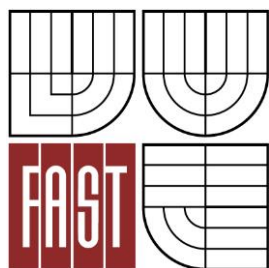




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

MOŽNOSTI VYUŽITÍ RADARU PRO DETEKCI VÝZTUŽE V ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍCH

POSSIBILITIES OF USING GPR TO DETECT REINFORCEMENT IN CONCRETE STRUCTURES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTINA FILIPU

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	Martina Filipu
Název	Možnosti využití radaru pro detekci výztuže v železobetonových konstrukcích
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 05. 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, platných norem se zaměřením na diagnostiku a posuzování stávajících konstrukcí, materiálů výrobců zařízení určených ke zjišťování výztuže v železobetonu.

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

.....

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

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na využití radaru (GPR) pro detekci výztuže v železobetonových konstrukcích. V jednotlivých částech se práce věnuje metodám užívaným v diagnostice konstrukcí a dále rozeznatelnosti ocelové výztuže v železobetonu. Blíže se pak zabývá aplikacemi GPR v diagnostice železobetonových konstrukcí za použití přístroje Hilti PS 1000.

Cílem praktické části, v rámci které byl proveden stavební průzkum stěn silážního žlabu, bylo ověření možnosti využití kombinace metod georadaru a magnetických indikátorů při stanovení polohy výztuže stěn a následné porovnání s projektovou dokumentací. Tento stavebně technický průzkum byl proveden z důvodu vzniku závažných poruch ve formě trhlin a vyklonění větší části jedné stěny silážního žlabu.

Klíčová slova

Beton, železobeton, ocelová výztuž, nedestruktivní zkušebnictví, stavební průzkum, rozeznatelnost výztuže, georadar

Abstract

The aim of this study is to outline how is GPR used to detect reinforcement in concrete structures. In each part the study deals with diagnostic testing methods used for building construction and shows a recognisability of steel reinforcement in concrete. Then it closely examines applications of GPR in a diagnostics of reinforced concrete structures with using Hilti PS 1000 device.

In the practical part I conducted a building survey of wall silo using GPR and electromagnetic indicators. The aim was to identify the position of reinforcement which was subsequently compared with the project documentation. The construction survey was carried out as a reason of several serious defects such as cracks and tilting of major part of one of the silo walls.

Keywords

Concrete, reinforced concrete, steel reinforcement, non-destructive testing, building survey, the reinforcement discriminability, ground penetrating radar

Bibliografická citace VŠKP

FILIPU, Martina. *Možnosti využití radaru pro detekci výztuže v železobetonových konstrukcích*. Brno 2014. 58 s. 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 zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 20. 5. 2014

.....

podpis autora
Martina Filipu

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu své bakalářské práce, panu Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za cenné a užitečné rady, názorné ukázky a vstřícný přístup při konzultacích.

OBSAH

1	ÚVODNÍ ČÁST	10
1.1	Úvod.....	10
1.2	Cíle práce	10
2	BETON – MATERIÁL MINULÝ A BUDOUCÍ	12
2.1	Historie betonu a železobetonu.....	12
2.2	Železobeton – železový beton.....	13
3	DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ.....	15
3.1	Základní diagnostické metody	15
3.1.1	Nedestruktivní zkoušky.....	15
3.1.2	Semidestruktivní zkoušky	17
3.1.3	Destruktivní zkoušky	18
4	DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ	19
4.1	Zkušební metody pro diagnostiku železobetonu	19
4.1.1	Zkoušené vlastnosti.....	19
4.1.2	Typy zkušebních metod	20
4.2	Vybrané diagnostické metody sloužící pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích.....	20
4.2.1	Metoda destruktivní	21
4.2.2	Metoda elektromagnetických indikátorů.....	21
4.2.3	Radiografie.....	25
4.2.4	Georadar.....	27
5	HILTI PS 1000.....	30
5.1	Obecné vlastnosti přístroje.....	30
5.2	Režimy skenování.....	31
5.3	Výhody a nevýhody použití přístroje Hilti PS 1000	32
6	PRAKTICKÁ ČÁST	33
6.1	Základní údaje.....	33
6.2	Účel průzkumu stavby	35
6.3	Rozmístění sond.....	37
6.4	Rozsah průzkumu	38
6.5	Použité metody	39
6.6	Výsledky průzkumu – stanovení vyztužení silážních žlabů	39
6.6.1	Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 4 v jihozápadní obvodové stěně....	39
6.6.2	Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 4 v jihozápadní obvodové stěně.....	41
6.6.3	Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 20 v jihozápadní obvodové stěně..	42

6.6.4	Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 20 v jihozápadní obvodové stěně...	43
6.6.5	Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 34 v jihozápadní obvodové stěně..	44
6.6.6	Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 34 v jihozápadní obvodové stěně...	45
6.6.7	Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 35 ve střední stěně z jihozápadní strany.....	46
6.6.8	Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 35 ve střední stěně ze severovýchodní strany	48
6.6.9	Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 24 v severovýchodní obvodové stěně	49
6.6.10	Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 24 v severovýchodní obvodové stěně	51
7	ZÁVĚR	53
8	ZDROJE.....	54
9	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	56

1 ÚVODNÍ ČÁST

1.1 Úvod

Tématem bakalářské práce je využití georadaru pro detekci výztuže v železobetonových konstrukcích. Dodržení projektovaného počtu a profilu ocelové výztuže, jejich rozmístění a krytí je jeden ze základních předpokladů pro dosažení plánovaných vlastností železobetonových konstrukcí. Neméně důležité a podstatně častější je stanovení vyztužení v konstrukcích, u nichž se nedochovala prováděcí dokumentace a kde je nutné zjistit jejich reálné vlastnosti. V současné době se pro tyto průzkumy používá několik metod. Tato práce se primárně zabývá zcela nedestruktivní metodou georadaru v diagnostice železobetonových konstrukcí.

GPR (Ground Penetrating Radar, radar pronikající zemí, georadar) je radarová technologie, která přijímá a vysílá pomocí antén impulzy elektromagnetické energie. Tyto impulzy prochází prostředím, kterým je v tomto případě půda nebo beton. Radar je schopen zachytit vysílané impulzy v podobě „odrazů“ od jednotlivých skrytých prvků. [1]

První GPR měření bylo provedeno v roce 1929 v Rakousku. Zde byla tato technologie použita pro zjištění tloušťky ledovce. Metoda GPR nebyla dále používána až do startu Apolla 17 v roce 1972. Od této doby je technologie radaru využívána v široké škále odvětví, jako například geologie a geotechnika, letectví, kosmonautika, glaciologie, kriminalistika, vyhledávání munice, archeologie a nedílnou součástí je stavebnictví. Zde se uplatnila při provádění stavebně technických průzkumů.

V České republice se georadarová měření provádějí od 90. let. K rozvoji stavebně diagnostických průzkumů dochází zejména začátkem 20. století, a to hlavně v souvislosti s rozvojem měřicí techniky, kdy přední výrobci georadarových systémů uvedli na trh vysokofrekvenční antény, které jsou schopny detekovat nehomogenity v konstrukcích s dostatečně vysokým rozlišením. [2]

1.2 Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je seznámit se s jednotlivými zkušebními metodami používanými ve stavební diagnostice a podrobněji se zaměřit na vybrané nedestruktivní (NDT) metody, které jsou používány pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích. Dále bude pojednáno o některých druzích přístrojů,

které se k této činnosti používají. Je také poukázáno na důležitost betonu jako stavebního materiálu a na jeho historii vývoje.

