

Objednávateľ: Slovenská správa ciest



Zhotoviteľ: Združenie pre diagnostiku mostov

CONSTRUMAT, s.r.o.
INSET s.r.o.



Diagnostika vybraných mostov v správe SSC

Záverečná správa

mostný objekt:

M665, 65-020 Most nad železnicou pri Zlatých Moravciach



Obsah:

1	Všeobecná časť	4
1.1	Identifikačné údaje	4
1.2	Základné údaje o moste	5
1.3	Účel vypracovania diagnostiky	5
1.4	Popis konštrukcie mostného objektu	6
2	Diagnostika mostného objektu	9
2.1	Podklady poskytnuté objednávatelom	9
2.2	Použitá literatúra a normy	9
2.3	Metodika merania	10
2.3.1	Pevnosť betónu v tlaku	10
2.3.2	Zisťovanie polohy a parametrov betonárskej výstuže	10
2.3.3	Nedeštruktívne stanovenie modulu pružnosti	10
2.3.4	Stanovenie hĺbky karbonatizácie betónu	10
2.3.5	Overenie stavu predpínacej výstuže nosníkov	10
2.3.6	Kamerová prehliadka stavu komôr	11
2.3.7	Zistenie skladby mostného zvršku	11
2.3.8	Podrobná prehliadka mosta	11
2.3.9	Rozmiestnenie meracích miest	11
2.4	Merací a vyhodnocovací reťazec	13
2.4.1	Pevnosť betónu v tlaku	13
2.4.2	Zisťovanie polohy a parametrov betonárskej výstuže	14
2.4.3	Nedeštruktívne stanovenie modulu pružnosti	15
2.4.4	Stanovenie hĺbky karbonatizácie betónu	15
2.4.5	Overenie stavu predpínacej výstuže nosníkov	16
2.4.6	Zistenie skladby mostného zvršku	16
2.4.7	Kamerová prehliadka stavu komôr	17
2.5	Prehľad nameraných veličín	17
2.5.1	Pevnosť betónu v tlaku	17
2.5.2	Hĺbka karbonatizácie betónu	20
2.5.3	Stanovenie modulu pružnosti	20
2.5.4	Vystuženie	21
2.5.5	Mostný zvršok	27
2.5.6	Overenie stavu predpínacích káblov	29
2.5.7	Kamerová prehliadka stavu komôr	31
2.5.8	Podrobná prehliadka mosta	33
3	Prepočet zaťažiteľnosti	40
3.1	Metodika statického prepočtu	40
3.2	Analýza konštrukcie	40
3.3	Výpočtové modely	40
3.3.1	Priestorový model celkovej konštrukcie mostu	40
3.3.2	Prúťový model predpätého nosníka	47
3.4	Vplyvové plochy pre určenie polohy zaťaženia	48
3.5	Výpočet zaťaženia	50
3.6	Rozhodujúce vnútorné sily	57
3.7	Výpočet únosnosti a zaťažiteľnosti nosnej konštrukcie	62

3.8	Výpočet únosnosti a zaťažiteľnosti úložného prahu piliera.....	72
3.9	Výpočet únosnosti a zaťažiteľnosti stojok piliera.....	74
3.10	Vyhodnotenie zaťažiteľnosti.....	86
4	Určenie stavebno-technického stavu mosta.....	87
5	Určenie zostatkovej životnosti.....	90
6	Návrh opatrení.....	92
7	Záver.....	94
	Príloha č. 1: Dispozičné usporiadanie mostného objektu – schémy	
	Príloha č. 2: Kamerové záznamy stavu komôr (DVD záznam) a fotodokumentácia z prehliadky mosta	

1 Všeobecná časť

1.1 Identifikačné údaje

Zákazka: Diagnostika vybraných mostov v správe SSC
Číslo zmluvy: 2473/2000/2017

Dokument: M665, 65-020 Most nad železnicou pri Zlatých Moravciach

Objednávateľ: **Slovenská správa ciest**
Miletičova 19, 826 19 Bratislava

Zhotoviteľ: **Združenie pre diagnostiku mostov**
CONSTRUMAT, s.r.o.,
Hlinská 2589/20, 010 01 Žilina, +421 908969981, de-test@construmat.sk
INSET s.r.o., Lucemburská 1170/7, 130 00 Praha 3, Česká republika
INSET s.r.o., organizačná zložka podniku zahraničnej osoby,
Bytčická 72, 010 01 Žilina, +421 41 7632394, zilina@inset.com

Zodpovedný riešiteľ: Ing. Marián Sýkora, PhD.
Ing. Ivan Drevený, PhD.

Dokument vypracovali: Ing. Peter Kotek, PhD.
Ing. Peter Litvik

Merali a vyhodnotili: Marián Blažek
Ing. Peter Kotek, PhD.

Kontroloval: Ing. Ivan Drevený, PhD.

1.2 Základné údaje o moste

Druh prevádzanej komunikácie	cesta prvej triedy I/65
Kategória cesty	C 9,5/70
Staničenie na ceste	28,472
Prekážka	jednokoľajná neelektrifikovaná železničná trať – Kozárovce - Zlaté Moravce
Počet mostovkových podlaží	jednopoďlažný most
Výšková poloha mostovky	horná mostovka
Meniteľnosť základnej polohy	nepohyblivý most
Doba trvania	most trvalý
Priebeh trasy na moste	smerovo v priamej
Situatívne usporiadanie	šikmý, pravá šikmosť 79°
Hmotná podstata	masívny
Členitosť hlavnej nosnej konštrukcie	trojpoľový, predpäť betón, nosníky „KA-61“ 0,98 x 0,62 x 13,6 m
Východzia charakteristika	doskový
Konštrukčné usporiadanie priečného rezu	otvorene usporiadaný
Obmedzenie voľnej výšky na moste	voľna výška neobmedzená
Rok postavenia mosta	1968 (vek mosta je 50 rokov)
Počet dilatačných celkov	3
Dĺžka premostenia	39,72 m
Rozpätia polí	13,1 m + 13,2 m + 13,1 m
Dĺžka mosta	41,7 m
Šikmosť mosta	šikmý, pravá šikmosť 79°
Šírka spevnenej časti vozovky	10,42 m
Šírka medzi zábradlami	12,82 m
Šírka ríms na moste	ľavá 1,53 m, pravá 1,55 m
Šírka chodníka	ľavý 1,19 m a pravý 1,21 m
Celková šírka	13,5 m
Výška mosta nad terénom	až 7,5 m
Stavebná výška mosta	0,85 m
Plocha NK mosta	546 m ²
Dôležité upozornenia	nie sú

1.3 Účel vypracovania diagnostiky

Účelom vypracovania diagnostického prieskumu a statického prepočtu je zistenie skutkového stavu mostného objektu ev. č. 65-020 „Most nad železnicou pri Zlatých Moravciach“ (IDM M665) v k.ú. Zlaté Moravce, okres Zlaté Moravce.

V záverečnej správe je prezentovaný diagnostický prieskum, zhodnotený stav mostného objektu a statický prepočet, ktorého výsledkom je stanovenie zaťažiteľnosti mosta. V závere správy je zhodnotený stavebno-technický stav, stanovená zostatková životnosť a navrhnuté opatrenia na sanáciu zistených porúch mostného objektu.

1.4 Popis konštrukcie mostného objektu

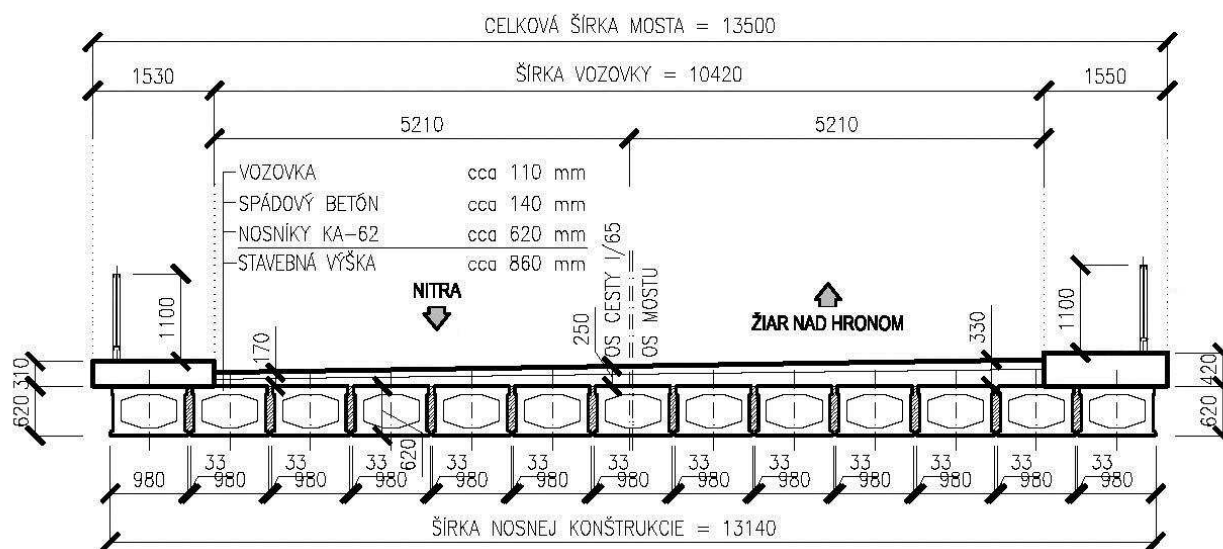
Most prevádza cestnú komunikáciu I/65 ponad železničnú neelektrifikovanú trať Kozárovce - Zlaté Moravce. Trasa cesty I/65 je na mostnom objekte v priamej. Kategória cesty je C 9,5/70. Okolie mosta je rovinaté. Komunikácia v danom mieste je vedená v násype a svahy násypu sú porastené náletovými kríkmi a drevinami.

Mostný objekt 65-020 je 3-poľový doskový (žalúziová doska z predpätých tyčových prefabrikátov) predpätý most. Nosná konštrukcia je tvorená v priečnom reze celkovo trinástimi nosníkmi „KA-61“ rozmerov priečného rezu 0,98 m x 0,62 m. Dĺžka nosníkov je 13,6 m. V priečnom reze sú predpäté nosníky navzájom prepojené medzinosníkovými vystuženými dobetónávkami. Rozpätie polí mosta je 13,1 m + 13,2 m + 13,1 m, dĺžka premostenia je 39,72 m.

Spodná stavba mosta je tvorená dvojicou krajných betónových opôr a dvojicou medziľahlých podpier (pilierov). Krajné opory sú zložené zo základov, betónových driekov, železobetónových úložných prahov a záverných stienok. Medziľahlé podpory (pilieri) sú zložené zo železobetónového úložného prahu, ktorý je podopretý celkovo 5 ks betónových stojok prierezu 0,5 x 0,5 m. Založenie mosta je plošné. Most bol postavený v roku 1968.

Obojstranné rímsy na mostnom objekte sú monolitické železobetónové, šírka 1,53 m (ľavá rímsa – v smere Žiar nad Hronom), resp. 1,55 m (pravá rímsa), hrúbky 0,31 m (ľavá rímsa), resp. 0,42 m (pravá rímsa). Do ríms je zabetónované oceľové zábradlie so zvislou výplňou výšky 1,1 m. Vozovka na moste je asfaltová. Priečny sklon je strechovitý.

Na moste sa nachádzajú odvodňovače, odvodnenie je zabezpečené priečnymi a pozdĺžnymi sklonmi vozovky a následne odvodňovačmi. Most nemá mostné závery.



Obr. 1 Priečný rez mostného objektu - schéma

2 Diagnostika mostného objektu

Diagnostické práce na mostnom objekte boli zamerané na podrobnú prehliadku, zistenie kvality betónu, zistenie vystuženia nosnej konštrukcie a spodnej stavby mostného objektu betonárskou a predpínacou výstužou, dokumentáciu stavu komôr a skladbu mostného zvršku. Prieskum slúži ako podklad pre statický prepočet konštrukcie.

2.1 Podklady poskytnuté objednávateľom

[A] Mostný list „Most nad železnicou pri Zlatých Moravciach“.

2.2 Použitá literatúra a normy

- [1] STN 73 6201 Projektovanie mostných objektov, SÚTN Bratislava, 09/1999 vrátane O1, 11/1999 a zmeny Z1, 10/2001;
- [2] STN 73 2011 Nedeštruktívne skúšanie betónových konštrukcií, SÚTN Bratislava, 12/1986; vrátane zmeny a, 09/1988;
- [3] STN 73 1373 Tvrdomerné metódy skúšania betónu, SÚTN Bratislava, 12/1981;
- [4] STN 73 1371 Ultrazvuková impulzová metóda skúšania betónu, SÚTN Bratislava, 12/1981;
- [5] STN EN 12390-1 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 1: Tvar, rozmery a iné požiadavky na skúšobné telesá a formy, SÚTN Bratislava, 6/2013, vrátane opravy O1, 01/2014;
- [6] STN EN 12390-3 Skúšanie zatvrdnutého betónu. Časť 3: Pevnosť v tlaku skúšobných telies, SÚTN Bratislava, 4/2010, vrátane opravy AC, 07/2012;
- [7] STN EN 206+A1 Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda, SÚTN Bratislava, 05/2017;
STN EN 206/NA Betón. Špecifikácia, vlastnosti, výroba a zhoda, SÚTN Bratislava, 12/2015, vrátane opravy O1, 12/2016 a zmeny Z1, 07/2017;
- [8] STN EN 1991-2 Eurokód 1. Zaťaženie konštrukcií. Časť 2: Zaťaženia mostov dopravou, SÚTN Bratislava, 05/2006, vrátane AC, 05/2010;
STN EN 1991-2/NA Eurokód 1. Zaťaženie konštrukcií. Časť 2: Zaťaženia mostov dopravou, SÚTN Bratislava, 12/2007, vrátane O1, 03/2011;
- [9] STN EN 1990 Eurokód. Zásady navrhovania konštrukcií, SÚTN Bratislava, 08/2009, vrátane zmien;
- [10] STN EN 1992 Eurokód 2. Navrhovanie betónových konštrukcií;
- [11] STN EN 1997 Eurokód 7. Navrhovanie geotechnických konštrukcií;
- [12] TP 003 Prognózovanie vplyvu porúch na zaťažiteľnosť mostov a stanovenie zostatkovej životnosti mostov, SSC: 2002;
- [13] TP 059 Zadávanie a výkon diagnostiky mostov, MDVRR SR: 2012;
- [14] TP 060 Prehliadky, údržba a opravy cestných komunikácií. Mosty, MDVRR SR: 2012;
- [15] TP 061 Katalóg porúch mostných objektov na diaľniciach, rýchlostných cestách a cestách I., II., a III. triedy, MDVRR SR: 2012 + Dodatok č. 1 (2014);

- [16] TP 077 Systém hospodárenia s mostami, MDVRR SR: 2013;
- [17] TP 104 Zaťažiteľnosť cestných mostov a lávok, MDVRR SR: 2016;
- [18] Manuál systému SCIA ENGINEER.

2.3 Metodika merania

2.3.1 Pevnosť betónu v tlaku

Nedeštruktívne bola pevnosť betónu v tlaku skúšaná pomocou Schmidtovho tvrdomeru. Skúšky a ich vyhodnotenia boli uskutočnené v súlade s STN 73 2011 [2], STN 73 1373 [3]. Z tejto skúšky možno odvodiť nielen pevnosť betónu v tlaku, ale aj rovnorodosť betónu analyzovaných konštrukcií. Rozmiestnenie skúšobných miest je znázornené na obr. 4 a 5.

Deštruktívne bola pevnosť betónu skúšaná na odobratých jadrových vývrtoch. Miesta odberu vývrtov boli vopred vytipované na základe profometrického a radarového prieskumu tak, aby konštrukčná výstuž bola zasiahnutá v najmenej možnej miere. Rozmiestnenie miest odberu vývrtov je znázornené na obr. 4 a 5.

2.3.2 Zisťovanie polohy a parametrov betonárskej výstuže

Pre stanovenie polohy betonárskej výstuže, jej priemeru a hrúbky krycej betónovej vrstvy boli použité nedeštruktívne i deštruktívne metódy.

Pri nedeštruktívnej metóde boli použité prístroje vysielajúce elektromagnetické impulzy. Z meraní je možné zistiť približnú polohu prvej vrstvy výstuže a hrúbku krycej betónovej vrstvy. Pri ďalších vrstvách výstuže dochádza k mnohým obmedzeniam a presnosť metód klesá.

Okrem nedeštruktívneho zisťovania polohy betonárskej výstuže boli na stanovených miestach vykonané aj deštruktívne odkrytia výstuže za účelom kontroly nedeštruktívneho merania a zistenia priemeru a druhu resp. typu betonárskej výstuže.

2.3.3 Nedeštruktívne stanovenie modulu pružnosti

Modul pružnosti betónu bol stanovený na základe skúšobného postupu Dynamický modul pružnosti v tlaku ultrazvukovou metódou, pomocou merania ultrazvukovou aparátúrou na odobratých vzorkách z nosnej konštrukcie.

2.3.4 Stanovenie hĺbky karbonatizácie betónu

Na zistenie hĺbky karbonatizácie v betóne bol použitý 0,1% roztok fenolftaleínu v etylalkohole. Ak sa povrch betónu po nástreku roztokom fenolftaleínu sfarbí na červenofialovo, betón má hodnotu pH vyššiu ako 9,5 a plní funkciu ochrannej krycej vrstvy výstuže proti korózii.

2.3.5 Overenie stavu predpínacej výstuže nosníkov

Na nosníkoch bola vykonaná kontrola stavu predpínacej výstuže. Pre stanovenie polohy výstuže boli najprv použité vyhľadávacie prístroje pracujúce na princípe elektromagnetického žiarenia resp. na princípe vysielania vysokofrekvenčných elektromagnetických impulzov. Z meraní bola stanovená poloha predpínacej výstuže, ktorá bola následne odkrytá pre overenie stavu káblových kanálikov. Rozmiestnenie miest odkrytí je znázornené na obr. 5.

2.3.6 Kamerová prehliadka stavu komôr

Kamerová prehliadka bola realizovaná ručnou kamerou cez otvory v nosníkoch, ktoré boli vytvorené pri odbere jadrových vývrtov. Rozmiestnenie kontrolovaných komôr je znázornené na obr. 5.

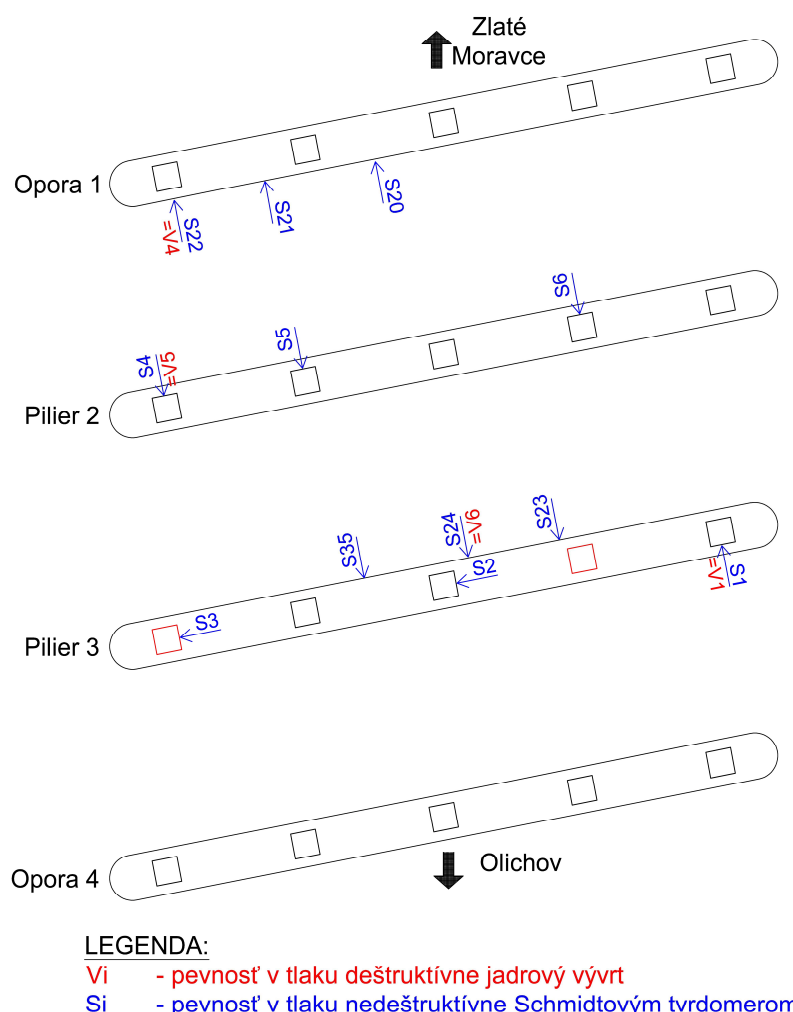
2.3.7 Zistenie skladby mostného zvršku

Zistenie skladby mostného zvršku vozovky bolo realizované jadrovými vývrtmi z povrchu vozovky po nosnú konštrukciu. Vývrty boli odobrané pomocou diamantovej korunky za stáleho chladenia vodou a odsávania nečistôt. Rozmiestnenie miest odberu vývrtov je znázornené na obr. 6.

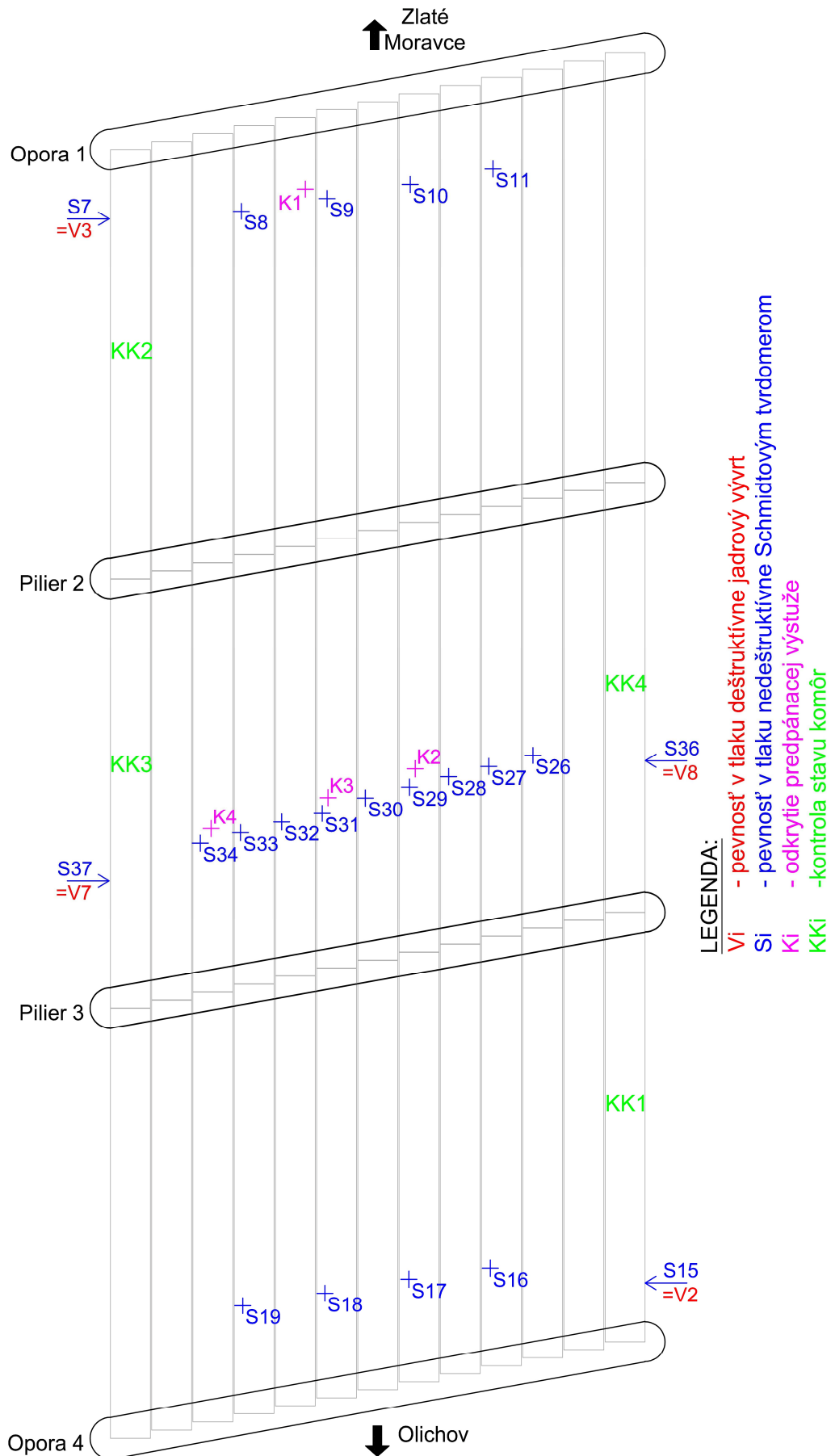
2.3.8 Podrobná prehliadka mosta

Na predmetnom mostnom objekte bola v rámci diagnostického prieskumu vykonaná podrobná prehliadka. Dokumentácia konštrukcie bola realizovaná pomocou digitálneho fotoaparátu Canon PowerShot SX60 HS.

2.3.9 Rozmiestnenie meracích miest



Obr. 4 Rozmiestnenie meracích miest – spodná stavba



Obr. 5 Rozmiestnenie meracích miest – nosná konštrukcia



Obr. 6 Miesta zisťovania hrúbky a zloženia vozovky na mostnom objekte

2.4 Merací a vyhodnocovací reťazec

2.4.1 Pevnosť betónu v tlaku

Pevnosť betónu v tlaku bola nedeštruktívne skúšaná pomocou prístroja DigiSchmidt 2000 typ ND-1, výrobné číslo 4920/088-03287 od výrobcu PROCEQ. Skúšky sa vykonali na vopred vytypovaných miestach. Skúšobné miesta o veľkosti cca 10 x 10 cm boli vybrúsené brúskou tak, aby skúška prebiehala na celistvej štruktúre betónu, tak aby bola zrejماً jeho textúra a štruktúra. Na každom skúšobnom mieste bolo realizovaných 10 platných meraní. Skúšanie prebiehalo v súlade s ustanoveniami normy STN 73 1373 [3], na suchom povrchu betónu.



Obr. 7 Meranie Schmidtovým tvrdomerom DIGI - SCHMIDT 2000 ND

Pevnosť betónu v tlaku bola zisťovaná aj laboratórne, na vzorkách odobratých jadrových vývrtov (obr. 8). Na odber jadrových vývrtov bola použitá vŕtačka HILTI DD 160 pevne ukotvená s vodným chladením. Vývrty boli následne popísané, upravené na skúšobné telesá v zmysle normy STN EN 12390-1 [5] a odskúšané.

Skúška pevnosti v tlaku prebiehala v súlade s STN EN 12390-3. Pre skúšku pevnosti betónu v tlaku bolo použité prístrojové vybavenie:

- silomerný stroj EDT 1600 VEB WPM Leipzig, ev. karta č. M/11/001, rozsah (20-1600) kN,

- elektronická váha A&D HV 15 KGL, ev. karta č. M/11/036, rozsah (20-15000) g,
- posuvné meradlo elektronické Sylvac, ev. karta č. M/11/201, rozsah (0,01-200) mm.

Všetky otvory po odobratých vzorkách z mostného objektu boli spätne vyplnené a povrch opravený vysokopevnostnou cementovou zmesou Stachema Repair Dur EF.



Obr. 8 Odber vzoriek betónu jadrovou vŕtačkou



Obr. 9 Oprava povrchu po odbere jadrových vývrtov

2.4.2 Zisťovanie polohy a parametrov betonárskej výstuže

Poloha betonárskej výstuže, jej priemer a hrúbka krycej betónovej vrstvy boli zisťované kombináciou nedeštruktívnej a deštruktívnej metódy.

Pre určenie parametrov výstuže nedeštruktívne bol použitý prístroj CPR Radar PS 1000 X-Scan s vyhodnocovacím softvérovým balíkom PROFIS PS 1000 SW version 2.2.1 od spoločnosti HILTI (obr. 10).



Obr. 10 Nedeštruktívne určovanie parametrov betonárskej výstuže



Obr. 11 Odkrytie betonárskej výstuže

Odkrytie betonárskej výstuže bolo realizované pomocou príklepovej vŕtačky tak, aby došlo k čo najmenšiemu zásahu do konštrukcie (obr. 11).

Všetky vysekané otvory boli po zdokumentovaní výstuže spätne vyplnené špeciálnou vysokopevnostnou zmesou na báze cementu Stachema Repairal Dur EF.

2.4.3 Nedeštruktívne stanovenie modulu pružnosti

Na stanovenie dynamického modulu pružnosti betónu v tlaku nedeštruktívnou impulznou ultrazvukovou metódou bola použitá ultrazvuková aparátúra Pundit PL-200 od spoločnosti PROCEQ. Pri meraní bolo použité protiľahlé prezvučenie vzorky.

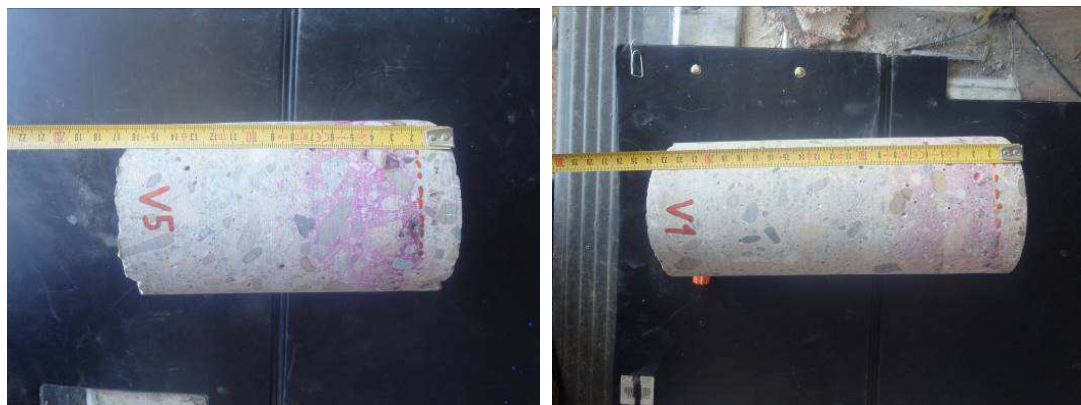
Samotný dynamický modul pružnosti bol stanovený na základe materiálových charakteristík betónu (objemová hmotnosť, dynamický Poissonov súčiniteľ). Dynamický Poissonov súčiniteľ bol použitý na základe poznámky v norme STN 73 1371 (pre hutný betón starší 14 dní a s objemovou hmotnosťou nad $1800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ je možné uvažovať s $\nu_{bu} = 0,24$).



Obr. 12 Meranie modulu pružnosti ultrazvukovou metódou

2.4.4 Stanovenie hĺbky karbonatizácie betónu

Hĺbka prieniku karbonatizácie do betónu bola zisťovaná na odobratých jadrových vývrtoch. Ukážka stanovenia hĺbky karbonatizácie betónu na odobratom jadrovom vývrte je zobrazená na obr. 13.



Obr. 13 Určenie hĺbky karbonatizácie roztokom fenolftaleínu

2.4.5 Overenie stavu predpínacej výstuže nosníkov

Pre približné určenie polohy výstuže pre potreby odhalenia káblových kanálikov boli použité meracie prístroje Ferrosan PS 200 S a CPR Radar PS 100 X-Scan od firmy HILTI. Po vyhľadání boli predpínacie káble na nosnej konštrukcii deštruktívne odkryté búracím kladivom.



Obr. 14 Odkryté predpínacie káblové kanáliky

2.4.6 Zistenie skladby mostného zvršku

Sondy do mostného zvršku boli realizované jadrovou vŕtačkou HILTI DD 160 pevne ukotvenou s vodným chladením. Spolu boli zrealizované 3 sondy (obr. 15).



Obr. 15 Sonda do vozovky

2.4.7 Kamerová prehliadka stavu komôr

Stav komôr nosníkov nosnej konštrukcie bol zisťovaný kamerovým prístrojom Panasonic HC-X920M. Digitálne záznamy z kontroly stavu komôr sú priložené v prílohe na DVD.

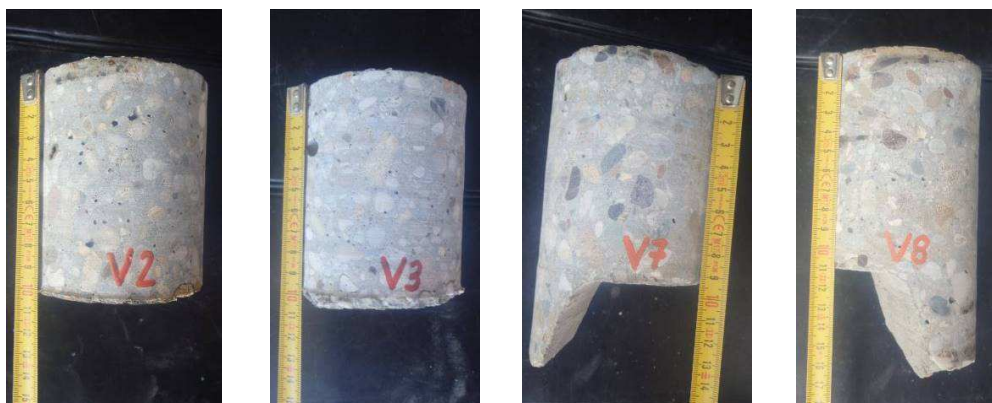


Obr. 16 Ukážka z kamerového záznamu

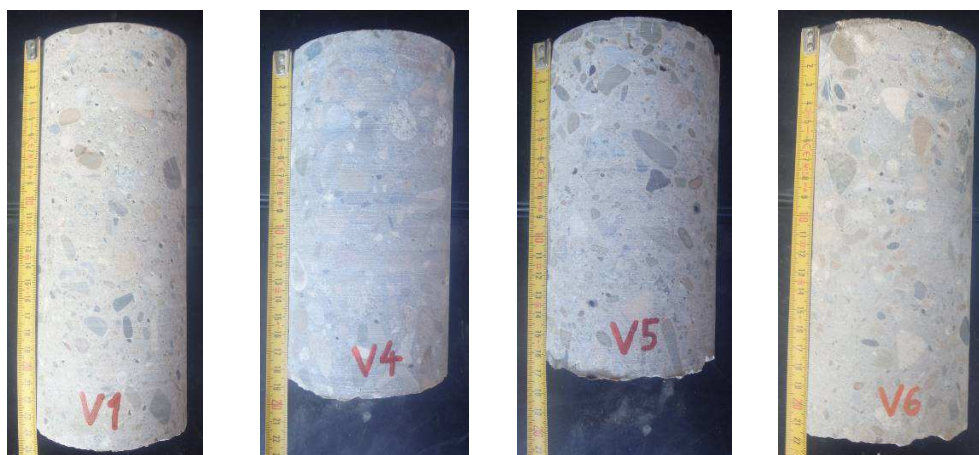
2.5 Prehľad nameraných veličín

2.5.1 Pevnosť betónu v tlaku

Celkovo bolo odobratých 8 ks jadrových vývrtov z mostného objektu, z toho 4 ks z nosnej konštrukcie a 4 ks zo spodnej stavby. Prehľad pevností betónu z odobratých vývrtov je uvedený v tab. 1. a 2. Odobraté jadrové vývrty sú zobrazené na obr. 17 a 18.



