Funkční vzorek

Experimentální objekt pro testování hrází

Výstup projektu "Údržba, opravy a monitoring hrází historických rybníků jako našeho kulturního dědictví"

Kód projektu: DG16P02M036

Program: NAKI II (Ministerstvo kultury ČR)

Odpovědný řešitel: Ing. Václav David, Ph.D.

Praha 2017

Funkční vzorek

Experimentální objekt pro testování hrází

Účel objektu

Účelem objektu je ověření technologie vysokotlaké aplikace nástřiku přírodních bentonitů pro konstrukce a sanace těsnících vrstev vodních děl (hrází malých vodních nádrží). Na fyzikálním modelu dvou typů zemní hráze, které budou umístěny do objektu funkčního vzorku, budou testovány různé směsi nástřikových bentonitů, technologie aplikace nástřiku a účinnost tohoto opatření pro sanaci poruch hrází nebo snížení jejich propustnosti.

Na modelu bude zkoumána propustnost zemní hráze měřením průsakového množství, a to při různých stavech zemní hráze – stav bez realizace opatření (zhutněná zemní hráz, hráz s uměle vytvořenými kavernami) a tytéž stavy po aplikaci bentonitového nástřikového těsnění. Objekt je tvořen dvěma sekcemi, do nichž je možno postavit model zemních hrází výšky do 2,4 m s různými sklony návodního a vzdušného svahu.

Umístění funkčního vzorku

Funkční vzorek byl postaven na pracovišti Centra experimentální geotechniky v areálu štoly Josef, který je detašovaným pracovištěm Fakulty stavební ČVUT v Praze.

Popis zařízení

Funkční vzorek je tvořen dvěma paralelními vanami, ohraničenými ze tří stran. Obě vany mají stejnou šířku, liší se délkou – jedna vana má délku 14 800 mm, druhá 8 900 mm. Na zpevněnou plochu dna navazuje manipulační prostor délky 2 200 mm, takže celková délka objektu je 17,0 m.

Kratší vana bude využita pro hráze se strmějšími svahy (oba svahy ve sklonu 1 : 1), což odpovídá historicky budovaným hrázím, druhá vana pro hráze s povlovnějším sklonem (návodní svah 1 : 3, vzdušní svah 1 : 2) – sklony odpovídající dnešním podmínkám (ČSN 75 2410 Malé vodní nádrže).

Dno je tvořeno betonovou armovanou deskou tloušťky 200 mm (beton C 25/30 XC2). Základová deska je armována na zatížení zeminou hrází a zatížením vody nad hrází.

Obvodové stěny o tloušťce 300 mm jsou postaveny z tvárnic TB 30 – 500 x 300 x 250 (ztracené bednění). Do dutin tvárnic je vložena svislá výztuž, provázaná s armaturou základové desky a prostor je vyplněn betonem. Výška stěn je 2 500 mm nad úrovní povrchu základové desky. Pro zajištění stability obvodových zdí je v místech zdí pod základovou deskou základový pas výšky 250 mm a šířky 300 mm.

Vnitřní povrchy obvodových zdí jsou opatřeny vyrovnávací vrstvou z exteriérové lepicí hmoty Baumit s perlinkou, hloubkovou nanopenetrací Soudal a hydroizolační stěrkou Soudal 1K.

Přibližně ve středu délky každé vany je u obou stěn ozub, který bude sloužit pro vedení kabeláže senzorů umisťovaných do vnitřní části zemního tělesa. Po instalaci kabeláže budou ozuby vyplněny bentonitovou směsí pro minimalizaci průsaku vody.

Zajištění podélných obvodových zdí před tlakem zeminy hráze a vody nad hrází je provedeno rozpěrami z profilů I 120 (naležato). Rozpěry jsou přivařeny na ocelové podložky, které jsou navlečeny na závitové tyče a upevněny matkami s podložkami. Toto řešení umožní případné odstranění rozpěr pro dovoz a hutnění zeminy do tělesa hráze.

Technologická zařízení

V ozubech budou osazeny tlakové sondy, umožňující měření průsaků při stěně a dále zde budou vedeny kabely pro měřící čidla, která budou umístěna v zemních tělesech hrází. U otevřeného konce obou van jsou umístěny šachty pro měření průsakového množství vody tělesem hráze. Voda prosakující hrází se soustřeďuje v patním drénu a je odváděna perforovaným potrubím do měrné nádoby v šachtě. Měrná nádoba bude ocejchována a zjištěna závislost mezi výškou hladiny a objemem vody. Výška hladiny bude v době měření kontinuálně zaznamenávána.

Pro určení tlaku hrází na podloží a změny tlaku při přitížení hrází prosakující vodou budou na základovou desku pod střed hráze při budování zkušebních hrází umístěny geostatické tlakové snímače.

Údaje ze všech čidel a snímačů bude možno snímat dálkově.

Přílohy

- Půdorys, podélné řezy a příčný řez funkčním vzorkem
- Statický výpočet
- Armovací výkresy
- Tvar základové desky
- Výpis výztuže základové desky
- Statický posudek konstrukce zpracovaný na nezávislém pracovišti – VUT Brno

Řešitelský kolektiv (abecední pořadí):

Ing. Václav David, Ph.D.
Ing. Tereza Davidová, Ph.D.
Ing. Jiří Šťástka
doc. Ing. Karel Vrána, CSc.

Fotografická dokumentace

Bednění a armatura desky dna

Dokončená betonáž desky dna

Vyzdívání stěn (tvárnice ztraceného bednění)

Pohled na objekt (deska dna a základ bočních zdí)

Bednící tvárnice a armatura stěn

Vyzdívání stěn objektu

Vyzdívání stěn objektu

Pohled na objekt

Betonáž stěn objektu

Výplňový beton stěn objektu

Vibrování výplňového betonu stěn objektu

Pohled na objekt

Celkový pohled na objekt (pravá sekce opatřena hydroizolací a rozpěrami zdí)