V praktické části bakalářské práce, v rámci které bude proveden stavební průzkum stěn silážního žlabu, bude stanovení polohy výztuže stěn a následné porovnání s projektovou dokumentací. Tento stavebně technický průzkum bude proveden z důvodu vzniku závažných poruch ve formě trhlin a vyklonění větší části jedné stěny silážního žlabu. Měření bude realizováno za pomoci radarové technologie, konkrétně moderním přístrojem Hilti PS 1000 X-scan.

2 BETON – MATERIÁL MINULÝ A BUDOUCÍ

Beton stále zůstává nejpoužívanějším stavebním materiálem, neboť jeho dlouhodobé charakteristické vlastnosti jsou odzkoušeny mnohaletými zkušenostmi lidské populace na naší planetě. Betonování je odvěkou lidskou činností, která byla prvně použita ve starověkém Egyptě či říši Římské. Přestože v současné době dochází k rychlému a rozsáhlému vývoji a výzkumu novodobých stavebních materiálů, beton je a bude i v budoucnu hlavním stavebním materiálem, a to hlavně díky surovinovým zdrojům naší planety.

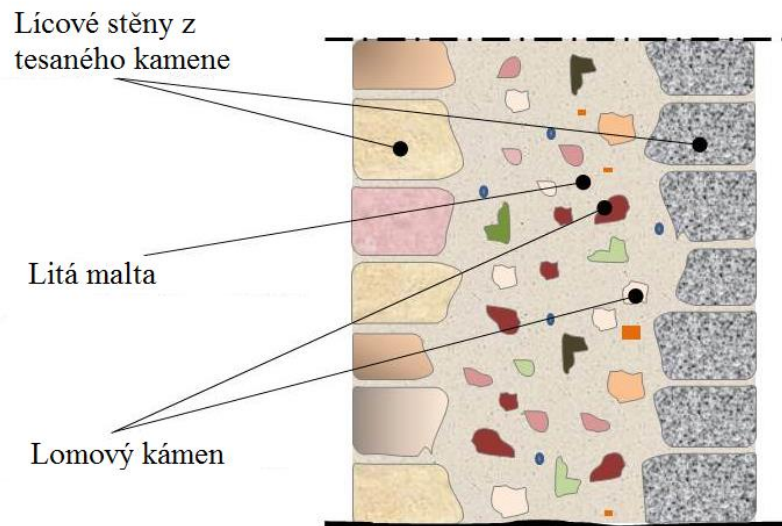
Celková roční spotřeba betonu na světě se udržuje již několik desítek let na hodnotě 6,5 mld. m³. Tato hodnota je dána nejen jeho technickými možnostmi, ale i tím, že beton z energetického hlediska reprezentuje nejvýhodnější stavební materiál. Avšak nesmí být opomenuto, že použití betonu má svá úskalí i při jeho dlouhodobé odolnosti oproti okolnímu agresivnímu prostředí. Příkladem jsou korozivní mechanismy, které ovlivňují jeho trvanlivost. [3]

2.1 Historie betonu a železobetonu

Historie betonu, dříve definovaného jako umělý kámen, sahá až do doby kolem roku 3600 let př. n. l. První zmínky o tomto materiálu zaznamenal Plinius, který psal o sloupu v egyptském labyrintu.

Kolem roku 1000 př. n. l. vznikly v Jeruzalémě velké vodní nádrže a vodovodní přivaděče, které také vedly k objevu hydraulických vlastností směsi vápna a sopečného tufu. V době rozmachu Římské říše byl tento druh vápenatého betonu hlavním stavivem používaným na zpevňování cest, stavby mostů a aquaduktů, jejichž zbytky jsou zachovány až do dnešní doby.

Na tyto znalosti navázali Řekové (2. století př. n. l.) použitím nové zdící techniky. Lícové stěny z tesaného kamene tvořily masivní zeď a vzniklá mezera byla vyplňována litou maltou prokládanou lomovým kamenem. Lícové stěny tedy plnily i funkci „ztraceného bednění“. Tento druh zdiva („emplekton“ viz. Obr. 2.1) lze považovat za předchůdce dnešního betonu. Po zániku Říma jsou další informace o použití betonu zaznamenány až z období první průmyslové revoluce ve Francii a Anglii. [3] [4]



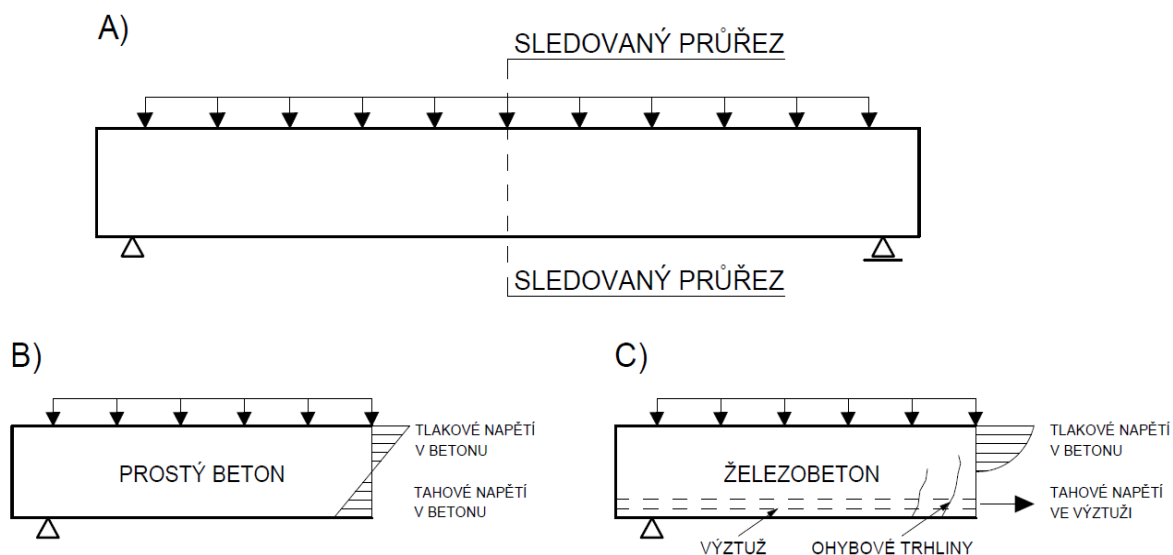
Obr. 2.1: Druh zdiva tzv. emplekton.
 (http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/2f/Muro_a_sacco_paramenti_pietra.JPG)
 (Přeloženo a upraveno.)

Za přelom pro rozšíření betonu je považován vynález francouzského zahradníka J. Moniera, tzv. železový beton. Díky výrobě zahradních květináčů vyztužených drátěnými sítěmi byla odstraněna jedna z hlavních nevýhod betonu, to je velká neúměrnost mezi tahovou a tlakovou pevností. Až pařížská světová výstava (rok 1890) nastartovala velký rozkvět železobetonových konstrukcí.

