

AUTORIZACE

ČÍSLO PARE

ČÍSLO ZMĚNY	DATUM ZMĚNY	POPIS/OBSAH ZMĚNY	PODPIS

MODERNIZACE SILNICE II/322 CHVALETICE - KOJICE

název akce

SO 203 MOST EV. Č. 322-008





stavební objekt

Pardubický kraj Komenského náměstí 125 532 11 Pardubice objednatel	. . . spolupráce
Kojice místo stavby	Pardubický kraj

DÍK

DOPRAVNĚ INŽENÝRSKÁ KANCELÁŘ
 Bozděchova 1668, 500 02 Hradec Králové
 tel : 495 219 036, 495 212 647, fax : 495 221 677
 e-mail : dik@dik - hk.cz, http : www.dik-hk.cz

STATICKÝ VÝPOČET		
výkres	měřítko	PDPS stupeň

ING. M. BURIANEC kontroloval		ING. L. BURIANEC hlavní inženýr projektu		A017/20 číslo zakázky	D.3.2 číslo přílohy
ING. M. BURIANEC zodpovědný projektant		ING. J. FELGR vedoucí projektant		7/2020 datum	

OBSAH

1	Statické výpočty.....	3
1.1	Statické schéma nosných prvků	3
1.1.1	Popis nosné konstrukce mostu	3
1.1.2	Statická schémata nosných prvků.....	3
1.2	Použité materiály	3
1.3	Stanovení zatížení	3
1.4	Únosnost a posouzení nosných prvků.....	4
1.4.1	ŽB rám.....	4
1.4.2	Přechodová deska.....	4
1.4.3	Římsa	4
1.4.4	Zábradelní svodidlo	4
1.5	Zatěžovací zkoušky	4
1.6	Zatížitelnost hlavní konstrukce	4
1.7	Zbytková životnost mostu	5
2	Přehled použitých norem a předpisů, software	6
3	Příloha – schémata, zatížení, výpočty, posudky	8

1 STATICKÉ VÝPOČTY

1.1 Statické schema nosných prvků

Statické uspořádání stávajícího mostu bude uzavřený rám s příčlemi a dvěma stojkami.

Model zatížení i konstrukce, zadání zatížení a výpočet vnitřních sil je v modelu SCIA Engineering.

1.1.1 Popis nosné konstrukce mostu

Nová nosná konstrukce je složena z dolní příčle uložené na základovou spáru tvořenou podkladním betonem uloženým v písčité vrstvě, do dolní příčle vetknutých rámových stojek, na které je přes rámový roh napojena rámová desková příčel s náběhy. Celý volný povrch bude opatřen sjednocujícím nátěrem.

1.1.2 Statická schémata nosných prvků

Statická schémata viz kapitola 3.

1.2 Použité materiály

Veškeré nové betonové konstrukce budou mít parametry splňující požadavky na odolnost vůči agresivitě prostředí, navíc budou chráněny před přímým vlivem prostředí izolační ochranou, především hydroizolačním souvrstvím s ochranou izolace.

Konstrukční prvek	Třída betonu	Stupeň vlivu prostředí	Min. tl. krytí výztuže $C_{min,dur}$	Provzdušnění, odolnost CHRL, min. vodotěsnost mm, max. vodní součinitel	Třída konstrukce
Rám (příčle i stojky, křídla)	C 30/37	XF2, XC4, XD2	40	ano, ano, ano, 0,5	S4
Římsa, spára	C 30/37	XF4, XC4, XD3	45	ano, ano, ano, 0,45	S4
práh	C 25/30	XF3, XA1, XC4	30	ano, ano, ano, 0,5	S4
Spádový, výplňový beton	C 16/20	XF1, XA1, XC2	-	-	-
Drenážní beton	C16/20	XF1, XA1, XC2	-	-	-
Podkladní beton	C 12/15	X0	-	-	-

1.3 Stanovení zatížení

Zatížení jsou stanovena dle platných norem pro zatížení, v aktuálním znění včetně všech oprav a změn.

ČSN 730037 Zemní tlak na stavební konstrukce (doporučené užití)

ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí - část 1-1 – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb

ČSN EN 1991-1-3	Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem
ČSN EN 1991-1-4	Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem
ČSN EN 1991-1-5	Zatížení konstrukcí – část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou
ČSN EN 1991-1-7	Zatížení konstrukcí – část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení
ČSN EN 1991-2	Zatížení mostů dopravou
Konkrétní hodnoty a uspořádání zatížení viz kapitola 4.	

1.4 Únosnost a posouzení nosných prvků

Únosnosti a posouzení všech nosných prvků jsou stanoveny podle platných norem a předpisů.

ČSN EN 1992-1-1	Navrhování betonových konstrukcí
ČSN EN 1992-2	Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady
ČSN EN 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-2	Navrhování ocelových konstrukcí – část 2: Ocelové mosty
ČSN EN 1997-1	Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla
ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí
Únosnost a posouzení uvažovaných nosných prvků	

1.4.1 ŽB rám

Prvky rámu jsou posuzovány pro kombinaci s maximálním dopravním zatížením.

1.4.2 Přečhodová deska

Není uvažována.

1.4.3 Římsa

Římsa je navržena konstrukčně, není předmětem posouzení.

1.4.4 Zábradelní svodidlo

Zábradelní svodidlo je navrženo typově dle typu komunikace a jejího dopravního zatížení, není předmětem posouzení.

1.5 Zatěžovací zkoušky

Nebude realizována statická zatěžovací zkouška dle požadavku objednatele.

1.6 Zatížitelnost hlavní konstrukce

Platná norma pro určení zatížitelnosti mostů pozemních komunikací je ČSN 73 6222.

Výsledná minimální zatížitelnost po dokončení stavby dle norem

Normální	V_n	=	69 t
Výhradní	V_r	=	145 t
Výjimečná	V_e	=	259 t
Na jednu nápravu	V_{aj}	=	neuvedena

Únosnost základové spáry využita na 93 %.

1.7 Zbytková životnost mostu

Důležitou informací pro posuzování ekonomiky provozu a případných zásahů do mostní konstrukce pro zlepšení stavu mostu je i určení zbytkové životnosti mostu.

Zbytková životnost mostu je za podmínky pravidelných prohlídek a údržby stanovena na hodnotu 100 let od uvedení mostu do provozu v roce předání mostu do provozu.

2 PŘEHLED POUŽITÝCH NOREM A PŘEDPISŮ, SOFTWARE

ČSN 01 3467	Výkresy mostů
ČSN 73 0037	Zemní tlak na stavební konstrukce, včetně opravy 1 a změny Z1
ČSN 73 6101	Projektování silnic a dálnic, včetně opravy 1, změny Z1 a změny Z2
ČSN 73 6110	Projektování místních komunikací, včetně opravy 1 a změny Z1
ČSN 73 6133	Návrh a provádění zemního tělesa pozemních komunikací
ČSN 73 6200	Mosty – Terminologie a třídění
ČSN 73 6201	Projektování mostních objektů, včetně změny Z1
ČSN 73 6209	Zatěžovací zkoušky mostů, včetně změny Z1
ČSN 73 6214	Navrhování betonových mostních konstrukcí
ČSN 73 6222	Zatížitelnost mostů pozemních komunikací
ČSN 73 6242	Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací, včetně opravy 1
ČSN 73 6244	Přechody mostů pozemních komunikací
ČSN EN 1990	Zásady navrhování konstrukcí, včetně oprav 1, 2, 3, 4 a změn A1, Z1, Z2, Z3
ČSN EN 1991-1-1	Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb, včetně opravy 1, změny Z1 a změny Z2
ČSN EN 1991-1-3	Zatížení konstrukcí – část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem, včetně opravy 1 a změny Z1, Z2, Z3, Z4, Z5
ČSN EN 1991-1-4	Zatížení konstrukcí – část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem, včetně opravy 1, 2, 3 a změny A1, Z1, Z2, Z3
ČSN EN 1991-1-5	Zatížení konstrukcí – část 1-5: Obecná zatížení - Zatížení teplotou, včetně opravy 1, 2 a změny A, Z1
ČSN EN 1991-1-7	Zatížení konstrukcí – část 1-7: Obecná zatížení – Mimořádná zatížení, včetně opravy 1 a změny Z1
ČSN EN 1991-2	Zatížení mostů dopravou, včetně opravy 1, změny Z1, Z2, Z3
ČSN EN 1992-1-1	Navrhování betonových konstrukcí, včetně změn
ČSN EN 1992-2	Navrhování betonových konstrukcí – část 2: Betonové mosty – Navrhování a konstrukční zásady, včetně opravy 1 a změny Z1, Z2
ČSN EN 1993-1-1	Navrhování ocelových konstrukcí – část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
ČSN EN 1993-2	Navrhování ocelových konstrukcí – část 2: Ocelové mosty, včetně opravy 1 a změny Z1
ČSN EN 1997-1	Navrhování geotechnických konstrukcí – část 1: Obecná pravidla, včetně opravy 1 a změny Z1
TKP kapitola 1	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Všeobecně
TKP kapitola 3	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Odvodnění a chráničky pro inženýrské sítě
TKP kapitola 4	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Zemní práce
TKP kapitola 9	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Kryty z dlažeb a dílců
TKP kapitola 11	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Svodila, zábradlí a tlumiče nárazu
TKP kapitola 18	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Beton pro konstrukce

TKP kapitola 19	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Ocelové mosty a konstrukce
TKP kapitola 21	Technické kvalitativní podmínky staveb PK – Izolace proti vodě
ESA engineering 14	
Microsoft Office 2013	

3 PŘÍLOHA – SCHÉMATA, ZATÍŽENÍ, VÝPOČTY, POSUDKY

HORNÍ PŘÍČEL RÁMU - polovina rozpětí

ZATÍŽENÍ A VNITŘNÍ SÍLY

VLASTNÍ TÍHA A OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$g_o =$	3,64 kN/m	130 mm (120 mm živice...22 a 10 mm izolace...22)
$g_s =$	12,5 kN/m	ŽB ($A = 0,5 \text{ m}^2$ průřez...25)
$g_{sz} =$	30 kN/m	tíha zeminy na základ (hutněný štěrk $h=2,6 \text{ m}$...20)
$g_{sz2} =$	12 kN/m	tíha zeminy na základ (hutněný štěrk $h=0,6 \text{ m}$...20)
$\gamma_Q =$	1,35	

ZATÍŽITELNOST N

$L =$	6	m
$\gamma_Q =$	1,5	
$\delta_2 =$	1,2	

příčel rámu	
$L_d = 0,8 \cdot L =$	4,8 m
$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923} =$	21,3 Hz

ZATÍŽITELNOST R

$\gamma_Q =$	1,5
$\delta_1 =$	1,25

ZATÍŽENÍ ÚNAVA MODEL 3

$\Delta\phi_{fat} =$	1,40
$\gamma_{fat} =$	1,00
$\delta_2 =$	1,2

ZATÍŽITELNOST E

$\gamma_Q =$	1,5
$\delta =$	1,05

ZATÍŽITELNOST ÚNAVA

koeficient pro redukci hodnot modelu pro zatížitelnost únavovou FAT 1 (vychází z modelu pro ZAT N)

Tab.9.1-3	I_{TNV24} (voz/den)		
provoz:	500	P1 (velmi těžký)	dle tab.9.2
		$k_0 =$ 0,500	dle tab.9.3

rozkmít napětí od $V_{nor} \cdot \delta$	$\Delta\sigma_{nor} =$	13,54	MPa
rozkmít napětí od $LM1 \cdot \delta$	$\Delta\sigma_{LM1} =$	30,41	MPa
	$\Delta\sigma_{LM1} / \Delta\sigma_{nor} =$	2,25	(sloupec tabulky 9.1)
	$L_d =$	4,8	m (řádek tabulky 9.1)

$n_{rok} =$	30	počet cyklů v jednotkách voz dle tab.9.1
$n_{ziv} = n_{rok} \cdot 100 \cdot 0,5 =$	1 480	TNV pro jeden směr, životnost mostu

