= 0.025 | σ _{cp} [Mpa]= 0 | α _{cw} = 1.000 | k= 1.68 | | | | |
| Beton | | | | | | | | |
| V _{Rd,cl} [MN]= 0.152 | > | V _{Rd,min} [MN]= 0.139 | V _{Rd} [MN]= 0.152 | vyhovuje bez výztuže | | | | |
| Třmínky | 3 | φ | 6 | s[m]= 0.33 | A _{sw} [m²]= | 0.000085 | | |
| V _{Rd,sl} [MN]= 0.047 | < | V _{Rd,max} [MN]= 1.886 | V _{Rd} [MN]= 0.199 | vyhovuje bez ohybů | | | | |
| Ohyby | 0 | φ | 14 | s[m]= 0.25 | A _{sw} [m²]= | 0.000000 | | |
| V _{Rd,sl} [MN]= 0.000 | < | V _{Rd,max} [MN]= 0.943 | V _{Rd} [MN]= 0.199 | vyhovuje | | | | |

Omezení trhlin a napětí

| | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|------------------------|------------------------|-----------------------------------|----------|------------------------------------|--------|
| M _{char} [MNm]= | 0.080 | A _s [m ²]= | 5 | φ | 14 | A _s [m ²]= | 0.000770 | σ _s [Mpa]= | 247 |
| b[m]= | 1.000 | f _{ct,eff} [MPa]= | 2.9 | f _{yk} [MPa]= | 500 | x[m]= | 0.024606 | k _t = | 0.600 |
| h[m]= | 0.500 | f _{ck} [MPa]= | 30.0 | f _{yd} [MPa]= | 435 | λ= | 0.800 | k ₁ = | 0.800 |
| c[m]= | 0.070 | f _{cd} [MPa]= | 17.0 | ε _{cu} = | 0.0035 | η= | 1.000 | k ₂ = | 0.500 |
| d[m]= | 0.430 | E _{cm} [Mpa]= | 36000 | E _s [Mpa]= | 200000 | α _e = | 5.556 | k ₃ = | 3.400 |
| h _{c,eff} [m]= | 0.158 | A _p [m ²]= | 0 | φ | 15.5 | A _p [m ²]= | 0.000000 | k ₄ = | 0.425 |
| A _{c,eff} [m ²]= | 0.158 | ξ= | 0.500 | ξ ₁ = | 0.672 | ρ _{p,eff} = | 0.004857 | ε _{sm} -ε _{cm} = | -0.001 |
| s _{r,max} [mm]= | 490 | w _k [mm]= | -0.30 | < | w _{lim} [mm]= | 0.3 | | | |
| k _c = | 0.600 | k _y = | 0.800 | | | | | | |
| σ _s [Mpa]= | 247 | < | 400 | | σ _c [Mpa]= | 9.6725 | < | 18 | |

Posouzení na únavu

| | | | | | | | |
|--|-------|--|-------|---|-------|-----------------------------------|----------|
| $M_{\text{equ,max}}[\text{MNm}] =$ | 0.080 | $M_{\text{equ,min}}[\text{MNm}] =$ | 0.000 | | 8 | ϕ | 14 |
| Materiálové a průřezové charakteristiky betonu a oceli | | | | | | $A_{\text{st.d}}[\text{m}^2] =$ | 0.001232 |
| $b[\text{m}] =$ | 1.000 | $f_{\text{ctm}}[\text{MPa}] =$ | 2.9 | $f_{\text{yk}}[\text{MPa}] =$ | 500 | $\lambda =$ | 0.800 |
| $h[\text{m}] =$ | 0.500 | $f_{\text{ck}}[\text{MPa}] =$ | 30.0 | $f_{\text{yd}}[\text{MPa}] =$ | 435 | $\eta =$ | 1.000 |
| $c[\text{m}] =$ | 0.070 | $f_{\text{cd}}[\text{MPa}] =$ | 17.0 | | | | |
| $d[\text{m}] =$ | 0.430 | | | | | $x[\text{m}] =$ | 0.039 |
| Beton: | | $\sigma_{\text{cd,max}}[\text{MPa}] =$ | 6.1 | $\sigma_{\text{cd,min}}[\text{MPa}] =$ | 0.0 | $\beta_{\text{cc}} =$ | 1.099 |
| $s =$ | 0.20 | $t[\text{dni}] =$ | 100 | $k_1 =$ | 0.85 | $f_{\text{cd,fat}}[\text{Mpa}] =$ | 14.0 |
| podmínka 1 | 0.87 | < | 1.00 | | | vyhovuje | |
| podmínka 2 | 0.44 | < | 0.50 | < | 0.8 | vyhovuje | |
| Ocel: | | $\sigma_{\text{s,max}}[\text{MPa}] =$ | 157 | $\sigma_{\text{s,min}}[\text{MPa}] =$ | 0 | | |
| $\gamma_{\text{F,fat}} =$ | 1.00 | $\gamma_{\text{s,fat}} =$ | 1.00 | $\Delta\sigma_{\text{RSK}}[\text{Mpa}] =$ | 162.5 | | |
| podmínka: | 157 | < | 163 | | | vyhovuje | |

7.2. Základy

Namáhání v základové spáře je stanoveno za předpokladu rozepření opěr rozpěrákovou nosnou konstrukcí a pasivním odporem zeminy v korytě, případně opevněním v korytě. Uvažují přitom zprůměrovanou hodnotu maximální reakce, resp. roznesenou celkovou reakci na zmenšenou délku opěry o vliv excentricity zatížení.