Obr. 17 Odobraté jadrové vývrty – nosná konštrukcia



Obr. 18 Odobraté jadrové vývrty – spodná stavba

Tab. 1 Vývrty / vzorky betónu nosná konštrukcia – geometria a výsledky skúšok pevnosti betónu v tlaku

Označenie vzorky (vrtu)	Umiestnenie v konštrukcii	Priemer d [mm]	Dĺžka L [mm]	Hmotnosť m [g]	Objemová hmotnosť ρ [kg.m ⁻³]	Sila pri porušení F [kN]	Pevnosť v tlaku f_c [MPa]	Súčiniteľ veľkosti vzorky k_c [-]	Prepočítaná pevnosť v tlaku f_c [MPa]
ZM V2	Nosník	84,5	87,2	1 222	2 500	299	53,3	1,05	56,0
ZM V3	Nosník	84,6	87,4	1 183	2 410	277	49,3	1,05	51,8
ZM V7	Nosník	84,7	87,1	1 196	2 440	372	66,0	1,05	69,4
ZM V8	Nosník	84,8	86,5	1 238	2 530	268	47,5	1,05	49,9

Poznámka: Pevnosť v tlaku bola prepočítaná podľa normy STN EN 12504-1, Prílohy A

Tab. 2 Vývrty / vzorky betónu spodná stavba – geometria a výsledky skúšok pevnosti betónu v tlaku

Označenie vzorky (vrtu)	Umiestnenie v konštrukcii	Priemer d [mm]	Dĺžka L [mm]	Hmotnosť m [g]	Objemová hmotnosť ρ [kg.m ⁻³]	Sila pri porušení F [kN]	Pevnosť v tlaku f_c [MPa]
ZM V1	Stĺp	99,5	101,3	1 828	2 320	339	43,6
ZM V4	Uložný práh	99,6	101,2	1 906	2 420	545	70,0
ZM V5	Stĺp	99,5	100,1	1 864	2 390	523	67,3
ZM V6	Uložný práh	99,4	101,4	1 872	2 380	388	50,0

Prehľad nameraných hodnôt a vyhodnotenie nedeštruktívnych skúšok spresnených vývrtmi na je uvedený v tab. 3 a 4.

Tab. 3 Výsledky skúšok Schmidtom spresnené vývrtmi – nosná konštrukcia

Identifikácia miesta				Odzraz Φ [R]	Nezaručená pevnosť		Koeff. α [-]	Pevnosť upresnená podľa vývrtov		Výsledky			
Označ.	Popis	Karbon. [mm]	Smer merania		Φ R_{ben} [MPa]	R_{be} [MPa]		R_b [MPa]	Φ α [-]	Vzorka (vývrt)	f_c [MPa]	ρ [kgm ⁻³]	
7	Nosník	<5	→	47,9	57,6	51,8	1,00	51,2	0,99	ZM V3	51,8	2410	
8	Nosník	<5	↑	54,6	71,5	64,4		63,6					
9	Nosník	<5	↑	53,8	69,8	62,8		62,1					
10	Nosník	<5	↑	51,1	64,1	57,7		57,1					
11	Nosník	<5	↑	56,8	76,3	68,7		67,9					
15	Nosník	<5	→	53,1	68,3	61,5	0,91	60,8			ZM V2	56,0	2500
16	Nosník	<5	↑	56,8	76,3	68,7		67,9					
17	Nosník	<5	↑	50,6	63,1	56,8		56,1					

Identifikácia miesta				Odraz Φ [R]	Nezaručená pevnosť		Koef. α [-]	Pevnosť upresnená podľa vývrtov		Výsledky			
Označ.	Popis	Karbon. [mm]	Smer merania		Φ R_{ben} [MPa]	R_{be} [MPa]		R_b [MPa]	Φ α [-]	Vzorka (vývrt)	f_c [MPa]	ρ [kgm ⁻³]	
18	Nosník	<5	↑	53,8	69,8	62,8		62,1	0,99				
19	Nosník	<5	↑	55,5	73,5	66,1		65,3					
26	Nosník	<5	↑	54,6	71,5	64,4		63,6					
27	Nosník	<5	↑	55,6	73,7	66,3		65,5					
28	Nosník	<5	↑	55,3	73,0	65,7		65,0					
29	Nosník	<5	↑	55,1	72,6	65,3		64,6					
30	Nosník	<5	↑	53,9	70,0	63,0		62,3					
31	Nosník	<5	↑	50,4	62,7	56,4		55,8					
32	Nosník	<5	↑	49,0	59,8	53,8		53,2					
33	Nosník	<5	↑	48,0	57,8	52,0		51,4					
34	Nosník	<5	↑	53,3	68,7	61,9		61,2					
35	Nosník	<5	→	51,2	64,3	57,9	1,20	57,2			ZM V7	69,4	2440
36	Nosník	<5	→	51,8	65,6	59,0	0,85	58,3			ZM V8	49,9	2530

Tab. 4 Výsledky skúšok Schmidtom spresnené vývrtmi – spodná stavba

Identifikácia miesta				Odraz Φ [R]	Nezaručená pevnosť		Koef. α [-]	Pevnosť upresnená podľa vývrtov		Výsledky			
Označ.	Popis	Karbon. [mm]	Smer merania		Φ R_{ben} [MPa]	R_{be} [MPa]		R_b [MPa]	Φ α [-]	Vzorka (vývrt)	f_c [MPa]	ρ [kgm ⁻³]	
1	Stĺp	>5	→	52,4	66,8	60,2	0,72	57,0	0,95	ZM V1	43,6	2320	
2	Stĺp	>5	→	46,1	54,0	48,6		46,1					
3	Stĺp	>5	→	52,5	67,0	60,3		57,1					
4	Stĺp	>5	→	53,4	68,9	62,1	1,08	58,8			ZM V5	67,3	2390
5	Stĺp	>5	→	49,0	59,8	53,8		51,0					
6	Stĺp	>5	→	47,5	56,8	51,1		48,4					
12	Úl. prah	>5	→	49,1	60,0	54,0		51,2					
13	Úl. prah	>5	→	53,2	68,5	61,7		58,4					
14	Úl. prah	>5	→	53,3	68,7	61,9	1,13	58,6			ZM V4	70,0	2420
23	Úl. prah	>5	→	52,3	66,6	60,0		56,8					
24	Úl. prah	>5	→	51,8	65,6	59,0	0,85	55,9			ZM V6	50,0	2380
25	Úl. prah	>5	→	50,4	62,7	56,4		53,4					

Tab. 5 Vyhodnotenie triedy betónu – nosná konštrukcia

Priemerná pevnosť betónu v tlaku	$f_{m(n),is}$	60,6	[MPa]
Najmenšia zistená pevnosť betónu	$f_{is,min}$	51,2	[MPa]
Smerodajná odchýlka	s	4,94	[-]
Charakteristická pevnosť betónu v tlaku	$f_{ck,is,1}$	53,3	[MPa]
	$f_{ck,is,2}$	55,2	[MPa]
	$f_{ck,is}$	53,3	[MPa]
Vyhodnotenie			
Trieda betónu		C 50/60	

Tab. 6 Vyhodnotenie triedy betónu – spodná stavba

Priemerná pevnosť betónu v tlaku	$f_{m(n),is}$	54,4	[MPa]
Najmenšia zistená pevnosť betónu	$f_{is,min}$	46,1	[MPa]
Smerodajná odchýlka	s	4,12	[-]
Charakteristická pevnosť betónu v tlaku	$f_{ck,is,1}$	48,3	[MPa]
	$f_{ck,is,2}$	50,1	[MPa]
	$f_{ck,is}$	48,3	[MPa]
Vyhodnotenie			
Trieda betónu		C 45/55	

2.5.2 Hĺbka karbonatizácie betónu

V tab. 7 je uvedený popis skúšaného miesta na konštrukcii mostného objektu a zistená hĺbka prieniku CO₂ do betónu jadrových vývrtoch (karbonatizácia).

Tab. 7 Prehľad hĺbky prieniku karbonatizácie na skúšobných vzorkách

Označenie vrtu	Umiestnenie v konštrukcii	Hĺbka karbonatizácia [mm]
VZ1	Stĺp	20
VZ2	Nosník	0
VZ3	Nosník	0
VZ4	Úložný prah	5
VZ5	Stĺp	20
VZ6	Úložný prah	20
VZ7	Nosník	0
VZ8	Nosník	0

2.5.3 Stanovenie modulu pružnosti

Výsledky nedeštruktívneho skúšania modulu pružnosti na základe ultrazvukového protiahlého prezvučenia sú pre nosnú konštrukciu uvedené v tab. 8.

Tab. 8 Dynamický modul pružnosti meraný na vzorkách betónu – nosná konštrukcia

Označenie vzorky	Čas prechodu [μs]	Rýchlosť prechodu [m.s ⁻¹]	Výška vzorky [mm]	Priemer vzorky [mm]	Plocha vzorky [mm ²]	Hmotnosť vzorky [kg]	Objemová hmotnosť vzorky [kg.m ⁻³]	Dynamický modul pružnosti [MPa]	Statický modul pružnosti [MPa]
VZ3	17,1	5 097	87,2	84,5	5 606,6	1,22	2 501	55 120	52 110
VZ8	16,4	5 327	87,4	84,6	5 617,2	1,18	2 411	58 036	54 867
VZ2	16,8	5 182	87,1	84,7	5 635,8	1,20	2 438	55 537	52 504
VZ7	17,0	5 088	86,5	84,8	5 646,5	1,24	2 535	55 670	52 630

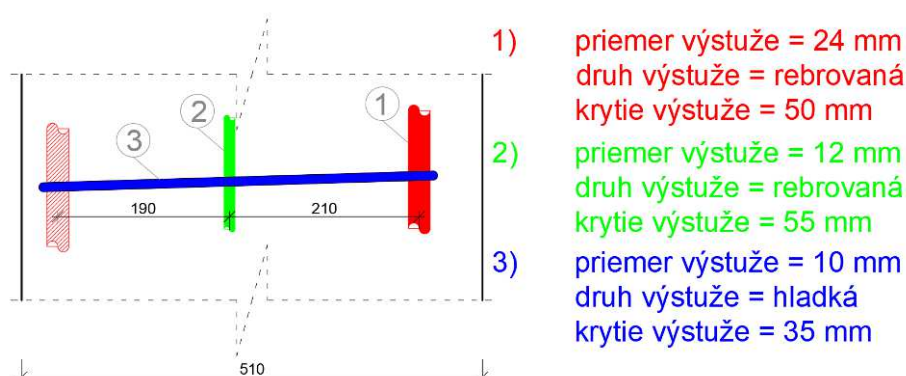
Poznámka: Súčiniteľ zohľadňujúci triedu betónu bol extrapolovaný z tab.5, normy STN 73 2011

Výpočet hodnôt dynamického modulu pružnosti bol realizovaný z nameraných parametrov (čas a rýchlosť prechodu ultrazvukovej vlny cez betón) v zmysle STN 73 1371.

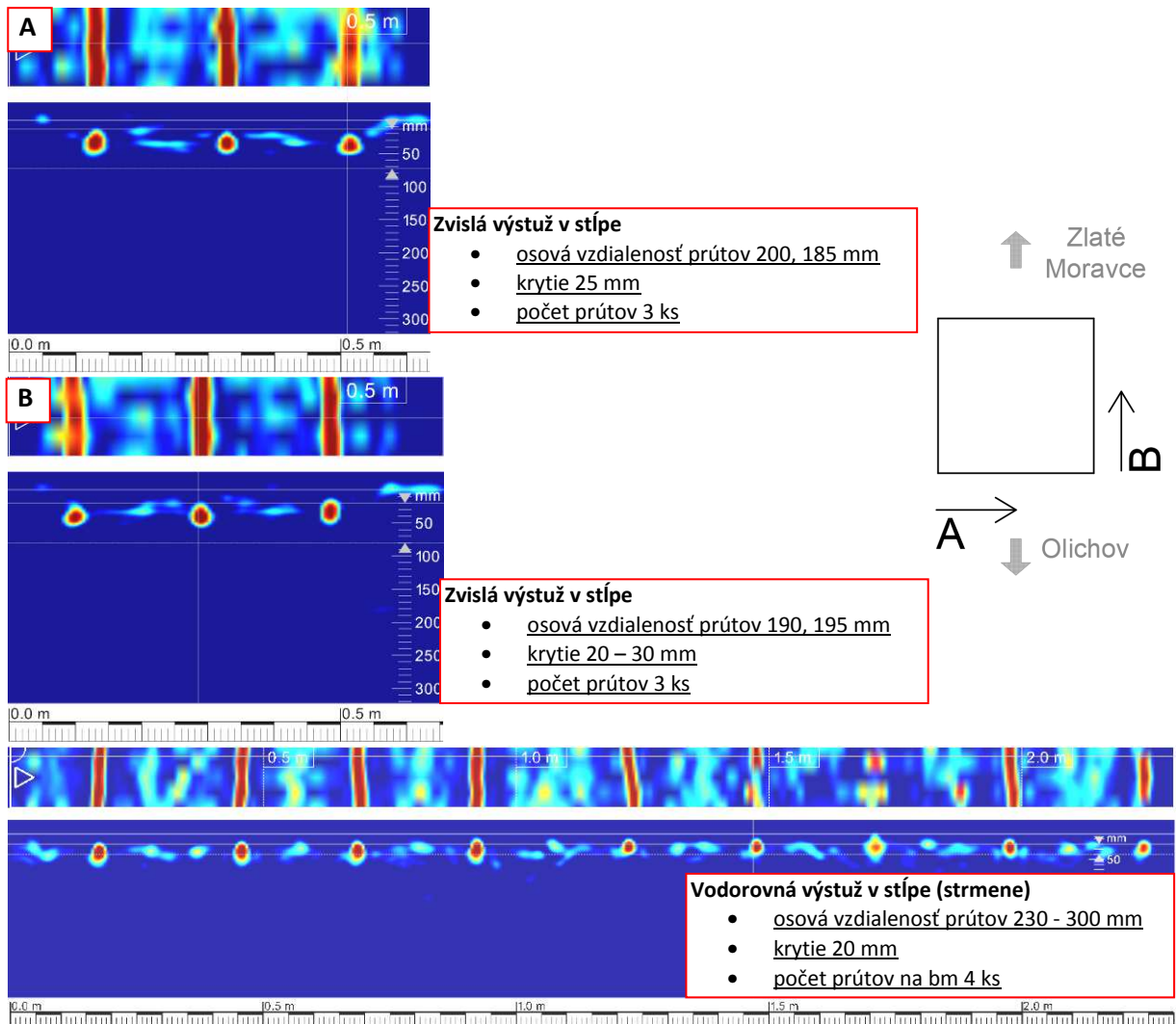
Výsledná priemerná hodnota statického modulu pružnosti betónu v tlaku upravená o súčiniteľ zohľadňujúci triedu pevnosti betónu: $E_b = 53,03 \text{ GPa}$. Zmenšovací súčiniteľ na prepočet bol stanovený podľa [4] hodnotou $k_u = 0,95$.

2.5.4 Vystuženie

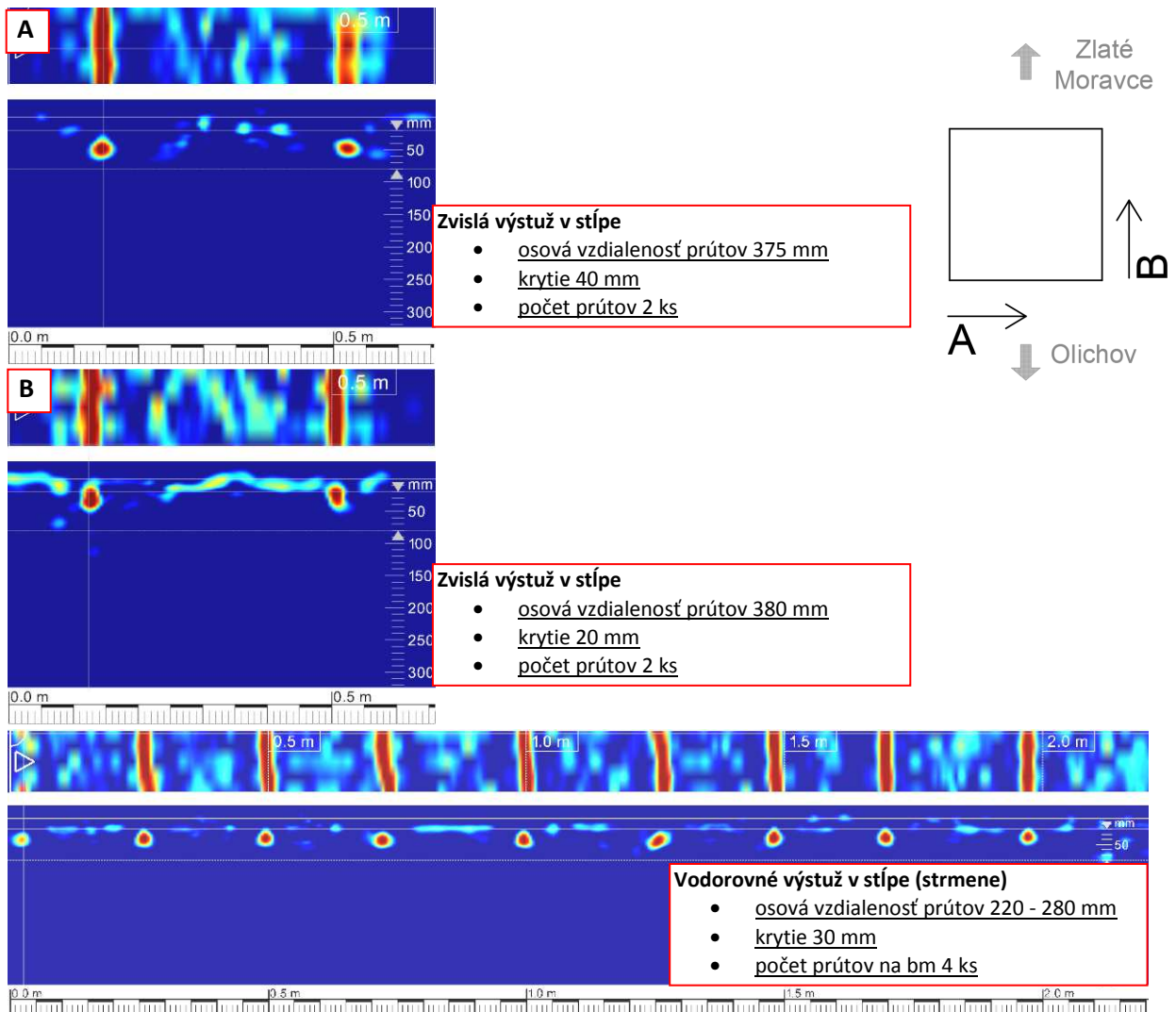
Poloha, stav, profily betonárskej výstuže a hrúbka krycej betónovej vrstvy boli zisťované nedeštruktívnou aj deštruktívnou metódou. Zistené parametre sú uvedené na obr. 19 až 27.



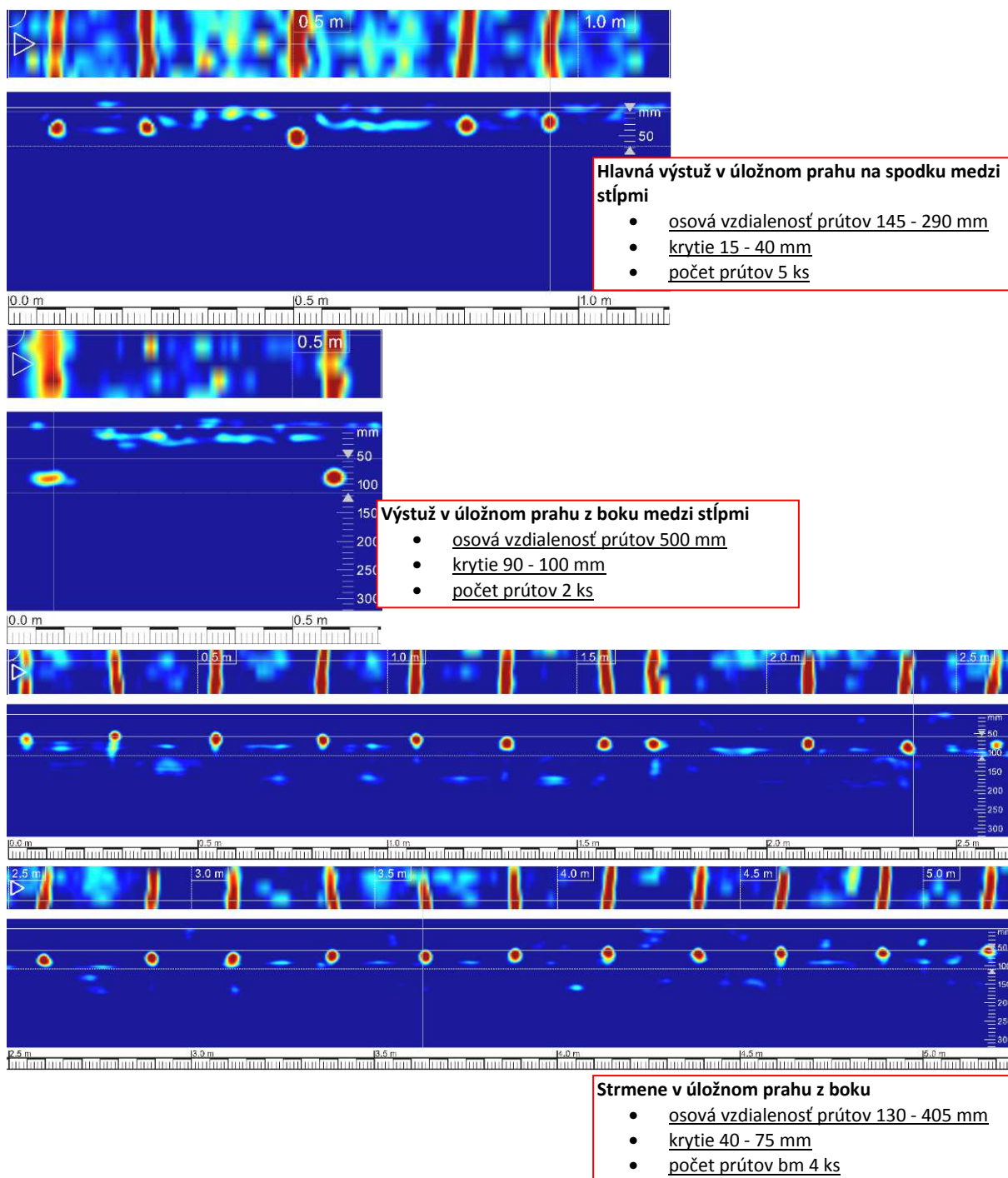
Obr. 19 Vystuženie vnútorného stĺpa



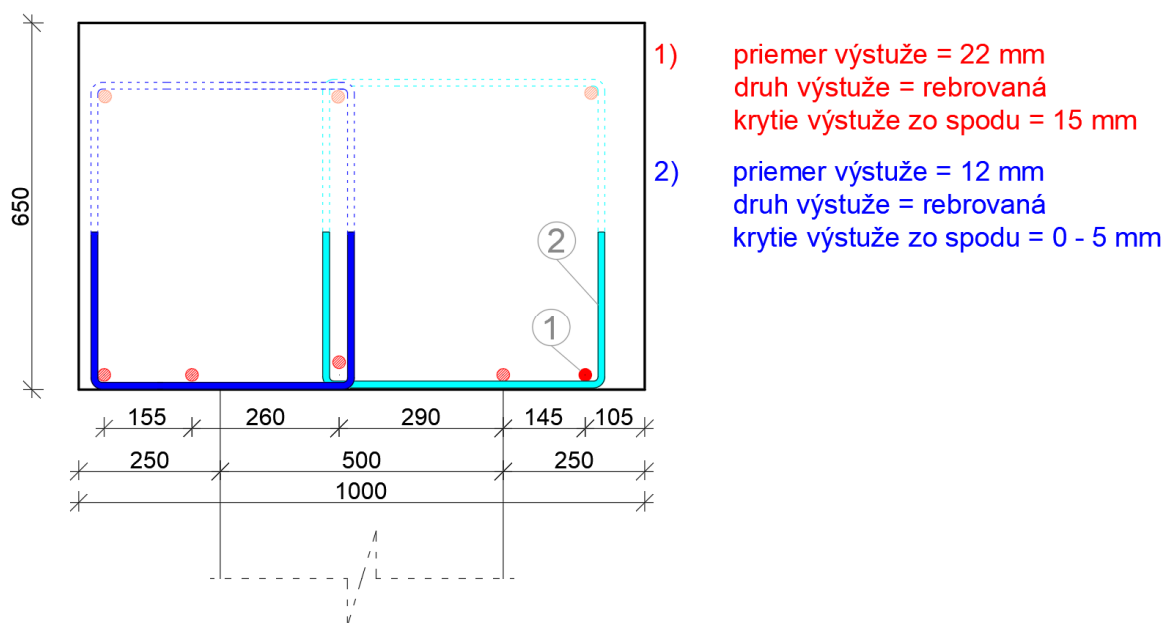
Obr. 20 Vystuženie vnútorného stĺpa



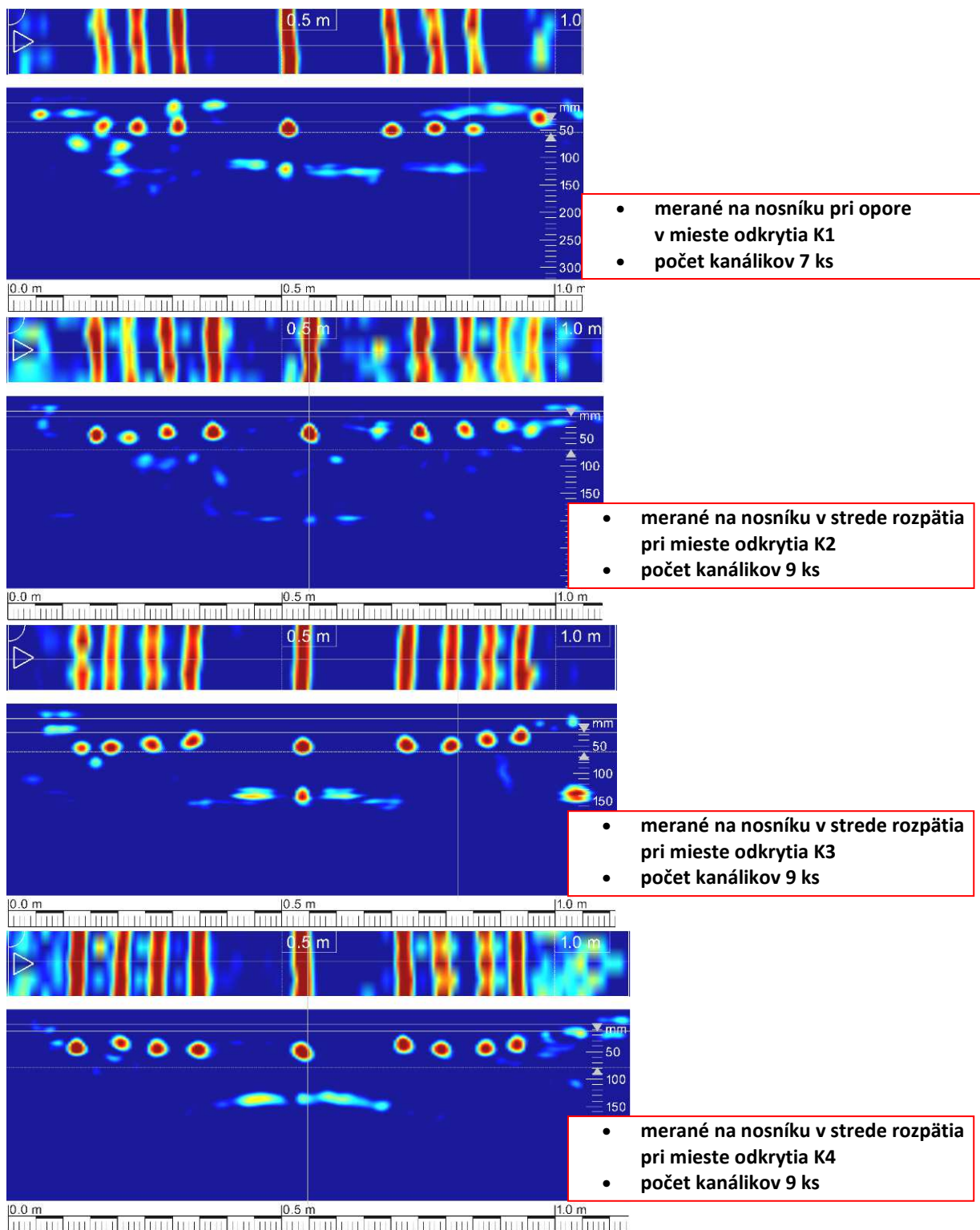
Obr. 21 Výstuženie vonkajšieho stĺpa



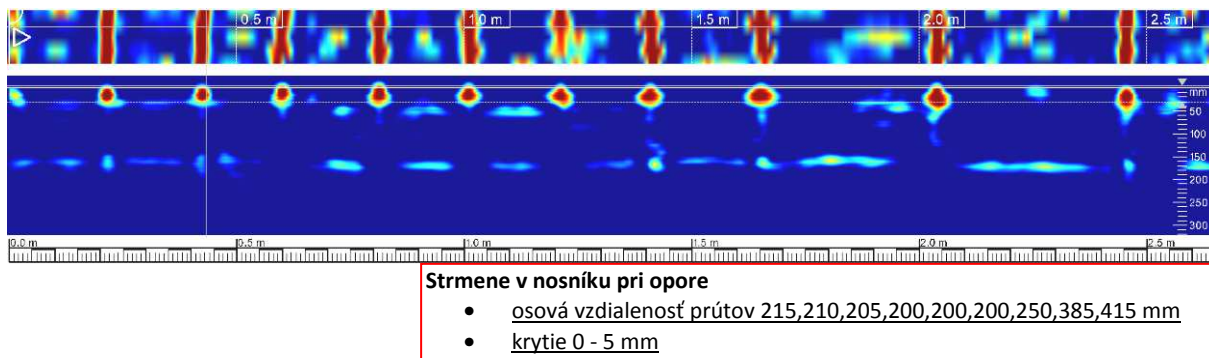
Obr. 22 Vystuženie úložného prahu



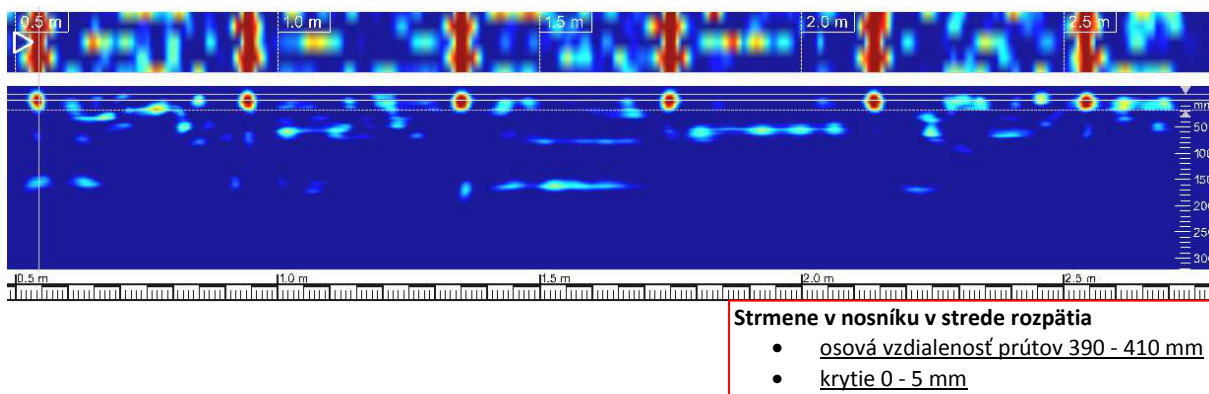
Obr. 23 Vystuženie úložného prahu



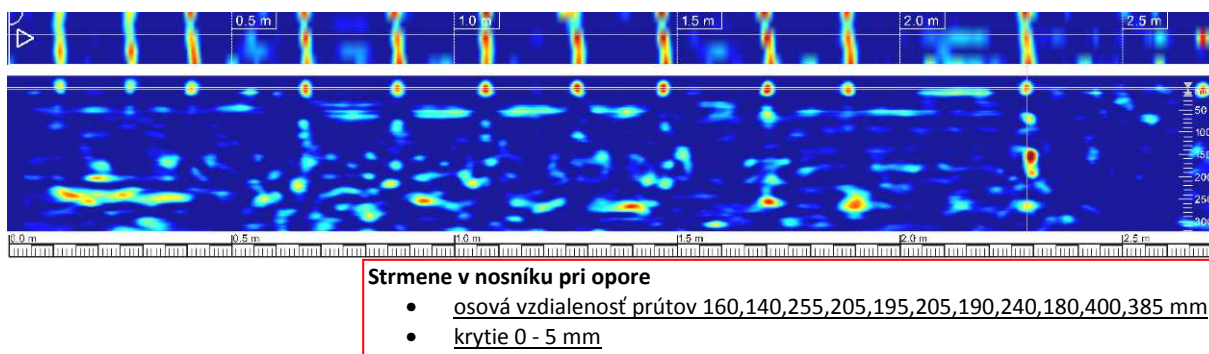
Obr. 24 Nedeštruktívne overenie polohy kábových kanálikov



Obr. 25 Strmene v nosníku pri opore



Obr. 26 Strmene v nosníku v strede rozpätia



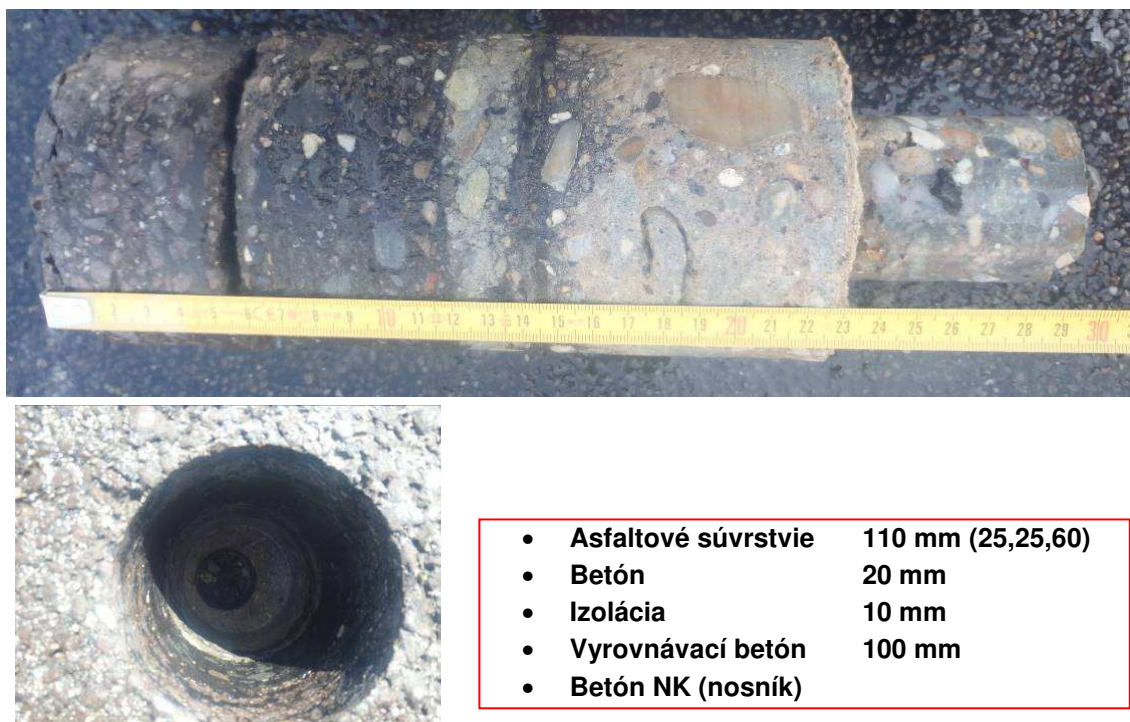
Obr. 27 Strmene v nosníku pri pilieri

2.5.5 Mostný zvršok

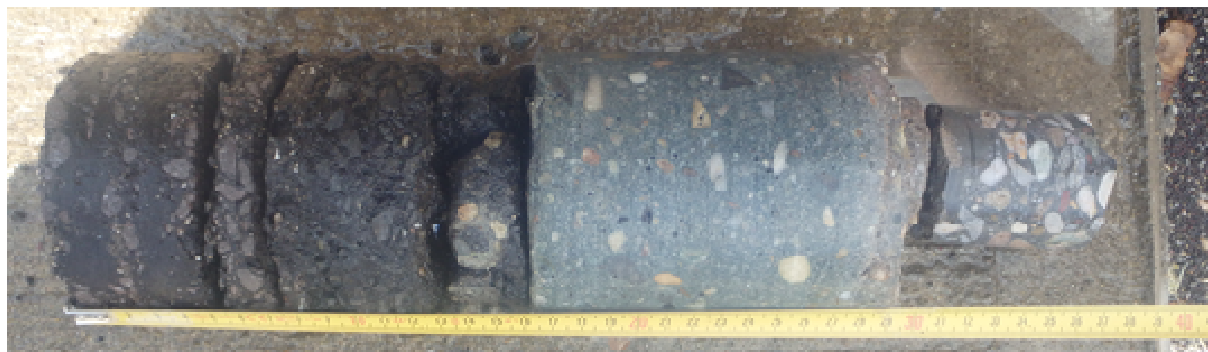
Pre zistenie skladby mostného zvršku boli realizované tri sondy. Rozmiestnenie miest odberu vývrtov je znázornené na obr. 6. Sondy boli realizované až po betón nosnej konštrukcie. Zistené parametre sú zobrazené na obr. 28 až 30.