VNITŘNÍ SÍLY - $M_{y,max}$ polovina rozpětí				VNITŘNÍ SÍLY - $M_{y,min}$ rámový roh			
ZS	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	ZS	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]
vlastní tíha	9,57	6,48	0	vlastní tíha	-7,64	6,48	21,58
ostatní stálé	4,62	-0,76	0	ostatní stálé	-4,54	-0,76	9,57
LM 1	137	-25,6	0	LM 1	-114,48	-25,6	180,6
LM 2	108,14	-15,6	0	LM 2	-64,59	-15,6	90,91
LM 3	47,6	-5,98	0	LM 3	-36,97	-5,98	79,62
LM 1 H	0	0	14,23	LM 1 H	-31,32	-14,23	14,23
teplota +	10	-37,52	16,71	teplota +	-30,33	-37,52	16,71
teplota -	-30	24,51	31,76	teplota -	-94,01	24,51	31,76
FAT 3	50,36	-8,31	0	FAT 3	-36,29	-8,31	55,07
ZAT N	24,16	-4,44	0	ZAT N	-20,11	-4,44	32,28
ZAT R	0,06	-0,01	0	ZAT R	-0,06	-0,01	0,13
ZAT E	0,05	-0,01	0	ZAT E	-0,04	-0,01	0,09
ZAT FAT 1	4,51	-0,73	0	ZAT FAT 1	-3,24	-0,73	5,09
ZAT Vnor	61,01	-8,25	0	ZAT Vnor	-36,01	-8,25	54,76
ZAT Vfat		-0,78	0	ZAT Vfat	-3,54	-0,78	5,6

komb MSU	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	komb MSU	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	γ_F
stálé	19,1565	7,72	0	stálé	-16,44	7,72	42,06	
STLM1HT+	210,19	-80	139,9	STLM1HT+	-186,68	-236,36	316,68	
STLM1HT-	180	0	-30	STLM1HT-	-376,14	-143,32	381,94	
LM 2	162,21	-23,4	0	LM 2	-96,89	-23,4	136,37	
LM 3	71,4	-8,98	0	LM 3	-55,46	-8,98	119,43	
LM 1 H	246,87	-30	0	LM 1 H	-218,89	-187,81	292,25	
teplota +	15	-56,28	25,065	teplota +	-45,495	-56,28	25,065	1,5
teplota -	-45	36,765	47,64	teplota -	-141,015	36,765	47,64	1,5

komb MSP	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	komb MSP	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]
stálé	14,19	5,72	0	stálé	-12,18	5,72	31,15
STLM1HT+	142,47	-57,4	100	STLM1HT+	-156,99	-57,4	228,46
STLM1HT-	121,19	4,63	31,76	STLM1HT-	-220,67	4,63	243,51
LM 2	108,14	-15,6	0	LM 2	-64,59	-15,6	90,91
LM 3	47,6	-5,98	0	LM 3	-36,97	-5,98	79,62
LM 1 H	0	0	14,23	LM 1 H	-31,32	-14,23	14,23
teplota +	10	-37,52	16,71	teplota +	-30,33	-37,52	16,71
teplota -	-30	24,51	31,76	teplota -	-94,01	24,51	31,76
FAT 3	50,36	-8,31	0	FAT 3	-36,29	-8,31	55,07
ZAT N	24,16	-4,44	0	ZAT N	-20,11	-4,44	32,28
ZAT R	0,06	-0,01	0	ZAT R	-0,06	-0,01	0,13
ZAT E	0,05	-0,01	0	ZAT E	-0,04	-0,01	0,09
ZAT FAT 1	4,51	-0,73	0	ZAT FAT 1	-3,24	-0,73	5,09
ZAT Vnor	61,01	-8,25	0	ZAT Vnor	-36,01	-8,25	54,76
ZAT Vfat	0	-0,78	0	ZAT Vfat	-3,54	-0,78	5,6

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

	M_d (kNm)	M_{dr} (kNm)
únosnost průřezu / zbývající únosnost průřezu	353,97	353,97
od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení	19,16	334,81

	násobek	zatížitelnost		
zatížitelnost N	7,70	102	334,81	0,0
zatížitelnost R	2976,10	297	334,811	0,0
zatížitelnost E	4251,57	425	334,811	0,0

MEZNÍ STAV ÚNAVY

	zatížitelnost
zatížitelnost N	102

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

	M_k (kNm)	M_{kr} (kNm)
napětí limitní (podélné trhliny) / zbývající napětí	165,62	165,62
přepočtené na ohybový moment		
od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení	14,19	151,43

	násobek	zatížitelnost		M_{kr} (kNm)
zatížitelnost N	5,22	69	151,43	0,00

VÝSLEDNÁ ZATÍŽITELNOST

zatížitelnost N	69
zatížitelnost R	297
zatížitelnost E	425

ÚNOSNOST ŽB PRŮŘEZU

C 30/37 ▼

h = 300 mm

b = 1000 mm

d_s = 25 mm

A_{sl} = 490,87 mm²

n_s = 8

a = 50 mm

d = 250 mm

beton :

C 30/37

charakteristická tlaková pevnost

f_{ck} = 30,00 MPa

poměrné stlačení betonu

ε_{ck} = 2,00 ‰

exponent

n = 2

maximální poměrné stlačení betonu

ε_{cu2} = 3,50 ‰

λ = 0,8

η = 1

poměrné stlačení betonu -bilineární

ε_{ck} = 1,75 ‰

maximální poměrné stlačení betonu - bilineární

ε_{cu3} = 3,50 ‰

E_{cm} = 33 GPa

ocel :

B 500

E_s = 200 GPa

f_{yk} = 500 MPa

γ_s = 1,15

ε_{uk} = 75 ‰

ε_{ud} = 0,9 · ε_{uk} = 67,5 ‰

f_{yd} = f_{yk} / γ_s = 434,8 MPa

ε_{yd} = f_{yk} / E = 2,5 ‰

poměrné přetvoření

ε_c = 3,5

ε_s = 5 ‰

α_{cc} = 1,0

γ_c = 1,5

f_{cd} = α_{cc} · f_{ck} / γ_c = 20,00 MPa

f_{ctef} = 2,9 MPa

ω = E_s / E_{cm} = 6,061

doporučená hodnota 1,0

trvalá a dočasná návrhová situace

MPa

MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium III

neredukovaná část průřezu

h = 300 mm

b = 1000 mm

redukovaná část průřezu

statické hodnoty pro neredukovanou část průřezu

x = 106,711685 mm

x_t = x / 2 = 53,36 mm

A = x · b = 106,712 · 10³ mm²

S = A · x_t = 5,694 · 10⁶ mm³

statické hodnoty pro redukovanou část průřezu

x_c = λ · x = 85,369 mm

x_{tc} = x_c / 2 = 42,68 mm

A_{cc} = b · x_c = 85,369 · 10³ mm²

S_c = A_{cc} · x_{tc} = 3,644 · 10⁶ mm³

F_c = A_{cc} · η · f_{cd} = 1707,39 kN

M_{cRd} = F_c · (x - x_{tc}) = 109,32 kNm

statické hodnoty pro celou část průřezu - betonářská ocel

i	n	z _i [mm]	A _i (mm ²)	S _i (.10 ³ mm ³)	M _{srd} (kNm)
1	8	250	3 927,0	981,7	244,65
2	0	200	0,0	0,0	0,00
3	0	0	0,0	0,0	0,00
			3 927,0	981,7	244,65

x_{lim} = d · ε_{cu3} / (ε_{yd} + ε_{cu3}) = 145,83 mm

z rovnováhy přetvoření

F_{sd} = A_{st} · f_{yd} = 1707,39 kN

F_{sd} - F_c = 0,00 kN musí být rovno nule (rovnováha sil)

M_{Rd} = M_{crd} + M_{srd} = 354,0 kNm > M_{Sd} = 210,19 kNm

vyhovuje

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$A_c = 106\,712 \text{ mm}^2$$

$$V_{Sdc} = 139,90 \text{ kN}$$

$$V_{Sdc1} = 139,90 \text{ kN}$$

průřez bez smykové výztuže

$$V_{Rdc} = (C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 2222,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 140,8 \text{ kN}$$

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1,82 \leq 2,0$$

$$\rho_1 = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 13,0900 \leq 0,02$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,12$$

$$V_{Sdcr} = V_{Sdc1} \cdot 0,7 = 97,93 \text{ kN}$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,47$$

$$k_1 = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0 \text{ MPa}$$

$$V_{Rdc} = 2222,7 \text{ kN} > V_{Sdcr} = 97,93 \text{ kN}$$

vyhovuje, není třeba smyková výztuž

průřez se smykovou výztuží

$$s = 300 \text{ mm} \quad \text{vzdálenost třmíneků}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhová mez kluzu smykové výztuže}$$

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,528$$

$$v_1 = v = 0,528 \quad \text{redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem}$$

$$\alpha_{cw} = 0,3$$

$$z = d - S_c / A_c = 250,0 \text{ mm}$$

$$\theta = 43^\circ \quad \text{musí být z intervalu } 21,8^\circ - 45^\circ$$

$$\text{tg } \theta = 0,933$$

$$\text{cotg } \theta = 1,072$$

$$A_{sw} = 5000 \text{ mm}^2$$

$$a_s = 50 \text{ mm}$$

$$n = 8$$

$$V_{Rds} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{cotg } \theta = 1942,4 \text{ kN} > V_{Sdcr} = 97,93 \text{ kN}$$

$$V_{Rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd} / (\text{cotg } \theta + \text{tg } \theta) = 395,0 \text{ kN} > V_{Sdcr} = 97,93 \text{ kN}$$

smyková výztuž vyhovuje

POUŽITELNOST PRŮŘEZU ŽB DESKY

Omezení napětí dle čl.7.2

Omezení napětí - podélné trhliny

$$k_1 = 0,6$$

$$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_1 \cdot f_{ck} = 18 \text{ MPa} > \sigma_{ch} = 16,4 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - lineární dotvarování

$$k_2 = 0,45$$

$$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_2 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa} < 16,4 \text{ MPa} \quad \text{dojde k nelineárnímu dotvarování}$$

Omezení napětí - nepříjemné trhliny a deformace

$$k_3 = 0,8$$

$$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_3 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa} > \sigma_{ch} = 152,9 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení trhlin dle čl.7.3

$$w_{\max} = 0,3 \text{ mm} \quad \text{dle tabulky 7.101N}$$

Minimální průřezové plochy výztuže

$$A_{s\min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct}$$

A_{ct} - plocha betonu v tažené části průřezu

σ_s - absolutní hodnota nejvyššího napětí ve výztuži po vzniku trhlin

f_{ctef} - průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku vzniku trhlin

k - součinitel účinku nerovnoměrného rozdělení vnitřních napětí

k_c - součinitel rozdělení napětí a ramene sil

$$k_c = 0,4 \cdot (1 - \sigma_c / (k_1 \cdot h / h^* \cdot f_{ctef})) \leq 1 \quad \text{- pro obdélníkové průřezy, stěny komor a T - průřezů}$$

$$k_c = 0,9 \cdot F_{cr} / (A_{ct} \cdot f_{ctef}) \geq 0,5 \quad \text{- pro přilehlé desky komor a T - průřezů}$$

$$\sigma_s = 14,84 \text{ MPa}$$

$$\text{OBD} \quad k_c = 0,025 \leq 1$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 1222,20 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = N_{Ed} / b \cdot h = 4,07 \text{ MPa}$$

$$k = 1$$

N_{Ed} - osová síla v MS použitelnosti působící na uvažovanou část průřezu (tlak +)

$$h^* = 300 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1,5$$

F_{cr} - absolutní hodnota tahové síly před vznikem trhlin pomocí f_{ctef}

dle čl. 6.8.2

$$\xi = 0,3$$

$$\xi_1 = (\xi \cdot \phi_s / \phi_p)^{0,5} = 1,250$$

$$\phi_s = 25 \text{ mm}$$

$$A_{ct} = 154 \, 166,7 \text{ mm}^2$$

plocha betonu v tažené části průřezu před vznikem trhlin

$$\phi_p = 4,8 \text{ mm}$$

$$A_{s\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct} / \sigma_s = 764,6 \text{ mm}^2$$

$$n_{\min} = A_{s\min} / (\pi \cdot d^2 / 4) = 2$$

Maximální průměr prutu

$$\sigma_{sc} = 138,56 \text{ MPa}$$

$$\phi_s^* = 25 \text{ mm}$$

dle tab.7.2N

$$d = 250 \text{ mm}$$

$$h_{cr} = 154,17 \text{ mm}$$

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot (f_{ctef} / 2,9) \cdot k_c \cdot h_{cr} / 2 / (h - d) = 0,5 \text{ mm} \quad \text{pro ohybové namáhání}$$

Výpočet šířky trhlin

$$w_k = s_{r\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

w_k - šířka trhliny

$s_{r\max}$ - maximální vzdálenost trhlin

ϵ_{sm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže (pouze přídatné tahové přetvoření)

ϵ_{cm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlínami

$$f_{cteff} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\xi_1 = 1,250$$

$$A_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 3 \, 927,0 \text{ mm}^2$$

$$A_{cef} = 2 \, 000,0 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_e = 6,06$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (\sigma_s - k_t \cdot f_{cteff} / \rho_{per} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{per})) / E_s \geq 0,6 \cdot \sigma_s / E_s$$

$$k_t = 0,6 \quad \text{krátkodobé zatížení}$$

$$\rho_{per} = (A_s + \xi_1 \cdot A_p) / A_{cef} = 1,963$$

$$\sigma_s = 138,56 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,636 \geq 0,416$$

vyhovuje

dle čl.7.3.4

$$c = 37,5 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\phi = \phi_{eq} = (n_1 \cdot \phi_1^2 + n_2 \cdot \phi_2^2) / (n_1 \cdot \phi_1 + n_2 \cdot \phi_2) = 20,00$$

$$n_1 = 8$$

$$\phi_1 = 20$$

$$n_2 = 0$$

$$\phi_2 = 0$$

$$s_{r\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{per} = 129,232$$

$$w_k = s_{r\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,082 \text{ mm} < w_{\max} = 0,3 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

ÚNOSNOST ŽB PRŮŘEZU

celý průřez pružně

C 30/37 ▼

h = 300 mm
b = 1000 mm
h_l = mm

d_s = 25 mm
A_{s1} = 490,87 mm²
n_s = 8

a = 50 mm
d = 250 mm

beton : C 30/37

charakteristická tlaková pevnost $f_{ck} = 30,00$ MPa
poměrné stlačení betonu $\epsilon_{c2} = 2,00$ ‰
exponent $n = 2$
maximální poměrné stlačení betonu $\epsilon_{cu2} = 3,50$ ‰
 $\lambda = 0,8$
 $\eta = 1$
poměrné stlačení betonu - bilineární $\epsilon_{c3} = 1,75$ ‰
maximální poměrné stlačení betonu - bilineární $\epsilon_{cu3} = 3,50$ ‰
 $E_{cm} = 33$ GPa

ocel : B 500

$E_s = 200$ GPa
 $f_{yk} = 500$ MPa
 $\gamma_s = 1,15$
 $\epsilon_{uk} = 75$ ‰
 $\epsilon_{ud} = 0,9 \cdot \epsilon_{uk} = 67,5$ ‰
 $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 434,8$ MPa
 $\epsilon_{yd} = f_{yk} / E = 2,5$ ‰

poměrné přetvoření

$\epsilon_c = 3,5$ ‰
 $\epsilon_s = 5$ ‰
 $\alpha_{cc} = 1,0$ doporučená hodnota 1,0
 $\gamma_c = 1,5$ trvalá a dočasná návrhová situace
 $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 20,00$ MPa