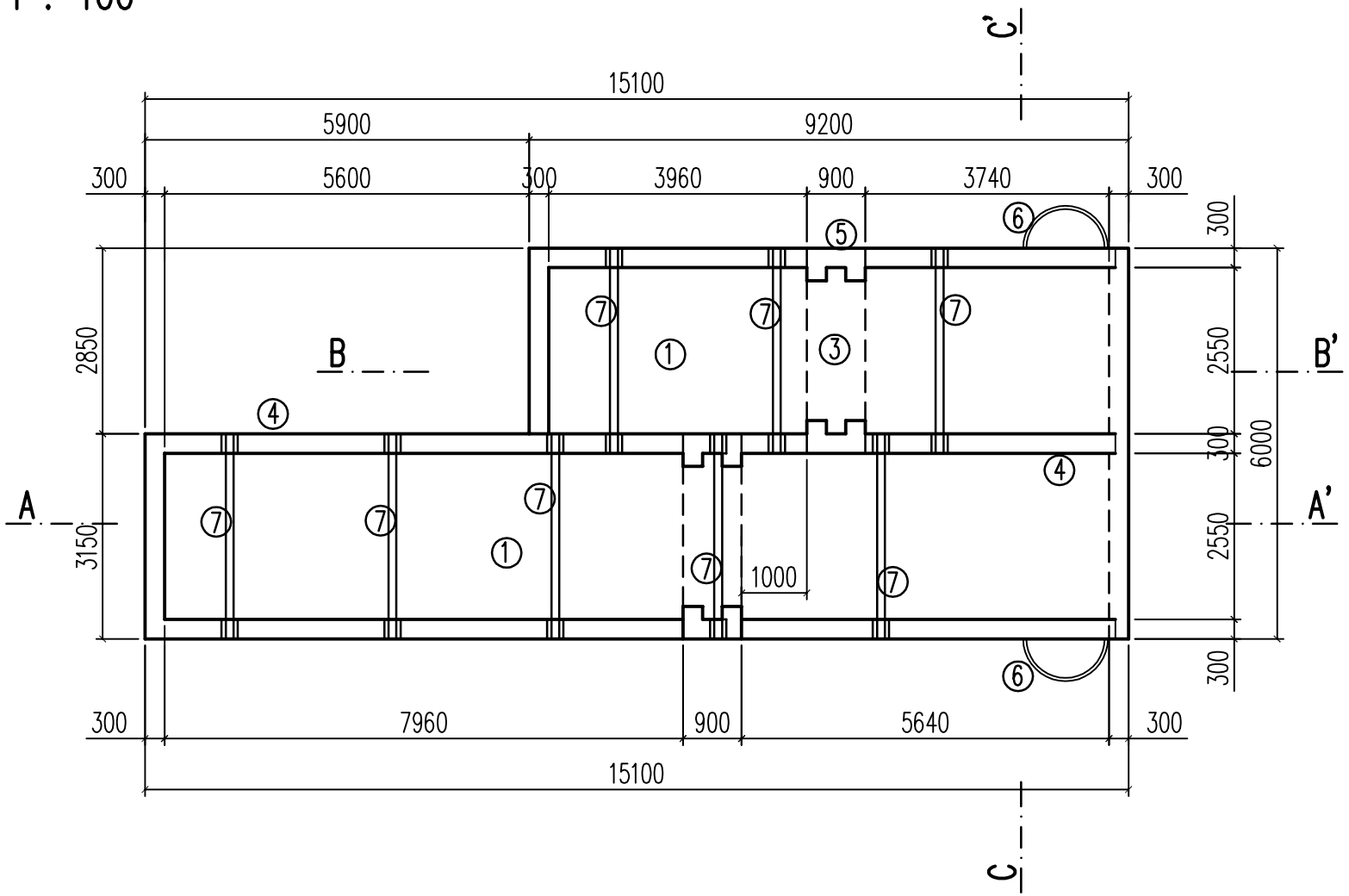
Nainstalované geostatické čidlo

Nasypané těleso hráze

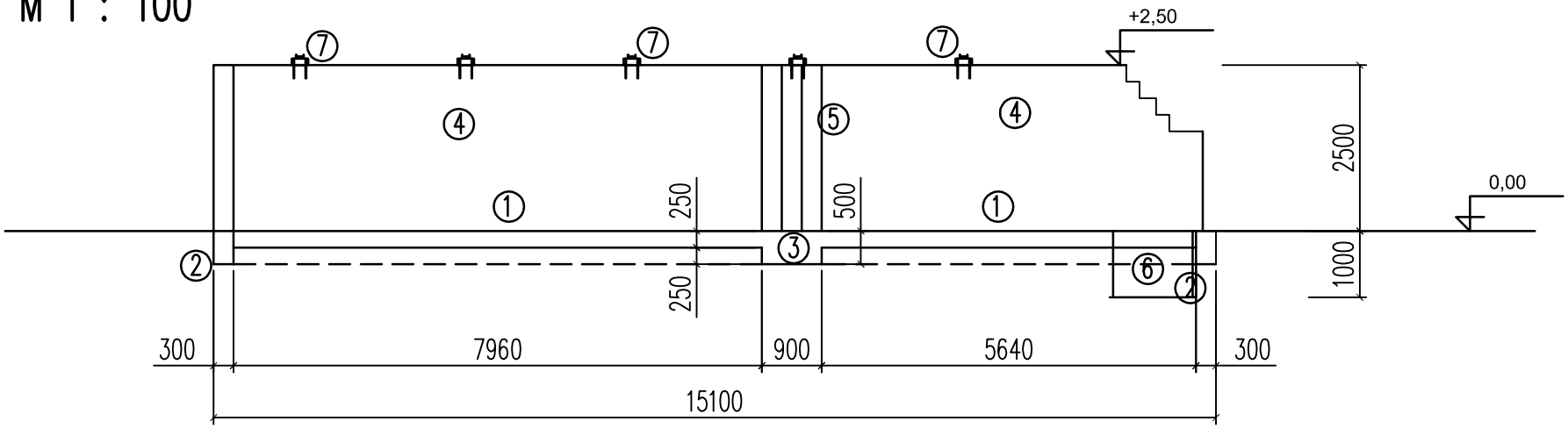
Dokončená hráz s patním drénem

SCHÉMA EXPERIMENTÁLNÍHO OBJEKTU FAKULTY STAVEBNÍ ČVUT

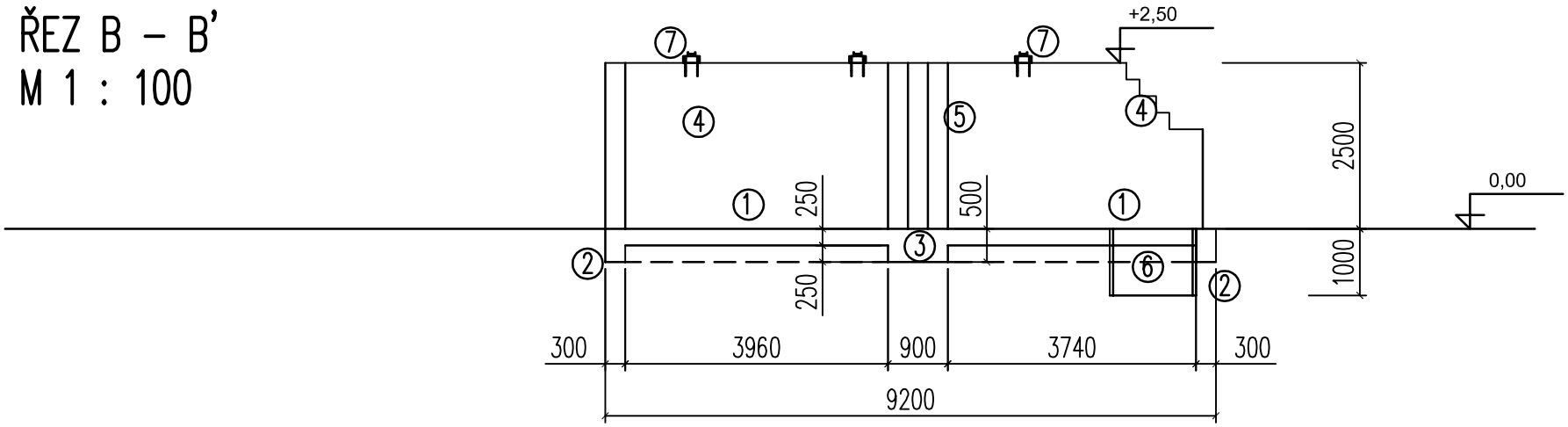
PŮDORYS
M 1 : 100



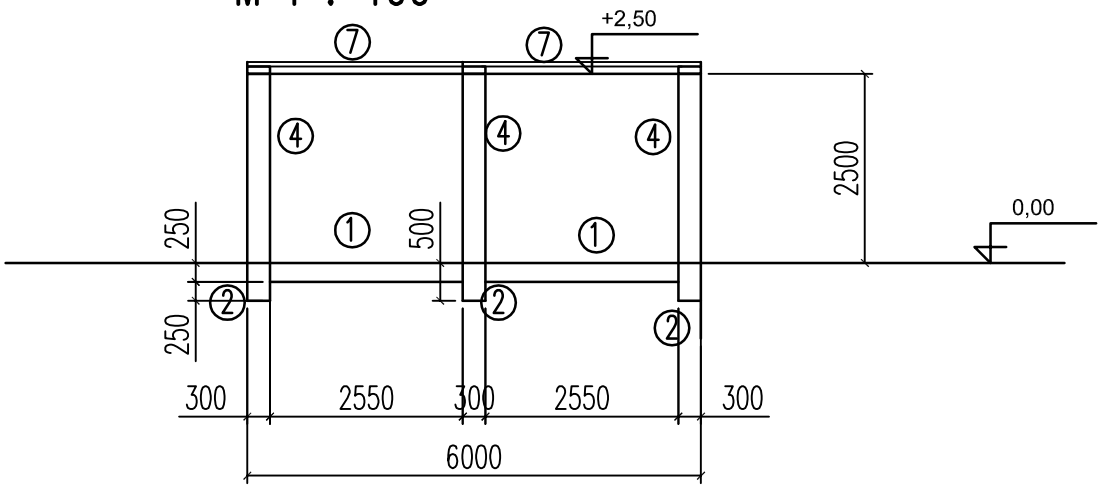
ŘEZ A – A'
M 1 : 100



ŘEZ B – B'
M 1 : 100



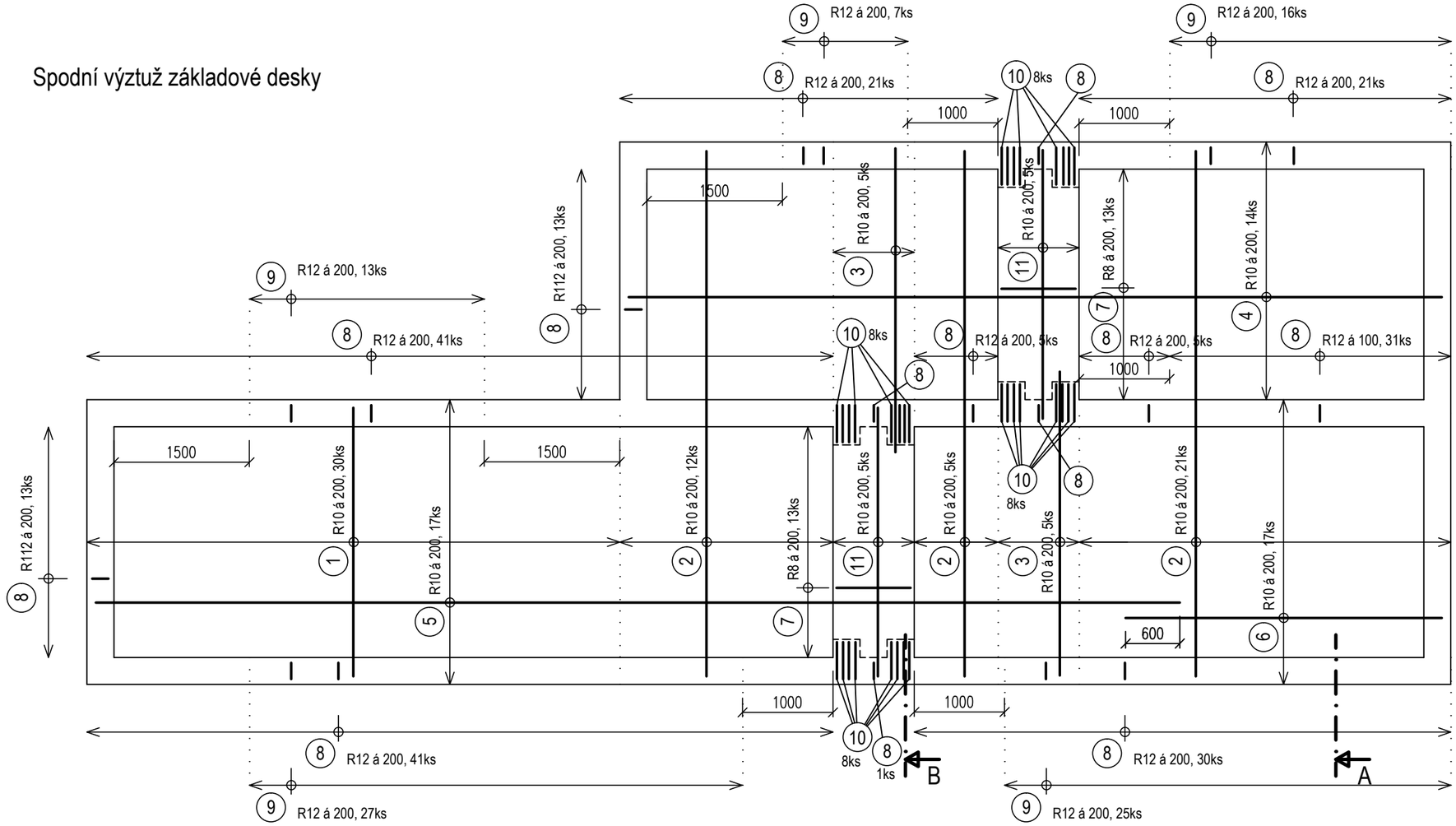
ŘEZ C – C'
M 1 : 100



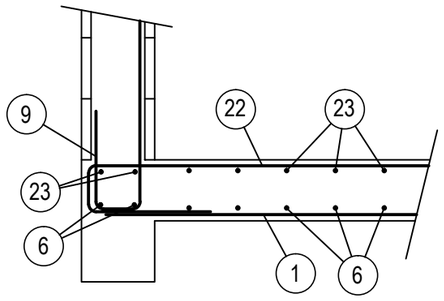
LEGENDA:

1– ZÁKLADOVÁ DESKA BETON C 30/37 XC2, tl. 250 mm
2 – ZÁKLADOVÉ PASY BETON C 30/37 XC2, tl. 250 mm, šířka 300 mm
3 – ZÁKLADOVÉ PASY BETON C 30/37 XC2, tl. 250 mm, šířka 900 mm
4 – ZTRACENÉ BEDNĚNÍ – TB 30 – 500 x 300 x 250 + BETON C30/37 XC2 + STĚRKA
5 – BETON C 30/37 XC2
6 – ŠACHTA – SKRUŽ BETONOVÁ DN 1200, hloubka 1000 mm
7 – ROZEPŘENÍ ZDÍ (I 120 NALEŽATO, PŘIPEVNĚNÍ NA ZÁVITOVÉ TYČE)

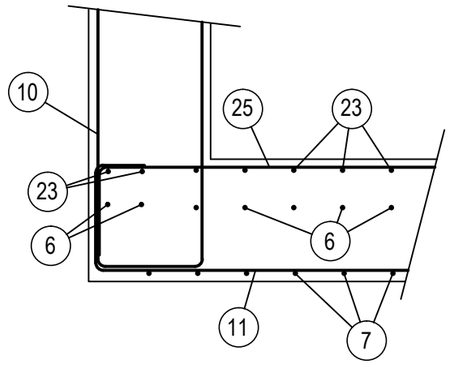
Spodní výztuž základové desky



řez A



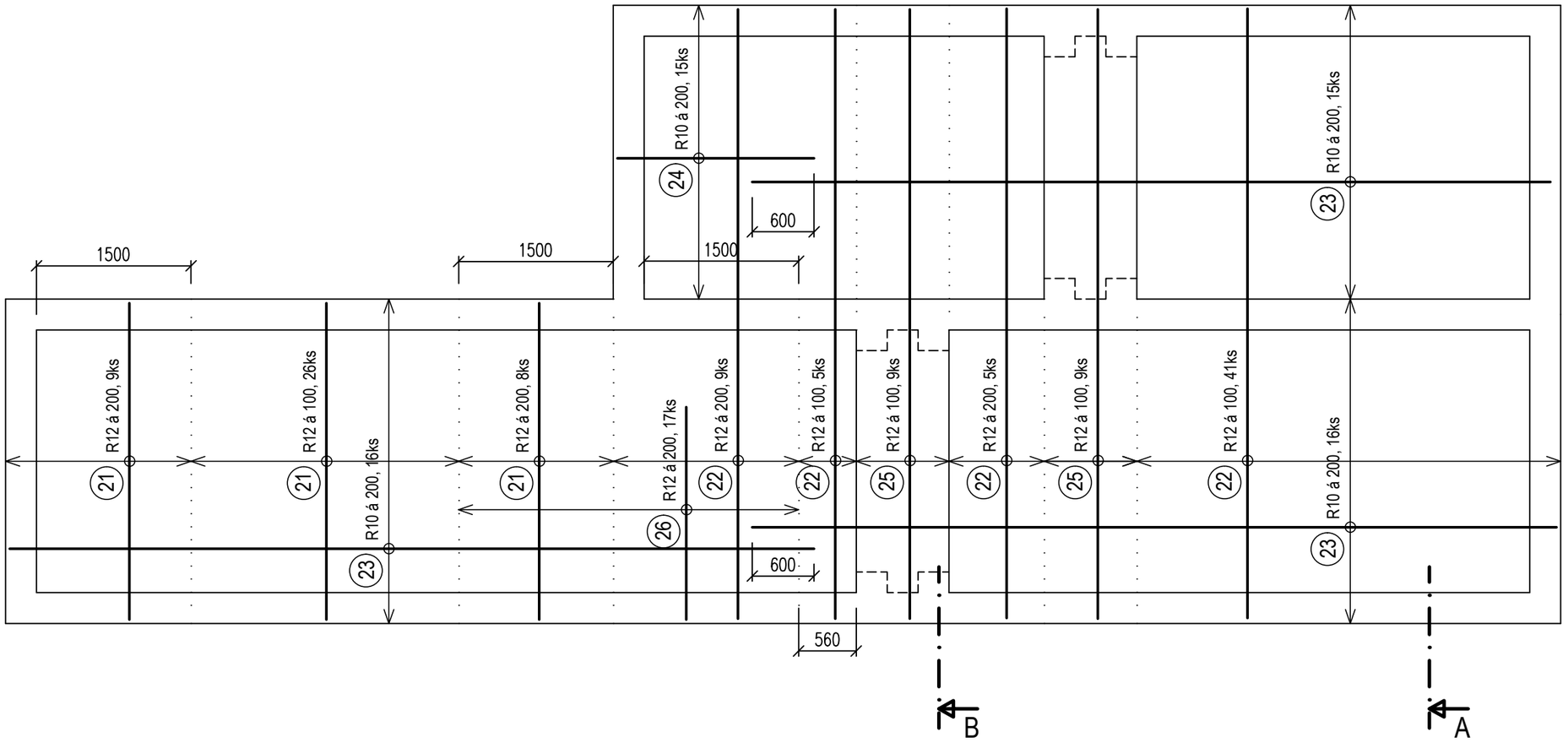
řez B



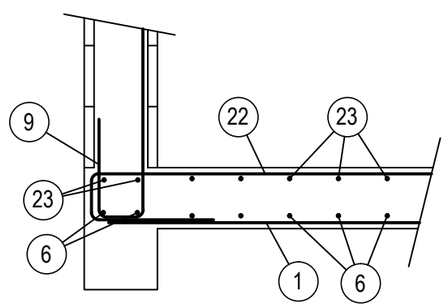
Beton: C30/37 XC2
Ocel: B 500B
Krytí c: 30mm
Položky kótovány na osu

vypracoval	kontroloval	objednatel	měřítko	datum
Ing. Tomáš Fichtner	Ing. Tomáš Fichtner		1:50, 1:25	7/2016
objekt			stupeň	formát
Betonové žlaby Štola Josef			RDS	A3
část			číslo výkresu	revize
Dolní výztuž základové desky			3	