Obr. 28 Sonda do vozovky S1



Obr. 29 Sonda do vozovky S2

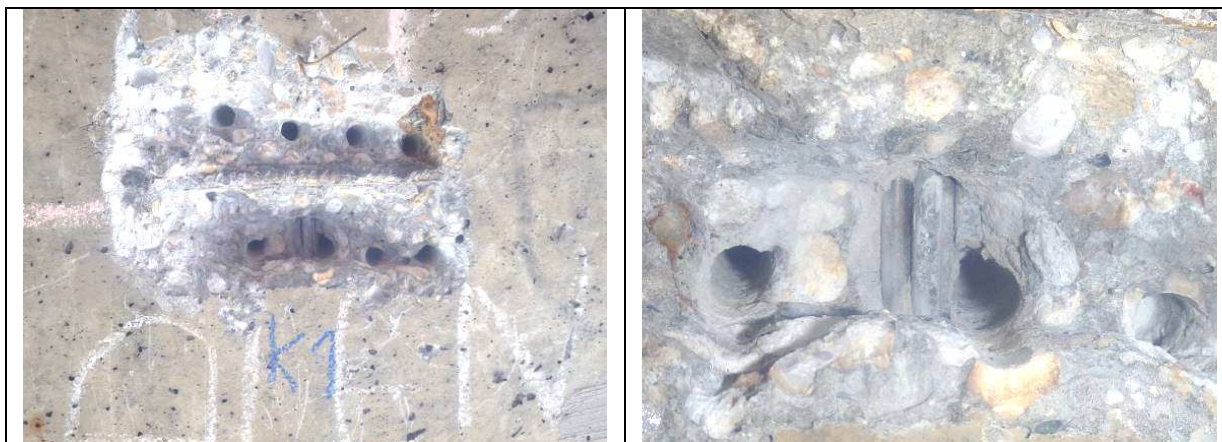


- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| • Asfaltové súvrstvie | 115 mm (30,20,15,10,40) |
| • Betón | 30 mm |
| • Izolácia | 10 mm |
| • Vyrovnávací betón | 115 mm |
| • Vyrovnávací betón | 30 mm |
| • Betón NK (nosník) | |

Obr. 30 Sonda do vozovky S3

2.5.6 Overenie stavu predpínacích káblov

Stav odkrytých kanálikov predpínacej výstuže je zdokumentovaný na obr. 31 až 34. Rozmiestnenie odkrytých kanálikov predpínacej výstuže je zobrazené na obr. 5.



Miesto „K1“:

- odkrytie pri opore;
- počet odkrytých kanálikov predpínacej výstuže 1 ks;
- kanálik bez chráničky;
- predpínacie laná bez korózie;
- priemer drôtov 4,5 mm;
- kanálik vyplnený injektážnou zmesou;
- osová vzdialenosť kanálika od hrany nosníka 300 mm;
- krytie kanálika 40 mm
- pri odkrytí nájdený strmeň nosníka: priemer 10 mm, druh výstuže 10425, krytie 0–5 mm

Obr. 31 Overenie stavu predpínacej výstuže v mieste „K1“



Miesto „K2“:

- odkrytie v tretine rozpätia;
- počet odkrytých kanálikov predpínacej výstuže 2 ks;
- kanáliky bez chráničky;
- predpínacie laná bez korózie;
- priemer drôtov 4,5 mm;
- kanáliky čiastočne vyplnené injektážnou zmesou;
- osová vzdialenosť kanálikov od hrany nosníka 230, 310 mm;
- krytie kanálikov 30 mm

Obr. 32 Overenie stavu predpínacej výstuže v mieste „K2“



Miesto „K3“:

- odkrytie v tretine rozpätia;
- počet odkrytých kanálikov predpínacej výstuže 2 ks;
- kanáliky bez chráničky;
- predpínacie laná s povrchovou koróziou;
- priemer drôtov 4,5 mm;
- kanáliky čiastočne vyplnené injektážnou zmesou;
- osová vzdialenosť kanálikov od hrany nosníka 230, 300 mm;
- krytie kanálikov 35 - 40 mm
- pri odkrytí nájdený strmeň nosníka: priemer 10 mm, druh výstuže 10425, krytie 10 mm

Obr. 33 Overenie stavu predpínacej výstuže v mieste „K3“



Miesto „K4“:

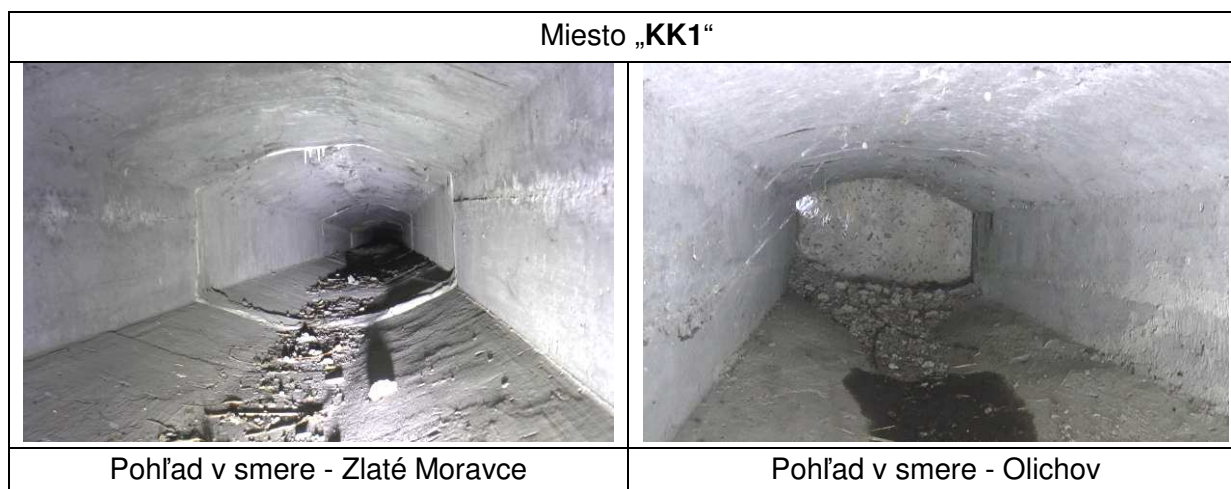
- odkrytie v tretine rozpätia;
- počet odkrytých kanálikov predpínacej výstuže 1 ks;
- kanálik bez chráničky;
- predpínacie laná s povrchovou koróziou;
- priemer drôtov 4,5 mm;
- kanáliky vyplnený injektážnou zmesou;
- osová vzdialenosť kanálika od hrany nosníka 500 mm;
- krytie kanálika 40 mm
- trhlina v betóne v mieste vedenie kanálika

Obr. 34 Overenie stavu predpínacej výstuže v mieste „K4“

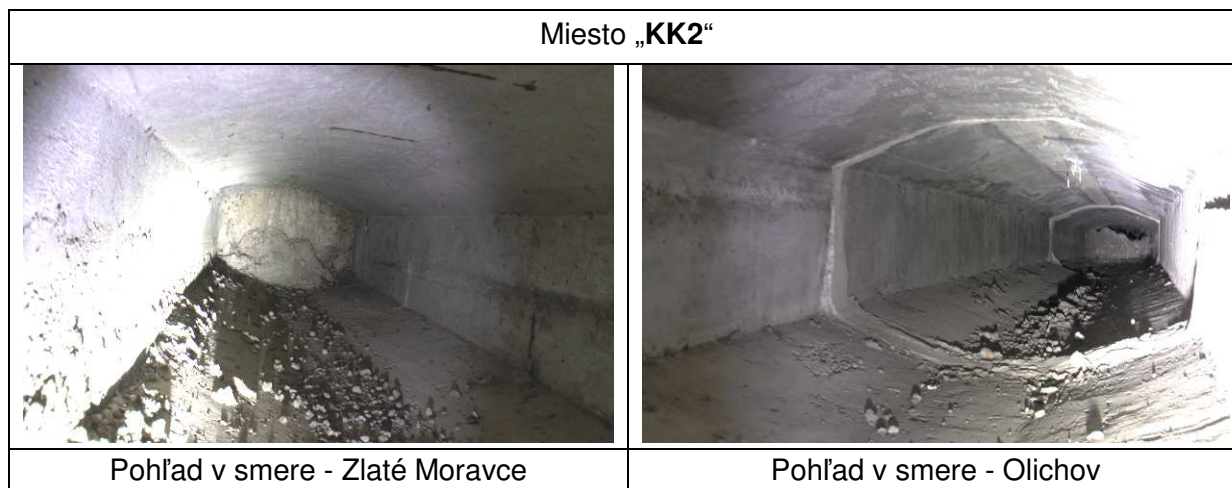
2.5.7 Kamerová prehliadka stavu komôr

Skutkový stavu kontrolovaných komôr (priestor medzi nosníkmi) je zobrazený na obr. 35 až 38. Rozmiestnenie miest kontrolovaných komôr je uvedené na obr. 5. Videosúbory zachytávajúce stav komôr tvoria prílohu 2 tejto správy (DVD, vo formáte mp4).

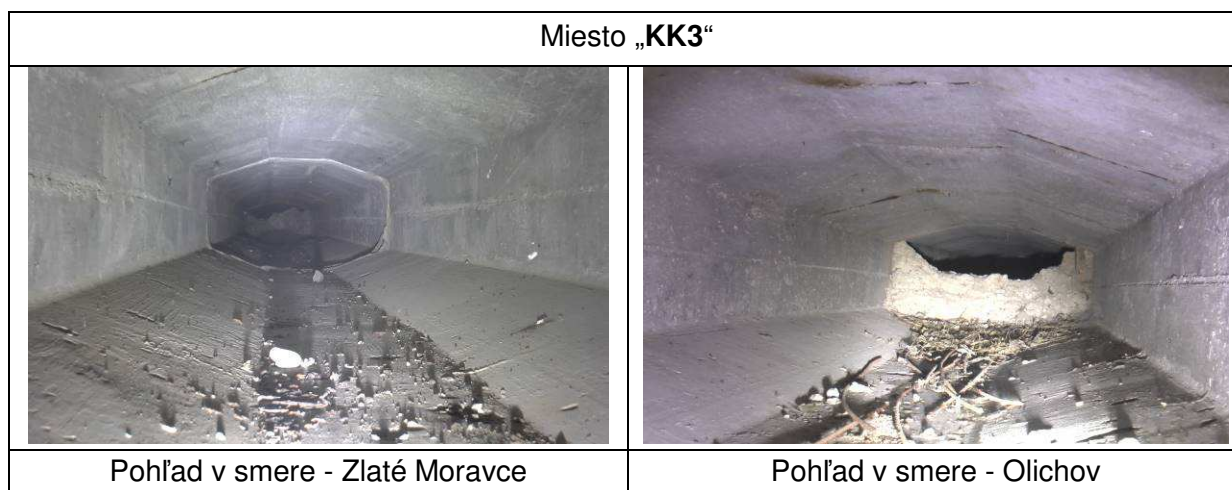
Analýzou kamerových záznamov vyplýva, že komory sú znečistené zvyškami stavebných materiálov z výstavby objektu (betonárska výstuž, stavebná suť) a nedostatočne vybetónované čelá nosníkov.



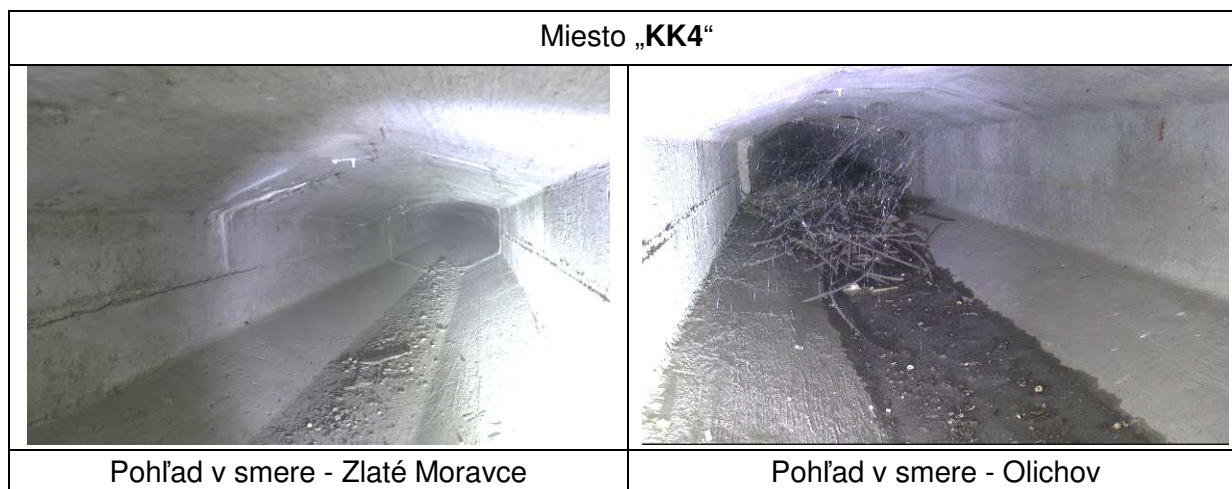
Obr. 35 Overenie stavu komory v mieste „KK1“



Obr. 36 Overenie stavu komory v mieste „KK2“



Obr. 37 Overenie stavu komory v mieste „KK3“



Obr. 38 Overenie stavu komory v mieste „KK4“

2.5.8 Podrobná prehliadka mosta

Na mostnom objekte bolo identifikovaných niekoľko miest porúch, ktoré sú zdokumentované v prílohe 2 tejto správy. Niektoré z nich sú zobrazené na obr. 39 až 42. Schémy – mapy porúch, na ktorých sú zaznamenané poruchy objektu sú schematicky znázornené na obr. 40 a 41. V tab. 9 je uvedený podrobný prehľad a popis jednotlivých zistených porúch na nosnej konštrukcii, spodnej stavbe a mostnom zvršku.

Tab. 9 Poruchy na mostnom objekte

Číslo fotky	Označenie a typ poruchy	Umiestnenie	Poznámka
168,169			pohľad na mostný objekt
170 - 175	321 povrchové sieťové trhlinky	rímsa	sústava jemných trhlín na povrchu betónu, tvoriacich sieť
176			pohľad na mostný objekt
177 - 182	321 povrchové sieťové trhlinky	rímsa	sústava jemných trhlín na povrchu betónu, tvoriacich sieť
178,180	523 nedostatočne chránená kotva	nosná konštrukcia	kotva predpínacieho kábla s nedostatočnou ochrannou vrstvou alebo s poškodeným, prípadne chýbajúcim krytom
183 - 186	1106 nežiaduca vegetácia	násypové svahy	bujnenie vegetácie na násypovom telese v bezprostrednej blízkosti mostného objektu
187- 189	501 krytie výstuže 511 korózia betonárskej výstuže 313 odlupovanie	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, odlupovanie cementovej malty z povrchu betónu a obnažovanie zrn kameniva
190	501 krytie výstuže 328 kaverna	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, nevyplnená časť betónového konštrukčného prvku
191	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
192	342 poškodenie ochrannej vrstvy	spodná stavba	porušenie vrstvy náteru alebo povlaku, tvoriacich sekundárnu ochranu betónu
193	501 krytie výstuže 312 odlamovanie betónu	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, odpadávanie úlomkov betónu najčastejšie pozdĺž výstužných vložiek
194	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
195	501 krytie výstuže 511 korózia betonárskej výstuže 313 odlupovanie	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, odlupovanie cementovej malty z povrchu betónu a obnažovanie zrn kameniva

Číslo fotky	Označenie a typ poruchy	Umiestnenie	Poznámka
196	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
197, 207	501 krytie výstuže 511 korózia betonárskej výstuže 313 odlupovanie	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, odlupovanie cementovej malty z povrchu betónu a obnažovanie zrn kameniva
198	327 prasklina	spodná stavba	trhlina väčšej šírky
199	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
200	501 krytie výstuže 312 odlamovanie betónu	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, odpadávanie úlomkov betónu najčastejšie pozdĺž výstužných vložiek
201	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
202	328 kaverna	spodná stavba	nevyplnená časť betónového konštrukčného prvku
203	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
204	312 odlamovanie betónu	spodná stavba	odpadávanie úlomkov betónu najčastejšie pozdĺž výstužných vložiek
205	501 krytie výstuže 328 kaverna	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, nevyplnená časť betónového konštrukčného prvku
206	501 krytie výstuže	spodná stavba	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
208	303 vlhké škvrny 328 kaverna	spodná stavba	mokrú oblasť na povrchu konštrukcie od stekajúcej vody alebo vody prenikajúcej škárami a trhlinami bez narušenia konštrukčného materiálu, nevyplnená časť betónového konštrukčného prvku
209	303 vlhké škvrny	spodná stavba	mokrú oblasť na povrchu konštrukcie od stekajúcej vody alebo vody prenikajúcej škárami a trhlinami bez narušenia konštrukčného materiálu
210	501 krytie výstuže	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
211, 212	501 krytie výstuže 511 korózia 304 záclony 302 inkrustácie	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, stopy stekajúcej vody na zvislých častiach konštrukcie s nánosmi, výluhy zo zložiek betónu na povrchu betónu, tvoriace pevné usadeniny hrúbky niekoľko mm a kvaple

Číslo fotky	Označenie a typ poruchy	Umiestnenie	Poznámka
213	501 krytie výstuže	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
214, 215	501 krytie výstuže 511 korózia 304 záclony	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, stopy stekajúcej vody na zvislých častiach konštrukcie s nánosmi,
216	305 znečistenie	nosná konštrukcia	znečistenie betónovej nosnej konštrukcie nad železnicou
217 - 219	322 pozdĺžne trhliny	nosná konštrukcia	trhliny prebiehajúce rovnobežne s pozdĺžnou osou konštrukcie
220, 221	501 krytie výstuže 511 korózia	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom
222	501 krytie výstuže	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
223	501 krytie výstuže	nosná konštrukcia	malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu
224, 225		mostný zvršok	pohľad na mostný zvršok
226 - 228	618 trhlina nad podpovrchovou dilatáciou 617 priečne poklesnutie vozovky	mostný zvršok	trhlina alebo viacero trhlín na vozovke v oblasti podpovrchových dilatácií, výrazne ohraničené zníženie povrchu vozovky v priečnom smere rôznej šírky a hĺbky
230 - 232	607 výtlky vo vozovke 614 sieťové trhliny 602 potenie povrchu vozovky	mostný zvršok	plytké až hlboké priehlbiny vo vozovke, zasahujúce hrúbku obrusnej vrstvy, sieť úzkych menej výrazných trhlín zasahujúcich väčšinou len obrusnú vrstvu, vystupovanie spojiva na povrch vozovky
233 - 234	614 sieťové trhliny 602 potenie povrchu vozovky	mostný zvršok	sieť úzkych menej výrazných trhlín zasahujúcich väčšinou len obrusnú vrstvu, vystupovanie spojiva na povrch vozovky
236, 237	618 trhlina nad podpovrchovou dilatáciou	mostný zvršok	trhlina alebo viacero trhlín na vozovke v oblasti podpovrchových dilatácií
238, 239	618 trhlina nad podpovrchovou dilatáciou 602 potenie povrchu vozovky	mostný zvršok	trhlina alebo viacero trhlín na vozovke v oblasti podpovrchových dilatácií, vystupovanie spojiva na povrch vozovky
240 - 243		mostný zvršok	pohľad na mostný zvršok



Obr. 39

Fotka – 195 - malá krycia vrstva betónu nad výstužou, nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, odlupovanie cementovej malty z povrchu betónu a obnažovanie zrn kameniva



Obr. 40

Fotka – 211 - malá krycia vrstva betónu nad výstužou nezabezpečujúca požadovanú ochranu, vložky betonárskej výstuže s korodujúcim povrchom, stopy stekajúcej vody na zvislých častiach konštrukcie s nánosmi, výluhy zo zložiek betónu na povrchu betónu tvoriace pevné usadeniny hrúbky niekoľko mm a kvaple

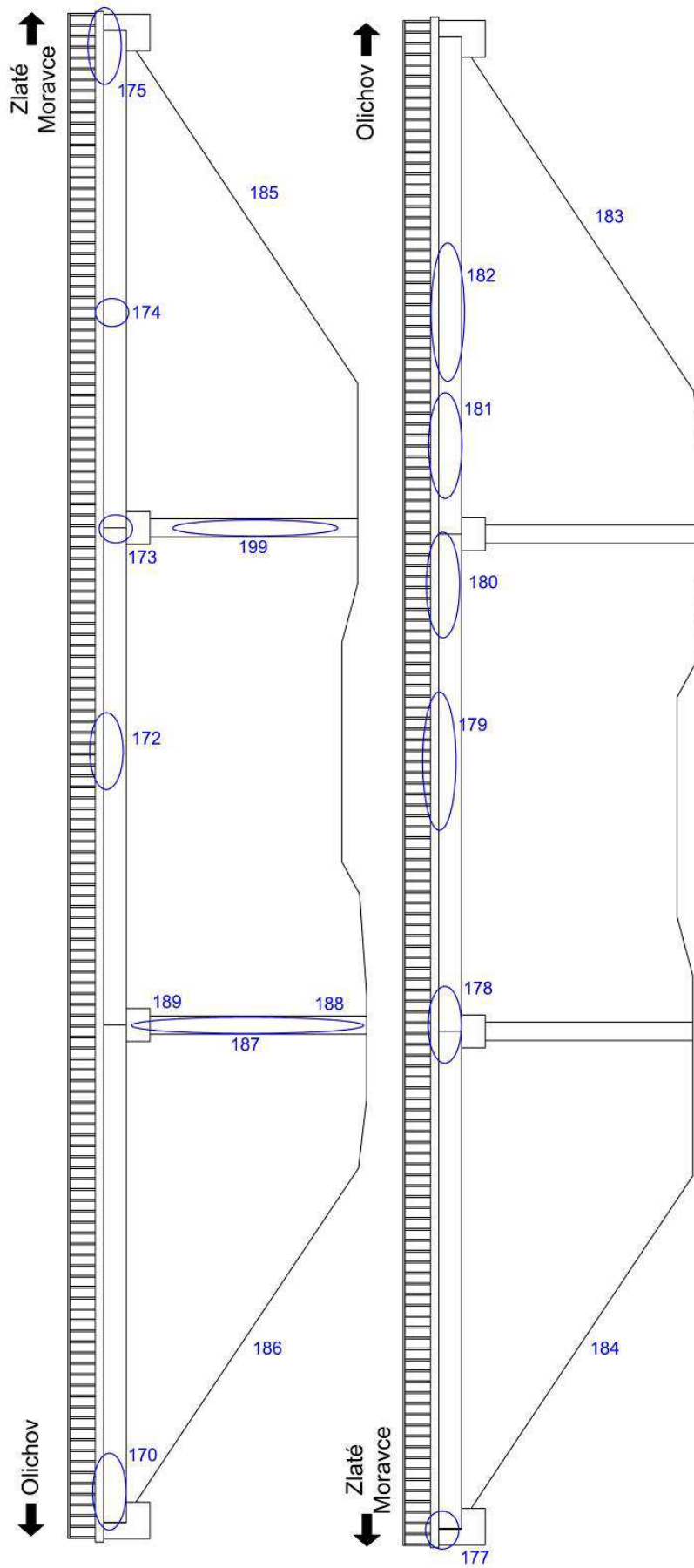


Obr. 41 Fotka – 219 - trhliny prebiehajúce rovnobežne s pozdĺžnou osou konštrukcie

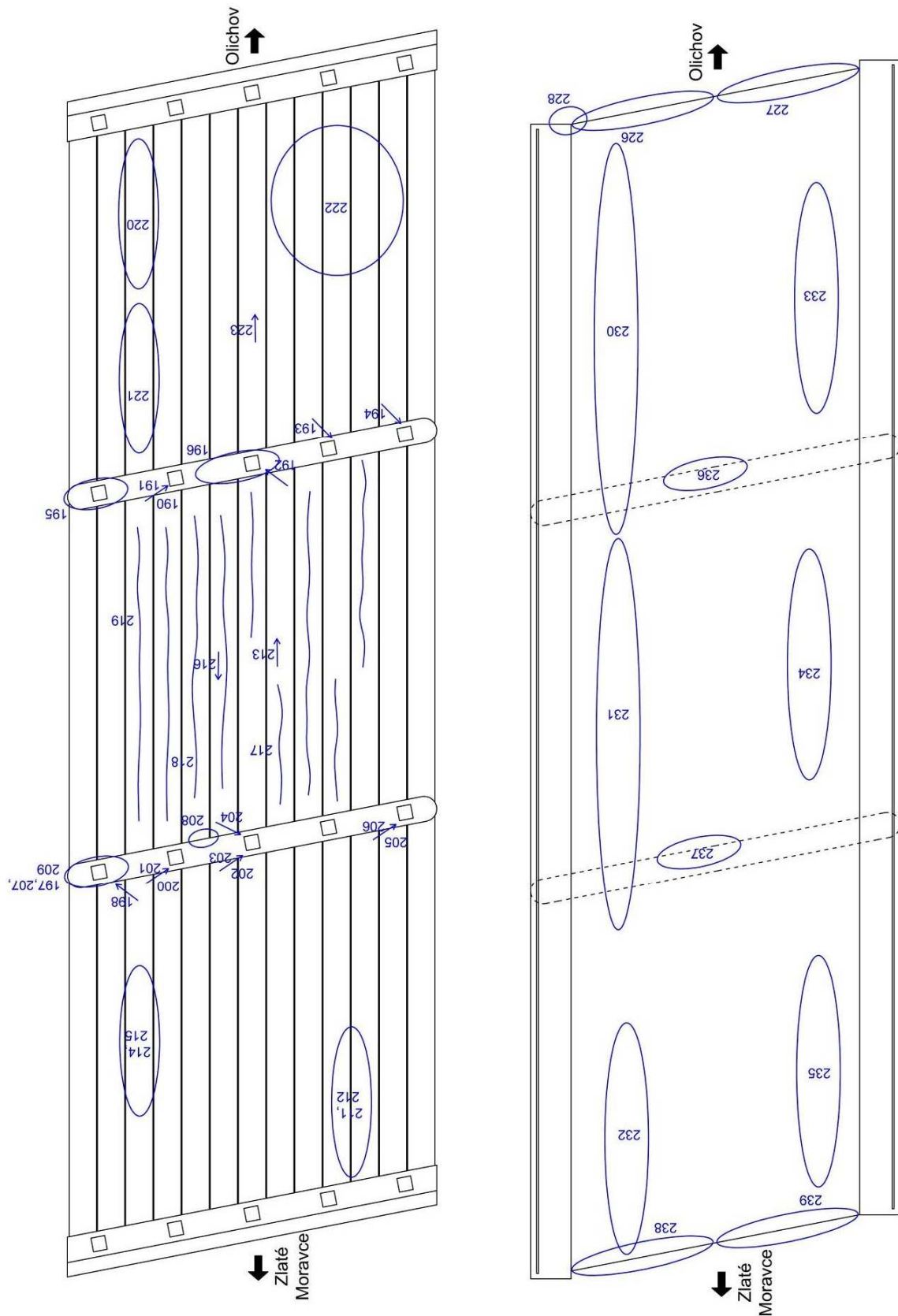


Obr. 42

Fotka – 230 - plytké až hlboké priehlbiny vo vozovke, zasahujúce hrúbku obrusnej vrstvy, sieť úzkych menej výrazných trhlín zasahujúcich väčšinou len obrusnú vrstvu, vystupovanie spojiva na povrch vozovky



Obr. 43 Schéma porúch



Obr. 44 Schéma porúch

3 Prepočet zaťažiteľnosti

3.1 Metodika statického prepočtu

Pre potreby statického prepočtu bolo najskôr nutné stanoviť mechanické vlastnosti materiálov nosnej konštrukcie, zistiť rozmery jednotlivých nosných prvkov a ich súčasný stavebno – technický stav. Na získanie týchto potrebných vstupných informácií slúžila hlavne diagnostika mostného objektu (viď kap. 2) ale aj podrobná obhliadka mostného objektu a mostný list.

Po analýze vstupných údajov o mostnom objekte sa pristúpilo k modelovaniu mostnej konštrukcie v prostredí programového systému Scia Engineer za účelom zistenia odozvy konštrukcie na jednotlivé druhy zaťaženia a tým získania podkladu pre statický prepočet. Posledným vstupom pre určenie zaťažiteľnosti mosta bolo určenie únosnosti nosnej konštrukcie.

Nosná 3 poľová konštrukcia je tvorená tzv. „žalúziou doskou“ z predpätých prefabrikovaných nosníkov a každé pole pôsobí ako prostý nosník. Pri prepočte zaťažiteľnosti bol zohľadnený súčasný stavebno-technický stav nosnej konštrukcie a spodnej stavby mosta.

3.2 Analýza konštrukcie

Mostný objekt 65-020 je 3-poľový predpätý doskový most. Nosná konštrukcia je tvorená v priečnom reze celkovo 13 predpätými nosníkmi „KA-61“ (celkovo $3 \times 13 = 39$ nosníkov). Dĺžka nosníkov je 13,6 m. Rozpätia jednotlivých polí mosta sú 13,1 + 13,2 + 13,1 m. Nosníky sú v priečnom smere prepojené dobetonávkami vystuženými betonárskou výstužou. Celkovo tak nosná konštrukcia v priečnom smere pôsobí ako tzv. „žalúziou doska“ a priečny roznos zaťaženia medzi jednotlivé nosníky bol zohľadnený zvolením vhodného výpočtového modelu.

V pozdĺžnom smere je nosná konštrukcia predpätá. Každý nosník sa skladá z troch častí a bol dodatočne predopnutý 13-timi predpínacími káblami. Nosníky sú uložené priamo na železobetónových úložných prahoch bez použitia ložísk. Nosná konštrukcia v pozdĺžnom smere nie je spojená a jednotlivé polia mosta pôsobia ako prosté nosníky. Úložné železobetónové prahy sú v priečnom reze obdĺžnikového prierezu 0,65 x 0,90 m. Každý je podporený celkovo 5-timi železobetónovými stojkami štvorcového prierezu 0,5 x 0,5 m. Stojky sú votknuté do plošného základu (obr. 44 a 45).

3.3 Výpočtové modely

3.3.1 Priestorový model celkovej konštrukcie mostu

Na vystihnutie priestorového správania sa konštrukcie bol vytvorený v prostredí programovom systéme Scia Engineer celkový dosko – prúťový model mostu vrátane votknutých stojok pilierov a úložných prahov. Tento model slúži na určenie rozhodujúcich hodnôt vnútorných síl pre určenie zaťažiteľnosti jednotlivých limitujúcich prierezov danej nosnej konštrukcie. Konštrukcia je vyskladaná zo 39 prúťových prvkov – predpätých nosníkov „KA-61“ dĺžky 13,6 m, ktoré nie sú v pozdĺžnom smere prepojené. V priečnom smere je nosná konštrukcia tvorená z 13 ks predpätých nosníkov.



Obr. 45 Pohľad na mostnú konštrukciu

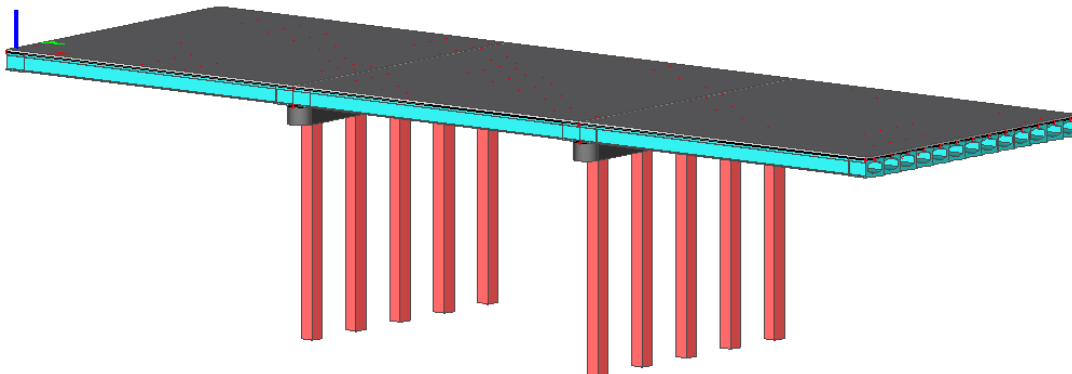


Obr. 46 Pohľad na nosný systém mosta

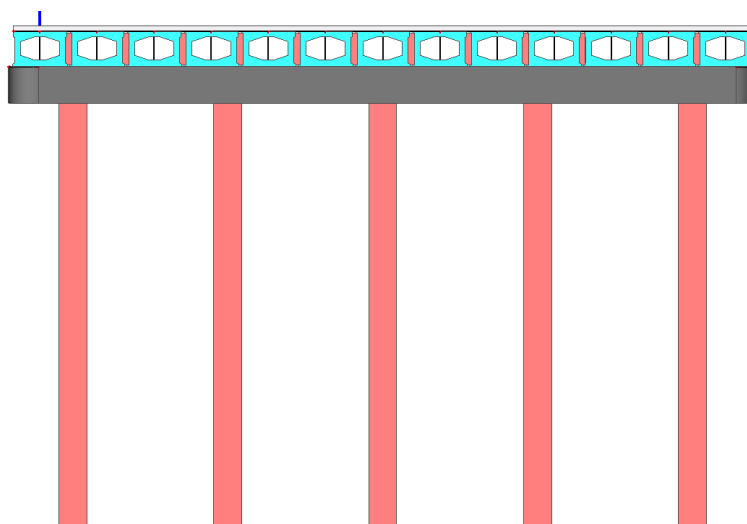
Jednotlivé nosníky sú prepojené dobetonávkami. V modeli sú namodelované tieto dobetonávky prútvými prvkami prierezu $0,57 \times 1,0$ m (1,0 m je osová vzdialenosť jednotlivých modelovaných prepojení a 0,57 m je ich teoretická hrúbka). Dĺžka týchto prútvých prvkov je 113 mm, čo zodpovedá vzdialenosti stien nosníkov. Prúty dobetonávok majú na oboch koncoch modelované kĺby umožňujúce ich pootočením vzhľadom k nosníkom (princíp žaluziovej dosky) a sú k systémovým osiam hlavných nosníkov pripojené pomocou tuhých väzieb.

Každé pole nosnej konštrukcie je uložené ako prostý nosník. Hlavné nosníky sú na krajoch podopreté systémovými podperami a v mieste pilierov sú uložené na úložnom prahu (prútvový prvok prierezu $0,65 \times 0,90$ m) pomocou nekonečne tuhého prvku, ktorému boli priradené kĺby umožňujúce pootočením a posuny v závislosti od uvažovaného typu uloženia. Úložné prahy sú v modeli podopreté prútvými prvkami – železobetónovými stojkami prierezu $0,5 \times 0,5$ m, ktoré sú votknuté.

