



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

## STAVEBNÍ PRŮZKUM A DIAGNOSTIKA KONSTRUKCE

SURVEY AND DIAGNOSTICS OF BUILDING CONSTRUCTION

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jana Pernová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2019



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav stavebního zkušebnictví

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Bc. Jana Pernová
<b>Název</b>	Stavební průzkum a diagnostika konstrukce
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	31. 3. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

---

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu CŽV, VUT v Brně, 2010.  
Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.  
Schmidt, P. s kol. Základy zkušebnictví. Brno, CERM, 2001.  
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.  
Příslušné technické normy.  
Výběr separátů z databáze ÚSZK k danému tématu.  
Projektová dokumentace.

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cíle práce – v teoretické části práce provést rešerše doporučené literatury a vypracování podkladů pro řešení diplomové práce. V rámci praktické části provést prvotní prohlídku hodnocené konstrukce, předběžné hodnocení stavu a sestavení plánu stavebně technického průzkumu. Provedení a vyhodnocení průzkumu konstrukce. Statický výpočet vybraných částí nosné konstrukce. Závěrečné zhodnocení stavu konstrukce.

## STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

Cílem teoretické části diplomové práce je vypracování přehledu historického vývoje železobetonu a betonářských výztuží, včetně vypracování podrobné metodiky postupu posouzení stavu mostních konstrukcí. Ta je aplikována v praktické části na dvou na sobě nezávislých mostech. Zabývá se diagnostickým průzkumem objektu za použití nejmodernější technologie, a to georadarem Hilti PS1000, profometrem PM-630, které jsou doplněny sekanou sondou. Součástí je také statický výpočet zatížitelnosti, který současně hodnotí stav konstrukce.

## **Klíčová slova**

železobeton, betonářská výztuž, stavební průzkum, mostní prohlídka, diagnostický průzkum, georadar, profometr, sekaná sonda, statický výpočet, zatížitelnost

## **Abstract**

The object of the theoretical part of this diploma thesis is overview of the historical development of reinforced concrete and concrete reinforcements, including the elaboration of a detailed methodology for the assessment of the state of bridge structures. It is applied in practical parts of two bridges independent on each other. There are used the most modern technologies like device Hilti PS1000, profometer PM-630 to diagnose objects and they are completed by chopped probe. It also includes a structural analysis of the load capacity, that concurrently evaluates the quality of the construction.

## **Keywords**

reinforced concrete, concrete reinforcement, structural survey, bridge survey, diagnostic survey, georadar, profometer, chopped probe, structural analysis, load capacity

## **Bibliografická citace**

Bc. Jana Pernová *Stavební průzkum a diagnostika konstrukce*. Brno, 2018. 107 s., 0 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

### **Prohlášení o původnosti závěrečné práce**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Stavební průzkum a diagnostika konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

---

Bc. Jana Pernová  
autor práce

## **Poděkování**

Tímto bych chtěla poděkovat především mému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za poskytnutí věcných rad, připomínek a nápadů, také za jeho ochotu a vstřícný přístup při vytváření diplomové práce. Velký dík patří rovněž panu doc. Ing. Pavlu Schmidovi, Ph.D. za poskytnutí dat pro zpracování praktické části.

Také bych ráda poděkovala všem, kteří mě podporovali během celého studia a především za podporu ze strany mé rodiny.

## Obsah

1. Úvod .....	10
Teoretická část .....	12
2. Vlastnosti železobetonu .....	12
2.1. Historie železobetonu.....	13
2.2. Vlastnosti zatvrdlého betonu.....	16
2.2.1. Přednosti betonu a betonových staveb .....	16
2.2.2. Nedostatky betonu a betonových staveb .....	16
3. Výztuž v betonu.....	17
3.1. Běžná betonářská výztuž .....	17
3.1.1. Historie betonářských výztuží .....	18
3.1.2. Vlastnosti betonářské oceli .....	20
3.2. Předpínací výztuž.....	20
4. Postup posouzení stavu mostu .....	21
4.1. Stavební průzkum .....	21
4.1.1. Stavebně-technický průzkum.....	22
4.1.2. Stavebně-historický průzkum.....	22
4.1.3. Urbanistický průzkum.....	23
4.2. Prohlídky mostních objektů pozemních komunikací .....	23
4.2.1. Běžné mostní prohlídky.....	23
4.2.2. Hlavní mostní prohlídka.....	24
4.2.3. Mimořádná prohlídka .....	24
4.2.4. Kontrolní prohlídka .....	24
4.3. Diagnostický průzkum.....	25
4.3.1. Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí.....	25
4.3.2. Semidestruktivní zkoušení betonových konstrukcí.....	28
4.3.3. Destruktivní zkoušení betonových konstrukcí.....	29
4.4. Diagnostický průzkum železobetonové konstrukce.....	30
4.4.1. Stanovení pevnosti betonu v tlaku in-situ .....	30
4.5. Statický výpočet.....	33
4.6. Vyhodnocení a návrh případných opatření .....	33
4.7. Závěrečná zpráva.....	34
Praktická část .....	35
5. Most v Bohuňově .....	35
5.1. Stanovení vyztužení železobetonové desky.....	35
5.1.1. Základní popis konstrukce .....	37
5.1.2. Použité metody průzkumu .....	38

5.1.3. Rozmístění sond.....	43
5.1.4. Výsledky průzkumu .....	47
5.1.5. Závěr diagnostiky mostu .....	54
5.2. Výpočet statické zatížitelnosti mostní konstrukce .....	55
5.2.1. Všeobecný popis.....	55
5.2.2. Výpočet stávající únosnosti.....	56
5.2.3. Roznos zatížení .....	57
5.2.4. Model konstrukce.....	60
5.2.5. Výpočet zatížitelnosti dle ČSN 73 6222 .....	63
5.3. Závěr .....	65
6. Most v Ronově nad Doubravou .....	67
6.1. Stanovení vyztužení železobetonové desky.....	67
6.1.1. Základní popis konstrukce .....	68
6.1.2. Použité metody průzkumu .....	69
6.1.3. Rozmístění sond.....	74
6.1.4. Výsledky průzkumu .....	78
6.1.5. Závěr diagnostiky mostu .....	87
6.2. Výpočet statické zatížitelnosti mostní konstrukce .....	88
6.2.1. Výpočet stávající únosnosti.....	89
6.2.2. Roznos zatížení .....	90
6.2.3. Model konstrukce.....	93
6.2.4. Výpočet zatížitelnosti dle ČSN 73 6222 .....	96
6.3. Závěr .....	98
Zdroje použité literatury .....	100
Seznam použitých obrázků.....	103
Zdroje použitých obrázků .....	105
Seznam použitých tabulek.....	106
Zdroje použitých tabulek.....	107

# 1. Úvod

Každé období má svá specifika. A v každé době mají lidé pocit, že právě prožívají dobu uspěchanou ve srovnání s předchozím obdobím. Všichni si často stěžují na spěch a stres, který je podpořen rozvojem moderních komunikačních technologií, tlakem na rychlost řešení úkolů, snahou být rychlejší a lepší než konkurence. To mívá za následek ukvapená rozhodnutí a nedůslednost. Často je to až s podivem, protože právě ve stavebnictví není příliš vhodné být málo důsledný - počínaje projektantem, stavbařem, přes stavební dozor, konče nedostatečnou důsledností pravidelné údržby. V některých případech pak hrozí fatální následky, nevyjímaje dopady na lidské životy. Toto je možné pozorovat v aktuálním dění, kdy se až příliš často objevují titulky, že se zřítily lávka, při které se zranili lidé, nebo o zřícení dálničního mostu, kde dokonce lidé zemřeli. V tomto oboru je nutné být důsledný od samotného počátku návrhu projektu až do konce realizace stavby.

Nezřídka se stává, že se ztratí celá, nebo jen část stavební dokumentace. Pak je nutné v rámci pravidelné údržby ji doplnit a to mimo jiné z důvodu dopočítání zatížitelnosti. V současné době je velké množství možností, jak neúplnou projektovou dokumentaci doplnit. Nejčastěji se statici obracejí na diagnostiky staveb, kteří jsou schopni pomocí nejmodernějších technologií dohledat například polohu nebo průměr výztuže, případně druh použitého betonu, či různé další informace o konstrukci.

Tato diplomová práce je členěná na dvě části - teoretickou a praktickou. A právě v teoretické části je zahrnuta přehledná metodika, která by mohla sloužit pro případný průzkum a diagnostiku mostních konstrukcí.

V teoretické části je popsán historický přehled vývoje stavebnictví, konkrétně se zabývá železobetonovými konstrukcemi, kde je zmíněn vývoj železobetonu a také betonářské oceli. Přestože využití železobetonu procházelo v minulosti mnoha úskalími a problémy, ve dvacátém století získal na oblibě a v současnosti patří mezi nejpoužívanější stavební materiál.

Dále je obsáhle popsán postup při posuzování mostních konstrukcí již od stavebního průzkumu přes provádění mostních prohlídek, které jsou nutností a samozřejmostí v předem daných intervalech. Část teorie je věnována diagnostickému průzkumu. Jsou popsány nedestruktivní, semidestruktivní a destruktivní zkoušky a jednotlivé metody, které jim náleží.

V praktické části je názorně provedena aplikace teoretické části, která se zabývá silničním mostem v půdorysném oblouku se šikmostí 42<sup>o</sup>, který se nachází v obci Bohuňov. Tento most má rozpětí 13,00 m, vzdálenost mezi svodidly 8,50 m a proměnnou tloušťku desky od 500 do 580 mm u krajních pásů. Druhý řešený most, rozměrově menší, přemostující potok, se nachází v obci Ronov nad Doubravou. Tento most má volnou šířku mostu 9,15 m, tloušťku železobetonové nosné konstrukce 250 mm konstantně po celé

ploše. Také je ve směrovém oblouku a to se šikmostí 98,2<sup>o</sup>. U obou mostů byla na žádost statika provedena upřesňující diagnostika, kdy bylo nutné zjistit vyztužení spodního líce nosné konstrukce. Je s podivem, že v dnešní době, kdy se objevují problémy mostních konstrukcí nejen předpjatých, ale také železobetonových, nikomu po téměř 22 letech u mostu v Bohuňově a 17 letech v Ronově nad Doubravou nechyběla dokumentace o vyztužení spodního líce mostovky a dokumentace tak nebyla kompletní. Pravděpodobně se projektová dokumentace ztratila a nikdo ji po celá léta nedoplnil.

U obou mostů bylo hledání výztuže provedeno pomocí georadaru Hilti PS1000, elektromagnetického indikátoru profometr PM-630 a tyto nejmodernější technologie byly doplněny sekanou sondou za účelem doplnění druhu a průměru betonářské výztuže.

Praktická část se neobejde ani bez statického výpočtu zatížitelnosti mostu, který navazuje na diagnostický průzkum. Tento výpočet pak hodnotí stav konstrukce.

Závěrem je zařazeno zhodnocení konstrukce, které zahrnuje všechny provedené pracovní fáze.

# Teoretická část

## 2. Vlastnosti železobetonu

Beton je kompozitní látka, vznikající zatvrdnutím směsi jeho základních složek, a to pojiva - cementu, plniva - kameniva (písek, štěrk, drť) a vody.

Vlastnosti betonu jsou primárně ovlivněny skladbou a poměrem mísení jeho základních složek. Různých vlastností betonu lze dosáhnout přidáním vhodných přísad a příměsí za účelem ovlivnění jeho počátečních vlastností (obsah vzduchu, zpracovatelnost a čas tuhnutí) i konečných vlastností (pevnost, modul pružnosti, odolnost a trvanlivost).

Sekundárně ovlivňují vlastnosti betonu účinky okolního prostředí (např. vlhkost, teplota, agresivní činitelé). Proto jsou některé vlastnosti zatvrdlého betonu v čase částečně proměnné.

Beton je charakteristický svou velmi dobrou pevností v tlaku, ale současně i lomovou křehkostí. Jeho pevnost v tahu, v tahu za ohybu a smyku je pouze malým zlomkem pevnosti v tlaku, proto je možno prostý beton, tedy beton bez výztuže, úspěšně použít jen u konstrukcí, kde převažuje tlakové napětí. Konstrukce namáhané ohybem, kde na jedné straně průřezu vzniká tlakové napětí a na druhé straně tahové napětí, je třeba náležitě vyztužovat. Nejčastěji se používají ocelové pruty s dostatečně vysokou pevností v tahu nebo z nich předem svařené armovací sítě; potom se mluví o železobetonu, v případě vnesení předpětí se jedná o předpjatý beton.

V některých případech postačuje k vyztužení betonu použití výztuže ve formě rozptýlených vláken (vláknobeton), při použití ocelových vláken se potom nazývá drátkobeton. [1]

Soudržnost mezi betonem a ocelovými vložkami je tak velká, že se ocelový prut z betonu nedá prakticky vytáhnout. Beton se při tvrdnutí na vzduchu smršťuje a sevře pevně ocelové pruty, tím vzroste tření a zvětší se odpor proti podélnému posunutí prutu v betonu (mechanická příčina). Při tvrdnutí betonu se na povrchu oceli tvoří vápeno-železnaté sloučeniny a tím, že obě látky do sebe vzájemně přecházejí, se pevně spojují (chemická příčina). Rozdíl mezi tepelnou roztažností oceli a betonu je tak malý, že při požáru nenastane větší protažení oceli a tím jeho oddělení od betonu, které by mohlo soudržnost porušit.

Beton působí také jako ochrana oceli před rezavěním. Čím je beton jakostnější, tím je ochrana lepší. [2]

## 2.1. Historie železobetonu

Počátky historie užití betonu jsou kladeny do doby starých Římanů, ačkoliv archeologické nálezy potvrzují, že již staří Egypťané se v omezené míře setkali s výsledky procesů hydratace. Ve 2. století př. n. l. Římané těžili v okolí města Pozzuoli, v Neapolské provincii, růžový, písku podobný materiál, tvořený jemným sopečným popelem obsahujícím oxidy křemíku a hliníku, které se chemicky vážou s vápnem a tvoří materiál známý jako "pozzolanic" cement. Tento materiál byl pak ve větší míře použit v jedné z prvních staveb. Jednalo se o divadlo v Pompejích. Beton byl používán zejména do základů staveb a jako výplňový materiál, neboť měl nízkou tahovou pevnost. Jako výztuž byla zkoušena měď, a protože má větší tepelnou roztažnost než beton, výsledky nedopadly uspokojivě - v betonu vznikaly trhliny. V celém impériu byl jako kamenivo do betonu vždy používán místní materiál, poměrně často i lehké lávové kameny. Tato směs tvořila lehký beton, z něhož jsou postaveny některé oblouky římského Kolosea a také nejnámější dochovaná betonová klenba – klenba římského Pantheonu.



Obr. 1: Klenba římského Pantheonu [A]

Během pár let dokázali Římané z obyčejného materiálu metodou pokus - omyl vyvinout uznávaný stavební materiál. S rozpadem římského impéria zanikly také veškeré dosud dosažené technické znalosti, jež byly využívány v běžném životě.

V polovině 19. století byly velmi populární betonové dekorativní zahradní prvky, ornamenty, nádoby na květiny. Jednalo se spíše o drobné výrobky, než architektonické elementy velkých rozměrů. Teprve objev možnosti využití ocelového vyztužení betonových průřezů namáhaných tahem udělal z betonu skutečně nejdůležitější moderní stavební materiál.

Od konce 19. století byl beton široce používán pro inženýrské stavby, mosty, nábřeží, tovární haly, ne však pro architektonické pojetí stavby. I přesto, že beton vynikal svými velice dobrými vlastnostmi, byl považován za barbarský materiál, nevhodný pro veřejné stavby, a proto ho bylo potřeba zakrýt některým jiným materiálem, například kamenem.

Bod zvratu přišel v roce 1911, kdy Gustav Perret navrhnul železobetonovou konstrukci divadla Champs-Élysée a současně zvítězil v dobře obsazené soutěži.

Inženýři se stále snažili nacházet využití konstrukčních možností železobetonu. Postupně našli cestu od běžné struktury z podpěr a podvlaků k novým formám, které beton umožňoval. V roce 1917 přispěl ke zlepšení vlastností betonu a tím také k jeho širšímu využití ve stavebnictví francouzský inženýr Eugene Freyssinet, a to vynálezem mechanického vibrování betonu během ukládání do bednění a zcela novým systémem předpínání výztužných lan v betonu, který nese Freyssinetovo jméno dodnes.

Rozvoj průmyslu na přelomu 19. a 20. století žádal koncentraci lidské pracovní síly a tím současně podporoval růst velkých měst. S jeho vývojem souviselo řešení veřejných prostor, kde mohlo být shromážděno velké množství lidí. Tuto výzvu přijal architekt Max Berg a navrhnul ve Wroclawi víceúčelovou výstavní budovu, která byla dle jeho návrhu postavena. Jedná se o mohutnou kruhovou železobetonovou stavbu s gigantickými klenbami o poloměru 65 m. Vezmeme-li v potaz tehdejší statiku, jde o bezesporu výjimečný stavitelský experiment z betonu. Přiznaný betonový povrch interiéru je důkazem dobře provedené bednicí techniky a řemeslné dovednosti.



*Obr. 2: Víceúčelová hala ve Wroclawi [B]*

Koncem 20. století už byl železobeton přijímán nejen jako stavební materiál se svými specifickými vlastnostmi, ale také jako architektonicky dobře vypadající prvek. Ve 30. letech představoval beton materiál vhodný k budování nových měst, která se už nebudou nadále rozrůstat do krajiny a budou vznikat mnohaposchodové obytné bloky s byty pro stovky obyvatel, které zabírají velmi málo plochy a nechávají dostatek prostoru pro parky a zahrady. Beton byl užíván i pro stavby nových rodinných domů a vil, které pak vypadaly jednodušeji a zároveň čistěji. Modernistické teorie se však ne vždy podařilo v praktickém životě zcela uskutečnit, někde přímo selhaly a beton se tak stal obětním beránkem, kterého veřejnost spojovala se svými nenaplněnými očekáváními. [3]

Každé období v minulosti je provázáno svými specifickými negativními vlivy. V počátcích betonového stavitelství koncem 19. století značně kolísala kvalita vstupních surovin (cementu, kameniva), proto beton z tohoto období má většinou nízkou pevnost v tlaku. U masivních konstrukcí, např. mostních opěr, může být kvalitní pouze povrchová úprava, tzv. předsádkový beton, zatímco uvnitř opěry se může nacházet jen málo zhutněný až mezerovitý beton.

Specifický problém období 30. až 50. let 20. století bylo používání tzv. hlinitanového cementu. Jedná se o materiál s rychlým nástupem pevností, tato zdánlivě výborná vlastnost měla za dopad velký nárůst využití tohoto materiálu. Bohužel po čase začalo docházet k rozkladu pojiva v těchto betonech, následkem toho byla ztráta únosností konstrukce a došlo také k několika haváriím. Použití hlinitanového cementu bylo na celém území zakázáno. Přesto je velice pravděpodobné, že dodnes je tento druh betonu v některých konstrukcích zabudován. Hlavním vizuálním znakem je rezavě hnědá barva pojiva. [4]

Po druhé světové válce, kdy byly nutné značné rekonstrukce, či zcela nové vystavění objektů, nastal velký nedostatek oceli. A tak se architekti opět obrátili k železobetonu, či předpjatému betonu. Rychlá rekonstrukce bytů, továren, škol a dalších objektů dotčených válkou byla pro stavebnictví velkou výzvou. Vzhledem k dlouhotrvající potřebě rychlé a levné výstavby, která by nahradila zničené objekty, se to zdálo být zcela logické a výhodné. Avšak řada systémů byla špatně vyráběna či nedostatečně testována a docházelo ke kolapsům nejen nosných konstrukcí. Výsledkem byla deziluze veřejnosti přesvědčené o tom, že beton je nekvalitní a levný materiál.

Od osmdesátých let minulého století se situace pozvolna mění, je významně podpořen zájem o rozvoj technologií přípravy a zpracování betonu a vývoj nových materiálů, jako jsou například vláknobetony, superplastifikátory, mikrosilika a dokonce první použití vysokopevnostního betonu. Rychlost vývoje se stále zvyšuje, stejně jako zájem o tento materiál a tím vznikají nové zajímavé a působivé stavby postavené z betonu.

Beton má dnes neuvěřitelně široké spektrum použití, a to hlavně díky jeho jedinečným vlastnostem jako je pevnost, forma a textura. Možností je nepočítatelně, rozhodování o vhodné volbě je podmíněno finančními i estetickými kritérii a také dobrými znalostmi materiálu a jeho chování. [3]

## 2.2. Vlastnosti zatvrdlého betonu

Pro správné navrhování betonových prvků či konstrukcí je nutné znát jeho přednosti a nedostatky a umět s nimi vhodně naložit.

### 2.2.1. Přednosti betonu a betonových staveb

- **Vysoká únosnost**, která závisí na fyzikálně - mechanických vlastnostech betonu, výztuži a způsobu vyztužení. Pevnost v tlaku dosahuje běžně do 60 MPa, v případě vysokopevnostního betonu 100 MPa i více.
- **Trvanlivost** závisí na pevnosti a hutnosti. Betonové konstrukce nejsou namáhány na únavu, jsou poměrně odolné proti korozi a nevyžadují častou údržbu.
- **Houževnatost** je odolnost proti mechanickému poškození. Je ovlivněna jakostí betonu a jeho jednotlivých složek - kameniva, druhu a množství cementu, množstvím záměsové vody, způsobem výroby, zpracováním a ošetřováním betonu.
- **Ohnivzdornost** je ovlivněna tloušťkou krytí výztuže. Beton je nehořlavý, nevede oheň, teploty do 300 °C nemají na beton vliv, neporušuje se ani při krátkodobě působících teplotách 1200 °C.
- **Monolitčnost** vykazuje značnou odolnost proti mimořádným vnějším vlivům, které na konstrukci působí.
- Za použití bednění je díky **tvárnosti** možné provést betonový prvek libovolného tvaru.
- Při vhodném složení a zpracování vykazuje beton značnou odolnost proti pronikání vody, jinak řečeno **vodotěsnost**.
- Beton nevykazuje spáry ani dutiny, ve kterých by se mohla udržovat nečistota a zdržovat hmyz a paraziti, proto je považován za **hygienický** materiál.
- **Hospodárnost** betonu je dána možností použít při výrobě levné a obvykle dobře dostupné suroviny domácího původu.

### 2.2.2. Nedostatky betonu a betonových staveb

- **Velká hmotnost** omezuje použití prvků na překonání větších rozpětí. Z tohoto důvodu se pro velká rozpětí navrhuje beton předpjatý.
- Na jedné straně přednost, na druhé straně například při opravách, prorážení otvorů apod. je **tvrdost** materiálu nedostatkem, protože práce při bourání betonových konstrukcí patří mezi nejobtížnější.
- Konečné vlastnosti betonu jsou závislé na **kvalitě výroby** - způsob výroby a zpracování, prostředí, teplota, apod. Vyšší kvalita je zaručena výrobou materiálu ve výrobnách, nižší na staveništích.
- **Vysoká tepelná vodivost** způsobuje pocení a promrzání konstrukcí.

- **Objemová nestálost** se projevuje smršťováním konstrukcí, které jsou vyvolané u staticky neurčitých konstrukcí jako doplňkový statický účinek.
- **Nízká odolnost proti agresivnímu prostředí**, jako je např. působení kyselin, rozmrazovací soli i vzdušný oxid uhličitý.
- **Obtížná kontrola** profilů, polohy a množství výztuže. U jednoduchých prvků je nutné provést odsekání krycí vrstvy betonu, u složitých prvků se využívá např. rentgenování, či gama - snímkování, u masivních konstrukcí je zjišťování téměř nemožné. [5]

### 3. Výztuž v betonu

Výztuže se vkládají do míst, kde budou plně staticky využity, tedy tam, kde je beton náchylný k tvorbě trhlin. Ocel se zde uplatňuje především svou velkou pevností v tahu, kterou beton postrádá. Uložená výztuž musí být chráněna dostatečně tlustou krycí vrstvou betonu, která ji chrání proti korozi.

Ocelovou výztuž je možno vkládat i do tlačných průřezů - sloupů a stěn, za účelem zvýšení jejich únosností a zabezpečení stability. [1]

Vzhledem k napjatosti výztuže před zatížením nosného prvku se rozlišuje:

- betonářská výztuž (měkká), která nevyvolává napětí v betonu
- předpínací výztuž (tvrdá), která způsobuje předpětí v betonu
- rozptýlená výztuž (drátkobeton)
- tuhá výztuž (válcované průřezy pro spřažené ocelobetonové prvky) [6]

#### 3.1. Běžná betonářská výztuž

Ocelové výztužné tyče jsou opatřeny hladkým nebo žebírkovým povrchem, jsou dodávány na stavbu ve formě rovných prutů s délkou 6 až 12 m.

Ocelové dráty jsou vyrobeny s hladkým povrchem, s průměrem 4 - 12 mm s odstupňováním po 0,5 mm. Vytvářejí soustavu podélných a příčných drátů, přibližně v pravém úhlu a v průsečíku jsou svařené. [7]

### 3.1.1. Historie betonářských výztuží

Počátky vyztužování jsou zaznamenány již v Římské říši, kde byla jako výztuž zkoušena měď. Potenciál tohoto materiálu nebyl využit, protože měď má větší tepelnou roztažnost než beton, a proto vznikaly v betonu trhliny. Z tohoto důvodu byla převážná část konstrukcí vyráběna z prostého betonu.

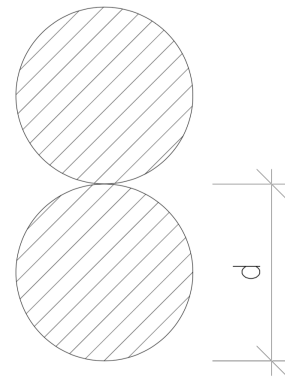
Podle Návrhu čs. mostního řádu z roku 1923 se betonářské výztuže začaly aktivně používat až ve 30. letech 20. století. Jednalo se o tzv. svářkové a plávkové železo, které se vzájemně mírně lišilo dovoleným namáháním. Vývoj pokračoval dál a ve 30. letech minulého století se začala používat výztuž C34, Cc, až po C52.

Dnes jsou už minulostí, ovšem stále se nacházejí ve stávajících konstrukcích výztuže Roxor, Isteg a Toros. Tyto druhy výztuží lze rozeznat dle uspořádání žebírek na ocelové tyči. Známé jsou také výztuže typu E, EZ, J, T, V, W, R, které byly zavedeny výnosem ministerstva dopravy z roku 1968. [8]

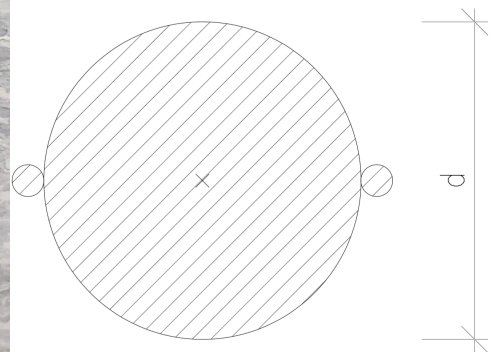
Vydáním normy ČSN 42 0139 v roce 2007 byly zavedeny nové značky, B500A, B500B a B500C, které jsou v souladu se značením evropské normy ČSN EN 10080.



Obr. 3: Betonářská výztuž Roxor [C]



Obr. 4: Betonářská výztuž Isteg [C]



Obr. 5: Betonářská výztuž Toros [C]

### 3.1.2. Vlastnosti betonářské oceli

Čím větší množství uhlíku, tím roste pevnost a mez průtažnosti, klesá tažnost a kontrakce. Větší množství uhlíku také podporuje lepší odolnost proti korozi, ale naopak zhoršuje svařitelnost.

Běžně se používají oceli pevnosti 340 až 450 MPa za předpokladu obsahu uhlíku 0,1 až 0,15 % a tažnosti 25 %. V případě, že ocel obsahuje do 0,5 % uhlíku, může dosahovat pevnosti v rozmezí 700 až 800 MPa a tažnosti 10 %. [6]

Tab. 1: Základní vlastnosti betonářských ocelí [1]

Vlastnosti		Hodnota
Hustota [ $\text{kgm}^{-3}$ ]		7 850
Modul pružnosti [MPa]	v tahu a tlaku	210 000
	ve smyku	81 000
Součinitel délkové teplotní roztažnosti [ $\text{K}^{-1}$ ]		$12 \cdot 10^{-6}$
Součinitel příčné deformace [-]		0,3

### 3.2. Předpínací výztuž

V předpjatých konstrukcích se používá předpínací výztuž ve tvaru drátů, lan, kabelů a tyčí. Dráty, lana a kabely se vyrábějí z patentovaného drátu, který má průměr 2 až 7 mm, mez kluzu 1000 až 1600 MPa a pevnost v tahu 1400 až 2000 MPa. Dále se zhotovují pramence (spletence) z vysokouhlíkových drátů, které jsou za tepla válcované, či tažené. Průměr pletenců je 6 až 15 mm a splétají se ze 2 až 7 kusů drátů.

Modul pružnosti pro předpínací dráty a tyče se v závislosti na výrobním procesu pohybuje od 195 do 210 GPa. Návrhová hodnota modulu pružnosti se globálně uvažuje  $E_p = 205 \text{ GPa}$ .

Modul pružnosti pro předpínací lana se v závislosti na výrobním procesu pohybuje od 185 do 205 GPa. Návrhová hodnota modulu pružnosti se uvažuje  $E_p = 195 \text{ GPa}$ .