$\omega = E_s / E_{cm} = 6,061$

$f_{ct} = 2,9$ MPa
 $\gamma = \max(1,6 - h / 1000; 1) = 1,3$
 $f_{ctd} = \gamma \cdot f_{ctm} = 3,77$ MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium I
neredukovaný průřez

statické hodnoty pro neredukovaný průřez

$x_t = h / 2 = 150,00$ mm
 $A = h \cdot b = 300,000$.10³ mm²
 $S = A \cdot x_t = 45,000$.10⁶ mm³
 $S_{id} = S + \omega \cdot S_s = 50,95$.10⁶ mm³
 $A_{id} = A + \omega \cdot A_s = 323,80$.10³ mm²
 $z_{tid} = S_{id} / A_{id} = 157,35$ mm
 $e_{hi} = z_{ti} = 157,35$ mm
 $e_{di} = h - e_{hi} = 142,65$ mm

$I = b \cdot h^3 / 12 + A \cdot (z_{tid} - x_t)^2 = 2\,266,21$.10⁶ mm⁴
 $I_s = A_s \cdot (z_i - z_{tid})^2 = 33,71$.10⁶ mm⁴
 $I_{id} = I + \omega \cdot I_s = 2\,470,51$.10⁶ mm⁴
 $W_{idh} = I_{id} / e_{hi} = 15,70$.10⁶ mm³
 $W_{idd} = I_{id} / e_{di} = 17,32$.10⁶ mm³

$A_{ct} = b \cdot (h - x_{lim}) = 154,2$.10³ mm²
 $x_{lim} = d \cdot \epsilon_{cu3} / (\epsilon_{yd} + \epsilon_{cu3}) = 145,83$ mm z rovnováhy přetvoření

statické hodnoty pro celou část průřezu - betonářská ocel

i	n	z _i [mm]	A _i (mm ²)	S _i (.10 ³ mm ³)
1	8	250	3 927,0	981,7
2	0	200	0,0	0,0
3	0	0	0,0	0,0
			3 927,0	981,7

$M_{smaxI} = W_{idd} \cdot f_{ctd} = 65,3$ kNm maximální moment pro stádium I

$\sigma_b = M_{smaxI} / W_{idh} = 4,16$ MPa
 $\sigma_d = M_{smaxI} / W_{idd} = 3,77$ MPa
 $\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 14,84$ MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium II
neredukovaný průřez

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

statické hodnoty pro stádium II

$$x = 148,762065 \text{ mm}$$

$$x_t = x / 2 = 74,38 \text{ mm}$$

$$A = x \cdot b = 148,762 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$S = A \cdot x_t = 11,065 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{id} = S + \omega \cdot S_s = 17,02 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$A_{id} = A + \omega \cdot A_s = 172,56 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$z_{tid} = S_{id} / A_{id} = 98,60 \text{ mm}$$

$$e_{hi} = z_{tid} = 98,60 \text{ mm}$$

$$e_{di} = h - e_{hi} = 201,40 \text{ mm}$$

$$I = b \cdot x^3 / 12 + A \cdot (z_{tid} - x_t)^2 = 361,62 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \pi \cdot d^4 / 64 + A_s \cdot (z_i - z_{tid})^2 = 90,03 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{id} = I + \omega \cdot I_s = 907,26 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{idh} = I_{id} / e_{hi} = 9,20 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{idd} = I_{id} / e_{di} = 4,50 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{smaxII} = W_{idh} \cdot 0,4 \cdot f_{cd} = 73,6 \text{ kNm} \quad \text{maximální moment pro stádium II}$$

maximální napětí pro stádium II

$$\sigma_h = M_{smaxII} / W_{idh} = 8,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smaxII} / W_{idd} = 16,34 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 74,45 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 292,35 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 595,05 \text{ kN}$$

$$r_s = d - z_{tid} = 151,40 \text{ mm}$$

$$r_c = x / 2 = 74,38 \text{ mm}$$

$$0 = M_c - M_s = F_c \cdot r_c - F_s \cdot r_s = 0,00 \text{ Nm}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení ZAT N

$$M_{smax} = 186,0 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 11,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 10,74 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 48,93 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 192,16 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 881,19 \text{ kN}$$

hodnoty pro maximální moment rozkmitu napětí FAT model 1

$$M_{smax} = 4,5 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 0,49 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 1,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 3,76 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 14,78 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 73,52 \text{ kN}$$

hodnoty pro maximální moment rozkmitu napětí FAT model 3

$$M_{smax} = 50,4 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 5,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 11,18 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 50,93 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 200,01 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 407,10 \text{ kN}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení LM1

$$M_{smax} = 137,0 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 14,89 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 30,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 138,56 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 544,11 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 1107,49 \text{ kN}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení V_{hor}

$$M_{smax} = 61,0 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 6,63 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 13,54 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 61,70 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 242,31 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 493,20 \text{ kN}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení LM1 a stálého zatížení

jen porovnávací hodnota pro zjištění zatížitelnosti únavy a MSP

$$M_{smax} = 151,2 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 16,43 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 33,56 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 152,91 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 600,46 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 1222,20 \text{ kN}$$

ÚNAVA

$$\begin{aligned}A_s &= 3,927 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \\A_p &= 0,00 \text{ mm}^2 \\\xi &= 0,3 \text{ dle tab.6.2 EN 1992-1-1} \\\phi_s &= 12 \text{ mm největší použitý průměr betonářské výztuže} \\\phi_p &= 1,6 \cdot A_p^{0,5} = 0,00 \text{ mm průměr předpínací výztuže} \\\eta &= (A_s + A_p) / (A_s + A_p \cdot (\xi \cdot (\phi_s / \phi_p))^{0,5}) \\\eta &= 1,00\end{aligned}$$

Ověření pro betonářskou a předpínací ocel - dle Palmgren - Minerova pravidla

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{Fat}} &= 1,00 \text{ dle tab.6.3N EN 1992-1-1} \\\Delta\sigma &= \text{MPa rozkmit zatížení} \quad k_1 = 5 \text{ dle tab.6.4N EN 1992-1-1} \\\Delta\sigma_{\text{Rsk}} &= 162,5 \text{ MPa odolnost pro } N^* \text{ cyklů} \quad k_2 = 9 \\\gamma_{\text{Sfat}} &= 1 \\\Delta\sigma_{\text{Rsfat}} &= \Delta\sigma_{\text{Rsk}} / \gamma_{\text{Sfat}} = 162,5 \text{ MPa odolnost pro } N^* \text{ cyklů}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n(\Delta\sigma) &= \text{použitý počet cyklů s rozkmitem } \Delta\sigma \\N(\Delta\sigma) &= \text{počet cyklů rozkmitu } \Delta\sigma, \text{ který vyvolá únavové porušení}\end{aligned}$$

$$D_{\text{Ed}} = n(\Delta\sigma) / N(\Delta\sigma) < 1 \quad \text{součinitel únavového poškození}$$

log N	log $\Delta\sigma_{\text{Rsk}}$
0	2,25
1	2,25
6	2,21
15	1,21

$$\begin{aligned}\sigma_{0,2} = \sigma_{\text{yd}} &= 1 \text{ 760 kp/cm}^2 \\\sigma_{0,2} = \sigma_{\text{yd}} &= 180 \text{ MPa zaručená smluvní mez kluzu} \\\log \sigma_{0,2} = \log \sigma_{\text{yd}} &= 2,25\end{aligned}$$

dle zatížení únava model 3

FAT 3	$\Delta\sigma_{\text{rs}}$	log $\Delta\sigma_{\text{rs}}$	log N	N (10 ⁹)	n (10 ⁶)
1	50,9	1,7	11	34	0,120

$$D_{\text{Ed}} = 0,000 < 1 \quad \text{vyhovuje}$$

Dle ČSN EN 1992-2 příloha NN - zjednodušený postup pro výztuž

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{sequ}} &= \Delta\sigma_{\text{sec}} \cdot \lambda_s \quad \text{síly od modelu zatížení únava 3 násobit} \\&\quad 1,4 \text{ pro posouzení v jiných oblastech} \\&\quad 1,75 \text{ pro posouzení u mezilehlých podpor spojitých mostů} \\\Delta\sigma_{\text{sec}} &= 50,93 \text{ rozkmit napětí vyvolaný modelem zatížení na únavu 3} \\\lambda_s &= \text{součinitel ekvivalentního poškození únavou (poloha objektu, intenzita dopravy, životnost, rozpětí)} \\\lambda_{s1} &= 1,15 \text{ druh konstrukčního prvku a poškozuji účinek dopravy s ohledem na příčinkovou čáru-plochu} \\\lambda_{s2} &= \text{intenzita dopravy} \\\lambda_{s3} &= \text{návrhová provozní životnost mostu} \\\lambda_{s4} &= 1 \text{ při zatížení z více než jednoho zatěžovacího pruhu} \\\phi_{\text{fat}} &= 1,4 \text{ dynamický součinitel - drsnost povrchu vozovky} \quad 1,2 - \text{dobrá kvalita; } 1,4 - \text{střední kvalita} \\\lambda_s &= \phi_{\text{fat}} \cdot \lambda_{s1} \cdot \lambda_{s2} \cdot \lambda_{s3} \cdot \lambda_{s4} \\\lambda_s &= 4,067 \quad k_2 = 9 \text{ dle tab 6.4N EN 1992-1-1} \\\Delta\sigma_s = k_1 &= 70 \text{ MPa} \quad Q = 0,82 \text{ dle tab NN.1 EN 1992-2} \quad N_{\text{obs}} = 50 \text{ 000} \\\lambda_{s2} &= Q \cdot (N_{\text{obs}} / 2)^{1/k_2} = 2,526 \\\lambda_{s3} &= (N_{\text{years}} / 100)^{1/k_2} = 1,000 \quad N_{\text{years}} = 100 \text{ návrhová životnost mostu}\end{aligned}$$

posouzení na odpovídající únavovou únosnost v tahu

$$\Delta\sigma_{\text{sequ}} = \Delta\sigma_{\text{sec}} \cdot \lambda_s = 207,15 \text{ MPa}$$

FAT 3	$\Delta\sigma$	log $\Delta\sigma$	log N	N	n
1	207,2	2,3	1	0,000	0,120

$$D_{\text{Ed}} = 12 \text{ 000,000} > 1 \quad \text{nevyhovuje v zjednodušeném postupu dle modelu FAT 3}$$

Ověření betonu namáhaného tlakem nebo smykem

Dle Minerova pravidla $\Sigma (n_i / N_i) \leq 1$
pro $i = 1$ až m

m - počet intervalů s konstantní amplitudou

n_i - skutečný počet zatěžovacích cyklů o konstantní amplitudě v intervalu " i "

N_i - maximální počet zatěžovacích cyklů o konstantní amplitudě v intervalu " i "

$$N_i = 10 \cdot e^{\exp(14 \cdot (1 - E_{cdmaxi} / (1 - R_i))^{0.5})}$$

$$R_i = E_{cdmini} / E_{cdmaxi}$$

$$E_{cdmini} = \sigma_{cdmini} / f_{cdfat}$$

$$E_{cdmaxi} = \sigma_{cdmaxi} / f_{cdfat}$$

- poměr napětí

σ_{cdmini} , σ_{cdmaxi} - dolní a horní napětí v zatěžovacím cyklu

E_{cdmaxi} , E_{cdmini} - minimální a maximální úroveň tlakového napětí

$$f_{cdfat} = k_1 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 14,96$$

MPa - návrhová hodnota únavové pevnosti betonu

$$k_1 = 0,85$$

$$\beta_{cc}(t_0) = e^{\exp(s \cdot (1 - (28 / t_0)^{0.5}))} = 1,000$$

- součinitel pevnosti betonu při jeho prvním zatížení

$$s = 0,25$$

- koeficient druhu cementu (0,20 - třída R, 0,25 - třída N, 0,38 - třída S)

$$t_0 = 28$$

- stáří betonu ve dnech, na začátku cyklického zatěžování

$$f_{cd} = 20,00$$

MPa

$$f_{ck} = 30,00$$

MPa

zatížitelnost	σ_{cd1}	σ_{cd3}
min	1,54	1,54
max	16,43	7,02
R_i	0,094	0,220
E_{cdmini}	0,10	0,10
E_{cdmaxi}	1,10	0,47
N_i	1,161	7108,602
n_i	0,001	0,120
n_i / N_i	0,001	0,000

0,000

< 1

vyhovuje na únavu model FAT 3

0,001

< 1

vyhovuje na únavu zatížitelnost FAT1

HORNÍ PŘÍČEL RÁMU - rámový roh

ZATÍŽENÍ A VNITŘNÍ SÍLY

VLASTNÍ TÍHA A OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$g_o =$	3,64 kN/m	130 mm (120 mm živice...22 a 10 mm izolace...22)
$g_s =$	12,5 kN/m	ŽB ($A = 0,5 \text{ m}^2$ průřez...25)
$g_{sz} =$	30 kN/m	tíha zeminy na základ (hutněný štěrk $h=2,6 \text{ m}$...20)
$g_{sz2} =$	12 kN/m	tíha zeminy na základ (hutněný štěrk $h=0,6 \text{ m}$...20)
$\gamma_Q =$	1,35	

ZATÍŽITELNOST N

$L =$	6	m
$\gamma_Q =$	1,5	
$\delta_2 =$	1,2	

příčel rámu	
$L_d = 0,8 \cdot L =$	4,8 m
$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923} =$	21,3 Hz