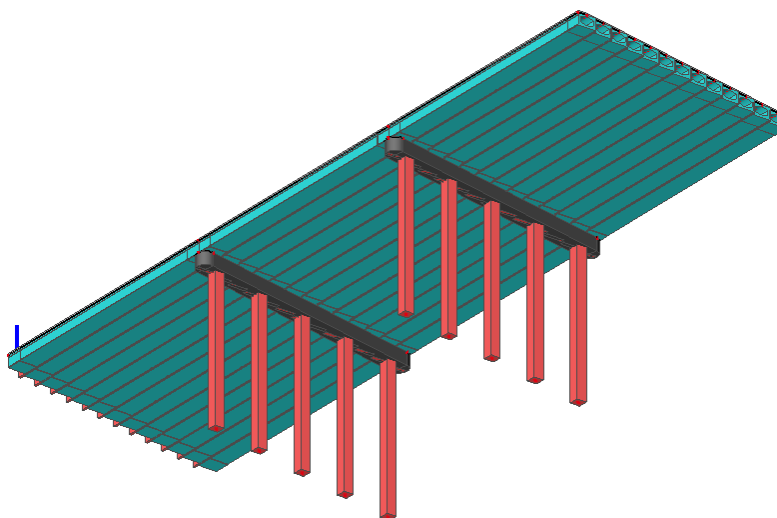
Vo výpočtovom modeli boli modelované zaťaženia podľa TP 104 (Zaťažiteľnosť cestných mostov a lávok). Pre určenie rozhodujúcich polôh zaťaženia vzhľadom na jednotlivé posudzované prierezy boli vytvorené vplyvové plochy pre zaťaženie a následne bolo zaťaženie umiestnené na most podľa nich pre každý skúmaný prierez zvlášť.



Obr. 47 Pohľad na priestorový výpočtový model



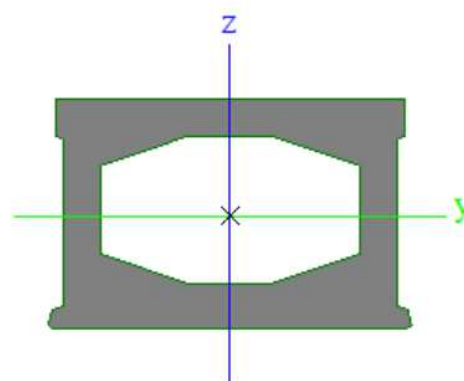
Obr. 48 Výpočtový model - priečny rez



Obr. 49 Výpočtový model – pohľad na nosnú konštrukciu zospodu

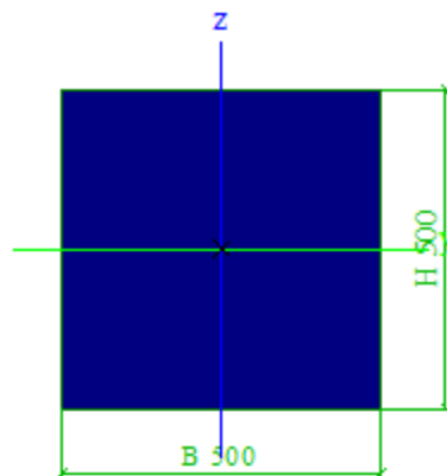
Tab. 11 Prierezy použité vo výpočtovom modeli

KA-61 – Začiatok a koniec nosníka		
Typ	Všeobecný prierez	
Typ tvaru	Hrubostenný	
Materiálová položka	C50/60	
Výroba	všeobecný	
A [m ²]	3,24E-01	
Ay [m ²], Az [m ²]	2,10E-01	1,44E-01
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	3,22E+00	5,15E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	0	303
\alfa [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	1,59E-02	3,09E-02
iy [mm], iz [mm]	221	308
Wely [m ³], Welz [m ³]	4,99E-02	6,30E-02
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	7,98E-03	0,00E+00
β y [mm], β z [mm]	25	0



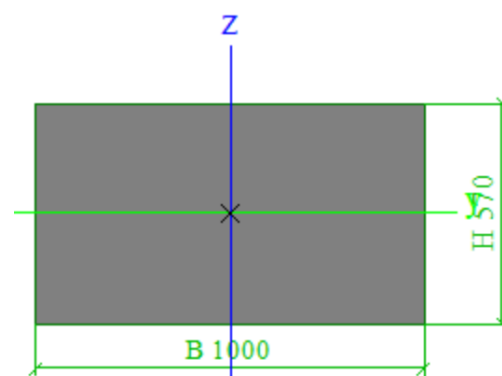
KA-61 – Stred nosníka		
Typ	Všeobecný prierez	
Typ tvaru	Hrubostenný	
Materiálová položka	C50/60	
Výroba	všeobecný	
A [m ²]	3,05E-01	
Ay [m ²], Az [m ²]	1,93E-01	1,37E-01
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	3,18E+00	5,11E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	0	321
\alfa [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	1,41E-02	2,94E-02
iy [mm], iz [mm]	215	310
Wely [m ³], Welz [m ³]	4,68E-02	5,99E-02
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	6,65E-03	0,00E+00
β y [mm], β z [mm]	0	0

Pilier - Stojky		
Typ	Obdĺžnik	
Detailný	500; 500	
Typ tvaru	Hrubostenný	
Materiálová položka	C45/55	
Výroba	betón	
A [m ²]	2,50E-01	
Ay [m ²], Az [m ²]	2,08E-01	2,08E-01
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	2,00E+00	2,00E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	250	250
\alfa [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	5,21E-03	5,21E-03
iy [mm], iz [mm]	144	144
Wely [m ³], Welz [m ³]	2,08E-02	2,08E-02
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	8,80E-03	0,00E+00
β y [mm], β z [mm]	0	0

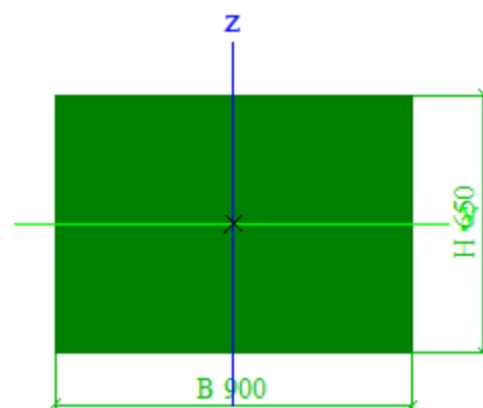


POMOCNY PRUT		
Typ	Obdĺžnik	
Detailný	Číselný	
Rovinný vzper y-y, Rovinný vzper z-z	d	d
A [m ²]	1,00E+00	
Ay [m ²], Az [m ²]	1,00E+00	1,00E+00
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	2,00E+00	2,00E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	25000	25000
\alfa [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	5,00E+08	5,00E+08
iy [mm], iz [mm]	22360680	22360680
Wely [m ³], Welz [m ³]	5,00E+08	5,00E+08
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	5,00E+08	0,00E+00
β y [mm], β z [mm]	0	0

Medzinosníkové dobetonávky		
Typ	Obdĺžnik	
Detailný	570; 1000	
Typ tvaru	Hrubostenný	
Materiálová položka	C50/60(EN1992-2)	
Výroba	betón	
A [m ²]	5,70E-01	
Ay [m ²], Az [m ²]	4,75E-01	4,75E-01
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	3,14E+00	3,14E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	500	285
\alfa [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	1,54E-02	4,75E-02
iy [mm], iz [mm]	165	289
Wely [m ³], Welz [m ³]	5,42E-02	9,50E-02
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	3,97E-02	0,00E+00
\beta y [mm], \beta z [mm]	0	0



Úložný prah piliera		
Typ	Obdĺžnik	
Detailný	650; 900	
Typ tvaru	Hrubostenný	
Materiálová položka	C45/55(EN1992-2)	
Výroba	betón	
A [m ²]	5,85E-01	
Ay [m ²], Az [m ²]	4,88E-01	4,88E-01
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	3,10E+00	3,10E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	450	325
\alfa [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	2,06E-02	3,95E-02
iy [mm], iz [mm]	188	260
Wely [m ³], Welz [m ³]	6,34E-02	8,78E-02
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	4,59E-02	0,00E+00
\beta y [mm], \beta z [mm]	0	0



Vysvetlivky symbolov	
A	Plocha
A _y	Šmyk. plocha v hlavnom smere y
A _z	Šmyk. plocha v hlavnom smere z
AL	Obvod na jednotku dĺžky
AD	Vysychajúci obvod na jednotku dĺžky
cYUSS	Súradnica ťažiska v smere Y zadaného osového systému
cZUSS	Súradnica ťažiska v smere Z zadaného osového systému
IYLSS	Moment zotrvačnosti k osi YLSS
IZLSS	Moment zotrvačnosti k osi ZLSS
IYZLSS	Deviačný moment plochy v systéme LSS
\alpha	Uhlové pootočenie hlavného osového systému
I _y	Moment zotrvačnosti k hlavnej osi y
I _z	Moment zotrvačnosti k hlavnej osi z
i _y	Polomer zotrvačnosti k hlavnej osi y
i _z	Polomer zotrvačnosti k hlavnej osi z
W _{ely}	Pružný prierezový modul k hlavnej osi y
W _{elz}	Pružný prierezový modul k hlavnej osi z
W _{ply}	Plastický prierezový modul k hlavnej osi y
W _{plz}	Plastický prierezový modul k hlavnej osi z
M _{ply+}	Plastický moment k hlavnej osi y pre kladný moment M _y
M _{ply-}	Plastický moment k hlavnej osi y pre záporný moment M _y
M _{plz+}	Plastický moment k hlavnej osi z pre kladný moment M _z
M _{plz-}	Plastický moment k hlavnej osi z pre záporný moment M _z
d _y	Súradnica stredy šmyku v hlavnom smere y meraná od ťažiska - Nevypočítané ale zjednodušené
d _z	Súradnica stredy šmyku v hlavnom smere z meraná od ťažiska - Nevypočítané ale zjednodušené
I _t	Konštanta krútenia - Nevypočítané ale zjednodušené
I _w	Konštanta deplanácie - Nevypočítané ale zjednodušené
β _y	Konštanta monosymetrie k hlavnej osi y
β _z	Konštanta monosymetrie k hlavnej osi z

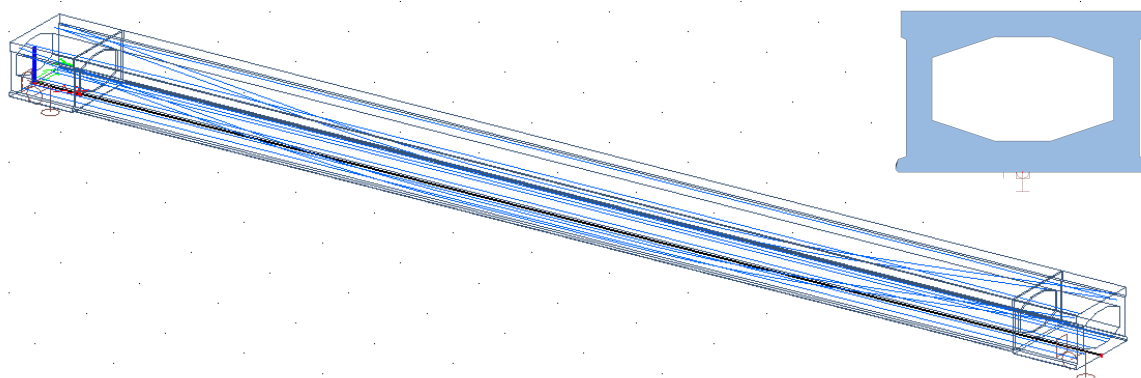
Tab. 10 Materiály použité vo výpočtovom modeli

Betón EC2

Názov	Typ	Merná hmotnosť [kg/m ³]	E modul [MPa]	Poisson - nu	Tepelná rozťažnosť [m/mK]	Charakteristická valcová pevnosť v tlaku f _{ck} (28) [MPa]
C45/55	Betón	2500	3,63E+04	0.2	0	45
C50/60	Betón	2500	3,73E+04	0.2	0	50
BETON POM. DOSKY	Betón	0	5,00E+02	0.2	0	0,1

3.3.2 Prútvý model predpätého nosníka

Uvedený výpočtový model bol vytvorený na určenie únosnosti predpätého nosníka. Nosník je modelovaný prútvým prvkom a následne mu bola namodelovaná predpínacia výstuž zodpovedajúceho množstva a geometrie. Vo výpočtovom modeli sú zohľadnené straty napätia vo výstuži (vplyvom dotvarovania, zmršťovania, relaxáciou, poklzmom v kotvení, a trením o káblové kanáliky).



Obr. 50 Výpočtový prútvý model – pohľad a priečny rez



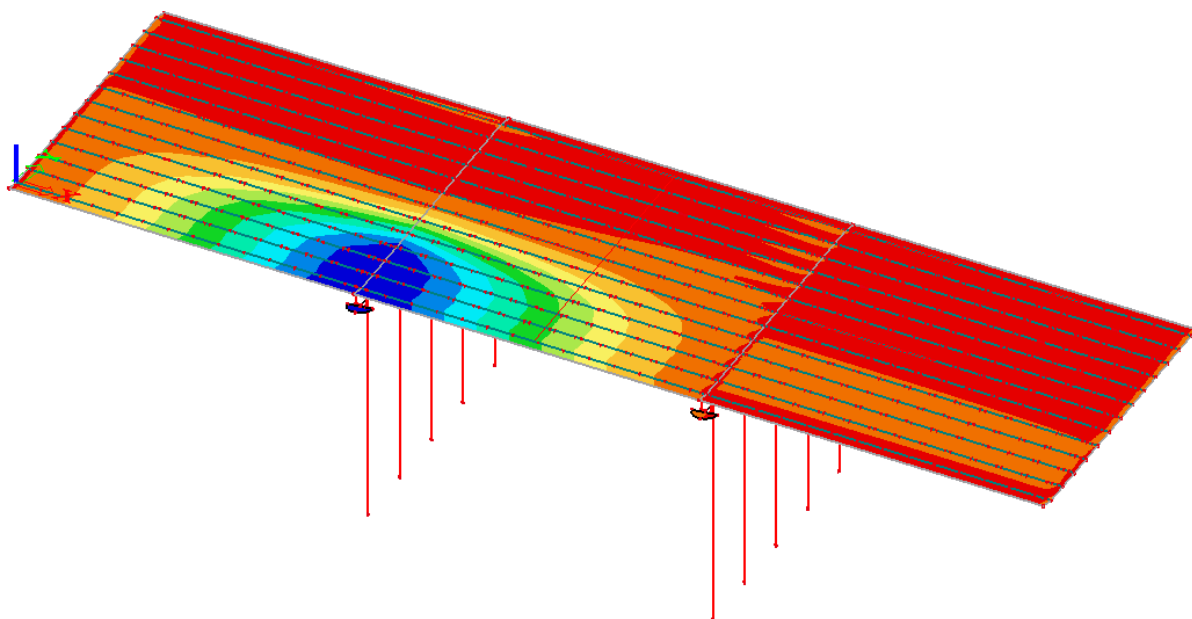
Obr. 51 Vedenie predpínacej výstuže v nosníku

Tab. 11 Materiály použité vo výpočtovom modeli

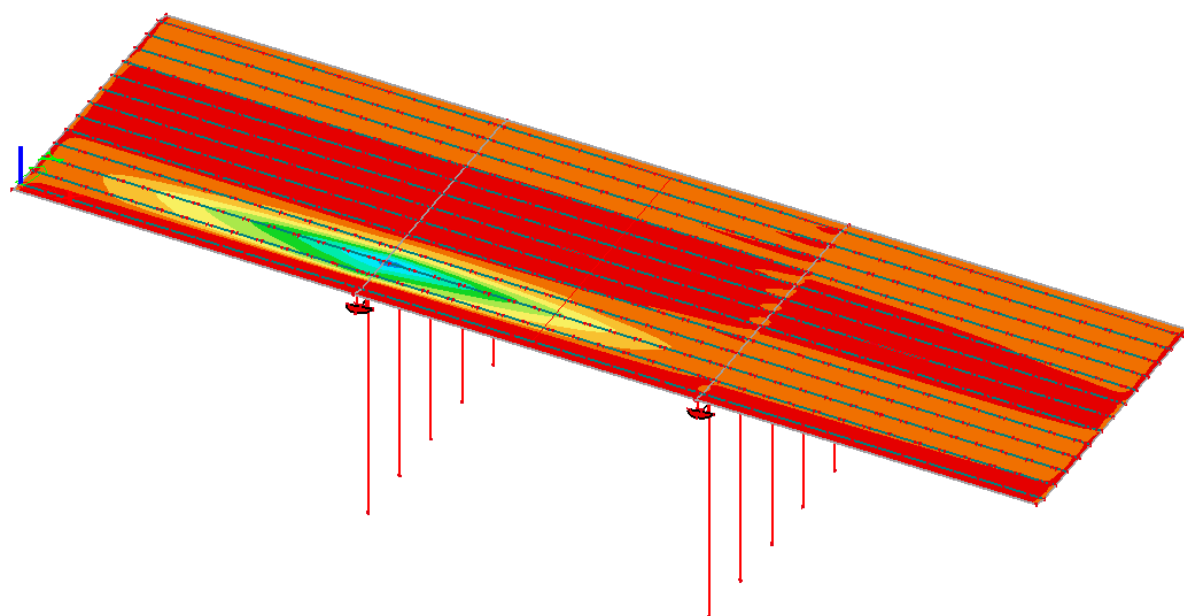
Predpätá výstuž EC2

Typ	Tepelná rozťažnosť [m/mK]	E modul [MPa]	Priemer [mm]	Charakteristická pevnosť v ťahu (f _{pk}) [MPa]
Názov	Merná hmotnosť [kg/m ³]	G modul [MPa]	Plocha [mm ²]	Trieda relaxácie
Hladký kruhový drôt	0	2,05E+05	4,5	1620
Y1620C-4,5	7850	8,91E+04	16	Trieda 2 - dróty a laná s nízkou relaxáciou Napätie uvoľňujúci

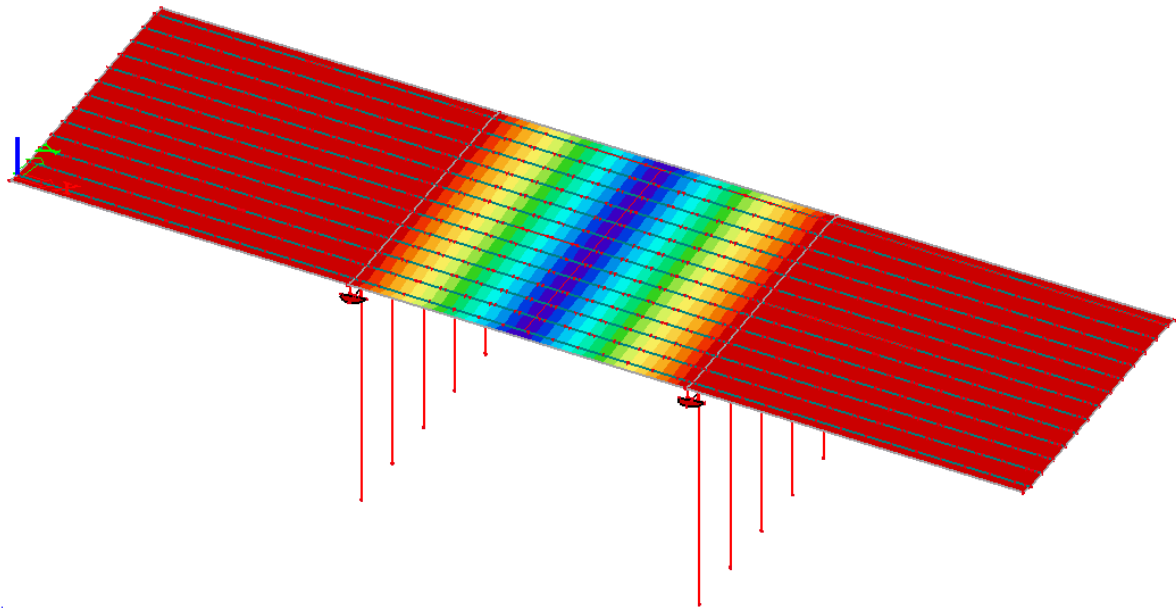
3.4 Vplyvové plochy pre určenie polohy zaťaženia



Obr. 52 Vplyvová plocha pre určenie polohy premenného zaťaženia dopravou, vyvodzujúceho maximálnu tlakovú silu v bet. stojkách piliera.



Obr. 53 Vplyvová plocha pre určenie polohy premenného zaťaženia dopravou, vyvodzujúceho maximálny ohybový moment v úložnom prahu piliera.



Obr. 54 Vplyvová plocha pre určenie polohy premenného zaťaženia dopravou, vyvodzujúceho maximálny ohybový moment v strede poľa 2

3.5 Výpočet zaťaženia

Stále zaťaženie - Vlastná tiaž nosnej konštrukcie (G_0)

Je vygenerovaná výpočtovým programom. Program počíta pri použití betónu s objemovou tiažou betónu 26,0kN/m³

Stále zaťaženie - Nemodelované súčasti konštrukcie (G_{II})

► Predpoklady výpočtu: Zaťaženie tiažou vozovky a ďalších vodorovných konštrukcií uvažujem ako plošné rovnomerné vždy s intenzitou vyplývajúcou z priemernej hrúbky daného prvku. V prípade existujúcich ríms je celá konštrukcia rímsy uvažovaná z betónu.

Výpočet hodnoty spojitých plošných zaťažení:

Objemové tieže jednotlivých materiálov:

- betón $\gamma_b := 26 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$
- vozovka $\gamma_{voz} := 24 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$

Dimenzie jednotlivých prvkov konštrukcie:

► Hrúbka:	Vozovka	$h_{voz} := 110 \text{ mm}$
	Betón	$h_{bet} := 140 \text{ mm}$
	ŽB. rímsy	$h_{rim.P} := 310 \text{ mm}$
		$h_{rim.L} := 420 \text{ mm}$
► Zaťažovacia šírka:	Vozovka	$b_{voz} := 10.42 \text{ m}$
	Betón	$b_{bet} := 13.14 \text{ m}$
	ŽB. rímsy	$b_{rim.P} := 1.53 \text{ m}$
		$b_{rim.L} := 1.55 \text{ m}$
► Roznášacia šírka zaťaženia:	Vozovka	$s_{voz} := 10.42 \text{ m}$
	Betón	$s_{bet} := 13.14 \text{ m}$
	ŽB. rímsy	$s_{rim.P} := 1.290 \text{ m}$
		$s_{rim.L} := 1.386 \text{ m}$

Prierezová plocha dobetonávok medzi nosníkmi: $A_{dobet} := 0.0616 \text{ m}^2 \cdot 12 = 0.739 \text{ m}^2$

Hodnoty plošných zaťažení: $g_{voz} := \frac{h_{voz} \cdot b_{voz} \cdot \gamma_{voz}}{s_{voz}} = 2.64 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$

$$g_{rim.L} := \frac{h_{rim.L} \cdot b_{rim.L} \cdot \gamma_b}{s_{rim.L}} = 12.212 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$g_{rim.P} := \frac{h_{rim.P} \cdot b_{rim.P} \cdot \gamma_b}{s_{rim.P}} = 9.56 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$g_{beton} := \frac{h_{bet} \cdot b_{bet} \cdot \gamma_b}{s_{bet}} = 3.64 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$g_{dobetónavky} := \frac{A_{dobet} \cdot \gamma_b}{s_{bet}} = 1.463 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

Zábradlove zvodidlo: $g_z := 1.2 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$

Premenné zaťaženie - Teplotné účinky

Počiatočná teplota mosta - predpokladaná:	$T_0 := 10$...STN EN 1991-1-5, príloha A, str. 26
Súčiniteľ dĺžkovej teplotnej rozťažnosti:	$\alpha_t := 0.00001$...STN EN 1991-1-5, tabuľka C1, str. 30
Hodnota maximálnej rovnomernej zložky teploty mosta:	$T_{max} := 40$...STN EN 1991-1-5/NA, mapy s izotermami, str. 6
Hodnota minimálnej rovnomernej zložky teploty mosta:	$T_{min} := -32$...STN EN 1991-1-5/NA, mapy s izotermami, str. 6

Zložka rovnomernej teploty (T_N)

Typ nosnej konštrukcie - 3 ...STN EN 1991-1-5, obrázok. 6.2, str. 21

Maximálna teplota vzduchu: $T_{e,max} := T_{max} + 2 = 42$...STN EN 1991-1-5/AC, obrázok. 6.1, str. 4

Minimálna teplota vzduchu: $T_{e,min} := T_{min} + 8 = -24$

Charakteristická hodnota maximálneho rozsahu zložky rovnomernej teploty mosta pri skracovaní: $\Delta T_{N,con} := T_0 - T_{e,min} = 34$...STN EN 1991-1-5, (6.1), str. 17

Charakteristická hodnota maximálneho rozsahu zložky rovnomernej teploty mosta pri predlžovaní: $\Delta T_{N,exp} := T_{e,max} - T_0 = 32$...STN EN 1991-1-5, (6.1), str. 17

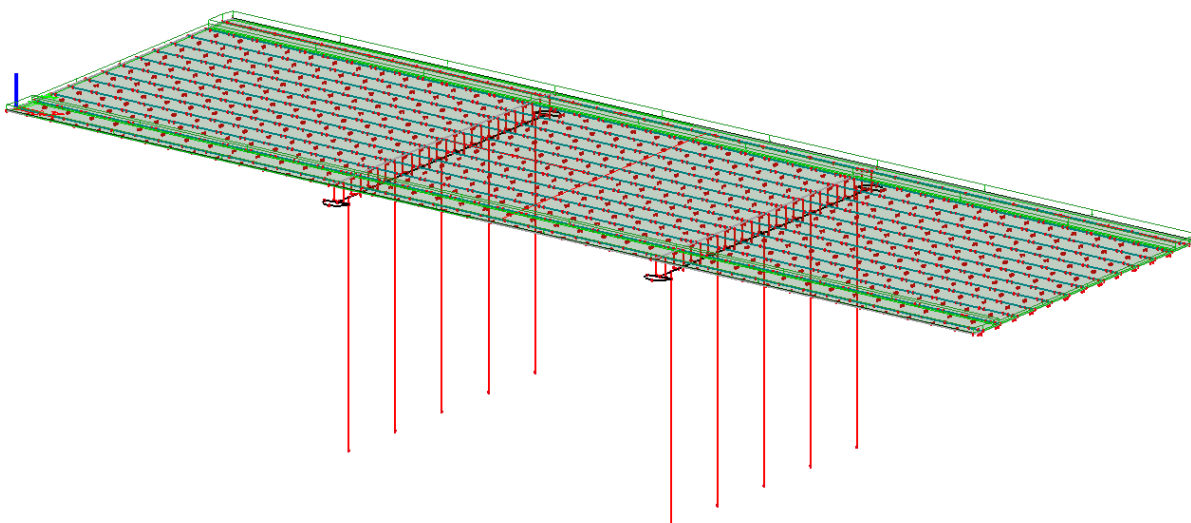
Teplotný spád (T_M)

Vertikálny lineárny teplotný spád bol uvažovaný pre typ nosnej konštrukcie Typ 3, Betónová doska a kryt vozovky hrúbky 90mm.

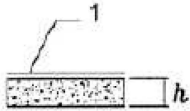
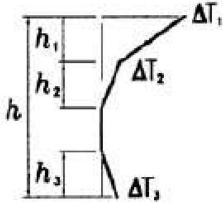
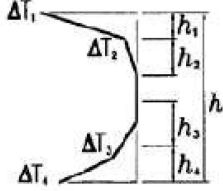
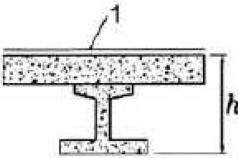
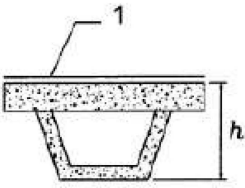
Pre betónovú konštrukciu s vozovkou: $\Delta T_{M,heat} := 0.7 \cdot 15 = 10.5$ a $\Delta T_{M,cool} := 1.0 \cdot 8 = 8$

Pre betónovú konštrukciu bez vozovky: $\Delta T_{M,heat,v} := 0.8 \cdot 15 = 12$ a $\Delta T_{M,cool,v} := 1.1 \cdot 8 = 8.8$

...STN EN 1991-1-5, str. 18



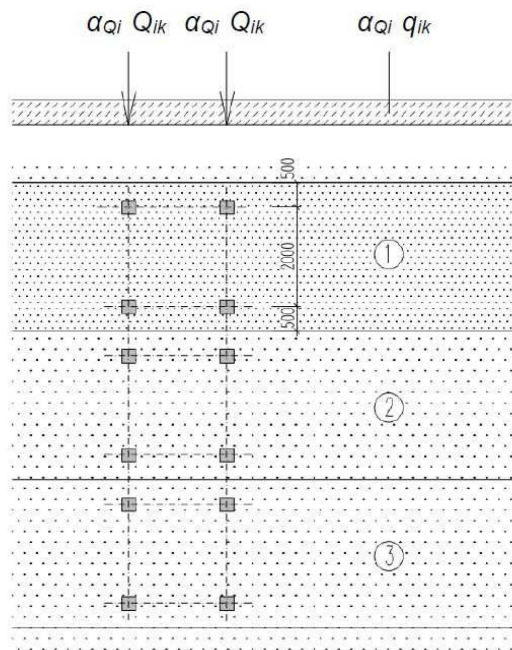
Obr. 55 Poloha stálého zaťaženia nemodelovanými súčasťami konštrukcie (rímsy, vozovka, dobetonávky, ZBZ)

Typ konštrukcie	Teplotný spád ΔT																																																								
	a) ohrevanie	b) ochladzovanie																																																							
 <p>3a. Betónová doska</p>																																																									
 <p>3b. Betónový nosník</p>	<p> $h_1 = 0,3h$ ale $\leq 0,15$ m $h_2 = 0,3h$ ale $\geq 0,10$ m ale $\leq 0,25$ m $h_3 = 0,3h$ ale $\leq (0,10$ m + hrúbka povrchovej úpravy v m) (pre tenké dosky je h_3 limitované hodnotou $h - h_1 - h_2$) </p>	<p> $h_1 = h_4 = 0,20h$ ale $\leq 0,25$ m $h_1 = h_4 = 0,20h$ ale $\leq 0,25$ m </p>																																																							
 <p>3c. Betónový komorový nosník</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h [m]</th> <th>ΔT_1 [°C]</th> <th>ΔT_2 [°C]</th> <th>ΔT_3 [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>8,5</td> <td>3,5</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>12,0</td> <td>3,0</td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,0</td> </tr> <tr> <td>$\geq 0,8$</td> <td>13,0</td> <td>3,0</td> <td>2,5</td> </tr> </tbody> </table>	h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]	$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5	0,4	12,0	3,0	1,5	0,6	13,0	3,0	2,0	$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5	<table border="1"> <thead> <tr> <th>h [m]</th> <th>ΔT_1 [°C]</th> <th>ΔT_2 [°C]</th> <th>ΔT_3 [°C]</th> <th>ΔT_4 [°C]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\leq 0,2$</td> <td>-2,0</td> <td>-0,5</td> <td>-0,5</td> <td>-1,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>-4,5</td> <td>-1,4</td> <td>-1,0</td> <td>-3,5</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>-6,5</td> <td>-1,8</td> <td>-1,5</td> <td>-5,0</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>-7,6</td> <td>-1,7</td> <td>-1,5</td> <td>-6,0</td> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>-8,0</td> <td>-1,5</td> <td>-1,5</td> <td>-6,3</td> </tr> <tr> <td>$\geq 1,5$</td> <td>-8,4</td> <td>-0,5</td> <td>-1,0</td> <td>-6,5</td> </tr> </tbody> </table>	h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]	ΔT_4 [°C]	$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5	0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5	0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0	0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0	1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3	$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5
h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]																																																						
$\leq 0,2$	8,5	3,5	0,5																																																						
0,4	12,0	3,0	1,5																																																						
0,6	13,0	3,0	2,0																																																						
$\geq 0,8$	13,0	3,0	2,5																																																						
h [m]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	ΔT_3 [°C]	ΔT_4 [°C]																																																					
$\leq 0,2$	-2,0	-0,5	-0,5	-1,5																																																					
0,4	-4,5	-1,4	-1,0	-3,5																																																					
0,6	-6,5	-1,8	-1,5	-5,0																																																					
0,8	-7,6	-1,7	-1,5	-6,0																																																					
1,0	-8,0	-1,5	-1,5	-6,3																																																					
$\geq 1,5$	-8,4	-0,5	-1,0	-6,5																																																					

Legenda 1 Hrúbka povrchovej úpravy 100 mm

Obr. 56 Teplotné spády pre nosné konštrukcie mostov,
Typ 3 – betónové nosné konštrukcie

Premenné zaťaženie na určenie zaťažiteľnosti mosta Zaťažovací model LM1 (Normálna zaťažiteľnosť):



Obr. 57 Schéma zaťažovacieho modelu LM1

Na moste bude aplikovaný zaťažovací pruh 1, 2 a 3 s príslušným plošným zaťažením.

Pruh č. 1 bude zaťažený plošným zaťažením $9,0 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$ ostatná časť bude zaťažená plošným zaťažením $2,5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$

Sily na jednu nápravu od LM1 podľa zaťažovacích pruhov:

$$Q_{1k} := 300 \text{ kN} \quad \alpha_{Q1} := 0.9$$

$$Q_{2k} := 200 \text{ kN} \quad \alpha_{Q2} := 0.9$$

$$Q_{2k} := 100 \text{ kN} \quad \alpha_{Q2} := 0.9$$

Plošné zaťaženia podľa zaťažovacích pruhov:

$$q_{1k} := 9 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad \alpha_{q1} := 0.9$$

$$q_{2k} := 2.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad \alpha_{q2} := 1.0$$

$$q_{3k} := 2.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad \alpha_{q3} := 1.0$$

$$q_r := 2.5 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2} \quad \alpha_{qr} := 1.0$$

Zaťažovací model pre Výhradné zaťaženie (Výhradná zaťažiteľnosť):

Model vozidla pre výhradnú zaťažiteľnosť zodpovedá triede zvláštnych vozidiel 900/150 podľa STN EN 1991-2 čl. A.2(1).

