



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV BETONOVÝCH A ZDĚNÝCH KONSTRUKCÍ

INSTITUTE OF CONCRETE AND MASONRY STRUCTURES

ANALÝZA STÁVAJÍCÍ MOSTNÍ KONSTRUKCE

ANALYSIS OF THE EXISTING BRIDGE STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lucie Dvořáková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Adam Svoboda

BRNO 2023



Zadání bakalářské práce

| | |
|-------------------|---------------------------------------|
| Ústav: | Ústav betonových a zděných konstrukcí |
| Studentka: | Lucie Dvořáková |
| Vedoucí práce: | Ing. Adam Svoboda |
| Akademický rok: | 2022/23 |
| Studijní program: | B3607 Stavební inženýrství |
| Studijní obor: | Konstrukce a dopravní stavby |

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Analýza stávající mostní konstrukce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza stávající předpjaté mostní konstrukce s návrhem stavebních úprav:

- analýza výkresových podkladů a dostupných diagnostických průzkumů;
- výpočet únosnosti předpjatého nosníku;
- analýza konstrukce a stanovení stávající zatížitelnosti;
- návrh zesílení pro případ poškození mostu nebo zvýšení zatížitelnosti pro přejezd mimořádného zatížení.

Ostatní úpravy lze provádět podle pokynů vedoucího bakalářské práce.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Cílem bakalářské práce je provedení analýzy stávající mostní konstrukce na základě předaných podkladů a návrh zesílení pro případ poškození mostu nebo zvýšení zatížitelnosti pro přejezd mimořádného zatížení.

Požadované náležitosti závěrečné práce:

Hlavní textová část (obsahuje technickou zprávu a ostatní náležitosti podle aktuálně platných směrnic děkana).

Přílohy textové části:

P1. Podklady, studie a vizualizace

P2. Přehledné a podrobné výkresy zvoleného řešení

P3. Statický výpočet (v rozsahu určeném vedoucím práce)

Další požadované náležitosti závěrečné práce:

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy závěrečné práce (1x).

Prohlášení o původnosti závěrečné práce (1x).

Bakalářská práce včetně všech příloh bude odevzdána v listinné formě a v elektronické formě do FIS.

Seznam doporučené literatury a podklady:

Podklady: základní výkresová dokumentace (situace, příčný a podélný řez mostu), mostní list, podrobný diagnostický průzkum konstrukce, TP.

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí (2014)

ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - doplňující ustanovení (2019)

ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů (2008)

ČSN 73 6214 Navrhování betonových mostních konstrukcí (2014)

ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací (2013)

ČSN EN 1990 ed. 2 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí (2021)

ČSN EN 1991-2 ed. 2 Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou (2018)

ČSN EN 1992-1-1 ed. 2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby (2019)

ČSN EN 1992-2 Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 2: Betonové mosty - Navrhování a konstrukční zásady (2007)

Další literatura: na základě doporučení od vedoucího práce.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 30. 11. 2022

L. S.

doc. Ing. Miloš Zich, Ph.D.

vedoucí ústavu

Ing. Adam Svoboda

vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.

děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá analýzou stávající mostní konstrukce a následným zjištěním její zatížitelnosti dle mezních stavů použitelnosti a únosnosti. Most na okruhu H1 přes větev V1 má hlavní nosnou konstrukci tvořenou předpjatými nosníky IS-73 a byl postaven v roce 1993. Výpočet byl uchopen dvěma způsoby, a to ručním výpočtem na jednom nosníku IS-73 i převedením na ortotropní desku.

KLÍČOVÁ SLOVA

ortotropní deska, zatížitelnost mostu, předpjatý beton, ztráty předpětí, mezní stav únosnosti, mezní stav použitelnosti

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the analysis of the existing bridge structure and the subsequent determination of its load capacity according to the limit states of serviceability and load capacity. The bridge on the H1 circuit over the V1 branch has a main superstructure consisting of IS-73 prestressed beams and was built in 1993. The calculation was grasped in two ways, namely by manual calculation on a single IS-73 beam or by converting it to an orthotropic slab.

KEYWORDS

orthotropic slab, bridge load capacity, prestressed concrete, prestress losses, ultimate limit state, serviceability limit state

Bibliografická citace

DVOŘÁKOVÁ, Lucie. *Analýza stávající mostní konstrukce*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/150270>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav betonových a zděných konstrukcí. Vedoucí práce Adam Svoboda.

Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy závěrečné práce

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem Analýza stávající mostní konstrukce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 01.05.2023

Lucie Dvořáková
autor práce

Prohlášení o původnosti závěrečné práce

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem Analýza stávající mostní konstrukce zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 01.05.2023

Lucie Dvořáková
autor práce

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Adamovi Svobodovi za volbu zajímavého tématu ke zpracování a také za ochotu, odborné vedení, cenné rady a pozitivní přístup při konzultacích mé bakalářské práce.

Dále bych také chtěla poděkovat mé rodině za podporu v průběhu mého dosavadního studia.

Obsah:

| | |
|--|----|
| ANALÝZA STÁVAJÍCÍ MOSTNÍ KONSTRUKCE | 1 |
| Analýza stávající mostní konstrukce | 2 |
| A. ÚVOD | 9 |
| A.1. Identifikační údaje | 9 |
| A.2. Účel řešení: | 9 |
| B. IDENTIFIKACE OBJEKTU | 10 |
| C. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍ KONSTRUKCI | 11 |
| D. PODKLADY | 16 |
| E. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM MOSTU | 18 |
| E.1. Stanovení pevnosti betonu v tlaku | 19 |
| E.1.1. Pevnost betonu v tlaku metodou Schmidtova tvrdoměru | 19 |
| E.1.2. Pevnost betonu v tlaku na jádrových vývrtech | 20 |
| E.2. Diagnostika betonářské výztuže | 21 |
| E.3. Diagnostika předpínací výztuže | 23 |
| E.4. Závěry diagnostického průzkumu mostu | 24 |
| F. TEORIE DESEK | 26 |
| F.1. Izotropie desky | 26 |
| F.2. Ortotropie desky | 27 |
| G. VÝPOČETNÍ MODEL ORTOTROPNÍ DESKY | 30 |
| H. ZATÍŽITELNOST MOSTŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ | 33 |
| H.1. Výsledky zatížitelnosti mostu | 37 |
| I. REKONSTRUKCE OBJEKTU | 38 |
| J. ZÁVĚR | 40 |
| K. SEZNAM PŘÍLOH | 41 |
| L. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ | 42 |
| M. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 43 |

A. ÚVOD

A.1. Identifikační údaje

Předmět řešení: Analýza stávající mostní konstrukce na dálnici II. třídy (D0 – Pražský Okruh) ev. č. D0-004c.1 s názvem Most na okruhu H1 přes větev V1 v km 1.353000 v obci Praha, katastrální území Horní Počernice.

A.2. Účel řešení:

Cílem řešení této bakalářské práce byla analýza stávající mostní konstrukce na základě dostupných podkladů k mostní konstrukci, vypracování statického výpočtu – zjištění krátkodobých i dlouhodobých ztrát předpínací výztuže, výpočet únosnosti nosníku IS – 73 a statický přepočet zatížitelnosti mostu z mezních stavů použitelnosti a únosnosti.

Most ev. č. D0-004c.1 převádí dálnici II. třídy přes sjezd z okruhu D0 na komunikaci Chlumecká. Jedná se o jednopolový most, jehož nosná konstrukce je tvořena předpjatými prefabrikovanými nosníky IS-73.

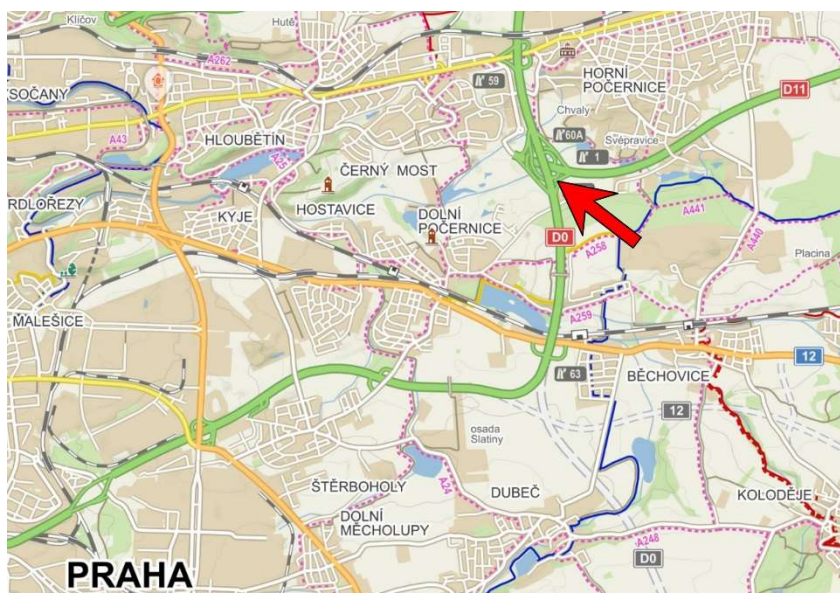
Název mostu dle mostního listu zní objekt 2002.

B. IDENTIFIKACE OBJEKTU

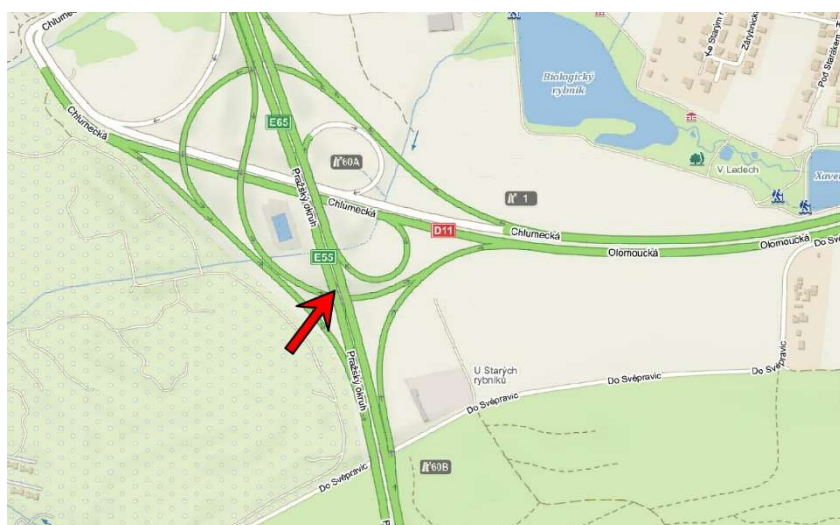
Silniční most se nachází v obci Praha, katastrální území Horní Počernice (okres Hlavní město Praha, Praha) a převádí dálnici II. třídy (D0 – Pražský okruh) přes sjezd z okruhu D0 na komunikaci Chlumecká. Most je jednoplošný s hlavní nosnou konstrukcí tvořenou z dvanácti prefabrikovaných předpjatých nosníků typu IS-73 délky 30 m.

Přes sjezd z D0 jsou vedeny dva mostní objekty, které jsou uloženy vedle sebe. Každý je určen pro jeden jízdní směr a je považován za samostatný objekt. Vzájemně jsou od sebe odděleny.

K mostnímu objektu není k dispozici původní stavební dokumentace, pouze mostní list a protokoly z měření.