Používání betonu se stalo běžnou záležitostí ke konci 19. století. Žádná stavba se v dnešní době bez betonu zcela neobejde, a to od základů, podlah až po stropní konstrukce. Stavby jako jsou mosty, silnice, tunely, přehradní nádrže a další, nelze bez použití betonu, resp. železobetonu, snad ani zrealizovat. [3] [4]

2.2 Železobeton – železový beton

Železobeton vzniká z betonových konstrukcí po vložení různých ocelových prvků. Ocel je do betonu vkládána z důvodu zlepšení pevnosti v tahu. Prostý beton má totiž stejně jako každý přírodní kámen malou pevnost v tahu. Prostý beton se tedy navrhuje pro konstrukce namáhané především pouze tlakem (masivní pilíře, opěrné zdi, klenby, základové patky, atd.), což se stává nedostatkem pro některé druhy konstrukcí, jako jsou např. trávy a stropy. [5]



Obr. 2.2: Srovnání působení betonového prvku: a) schéma zatížení, b) prvek z prostého betonu, c) prvek z železobetonu. [5]

Železový beton však může fungovat pouze za určitých podmínek:

- beton, díky jeho chemickým vlastnostem a těsnosti, tvoří pro ocel korozní ochranu;
- tahové síly lze přenést za předpokladu dobré soudržnosti mezi ocelí a betonem;
- součinitel tepelné roztažnosti oceli a betonu je přibližně stejný, únosnost není ovlivněna tepelnými změnami;
- ocelová výztuž se při namáhání protahuje méně než beton (omezení vzniku trhlin); [5]

Výztuž se navrhuje podle předpokládaného zatížení jednotlivých betonových dílců a to tak, aby co nejvíce bránila deformaci tohoto dílce. Nejčastěji se jedná o prostorovou síť, kde některé části převažují (silnější dráty či větší počet). Například u svislých konstrukcí (typické jsou pilíře mostů) je větší část výztuže uložena po obvodu, kde zvyšuje pevnost při ohybu. Vodorovné nosníky mají naopak větší část výztuže ve spodní části průřezu, kde zabráňuje prohýbání nosníků vlivem zatížení.

Avšak skutečná pravidla při navrhování železobetonových konstrukcí jsou mnohem složitější a výpočet i dohled nad zhotovením takové konstrukce musí být přenechán autorizovanému stavebnímu inženýrovi či statikovi. [6]

3 DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Rozvoj vědy a techniky je nezastavitelný a můžeme ho sledovat ve všech odvětvích lidské činnosti. To způsobuje účinnější použití různých druhů materiálů ve stavebnictví. Historické masivní kamenné stavby jsou nahrazovány hospodárnějšími stavbami z betonu a oceli. Dochází ke zvyšování kvality materiálu, ale zároveň musí tento materiál splňovat předpokládané vlastnosti, na kterých závisí spolehlivost a bezpečnost budovaných objektů.

Důvěryhodné hodnocení existující stavby je podmíněno prověřením aktuálního stavu konstrukce a vlastností stavebních materiálů. A právě diagnostika stavebních konstrukcí se k tomuto účelu používá. Diagnostika je soubor činností sloužících pro zpřesnění a rozšíření informací, které jsou získány z prohlídky stavby a dokumentace. Díky používaným metodám diagnostiky stavebních konstrukcí se mohou ověřit vlastnosti materiálů, jejich identifikace, klasifikace a kvantifikace chyb či poruch. Důležité je nejen kompletní zmapování poruch, ale i předvídání jejich vývoje v čase. [7] [8]

3.1 Základní diagnostické metody

Diagnostické metody, které jsou běžně používány v naší praxi i pro zkoušení v zahraničí, se mohou dělit dle různých hledisek. Základní dělení je podle stupně poškození zkoumané konstrukce na metody:

- nedestruktivní;
- semidestruktivní;
- destruktivní; [8]

3.1.1 Nedestruktivní zkoušky

Nedestruktivní metody určují hledané vlastnosti bez rozměrných poškození konstrukčního prvku nebo stavebního materiálu. V praxi to znamená, že nedestruktivní metoda je i taková, která nějakou stopu zanechá (např. tvrdoměrná – obroušení povrchu).

Mezi hlavní klady těchto metod patří to, že umožňují několikanásobné měření na stejném místě a tím statistické vyhodnocení i možnost registrovat změny v čase. Zásadním nedostatkem je skutečnost, že zjišťujeme pomocnou charakteristiku materiálu, která je s požadovanou charakteristikou v jisté závislosti. Moderní nedestruktivní metody jsou založené na počítačové technologii a tím velmi zjednodušují provádění zkoušek. [7]

Dělení:

a) podle fyzikálního principu zkoušení

Tvrdoměrné metody – měření tvrdosti povrchu materiálu a stanovení korelačního vztahu mezi tvrdostí a pevností materiálu.

- vrypové;
- vtiskové;
- odrazové;

Elektrodynamické metody – snímání a vyhodnocování účinků mechanického vlnění, které je vyvolané určitým mechanickým podnětem.

- ultrazvuková metoda – zjištění kvality betonu a vnitřních nehomogenit;
- rezonanční metoda – zjištění dynamických modulů pružnosti;
- metoda fázových rychlostí – dynamické charakteristiky vozovek a podloží;
- metoda tlumeného rázu – únosnost a tuhost vozovek a podloží;
- metoda mechanické impedance – moduly pružnosti u vazkopružných materiálů;
- metoda akustické emise – ke zjištění rozvoje vnitřních trhlin v materiálu;
- metoda ipakt-echo – zjištění vnitřních nehomogenit v materiálu;

Elektromagnetické metody – pracují s elektromagnetickými vlastnostmi zkoušených materiálů.

- elektromagnetické sondy – slouží ke stanovení profilu a hloubky výztuže;
- mikrovlnné metody – slouží k měření vlhkosti;
- indukčnostní metody – slouží k měření teplot;

Elektrické metody – pracují s elektrickým odporem či jinou elektrickou vlastností materiálu.

- metody odporové – slouží k měření deformací, teplot a vlhkosti;
- metody kapacitní – slouží k měření vlhkosti;
- metody polovodičové – slouží k měření teplot;

Radiační metody – fungují na principu zeslabení ionizujícího záření v materiálu anebo na principu zpomalování rychlých neutronů na jádrech vodíku.

- radiografie – určení polohy výztuže v železobetonu, stanovení vad v dřevěných prvcích, posouzení svarů na ocelových konstrukcích atd.;
- radiometrie – objemová hmotnost a vlhkost materiálu; [8]

b) podle měřené veličiny zjišťované různými fyzikálními postupy

Tenzometrické metody – dokážou zachytit velmi malé změny délek.

- mechanické;
- optické;
- odporové;
- indukčnostní;
- kapacitní;
- strunové;
- bezdotykové;

Trvanlivostní zkoušky – zjišťují, jak všechny vlivy okolního prostředí působí na konstrukci.