$$R_{max-lokal.extrem} = 410 \text{ kN/m} \rightarrow R_{max-průměr} = \frac{846}{3.0} = 282 \text{ kN/m}$$

$$\sigma_{max-průměr} = \frac{282}{1.5} = 188 \text{ kPa} < R_{d\ S4} = 225 \text{ kPa}$$

$$R_{min-lokal.extrem} = 42 \text{ kN/m} \rightarrow R_{min-průměr} = \frac{101}{4.7} = 21 \text{ kN/m}$$

Namáhání základu je stanoveno na modelu konzoly s vyložení 1.5m. Výpočet je proveden na straně bezpečnosti na únosnost základové spáry 350kPa.

$$M_{základ} = \frac{1}{2} \cdot 350 \cdot 0.75^2 = 98 \text{ kNm/m}$$

Ohybová výztuž základu

| Namáhání | | | Návrh výztuže | | | | |
|---|-----------------------------|--|---------------------------------------|---|---------------------------------|----|--|
| $M_{ed}[\text{MNm}] = 0.098$ | | | $A_{st.d}$ | 5 | ϕ | 14 | |
| Beton-průřez | | Materiálové charakteristiky betonu a oceli | | | | | |
| $b[\text{m}] = 1.000$ | $f_{ctm}[\text{MPa}] = 2.9$ | | $f_{yk}[\text{MPa}] = 500$ | | $\varepsilon_{cu} = 0.0035$ | | |
| $h[\text{m}] = 0.500$ | $f_{ck}[\text{MPa}] = 30.0$ | | $f_{yd}[\text{MPa}] = 435$ | | $\lambda = 0.800$ | | |
| $c[\text{m}] = 0.070$ | $f_{cd}[\text{MPa}] = 17.0$ | | $E_s[\text{Mpa}] = 200000$ | | $\eta = 1.000$ | | |
| $d[\text{m}] = 0.430$ | | | | | | | |
| Přímý návrh požadované plochy výztuže a posudky | | | | | | | |
| $A_{xmin-f}[\text{m}^2] = 0.000648$ | | | $A_{xmin-\mu}[\text{m}^2] = 0.000559$ | | mimimální plocha výztuže | | |
| $x_{ball}[\text{m}] = 0.265249$ | > | | $x[\text{m}] = 0.017028$ | | omezení výšky tlačené oblasti | | |
| $A_{st.req}[\text{m}^2] = 0.000533$ | < | | $A_{st.d}[\text{m}^2] = 0.000770$ | | ověření návrhové plochy výztuže | | |
| $\mu_{minx}[\%] = 0.15$ | < | | $\mu[\%] = 0.18$ | < | $\mu_{max}[\%] = 1.60$ | | |
| Moment únosnosti | | | | | | | |
| $x[\text{m}] = 0.024606$ | | | $M_{Rd}[\text{MNm}] = 0.141$ | > | $M_{ed}[\text{MNm}] = 0.098$ | | |

Spodní stavba vyhovuje za předpokladu výskytu základové půdy třídy alespoň S4 s kvalitním opevněním dna s rozpěrnou funkcí. Pokud bude zemina v základové spáře horší kvality, bude nutno provést roznášecí štěrkopískový polštář, jehož tloušťka bude upřesněna dle skutečných parametrů zeminy. Výztuž základu vyhovuje konstruktivní min. z 5 ϕ R14/m (odpovídá stěně opěry).

9. Závěr

Deska nosné konstrukce tl.350mm u opěr až 371mm v poli ve středu rozpětí vyhovuje z betonu třídy C30/37 vyztuženého výztuží 10505(R) za předpokladů uvedených výše. Výztuž desky v jednotlivých směrech a profilech bude minimálně následující.

- Dolní podélná výztuž desky v poli $9\phi R20/m$ (rozhoduje únava)
- Dolní příčná výztuž $8\phi R14/m$
- Horní podélná výztuž desky v rozích $9\phi R12/m$
- Horní příčná výztuž desky v poli s přetažením na chodníkové konzoly $8\phi R12/m$
- Smyková výztuž spony $9\phi R6/m^2$ a ohyby $3\phi R20/m$

Stěnové opěry výšky 2.0m tl.50cm se symetricky umístěným základem šířky 1500mm tloušťky 600mm vyhovuje z betonu C30/37 vyztuženého výztuží 10505(R) za předpokladů uvedených výše. Výztuž spodní stavby v jednotlivých profilech bude následující.

- Svislá výztuž stěny u obou povrchů navrhuji z min. $8\phi R14/m$ (rozhoduje únava)
- Vodorovná výztuž stěny i základu u obou povrchů konstruktivně min. $5\phi R14/m$
- Dolní i horní příčná výztuž základu z min. $5\phi R14/m$
- Smyková výztuž stěny i základu konstruktivně sponami $9\phi R6/m^2$

Vzhledem k malé délce opěr, resp. šířce nosné konstrukce, a dostatečnému stupni vyztužení není nutno provádět mezilehlé dilatační ani pracovní spáry v opěrách, v nosné konstrukci se ani nepřipouští.

Založení bude provedeno na celkovou šířku základu min.150cm za předpokladu, že zemina v základové spáře bude alespoň třídy S4. Pokud bude zemina v základové spáře horší kvality, bude nutno provést roznášecí štěrkopískový polštář, jehož tloušťka bude upřesněna dle skutečných parametrů zeminy. V každém případě se předpokládá kvalitní provedení opevnění dna proti podemílání a současně proti posunu opěr vlivem bočního tlaku na rubu.

V Liberci, dne 24.2.2020
Vypracoval Ing.T.Humpal