Rozmer kolesa: $F_r := 75 \text{ kN}$

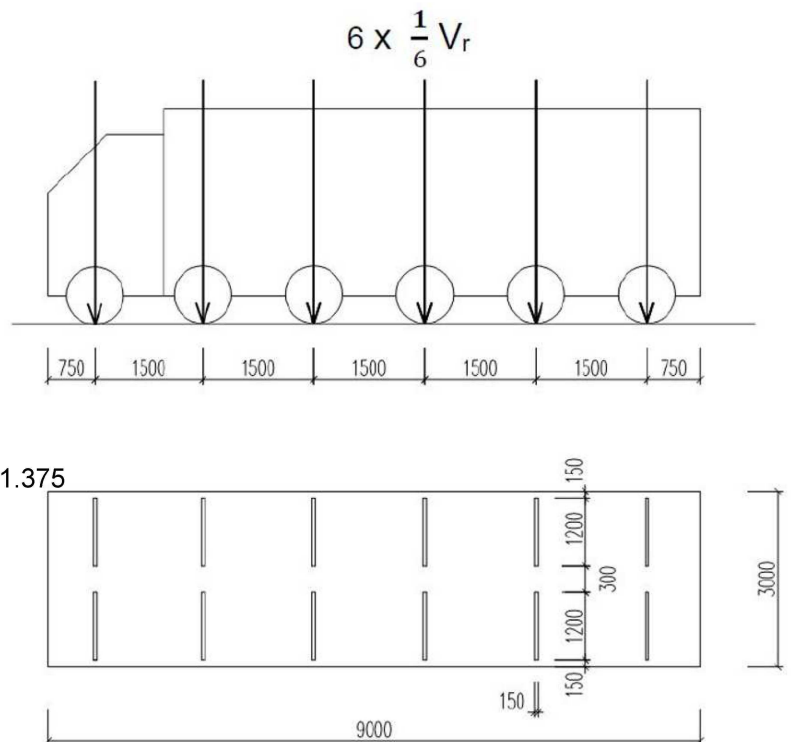
Rozmer kolesa : 1,2m x 0,15m

=> intenzita $Q_{k,r} := 416.67 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$

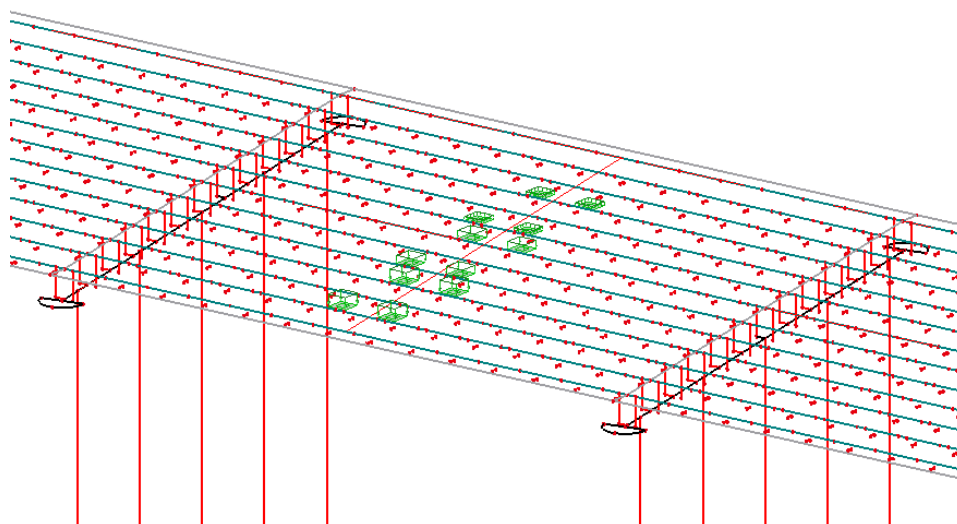
Ovplyvnená dĺžka zaťažením pre výpočet dynamického súčiniteľa:

$$L_{m,k} := 12.5 \text{ [m]}$$

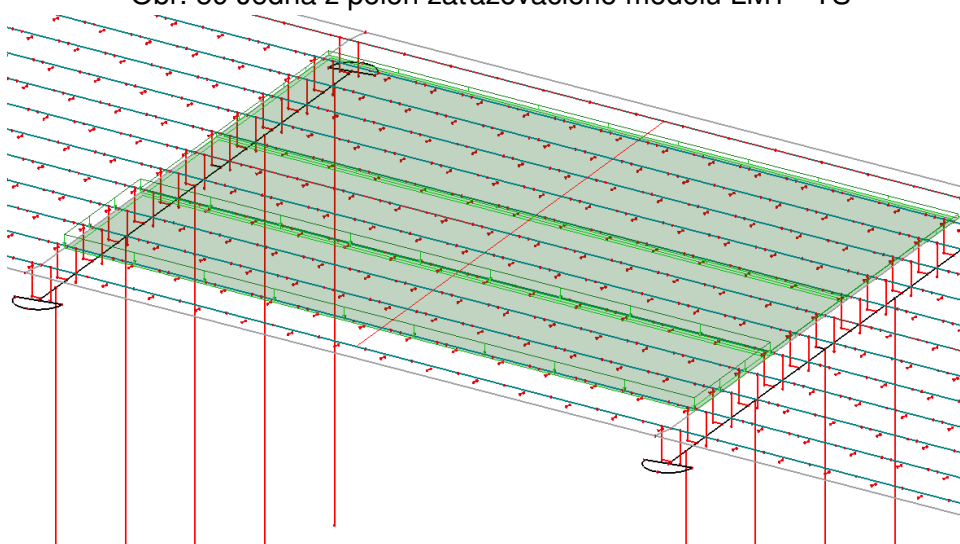
Dynamický súčiniteľ: $\varphi := 1.4 - \frac{L_{m,k}}{500} = 1.375$



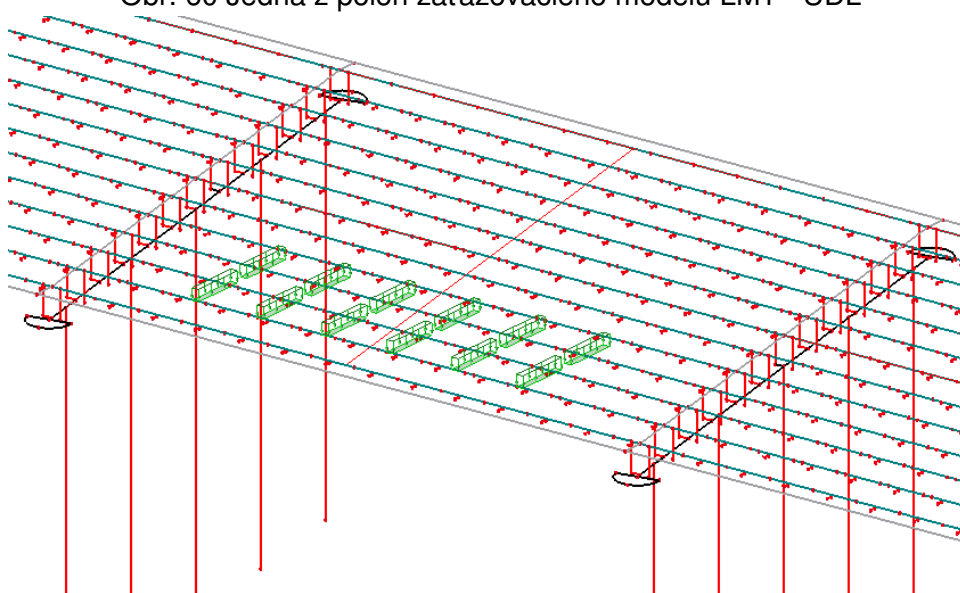
Obr. 58 Schéma zaťažovacieho modelu pre výhradné zaťaženie



Obr. 59 Jedna z polôh zaťažovacieho modelu LM1 - TS



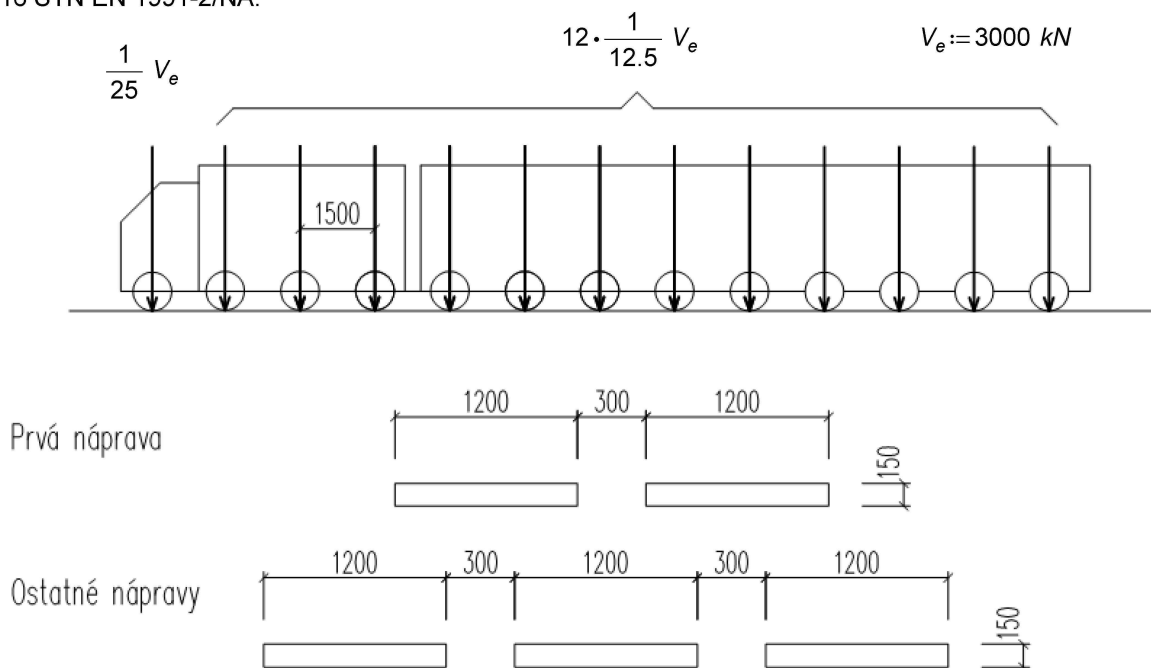
Obr. 60 Jedna z polôh zaťažovacieho modelu LM1 - UDL



Obr. 61 Poloha zaťažovacieho modelu pre výhradnú zaťažiteľnosť

Zaťažovací model pre Výnimočné zaťaženie (Výnimočná zaťažiteľnosť):

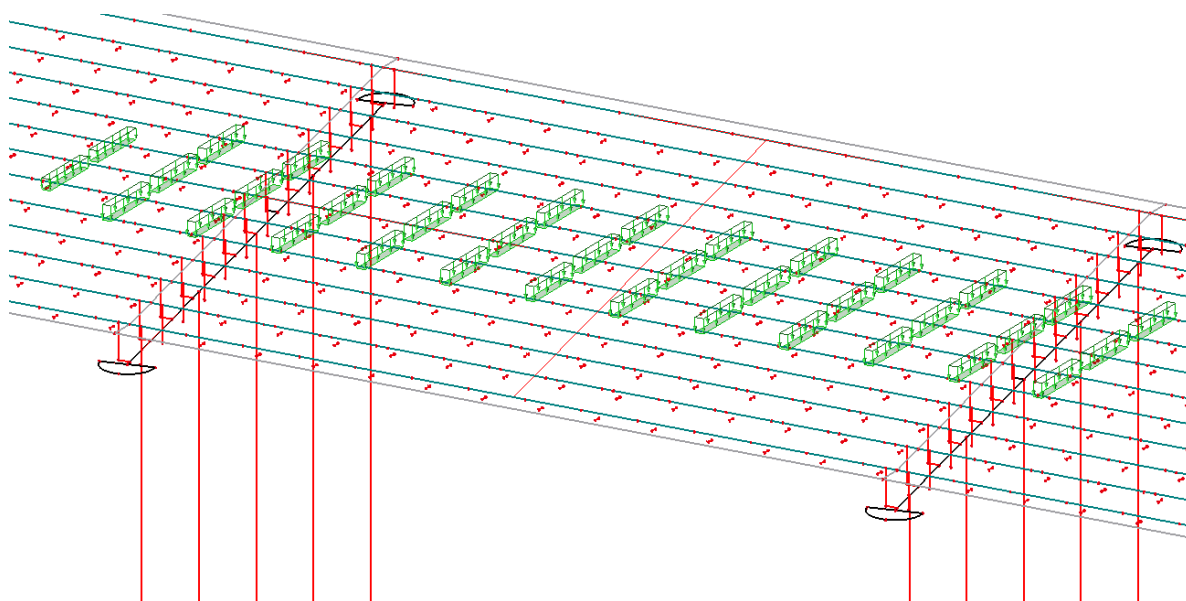
=>Model vozidla pre výnimočnú zaťažiteľnosť zodpovedá triede zvláštnych vozidiel 3000/240 podľa A.2(1) STN EN 1991-2. Schéma vozidla je na obrázku 4. Pre umiestnenie vozidla na moste platí čl. 2.16 STN EN 1991-2/NA.



Obr. 62 Schéma zaťažovacieho modelu pre výnimočné zaťaženie

$$\text{Zaťaženie na jedno koleso: } V_{1,e} := \frac{1}{12.5} \cdot V_e = 80 \text{ kN} \quad Q_{1k,e} := \frac{V_{1,e}}{1.2 \text{ m} \cdot 0.15 \text{ m}} = 444.444 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$V_{2,e} := \frac{1}{25} V_e = 60 \text{ kN} \quad Q_{2k,e} := \frac{V_{2,e}}{1.2 \text{ m} \cdot 0.15 \text{ m}} = 333.333 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-2}$$



Obr. 63 Poloha zaťažovacieho modelu pre výnimočnú zaťažiteľnosť

Tab. 12 Zaťažovacie stavy vo výpočtovom modeli

Názov	Popis	Typ pôsobenia	Zaťažovacia skupina	Dĺžka trvania
	Spec	Typ zaťaženia		
VLASTNÁ TIAŽ		Stále	VLASTNÁ TIAŽ	
		Vlastná tiaž		
VLASTNÁ TIAŽ - NEMODELOVANÉ ČASTI		Stále	STÁLE ZATAŽENIE	
		Štandard		
Vn - LM1 TS - POLE 2	MAX MY	Premenné	Zaťažiteľnosť Vn - LM1 TS	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vr - POLE 2	MAX MY	Premenné	Zaťažiteľnosť Vr	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vn - LM1 UDL - POLE 2	MAX MY	Premenné	Zaťažiteľnosť Vn - LM1 Udl	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Ve - POLE 2	MAX MY	Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vn - LM1 TS - PILIER		Premenné	Zaťažiteľnosť Vn - LM1 TS	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vn - LM1 UDL - PILIER		Premenné	Zaťažiteľnosť Vn - LM1 Udl	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vr - PILIER		Premenné	Zaťažiteľnosť Vr	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Ve - PILIER		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
BRZDNE A ROZJAZDNE SILY		Premenné	Vodorovné sily	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
TEPLOTA-OCHLADENIE		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	
	Teplota	Statické		
TEPLOTA-OTEPLENIE		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	
	Teplota	Statické		
Vplyvová plocha N-Pilier		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vplyvová plocha Ohyb úložný prah		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vplyvová plocha Moment v strede poľa		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vn - LM1 UDL -Úložný prah		Premenné	Zaťažiteľnosť Vn - LM1 Udl	Krátkodobé
	Štandard	Statické		

Vn - LM1 TS - Úložný prah		Premenné	Zaťažiteľnosť Vn - LM1 TS	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Vr - Úložný prah		Premenné	Zaťažiteľnosť Vr	Krátkodobé
	Štandard	Statické		
Ve - Úložný prah		Premenné	Zaťažiteľnosť Ve	Krátkodobé
	Štandard	Statické		

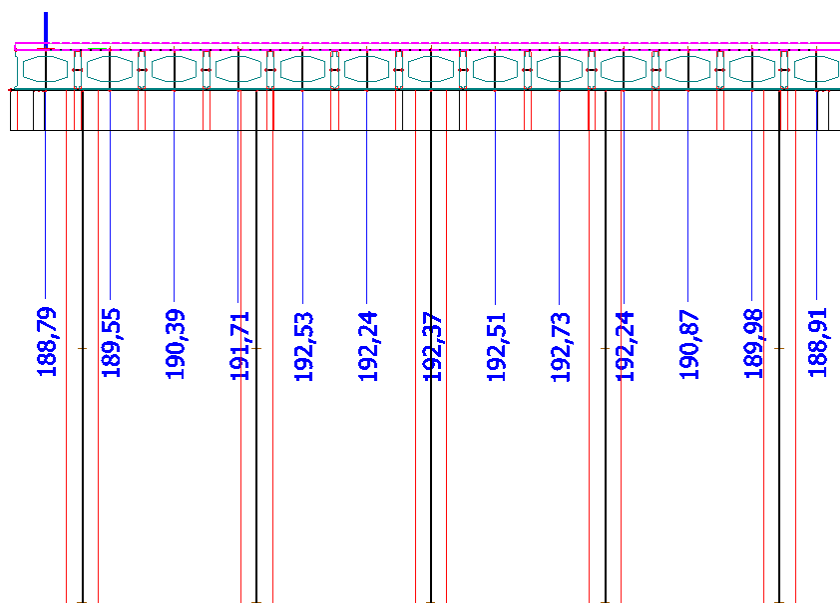
Tab. 13 Zaťažovacie skupiny vo výpočtovom modeli

Názov	Zaťaženie	Špecif.	Typ
VLASTNÁ TIAŽ	Stále		
Zaťažiteľnosť Vn - LM1 TS	Premenné	Štandard	Zaťaženie dopravou - gr1a - TS
STÁLE ZAŤAŽENIE	Stále		
Zaťažiteľnosť Vn - LM1 Udl	Premenné	Štandard	Zaťaženie dopravou - gr1a - UDL
Vodorovné sily	Premenné	Štandard	Zaťaženie dopravou - gr2 - vodorovné sily
Zaťažiteľnosť Vr	Premenné	Štandard	Zaťaženie dopravou - gr5 - zvláštne vozidlá
Zaťažiteľnosť Ve	Premenné	Štandard	Zaťaženie dopravou - gr5 - zvláštne vozidlá
Teplota	Premenné	Štandard	Účinky teploty - Tk

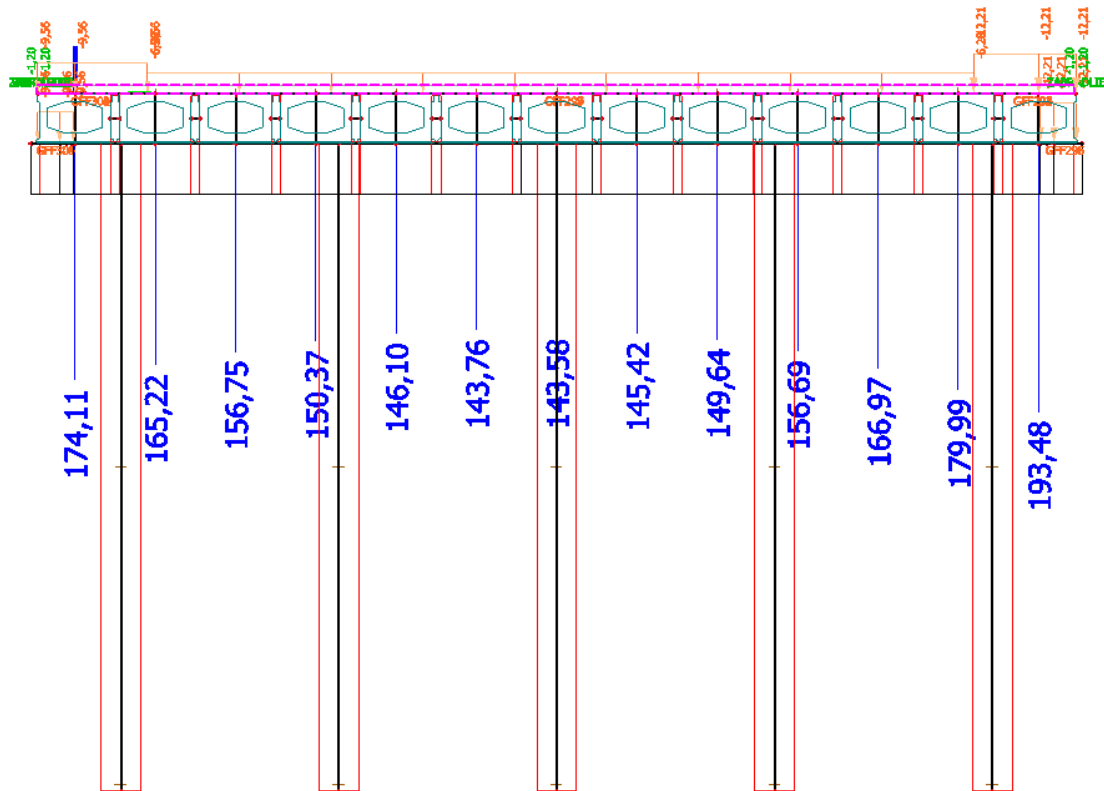
3.6 Rozhodujúce vnútorné sily

Poznámka:

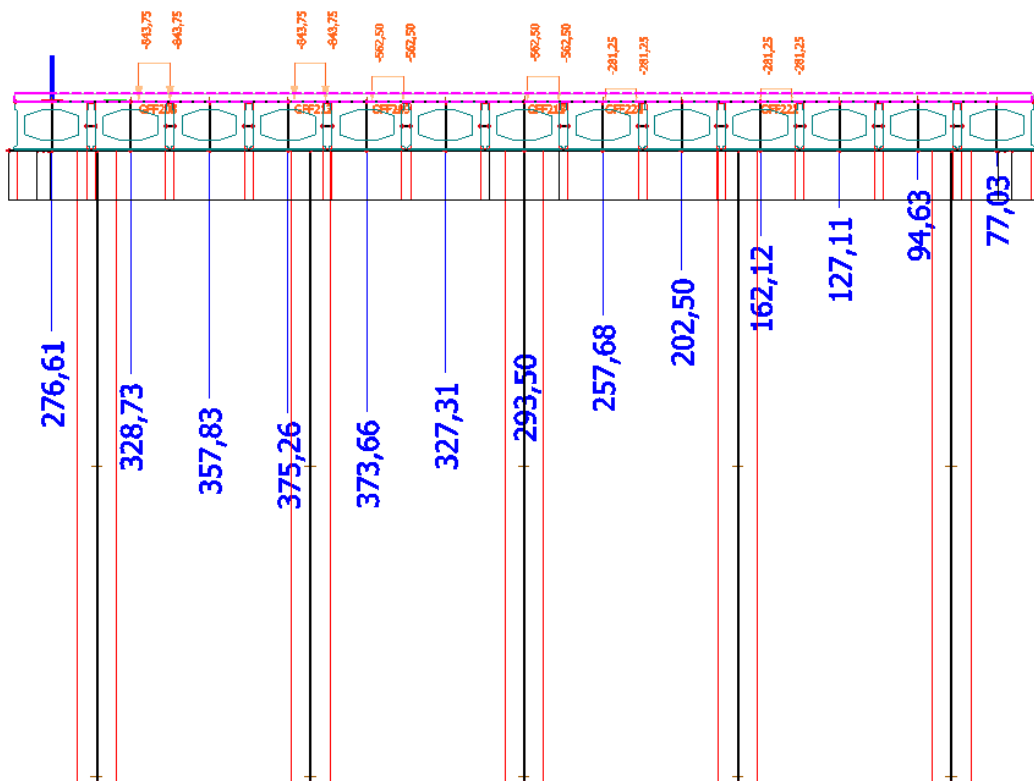
Pre zjednodušenie uvádzam len niektoré vzorové priebehy vnútorných síl na konštrukcii. Rozhodujúce vnútorné sily pre dané posudzované prierezy sú uvedené v kap. 3.7, 3.8 a 3.9 v rámci výpočtu odolnosti daných prierezov.



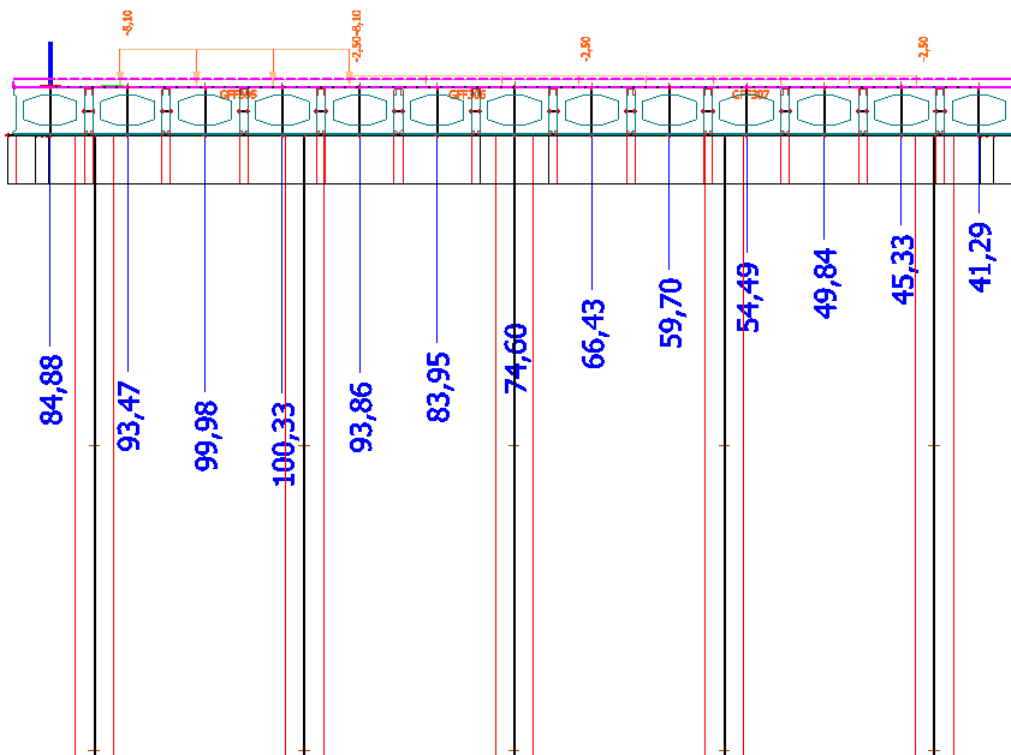
Obr. 64 Priebeh ohybových momentov od vlastnej tiaže na nosníkoch nosnej konštrukcie



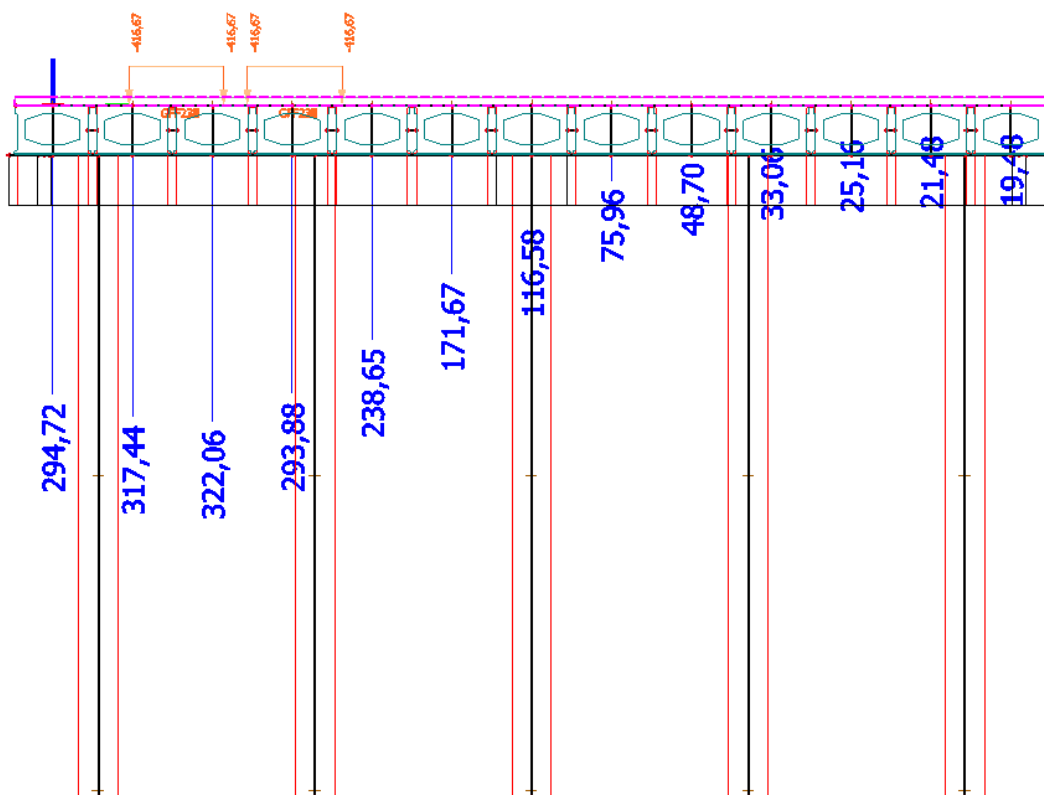
Obr. 65 Priebeg ohybových momentov od stáleho zaťaženia na nosníkoch nosnej konštrukcie



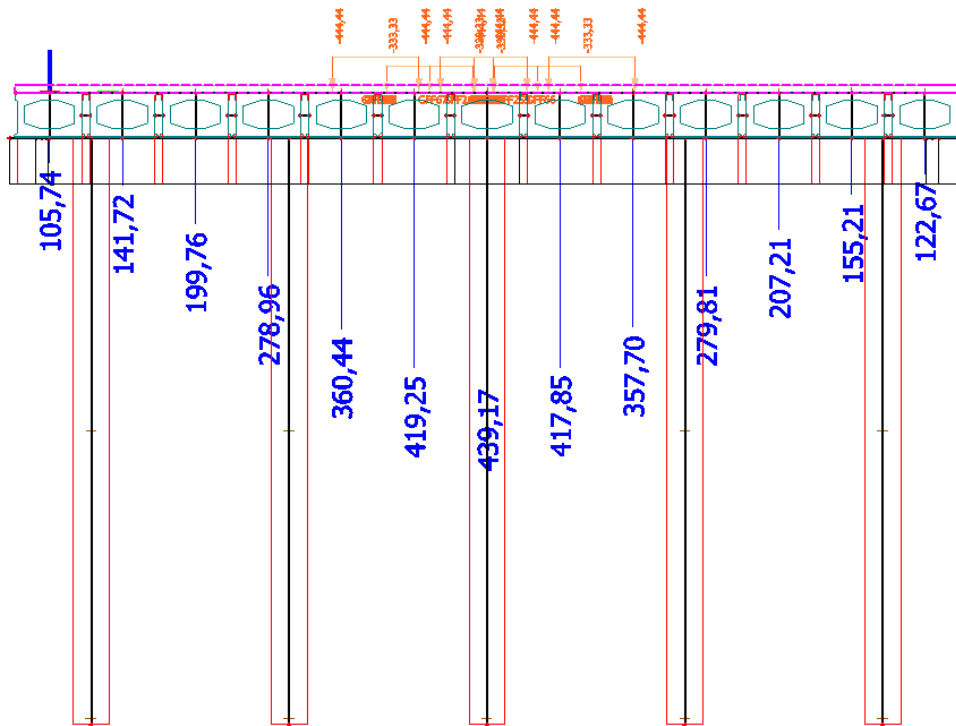
Obr. 66 Priebeg ohybových momentov od TS modelu „LM1“ pre určenie normálnej zaťažiteľnosti na nosníkoch nosnej konštrukcie



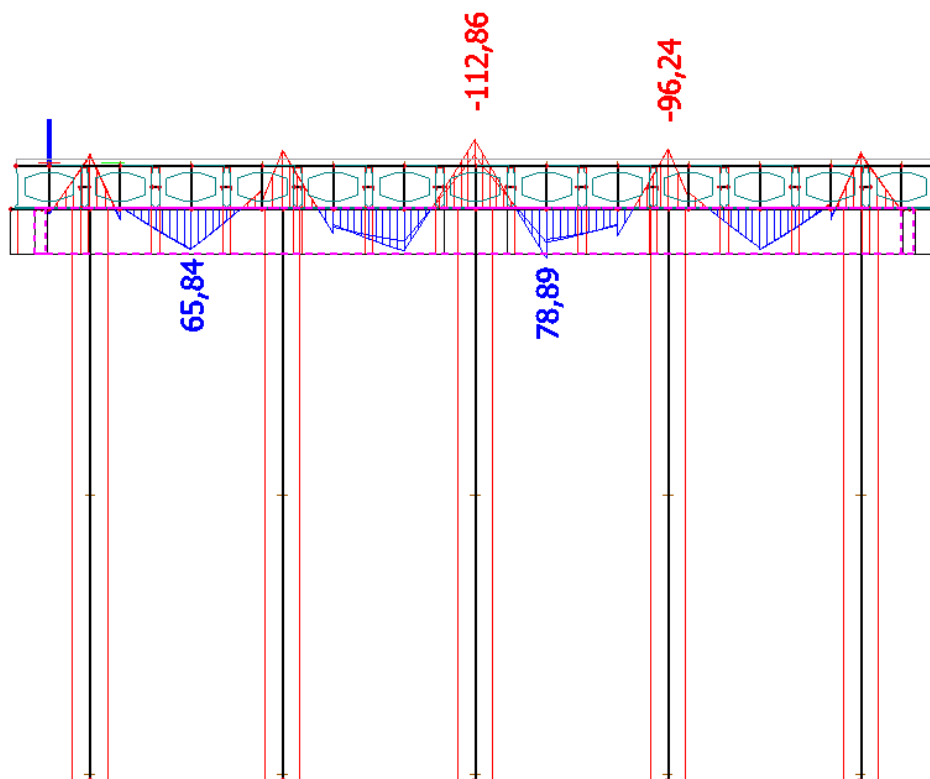
Obr. 67 Priebeh ohybových momentov od UDL modelu „LM1“ pre určenie normálnej zaťažiteľnosti na nosníkoch nosnej konštrukcie



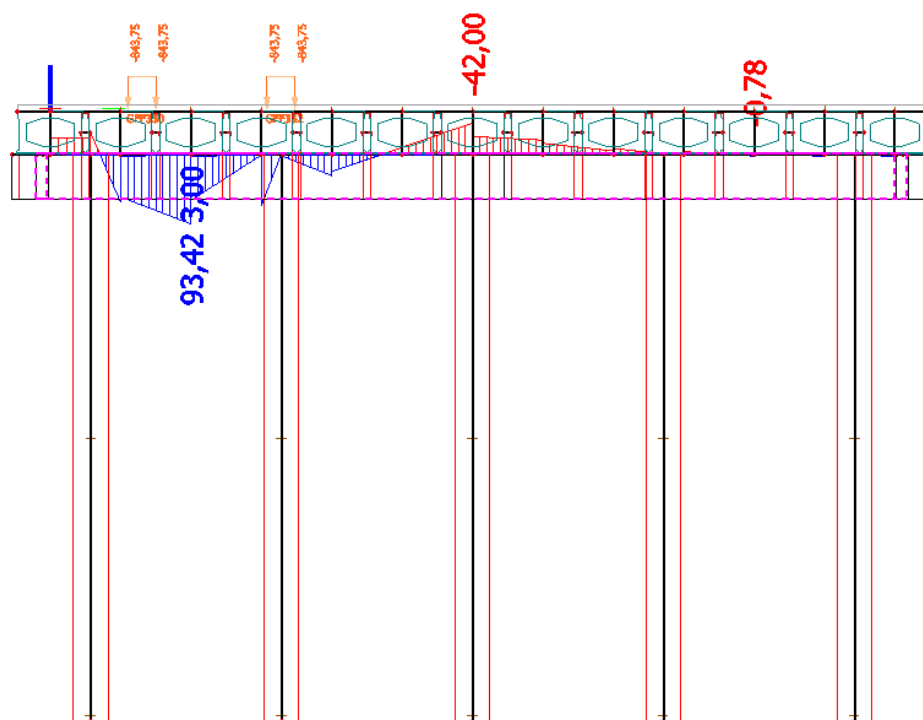
Obr. 68 Priebeh ohybových momentov od modelu 150/900 pre určenie výhradnej zaťažiteľnosti na nosníkoch nosnej konštrukcie



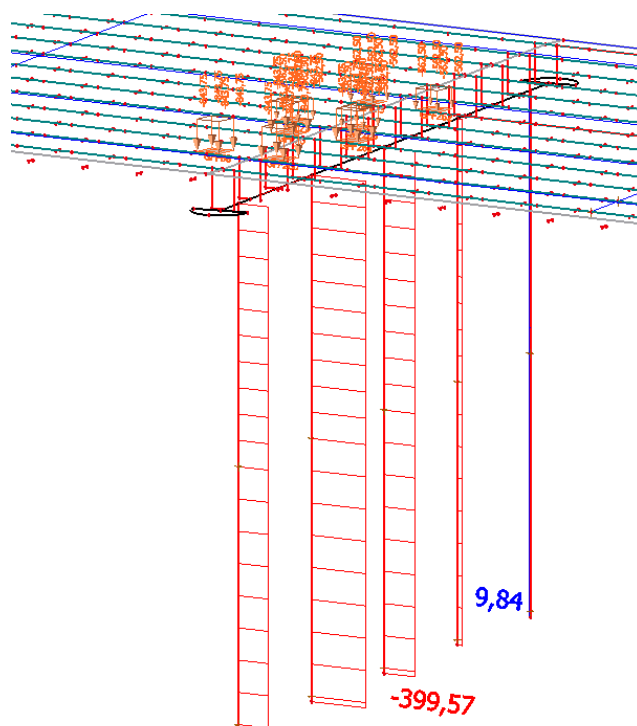
Obr. 69 Priebek ohybových momentov od modelu 240/3000 pre určenie výnimočnej zaťažiteľnosti na nosníkoch nosnej konštrukcie



Obr. 70 Priebek ohybových momentov od vlastnej tiaže konštrukcie na úložnom prahu piliera



Obr. 71 Priebeh ohybových momentov od TS modelu „LM1“ pre určenie normálnej zaťažiteľnosti úložného prahu piliera



Obr. 72 Priebeh normálových síl od TS modelu „LM1“ pre určenie normálnej zaťažiteľnosti piliera

3.7 Výpočet únosnosti a zaťažiteľnosti nosnej konštrukcie

Materiálové charakteristiky

Betón C50/60

Pevnosť betónu v tlaku: $f_{ck} := 50 \cdot \text{MPa}$ $f_{cm} := f_{ck} + 8 \text{ MPa} = 58 \text{ MPa}$...STN EN 1992-1-1+A1, Tab.3.1, str.30

$f_{cm,0} := 10 \text{ MPa}$...STN EN 1992-1-1+A1, str.170

Pevnosť betónu v ťahu: $f_{ctm} := 4.2 \cdot \text{MPa}$

...STN EN 1992-1-1+A1, Tab.3.1, str.30

Modul pružnosti betónu: $E_{cm} := 22000 \text{ MPa} \cdot \left(\frac{f_{cm}}{10 \text{ MPa}} \right)^{0.3} = 37.278 \text{ GPa}$ $\alpha_{cc} := 0.85$
 $\alpha_{ct} := 1.0$

$f_{ctk,0.05} := 0.7 \cdot f_{ctm} = 2.94 \text{ MPa}$

Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti materiálu: $\gamma_c := 1.5$

Návrhové hodnoty vlastností betónu:

$f_{cd} := \frac{f_{ck} \cdot \alpha_{cc}}{\gamma_c} = 28.333 \text{ MPa}$ $E_{cd} := \frac{E_{cm}}{\gamma_c} = 24.852 \text{ GPa}$

$f_{ctd} := \frac{f_{ctm} \cdot \alpha_{ct}}{\gamma_c} = 2.8 \text{ MPa}$

Predpínacia výstuž - Hladké kruhové drôty Φ 4,5 -Y1620C - 4,5

$f_{p0.1k} := 1430 \cdot \text{MPa}$ $f_{pk} := 1620 \cdot \text{MPa}$ $A_{p,k1} := 111 \cdot \text{mm}^2$ (Kábel 1 => 7ks drôtou)
 $A_{p,k2,3} := 191 \cdot \text{mm}^2$ (Kábel 2,3 => 12ks drôtou)
 $E_p := 89.13 \cdot \text{GPa}$ $A_{p,k4,5,6,7} := 175 \cdot \text{mm}^2$ (Kábel 4,5,6,7=> 11ks drôtou)

Parciálny súčiniteľ spoľahlivosti materiálu: $\gamma_s := 1.15$

Návrhová pevnosť predpínacej výstuže v ťahu: $f_{pd} := \frac{f_{p0.1k}}{\gamma_s} = (1.243 \cdot 10^3) \text{ MPa}$

Maximálne napätie v predpínacej výstuži počas predpínania (zdroj nosníkov KA-61):

$\sigma_p := 1250 \text{ MPa}$

Krytie predpínacej výstuže:

Profil: $\Phi := 4.5 \text{ mm}$

Jednotlivé drôty sú zoskupené do káblov vedených v káblových kanálikoch:

$c_1 := 50 \text{ mm}$

$\Phi_{kanalík} := 32 \text{ mm}$

Rozhodujúce vnútorné sily pre overovaný prierez:

Ohybový moment od vlastnej tiaže konštrukcie: $M_{y,G0,N2} := 189.96 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{y,G0,N4} := 191.99 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{y,G0,N7} := 193.32 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Ohybový moment od zložky stálych zaťažení:

$M_{y,G11,N2} := 181.97 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{y,G11,N4} := 156.84 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{y,G11,N7} := 142.81 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Ohybové momenty od účinkov teploty:

$T_m := 7.83 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Ohybové momenty pre určenie **Normálnej zaťažiteľnosti**: $M_{y,TS,Vn,N4} := 376.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$

$M_{y,UDL,Vn,N4} := 99.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Ohybové moment pre určenie **Výhradnej zaťažiteľnosti**: $M_{y,Vr,N2} := 319.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Ohybové moment pre určenie **Výnimočnej zaťažiteľnosti**: $M_{y,Ve,N7} := 443.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Moment od častej kombinácie :

$$M_{frq.N4} := M_{y.G0.N4} + M_{y.G11.N4} + 0.75 \cdot M_{y.TS.Vn.N4} + 0.4 \cdot M_{y.UDL.Vn.N4} + 0.5 \cdot T_m = 674.72 \text{ m}^2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}^{-1}$$

Moment od návrhovej kombinácie: $\gamma_P := 1.0$ $\gamma_G := 1.35$ $\gamma_Q := 1.35$ $\gamma_{Q,T} := 1.5$ $\xi_G := \frac{1.25}{1.35} = 0.926$

$$M_{qd.N4} := \xi_G \cdot 1.35 \cdot (M_{y.G0.N4} + M_{y.G11.N4}) + 1.35 \cdot (M_{y.TS.Vn.N4} + M_{y.UDL.Vn.N4}) + 1.5 \cdot T_m = (1.09 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Moment od charakteristickej kombinácie:

$$M_{qk.N4} := M_{y.G0.N4} + M_{y.G11.N4} + M_{y.TS.Vn.N4} + M_{y.UDL.Vn.N4} + 0.6 \cdot T_m = 829.378 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Moment od kvazistálej kombinácie:

$$M_{kv.st.N4} := M_{y.G0.N4} + M_{y.G11.N4} + 0.5 \cdot T_m = 352.745 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Prierezové charakteristiky

Poznámka: Prierezové charakteristiky boli počítané pomocou programu scia engineer.