- propustnost struktury stavebního materiálu při působení kapaliny či plynu;
- mrazuvzdornost betonů při určeném počtu zmrazovacích cyklů;
- odolnost betonu proti působení vody;
- nasákavost stavebního materiálu (otevřená pórovitost);
- vzlínavost ve stavebním materiálu;
- sorbční vlastnosti – navlhavost, vysychavost;
- propustnost oproti tlakové vodě; [8]

3.1.2 Semidestruktivní zkoušky

Semidestruktivní metody poškozují zkoušenou konstrukci jen částečně, například odtrhy, vrtáním apod. Volba kontrolních míst na konstrukci pro semidestruktivní zkoušky se musí zvolit pečlivě. Nesmí být v žádném případě ovlivněna únosnost či stabilita konstrukce. [8]

Mezi základní typy semidestruktivních metod řadíme:

- jádrové vývrty – ke stanovení pevnosti betonu či zdiva v tlaku;
 - k vylamovací zkoušce;
 - ke stanovení propustnosti staviv pro kapaliny a plyny;
 - ke stanovení postupu karbonatace do nitra konstrukce;
- odtrhové zkoušky – odtrhy povrchových vrstev;
 - pro zkoušení pevnosti podpovrchových a vnitřních vrstev;
- naříznutí zděné stěny pro vložení plochých lisů;
- vrtací zkouška kombinovaná s údery vrtáku při stanovení pevnosti malty ve spárách zdiva;

- brusné nebo vrtné metody – stanovení pevnosti betonu;
- vstřelovací metody – určování pevnosti betonu z hloubky vstřeleného hřebu;
- vnikací tvrdoměrné metody – špičákové metody;
 - mechanické špičáky; [8]

3.1.3 Destruktivní zkoušky

Tyto metody se uplatňují v případě, nevedou-li nedestruktivní metody k hledanému cíli, nebo pokud je zapotřebí přesnější stanovení hledaných charakteristik. Tato metoda dokáže zpřesnit kalibrační vztahy nedestruktivních metod, a proto je účelné kombinovat obě tyto metody. [7]

Jak již bylo řečeno, nejvýraznějším kladem této metody je přesnost a fakt, že „vidíme“ dovnitř konstrukce. Naopak při realizaci dochází k poškození konstrukce, tím i redukci zkoušených míst a poměrně vyšším finančním nákladům.

4 DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

Mezi nejpoužívanější stavební materiály současnosti patří bez pochyby beton (pouze tlakové namáhání) a železobeton (tahové, ohybové, smykové namáhání a jejich kombinace). Životnost tohoto materiálu ovlivňuje řada faktorů, např. uložení ocelové výztuže, způsob ukládání a hutnění betonové směsi, klimatické podmínky v době zrání či způsob užívání konstrukce a v neposlední řadě i kvalifikace pracovníků.

U novostaveb je diagnostika betonových a železobetonových konstrukcí vyžadována při pochybnostech o kvalitě užitých materiálů. Nejčastěji se zjišťuje druh použitého betonu nebo výztuže v konstrukci. Je-li uvažováno o rekonstrukci, přestavbě či nadstavbě starších konstrukcí, pak je také nutné provést diagnostiku.

Při diagnostice konstrukcí ze železobetonu se můžeme setkat s objekty o různém stáří. Je třeba si uvědomit, že ne každé období v minulosti bylo pro oblast navrhování, technologie či provádění betonových konstrukcí pozitivní. Příkladem může být doba kolem 30. až 50. let 20. století, kdy se hlavním problémem stalo použití hlinitanového cementu. Je to materiál charakteristický rychlým nárůstem pevnosti, avšak po čase dochází k rozkladu pojiva a tím ke ztrátě únosnosti konstrukcí. V minulosti došlo i k řadě vážným haváriím, po kterých bylo použití hlinitanového cementu zakázáno.

Ke zlepšování kvality betonových konstrukcí dochází až po roce 1989. Je to způsobeno vyšší úrovní technologie, důslednější kontrolou kvality a přísnějšími požadavky na kvalitu materiálu. Přesto hlavní příčina vad a poruch zůstává, je jím lidský faktor. [8]

4.1 Zkušební metody pro diagnostiku železobetonu

Při diagnostice železobetonového objektu se diferencují zkoušené vlastnosti betonu a ocelové výztuže. S tím souvisí vhodný výběr metody, která umožňuje stanovit požadované vlastnosti.

4.1.1 Zkoušené vlastnosti

K vlastnostem **betonu** konstrukce, na které je třeba se zaměřit, patří:

- druh betonu;
- stejnorodost betonu;
- pevnost betonu;
- modul pružnosti betonu;

- objemová hmotnost;
- chemické vlastnosti betonu, míra degradace;
- další vlastnosti (vlhkost betonu, mrazuvzdornost, propustnost, vodotěsnost, vlastnosti povrchových vrstev betonu);

K vlastnostem **ocelové výztuže**, na které je třeba se zaměřit, patří:

- druh výztuže;
- množství a poloha výztuže;
- koroze výztuže; [8]

4.1.2 Typy zkušebních metod

Metody pro beton:

- pevnost – tvrdoměrné metody, ultrazvuková impulzová zkouška, jádrové vývrty;
- modul pružnosti – ultrazvuková impulzová zkouška, rezonanční metoda, statické zkoušení na jádrových vývrtech;
- objemová hmotnost – radiometrická metoda;
- chemické vlastnosti, míra degradace – fenolftaleinový rozbor, chemický test;

Metody pro ocelovou výztuž:

- koroze výztuže – metoda elektromagnetických indikátorů, metoda akustické emise;
- množství a poloha výztuže – radiografická metoda, metoda elektromagnetických indikátorů, sekané sondy, georadar; [8]

Podrobnější popis vybraných zkušebních metod, které slouží pro zjištění vlastností ocelové výztuže je uveden v kapitole 4.2.

4.2 Vybrané diagnostické metody sloužící pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích

Stanovení polohy výztuže je důležitou součástí stavebně technických průzkumů železobetonových konstrukcí. Důvodů je hned několik, ať již při nutnosti minimalizovat riziko porušení či přerušení výztuže při vrtání, kdy je potřebné získat vzorky betonu jádrovými vývrty, nebo např. k možnosti statického přepočtu konstrukce. K dosažení cíle je v současnosti k dispozici hned několik metod, avšak každá z nich má své omezení i limity. [9]

4.2.1 Metoda destruktivní

Při této metodě dochází k odstranění krycí vrstvy betonu a tím i k vizuálnímu poškození konstrukce. Metoda vyžaduje jen minimální vybavení a má za cíl vizuálně vyhodnotit obnaženou výztuž. Avšak u složitěji vyztužených prvků dochází k velkému riziku při zpracování výsledků, protože výztuže uložené hlouběji nejsou vždy zjištěny. Tato metoda se používá pro velmi jednoduché případy vyztužování, a proto je pozornost zaměřena na efektivnější typy nedestruktivního zkoušení. [9]



Obr. 4.1: Příklad provedení sekané sondy v železobetonové konstrukci. (Archiv O. Antona)

4.2.2 Metoda elektromagnetických indikátorů

Pro získání očekávaných užitných vlastností železobetonových konstrukcí je nutno dodržet množství výztuže, druhy profilu, třídy oceli a rozmístění ocelových výztuží dle projektové dokumentace. Stejně tak u konstrukcí, u kterých se nezachovala projektová dokumentace, je nezbytné znát tyto parametry. Primární informaci o těchto vlastnostech poskytují elektromagnetické indikátory výztuže.