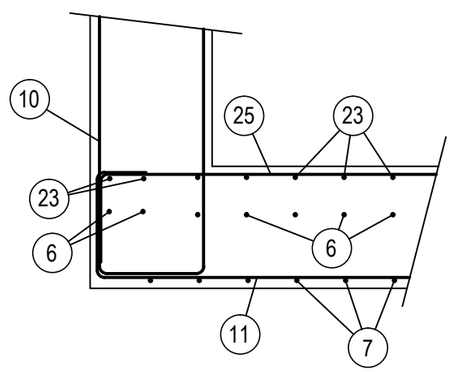
Horní výztuž základadové desky



řez A

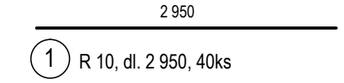


řez B

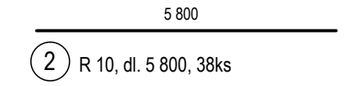


Beton: C30/37 XC2
Ocel: B 500B
Krytí c: 30mm
Položky kótovány na osu

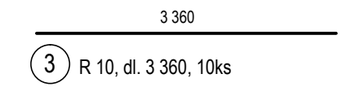
vypracoval	kontroloval	objednatel	měřítko	datum
Ing. Tomáš Fichtner	Ing. Tomáš Fichtner		1:50,1:25	7/2016
objekt			stupeň	formát
Betonové žlaby Štola Josef			RDS	A3
část			číslo výkresu	revize
Horní výztuž základadové desky			4	



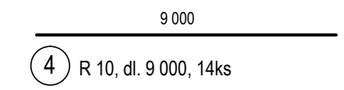
1 R 10, dl. 2 950, 40ks



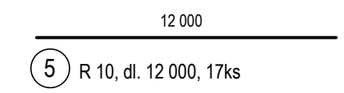
2 R 10, dl. 5 800, 38ks



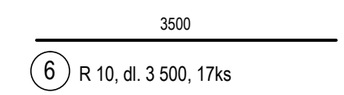
3 R 10, dl. 3 360, 10ks



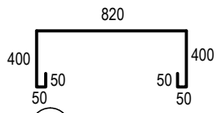
4 R 10, dl. 9 000, 14ks



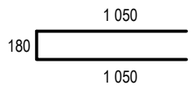
5 R 10, dl. 12 000, 17ks



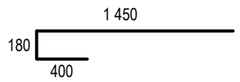
6 R 10, dl. 3 500, 17ks



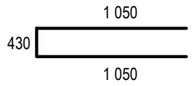
7 R 8, dl. 1 820, 26ks



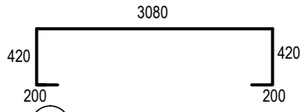
8 R 12, dl. 2 280, 225ks



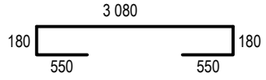
9 R 12, dl. 2 030, 88ks



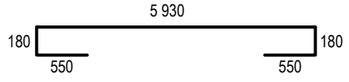
10 R 12, dl. 2 500, 32ks



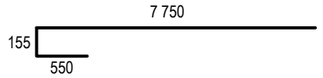
11 R 10, dl. 4 320, 10ks



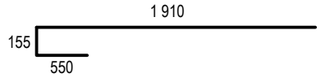
21 R 12, dl. 4 540, 43ks



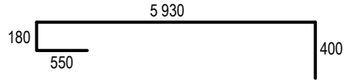
22 R 12, dl. 7 390, 60ks



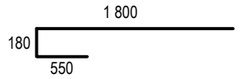
23 R 10, dl. 8 455, 47ks



24 R 10, dl. 2 615, 15ks



25 R 12, dl. 7 060, 18ks



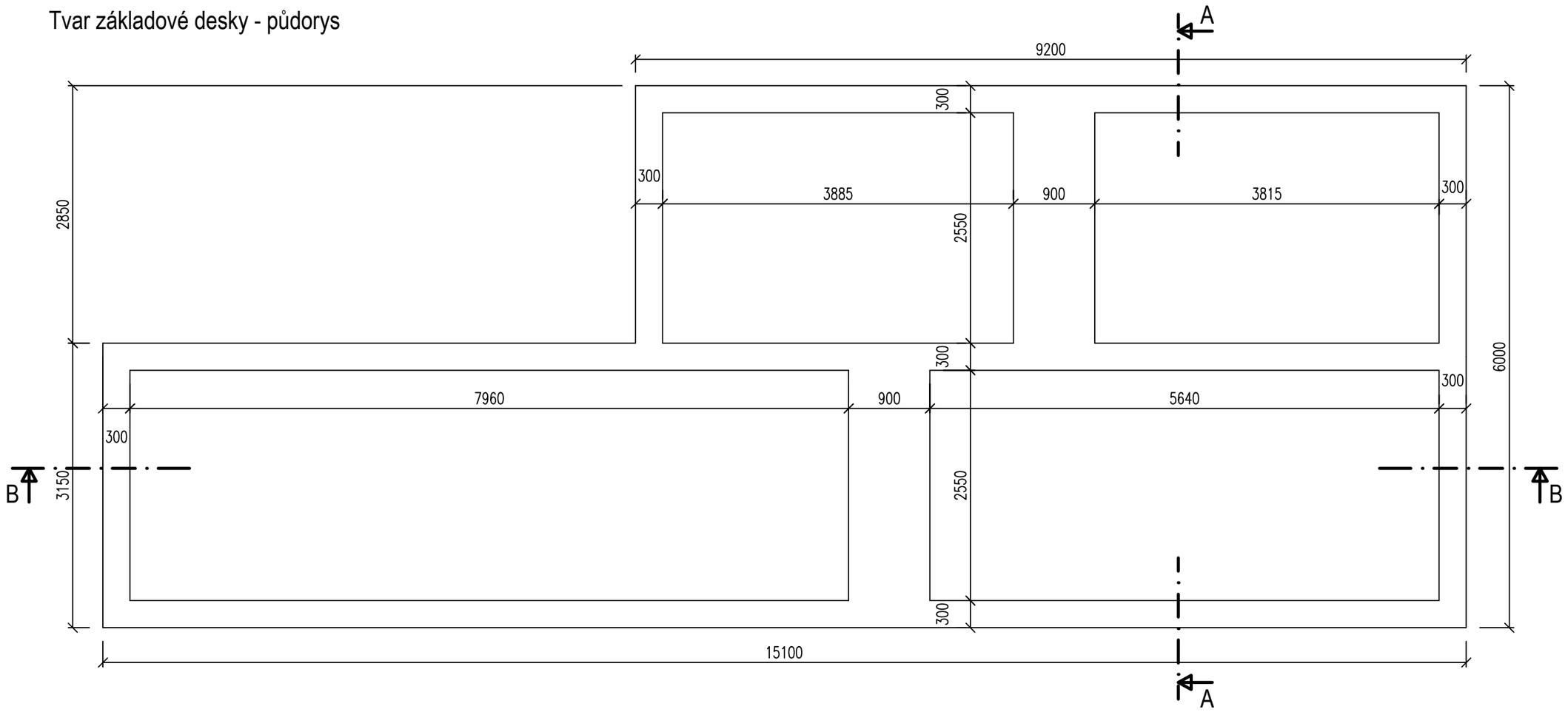
26 R 12, dl. 2 530, 17ks

Pol.	ϕ	dl. mm	ks	8	10	12	14
1	10	2 950	40		118,00		
2	10	5 800	38		220,40		
3	10	3 360	10		33,60		
4	10	9 000	14		126,00		
5	10	12 000	17		204,00		
6	10	3 500	17		59,50		
7	8	1 820	26	47,32			
8	12	2 280	225			513,00	
9	12	2 030	88			178,64	
10	12	2 500	32			80,00	
11	10	4 320	10		43,20		
12							
13							
14							
15							
21	12	4 540	43			195,22	
22	12	7 390	60			443,40	
23	10	8 455	47		397,39		
24	10	2 615	15		39,23		
25	12	7 060	18			127,08	
26	12	2 530	17			43,01	
27							
28							
Celkem délka			m	47,32	1241,31	1580,35	
Hmotnost 1 bm			kg	0,395	0,617	0,888	1,208
Hmotnost celkem			kg	18,69	765,89	1403,35	
Celková hmotnost							**2187,93**

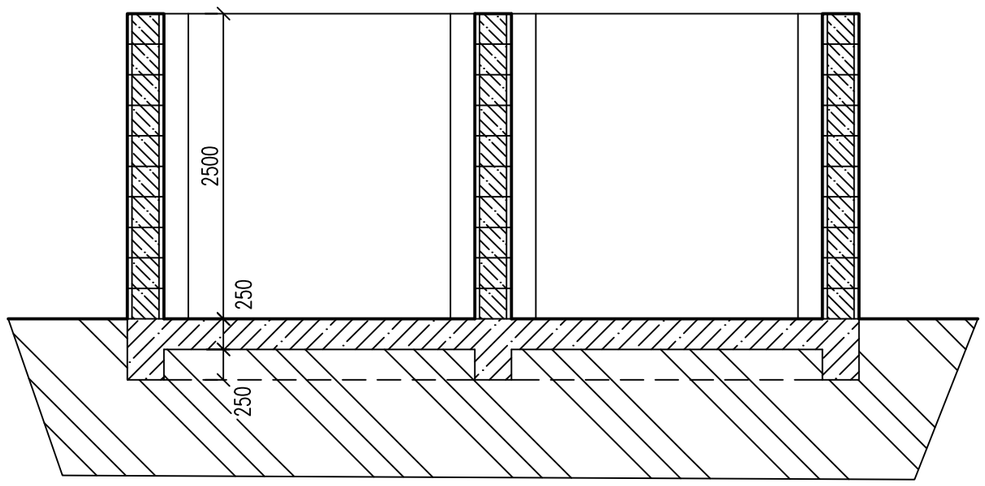
Beton: C30/37 XC2
Ocel: B 500B
Krytí c: 30mm
Položky kótovány na osu

vypracoval	kontroloval	objednatel	měřítko	datum
Ing. Tomáš Fichtner	Ing. Tomáš Fichtner			7/2016
objekt			stupeň	formát
Betonové žlaby Štola Josef			RDS	A3
část			číslo výkresu	revize
Základová deska - výkaz výztuže			5	

Tvar základové desky - půdorys



řez A-A



Beton: C30/37 XC2
Ocel: B 500B
Krytí c: 30 mm

vypracoval	kontroloval	objednatel	měřítko	datum
Ing. Tomáš Fichtner	Ing. Tomáš Fichtner		1:50	7/2016
objekt			stupeň	formát
Betonové žlaby Štola Josef			RDS	A3
část			číslo výkresu	revize
Tvar základové desky, řez A-A			1	0

Posouzení ohýbaného železobetonového prvku

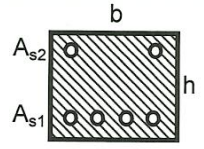
Dle ČSN EN 1992-1-1

Stavba: **Štola Josef - betonové žlaby**
Konstrukce: **Obvodová stěna z bednících tvárnic**

Vstupní parametry

Rozměry průřezu

h=	220	mm
b=	1000	mm



Vnitřní síly

M_{sd}=	59,90	kNm

Výztuž v tažené oblasti - A_{s1}

$D_{s1,1}$=	12	mm
$n_{s1,1}$=	10	ks
$D_{s1,2}$=	0,0	mm
$n_{s1,2}$=	0,0	ks

Výztuž v tlačené oblasti - A_{s2}

D_{s2}=	10	mm
n_{s2}=	5	ks

Krytí nosné výztuže

c=	20	mm

Materiály

třída betonu	C25/30		třída oceli	BST 500
$f_{c,k}$=	25,0	MPa	$f_{y,k}$=	500,0 MPa
$f_{c,d}$=	16,7	MPa	$f_{y,d}$=	434,8 MPa
f_{ctm}=	2,6	MPa		

Moment únosnosti

Plocha nosné výztuže

A_{s1}=	1 130,97	mm^2
A_{s2}=	392,70	mm^2

Únosnost s tlačenou výztuží

x=	0,031	m	
z=	0,182	m	
Δ_z =	2,606	mm	
M_{rd} =	$F_{s2}*z_s+F_c*z$=	**88,5**	kNm

Posouzení únosnosti

Momentová únosnost

M_{rd}=	**88,5**	>	**59,9**	=M_{sd} [kNm]

Vyhovuje

Posouzení výšky tlačené oblasti

ξ=	x/d=	**0,16**	<	**0,45**	=ξ_{max}
		0,16	<	**0,62**	=$\xi_{bal,1}$

Vyhovuje

Posouzení stupně vyztužení

A_s=	**1131**	>	**262**	=$A_{s,min}$

Vyhovuje

$A_s/b*h$=	**0,005**	<	**0,040**	=ρ_{max}

Vyhovuje

Závěr

Průřez vyhovuje

Vypracoval:

Dne: 01.08.2016

Výpočet zatížení a ohybových momentů

Dle ČSN EN 1991-1-1

Stavba: **Štola Josef - betonové žlaby**
Konstrukce: **stěna tl. 300mm z bednících tvárnic**

Stěna výšky 2,5m je jednostranně zatížená zemním tlakem od hutněného násypu.
Vliv hutnění je uvažován zvýšeným součinitelem bočního tlaku zeminy K_a= 1,0.
Objemová tíha zeminy použité pro násyp je uvažována 23kN/m^3
Z důvodu použití bednících tvárnic bude při návrhu výztuže uvažována tl. stěny 220mm.