Obrázek 1: Zeměpisná poloha mostu



Obrázek 2: Zeměpisná poloha mostu - detail

C. ZÁKLADNÍ ÚDAJE O MOSTNÍ KONSTRUKCI

Dle mostního listu:

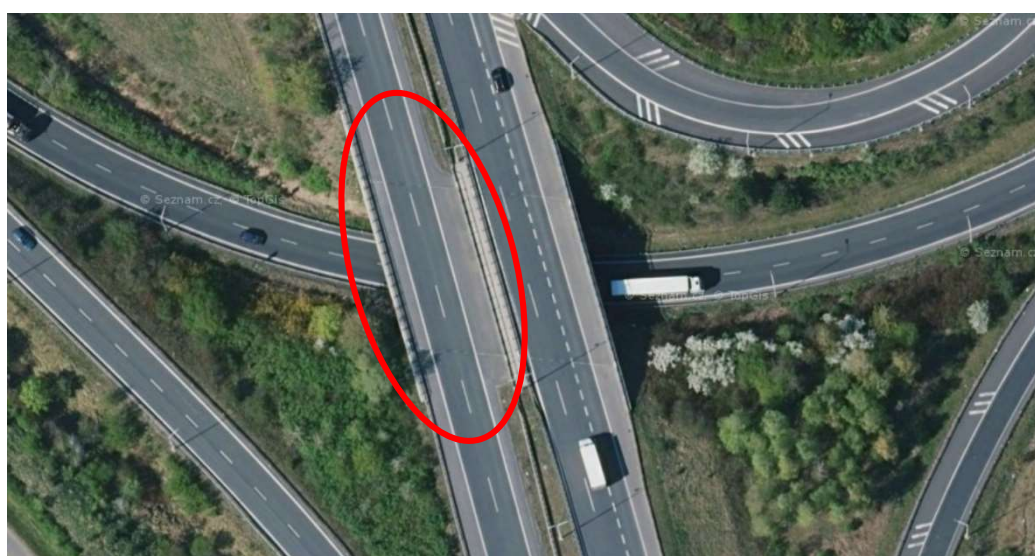
| | |
|--------------------------|--|
| Název: | Most na okruhu H1 přes větev V1 v km 1.353000 |
| Evidenční číslo: | D0-004c.1 |
| Rok postavení: | 1993 |
| Předmět přemostění: | Silnice |
| Převáděná komunikace: | Dálnice II. třídy / D0 |
| Kraj: | Hlavní město Praha |
| Okres: | Hlavní město Praha |
| Obec (MČ): | Praha |
| Katastrální území: | Horní Počernice |
| Správce: | ŘSD ČR, PÚ GR ŘSD-Správa dálnice Čechy, SSÚD Poříčany |
| Celkový počet polí: | 1 |
| Světlost otvoru (kolmá): | 25.95 m |
| Světlost otvoru (šikmá): | 27.80 m |
| Délka přemostění: | 27.80 m |
| Délka nosné konstrukce: | 30.80 m |
| Šikmost: | 79.66 ‰ |
| Volná šířka: | 15.75 m |
| Celková šířka mostu: | 17.80 m |
| Výška mostu nad terénem: | 8.50 m |
| Šířka chodníku: | 0.00 m |
| Mostní vybavení: | Ocelové zábradelní svodidlo 2x |
| Nosná konstrukce: | Deska prostá, 12 ks předpjaté Prefa nosníky IS-73 dl. 30 m na ocelolitinových ložiskách |
| Opěry: | 2 |
| Výška opěr: | 5.24 – 6.00 m |
| Délka opěr: | 18.60 m |
| Šířka opěr: | 1.90 m |
| Materiál opěr: | Železobeton C30/37 |
| Vozovka: | D0-N-4-S |
| Cizí zařízení: | na mostě nejsou |



Obrázek 3: Pohled na most v protisměru staničení



Obrázek 4: Pohled na most



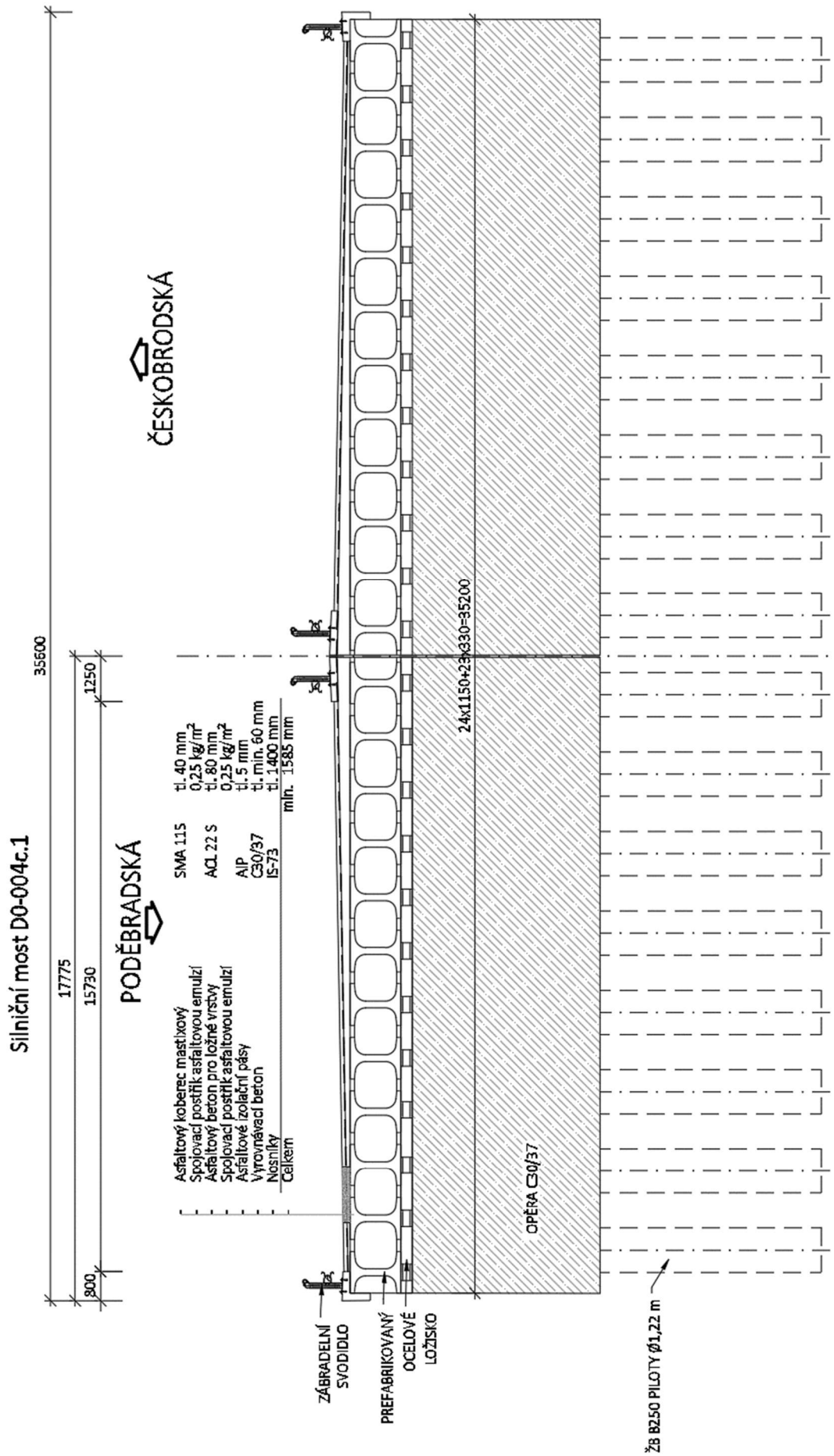
Obrázek 5: D0-004c.1



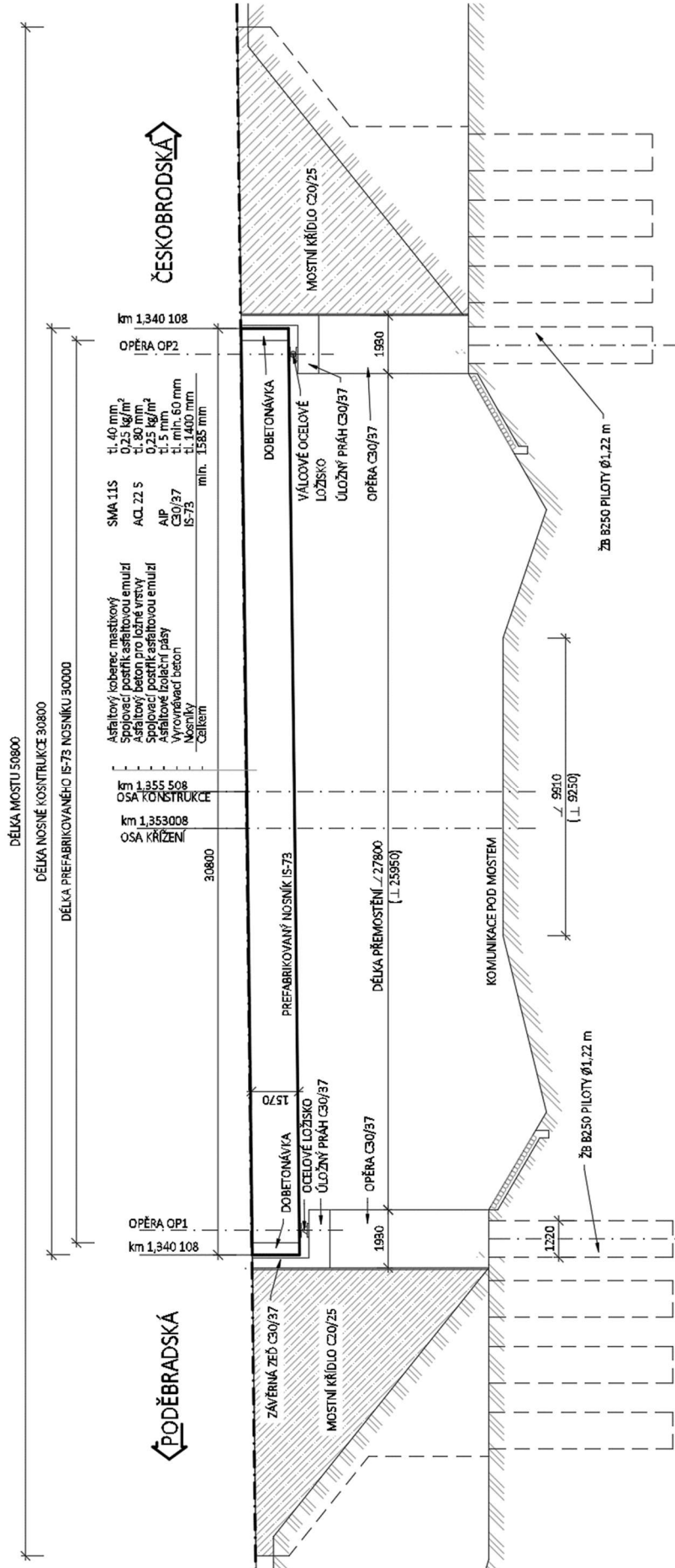
Obrázek 6: Pohled na prefabrikované nosníky IS-73



