

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

MOŽNOSTI VYUŽITÍ RADARU PŘI PRŮZKUMECH MOSTŮ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

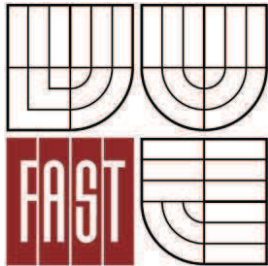
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VERONIKA MORAVSKÁ

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

MOŽNOSTI VYUŽITÍ RADARU PŘI PRŮZKUMECH MOSTŮ

POSSIBILITIES OF USING GPR IN DIAGNOSTICS OF BRIDGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VERONIKA MORAVSKÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3647R013 Konstrukce a dopravní stavby
Pracoviště Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student Veronika Moravská

Název Možnosti využití radaru při průzkumech mostů

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

Datum zadání bakalářské práce 30. 11. 2013

Datum odevzdání bakalářské práce 30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....
prof. Ing. Leonard Hobst, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

Schmidt, P. s kol. Základy zkušebnictví. Brno, CERM, 2001.

Anton, O. a kol. Základy zkušebnictví, Brno, CERM, 2002.

Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu CŽV, VUT v Brně, 2010.
Platné normy ČSN, ISO a EN.

Materiály v archivu SZK.

Zásady pro vypracování

Rešerše literatury, podkladů, databází mostů a platných norem se zaměřením na prohlídky železobetonových mostů, typy železobetonových mostů, terminologii a typické poruchy mostů.

Praktická část - testování použití georadaru při diagnostice reálných mostních konstrukcí.

Předepsané přílohy

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

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá diagnostickým průzkumem železobetonových mostů pomocí GPR.

V úvodní části je uvedeno GPR názvosloví, fyzikální pojmy. Další kapitola se zabývá metodami diagnostiky, které se používají pro lokalizaci výztuže.

V další části jsou popsány základní druhy mostů, mostní názvosloví a výztuž v hlavní nosné části.

V praktické části jsou popsány diagnostické průzkumy existujících mostních objektů.

Klíčová slova

Most, Georadar, GPR, diagnostika, železobeton, zkušebnictví, výztuž, vlnění

Abstract

This bachelor thesis deals with the diagnostic survey of reinforced concrete bridges using GPR.

In the first part of the GPR specified nomenclature, physical concepts. The next chapter deals with methods of diagnosis, which are used to locate reinforcement.

The next section describes the basic types of bridges, bridge terminology and reinforcement of the main body.

The practical part describes the diagnostic surveys of existing bridges.

Keywords

Bridge, Ground penetrating radar, GPR, diagnostics, ferroconcrete, building testin, reinforcement, wave

Bibliografická citace VŠKP

Veronika Moravská *Možnosti využití radaru při průzkumech mostů*. Brno, 2014. 61 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11.5.2014

.....
podpis autora
Veronika Moravská

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY VŠKP

Prohlášení:

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11.5.2014

.....
podpis autora
Veronika Moravská

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Ondřeji Antonovi Ph.D. za poskytnutí potřebných materiálů pro zpracování teoretické části práce a dále pak za objasnění problémů týkajících se praktické části práce, zejména však za profesionální a osobní přístup a za čas, který mi věnoval.

Dále děkuji společnosti Mostní vývoj s.r.o., jejím zaměstnancům a jmenovitě Ing. Janu Kryštofovi za umožnění podílení se na diagnostice mostní konstrukce prováděné jeho společností.

Mé poděkování patří i společnosti Rušar mosty, s.r.o. , která mi umožnila podílet se na diagnostice mostní konstrukce ve Vsetíně.

Poslední velké díky patří mým rodičům, kteří mě podporovali a stáli při mně po celou dobu studia.

OBSAH

1	ÚVOD	14
2	GEORADAR	15
2.1	Historie GPR.....	15
2.2	Podstata georadaru, základní pojmy	15
2.2.1	Podstata a funkce georadaru	15
2.2.2	Základní fyzikální pojmy.....	17
2.3	Omezení GPR průzkumu	18
2.4	Využití v různých odvětvích.....	19
3	DIAGNOSTICKÉ METODY PRO LOKALIZACI VÝZTUŽE	22
3.1	Sekané sondy	22
3.2	Georadary.....	23
3.3	Radiografie.....	23
3.4	Elektromagnetické indukční metody	25
4	TYPOLOGIE ŽELEZOBETONOVÝCH MOSTŮ.....	27
4.1	Základní pojmy	27
4.1.1	Spodní stavba mostu	27
4.1.2	Nosná konstrukce mostu	28
4.1.3	Mostní svršek.....	28
4.1.4	Mostní vybavení	28
4.2	Rozdělení mostů	29
4.3	Tvary mostních konstrukcí	29
4.3.1	Klenbové mosty	29
4.3.2	Železobetonové deskové mosty	30
4.3.3	Železobetonové trémové mosty	30
4.3.4	Železobetonové rámové mosty	31
4.3.5	Obloukové mosty.....	32
4.3.6	Zavěšené mosty.....	33
4.3.7	Visuté mosty	33
4.3.8	Mosty z předpjatého betonu.....	34

5 VYUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH METOD PRO DIAGNOSTIKU HLAVNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE.....	35
6 MODEL KONSTRUKCE PRO TESTOVÁNÍ GEORADARŮ	37
6.1 Testované situace	37
6.2 Výroba fyzikálního modelu	39
6.3 Vyhodnocení měření.....	42
6.4 Celkové zhodnocení.....	44
7 PRŮZKUM MOSTU LINHARTICE	45
7.1 Rozsah průzkumu	46
7.2 Použité metody průzkumu	46
7.3 Umístění sond	46
7.4 Výsledky průzkumu – stanovení vyztužení	49
8 PRŮZKUM MOSTU VSETÍN	50
8.1 Popis konstrukce mostu	50
8.2 Rozsah průzkumu	50
8.3 Ověření zainjektování kabelových kanálků	53
8.3.1 Použité metody průzkumů	53
8.4 Stanovení pevnosti betonu	65
8.4.1 Rozmístění sond.....	66
8.5 Ověření skladby vozovky	73
9 ZÁVĚR	74
10 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	77

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 2.1	Historie GPR (Přeloženo a upraveno) [1]	15
Obrázek 2.2	Základní fyzikální veličiny vlnění	17
Obrázek 2.3	Sonda přístroje HILTI PS 1000 [7]	19
Obrázek 2.4	Princip a součásti GPR (Přeloženo a upraveno) [11]	20
Obrázek 2.5	Archeologický průzkum pomocí GPR [13]	21
Obrázek 3.1	Ověření stavu a umístění ocelové výztuže	22
Obrázek 3.2	Gamagrafický kryt TECH/OPS [8]	23
Obrázek 3.3	Postup při vyhodnocování průřezu	24
Obrázek 3.4	Příklady radiogramů [6]	24
Obrázek 3.5	Odezva přístroje: jeden prut – výrazné maximum, vzdálené pruty – dvě rozpoznatelná maxima, pruty blízko u sebe – široké maximum, prut překrytý třmínkem.	25
Obrázek 3.6	Přístroj Profometer 5+ od firmy Proceq [12]	25
Obrázek 3.7	Přístroj Ferrosan PS 250 od firmy HILTI – max. hloubka pro detekci výztuže 180 mm (při průměru výztuže 36 mm), maximální hloubka ke stanovení průměru výztuže 60 mm, rozsah průměru výztuže 6 – 36 mm [14]	26
Obrázek 3.8	Přístroj D-tech 150 SV Professional od firmy Bosh - maximální hloubka lokalizace 150 mm, přesnost ± 5 mm [15]	26
Obrázek 4.1	Názvosloví mostů	27
Obrázek 4.2	Valená klenba. Základní popis částí	30
Obrázek 4.3	Deskový most, průřezy desky (plné, s dutinami)	30
Obrázek 4.4	Tvary trámů: a) obdélníkový, b) I – nosník, c) d) žebra s proměnnou šířkou	31
Obrázek 4.5	Příčné řezy trámových mostů	31
Obrázek 4.6	Rámová konstrukce	32
Obrázek 4.7	Obloukový most s nespolepůsobící horní mostovkou	32
Obrázek 4.8	Obloukový most s táhly s dolní mostovkou	33
Obrázek 4.9	Uspořádání zavěšených mostů – harfové, vějířové závěsy	33
Obrázek 4.10	Visutý most	34
Obrázek 0.1	Most přes Třebůvku, Linhartice	45
Obrázek 0.2	Lokalizace mostu na mapě	45

Obrázek 0.3	Znázornění umístění skenovaných ploch S1 a S2 na návodní straně mostu - sonda S1 600 x 600mm, sonda S2 600 x 600mm	47
Obrázek 0.4	Rastr 600 x 600 mm připravený pro skenování plochy S1	47
Obrázek 0.5	Sken v místě S1, dobře patrný ohyb výztuže, krytí cca 200 mm	48
Obrázek 0.6	Sken v místě S2, dobře patrný ohyb výztuže, krytí cca 200 mm	48
Obrázek 0.7	Vyztužení 1. nosníku - ohyb výztuže zjištění pomocí georadaru, hlavní výztuž, třmínky.	49
Obrázek 6.1	Lokalizace mostu na mapě	50
Obrázek 6.2	Znázornění polohy sond v pohledu a půdoryse krajního pole zlínské strany mosty	51
Obrázek 6.3	Znázornění polohy sond v pohledu a půdoryse krajního pole vsetínské strany mostu	52
Obrázek 6.4	Rastr pro plošné skenování sondou HILTI PS 1000 X-scan v místě sondy Z12	53
Obrázek 6.5	Plošný sken 600 x 600 mm v místě sondy Z11 s dobře patrnou polohou kanálku	54
Obrázek 6.6	Celkový pohled na sondu Z11	55
Obrázek 6.7	Sonda Z11 - patrný průřez chráničkou kabelového kanálku, viditelná injektážní směs	55
Obrázek 6.8	Plošný sken 600 x 600 mm v místě sondy Z21 s dobře patrnou polohou kanálku	56
Obrázek 6.9	Sonda Z21 s patrným průřezem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injektážní směsí	57
Obrázek 6.10	Celkový pohled na vývrt v místě sondy Z21	57
Obrázek 6.11	Plošný sken 600 x 600 mm v místě sondy Z12	58
Obrázek 6.12	Celkový pohled na sondu Z12	59
Obrázek 6.13	Sonda Z12 s patrným průřezem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injektážní směsí	59
Obrázek 6.14	Celkový pohled na sondu Z22	60
Obrázek 6.15	Sonda Z22 s patrným průřezem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injektážní směsí	61
Obrázek 6.16	Celkový pohled na sondu V11	62
Obrázek 6.17	Sonda V11, pod kabelovou chráničkou je patrná zatvrdlá injektážní směs	62
Obrázek 6.18	Celkový pohled na sondu V12	63

Obrázek 6.19 Sonda V12 s patrným průvrtem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injekční směsí	64
Obrázek 6.20 Znázornění rozmístění sond v pohledu a půdoryse krajního pole zlínské strany mostu	66
Obrázek 6.21 Znázornění rozmístění sond v pohledu a půdoryse krajního pole vsetínské strany mostu	67
Obrázek 6.22 Pohled na provádění plošného skenu	69
Obrázek 6.23 Plošný sken 600 x 600 mm v místě 3 - úložný práh	70
Obrázek 6.24 Celkový pohled na odběr vývrty 3	70
Obrázek 6.25 Celkový pohled na místo odběru vývrty 6	72
Obrázek 6.26 Znázornění polohy sond pro vývrty z vozovky na mapě	73
Obrázek 6.27 Ukázka sondy do vozovky	73
Obrázek 8.1 Schematická výkres fyzikálního modelu osazeného výše popsanými ocelovými prvky.	38
Obrázek 8.2 Fyzikální model, v popředí jsou patrné pruty ležící nad sebou s různou situací	39
Obrázek 8.3 Fyzikální model osazený výše popsanými prvky	39
Obrázek 8.4 Připravený model – vyplněný křemičitým pískem	40
Obrázek 8.5 Zarovnaná plocha křemičitého písku	40
Obrázek 8.6 Připravený model osazený sololitovou deskou a měřícím rastrem 1200 x 1200mm	41
Obrázek 8.7 Radarový sken s jasně patrnými pruty v horní vrstvě, s výjimkou prutů s menší vzdáleností než 40 mm	42
Obrázek 8.8 Sken s půdorysným zobrazením oblasti, s kabelovým kanálkem a smykovou výztuží, dobře patrné, že konstrukční výztuž může v jisté konfiguraci potlačit odezvu hlouběji umístěného objektu.	43
Obrázek 8.9 3D sken	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Rychlost šíření EM vln v závislosti na fyzikálních veličinách a hloubkový dosah při frekvenci 50 a 1000 Hz [5]	17
Tabulka 2 Zhodnocení použití jednotlivých metod pro lokalizace výztuže na jednotlivých typech mostů	35

1 ÚVOD

Tato práce se zabývá možnostmi využití georadaru (GPR) při diagnostice železobetonových mostních konstrukcí. V úvodní části je popsána problematika spojená s GPR, historie této metody, vysvětlení principu GPR, popis základních fyzikálních veličin a využití v jiných oblastech lidské činnosti.

Ve druhé části jsou popsány další metody pro lokalizaci výztuže, a to destruktivní i nedestruktivní.

Dále je v teoretické části vysvětlena problematika spojená s mostními konstrukcemi, a to jejich základní rozdělení a popis jednotlivých druhů mostních konstrukcí.

V praktické části je popsáno využití metody GPR při diagnostice mostních objektů.

První diagnostika byla provedena na mostní konstrukci v Linharticích, ve spolupráci se společností Mostní vývoj s.r.o., kde byla pomocí GPR provedena lokalizace smykové výztuže Vierendeelova nosníku.

Druhá diagnostika byla provedena na mostní konstrukci ve Vsetíně, ve spolupráci se společností Rušar mosty, s.r.o. Na této konstrukci byl georadar využit k nalezení polohy kabelových kanálků a ke stanovení optimálních míst pro provedení jádrových vývrtů na hlavní nosné konstrukci, úložném prahu a pilířích.

2 GEORADAR

2.1 HISTORIE GPR

První měření GPR bylo provedeno za účelem zjištění tloušťky ledovce v roce 1930 v Rakousku. V dalších letech nebyla však tato technologie využívána až do roku 1972. Následně začalo být měření GPR využíváno v širokém spektru lidských činností. Uplatnění našlo v geologii, stavitelství, archeologii nebo kriminalistice. [1]



2000	- Vývoj GPR a snaha o zavedení do širších oblastí výzkumu
	- 2000 - rozvoj aplikací pro GPR
	- 1990 - digitalizace GPR
	- 1972 - počátek využívání GPR, první komerční využití
	- 1967 - využití GPR při misi Apolla 17 na Měsíci
1950	- 1950 - využití GPR leteckými jednotkami USA v Grónsku
	- 1960 - zjišťování vlastností ledovců a podloží pomocí GPR
	- 1932 - Vznik výrazu RADAR
1900	- 1929 - První použití GPR v Rakousku pro zjišťování tloušťky ledovce

Obrázek 2.1 Historie GPR (Přeloženo a upraveno) [1]

2.2 PODSTATA GEORADARU, ZÁKLADNÍ POJMY

2.2.1 Podstata a funkce georadaru

Z důvodu rostoucích požadavků na nedestruktivní diagnostické metody dochází v současnosti k výraznému rozvoji a rozšíření uplatnění této technologie.

Georadar (GPR – Ground Penetrating Radar) je přístroj, který pracuje na principu průniku a odrazu elektromagnetických rádiových vln do podpovrchových částí konstrukce. Prvotně byl využíván v geologii, kde byly z vysílače vysílány vlny s velmi vysokou frekvencí do zemského podloží. Ty byly následně odrazeny zpět k povrchu a přijímací anténě. Vlnění je z části pohlceno okolním prostředím, další část absorbují jednotlivé

vrstvy a nehomogenity a část impulzů se vrací zpět k přijímači. Následně dochází k zpracování a vyhodnocení v centrální jednotce, kde se počítají časové prodlevy navracených vln.

Časové prodlevy závisí na rychlosti elektromagnetického signálu a hloubce odrazu. Pro diagnostiku stavebních konstrukcí jsou využívána zařízení, která mají frekvenci v rozsahu $10^8 - 10^9$ Hz. [2]

Rychlost průniku vln materiálem v je závislá na relativní permitivitě, ale také na elektrické vodivosti.

Rychlost šíření vln prostředím lze stanovit dle vzorce:

$$v = \frac{c}{\epsilon_r^{1/2}} \quad (2.1)$$

kde: v = rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím,
 c = rychlost šíření elektromagnetického signálu vakuem,
 ϵ_r = relativní permitivita.

V současnosti se GPR využívá v mnoha odvětvích. Pomocí GPR lze zjistit tvar, velikost, pozici předmětů a rozhraní jednotlivých materiálů ve zkoumaném prvku.

Útlum elektromagnetického signálu α [dB/m] a s tím související hloubka průniku signálu závisí na vodivosti prostředí s [S. m].