KA-61 – Stred nosníka		
Typ	Všeobecný prierez	
Typ tvaru	Hrubostenný	
Materiálová položka	C50/60	
Výroba	všeobecný	
A [m ²]	3,05E-01	
Av [m ²], Az [m ²]	1,93E-01	1,37E-01
AL [m ² /m], AD [m ² /m]	3,18E+00	5,11E+00
cYUSS [mm], cZUSS [mm]	0	321
alpha [deg]	0	
Iy [m ⁴], Iz [m ⁴]	1,41E-02	2,94E-02
iy [mm], iz [mm]	215	310
Wely [m ³], Welz [m ³]	4,68E-02	5,99E-02
Wply [m ³], Wplz [m ³]	0,00E+00	0,00E+00
Mply+ [Nm], Mply- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
Mplz+ [Nm], Mplz- [Nm]	0,00E+00	0,00E+00
dy [mm], dz [mm]	0	0
It [m ⁴], Iw [m ⁶]	6,65E-03	0,00E+00
beta y [mm], beta z [mm]	0	0

Plocha prierezu:	$A_c := 0.305 \text{ m}^2$
Moment zotrvačnosti prierezu:	$I_{y,c} := 1.41 \cdot 10^{-2} \text{ m}^4$
Výška prierezu:	$h := 0.6 \cdot \text{m}$
Vzdialenosť ťažiska k spodnému okraju:	$z_d := 0.30 \cdot \text{m}$
Vzdialenosť ťažiska k hornému okraju:	$z_h := h - z_d = 0.3 \text{ m}$
Počet drôtou v jednom kábli:	Premenlivý (7, 11, 12 ks)
Plochy jednotlivých predpínacích káblov:	$A_{p.k1} = 111 \text{ mm}^2$
	$A_{p.k2,3} = 191 \text{ mm}^2$
	$A_{p.k4,5,6,7} = 175 \text{ mm}^2$

Výpočet polohy ťažiska predp. výstuže od spodného okraja:

Rameno a počet káblov: $r_{1_{3,4,5,6,7}} := 50 \text{ mm}$ $n_{1_{4,5,6,7}} := 7$

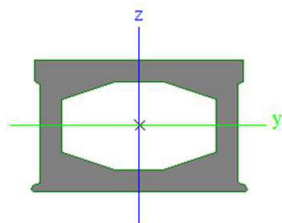
$$n_{1_3} := 2$$

$$r_{2_2} := 115 \text{ mm}$$

$$n_{2_2} := 2$$

$$r_{3_1} := 550 \text{ mm}$$

$$n_{3_1} := 2$$



Poloha ťažiska predpínacej výstuže:

$$c_p := \frac{A_{p.k1} \cdot n_{3_1} \cdot r_{3_1} + A_{p.k2,3} \cdot n_{2_2} \cdot r_{2_2} + A_{p.k2,3} \cdot n_{1_3} \cdot r_{1_{3,4,5,6,7}} + A_{p.k4,5,6,7} \cdot n_{1_{4,5,6,7}} \cdot r_{1_{3,4,5,6,7}}}{n_{1_{4,5,6,7}} \cdot A_{p.k4,5,6,7} + (n_{2_2} + n_{1_3}) \cdot A_{p.k2,3} + n_{3_1} \cdot A_{p.k1}} = 111.434 \text{ mm}$$

Vzdialenosť ťažiska výstuže od ťažiska betonového prierezu : $e_p := z_d - c_p = 0.189 \text{ m}$

Podmienka obmedzenia napätí pre dolné vlákna (Nesmie nastať ťah):

$$\sigma_d = \frac{-P_{k.inf}}{A_c} + \frac{-P_{k.inf} \cdot e_p + M_{frq}}{I_{y,c}} = 0$$

Krátkodobé straty predpätia

Poznámka: krátkodobé straty predpätia boli vypočítané v prostredí výpočtového programu Scia engineer.

Krátkodobé straty predpätia pre daný posudzovaný rez v závislosti od geometrie káblu:

	Počet:[ks kablov danej geometrie]
$\Delta_5\sigma_{p.T1} := 56.31 \text{ MPa}$	2ks => $n_{T1} := 2$
$\Delta_5\sigma_{p.T2} := 73.29 \text{ MPa}$	2ks => $n_{T2} := 2$
$\Delta_5\sigma_{p.T3} := 73.29 \text{ MPa}$	2ks => $n_{T3} := 2$
$\Delta_5\sigma_{p.T4} := 54.21 \text{ MPa}$	2ks => $n_{T4} := 2$
$\Delta_5\sigma_{p.T5} := 54.21 \text{ MPa}$	2ks => $n_{T5} := 2$
$\Delta_5\sigma_{p.T6} := 54.21 \text{ MPa}$	2ks => $n_{T6} := 2$
$\Delta_5\sigma_{p.T7} := 55.26 \text{ MPa}$	1ks => $n_{T7} := 1$

Výsledné napätie po všetkých krátkodobých stratách predpätia vrátane relaxácie výstuže:

$$\begin{aligned} \sigma_{pk.T1} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T1} = 1193.69 \text{ MPa} & \sigma_{pk.T5} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T5} = 1195.79 \text{ MPa} \\ \sigma_{pk.T2} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T2} = 1176.71 \text{ MPa} & \sigma_{pk.T6} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T6} = 1195.79 \text{ MPa} \\ \sigma_{pk.T3} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T3} = 1176.71 \text{ MPa} & \sigma_{pk.T7} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T7} = 1194.74 \text{ MPa} \\ \sigma_{pk.T4} &:= \sigma_p - \Delta_5\sigma_{p.T4} = 1195.79 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Priemerné napätie v kábloch v danom reze:

$$\sigma_{pk.m} := \frac{\sigma_{pk.T1} \cdot n_{T1} + \sigma_{pk.T2} \cdot n_{T2} + \sigma_{pk.T3} \cdot n_{T3} + \sigma_{pk.T4} \cdot n_{T4} + \sigma_{pk.T5} \cdot n_{T5} + \sigma_{pk.T6} \cdot n_{T6} + \sigma_{pk.T7} \cdot n_{T7}}{n_{T1} + n_{T2} + n_{T3} + n_{T4} + n_{T5} + n_{T6} + n_{T7}} = (1.19 \cdot 10^3) \text{ N}$$

Dlhodobé straty predpätia

Strata predpätia vplyvom zmršťovania $\Delta\sigma_{ps}$

Trieda použitého cementu: $T_c := \text{"N"}$

Súčinitele závislé od typu použitého cementu:

...STN EN 1992-1-1, str.170

Súčiniteľ s_c :	Pre cement triedy $T_c = \text{"R"}$ => $s_c = 0.2$	} $s_c = 0.25$
	Pre cement triedy $T_c = \text{"N"}$ => $s_c = 0.25$	
	Pre cement triedy $T_c = \text{"S"}$ => $s_c = 0.38$	
Súčiniteľ α_{ds1} :	Pre cement triedy $T_c = \text{"R"}$ => $\alpha_{ds1} = 6$	} $\alpha_{ds1} = 4$
	Pre cement triedy $T_c = \text{"N"}$ => $\alpha_{ds1} = 4$	
	Pre cement triedy $T_c = \text{"S"}$ => $\alpha_{ds1} = 3$	
Súčiniteľ α_{ds2} :	Pre cement triedy $T_c = \text{"R"}$ => $\alpha_{ds2} = 0.11$	} $\alpha_{ds2} = 0.12$
	Pre cement triedy $T_c = \text{"N"}$ => $\alpha_{ds2} = 0.12$	
	Pre cement triedy $T_c = \text{"S"}$ => $\alpha_{ds2} = 0.13$	

Relatívna vlhkosť: (do 80%) $RH := 70$ $RH_0 := 100$ (%)

Vek betónu na začiatku zmršťovania: $t_s := 5$

...STN EN 1992-1+A1, str.34

Vek betónu - predpätie: $t_{pr} := 14$

Vek betónu - uvedenie do prevádzky: $t_{ins} := 120$

Vek betónu na konci životnosti: $t_{\infty} := 36500$

Prierezová plocha betónového prierezu: $A_c = 0.305 \text{ m}^2$

Obvod prierezu vystavený vysychaniu: $u := 6.0015 \text{ m}$

Náhradná výška prierezu: $h_0 := 2 \cdot \frac{A_c}{u} = 0.102 \text{ m}$

Základné pomerné pretvorenie zo zmršťovania z vysychania: ...STN EN 1992-1-1+A1, str.169

$$\beta_{RH} := 1.55 \left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0} \right)^3 \right] = [1.018] \quad (\text{B.12})$$

$$\varepsilon_{cd,0} := 0.85 \cdot \left[(220 + 110 \cdot \alpha_{ds1}) \cdot e^{\left(-\alpha_{ds2} \cdot \frac{f_{cm}}{f_{cm,0}} \right)} \right] \cdot 10^{-6} \cdot \beta_{RH} = 2.848 \cdot 10^{-4} \quad (\text{B.11})$$

Konečná hodnota pomerného pretvorenia od zmršťovania z vysychania:

Koeficient náhradnej výšky (závislý od náhradnej výšky) k_h :

$$\left. \begin{array}{l} \text{Pre } h_0 \geq 100 \text{ mm} \Rightarrow k_h = 1.0 \\ \text{Pre } h_0 \geq 200 \text{ mm} \Rightarrow k_h = 0.85 \\ \text{Pre } h_0 \geq 300 \text{ mm} \Rightarrow k_h = 0.75 \\ \text{Pre } h_0 \geq 500 \text{ mm} \Rightarrow k_h = 0.70 \end{array} \right\} k_h = 1$$

$$\varepsilon_{cd,nek} := k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} = 2.848 \cdot 10^{-4}$$

Vývoj pomerného pretvorenia od zmršťovania z vysychania v čase: $t_{ins} = 120$
 $t_{\infty} = 3.65 \cdot 10^4$

$$\beta_{ds,t.ts} = \frac{t - t_s}{(t - t_s) + 0.04 \cdot \sqrt{\left(\frac{h_0}{\text{mm}} \right)^3}} \quad \beta_{ds,tins.ts} = 0.737 \quad \beta_{ds,t_{\infty}.ts} = 0.999$$

$$\varepsilon_{cd,t} = \beta_{ds,t.ts} \cdot k_h \cdot \varepsilon_{cd,0} \quad \varepsilon_{cd,tins} = 2.1 \cdot 10^{-4} \quad \varepsilon_{cd,t_{\infty}} = 2.845 \cdot 10^{-4}$$

Pomerné pretvorenie od autogénneho zmršťovania:

...STN EN 1992-1-1+A1, str.36

$$\beta_{as,t} = 1 - e^{-0.2 \cdot t^{0.5}} \quad \beta_{as,tins} = 0.888 \quad \beta_{as,t_{\infty}} = 1$$

$$\varepsilon_{ca,\infty} := 2.5 \cdot \left(\frac{f_{ck}}{\text{MPa}} - 10 \right) \cdot 10^{-6} = 1 \cdot 10^{-4}$$

$$\varepsilon_{ca,t} = \beta_{as,t} \cdot \varepsilon_{ca,\infty} \quad \varepsilon_{ca,tins} = 8.882 \cdot 10^{-5} \quad \varepsilon_{ca,t_{\infty}} = 1 \cdot 10^{-4}$$

Súčiniteľ bezpečnosti pre extrapoláciu významných dlhodobých oneskorených pomerných pretvorení γ_{lt} :

...STN EN 1992-2, str.46

$t_{ref} := 365 \text{ dní}$

Pre $t_{ref} < 1 \text{ rok} \Rightarrow \gamma_{lt} = 1$

Pre $t_{ref} \geq 1 \text{ rok} \Rightarrow \gamma_{lt} = 1 + 0.1 \cdot \log\left(\frac{t}{t_{ref}}\right)$ } $\gamma_{ltins} = 0.952 \quad \gamma_{lt_{\infty}} = 1.2$

Strata zo zmršťovania $\Delta\sigma_{ps}$:

$$\Delta\sigma_{ps,t_{\infty}} := -E_p \cdot \left(\gamma_{lt_{\infty}} \cdot (\varepsilon_{cd,t_{\infty}} + \varepsilon_{ca,t_{\infty}}) \right) = -41.126 \text{ MPa}$$

Poznámka: Strata predpätia vplyvom zmrašťovania je závislá okrem iných parametrov i na rozmeroch posudzovaného prvku - konštrukcia má konštantný priečny rez - strata vplyvom zmrašťovania betónu je rovnaká i pre ďalšie posudzované prierezy.

Strata predpätia vplyvom dotvarovania betónu $\Delta\sigma_{pc}$

...STN EN 1992-1-1+A1, str.169

Skutočný vek na začiatku pôsobenia dlhodobého zaťaženia $t_{0,T} := 14$

Mocniteľ α , ktorý závisí od typu cementu:

$$T_c = \text{"N"}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{Pre cement triedy } T_c = \text{"S"} \Rightarrow \alpha = -1 \\ \text{Pre cement triedy } T_c = \text{"N"} \Rightarrow \alpha = 0 \\ \text{Pre cement triedy } T_c = \text{"R"} \Rightarrow \alpha = 1 \end{array} \right\} \alpha = 0$$

Vek betónu (v dňoch od vybetónovania prvku, keď začína pôsobiť dlhodobé zaťaženie: (zohľadnenie vplyvu typu cementu)

$$t_0 := t_{0,T} \cdot \left(\frac{9}{2 + t_{0,T}^{1.2}} + 1 \right)^\alpha = 14$$

Dotyčnicový modul pružnosti:

$$E_c := 1.05 \cdot E_{cm} = 39.142 \text{ GPa}$$

Súčinitele $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ na uváženie vplyvu pevnosti betónu:

$$\alpha_1 := \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.7} = 0.702 \quad \alpha_2 := \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.20} = 0.904 \quad \alpha_3 := \left(\frac{35}{f_{cm}} \right)^{0.5} = 0.777$$

Súčiniteľ ϕ_{RH} , ktorý zohľadňuje vplyv relatívnej vlhkosti na teoretický súčiniteľ dotvarovania:

$$\begin{aligned} \text{Pre } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \Rightarrow \phi_{RH} &= 1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_0}{\text{mm}}}} \\ \text{Pre } f_{cm} > 35 \text{ MPa} \Rightarrow \phi_{RH} &= \left(1 + \frac{1 - \frac{RH}{100}}{0.1 \cdot \sqrt[3]{\frac{h_0}{\text{mm}}}} \cdot \alpha_1 \right) \cdot \alpha_2 \end{aligned} \quad \phi_{RH} = 1.312$$

Súčiniteľ $\beta_{f,cm}$, ktorý zohľadňuje vplyv pevnosti betónu na teoretický súčiniteľ dotvarovania:

$$\beta_{f,cm} := \frac{16.8}{\sqrt{\frac{f_{cm}}{\text{MPa}}}} = 2.206$$

Súčiniteľ β_{t_0} , ktorý zohľadňuje vplyv veku betónu pri zaťažení na teoretický súčiniteľ dotvarovania:

$$\beta_{t_0} := \frac{1}{0.1 + t_0^{0.20}} = 0.557$$

Základný súčiniteľ dotvarovania betónu:

$$\phi_0 := \phi_{RH} \cdot \beta_{f,cm} \cdot \beta_{t_0} = 1.612$$

Celkový počet káblov v priereze: $n_{c,k} = 13$

Navrhnutá plocha káblov: $A_{pk} = (2.211 \cdot 10^{-3}) \text{ m}^2$

Pomer modulov pružnosti betónu a predpínacej výstuže: $\alpha_e := \frac{E_p}{E_{cm}} = 2.391$

Celkové dlhodobé straty predpätia:

$$\Delta\sigma_{p,csr} = \frac{-E_p \cdot \varepsilon_{cc} + E_p \cdot \varepsilon_{cs} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p,r}}{1 + \alpha_e \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_{y,c}} \cdot e_{p,P1}^2\right) \cdot (1 + \phi_{t,t0} \cdot 0.8)} = \frac{\Delta\sigma_{p,c} + \Delta\sigma_{p,s} + 0.8 \cdot \Delta\sigma_{p,r}}{1 + \alpha_e \cdot \frac{A_p}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_{y,c}} \cdot e_{p,P1}^2\right) \cdot (1 + \phi_{t,t0} \cdot 0.8)}$$

$$\Delta\sigma_{pr,t\infty}' := \frac{0.8 \cdot \Delta\sigma_{pr,\infty,m}}{1 + \alpha_e \cdot \frac{A_{pk}}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_{y,c}} \cdot e_p^2\right) \cdot (1 + \phi_{t\infty,t0} \cdot 0.8)} = -45.17 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{ps,t\infty}' := \frac{\Delta\sigma_{ps,t\infty}}{1 + \alpha_e \cdot \frac{A_{pk}}{A_c} \cdot \left(1 + \frac{A_c}{I_{y,c}} \cdot e_p^2\right) \cdot (1 + \phi_{t\infty,t0} \cdot 0.8)} = -38.432 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pc,t\infty}' := \left(\frac{E_p}{E_{cm}}\right) \cdot \phi_{t\infty,t0} \cdot \sigma_{cQp} = -40.501 \text{ MPa}$$

Relaxácia:

Zmrašťovanie:

Dotvarovanie:

$$\Delta\sigma_{pr,t\infty}' = -45.17 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{ps,t\infty}' = -38.432 \text{ MPa}$$

$$\Delta\sigma_{pc,t\infty}' = -40.501 \text{ MPa}$$

Napätie v predpínacej výstuži a predpínacia sila po krátkodobých a dlhodobých stratách predpätia:

$$P_{k,inf} = r_{inf} \cdot A_{k,i} \cdot \sigma_{pk,t} \quad A_{k,m,red} := A_{pk} = (2.211 \cdot 10^{-3}) \text{ mm}^2$$

$$A_{k,m} := A_{p,k1} \cdot n_{T1} + A_{p,k2,3} \cdot (n_{T2} + n_{T3}) + A_{p,k4,5,6,7} \cdot (n_{T4} + n_{T5} + n_{T6} + n_{T7}) = (2.211 \cdot 10^{-3}) \text{ mm}^2$$

$$r_{inf} := 0.9 \quad r_{sup} := 1.1$$

Napätie v predpínacej výstuži v

čase:

V čase vnesenia predpätia do konštrukcie: $\sigma_{pk,m} = 1189.515 \text{ MPa}$

V čase konca životnosti konštrukcie: $\sigma_{p,k,t\infty,m} := \sigma_{pk,m} + \Delta\sigma_{pr,t\infty}' + \Delta\sigma_{ps,t\infty}' + \Delta\sigma_{pc,t\infty}' = 1065.413 \text{ MPa}$

Predpínacia sila v priereze v závislosti na čase:

Na základe stavebnotechnického stavu uvažujem s úbytkom 10% plochy predpínacej výstuže.

$\Rightarrow \gamma_{red} := 0.90$

$$P_{k,inf,t\infty} := \gamma_{red} \cdot r_{inf} \cdot (\sigma_{p,k,t\infty,m} \cdot A_{pk}) = (1.908 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$P_{k,sup,t\infty} := r_{sup} \cdot (\sigma_{p,k,t\infty,m} \cdot A_{pk}) = (2.591 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

Posúdenie prierezu:

Spodné vlákna prierezu:

$$\sigma_d := -\frac{P_{k.inf.t\infty}}{A_c} - \frac{P_{k.inf.t\infty} \cdot e_p}{I_{y,c}} \cdot z_d + \frac{M_{frq.N4}}{I_{y,c}} \cdot z_d = 0.445 \text{ MPa} < 0 \text{ MPa}$$

=> **Vysledok = "NEVYHOVUJE"**

Horné vlákna prierezu:

$$\sigma_h := -\frac{P_{k.sup.t\infty}}{A_c} + \frac{P_{k.sup.t\infty} \cdot e_p}{I_{y,c}} \cdot z_h - \frac{M_{qk.N4}}{I_{y,c}} \cdot z_h = -15.746 \text{ MPa}$$

$$|\sigma_h| = 15.746 \text{ MPa} < 0.6 \cdot f_{ck} = 30 \text{ MPa}$$

=> **Vysledok = "VYHOVUJE"**

► Normálna zaťažiteľnosť je nižšia ako 32t

Faktor normálnej zaťažiteľnosti, normálna zaťažiteľnosť ex. mostu (Nosná konštrukcia)

Medzný stav použiteľnosti MSP

Poznámka: Z predchádzajúceho posudku je zrejmé, že prierez je limitovaný podmienkou obmedzenia ťahových napätí v dolných vláknach.

► Faktor normálnej zaťažiteľnosti F_z vyjadruje schopnosť mostu prenášať základné premenné zaťaženie vyjadrené zaťažovacou schémou LM1 a schémou podľa STN EN 1991-2 ktoré sa používa pre celkové a lokálne overenie konštrukcie.

$$F_z = \frac{R_{dW.c}}{E_{d.WLM1}}$$

$R_{dW.c}$ je hodnota kapacity (rezervy) odolnosti pre rozhodujúce premenné zaťaženie
 $E_{d.WLM1}$ je hodnota statickej veličiny od účinku normovej hodnoty zaťaženia LM1.

Normálna zaťažiteľnosť sa stanoví na základe: $W_n = F_z \cdot W_{n.rep}$

► Pričom $W_{n.rep}$ je hmotnosť reprezentatívneho zaťažovacieho vozidla a to 320kN

Napätia od jednotlivých zložiek zaťaženi:

Predpätie: $\sigma_{d.P} := -\frac{P_{k.inf.t\infty}}{A_c} - \frac{P_{k.inf.t\infty} \cdot e_p}{I_{y,c}} \cdot z_d = -13.911 \text{ MPa}$

Vlastná
ťaž: $\sigma_{d.G.T} := \frac{M_{y.G0.N4} + M_{y.G11.N4} + 0.5 T_m}{I_{y,c}} \cdot z_d = 7.505 \text{ MPa}$

Premenné
zaťaženie: $\sigma_{d.LM} := \frac{0.75 \cdot M_{y.TS.Vn.N4} + 0.4 \cdot M_{y.UDL.Vn.N4}}{I_{y,c}} \cdot z_d = 6.851 \text{ MPa}$

Ťaž normového reprezentatívneho vozidla: $W_{n.rep} := 320 \text{ kN}$

Faktor normálnej zaťažiteľnosti: $F_z := \frac{-\sigma_{d.P} - \sigma_{d.G.T}}{\sigma_{d.LM}} = 0.935$

Normálna zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie: $W_{n.NK.MSP} := W_{n.rep} \cdot F_z = 299.232 \text{ kN}$

($W_{n.NK.MSP} = 29.9 \text{ ton}$)

Faktor výhradnej zaťažiteľnosti a výhradná zaťažiteľnosť ex. mostu (Nosná konštrukcia) Medzný stav použiteľnosti MSP

► Faktor výhradnej zaťažiteľnosti $K_{z,r}$ vyjadruje schopnosť mostu prenášať výhradné zaťaženie vyjadrené zaťažovacou schémou 900/150 podľa STN 1991-2

$$K_{z,r} = \frac{R_{d,Wc}}{E_{d,W900,150}}$$

$R_{d,Wc}$ je hodnota kapacity (rezervy) odolnosti pre rozhodujúce premenné zaťaženie
 $E_{d,WLM1}$ je hodnota statickej veličiny od účinku normovej hodnoty zaťaženia 900/150

Výhradná zaťažiteľnosť sa stanoví na základe: $W_r = K_{z,r} \cdot W_{r,rep}$

► Pričom $W_{r,rep}$ je hmotnosť reprezentatívneho zaťažovacieho vozidla a to 900kN

Tiaž normového reprezentatívneho vozidla: $W_{r,rep} := 900 \text{ kN}$

Napätia od jednotlivých zložiek zaťaženia:

Predpätie: $\sigma_{d,P} := -\frac{P_{k,inf,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{k,inf,t\infty} \cdot e_p}{I_{y,c}} \cdot z_d = -13.911 \text{ MPa}$

Vlastná
tiaž: $\sigma_{d,G,T} := \frac{M_{y,G0,N2} + M_{y,G11,N2} + 0.5 T_m}{I_{y,c}} \cdot z_d = 7.997 \text{ MPa}$

Premenné
zaťaženie: $\sigma_{d,Vr} := \frac{M_{y,Vr,N2}}{I_{y,c}} \cdot z_d = 6.791 \text{ MPa}$

Dĺžka mostu (ovplyvnená dĺžka): $L_{M,o} := 13.6$

Dynamický súčiniteľ $\varphi := 1.4 - \frac{L_{M,o}}{500} = 1.373$

Faktor výhradnej zaťažiteľnosti: $K_{z,r} := \frac{-\sigma_{d,P} - \sigma_{d,G,T}}{\varphi \cdot \sigma_{d,Vr}} = 0.634$

Výhradná zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie: $W_{r,NK,MSP} := W_{r,rep} \cdot K_{z,r} = 570.933 \text{ kN}$
($W_{r,NK,MSP} = 57.1 \text{ ton}$)

Faktor výnimočnej zaťažiteľnosti a výnimočná zaťažiteľnosť ex. mostu (nosná konštrukcia) Medzný stav použiteľnosti MSP

► Faktor výnimočnej zaťažiteľnosti $K_{z,e}$ vyjadruje schopnosť mostu prenášať výnimočné zaťaženie vyjadrené zaťažovacou schémou 3000/240 podľa STN 1991-2

$$K_{z,e} = \frac{R_{d,We}}{E_{d,We}}$$

Tiaž normového reprezentatívneho vozidla: $W_{e,rep} := 3000 \text{ kN}$

Napätia od jednotlivých zložiek zaťaženia:

Predpätie: $\sigma_{d,P} := -\frac{P_{k,inf,t\infty}}{A_c} - \frac{P_{k,inf,t\infty} \cdot e_p}{I_{y,c}} \cdot z_d = -13.911 \text{ MPa}$

Vlastná
tiaž: $\sigma_{d,G,T} := \frac{M_{y,G0,N7} + M_{y,G11,N7} + 0.5 T_m}{I_{y,c}} \cdot z_d = 7.235 \text{ MPa}$

Premenné
zaťaženie: $\sigma_{d,We} := \frac{M_{y,Ve,N7}}{I_{y,c}} \cdot z_d = 9.446 \text{ MPa}$

$$\text{Faktor výnimočnej zaťažiteľnosti: } K_{z,e} := \frac{-\sigma_{d,P} - \sigma_{d,G,T}}{\sigma_{d,We}} = 0.707$$

$$\text{Výnimočná zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie: } W_{e,NK,MSP} := W_{e,rep} \cdot K_{z,e} = (2.12 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$(W_{e,NK,MSP} = 212.0 \text{ ton})$$

Faktor normálnej zaťažiteľnosti, normálna zaťažiteľnosť ex. mostu (Nosná konštrukcia) Medzný stav únosnosti MSU

Na posúdenie mostného objektu v MSÚ je použitý zjednodušený výpočet pomocou metódy medzných pretvorení. V rámci tejto metódy sa zanedbáva príspevok betonárskej výstuže do odolnosti prierezu. Taktiež sa neuvažuje s pevnosťou betónu v ťahu.

$$\text{Základný predpoklad: } M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

$$\text{Zo silovej podmienky pre pozdĺžny smer platí: } \Delta F_{pd} - F_{cd} = 0 \Rightarrow \Delta F_{pd} = f_{pd} \cdot A_p$$

$$\text{Zo silovej podmienky pre obdĺžnikový prierez platí } x_u = 0.8 \cdot x = \frac{A_p \cdot f_{pd}}{b_i \cdot f_{cd}}$$

$$\text{Vzdialenosť ťažiska výstuže a okraja prierezu: } d_p = h - e_{pi}$$

$$\text{Rameno výslednice ťahovej sily a tlakovej sily: } z = d_p - 0.4 \cdot x_u$$

$$\text{Ohybová odolnosť prierezu: } M_{Rd} = \Delta F_{pd} \cdot z$$

$$\text{Šírka hornej časti pásnice prierezu: } b_{d,h} := 0.94 \text{ m}$$

$$\text{Hrúbka hornej časti doskového prierezu (Minimálna, Maximálna): } h_{d,h} := 0.10 \text{ m} \quad h_{d,h,max} := 0.18 \text{ m}$$

$$\text{Hrúbka stien nosníka: } t_w := 0.10 \text{ m}$$

$$x_u = 0.115 \text{ m}$$

$$c_p = 0.111 \text{ m}$$

$$d_p := h - c_p = 0.489 \text{ m} \quad h = 0.6 \text{ m}$$

$$z := d_p - \frac{x_u}{2} = 0.431 \text{ m}$$

$$M_{Rd} := Y_{red} \cdot f_{pd} \cdot A_{pk} \cdot z = 1066.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Posúdenie: } M_{qd,N4} = (1.09 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{Rd} = (1.066 \cdot 10^3) \text{ kN} \cdot \text{m}$$

=> **Vysledok = "NEVYHOVUJE"**

$$\text{Parciálne súčinitele zaťaženia: } Y_G := 1.35 \quad Y_Q := 1.35$$

Kombinačné hodnoty vnútorných síl pre určenie zaťažiteľnosti podľa MSU:

$$M_{y,G} := \xi_G \cdot 1.35 \cdot (M_{y,G0,N4} + M_{y,G11,N4}) + 1.5 \cdot T_m = 447.783 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$E_{d,WLM1} := Y_Q \cdot (M_{y,TS,Vn,N4} + M_{y,UDL,Vn,N4}) = 642.398 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Hodnota kapacity (rezervy) odolnosti pre rozhodujúce premenné zaťaženie:

$$R_{d,W,c} := M_{Rd} - M_{y,G} = 618.629 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{Tiaž normového reprezentatívneho vozidla: } W_{n,rep} := 320 \text{ kN}$$

$$\text{Faktor normálnej zaťažiteľnosti: } F_z := \frac{R_{d,W,c}}{E_{d,WLM1}} = 0.963$$

Zaťažiteľnosť mostu:

Normálna zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie z hľadiska medzného stavu únosnosti:

$$W_{n.NK.MSU} := W_{n.rep} \cdot F_z = 308.16 \text{ kN}$$

$$(W_{n.NK.MSU} = 30.8 \text{ ton})$$

Poznámka: Pre predpätú konštrukciu platí podmienka obmedzenia ťahových napätí v krajných vláknach prierezu (spodných alebo horných - podľa posudzovaného miesta) - medzný stav použiteľnosti (ďalej MSP). Z vyššie uvedeného prepočtu zaťažiteľnosti pre medzný stav únosnosti (ďalej MSU) je zrejmé, že pre zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie je rozhodujúci MSP. Z hľadiska MSU má konštrukcia výrazne vyššiu zaťažiteľnosť avšak na úkor skrátenia životnosti konštrukcie.