Obrázek 7: Pohled na opěru



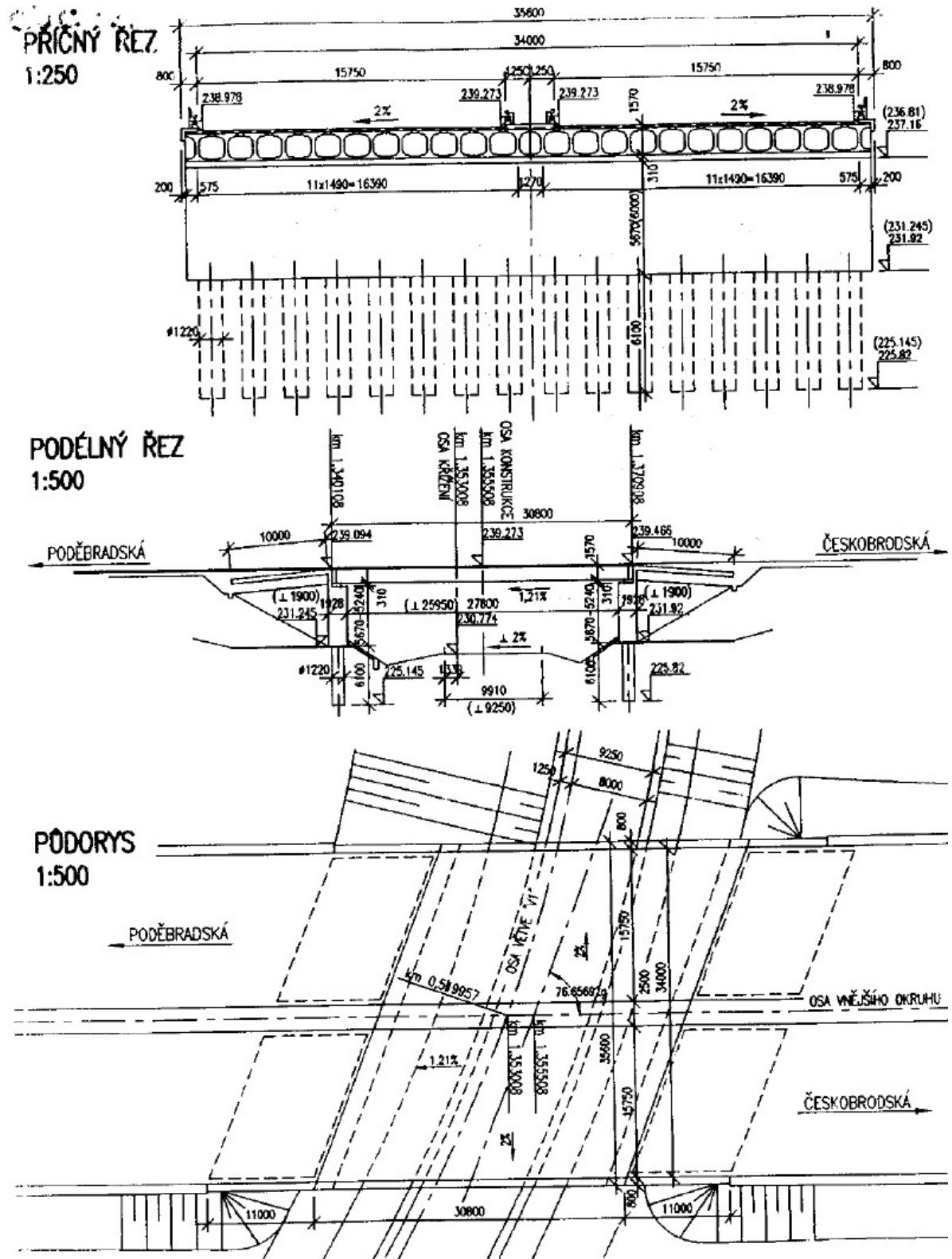
Obrázek 8: Schématický příčný řez



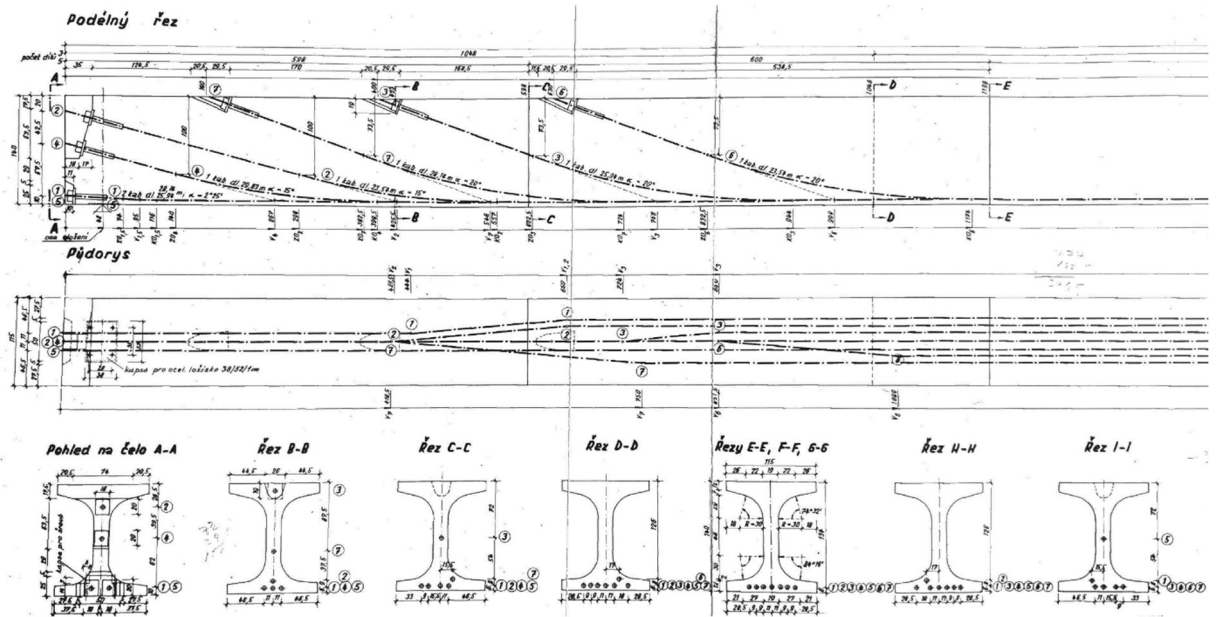
Obrázek 9: Schematický podélný řez

D. PODKLADY

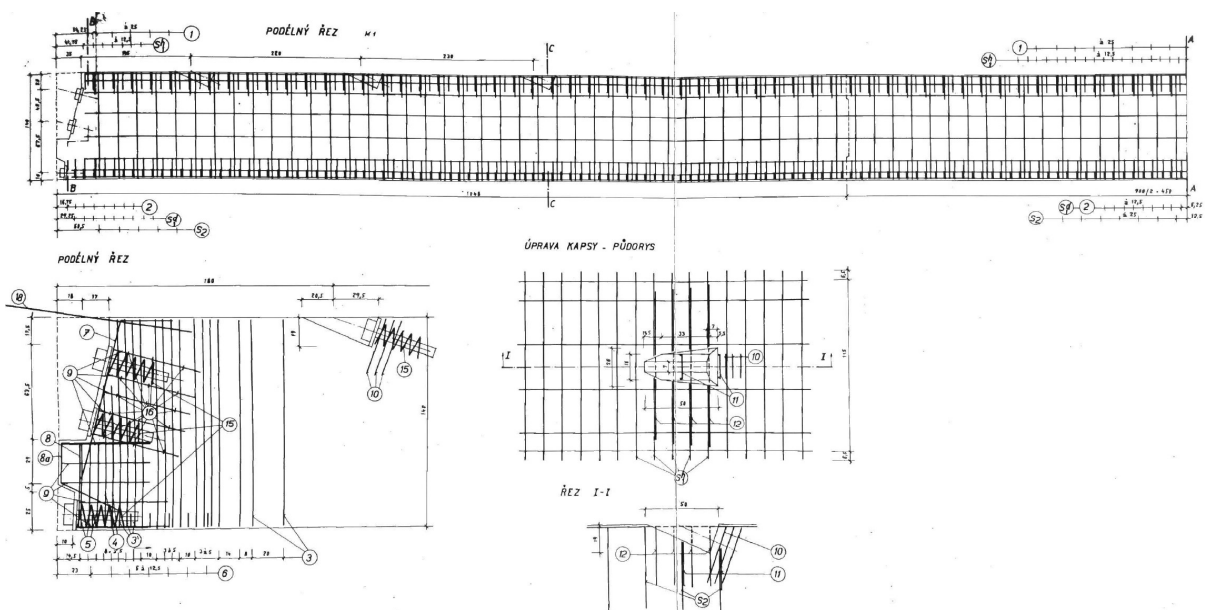
K mostnímu objektu není k dispozici původní stavební dokumentace. Jediný dostupný podklad je mostní list a TP IS-73



Obrázek 10: Schématický náčrt převzatý z mostního listu [6]



Obrázek 11: Prefabrikovaný předpjatý nosník IS-73 – výňatek z TP [1]



Obrázek 12: Betonářská výztuž prefabrikovaného nosníku IS-73 – výňatek z TP [1]

E. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM MOSTU

Na mostě byl proveden diagnostický průzkum konstrukce v rozsahu:

- diagnostika betonu nosné konstrukce a spodní stavby (odebrání jádrových vývrtů pro zkoušení v laboratoři, stanovení pevnosti betonu v tlaku nedestruktivním upřesněným tvrdoměrným zkoušením, stanovení odolnosti povrchu cementového betonu pro působení vody a chemických rozmrazovacích látek, stanovení pevnosti povrchových vrstev betonu v tahu);
- diagnostika betonářské výztuže nosné konstrukce (zjištění polohy výztuže nedestruktivními metodami, stanovení krycí vrstvy betonu);
- diagnostika předpínací výztuže (vrty pro ověření stavu injektáže kanálků, koroze předpínací výztuže);
- odborná prohlídka stavu mostu. [2]

Diagnostické práce in situ byly realizovány ve dnech od 1.12.2021 do 3.3.2022 specializovanými pracovníky. Provedeny byly tyto typy práce:

- odebrání jádrových vývrtů průměr 80 mm z nosné konstrukce (1ks);
- odebrání jádrových vývrtů průměr 100 mm z opěr (2ks), z křídel (1ks);
- odebrání jádrových vývrtů průměr 150 mm z křídel (1ks) a říms (2ks);
- tvrdoměrné zkoušení betonu;
- stanovení pevnosti povrchových vrstev betonu v tahu;
- diagnostika betonářské výztuže;
- diagnostika předpínací výztuže;
- odborná prohlídka, zjištění závad a poruch. [2]

Celá závěrečná zpráva z diagnostického průzkumu včetně fotodokumentace je uvedena v příloze č. P1_Podklady.

E.1. Stanovení pevnosti betonu v tlaku

Stanovení pevnosti betonu v tlaku bylo provedeno dvěma způsoby.

E.1.1. Pevnost betonu v tlaku metodou Schmidtova tvrdoměru

Pro toto stanovení pevnosti betonu v tlaku byl použit Schmidtvův tvrdoměr typu N.

Nedestruktivní metoda Schmidtova tvrdoměru využívá ke stanovení pevnosti betonu závislost krychelné pevnosti betonu v tlaku a tvrdosti betonu. Díky této zkoušce lze rovněž posoudit rovnoměrnost kvality betonu sledované konstrukce. [2]

Razník Schmidtova tvrdoměru se přiloží na připravené zkušební místo kolmo k povrchu a poté se tvrdoměr stlačuje pomalým plynulým pohybem. Tím se napíná pružina, která po natažení do výchozí polohy automaticky vymrští beran, který dopadne na razník energií 2,25 J. Při rázu se energie pohybu beranu projeví jednak vtiskem razníku do povrchu betonu a jednak i odrazem beranu zpět. Velikost odrazu závisí na tvrdosti betonu. [2]

Všechna zkušební místa je před zkouškou nutno zbavit zkarbonatované vrstvy betonu a vybrousit do sucha tak, aby byla jasně patrná struktura betonu. Místa jednotlivých úderů na jednom zkušebním místě musí být od sebe vzdálena u tvrdoměru typu Schmidt N minimálně 30 mm od okraje betonu a 30 mm od sebe. Zkušební plocha má být tedy tak velká, aby se za ní dal provést potřebný počet úderů (cca 10, pro vyhodnocení je potřeba min. 7 platných měření). Hodnoty pevnosti betonu Schmidtovým tvrdoměrem se poté upraví součinitelem upřesnění, který se stanoví na základě poměru pevností betonu zjištěných na jádrových vývrtech a za pomoci tvrdoměru. [2]

Zkoušky a jejich vyhodnocení se provádí v souladu s normami ČSN 73 1370, ČSN 73 1373, ČSN EN 13791 A ČSN EN 12504-2. [2]

Tvrdoměrná zkouška byla provedena na opěrách, křídlech, nosníku z boku a nosné konstrukci. Celkem bylo provedeno:

- 20 zkušebních míst na opěrách;
- 4 zkušební místa na křídlech;
- 4 zkušební místa na nosníku z boku;
- 12 zkušebních míst na nosné konstrukci. [2]

E.1.2. Pevnost betonu v tlaku na jádrových vývrtech

Pro stanovení pevnosti betonu v tlaku se z konstrukce odeberou vzorky betonu, tzn. jádrové vývrty o průměru cca 100 mm. Vrty jsou prováděny pomocí vrtačky s jádrovým diamantovým vrtákem průměru 100 mm, který je během vrtání chlazen vodou. Vývrty se ihned po skončení vrtání označí a prohlédnou. Před vlastním zkoušením v laboratoři se znovu provede vizuální vyšetření pro zjištění případných odchylek, změří se geometrické veličiny (průměr a délka). Pro samotnou zkoušku se z jádrových vývrtů připraví zkušební normová tělesa. Poté se provede zkouška ve zkušebním tlakovém lisu a následné stanovení krychelné pevnosti betonu v tlaku. [2]

Odběr, vyšetření a zkoušení jádrových vývrtů je popsáno v normě ČSN EN 12504-1. Vyhodnocení je provedeno dle normy ČSN EN 13791. [2]

Jádrové vývrty

K odběru jádrových vývrtů pro stanovení krychelné pevnosti v betonu v tlaku a stanovení odolnosti povrchu cementového betonu proti působení vody a chemických rozmrazovacích látek byla použita kotvená jádrová vrtačka s vnitřním vodním výplachem a diamantovou korunkou jmenovitého průměru 100, resp. 150 mm. [2]

Bylo odebráno celkem sedm jádrových vývrtů:

- dva vývrty byly odebrány z opěr (JV 2 a JV 5);
- dva vývrty byly odebrány z křídel (JV 1 a JV 3);
- jeden vývrt byl odebrán z nosné konstrukce (JV 4);
- dva vývrty byly odebrány z říms (JV 6 a JV 7). [2]



Obrázek 13: Pohled na opěru O1 na místa odběrů [2]



Obrázek 14: Pohled na opěru O2 a na místa odběrů [2]

E.2. Diagnostika betonářské výztuže

Pro diagnostiku výztuže je v této době možné použít destruktivní i nedestruktivní metody. Nejeefektivnější metoda pro zjištění polohy, průměru a stavu výztuže je kombinace obou metod.