Návrhová hodnota součinitele teplotní roztažnosti oceli se uvažuje  $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ . [7]

## 4. Postup posouzení stavu mostu

Stav konstrukce mostu a jeho okolí je hodnocen daným souborem činností, které zahrnují vyhodnocení a případná opatření objektu:

- Stavební průzkum
- Prohlídky mostní konstrukce
- Diagnostický průzkum
- Statický výpočet
- Vyhodnocení a návrh případných opatření
- Závěrečná zpráva

Splněním výše zmíněných bodů znamená správné provedení posudku stavu mostu a následná zpráva by měla být podkladem pro návrh rozsahu potřebných oprav a soupis prací v projektové dokumentaci opravy mostu. [9]

### 4.1. Stavební průzkum

Potřeba diagnostiky staveb je důležitá pro získání informací, které se pak vhodně využijí pro následnou přestavbu, přístavbu, při změně vlastníka objektu, objevily se staticky závažné poruchy (např. trhliny) a vznikla pochybnost o její bezpečnosti nebo z předepsaných kontrolních důvodů. Konstrukce jsou zatěžovány rozdílnými vnějšími vlivy (klimatické podmínky, agresivní látky, zatížení), a proto obecný postup pro zjištění vlastností železobetonové konstrukce bude nutné pro každý konkrétní případ modifikovat.

Samotný průzkum lze dle doposud získaných zkušeností rozdělit následovně:

- stavebně-technický průzkum (STP)
- stavebně-historický průzkum
- urbanistický průzkum

Při hodnocení železobetonové konstrukce je zapotřebí počítat se značně rozdílnou kvalitou a rozdílným stupněm degradace betonu. Při praktickém provádění průzkumů bylo zjištěno, že vlastnosti nekvalitně vyrobeného betonu se vlivem degradačních procesů ještě zhoršily. Výsledky průzkumu musí být takové, aby byly dostačujícím materiálem pro rozhodování o následném využití posuzovaného objektu. [4] [10]

#### **4.1.1. Stavebně-technický průzkum**

Stavebně-technický průzkum je soubor několika dílčích průzkumů objektu, které následně tvoří jeden stavebně-technický průzkum.

Je zde zahrnut:

- statický a konstrukční průzkum
- vlhkostní průzkum včetně radonového, inženýrsko-geologického a hydrologického průzkumu
- průzkum biokoroze objektu

Rozsah stavebně-technického průzkumu je závislý na účelu, kvůli kterému se průzkum provádí, stavu objektu, času, který je pro průzkum k dispozici, přístupnosti objektu, financích, existenci a možností zkušebních metod, případně dalších okolnostech.

Veškeré činnosti této etapy průzkumu objektu je vhodné provádět za plného provozu, proto je třeba volit takové metody průzkumu, které nevylučují běžný provoz v objektu, ale může nastat jisté omezení provozu. [10]

#### **4.1.2. Stavebně-historický průzkum**

Jedná-li se o objekt, který je kulturní památkou, musí být tento průzkum prováděn ještě před stavebně-technickým průzkumem. Hlavním důvodem této fáze průzkumu je přispět k poznání historie objektu, umožnit jeho zařazení do vývoje architektury, odhalit změny jeho podoby v jednotlivých obdobích. Měl by upozornit na části, které jsou už známé, viditelné, a nebo jsou zakryté mladšími konstrukcemi a přestavbami. Provedení stavebně-historického průzkumu je podmíněno nejen širokými teoretickými znalostmi vývoje architektury všech historických období, ale také značnou praktickou zkušeností z průzkumu různých stavebních objektů.

Během přibližně 120 let intenzivního využívání železobetonu ve stavebnictví došlo k určitým posunům v oblasti navrhování, technologie, provádění i posuzování betonových konstrukcí.

Vzhledem k nedostatečné kontrole kvality po druhé světové válce je nutné při posuzování konstrukcí počítat také s mnohými nesrovnalostmi. Mohlo by se jednat například o různé typy nosných výztuží v rámci jedné konstrukce nebo jev tzv. "úsporného" krytí výztuže, tedy malá krycí vrstva betonu, případně objekty postavené občany svépomocí v rámci "Akce Z", neboť by tyto objekty mohly skrývat mnohé nevidanosti.

Všechny skryté původní stavební prvky a jejich zdánlivě nevýznamné pozůstatky jsou cenným dokladem pro poznání historie objektu. [4] [10]

### 4.1.3. Urbanistický průzkum

Tento průzkum musí být proveden v dostatečně časovém předstihu před zahájením projekčních prací. Důvodem je získání dostatečného prostoru pro rozhodování o způsobu a rozsahu modernizačních zásahů.

Nutnost provádění urbanistického průzkumu je dána především komplexem vzájemně se prolínajících a doplňujících prací. [10]

## 4.2. Prohlídky mostních objektů pozemních komunikací

Prohlídka mostu, tedy objektu, který má kolmou světlost alespoň jednoho otvoru větší než 2,01 m, je povinen zajistit vlastník, respektive správce mostu a to u příslušné odborně způsobilé osoby.

Ke každému mostu náleží mostní list, což je tiskový výstup z elektronické mostní databáze. Obsahuje všechny důležité informace o konstrukci, jako je název mostu, označení, staničení, rok a předmět přemostění, základní části, rozměry mostu, případně šikmost mostu. Mostní listy se pravidelně aktualizují podle provedených změn, tak aby vždy odpovídaly skutečnému stavu objektu.

Základním způsobem ověřování stavu mostního objektu pozemních komunikací jsou vizuální metody, podpořené odbornými znalostmi a zkušenostmi vykonavatele prohlídky. V závislosti na stavebně technickém stavu se uváží nutné zkoušky a měření, kontrola geometrického tvaru, porovnání současného stavu s předchozími záznamy stavu mostu a výsledky sledování chování mostu.

Na mostech se provádějí následující prohlídky:

- běžné
- hlavní
- mimořádné
- kontrolní

[11]

### 4.2.1. Běžné mostní prohlídky

Běžná mostní prohlídka je zajišťována vlastníkem, případně správcem mostu. Jsou prohlíženy všechny přístupné části mostu a je sledována bezpečnost a použitelnost mostu. Výstupem běžné prohlídky vznikne návrh opatření, který je podkladem pro provedení běžné opravy mostní konstrukce, nebo lze pomocí běžné prohlídky stanovit návrh na provedení hlavní nebo mimořádné prohlídky.

Provádí se v následujících termínech:

- Jednou ročně u mostů s klasifikačním stupněm stavu I-III
- Dvakrát ročně u mostů s klasifikačním stupněm stavu IV-VII

[12]

#### **4.2.2. Hlavní mostní prohlídka**

První hlavní prohlídku nového nebo rekonstruovaného mostu je povinen zajistit investor. Při této prohlídce se most posuzuje z hlediska bezpečnosti provozu, kvality a úplnosti provedených prací. Ověřuje se, zda dokumentace odpovídá skutečnému stavu.

Při hlavní mostní prohlídce se ověřují všechny části mostu z hlediska bezpečnosti, únosnosti, použitelnosti a životnosti. Musí být zajištěn přístup ke všem částem konstrukce, případně provedené zásahy do konstrukce musí být předem konzultovány se správcem. Porovnává se celkový stav konstrukce a rozsah porušení, který nastal od poslední prohlídky.

Provádí se v následujících termínech:

- Maximálně po 6 letech u klasifikačního stupně stavu I-III
- Maximálně po 4 letech u klasifikačního stupně stavu IV
- Maximálně po 2 letech u klasifikačního stupně stavu V-VI

[11] [12]

#### **4.2.3. Mimořádná prohlídka**

Jak už z názvu prohlídky vyplývá, jedná se o prohlídku, která se provádí po mimořádných událostech, jako jsou živelné pohromy, po dopravní nehodě na mostě, nebo v podjezdu, pokud došlo k porušení nosných konstrukcí mostu. Dále také po vzniku důlních škod, které se vyskytují v bezprostřední blízkosti mostu, při nebezpečném oslabení konstrukce vlivem koroze či živočišných škůdců nebo v případě zjištění nebezpečných jevů za jízdy vozidel po mostu, a to například v případě, že projelo nadměrně těžké vozidlo s nákladem. V těchto případech se může provést zatěžovací zkouška mostu. [11]

#### **4.2.4. Kontrolní prohlídka**

Za kontrolní prohlídku zodpovídá příslušný silniční správní úřad v intervalech 4 až 6 let. Nezajišťuje ji však správce mostu. [11]

### **4.3. Diagnostický průzkum**

Diagnostický průzkum se obvykle skládá z kombinací jednotlivých metod. Tyto metody se dělí podle mnoha hledisek. Hlavní dělení je podle stupně poškození diagnostické konstrukce:

- nedestruktivní
- semidestruktivní
- destruktivní

#### **4.3.1. Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí**

Jak již z názvu vypovídá, tyto metody nemají za úkol konstrukci poškodit, pouze u některých tvrdoměrných zkoušených metod je potřeba povrch upravit zbroušením.

Zkoušení železobetonových konstrukcí se provádí na základě požadovaných vlastností:

- Vlastnosti betonu konstrukce (stejnorodost, pevnost, modul pružnosti, objemová hmotnost, mrazuvzdornost, vodotěsnost, vlhkost betonu, chemické vlastnosti, vlastnosti povrchových vrstev betonu)
- Vlastnosti ocelové výztuže (množství a uložení, krytí, koroze výztuže)
- Vlastnosti konstrukce (únosnost a ohybová tuhost při statickém zatížení, tuhost betonových vozovek při rázové zatěžovací zkoušce, vodotěsnost, mrazuvzdornost)
- Vady a poruchy (přítomnost a rozsah)

Nedestruktivní zkoušení se provádí některou z následujících metod:

- tvrdoměrné metody
- ultrazvuková impulsní metoda
- elektromagnetická metoda
- rezonanční metoda
- radiometrická metoda
- radiografická metoda
- georadar
- zkouška propustnosti povrchových vrstev pro vodu a plyn

### **Tvrdoměrné metody**

Jedná se o metodu zkoušení tvrdosti staviv a následného převedení na pevnost v tlaku za použití kalibračních vztahů. Mohou být vrypové, vtiskové a odrazové.

Mezi nejpoužívanější se řadí odrazová metoda, která pro zkoušení tvrdosti materiálu využívá Schmidtovy tvrdoměry. Schmidtovy tvrdoměry fungují na principu ověřování pouze povrchové tvrdosti, která se může lišit od pevnosti pod povrchem. Z tohoto důvodu je tuto metodu ve většině případů nutné doplnit semidestruktivní zkouškou pomocí jádrového vývrtu.

### **Ultrazvuková impulsní metoda**

Ultrazvuková impulsní metoda patří do skupiny elektrodynamických metod, kdy se zkoušejí vlastnosti stavebních materiálů a rovněž vlastnosti a poruchy dílců nebo celých konstrukcí. Jedná se o mechanické vlnění, které využívá frekvenci vyšší než 20 kHz, a jehož rychlost při průchodu stavebním materiálem je závislá jak na fyzikálně-mechanických vlastnostech materiálu, tak na poruchách přítomných v konstrukcích. Hlavní výhodou je, že se jedná o čistě nedestruktivní metodu, která je ale velmi citlivá na řadu vnějších faktorů.

Ultrazvuk umožňuje dva způsoby vyšetřování vlastností konstrukce či materiálu. První způsob stanovuje rychlost šíření ultrazvukového impulzu zkoumaným prostředím a umožňuje získat fyzikálně-mechanické vlastnosti materiálu a jeho případné defekty. Druhým způsobem je metoda odrazová. Ta zachycuje odraz ultrazvukového signálu od nehomogenity, defektu či jiného cizího tělesa v konstrukci.

### **Elektromagnetická metoda**

Metoda využívá principu elektromagnetického vlnění nebo vířivých proudů. Je vhodná při lokalizaci ocelové výztuže, v zásadě však pouze první vrstvy. Dále zjišťuje průměr nebo krytí kovových prutů v konstrukci. Pro tuto funkci převážně slouží elektromagnetické sondy.

Metoda mikrovlnná se používá k průzkumu dutin, kavern, komínů a jiných, málo přístupných míst.

Indukčnostní metoda je používána k měření posunů, pohybů a přetvoření na základě změny indukčnosti soustavy cívek způsobené změnou jejich magnetického odporu.

### **Rezonanční metoda**

Druhá velice důležitá metoda, která se řadí mezi elektrodynamické metody, které jsou založeny na snímání a vyhodnocování účinků mechanického vlnění, vyvolaného ve zkoušeném materiálu mechanickým podnětem.

Rezonanční metoda konkrétně stanovuje dynamický modul pružnosti.

### **Radiometrická metoda**

Radiometrická metoda umožňuje velmi rychle stanovit objemovou hmotnost a vlhkost stavebních materiálů a konstrukcí.

Princip stanovení objemové hmotnosti je založen na absorpci a rozptylu gama záření při jeho průchodu materiálem. Pokud je stále stejné geometrické uspořádání zářič – detektor, závisí zeslabení primárního záření pouze na objemové hmotnosti prozařovaného materiálu.

Princip měření objemové vlhkosti je založen na principu zpomalení rychlých neutronů na jádrech vodíku.

### **Radiografická metoda**

Radiografická metoda je používána ve stavebnictví všude tam, kde je nutno stanovit vnitřní strukturu konstrukcí a materiálu nedestruktivně. U železobetonových konstrukcí jde především o stanovení průběhu a množství ocelové výztuže ve vybraných průřezích. U konstrukcí, které využívají předpjatý beton, jde o stanovení průběhu, množství a kvalitu zainjektované předpínací výztuže.

Tato metoda využívá gama záření, které je při průchodu materiálem zeslabováno. Jako zářič obvykle slouží izotop Co-60. Zeslabení záření při průchodu způsobuje objemová hmotnost materiálu a jeho tloušťka. Ocelová výztuž zeslabí záření více než beton a tento jev je zaznamenán na radiografickém filmu formou světlejších stop, ze kterých je také možné přečíst průměr výztuže. Nevýhodou této metody je její dlouhý průběh a nutnost vyloučení pohybu osob v ochranném pásmu v okolí zářiče.

Vzhledem k zavedení přísných bezpečnostních předpisů týkajících se ochrany před zářením, se v současnosti již prakticky nepoužívá. [4]

### **Georadar**

Georadar vysílá vysokofrekvenční elektromagnetické pulzy a následně je přijímá a zaznamenává. Pomocí něj je možné vyhledávat výztuž, táhla, kovové a plastové potrubí, optické kabely, dutiny a dřeva ve vyzrálých betonových konstrukcích do hloubky až 300 mm. Posuzuje rovněž kvalitu a kontroluje vyztužení a předpínací kabely. Díky georadaru je vyhledávání nejbezpečnějších míst pro řezání a vrtání snadnější, protože udává polohu výztuže, neudává však její průměr. [13]

#### 4.3.2. Semidestruktivní zkoušení betonových konstrukcí

Metody semidestruktivního zkoušení poškozují konstrukci jen částečně, například vrtáním, odtrhy apod. Zkušební místa jsou volena s ohledem na statiku. Neměly by nepříznivě ovlivnit únosnost nebo stabilitu konstrukce.

Semidestruktivní zkoušení se provádí některou z následujících metod:

- jádrové vývrty
- sekané sondy
- odtrhové zkoušky
- naříznutí zděné stěny pro vložení plochých lisů při zkoušení
- kombinace vrtací zkoušky s údery vrtáků při stanovení pevnosti malty ve spárách zdiva
- brusné nebo vrtné metody stanovení pro pevnosti betonu
- vstřelovací metody pro určování pevnosti betonu z hloubky vstřeleného hřebu
- tvrdoměrné vnikající metody

#### Jádrové vývrty

Jádrové vývrty se odebírají z diagnostikované konstrukce ke stanovení vlastností staviva v době, kdy je prováděn průzkum na konstrukci. Velmi často jsou používány jako doplňková metoda pro upřesňování hodnot nedestruktivních zkoušek například Schmidtovými tvrdoměry. Samotný odběr se provádí pomocí vrtačky se speciálními dutými válci, které jsou na konci opatřeny tvrdokovovými nebo diamantovými břity. Vrtačka je upevněna v držáku, který umožňuje vrtat jak vodorovně, tak svisle. Břity jsou při odběru ochlazovány vodou. Průměry vrtáků jsou 25, 50, 100, nebo 150 mm.

Po vylomení z konstrukce se vývrt seřízne na požadovanou délku a jemně se zbrousí, aby protilehlé plochy byly rovnoběžné. Tyto vývrty ve velké většině případů slouží jako zkušební tělesa ke stanovení pevnosti v tlaku. Zkušební tělesa jsou krychle či válce o délce strany 100, 150, 200, 250, 300 mm, které jsou kontrolovány na míru zhutnění betonu a počet dutin. Velikost zrna kameniva by měla být větší než je 1/3 průměru vývrtu. V opačném případě je významně ovlivněna pevnost tohoto vzorku.

Z konstrukce by měl být odebrán takový počet vývrtů, aby vystihl její charakter. Vývrty by neměly být odebírány v bezprostřední blízkosti pracovních spár, na hraně prvku a také v místě velkého množství ocelové výztuže. Jádrový vývrt se ihned po vyjmutí z konstrukce popíše a zaznamená se, z jaké části byl odebrán.

### **Sekané sondy**

V případě, že je nutno ověřit soudržnost betonu s betonářskou výztuží, krytí betonu, druh, průměr a stav výztužných vložek, je vhodné na konstrukci provést sekanou sondu. Mechanicky se ve vhodném místě, tak aby nedošlo ke statickému porušení, odstraní krycí vrstva betonu a následně se realizuje sekání. V praxi se tato metoda obvykle používá jako doplňková k jiným metodám.

### **Odrhové zkoušky**

Odrhové zkoušky slouží ke stanovení přídržnosti povrchových vrstev na nosném podkladu (štěrky, omítky, nátěry). Podle nutnosti je možné provést odtrhy i do značných hloubek od povrchu. Zkouška přídržnosti se nejdříve provede pomocí vrtačky s jádrovým vrtákem proříznutím povrchové vrstvy. Průměr vrtáku odpovídá průměru použitého zkušebního terče. Povrch se řádně očistí a přilepí se na něj zkušební terč, který má obvykle průměr 50 mm. Tento terč je vyroben z oceli, případně lehkých slitin. Výška terče bývá 30 mm a terč musí být vždy vycentrován a přilepen celoplošně, aniž by lepidlo vniklo do spáry návrtu. Samotný odtrh terče je proveden při definované rovnoměrné rychlosti nárůstu napětí. Při odtržení se zaznamená nejvyšší hodnota tahové síly.

Další semidestruktivní zkoušky se používají pro stanovení cihelného střepu, malty, nebo zdiva jako jednoho celku.

#### **4.3.3. Destruktivní zkoušení betonových konstrukcí**

Tato metoda se využívá u konstrukcí, které jsou určeny k demolici. Znamená to, že při provádění zkoušky je překročen mezní stav únosnosti a konstrukce je vyloučena z provozu a jejího užívání.

Častěji se využívají destruktivní zkoušky z odebraných stavebních dílců z konstrukce, které se dále zkouší v laboratoři. Po provedení zkoušky je dílec již nepoužitelný a dochází k jeho recyklaci. [4]

#### **4.4. Diagnostický průzkum železobetonové konstrukce**

Při stavebně-technickém průzkumu železobetonové konstrukce, jehož hlavním smyslem je stanovení únosnosti konstrukce, je nejčastějším požadavkem stanovení pevnosti betonu v tlaku a vyztužení vybraných prvků konstrukce. Pro stanovení pevnosti betonu v tlaku se využívá metoda jádrových vývrtů v kombinaci s jinou nedestruktivní zkouškou, například Schmidtovým tvrdoměrem či ultrazvukem. Vyztužení konstrukce se stanoví kombinací georadaru, elektromagnetických indikátorů a sekaných sond.

##### **4.4.1. Stanovení pevnosti betonu v tlaku in-situ**

Nejdůležitější mechanická vlastnost betonu je pevnost betonu v tlaku. Bez dobré znalosti tohoto parametru je nemožné betonové konstrukce posuzovat ani navrhovat.

V případě určení pevnosti experimentálně za účelem zjištění výpočtových hodnot pro ověření jakosti materiálu nebo projektování, se mluví o pevnosti technické. Na základě teorie pravděpodobnosti je určena pevnost statická. Ta zajišťuje spolehlivost konstrukce i bez znalosti skutečných pevností v konstrukci.

Charakteristická pevnost betonu v tlaku je definována hodnotou, pod kterou lze očekávat nejvýše 5 % ze všech možných výsledků zkoušek základního souboru daného betonu. Pevnost se stanoví buď na krychlích s délkou hrany 150 mm jako  $f_{ck,cube}$  nebo na válcích 150/300 mm jako  $f_{ck,cyl}$  a to ve stáří 28 dní od vyrobení vzorků. U zatvrdlých betonů se odebírají vzorky pomocí jádrové vrtačky standardně o průměru 50, 75, 100, 150 nebo 200 mm. Zkouška musí prokázat, že stanovená charakteristická pevnost betonu v tlaku vzorku je stejná nebo vyšší než je minimální charakteristická pevnost pro danou pevnostní třídu. [6]

### Charakteristická pevnost betonu v konstrukci ČSN ISO 13822

Charakteristickou pevnost betonu v konstrukci ze zkoušek na jádrových vývrtech lze v současnosti stanovit dle ČSN ISO 13822, kde je uveden obecný postup pro všechny druhy materiálů. Tato norma doporučuje provést pro známé betonové konstrukce minimálně 3 až 6 zkoušek. Pokud o sledované konstrukci nemáme spolehlivé informace, například jestliže se jedná o průzkum staré konstrukce, je konstrukce brána jako neznámá a počet vzorků by tak měl být vyšší.

Z výsledků  $n$  zkoušek  $x_1, x_2, \dots, x_n$  materiálové vlastnosti  $X$  se stanoví průměr  $m_x$ , směrodatná odchylka  $s_x$ , a variační součinitel  $V_x$ , podle následujících vztahů:

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n}; \quad s_x^2 = \frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n - 1}; \quad V_x = \frac{s_x}{m_x}$$

Za předpokladu normálního rozdělení materiálové vlastnosti  $X$  se pak charakteristická hodnota  $X_k$  (dolní 5% kvantil) stanoví ze vztahu:

$k_n$  součinitel pro stanovení 5% kvantilu, který je uveden v tab. 2

Tab. 2: Součinitele  $k_{n,x}$  pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty) [II]

Počet $n$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$k_{n,x}$ pro $V_x$ známý	2,31	2,01	1,89	1,83	1,80	1,77	1,74	1,72	1,68	1,67	1,64
$k_{n,x}$ pro $V_x$ neznámý	-	-	3,37	2,63	2,33	2,18	2,00	1,92	1,76	1,73	1,64

Variační součinitel  $V_x$  lze považovat za známý, jestliže to ukazují dlouhodobé zkušenosti získané za stejných podmínek.

### Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku v konstrukci dle ČSN EN 13791

Norma ČSN EN 13791 je zaměřena na stanovení pevnosti betonu v konstrukci a měla by být využívána spíše u “nových” konstrukcí. Ke stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci by se s ohledem na zabezpečení potřebné spolehlivosti mělo vyzkoušet co největší množství vývrtů, přičemž z jednotlivého prvku to musí být minimálně 3 vývrty. Pro posouzení shody se uvádí tato kritéria:

Kritérium A (pro nejméně 15 vývrtů)

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - 1,48s \qquad f_{ck, is} = f_{is, nejmensi} + 4$$

Při posudku platí menší z obou výsledných hodnot. Zároveň musí být ověřeno, zda se jedná o normální rozdělení. Jestliže se neprokáže, že soubor výsledků má normální rozdělení, má se provést nové hodnocení, a to například tak, že se soubor rozdělí na dvě části.

Kritérium B (pro 3 až 14 vývrtů)

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k \qquad f_{ck, is} = f_{is, nejmensi} + 4$$

Při posudku platí menší z obou výsledných hodnot. Pokud výsledek je značně na straně bezpečné, doporučuje se odebrat více vývrtů.

V kritériích:

$f_{ck, is}$	je charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci
$f_{m(n), is}$	je průměrná pevnost betonu v tlaku stanovená na $n$ počtu vývrtů
$f_{is, nejmensi}$	je nejmenší pevnost zjištěná na vývrtech
$s$	je směrodatná odchylka pevnosti vývrtů; pokud je menší než 2,0 MPa, dosadí se hodnota 2,0 MPa.
$k$	je součinitel závislý na počtu vývrtů $n$ (pro 3 - 6 vývrtů $k=7$ , pro 7 - 9 vývrtů $k=6$ , pro 10 - 14 vývrtů $k=5$ ).

Tab. 3: Minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku dle ČSN EN 13791 [II]

Pevnostní třída betonu dle ČSN EN 206-1	Poměr charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci k charakteristické pevnosti betonu v tlaku normových těles	Minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci N/mm <sup>2</sup>	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C8/10	0,85	7	9
C12/15	0,85	10	13
C16/20	0,85	14	17
C20/25	0,85	17	21
C25/30	0,85	21	26
C30/37	0,85	26	31
C35/45	0,85	30	38
C40/50	0,85	34	43
C45/55	0,85	38	47
C50/60	0,85	43	51

ČSN EN 13791 požaduje pro splnění požadavku na projektovanou pevnost betonu dosažení v konstrukci pouze 85 % charakteristické pevnosti na normových tělesech. Hodnoty charakteristické pevnosti in-situ jsou uvedeny v tab. 3. [14]

#### 4.5. Statický výpočet

Jsou-li zjištěny základní příčiny degradace konstrukce, je nutné ještě zajistit statické posouzení konstrukce. Při statickém výpočtu se posuzuje:

- stávající zatížitelnost objektu
- možnost zvýšení zatížitelnosti po provedené opravě či rekonstrukci
- určení zbytkové životnosti v návaznosti na další degradaci konstrukce

V závislosti na výsledky statického výpočtu jsou navržena případná okamžitá omezení provozu na mostě. [11]

#### 4.6. Vyhodnocení a návrh případných opatření

Výsledky provedených průzkumů, měření a statického posouzení slouží jako podklad pro návrh variant případné opravy nebo rekonstrukce mostu. Konečný návrh obsahující realizaci způsobu opravy mostu je pak ten, který obsahuje nejekonomičtější řešení s ohledem na optimální využití daného rozpočtu správce mostu. [11]

#### **4.7. Závěrečná zpráva**

Jedná se o zhodnocení konstrukce, které běžně zahrnuje všechny provedené pracovní fáze.

Výstupem diagnostického průzkumu je vždy zpráva, která musí obsahovat minimálně tyto základní údaje:

- popis primárních závad včetně určení příčin a jejího dalšího vývoje
- ohodnocení stavu konstrukce
- doporučení případných opatření a potřebné údržby
- výsledky statického výpočtu zatížitelnosti
- přehlednou fotodokumentaci

Součástí by mělo být také přiložené schéma se zakreslením zkušebních míst a odběru vzorků. Zároveň se v této fázi určí zbytková životnost mostu s ohledem na všechna získaná fakta. Bývá zvykem napsat doporučení termínů dalších prohlídek konstrukce. [11]

## Praktická část

Každá doba má svá specifika, kdy je velká pozornost věnována nějaké problematice způsobené selháním konstrukce. Současnost tak není výjimkou. Navazuje na trend předchozích dob a je věnována průzkumům mostů nejen předpjatých, ale i železobetonových.

V minulém století nastal v mostním stavitelství velký rozmach využívání předpětí, přičemž problémy předpjatých konstrukcí se projevují až v dnešní době. Nejedná se pouze o problémy konstrukční, ale ve velké míře je podceňována údržba mostů, která následně může způsobit selhání konstrukce.

V tento moment přichází do popředí obor diagnostiky a stavebního zkušebnictví. Stanovují se fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu, hledá se poloha výztuží, průměr výztuží, míra koroze betonu a výztuže a spousta dalších důležitých informací, které slouží ke zjištění stavu konstrukce.

Průzkumy mohou být prováděny z mnoha různých důvodů. Jedním z možných je doplnění chybějících informací o stávající konstrukci. Tohle je přesně případ, kterým se zabývá praktická část diplomové práce. Byla provedena upřesňující diagnostika dvou na sobě nezávislých mostů.

## 5. Most v Bohuňově

### 5.1. Stanovení vyztužení železobetonové desky

Most v Bohuňově byl vystavěn v roce 1997, z téhož roku také pochází Mostní list, kde jsou zaznamenány údaje o objektu, například kde se konkrétně most nachází a to včetně staničení a čísla silnice, konstrukční rozměry mostu, zatížitelnost mostu či návrh druhu vozovky.

Ve stejném roce byla provedena první hlavní prohlídka, která se zabývala především podrobným popisem mostu - jsou popsány základy mostních opěr, z jakého betonu byly vybudovány, dále je popsána tloušťka nosné konstrukce, ložiska a mostní závěry, popis mostního svršku a mostní vybavení. Spis „První hlavní prohlídka“ je věnován také stavu a závadám částí mostu, které je závěrem doporučeno odstranit do 5 let.

Pravidlem bývá stanovení průběžných kontrolních prohlídek mostů. V tomto konkrétním případě byl termín další hlavní prohlídky stanoven na prosinec 2002.

K dispozici je také dokument „Běžná prohlídka“ ze srpna 2016. Ten se věnuje závadám konstrukce, které v celkovém součtu nejsou nijak fatální, ale byla nalezena drobná poškození, která je nutné odstranit do 1 roku.

V dubnu 2017 byl proveden stavebně-technický průzkum mostu, který byl zaměřen zejména na riziko elektrochemické koroze výztuže a mrazuvzdornost konstrukcí opěr.