Koeficient útlumu α pro nemagnetické materiály lze stanovit dle vzorce:

$$\alpha = 1,64 \cdot \frac{s}{\epsilon_r^{1/2}} \quad (2.2)$$

U vysokých frekvencí dochází k většímu útlumu a hloubkový dosah měření je menší. Na rozhraní dvou prostředí se skokovou změnou elektromagnetických vlastností dochází k odrazu části signálu. [5]

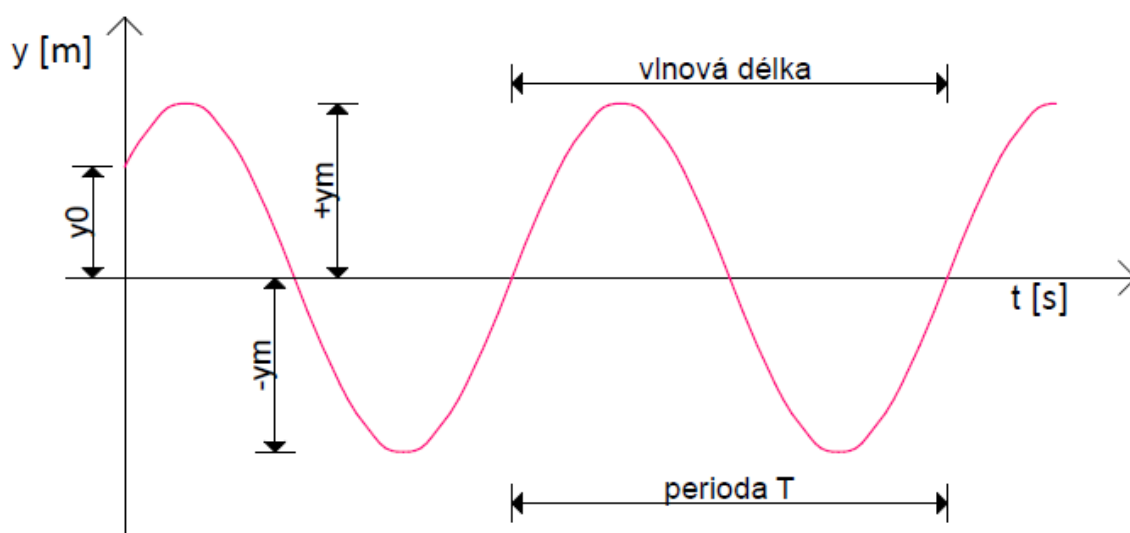
Schopnost georadaru detekovat nehomogenity je závislá na mnoha faktorech. Významnou roli hraje velikost nehomogenity, a to především v poměru k hloubce jejího uložení a k frekvenci měřicího zařízení. Platí obecné pravidlo, že georadarem lze detekovat objekty větší než polovina vlnové délky. [5]

Zařízení pracující s anténami o vyšších frekvencích mají tedy větší rozlišovací schopnost, nevýhodou je však menší hloubkový dosah. [5]

Materiál	Relativní permitivita ϵ_r	Rychlost (m/ns)	Vlnová délka (m)	
			Frekvence 50 Hz	Frekvence 1000 Hz
Vzduch	1	0,30	6	0,3
Pramenitá voda	81	0,033	0,66	0,033
Mořská voda	81	0,01	0,2	0,01
Led	3,2	0,16	3,2	0,16
Jíl	25-40	0,5-0,6	10-12	0,5-0,6
Granit	4-6	0,1-0,12	2-2,4	0,1-0,12
Vápenec	4-8	0,1-0,12	2-2,4	0,1-0,12
Nenasycený písek	3-6	0,15	3,0	0,15
Nasycený písek	20-30	0,06	1,2	0,06
Břidlice	5-15	0,09	1,8	0,09
Pracovce	5-30	0,07	1,4	0,07
Beton suchý	4-10	0,09-0,15	1,8-3	0,09-0,15
Beton vlhký	10-20	0,07-0,09	1,4-1,8	0,07-0,09
Písek suchý	4-6	0,12-0,15	2,4-3,0	0,12-0,15
Písek vlhký	10-30	0,05-0,09	1-1,8	0,05-0,09
Žula suchá	5-8	0,11-0,13	2,2-2,6	0,11-0,13
Žula vlhká	5-15	0,08-0,13	1,6-2,3	0,08-0,13

Tabulka 1: Rychlost šíření EM vln v závislosti na fyzikálních veličinách a hloubkový dosah při frekvenci 50 a 1000 Hz [5]

2.2.2 Základní fyzikální pojmy



Obrázek 2.2 Základní fyzikální veličiny vlnění

Kmitání (oscilace) je pohyb bodu, jehož průběh lze popsat s použitím časových funkcí s určitou periodou. Kmitáním částic prostředí, které se šíří od zdroje vzniká vlnění. Vlnění se dělí na příčné, podélné, stojaté apod..

Frekvence f [Hz] je fyzikální veličina vyjadřující počet oběhů za jednotku času.

Frekvenci a periodu spojuje následující vztah:

$$f = \frac{1}{T} \quad (2.3)$$

Vlnění je děj, při kterém dochází k přenosu energie ze zdroje do okolí. Elektromagnetická vlna kmitá sinusovým průběhem mezi svým minimem a maximem. Změna od začátku kladné půlvlny do konce záporné půlvlny se nazývá cyklus.

Vlnoplocha je plocha, jejíž body jsou stejně vzdálené od zdroje o rychlosti v za stejný čas t dosáhnou stejné vzdálenosti. Všechny body kmitají se stejnou fází. Směr šíření vln je určen přímkou, která vychází ze zdroje. Příмка je kolmá na vlnoplochu a nazývá se paprsek.

Vlnová délka λ je vzdálenost, o kterou se vlnění rozšíří na dobu kmitu T . Je nepřímo úměrná frekvenci f , která vyjadřuje počet opakování za sekundu.

Koeficient útlumu α pro nemagnetické materiály lze stanovit dle vzorce:

$$\lambda = \frac{v}{f} \quad (2.4)$$

kde: v = rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím,

f = střední frekvence vysílaného signálu.

Perioda T je časový interval, za který se kmity opakují.

Čelo vlny d je množina bodů, do které dospělo vlnění v určitém čase. Čelo vlny je první z vlnoploch.

Interference je děj, při kterém se skládají dvě nebo více vlnění do jednoho výsledného.

Relativní permitivita ϵ_r je míra energie potřebná k působení elektromagnetických vln. Závisí na materiálu, kterým se vlny šíří.

2.3 OMEZENÍ GPR PRŮZKUMU

Možnost použití a výsledky naměřených dat mohou být omezeny hloubkou a velikostí zkoumaného objektu. Při vysoké elektrické konduktivitě materiálu dochází k zeslabení vysílané radarové vlny. K oslabení odrazu může rovněž vést nevhodně zvolená frekvence nebo použití nezastíněné GPR antény, kdy dochází k šíření vln všemi směry. Bez znalosti možných povrchových znaků může dojít k chybnému vyhodnocení naměřených dat.

2.4 VYUŽITÍ V RŮZNÝCH ODVĚTVÍCH

GPR lze využít v nejrůznějších odvětvích, která se zabývají nedestruktivním podpovrchovým zkoumáním. Princip GPR zůstává ve všech oblastech stejný, může se lišit pouze způsob provádění měření a použitý přístroj.

Stavební zkušebnictví

Georadar našel v oblasti stavebního zkušebnictví největší uplatnění při diagnostice železobetonových konstrukcí. Pomocí GPR lze určit polohu ocelové výztuže a další nehomogenity v betonu.

Přelomem ve využívání principu georadaru při stavebně technických průzkumech se stalo uvedení na trh přístroje PS 1000 firmy HILTI. Konstrukce zařízení i používaný software jsou přímo vyvinuty pro diagnostiku železobetonových konstrukcí.



Obrázek 2.3 Sonda přístroje HILTI PS 1000 [7]

Umožňují určení jak polohy ocelových výztuží, tak i dalších nehomogenit v diagnostikovaných betonových prvcích. Hlavní výhodou tohoto přístroje je ve srovnání s klasickými georadary relativně malá sonda. Hloubka detekce přístroje je 300mm, přesnost lokalizace a přesnost určení hloubky ± 10 mm. [7]

Geologie

V geologii je GPR hojně využíváno pro geologické průzkumy. Při těch dochází ke zkoumání mělkých podpovrchových částí Země. Nejlepší výsledky jsou obvykle zjištěny

v podpovrchovém prostředí s vysokým měrným odporem, jako jsou například rašeliny, vápenec, písek, štěrky, písčité hlíny nebo led.

Pokles v kvalitě naměřených dat je obvykle způsoben vysokým obsahem prachových nebo jílovitých částic, které nadměrně zeslabují elektromagnetické vlny.

Georadarový průzkum je možné využít i v průzkumu ve vodivém prostředí, je-li podloží nebo podpovrchové profily odlišné od okolních materiálů.



Obrázek 2.4 Princip a součásti GPR (Přeloženo a upraveno) [11]

Kriminalistika

V kriminalistice našel uplatnění speciální georadar, který slouží při vyhledávání těl osob, které se staly obětí trestných činů.

Armáda

V armádě je metoda GPR využívána při vyhledávání min, skladišť, skrytých podzemních cest.

Archeologie

V archeologii se používají geofyzikální zemní radary, které slouží k vyhledávání a průzkumu různých objektů. Mezi tyto objekty patří základy, podzemní stěny, skryté dutiny, jeskyně, chodby, podzemní toky, tunely, bunkry nebo ukryté krypty či sochy. Geofyzikální zemní radary se liší od běžných lokátorů zejména širokou škálou antén se schopností penetrace v jednotkách metrů až dvou desítek metrů a schopností uložení velkého množství dat pro další zpracování a vyhodnocení. Výsledkem průzkumu je 3D model sledované oblasti, který je vytvořen ve specializovaném softwaru. Nejmodernější georadary jsou vybaveny paralelně řazenými anténami a umožňují přímo záznam a zobrazení ve 3D. [3]



Obrázek 2.5 Archeologický průzkum pomocí GPR [13]

3 DIAGNOSTICKÉ METODY PRO LOKALIZACI VÝZTUŽE

S rostoucími nároky na stavby a rozvojem technologií vznikají nové diagnostické metody. Diagnostické metody pro lokalizaci výztuže lze rozdělit na metody nedestruktivní, semidestruktivní a destruktivní.

Nedestruktivní metody NDT se vyznačují tím, že při jejich aplikaci nedochází k poškození zkoušeného prvku. To umožňuje opakované měření a sledování změn v delším časovém období bez nutnosti bourání a následných oprav.

Semidestruktivní metody SDT se uplatňují zejména při diagnostice stávajících konstrukcí. Mohou sloužit k doplnění informací, které byly zjištěny pomocí nedestruktivních metod (stav výztuže, druh).

Destruktivní metody DT se zabývají převážně laboratorním zkoušením odebraných vzorků nebo vzorků vyrobených přímo v laboratoři, určených ke zkoumání vlastností daného materiálu.

3.1 SEKANÉ SONDY

Tato metoda patří k semidestruktivním metodám. Je velmi využívána k ověření vyztužení prvku, zjištění tvaru ocelové výztuže, hloubky uložení nebo případné koroze.



Obrázek 3.1 Ověření stavu a umístění ocelové výztuže

Princip této metody je založen na mechanickém odstranění betonu v okolí výztuže pomocí bouracích nástrojů, jejím následném zaměření, stanovení stavu výztuže, počtu a typu.

Mezi hlavní výhody této metody patří zejména její finanční nenáročnost, proto je nejčastěji využívána. Hlavní nevýhody spočívají v poškození zkoumané konstrukce, nutnosti následných oprav a v riziku odhalení pouze části výztuže – nekompletnost výsledků v případech, kde je výztuž rozmístěna ve více vrstvách.

3.2 GEORADARY

Georadar pracuje na principu průniku a odrazu elektromagnetických rádiových vln do podpovrchových částí konstrukce. Využívá se k vyhledávání výztuže, předepjatých lan, dutin či jiných nehomogenity. Podrobněji popsáno v kapitole 2.

3.3 RADIOGRAFIE

Radiografie patří mezi nedestruktivní metody. Využívá se zejména k přesnějšímu určení výztuže, zjištění přesné polohy, typu a množství. Pomocí radiografické metody lze určit polohu výztuže uložené i ve více vrstvách.



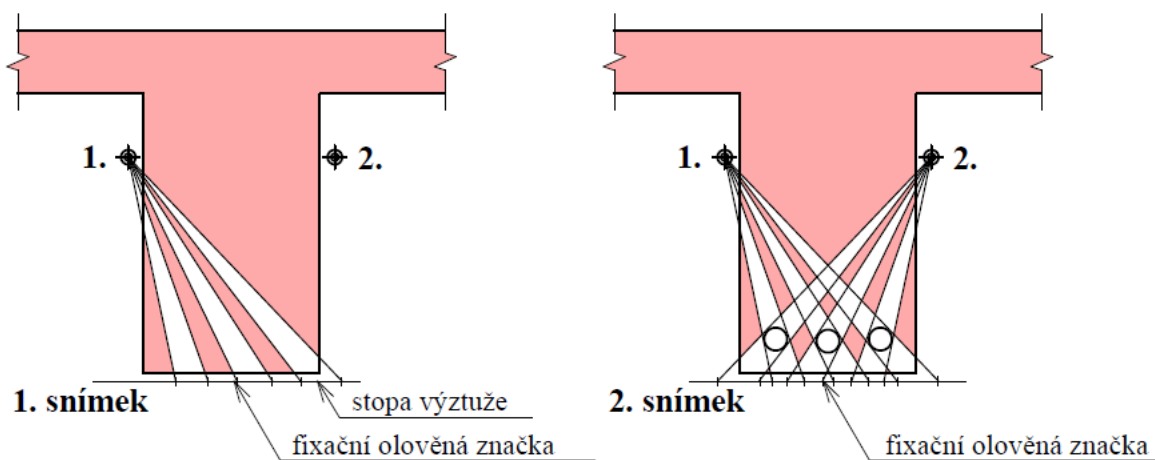
Obrázek 3.2 Gamagrafický kryt TECH/OPS [8]

Radiografická metoda je založena na principu ionizujícího záření, které je rozptýlováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Záření může být rentgenové nebo záření gama.

Míra oslabení je závislá na energii záření, velikosti hustoty toku záření, objemové hmotnosti prozařovaného materiálu, jeho tloušťce a chemickém složení. Míra oslabení je zaznamenávána na rentgenovém filmu, který je následně vyvolán. Jako zářič se nejčastěji využívá kobalt Co60, který je umístěn v defektoskopickém krytu.

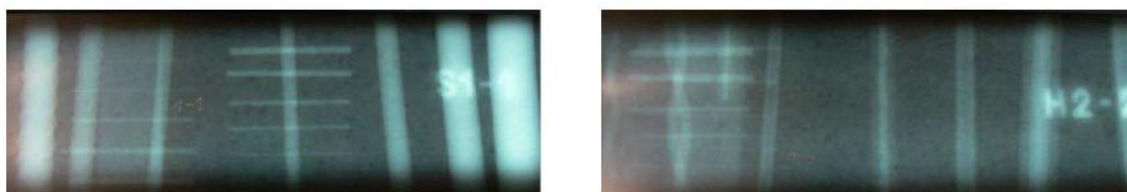
Souprava pro provádění měření se skládá ze stínícího krytu, obsahujícího vlastní izotop, sady výsuvných hadic a manipulačního zařízení. Stínící kryt je vyroben z ochuzeného uranu a slouží jako stínění proti záření gama. Jedná se o materiál s vysokou objemovou hmotností. Ve středu krytu se nachází izotop. [8]

Při měření se do konstrukce vyvrtají otvory, do kterých se následně umístí zářič a provede se snímkování. Záření se nejčastěji zaznamenává na radiografický film. Poloha výztuže se na snímcích projeví světlými stopami. Z průmětů prozařování se následně vykreslí průměr a poloha výztuže.



Obrázek 3.3 Postup při vyhodnocování průřezu

Při využívání tohoto zařízení je nutné dodržovat přísné bezpečnostní zásady. Bezpečnost je zajištěna nepřetržitým užíváním akustických indikátorů záření. [8]



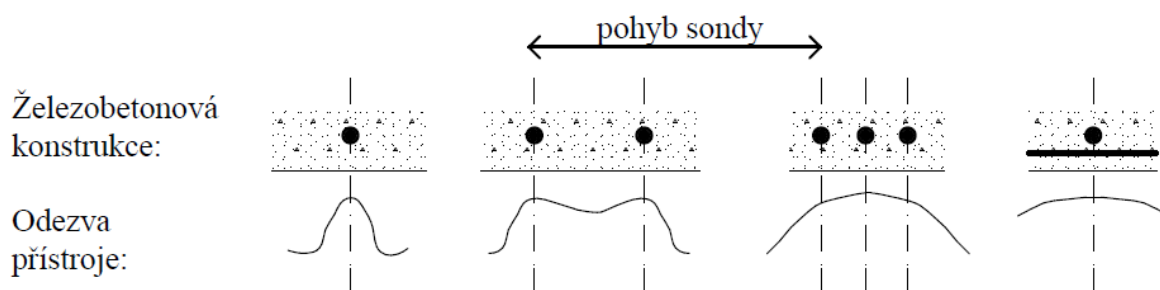
Obrázek 3.4 Příklad radiogramů [6]

3.4 ELEKTROMAGNETICKÉ INDUKČNÍ METODY

Diagnostika pomocí elektromagnetických indikátorů výztuže patří mezi nedestruktivní metody. Slouží k zjištění polohy výztuže, ověření množství, ke zjištění průměru výztuže a krycí vrstvy výztuže.

Magnetická metoda zjišťování polohy výztuže je založena na využití feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které způsobují změnu charakteristik magnetického pole sondy při jejím přiblížení k prutům výztuže.

Zásadní omezení metody spočívá v hloubkovém dosahu přístroje. Ten se liší podle druhu použitého přístroje a použité sondy. Hloubka dosahu se tedy pohybuje mezi 60-200mm. Toto omezení se projevuje tím, že není možné lokalizovat více vrstev výztuže nad sebou a stanovit druh výztuže či míru koroze. [5]



Obrázek 3.5 Odezva přístroje: jeden prut – výrazné maximum, vzdálené pruty – dvě rozpoznatelná maxima, pruty blízko u sebe – široké maximum, prut překrytý třmínkem.



Obrázek 3.6 Přístroj Profometer 5+ od firmy Proceq [12]

Rovněž v případě hustého vyztužení, kdy je malá vzdálenost prutů výztuže, tato metoda zčásti, nebo zcela selhává. Předností elektromagnetických indikátorů je rychlost a

jednoduchost kontroly polohy výztuže, nevýhodou řada omezení vyplývající z možností přístrojů, jež jsou dána fyzikálními principy této měřicí metody. [5]

V případě podrobnějšího průzkumu, je vhodné tuto metodu doplnit jinými diagnostickými metodami a to buď nedestructivními nebo obnažením výztuže.



Obrázek 3.7 Přístroj Ferroskan PS 250 od firmy HILTI – max. hloubka pro detekci výztuže 180 mm (při průměru výztuže 36 mm), maximální hloubka ke stanovení průměru výztuže 60 mm, rozsah průměru výztuže 6 – 36 mm [14]



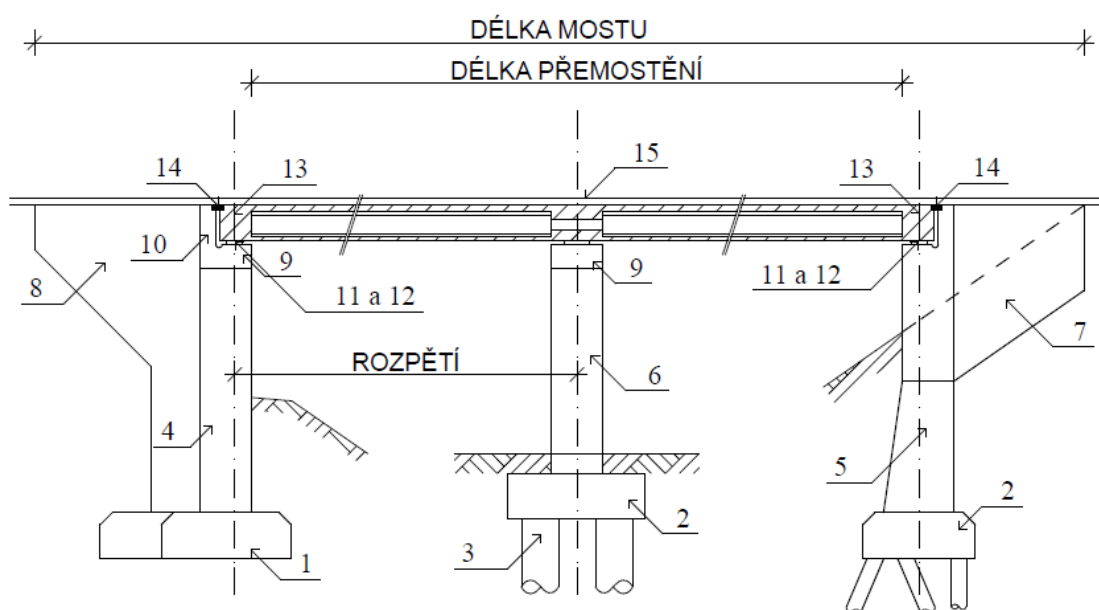
Obrázek 3.8 Přístroj D-tech 150 SV Professional od firmy Bosh - maximální hloubka lokalizace 150 mm, přesnost ± 5 mm [15]

4 TYPOLOGIE ŽELEZOBETONOVÝCH MOSTŮ

4.1 ZÁKLADNÍ POJMY

Mostní objekt – slouží k převedení komunikace v místě překážky, kterou může být vodní plocha, nerovnost terénu nebo jiná komunikace. Je tvořen mosty, propustky nebo lávkami včetně všech součástí, které zabezpečují jeho životnost a funkci.