Využití pouze nedestruktivní metody, například radaru nebo skeneru, může vést k nepřesným výsledkům. Výztuž je kladena nad sebou ve více vrstvách, a nebo například nad podporami ve velkém množství. A proto může pouze nedestruktivní metoda výsledky zkreslit, radar není schopen výztuž od sebe rozpoznat, tudíž by se výsledky nedaly použít ani do výpočtu. Z tohoto důvodu je lepší například k radaru využít i sekanou sondu.

Při diagnostice betonářské výztuže nosné konstrukce mostu byla pro určení polohy výztuže použita nedestruktivní zařízení. Pro rychlé zjištění polohy a množství betonářské výztuže byl využit elektromagnetický indikátor výztuže (HILTI FERROSCAN PS 300), který objektivně zjistí polohu výztuže do hloubky 100 mm od povrchu zkoumaného betonu. [2]

Dále bylo provedeno celkem 6 sekaných sond:

- tři sondy z opěr (M 2, M3 a M6);
- dvě sondy z křídel (M 1 a M 5);
- jedna sonda z nosné konstrukce (M 4). [2]

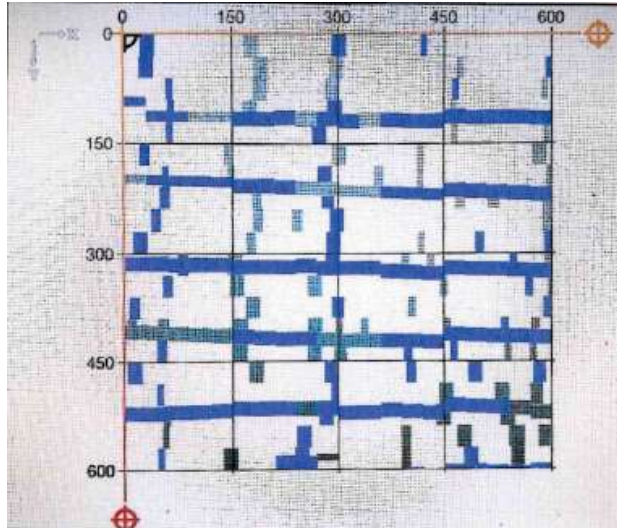
Nosná konstrukce

Dle elektromagnetického indikátoru výztuže byla na nosné konstrukci nalezena tato betonářská výztuž:

- podélná výztuž: není možné určit;
- příčná výztuž: vzdálenost mezi jednotlivými pruty výztuže není konstatní, ocel 10 425 (V). [2]

Pro zjištění průměru a druhu betonářské výztuže na nosné konstrukci byla provedena 1 sekaná sonda:

- podélná výztuž \varnothing 8 mm, příčná výztuž \varnothing 10 mm, krytí výztuže 0 až 10 mm;
- stav výztuže: povrchová koroze. [2]



Obrázek 15: Elektromagnetický detektor betonářské výztuže (nosná konstrukce) [2]



Obrázek 16: Obnažená výztuž nosné konstrukce [2]

E.3. Diagnostika předpínací výztuže

Pro zjištění stavu předpínací výztuže v nosné konstrukci je třeba provést vrtané sondy. Nedestruktivními metodami, např. pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže, se definují vhodná místa pro provedení sond. Vizuálně se ověří množství a poloha předpínací výztuže v nosníku. Také se zhodnotí stav injektážní zálivky a předpínací výztuže z hlediska koroze. [2]

Bylo provedeno 12 vrtaných sond o průměru 40 mm. Vrtané sondy byly provedeny ve všech polích na každém nosníku. [2]

U všech sond bylo ověřeno plné mechanické napětí v drátech. Lze tedy jasně předpokládat plné předpětí neoslabené lokálním přerušením kabelů. Po provedení forodokumentace a záznamu o sondách byly všechny sondy zapraveny pomocí chemického kotevního přípravku. [2]



Obrázek 17: Detaily vrtaných sond pro ověření injektáže předpínacích kabelů [2]

Tabulka sond:

| Značka | Pole | Nosník | Krytí | Injektáž | Koroze drátů |
|--------|------|--------|-------|-------------|--------------|
| S1 | 1 | 1 | 24 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S2 | 1 | 2 | 40 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S3 | 1 | 3 | 68 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S4 | 1 | 4 | 48 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S5 | 1 | 5 | 25 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S6 | 1 | 6 | 30 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S7 | 1 | 7 | 27 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S8 | 1 | 8 | 22 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S9 | 1 | 9 | 56 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S10 | 1 | 10 | 37 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S11 | 1 | 11 | 30 mm | plná, suchá | bez koroze |
| S12 | 1 | 12 | 38 mm | plná, suchá | bez koroze |

Obrázek 18: Tabulka přehledu provedených sond předpínací výztuže [2]

E.4. Závěry diagnostického průzkumu mostu

Diagnostická zjištění lze shrnout v následujících bodech:

1. Pevnost betonu v tlaku byla testována nedestruktivní metodou Smidtova tvrdoměru typu N a v laboratoři zkouškami v lisu na odebraných vzorcích betonu. Na základě získaných hodnot pevností bylo provedeno upřesněné vyhodnocení pevnostní třídy betonu (dle ČSN EN 206+A2 2021) jednotlivých částí mostu:
 - spodní stavba – opěry: C 30/37
 - spodní stavba – křídla: C 20/25
 - nosná konstrukce: C 35/45
 - nosník z boku: C 30/37
2. Betonářská výztuž byla diagnostikována nedestruktivně pomocí elektromagnetického lokátoru a lokálně byla výztuž obnažena sekanými/vrtanými sondami. Zjištěné vyztužení jednotlivých částí mostu:
 - nosná konstrukce: výztuž 10 425 (V) profilu 10 mm – příčná (8 mm – podélná), s krytím 0-10 mm. Odhalená výztuž v sondě nesla známky koroze;
 - spodní stavba – opěry: výztuž 10 425 (V) profilu 14 mm – vodorovná (14 mm – svislá), s krytím 60 až 70 mm. Odhalená výztuž byla zastižena s povrchovou korozí;
 - spodní stavba – křídla: výztuž 10 425 (V) profilu 14 mm – vodorovná (12 mm – svislá), s krytím 40 až 80 mm. Odhalená výztuž v sondě nesla známky koroze.
3. Předpínací výztuž byla diagnostikována vizuálně metodou sondážních vrtů vedených k předpínací výztuži. V sondách byla nalezena předpínací výztuž bez známek koroze (pouze ojediněle znaky velmi mírné počínající povrchové koroze) v plně zainjektovaném kanálku. Mechanickým testováním bylo zjištěno, že dráty předpínacího systému jsou pod mechanickým napětím. Nebyly nalezeny vlhkosti injektáže. Provedenými sondážními vrty bylo potvrzeno umístění předpínací výztuže v NK podle dostupné projektové dokumentace – TP.
4. Během vizuální prohlídky stavu mostní konstrukce byly nalezeny následující poruchy či závady:
 - Na spodním povrchu nosné konstrukce je prokopírovaná příčná betonářská výztuž. V místech, kde je zcela odhalena, dochází ke korozi výztuže.
 - U krajních nosníků IS-73 byla pozorována rozměrově i vzhledově (okrová barva betonu) typická dobetonávka kotevních oblastí. Současně bylo pozorováno doražení nosníků až na závěrné zdi a drcení betonu spodní příruby nosníku. Tento stav neodpovídá zamýšlenému statickému působení nosníků IS-73 a konstrukce působí podobně jako „rozpěráková“ konstrukce bez přesně definovaných vazeb. Na toto přídavné mamáhání reagují i závěrné zdi, které nemohou odolávat těmto silám a vznikají tak mezi závěrnou zdí a spodní stavbou trhliny.



Obrázek 19: Atypická dobetonávka kotevní oblasti nosníku IS-73 [2]

- Pohyblivá válcová ložiska na OP2 jsou výrazně vykloněna směrem k závěrné zdi konstrukce. Vyklonění dosahuje limitních hodnot. Současně s již zmíněným doražením nosníků na závěrné zdi se tento stav neslučuje s požadovaným statickým působením nosníků. V důsledku tohoto jevu dochází k opření se opěr svými závěrnými zdmi o nosnou konstrukci a vzniká efekt „rozpěrákové“ konstrukce. Tato ale není jasně definována a hrozí riziko ulomení závěrných zdí od opěr. Pro vysvětlení vyklonění ložisek na OP2 byl během vizuální prohlídky měřen odklon dřívků opěr od svislice. Měření probíhalo s využitím laserového nivelačního přístroje na několika místech u OP1 i OP2. Byla měřena vzdálenost ke srovnávací hladině při spodním a horním okraji dřívku. Ověřovací měření neprokázalo odklon dřívků opěr od svislice a tedy nebyla prokázána nestabilita a pohyb spodní stavby, který by ozřejmil neobvyklý limitní odklon válcových ložisek a doražení nosníků. Pro přesnější stanovení odklonů nebo posunů doporučujeme dlouhodobé geodetické sledování prostorových vztahů obou opěr a nosné konstrukce. [2]



Obrázek 20: Vykloněné válcové ocelové ložisko [2]

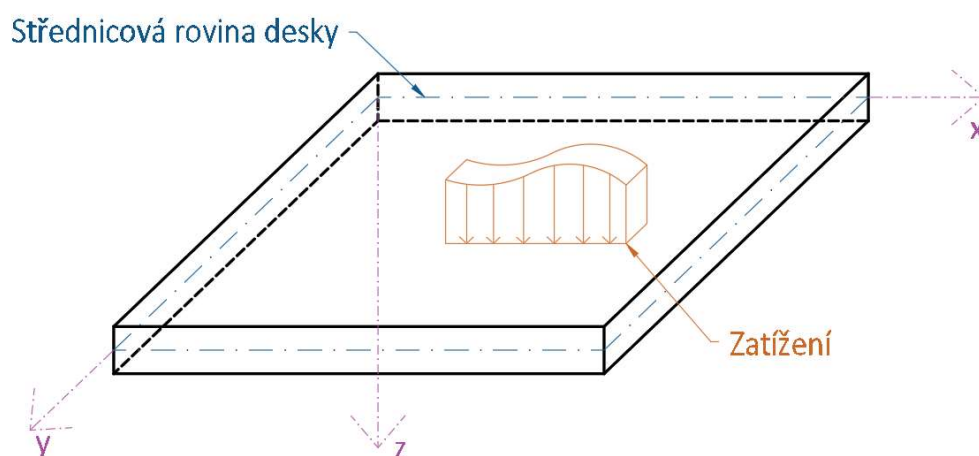
F. TEORIE DESEK

F.1. Izotropie desky

U desky jsou zpravidla dva rozměry větší než třetí, jedná se o šířku a délku desky, které jsou oproti tloušťce výrazně větší. Deska se proloží střednicovou rovinou. Je to rovina spojující středy příčných řezů desky. Zatížení na desce působí vždy kolmo na střednicovou rovinu.