Současně byly stanoveny fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu nosných prefabrikovaných nosníků a konstrukcí spodní stavby. Bylo zjištěno, že elektrochemická koroze betonářské výztuže je minimální, stejně jako riziko elektrochemické koroze v důsledku působení chloridových iontů. U konstrukcí spodní stavby je hloubka karbonatace výrazně vyšší, avšak je vyšší také krycí vrstva betonu nad výztuží, riziko elektrochemické koroze výztuže je i zde minimální. Zásadními problémy jsou trhliny v opěře mostu a vnikání vody do konstrukce vozovky a zatékání na úložný práh. Trhlina vznikla v důsledku nežádoucího působení nosné konstrukce na úložný práh. Konstrukce je v půdorysném oblouku a vytváří tak příčný sklon. Účinky silového, teplotního a jiného zatížení jsou tak přenášeny do hrany úložného prahu. V závěru zprávy je doporučeno opatření, které by prodloužilo životnost stavby. Je nutné zvážit výměnu mostních závěrů a hydroizolačních vrstev. Pro opravu velké trhliny v opěře je nutné srazit hranu mostní konstrukce tak, aby nosná konstrukce nezatěžovala nevhodně opěru. Následně je nutné trhlinu sešít a vyplnit injektáží.

Další dokument popisující stavbu je Technická zpráva z června 2018, která již reaguje na stavebně technický průzkum a uvádí, jaká opatření budou provedena. Jedná se o sešití a přikotvení opěry trny a následné vyplnění trhliny injektáží. Dále bude provedena sanace zbytkové plochy opěr. Co se týče problému zatékání spodního líce nosné konstrukce mostovky, ten bude očištěn, ošetřen nátěrem proti korozi a nátěrem s hydrofobizačním účinkem. Bude odfrézována stávající asfaltová vrstva až na horní líc nosné konstrukce a to z důvodu provedení hydroizolace v podobě modifikovaného asfaltovaného pásu a následně položena nová asfaltová vrstva v jednostranném sklonu 6 %. Po navrhovaných stavebních úpravách je předpoklad prodloužení původní životnosti mostu.

Pro realizování návrhu z předešlé zprávy je nutné provést statický výpočet zatížitelnosti mostní konstrukce. K tomu je však nutné znát vyztužení mostovky. I přesto, že byly provedeny průzkumy stavby, nikde není informace o vyztužení spodního líce mostní desky. Proto byla provedena upřesňující diagnostika, kdy bylo nutné provést identifikaci polohy, způsob a profily vyztužení železobetonové desky mostu ve vybraných řezech. [15] [16] [17] [18] [19]

### 5.1.1. Základní popis konstrukce

Byl proveden diagnostický průzkum jednopolevého mostu, který byl dle dostupného mostního listu realizován v roce 1997. Most v extravilánu převádí silnici II. třídy přes koryto říčky.

Mostní opěry a křídla se železobetonovými úložnými prahy jsou plošně založeny. Opěry na monolitických betonových deskách a křídla na betonových rýhách betonu B10. Mostní křídla jsou rovnoběžná s osou vozovky.

Nosná konstrukce je realizována jako monolitická železobetonová deska tloušťky 500 mm z betonu B40 vyztužená ocelovou výztuží 10 505. Z důvodu velké šikmosti mostu jsou krajní pásy zesíleny na 580 mm. Rozpětí mostu je 13,00 m a volná šířka mostu, tedy vzdálenost mezi svodidly 8,50 m. Stavba se nachází v mírném půdorysném oblouku se šikmostí 42,0<sup>o</sup>. Celá mostovka je uložena na pásech SKLOBIT.

Na obou stranách mostu jsou osazeny monolitické římsy s lícními prefabrikáty KCL 450, do nichž je zakotveno ocelové zábradelní svodidlo.

Odvodnění mostu je řešeno pomocí podélného a příčného sklonu vozovky. [15]  
[16]



Obr. 6: Pohled na most v protisměru staničení [F]



*Obr. 7: Pohled na návodní stranu mostu [F]*

### **5.1.2. Použité metody průzkumu**

Z důvodu doplnění předešlých technických průzkumů objektu byl proveden diagnostický průzkum mostu, kdy bylo požadováno stanovení vyztužení desky mostu od spodního líce ve středu desky (ve středu rozpětí) a při opěře.

Vzhledem k typu konstrukce byly pro stanovení polohy výztuže zvoleny nedestruktivní metody georadaru a elektromagnetického indikátoru. Jako doplňková metoda byla zvolena semidestruktivní sekaná sonda, která slouží k ověření soudržnosti betonu s betonářskou výztuží, krytí, druhu, průměru a stavu použitých výztužných prutových vložek.

#### **Georadar Hilti PS1000 X-SCAN**

V současné době rostou v diagnostice požadavky na co možná nejpřesnější, hlavně poměrně rychlé a nedestruktivní metody. Z tohoto důvodu dochází k výraznému rozvoji a rozšíření uplatnění této technologie. Georadar je metoda, která pracuje na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů (řádově stovky MHz až jednotky GHz) do zkoumaného prostředí a následně registraci jejich odrazů od podpovrchových částí konstrukce. Radar vysílá do zkoumaného prostředí elektromagnetické vlny, které kmitají ve tvaru sinusoidy. Část vln je tímto prostředím a nehomogenitami pohlcena, část odražena a zbytek se dále šíří. Jakmile vlna narazí na nehomogenitu, dojde vlivem náhlé změny prostředí k odrazu částí vln zpět k přístroji, který

tyto vlny pomocí antén zachytí. Informaci o zaznamenaných vlnách přístroj posílá do centrální jednotky, kde se počítají časové prodlevy vrácených elektromagnetických vln. Výsledky se exportují do grafické podoby na displej přístroje, případně do počítače.

Metoda georadaru je známá desítky let, avšak její aplikace byla primárně využívána v geotechnickém a archeologickém oboru. Důvodem je fakt, že radar nebyl primárně určen pro měření železobetonu, a proto výsledky nebyly zcela korektní a vyhodnocení bylo velmi komplikované. Využití standardních georadarů v oblasti diagnostiky železobetonu dosáhlo v minulých desetiletích svého vrcholu, kdy byl georadar doplněn vodícím rámem s automatickým posunem, který postupně skenuje povrch konstrukce v řadě řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Výsledkem pak bylo 3D skenování konstrukce. Tato metoda však byla určena pro velké plochy konstrukce a její instalace byla poměrně komplikovaná.

S příchodem nového přístroje od výrobce vrtací techniky a magnetických indikátorů výztuže nastal zásadní přelom v používání georadarů. Hilti PS1000 X-SCAN byl vytvořen na základě potřeb a schopností techniků provádějících diagnostiku konstrukcí v terénu. Ve standardním betonu využívá frekvenci kolem 1,5 GHz do hloubky 300 mm ± 10 mm. Přístroj je osazen trojicí radarových antén a je schopen hledat výztuž i ve více vrstvách. Nevýhodou georadaru je, že v případě lokalizace ocelové výztuže není zařízení schopné určit průměr lokalizované výztuže, ten je nutný určit pomocí jiné doplňující metody. Pohyb po konstrukci je možný pomocí čtyř pojezdových koleček sondy, přičemž podmínkou je, že se musí točit alespoň jedno z nich. Liniový sken může být prováděn v délce až 10,00 m, plošný sken pak v ploše 600 x 600 mm nebo jejího dvojnásobku, tedy 1 200 x 1 200 mm. U plošného skenu se lepí na povrch konstrukce papírové šablony s rastrem pojezdů sondou. [20] [21]



Obr. 8: Radar HILTI PS1000 X-SCAN [D]



Obr. 9: Ukázka plošného měření radarem [F]

### **Elektromagnetický indikátor výztuže profometr PM-630**

K dalším často používaným nedestruktivním metodám patří také využití elektromagnetických indikátorů výztuže. Nejčastěji je k diagnostice přizvána z důvodu schopnosti lokalizování výztuže a jejího množství v diagnostikované konstrukci. Ověřuje se, zda je přítomná výztuž, jestli se nachází na správném místě, nebo v případě, že je známý druh výztuže, tak i krycí vrstva betonu. Obvykle se jedná o existující konstrukce, od nichž se ztratily plány.

Omezujícím faktorem je ovlivňování sousedních výztuží, případně výztuž ve více rovnoběžných vrstvách. Rovněž nelze zjistit druh ani míru koroze výztuže. Průměr výztuže lze pouze odhadnout a to při dodržení určitých podmínek. Musí být dodržena hloubka 50 mm, vzdálenost sousedních výztuží, a to i ve druhém směru.

Vlastní konstrukce je tvořena sondami (vyhledávací hlava) a elektrickými obvody, které generují jak signál pro buzení vyhledávací hlavy, tak vyhodnocují přijímaný signál. Vyhledávací hlavy mohou obsahovat jednu nebo i více cívek buzených časově proměnným elektrickým proudem. Cívky generují v čase proměnné primární magnetické pole, které proniká ke kovovému cíli - výztuži. Primární magnetické pole je výztuží deformováno a vzniká tak sekundární elektromagnetické pole, které působí na přijímací cívku vyhledávací hlavy a indukuje v ní elektrické napětí, které je dále zpracováváno

a vyhodnoceno elektronickými obvody. Elektromagnetické indikátory vyhodnocují změnu magnetického odporu magnetického obvodu.

Profometr PM-630 od firmy Proceq patří mezi špičkové přístroje v tomto oboru. Kromě všech výše zmíněných vlastností vyniká profometr šesté generace také bezdrátovým přenosem dat, což usnadňuje měření. Maximální detekční hloubka přístroje je 220 mm. V tomto případě využívá pouze liniový sken. Konstrukce je pro rovnoměrný záznam opatřena takzvaným vozíčkem se čtyřmi kolečky. Kromě tradiční zvukové signalizace je přímo na sondě i světelná signalizace, která usnadňuje lokalizaci výztuže. Je tedy vhodný spíše pro větší plošné prvky.

V rámci průzkumu byl přístroj profometr PM-630 použit k lokalizaci výztuže. [22]



Obr. 10: Profometr PM-630 [E]

### **Sekaná sonda**

Sekaná sonda byla použita jako doplňková zkušební metoda k oběma výše zmíněným metodám, a to zejména z důvodu nemožnosti určit typ jednotlivých výztuží, jejich míry koroze a upřesnění odhadnutého průměru výztuže. Tato metoda bývá provedena s ohledem na velikost konstrukce a nezbytně nutný rozsah zásahů do konstrukce.

Výhodou sekaných sond je nízká cena a přesnost naměřených údajů, protože vizuální pohled je nejspolehlivější prostředek průzkumu. Po ukončení průzkumu je nutné místo řádně zapravit, aby nedošlo k možnému působení nežádoucích vlivů prostředí.



*Obr. 11: Ukázka sekané sondy [F]*

### 5.1.3. Rozmístění sond

Na základě požadavku statika byla diagnostika konstrukce provedena v předem daných místech.

**Georadarové skeny** byly realizovány ve dvou lokálních sondách R1 a R2.

Sonda R1 byla zvolena ve spodním líci přibližně uprostřed železobetonové mostní desky (ve středu šířky mostu a 4200 mm od levobřežní opěry). Sonda R2 byla také zvolena ve spodním líci železobetonové mostní desky u pravobřežní opěry cca 6 m od okraje mostní desky na povodní straně mostu.

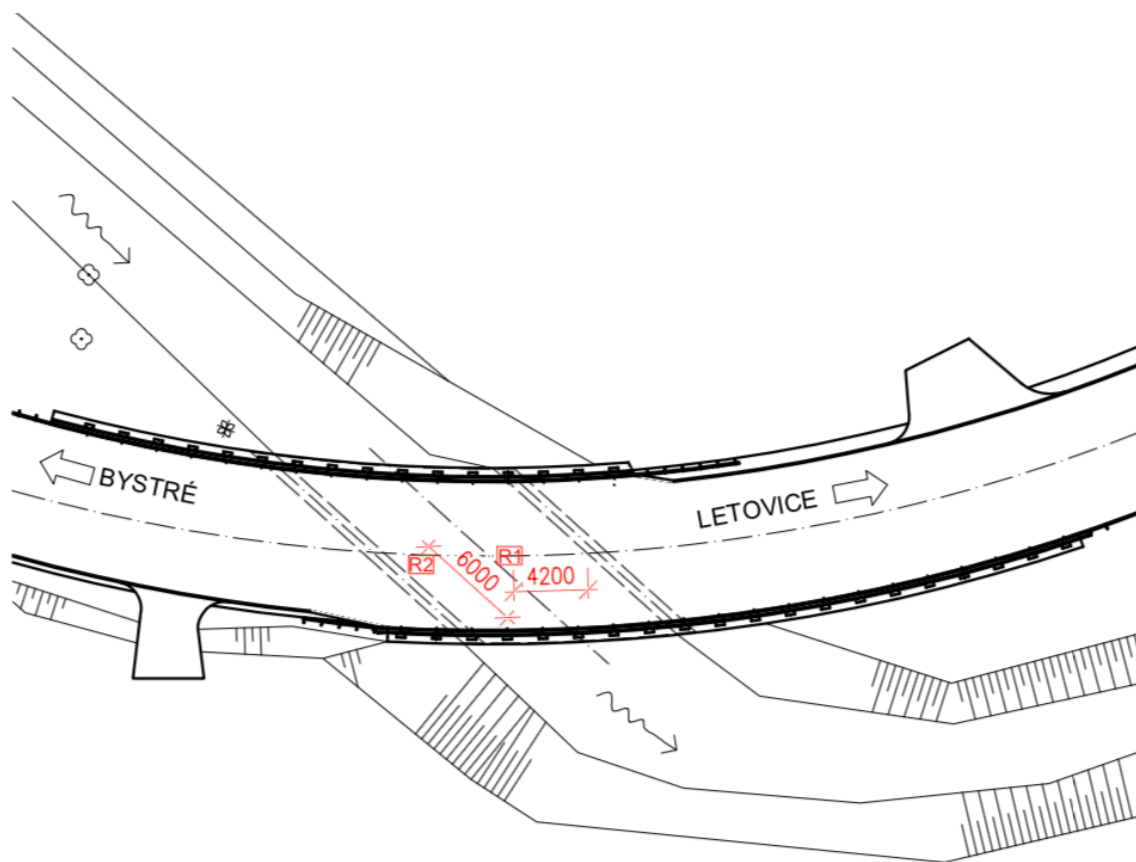


Obr. 12: Provádění georadarového skenu v místě sondy R1 [F]



Obr. 13: Provádění georadarového skenu v místě sondy R2 [F]

## SCHÉMA PŮDORYSU MOSTU



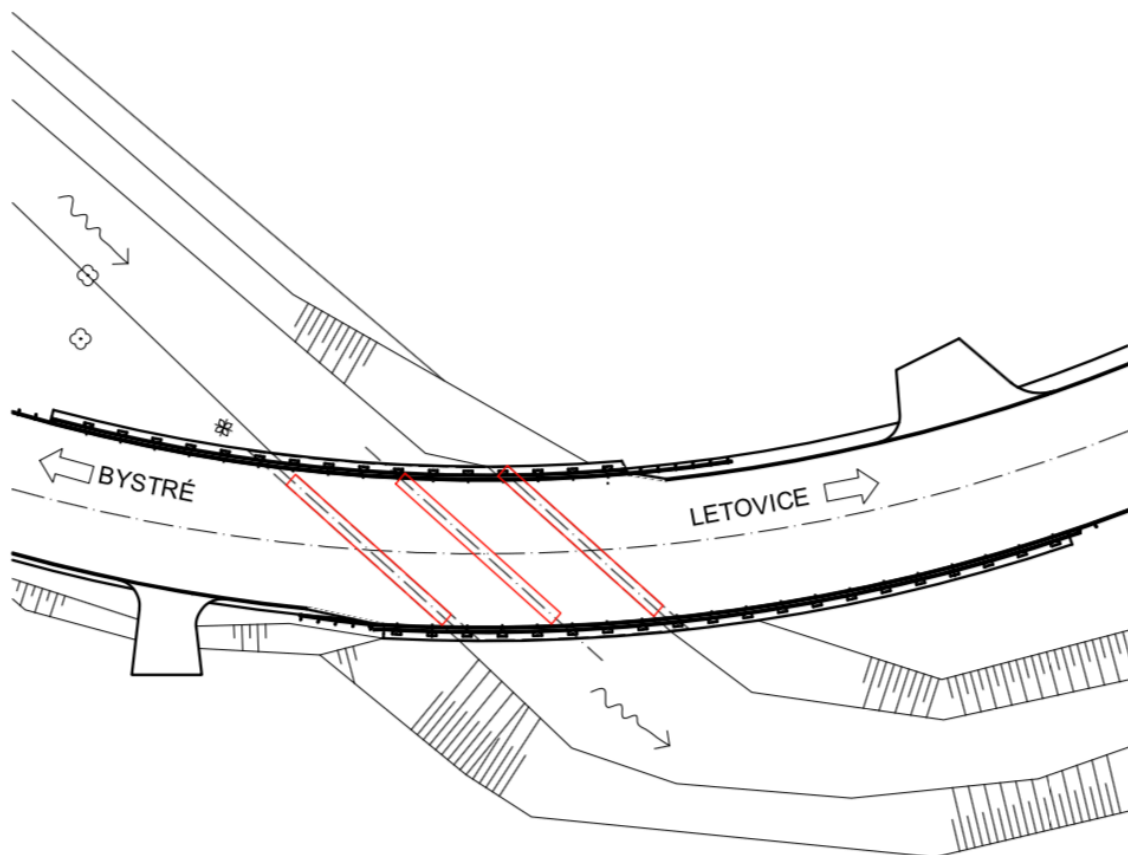
Obr. 14: Schéma umístění sondy R1 a R2 [C]

**Liniové skeny elektromagnetickým indikátorem** byly realizovány ve středu rozpětí dolního líce mostovky a při opěře mostu a to vždy v celé délce příčného řezu.



*Obr. 15: Provádění liniového skenu elektromagnetickým indikátorem [F]*

## SCHÉMA PŮDORYSU MOSTU

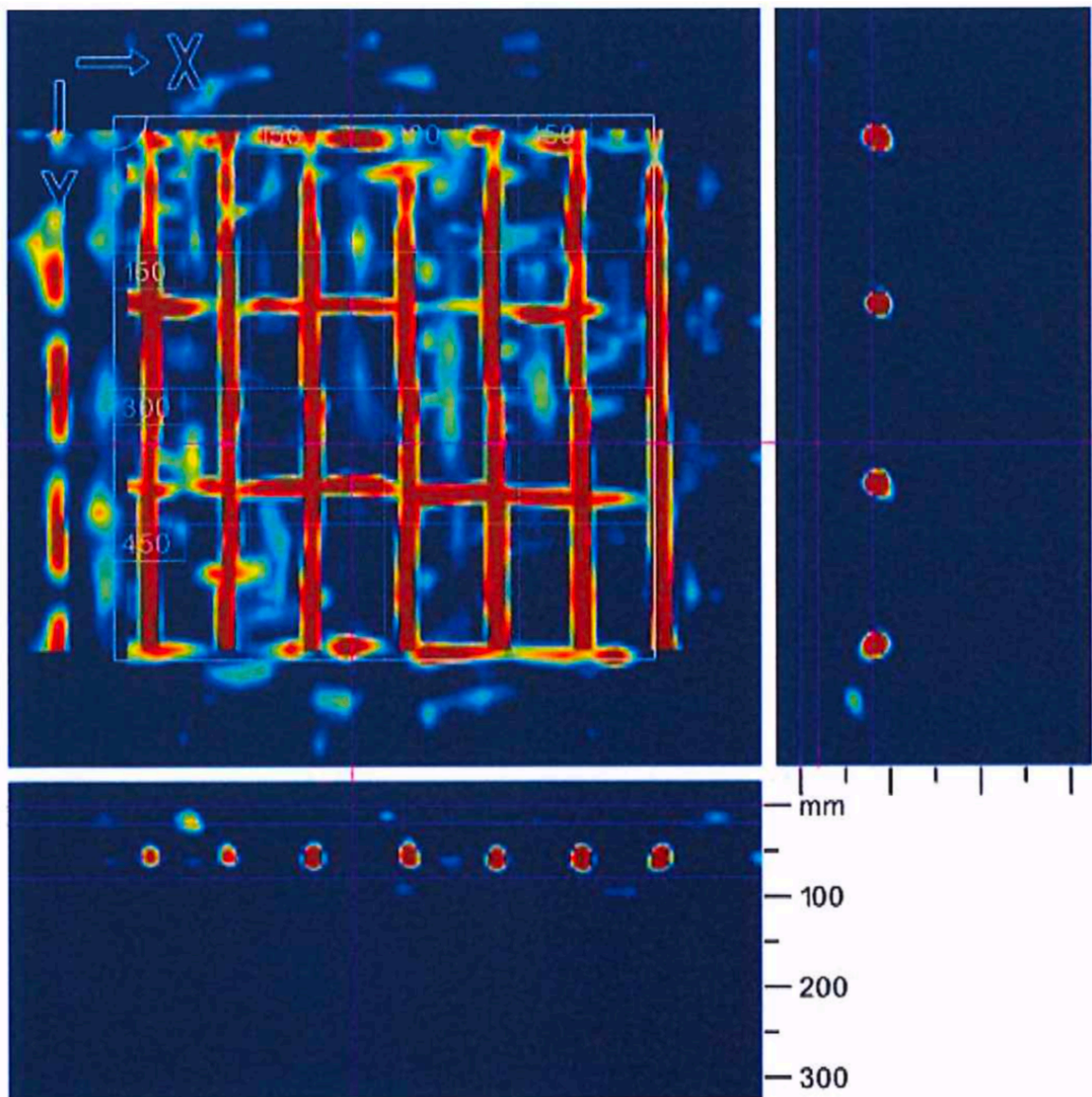


Obr. 16: Schéma umístění skenu elektromagnetickým indikátorem [C]

#### 5.1.4. Výsledky průzkumu

##### Sonda R1

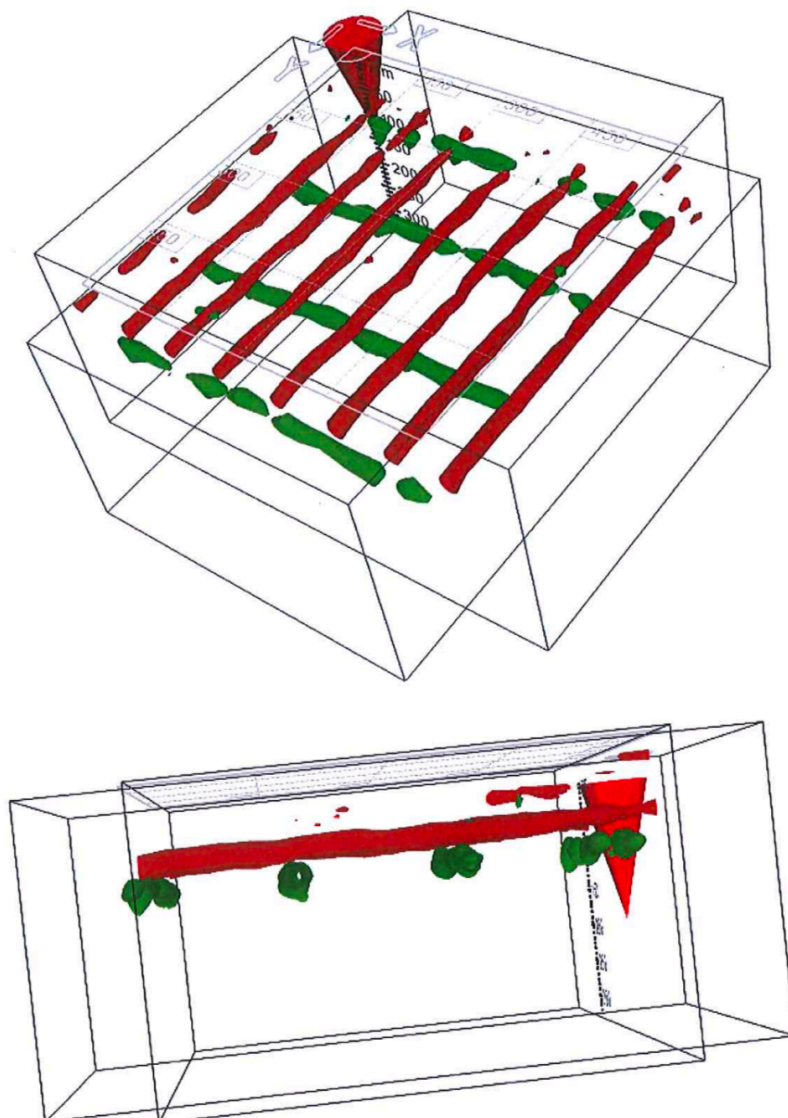
V místě sondy byl pro stanovení polohy hlavní i rozdělovací výztuže proveden pomocí georadaru Hilti PS 1000 plošný sken o ploše 600 x 600 mm. Zároveň bylo v tomto místě provedeno liniové měření elektromagnetickým indikátorem Proceq PM-630 a následně sekanou sondou.



Obr. 17: Plošný radarový sken [G]

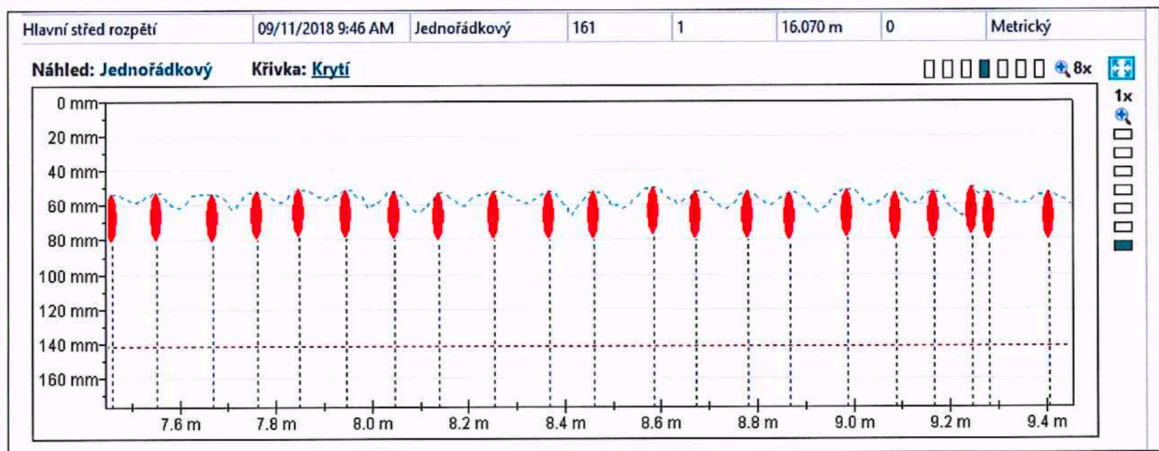
Vztažný bod, který se na skenu nachází vlevo nahoře, byl umístěn doprostřed šířky mostu a cca 4,50 m od levobřežní opěry. Ze skenu také vyplývá rozmístění výztuží. Hlavní výztuž (svislý směr) je v konstrukci rozmístěn po cca 95 mm s krytím 50 - 60 mm. Rozdělovací výztuž (vodorovný směr) má průměrnou rozteč 190 mm s krytím cca 80 mm.

Radarový sken je shodný s předchozím obrázkem, jen je převeden do 3D obrazu s různým natočením. Je zde lépe vidět pravidelnost rozmístění výztuže i její krytí. Hlavní výztuž je zobrazena červenou a rozdělovací zelenou barvou.



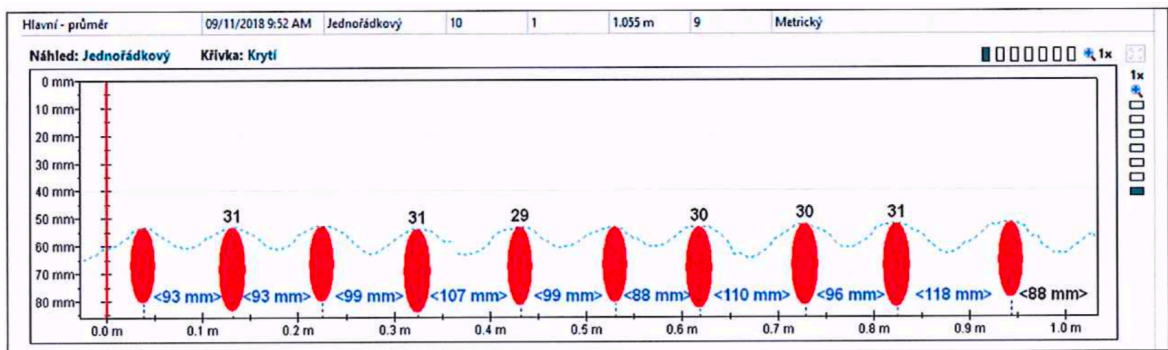
Obr. 18: Radarový sken ve 3D [G]

Liniový sken (viz obr. 16) dokládá rozmístění hlavní výztuže v úseku měření. Výztuž je rozmístěna poměrně pravidelně průměrně po 100 mm, což potvrzuje předešlé měření georadarem.



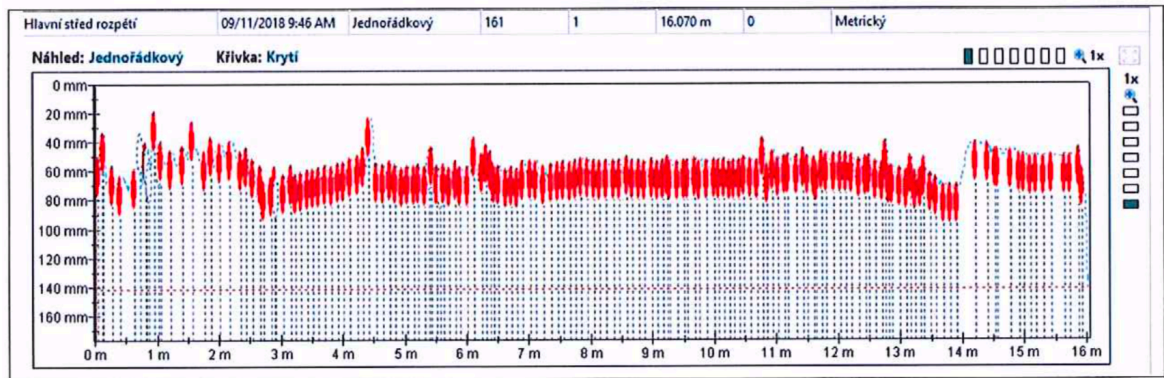
Obr. 19: Liniový sken elektromagnetickým indikátorem [H]

Průměr prutů byl pomocí profometru PM-630 odhadnut na 29 až 31 mm. Nejbližší průměr výztuže dolní hranice odhadu přístroje je 28 mm. Tato hodnota byla následně potvrzena sekanou sondou.