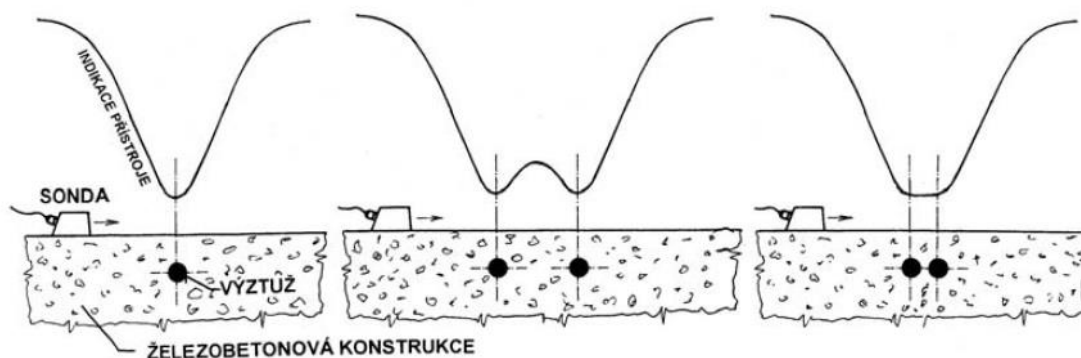
Všechny typy indikátorů kovů jsou založeny na elektromagnetickém principu. Tato metoda tedy využívá vířivé proudy nebo feromagnetický jev. Při přiblížení k prutům výztuže dochází ke změně charakteristik magnetického pole sondy. [10] [9]

Magnetické indikátory lze úspěšně použít pro:

- Stanovení, zda jde o beton prostý nebo vyztužený.
- Stanovení přesné polohy výztuže, tzn. zjištění přesného rozmístění výztužných vložek v železobetonovém prvku. V případě větší vrstvy překrytí výztuže betonem nejsou schopny některé přístroje rozeznat počet prutů.
- Stanovení průměru výztužné vložky. Novější přístroje v sobě mají zabudovanou průměrovou sondu, která umožňuje poměrně přesně zjistit průměr výztuže. Úspěšnost stoupá s klesajícím krytím a zvětšující se vzdáleností mezi jednotlivými pruty.
- Stanovení krytí výztužné vložky. Je-li znám průměr výztuže a její přesné rozmístění, je možné pomocí korekcí zjištěných při měření na modelu konstrukce určit krytí výztuže velmi přesně. V opačném případě jde pouze o odhad. [8]

Rychlost a jednoduchost kontroly polohy výztuže patří mezi přednosti elektromagnetických indikátorů. Tato metoda má však zásadní omezení v hloubkovém dosahu (60-220 mm dle druhu použité sondy a druhu přístroje). Dále v nemožnosti lokalizovat více vrstev výztuží nad sebou a při stanovení míry koroze či druhu výztuže (tvar žebírek). Problematické lokalizování je i v případě malých vzdáleností prutů výztuže (husté vyztužení). Tyto přístroje jsou tedy používány spíše jako podpůrné.

Přesnější určení polohy, krytí, množství, průměru a druhu ocelové výztuže poskytuje radiografická metoda (viz. kapitola 4.2.3). Další možností je odsekání krycí betonové vrstvy, kdy lze výztuž změřit přímo. [9] [8]



Obr. 4.2: Schematické znázornění magnetického indikátoru a jeho omezení vyplývající z malé vzdálenosti jednotlivých prutů výztuže. [11]

Vývoj nových přístrojů je velmi rychlý a v současné době je na trhu k dispozici celá řada magnetických indikátorů výztuže různých značek. Pro příklad jsou následovně uvedeny tři typy těchto přístrojů.

▪ **Profometer 2-5 (firma Proceq)**

Tento přístroj má mnohaletou tradici, v současné době je dodáván pod označením 5. Vyrábí se ve dvou modifikacích. V základním provedení pod označením **model S**, kde oproti předchozím typům lze jednou univerzální sondou stanovit lokalizaci prutů výztuže v konstrukci, výšku krytí betonem i skutečný průměr prutů. **Model SCANLOG** je identický s modelem S, ale obsahuje další vybavení, jako např. funkci „CyberScan“ k zobrazení výztužných prutů na displeji, funkci „Měření s rastrem“ pro zobrazení krytí betonem v odstínech šedi a měřič dráhy „ScanCar“ s integrovaným měřením dráhy pohybu sondy pro skenování. Přístroj disponuje pevnou pamětí a integrovaným softwarem pro tisk statistických hodnot a přenos na PC. [12]



Obr. 4.3: Magnetický indikátor výztuže Profometer 5. [12]

▪ **PS 200 Ferroskan (firma Hilti)**

PS 200 Ferroskan patří k současné špičce v tomto oboru. Tento přístroj slouží pro nedestruktivní vyhledávání prutů výztuže a měření hloubky krytí. Snadno použitelný bezdrátový systém vyhledávání, který se skládá ze skeneru, monitoru a softwaru, dokáže také určit průměr nalezené výztuže. Skener zajišťuje přesné a spolehlivé vyhledávání výztuže v železobetonových konstrukcích na základě principu indukce. Výsledky skenů

se zobrazují na přenosném monitoru v podobě přehledných 2D obrazů. Snímaná data se zaznamenávají a lze je přenést do počítače za účelem další analýzy nebo archivace. [1]



Obr. 4.4: Magnetický indikátor výztuže PS 200 Ferroskan. [1]

▪ DMF 10 Zoom (firma Bosch)



Tento velmi přesný kapesní přístroj nedetekuje pouze kovy a elektrické kabely, ale také dřevěné vnitřní příčkové konstrukce. Jako typický zástupce pro domácí kutilství disponuje i funkcí Zoom, která umožňuje mnohem přesnější určení polohy výztuže než srovnatelné detekční přístroje. Rozezná železné materiály ve stěnách až do hloubky deseti centimetrů. Měď detekuje do maximální hloubky osmi centimetrů. Obsluha přístroje je jednoduchá. Protože se přístroj sám automaticky kalibruje, nedochází k žádným chybám.

Tento indikátor však není určen pouze k vyhledávání míst, kde je lepší nevrtat. V režimu Dřevo lze zvýšit jeho citlivost a díky tomu nalézt i hlouběji položené vnitřní konstrukce, na které je třeba zavěsit například závěsné skříňky. [13]

Obr. 4.5: Detektor výztuže DMF 10 Zoom. [13]

4.2.3 Radiografie

Radiografie je součástí souboru metod, které tvoří oblast nedestruktivního zkoušení, nazývanou radiační defektoskopie. Tato metoda je současně jednou z nejstarších aplikací, která využívá ionizující záření. Obecně radiační defektoskopie využívá specifických vlastností ionizujícího záření, a to hlavně schopnost procházet hmotou v různé hustotě toku. [14]

Radiografická metoda se dnes běžně využívá ke zjištění množství, polohy, profilu a typu ocelové výztuže v železobetonu. Umožňuje zobrazení vnitřních nehomogenit v prvcích a materiálech bez porušení. Tento průzkum je vhodný především v silně vyztužených železobetonových konstrukcích, kde jsou pruty uloženy těsně vedle sebe, popř. ve více vrstvách nad sebou a v konstrukcích, v kterých je ocelová výztuž kryta tlustou vrstvou betonu.

Jak již bylo řečeno, tato metoda je založena na speciálních vlastnostech ionizujícího záření, které je při průchodu prostředím rozptylováno a absorbováno. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na objemové hmotnosti a tloušťce materiálu. U železobetonových konstrukcí je záření zeslabováno více ocelovou výztuží, nežli betonem.