Most – je mostní konstrukce s minimální kolmou světlostí 2,01m. Most je součástí převáděné komunikace a musí splňovat veškeré podmínky platné pro převáděnou komunikaci.



Obrázek 4.1 Názvosloví mostů

1 – plošný základ opěry, 2 – pilotový základ pilíře, 3 – piloty, 4 – opěra masivní, 5 – opěra prosypaná, 6 – pilíř, 7 – konzolové křídlo opěry, 8 – částečně založené křídlo opěry, 9 – úložný práh, 10 – závěrná zídka, 11 – podložkový blok, 12 – ložisko, 13 – příčník, 14 – mostní závěr, 15 – vozovkové souvrství

4.1.1 Spodní stavba mostu

- *Spodní stavba* – část mostu, která se skládá ze základů, podpěr, mostních křídel, závěrných zdí a přechodových desek.
- *Základ mostu* – je tvořen podpěrami nebo souvislým základem celého mostu.
- *Podpěra* – část mostu, která přenáší tlak nosné konstrukce do základové konstrukce
- *Opěra* – je krajní nebo mezilehlá podpěra.

- *Úložný práh* – část podpěry, která slouží z přenášení podporových tlaků do podpěry.
- *Závěrná zídka* – je část opěry, která uzavírá zemní těleso.
- *Mostní křídlo* – navazuje na mostní opěru a uzavírá zemní těleso po stranách opěry.

4.1.2 Nosná konstrukce mostu

- *Nosná konstrukce mostu* – přenáší zatížení z mostního svršku do konstrukce spodní stavby mostu. Je tvořena nosnou konstrukcí, mostovkou, ložisky a mostními závěry.
- *Hlavní nosná konstrukce* – z přepjatého betonu nebo železobetonu. Hlavní nosná konstrukce je uložena na mostních podpěrách nebo je do podpěr vetknuta.
- *Mostovka* – slouží k uložení mostního svršku. Podle umístění se dělí na horní, dolní, mezilehlou a zapuštěnou.
- *Ložisko* – slouží k přenosu podporových tlaků z hlavní nosné konstrukce do konstrukce spodní stavby.
- *Kloub* – umožňuje pootočení a nepřenáší ohybový moment
- *Mostní závěr* – ukončuje nosnou konstrukci mostu.
- *Dilatační spára* – spára, která umožňuje pohyb částí mostní konstrukce, které spolu staticky nepůsobí

4.1.3 Mostní svršek

Mostní svršek je uložen přímo nebo nepřímo na nosné konstrukci. Skladba se liší podle druhu převáděné komunikace. U drážního mostního svršku sem patří kolejnice, upevňovač, pražce, šterkové lože apod. Silniční svršek je tvořen vozovkou, chodníkem, zpevněnou krajnicí, odvodňovacím proužkem, dělicí pásem, vodícím proužkem, dopravními ostrůvky, vyrovnávací římsou apod. [4]

4.1.4 Mostní vybavení

Mezi mostní vybavení patří zařízení, která slouží k zvýšení bezpečnosti, k usnadnění údržby, prohlídek a k prodloužení životnosti mostního objektu. Mezi mostní vybavení patří záchytné bezpečnostní zařízení (zábradlí, svodidla, zábradelní svodidla), zábrany (protikouřové, krycí, protidotykové), odpadní zařízení, odvodnění (odvodňovače, odpadní

žlabky a potrubí) osvětlení (svítidla, stožáry, závěsy) a revizní zařízení (lávky, plošiny, stupadla, vozíky, žebříky). [3]

4.2 ROZDĚLENÍ MOSTŮ

Železobetonové mosty se dělí z několika hledisek.

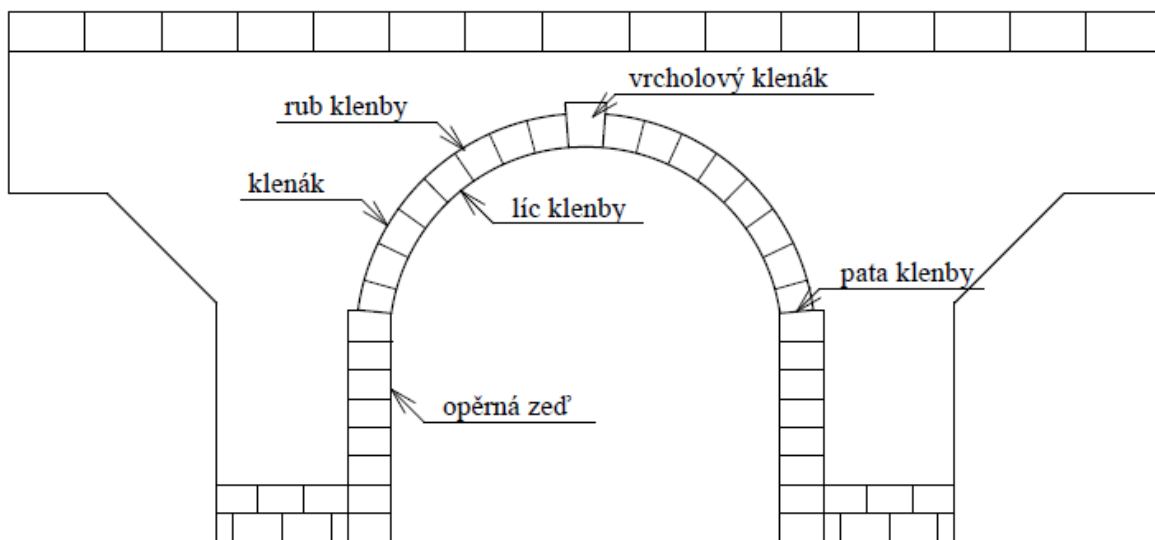
- *Podle způsobu provádění (technologie)* – monolitické, montované
- *Podle druhu přemostění* – mosty, propustky a lávky
- *Podle druhu převáděné komunikace* – most drážní, most pozemní komunikace, vodohospodářský most, sdružený mostu, průmyslový most
- *Podle polohy mostovky* – s horní mostovkou, s dolní mostovkou, se zapuštěnou mostovkou
- *Podle počtu mostních otvorů nebo polí* – o jednom poli, o dvou polích, o více polích
- *Podle počtu podlaží* - jednopodlažní, dvoupodlažní, vícepodlažní
- *Podle doby trvání* – trvalý (se životností 100 let), krátkodobý (na dobu do 5 let), dlouhodobý (na dobu delší než 5 let)
- *Podle půdorysného tvaru* – přímý, ve směrovém oblouku, ve výškovém oblouku
- *Podle tvaru mostní konstrukce* – deskový, trémový, rámový, klenba, obloukový, visutý, zavěšený
- *Podle úhlu křížení* – kolmé, šikmé
- *Podle měnitelnosti polohy* – pohyblivé (klopné, otočné), plovoucí (plovákové, pontonové), nepohyblivé

4.3 TVARY MOSTNÍCH KONSTRUKCÍ

4.3.1 Klenbové mosty

Klenby jsou konstrukce, ve kterých jsou vyloučena tahová napětí a jsou namáhány pouze tlakem. Jako materiál pro klenbové mosty se používá kamenné a cihlové zdivo. Ke spojování jednotlivých prvků se používá malta. Klenby lze rovněž provádět z prostého nebo slabě vyztuženého betonu. Použití betonu je výhodné, protože dosahuje vyšších pevností než kamenné a cihelné zdivo. Klenba se vyzdívá na kruhové, segmentové nebo parabolické bednění. Tloušťka klenb z kamenného zdiva je obvykle min. 400 mm při

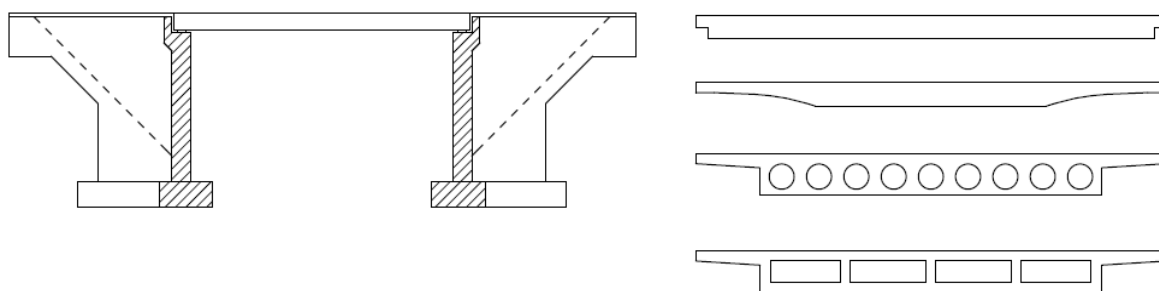
rozpětí 3 až 5 m a 800 mm u kleneb o rozpětí vyšším. U kleneb z cihelného zdiva min. 300 mm při rozpětí 3 až 5 m, u rozpětí 5 až 8 m je výška klenby 600mm.



Obrázek 4.2 Valená klenba. Základní popis částí

4.3.2 Železobetonové deskové mosty

Nosná konstrukce je tvořena deskou. Deskové mosty se dělí na mosty o jednom poli a na mosty o více polích. V případě mostu o více polích vzniká deska spojitá. Průřez desky je konstantní nebo s náběhy. Deska může být plná nebo vylehčená dutinami. Deska se ukládá na mostní opěry tak, aby byla umožněná dilatace v příčném i podélném směru. [4]

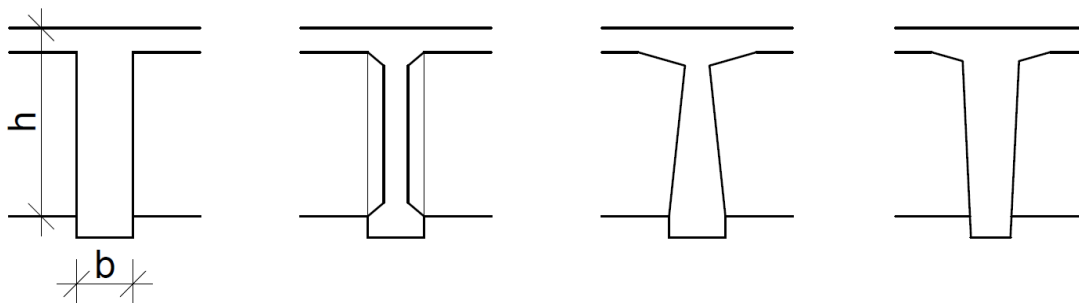


Obrázek 4.3 Deskový most, průřezy desky (plné, s dutinami)

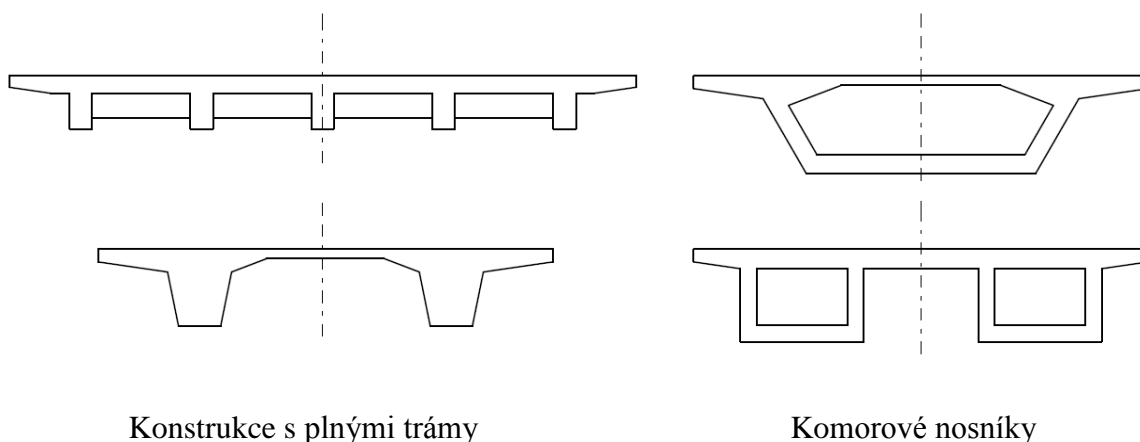
4.3.3 Železobetonové trémové mosty

Trémové mosty vznikly z deskových mostů, kde byly desky opatřeny žebry. Trémové mosty se navrhuje jako mosty o jednom poli, o dvou nebo více polích. Ze statického hlediska se jedná o nosníky prosté, vetknuté, prosté nosníky s převislými konci nebo

spojité nosníky. Nosnou konstrukci tvoří dva nebo více trámů, které jsou obvykle nahoře spojeny deskou a vzájemně spolupůsobí. V příčném směru jsou trámy spojeny příčnickami. Ty se provádějí jako koncové a mezilehlé. Průřezy trámových mostů mohou být plné nebo vylehčené dutinami (komorové nosníky).



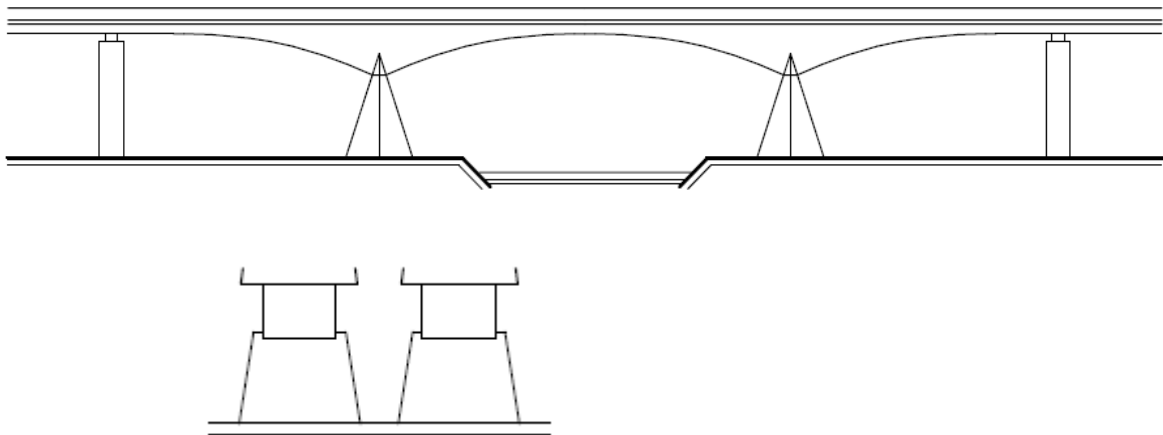
Obrázek 4.4 Tvary trámů: a) obdélníkový, b) I – nosník, c) d) žebra s proměnnou šířkou
 Rozpětí trámů z železobetonu je 10 až 30m. Pro rozpětí 30 až 50 m se používají prefabrikované předpjaté trámy. Komorové nosníky se navrhují pro rozpětí od 40 do 300m. Uspořádání příčného řezu je závislé na šířce mostu. Ztužidla jsou nad pilíři a opěrami. Trámy jsou obvykle uloženy na ložiskách. Místo ložisek lze integrovat trámy do pilířů a vytvořit konstrukci rámovou.



Obrázek 4.5 Příčné řezy trámových mostů

4.3.4 Železobetonové rámové mosty

Vetknutím trámu do opěr a pilířů vzniknou rámové mosty. Ze statického hlediska se dělí rámové mosty na vetknuté, dvoukloubové a trojkloubové. Rozpětí rámových mostů je obvykle 60 až 80 m (výjimečně více než 100 m).



Obrázek 4.6 Rámová konstrukce

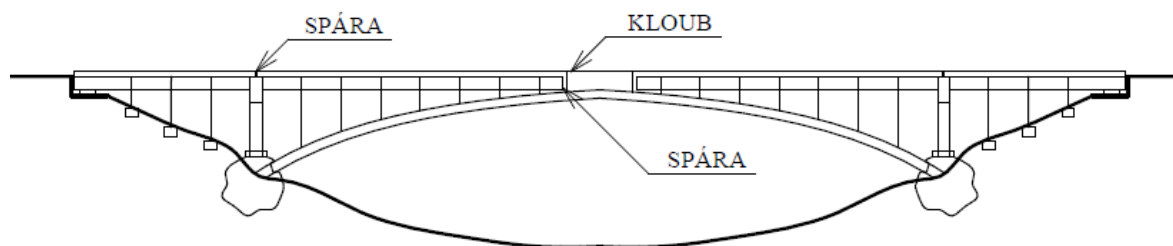
4.3.5 Obloukové mosty

Obloukové mosty se používají pro rozpětí od 30 m, ale je možné je využít i pro ta největší rozpětí. Byly postaveny oblouky s rozpětím až 500 m.

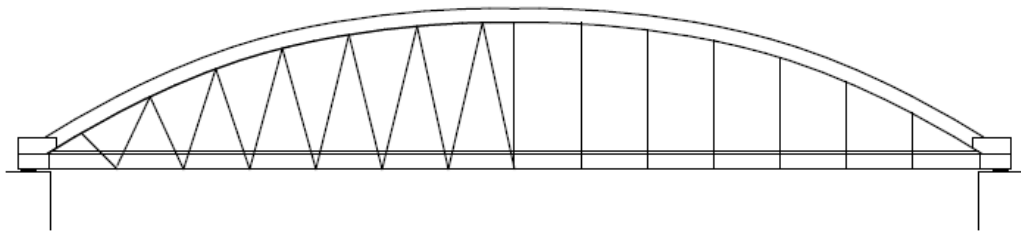
Vzepětí oblouků se navrhuje v rozmezí $1/3$ až $1/10$ rozpětí. Střednice oblouku má být navržena tak, aby nevznikaly vysoké ohybové momenty. Střednice se navrhuje na účinky stálého zatížení.