Obr. 20: Odhad průměru hlavní výztuže [H]

Sken začíná na povodní straně mostu a jde přes místo sondy R1 až k návodní straně mostu. Z liniového skenu vyplývá, že vyztužení mostu je různé. Celková šířka je 16,00 m, přibližně od 3,00 do 14,00 m je vyztužení shodné a pravidelné. Hlavní výztuž je zde rozmístěna po 100 mm s krytím 50 - 60 mm. Krajní části mostu mají rozmístění i krytí různé.



Obr. 21: Znárodnění rozložení hlavní výztuže uprostřed rozpětí po celé šířce mostu [H]

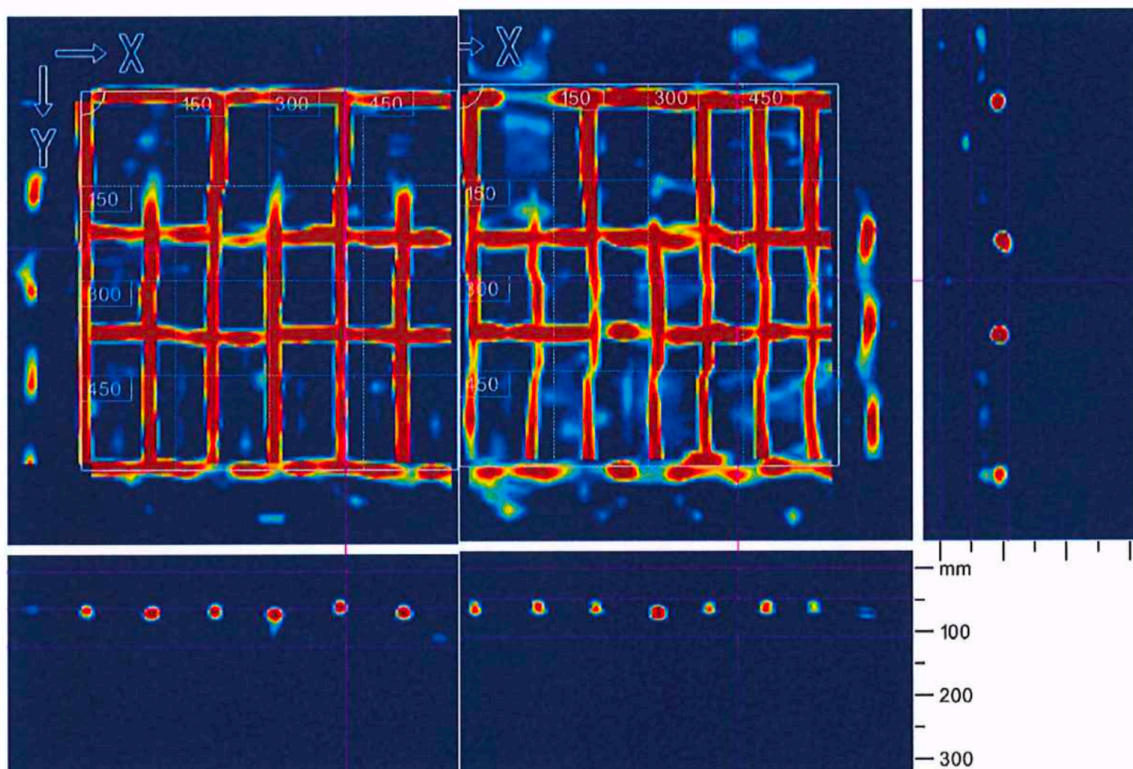
Sekanou sondou byl určen typ výztuže. Jedná se o výztuž značky V, což je ocel třídy 10 505. Byl také potvrzen průměr hlavní výztuže 28 mm s krytím betonu v místě sekané sondy 54 mm. Rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 25 mm s krytím 80 mm.



Obr. 22: Detail sekané sondy R1 [F]

## Sonda R2

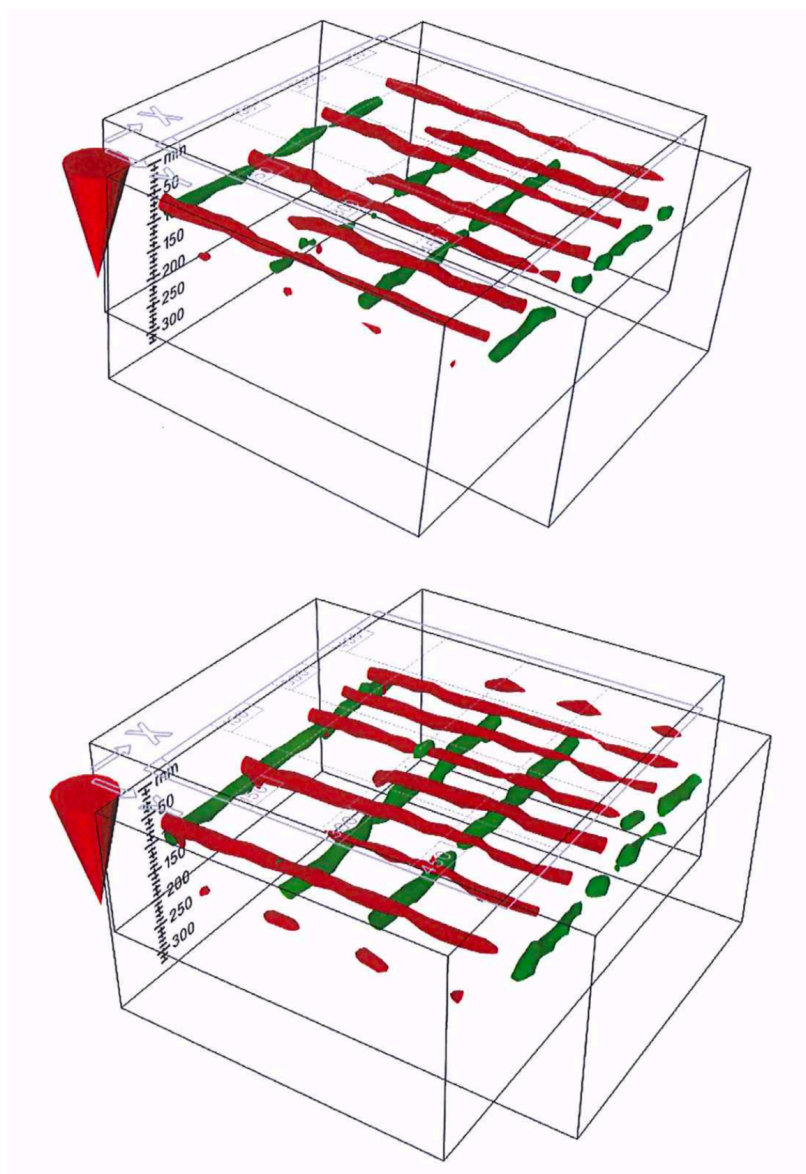
V místě sondy byly pro stanovení polohy hlavní i rozdělovací výztuže provedeny pomocí georadaru Hilti PS 1000 dva plošné skeny o ploše 600 x 600 mm. Zároveň bylo v tomto místě provedeno liniové měření elektromagnetickým indikátorem Proceq PM-630.



Obr. 23: Složená dvojice plošných radarových skenů [G]

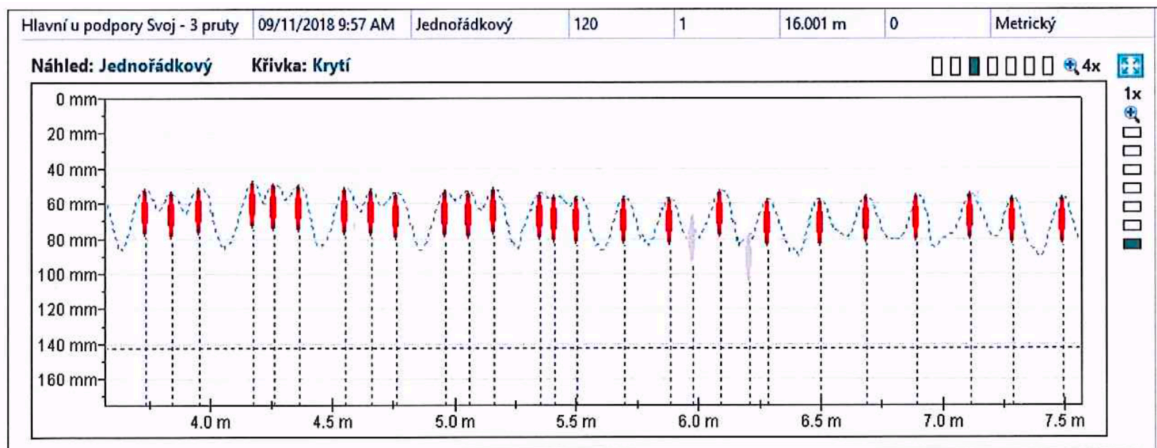
Vztažný bod, který se na skenu nachází vlevo nahoře, byl umístěn cca 200 mm od líce pravobřežní opěry, střed skenu se nacházel cca 6,00 m od povodního okraje mostní desky. Ze skenu také vyplývá rozmístění výztuží. Hlavní výztuž (svislý směr) je v konstrukci rozmístěna po cca 95 mm s krytím 50 - 60 mm. Rozdělovací výztuž (vodorovný směr) má průměrnou rozteč 190 mm s krytím cca 80 mm. Je zde patrné, že ve střední části mostu se ohýbá každá druhá hlavní výztuž ve vzdálenosti cca 350 mm od líce opěry, zatímco v krajní části, od okraje desky přibližně 5700 mm, se ohýbá každá čtvrtá výztuž.

Radarový sken je shodný s předchozím obrázkem, jen je převeden do 3D obrazu s různým natočením. Je zde doložena poloha ohybů hlavních výztuží. Hlavní výztuž je zobrazena červenou a rozdělovací zelenou barvou.



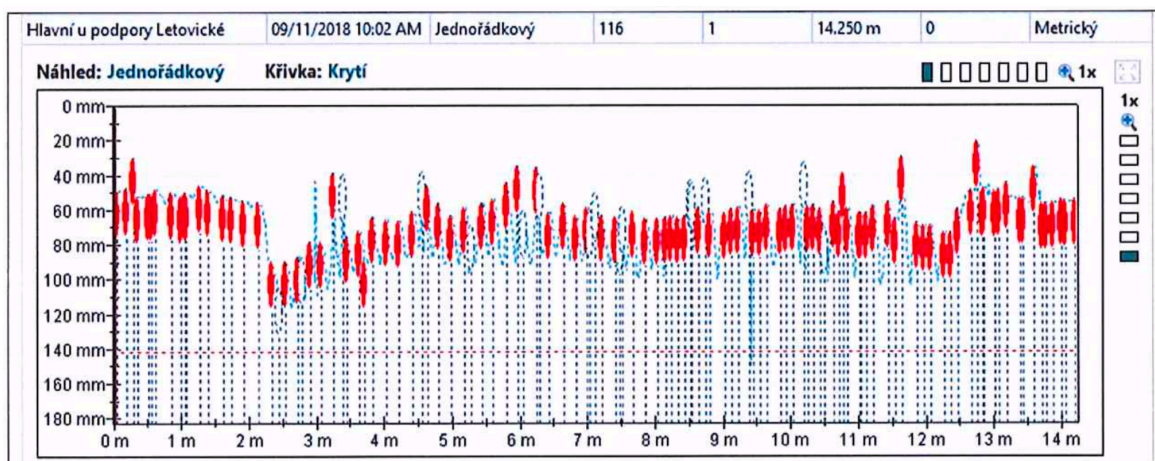
Obr. 24: Radarový sken ve 3D [G]

Liniový sken z obr. 23 byl měřen cca 0,40 m od uložení pravobřežní opěry. Je zde ukázáno, že směrem od povodní strany jdou 3 pruty do podpěry a každý 4. prut se ohýbá směrem nahoru, kdežto přibližně 5,50 až 6,00 m dál směrem k návodní straně se ohýbá každý druhý prut.



Obr. 25: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry OP1 [H]

Liniový sken byl měřen cca 0,40 m od uložení levobřežní opěry. Je zde ukázáno, že směrem od povodní strany se ohýbá každý druhý prut, zatímco přibližně od poloviny šířky mostu směrem k návodní straně se ohýbá každý čtvrtý prut. Jde tedy o zrcadlově obrácenou situaci oproti stavu u opěry OP1.



Obr. 26: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry OP2 [H]

### 5.1.5. Závěr diagnostiky mostu

Důvodem provedení diagnostiky mostu v Bohuňově bylo stanovení vyztužení železobetonové mostní desky od spodního líce ve středu desky a při opěře.

Georadarem Hilti PS1000 bylo provedeno stanovení hlavní a rozdělovací výztuže, což bylo následně potvrzeno profometrem PM-630, který zároveň odhadl průměr výztuže a její krytí. Pomocí těchto dvou vzájemně se doplňujících metod byly také zjištěny ohyby hlavní výztuže. Následně byla provedena sekaná sonda, která sloužila jako doplňující a upřesňující metoda předchozích dvou, co se týče průměru, typu výztuže a jejího krytí.

Hlavní výztuž je tvořena pruty průměru 28 mm s krytím 50 - 60 mm, rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 25 mm s krytím 80 mm.

Výztuž mezi opěrami směřuje kolmo k nim a pouze na krajích jsou provedeny ohyby rovnoběžné s hranou mostovky.

Ve středu rozpětí železobetonové desky je hlavní výztuž rozmístěna poměrně pravidelně v průměru po 100 mm s krytím 50 - 60 mm a rozdělovací výztuž s průměrnou roztečí 190 mm a krytím 80 mm.

Sekaná sonda odhalila, že mostovka byla vyztužena ocelovou výztuží třídy 10 505.

Krajní podélná výztuž nebyla předmětem plnění provedené diagnostiky. Pro statický výpočet však lze z provedených liniových skenů elektromagnetickým indikátorem doporučit zředění výztuže v krajích, odhadem po cca 150 mm.

Smyková výztuž je řešena ohyby hlavní nosné výztuže, nikoliv třmínky. Na krajích desky je průměr výztuže 28 mm a je rozmístěna po 400 mm, ve střední části je průměr 28 mm po 200 mm. Ohyb je proveden odhadem pod úhlem 45°.

## 5.2. Výpočet statické zatížitelnosti mostní konstrukce

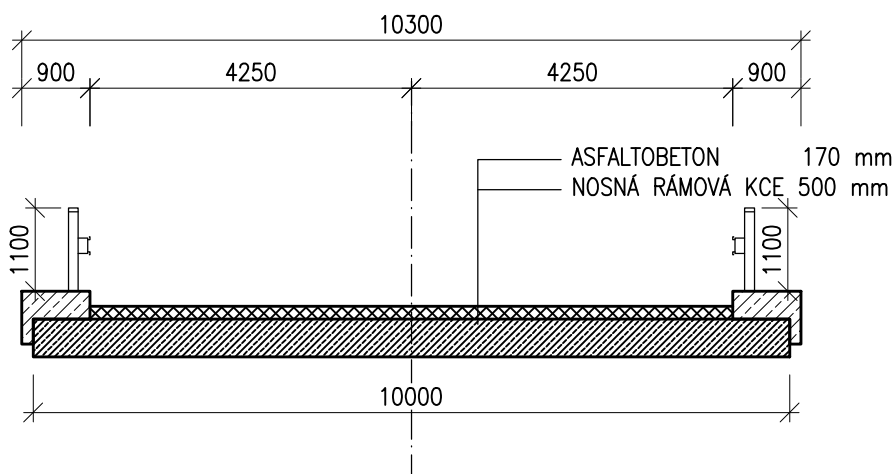
### 5.2.1. Všeobecný popis

Jedná se o silniční most z roku 1997. Most převádí komunikaci II. třídy přes koryto říčky v obci Bohuňov.

Byly provedeny pravidelné kontrolní prohlídky stávající konstrukce, upřesňující diagnostika zabývající se hledáním výztuže spodního líce mostní desky. Jednopolový most s rozpětím 13,00 m, nosná konstrukce je tvořená železobetonovou deskou šířky 16,31 m tloušťky od 500 mm s rozšířením u krajů z důvodu šikmosti na 580 mm. Volná šířka je 8,50 m. Stavba se nachází v mírném půdorysném oblouku se šikmostí 42,0<sup>o</sup>. Mocnost vozovkového souvrství ve stávajícím stavu dosahuje průměrně tloušťky 0,17 m. Na mostě se nenachází chodník. Stávající vyztužení železobetonové konstrukce ve spodním líci mostovky je složeno z hlavní a rozdělovací výztuže. Hlavní výztuž je tvořena pruty průměru 28 mm, rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 25 mm. Ve středu rozpětí železobetonové desky je hlavní výztuž rozmístěna poměrně pravidelně v průměru po 100 mm s krytím 50 - 60 mm a rozdělovací výztuž s průměrnou roztečí 190 mm s krytím 80 mm. Krajiní podélná výztuž je uvažována ve vzájemné vzdálenosti po cca 150 mm. Smyková výztuž je řešena ohyby hlavní nosné výztuže. Na krajích desky je průměr výztuže 28 mm s rozmístěním po 400 mm, ve střední části je průměr 28 mm po 200 mm.

Beton nosné konstrukce je na základě jádrových vývrtů a počtu provedených zkoušek vyhodnocen jako B40, což v dnešní době odpovídá betonu C 30/37, je vyztužená ocelovou výztuží 10 505, ta má mez kluzu  $f_{yk} = 490$  MPa. Návrhová pevnost betonu v tlaku je  $f_{cd} = 20,00$  MPa.

### PŘÍČNÝ ŘEZ M 1:100



Obr. 27: Příčný řez mostu [C]

## 5.2.2. Výpočet stávající únosnosti

### Geometrie průřezu

h [m]	b [m]
0,50	1,00

### Materiálové charakteristiky

Beton C30/37

$f_{ck}$ [MPa]	$E_{cm}$ [GPa]	$\gamma_c$ [-]	$f_{cd}$ [MPa]	$\epsilon_{c3}$ [-]	$\epsilon_{cu3}$ [-]	$\lambda$ [-]	$\eta$ [-]
30	32	1,5	20,00	0,00175	0,0035	0,8	1

Betonářská výztuž 10 505

$\phi$ [mm]	$a_\phi$ [mm]	n [ks]	c [mm]	$A_s$ [m <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [MPa]	$E_s$ [GPa]	$\gamma_s$ [-]	$f_{yd}$ [MPa]
28	150	7,00	60	0,004310	490,00	200	1,15	426,09

### Moment na mezi únosnosti

$$d_1 = c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 60 + \frac{28}{2} = 74 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 500 - 74 = 426 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot n = \frac{\pi \cdot 28^2}{4} \cdot 7 = 4310,27 \text{ mm}^2 = 43,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{43,10 \cdot 10^{-4} \cdot 426,09}{1,00 \cdot 0,8 \cdot 20,00} = 0,115 \text{ m}$$

$$a_c = \frac{\lambda \cdot x}{2} = \frac{0,8 \cdot 0,115}{2} = 0,046 \text{ m}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - a_c = \frac{0,500}{2} - 0,046 = 0,204 \text{ m}$$

$$z_s = d - \frac{h}{2} = 0,426 - \frac{0,500}{2} = 0,176 \text{ m}$$

$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,115 \cdot 1,00 \cdot 1 \cdot 20 \cdot 10^3 = 1836,55 \text{ kN}$$

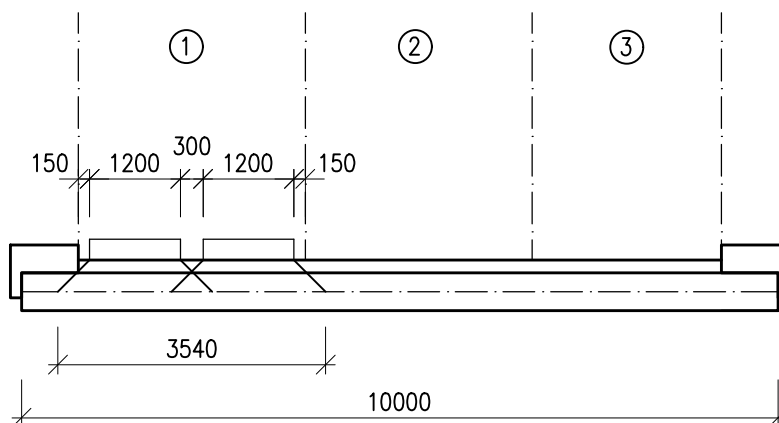
$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 43,10 \cdot 10^{-4} \cdot 426,09 \cdot 10^3 = 1836,55 \text{ kN}$$

$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_s \cdot z_s = 1836,55 \cdot 0,204 + 1836,55 \cdot 0,176 = 698,05 \text{ kNm}^{-1}$$

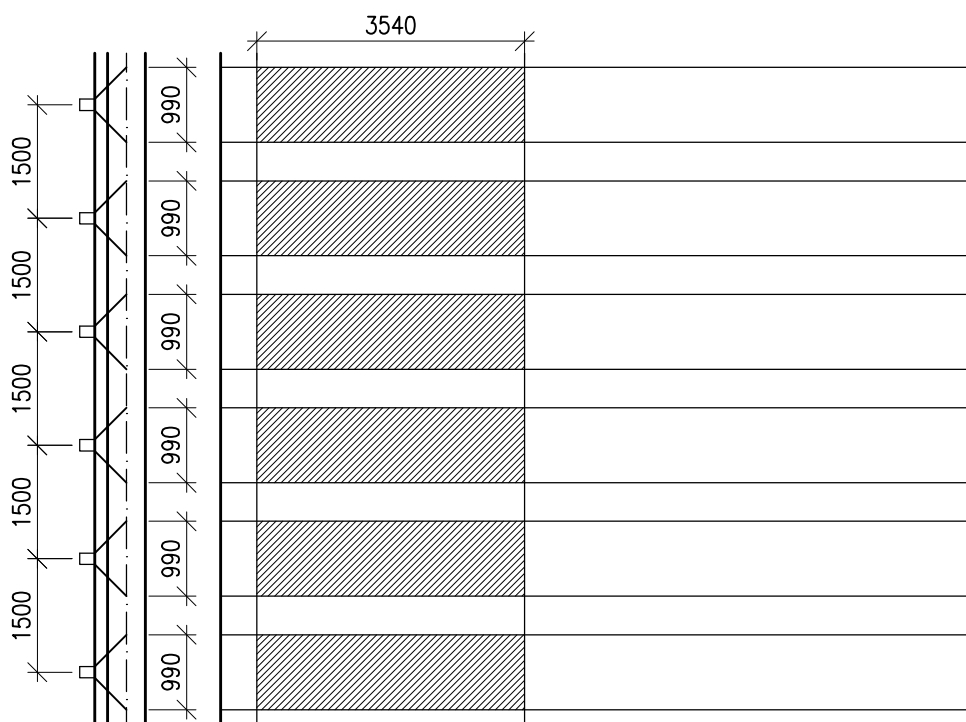


# VÝHRADNÍ ZATÍŽITELNOST

## ROZNOS V PŘÍČNÉM SMĚRU



## ROZNOS V PODÉLNÉM SMĚRU

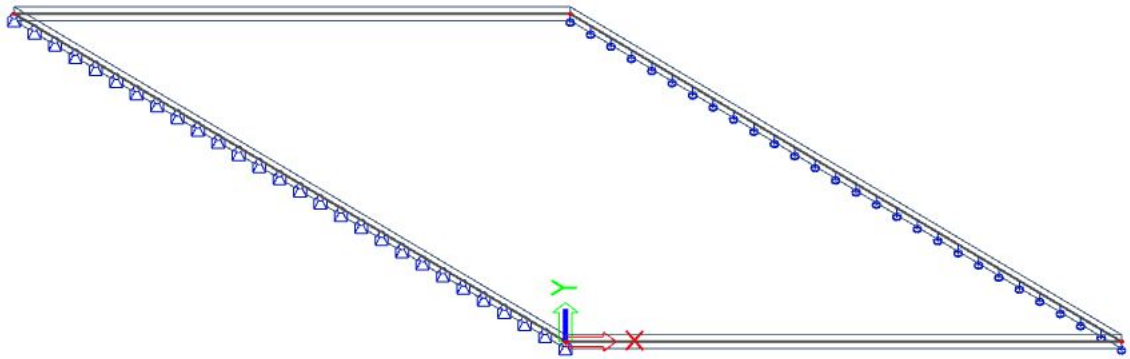


Obr. 29: Roznos zatížení - šestinápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [C]

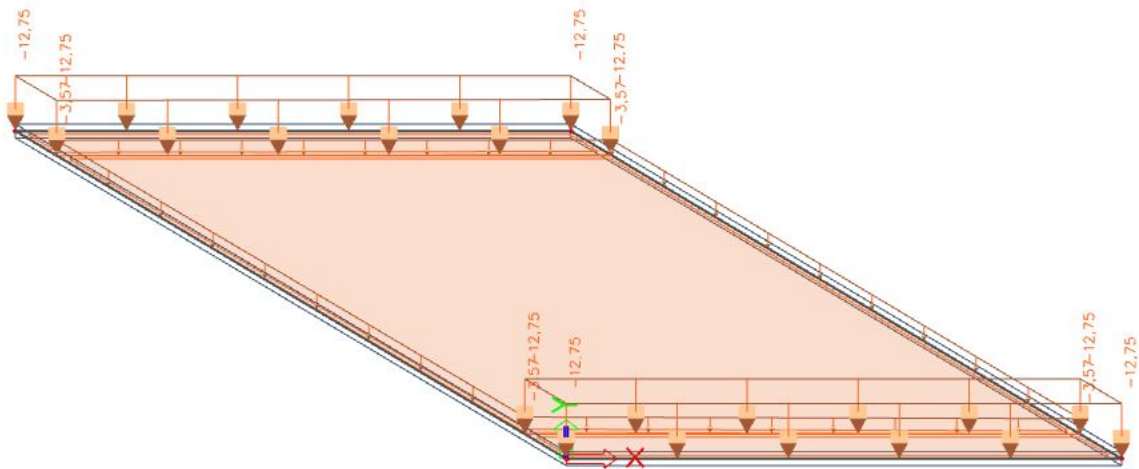


#### 5.2.4. Model konstrukce

Konstrukce byla vymodelována jako desková konstrukce v programu SCIA Engineer. Zatížení od ostatního stálého a od dopravy bylo modelováno jako plošné zatížení.

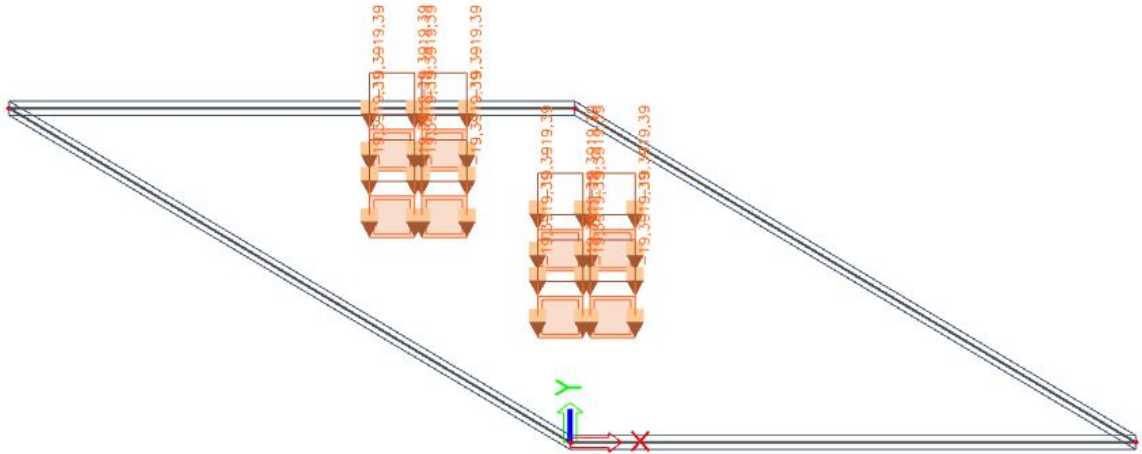


Obr. 31: Model desky [I]

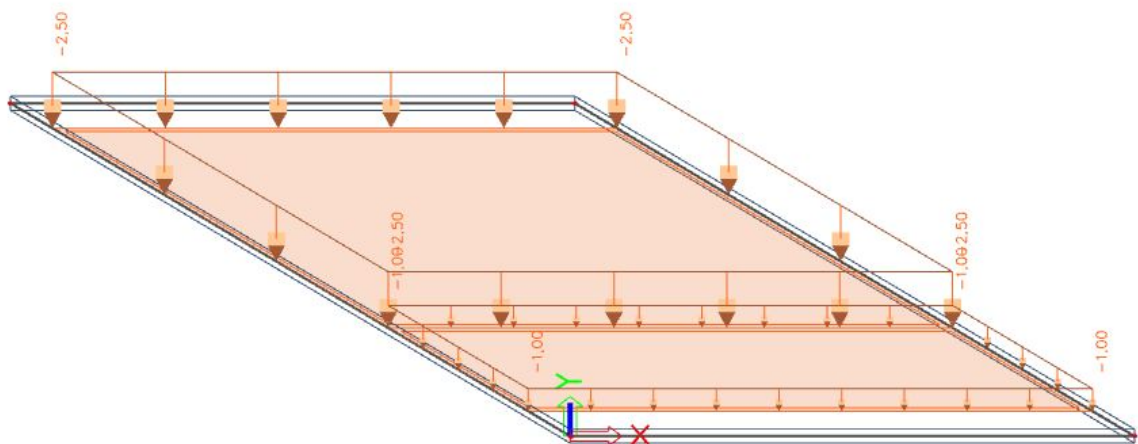


Obr. 32: Ostatní stálé zatížení [I]

Zatěžovací schéma se pro stanovení normální zatížitelnosti zatíží v příčném směru dvounápravou, kde se na každé kolo uvažuje zatížení 25 kN a to v pruzích č. 1 a č. 2. Dále je pruh č. 1 a č. 2 zatížen rovnoměrným zatížením neomezené délky o velikosti 2,5 kN/m<sup>2</sup> a zbývající plocha zatěžovacího prostoru 1 kN/m<sup>2</sup>.