Faktor výhradnej zaťažiteľnosti, výhradná zaťažiteľnosť ex. mostu (Pole 1) Medzný stav únosnosti MSU

Parciálne súčinitele zaťaženia: $\gamma_G := 1.35$ $\gamma_Q := 1.35$

Kombinačné hodnoty vnútorných síl pre určenie zaťažiteľnosti podľa MSU:

$$M_{y.G} := \xi_G \cdot 1.35 \cdot (M_{y.G0.N2} + M_{y.G11.N2}) + 1.5 \cdot T_m = 476.658 \text{ kN} \cdot m$$

$$E_{d.Wr} := \varphi \cdot \gamma_Q \cdot M_{y.Vr.N2} = 591.567 \text{ kN} \cdot m$$

Hodnota kapacity (rezervy) odolnosti pre rozhodujúce premenné zaťaženie: $\varphi = 1.373$

$$R_{d.W.c} := M_{Rd} - M_{y.G} = 589.754 \text{ kN} \cdot m$$

Tiaž normového reprezentatívneho vozidla: $W_{r.rep} := 900 \text{ kN}$

Faktor výhradnej zaťažiteľnosti: $K_{z.r} := \frac{R_{d.W.c}}{E_{d.Wr}} = 0.997$

Zaťažiteľnosť mostu:

Výhradná zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie z hľadiska medzného stavu únosnosti:

$$W_{r.NK.MSU} := W_{r.rep} \cdot K_{z.r} = 897.242 \text{ kN}$$

$$(W_{r.NK.MSU} = 89.7 \text{ ton})$$

Faktor výnimočnej zaťažiteľnosti, výnimočná zaťažiteľnosť ex. mostu (Pole 1) Medzný stav únosnosti MSU

Parciálne súčinitele zaťaženia: $\gamma_G := 1.35$ $\gamma_Q := 1.35$

Tiaž normového reprezentatívneho vozidla: $W_{e.rep} := 3000 \text{ kN}$

Kombinačné hodnoty vnútorných síl pre určenie zaťažiteľnosti podľa MSU:

$$M_{y.G} := \xi_G \cdot 1.35 \cdot (M_{y.G0.N7} + M_{y.G11.N7}) + 1.5 \cdot T_m = 431.908 \text{ kN} \cdot m$$

$$E_{d.We} := \gamma_Q \cdot M_{y.Ve.N7} = 599.333 \text{ kN} \cdot m$$

Hodnota kapacity (rezervy) odolnosti pre rozhodujúce premenné zaťaženie:

$$R_{d.W.c} := M_{Rd} - M_{y.G} = 634.504 \text{ kN} \cdot m$$

Faktor výnimočnej zaťažiteľnosti: $W_e := \frac{R_{d.W.c}}{E_{d.We}} = 1.059$

Zaťažiteľnosť mostu:

Výnimočná zaťažiteľnosť nosnej konštrukcie z hľadiska medzného stavu únosnosti:

$$W_{e,NK,MSU} := W_{e,rep} \cdot W_e = (3.176 \cdot 10^3) \text{ kN}$$

$$(W_{e,NK,MSU} = 317.6 \text{ ton})$$

3.8 Výpočet únosnosti a zaťažiteľnosti úložného prahu piliera

Nosník B640		Obdĺžnik (650; 900)	
EC EN 1992-1-1		Rez 6 [dx = 1.4 m]	
Dĺžka prvku	Ld = 2.8 m	Materiály	
Vzperná dĺžka y	Ly = 12.6 m	Betón	C45/55(EN1992-2)
Vzperná dĺžka z	Lz = 12.6 m	Výstuž	10400B - Úložný prah
		Súčinitele	
		Norma	EC EN 1992-1-1
		Vlastnosti betónu	$\gamma_c = 1.5, \alpha_{cc} = 1$
		Vlastnosti výstuže	$\gamma_s = 1.15$
		Výstuž	
		Pozdĺ. prúty: 5φ22 mm, Celk. plocha = 1901 mm ²	
		Strmene: φ = 12 mm, A _{sw} = 452 mm ² , A _{sw,s} = 2192 mm ² /m	
		Krytie strmeňov:	
		Hore	35 mm
		Dole	5 mm
		Vľavo	35 mm
		Vpravo	35 mm

Materiálové charakteristiky

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 45}{1.5} = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medze klzu betonárskej výstuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{360}{1.15} = 313 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Vstupné údaje pre vytvorenie ID

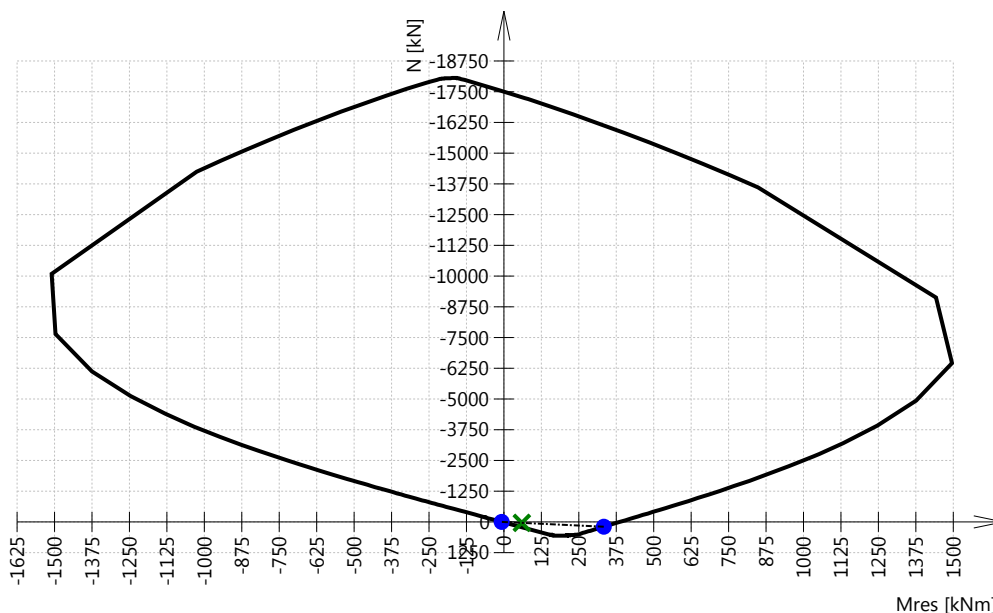
Metóda posúdenia interakčným diagramom	N _u M _u
Rozdelenie pretvorenia po výške prierezu	250
Počet vertikálnych rezov	36
Výslednica ohybových momentov	M _{res} = 59.3 kNm
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k M _y smer v horizontálnej rovine M _y -M _z	$\alpha_{MyMz} = -172^\circ$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k N smer vo vertikálnej rovine N-M _{res}	$\alpha_{NM} = 29.7^\circ$

Výpočet odolnosti

Odolnosti v kladnom smere $N_{Rd+} = 190 \text{ kN}$ $M_{Rdy+} = 331 \text{ kNm}$ $M_{Rdz+} = 1 \text{ kNm}$

Odolnosti v zápornom smere $N_{Rd-} = -4 \text{ kN}$ $M_{Rdy-} = -8 \text{ kNm}$ $M_{Rdz-} = -47 \text{ kNm}$

3D interakčný diagram - Vertikálny rez N-M_{res}



Tab. 14 Tabuľkový výpočet jednotlivých zaťažiteľností úložného prahu piliera

Nosník (číslo)	Únosnosť nosníka [kNm]	Normové vozidlo [kN]	Faktor Fz	Zaťažiteľnosť Vn [kN]	Zaťažiteľnosť Vn [t]
B1	331	320	0,989	316,4	31,6
Výsledná normálna zaťažiteľnosť Vn [t]:					31,6

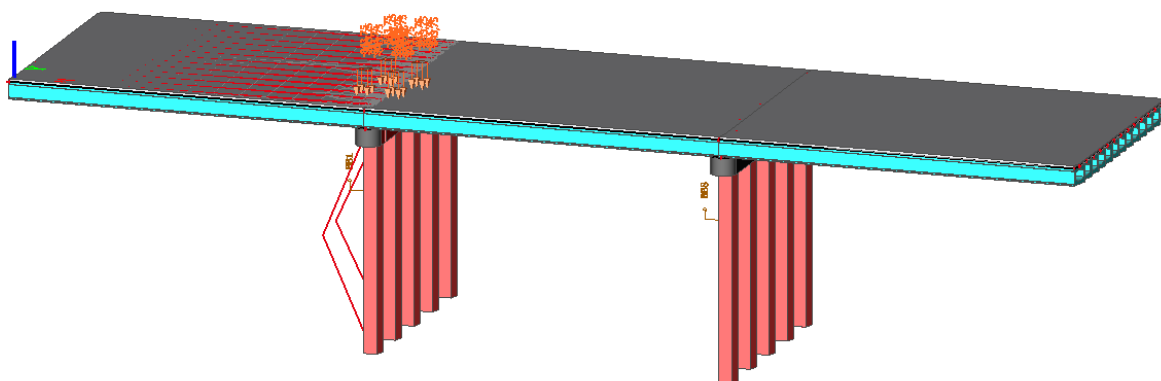
Poznámka: Pri výpočte zaťažiteľnosti bolo uvažované s parciálnymi súčiniteľmi $\gamma_G = 1,25$ a $\gamma_Q = 1,35$

Nosník (číslo)	Únosnosť nosníka (tab.) [kNm]	Normové vozidlo [kN]	Faktor K _{z,r}	Zaťažiteľnosť W _r [kN]	Zaťažiteľnosť W _r [t]
B1	331	900	0,689	619,7	62,0
Dynamický súčiniteľ:	1,373	Výsledná výhradná zaťažiteľnosť W_r [t]:			62,0

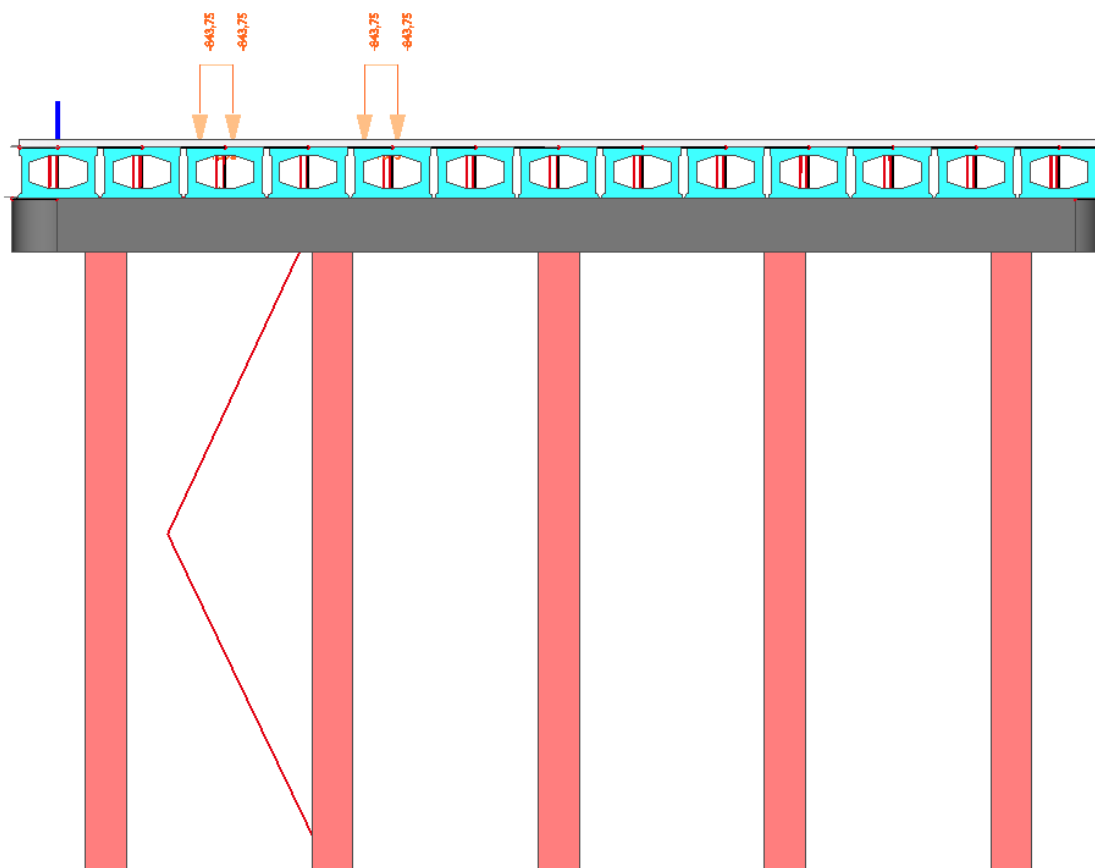
Nosník (číslo)	Únosnosť nosníka (tab.) [kNm]	Normové vozidlo [kN]	Faktor K _{z,e}	Zaťažiteľnosť W _e [kN]	Zaťažiteľnosť W _e [t]
B1	331	3000	0,586	1758,4	175,8
Výsledná výnimočná zaťažiteľnosť W_e [t]:					175,8

3.9 Výpočet únosnosti a zaťažiteľnosti stojok piliera

- Pilierové stojky sú vzhľadom na svoju pomerne vysokú výšku a štíhly prierez namáhané vzperným tlakom a je nutné overiť ich celkovú stabilitu. Pri výpočte ich zaťažiteľnosti bol využitý na určenie vzperných dĺžok prútov stabilný výpočet konštrukcie.
- Vzhľadom na to bola vo výpočte uvažovaná i teória druhého rádu.
- Únosnosť stojok bola vypočítaná pre rozhodujúce polohy zaťaženia vyvodzujúce maximálne vnútorné sily. Poloha zaťaženia bola určená pomocou vplyvových plôch.



Obr. 73 Tvar vybočenia pilierových stojok pri strate ich stability v pozdĺžnom smere mosta



Obr. 74 Tvar vybočenia pilierových stojky pri strate stability v priečnom smere mosta

Výpočet využitia prierezu vplyvom vlastnej tiaže a stáleho zaťaženia

Stĺp B15	Obdĺžnik (500; 500)
EC EN 1992-1-1	Rez 0 [dx = 0 m]

Dĺžka prvku	Ld = 8.15 m
Vzperná dĺžka y	Ly = 7.6 m
Vzperná dĺžka z	Lz = 5.75 m

Materiály	
Betón	C45/55
Výstuž	10400B

Súčinitele

Norma	EC EN 1992-1-1
Vlastnosti betónu	$\gamma_c = 1.5, \alpha_{cc} = 1$
Vlastnosti výstuže	$\gamma_s = 1.15$

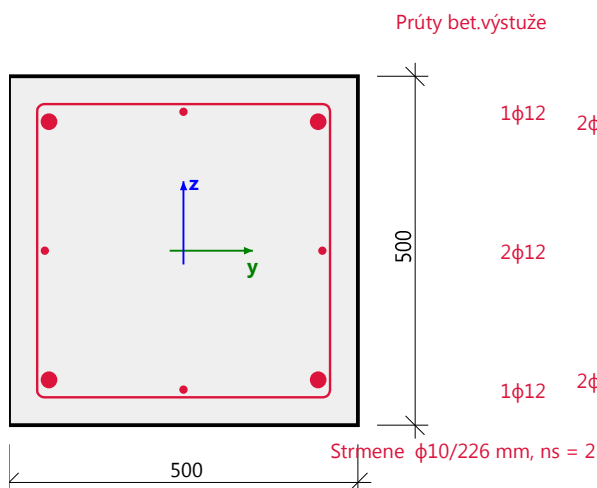
Výstuž

Pozdĺ. prúty: 4 ϕ 12 mm + 4 ϕ 24 mm, Celk. plocha = 2262 mm²

Strmene: $\phi = 10$ mm, $A_{sw} = 157$ mm², $A_{sw,s} = 695$ mm²/m

Krytie strmeňov:

Hore	35 mm
Dole	35 mm
Vľavo	35 mm
Vpravo	35 mm



Materiálové charakteristiky

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 45}{1.5} = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medze klzu betonárskej výstuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Sily

Z FEM analýzy

$$N = -1048 \text{ kN} \quad M_y = 0 \text{ kNm} \quad M_z = 0 \text{ kNm}$$

Obsah kombinácie:

1.25*VLASTNÁTIAŽ + 1.25*VLASTNÁTIAŽ-NEMODELOVANÉČASTI

Prepočet ohybových momentov:

Sekundárne účinky: Áno

Imperfekcie: Áno

$$N_{Ed} = -1048 \text{ kN} \quad M_{Edy} = 113 \text{ kNm} \quad M_{Edz} = 81.9 \text{ kNm}$$

Prvok je uvažovaný ako izolovaný prvok: Áno

Použiť pre výpočet ekvivalentné momenty: Áno

Vstupné údaje pre vytvorenie ID

Metóda posúdenia interakčným diagramom

$N_u M_u$

Rozdelenie pretvorenia po výške prierezu

250

Počet vertikálnych rezov

36

Výslednica ohybových momentov

$M_{res} = 139 \text{ kNm}$

Uhol výslednice ohybových momentov vztiahnutý k M_y smer v horizontálnej rovine M_y - M_z

$\alpha_{M_y M_z} = 144^\circ$

Uhol výslednice ohybových momentov vztiahnutý k N smer vo vertikálnej rovine N - M_{res}

$\alpha_{NM} = -82.4^\circ$

Výpočet odolnosti

Odolnosti v kladnom smere $N_{Rd+} = 550 \text{ kN}$ $M_{Rdy+} = 388 \text{ kNm}$ $M_{Rdz+} = 282 \text{ kNm}$

Odolnosti v zápornom smere $N_{Rd-} = -3602 \text{ kN}$ $M_{Rdy-} = -59 \text{ kNm}$ $M_{Rdz-} = -43 \text{ kNm}$

Zhrnutie posúdenia

Sily: $N_{Ed} = -1048 \text{ kN}$ $M_{Edy} = 113 \text{ kNm}$ $M_{Edz} = 81.9 \text{ kNm}$

Odolnosť: $N_{Rd} = -3602 \text{ kNm}$ $M_{Rdy} = 388 \text{ kNm}$ $M_{Rdz} = 282 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku:

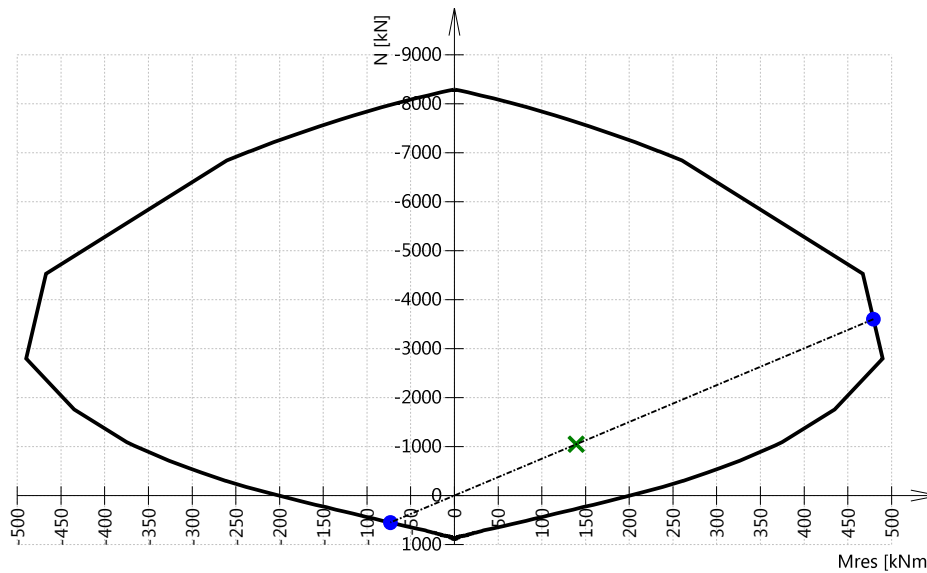
$$UC_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{-1.05 \cdot 10^6}{-3.6 \cdot 10^6} = 0.291$$

$$UC_{My} = \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} = \frac{112815}{387817} = 0.291$$

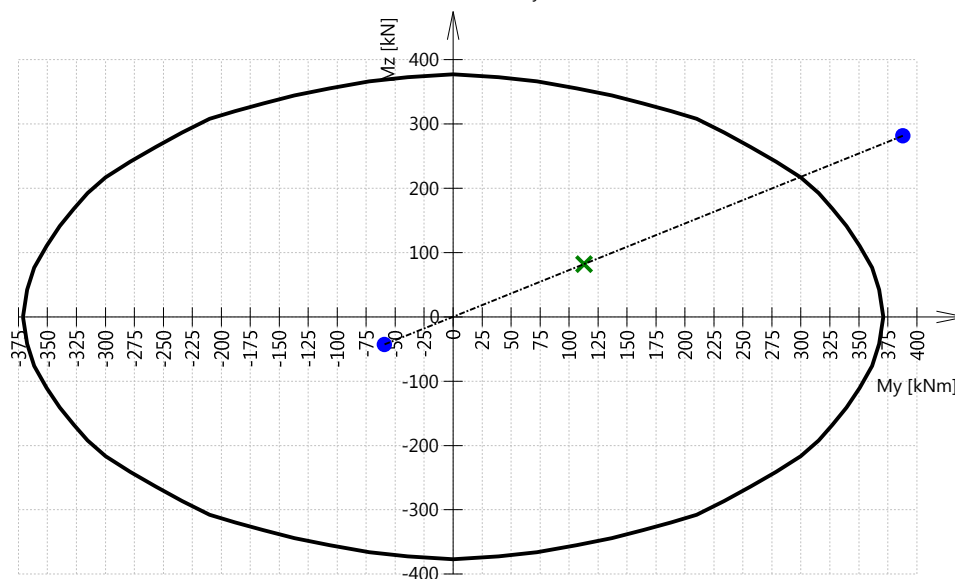
$$UC_{Mz} = \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} = \frac{81936}{281665} = 0.291$$

$$UC = \max(UC_N; UC_{My}; UC_{Mz}) = \max(0.291; 0.291; 0.291) = 0.291 \leq 1 \quad \text{OK}$$

3D interakčný diagram - Vertikálny rez N-M_{res}



3D interakčný diagram - Horizontálny rez M_y-M_z



Stĺp B16		Obdĺžnik (500; 500)	
EC EN 1992-1-1		Rez 0 [dx = 0 m]	
Dĺžka prvku	Ld = 8.15 m	Materiály	
Vzperná dĺžka y	Ly = 8.35 m	Betón	C45/55
Vzperná dĺžka z	Lz = 6.32 m	Výstuž	10400B
		Súčinitele	
		Norma	EC EN 1992-1-1
		Vlastnosti betónu	$\gamma_c = 1.5, \alpha_{cc} = 1$
		Vlastnosti výstuže	$\gamma_s = 1.15$
		Výstuž	
		Pozdĺ. prúty: 4φ12 mm + 4φ24 mm, Celk. plocha = 2262 mm ²	
		Strmene: $\phi = 10$ mm, $A_{sw} = 157$ mm ² , $A_{sw,s} = 745$ mm ² /m	
		Krytie strmeňov:	
		Hore	35 mm
		Dole	35 mm
		Vľavo	35 mm
		Vpravo	35 mm

Materiálové charakteristiky

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 45}{1.5} = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medze klzu betonárskej výstuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Sily

Z FEM analýzy

$$N = -1038 \text{ kN} \quad M_y = 0 \text{ kNm} \quad M_z = 0 \text{ kNm}$$

Obsah kombinácie:

1.25*VLASTNÁ TIAŽ + 1.25*VLASTNÁ TIAŽ - NEMODELOVANÉ ČASTI

Prepočet ohybových momentov:

Sekundárne účinky: Áno

Imperfekcie: Áno

$$N_{Ed} = -1038 \text{ kN} \quad M_{Edy} = -126 \text{ kNm} \quad M_{Edz} = 92.4 \text{ kNm}$$

Prvok je uvažovaný ako izolovaný prvok: Áno

Použit' pre výpočet ekvivalentné momenty: Áno

Vstupné údaje pre vytvorenie ID

Metóda posúdenia interakčným diagramom

$$N_u M_u$$

Rozdelenie pretvorenia po výške prierezu

$$250$$

Počet vertikálnych rezov

$$36$$

Výslednica ohybových momentov

$$M_{res} = 156 \text{ kNm}$$

Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k M_y smer v horizontálnej rovine M_y - M_z

$$\alpha_{M_y M_z} = 36.2^\circ$$

Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k N smer vo vertikálnej rovine N - M_{res}

$$\alpha_{NM} = -81.4^\circ$$

Výpočet odolnosti

Odolnosti v kladnom smere $N_{Rd+} = 526 \text{ kN}$ $M_{Rdy+} = 64 \text{ kNm}$ $M_{Rdz+} = 286 \text{ kNm}$

Odolnosti v zápornom smere $N_{Rd-} = -3213 \text{ kN}$ $M_{Rdy-} = -391 \text{ kNm}$ $M_{Rdz-} = -47 \text{ kNm}$

Zhrnutie posúdenia

Sily: $N_{Ed} = -1038 \text{ kN}$ $M_{Edy} = -126 \text{ kNm}$ $M_{Edz} = 92.4 \text{ kNm}$

Odolnosť: $N_{Rd} = -3213 \text{ kNm}$ $M_{Rdy} = -391 \text{ kNm}$ $M_{Rdz} = 286 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku:

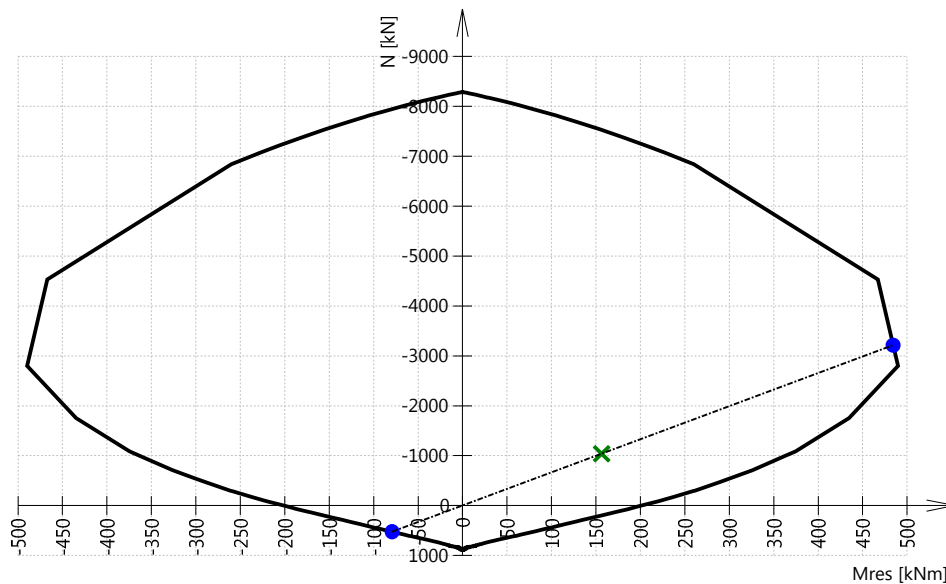
$$UC_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{-1.04 \cdot 10^6}{-3.21 \cdot 10^6} = 0.323$$

$$UC_{My} = \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} = \frac{-126287}{-390850} = 0.323$$

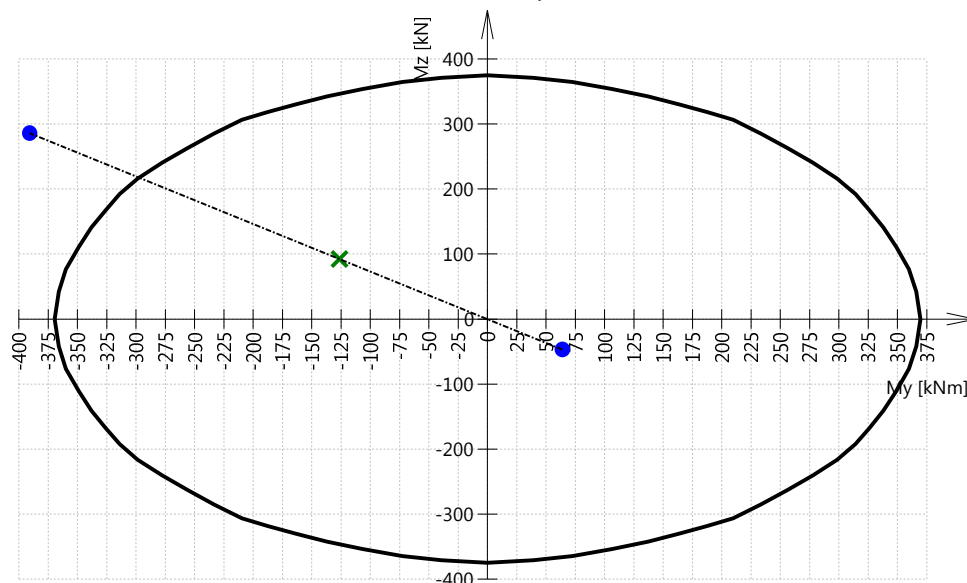
$$UC_{Mz} = \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} = \frac{92406}{285990} = 0.323$$

$$UC = \max(UC_N; UC_{My}; UC_{Mz}) = \max(0.323; 0.323; 0.323) = 0.323 <= 1 \text{ OK}$$

3D interakčný diagram - Vertikálny rez N-M_{res}



3D interakčný diagram - Horizontálny rez M_y-M_z



Výpočet využitia prierezu stojky od rozhodujúcej kombinácie pre určenie normálnej zaťažiteľnosti.

Stĺp B15	Obdĺžnik (500; 500)
EC EN 1992-1-1	Rez 0 [dx = 0 m]

Dĺžka prvku	Ld = 8.15 m
Vzperná dĺžka y	Ly = 7.6 m
Vzperná dĺžka z	Lz = 5.75 m

Materiály

Betón	C45/55
Výstuž	10400B

Súčinitele

Norma	EC EN 1992-1-1
Vlastnosti betónu	$\gamma_c = 1.5, \alpha_{cc} = 1$
Vlastnosti výstuže	$\gamma_s = 1.15$

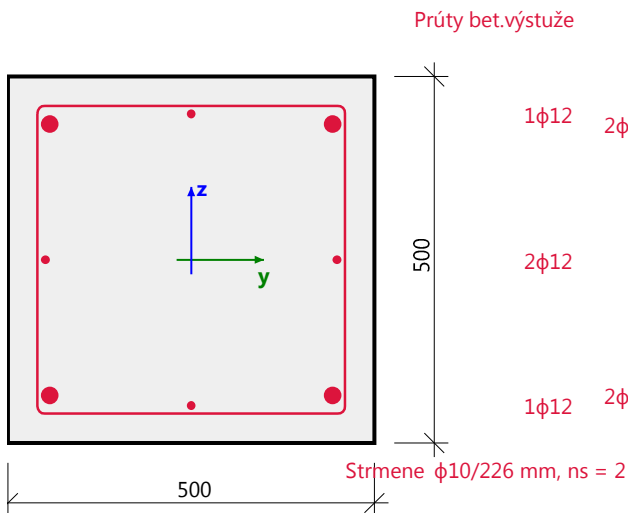
Výstuž

Pozdĺ. prúty: 4 ϕ 12 mm + 4 ϕ 24 mm, Celk. plocha = 2262 mm²

Strmene: $\phi = 10$ mm, $A_{sw} = 157$ mm², $A_{sw,s} = 695$ mm²/m

Krytie strmeňov:

Hore	35 mm
Dole	35 mm
Vľavo	35 mm
Vpravo	35 mm



Materiálové charakteristiky

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 45}{1.5} = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medze klizu betonárskej výstuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Sily

Z FEM analýzy

$$N = -1800 \text{ kN} \quad M_y = 0 \text{ kNm} \quad M_z = 0 \text{ kNm}$$

Obsah kombinácie:

1.25*VLASTNÁTIAŽ+1.25*VLASTNÁTIAŽ-NEMODELOVANÉČASTI+1.35*Vn-LM1TS-PILIER+
1.35*Vn-LM1UDL-PILIER

Prepočet ohybových momentov:

Sekundárne účinky: Áno

Imperfekcie: Áno

$$N_{Ed} = -1800 \text{ kN} \quad M_{Edy} = 194 \text{ kNm} \quad M_{Edz} = 134 \text{ kNm}$$

Prvok je uvažovaný ako izolovaný prvok: Áno

Použiť pre výpočet ekvivalentné momenty: Áno

Vstupné údaje pre vytvorenie ID

Metóda posúdenia interakčným diagramom	$N_u M_u$
Rozdelenie pretvorenia po výške prierezu	250
Počet vertikálnych rezov	36
Výslednica ohybových momentov	$M_{res} = 235 \text{ kNm}$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k M_y smer v horizontálnej rovine M_y - M_z	$\alpha_{MyMz} = 145^\circ$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k N smer vo vertikálnej rovine N- M_{res}	$\alpha_{NM} = -82.6^\circ$

Výpočet odolnosti

Odolnosti v kladnom smere $N_{Rd+} = 552 \text{ kN}$ $M_{Rdy+} = 395 \text{ kNm}$ $M_{Rdz+} = 272 \text{ kNm}$

Odolnosti v zápornom smere $N_{Rd-} = -3670 \text{ kN}$ $M_{Rdy-} = -59 \text{ kNm}$ $M_{Rdz-} = -41 \text{ kNm}$

Zhrnutie posúdenia

Sily: $N_{Ed} = -1800 \text{ kN}$ $M_{Edy} = 194 \text{ kNm}$ $M_{Edz} = 134 \text{ kNm}$

Odolnosť: $N_{Rd} = -3670 \text{ kNm}$ $M_{Rdy} = 395 \text{ kNm}$ $M_{Rdz} = 272 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku:

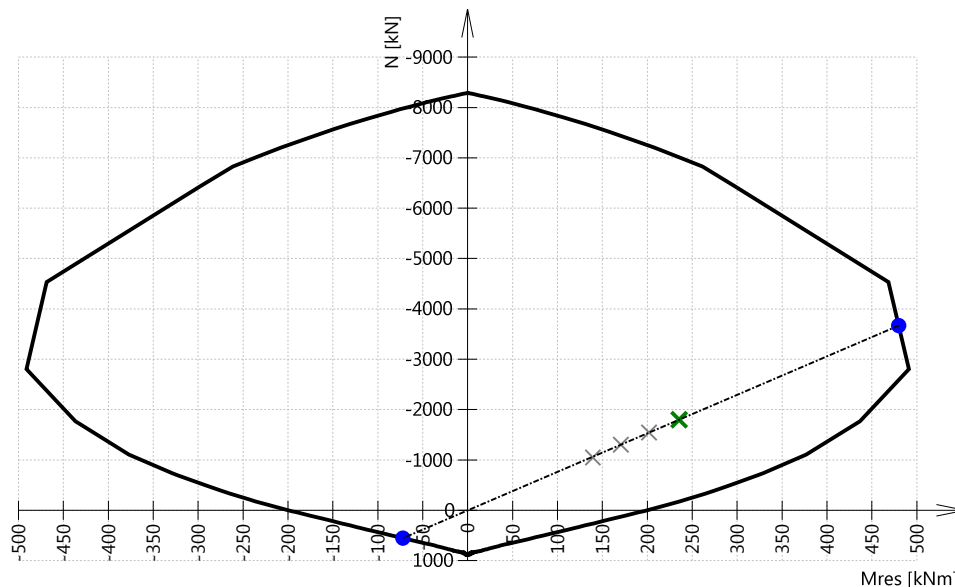
$$UC_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{-1.8 \cdot 10^6}{-3.67 \cdot 10^6} = 0.491$$

$$UC_{My} = \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} = \frac{193851}{395136} = 0.491$$

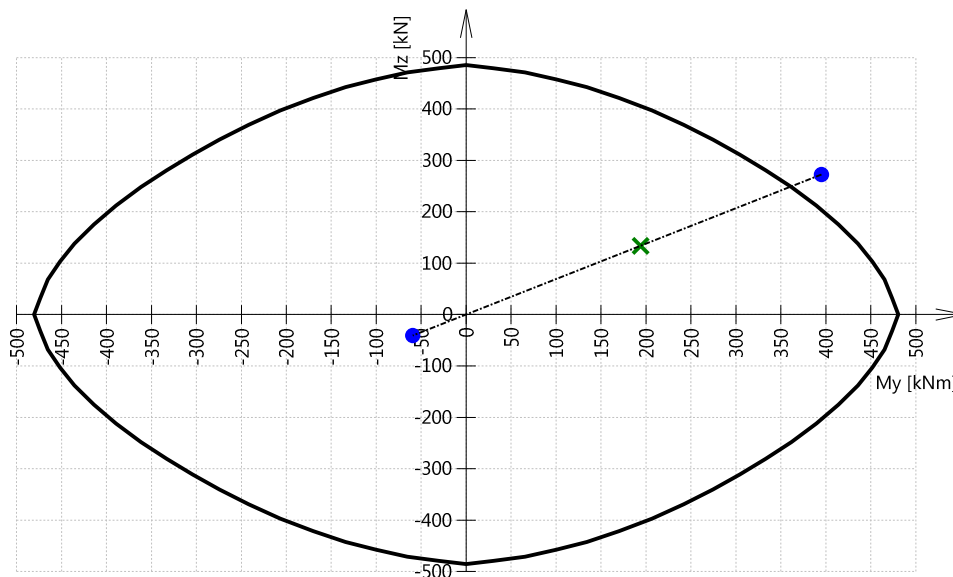
$$UC_{Mz} = \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} = \frac{133543}{272206} = 0.491$$

$$UC = \max(UC_N; UC_{My}; UC_{Mz}) = \max(0.491; 0.491; 0.491) = 0.491 \leq 1 \quad \text{OK}$$

3D interakčný diagram - Vertikálny rez N- M_{res}



3D interakčný diagram - Horizontálny rez M_y - M_z



Výpočet využitia prierezu stopy od rozhodujúcej kombinácie pre určenie výhradnej zaťažiteľnosti.