U tenké desky se předpokládají malé deformace a lineárně pružné chování ($w_{\max} < l/300$ a $w_{\max} < h/10$, kde l je rozpětí a h tloušťka desky).

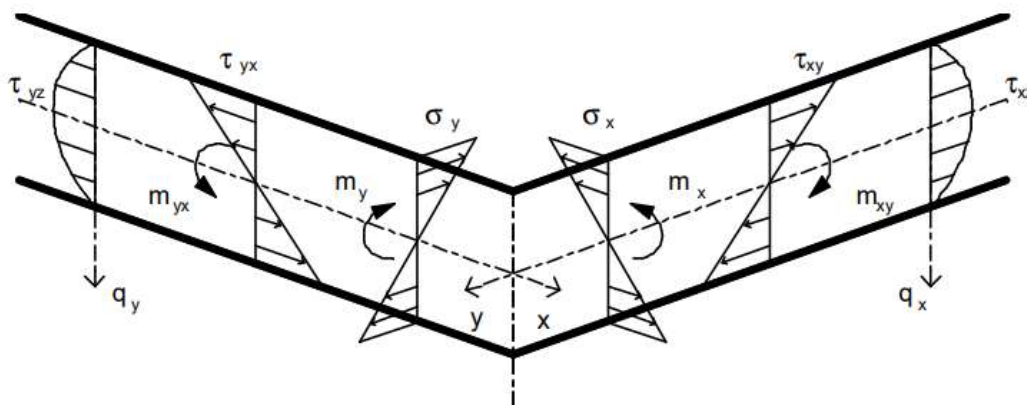
Střednicovou rovinu proložíme osami pravoúhlé soustavy souřadnic, kdy osy x a y leží na střednicové rovině a směr osy z je zvolen svisle, přičemž její kladný smysl směřuje dolů.



Obrázek 21: Teorie desky

Na desku mohou působit tři typy zatížení a to bodová síla [kN], spojité zatížení [kN/m] a nebo plošné zatížení [kN/m²] a může být podepřena buď bodově nebo liniově.

Průběhy složek napětí a vnitřních sil na deskách:



Obrázek 22: Průběhy složek napětí a měrných vnitřních sil [3]

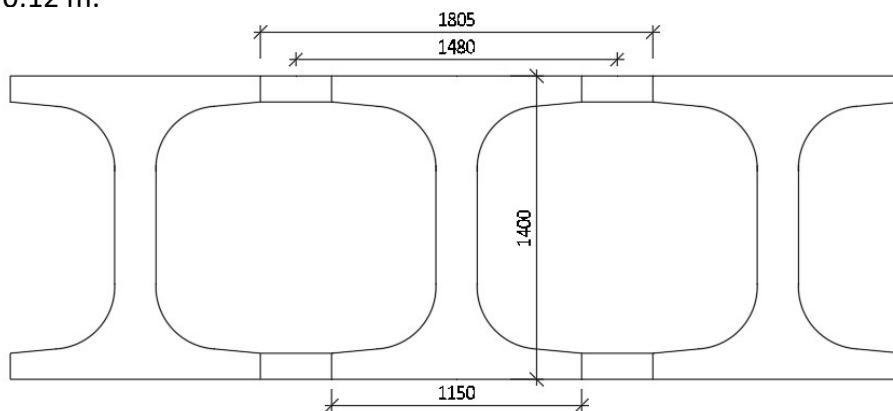
Desková tuhost:

$$D = \frac{E \cdot h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}$$

Moment setrvačnosti $I = \frac{h^3}{12 \cdot (1 - \mu^2)}$, proto tuhost desky odpovídá vztahu $D = E \cdot I$, kde E je modul pružnosti desky a I moment setrvačnosti.

F.2. Ortotropie desky

Ortotropií se rozumí různé vlastnosti v různých směrech. Z tohoto důvodu byla na tomto výpočetním modelu využita ortotropie. Most se skládá z nosníků IS-73, které jsou k sobě v příčném směru v úrovni horní a dolní příruby vzájemně připojeny pomocí dobetonávky tloušťky 0.12 m.



Obrázek 23: Spojení nosníků v příčném směru

Takže v podélném směru uvažujeme tuhost desky jako tuhost nosníku IS-73 a výztuže, zatímco v příčném směru je tuhost desky určena tuhostí a výztuží spáry.

Základem jsou obecné vztahy mezi složkami deformace a složkami napětí v primárním tvaru $\epsilon = D^{-1} \cdot \sigma$:

$$\begin{bmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{yz} \\ \gamma_{zx} \\ \gamma_{xy} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & & & \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & & & \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & & & \\ & & & 0 & & \\ & & & & a_{44} & \\ & & & & & a_{55} \\ & & & & & & a_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \tau_{yz} \\ \tau_{zx} \\ \tau_{xy} \end{bmatrix}$$

kde zavedeme tyto tzv. technické konstanty:

- Tři moduly pružnosti (Youngovy):

$$E_1 = \frac{1}{a_{11}}, E_2 = \frac{1}{a_{22}}, E_3 = \frac{1}{a_{33}}$$

- Tři smykové moduly pružnosti (Lamého):

$$G_{23} = \frac{1}{a_{44}}, G_{31} = \frac{1}{a_{55}}, G_{12} = \frac{1}{a_{66}}$$

- Šest součinitelů příčné kontrakce (Poissonovy) μ_{ik} :

$$a_{12} = -\mu_{12}/E_1 \equiv a_{21} = -\mu_{21}/E_2$$

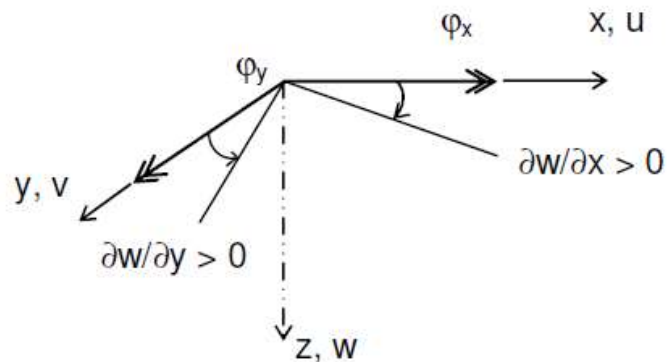
$$a_{13} = -\mu_{13}/E_1 \equiv a_{31} = -\mu_{31}/E_3$$

$$a_{23} = -\mu_{23}/E_2 \equiv a_{32} = -\mu_{32}/E_3 [3]$$

Vnitřní síly u fyzikálně ortotropní desky bez vlivu příčného smyku

Jde o tzv. klasickou Kirchhoffovu teorii tenkých desek, založenou na těchto vztazích:

- $w(x,y,z) \rightarrow w(x,y) = w(x,y,0)$;
- $\varphi_x(x,y) = \partial w(x,y) / \partial x$;
- $\varphi_y(x,y) = -\partial w(x,y) / \partial y$;
- $u(x,y,z) = -z \partial w(x,y) / \partial x$;
- $v(x,y,z) = -z \partial w(x,y) / \partial y$;



Obrázek 24: Nejjednodušší Kirchhoffův předpoklad [3]

a platnou v mezích

- $|w_m| \leq \frac{L}{c}$, kde je $C \approx 100$
- $H \leq \frac{L}{5}$

kde značí:

w_m extrémní průhyb desky;

h tloušťku desky;

L charakteristický půdorysný rozměr desky. [3]

Potom vyjde vztah:

$$\begin{bmatrix} M_x \\ M_y \\ M_{xy} \\ T_x \\ T_y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} D_{11} & D_{12} & 0 & & & \\ D_{21} & D_{22} & 0 & & & \\ 0 & 0 & D_{33} & & & \\ & & & D_{11} & D_3 & 0 & 0 \\ & & & 0 & 0 & D_{22} & D_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_{xx} \\ w_{yy} \\ 2w_{xy} \\ w_{xxx} \\ w_{yyx} \\ w_{yyy} \\ w_{xxy} \end{bmatrix}$$

s těmito členy matice tuhosti **D**:

- **Ohybová tuhost v podélném směru**

$$D_{11} = \frac{E_1 * I_y}{b * (1 - \mu^2)},$$

kde je:

b osová vzdálenost nosníků včetně mezery mezi nosníky;

μ Poissonův součinitel betonu;

E_1 Modul pružnosti betonu nosníku IS-73.

- **Ohybová tuhost v příčném směru**

$$D_{22} = \frac{E_2 * I_x}{(1 - \mu^2)},$$

kde je:

μ Poissonův součinitel betonu;

E_2 Modul pružnosti betonu spáry.

- **Kontrakční tuhost**

$$D_{12} = D_{21} = \mu * \sqrt{D_{11} * D_{22}}$$

- **Torzni tuhost**

$$D_{33} = \frac{1 - \mu}{2} * \sqrt{D_{11} * D_{22}}$$

- **Smyková tuhost**

$$D_{44} = D_{55} = \frac{1}{\beta} * G * h,$$

kde je:

h výška průřezu;

β součinitel odpovídající poměru plochy průřezu s plochou stojiny;

G Modul pružnosti ve smyku.

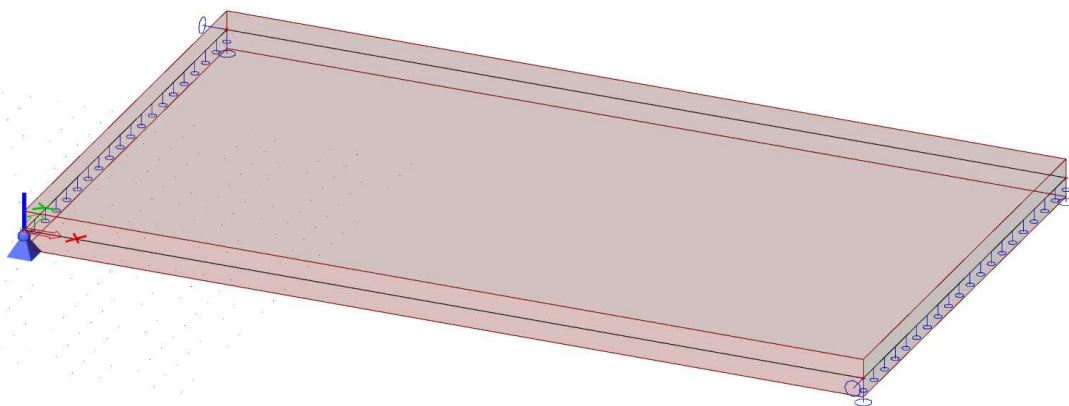
G. VÝPOČETNÍ MODEL ORTOTROPNÍ DESKY

Hlavní úlohou modelu ortotropní desky je co nejpřesněji vystihnoutí rozdílných tuhostí v příčném i podélném směru u hlavní nosné konstrukce. Dle diagnostického průzkumu jsou nosníky IS-73 vyrobeny z betonu třídy C 35/45 a jsou předpřijaty předpínací výztuží 24 Ø P7. Trasování předpínací výztuže je přehledně zaznačeno ve výkresu předpínací výztuže a dále je patrné z modelu v programu SCIA.

Výpočetní model ortotropní desky byl vytvořen v programu SCIA engineer pomocí zadání členů matice tuhosti (viz. kapitola F.2) do nastavení ortotropie desky.

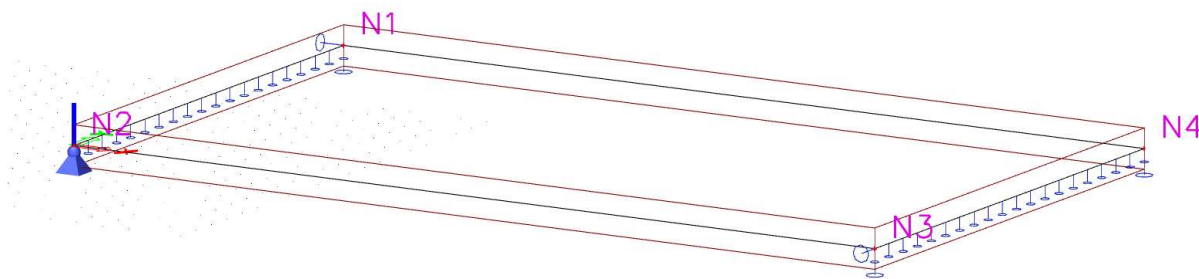
Do modelu ortotropní desky byla následně vložena předpínací výztuž pro zjištění únosnosti.