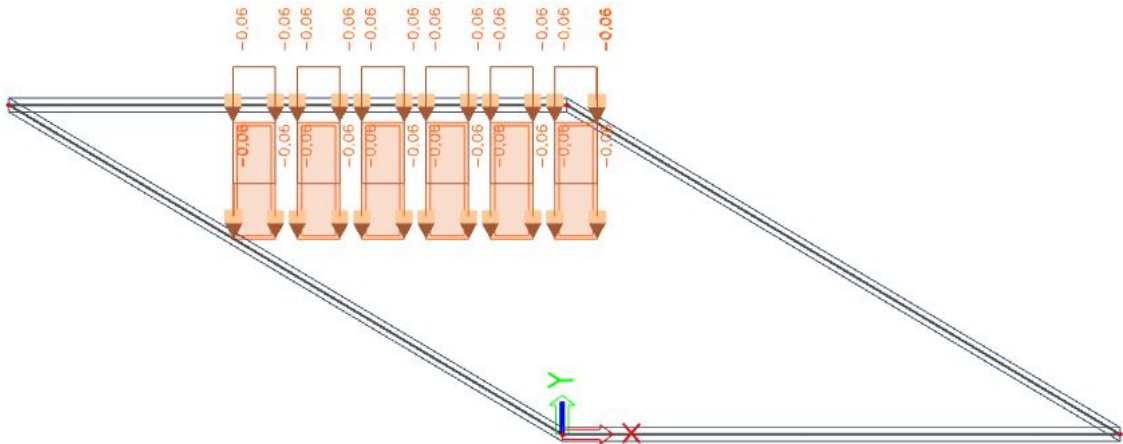


Obr. 33: Zatížení dopravou - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [I]



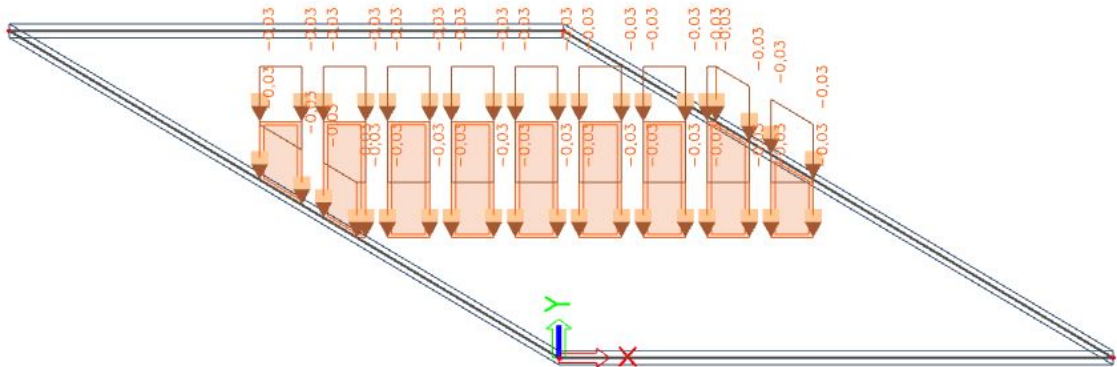
Obr. 34: Zatížení dopravou - rovnoměrné zatížení - normální zatížitelnost [I]

Zatěžovací schéma se při výhradní zatížitelnost zatíží šestnápravovým vozidlem jednotkové tíhy 1 kN.



Obr. 35: Zatížení dopravou - šestnápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [I]

Výjimečná zatížitelnost je stanovena jako největší přípustná hmotnost devítinápravového vozidla, které se pohybuje v předepsané stopě předepsanou rychlostí. Zatěžovací schéma se zatíží vozidlem jednotkové tíhy 1 kN.



Obr. 36: Zatížení dopravou - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [I]

### 5.2.5. Výpočet zatížitelnosti dle ČSN 73 6222

$$M_{Rd} = 698,05 \text{ kNm}$$

$$M_{Gk} = 151,41 \text{ kNm}$$

$$M_{G1k} = 65,01 \text{ kNm}$$

$$L_d = 7,97 \text{ m}$$

$$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923} = 90,6 \cdot 7,97^{-0,923} = 13,34 \text{ Hz}$$

$$\alpha = 0,8 \quad (\text{klasifikační stupeň IV})$$

$$M_{Rd} = M_{Ed}$$

$$M_{Eda} = \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \psi_{01} \cdot \gamma_Q \cdot Q_k = 1,35 \cdot (151,41 + 65,01) + 0,75 \cdot 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qa}$$

$$698,05 = 292,17 + 0,75 \cdot 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qa}$$

$$\delta \cdot M_{qa} = 400,87 \text{ kNm}$$

$$M_{Edb} = \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (151,41 + 65,01) + 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qb}$$

$$698,05 = 248,34 + 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qb}$$

$$\delta \cdot M_{qb} = 333,12 \text{ kNm}$$

**rozhoduje**

#### Normální zatížitelnost

$$M_{Vn} = 63,57 \text{ kNm}$$

$$\delta_2 = 1,20$$

$$\delta \cdot M_{qb} = \delta_2 \cdot M_{Vn}$$

$$333,12 = 1,20 \cdot 63,57 \cdot v_n$$

$$v_n = 4,3668 \text{ kNm}^{-2}$$

$$V_{aw} = 100 \cdot v_n \cdot \alpha = 100 \cdot 4,3668 \cdot 0,8 = 349,35 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot V_{aw} = \frac{4}{3} \cdot 349,35 = 465,80 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{1}{10} \cdot V_{nw} = \frac{1}{10} \cdot 465,80 = 46,58 \text{ t}$$

Posudek

$$V_n = 46,58 \text{ t} > V_{n,norm} = 32 \text{ t}$$

**VYHOVUJE**

**Výhradní zatížitelnost**

$$M_{Vr} = 0,26 \text{ kNm}$$

$$\delta_1 = 1,25$$

$$\delta \cdot M_{qb} = \delta_1 \cdot M_{Vr}$$

$$333,12 = 1,25 \cdot 0,26 \cdot V_{rw}$$

$$V_{rw} = 1024,98 \cdot \alpha = 1024,98 \cdot 0,8 = 819,99 \text{ kN}$$

$$V_r = \frac{1}{10} \cdot V_{rw} = \frac{1}{10} \cdot 819,99 = 82,00 \text{ t}$$

Posudek

$$V_r = 82,00 \text{ t} > V_{r, norm} = 80 \text{ t} \quad \text{VYHOVUJE}$$

**Výjimečná zatížitelnost**

$$M_{Ve} = 0,08 \text{ kNm}$$

$$\delta = 1,05$$

$$\delta \cdot M_{qb} = \delta \cdot M_{Ve}$$

$$333,12 = 1,05 \cdot 0,08 \cdot V_{ew}$$

$$V_{ew} = 3964,29 \cdot \alpha = 3964,29 \cdot 0,8 = 3171,43 \text{ kN}$$

$$V_e = \frac{1}{10} \cdot V_{ew} = \frac{1}{10} \cdot 3171,43 = 317,43 \text{ t}$$

Posudek

$$V_e = 317,43 \text{ t} > V_{e, norm} = 180 \text{ t} \quad \text{VYHOVUJE}$$

[27]

### 5.3. Závěr

Na základě požadavku statika byla pro následný výpočet zatížitelnosti provedena doplňující diagnostika mostu, která se zabývala stanovením vyztužení spodního líce ve středu mostovky a při opěře. Pomocí nejmodernějších technologií, georadaru HILTI PS 1000 a profometru PM-630, které byly doplněny sekanou sondou, byla v konstrukci zjištěna přítomnost hlavní a rozdělovací výztuže. Hlavní výztuž je tvořena pruty průměru 28 mm s krytím 50 - 60 mm, rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 25 mm s krytím 80 mm. Ve středu rozpětí železobetonové desky je hlavní výztuž rozmístěna v průměru po 100 mm a rozdělovací výztuž s průměrnou roztečí 190 mm. Krajiní podélná výztuž je zředěna po cca 150 mm. Sekanou sondou byl určen typ výztuže. Byla použita ocelová výztuž třídy 10 505.

Pro komplexní přehled o konstrukci byl v rámci diplomové práce proveden rozbor předešlých prohlídek. Mostní list udává třídu betonu B30, což dnes odpovídá betonu třídy C25/30. I přesto však byla tato skutečnost ověřována v roce 2017, kdy byl proveden stavebně technický průzkum. Z konstrukce byly odebrány jádrové vývrty, které následně byly podrobeny zatěžovací zkoušce a z toho byla stanovena válcová pevnost betonu v tlaku, která odpovídá betonu třídy C30/37. V mostním listu je také uvedena použitá ocelová výztuž 10 425, která ale po provedení sekané sondy byla vyvrácena, protože na základě uspořádání žebírek na výztuži byla použita výztuž stanovená jako 10 505.

Z vizuálního pohledu při provedení diagnostického průzkumu lze konstatovat, že most je ve velmi dobrém stavu, to znamená, že by se dal zařadit do klasifikačního stupně III. Avšak na základě provedených předchozích kontrolních prohlídek, kde byla zjištěna trhлина v opěře, také že následkem nevyhovující hydroizolace dochází k vnikání vody do konstrukce vozovky a tím také na úložný prah, je most zařazen do klasifikačního stupně IV, což následně ovlivnilo výpočet zatížitelnosti konstrukce.

Postup výpočtu zatížitelnosti mostní konstrukce byl stanoven dle ČSN 73 6222. Při výpočtu momentu na mezi únosnosti byla zohledněna hlavní výztuž průměru 28 mm. Rozmístění výztuže je s ohledem na stranu bezpečnou uvažováno 150 mm. Tloušťka desky 500 mm, uvažovaná šířka desky 1,00 m.

V programu autocad byl vykreslen roznos zatížení v příčném a podélném směru, který se uplatnil při modelování v programu SCIA Engineer. Mostovka byla vymodelována jako deska, lineárně podepřená, na jedné straně kloubovou, na druhé straně posuvnou podporou. Byly vytvořeny čtyři zatěžovací stavy - vlastní tíha, ostatní stálé zatížení, zatížení dvounápravovým vozidlem současně s rovnoměrným zatížením, zatížení šestinápravovým vozidlem a devítinápravovým vozidlem. Do programu byly vozidla umístěna v podélném směru tak, aby vyvodila nejméně příznivou hodnotu, tzn. vždy doprostřed rozpětí. Momenty, které vyvodily tyto zatížení jsou využity při výpočtu normální, výhradní a výjimečné zatížitelnosti, které byly současně posouzeny s normovými hodnotami.

- normální zatížitelnost  $V_n = 46,58 \text{ t} > V_{n,norm} = 32 \text{ t}$
- výhradní zatížitelnost  $V_r = 82,00 \text{ t} > V_{r,norm} = 80 \text{ t}$
- výjimečná zatížitelnost  $V_e = 317,43 \text{ t} > V_{e,norm} = 180 \text{ t}$

Vypočítané hodnoty jsou vyšší, než údaje z mostních listů. To může být způsobeno odlišnými vstupními parametry pro výpočet a také použitím starších předpisů.

Na základě zjištěných informací z prohlídek a výpočtů lze konstatovat, že co se týče starších mostních objektů, je dobré provádět diagnostiku konstrukcí, jelikož se nedá spoléhat na pravdivost informací uvedených v mostních listech.

## 6. Most v Ronově nad Doubravou

### 6.1. Stanovení vyztužení železobetonové desky

Most v Ronově nad Doubravou byl vystavěn v roce 2002, z téhož roku také pochází Mostní list, kde jsou zaznamenány údaje o objektu, jako například kde se konkrétně most nachází, včetně staničení a čísla silnice, konstrukční rozměry mostu, zatížitelnost mostu, či návrh druhu vozovky.

V červenci 2016 byla provedena běžná prohlídka. Zpráva z této prohlídky se zabývá závadami konstrukce. Konkrétně se jedná o přespárování zdiva odvodňovacího žlabu a osazení mostní tabulky s evidenčním číslem. Termín splnění nebyl dán.

V dubnu 2017 byl proveden stavebně technický průzkum mostu, který byl zaměřen zejména na riziko elektrochemické koroze výztuže a mrazuvzdornost konstrukcí opěr. Současně byly stanoveny fyzikálně-mechanické vlastnosti betonu nosných prvků a možné degradační procesy v betonu. Z průzkumu vyplývá, že v porovnání tloušťky krycí vrstvy betonu nad výztuží a hloubky karbonatace je riziko elektrochemické koroze výztuže minimální, a to i s přihlédnutím k množství chloridových iontů v krycí vrstvě betonu nad výztuží. Nejzávažnějším problémem se jeví nízká odolnost betonu konstrukcí spodní stavby vůči cyklickému působení mrazu. Je tedy nutné zabránit stávajícímu vnikání vody do konstrukce. Dále je nutné zajistit opravu konstrukcí chodníků v předpolí mostu a jejich napojení na stávající chodníky mostu. A také je vhodné zajistit vyčištění koryta tak, aby nedocházelo k nadměrnému zatěžování konstrukcí přímým působením vody.

Dalším dokumentem popisujícím stavbu je Technická zpráva z března 2018, která již reaguje na stavebně technický průzkum, a uvádí, jaká opatření budou provedena. V rámci sanačních úprav bude vyfrézována kompletní konstrukce vozovky až na horní líc podkladního betonu. Sanována bude také celá konstrukce mostu. Mezi římsami bude doplněna nová asfaltová vrstva v jednostranném sklonu 4 %, která bude opatřena hydroizolací v podobě modifikovaného asfaltového pásu, která slouží jako opatření proti pronikání vody k nosné konstrukci. Opěry budou kotveny pomocí mechanického kotvení a vyztužených sítí a bude odstraněna vrstva degradovaná mrazem a následně natřena hydrofobizačním nátěrem. Také bude provedeno pročištění koryta. Po navrhovaných stavebních úpravách je předpoklad prodloužení původní životnosti mostu.

Pro realizování návrhu z předešlé zprávy je nutné provést statický výpočet zatížitelnosti mostní konstrukce. K tomu je však nutné znát vyztužení mostovky. I přesto, že byly provedeny průzkumy stavby, nikde není informace o vyztužení spodního líce mostní desky. Proto byla provedena upřesňující diagnostika, kdy bylo nutné provést identifikaci polohy, způsob a profily vyztužení železobetonové desky mostu ve vybraných řezech. [23] [24] [25] [26]

### 6.1.1. Základní popis konstrukce

Byl proveden diagnostický průzkum jednopolevého mostu, který byl dle dostupného mostního listu realizován v roce 2002. Most v intravilánu převádí silnici II. třídy přes koryto potoku.

Spodní stavba je tvořena dvěma krajními masivními železobetonovými opěrami. Plošně založená, krátká křídla jsou rovnoběžná s osou vozovky, na která navazuje zpevnění svahů koryta kyklopským kamenným zdivem.

Nosná konstrukce je tvořena uzavřeným železobetonovým rámem tloušťky 250 mm z betonu B50, vyztužená ocelovou výztuží 10 505. Délka nosné konstrukce je 3,50 m, volná šířka mostu 9,15 m a délka mostu (říms) 7,00 m. Stavba se nachází v jednostranném příčném spádu a ve směrovém oblouku se šikmostí 98,29.

Na obou stranách mostu jsou umístěny monolitické římsy s proměnným vyložení, které jsou osazeny ocelovým zábradlím tvořeným sloupky s horním a spodním madlem. Na straně levé římsy ve směru staničení se nachází chodník šířky 1,25 m.

Odvodnění mostu je řešeno pomocí příčného a podélného sklonu vozovky. [23]  
[25]



Obr. 37: Pohled na most v protisměru staničení [F]



*Obr. 38: Pohled na návodní stranu mostu [F]*

### **6.1.2. Použité metody průzkumu**

Z důvodu doplnění předešlých technických průzkumů objektu byl proveden diagnostický průzkum mostu, kdy bylo požadováno stanovení vyztužení desky mostu od spodního líce ve středu desky (ve středu rozpětí) a při opěře.

Vzhledem k typu konstrukce byly pro stanovení polohy výztuže zvoleny nedestruktivní metody georadaru a elektromagnetického indikátoru. Jako doplňková metoda byla zvolena semidestruktivní sekaná sonda, která slouží k ověření soudržnosti betonu s betonářskou výztuží, krytí, druhu, průměru a stavu použitých výztužných prutových vložek.

#### **Georadar Hilti PS1000 X-SCAN**

V současné době rostou v diagnostice požadavky na co možná nejpřesnější, hlavně poměrně rychlé a nedestruktivní metody. Z tohoto důvodu dochází k výraznému rozvoji a rozšíření uplatnění této technologie. Georadar je metoda, která pracuje na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů (řádově stovky MHz až jednotky GHz) do zkoumaného prostředí a následně registraci jejich odrazů od podpovrchových částí konstrukce. Radar vysílá do zkoumaného prostředí elektromagnetické vlny, které kmitají ve tvaru sinusoidy. Část vln je tímto prostředím a nehomogenitami pohlcena, část odražena a zbytek se dále šíří. Jakmile vlna narazí na

nehomogenitu, dojde vlivem náhlé změny prostředí k odrazu částí vln zpět k přístroji, který tyto vlny pomocí antén zachytí. Informaci o zaznamenaných vlnách přístroj posílá do centrální jednotky, kde se počítají časové prodlevy vrácených elektromagnetických vln. Výsledky se exportují do grafické podoby na displej přístroje, případně do počítače.

Metoda georadaru je známá desítky let, avšak její aplikace byla primárně využívána v geotechnickém a archeologickém oboru. Důvodem je fakt, že radar nebyl primárně určen pro měření železobetonu, a proto výsledky nebyly zcela korektní a vyhodnocení bylo velmi komplikované. Využití standardních georadarů v oblasti diagnostiky železobetonu dosáhlo v minulých desetiletích svého vrcholu, kdy byl georadar doplněn vodícím rámem s automatickým posunem, který postupně skenuje povrch konstrukce v řadě řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Výsledkem pak bylo 3D skenování konstrukce. Tato metoda však byla určena pro velké plochy konstrukce a její instalace byla poměrně komplikovaná.

S příchodem nového přístroje od výrobce vrtací techniky a magnetických indikátorů výztuže nastal zásadní přelom v používání georadarů. Hilti PS1000 X-SCAN byl vytvořen na základě potřeb a schopností techniků provádějících diagnostiku konstrukcí v terénu. Ve standardním betonu využívá frekvenci kolem 1,5 GHz do hloubky 300 mm  $\pm$  10 mm. Přístroj je osazen trojicí radarových antén a je schopen hledat výztuž i ve více vrstvách. Nevýhodou georadaru je, že v případě lokalizace ocelové výztuže není zařízení schopné určit průměr lokalizované výztuže, ten je nutný určit pomocí jiné doplňující metody. Pohyb po konstrukci je možný pomocí čtyř pojezdových koleček sondy, přičemž podmínkou je, že se musí točit alespoň jedno z nich. Liniový sken může být prováděn v délce až 10,00 m, plošný sken pak v ploše 600 x 600 mm nebo jejího dvojnásobku, tedy 1 200 x 1 200 mm. U plošného skenu se lepí na povrch konstrukce papírové šablony s rastrem pojezdů sondou. [20] [21]



Obr. 8: Radar HILTI PS1000 X-SCAN [D]



Obr. 9: Ukázka plošného měření radarem [F]

### **Elektromagnetický indikátor výztuže profometr PM-630**

K dalším často používaným nedestruktivním metodám patří také využití elektromagnetických indikátorů výztuže. Nejčastěji je k diagnostice přizvána z důvodu schopnosti lokalizování výztuže a jejího množství v diagnostikované konstrukci. Ověřuje se, zda je přítomná výztuž, jestli se nachází na správném místě, nebo v případě, že je známý druh výztuže, tak i krycí vrstva betonu. Obvykle se jedná o existující konstrukce, od nichž se ztratily plány.

Omezujícím faktorem je ovlivňování sousedních výztuží, případně výztuž ve více rovnoběžných vrstvách. Rovněž nelze zjistit druh ani míru koroze výztuže. Průměr výztuže lze pouze odhadnout a to při dodržení určitých podmínek. Musí být dodržena hloubka 50 mm, vzdálenost sousedních výztuží, a to i ve druhém směru.

Vlastní konstrukce je tvořena sondami (vyhledávací hlava) a elektrickými obvody, které generují jak signál pro buzení vyhledávací hlavy, tak vyhodnocují přijímaný signál. Vyhledávací hlavy mohou obsahovat jednu nebo i více cívek buzených časově proměnným elektrickým proudem. Cívky generují v čase proměnné primární magnetické pole, které proniká ke kovovému cíli - výztuži. Primární magnetické pole je výztuží deformováno a vzniká tak sekundární elektromagnetické pole, které působí na přijímací

cívku vyhledávací hlavy a indukuje v ní elektrické napětí, které je dále zpracováváno a vyhodnoceno elektronickými obvody. Elektromagnetické indikátory vyhodnocují změnu magnetického odporu magnetického obvodu.

Profometr PM-630 od firmy Proceq patří mezi špičkové přístroje v tomto oboru. Kromě všech výše zmíněných vlastností vyniká profometr šesté generace také bezdrátovým přenosem dat, což usnadňuje měření. Maximální detekční hloubka přístroje je 220 mm. V tomto případě využívá pouze liniový sken. Konstrukce je pro rovnoměrný záznam opatřena takzvaným vozíčkem se čtyřmi kolečky. Kromě tradiční zvukové signalizace je přímo na sondě i světelná signalizace, která usnadňuje lokalizaci výztuže. Je tedy vhodný spíše pro větší plošné prvky.

V rámci průzkumu byl přístroj profometr PM-630 použit k lokalizaci výztuže. [22]



Obr. 10: Profometr PM-630 [E]

### **Sekaná sonda**

Sekaná sonda byla použita jako doplňková zkušební metoda k oběma výše zmíněným metodám, a to zejména z důvodu nemožnosti určit typ jednotlivých výztuží, jejich míry koroze a upřesnění odhadnutého průměru výztuže. Tato metoda bývá provedena s ohledem na velikost konstrukce a nezbytně nutný rozsah zásahů do konstrukce.

Výhodou sekaných sond je nízká cena a přesnost naměřených údajů, protože vizuální pohled je nejspolehlivější prostředek průzkumu. Po ukončení průzkumu je nutné místo řádně zapravit, aby nedošlo k možnému působení nežádoucích vlivů prostředí.



*Obr. 11: Ukázka sekané sondy [F]*

### 6.1.3. Rozmístění sond

Na základě požadavku statika byla diagnostika konstrukce provedena v předem daných místech.

**Georadarové skeny** byly realizovány ve dvou lokálních sondách R1 a R2.

Sonda R1 byla zvolena ve spodním líci přibližně uprostřed železobetonové mostní desky (ve středu šířky mostu a ve středu rozpětí). Sonda R2 byla také zvolena ve spodním líci železobetonové mostní desky u levobřežní opěry, cca uprostřed šířky mostu.

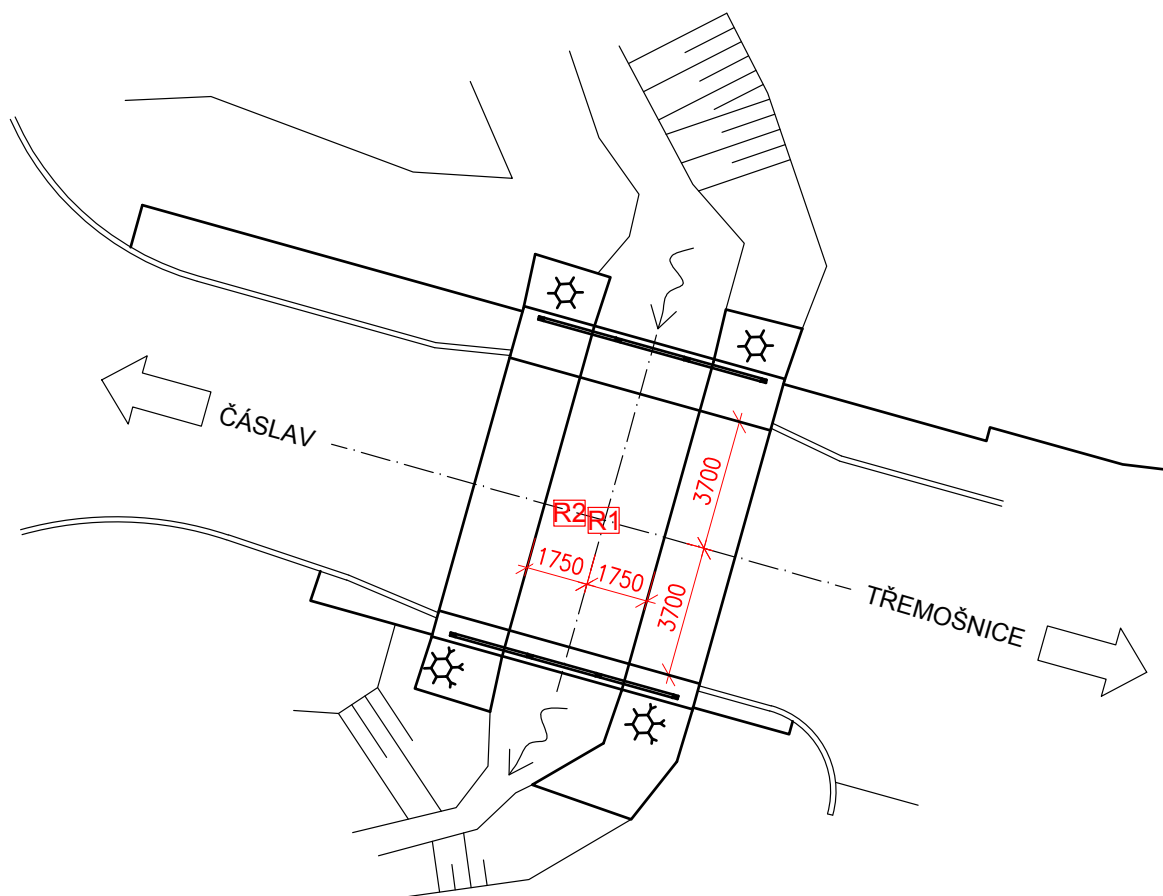


*Obr. 39: Provádění georadarového skenu v místě sondy R1 [F]*



*Obr. 40: Provádění georadarového skenu v místě sondy R2 [F]*

# SCHÉMA PŮDORYSU MOSTU



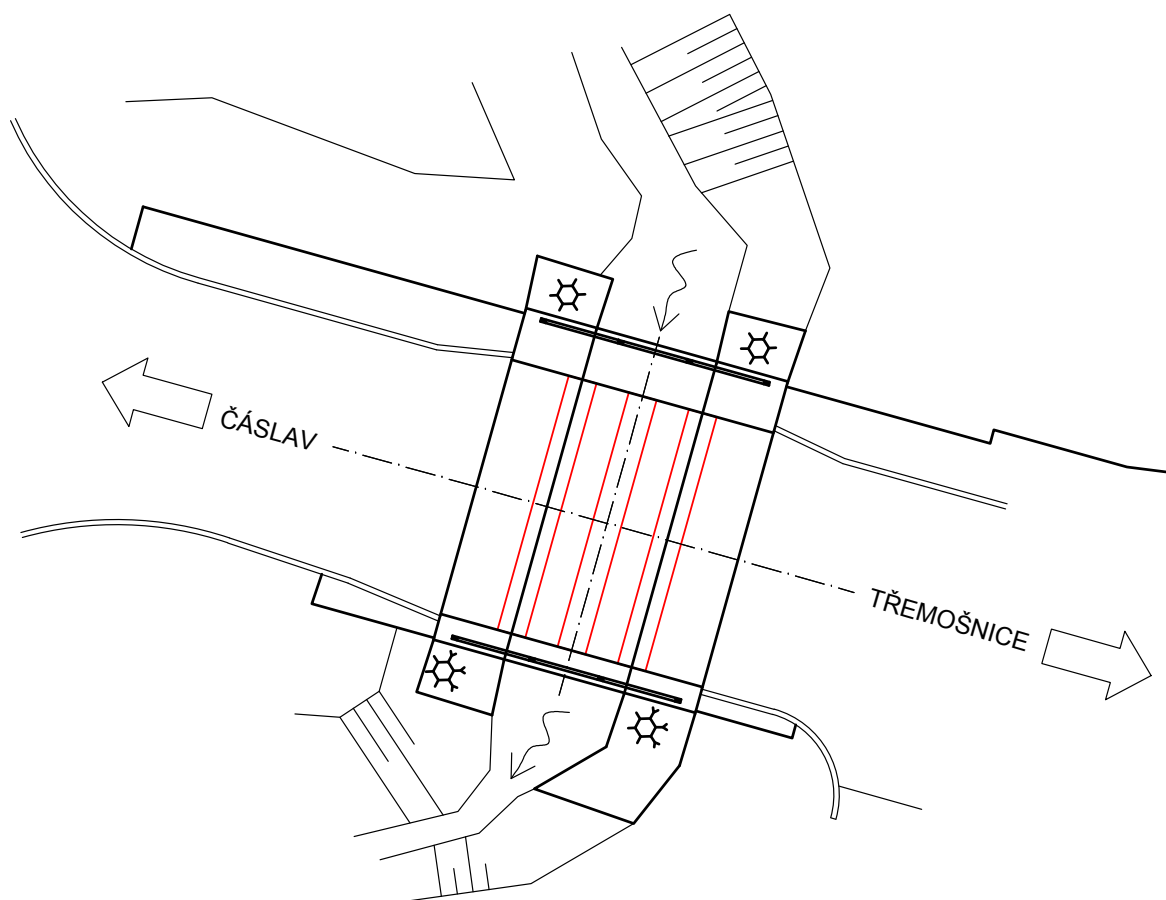
Obr. 41: Schéma umístění sondy R1 a R2 [C]

**Liniové skeny elektromagnetickým indikátorem** byly realizovány ve středu rozpětí dolního líce mostovky a při opěře mostu a to vždy v celé délce příčného řezu.