ZATÍŽITELNOST R

$\gamma_Q =$	1,5
$\delta_1 =$	1,25

ZATÍŽENÍ ÚNAVA MODEL 3

$\Delta\phi_{fat} =$	1,40
$\gamma_{fat} =$	1,00
$\delta_2 =$	1,2

ZATÍŽITELNOST E

$\gamma_Q =$	1,5
$\delta =$	1,05

ZATÍŽITELNOST ÚNAVA

koeficient pro redukci hodnot modelu pro zatížitelnost únavovou FAT 1 (vychází z modelu pro ZAT N)

Tab.9.1-3	I_{TNV24} (voz/den)	
provoz:	500	P1 (velmi těžký)
	$k_0 =$	0,500
		dle tab.9.2
		dle tab.9.3

rozkmít napětí od $V_{nor} \cdot \delta$	$\Delta\sigma_{nor} =$	6,61	MPa
rozkmít napětí od $LM1 \cdot \delta$	$\Delta\sigma_{LM1} =$	15,67	MPa
	$\Delta\sigma_{LM1} / \Delta\sigma_{nor} =$	2,37	(sloupec tabulky 9.1)
	$L_d =$	4,8	m (řádek tabulky 9.1)

$n_{rok} =$	30	počet cyklů v jednotkách voz dle tab.9.1
$n_{ziv} = n_{rok} \cdot 100 \cdot 0,5 =$	1 480	TNV pro jeden směr, životnost mostu

VNITŘNÍ SÍLY - $M_{y,max}$ polovina rozpětí				VNITŘNÍ SÍLY - $M_{y,min}$ rámový roh			
ZS	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	ZS	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]
vlastní tíha	-25,05	6,48	0	vlastní tíha	-7,64	6,48	21,58
ostatní stálé	-11,3	-0,76	0	ostatní stálé	-4,54	-0,76	9,57
LM 1	-252	-25,6	0	LM 1	-114,48	-25,6	180,6
LM 2	108,14	-15,6	0	LM 2	-64,59	-15,6	90,91
LM 3	47,6	-5,98	0	LM 3	-36,97	-5,98	79,62
LM 1 H	0	0	14,23	LM 1 H	-31,32	-14,23	14,23
teplota +	10	-37,52	16,71	teplota +	-30,33	-37,52	16,71
teplota -	-30	24,51	31,76	teplota -	-94,01	24,51	31,76
FAT 3	-89,53	-8,31	0	FAT 3	-36,29	-8,31	55,07
ZAT N	-45,08	-4,44	0	ZAT N	-20,11	-4,44	32,28
ZAT R	-0,17	-0,01	0	ZAT R	-0,06	-0,01	0,13
ZAT E	-0,13	-0,01	0	ZAT E	-0,04	-0,01	0,09
ZAT FAT 1	-8,24	-0,73	0	ZAT FAT 1	-3,24	-0,73	5,09
ZAT Vnor	-106,2	-8,25	0	ZAT Vnor	-36,01	-8,25	54,76
ZAT Vfat		-0,78	0	ZAT Vfat	-3,54	-0,78	5,6

komb MSU	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	komb MSU	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	γ_F
stálé	-49,0725	7,72	0	stálé	-16,44	7,72	42,06	
STLM1HT+	-390,6	-80	193,7	STLM1HT+	-186,68	-236,36	316,68	
STLM1HT-	249,84	0	-30	STLM1HT-	-376,14	-143,32	381,94	
LM 2	162,21	-23,4	0	LM 2	-96,89	-23,4	136,37	
LM 3	71,4	-8,98	0	LM 3	-55,46	-8,98	119,43	
LM 1 H	246,87	-30	0	LM 1 H	-218,89	-187,81	292,25	
teplota +	15	-56,28	25,065	teplota +	-45,495	-56,28	25,065	1,5
teplota -	-45	36,765	47,64	teplota -	-141,015	36,765	47,64	1,5

komb MSP	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	komb MSP	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]
stálé	-36,35	5,72	0	stálé	-12,18	5,72	31,15
STLM1HT+	-264,03	-26,36	173,85	STLM1HT+	-156,99	-57,4	228,46
STLM1HT-	-318,35	4,63	31,76	STLM1HT-	-220,67	4,63	243,51
LM 2	108,14	-15,6	0	LM 2	-64,59	-15,6	90,91
LM 3	47,6	-5,98	0	LM 3	-36,97	-5,98	79,62
LM 1 H	0	0	14,23	LM 1 H	-31,32	-14,23	14,23
teplota +	10	-37,52	16,71	teplota +	-30,33	-37,52	16,71
teplota -	-30	24,51	31,76	teplota -	-94,01	24,51	31,76
FAT 3	-89,53	-8,31	0	FAT 3	-36,29	-8,31	55,07
ZAT N	-45,08	-4,44	0	ZAT N	-20,11	-4,44	32,28
ZAT R	-0,17	-0,01	0	ZAT R	-0,06	-0,01	0,13
ZAT E	-0,13	-0,01	0	ZAT E	-0,04	-0,01	0,09
ZAT FAT 1	-8,24	-0,73	0	ZAT FAT 1	-3,24	-0,73	5,09
ZAT Vnor	-106,2	-8,25	0	ZAT Vnor	-36,01	-8,25	54,76
ZAT Vfat	0	-0,78	0	ZAT Vfat	-3,54	-0,78	5,6

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

	M_d (kNm)	M_{dr} (kNm)
únosnost průřezu / zbývající únosnost průřezu	1102,57	1102,57
od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení	49,07	1053,50

	násobek	zatížitelnost		
zatížitelnost N	12,98	173	1053,50	0,0
zatížitelnost R	3305,09	330	1053,497	0,0
zatížitelnost E	5145,29	514	1053,497	0,0

MEZNÍ STAV ÚNAVY

	zatížitelnost
zatížitelnost N	173

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

	M_k (kNm)	M_{kr} (kNm)
napětí limitní (podélné trhliny) / zbývající napětí přepočtené na ohybový moment	753,62	753,62
od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení	36,35	717,27

	násobek	zatížitelnost		M_{kr} (kNm)
zatížitelnost N	13,26	176	717,27	0,00

VÝSLEDNÁ ZATÍŽITELNOST

zatížitelnost N	173
zatížitelnost R	330
zatížitelnost E	514

ÚNOSNOST ŽB PRŮŘEZU

C 30/37 ▼

h = 500 mm

b = 2000 mm

d_s = 22 mm

A_{stl} = 380,13 mm²

n_s = 16

10xR20

a = 50 mm

d = 450 mm

beton :

C 30/37

charakteristická tlaková pevnost

f_{ck} = 30,00 MPa

poměrné stlačení betonu

ε_{ck} = 2,00 ‰

exponent

n = 2

maximální poměrné stlačení betonu

ε_{cu2} = 3,50 ‰

λ = 0,8

η = 1

poměrné stlačení betonu -bilineární

ε_{ck} = 1,75 ‰

maximální poměrné stlačení betonu - bilineární

ε_{cu3} = 3,50 ‰

E_{cm} = 33 GPa

ocel :

B 500

E_s = 200 GPa

f_{yk} = 500 MPa

γ_s = 1,15

ε_{uk} = 75 ‰

ε_{ud} = 0,9 · ε_{uk} = 67,5 ‰

f_{yd} = f_{yk} / γ_s = 434,8 MPa

ε_{yd} = f_{yk} / E = 2,5 ‰

poměrné přetvoření

ε_c = 3,5

ε_s = 5 ‰

α_{cc} = 1,0

γ_c = 1,5

f_{cd} = α_{cc} · f_{ck} / γ_c = 20,00 MPa

f_{ctef} = 2,9 MPa

ω = E_s / E_{cm} = 6,061

doporučená hodnota 1,0

trvalá a dočasná návrhová situace

MPa

MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium III

neredukovaná část průřezu

h = 500 mm

b = 2000 mm

redukovaná část průřezu

statické hodnoty pro neredukovanou část průřezu

x = 82,6375287 mm

x_i = x / 2 = 41,32 mm

A = x · b = 165,275 · 10³ mm²

S = A · x_i = 6,829 · 10⁶ mm³

statické hodnoty pro redukovanou část průřezu

x_c = λ · x = 66,110 mm

x_{tc} = x_c / 2 = 33,06 mm

A_{cc} = b · x_c = 132,220 · 10³ mm²

S_c = A_{cc} · x_{tc} = 4,371 · 10⁶ mm³

F_c = A_{cc} · η · f_{cd} = 2644,40 kN

M_{cRd} = F_c · (x - x_{tc}) = 131,12 kNm

statické hodnoty pro celou část průřezu - betonářská ocel

i	n	z _i [mm]	A _i (mm ²)	S _i (.10 ³ mm ³)	M _{srd} (kNm)
1	16	450	6 082,1	2 737,0	971,45
2	0	406	0,0	0,0	0,00
3	0	0	0,0	0,0	0,00
			6 082,1	2 737,0	971,45

x_{lim} = d · ε_{cu3} / (ε_{yd} + ε_{cu3}) = 262,50 mm

z rovnováhy přetvoření

F_{sd} = A_{st} · f_{yd} = 2644,40 kN

F_{sd} - F_c = 0,00 kN musí být rovno nule (rovnováha sil)

M_{Rd} = M_{crd} + M_{srd} = 1102,6 kNm > M_{Sd} = 390,60 kNm

vyhovuje

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$A_c = 165\,275 \text{ mm}^2$$

$$V_{Sdc} = 193,70 \text{ kN}$$

$$V_{Sdc1} = 193,70 \text{ kN}$$

průřez bez smykové výztuže

$$V_{Rdc} = (C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 5157,2 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 399,8 \text{ kN}$$

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1,63 \leq 2,0$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 6,0821 \leq 0,02$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,12$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,40$$

$$k_l = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0 \text{ MPa}$$

$$V_{Sdkr} = V_{Sdc1} \cdot 0,7 = 135,59 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = 5157,2 \text{ kN} > V_{Sdkr} = 135,59 \text{ kN}$$

vyhovuje, není třeba smyková výztuž

průřez se smykovou výztuží

$$s = 300 \text{ mm} \quad \text{vzdálenost třmínků}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhová mez kluzu smykové výztuže}$$

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,528$$

$$v_l = v = 0,528 \quad \text{redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem}$$

$$\alpha_{cw} = 0,3$$

$$z = d - S_c / A_c = 450,0 \text{ mm}$$

$$\theta = 43^\circ \quad \text{musí být z intervalu } 21,8^\circ - 45^\circ$$

$$\text{tg } \theta = 0,933$$

$$\text{cotg } \theta = 1,072$$

$$A_{sw} = 10000 \text{ mm}^2$$

$$a_s = 50 \text{ mm}$$

$$n = 16$$

$$V_{Rds} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \text{cotg } \theta = 6993,2 \text{ kN} > V_{Sdkr} = 135,59 \text{ kN}$$

$$V_{Rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\text{cotg } \theta + \text{tg } \theta) = 1422,0 \text{ kN} > V_{Sdkr} = 135,59 \text{ kN}$$

smyková výztuž vyhovuje

POUŽITELNOST PRŮŘEZU ŽB DESKY

Omezení napětí dle čl.7.2

Omezení napětí - podélné trhliny

$$k_1 = 0,6$$

$$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_1 \cdot f_{ck} = 18 \text{ MPa} > \sigma_{ch} = 6,9 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - lineární dotvarování

$$k_2 = 0,45$$

$$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_2 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa} < \sigma_{ch} = 6,9 \text{ MPa} \quad \text{dojde k nelineárnímu dotvarování}$$

Omezení napětí - nepřijatelné trhliny a deformace

$$k_3 = 0,8$$

$$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_3 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa} > \sigma_{ch} = 93,6 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení trhlin dle čl.7.3

$$w_{\max} = 0,3 \text{ mm} \quad \text{dle tabulky 7.101N}$$

Minimální průřezové plochy výztuže

$$A_{s\min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct}$$

A_{ct} - plocha betonu v tažené části průřezu

σ_s - absolutní hodnota nejvyššího napětí ve výztuži po vzniku trhlin

f_{ctef} - průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku vzniku trhlin

k - součinitel účinku nerovnoměrného rozdělení vnitřních napětí

k_c - součinitel rozdělení napětí a ramene sil

$$k_c = 0,4 \cdot (1 - \sigma_c / (k_1 \cdot h / h^* \cdot f_{ctef})) \leq 1 \quad \text{- pro obdélníkové průřezy, stěny komor a T - průřezů}$$

$$k_c = 0,9 \cdot F_{cr} / (A_{ct} \cdot f_{ctef}) \geq 0,5 \quad \text{- pro přilehlé desky komor a T - průřezů}$$

$$\sigma_s = 15,35 \text{ MPa}$$

$$\text{OBD} \quad k_c = 0,256 \leq 1$$

$$\sigma_c = N_{Ed} / b \cdot h = 1,56 \text{ MPa}$$

$$k = 1$$

N_{Ed} - osová síla v MS použitelnosti působící na uvažovanou část průřezu (tlak +)

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 2000 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 1562,71 \text{ kN}$$

$$h^* = 500 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1,5$$

F_{cr} - absolutní hodnota tahové síly před vznikem trhlin pomocí f_{ctef}

dle čl. 6.8.2

$$\xi = 0,3$$

$$\xi_1 = (\xi \cdot \phi_s / \phi_p)^{0,5} = 1,173$$

$$\phi_s = 22 \text{ mm}$$

$$A_{ct} = 475\,000,0 \text{ mm}^2$$

plocha betonu v tažené části průřezu před vznikem trhlin

$$\phi_p = 4,8 \text{ mm}$$

$$A_{s\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct} / \sigma_s = 22995,2 \text{ mm}^2$$

$$n_{\min} = A_{s\min} / (\pi \cdot d^2 / 4) = 61$$

Maximální průměr prutu

$$\sigma_{sc} = 81,84 \text{ MPa}$$

$$\phi_s^* = 25 \text{ mm} \quad \text{dle tab.7.2N}$$

$$d = 450 \text{ mm}$$

$$h_{cr} = 237,50 \text{ mm}$$

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot (f_{ctef} / 2,9) \cdot k_c \cdot h_{cr} / 2 / (h - d) = 5,5 \text{ mm} \quad \text{pro ohybové namáhání}$$