Průřezy oblouků mohou být navrhovány jako deskové, komorové nebo žebrové. Oblouky mohou být se spolupůsobící mostovkou s oblouky s táhlem nebo s nespolepůsobící mostovkou, která je rozdělena spárami.

Malé obloukové mosty se staví na pevných skružích nebo se montují z prefabrikovaných dílců celé poloviny oblouků. Velké mosty se betonují letmo.



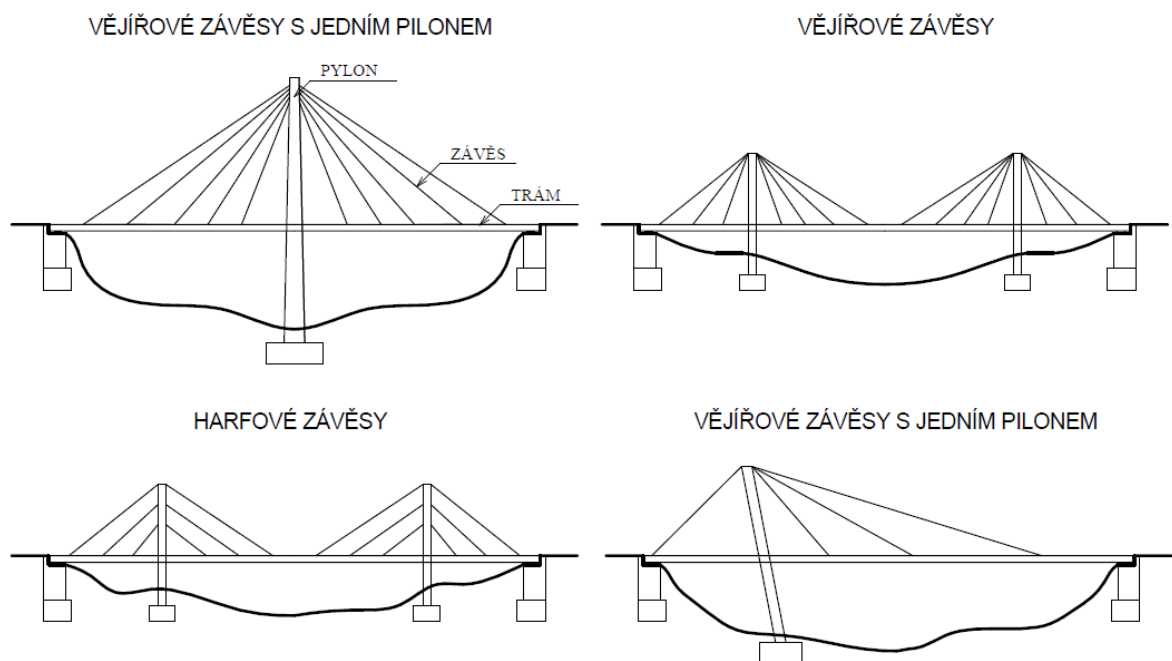
Obrázek 4.7 Obloukový most s nespolepůsobící horní mostovkou



Obrázek 4.8 Obloukový most s táhly s dolní mostovkou

4.3.6 Zavěšené mosty

Zavěšené mosty se používají pro střední a velká rozpětí. Zavěšené mosty mají většinou jeden nebo dva pylony. Pylony mohou být ocelové případně betonové a jsou umístěny symetricky nebo nesymetricky. Trám mostovky je upevněn pomocí závěsů, které vyvolávají proměnné vodorovné síly v mostovce. Závěsy mohou mít různé uspořádání a mohou být umístěny v jedné, dvou, výjimečně i více rovinách. [3]



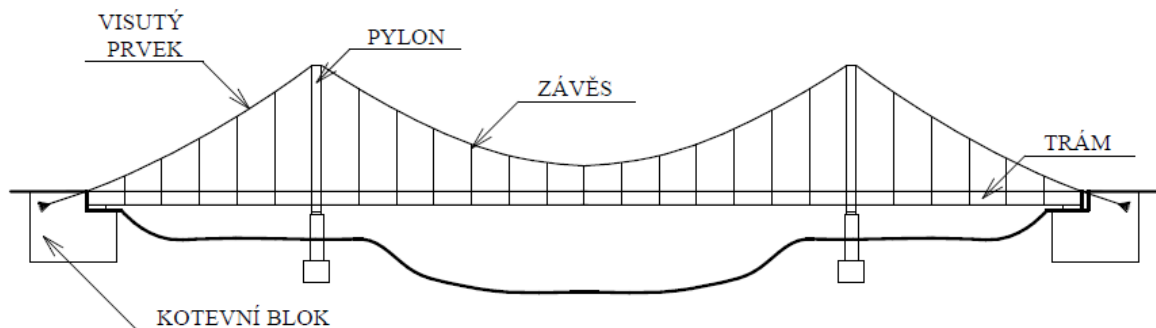
Obrázek 4.9 Uspořádání zavěšených mostů – harfové, vějířové závěsy

4.3.7 Visuté mosty

Hlavním nosným prvkem visutého mostu je visutý pás, který je namáhám tahem od svislého zatížení. Kotevní pásy jsou ukotveny v kotevních blocích. Jsou-li pásy ukotveny do základových bloků, jedná se o pravé visuté mosty. V případě, že jsou pásy ukotveny do

výztužného nosníku, tak se jedná o konstrukci s trémovým účinkem. Pro zvýšení tuhosti a zabránění nadměrných deformací je konstrukce ztužena výztužným nosníkem.

Visuté mosty umožňují překlenutí i těch největších rozpětí, což je jejich hlavní výhodou.



Obrázek 4.10 Visutý most

4.3.8 Mosty z předpjatého betonu

Předpjaté železobetonové mosty jsou mosty, které mají uvnitř nebo venku předpínací výztuž. Ta přenáší jako u železobetonu taková napětí, ale navíc je do ní záměrně vnesena počáteční tahová napjatost. Výztuž vnáší do betonu po zakotvení přídavná taková napětí tak, aby spolu s působícím zatížením byly vyloučena nebo omezena tahová napětí v betonu.

Podle zajištění soudržnosti předpjaté výztuže s betonem se konstrukce dělí na konstrukce se zajištěnou soudržností a konstrukce bez zajištěné soudržnosti. V případě konstrukce se zajištěnou soudržností dochází k přenosu předpínací síly po celé délce kabelu. U konstrukcí bez zajištěné soudržnosti jsou kabely ukotveny prostřednictvím kotevního zařízení uvnitř nebo vně průřezu.

Podle časového pořadí betonáže prvku a napínání výztuže lze konstrukce rozdělit na konstrukce z předem předpjatého betonu a dodatečně předpjatého betonu. Při výrobě prvku z předem předpjatého betonu se nejdříve napne a zakotví výztuž, následně je provedena betonáž a po zatvrdnutí betonu dochází k uvolnění výztuže a vnesení předpětí do prvku. V případě dodatečně předpjatého betonu se nejprve vybetonuje prvek, následně se po zatvrdnutí betonu napne a zakotví výztuž pomocí kotev a dojde k vnesení předpětí.

5 VYUŽITÍ JEDNOTLIVÝCH METOD PRO DIAGNOSTIKU HLAVNÍ NOSNÉ KONSTRUKCE

Vyztužení hlavní nosné konstrukce se liší podle jejího tvaru. Vhodnost použití jednotlivých metod lokalizace výztuže je popsána v tabulce 2.

	Výztuž	Sekané sondy	Elektromagnetické indikátory výztuže	Georadar	Radiografická metoda
Deskové mosty	Hlavní výztuž - při spodním okraji desky	●	●	●	●
	Rozdělovací výztuž	●	●	●	●
	Smyková výztuž - ohyby	●	●	●	●
	Horní výztuž	●	●	●	●
Trámové mosty	Hlavní výztuž - při spodním okraji trámu	●	●	●	●
	Smyková výztuž - ohyby	●	●	●	●
	Třmínky	●	●	●	●
Rámové mosty	Hlavní výztuž	●	●	●	●
	Smyková výztuž	●	●	●	●
	Rozdělovací výztuž	●	●	●	●
Obloukové mosty	Hlavní výztuž oblouku	●	●	●	●
Mosty předpjaté	Předpínací výztuž - ve větší hloubce	●	●	●	●
	Betonářská výztuž	●	●	●	●
	Rozdělovací výztuž, třmínky	●	●	●	●

Použité symboly:

● - Vhodné ● - Méně vhodné ● - Nevhodné

Tabulka 2 Zhodnocení použití jednotlivých metod pro lokalizace výztuže na jednotlivých typech mostů

Z tabulky je patrné, že použití georadaru k lokalizaci výztuže je ve srovnání s ostatními metodami vhodné ve většině případů. S jeho pomocí lze určit polohu prutů výztuže, zobrazit prostorové rozvržení prvků a jejich hloubku. Georadar poskytuje okamžité výsledky, práce s ním je jednodušší a rychlejší v porovnání s radiografickou metodou.

Elektromagnetické indikátory oproti tomu jsou vhodné pouze k lokalizaci výztuže umístěné blíže u povrchu konstrukce. To je způsobeno menším hloubkovým dosahem sondy.

Georadar ani elektromagnetické indikátory výztuže však neumožňují určení druhu a průměru výztuže a proto je k tomuto účelu vhodné doplnit průzkum o sekanou sondu.

Radiografie přináší kompletní výsledky včetně průměru a druhu výztuže, ale vyžaduje zvláštní bezpečnostní opatření, je časově náročná a nákladná.

6 MODEL KONSTRUKCE PRO TESTOVÁNÍ GEORADARŮ

Tato část práce se zabývá testováním možností a omezení přístroje Hilti PS1000. K tomuto účelu byl využit model konstrukce, který byl vyvinut společností Inset s.r.o pro testování klasických georadarů.

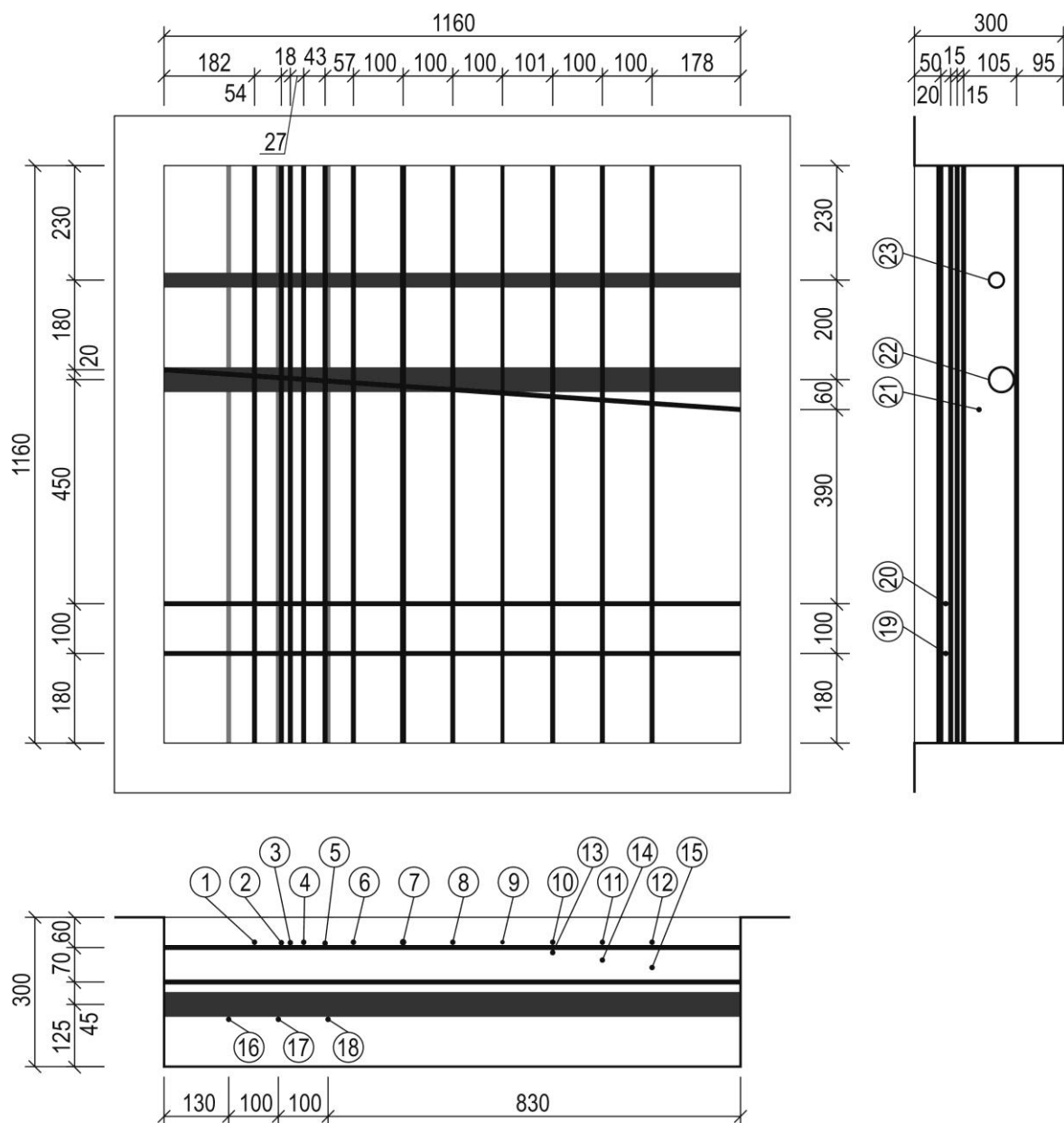
Jde o prostorový model rozměrů 1160 x 1160 + 300 mm s možností libovolného umístění výztužných prutů a dalších objektů. Výplň modelu je řešena tak, že beton je nahrazen jemným křemičitým pískem, horní strana je pak kryta 2,5 mm deskou sololitu.

6.1 TESTOVANÉ SITUACE

V rámci prvního testování byl model osazen ocelovými prvky dle obr 8.1.

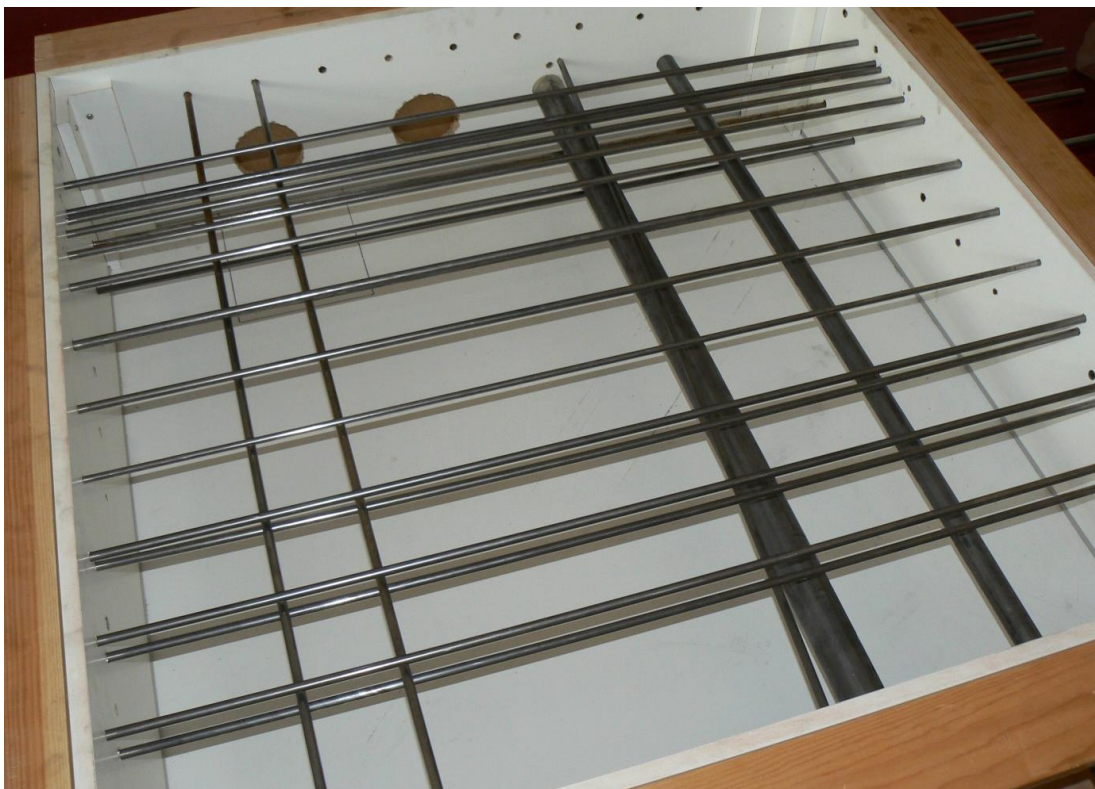
Popis testovaných situací:

1. Testování minimální nutné vzdálenosti prutů výztuže - pruty průměru 10 mm byly uloženy v jedné vrstvě s distancí 10, 20, 30, 40, 50 mm (pruty označené v Obr. 8.1 1 – 6)
2. Testování možnosti zaznamenání prutů, ležících přesně pod sebou s různou distancí (pruty označené v Obr. 8.1 10 –15)
3. Možnost zaznamenání chráničky kabelového kanálku průměru 50 mm, výztuž kolmo na chráničku u povrchu simuluje třmínky v předpjatém prvku. Nad chráničkou je šikmo umístěn jeden prut výztuže průměru 10 mm simulující konstrukční výztuž ke které je upevněna chránička (prvky označené v Obr. 8.1 21, 22)
4. Možnost zaznamenání smykového ohybu hlavní výztuže v železobetonovém trámu, výztuž kolmo na chráničku u povrchu simuluje třmínky u povrchu bočního líce trámu (prvky označené v Obr. 8.1 23)



Obrázek 6.1 Schematický výkres fyzikálního modelu osazeného výše popsanými ocelovými prvky.