*Obr. 42: Provádění liniového skenu elektromagnetickým indikátorem [F]*

## SCHÉMA PŮDORYSU MOSTU

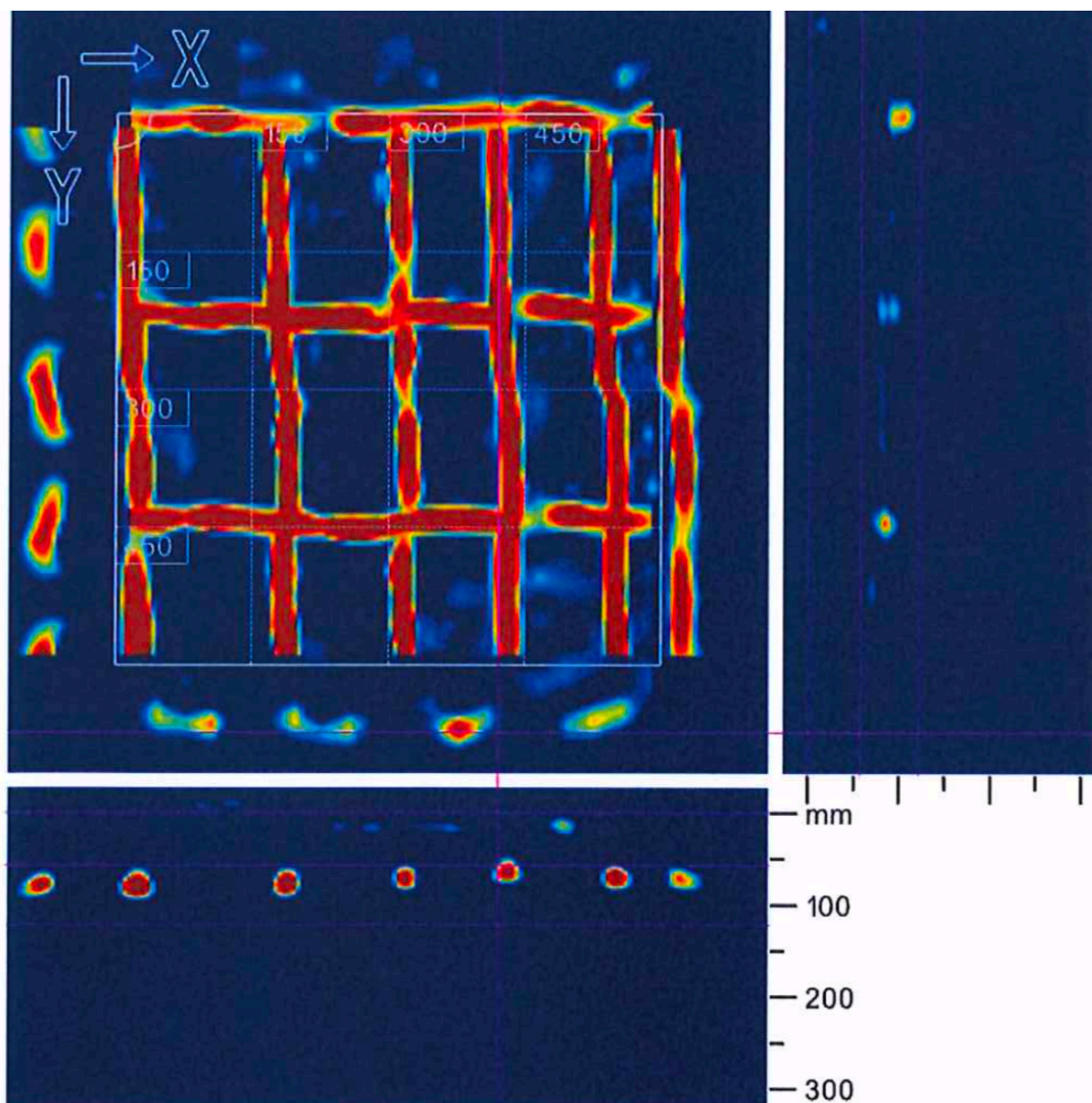


Obr. 43: Schéma umístění skenu elektromagnetickým indikátorem [C]

#### 6.1.4. Výsledky průzkumu

##### Sonda R1

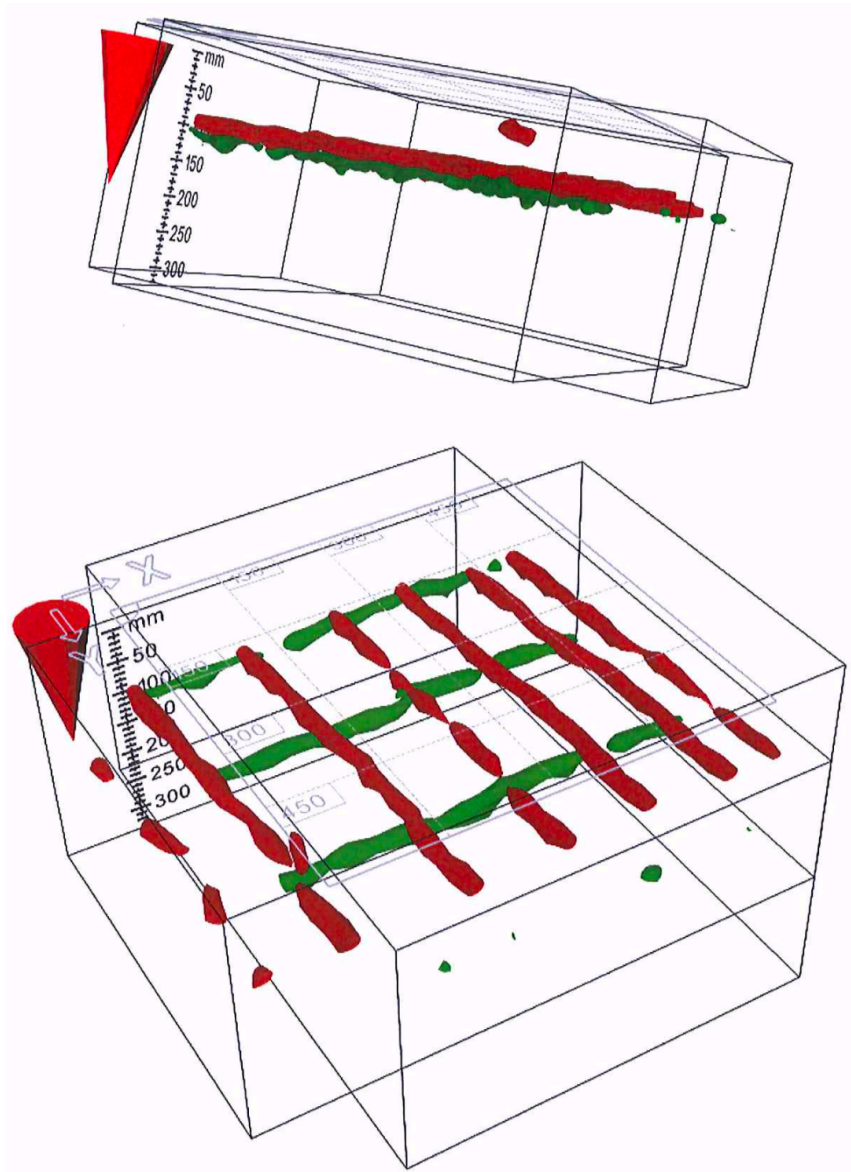
V místě sondy byl pro stanovení polohy hlavní i rozdělovací výztuže proveden pomocí georadaru Hilti PS 1000 plošný sken o ploše 600 x 600 mm. Zároveň bylo v tomto místě provedeno liniové měření elektromagnetickým indikátorem Proceq PM-630 a následně sekaná sonda.



Obr. 44: Plošný radarový sken [G]

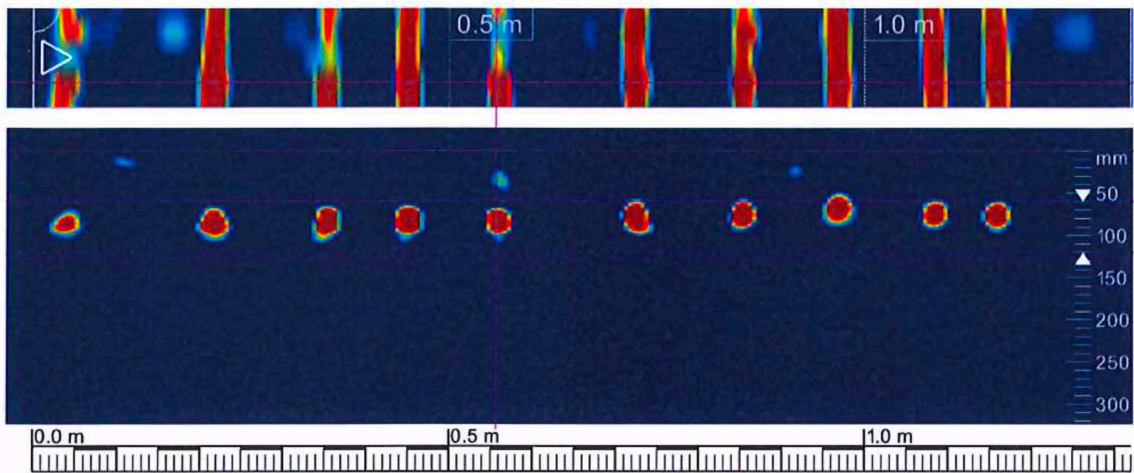
Vztažný bod, který se na skenu nachází vlevo nahoře, byl umístěn doprostřed šířky mostu a cca ve středu rozpětí. Ze skenu také vyplývá rozmístění výztuží. Hlavní výztuž (svislý směr) je v konstrukci rozmístěn po cca 120 mm s krytím 60 - 80 mm. Rozdělovací výztuž (vodorovný směr) má průměrnou rozteč 220 mm s krytím cca 75 - 95 mm.

Radarový sken je shodný s předchozím obrázkem, jen je převeden do 3D obrazu s různým natočením. Je zde lépe vidět pravidelnost rozmístění výztuže i její značné krytí. Hlavní výztuž je zobrazena červenou a rozdělovací zelenou barvou.



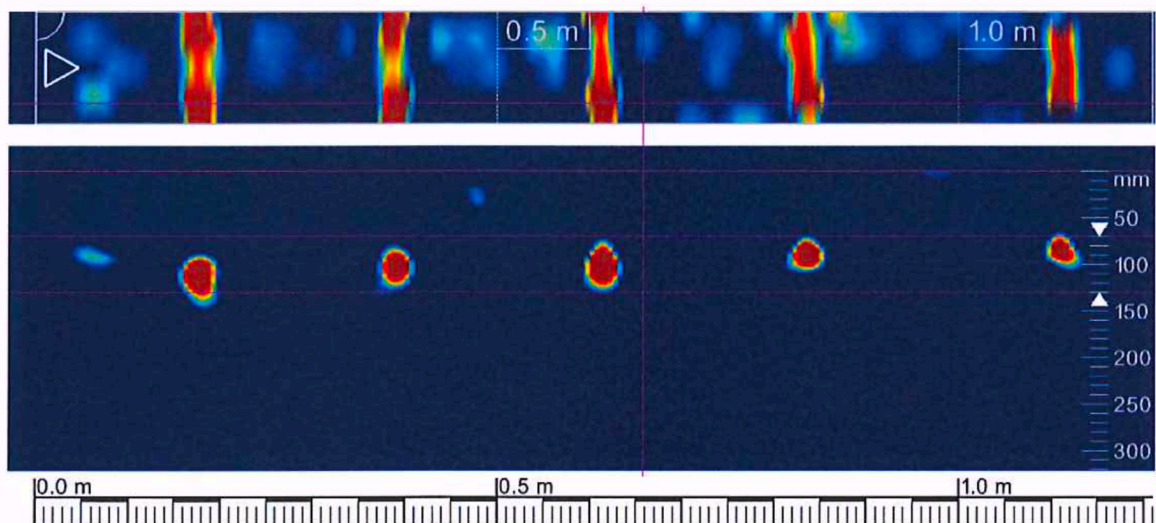
Obr. 45: Radarový sken ve 3D [G]

Liniový radarový sken hlavní výztuže znázorňuje její nepravidelné rozteče a velké krytí.



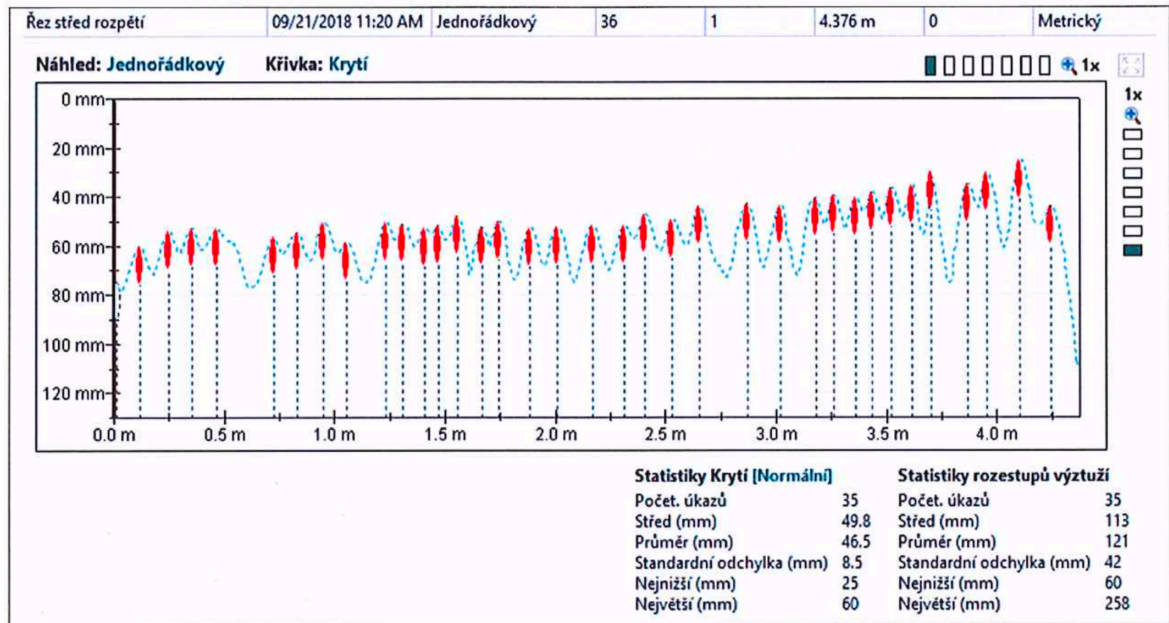
Obr. 46: Liniový radarový sken hlavní výztuže [G]

Liniový sken rozdělovací výztuže znázorňuje její nepravidelné rozteče a velké, proměnlivé krytí.



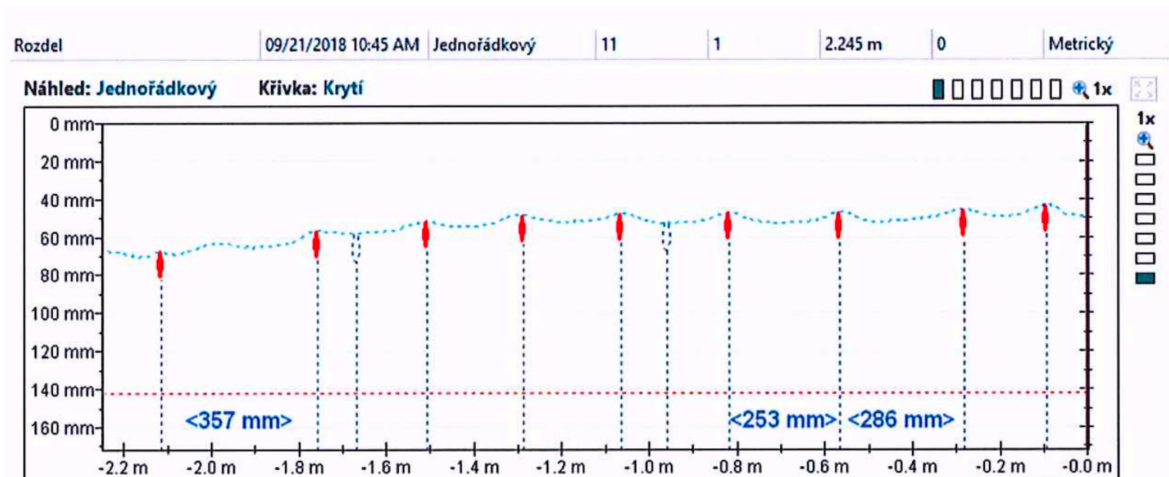
Obr. 47: Liniový radarový sken rozdělovací výztuže [G]

Liniový sken dokládá rozmístění hlavní výztuže v úseku měření. Sken začíná v ose komunikace a končí na hraně desky na povodní straně. Výztuž je na délce 4,50 m rozmístěna v počtu 35 prutů poměrně pravidelně po 120 mm, což potvrzuje předešlé měření georadarem. Krytí výztuže u okraje mostu je 25 - 30 mm, směrem k ose mostu vzrůstá na 50 - 60 mm.



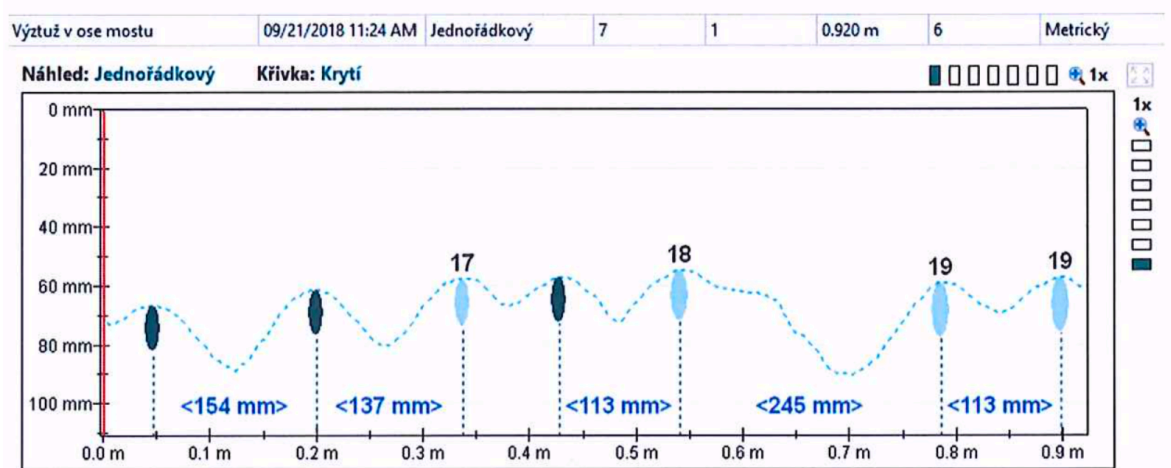
Obr. 48: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem [H]

Další liniový sken dokládá rozmístění rozdělovací výztuže od středu rozpětí k třemošnické opěře. Výztuž je rozmístěna v průměru po 240 mm. Krytí výztuže u opěry mostu je 43 mm, směrem ke středu vzrůstá až na 65 mm.

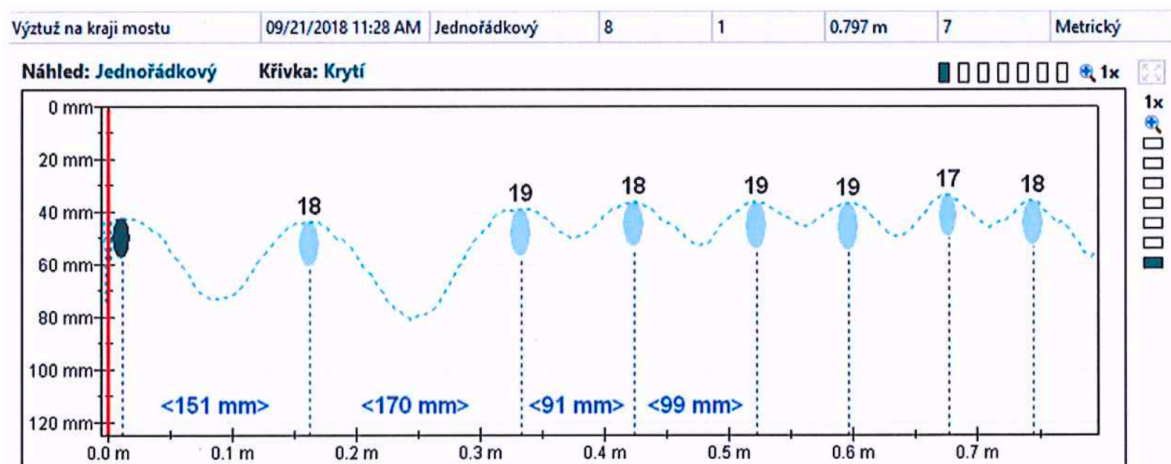


Obr. 49: Liniový sken rozdělovací výztuže elektromagnetickým indikátorem [H]

Následující obrázek zobrazuje odhad průměru výztuže pomocí profometru PM-630. Při provádění sekané sondy bylo zjištěno, že přístroj profometr průměr výztuže mírně nadhodnotil. Bylo však prokázáno, že vyztužení v ose mostu a na kraji mostu je shodné.



Obr. 50: Odhad průměru výztuže poblíž osy mostu [H]



Obr. 51: Odhad průměru výztuže u kraje mostu [H]

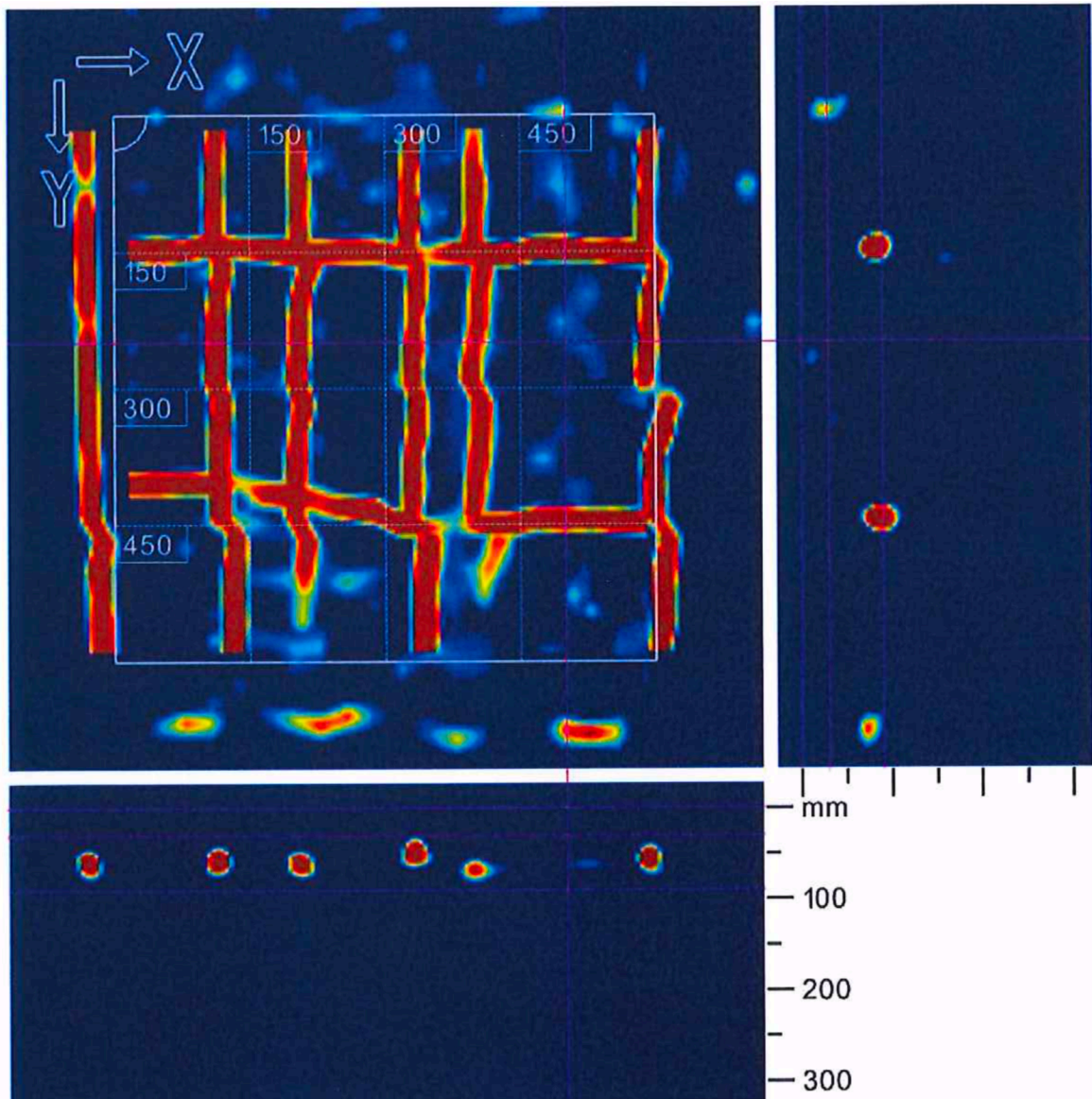
Sekanou sondou byl určen typ výztuže. Jedná se o výztuž značky V, což je ocel třídy 10 505. Byly také ověřeny průměry výztuže, které však nebyly shodné s hodnotami vyhodnocenými pomocí profometru PM-630. Ve skutečnosti je hlavní výztuž tvořená pruty o průměru 16 mm s krytím v místě sekané sondy 32 mm. Rozdělovací výztuž je tvořená pruty s průměrem rovněž 16 mm a krytím v místě sekané sondy 50 mm.



*Obr. 52: Detail sekané sondy R1 [F]*

## Sonda R2

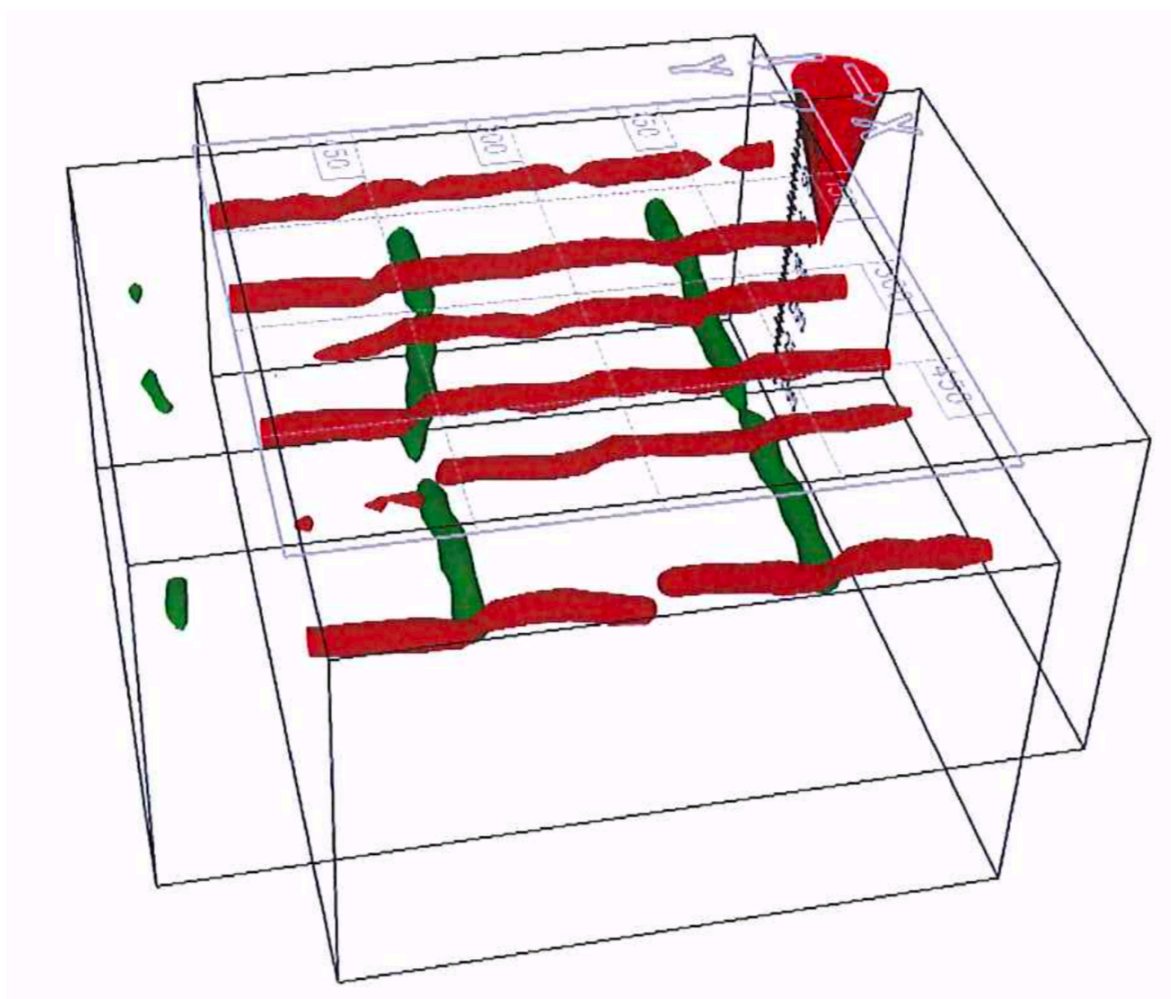
V místě sondy byl pro stanovení polohy hlavní i rozdělovací výztuže proveden pomocí georadaru Hilti PS 1000 plošný sken o ploše 600 x 600 mm. Zároveň bylo v tomto místě provedeno liniové měření elektromagnetickým indikátorem Proceq PM-630.