Výpočet šířky trhlin

$$w_k = s_{r\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

w_k - šířka trhliny

$s_{r\max}$ - maximální vzdálenost trhlin

ϵ_{sm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže (pouze přídatné tahové přetvoření)

ϵ_{cm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlínami

$$f_{cteff} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\xi_1 = 1,173$$

$$A_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 6\,082,1 \text{ mm}^2$$

$$A_{cef} = 2\,000,0 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_e = 6,06$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (\sigma_s - k_t \cdot f_{cteff} / \rho_{per} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{per})) / E_s \geq 0,6 \cdot \sigma_s / E_s$$

$$\rho_{per} = (A_s + \xi_1 \cdot A_p) / A_{cef} = 3,041$$

$$k_t = 0,6$$

krátkodobé zatížení

$$\sigma_s = 81,84 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,354 \geq 0,246$$

vyhovuje

dle čl.7.3.4

$$c = 39 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\phi = \phi_{eq} = (n_1 \cdot \phi_1^2 + n_2 \cdot \phi_2^2) / (n_1 \cdot \phi_1 + n_2 \cdot \phi_2) = 20,00$$

$$n_1 = 8$$

$$\phi_1 = 20$$

$$n_2 = 0$$

$$\phi_2 = 0$$

$$s_{r\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{per} = 133,718$$

$$w_k = s_{r\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,047 \text{ mm} < w_{\max} = 0,3 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

ÚNOSNOST ŽB PRŮŘEZU

celý průřez pružně

C 30/37 ▼

h = 500 mm
b = 2000 mm
h₁ = mm

d_s = 22 mm
A_{st} = 380,13 mm²
n_s = 16

a = 50 mm
d = 450 mm

beton : **C 30/37**
charakteristická tlaková pevnost f_{ck} = 30,00 MPa
poměrné stlačení betonu ε_{c2} = 2,00 ‰
exponent n = 2
maximální poměrné stlačení betonu ε_{cu2} = 3,50 ‰
λ = 0,8
η = 1
poměrné stlačení betonu -bilineární ε_{c3} = 1,75 ‰
maximální poměrné stlačení betonu - bilineární ε_{cu3} = 3,50 ‰
E_{cm} = 33 GPa

ocel : **B 500**
E_s = 200 GPa
f_{yk} = 500 MPa
γ_s = 1,15
ε_{uk} = 75 ‰
ε_{ud} = 0,9 · ε_{uk} = 67,5 ‰
f_{yd} = f_{yk} / γ_s = 434,8 MPa
ε_{yd} = f_{yk} / E = 2,5 ‰

poměrné přetvoření ε_c = 3,5 ‰
ε_s = 5 ‰
α_{cc} = 1,0 doporučená hodnota 1,0
γ_c = 1,5 trvalá a dočasná návrhová situace
f_{cd} = α_{cc} · f_{ck} / γ_c = 20,00 MPa
ω = E_s / E_{cm} = 6,061
γ = max(1,6 - h / 1000; 1) = 1,1
f_{ct} = 2,9 MPa
f_{ctd} = γ · f_{ctm} = 3,19 MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium I
neredukovaný průřez

statické hodnoty pro neredukovaný průřez

$x_t = h / 2 = 250,00$ mm
 $A = h \cdot b = 1\,000,000$ ·10³ mm²
 $S = A \cdot x_t = 250,000$ ·10⁶ mm³
 $S_{id} = S + \omega \cdot S_s = 266,59$ ·10⁶ mm³
 $A_{id} = A + \omega \cdot A_s = 1036,86$ ·10³ mm²
 $z_{id} = S_{id} / A_{id} = 257,11$ mm
 $e_{hi} = z_{ti} = 257,11$ mm
 $e_{di} = h - e_{hi} = 242,89$ mm
 $I = b \cdot h^3 / 12 + A \cdot (z_{tid} - x_t)^2 = 20\,883,89$ ·10⁶ mm⁴
 $I_s = A_s \cdot (z_i - z_{tid})^2 = 226,29$ ·10⁶ mm⁴
 $I_{id} = I + \omega \cdot I_s = 22\,255,37$ ·10⁶ mm⁴
 $W_{idh} = I_{id} / e_{hi} = 86,56$ ·10⁶ mm³
 $W_{idd} = I_{id} / e_{di} = 91,63$ ·10⁶ mm³
 $A_{ct} = b \cdot (h - x_{lim}) = 475,0$ ·10³ mm²
 $x_{lim} = d \cdot \epsilon_{cu3} / (\epsilon_{yd} + \epsilon_{cu3}) = 262,50$ mm z rovnováhy přetvoření

statické hodnoty pro celou část průřezu - betonářská ocel

i	n	z _i [mm]	A _i (mm ²)	S _i (.10 ³ mm ³)
1	16	450	6 082,1	2 737,0
2	0	406	0,0	0,0
3	0	0	0,0	0,0
			6 082,1	2 737,0

M_{smaxI} = W_{idd} · f_{ctd} = 292,3 kNm maximální moment pro stádium I
σ_h = M_{smaxI} / W_{idh} = 3,38 MPa
σ_d = M_{smaxI} / W_{idd} = 3,19 MPa
σ_{ds} = σ_d · ω · (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 15,35 MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium II

neredukovaný průřez

$$\begin{aligned} h &= 500 \text{ mm} \\ b &= 2000 \text{ mm} \end{aligned}$$

statické hodnoty pro stádium II

$$\begin{aligned} x &= 226,902521 \text{ mm} & I &= b \cdot x^3 / 12 + A_s \cdot (z_{tid} - x_i)^2 = 2\,237,09 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ x_i &= x / 2 = 113,45 \text{ mm} & I_s &= \pi \cdot d^4 / 64 + A_s \cdot (z_i - z_{tid})^2 = 589,29 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ A &= x \cdot b = 453,805 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 & I_{id} &= I + \omega \cdot I_s = 5\,808,52 \cdot 10^6 \text{ mm}^4 \\ S &= A \cdot x_i = 51,485 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 & W_{idh} &= I_{id} / e_{hi} = 41,87 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ S_{id} &= S + \omega \cdot S_s = 68,07 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 & W_{idd} &= I_{id} / e_{di} = 16,08 \cdot 10^6 \text{ mm}^3 \\ A_{id} &= A + \omega \cdot A_s = 490,67 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \\ z_{tid} &= S_{id} / A_{id} = 138,73 \text{ mm} \\ e_{hi} &= z_{tid} = 138,73 \text{ mm} \\ e_{di} &= h - e_{hi} = 361,27 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$M_{smaxII} = W_{idh} \cdot 0,4 \cdot f_{cd} = 334,9 \text{ kNm}$$

maximální moment pro stádium II

maximální napětí pro stádium II

$$\begin{aligned} \sigma_h &= M_{smaxII} / W_{idh} = 8,00 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 661,62 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smaxII} / W_{idd} = 20,83 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 1815,22 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 108,78 \text{ MPa} & r_s &= d - z_{tid} = 311,27 \text{ mm} \\ & & r_c &= x / 2 = 113,45 \text{ mm} \\ 0 &= M_c - M_s = F_c \cdot r_c - F_s \cdot r_s = 0,00 \text{ Nm} \end{aligned}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení ZAT N

$$\begin{aligned} M_{smax} &= 585,3 \text{ kNm} \\ \sigma_h &= M_{smax} / W_{idh} = 6,76 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 202,87 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smax} / W_{idd} = 6,39 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 1534,21 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 33,35 \text{ MPa} \end{aligned}$$

hodnoty pro maximální moment rozkmitu napětí FAT model 1

$$\begin{aligned} M_{smax} &= 8,2 \text{ kNm} \\ \sigma_h &= M_{smax} / W_{idh} = 0,20 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 13,43 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smax} / W_{idd} = 0,51 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 49,20 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 2,21 \text{ MPa} \end{aligned}$$

hodnoty pro maximální moment rozkmitu napětí FAT model 3

$$\begin{aligned} M_{smax} &= 89,5 \text{ kNm} \\ \sigma_h &= M_{smax} / W_{idh} = 2,14 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 176,85 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smax} / W_{idd} = 5,57 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 485,21 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 29,08 \text{ MPa} \end{aligned}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení LM1

$$\begin{aligned} M_{smax} &= 252,0 \text{ kNm} \\ \sigma_h &= M_{smax} / W_{idh} = 6,02 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 497,78 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smax} / W_{idd} = 15,67 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 1365,71 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 81,84 \text{ MPa} \end{aligned}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení V_{noc}

$$\begin{aligned} M_{smax} &= 106,2 \text{ kNm} \\ \sigma_h &= M_{smax} / W_{idh} = 2,54 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 209,78 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smax} / W_{idd} = 6,61 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 575,55 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 34,49 \text{ MPa} \end{aligned}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení LM1 a stálého zatížení

jen porovnávací hodnota pro zjištění zatížitelnosti únavy a MSP

$$\begin{aligned} M_{smax} &= 288,4 \text{ kNm} \\ \sigma_h &= M_{smax} / W_{idh} = 6,89 \text{ MPa} & F_s &= \sigma_{ds} \cdot A_s = 569,58 \text{ kN} \\ \sigma_d &= M_{smax} / W_{idd} = 17,93 \text{ MPa} & F_c &= \sigma_h / 2 \cdot A = 1562,71 \text{ kN} \\ \sigma_{ds} &= \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_i - z_{tid}) / e_{di} = 93,65 \text{ MPa} \end{aligned}$$

ÚNAVA

$$\begin{aligned}
 A_s &= 6,082 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \\
 A_p &= 0,00 \text{ mm}^2 \\
 \xi &= 0,3 \quad \text{dle tab.6.2 EN 1992-1-1} \\
 \phi_s &= 12 \text{ mm} \quad \text{největší použitý průměr betonářské výztuže} \\
 \phi_p &= 1,6 \cdot A_p^{0,5} = 0,00 \text{ mm} \quad \text{průměr předpínací výztuže} \\
 \eta &= (A_s + A_p) / (A_s + A_p \cdot (\xi \cdot (\phi_s / \phi_p))^{0,5}) \\
 \eta &= 1,00
 \end{aligned}$$

Ověření pro betonářskou a předpínací ocel - dle Palmgren - Minerova pravidla

$$\begin{aligned}
 \gamma_{fat} &= 1,00 \quad \text{dle tab.6.3N EN 1992-1-1} \\
 \Delta\sigma &= \text{MPa} \quad \text{rozkmít zatížení} \quad k_1 = 5 \quad \text{dle tab.6.4N EN 1992-1-1} \\
 \Delta\sigma_{Rsk} &= 162,5 \text{ MPa} \quad \text{odolnost pro } N^* \text{ cyklů} \quad k_2 = 9 \\
 \gamma_{Sfat} &= 1 \\
 \Delta\sigma_{Rsfat} &= \Delta\sigma_{Rsk} / \gamma_{Sfat} = 162,5 \text{ MPa} \quad \text{odolnost pro } N^* \text{ cyklů}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 n(\Delta\sigma) &= \text{použitý počet cyklů s rozkmítem } \Delta\sigma \\
 N(\Delta\sigma) &= \text{počet cyklů rozkmítu } \Delta\sigma, \text{ který vyvolí únavové porušení}
 \end{aligned}$$

$$D_{Ed} = n(\Delta\sigma) / N(\Delta\sigma) < 1 \quad \text{součinitel únavového poškození}$$

log N	log $\Delta\sigma_{Rsk}$
0	2,25
1	2,25
6	2,21
15	1,21

$$\begin{aligned}
 \sigma_{0,2} &= \sigma_{yd} = 1 \text{ 760} \text{ kp/cm}^2 \\
 \sigma_{0,2} &= \sigma_{yd} = 180 \text{ MPa} \quad \text{zaručená smluvní mez kluzu} \\
 \log \sigma_{0,2} &= \log \sigma_{yd} = 2,25
 \end{aligned}$$

dle zatížení únavy model 3

FAT 3	$\Delta\sigma_{rs}$	log $\Delta\sigma_{rs}$	log N	N (10^9)	n (10^6)
1	29,1	1,5	13	5318	0,120

$$D_{Ed} = 0,000 < 1 \quad \text{vyhovuje}$$

Dle ČSN EN 1992-2 příloha NN - zjednodušený postup pro výztuž

$$\begin{aligned}
 \Delta\sigma_{sequ} &= \Delta\sigma_{sec} \cdot \lambda_s \quad \text{síly od modelu zatížení únavou 3 násobit} \\
 &\quad 1,4 \text{ pro posouzení v jiných oblastech} \\
 &\quad 1,75 \text{ pro posouzení u mezilehlých podpor spojitých mostů} \\
 \Delta\sigma_{sec} &= 29,08 \text{ rozkmít napětí vyvolaný modelem zatížení na únavu 3} \\
 \lambda_s &= \text{součinitel ekvivalentního poškození únavou (poloha objektu, intenzita dopravy, životnost, rozpětí)} \\
 \lambda_{s1} &= 1,15 \text{ druh konstrukčního prvku a poškozuji účinek dopravy s ohledem na příčinkovou čáru-plochu} \\
 \lambda_{s2} &= \text{intenzita dopravy} \\
 \lambda_{s3} &= \text{návrhová provozní životnost mostu} \\
 \lambda_{s4} &= 1 \text{ při zatížení z více než jednoho zatěžovacího pruhu} \\
 \phi_{fat} &= 1,4 \text{ dynamický součinitel - drsnost povrchu vozovky} \quad 1,2 - \text{dobrá kvalita; } 1,4 - \text{střední kvalita} \\
 \lambda_s &= \phi_{fat} \cdot \lambda_{s1} \cdot \lambda_{s2} \cdot \lambda_{s3} \cdot \lambda_{s4} \\
 \lambda_s &= 4,067 \\
 k_2 &= 9 \quad \text{dle tab 6.4N EN 1992-1-1} \\
 Q &= 0,82 \quad \text{dle tab NN.1 EN 1992-2} \\
 \Delta\sigma_s = k_1 &= 70 \text{ MPa} \quad N_{obs} = 50 \text{ 000} \\
 \lambda_{s2} &= Q \cdot (N_{obs} / 2)^{1/k_2} = 2,526 \\
 N_{Years} &= 100 \quad \text{návrhová životnost mostu} \\
 \lambda_{s3} &= (N_{Years} / 100)^{1/k_2} = 1,000
 \end{aligned}$$

posouzení na odpovídající únavovou únosnost v tahu

$$\Delta\sigma_{sequ} = \Delta\sigma_{sec} \cdot \lambda_s = 118,26 \text{ MPa}$$