Při průzkumu železobetonových konstrukcí je vhodné jako zdroj zvolit gamazářič s velkou energií, s velkým poločasem rozpadu a velkou aktivitou. Všechny tyto požadavky splňuje radioaktivní kobalt Co 60. Gamazářič se umísťuje do defektoskopického krytu (materiálem krytu je ochuzený uran). Gamazářiče jsou schopny prozářit železobetonové konstrukce až do tloušťky 500 mm. [9] [11]

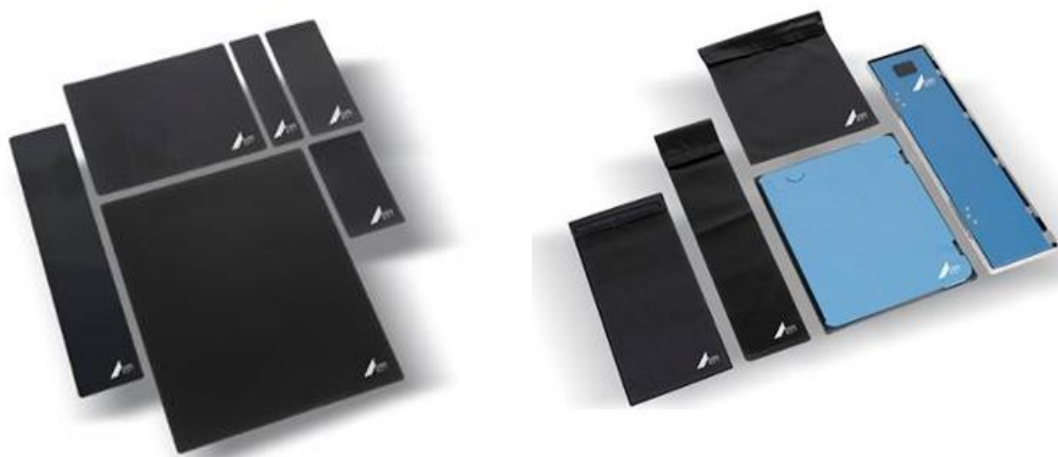


Obr. 4.6: Radiografický uranový kryt TECH/OPS. [8]

Záznam obrazu

Míra zeslabení se zaznamenává na radiografický film. Ten zobrazuje vnitřní strukturu sledovaného místa. V případě železobetonu se skladba výztuže projeví světlejšími stopami na vyvolaném filmu. Radiografické filmy, používané při kontrole stavebních konstrukcí, mají obvykle rozměry 300 × 400 mm. Filmy jsou umísťovány do plastových či kovových kazet.

Klasické radiografické filmy začíná v posledních letech nahrazovat zcela nový prostředek k záznamu výstupu radiografie, jsou to tzv. paměťové fólie. Tyto fólie fungují na bázi fosforu a stejně se jako radiografické filmy vkládají do kazet. I formát fólií je obdobný. Paměťové fólie mají poměrně velkou dynamiku záznamu (výhodné při prozařování materiálů o různých tloušťkách) a vysoké možnosti zesílení obrazu při zpracování. Jsou však výhradně používány v lékařské radiografii, dále potom ve strojírenské radiografii. [9] [14]



Obr. 4.7: Paměťové fólie a kazety používané při radiografii. [14]

Touto metodou tedy zjistíme kompletní stanovení polohy výztuže, druh a průměr hledané výztuže. Velkou výhodou gamazáříčů je jejich nezávislost na zdrojích energie a mobilnost při pracích v terénu. Má však i řadu omezení, která spočívají v časové náročnosti a složitosti metody. Z důvodu ochrany před zářením je také nutné zabezpečit místo prozařování (což je dáno škodlivostí ionizujícího záření pro lidský organismus) a tím je také určeno omezení dané maximální tloušťkou prozařovaného materiálu v závislosti na použitém zdroji záření a odpovídající přijatelné době expozice. [9] [14]

4.2.4 Georadar

Výše uvedené metody ukazují různé nedostatky či omezení, které je způsobeno komplikovaností při provádění nebo rizikem neúplných výsledků. Na to, stát se vhodným doplňkem, mezi elektromagnetickými indikátory a radiografií, od počátku aspirovaly georadary (GPR – Ground Penetrating Radar). [9]

GPR technologie se uplatňuje v širokém spektru činností jako například letectví, kosmonautika, glaciologie, kriminalistika, geologie a geotechnika, atd. Vnější součásti GPR se mohou lišit v závislosti na druhu využití. Základní struktura GPR zejména pro geotechnické měření je patrná z Obr. 4.8. V diagnostice konstrukcí je pojízdné zařízení nahrazeno soustavou os x, y, po které se přístroj pohybuje.



Obr. 4.8: Vnější struktura GPR.

(http://www.detector-scout.de/files/03_fotos_gross/10.1_ds_rd1000/01_ds_rd1000_gr.jpg)
(Upraveno.)

Metoda GPR, původně vyvinutá pro geologické aplikace, se díky technickému rozvoji a požadavkům trhu začíná stále více uplatňovat ve stavebnictví. Modifikovaná verze této metody je někdy označována jako Wall Penetrating Radar (WPR). Georadarová metoda využívá princip vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických impulzů do zkoumaného prostředí a registrace jejich odrazů v časovém okně. Měřicí zařízení, která se využívají pro diagnostiku konstrukcí, pracují v rozsahu frekvencí $10^8 - 10^9$ Hz. [14]

Šíření signálu prostředím je závislé především na jeho elektromagnetických vlastnostech (permitivita a vodivost).

Rychlost šíření prostředím v lze zjednodušeně stanovit dle vzorce:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r}}, \quad (4.1)$$

kde v je rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím, c je rychlost šíření vakuem ($c = 0,3 \text{ m/ns}$) a ϵ_r je relativní permitivita prostředí.

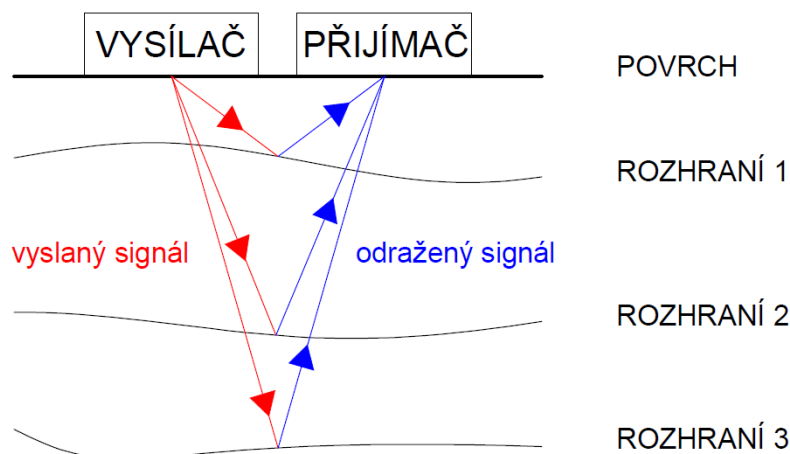
Útlum elektromagnetického signálu a [dB/m] a s tím související maximální hloubka průniku signálu H [m] jsou závislé na vodivosti prostředí s [S.m]. Pro nemagnetické materiály lze pro výpočet koeficientu útlumu a použít následující rovnici:

$$a = 1,64 \cdot \frac{s}{\sqrt{\epsilon_r}}. \quad (4.2)$$

Pro vysokofrekvenční elektromagnetické impulzy je vodivost a tím i hodnota koeficientu útlumu frekvenčně závislá. U vyšších frekvencí dochází k většímu útlumu, a díky tomu je hloubkový dosah měření menší.