Výpočet ohybového momentu:

Náhradní břemeno:

Q= K_a*h*γ*h/2= 1,0*2,5*23*2,5/2= **71,9** kN

Ohybový moment v patě stěny:

M= Q*h/3= 71,88*2,5/3= **59,9** kNm/m

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
Veveří 331/95
602 00 Brno
Česká republika

TECHNICKÁ ZPRÁVA KE KONTROLNÍMU STATICKÉMU VÝPOČTU

PRO EXPERIMENTÁLNÍ OBJEKT PRO TESTOVÁNÍ HRÁZÍ

Objednatel: **Ing. Václav David, Ph.D., ČVUT v Praze**

Jako odpovědný řešitel projektu: **DG16P02M036**

Program: **NAKI II (Ministerstvo kultury ČR)**

Brno, říjen 2017

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
autorizovaný inženýr

Ing. Michal Požár, Ph.D.
vypracoval

Obsah:

Technická zpráva ke kontrolnímu statickému výpočtu **str. 2-4**

Příloha č. 1: Kontrolní statický výpočet

Popis konstrukce

Posuzovaná konstrukce - funkční vzorek je tvořen dvěma paralelními vanami, ohraničenými ze tří stran. Obě vany mají stejnou šířku, liší se délkou – jedna vana má délku 14,8 m, druhá 8,9 m. Na zpevněnou plochu dna navazuje manipulační prostor délky 2,2 m, takže celková délka objektu je 17,0 m.

Dno je tvořeno betonovou armovanou deskou tloušťky 200 mm (beton C25/30 XC2). Základová deska je armována na zatížení zeminou hrází a zatížením vody nad hrází.

Obvodové stěny o tloušťce 300 mm jsou postaveny z tvárnic TB 30 – 500 x 300 x 250 (ztracené bednění). Pro statický výpočet není únosnost ztraceného bednění uvažována, a tedy tl. zdi pro výpočet je 220 mm.

Do dutin tvárnic je vložena svislá výztuž Ø12/100 mm, provázaná s armaturou základové desky a prostor je vyplněn betonem. Vodorovná výztuž je v každé ložné spáře – 2 ks Ø12 mm. Výška stěn je 2 500 mm nad úrovní povrchu základové desky. Pro zajištění stability obvodových zdí je v místech zdí pod základovou deskou základový pas výšky 250 mm a šířky 300 mm.

Zajištění podélných obvodových zdí před tlakem zeminy hráze a vody nad hrází je provedeno rozpěrami z profilů I 120 (naležato). Rozpěry jsou přivařeny na ocelové podložky, které jsou navlečeny na dvě závitové tyče Ø20 mm a upevněny matkami s podložkami.

Posuzované části konstrukce

Na základě statické analýzy jsou ve statickém posudku posuzované konstrukce podle rozhodujícího namáhání:

a) železobetonová stěna ve svislém směru (namáhaní na ohybový moment a posouvající sílu) – největší namáhaní v místě vetknutí, tj. v patě stěny od největší kombinace zatížení, tj. od zatížení zeminou po hlavu stěny.

b) železobetonová stěna ve vodorovném směru (namáhaní na ohybový moment) – posuzovaná část je nejvyšší 1m část všech stěn. Vybrané pro posudek je místo s největším ohybovým momentem vyvozeným zatížením zeminou.

c) ocelový nosník IPE200 (namáhaní normálovou silou od zatížení zeminou).

d) šroubový spoj (střih a otlačení spoje vyvozené zatížením zeminou).

Materiály

Materiály převzaté z podkladů dodaných pro statický výpočet:

Beton C25/30 – XC2 – $D_{max}16$

Výztuž B500B

Ocel S235

Závitová tyč a matice M20, 4.8

Způsob výpočtu

a) železobetonová stěna ve svislém směru (namáhaní na ohybový moment a posouvající sílu)

Obvodová stěna je pro posudek ve svislém směru uvažována jako konzola vetknutá do základového pásu/desky a zatížená ve vodorovném směru trojúhelníkovým zatížením. Výpočet je proveden na jeden běžný metr délky zdi. Výška zdi je 2,5 m. V rámci zjednodušení je zanedbána funkce ocelových nosníků (je to extrémní případ, kdy by nebyly instalovány).

b) železobetonová stěna ve vodorovném směru (namáhaní na ohybový moment)

Pro posudek obvodové stěny ve vodorovném směru byl vytvořen prostorový model MKP celé konstrukce jako skořepina. Zatížení působilo v řezu trojúhelníkové na obvodovou stěnu od vody, nebo od zeminy.

Průběh ohybového momentu ve vodorovném směru je integrován po výšce 1 od hlavy stěny. Vypočtená velikost ohybového momentu byla pak posouzena s navrženou výztuži.

c+d) ocelový nosník IPE200 (namáhaní normálovou silou), šroubový spoj (střih a otlačení spoje)

Pro výpočet vnitřních sil pro ocelový nosník a šroubové spoje byl vytvořen model rámu s vetknutím v patě sloupu (stěny) a kloubem v hlavě sloupu (stěny) o délce 1 běžný metr. Byla vypočtená vodorovná síla v hlavě stěny na celou její šířku a dále pak byla hodnota podělená počtem ocelových nosníků příslušné stěny. Zatížení bylo uvažováno obdobně jako u konzoly pro posudek ve svislém směru.

Zatížení na konstrukci

Konstrukce spadá do kategorie třídy následků CC1 – malé následky s ohledem na ztráty lidských životů nebo malé/zanedbatelné následky ekonomické, sociální nebo pro prostředí. Faktor K_F násobící hodnotu zatížení lze uvažovat hodnotou 0,9. Pro výpočet byl uvažován 1,0.

I když je konstrukce osazená v exteriéru, není zvažováno zatížení větrem a sněhem. Pro analýzu je uvažováno pouze zatížení:

a) od vody – hydrostatický tlak (γ_w = 1,35; objemová tíha 10 kN/m^3),

b) od zeminy – zemní tlak v klidu (γ_m = 1,3; objemová tíha 23 kN/m^3).

V obou případech do výšky 2,5 m.

Vnitřní síly od zatížení

Na základě analýzy byly vytvořené kombinace stavů s extrémní výslednou hodnotou vnitřních sil od zatížení. Pro výpočet návrhových hodnot zatížení je použita kombinační rovnice 6.10.

Výsledné největší vnitřní síly pro posuzované prvky jsou:

a) železobetonová stěna ve svislém směru (namáhaní na ohybový moment a posouvající sílu)

Maximální vnitřní síly v patě stěny ve svislém směru, pro posudek železobetonové stěny

V_{Ed} = 93,44 kN

M_{Ed} = 77,86 kNm

b) železobetonová stěna ve vodorovném směru (namáhaní na ohybový moment)

Maximální velikost ohybového momentu ve vodorovném směru v hlavě stěny na šířce 1m

M_{Ed} = 19,32 kNm

c+d) ocelový nosník IPE200 (namáhaní normálovou silou), šroubový spoj (střih a otlačení spoje)

Maximální velikost normálové síly v ocelovém nosníku a síla pro posudek šroubového spoje

N_{Ed} = 71,04 kN

Posouzení prvků

Prvky jsou posouzené dle platné normy ČSN EN 1992-1-1 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.

Níže jsou uvedené hodnoty vnitřních sil od zatížení (X_{Ed}) a hodnoty únosnosti (X_{Rd}) prvků včetně procentuálního využití.

a) železobetonová stěna ve svislém směru (namáhaní na ohybový moment a posouvající sílu)

Navržená výztuž Ø12/100 mm, b=1,0 m, h=0,22 m, C25/30, c=20 mm, B500

Posudek pro namáhání posouvající sílou:

$V_{Rd,c}$ = 113,7 kN

V_{Ed} = 93,4 kN **využití 82,2%**

Posudek pro namáhání ohybovým momentem:
M_{Rd} = 88,1 kNm
M_{Ed} = 77,9 kNm **využití 88,3%**

b) železobetonová stěna ve vodorovném směru (namáhaní na ohybový moment)
Navržená výztuž 2Ø12/250 mm, b=1,0 m, h=0,22 m, C25/30, c=30 mm, B500
Posudek pro namáhání ohybovým momentem:
M_{Rd} = 35,0 kNm
M_{Ed} = 19,32 kNm **využití 55,2%**

c) ocelový nosník IPE200 (namáhaní normálovou silou)
Namáhaní na tah/tlak

využití 26%

d) šroubový spoj (střih a otlačení spoje)

Únosnost ve střihu pro jednu střihovou rovinu:
využití 72%
Únosnost v otlačení:
využití 19%

Závěr:
Statickým výpočtem byla prokázaná odolnost celé konstrukce na požadované zatížení v souladu s platnými ČSN EN.

(konec technické zprávy ke kontrolnímu statickému výpočtu)

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
Veveří 331/95
602 00 Brno
Česká republika

Příloha č. 1 - KONTROLNÍ STATICKÝ VÝPOČET

PRO EXPERIMENTÁLNÍ OBJEKT PRO TESTOVÁNÍ HRÁZÍ

Objednatel: **Ing. Václav David, Ph.D., ČVUT v Praze**

Jako odpovědný řešitel projektu: **DG16P02M036**

Program: **NAKI II (Ministerstvo kultury ČR)**

Brno, říjen 2017

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
autorizovaný inženýr

Ing. Michal Požár, Ph.D.
vypracoval

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ
Veveří 331/95
602 00 Brno
Česká republika

Příloha č. 1 - KONTROLNÍ STATICKÝ VÝPOČET

PRO EXPERIMENTÁLNÍ OBJEKT PRO TESTOVÁNÍ HRÁZÍ

Objednatel: **Ing. Václav David, Ph.D., ČVUT v Praze**

Jako odpovědný řešitel projektu: **DG16P02M036**

Program: **NAKI II (Ministerstvo kultury ČR)**

Brno, říjen 2017

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc.
autorizovaný inženýr

Ing. Michal Požár, Ph.D.
vypracoval

P1 - KONTROLNÍ STATICKÝ VÝPOČET

pro experimentální objekt pro testování hrází

Zatížení na konstrukci

a) Zatížení hydrostatickým tlakem

Výška: h = 2,5 m

Koeficient zatížení: $\gamma_w = 1,35$

Maximální hodnota hydrostatického tlaku: $w_k = h*\rho*g = 2,5*1000*10 = 25000\ N/m^2 = 25\ kN/m^2$

Výslednice síly: $W_k = 1/2*h*w_k = ½*2,5*25 = 31,25$ kN

Rameno výslednice: $z = 1/3*h = 1/3*2,5 = 0,8333$ m

Návrhový ohybový moment v patě stěny od hydrostatického tlaku:

$\mathbf{M_{Ed,w}} = W_k*z*\gamma_w = 31,25*0,8333*1,35 =$ **35,15625 kNm**

Návrhová posouvající síla: $\mathbf{V_{Ed,w}} = W_k*\gamma_w = 31,25*1,35 =$ **42,1875 kN**

b) Zatížení zhutněnou zeminou – zemní tlak v klidu

Koeficient zemního tlaku v klidu $K_0 = 1,0$

Objemová tíha použité zeminy pro násyp 23 kN/m^3

Výška: h = 2,5 m

Maximální hodnota tlaku od zeminy: $f_k = 2,5*23 = 57,5\ kN/m^2$

Koeficient zatížení: $\gamma_M = 1,35$

Výslednice síly: $F_{k,2} = 1/2*h*g_k*h = ½*2,5*23*2,5 = 71,875$ kN

Rameno výslednice: $z = 1/3*h = 1/3*2,5 = 0,8333$ m

Návrhový ohybový moment v patě stěny od zemního tlaku v klidu:

$\mathbf{M_{Ed,2}} = F_k*z*\gamma_w = 71,875*0,8333*1,3 =$ **77,86 kNm**

Návrhová posouvající síla: $\mathbf{V_{Ed,2}} = F_k*\gamma_w = 71,875*1,3 =$ **93,44 kN**