Obr. 53: Plošný radarový sken [G]

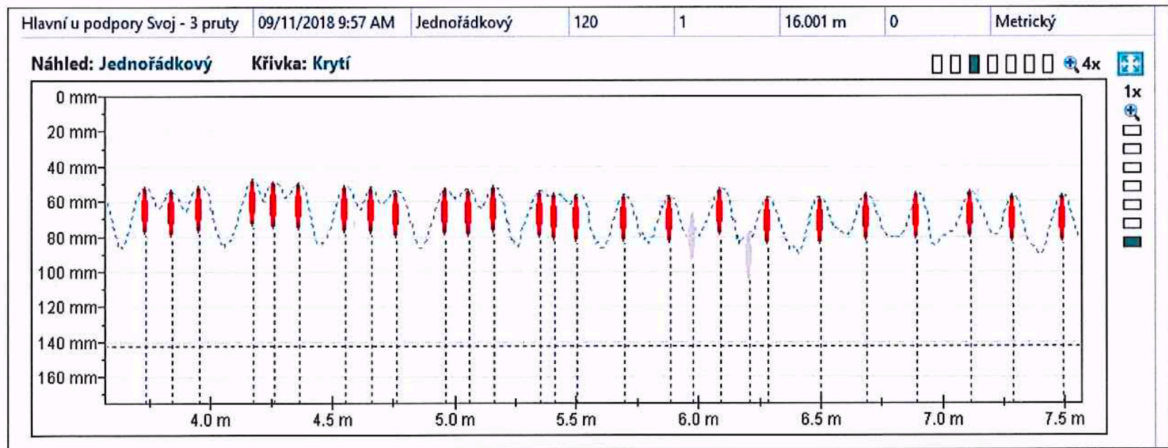
Vztažný bod, který se na skenu nachází vlevo nahoře, byl umístěn doprostřed šířky mostu a cca 250 mm od líce opěry. Ze skenu také vyplývá rozmístění výztuží. Hlavní výztuž (svislý směr) je v konstrukci značně nepravidelně rozmístěna. Ohyby dvou hlavních výztuží je cca 400 mm od líce desky.

Radarový sken je shodný s předchozím obrázkem, jen je převeden do 3D obrazu s různým natočením. Je zde doložena poloha ohybů hlavních výztuží. Hlavní výztuž je zobrazena červenou a rozdělovací zelenou barvou.



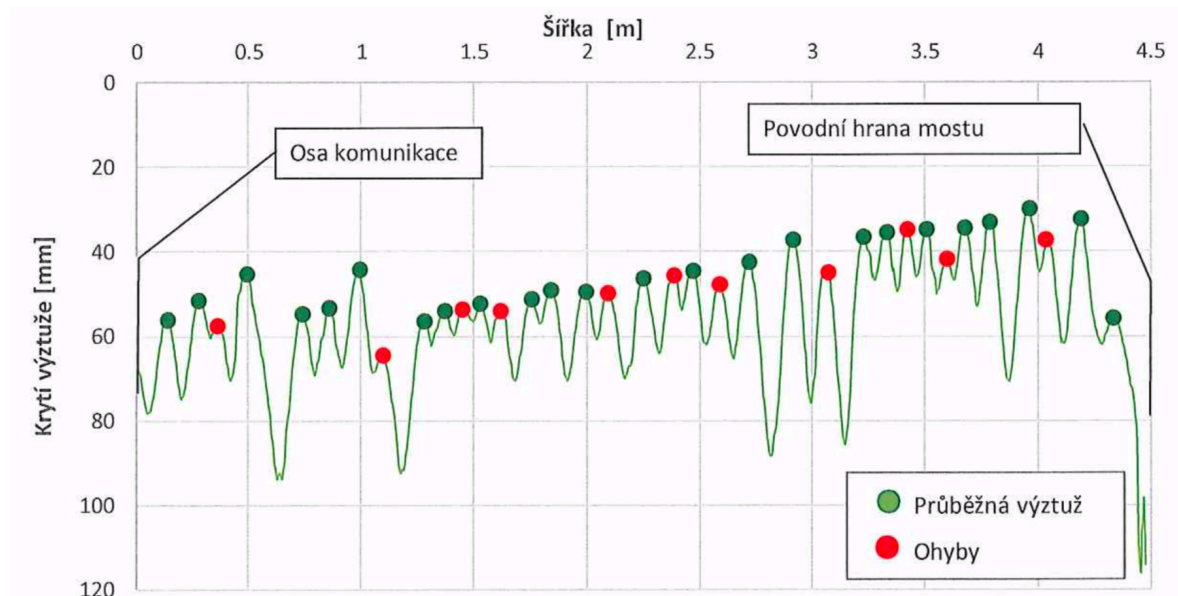
Obr. 54: Radarový sken ve 3D [G]

Liniový sken byl měřen cca 0,30 m od uložení třemošnické opěry mostu. Průběžně od opěry je zaznamenáno pouze 24 prutů hlavní výztuže a náznaky některých ohybů, které se nacházejí ve větší hloubce.



Obr. 55: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry [H]

Upravený liniový sken hlavní výztuže byl proveden cca 0,60 m od třemošnické opěry mostu, což je místo, kde začínají ohyby výztuže. Bylo zaznamenáno 35 prutů, to je stejný počet jako uprostřed rozpětí, ovšem část z nich má větší krytí, jelikož se začíná ohýbat ve vzdálenosti přibližně 0,65 m od opěry. Jak z níže uvedeného obrázku vyplývá, ohybů je zde celkem 11, což znamená, že pokud by bylo dodrženo pravidelné střídání ohybů, byl by ohýbán každý třetí prut.



Obr. 56: Upravený liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry [H]

### 6.1.5. Závěr diagnostiky mostu

Důvodem provedení diagnostiky mostu v Ronově nad Doubravou bylo stanovení vyztužení železobetonové mostní desky od spodního líce ve středu desky a při opěře.

Georadarem Hilti PS1000 bylo provedeno stanovení hlavní a rozdělovací výztuže, což bylo následně potvrzeno profometrem PM-630, který zároveň odhadl průměr výztuže a její krytí. Pomocí těchto dvou vzájemně se doplňujících metod byly také zjištěny ohyby hlavní výztuže. Následně byla provedena sekaná sonda, která sloužila jako doplňující a upřesňující metoda předchozích dvou, co se týče průměru, typu výztuže a jejího krytí.

Hlavní výztuž je tvořena pruty průměru 16 mm s krytím v místě provádění sekané sondy 32 mm, rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 16 mm s krytím 50 mm.

Ve středu rozpětí desky je hlavní výztuž rozmístěna nepravidelně. Na délce přibližně 4,50 m bylo zjištěno 35 prutů hlavní výztuže ve vzdálenosti 120 mm a krytím u okraje mostu 25 - 30 mm. Směrem k ose mostu krytí vzrůstá až na 50 - 60 mm. Rozdělovací výztuž je ve vzájemné vzdálenosti 240 mm s krytím výztuže u opěry 43 mm, postupně ke středu rozpětí však narůstá až na 65 mm.

Sekaná sonda odhalila, že mostovka byla vyztužena ocelovou výztuží třídy 10 505.

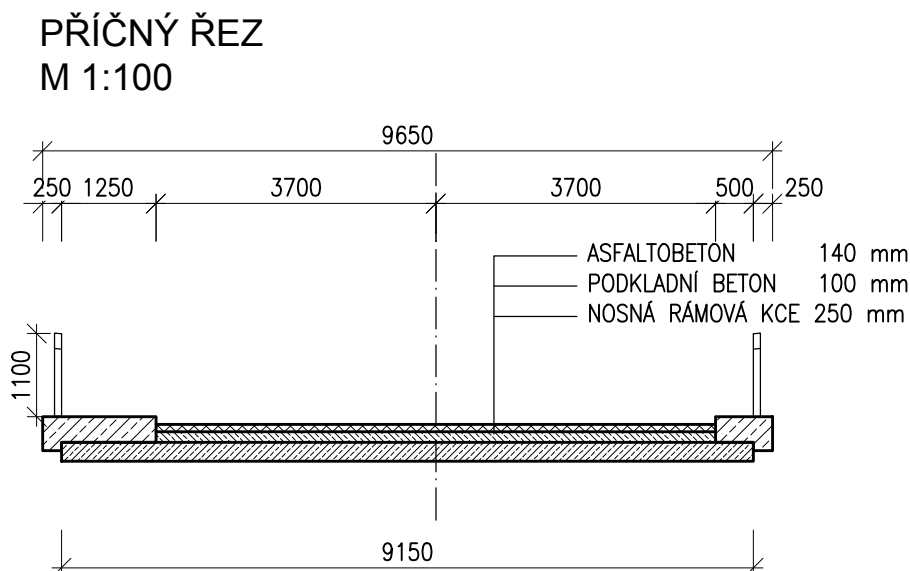
Smyková výztuž je řešena ohyby hlavní nosné výztuže, nikoliv třmínky. Liniový sken hlavní výztuže, který byl proveden cca 0,60 m od třemošnické opěry, kde počínají ohyby, zaznamenal 35 prutů výztuže, stejně jako uprostřed rozpětí. Avšak část z nich má větší krytí, neboť se začíná ohýbat ve vzdálenosti 0,65 m od opěry. Je zde celkem tedy 11 ohybů, což znamená, že pokud by bylo dodrženo pravidelné střídání ohybů, byl by ohýbán každý třetí prut.

## 6.2. Výpočet statické zatížitelnosti mostní konstrukce

Jedná se o silniční most z roku 2002. Most převádí komunikaci II. třídy přes koryto potoku v obci Ronov nad Doubravou.

Byly provedeny pravidelné kontrolní prohlídky stávající konstrukce, upřesňující diagnostika zabývající se hledáním výztuže spodního líce mostní desky. Jednopolový most s délkou nosné konstrukce 3,50 m a šířkou 9,15 m, tloušťky 250 mm. Mocnost vozovkového souvrství ve stávajícím stavu dosahuje průměrně tloušťky 0,24 m. Na mostě se na levé straně ve směru staničení nachází chodník šířky 1,25 m. Stávající vyztužení železobetonové konstrukce ve spodním líci mostovky je složeno z hlavní a rozdělovací výztuže. Hlavní i rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 16 mm. Ve středu rozpětí železobetonové desky je hlavní výztuž rozmístěna nepravidelně. Na délce 4,50 m je 35 prutů ve vzdálenosti 120 mm a krytím u okraje mostu 25 - 30 mm. Směrem k ose mostu krytí vzrůstá až na 50 - 60 mm. Rozdělovací výztuž je ve vzájemné vzdálenosti 240 mm s krytím výztuže u opěry 43 mm, postupně ke středu rozpětí narůstá až na 65 mm. Smyková výztuž je řešena ohyby hlavní nosné výztuže ve vzdálenosti 0,65 m od opěry. Ohnutý je přibližně každý třetí prut.

Beton nosné konstrukce je na základě jádrových vývrtů a počtu provedených zkoušek vyhodnocen jako B50, což v dnešní době odpovídá betonu C 40/50, je vyztužená ocelovou výztuží 10 505, ta má mez kluzu  $f_{yk} = 490$  MPa. Návrhová pevnost betonu v tlaku je  $f_{cd} = 26,67$  MPa.



Obr. 57: Příčný řez [C]

### 6.2.1. Výpočet stávající únosnosti

#### Geometrie průřezu

h [m]	b [m]
0,25	1,0

#### Materiálové charakteristiky

Beton C40/50

$f_{ck}$ [MPa]	$E_{cm}$ [GPa]	$\gamma_c$ [-]	$f_{cd}$ [MPa]	$\epsilon_{c3}$ [-]	$\epsilon_{cu3}$ [-]	$\lambda$ [-]	$\eta$ [-]
40	35	1,5	26,67	0,00175	0,0035	0,8	1

Betonářská výztuž 10 505

$\phi$ [mm]	$a_\phi$ [mm]	n [ks]	c [mm]	$A_s$ [m <sup>2</sup> ]	$f_{yk}$ [MPa]	$E_s$ [GPa]	$\gamma_s$ [-]	$f_{yd}$ [MPa]
16	120	9	60	0,001810	490,00	200	1,15	426,09

#### Moment na mezi únosnosti

$$d_1 = c_{nom} + \frac{\phi}{2} = 60 + \frac{16}{2} = 68 \text{ mm}$$

$$d = h - d_1 = 250 - 68 = 182 \text{ mm}$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot \phi^2}{4} \cdot n = \frac{\pi \cdot 16^2}{4} \cdot 9 = 1809,56 \text{ mm}^2 = 18,10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_{yd}}{b \cdot \lambda \cdot f_{cd}} = \frac{18,10 \cdot 10^{-4} \cdot 426,09}{1,00 \cdot 0,8 \cdot 26,67} = 0,036 \text{ m}$$

$$a_c = \frac{\lambda \cdot x}{2} = \frac{0,8 \cdot 0,036}{2} = 0,014 \text{ m}$$

$$z_c = \frac{h}{2} - a_c = \frac{0,250}{2} - 0,014 = 0,111 \text{ m}$$

$$z_s = d - \frac{h}{2} = 0,182 - \frac{0,250}{2} = 0,057 \text{ m}$$

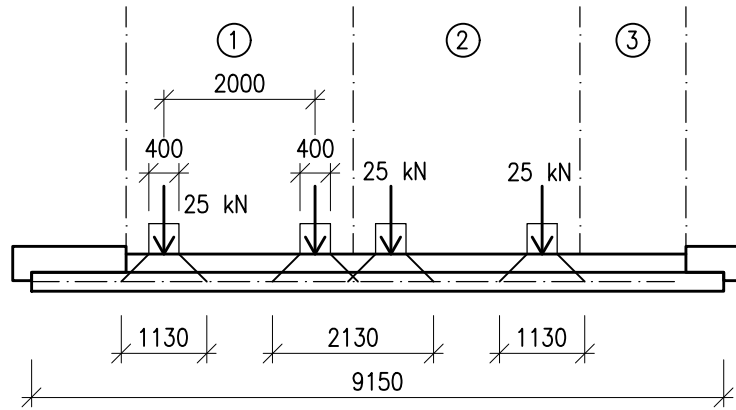
$$F_c = \lambda \cdot x \cdot b \cdot \eta \cdot f_{cd} = 0,8 \cdot 0,036 \cdot 1,00 \cdot 1 \cdot 26,67 \cdot 10^3 = 771,03 \text{ kN}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 18,10 \cdot 10^{-4} \cdot 426,09 \cdot 10^3 = 771,03 \text{ kN}$$

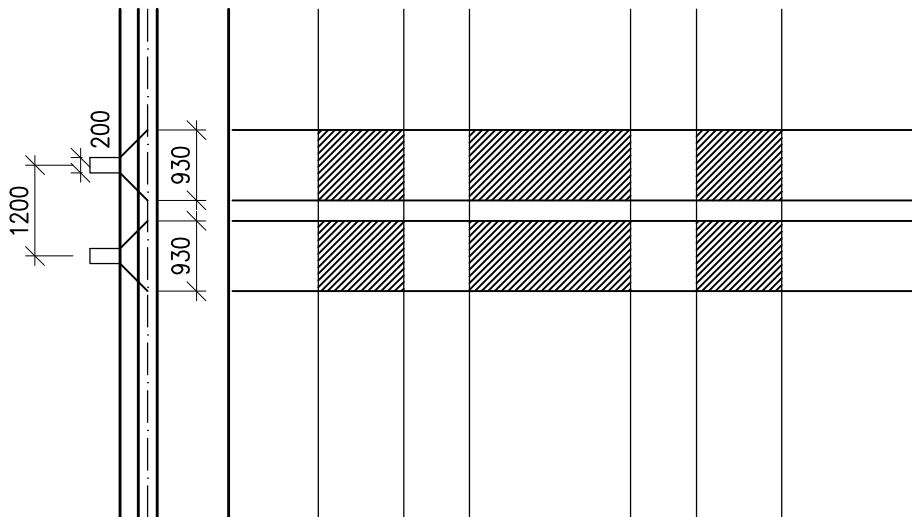
$$M_{Rd} = F_c \cdot z_c + F_s \cdot z_s = 771,03 \cdot 0,111 + 771,03 \cdot 0,057 = 129,18 \text{ kNm}^{-1}$$

## 6.2.2. Roznos zatížení

### NORMÁLNÍ ZATÍŽITELNOST ROZNOS V PŘÍČNÉM SMĚRU



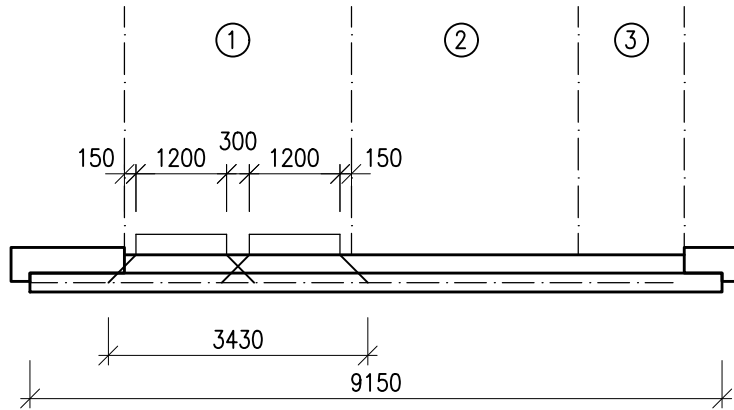
### ROZNOS V PODÉLNÉM SMĚRU



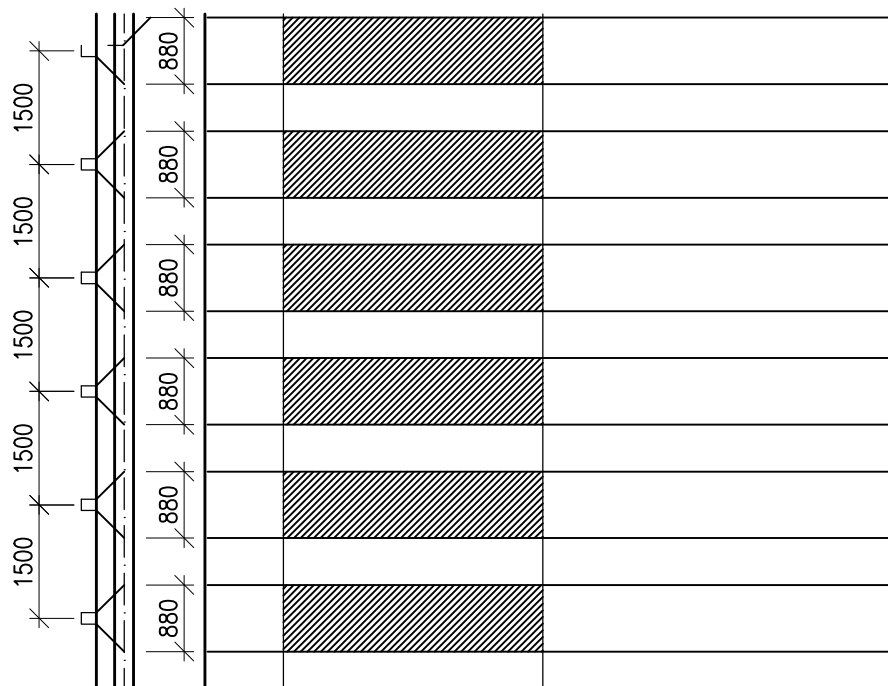
Obr. 58: Roznos zatížení - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [C]

# VÝHRADNÍ ZATÍŽITELNOST

## ROZDOS V PŘÍČNÉM SMĚRU



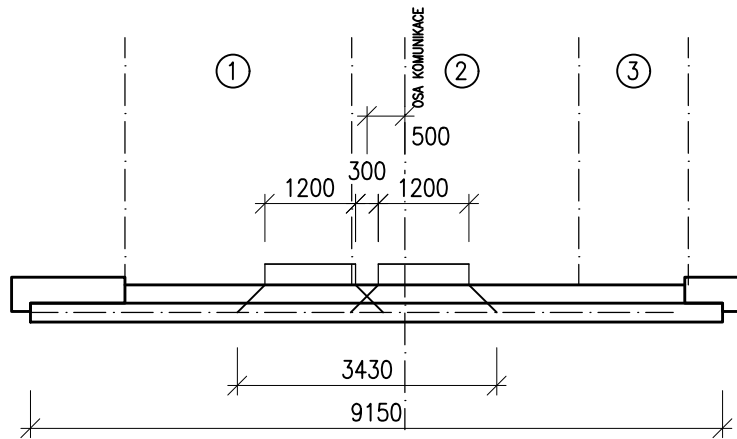
## ROZDOS V PODÉLNÉM SMĚRU



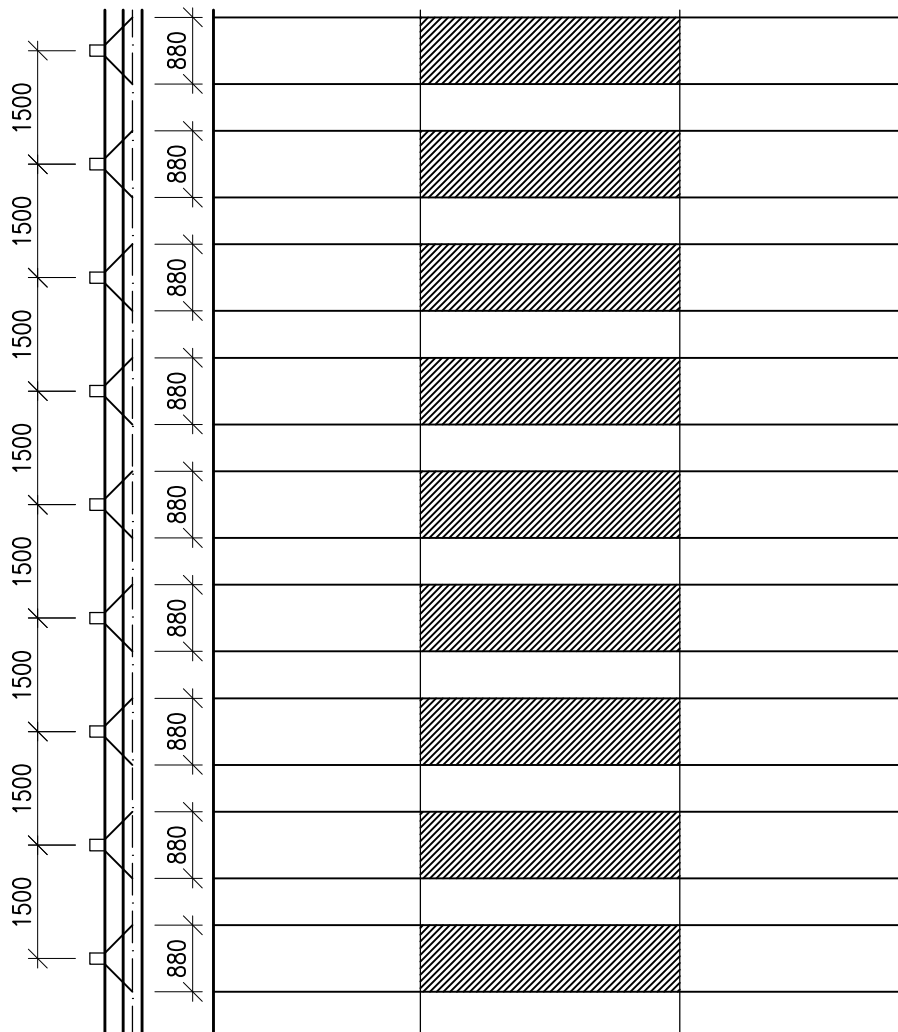
Obr. 59: Roznos zatížení - šestnápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [C]

# VÝJIMEČNÁ ZATÍŽITELNOST

## ROZNOS V PŘÍČNÉM SMĚRU



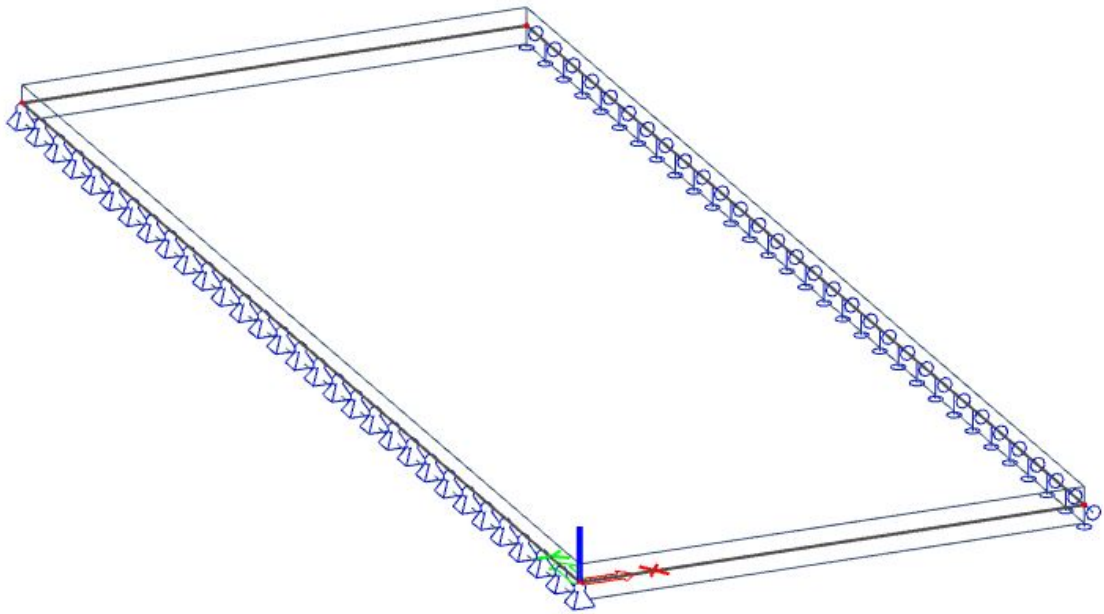
## ROZNOS V PODÉLNÉM SMĚRU



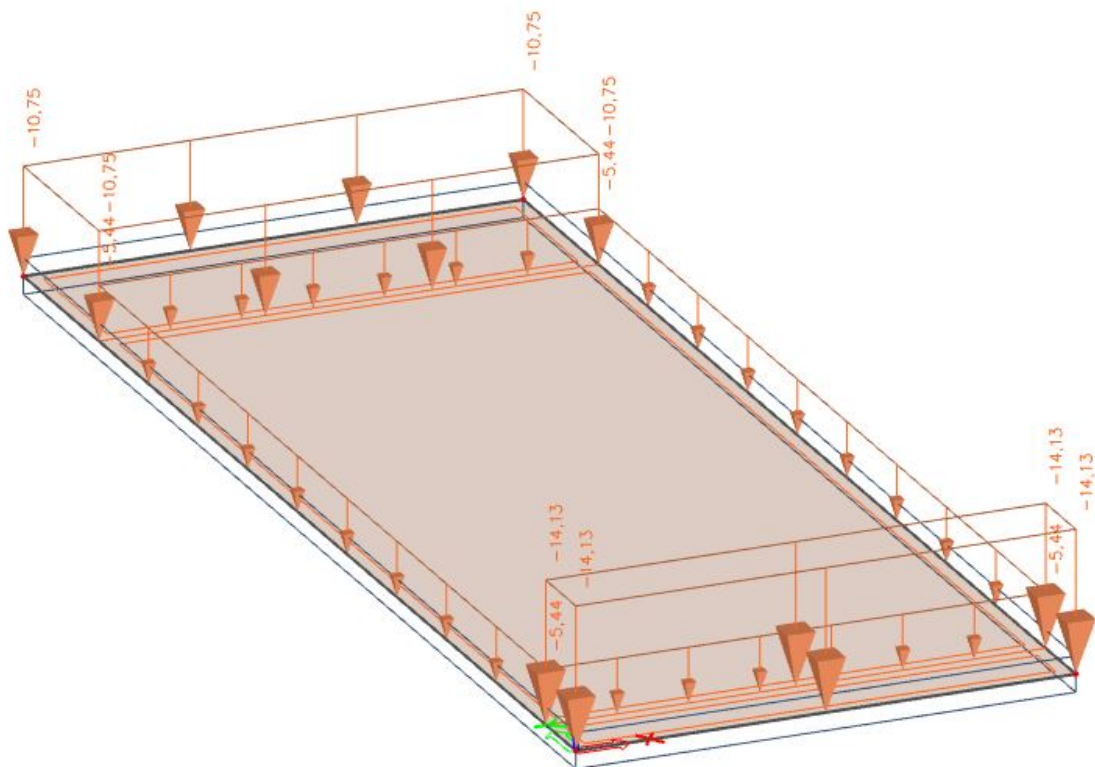
Obr. 60: Roznos zatížení - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [C]

### 6.2.3. Model konstrukce

Konstrukce byla vymodelována jako desková konstrukce v programu SCIA Engineer. Zatížení od ostatního stálého a od dopravy bylo modelováno jako plošné zatížení.