6.2 VÝROBA FYZIKÁLNÍHO MODELU



Obrázek 6.2 Fyzikální model, v popředí jsou patrné pruty ležící nad sebou s různou situací



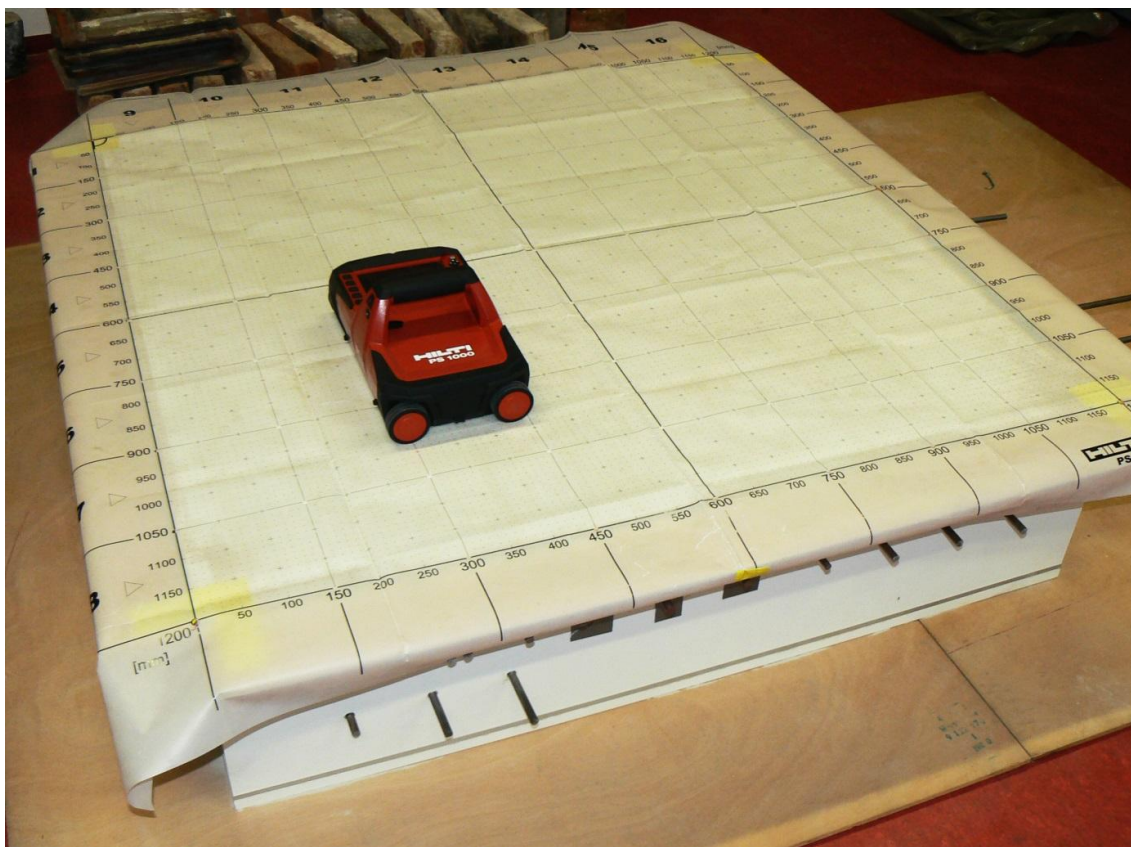
Obrázek 6.3 Fyzikální model osazený výše popsanými prvky



Obrázek 6.4 Připravený model – vyplněný křemičitým pískem



Obrázek 6.5 Zarovnaná plocha křemičitého písku



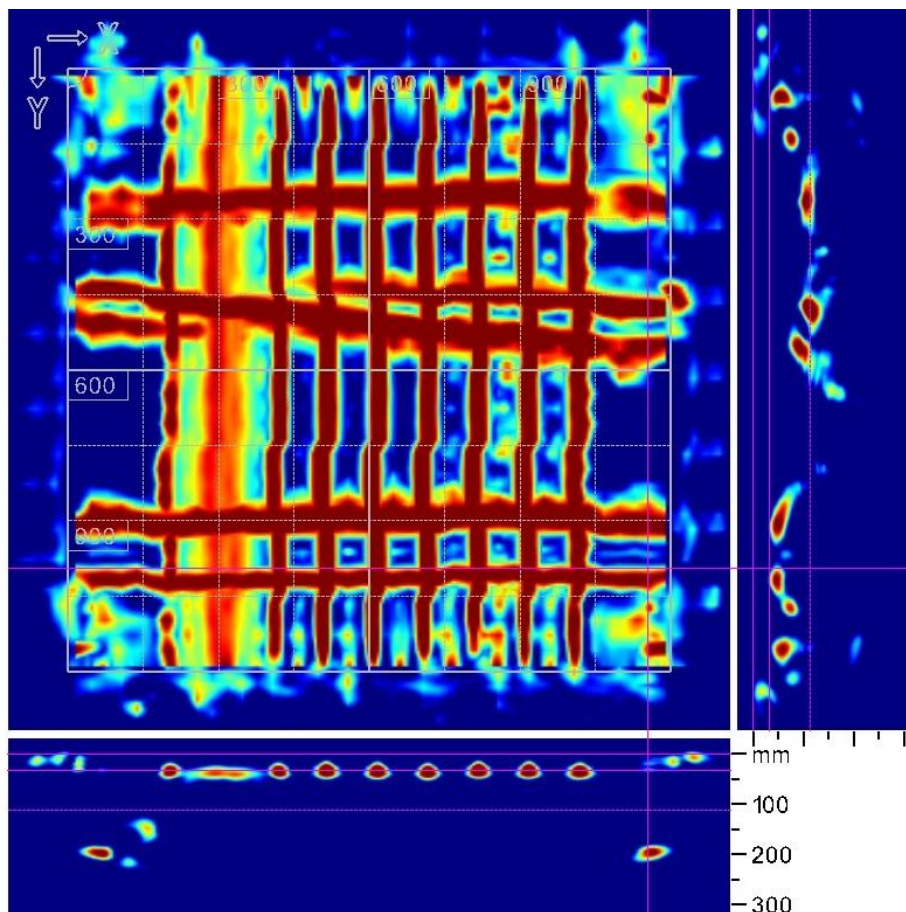
*Obrázek 6.6 Připravený model osazený sololitovou deskou a měřícím rastrem
1200 x 1200mm*

6.3 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ

Situace 1 – Testování minimální možné vzdálenosti prutů

Po vyhodnocení měření bylo zjištěno, že může nastat v souladu s deklarací výrobce problém se zaznamenáváním prutů výztuže, mezi nimiž je menší vzdálenosti než 40 mm.

Na druhé straně lze z grafického projevu takto zaznamenaných výztuží odhadnout o co daném místě jedná, a následně ověřit sekanou sondou.



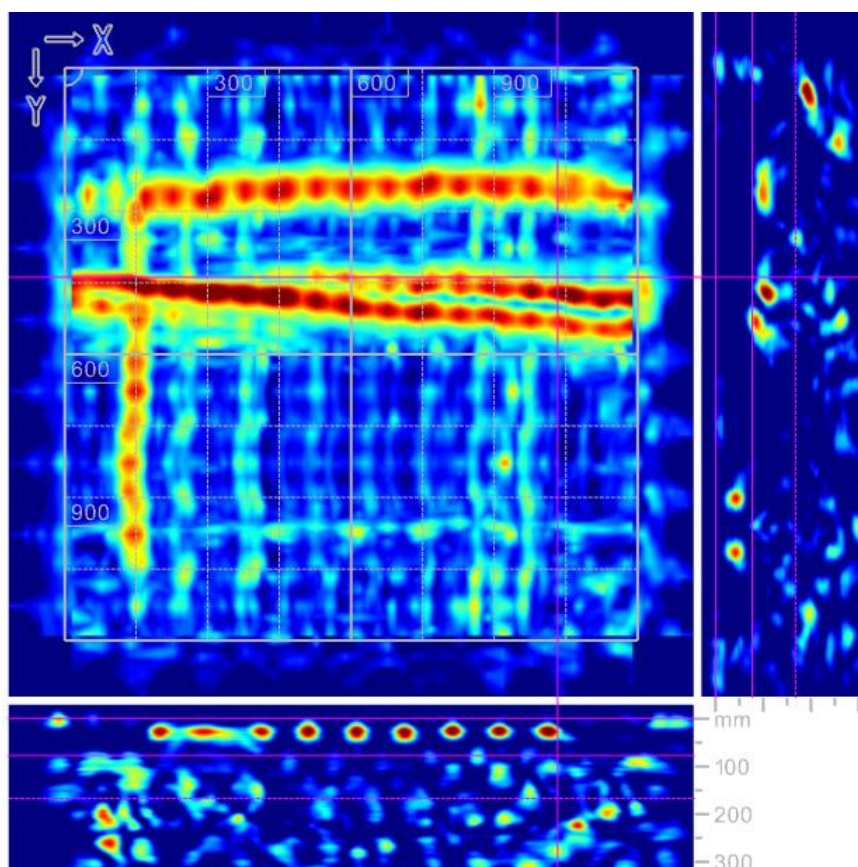
Obrázek 6.7 Radarový sken s jasně patrnými pruty v horní vrstvě, s výjimkou prutů s menší vzdáleností než 40 mm

Situace 2 – Testování zaznamenání prutů, ležících nad sebou

Výsledky měření nezobrazily jasně výztuže umístěné přesně pod výztužemi blíže povrchu, bez ohledu na distanci. Tato situace je sice u reálné konstrukce málo pravděpodobná, ale je nutno s tímto omezením počítat. Pruty č. 13, 14, 15, 17, 18 jsou zobrazeny velmi nejasně.

Situace 3 – Testování zaznamenání chráničky kabelového kanálku

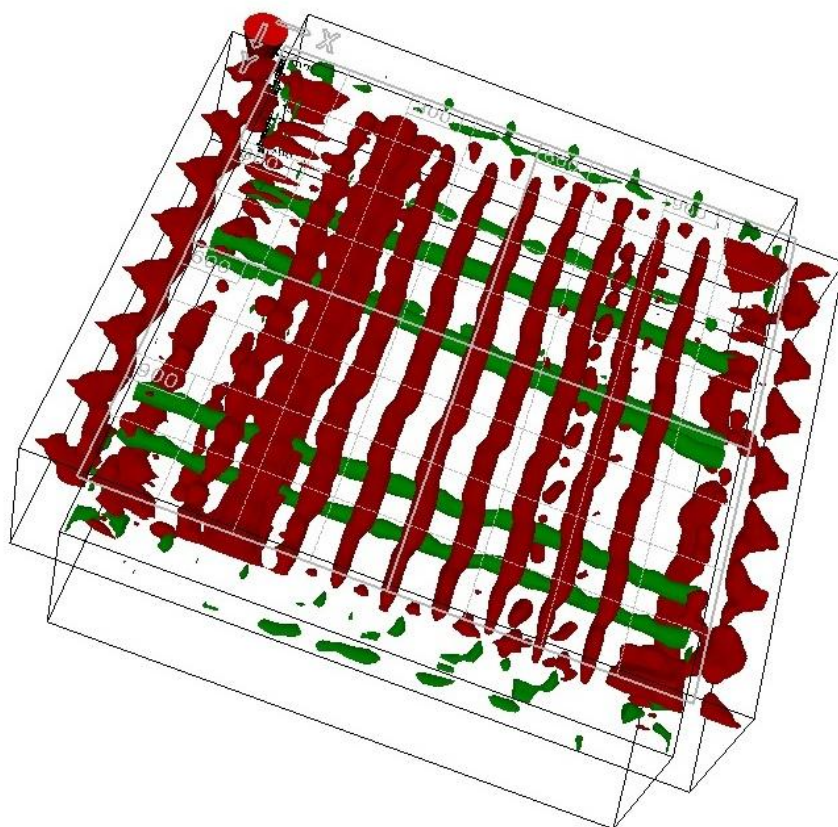
Po vyhodnocení měření bylo zjištěno, že chránička kabelového kanálku průmětu 50 mm bude ve zvolené geometrii jednoznačně zobrazena. Pokud se nachází před chráničkou konstrukční výztuž, může nastat problém. Dochází k rozptylu radarového signálu a k ovlivnění výsledků měření. I tak je ale umístění chráničky kanálku dobře identifikovatelné.



Obrázek 6.8 Sken s půdorysným zobrazením oblasti, s kabelovým kanálkem a smykovou výztuží, dobře patrné, že konstrukční výztuž může v jisté konfiguraci potlačit odezvu hlouběji umístěného objektu.

Situace 4 – Testování zaznamenání smykového ohybu hlavní výztuže trámu

Prvek simulující ohyb výztuže překrytý třmínky u povrchu je zobrazen zcela jasně, třmínky s osovou roztečí 100 mm nijak zásadně zobrazení výztuže neovlivňují.



Obrázek 6.9 3D sken

6.4 CELKOVÉ ZHODNOCENÍ

Po vyhodnocení měření se ukázalo, že použití radaru HILTI PS1000 je ve všech situacích vhodné, kromě případu, kdy jsou pruty výztuže umístěny přesně nad sebou. V ostatních případech přinesl radar velmi dobré výsledky.

Při hodnocení výsledků fyzikálního modelu je ovšem třeba mít na paměti, že jde o model z jiného materiálu, a například zobrazení hloubky objektu je odlišné, od zobrazení v betonu. Vytvoření konkrétních kalibrací a závislostí pro fyzikální model bude součástí dalšího rozsáhlého výzkumu.

7 PRŮZKUM MOSTU LINHARTICE

Georadarový průzkum byl proveden na mostě přes vodoteč Třebůvka v obci Linhartice ve spolupráci se společností Mostní vývoj, s.r.o..

Vodorovná nosná konstrukce je železobetonová monolitická a tvoří dva Vierendeelovy nosníky se spodní mostovkou. Spodní stavba je z monolitického železobetonu.

V půdoryse je most přímý, úhel křížení s vodním tokem je přibližně 100° . Překračovaný vodní to je v přímé. Nosná konstrukce je v příčném směru vodorovná, povrch vozovky má nevýrazná střežovitý sklon.



Obrázek 7.1 Most přes Třebůvku, Linhartice



Obrázek 7.2 Lokalizace mostu na mapě

7.1 ROZSAH PRŮZKUMU

Cílem průzkumu bylo ověření vyztužení Vierendeelova nosníku. Pro zjištění polohy výztuže byla použita elektromagnetická indukční metoda. V průběhu průzkumu vyvstala nutnost určit polohu ohybu smykové výztuže, zde elektromagnetická metoda nedostačuje. Další metodou, která by mohla být použita je lokalizace výztuže pomocí radiografie. Tato metoda je ale nákladná, vyžaduje zvýšená bezpečnostní opatření při měření a vyhodnocení zkoušek je složité. Proto se ukázala diagnostika pomocí GPR jako nejvhodnější.

7.2 POUŽITÉ METODY PRŮZKUMU

Metoda georadaru – přístroj Hilti PS 1000

Pro lokalizaci výztuže byl použit přístroj HILTI PS 1000 X-scan, který pracuje na bázi georadaru. Měření s georadarem je založeno na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů do zkoumaného prostředí a na následné registraci jejich odrazů od překážek.

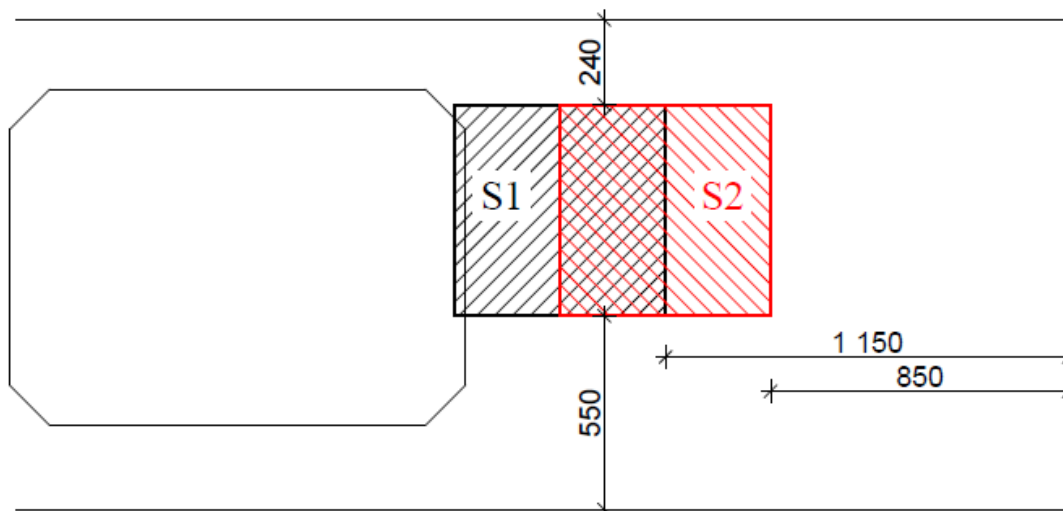
Díky zvolené frekvenci umožňuje zařízení v běžných betonech za příznivých okolností identifikovat výztuž i jiné vložené předměty až do hloubky 300 mm, a to i ve více vrstvách nad sebou, s přesností lokalizace objektů ± 10 mm.

Naměřená data jsou následně zpracována softwarem HILTI PROFIS PS 1000 a vyhodnocena.

Pomocí přístroje je možné provádět měření plošná i liniová.

7.3 UMÍSTĚNÍ SOND

Ve dvou plochách 600 x 600 mm byla skenována jižní část vnější strany Vierendeelova nosníku na návodní straně mostu.



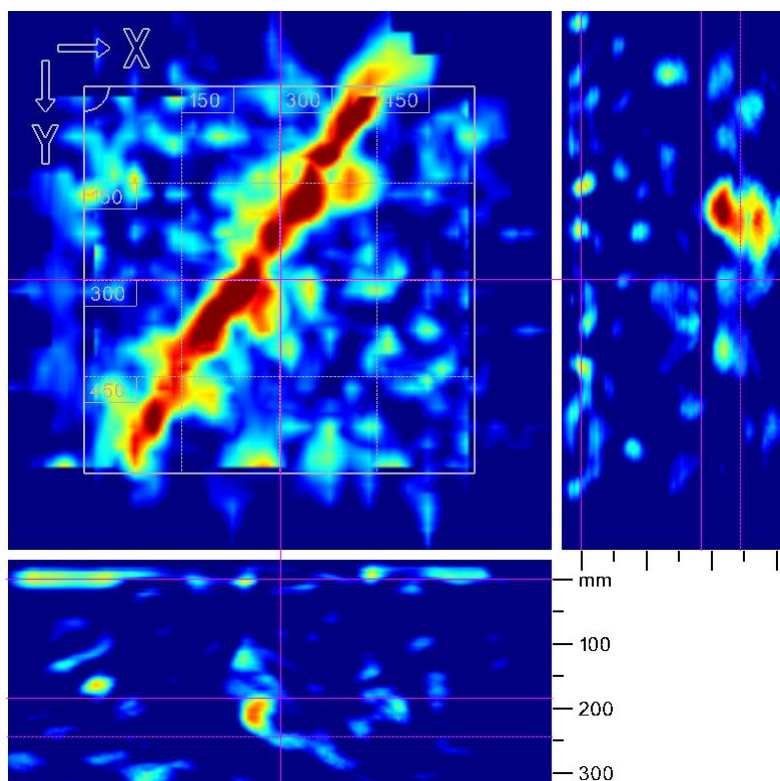
Obrázek 7.3 Znárodnění umístění skenovaných ploch S1 a S2 na návodní straně mostu - sonda S1 600 x 600mm, sonda S2 600 x 600mm

Polohy skenovaných ploch jsou znázorněny na Obrázku. 4.11. Plocha S1 se nacházela 30mm před koncem posledního „okna“ Vierendeelova nosníku, 290 mm od horního líce parapetního nosníku a 550 mm od spodního líce parapetního nosníku. Plocha S2 byla posunuta cca 350 mm směrem k jižní opěře.