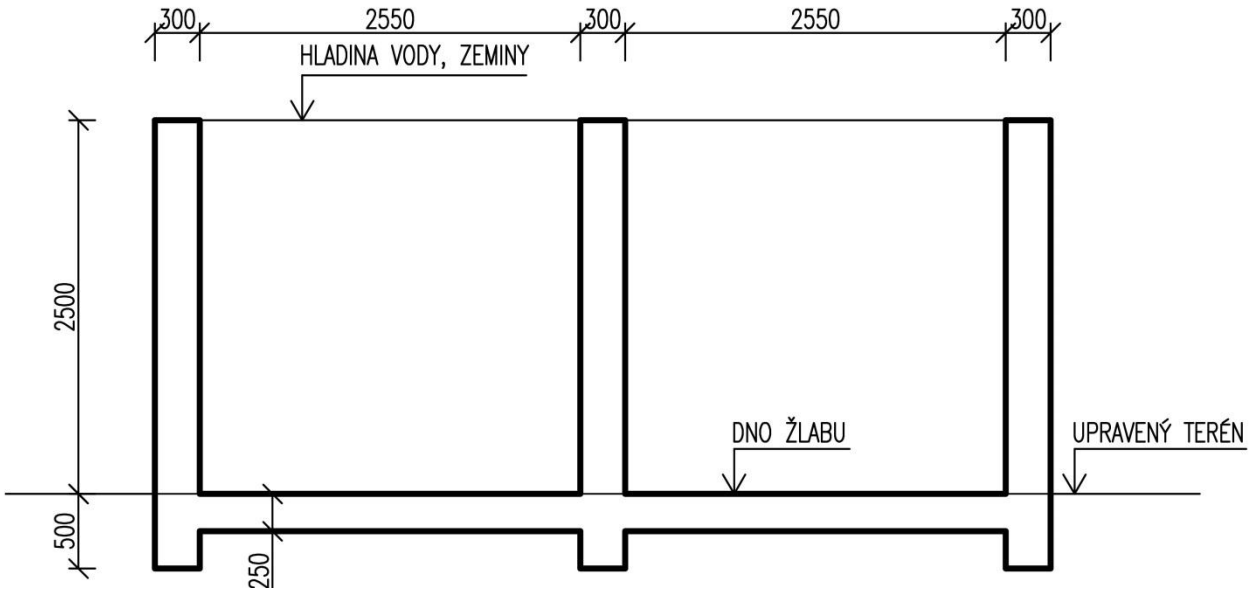
Hodnoty zatížení do posudku zdi:

(bez funkčních ocelových nosníků)

$\mathbf{V_{Ed}} =$ **93,44 kN**

$\mathbf{M_{Ed}} =$ **77,86 kNm**

Příčný řez žlabem:



Posouzení obdélnikového průřezu namáhaného posouvající silou (V)

Popis: pata stěny zatížená zemním tlakem v klidu

Průřez

b	1.000	m
h	0.220	m
A_c	0.22000	m^2

Výztuž **B500**

f_{yk}	500	MPa
f_{yd}	434.78	MPa

Beton **C25/30**

f_{ck}	25	MPa
f_{cd}	16.67	MPa
f_{ctm}	2.60	MPa

Účinná výztuž na ohyb

	1. vrstva	2. vrstva	celkem	
c	20	0	-	mm
profil	12	0	-	mm
kusů	10	0	10	ks
A_{st}	0.001131	0.000000	0.001131	m^2
d_1	0.026	0.000	0.026	m
d	0.194	0.220	0.194	m

Únosnost bez smykové výztuže

$C_{Rd,c}$	0.12	[-]
k	2.0000	[-]
ρ_l	0.0058	[-]
v_{min}	0.4950	[-]
$V_{Rd,c}$	**113.7**	**kN**
V_{Ed}	**93.4**	**kN**

82.2%

VYHOVUJE BEZ SMYKOVÉ VÝZTUŽE

Posouzení obdélnikového průřezu namáhaného ohybovým momentem (M)

Popis: pata stěny zatížená zemním tlakem v klidu

Průřez

b	1.000	m
h	0.220	m
A_c	0.22000	m^2

Typ konstrukce:

Stěna

Beton C25/30

f_{ck}	25	MPa
f_{cd}	16.67	MPa
f_{ctm}	2.60	MPa
ε_{cu3}	0.0035	[-]

Výztuž B500

f_{yk}	500	MPa
f_{yd}	434.78	MPa
ε_{yd}	0.002174	[-]

Návrh výztuže

	1. vrstva	~~2. vrstva~~	celkem	
c	20	~~0~~	-	mm
profil	12	~~0~~	-	mm
kusů	10	~~0~~	10	ks
A_{st}	0.001131	~~0.000000~~	0.001131	m^2
d_1	0.026	~~0.000~~	0.026	m
d	0.194	~~0.000~~	0.194	m
$s_{(orientační)}$	0.100	~~0.000~~		

Ověření přetvoření výztuže

x	0.0369	m	
$\varepsilon_{s,nižší}$	0.0149113	[-]	OK
~~$\varepsilon_{s,vyšší}$~~	~~0~~	~~[-]~~	~~nic~~

Konstrukční zásady

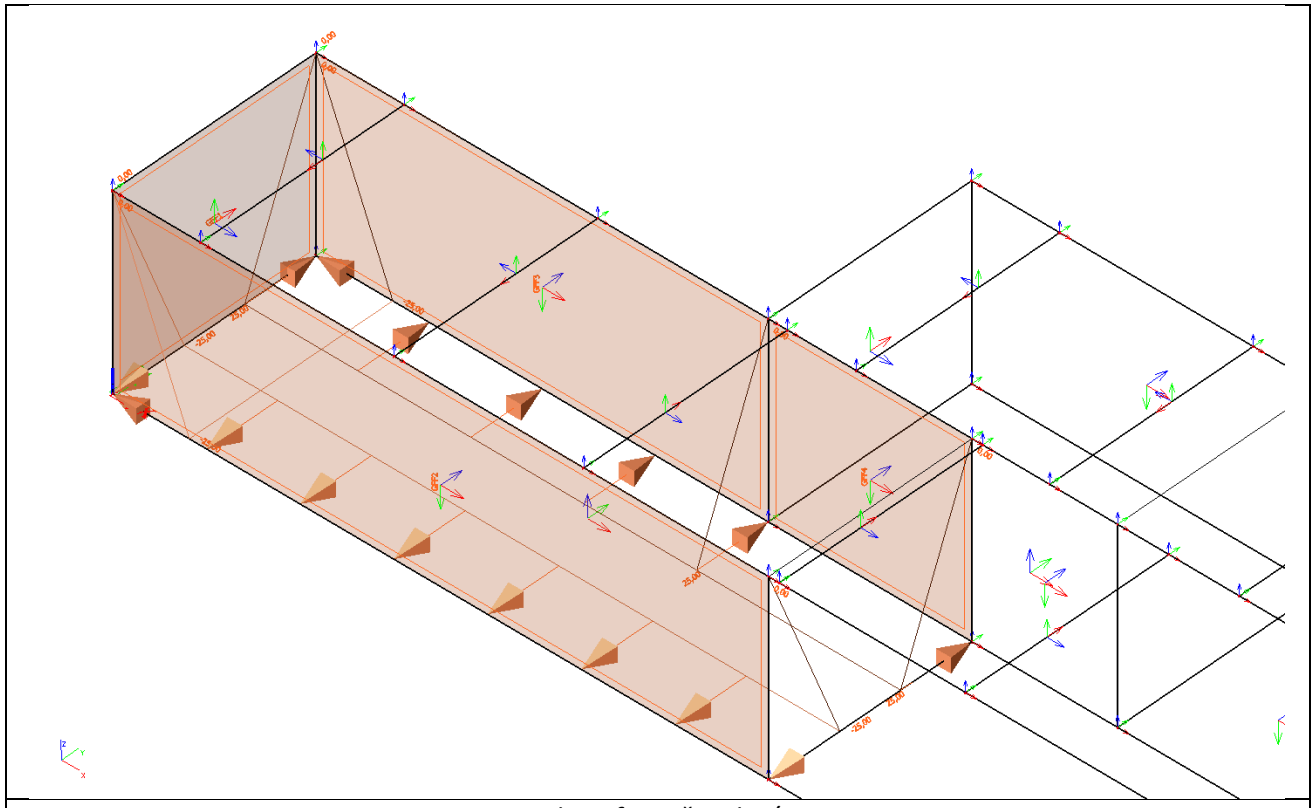
$A_{s,min}$	0.000262	m^2	OK
$A_{s,max}$	0.008800	m^2	OK
s_n	21	mm	OK
s_{max}	300	mm	OK

Posouzení výztuže

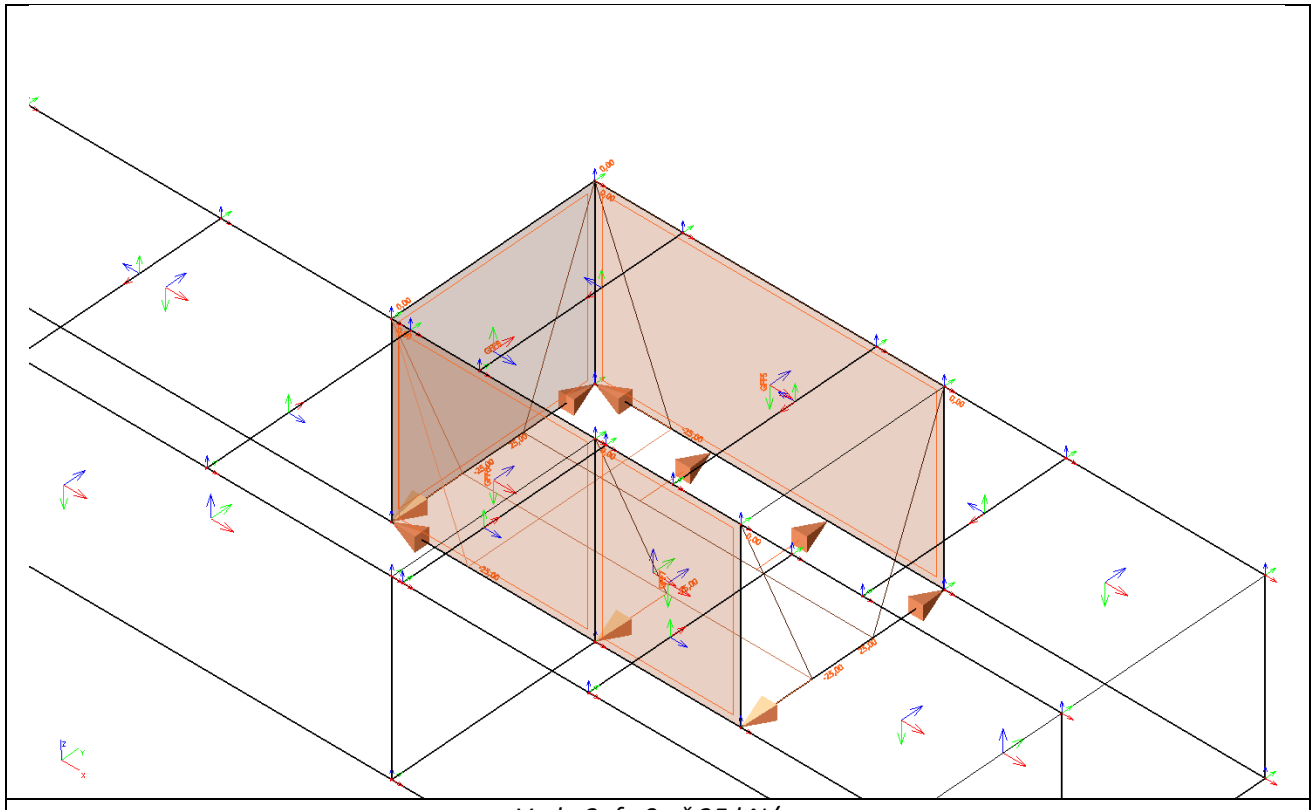
a_c	0.0148	m		
z_c	0.0952	m		
z_s	0.0840	m		
F_c	491.73	kN		
F_s	491.73	kN		
M_{Rd}	**88.1**	**kNm**	88.3%	
M_{Ed}	**77.9**	**kNm**	OK	(posouzení výztuže na ohybový moment)