Jedním ze základních faktorů, které ovlivňují koeficient útlumu elektromagnetického signálu, je obsah volné vody v prostředí (= jeho vlhkost). Obsah rozpuštěných iontů ve vodě ovlivňuje celkovou vodivost prostředí.

Na rozhraní dvou prostředí se skokovou změnou elektromagnetických vlastností dochází k odrazu části signálu. Intenzita odrazu závisí na koeficientu reflexivity R . Lze říci, že pokud je absolutní hodnota $R < 0,2$, je reflexivita na rozhraní nízká, pro $0,2 < R < 0,35$ je reflexivita střední a pro $0,35 < R < 1$ je reflexivita vysoká. [14]



Obr. 4.9: Schéma šíření elektromagnetického pulzu vysílaného vysílací anténou, odrážejícího se od jednotlivých rozhraní a registrovaného přijímací anténou radaru. [14] (Upraveno.)

Kromě koeficientu reflexivity závisí schopnost GPR metody na řadě dalších faktorů. Důležitou roli hraje velikost anomálie, a to hlavně v poměru k hloubce jejího uložení a k frekvenci měřicího zařízení. Platí pravidlo, že georadarem lze detekovat objekty větší než polovina vlnové délky. Pro výpočet vlnové délky lze použít vztah:

$$\lambda = \frac{v}{f}, \quad (4.3)$$

kde λ je vlnová délka, v je rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím a f je střední frekvence vysílaného signálu.

Zařízení pracující s anténami o vyšších frekvencích mají tedy větší rozlišovací schopnost. Citlivost měření je mimo jiné závislá na poměru mezi užitečným signálem a šumem, tedy např. na „odladění“ aparatury, intenzitě okolního rušení atd. [14]

Zatímco ve světě se použití georadaru bere jako standardně používaná diagnostická metoda, v České republice se metoda GPR nikdy nestala zcela plnohodnotnou a běžně používanou metodou v rámci stavebně technických průzkumů. [9]

5 HILTI PS 1000

Uvedením přístroje PS 1000 firmy Hilti na trh došlo k přelomu ve využívání georadaru při stavebně technických průzkumech. Celý přístroj (konstrukce zařízení i software) je přímo určen pro železobetonové konstrukce.



Obr. 5.1: HILTI PS 1000 – vyhodnocovací jednotka (vpravo), skener PS 1000 (vlevo). [1]

5.1 Obecné vlastnosti přístroje

Detektor Hilti PS 1000 dokáže vyhledat všechny druhy kovových předmětů (např. výztuž, předpínací táhla, měděné a hliníkové trubky) a nekovových předmětů (vzduchové dutiny, plasty, kabelovody, kabely ze skleněných vláken apod.) uložených v betonu. Dále je schopen vyhledat předměty ve více vrstvách. Možnost detekce vrstev a přesnost měření hloubky je však omezena několika faktory. Mezi ně patří vzájemný odstup vrstev mřížové výztuže, hustota betonu, velikost a hloubka uložených předmětů. [1]

Rozdíl od klasických georadarů spočívá v relativně malé sondě, která je určena k pohybu po povrchu konstrukce. Sonda je osazena trojicí antén sloužících pro dokonalé určení polohy výztuže i několika objektů ležících nad sebou. Tento přístroj umožňuje detekci objektů s následující přesností:

- Hloubka detekce do 300 mm;
- Přesnost lokalizace ± 10 mm;
- Přesnost určení hloubky ± 10 mm;

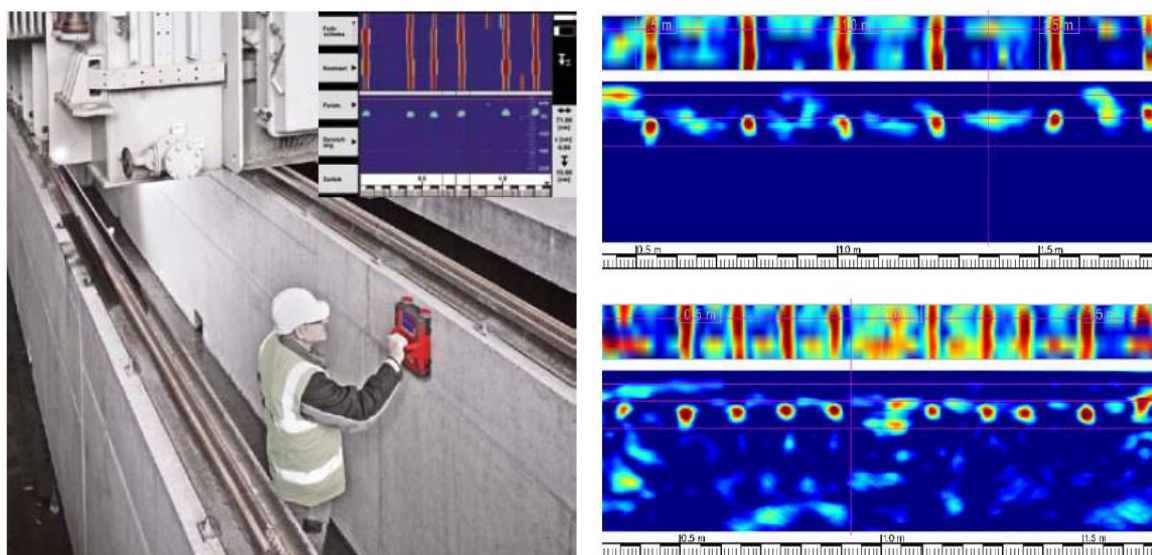
Sonda je připevněna na vozíku s kolečky a jeho pohybem je zaznamenáván a detekován pohyb sondy po povrchu konstrukce. Připojený software potom přímo vytváří v počítači nebo na dodaném monitoru vykreslení polohy zachycených objektů, a to buď jako 2D zobrazení (půdorys skenovaného místa + řezy ve dvou, na sebe kolmých rovinách), nebo přímo 3D zobrazení skladby zjištěných objektů ve skenované části konstrukce.

V praxi lze použít jednodušší liniový sken, který umožňuje pohyb jen v jednom směru. Druhou variantou je plošný sken, kdy sondou pohybujeme v předem stanoveném rastru na povrchu konstrukce, a to na ploše 600×600 mm nebo 1200×1200 mm. [9]