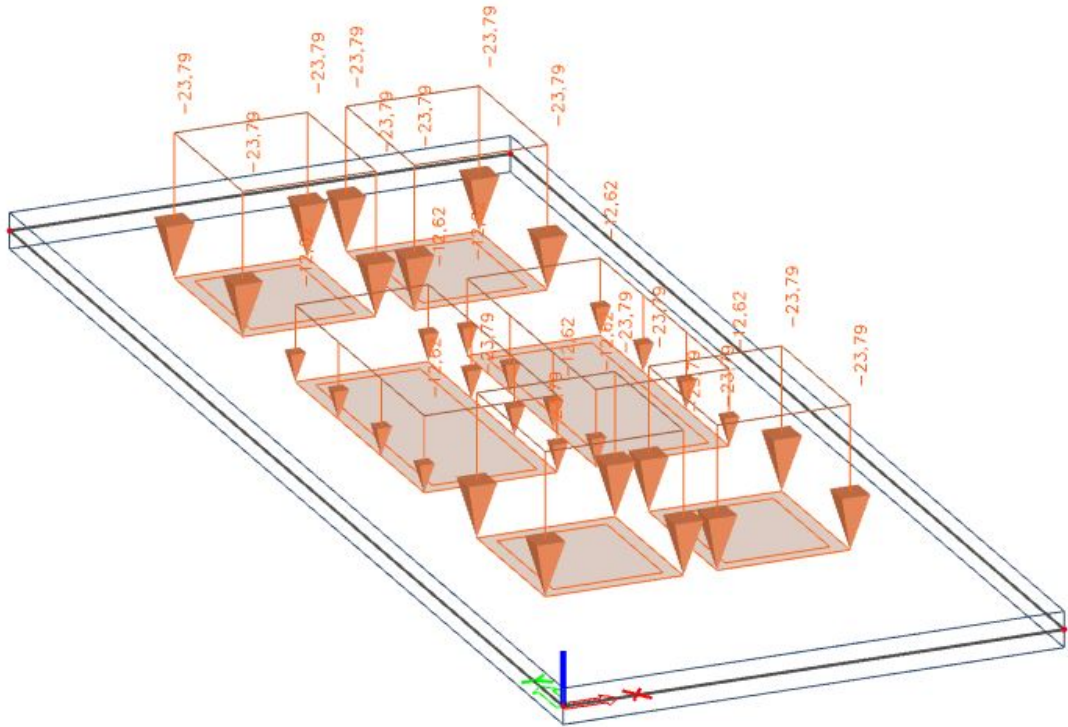


Obr. 61: Model desky [!]

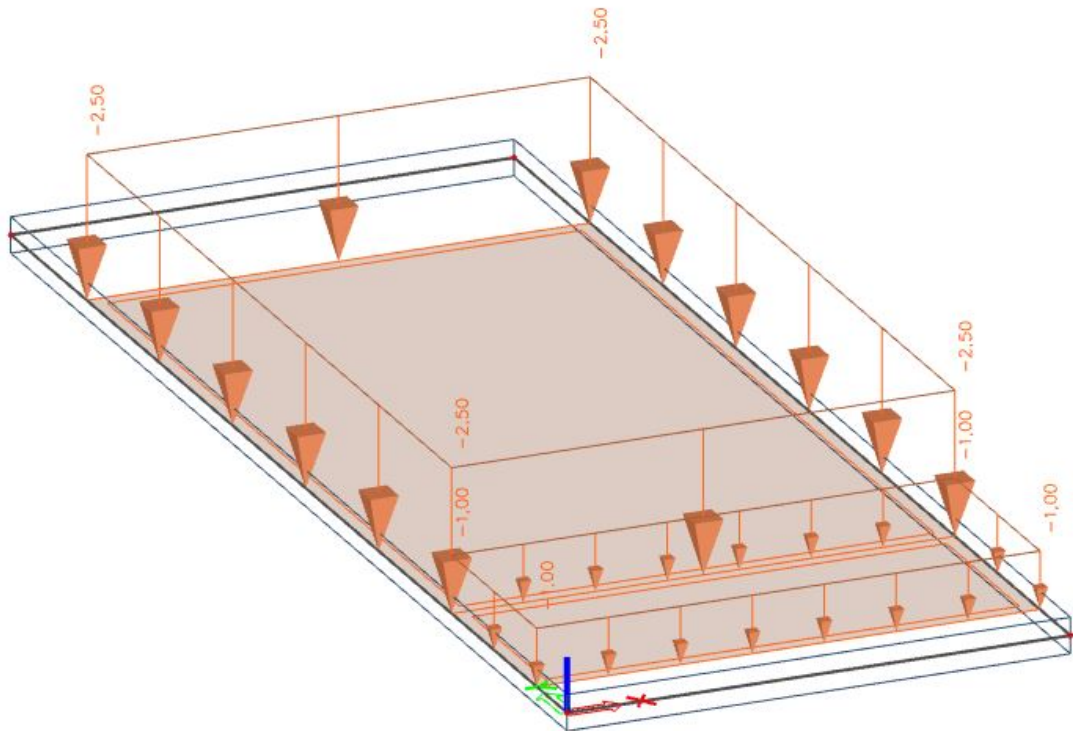


Obr. 62: Ostatní stálé zatížení [!]

Zatěžovací schéma pro stanovení normální zatížitelnost se zatíží v příčném směru dvounápravou, kde na každé kolo se uvažuje zatížení 25 kN a to v pruzích č. 1 a č. 2. Dále je pruh č. 1 a č. 2 zatížen rovnoměrným zatížením neomezené délky o velikosti 2,5 kN/m<sup>2</sup> a zbývající plocha zatěžovacího prostoru 1 kN/m<sup>2</sup>.

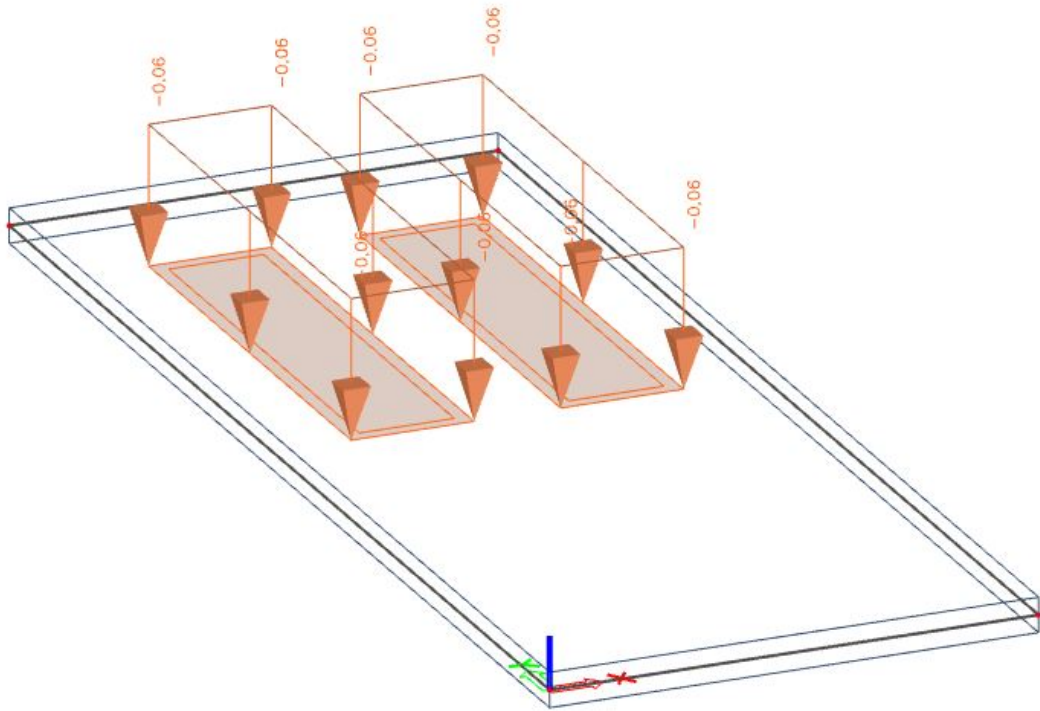


Obr. 63: Zatížení dopravou - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [I]



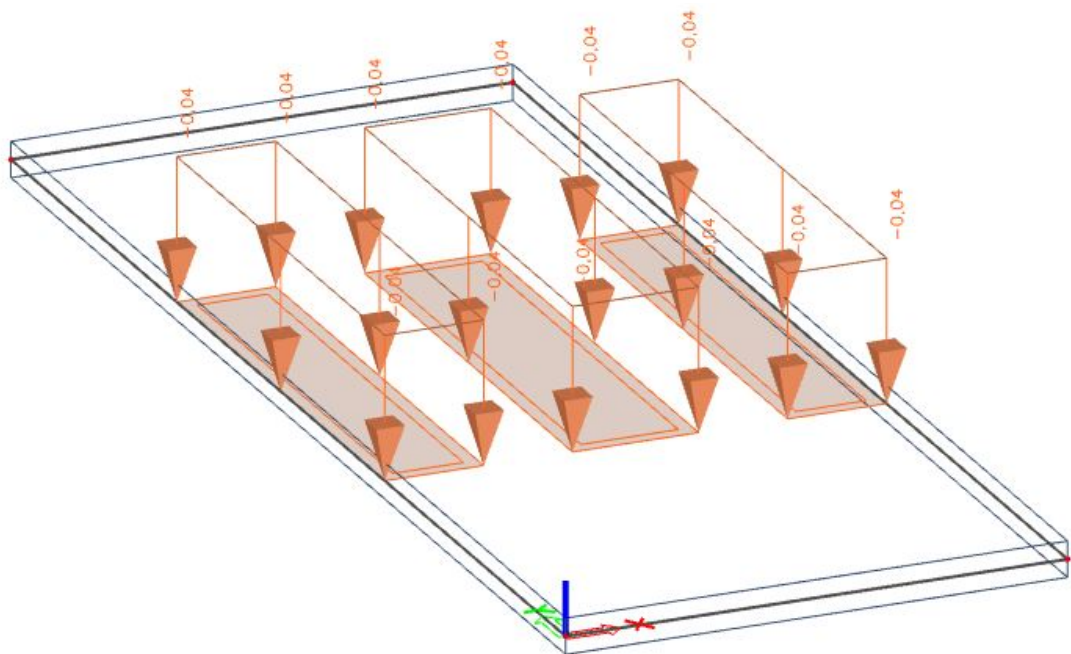
Obr. 64: Zatížení dopravou - rovnoměrné zatížení - normální zatížitelnost [I]

Zatěžovací schéma se při výhradní zatížitelnosti zatíží šestnápravovým vozidlem jednotkové tíhy 1 kN.



Obr. 65: Zatížení dopravou - šestnápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [I]

Výjimečná zatížitelnost je stanovena jako největší přípustná hmotnost devítinápravového vozidla, které se pohybuje v předepsané stopě předepsanou rychlostí. Zatěžovací schéma se zatíží vozidlem jednotkové tíhy 1 kN.



Obr. 66: Zatížení dopravou - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [I]

#### 6.2.4. Výpočet zatížitelnosti dle ČSN 73 6222

$$M_{Rd} = 129,18 \text{ kNm}$$

$$M_{Gk} = 9,84 \text{ kNm}$$

$$M_{G1k} = 13,64 \text{ kNm}$$

$$L_d = 7,00 \text{ m}$$

$$f = 90,6 \cdot L_d^{-0,923} = 90,6 \cdot 3,50^{-0,923} = 28,51 \text{ Hz}$$

$$\alpha = 0,8 \quad (\text{klasifikační stupeň IV})$$

$$M_{Rd} = M_{Ed}$$

$$M_{Eda} = \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \psi_{01} \cdot \gamma_Q \cdot Q_k = 1,35 \cdot (9,84 + 13,64) + 0,75 \cdot 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qa}$$

$$129,18 = 31,70 + 0,75 \cdot 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qa}$$

$$\delta \cdot M_{qa} = 96,28 \text{ kNm}$$

$$M_{Edb} = \xi \cdot \gamma_{G,sup} \cdot G_k + \gamma_Q \cdot Q_k = 0,85 \cdot 1,35 \cdot (9,84 + 13,64) + 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qb}$$

$$129,18 = 26,94 + 1,35 \cdot \delta \cdot M_{qb}$$

$$\delta \cdot M_{qb} = 75,73 \text{ kNm}$$

**rozhoduje**

#### Normální zatížitelnost

$$M_{Vn} = 14,36 \text{ kNm}$$

$$\delta_2 = 1,20$$

$$\delta \cdot M_{qb} = \delta_2 \cdot M_{Vn}$$

$$75,73 = 1,20 \cdot 14,36 \cdot v_n$$

$$v_n = 4,3947 \text{ kNm}^{-2}$$

$$V_{aw} = 100 \cdot v_n \cdot \alpha = 100 \cdot 4,8808 \cdot 0,8 = 351,58 \text{ kN}$$

$$V_{nw} = \frac{4}{3} \cdot V_{aw} = \frac{4}{3} \cdot 351,58 = 468,77 \text{ kN}$$

$$V_n = \frac{1}{10} \cdot V_{nw} = \frac{1}{10} \cdot 468,77 = 46,88 \text{ t}$$

Posudek

$$V_n = 46,88 \text{ t} > V_{n,norm} = 32 \text{ t}$$

**VYHOVUJE**

### **Výhradní zatížitelnost**

$$M_{Vr} = 0,03 \text{ kNm}$$

$$\delta_1 = 1,25$$

$$\delta \cdot M_{qb} = \delta_1 \cdot M_{Vr}$$

$$75,73 = 1,25 \cdot 0,03 \cdot V_{rw}$$

$$V_{rw} = 2019,47 \cdot \alpha = 2019,47 \cdot 0,8 = 1615,57 \text{ kN}$$

$$V_r = \frac{1}{10} \cdot V_{rw} = \frac{1}{10} \cdot 1615,57 = 161,56 \text{ t}$$

Posudek

$$V_r = 161,56 \text{ t} > V_{r, norm} = 80 \text{ t} \quad \text{VYHOVUJE}$$

### **Výjimečná zatížitelnost**

$$M_{Ve} = 0,02 \text{ kNm}$$

$$\delta = 1,05$$

$$\delta \cdot M_{qb} = \delta \cdot M_{Ve}$$

$$75,73 = 1,05 \cdot 0,02 \cdot V_{ew}$$

$$V_{ew} = 3606,19 \cdot \alpha = 3606,19 \cdot 0,8 = 2884,95 \text{ kN}$$

$$V_e = \frac{1}{10} \cdot V_{ew} = \frac{1}{10} \cdot 2884,95 = 288,50 \text{ t}$$

Posudek

$$V_e = 288,50 \text{ t} > V_{e, norm} = 180 \text{ t} \quad \text{VYHOVUJE}$$

[27]

### 6.3. Závěr

Na základě požadavku statika byla pro následný výpočet zatížitelnosti provedena doplňující diagnostika mostu, která se zabývala stanovením vyztužení spodního líce ve středu mostovky a při opěře. Pomocí nejmodernějších technologií, georadaru HILTI PS 1000 a profometru PM-630, které byly doplněny sekanou sondou, byla v konstrukci zjištěna přítomnost hlavní a rozdělovací výztuže. Hlavní výztuž je tvořena pruty průměru 16 mm s krytím v místě provádění sekané sondy 32 mm, rozdělovací výztuž je tvořena pruty průměru 16 mm s krytím 50 mm. Ve středu rozpětí železobetonové desky je hlavní výztuž rozmístěna v nepravidelně, na délce přibližně 4,50 m bylo zjištěno 35 prutů hlavní výztuže ve vzdálenosti 120 mm a krytím u okraje mostu 25 - 30 mm. Směrem k ose mostu krytí vzrůstá až na 50 - 60 mm. Rozdělovací výztuž je ve vzájemné vzdálenosti 240 mm s krytím výztuže u opěr 43 mm, postupně ke středu rozpětí však vzrůstá až na 65 mm. Sekanou sondou byl určen typ výztuže. Podle uspořádání byla určena jako výztuž třídy 10 505.

Pro komplexní přehled o konstrukci byl v rámci diplomové práce proveden rozbor předešlých mostních prohlídek. Mostní list neudává třídu betonu, ani třídu použité oceli. Avšak v roce 2017 byl proveden stavebně technický průzkum, kde byly z konstrukce odebrány jádrové vývrty, které byly následně podrobeny zatěžovací zkoušce a z toho byla stanovena válcová pevnost betonu v tlaku, která odpovídá betonu třídy C40/50.

Z vizuálního pohledu při provedení diagnostického průzkumu lze konstatovat, že most je ve velmi dobrém stavu, to znamená, že by se dal zařadit do klasifikačního stupně III. Avšak na základě provedených předchozích kontrolních prohlídek, kde bylo zjištěno vnikání vody do konstrukce vozovky, je most zařazen do klasifikačního stupně IV, což následně ovlivnilo výpočet zatížitelnosti konstrukce.

Postup výpočtu zatížitelnosti mostní konstrukce byl stanoven dle ČSN 73 6222. Při výpočtu momentu na mezi únosnosti byla zohledněna hlavní výztuž průměru 16 mm. Rozmístění výztuže je s ohledem na stranu bezpečnou uvažováno 120 mm. Tloušťka desky 250 mm, uvažovaná šířka desky 1,00 m.

V programu autocad byl vykreslen roznos zatížení v příčném a podélném směru, který se uplatnil při modelování v programu SCIA Engineer. Mostovka byla vymodelována jako deska, lineárně podepřená, na jedné straně kloubovou, na druhé straně posuvnou podporou. Byly vytvořeny čtyři zatěžovací stavy - vlastní tíha, ostatní stálé zatížení, zatížení dvounápravovým vozidlem současně s rovnoměrným zatížením, zatížení šestinápravovým vozidlem a devítinápravovým vozidlem. Do programu byly vozidla umístěna v podélném směru tak, aby vyvodila nejméně příznivou hodnotu, tzn. vždy doprostřed rozpětí. Momenty, které vyvodily tyto zatížení jsou využity při výpočtu normální, výhradní a výjimečné zatížitelnosti, které byly současně posouzeny s normovými hodnotami.

- normální zatížitelnost  $V_n = 46,88 \text{ t} > V_{n,norm} = 32 \text{ t}$
- výhradní zatížitelnost  $V_r = 161,56 \text{ t} > V_{r,norm} = 80 \text{ t}$
- výjimečná zatížitelnost  $V_e = 288,50 \text{ t} > V_{e,norm} = 180 \text{ t}$

Vypočítané hodnoty jsou vyšší, než údaje z mostních listů. To může být způsobeno odlišnými vstupními parametry pro výpočet a také použitím starších předpisů.

Na základě zjištěných informací z prohlídek a výpočtů lze konstatovat, že co se týče starších mostních objektů, je dobré provádět diagnostiku konstrukcí, jelikož se nedá spoléhat na pravdivost informací uvedených v mostních listech, případně údaje nejsou vždy kompletní.

## Zdroje použité literatury

- [1] SVOBODA, Luboš a kol. *Stavební hmoty*. 3. Praha, 2013, s. 950. ISBN 978-80-260-4972-2
- [2] DOBROVOLNÝ, B. a kol. *Přehled stavitelství: Praktické a studijní přehledy práce*, svazek 3. Praha: Nakladatelství Práce, 1950
- [3] *Historie železobetonu. Z historie užití betonu* [online]. 2005 [cit. 2018-09-26]. Dostupné z: <http://www.earch.cz/cs/z-historie-uziti-betonu>
- [4] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLÉ a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí, přednášky*. Brno: Studijní opora VUT, 2005
- [5] TERZIJSKI, Ivailo. *Betonové prvky*. Modul MO1: Základy navrhování konstrukcí, zatížení, materiály. Brno, VUT FAST v Brně, 2013, s. 66
- [6] ADÁMEK, Jiří, Jan KOUKAL a Bohumil NOVOTNÝ. *Stavební materiály*. Brno: CERM, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0631-3
- [7] BILČÍK, Juraj, L'udovít FILLO, Vladimír BENKO a Jaroslav HALVONIK. *Betónové konštrukcie: navrhovanie podl'a EN 1992-1-1*. 2. vyd. Bratislava: Vydavateľstvo STU, 2008. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-227-2940-6
- [8] *Přehled betonářských výztuží od roku 1923* [online]. [cit. 2018-10-19]. Dostupné z: [http://people.fsv.cvut.cz/~drahomic/Pomucky/Char\\_mat/Porovnani\\_Vyztuz\\_DN.pdf](http://people.fsv.cvut.cz/~drahomic/Pomucky/Char_mat/Porovnani_Vyztuz_DN.pdf)
- [9] *Diagnostický průzkum: Metodika* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, 2008 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_8\\_TP/TP\\_72.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_72.pdf)
- [10] VLČEK, Milan, Ivan MOUDRÝ, Miloslav NOVOTNÝ, Petr BENEŠ a Věra MACEKOVÁ. *Poruchy a rekonstrukce staveb*. 2., dopl. a opr. vyd. Brno: ERA group, 2003. Technická knihovna (ERA). ISBN 80-865-1756-X
- [11] *Oprávnění k výkonu prohlídek mostních objektů pozemních komunikací: Výkon prohlídek mostních objektů pozemních komunikací* [online]. Praha: Ministerstvo dopravy, 2016 [cit. 2018-12-08]. Dostupné z: [http://www.pjpk.cz/data/USR\\_001\\_2\\_11\\_METODICKE\\_POKYNY/MP\\_Opraveneni\\_k\\_vykonu\\_prohlidek\\_mostnich\\_objektu\\_PK\\_\\_2016\\_.pdf](http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_11_METODICKE_POKYNY/MP_Opraveneni_k_vykonu_prohlidek_mostnich_objektu_PK__2016_.pdf)

- [12] ČSN 73 6221. *Prohlídky mostů pozemních komunikací*. Praha: Český normalizační institut, 2011
- [13] *SYSTÉM PS 1000 X-SCAN* [online]. [cit. 2018-11-15]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/laserová-technika/systémy-detekce/r6436760?itemCode=2154110#nav%2Fclose>
- [14] *Pevnost v tlaku betonu na vývrtech: Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci* [online]. Brno, 2016 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: [http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/M\\_C3\\_2016\\_Návod\\_vývrt.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/M_C3_2016_Návod_vývrt.pdf)
- [15] ŠALDA. *Mostní list: Silniční most*. 1997
- [16] DVORÁK a SEDLÁČEK. *První hlavní prohlídka: Most*. 1997
- [17] JUSTOVÁ, Markéta. *Běžná prohlídka: Most*. 2016
- [18] VÁVRA, Zdeněk. *Stavebně technický průzkum mostu: Most*. 2017
- [19] CHARVÁTOVÁ, Marie. *Technická zpráva mostu: Modernizace silnice II/364 a II/365 Svojanov - hranice kraje*. 2018
- [20] ANTON, Ondřej. *Vývoj a upřesnění radiografických metod ve stavebnictví*. Brno, 2009. Dizertace. VUT v Brně, Fakulta stavební
- [21] CIKRLÉ, Petr a ANTON, Ondřej. *Vývoj nedestruktivních metod pro zkoušení betonu od roku 1990: Radar* [online]. 2015 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: [http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-3-03\\_0.pdf](http://www.betontks.cz/sites/default/files/2015-3-03_0.pdf)
- [22] *Elektromagnetické indikátory výztuže* [online]. Brno: Web Ústavu stavebního zkušebnictví, 2016 [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: [http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/2016/ESF\\_C5a\\_2016\\_Návod.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/2016/ESF_C5a_2016_Návod.pdf)
- [23] BEDNAŘÍK. *Mostní list: Silniční most*. 2002
- [24] CHOCHOLOUŠ, Dušan. *Běžná prohlídka: Most*. 2016
- [25] VÁVRA, Zdeněk. *Stavebně technický průzkum mostu: Most*. Praha, 2017

[26] CHARVÁTOVÁ, Marie. *Technická zpráva mostu: Modernizace silnice II/337 Třemošice - hranice kraje Pk.* 2018

[27] ČSN 73 6222. *Zatížitelnost mostů pozemních komunikací.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013

## Seznam použitých obrázků

- Obr. 1: Klenba římského Pantheonu [A]
- Obr. 2: Víceúčelová hala ve Wroclawi [B]
- Obr. 3: Betonářská výztuž Roxor [C]
- Obr. 4: Betonářská výztuž Isteg [C]
- Obr. 5: Betonářská výztuž Toros [C]
- Obr. 6: Pohled na most v protisměru staničení [F]
- Obr. 7: Pohled na návodní stranu mostu [F]
- Obr. 8: Systém PS 1000 X-SCAN [D]
- Obr. 9: Ukázka plošného měření radarem [F]
- Obr. 10: Profometer PM-630 [E]
- Obr. 11: Ukázka sekané sondy [F]
- Obr. 12: Provádění georadarového skenu v místě sondy R1 [F]
- Obr. 13: Provádění georadarového skenu v místě sondy R2 [F]
- Obr. 14: Schéma umístění sondy R1 a R2 [C]
- Obr. 15: Provádění liniového skenu elektromagnetickým indikátorem [F]
- Obr. 16: Schéma umístění skenu elektromagnetickým indikátorem [C]
- Obr. 17: Plošný radarový sken [G]
- Obr. 18: Radarový sken ve 3D [G]
- Obr. 19: Liniový sken elektromagnetickým indikátorem [H]
- Obr. 20: Odhad průměru hlavní výztuže [H]
- Obr. 21: Znázornění rozložení hlavní výztuže uprostřed rozpětí po celé šířce mostu [H]
- Obr. 22: Detail sekané sondy R1 [F]
- Obr. 23: Složená dvojice plošných radarových skenů [G]
- Obr. 24: Radarový sken ve 3D [G]
- Obr. 25: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry OP1 [H]
- Obr. 26: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry OP2 [H]
- Obr. 27: Příčný řez mostu [C]
- Obr. 28: Roznos zatížení - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [C]
- Obr. 29: Roznos zatížení - šestinápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [C]
- Obr. 30: Roznos zatížení - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [C]
- Obr. 31: Model desky [I]
- Obr. 32: Ostatní stálé zatížení [I]
- Obr. 33: Zatížení dopravou - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [I]
- Obr. 34: Zatížení dopravou - rovnoměrné zatížení vozidlo - normální zatížitelnost [I]
- Obr. 35: Zatížení dopravou - šestinápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [I]
- Obr. 36: Zatížení dopravou - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [I]
- Obr. 37: Pohled na most v protisměru staničení [F]

- Obr. 38: Pohled na návodní stranu mostu [F]
- Obr. 39: Provádění georadarového skenu v místě sondy R1 [F]
- Obr. 40: Provádění georadarového skenu v místě sondy R2 [F]
- Obr. 41: Schéma umístění sondy R1 a R2 [C]
- Obr. 42: Provádění liniového skenu elektromagnetickým indikátorem [F]
- Obr. 43: Schéma umístění skenu elektromagnetickým indikátorem [C]
- Obr. 44: Plošný radarový sken [G]
- Obr. 45: Radarový sken ve 3D [G]
- Obr. 46: Liniový radarový sken hlavní výztuže [G]
- Obr. 47: Liniový radarový sken rozdělovací výztuže [G]
- Obr. 48: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem [H]
- Obr. 49: Liniový sken rozdělovací výztuže elektromagnetickým indikátorem [H]
- Obr. 50: Odhad průměru výztuže poblíž osy mostu [H]
- Obr. 51: Odhad průměru výztuže u kraje mostu [H]
- Obr. 52: Detail sekané sondy [F]
- Obr. 53: Plošný radarový sken [G]
- Obr. 54: Radarový sken ve 3D [G]
- Obr. 55: Liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry [H]
- Obr. 56: Upravený liniový sken hlavní výztuže elektromagnetickým indikátorem u opěry [H]
- Obr. 57: Příčný řez mostu [C]
- Obr. 58: Roznos zatížení - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [C]
- Obr. 59: Roznos zatížení - šestnápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [C]
- Obr. 60: Roznos zatížení - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [C]
- Obr. 61: Model desky [I]
- Obr. 62: Ostatní stálé zatížení [I]
- Obr. 63: Zatížení dopravou - dvounápravové vozidlo - normální zatížitelnost [I]
- Obr. 64: Zatížení dopravou - rovnoměrné zatížení - normální zatížitelnost [I]
- Obr. 65: Zatížení dopravou - šestnápravové vozidlo - výhradní zatížitelnost [I]
- Obr. 66: Zatížení dopravou - devítinápravové vozidlo - výjimečná zatížitelnost [I]

## Zdroje použitých obrázků

- [A] *The Pantheon*: Klenba římského Pantheonu [online]. 2017 [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <http://www.pantheonroma.com/en/the-pantheon.html>
- [B] *Hala století*: Víceúčelová hala ve Wroclawi [online]. [cit. 2018-10-15]. Dostupné z: <https://www.archiweb.cz/b/hala-stoleti-die-breslauer-jahrhunderthalle>
- [C] Vlastní zpracování
- [D] *Systém PS 1000 X-SCAN* [online]. [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/laserova-technika/systemy-detekce/r6436760?itemCode=2154110#nav%2Fclose>
- [E] *Profometer 650 AI. Proceq* [online]. b.r. [cit. 2018-12-02]. Dostupné z: [http://shop-usa.proceq.com/images/PM-600\\_Unit\\_wo\\_Rod\\_E-Shop.png?osCsid=c4a4v58buuo9aef1novtdm9225](http://shop-usa.proceq.com/images/PM-600_Unit_wo_Rod_E-Shop.png?osCsid=c4a4v58buuo9aef1novtdm9225)
- [F] Osobní archiv. doc. Ing. Pavla Schmida, Ph.D. 2018
- [G] Výstup z georadaru Hilti PS1000 X-SCAN
- [H] Výstup z profometru PM-630
- [I] Výstup programu SCIA Engineer

## Seznam použitých tabulek

Tab. 1: Základní vlastnosti betonářské oceli [I]

Tab. 2: Součinitele  $k_{n,x}$  pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty) [II]

Tab. 3: Minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku dle ČSN EN 13791 [II]

## Zdroje použitých tabulek

[I] ADÁMEK, Jiří, Jan KOUKAL a Bohumil NOVOTNÝ. *Stavební materiály*. Brno: CERM, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-0631-3

[II] *Pevnost v tlaku betonu na vývrtech: Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci* [online]. Brno, 2016 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: [http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/M\\_C3\\_2016\\_Návod\\_vývrt.pdf](http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI03/M_C3_2016_Návod_vývrt.pdf)