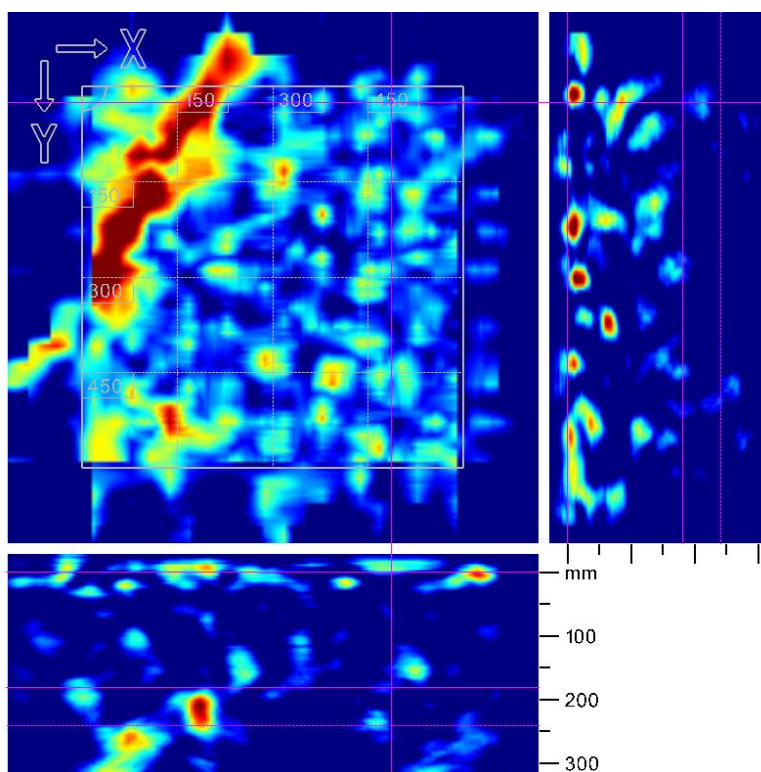
Obrázek 7.4 Rastr 600 x 600 mm připravený pro skenování plochy S1

Sken S1

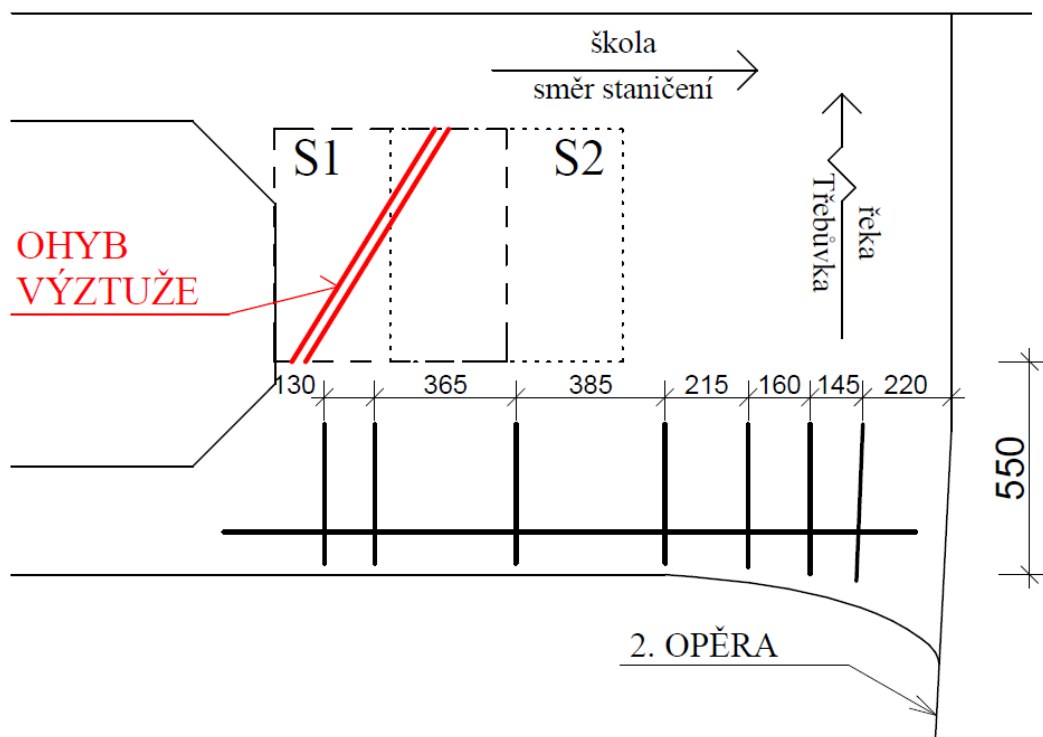


Obrázek 7.5 Sken v místě S1, dobře patrný ohyb výztuže, krytí cca 200 mm

Sken S2



Obrázek 7.6 Sken v místě S2, dobře patrný ohyb výztuže, krytí cca 200 mm



Obrázek 7.7 Vyztužení 1. nosníku - ohyb výztuže zjištění pomocí georadaru, hlavní výztuž, třmínky.

7.4 VÝSLEDKY PRŮZKUMU – STANOVENÍ VYZTUŽENÍ

V diagnostikované části mostní konstrukce byla pomocí GPR zjištěna poloha smykové výztuže. Ta se nacházela v hloubce cca 200 mm.

Ve vrstvách blíže u povrchu se ukázalo použití georadaru problematické. Ve struktuře povrchových vrstev zkoumané konstrukce se nacházela řada trhlin rovnoběžných s povrchem nosníku. Vzniklé vzduchové trhliny následně ovlivňovaly rozptyl a odraz radarových vln. To vedlo k nepřesným výsledkům a v těchto vrstvách nebylo možné provést zjištění polohy výztuže.

Pro lepší zobrazení byla v místě skenů odstraněna vrstva cementové omítky.

8 PRŮZKUM MOSTU VSETÍN

V rámci své bakalářské práce jsem se zúčastnila diagnostiky železobetonového mostu s evidenčním číslem 05736-1. Most se nachází v katastrálním území Vsetín na komunikaci III/05735. Jde o městskou estakádu přes potok Rokytenku, silnici III/05737 a přes železniční trať ČD. Jeho poloha je znázorněna na obrázku 7.1 Lokalizace mostu na mapě.

Most byl postaven v roce 1979. Jeho délka je 420,38 metrů.



Obrázek 8.1 Lokalizace mostu na mapě

8.1 POPIS KONSTRUKCE MOSTU

Konstrukce je spojitá o šestnácti polích, s rozpětím krajních polí 22,0 m a vnitřních polí 27,0 m. šířka segmentu je 19,15 m, délka jednotlivých segmentů je 3,0 m. Uvnitř segmentu je pět komor s velmi nízkým profilem. Jedná se o předpjatou konstrukci. Pro předpětí byla použita předpínací lana \varnothing Lp 15,5 po šesti kusech.

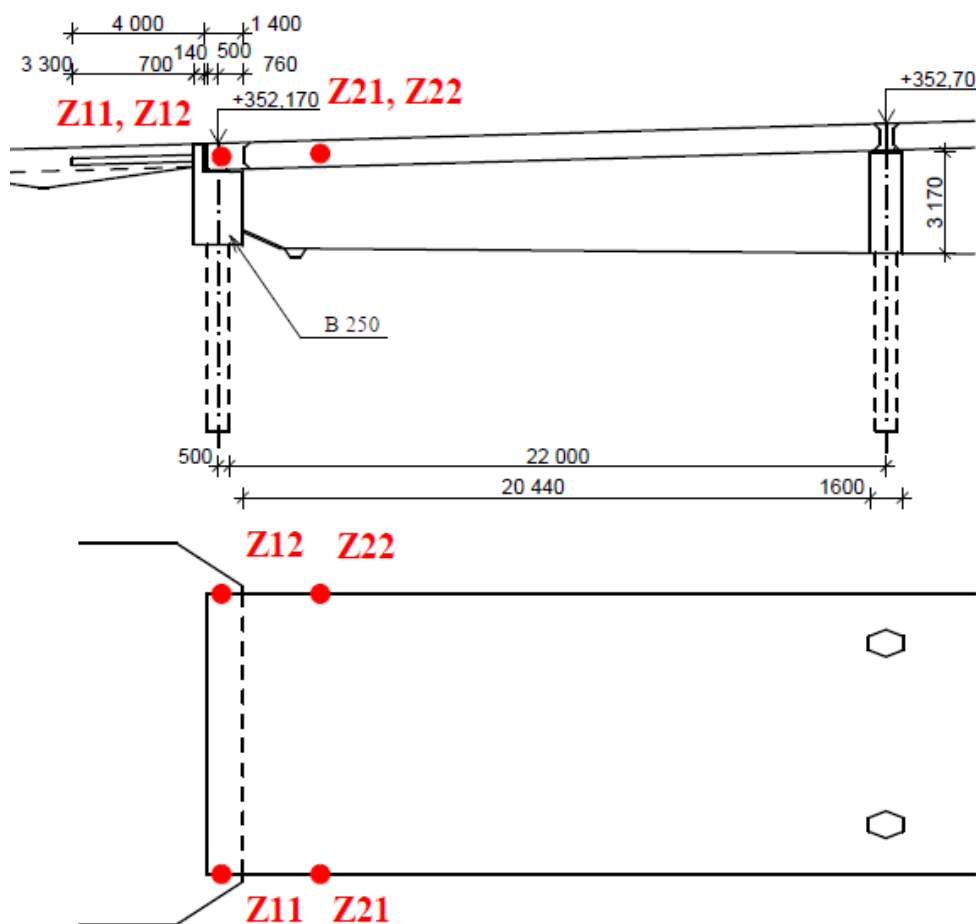
8.2 ROZSAH PRŮZKUMU

Rozsah průzkumu byl stanoven na základě požadavků objednatele následovně.

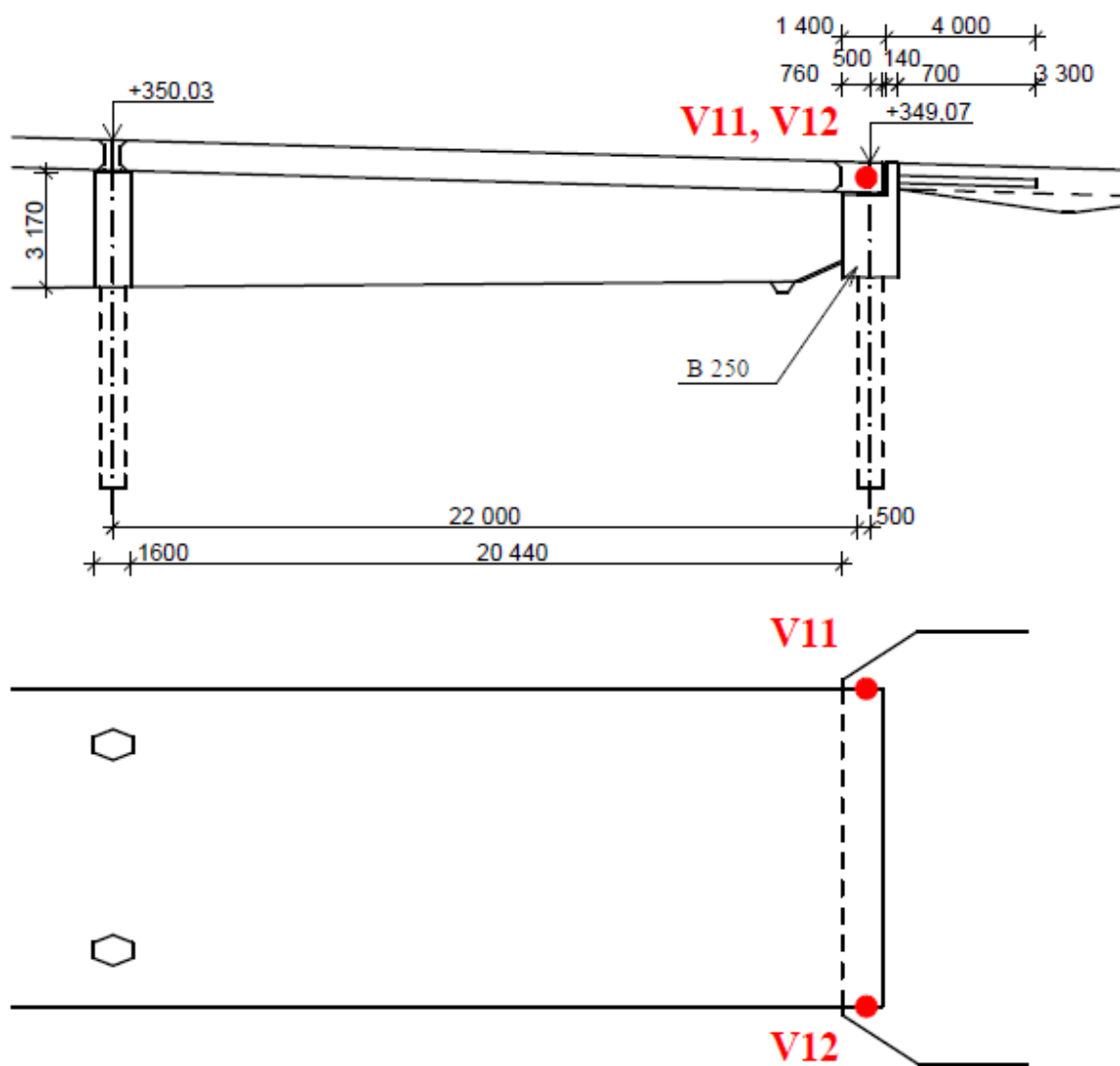
- Ověření **zainjektování kabelových kanálků** v rozsahu 6 zkušebních míst. 2 + 2 zkušební místa byla situována do kotevních oblastí krajních žeber po obou stranách mostu u obou opěr, zlínské (Z) i vsetínské (V). Zbývající 2 zkušební

místa byla provedena ve druhém segmentu od zlínské opěry, po obou stranách mostu.

- Odběr 6 vzorků **jádrových vývrtů** pro stanovení pevnosti v tlaku z nosné konstrukce (2 vzorky), úložných prahů opěr (2 vzorky) a mezilehlých podpěr (2 vzorky). Následné stanovení pevnosti v tlaku a zatřídění betonu.
- Stanovení **hloubky karbonatace** v místě provedení sond ke kanálkům i odběru jádrových vývrtů.
- Ověření **skladby vozovky** (bez nosné konstrukce) na 2 zkušebních místech.



Obrázek 8.2 Znárodnění polohy sond v pohledu a půdoryse krajního pole zlínské strany mosty



Obrázek 8.3 Znáornění polohy sond v pohledu a půdoryse krajního pole vsetínské strany mostu

8.3 OVĚŘENÍ ZAINJEKTOVÁNÍ KABELOVÝCH KANÁLKŮ

Bylo provedeno ověření zainjektování kabelových kanálků v šesti místech. Sondy byly provedeny z vnější strany nosníku v obou krajních polích mostu.

8.3.1 Použité metody průzkumů

Metoda Georadaru

Poloha kabelových kanálků byla zjištěna pomocí Georadaru HILTI PS 1000 X – scan. Tato metoda byla zvolena z důvodu vysokého hloubkového dosahu sondy, který elektromagnetické indikátory nenabízí. Další výhodou je časová nenáročnost a okamžité výsledky měření. Oproti radiografii nevyžaduje ani zvýšená bezpečnostní opatření a omezení v prostoru konstrukce.

V místech, kde byla předpokládána poloha kabelových kanálků byl proveden plošný scan o ploše 600 x 600 mm, který byl následovně v programu Hilti Profis PS 1000 vyhodnocen. Na základě zjištěné polohy kabelového kanálku a konstrukční výztuže byla stanovena optimální poloha vrtu k horní části kanálku. Současně tak bylo eliminováno i možné narušení měkké výztuže v daném místě.

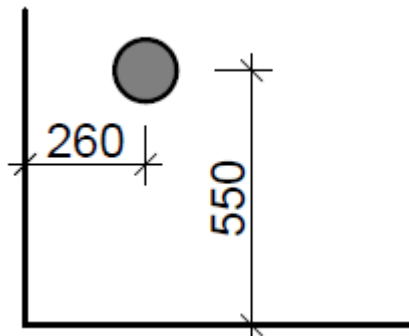


Obrázek 8.4 Rastr pro plošné skenování sondou HILTI PS 1000 X-scan v místě sondy Z12

SONDA Z11

MÍSTO SONDY: Zlínská strana mostu
Krajní pole, krajní nosník na východní straně

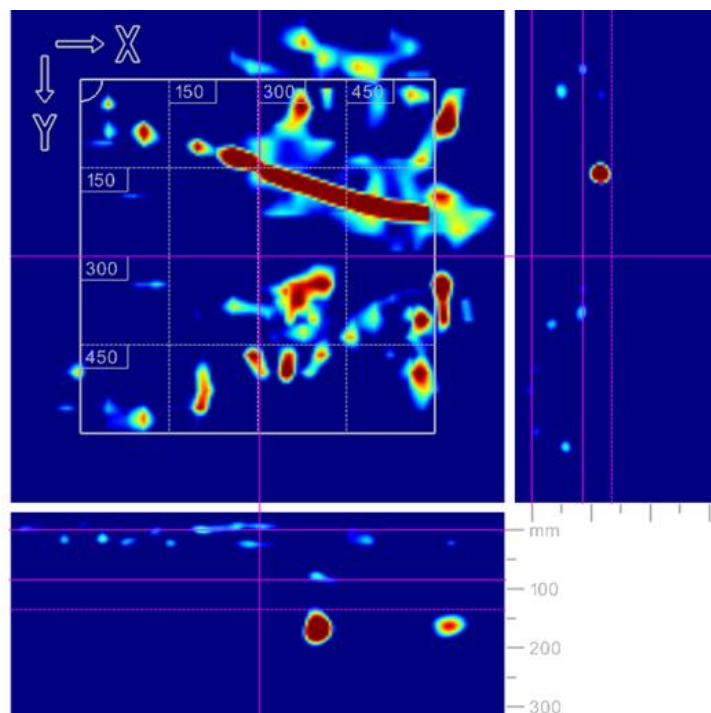
PŘESNÁ POLOHA SONDY: 550 mm od spodního okraje nosníku
260 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt \varnothing 50 mm pro zjištění
zainjektování kabelového kanálku

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 75 mm

ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI: Povrch chráničky kabelu v hloubce 75 mm pod
povrchem.
Hloubka karbonatace betonu 10 – 15 mm.
Kabelový kanálek dokonale zainjektován.



Obrázek 8.5 Plošný sken 600 x 600 mm v místě sondy Z11 s dobře patrnou polohou kanálku



Obrázek 8.6 Celkový pohled na sondu Z11



Obrázek 8.7 Sonda Z11 - patrný průřez chráničkou kabelového kanálku, viditelná injektážní směs

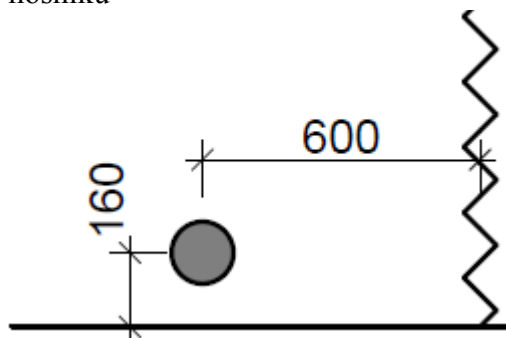
SONDA Z21

MÍSTO SONDY:

Zlínská strana mostu
Druhý dílec krajního nosníku na východní straně.