Na výpočetní model byly umístěny sestavy, tak aby vyvolaly co největší účinky od zatížení. Sestavy byly voleny rozdílně pro tři typy zatížitelnosti (normální, výhradní a zvláštní) a dle normy ČSN 73 6222 (Zatížitelnost mostů pozemních komunikací).



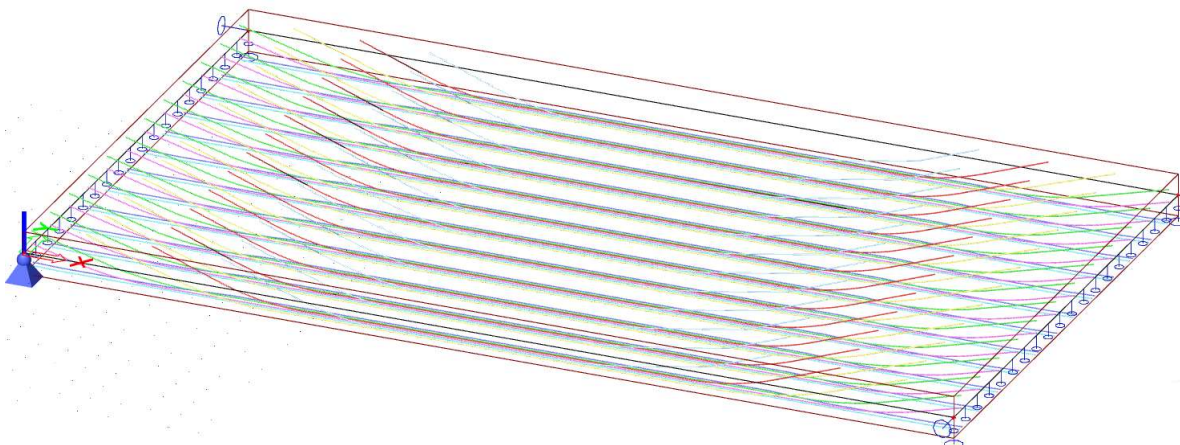
Obrázek 25: Axonometrický pohled na 3D model ortotropní desky

Uložení modelu ortotropní desky:

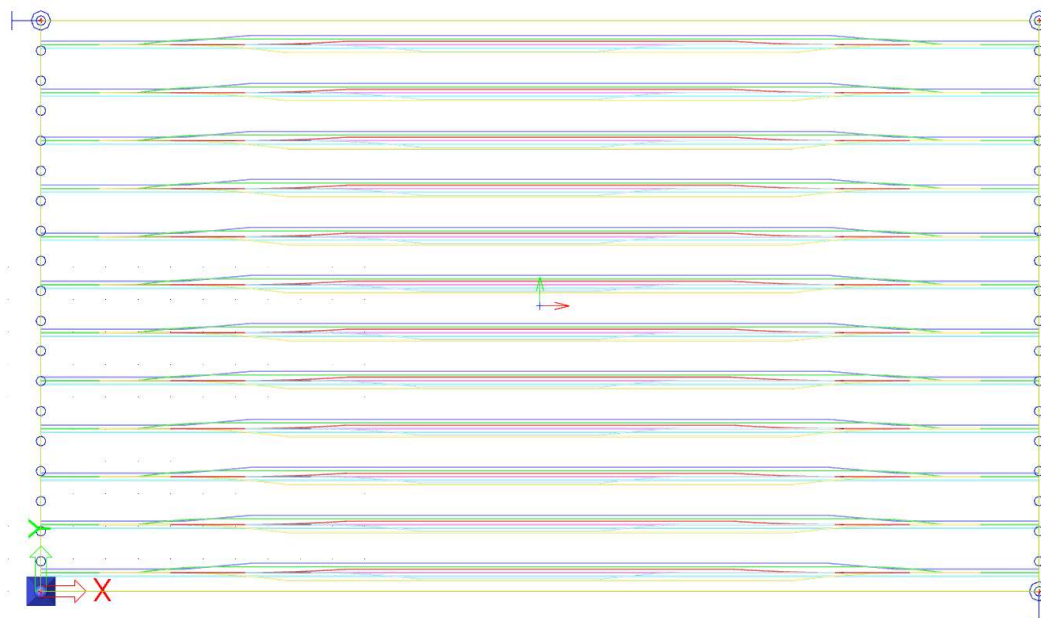


Obrázek 26: Uložení modelu ortotropní desky

- Podpora N2 je uvažována jako kloubová podpora (posun X, Y, Z je tuhý a pootočení Rx, Ry, Rz volné);
- podpora N1 má dovolený posun v Y a volné pootočení Rx, Ry, Rz, posun v X, Z je tuhý;
- podpora N3 je tuhá ve směru Y, Z, v ostatních případech je volná;
- v podpoře N4 je zamezeno pouze posunu v ose Z;
- dále jsou liniově podepřeny okraje s ložisky (tuhý posun Z).



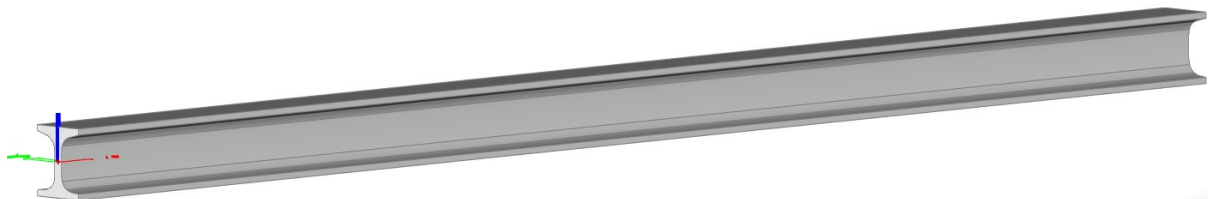
Obrázek 27: Axonometrický pohled na trasování předpínací výztuže ortotropní desky



Obrázek 28: Půdorys trasování předpínací výztuže

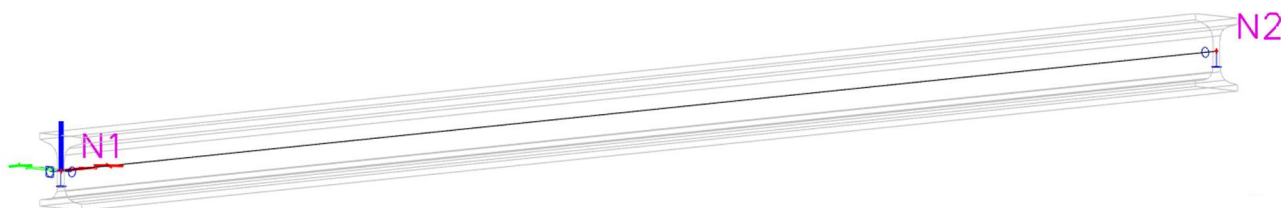
Předpínací výztuž byla trasována dle platného Typového podkladu [1], který je uveden v příloze č. P1_Podklady.

Pro přesné zjištění vlastní tíhy a větší přehlednost předpínací výztuže byl vymodelován také samostatný nosník IS-73:



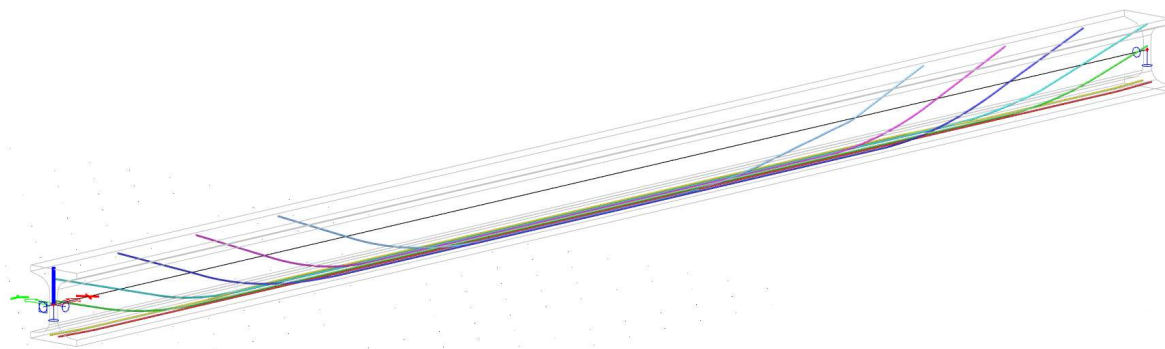
Obrázek 29: Axonometrický pohled na 3D model nosníku IS-73

Uložení modelu nosníku IS-73:



Obrázek 30: Uložení modelu nosníku IS-73

- Podpora N1 má dovolená pouze potočení R_y a R_z , všechny posuny (X , Y , Z) a potočení v R_x jsou tuhé;
- v podpoře N2 je zamezeno posunu v X a Z , zbývající posun Y a potočení R_x , R_y , R_z jsou tuhá.



Obrázek 31: Axonometrický pohled na trasování předpínací výztuže v nosníku IS-73



Obrázek 32: Boční pohled na trasování předpínací výztuže

H. ZATÍŽITELNOST MOSTŮ POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Zatížitelnost mostů pozemních komunikací se provádí dle platné normy ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací z července 2013, která nahrazuje předchozí normu ČSN 73 6222 z dubna 2009.

Zatížitelnost mostní konstrukce lze definovat jako největší okamžitá celková hmotnost každého z vozidel, jejichž jízdu lze na mostě dovolit za podmínek daných technickou normou. [4]

Tato norma [4] uvádí tři typy zatížitelnosti mostních objektů:

- Normální zatížitelnost V_n ;
- Výhradní zatížitelnost V_r ;
- Výjimečná zatížitelnost V_e .

Všechny tři typy zatížitelnosti jsou v této práci zjištěny pomocí tří různých variant. První variantou je nalezení zatížitelnosti z ohybu, tato zatížitelnost byla ověřena ručním výpočtem i softwarem SCIA. Zatížitelnost zjištěnou pomocí mezního stavu napětí lze považovat za variantu číslo dvě a jako třetí možnost použijeme výpočet zatížitelnosti pomocí smyku, kde musíme umístit zatěžovací modely tak, aby vyvolaly co největší moment nad podporou. U varianty číslo jedna a dvě také vkládáme zatěžovací modely tam, kde vyvolají nejnepříznivější zatížení, což znamená, že v podélném směru mostu budou stát uprostřed. V příčném směru budou všechny tři varianty umístěny stejně, a to podle normových sestav dle ČSN 73 6222.

Celý statický výpočet byl proveden dle platných norem pro zatížení a navrhování mostů, pro stávající i nové konstrukce.

Výsledná zatížitelnost mostu je dána nejnižší hodnotou z těchto tří přístupů výpočtu zatížitelnosti.

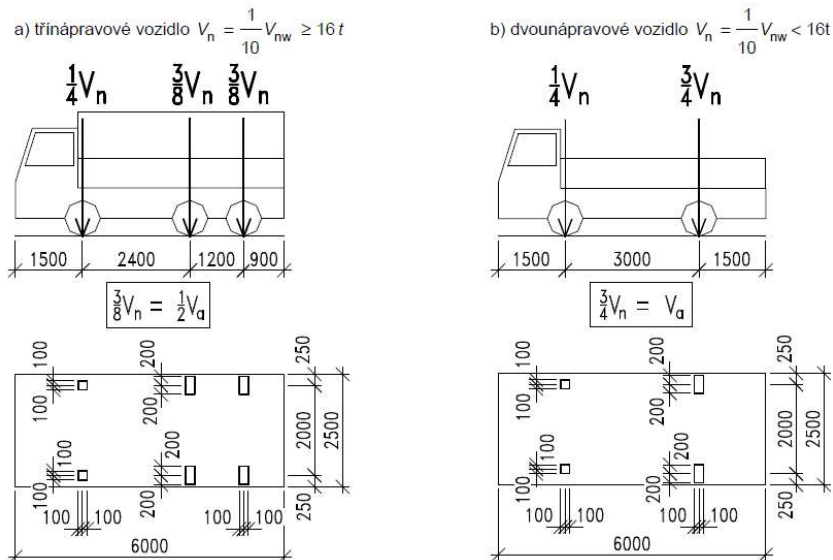
Definice zatížitelnosti:

- **Normální zatížitelnost (V_n)** se určí jako největší okamžitá celková hmotnost jednoho vozidla, které může přejíždět most bez dopravních omezení, v libovolném počtu a bez omezení provozu chodců a cyklistů. [4]

Zatěžovací schéma vychází z modelu zatížení LM1 definované v ČSN EN 1991-2 [5], včetně šířky a číslování zatěžovacích pruhů w_i . [4]

Šířka vozovky je dána vzdáleností mezi obrubníky, přičemž když je $w \geq 6,0$ m je celkový počet pruhů $n = w/3$ (zaokrouhлено dolů).