Stĺp B15	Obdĺžnik (500; 500)
EC EN 1992-1-1	Rez 0 [dx = 0 m]

Dĺžka prvku	Ld = 8.15 m
Vzperná dĺžka y	Ly = 7.6 m
Vzperná dĺžka z	Lz = 5.75 m

Materiály	
Betón	C45/55
Výstuž	10400B

Súčinitele

Norma	EC EN 1992-1-1
Vlastnosti betónu	$\gamma_c = 1.5, \alpha_{cc} = 1$
Vlastnosti výstuže	$\gamma_s = 1.15$

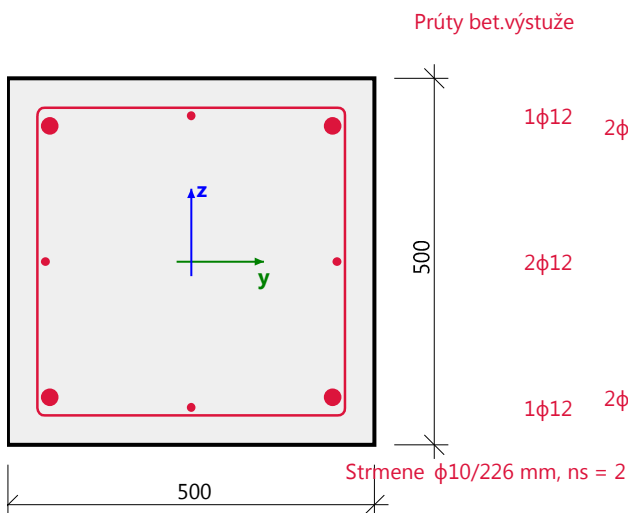
Výstuž

Pozdĺ. prúty: 4 ϕ 12 mm + 4 ϕ 24 mm, Celk. plocha = 2262 mm²

Strmene: $\phi = 10$ mm, $A_{sw} = 157$ mm², $A_{sw,s} = 695$ mm²/m

Krytie strmeňov:

Hore	35 mm
Dole	35 mm
Vľavo	35 mm
Vpravo	35 mm



Materiálové charakteristiky

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 45}{1.5} = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medze klzu betonárskej výstuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Sily

Z FEM analýzy

$$N = -1532 \text{ kN} \quad M_y = 0 \text{ kNm} \quad M_z = 0 \text{ kNm}$$

Obsah kombinácie:

$$1.25 \cdot \text{VLASTNÁ TIAŽ} + 1.25 \cdot \text{VLASTNÁ TIAŽ-NEMODELOVANÉ ČASTI} + 1.35 \cdot \text{Vr-PILIER}$$

Prepočet ohybových momentov:

Sekundárne účinky: Áno

Prvok je uvažovaný ako izolovaný prvok: Áno

Imperfekcie: Áno

Použiť pre výpočet ekvivalentné momenty: Áno

$$N_{Ed} = -1532 \text{ kN} \quad M_{Edy} = 165 \text{ kNm} \quad M_{Edz} = 114 \text{ kNm}$$

Vstupné údaje pre vytvorenie ID

Metóda posúdenia interakčným diagramom	$N_u M_u$
Rozdelenie pretvorenia po výške prierezu	250
Počet vertikálnych rezov	36
Výslednica ohybových momentov	$M_{res} = 200 \text{ kNm}$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k M_y smer v horizontálnej rovine M_y - M_z	$\alpha_{M_y M_z} = 145^\circ$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k N smer vo vertikálnej rovine N - M_{res}	$\alpha_{NM} = -82.6^\circ$

Výpočet odolnosti

$$\text{Odolnosti v kladnom smere} \quad N_{Rd+} = 552 \text{ kN} \quad M_{Rdy+} = 395 \text{ kNm} \quad M_{Rdz+} = 272 \text{ kNm}$$

$$\text{Odolnosti v zápornom smere} \quad N_{Rd-} = -3670 \text{ kN} \quad M_{Rdy-} = -59 \text{ kNm} \quad M_{Rdz-} = -41 \text{ kNm}$$

Zhrnutie posúdenia

Sily: $N_{Ed} = -1532 \text{ kN}$ $M_{Edy} = 165 \text{ kNm}$ $M_{Edz} = 114 \text{ kNm}$

Odolnosť: $N_{Rd} = -3670 \text{ kNm}$ $M_{Rdy} = 395 \text{ kNm}$ $M_{Rdz} = 272 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku:

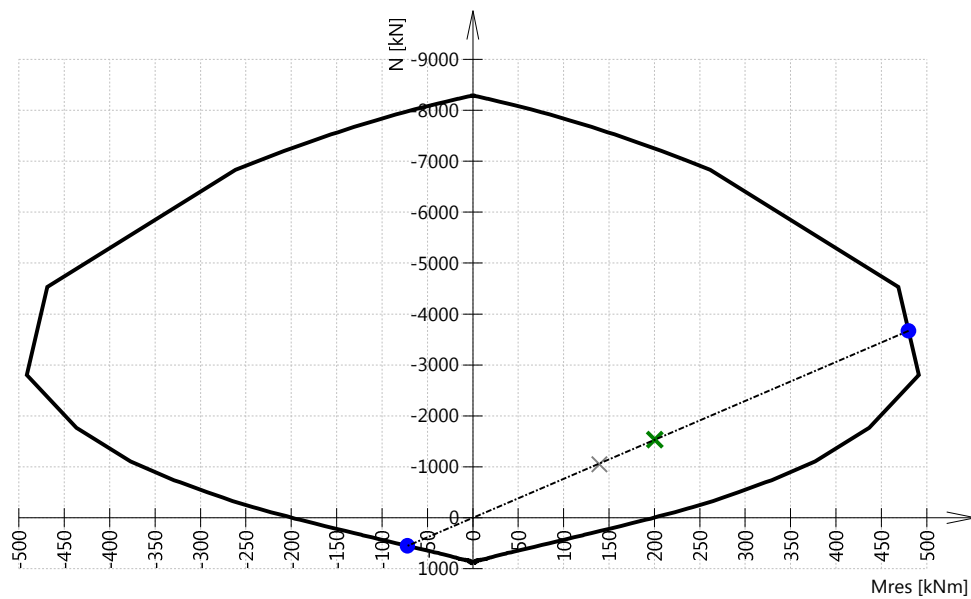
$$UC_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{-1.53 \cdot 10^6}{-3.67 \cdot 10^6} = 0.418$$

$$UC_{My} = \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} = \frac{165006}{395136} = 0.418$$

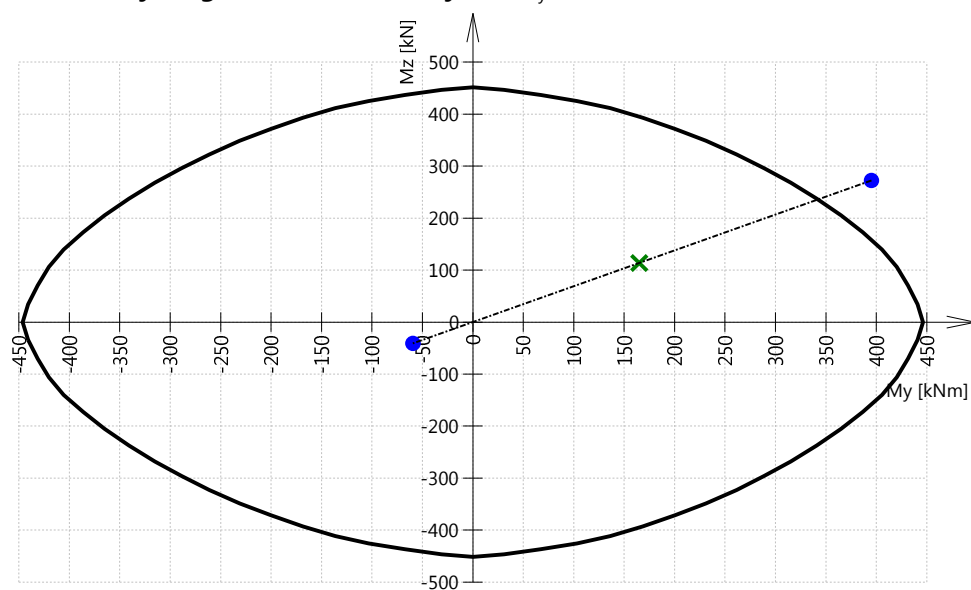
$$UC_{Mz} = \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} = \frac{113671}{272206} = 0.418$$

$$UC = \max(UC_N; UC_{My}; UC_{Mz}) = \max(0.418; 0.418; 0.418) = 0.418 \leq 1 \quad \text{OK}$$

3D interakčný diagram - Vertikálny rez N-M_{res}



3D interakčný diagram - Horizontálny rez M_y-M_z



Výpočet využitia prierezu stojky od rozhodujúcej kombinácie pre určenie výnimočnej zaťažiteľnosti.

Stĺp B16	Obdĺžnik (500; 500)
EC EN 1992-1-1	Rez 0 [dx = 0 m]

Dĺžka prvku	Ld = 8.15 m
Vzperná dĺžka y	Ly = 8.35 m
Vzperná dĺžka z	Lz = 6.32 m

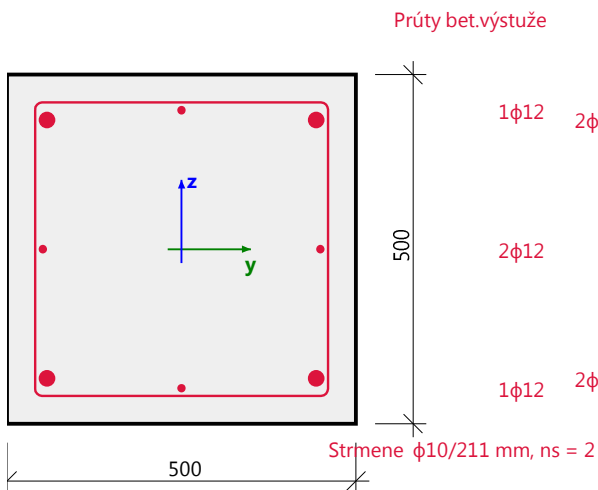
Materiály	
Betón	C45/55
Výstuž	10400B

Súčinitele

Norma	EC EN 1992-1-1
Vlastnosti betónu	$\gamma_c = 1.5, \alpha_{cc} = 1$
Vlastnosti výstuže	$\gamma_s = 1.15$

Výstuž

Pozdĺ. prúty: 4 ϕ 12 mm + 4 ϕ 24 mm, Celk. plocha = 2262 mm ²	
Strmene: $\phi = 10$ mm, $A_{sw} = 157$ mm ² , $A_{sw,s} = 745$ mm ² /m	
Krytie strmeňov:	
Hore	35 mm
Dole	35 mm
Vľavo	35 mm
Vpravo	35 mm



Materiálové charakteristiky

Návrhová hodnota pevnosti betónu v tlaku

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{1 \cdot 45}{1.5} = 30 \text{ MPa}$$

Návrhová hodnota medze klizu betonárskej výstuže

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{400}{1.15} = 348 \text{ MPa} \quad (3.15)$$

Sily

Z FEM analýzy

$$N = -2296 \text{ kN} \quad M_y = 0 \text{ kNm} \quad M_z = 0 \text{ kNm}$$

Obsah kombinácie:

1.25*VLASTNÁTIAŽ+1.25*VLASTNÁTIAŽ-NEMODELOVANÉČASTI+1.35*Ve-PILIER

Prepočet ohybových momentov:

Sekundárne účinky: Áno

Imperfekcie: Áno

$$N_{Ed} = -2296 \text{ kN} \quad M_{Edy} = 279 \text{ kNm} \quad M_{Edz} = 192 \text{ kNm}$$

Prvok je uvažovaný ako izolovaný prvok: Áno

Použiť pre výpočet ekvivalentné momenty: Áno

Vstupné údaje pre vytvorenie ID

Metóda posúdenia interakčným diagramom	$N_u M_u$
Rozdelenie pretvorenia po výške prierezu	250
Počet vertikálnych rezov	36
Výslednica ohybových momentov	$M_{res} = 339 \text{ kNm}$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k M_y smer v horizontálnej rovine M_y - M_z	$\alpha_{M_y M_z} = 146^\circ$
Uhol výslednice ohybových momentov vzťahnutý k N smer vo vertikálnej rovine N - M_{res}	$\alpha_{NM} = -81.6^\circ$

Výpočet odolnosti

Odolnosti v kladnom smere $N_{Rd+} = 527 \text{ kN}$ $M_{Rdy+} = 400 \text{ kNm}$ $M_{Rdz+} = 275 \text{ kNm}$

Odolnosti v zápornom smere $N_{Rd-} = -3286 \text{ kN}$ $M_{Rdy-} = -64 \text{ kNm}$ $M_{Rdz-} = -44 \text{ kNm}$

Zhrnutie posúdenia

Sily: $N_{Ed} = -2296 \text{ kN}$ $M_{Edy} = 279 \text{ kNm}$ $M_{Edz} = 192 \text{ kNm}$

Odolnosť: $N_{Rd} = -3286 \text{ kNm}$ $M_{Rdy} = 400 \text{ kNm}$ $M_{Rdz} = 275 \text{ kNm}$

Výpočet jednotkového posudku:

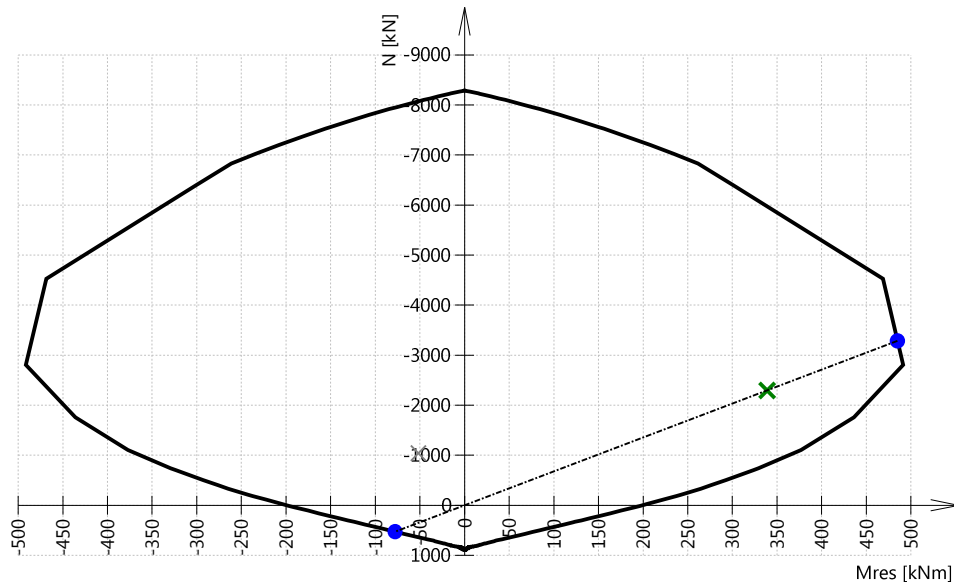
$$UC_N = \frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{-2.3 \cdot 10^6}{-3.29 \cdot 10^6} = 0.699$$

$$UC_{My} = \frac{M_{Edy}}{M_{Rdy}} = \frac{279246}{399663} = 0.699$$

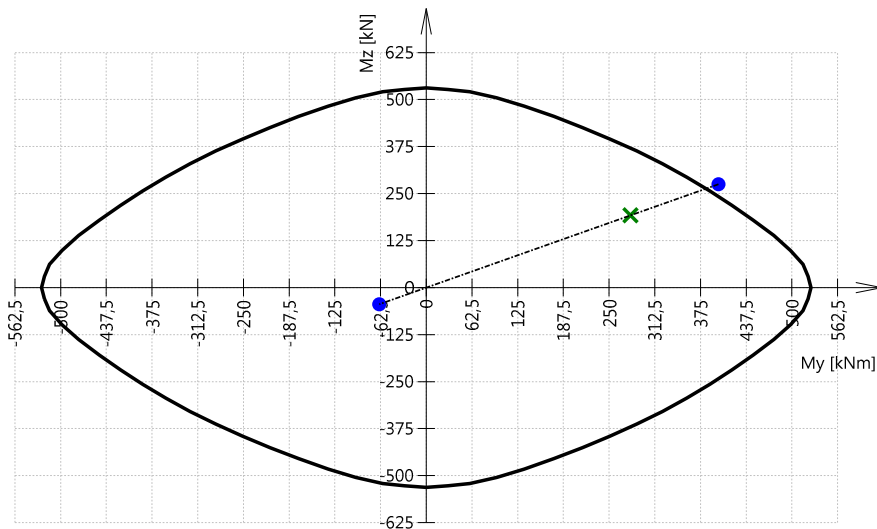
$$UC_{Mz} = \frac{M_{Edz}}{M_{Rdz}} = \frac{191925}{274687} = 0.699$$

$$UC = \max(UC_N; UC_{My}; UC_{Mz}) = \max(0.699; 0.699; 0.699) = 0.699 \leq 1 \quad \text{OK}$$

3D interakčný diagram - Vertikálny rez N-M_{res}



3D interakčný diagram - Horizontálny rez M_y-M_z



Tab. 15 Tabulkový výpočet jednotlivých zaťažiteľností stojok piliera

Stojka (číslo)	Využitie prierezu G_0+G_1	Využitie prierezu LM 1	Normové voz. [kN]	Faktor F_z	Zaťažiteľnosť V_n [kN]	Zaťažiteľnosť V_n [t]
S2	0,291	0,20	320	3,545	1134,4	113,4
Výsledná normálna zaťažiteľnosť V_n [t]:						113,4

Stojka (číslo)	Využitie prierezu G_0+G_1	Využitie prierezu 150/900	Normové voz. [kN]	Faktor $K_{z,r}$	Zaťažiteľnosť W_r [kN]	Zaťažiteľnosť W_r [t]
S2	0,291	0,127	900	4,066	3659,4	365,9
Dynam. súčin.:	1,373	Výsledná výhradná zaťažiteľnosť W_r [t]:				365,9

Stojka (číslo)	Využitie prierezu G_0+G_1	Využitie prierezu 240/3000	Normové voz. [kN]	Faktor $K_{z,e}$	Zaťažiteľnosť W_e [kN]	Zaťažiteľnosť W_e [t]
S3	0,323	0,376	3000	1,801	5401,6	540,2
Výsledná výnimočná zaťažiteľnosť W_e [t]:						540,2

Poznámka: Pri výpočte zaťažiteľnosti bolo uvažované s parciálnymi súčinitelmi $\gamma_G=1,25$ a $\gamma_Q=1,35$

3.10 Vyhodnotenie zaťažiteľnosti

Pri statickom prepočte zaťažiteľnosti bolo použitých niekoľko priestorových výpočtových modelov pre zistenie čo najpresnejšej odozvy konštrukcie na jednotlivé druhy zaťaženia. Pri výpočte bolo zaťaženie vetrom a snehom vzhľadom na hodnoty iných zaťažení zanedbateľné a vo výpočte neboli tieto zaťaženia uvažované.

Konštrukcia bola posúdená vo všetkých rozhodujúcich rezoch. Na základe statického prepočtu bola stanovená zaťažiteľnosť konštrukcie a to (tab. 16):

Tab. 16 Vyhodnotenie zaťažiteľnosti mosta

Prvok	Normálna zaťažiteľnosť W_n [t]		Výhradná zaťažiteľnosť W_r [t]	Výnimočná zaťažiteľnosť W_e [t]
	MSP	MSU		
Nosná konštrukcia	MSP	29,9	57,1	212
	MSU	30,8	89,7	317,6
Úložný prah piliera		31,6	62	175,8
Stojky piliera		113,4	365,9	540,2
Výsledná zaťažiteľnosť [t]:		29,9	57,1	175,8

4 Určenie stavebno-technického stavu mosta

Stavebnotechnický stav bol určená na základe vyhodnotenia porúch mostného objektu a ich závažnosti. V nižšie uvedených tabuľkách sú uvedené vybrané poruchy zistené pri podrobnej prehliadke mostného objektu. Ku každej poruche je uvedené číslo skupiny porúch podľa zoznamu porúch z TP 061, jej názov a hodnotiaci stupeň. Hodnotiaci stupeň môže dosahovať hodnoty od II do VII, pričom čím vyššia hodnota, tým je porucha závažnejšia. Výsledne hodnotenie – stavebnotechnický stav mosta zodpovedá najvyššiemu hodnoteniu zo všetkých hodnotení porúch.

A. Celkové pôsobenie		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
111	Zablokovanie v dilatačnej škáre	IV
Celkové hodnotenie za časť A		IV

B. Spodná stavba		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
302	Betón - inkrustácie	IV
303	Betón - vlhké škvrny	IV
304	Betón - záclony	IV
312	Betón - odlamovanie betónu	III
327	Betón - prasklina	V
328	Betón - kaverny v betónovom povrchu	III
342	Betón - Poškodenie ochrannnej vrstvy	IV
501	Výstuž - nedostatočné krytie	V
502	Výstuž - obnažená betonárska výstuž	V
511	Výstuž - korózia betonárskej výstuže	V
Celkové hodnotenie za časť B		V

C. Nosná konštrukcia		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
302	Betón - inkrustácie	IV
304	Betón - záclony	III
322	Betón - pozdĺžne trhliny	IV
325	Betón - Trhliny nad výstužou	V
342	Betón - Poškodenie ochrannnej vrstvy	IV
501	Výstuž - nedostatočné krytie	IV
502	Výstuž - obnažená betonárska výstuž	IV

511	Výstuž - korózia betonárskej výstuže	IV
523	Výstuž - Nedostatočne chránená kotva	V
Celkové hodnotenie za časť C		V

D. Mostný zvršok		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
321	Betón - povrchové sieťové trhliny	III
602	Vozovka - potenie povrchu vozovky	IV
604	Vozovka - obrusovanie vozovky na moste	III
607	Vozovka - výtlky vo vozovke	IV
610	Vozovka - zvlnenie vozovky na moste (koľaje)	IV
614	Vozovka - sieťové trhliny	IV
617	Vozovka - priečne poklesnutie vozovky	IV
618	Vozovka - trhlina nad podpovrchovou dilatáciou	IV
631	Porušená hydroizolácia	IV
Celkové hodnotenie za časť D		IV

E. Ložiská klíba a iné uloženie		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
<i>most nemá ložiská - nehodnotené</i>		

F. Mostné závery		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
808	Zatekanie cez mostný záver	V
810	Uzavretie dilatačnej medzery	IV
Celkové hodnotenie za časť F		V

G. Odvodnenie mosta		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
910	Krátke odvodňovacie rúrky	IV
913	Nefunkčné alebo poškodené odvodňovacie rigoly	III
Celkové hodnotenie za časť G		IV

H. Ostatné príslušenstvo mosta, J. Okolie mosta		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
1106	Nežiadúca vegetácia	III
Celkové hodnotenie za časť H a J		III

I. Cudzie zariadenie		
č. poruchy	názov poruchy	hodnotenie
<i>na moste sa nenachádzajú - nehodnotené</i>		

Z uvedených výsledkov prehliadky mostného objektu vyplýva, že mostný objekt je v súčasnom stave zatriedený do stupňa **V - Zlý**, čo podľa TP 060 znamená, že stav porúch mostného objektu ovplyvňuje zaťažiteľnosť mosta. Zároveň však poruchy, ktoré ovplyvňujú zaťažiteľnosť mostného objektu sú odstrániteľné bez výmeny poruchových častí.

5 Určenie zostatkovej životnosti

Pri hodnotení jednotlivých častí mostného objektu možno označiť rozhodujúce časti pre hodnotenie celkového stavu nasledujúcimi stupňami stavebno-technického stavu:

Časť mosta	Stavebno-technický stav	Váhové súčinitele a_y
A – Celkové pôsobenie	IV	0,14286
B – Spodná stavba	V	0,23810
C – Nosná konštrukcia	V	0,23810
D – Mostný zvršok	IV	0,11905
E – Ložiská, kĺby a iné uloženie	-	0,07143
F – Mostné závery	V	0,04762
G – Odvodnenie mosta	IV	0,04762
H – Ostatné vybavenie	III	0,04762
I – Cudzie zariadenie	-	0,02380
J – okolie mosta	III	0,02380
	spolu: 33	spolu: 1,00

Index bezpečnosti IBM = 5

Index stavebno-technického stavu ISTS = $(4+5+5+4+5+4+3+3) / 8 = 4,125$

Vek mosta – 50 rokov

Výpočet zostatkovej životnosti mosta podľa TP 077 Systém hospodárenia s mostami (Systém hospodárenia s mostami):

Metóda č. 1

Zadané veličiny							
IBM	5	ISTS	4,125	t (roky)	50	t _t (roky)	100

Podmienka: IBM ≥ ISTS IBM ≥ 4,125

Koeficient adekvátnosti hodnotenia IBM

príloha 3, tab. 6, TP 14/2013 $A_t^{IBM} = 0,5$

Koeficient adekvátnosti hodnotenia ISTS

príloha 3, tab. 6, TP 14/2013 $A_t^{ISTS} = 0,5$

Úroveň degradácie podľa IBM

príloha 3, tab. 7, TP 14/2013 $t_k^{IBM} = 90$

Úroveň degradácie podľa ISTS

príloha 3, tab. 7, TP 14/2013 $t_k^{ISTS} = 90$

Zostatková životnosť mosta

Ak $A_t^{IBM} = 1,0 \rightarrow D_t^{IBM} = 100 - t$

$$\text{Ak } A_t^{\text{IBM}} = 0,5 \rightarrow D_t^{\text{IBM}} = 100 - t_k^{\text{IBM}}$$

$$\text{Ak } A_t^{\text{IBM}} = 0,0 \rightarrow D_t^{\text{IBM}} = t \cdot (\ln(7) / \ln(\text{IBM}) - 1)$$

$$D_t^{\text{IBM}} = 10,00$$

$$\text{Ak } A_t^{\text{ISTS}} = 1,0 \rightarrow D_t^{\text{ISTS}} = 100 - t$$

$$\text{Ak } A_t^{\text{ISTS}} = 0,5 \rightarrow D_t^{\text{ISTS}} = 100 - t_k^{\text{ISTS}}$$

$$\text{Ak } A_t^{\text{ISTS}} = 0,0 \rightarrow D_t^{\text{ISTS}} = t \cdot (\ln(7) / \ln(\text{ISTS}) - 1)$$

$$D_t^{\text{ISTS}} = 10,00$$

$$DT_{z,t} = \min(D_t^{\text{IBM}}, D_t^{\text{ISTS}}) \quad DT_{z,t} = 10,00$$

Metóda č. 2

Zadané veličiny							
IBM	5	ISTS	4,125	t (roky)	50	t _t (roky)	100

Podmienka: IBM ≥ ISTS

IBM ≥ 6

Zostatková životnosť mosta

$$A_{\text{IBM}} = 1 / [(8 - \text{IBM})^2 \cdot (8 - \text{ISTS}) \cdot 0,1]$$

$$A_{\text{IBM}} = 0,1065$$

$$A_{\text{ISTS}} = 1 / [(8 - \text{ISTS})^2 \cdot (8 - \text{IBM}) \cdot 0,1]$$

$$A_{\text{ISTS}} = 0,2220$$

$$D_{t_{\text{IBM}}} = (t_t - t) \cdot [1 / (1+t)^{A_{\text{IBM}}}]$$

$$D_{t_{\text{IBM}}} = 32,89$$

$$D_{t_{\text{ISTS}}} = (t_t - t) \cdot [1 / (1+t)^{A_{\text{ISTS}}}]$$

$$D_{t_{\text{ISTS}}} = 20,89$$

$$Dt = \min(D_{t_{\text{IBM}}}, D_{t_{\text{ISTS}}})$$

$$Dt = 20,89$$

Zostatková životnosť podľa metódy výpočtu 1 TP 077 (Systém hospodárenia s mostami) je 10 rokov. Na výpočet hodnota zostatkovej životnosti boli použité dve metódy uvedené v TP 077. Rozhodujúca pre daný objekt je metóda č. 1, ktorá je prísnejšia.

Poznámka k vypočítanej zostatkovej životnosti:

Vypočítaná zostatková životnosť je 10 rokov. V súvislosti s uvedenou životnosťou (a princípom výpočtu) je si potrebné uvedomiť, že zostatková životnosť neuvádza čas, po uplynutí ktorého dôjde ku zrušeniu mosta, ale uvádza čisto „teoretický“ čas, ktorý pravdepodobne ostáva mostu do dosiahnutia stupňa technického stavu označeného „VII“, kedy most prestáva slúžiť a bude nevyhnutná jeho komplexná rekonštrukcia prípadne prestavba s výmenou poškodených nosných častí mostného objektu.

6 Návrh opatrení

Na predmetnom mostnom objekte je navrhnuté vykonať nasledovné opatrenia, prípadne stavebné opatrenia na zlepšenie existujúce stavebno-technického stavu:

Okamžité opatrenia

Osadiť aktuálne dopravné značenie informujúce o zaťažiteľnosti. Nezanedbávať údržbu mostného objektu. Opraviť kryt vozovky na moste a v priľahlých úsekoch komunikácie.

Dlhodobé opatrenia

S ohľadom na stavebno-technický stav mostného objektu sa odporúča začať s prípravou komplexnej rekonštrukcie mostného objektu. Hlavné nosné prvky mosta nie sú v súčasnosti poškodené natoľko, aby nebola možná ich sanácia bez nutnosti ich výmeny. V prípade odkladu rekonštrukcie mosta bude však dochádzať k postupnému zhoršovaniu celkového stavu. Pri viacročnom odklade rekonštrukcie mosta, môže dôjsť ku takému poškodeniu jeho konštrukčných prvkov, ktoré si vyžiada vynaložiť viacnásobne vyššie finančné prostriedky ako v súčasnosti.

Návrh riešenia a odhad nákladov

Na mostnom objekte bude potrebné v rámci komplexnej rekonštrukcie realizovať práce, ktoré budú zahrňovať:

- Vybúranie vozovky a podkladných vrstiev vozovky až na nosnú konštrukciu,
- Vybúranie ríms (zvislé a vodorovné časti), odstránenie zábradlí;
- Vybúranie vyrovnávacieho betónu a izolácie až po nosníky KA,
- Vybúranie podpovrchových dilatácií,
- Vybúranie záverných stienok a vybúranie prechodových oblastí mosta,
- Realizáciu nových záverných stienok a dobetonávkou povrchu krídiel na obidvoch oporách,
- Osadenie nových odvodňovačov,
- Zosilnenie poškodených pilierov mosta ukotvenými oceľovými profilmi,
- Osadenie nových mostných záverov, realizáciu novej spriahajúcej dosky,
- Realizáciu izolácie nosnej konštrukcie,
- Realizáciu odvodnenie rubu opôr a prechodových dosiek,
- realizáciu ríms, vrstiev vozovky, osadenie schválených záchytných bezpečnostných zariadení,
- Kompletnú sanáciu všetkých pohľadových plôch úložných prahov, spodnej stavby mostného objektu (opory a krídla mosta),
- Zriadenie prístupu pod mostný objekt (nové revízne schodisko),
- Úpravu terénu pod mostom a v okolia mosta, opravu opevnenia svahových kužeľov.

Predpokladané náklady za rekonštrukčné a sanačné práce popísané vyššie boli vyčíslené v nasledujúcej výške (na úrovni s DPH):

Položka	Predpokladané náklady
Búracie práce:	65 tis. €
Nová spriahujúca doska:	45 tis. €
Sanácia nosnej konštrukcie:	45 tis. €
Sanácia pilierov (medziľahlé podpery):	28 tis. €
Dobetonávky spodnej stavby (záverné stienky, krídla):	24 tis. €
Nové rímasy a záchytné bezpečnostné zariadenia:	47 tis. €
Vybudovanie prechodovej oblasti mosta:	16 tis. €
Položenie vrstiev vozovky na mostnej objekte a v napojení:	36 tis. €
Ostatné nestavebné práce (10%):	31 tis. €
Celkové predpokladané náklady (vrátane DPH):	337 tis. €

Organizácia dopravy počas stavby

Vzhľadom ku charakteru stavby je predpoklad, že projektant rekonštrukcie mosta navrhne realizáciu stavebných prác po polovičkách so striedavým riadením dopravy. Šírkové usporiadanie komunikácie na moste umožňuje vedenie dopravy počas prác v jednom jazdnom pruhu šírky min. 3,25 m.

7 Záver

Počas obhliadky mostného objektu boli vykonané nasledujúce práce:

- Zistenie základných fyzikálnych charakteristík betónu mostnej konštrukcie (pevnosť v tlaku, karbonatizáciu, obsah chloridov, dynamický modul pružnosti),
- Zistenie vystuženia jednotlivých častí mostnej konštrukcie (betonárska aj predpínacia výstuž),
- Vykonanie podrobnej prehliadky mostnej konštrukcie zo zdokumentovaných všetkých väd a porúch,
- Zistenie skladby mostného zvršku (vrstvy vozovky),

Dosiahnuté výsledky meraní a diagnostických prác sú podrobne popísané v kapitolách 2.4 a 2.5, tejto správy.

Vyhodnotenie z hľadiska bezpečnosti cestnej premávky:

Mostný objekt je zatriedený do stavu „V“, čo zodpovedá zlému technickému stavu. Nosná konštrukcia mostného objektu v súčasnom stave spĺňa v mierne obmedzenej miere základné podmienky kladené v súčasnosti platnými normami a predpismi ohľadne bezpečnosti premávky na mostných objektoch (z hľadiska zaťažiteľnosti mostného objektu). Premávka po mostnom objekte je však pri dodržiavaní stanovenej zaťažiteľnosti možná bez ďalších obmedzení.

Vyhodnotenie z hľadiska zaťažiteľnosti:

Zaťažiteľnosť mostného objektu je nasledovná:

Normálna zaťažiteľnosť:	$W_n = 29,90$ t (znížená hodnota)
Výhradná zaťažiteľnosť:	$W_r = 57,10$ t (znížená hodnota)
Výnimočná zaťažiteľnosť:	$W_e = 175,80$ t (znížená hodnota)

Zaťažiteľnosť bola stanovená pre nosnú konštrukciu mosta. Prepočet zaťažiteľnosti bol vypracovaný na základe zamerania mosta a údajov z diagnostického prieskumu.

Ako vyplýva z prepočtu normálna zaťažiteľnosť je 29,9 t, ktorá stanovuje najvyššiu prípustnú hmotnosť jedného vozidla pohybujúceho sa po vozovke na mostnom objekte, bez obmedzenia počtu a polohy vozidiel.

Výhradná zaťažiteľnosť je 57,1 t, táto hodnota stanovuje najvyššiu prípustnú hmotnosť jediného vozidla na moste.

Zostatková životnosť mostného objektu bola stanovená (výpočtom) na 10 rokov.

V Žiline, dňa 23.10.2018

Ing. Ivan Drevený, PhD.

Ing. Marián Sýkora, PhD.