FAT 3	$\Delta\sigma$	log $\Delta\sigma$	log N	N	n
1	118,3	2,1	7	17,460	0,120

$$D_{Ed} = 0,007 > 1 \quad \text{nevyhovuje v zjednodušeném postupu dle modelu FAT 3}$$

Ověření betonu namáhaného tlakem nebo smykem

Die Minerova pravidla $\Sigma (n_i / N_i) \leq 1$
pro $i = 1$ až m

m - počet intervalů s konstantní amplitudou

n_i - skutečný počet zatěžovacích cyklů o konstantní amplitudě v intervalu "i"

N_i - maximální počet zatěžovacích cyklů o konstantní amplitudě v intervalu "i"

$$N_i = 10 \cdot e^{\exp(14 \cdot (1 - E_{cdmaxi} / (1 - R_i))^{0.5})}$$

$$R_i = E_{cdmini} / E_{cdmaxi}$$

$$E_{cdmini} = \sigma_{cdmini} / f_{cdfat}$$

$$E_{cdmaxi} = \sigma_{cdmaxi} / f_{cdfat}$$

- poměr napětí

σ_{cdmini} , σ_{cdmaxi} - dolní a horní napětí v zatěžovacím cyklu

E_{cdmaxi} , E_{cdmini} - minimální a maximální úroveň tlakového napětí

$$f_{cdfat} = k_1 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 14,96$$

MPa - návrhová hodnota únavové pevnosti betonu

$$k_1 = 0,85$$

$$\beta_{cc}(t_0) = e^{\exp(s \cdot (1 - (28 / t_0)^{0.5}))} = 1,000$$

- součinitel pevnosti betonu při jeho prvním zatížení

$$s = 0,25$$

- koeficient druhu cementu (0,20 - třída R, 0,25 - třída N, 0,38 - třída S)

$$t_0 = 28$$

- stáří betonu ve dnech, na začátku cyklického zatěžování

$$f_{cd} = 20,00$$

MPa

$$f_{ck} = 30,00$$

MPa

zatížitelnost	σ_{cd1}	σ_{cd3}
min	0,87	0,87
max	6,89	3,01
R_i	0,126	0,289
E_{cdmini}	0,06	0,06
E_{cdmaxi}	0,46	0,20
N_i	12179,028	427269,759
n_i	0,001	0,120
n_i / N_i	0,000	0,000

0,000

< 1

vyhovuje na únavu model FAT 3

0,000

< 1

vyhovuje na únavu zatížitelnost FAT1

STOJKA RÁMU - rámový roh

ZATÍŽENÍ A VNITŘNÍ SÍLY

VLASTNÍ TÍHA A OSTATNÍ STÁLÉ ZATÍŽENÍ

$g_o =$	3,64 kN/m	130 mm (120 mm živice...22 a 10 mm izolace...22)
$g_s =$	12,5 kN/m	ŽB (A = 0,5 m ² průřez...25)
$g_{sz} =$	30 kN/m	tíha zeminy na základ (hutněný štěrk h=2,6 m...20)
$g_{sz2} =$	12 kN/m	tíha zeminy na základ (hutněný štěrk h=0,6 m...20)
$\gamma_Q =$	1,35	

ZATÍŽITELNOST N

L =	2	m
$\gamma_Q =$	1,5	
$\delta_2 =$	1,2	

příčel rámu	
$L_d = 0,8 \cdot L =$	2 m
$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923} =$	47,8 Hz

ZATÍŽITELNOST R

$\gamma_Q =$	1,5
$\delta_1 =$	1,25

ZATÍŽENÍ ÚNAVA MODEL 3

$\Delta\phi_{fat} =$	1,40
$\gamma_{fat} =$	1,00
$\delta_2 =$	1,2

ZATÍŽITELNOST E

$\gamma_Q =$	1,5
$\delta =$	1,05

ZATÍŽITELNOST ÚNAVA

koeficient pro redukci hodnot modelu pro zatížitelnost únavovou FAT 1 (vychází z modelu pro ZAT N)

Tab.9.1-3	provoz:	500	P1 (velmi těžký)	dle tab.9.2
			0,500	dle tab.9.3

rozkmít napětí od $V_{nor} \cdot \delta$	$\Delta\sigma_{nor} =$	13,82	MPa
rozkmít napětí od LM1 $\cdot \delta$	$\Delta\sigma_{LM1} =$	32,85	MPa
	$\Delta\sigma_{LM1} / \Delta\sigma_{nor} =$	2,38	(sloupec tabulky 9.1)
	$L_d =$	2	m (řádek tabulky 9.1)

$n_{rok} =$	44	počet cyklů v jednotkách voz dle tab.9.1
$n_{ziv} = n_{rok} \cdot 100 \cdot 0,5 =$	2 200	TNV pro jeden směr, životnost mostu

VNITŘNÍ SÍLY - $M_{y,max}$ polovina rozpětí				VNITŘNÍ SÍLY - $M_{y,min}$ rámový roh			
ZS	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	ZS	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]
vlastní tíha	-32,99	6,48	0	vlastní tíha	-7,64	6,48	21,58
ostatní stálé	-11,72	-0,76	0	ostatní stálé	-4,54	-0,76	9,57
LM 1	-264,11	-25,6	0	LM 1	-114,48	-25,6	180,6
LM 2	108,14	-15,6	0	LM 2	-64,59	-15,6	90,91
LM 3	47,6	-5,98	0	LM 3	-36,97	-5,98	79,62
LM 1 H	0	0	14,23	LM 1 H	-31,32	-14,23	14,23
teplota +	10	-37,52	16,71	teplota +	-30,33	-37,52	16,71
teplota -	-30	24,51	31,76	teplota -	-94,01	24,51	31,76
FAT 3	-93,64	-8,31	0	FAT 3	-36,29	-8,31	55,07
ZAT N	-47,09	-4,44	0	ZAT N	-20,11	-4,44	32,28
ZAT R	-0,18	-0,01	0	ZAT R	-0,06	-0,01	0,13
ZAT E	-0,12	-0,01	0	ZAT E	-0,04	-0,01	0,09
ZAT FAT 1	-8,61	-0,73	0	ZAT FAT 1	-3,24	-0,73	5,09
ZAT Vnor	-111,08	-8,25	0	ZAT Vnor	-36,01	-8,25	54,76
ZAT Vfat	0	-0,78	0	ZAT Vfat	-3,54	-0,78	5,6

komb MSU	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	komb MSU	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	γ_F
stálé	-60,3585	7,72	0	stálé	-16,44	7,72	42,06	
STLM1HT+	-418,64	-80	521	STLM1HT+	-186,68	-236,36	316,68	
STLM1HT-	249,84	0	-30	STLM1HT-	-376,14	-143,32	381,94	
LM 2	162,21	-23,4	0	LM 2	-96,89	-23,4	136,37	
LM 3	71,4	-8,98	0	LM 3	-55,46	-8,98	119,43	
LM 1 H	246,87	-30	0	LM 1 H	-218,89	-187,81	292,25	
teplota +	15	-56,28	25,065	teplota +	-45,495	-56,28	25,065	1,5
teplota -	-45	36,765	47,64	teplota -	-141,015	36,765	47,64	1,5

komb MSP	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]	komb MSP	M_y [kNm]	N [kN]	V_z [kN]
stálé	-44,71	5,72	0	stálé	-12,18	5,72	31,15
STLM1HT+	-282,73	-57,4	322,9	STLM1HT+	-156,99	-57,4	228,46
STLM1HT-	-338,82	4,63	31,76	STLM1HT-	-220,67	4,63	243,51
LM 2	108,14	-15,6	0	LM 2	-64,59	-15,6	90,91
LM 3	47,6	-5,98	0	LM 3	-36,97	-5,98	79,62
LM 1 H	0	0	14,23	LM 1 H	-31,32	-14,23	14,23
teplota +	10	-37,52	16,71	teplota +	-30,33	-37,52	16,71
teplota -	-30	24,51	31,76	teplota -	-94,01	24,51	31,76
FAT 3	-93,64	-8,31	0	FAT 3	-36,29	-8,31	55,07
ZAT N	-47,09	-4,44	0	ZAT N	-20,11	-4,44	32,28
ZAT R	-0,18	-0,01	0	ZAT R	-0,06	-0,01	0,13
ZAT E	-0,12	-0,01	0	ZAT E	-0,04	-0,01	0,09
ZAT FAT 1	-8,61	-0,73	0	ZAT FAT 1	-3,24	-0,73	5,09
ZAT Vnor	-111,08	-8,25	0	ZAT Vnor	-36,01	-8,25	54,76
ZAT Vfat	0	-0,78	0	ZAT Vfat	-3,54	-0,78	5,6

MEZNÍ STAV ÚNOSNOSTI

	M_d (kNm)	M_{dr} (kNm)
únosnost průřezu / zbývající únosnost průřezu	551,28	551,28
od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení	60,36	490,93

	násobek	zatížitelnost		
zatížitelnost N	5,79	77	490,93	0,0
zatížitelnost R	1454,60	145	490,926	0,0
zatížitelnost E	2597,49	259	490,926	0,0

MEZNÍ STAV ÚNAVY

	zatížitelnost
zatížitelnost N	77

MEZNÍ STAV POUŽITELNOSTI

	M_k (kNm)	M_{kr} (kNm)
napětí limitní (podélné trhliny) / zbývající napětí	376,82	376,82
přepočtené na ohybový moment		
od vlastní tíhy a ostatního stálého zatížení	44,71	332,11

	násobek	zatížitelnost		M_{kr} (kNm)
zatížitelnost N	5,88	78	332,11	0,00

VÝSLEDNÁ ZATÍŽITELNOST

zatížitelnost N	77
zatížitelnost R	145
zatížitelnost E	259

ÚNOSNOST ŽB PRŮŘEZU

C 30/37 ▼

h = 500 mm

b = 1000 mm

d_s = 22 mm

A_{sl} = 380,13 mm²

n_s = 8

a = 50 mm

d = 450 mm

beton :

C 30/37

charakteristická tlaková pevnost

f_{ck} = 30,00 MPa

poměrné stlačení betonu

ε_{ck} = 2,00 ‰

exponent

n = 2

maximální poměrné stlačení betonu

ε_{cu2} = 3,50 ‰

λ = 0,8

η = 1

poměrné stlačení betonu -bilineární

ε_{ck} = 1,75 ‰

maximální poměrné stlačení betonu - bilineární

ε_{cu3} = 3,50 ‰

E_{cm} = 33 GPa

ocel :

B 500

E_s = 200 GPa

f_{yk} = 500 MPa

γ_s = 1,15

ε_{uk} = 75 ‰

ε_{ud} = 0,9 · ε_{uk} = 67,5 ‰

f_{yd} = f_{yk} / γ_s = 434,8 MPa

ε_{yd} = f_{yk} / E = 2,5 ‰

poměrné přetvoření

ε_c = 3,5

ε_s = 5 ‰

α_{cc} = 1,0

γ_c = 1,5

f_{cd} = α_{cc} · f_{ck} / γ_c = 20,00 MPa

f_{ctef} = 2,9 MPa

ω = E_s / E_{cm} = 6,061

doporučená hodnota 1,0

trvalá a dočasná návrhová situace

MPa

MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium III

neredukovaná část průřezu

h = 500 mm

b = 1000 mm

redukovaná část průřezu

statické hodnoty pro neredukovanou část průřezu

x = 82,6375287 mm

x_i = x / 2 = 41,32 mm

A = x · b = 82,638 · 10³ mm²

S = A · x_i = 3,414 · 10⁶ mm³

statické hodnoty pro redukovanou část průřezu

x_c = λ · x = 66,110 mm

x_{tc} = x_c / 2 = 33,06 mm

A_{cc} = b · x_c = 66,110 · 10³ mm²

S_c = A_{cc} · x_{tc} = 2,185 · 10⁶ mm³

F_c = A_{cc} · η · f_{cd} = 1322,20 kN

M_{cRd} = F_c · (x - x_{tc}) = 65,56 kNm

statické hodnoty pro celou část průřezu - betonářská ocel

i	n	z _i [mm]	A _i (mm ²)	S _i (.10 ³ mm ³)	M _{srd} (kNm)
1	8	450	3 041,1	1 368,5	485,73
2	0	406	0,0	0,0	0,00
3	0	0	0,0	0,0	0,00
			3 041,1	1 368,5	485,73

x_{lim} = d · ε_{cu3} / (ε_{yd} + ε_{cu3}) = 262,50 mm

z rovnováhy přetvoření

F_{sd} = A_{st} · f_{yd} = 1322,20 kN

F_{sd} - F_c = 0,00 kN musí být rovno nule (rovnováha sil)