Vozidlem k určení normální zatížitelnosti je myšleno dvounápravové vozidlo, jemuž lze změnit nápravu, pokud tíha vozidla nabývá větší hodnoty než 16 tun.

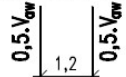


Obrázek 33: Schéma třínápravového a dvounápravového vozidla pro určení normální zatížitelnosti [4]

TYP ZATÍŽENÍ

DVOUNÁPRAVA : Zat.pruhy č.1 a č.2

"1" - TĚŽKÉ



$V_{aw} = 100v_n = 2 \times 50v_n$
(na jedno kolo $25v_n$)



JEDNODUCHÁ NÁPRAVA : Zat.pruhy č.3 a č.4

"2" - STŘEDNÍ



$V_{ajw} = 50v_n$
(na jedno kolo $25v_n$)

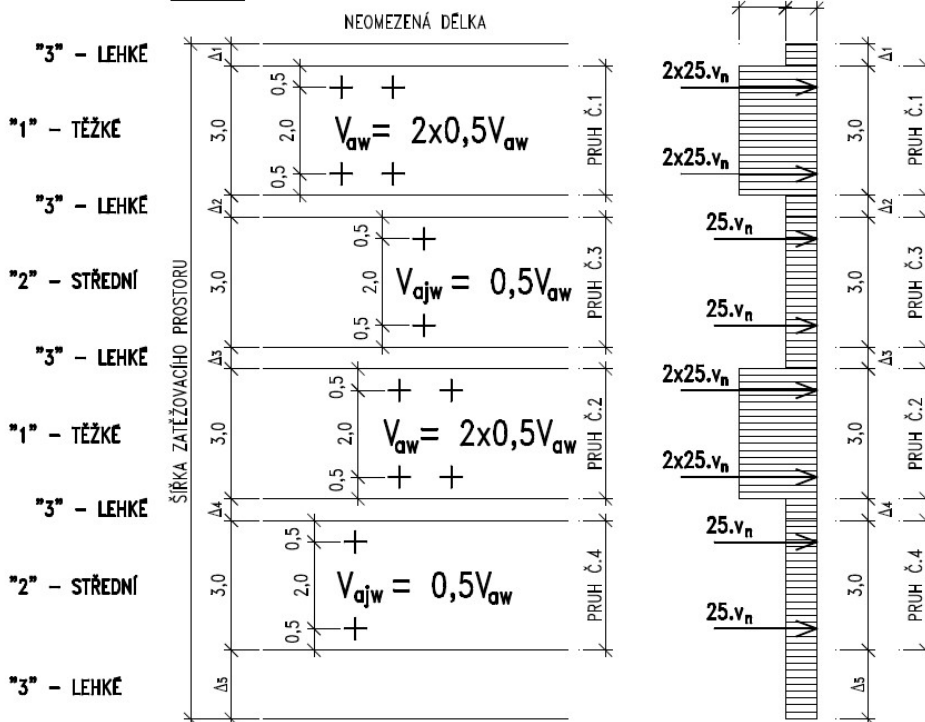


ZBÝVAJÍCÍ PLOCHA ZAT.PROSTORU

"3" - LEHKÉ



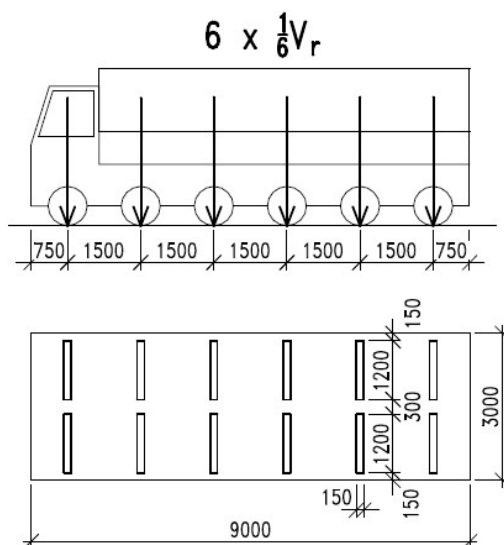
PŮDORYS



Obrázek 34: Charakteristická normová sestava zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti V_n [4]

- **Výhradní zatížitelnost V_r** je myšlena jako největší okamžitá celková hmotnost vozidla, které smí na most vjet jako jediné, tj. za vyloučení ostatních silničních vozidel. Ostatní dopravní omezení nejsou nutná, provoz chodců a cyklistů je zachován ve vyhrazených pruzích.

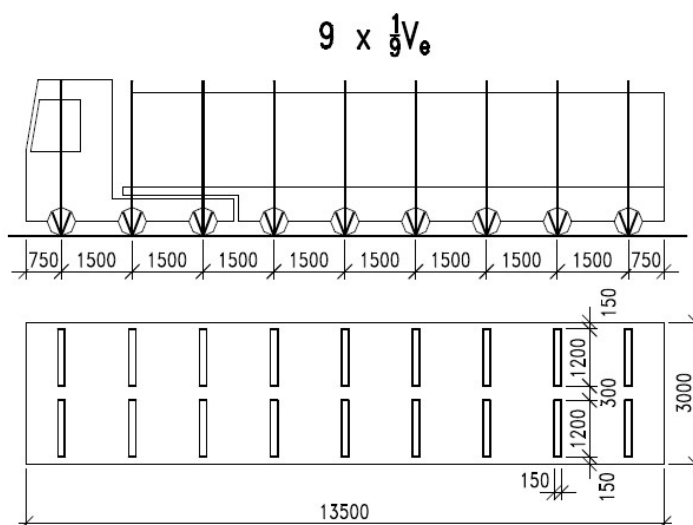
Jediné vozidlo se uvažuje jako šestinápravové, které má stanovenou hmotnost větší než 50 tun.



Obrázek 35: Schéma šestinápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti V_r [4]

- **Výjimečná zatížitelnost V_e** je chápána jako maximální okamžitá celková hmotnost vozidla nebo zvláštní soupravy, které se může pohybovat po mostě jen jako jediné vozidlo za podmínky vyloučení veškeré ostatní dopravy včetně chodců a cyklistů a při dodržení dalších opatření, např. předepsané rychlosti a stanovené stopy.

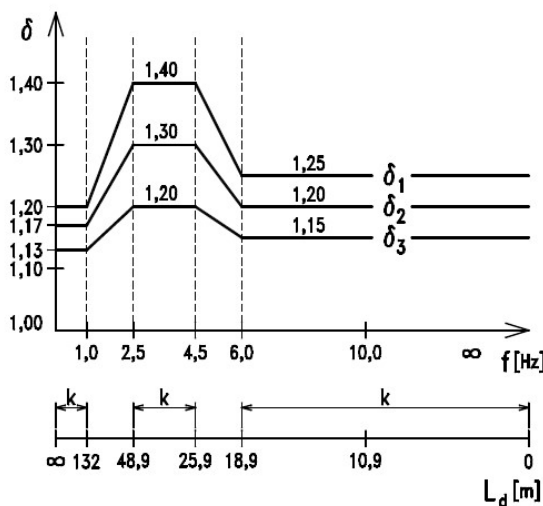
Toto vozidlo je bráno jako devítinápravové vozidlo, které má dovolenou odchylku předepsané stopy $\pm 0,5$ m.



Obrázek 36: Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti V_e [4]

Dynamický součinitel:

Při výpočtu zatížitelnosti se také musí přihlížet k dynamickým účinkům normových sestav zatížení, které se zohledňují dynamickým součinitelem. Lze je určit dle diagramu na obrázku:



Obrázek 37: Dynamické součinitele v závislosti na frekvenci f (Hz) [4]

Náhradní délku L_D určíme dle tabulky umístěné v normě ČSN 73 6222. Dle zatřídění konstrukce pak náhradní délka odpovídá rozpětí mostu. Poté se vlastní frekvence mostní konstrukce vypočítá ze vzorce:

$$f = 90.6 * L_D^{-0.923} = 90.6 * 30.8^{-0.923} = 3.83 \text{ Hz}$$

Podle typu zatížení se poté přiřadí dynamický součinitel δ k příslušné hodnotě součinitele. U řešené mostní konstrukce budou použity tyto typy součinitele:

| | |
|-------------------------------|----------------------------|
| Normální zatížitelnost V_n | $\delta = \delta_3 = 1.20$ |
| Výhradní zatížitelnost V_r | $\delta = \delta_1 = 1.40$ |
| Výjimečná zatížitelnost V_e | $\delta = 1.05$ |

Minimální hodnoty zatížitelnosti pro mosty skupiny pozemních komunikací I:

| Skupina pozemních komunikací podle ČSN EN 1991-2 | Druh zatížitelnosti | | |
|--|---------------------|----------------|-----------------|
| | Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 1 | 32 t | 80 t | 180 t |

Tabulka 1: Minimální hodnoty zatížitelnosti pro mosty skupiny pozemních komunikací I

H.1. Výsledky zatížitelnosti mostu

Byla určena z mezních stavů použitelnosti a únosnosti. Dle výsledných hodnot je rozhodující zatížitelnost v podélném směru zjištěna ze smyku.

Zatížitelnost z ohybu:

Podélný směr

| Druh zatížitelnosti | | |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 53 t | 189 t | 440 t |

Tabulka 2: Výsledná zatížitelnost mostu určena pomocí ohybu v podélném směru

Příčný směr

| Druh zatížitelnosti | | |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 111 t | 180 t | 523 t |

Tabulka 3: Výsledná zatížitelnost mostu určena pomocí ohybu v příčném směru

Zatížitelnost z MSP omezení napětí:

Podélný směr

| Druh zatížitelnosti | | |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 75 t | 268 t | 624 t |

Tabulka 4: Výsledná zatížitelnost mostu určena z MPS v podélném směru

Příčný směr

| Druh zatížitelnosti | | |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 67 t | 108 t | 314 t |

Tabulka 5: Výsledná zatížitelnost mostu určena z MSP v příčném směru

Zatížitelnost z MSP omezení trhlin

| Druh zatížitelnosti | | |
|---------------------|----------------|-----------------|
| Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 68 t | 241 t | 563 t |

Tabulka 6: Výsledná zatížitelnost mostu určena z MPS – omezení trhlin v podélném směru

Zatížitelnost ze smyku

| Druh zatížitelnosti | | |
|--------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Normální V_n | Výhradní V_r | Výjimečná V_e |
| 48 t VYHOVUJE | 85 t VYHOVUJE | 233 t VYHOVUJE |

Tabulka 7: Výsledná zatížitelnost mostu určena ze smyku v podélném směru

I. REKONSTRUKCE OBJEKTU

Z důvodu většího namáhání krajních nosníků bude i přes vyhovující výslednou zatížitelnost navržena výměna těchto nosníků. Krajiné nosníky jsou odkryty, a proto jsou více namáhány zatížením vody z mostu a dále například působením aerosoly v zimním období. Dle diagnostického průzkumu také neodpovídá jejich technický stav požadavkům (odpadaná betonová krycí vrstva, koroze výztuže).

Je navrhována výměna dvou krajních nosníků na obou stranách nosné konstrukce. Nosník IS-73 bude nahrazen předem předpjatými nosníky M-IN 30 délky 30 m a výšky 1,4 m, které jsou schematicky vykresleny v příloze č. P1 Studie – Schéma nosníku M-IN.