Vodorovný směr

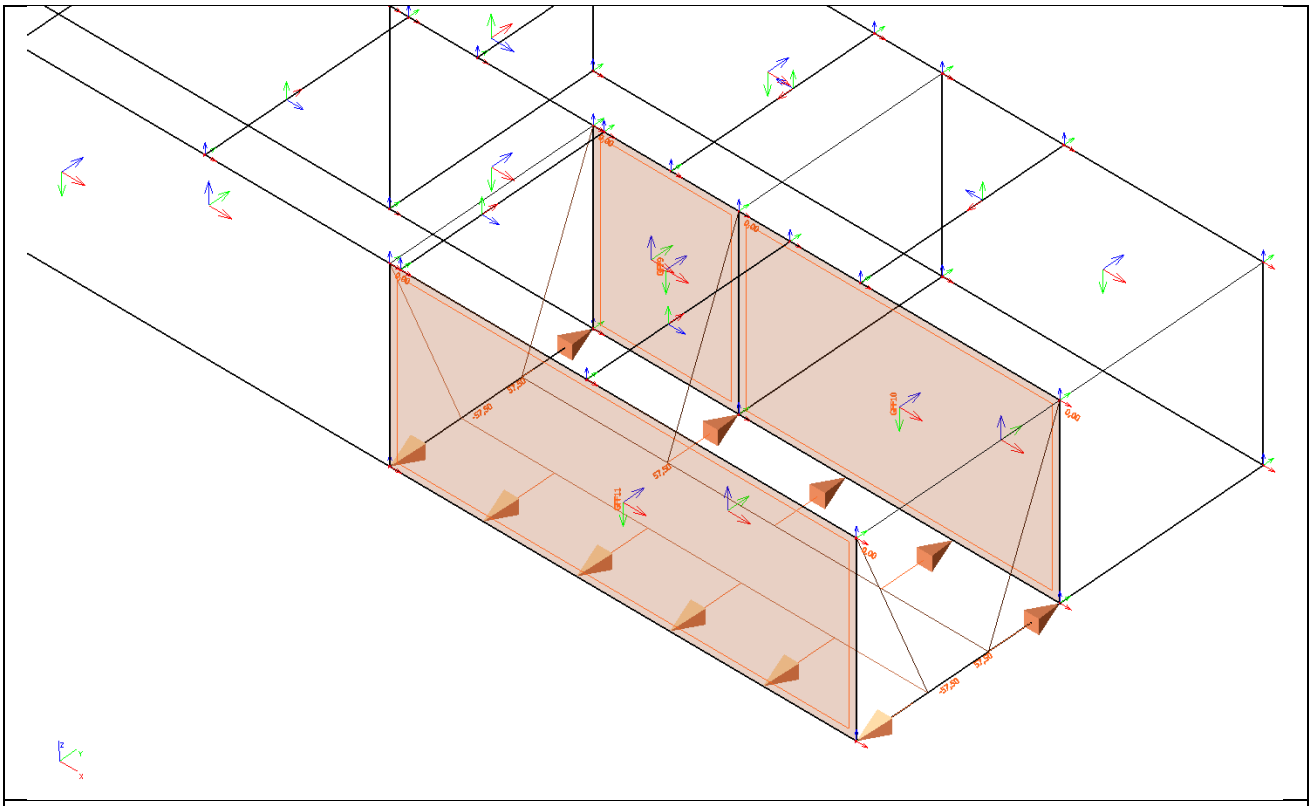
Zatížení v modelu:



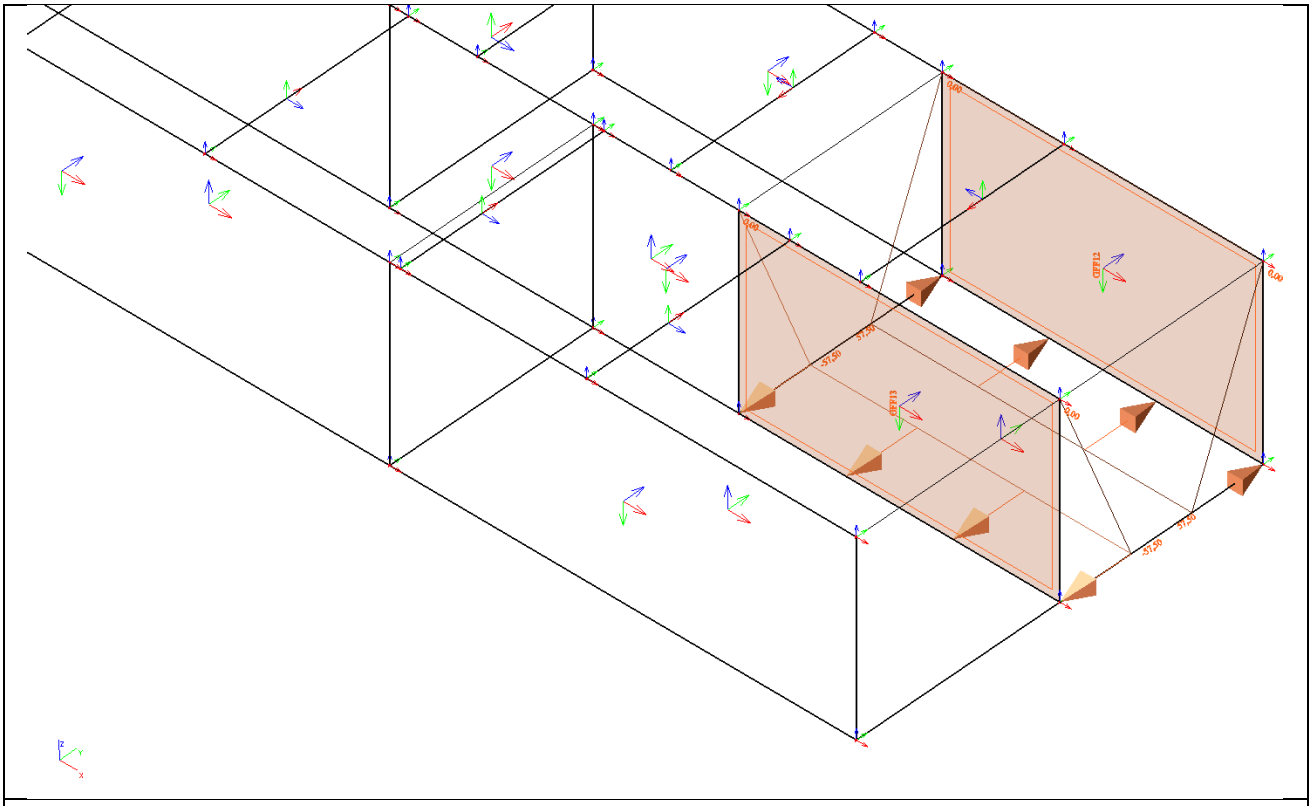
Voda 1, f= 0 až 25 kN/m



Voda 2, f= 0 až 25 kN/m

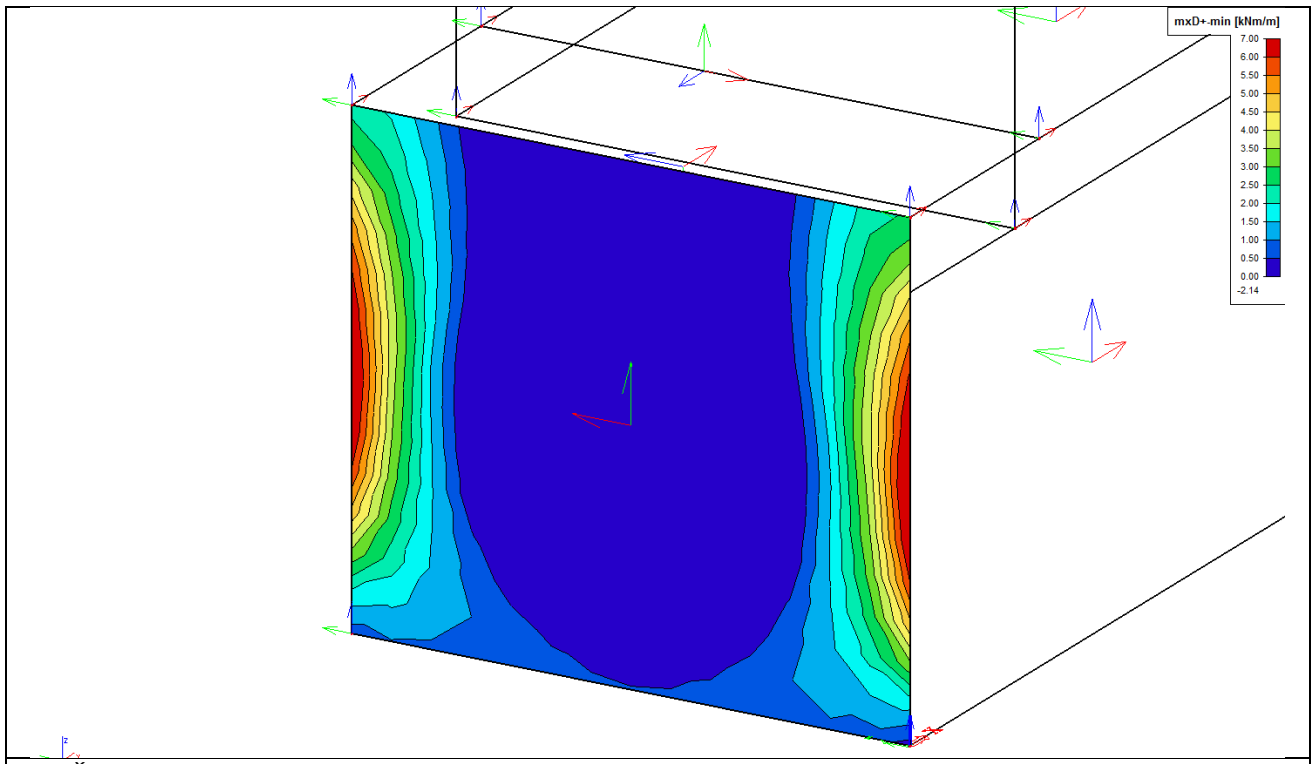


Zemina 1, f= 0 až 57,5 kN/m

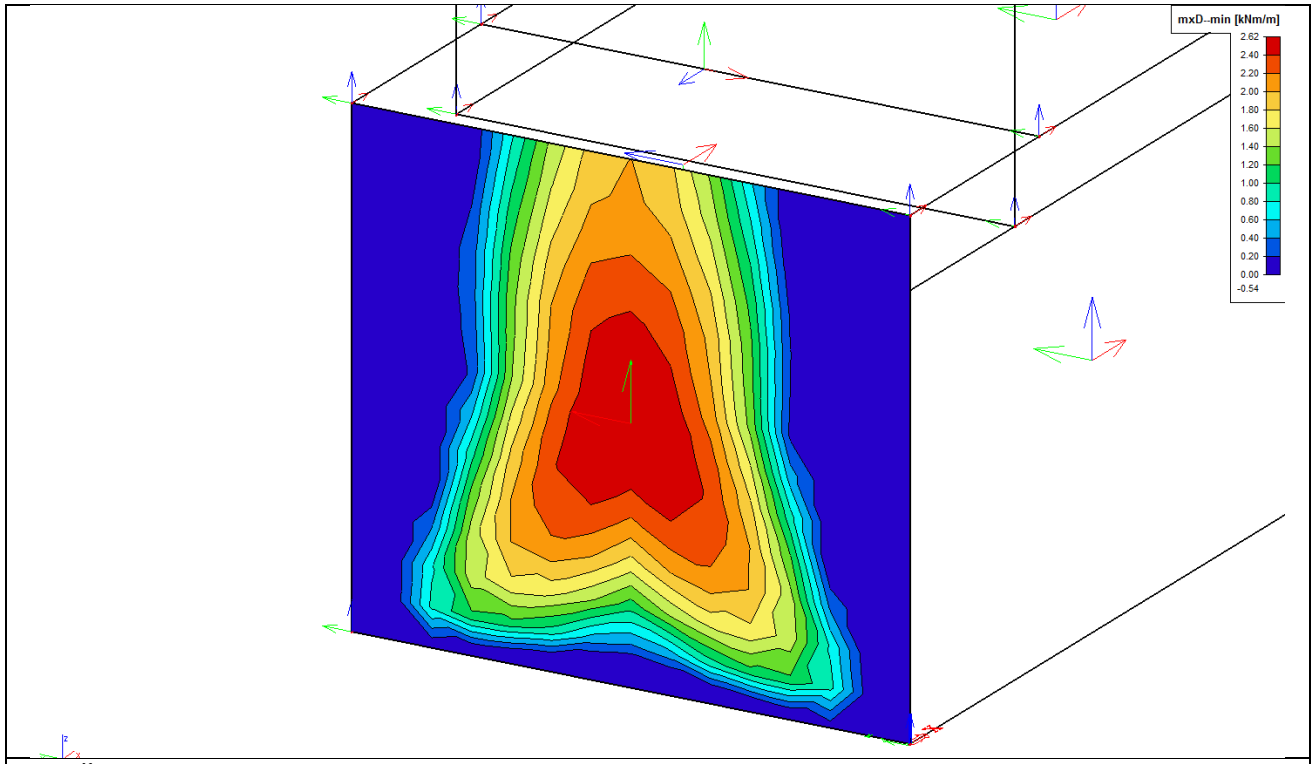


Zemina 2, f= 0 až 57,5 kN/m

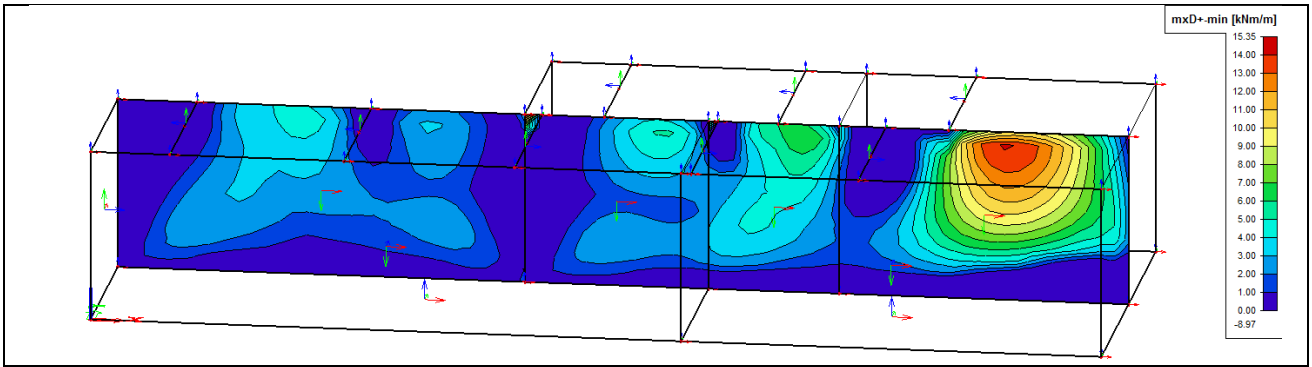
Výsledky vnitřních sil – ohybové momenty:



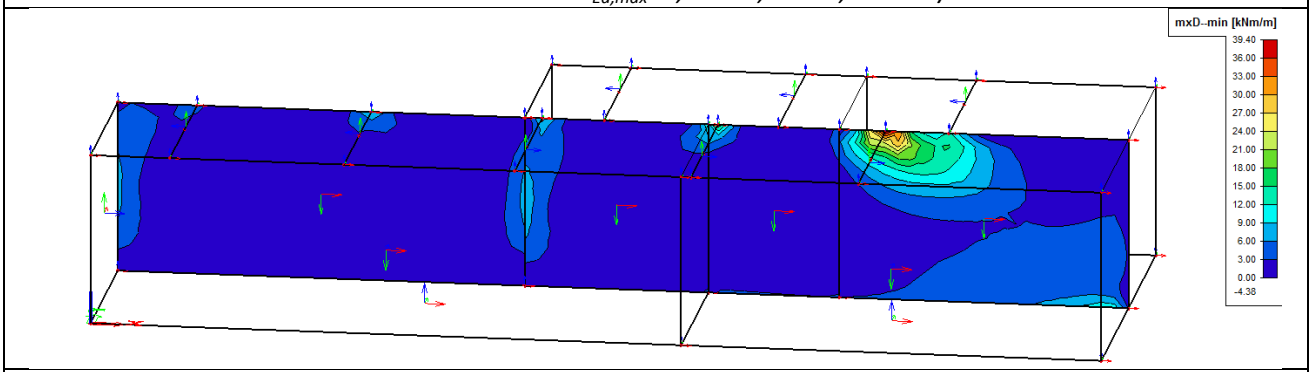
Čelo nádrže - základní návrhové ohybové momenty mxD+ (vodorovné), vnitřní strana zdi, zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*7,00=9,45 kNm/m*



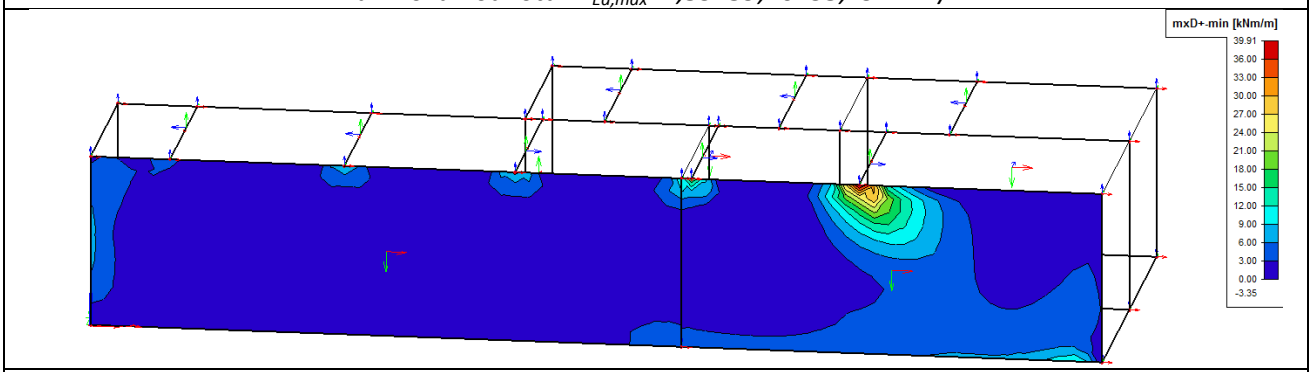
Čelo nádrže - základní návrhové ohybové momenty mxD- (vodorovné), vnější strana zdi, zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*2,42=3,27 kNm/m*



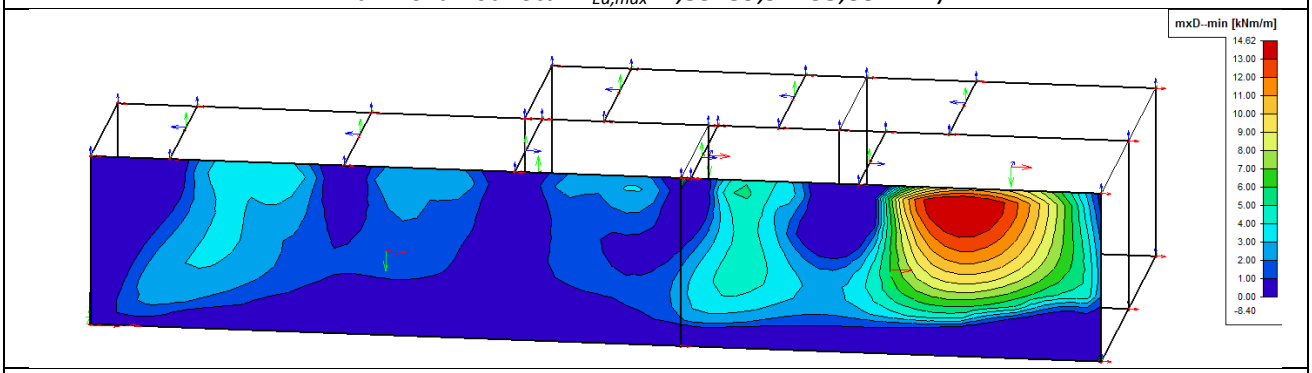
Bok nádrže – vnitřní zeď - základní návrhové ohybové momenty mxD+ (vodorovné), vnější strana zdi, zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*15,35=20,72 kNm/m*



Bok nádrže – vnitřní zeď - základní návrhové ohybové momenty mxD- (vodorovné), vnitřní strana zdi, zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*39,40=53,19 kNm/m*

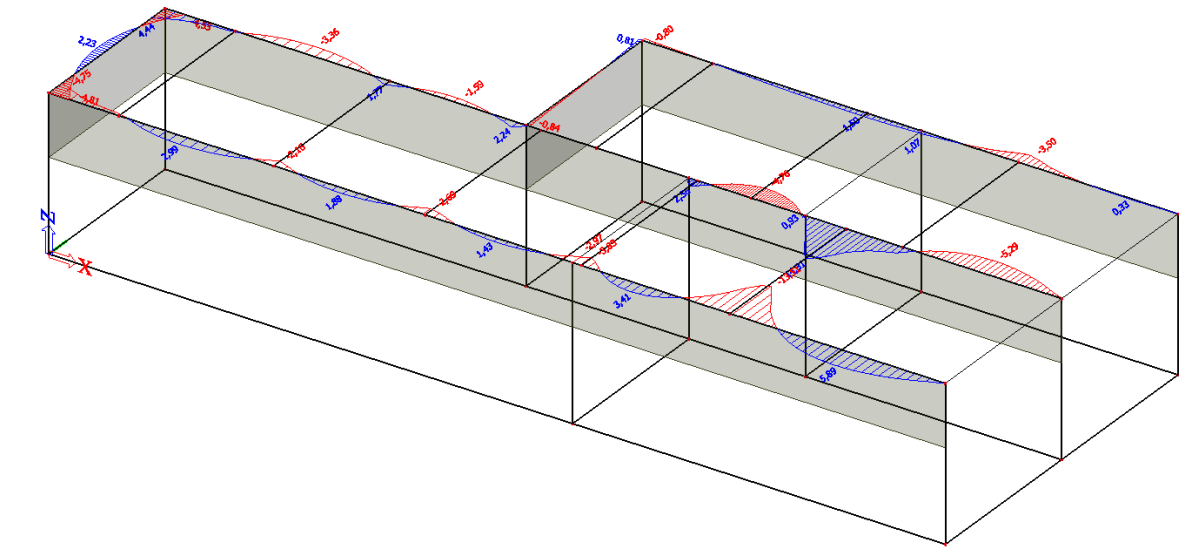


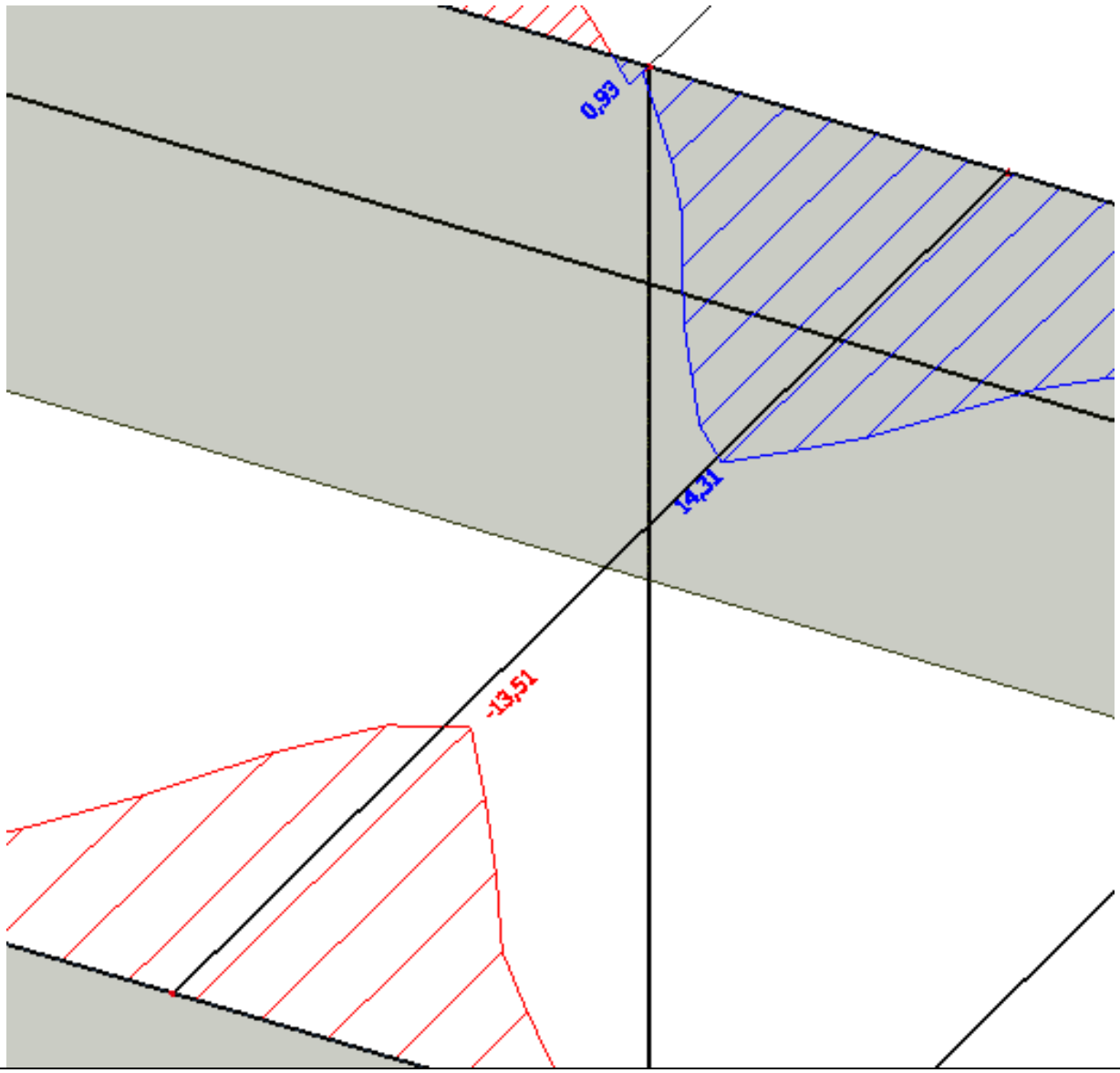
Bok nádrže – vnější zeď - základní návrhové ohybové momenty mxD+ (vodorovné), vnitřní strana zdi, zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*39,91=53,88 kNm/m*



Bok nádrže – vnější zeď - základní návrhové ohybové momenty mxD- (vodorovné), vnější strana zdi, zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*14,62=19,74 kNm/m*

Integrace vodorovného ohybového momentu na výšku stěny 1 m pro případ největšího namáhaní:





Bok nádrže – vnější zeď – integrace ohybového momentu mxD+ a mxD- (vodorovné), zobrazená charakteristická kombinace G0+Z1+V1;
*Návrhová hodnota $M_{Ed,max}$=1,35*14,31=19,32 kNm/m*

Posouzení obdélnikového průřezu namáhaného ohybovým momentem (M)

Popis: vodorovný směr (rozdělovací výztuž)