PŘESNÁ POLOHA SONDY:

160 mm od spodního okraje nosníku
600 mm od severního konce druhého dílce nosníku



TYP SONDY:

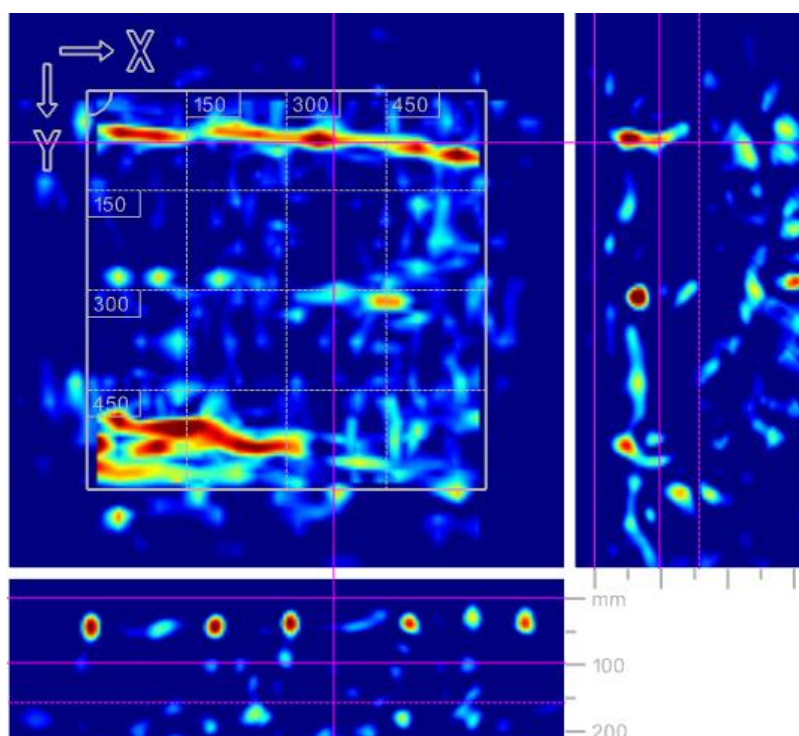
Jádrový vývrt \varnothing 50 mm pro zjištění
zainjektování kabelového kanálku

CELKOVÁ DÉLKA SONDY:

128 mm

ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI:

Povrch chráničky kabelu v hloubce 128 mm
pod povrchem.
Hloubka karbonatice betonu 15 - 20 mm.
Kabelový kanálek dokonale zainjektován.



Obrázek 8.8 Plošný sken 600 x 600 mm v místě sondy Z21 s dobře patrnou polohou kanálku



Obrázek 8.9 Sonda Z21 s patrným průrazem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injektážní směsí

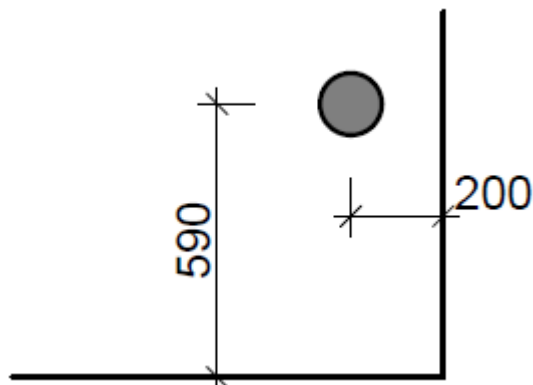


Obrázek 8.10 Celkový pohled na vývrt v místě sondy Z21

SONDA Z12

MÍSTO SONDY: Zlínská strana mostu
Krajní pole, krajní nosník na západní straně

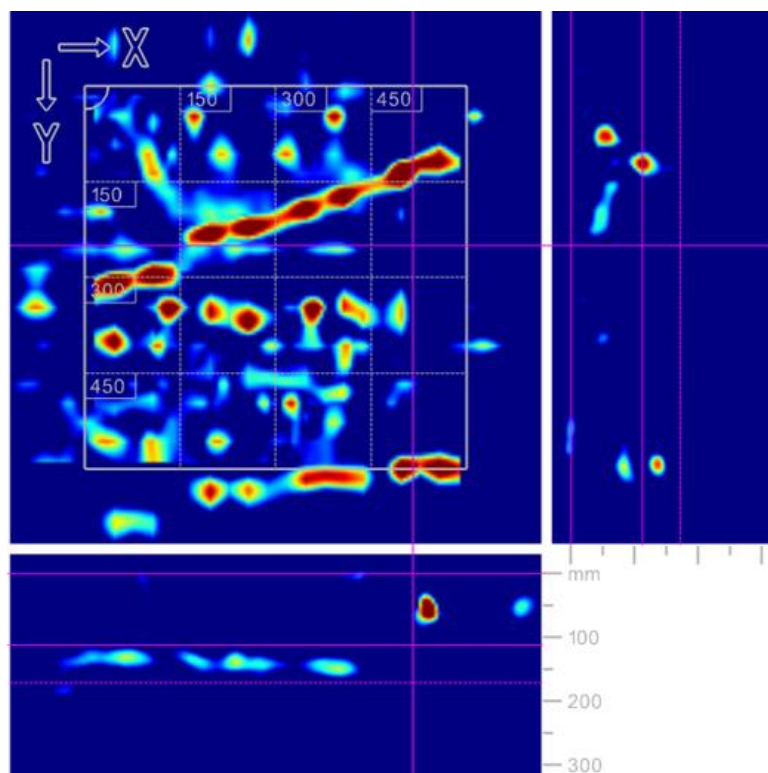
PŘESNÁ POLOHA SONDY: 590 mm od spodního okraje nosníku
200 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt \varnothing 50 mm pro zjištění
zainjektování kabelového kanálku

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 80 mm

ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI: Povrch chráničky kabelu v hloubce 80 mm pod
povrchem.
Hloubka karbonatace betonu 2 - 10 mm.
Kabelový kanálek dokonale zainjektován.



Obrázek 8.11 Plošný sken 600 x 600 mm v místě sondy Z12



Obrázek 8.12 Celkový pohled na sondu Z12

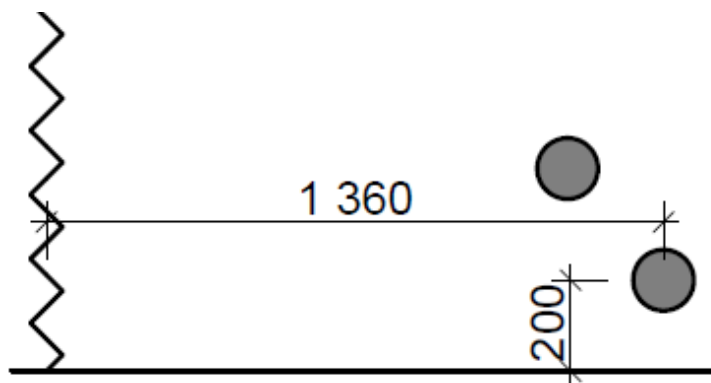


Obrázek 8.13 Sonda Z12 s patrným průrazem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injektážní směsí

SONDA Z22

MÍSTO SONDY: Zlínská strana mostu
Druhý dílec krajního nosníku na západní straně.

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 200 mm od spodního okraje nosníku
1360 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt Ø 50 mm pro zjištění
zainjektování kabelového kanálku

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 112 mm

ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI: Povrch chráničky kabelu v hloubce 112 mm
pod povrchem.
Hloubka karbonatace betonu 2 - 3 mm.
Kabelový kanálek dokonale zainjektován.



Obrázek 8.14 Celkový pohled na sondu Z22

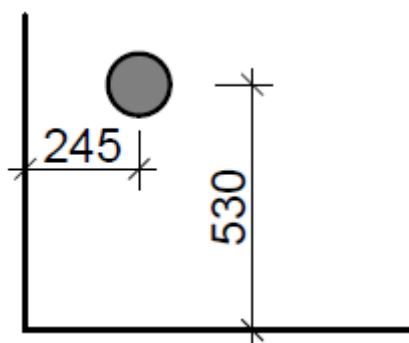


Obrázek 8.15 Sonda Z22 s patrným průřezem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injektážní směsí

SONDA V11

MÍSTO SONDY: Vsetínská strana mostu
Krajní pole, krajní nosník na západní straně

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 530 mm od spodního okraje nosníku
245 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt \varnothing 50 mm pro zjištění
zainjektování kabelového kanálku

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 75 mm

ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI: Povrch chráničky kabelu v hloubce 75 mm pod
povrchem.
Hloubka karbonatce betonu 10 mm.
Kabelový kanálek dokonale zainjektován.



Obrázek 8.16 Celkový pohled na sondu V11

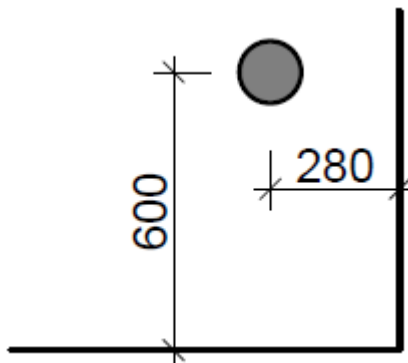


Obrázek 8.17 Sonda V11, pod kabelovou chráničkou je patrná zatvrdlá injektážní směs.

SONDA V12

MÍSTO SONDY: Vsetínská strana mostu
Krajní pole, krajní nosník na východní straně

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 600 mm od spodního okraje nosníku
280 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt \varnothing 50 mm pro zjištění
zainjektování kabelového kanálku

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 100 mm

ZJIŠTĚNÉ SKUTEČNOSTI: Povrch chráničky kabelu v hloubce 100 mm
pod povrchem.
Hloubka karbonatace betonu 0 - 2 mm.
Kabelový kanálek dokonale zainjektován.



Obrázek 8.18 Celkový pohled na sondu V12



Obrázek 8.19 Sonda V12 s patrným průvrtem chráničkou kabelového kanálku a viditelnou injekční směsí

8.4 STANOVENÍ PEVNOSTI BETONU

Součástí průzkumu bylo i provedení jádrových vývrtů pro posouzení pevnosti v tlaku.

Pro stanovení pevnosti betonu v tlaku byla použita metoda jádrových vývrtů dle ČSN EN 12504-1.

Dle členitosti a velikosti zkoumané konstrukce byl určen počet vývrtů. Minimální počet vývrtů pro hodnocenou oblast je 3 kusy.

Průměr vývrtů by obecně měl být co nejmenší z důvodu minimalizace poškození konstrukce, na druhé straně musí respektovat strukturu betonu. Pokud je velikost maximálního zrna kameniva větší než $1/3$ průměru vývrtu, může to mít vliv na zjištěnou pevnost v tlaku. V tomto případě byl vzhledem k rozměrům zkoušených prvků a rozmístění výztuže zvolen průměr jádrových vývrtů 75 mm, přičemž počet zkušebních těles z každého vývrtu byl zdvojnásoben.

Délka vývrtu určeného pro zkoušku pevnosti v tlaku vychází jednak z průměru vývrtu, jednak z možného způsobu úpravy - zda se má provést srovnání s pevností krychelnou ($l = d$) nebo válcovou ($l = 2d$).

Pro stanovení charakteristické pevnosti betonu v tlaku z jádrových vývrtů byla použita norma ČSN EN 13791.

Samotné stanovení pevnosti betonu není součástí této bakalářské práce.

Metoda Georadaru

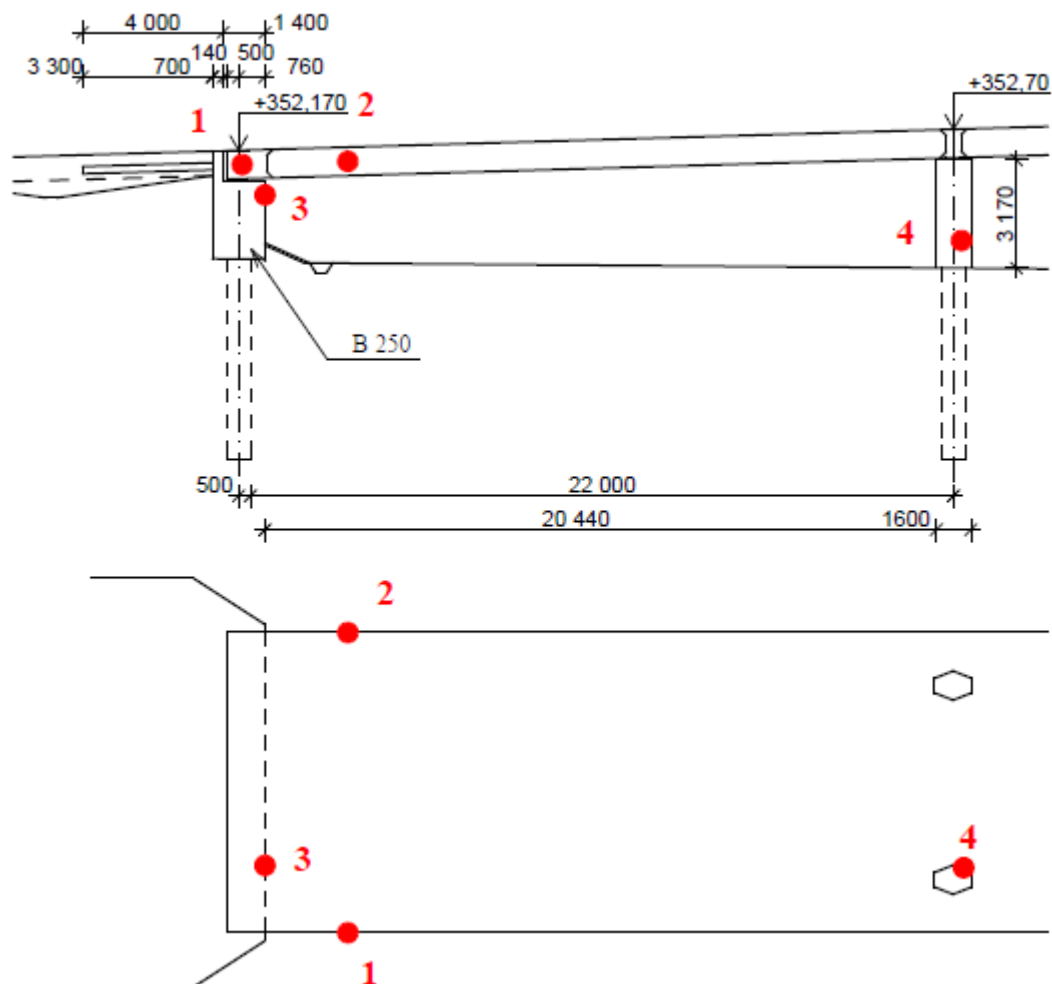
Lokalizace optimálních míst pro provedení jádrových vývrtů byla provedena pomocí Georadaru HIPTI PS 1000 X-scan. V místech znázorněných v obrázku 7.21. byly provedeny plošné a liniové skeny, na základě kterých byla určena poloha výztuže v daném místě. Tato metoda byla zvolena z důvodu vysokého hloubkového dosahu sondy, který elektromagnetické indikátory nenabízí. Další výhodou je časová nenáročnost a okamžité výsledky měření. Oproti radiografii nevyžaduje ani zvýšená bezpečnostní opatření a omezení v prostoru konstrukce.

8.4.1 Rozmístění sond

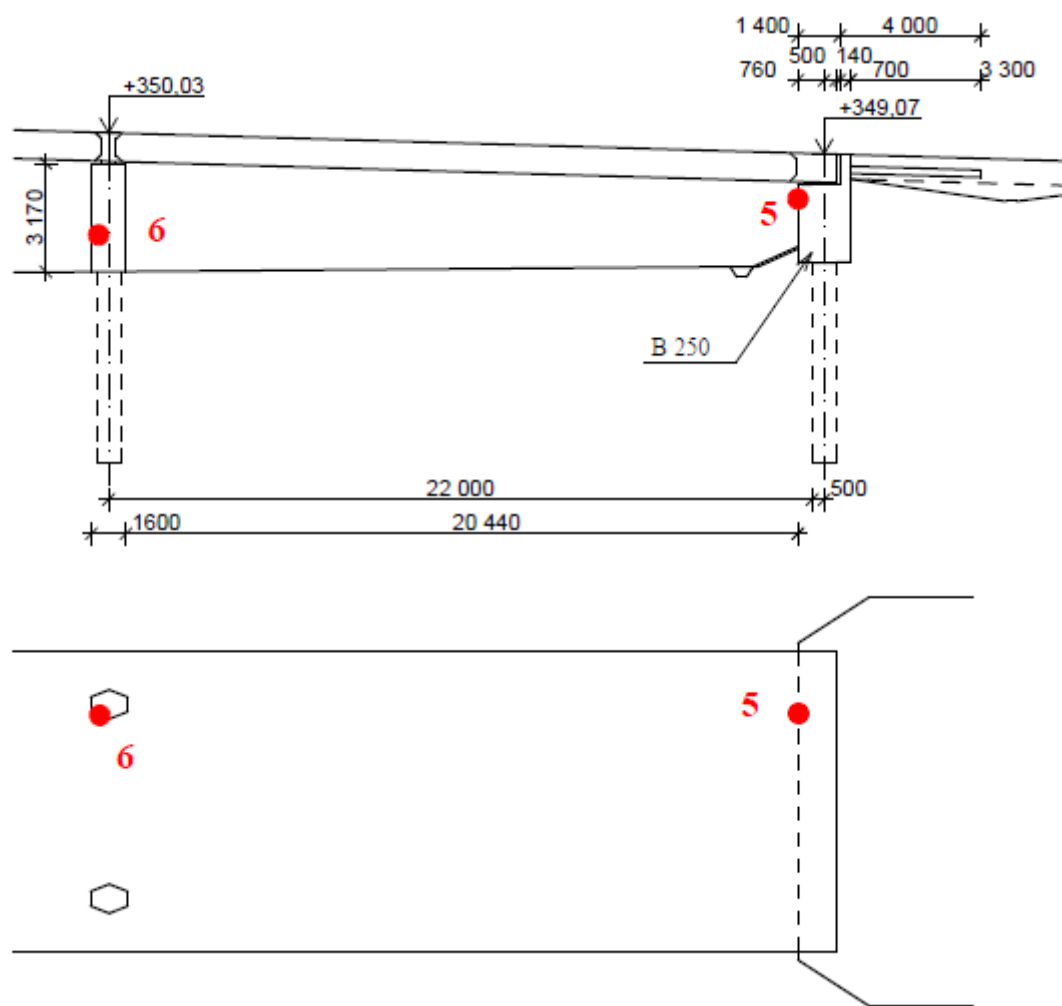
Bylo odebráno 6 jádrových vývrtů pro stanovení pevnosti betonu v tlaku.