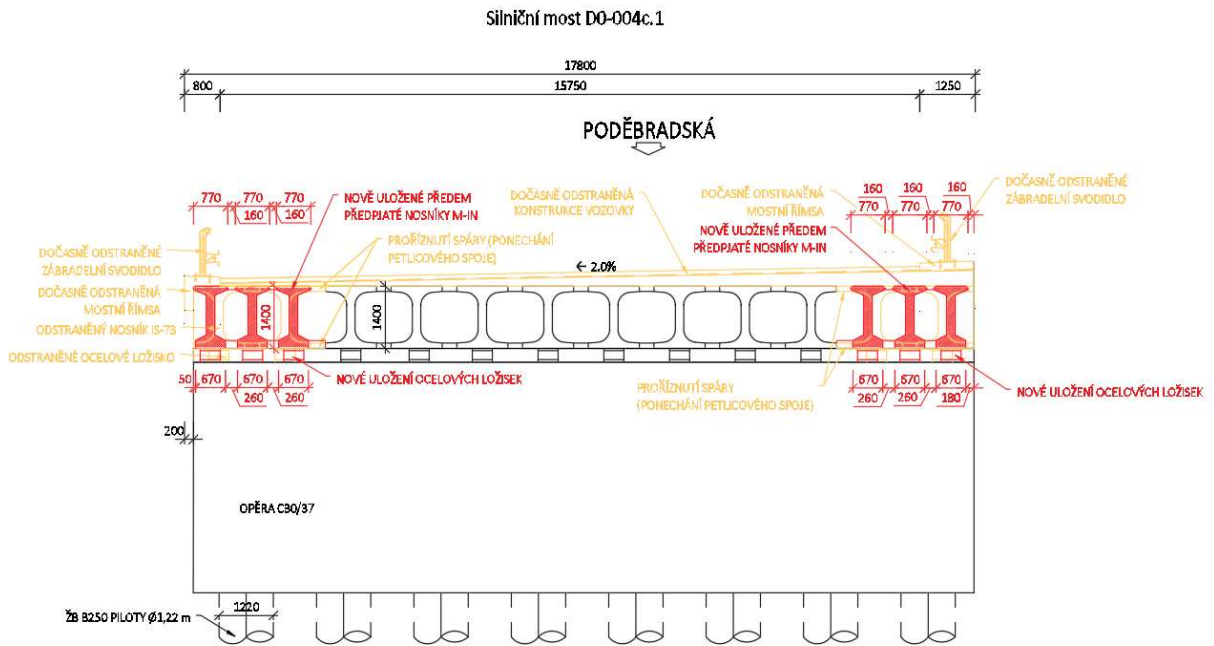
Z mostu bude dočasně odebrána římsa na obou stranách a konstrukce vozovky. Strojně se prořízne spára nosníku, tak aby se zachoval petlicový spoj (výztuž). Uvolněné nosníky IS-73 se odstraní a následně nahradí předem předpjatými nosníky M-IN. Na nosníky se uloží sprážená deska a zpět položí konstrukce vozovky a římsy.



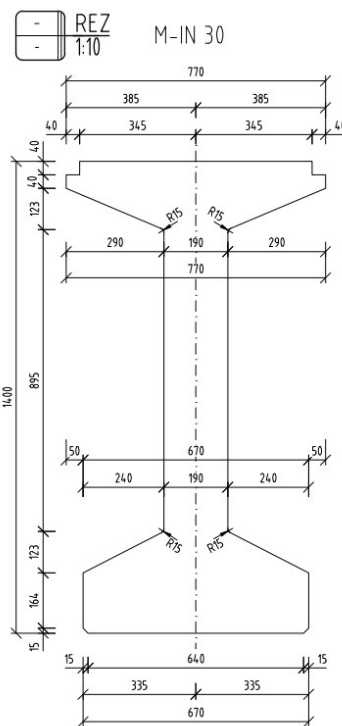
Obrázek 38: Na krajních nosnících stopy po zatékání [2]



Obrázek 39: Detail korodující výztuže krajního nosníku IS-73, odpadaná betonová krycí vrstva [2]



Obrázek 40: Schématický náčrt výměny krajních nosníků IS-73



Obrázek 41: Příčný řez novým nosníkem M-IN z typového podkladu [8]

J. ZÁVĚR

Hlavním úkolem této bakalářské práce bylo zjištění zatížitelnosti mostu pomocí mezních stavů použitelnosti a únosnosti. Pro výpočet zatížitelnosti mostu bylo nutné vyčíslit krátkodobé i dlouhodobé ztráty předpětí pro určení únosnosti nosníku IS-73. Pro kontrolní výpočet únosnosti byl využit model ortotropní desky kombinovaný s modelem nosníku IS-73. Oba výsledky únosnosti se téměř shodovaly. V únosnosti nosníku se neuvažovala betonářská výztuž – výztuž byla brána pouze jako konstrukční.

Krátkodobé ztráty se rovnaly 16.6 % a dlouhodobé až 18.6 % (vysoké ztráty mohou být způsobeny vysokým napětím předpínací výztuže při předpínání, dle ČSN EN 1992-1-1 se doporučuje předpětí navrhnout tak, aby maximální napětí v předpínací výztuži po zakotvení nepřesahovalo hodnotu 90% meze $f_{p0,1k}$, což u posuzovaného nosníku IS-73 není dodrženo).

Následně byl proveden ruční výpočet normových sestav vozidel jednotkové tíhy dle ČSN 73 6222 včetně zohlednění dynamických součinitelů. Normové sestavy byly umístěny pro kontrolu i na model ortotropní desky, ze kterého byly následně získány ohybové dimenzační momenty od jednotlivých sestav.

V posouzení na ohyb byl moment od jednotkové vozidla navýšen tak, aby v součtu s ostatními momenty působícími na konstrukci vynulovali moment od únosnosti.

U mezního stavu porušení napětí byla hmotnost vozidla lineárně zvyšována, dokud nebylo dosaženo maximálního napětí ± 21 MPa v horních nebo dolních vláknech.

V mezním stavu zajištění tlakové rezervy byl přístup podobný jako u napětí, s tím rozdílem, že u tlakové rezervy musel ve spodních i horních vláknech vzniknout maximální tlak – 1 MPa (nesmí dojít k otevření spáry nosníku).

U posledního posouzení na smyk byla normová sestava vždy umístěna nad krajní podporu, tak aby vyvozovala co největší posouvající sílu. Únosnost průřezu se uvažovala bez vzniku trhlin ve vzdálenosti 1.4 m od podpory, tato úvaha byla později ověřena jako pravdivá. Posouvající síla od jednotkové sestavy byla navýšena tak, aby v součtu se zbylými posouvajícími silami působícími na konstrukci (stálé zatížení, ostatní stálé zatížení, předpětí) vynulovali únosnost průřezu.

Dle výsledků zatížitelnosti:

Normální zatížitelnost $V_n = 48$ t;

Výhradní zatížitelnost $V_r = 85$ t;

Výjimečná zatížitelnost $V_e = 233$ t.

Výsledná zatížitelnost mostu vyhovuje pro všechny typy zatížitelnosti, proto nebudou navrženy žádná další opatření ani označení mostu příslušnými značkami pro sníženou zatížitelnost.

Pro tento most byla navržena pouze výměna krajních nosníků IS-73 z důvodu korodující výztuže a stopách po zatékání vody.

K. SEZNAM PŘÍLOH

- P1. Podklady, studie a vizualizace
- P2. Přehledné a podrobné výkresy
- P3. Statický výpočet

L. SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Zeměpisná poloha mostu | 10 |
| Obrázek 2: Zeměpisná poloha mostu - detail..... | 10 |
| Obrázek 3: Pohled na most v protisměru staničení | 12 |
| Obrázek 4: Pohled na most | 12 |
| Obrázek 5: D0-004c.1 | 12 |
| Obrázek 6: Pohled na prefabrikované nosníky IS-73..... | 13 |
| Obrázek 7: Pohled na opěru | 13 |
| Obrázek 8: Schématický příčný řez..... | 14 |
| Obrázek 9: Schematický podélný řez..... | 15 |
| Obrázek 10: Schématický náčrt převzatý z mostního listu [6] | 16 |
| Obrázek 11: Prefabrikovaný předpjatý nosník IS-73 – výňatek z TP [1]..... | 17 |
| Obrázek 12: Betonářská výztuž prefabrikovaného nosníku IS-73 – výňatek z TP [1] | 17 |
| Obrázek 13: Pohled na opěru O1 na místa odběrů [2]..... | 20 |
| Obrázek 14: Pohled na opěru O2 a na místa odběrů [2]..... | 21 |
| Obrázek 15: Elektromagnetický detektor betonářské výztuže (nosná konstrukce) [2]..... | 22 |
| Obrázek 16: Obnažená výztuž nosné konstrukce [2] | 22 |
| Obrázek 17: Detaily vrtaných sond pro ověření injektáže předpínacích kabelů [2] | 23 |
| Obrázek 18: Tabulka přehledu provedených sond předpínací výztuže [2] | 23 |
| Obrázek 19: Atypická dobetonávka kotevní oblasti nosníku IS-73 [2] | 25 |
| Obrázek 20: Vykloněné válcové ocelové ložisko [2]..... | 25 |
| Obrázek 21: Teorie desky | 26 |
| Obrázek 22: Průběhy složek napětí a měrných vnitřních sil [3] | 26 |
| Obrázek 23: Spojení nosníků v příčném směru | 27 |
| Obrázek 24: Nejjednodušší Kirchhofův předpoklad [3] | 28 |
| Obrázek 25: Axonometrický pohled na 3D model ortotropní desky | 30 |
| Obrázek 26: Uložení modelu ortotropní desky | 30 |
| Obrázek 27: Axonometrický pohled na trasování předpínací výztuže ortotropní desky..... | 31 |
| Obrázek 28: Půdorys trasování předpínací výztuže | 31 |
| Obrázek 29: Axonometrický pohled na 3D model nosníku IS-73..... | 32 |
| Obrázek 30: Uložení modelu nosníku IS-73..... | 32 |
| Obrázek 31: Axonometrický pohled na trasování předpínací výztuže v nosníku IS-73 | 32 |
| Obrázek 32: Boční pohled na trasování předpínací výztuže | 32 |

| | |
|---|----|
| Obrázek 33: Schéma třínápravového a dvounápravového vozidla pro určení normální zatížitelnosti [4] | 34 |
| Obrázek 34: Charakteristická normová sestava zatížení pro stanovení normální zatížitelnosti V_n [4] | 34 |
| Obrázek 35: Schéma šestinápravového vozidla pro stanovení výhradní zatížitelnosti V_r [4] .. | 35 |
| Obrázek 36: Schéma zvláštní soupravy pro stanovení výjimečné zatížitelnosti V_e [4]..... | 35 |
| Obrázek 37: Dynamické součinitele v závislosti na frekvenci f (Hz) [4] | 36 |
| Obrázek 38: Na krajních nosnících stopy po zatékání [2]..... | 38 |
| Obrázek 39: Detail korodující výztuže krajního nosníku IS-73, odpadaná betonová krycí vrstva [2]..... | 38 |
| Obrázek 40: Schématický náčrt výměny krajních nosníků IS-73..... | 39 |
| Obrázek 41: Příčný řez novým nosníkem M-IN z typového podkladu [8]..... | 39 |

M. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Dopravní stavby N.P. Olomouc. Typové podklady TP - část A. Konstrukce silničních a dálničních mostů z prefabrikátů IS-73 délky 21-30m., Olomouc, 1976.
- [2] PRAGOPROJEKT, a.s. , Diagnostický průzkum mostu - D0 510 Diagnostika mostů, Most ev. č. D0-004c.1, 03/2022.
- [3] Fyzikálně a tvarově ortotropní desky, Prof. Ing. Dr. techn. Vladimír Kolář, DrSc., 1993.
- [4] ČSN 73 6222 Zatížitelnost mostů pozemních komunikací, Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [5] ČSN EN 1991-2: Eurokód: Zasady navrhování konstrukcí., Praha: Český normalizační institut, 2004.
- [6] Mostní list mostu pozemní komunikace. Ev. č. D0-004c.1. Most na okruhu H1 přes větev V1 v km 1.353000, 1993.
- [7] Fakulta stavební, VŠB. Výpočetní modely a konstrukce - Desky.
- [8] Vopred predpaté nosníky M-IN pre nosné konstrukce spriahnutých betónových mostov na pozemných komunikáciách, Invest, s.r.o, 2010.