Průřez

b	1.000	m
h	0.220	m
A_c	0.22000	m^2

Typ konstrukce:

Stěna

Beton C25/30

f_{ck}	25	MPa
f_{cd}	16.67	MPa
f_{ctm}	2.60	MPa
ε_{cu3}	0.0035	[-]

Výztuž B500

f_{yk}	500	MPa
f_{yd}	434.78	MPa
ε_{yd}	0.002174	[-]

Návrh výztuže

	1. vrstva	2. vrstva	celkem	
c	30	0	-	mm
profil	12	0	-	mm
kusů	4	0	4	ks
A_{st}	0.000452	0.000000	0.000452	m^2
d_1	0.036	0.000	0.036	m
d	0.184	0.000	0.184	m
$s_{(orientační)}$	0.250	0.000		

Ověření přetvoření výztuže

x	0.0148	m	
$\varepsilon_{s,nižší}$	0.0401556	[-]	OK
$\varepsilon_{s,vyšší}$	0	[-]	nic

Konstrukční zásady

$A_{s,min}$	0.000249	m^2	OK
$A_{s,max}$	0.008800	m^2	OK
s_n	21	mm	OK
s_{max}	300	mm	OK

Posouzení výztuže

a_c	0.0059	m		
z_c	0.1041	m		
z_s	0.0740	m		
F_c	196.69	kN		
F_s	196.69	kN		
M_{Rd}	**35.0**	**kNm**	55.2%	
M_{Ed}	**19.3**	**kNm**	OK	(posouzení výztuže na ohybový moment)

Výpočet síly působící na ocelové nosníky a spoje:

(nosnost příčné stěny je zanedbána)

Nádrž na vodu (delší):

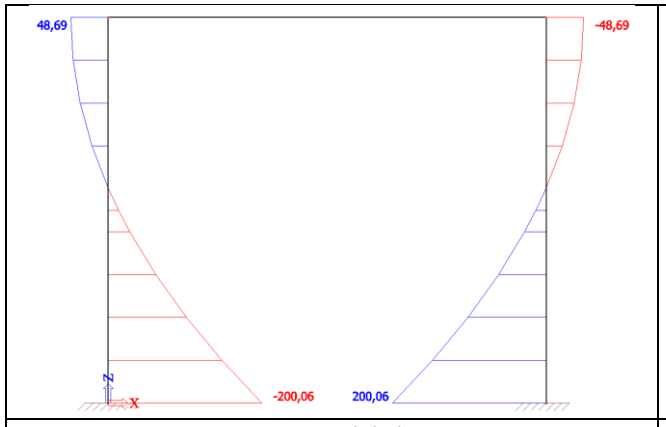
Délka stěny zatížené vodou L = 7,960 m

Maximální hodnota hydrostatického tlaku: w_k = 25 kN/m^2*7,960 = 199 kN/stěna

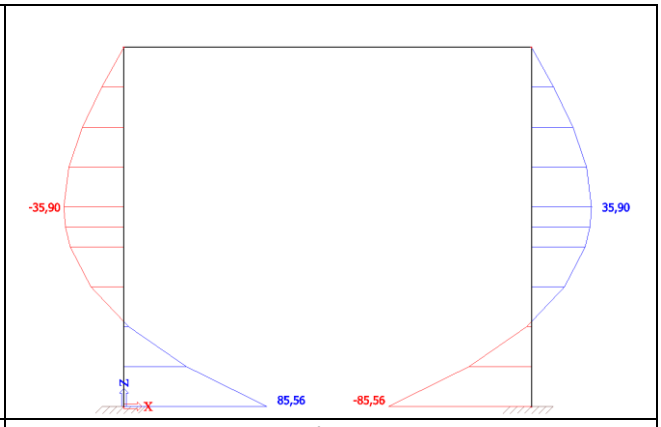
Posouvající síla na celé stěně $V_{Ed,stěna}$ = 200,06*1,35 = 270,08 kN (pata) a 48,69*1,35 = 65,73 kN (hlava)

Počet ocelových nosníků I120 = 3 ks

Síla do 1 nosníku $\mathbf{N_{Ed,1}}$ = 65,73/3 = **21,91 kN/nosník I120**



Posouvající síly



Ohybové momenty

Nádrž na vodu (kratší):

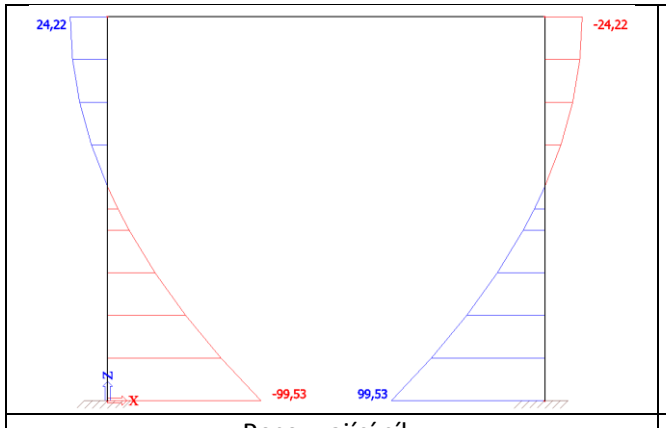
Délka stěny zatížené vodou L = 3,960 m

Maximální hodnota hydrostatického tlaku: w_k = 25 kN/m^2*3,960 = 99 kN/stěna

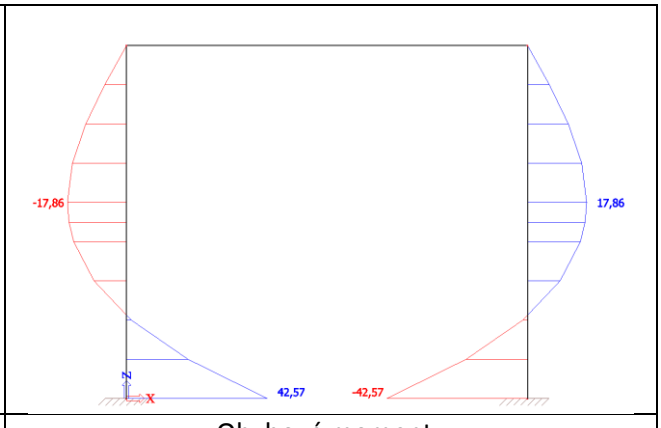
Posouvající síla na celé stěně $V_{Ed,stěna}$ = 99,53*1,35 = 134,37 kN (pata) a 24,32*1,35 = 32,83 kN (hlava)

Počet ocelových nosníků I120 = 2 ks

Síla do 1 nosníku $\mathbf{N_{Ed,2}}$ = 32,83/2 = **16,42 kN/nosník I120**



Posouvající síly



Ohybové momenty

Prostor se zeminou (delší):

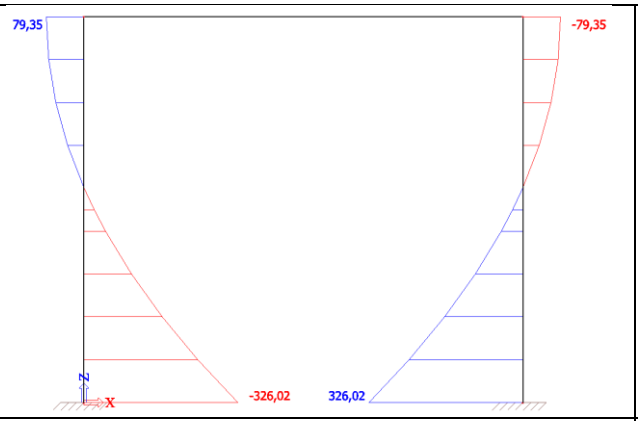
Délka stěny zatížené zeminou L = 5,640 m (extrémně uvažováno po celé délce po korunu stěny)

Maximální hodnota zemního tlaku: z_k = 57,5 kN/m^2*5,640 = 324,3 kN/stěna

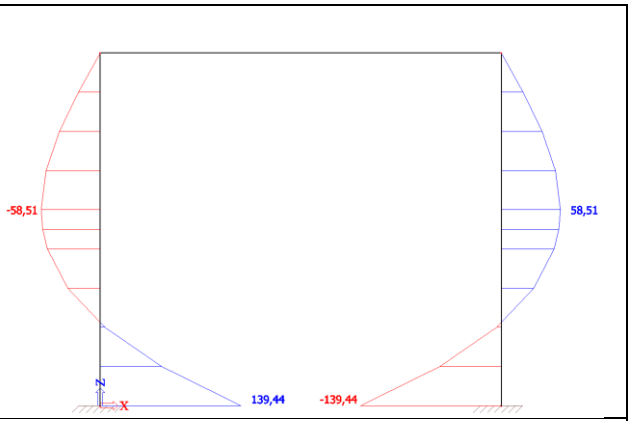
Posouvající síla na celé stěně $V_{Ed,stěna}$ = 326,02*1,35 = 440,13 kN (pata) a 79,35*1,35 = 107,12 kN (hlava)

Počet ocelových nosníků I120 = 2 ks

Síla do 1 nosníku $\mathbf{N_{Ed,3}}$ = 107,12/2 = **53,56 kN/nosník I120**



Posouvající síly



Ohybové momenty

Prostor se zeminou (kratší):

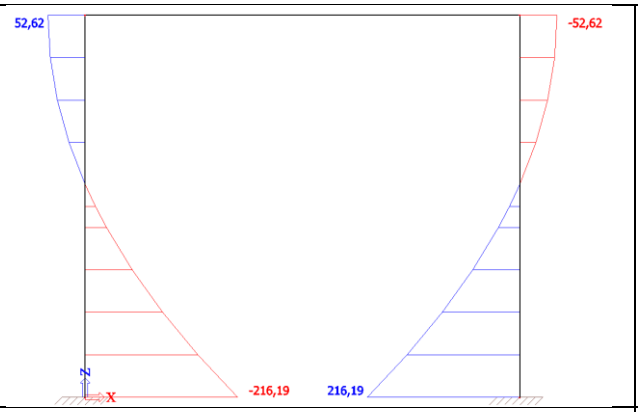
Délka stěny zatížené zeminou L = 3,740 m (extrémně uvažováno po celé délce po korunu stěny)

Maximální hodnota zemního tlaku: z_k = 57,5 kN/m^2*3,740 = 215,05 kN/stěna

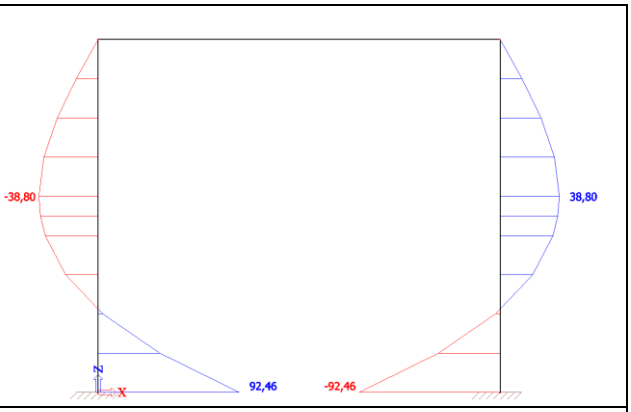
Posouvající síla na celé stěně $V_{Ed,stěna}$ = 216,19*1,35 = 291,86 kN (pata) a 52,62*1,35 = 71,04 kN (hlava)

Počet ocelových nosníků I120 = 1 ks

Síla do 1 nosníku **$N_{Ed,4}$** = 71,04/1 = **71,04 kN/nosník I120 (tah)**



Posouvající síly



Ohybové momenty

Maximální normálová síla v I120 a v hlavě zdi:

$N_{Ed,max}$ = max (21,91; 16,42; 56,56; 71,04 kN) = **71,04 kN**

Posouzení ocelového nosníku I120

Namáhaní na tah/tlak

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{13{,}2 * 10^{-4} * 235 * 10^3}{1{,}15} = 269{,}74\ kN$$

$$\frac{71{,}04}{269{,}74} = 0{,}26 \leq 1$$ **Průřez na namáhání tahem vyhovuje**

Posouzení šroubového spoje

2ks závitové tyče M20, 4.8

$A_s = 245\ mm^2$

Únosnost ve střihu pro jednu střihovou rovinu:

$$F_{v,Rd} = 2 * \frac{\alpha_v * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{0{,}5 * 400 * 245}{1{,}25} = 2 * 49 = 98\ kN$$

$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} = \frac{71{,}04}{98} = 0{,}72 \leq 1$ **Spoj na namáhání střihem vyhovuje**

Únosnost v otlačení:

$$F_{b,Rd} = 2 * \frac{k_1 * \alpha_b * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{2{,}5 * 1 * 400 * 20 * 12}{1{,}25} = 2 * 192 = 384\ kN$$

$\frac{F_{b,Ed}}{F_{b,Rd}} = \frac{71{,}04}{384} = 0{,}19 \leq 1$ **Spoj na namáhání v otlačení vyhovuje**

.

.

Závěr:

Statickým výpočtem byla prokázaná odolnost celé konstrukce na požadované zatížení v souladu s platnými ČSN EN.

(konec statického výpočtu)