SONDA 1	Zlínská strana - nosník mostu na západní straně krajního pole mostu
SONDA 2	Zlínská strana - nosník mostu na východní straně krajního pole mostu
SONDA 3	Zlínská strana - úložný práh opěry
SONDA 4	Zlínská strana - první mezilehlý pilíř
SONDA 5	Vsetínská strana - úložný práh opěry
SONDA 6	Vsetínská strana - druhý mezilehlý pilíř

Poloha sond je znázorněna v obrázku 7.21 a 7.22



Obrázek 8.20 Znázornění rozmístění sond v pohledu a půdoryse krajního pole zlínské strany mostu

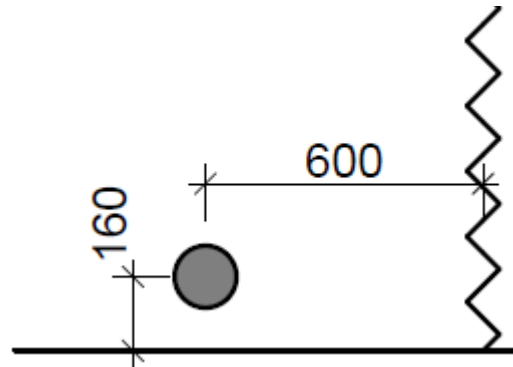


Obrázek 8.21 Znáornění rozmístění sond v pohledu a půdoryse krajního pole vsetínské strany mostu

SONDA 1

MÍSTO SONDY: Zlínská strana mostu
Krajní pole, krajní nosník na západní straně

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 160 mm od spodního okraje nosníku
600 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt \varnothing 50 mm

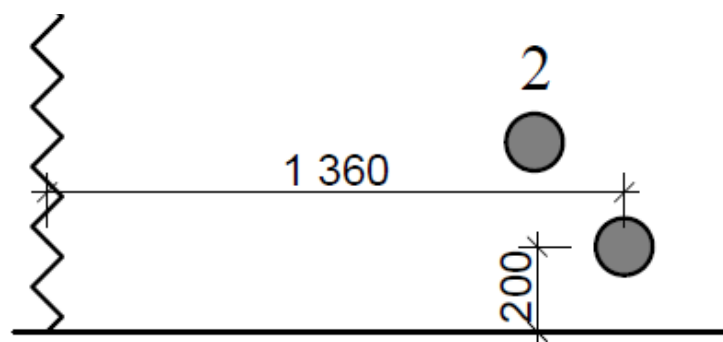
CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 75 mm

HLOUBKA KARBONATACE
BETONU: 7 – 10 mm

SONDA 2

MÍSTO SONDY: Zlínská strana mostu
Krajní pole, krajní nosník na východní straně

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 400 mm od spodního okraje nosníku
1170 mm od konce nosníku



TYP SONDY: Jádrový vývrt \varnothing 50 mm

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 140 mm

HLOUBKA KARBONATACE
BETONU: 3 mm

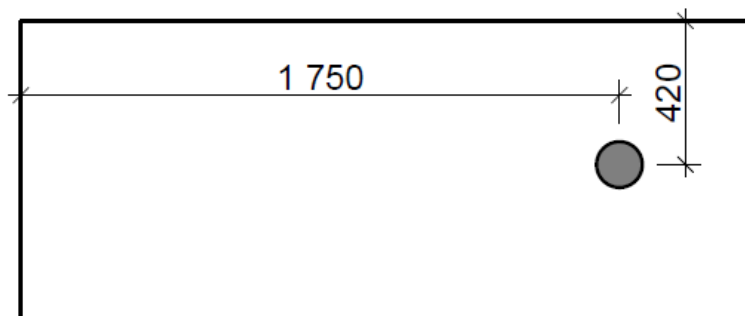
SONDA 3

MÍSTO SONDY:

Zlínská strana mostu
Úložný práh mostu.

PŘESNÁ POLOHA SONDY:

1750 mm od východního okraje úložného prahu.
420 mm od horního okraje úložného prahu.



TYP SONDY:

Jádrový vývrt Ø 50 mm

CELKOVÁ DÉLKA SONDY:

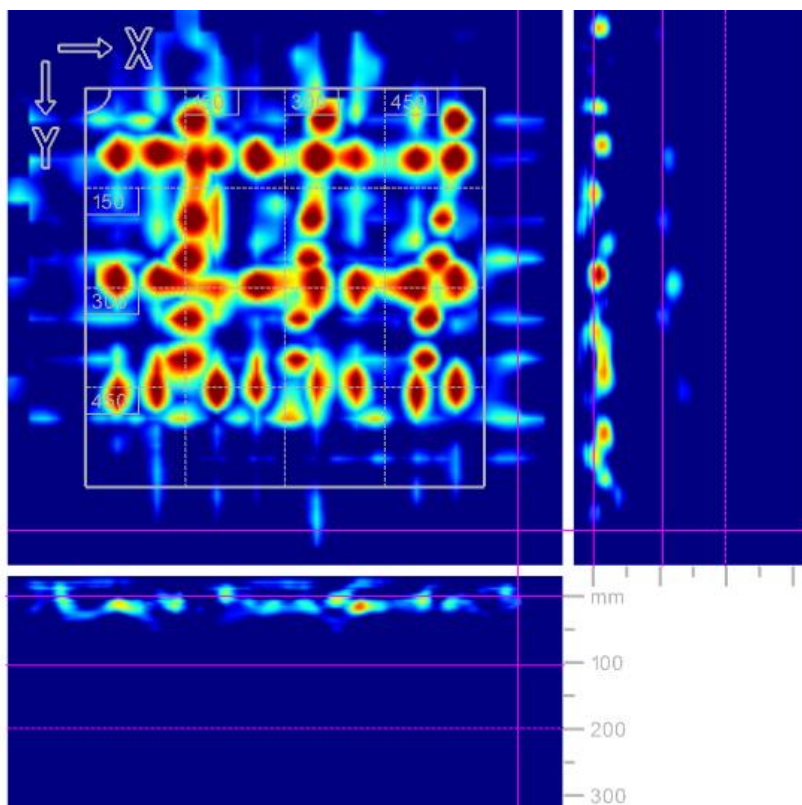
200 mm

HLOUBKA KARBONATACE
BETONU:

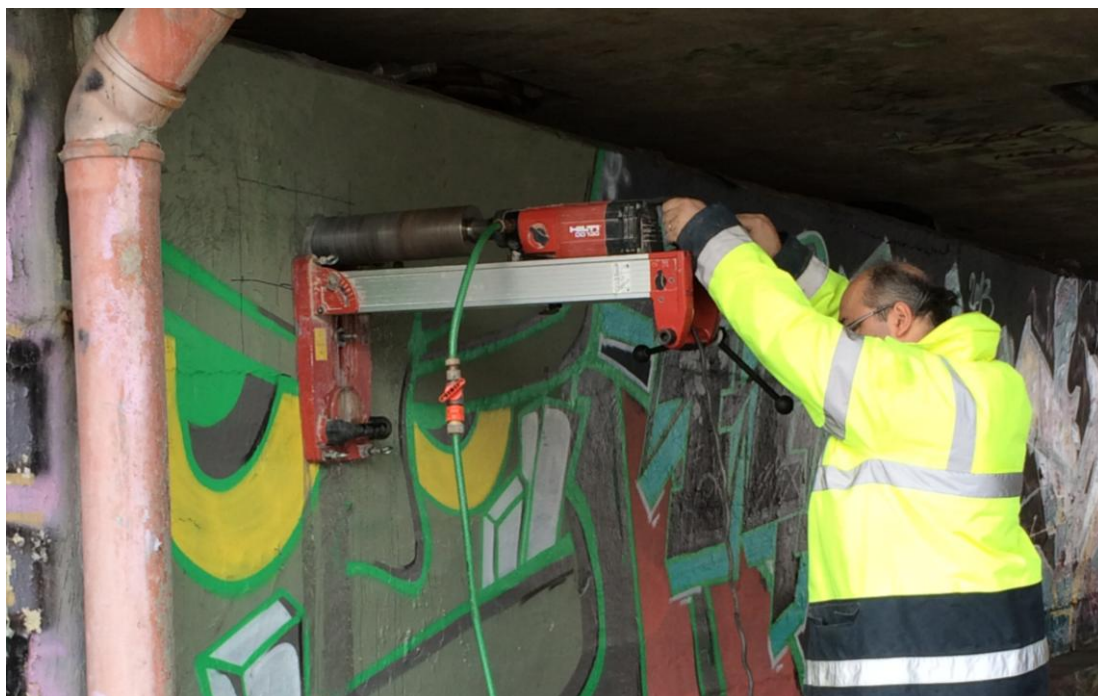
1 mm



Obrázek 8.22 Pohled na provádění plošného skenu



Obrázek 8.23 Plošný sken 600 x 600 mm v místě 3 - úložný práh

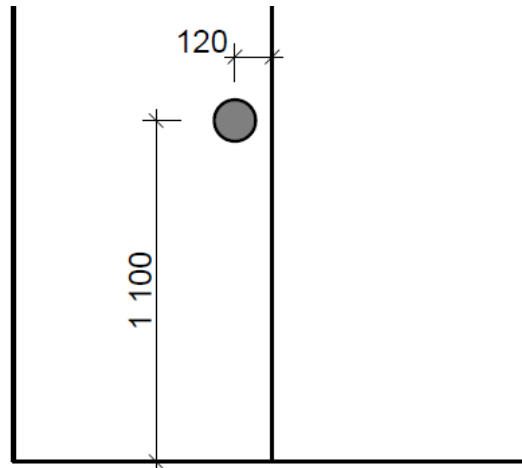


Obrázek 8.24 Celkový pohled na odběr vývrtnu 3

SONDA 4

MÍSTO SONDY: Zlínská strana mostu
Pilíř první mezilehlé podpěry.

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 1100 mm nad úrovní terénu
120 mm od příčné osy pilíře



TYP SONDY: Jádrový vývrt Ø 100 mm

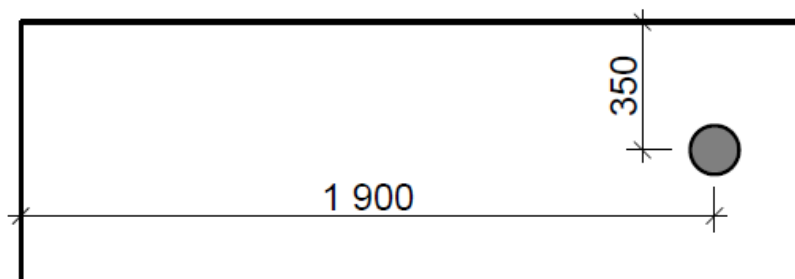
CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 130 - 140 mm

HLOUBKA KARBONATACE
BETONU: 15 mm

SONDA 5

MÍSTO SONDY: Vsetínská strana mostu
Úložný prán

PŘESNÁ POLOHA SONDY: 1900 mm od západního okraje úložného prahu
350 mm od horního okraje úložného prahu



TYP SONDY: Jádrový vývrt Ø 100 mm

CELKOVÁ DÉLKA SONDY: 210 mm

HLOUBKA KARBONATACE
BETONU: 5 mm

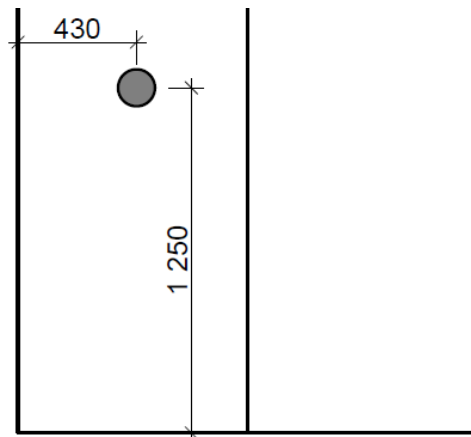
SONDA 6

MÍSTO SONDY:

Vsetínská strana mostu
Pilíř druhé mezilehlé podpěry.

PŘESNÁ POLOHA SONDY:

1250 mm nad úrovní terénu
430 mm od jižního okraje pilíře



TYP SONDY:

Jádrový vývrt Ø 50 mm

CELKOVÁ DÉLKA SONDY:

130 mm

HLOUBKA KARBONATACE
BETONU:

10 mm



Obrázek 8.25 Celkový pohled na místo odběru vývrtu 6

8.5 OVĚŘENÍ SKLADBY VOZOVKY

Součástí průzkumu bylo i ověření skladby vozovky. Ke zjištění skladby vozovky byly provedeny dvě sondy. V blízkosti obrubníku byly provedeny jádrové vývrty $\varnothing 100$ mm. Po vyhodnocení byla porušená izolace opravena tepelně zpracovaným pásem a odvrtaný materiál byl umístěn na původní místo. Odvrtané jádro bylo následně utěsněno a spojeno s okolní vozovkou.

Vyhodnocení není součástí této bakalářské práce.



Obrázek 8.26 Znárodnění polohy sond pro vývrty z vozovky na mapě



Obrázek 8.27 Ukázka sondy do vozovky

9 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zjištění možností využití georadaru při diagnostice mostních objektů.

V teoretické části jsou popsány principy, na kterých georadar pracuje, historie a možnosti jeho využití. Dále jsou zde popsány další metody vhodné k lokalizaci výztuže, a to nedestruktivní i semidestruktivní. Součástí teoretické části je i popis problematiky mostních konstrukcí, rozdělení a popis jednotlivých druhů konstrukcí.

V další části práce bylo provedeno testování georadaru HILTI PS 1000 na modelu konstrukce, určeného k testování klasických georadarů. Testováním bylo prověřeno chování radaru při lokalizaci ohybů smykové výztuže, chráničky kabelového kanálku a radar poskytl velmi dobré výsledky.

Praktická část zahrnuje diagnostiku dvou mostních konstrukcí. Při průzkumech obou mostních konstrukcí se potvrdily poznatky zjištěné na fyzikálním modelu, použití georadaru se ukázalo jako nejvhodnější.

Diagnostika pomocí elektromagnetických indikátorů je u obou konstrukcí nevhodná, z důvodu malého hloubkového dosahu sondy.

K průzkumu by mohla být využita i radiografická metoda pro lokalizaci výztuže, která umožňuje určení polohy výztuže a nehomogenit i ve vysokých hloubkách. Ta je ale časově náročná a neposkytuje na rozdíl od georadaru okamžité výsledky měření. K dalším nevýhodám patří vysoké náklady na tento průzkum a nutnost dodržení přísných bezpečnostních zásad. S tím jsou spojená i omezení běžného provozu v místě průzkumu.

V obou případech se využití georadaru ukázalo přesně dle předpokladů, jako mimořádně vhodné a přineslo očekávané výsledky v plném rozsahu. Lze konstatovat, že georadar HILTI PS 1000 se stal po svém nedávném uvedení na trh nedílnou součástí spektra nedestruktivních metod k určení polohy výztuže.

CITOVANÁ LITERATURA

TIŠTĚNÉ ZDROJE

- 1] CASSIDY, Nigel. Introduction to GPR. In: The University of Birmingham, 2008.
- 2] ANTON, Ondřej. Vývoj a upřesnění radiografických metod ve stavebnictví: disertační práce. BRNO, 2009.
- 3] HRDOUŠEK, Vladislav. A KOLEKTIV. Inženýrské stavby. Informatorium, 2006. ISBN 80-7333-058-2.
- 4] KLUSÁČEK, Ladislav. Betonové mosty I: studijní opory, Nosné konstrukce mostů. FAST v Brně, 2006. ISBN 1213-3116.
- 5] ŠTAINBRUCH, Jakub, ANTON a Tomáš KORDINA. Rozvoj použití georadaru (GPR) při diagnostice železobetonových konstrukcí: článek v Beton TKS. In: Praha: Beton TKS s.r.o., 2011. ISBN 1213-3116.
- 6] ANTON, Ondřej. MOŽNOST IDENTIFIKACE OCELOVÉ VÝZTUŽE V ŽELEZOBETONU RADIOGRAFICKOU KONTROLOU POMOCÍ CO60.

INTERNETOVÉ ZDROJE

- 7] HILTI: Systém X-Scan PS 1000. [online]. [cit. 2014-05-03]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/laserov%C3%A1-technika/syst%C3%A9my-detekce/2007503>
- 8] Radiografické určení polohy, profilu výztuže: Návody do cvičení. In: [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: http://www.szk.fce.vutbr.cz/vyuka/BI52/ESF_C5_N%C2%A0vod.pdf
- 9] Ground Penetrating Radar (GPR) Explained: How a MALÁ GPR system works: 101 GPR. In: [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://www.malags.com/innovation/gpr-explained>

- 10] Georadary jako nástroj pro hledače a archeology. In: Poklady pod námi [online]. [cit. 2014-03-17]. Dostupné z: <http://pokladypodnami.cz/georadary-jako-nastroj-pro-hledace-a-archeology/>
- 11] Timeline | Co-funded R&D | Production Excellence | Product Releases | GPR Explained Contact Us Innovation Ground Penetrating Radar (GPR) Explained. In: MALÁ at a glance [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.malags.com/innovation/gpr-explained>
- 12] Rebar Detection System - Profometer 5+. In: Proceq [online]. [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.proceq.com/non-destructive-test-equipment/concrete-testing/cover-meter-rebar-detector/profometer-5.html?pqr=2>
- 13] Archaeologists use state-of-the-art tools in effort to uncover treasures of antiquity at UMMC. In: University of Mississippi [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: http://www.umc.edu/News_and_Publications/Centerview
- 14] PS 250 Systém Ferrosan. *HILTI* [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/laserov%C3%A1-technika/syst%C3%A9my-detekce/r41791#gallery>
- 15] Přesná lokalizace objektů ve stavebních materiálech. In: SOLAŘOVÁ, Hana. [online]. [cit. 2014-04-06]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/presna-lokalizace-objektu-ve-stavebnich-materialech/>

10 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

ZKRATKY

GPR – Ground Penetrating Radar, georadar

SDT – semidestruktivní zkoušky

NDT – nedestruktivní zkoušky

DT – destruktivní zkoušky

atd. – a tak dále

FYZIKÁLNÍ VELIČINY A JEDNOTKY

v - rychlost šíření elektromag. signálu prostředím	m/s - metr za sekundu
c - rychlost šíření elektromag. signálu vakuem	m/s - metr za sekundu
ϵ_r - relativní permitivita prostředí	-
α - koeficient útlumu	dB/m
s - vodivost prostředí	S/m – Siemens na metr
f - frekvence	Hz – Hertz
T - perioda	s – sekunda
λ - vlnová délka	-
d - čelo vlny	-

CHEMICKÉ ZNAČKY

Co60 – kobalt 60