M_{Rd} = M_{crd} + M_{srd} = 551,3 kNm > M_{Sd} = 418,64 kNm

vyhovuje

$$N_{Ed} = 0 \text{ kN}$$

$$A_c = 82\,638 \text{ mm}^2$$

$$V_{Sdc} = 521,00 \text{ kN}$$

$$V_{Sdc1} = 521,00 \text{ kN}$$

průřez bez smykové výztuže

$$V_{Rdc} = (C_{Rdc} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 2578,6 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = (v_{min} + k_l \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d = 199,9 \text{ kN}$$

$$k = 1 + (200 / d)^{1/2} = 1,63 \leq 2,0$$

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w \cdot d) = 6,0821 \leq 0,02$$

$$C_{Rdc} = 0,18 / \gamma_c = 0,12$$

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0,40$$

$$k_l = 0,15$$

$$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c = 0 \text{ MPa}$$

$$V_{Sdcr} = V_{Sdc1} \cdot 0,7 = 364,70 \text{ kN}$$

$$V_{Rdc} = 2578,6 \text{ kN} > V_{Sdcr} = 364,70 \text{ kN}$$

vyhovuje, není třeba smyková výztuž

průřez se smykovou výztuží

$$s = 300 \text{ mm} \quad \text{vzdálenost třmínků}$$

$$f_{ywd} = 434,78 \text{ MPa} \quad \text{návrhová mez kluzu smykové výztuže}$$

$$v = 0,6 \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 0,528$$

$$v_l = v = 0,528 \quad \text{redukční součinitel pevnosti betonu při porušení smykem}$$

$$\alpha_{cw} = 0,3$$

$$z = d - S_c / A_c = 450,0 \text{ mm}$$

$$\theta = 43^\circ \quad \text{musí být z intervalu } 21,8^\circ - 45^\circ$$

$$\tan \theta = 0,933$$

$$\cot \theta = 1,072$$

$$A_{sw} = 5000 \text{ mm}^2$$

$$a_s = 50 \text{ mm}$$

$$n = 8$$

$$V_{Rds} = A_{sw} / s \cdot z \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta = 3496,6 \text{ kN} > V_{Sdcr} = 364,70 \text{ kN}$$

$$V_{Rdmax} = \alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_l \cdot f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) = 711,0 \text{ kN} > V_{Sdcr} = 364,70 \text{ kN}$$

smyková výztuž vyhovuje

POUŽITELNOST PRŮŘEZU ŽB DESKY

Omezení napětí dle čl.7.2

Omezení napětí - podélné trhliny

$$k_1 = 0,6$$

$$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_1 \cdot f_{ck} = 18 \text{ MPa} > \sigma_{ch} = 14,8 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení napětí - lineární dotvarování

$$k_2 = 0,45$$

$$f_{ck} = 30,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_2 \cdot f_{ck} = 13,5 \text{ MPa} < \sigma_{ch} = 14,8 \text{ MPa} \quad \text{dojde k nelineárnímu dotvarování}$$

Omezení napětí - nepřijatelné trhliny a deformace

$$k_3 = 0,8$$

$$f_{yk} = 500,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{kr} = k_3 \cdot f_{yk} = 400 \text{ MPa} > \sigma_{ch} = 200,6 \text{ MPa} \quad \text{vyhovuje}$$

Omezení trhlin dle čl.7.3

$$w_{\max} = 0,3 \text{ mm} \quad \text{dle tabulky 7.101N}$$

Minimální průřezové plochy výztuže

$$A_{s\min} \cdot \sigma_s = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct}$$

A_{ct} - plocha betonu v tažené části průřezu

σ_s - absolutní hodnota nejvyššího napětí ve výztuži po vzniku trhlin

f_{ctef} - průměrná hodnota pevnosti betonu v tahu v okamžiku vzniku trhlin

k - součinitel účinku nerovnoměrného rozdělení vnitřních napětí

k_c - součinitel rozdělení napětí a ramene sil

$$k_c = 0,4 \cdot (1 - \sigma_c / (k_1 \cdot h / h^* \cdot f_{ctef})) \leq 1 \quad \text{- pro obdélníkové průřezy, stěny komor a T - průřezů}$$

$$k_c = 0,9 \cdot F_{cr} / (A_{ct} \cdot f_{ctef}) \geq 0,5 \quad \text{- pro přilehlé desky komor a T - průřezů}$$

$$\sigma_s = 15,35 \text{ MPa}$$

$$\text{OBD} \quad k_c = 0,092 \leq 1$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$N_{Ed} = 1673,63 \text{ kN}$$

$$\sigma_c = N_{Ed} / b \cdot h = 3,35 \text{ MPa}$$

$$k = 1$$

N_{Ed} - osová síla v MS použitelnosti působící na uvažovanou část průřezu (tlak +)

$$h^* = 500 \text{ mm}$$

$$k_1 = 1,5$$

F_{cr} - absolutní hodnota tahové síly před vznikem trhlin pomocí f_{ctef}

dle čl. 6.8.2

$$\xi = 0,3$$

$$\xi_1 = (\xi \cdot \phi_s / \phi_p)^{0,5} = 1,173$$

$$\phi_s = 22 \text{ mm}$$

$$A_{ct} = 237\,500,0 \text{ mm}^2$$

plocha betonu v tažené části průřezu před vznikem trhlin

$$\phi_p = 4,8 \text{ mm}$$

$$A_{s\min} = k_c \cdot k \cdot f_{ctef} \cdot A_{ct} / \sigma_s = 4136,3 \text{ mm}^2$$

$$n_{\min} = A_{s\min} / (\pi \cdot d^2 / 4) = 11$$

Maximální průměr prutu

$$\sigma_{sc} = 171,55 \text{ MPa}$$

$$\phi_s^* = 25 \text{ mm}$$

dle tab.7.2N

$$d = 450 \text{ mm}$$

$$h_{cr} = 237,50 \text{ mm}$$

$$\phi_s = \phi_s^* \cdot (f_{ctef} / 2,9) \cdot k_c \cdot h_{cr} / 2 / (h - d) = 2,0 \text{ mm} \quad \text{pro ohybové namáhání}$$

Výpočet šířky trhlin

$$w_k = s_{r\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm})$$

w_k - šířka trhliny

$s_{r\max}$ - maximální vzdálenost trhlin

ϵ_{sm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření výztuže (pouze přídatné tahové přetvoření)

ϵ_{cm} - průměrná hodnota poměrného přetvoření betonu mezi trhlami

$$f_{cteff} = 2,9 \text{ MPa}$$

$$E_s = 200 \text{ GPa}$$

$$\xi_1 = 1,173$$

$$A_p = 0 \text{ mm}^2$$

$$A_s = 3\,041,1 \text{ mm}^2$$

$$A_{cef} = 2\,000,0 \text{ mm}^2$$

$$\alpha_e = 6,06$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (\sigma_s - k_t \cdot f_{cteff} / \rho_{per} \cdot (1 + \alpha_e \cdot \rho_{per})) / E_s \geq 0,6 \cdot \sigma_s / E_s$$

$$k_t = 0,6 \quad \text{krátkodobé zatížení}$$

$$\rho_{per} = (A_s + \xi_1 \cdot A_p) / A_{cef} = 1,521$$

$$\sigma_s = 171,55 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = 0,799$$

$$\geq 0,515$$

vyhovuje

dle čl.7.3.4

$$c = 39 \text{ mm}$$

$$k_1 = 0,8$$

$$k_2 = 0,5$$

$$k_3 = 3,4$$

$$k_4 = 0,425$$

$$\phi = \phi_{eq} = (n_1 \cdot \phi_1^2 + n_2 \cdot \phi_2^2) / (n_1 \cdot \phi_1 + n_2 \cdot \phi_2) = 20,00$$

$$n_1 = 8$$

$$\phi_1 = 20$$

$$n_2 = 0$$

$$\phi_2 = 0$$

$$s_{r\max} = k_3 \cdot c + k_1 \cdot k_2 \cdot k_4 \cdot \phi / \rho_{per} = 134,836$$

$$w_k = s_{r\max} \cdot (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,108 \text{ mm} < w_{\max} = 0,3 \text{ mm} \quad \text{vyhovuje}$$

C 30/37 ▼

h = 500 mm

b = 1000 mm

h_l = mm

d_s = 22 mm

A_{s1} = 380,13 mm²

n_s = 8

a = 50 mm

d = 450 mm

ÚNOSNOST ŽB PRŮŘEZU

celý průřez pružně

beton : C 30/37

charakteristická tlaková pevnost f_{ck} = 30,00 MPa

poměrné stlačení betonu ε_{c2} = 2,00 ‰

exponent n = 2

maximální poměrné stlačení betonu ε_{cu2} = 3,50 ‰

λ = 0,8

η = 1

poměrné stlačení betonu - bilineární ε_{c3} = 1,75 ‰

maximální poměrné stlačení betonu - bilineární ε_{cu3} = 3,50 ‰

E_{cm} = 33 GPa

ocel : B 500

E_s = 200 GPa

f_{yk} = 500 MPa

γ_s = 1,15

ε_{uk} = 75 ‰

ε_{ud} = 0,9 · ε_{uk} = 67,5 ‰

f_{yd} = f_{yk} / γ_s = 434,8 MPa

ε_{yd} = f_{yk} / E = 2,5 ‰

poměrné přetvoření ε_c = 3,5 ‰

ε_s = 5 ‰

α_{cc} = 1,0 doporučená hodnota 1,0

γ_c = 1,5 trvalá a dočasná návrhová situace

f_{cd} = α_{cc} · f_{ck} / γ_c = 20,00 MPa

ω = E_s / E_{cm} = 6,061

f_{ct} = 2,9 MPa

γ = max(1,6 · h / 1000; 1) = 1,1

f_{ctd} = γ · f_{ctm} = 3,19 MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium I
neredukovaný průřez

statické hodnoty pro neredukovaný průřez

x_t = h / 2 = 250,00 mm

A = h · b = 500,000 · 10³ mm²

S = A · x_t = 125,000 · 10⁶ mm³

S_{id} = S + ω · S_s = 133,29 · 10⁶ mm³

A_{id} = A + ω · A_s = 518,43 · 10³ mm²

z_{tid} = S_{id} / A_{id} = 257,11 mm

e_{hi} = z_{ti} = 257,11 mm

e_{di} = h - e_{hi} = 242,89 mm

I = b · h³ / 12 + A · (z_{tid} - x_t)² = 10 441,94 · 10⁶ mm⁴

I_s = A_s · (z_t - z_{tid})² = 113,15 · 10⁶ mm⁴

I_{id} = I + ω · I_s = 11 127,68 · 10⁶ mm⁴

W_{idh} = I_{id} / e_{hi} = 43,28 · 10⁶ mm³

W_{idd} = I_{id} / e_{di} = 45,81 · 10⁶ mm³

A_{ct} = b · (h - x_{lim}) = 237,5 · 10³ mm²

x_{lim} = d · ε_{cu3} / (ε_{yd} + ε_{cu3}) = 262,50 mm z rovnováhy přetvoření

statické hodnoty pro celou část průřezu - betonářská ocel

i	n	z _i [mm]	A _i (mm ²)	S _i (.10 ³ mm ³)
1	8	450	3 041,1	1 368,5
2	0	406	0,0	0,0
3	0	0	0,0	0,0
			3 041,1	1 368,5

M_{smaxI} = W_{idd} · f_{ctd} = 146,1 kNm maximální moment pro stádium I

σ_b = M_{smaxI} / W_{idh} = 3,38 MPa

σ_d = M_{smaxI} / W_{idd} = 3,19 MPa

σ_{ds} = σ_d · ω · (z_t - z_{tid}) / e_{di} = 15,35 MPa

Statické hodnoty obdélníkového průřezu - stádium II
neredukovaný průřez

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

statické hodnoty pro stádium II

$$x = 226,902521 \text{ mm}$$

$$x_1 = x / 2 = 113,45 \text{ mm}$$

$$A = x \cdot b = 226,903 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$S_{id} = S + \omega \cdot S_s = 25,742 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$S_{tid} = S_{id} / A_{id} = 34,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$A_{id} = A + \omega \cdot A_s = 245,33 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$z_{tid} = S_{tid} / A_{id} = 138,73 \text{ mm}$$

$$e_{hi} = z_{tid} = 138,73 \text{ mm}$$

$$e_{di} = h - e_{hi} = 361,27 \text{ mm}$$

$$I = b \cdot x^3 / 12 + A \cdot (z_{tid} - x_1)^2 = 1\,118,55 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_s = \pi \cdot d^4 / 64 + A_s \cdot (z_1 - z_{tid})^2 = 294,65 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$I_{id} = I + \omega \cdot I_s = 2\,904,30 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_{idh} = I_{id} / e_{hi} = 20,93 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_{idd} = I_{id} / e_{di} = 8,04 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$M_{smaxII} = W_{idh} \cdot 0,4 \cdot f_{cd} = 167,5 \text{ kNm} \quad \text{maximální moment pro stádium II}$$

maximální napětí pro stádium II

$$\sigma_h = M_{smaxII} / W_{idh} = 8,00 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smaxII} / W_{idd} = 20,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 108,78 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 330,81 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 907,61 \text{ kN}$$

$$r_s = d - z_{tid} = 311,27 \text{ mm}$$

$$r_c = x / 2 = 113,45 \text{ mm}$$

$$0 = M_c - M_s = F_c \cdot r_c - F_s \cdot r_s = 0,00 \text{ Nm}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení ZAT N

$$M_{smax} = 272,7 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 6,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 5,95 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 31,09 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 94,54 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 714,94 \text{ kN}$$

hodnoty pro maximální moment rozkmitu napětí FAT model 1

$$M_{smax} = 8,6 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 0,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 1,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 4,61 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 14,03 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 102,82 \text{ kN}$$

hodnoty pro maximální moment rozkmitu napětí FAT model 3

$$M_{smax} = 93,6 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 4,47 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 11,65 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 60,82 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 184,97 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 507,47 \text{ kN}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení LM1

$$M_{smax} = 264,1 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 12,62 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 32,85 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 171,55 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 521,69 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 1431,32 \text{ kN}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení V_{hor}

$$M_{smax} = 111,1 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 5,31 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 13,82 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 72,15 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 219,42 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 601,99 \text{ kN}$$

hodnoty pro moment rozkmitu napětí od modelu zatížení LM1 a stálého zatížení

jen porovnávací hodnota pro zjištění zatížitelnosti únavy a MSP

$$M_{smax} = 308,8 \text{ kNm}$$

$$\sigma_h = M_{smax} / W_{idh} = 14,75 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = M_{smax} / W_{idd} = 38,41 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{ds} = \sigma_d \cdot \omega \cdot (z_1 - z_{tid}) / e_{di} = 200,59 \text{ MPa}$$

$$F_s = \sigma_{ds} \cdot A_s = 610,01 \text{ kN}$$

$$F_c = \sigma_h / 2 \cdot A = 1673,63 \text{ kN}$$

ÚNAVA

$$\begin{aligned}A_s &= 3,041 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 \\A_p &= 0,00 \text{ mm}^2 \\\xi &= 0,3 \text{ dle tab.6.2 EN 1992-1-1} \\\phi_s &= 12 \text{ mm největší použitý průměr betonářské výztuže} \\\phi_p &= 1,6 \cdot A_p^{0,5} = 0,00 \text{ mm průměr předpínací výztuže} \\\eta &= (A_s + A_p) / (A_s + A_p \cdot (\xi \cdot (\phi_s / \phi_p))^{0,5}) \\\eta &= 1,00\end{aligned}$$

Ověření pro betonářskou a předpínací ocel - dle Palmgren - Minerova pravidla

$$\begin{aligned}\gamma_{\text{Fat}} &= 1,00 \text{ dle tab.6.3N EN 1992-1-1} \\\Delta\sigma &= \text{MPa rozkmit zatížení} \quad k_1 = 5 \text{ dle tab.6.4N EN 1992-1-1} \\\Delta\sigma_{\text{Rsk}} &= 162,5 \text{ MPa odolnost pro } N^* \text{ cyklů} \quad k_2 = 9 \\\gamma_{\text{Sfat}} &= 1 \\\Delta\sigma_{\text{Rsfat}} &= \Delta\sigma_{\text{Rsk}} / \gamma_{\text{Sfat}} = 162,5 \text{ MPa odolnost pro } N^* \text{ cyklů}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n(\Delta\sigma) &= \text{použitý počet cyklů s rozkmitem } \Delta\sigma \\N(\Delta\sigma) &= \text{počet cyklů rozkmitu } \Delta\sigma, \text{ který vyvolá únavové porušení}\end{aligned}$$

$$D_{\text{Ed}} = n(\Delta\sigma) / N(\Delta\sigma) < 1 \quad \text{součinitel únavového poškození}$$

log N	log $\Delta\sigma_{\text{Rsk}}$
0	2,25
1	2,25
6	2,21
15	1,21

$$\begin{aligned}\sigma_{0,2} = \sigma_{\text{yd}} &= 1\,760 \text{ kp/cm}^2 \\\sigma_{0,2} = \sigma_{\text{yd}} &= 180 \text{ MPa} \quad \text{zaručená smluvní mez kluzu} \\\log \sigma_{0,2} = \log \sigma_{\text{yd}} &= 2,25\end{aligned}$$

dle zatížení únava model 3

FAT 3	$\Delta\sigma_{\text{rs}}$	log $\Delta\sigma_{\text{rs}}$	log N	N (10^9)	n (10^6)
1	60,8	1,8	10	7	0,120

$$D_{\text{Ed}} = 0,000 < 1 \quad \text{vyhovuje}$$

Dle ČSN EN 1992-2 příloha NN - zjednodušený postup pro výztuž

$$\begin{aligned}\Delta\sigma_{\text{sequ}} &= \Delta\sigma_{\text{sec}} \cdot \lambda_s \quad \text{síly od modelu zatížení únavou 3 násobit} \\&\quad 1,4 \text{ pro posouzení v jiných oblastech} \\&\quad 1,75 \text{ pro posouzení u mezilehlých podpor spojitých mostů} \\\Delta\sigma_{\text{sec}} &= 60,82 \text{ rozkmit napětí vyvolaný modelem zatížení na únavu 3} \\\lambda_s &= \text{součinitel ekvivalentního poškození únavou (poloha objektu, intenzita dopravy, životnost, rozpětí)} \\\lambda_{s1} &= 1,15 \text{ druh konstrukčního prvku a poškozuující účinek dopravy s ohledem na příčinkovou čáru-plochu} \\\lambda_{s2} &= \text{intenzita dopravy} \\\lambda_{s3} &= \text{návrhová provozní životnost mostu} \\\lambda_{s4} &= 1 \text{ při zatížení z více než jednoho zatěžovacího pruhu} \\\phi_{\text{fat}} &= 1,4 \text{ dynamický součinitel - drsnost povrchu vozovky} \quad 1,2 - \text{dobrá kvalita; } 1,4 - \text{střední kvalita} \\\lambda_s &= \phi_{\text{fat}} \cdot \lambda_{s1} \cdot \lambda_{s2} \cdot \lambda_{s3} \cdot \lambda_{s4} \\\lambda_s &= 4,067 \quad k_2 = 9 \text{ dle tab 6.4N EN 1992-1-1} \\\Delta\sigma_s = k_1 &= 70 \text{ MPa} \quad Q = 0,82 \text{ dle tab NN.1 EN 1992-2} \quad N_{\text{obs}} = 50\,000 \\\lambda_{s2} &= Q \cdot (N_{\text{obs}} / 2)^{1/k_2} = 2,526 \\\lambda_{s3} &= (N_{\text{years}} / 100)^{1/k_2} = 1,000 \quad N_{\text{years}} = 100 \text{ návrhová životnost mostu}\end{aligned}$$

posouzení na odpovídající únavovou únosnost v tahu

$$\Delta\sigma_{\text{sequ}} = \Delta\sigma_{\text{sec}} \cdot \lambda_s = 247,38 \text{ MPa}$$

FAT 3	$\Delta\sigma$	log $\Delta\sigma$	log N	N	n
1	247,4	2,4	1	0,000	0,120

$$D_{\text{Ed}} = 12\,000,000 > 1 \quad \text{nevyhovuje v zjednodušeném postupu dle modelu FAT 3}$$

Ověření betonu namáhaného tlakem nebo smykem

Dle Minerova pravidla $\Sigma (n_i / N_i) \leq 1$
pro $i = 1$ až m

m - počet intervalů s konstantní amplitudou

n_i - skutečný počet zatěžovacích cyklů o konstantní amplitudě v intervalu " i "

N_i - maximální počet zatěžovacích cyklů o konstantní amplitudě v intervalu " i "

$$N_i = 10 \cdot e^{\exp(14 \cdot (1 - E_{cdmaxi} / (1 - R_i)^{0.5}))}$$

$$R_i = E_{cdmini} / E_{cdmaxi}$$

$$E_{cdmini} = \sigma_{cdmini} / f_{cdfat}$$

$$E_{cdmaxi} = \sigma_{cdmaxi} / f_{cdfat}$$

- poměr napětí

σ_{cdmini} , σ_{cdmaxi} - dolní a horní napětí v zatěžovacím cyklu

E_{cdmaxi} , E_{cdmini} - minimální a maximální úroveň tlakového napětí

$$f_{cdfat} = k_1 \cdot \beta_{cc}(t_0) \cdot f_{cd} \cdot (1 - f_{ck} / 250) = 14,96$$

MPa - návrhová hodnota únavové pevnosti betonu

$$k_1 = 0,85$$

$$\beta_{cc}(t_0) = e^{\exp(s \cdot (1 - (28 / t_0)^{0.5}))} = 1,000$$

- součinitel pevnosti betonu při jeho prvním zatížení

$$s = 0,25$$

- koeficient druhu cementu (0,20 - třída R, 0,25 - třída N, 0,38 - třída S)

$$t_0 = 28$$

- stáří betonu ve dnech, na začátku cyklického zatěžování

$$f_{cd} = 20,00$$

MPa

$$f_{ck} = 30,00$$

MPa

zatížitelnost	σ_{cd1}	σ_{cd3}
min	2,14	2,14
max	14,75	6,61
R_i	0,145	0,323
E_{cdmini}	0,14	0,14
E_{cdmaxi}	0,99	0,44
N_i	3,953	6531,095
n_i	0,002	0,120
n_i / N_i	0,001	0,000

0,000

< 1

vyhovuje na únavu model FAT 3

0,001

< 1

vyhovuje na únavu zatížitelnost FAT1

Únosnost a sedání základu v základové spáře

Zatížení

G	2142,67
R _{zd} (kN)	1512,6
R _{xd} (kN)	0,0
R _{yd} (kN)	104,6
M _{xd} (kNm)	72,5
e (m)	1,465
σ	174,1
b=	7
d=	3
δ=	0,0286

Základ mostu

$\phi =$	27 °	$\gamma_{m\phi} =$	1,174
$\phi_d = \phi/\gamma_{m\phi} =$	23 °	$\gamma_{mc} =$	2
c =	8 kPa		
c _d = c/γ _{mc} =	4 kPa		
N _c = 2+π =	5,14	c - soudržnost	
N _d = e ^{π.tgφ} .tg ² (45+φ/2) =	8,6	N _c , N _d , N _b - součinitele únosnosti závislé na úhlu vnitřního tření φ	
N _b = 1.5.(e ^{π.tgφ} .tg ² (45+φ/2)-1).tgφ =	4,8	s _c , s _d , s _b - součinitele vlivu tvaru základu	
s _c = 1+0.2.b/l =	1,085714	d _c , d _d , d _b - součinitele vlivu hloubky založení	
s _d = 1+b/l.sinφ =	1,17	i _c , i _d , i _b - součinitele vlivu šikmého zatížení	
s _b = 1-0.3.b/l =	0,871429	γ _c , γ _d , γ _b - součinitele vlivu šikmosti terénu	
d _c = 1+0.1.(d/b) ^{0.5} =	1,07	b _c , b _d , b _b - součinitele vlivu sklonu základové spáry	
d _d = 1+0.1.(d/b.sin(2.φ)) ^{0.5} =	1,06	γ ₁ , γ ₂ - objemová tíha zeminy nad a pod základovou sparou	
d _b =	1	d - hloubka založení	
i _c = (1-tgδ) ² =	0,944	b - šířka základu	
i _d = (1-tgδ) ² =	0,944	l - délka základu	
i _b = (1-tgδ) ² =	0,944		
g _c = g _d ·(1-g _d)/(N _d -1) =	1,000	γ _w =	10 kN.m ⁻³
g _d = (1-0.5.tgβ) ⁵ =	1,000	γ _b =	25 kN.m ⁻³
g _b = (1 - 0.5 . tgβ) ⁵ =	1,000	pro G3	smyková plocha
b _c = (1-b _d)/(N _d -1) =	0,000	z _s = 2.b =	14 m hloubka
b _d = e ^{-2.7.arccot.tgφ} =	1,000	a _s = 6.b =	42 m dosah
b _b = e ^{-2.7.arccot.tgφ} =	1,000	γ =	18,5 kN.m ⁻³
γ ₁ = γ =	18,50 kN.m ⁻²	γ _{su} = γ _d ·(1-n).γ _w =	12,5 kN.m ⁻³
γ _m = γ _{su} +d _w /z _s ·(γ-γ _{su}) =	12,93 kN.m ⁻²	d =	1 m
γ ₂ = γ _m =	12,93 kN.m ⁻³	d _w =	1 m
hloubka založení d =	1,5 m	γ _f =	1,35
délka základu b =	7 m	n =	0,4 pórovitost
šířka základu l =	3 m	b _{eff} = b-2.e =	0,000 m
δ =	1,64 ° odklon sil od svislé	v =	0,25
β =	0 °	β = 2.v ² /(1-v) =	0,167
α =	0 °	E _{def} =	8 MPa
t =	0,4 m	E _{oed} = E _{def} /β =	48,0 MPa
R _d = c _d · N _c · s _c · d _c · i _c + γ ₁ · d · N _d · s _d · d _d · i _d + γ ₂ · b _{eff} / 2 · N _b · s _b · d _b · i _b			
R _{dc} =	22,56 kPa		
R _{dd} =	194,4 kPa		
R _{db} =	0,0 kPa		
R _d = R _{dc} +R _{dd} +R _{db} =	216,9 kPa		
V _k = (R _{sd} +G)/γ _f =	3 263,1 kN	σ _{ds} = V _k /b/L =	155,38 kN.m ⁻²
		σ _{or} = γ ₁ .d =	27,75 kN.m ⁻²
		σ _{oi} = σ _{ds} -σ _{or} =	127,63 kN.m ⁻²
		l _{ch} (z) =	0,3 dle tab.
		σ _{zi} = σ _{oi} ·l _{ch} (z) =	38,29 kN.m ⁻²
		s = (σ _{zi} -m.σ _{or}).h/E _{oed} =	2,57 mm < s _{lim} = 30 mm
			<u>vyhovuje</u>
R _d =	216,9 kPa > R _{sd} =		
	<u>vyhovuje</u>		
		L/b =	2,333333
		z/b =	0,5
		σ _z /f =	0,52 dle tab.
		σ _z =	90,5 kPa
			parametr strukturní pevnosti