5.2 Režimy skenování

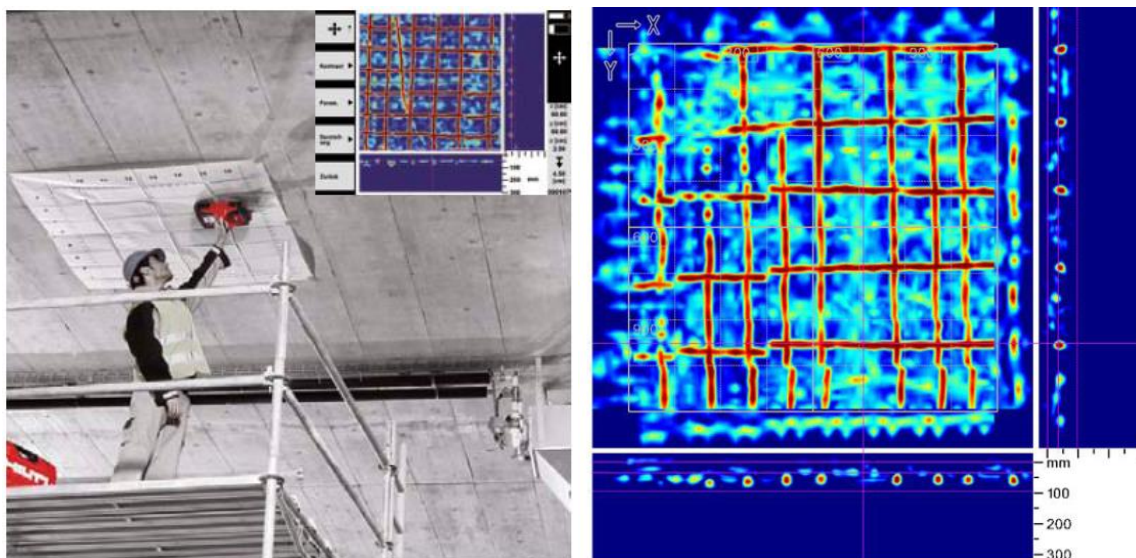
Přístroj umožňuje volbu více druhů režimu skenování. Režim **Quickscan** (rychlé skenování) využívá jednu osu v reálném čase a umožňuje detekci a přímé označení polohy předmětů uložených v podlaze, zdi nebo stropu. Jde tedy o rychlé skenování, které poskytuje pohled v řezu.

Pro záznam dlouhé řady skenů, které slouží pro pozdější analýzy a dokumentace, se využívá režim **Quickscan Recording** (rychlé skenování se záznamem). [1]



Obr. 5.2: Měření v režimu Quickscan (vlevo), příklady výsledných skenů v režimu Quickscan (vpravo).

Další možností je režim **Imagescan** (skenování s vykreslením kompletního obrazu), který se používá k rozboru určité části plochy podlahy, zdi nebo stropu. Tento režim dokáže zaznamenat podrobnější informace o uložených prvcích v půdorysu i průřezu. [1]



Obr. 5.3: Měření v režimu *Imagescan* (vlevo), příklad výsledného skenu v režimu *Imagescan* (vpravo).

5.3 Výhody a nevýhody použití přístroje Hilti PS 1000

Problém nastává při vyhledávání na drsném povrchu. Ten vytváří rušivé signály a tím snižuje výkon přístroje. V tomto případě je nutné položit na skenovaný povrch tenkou plastovou, polystyrenovou či dřevěnou desku. Zesílení vrstvy ale nesmí být opomenuto ve vyhodnocování výsledků.

Přístroj je určen k použití přímo na betonovém povrchu a jeho výkon je negativně ovlivněn každou přidanou vrstvou nad betonem, kovovou vrstvou nebo vzduchovými mezerami mezi vyšetřovanými vrstvami. Existuje tedy i možnost skenování přes omítky, izolační vrstvy apod., ale je třeba počítat s tím, že se jistým způsobem sníží vyhledávací schopnosti přístroje.

Mezi významné klady patří poměrně vysoký hloubkový dosah, přehledné zobrazení více objektů nad sebou a rychlé vyhodnocení. Základní nevýhodou georadaru je to, že při lokalizaci ocelové výztuže není přístroj schopný zaznamenat průměr této výztuže. Díky tomu jsme nuceni použít některou alternativní zkušební metodu. Při dalších měřeních bylo například zjištěno, že přístroj absolutně selhává v případě použití drátkobetonu. [9] [1]

6 PRAKTICKÁ ČÁST

6.1 Základní údaje

V rámci bakalářské práce byl georadar Hilti PS 1000 testován při stavebním průzkumu stěn silážního žlabu. Účel průzkumu vyplynul ze stavu železobetonové konstrukce silážních žlabů. Ve vnější (jihozápadní) stěně pravého silážního žlabu se během užívání objevily závažné poruchy ve formě trhlin a došlo k vyklonění větší části prefabrikátů směrem ven.

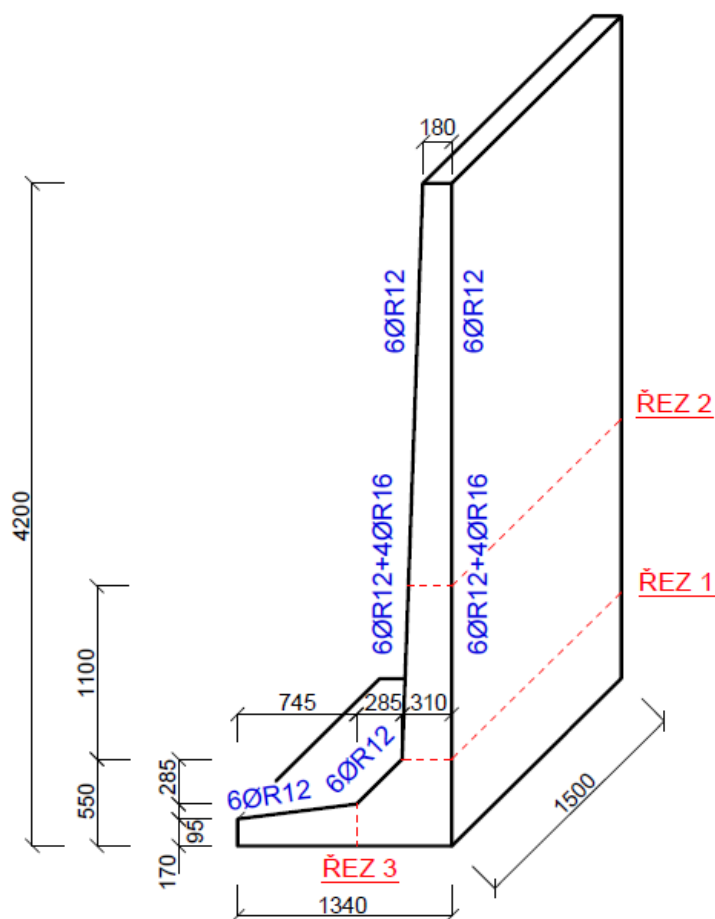
Zkoušená konstrukce silážních žlabů je složena z jednotlivých prefabrikovaných dílců o šířce 1500 mm a výšce 4200 mm. Tyto dílce mají v příčném řezu tvar písmene L a náběh v místě přechodu ze svislé části do vodorovné. Konstrukce byla postupně smontována a spodní část byla pokryta betonovou deskou, která je tvořena drátkobetonem (viz. Obr. 6.1).

Oba žlaby byly původně postaveny volně na úrovni terénu, teprve po objevení poruch byla vnější (severovýchodní) stěna levého žlabu přihrnuta zeminou. Poškozená pravá stěna zůstala i nadále z vnější strany volná.



Obr. 6.1: Pohled na levý silážní žlab (stěny tvořeny železobetonovými prefabrikáty ve tvaru písmene L, základ překrytý deskou z drátkobetonu).

Během provádění zkoušek byl k dispozici statický výpočet, ve kterém byly uvedeny rozměry konstrukce, nadimenzované vyztužení dílců a hodnoty výpočtových momentů v kritických průřezích 1, 2 a 3 (viz. Obr. 6.2).



Obr. 6.2: Schéma dílce s vyznačenými kritickými řezy.

Z Obr. 6.2 vyplývá následující vyztužení dílců v jednotlivých řezech:

- Kritický řez „1“ (svislá stěna ve výši 550 mm zdola)
 - 6 prutů ocelové výztuže o průměru 12 mm na šířku 1500 mm;
 - 4 pruty ocelové výztuže o průměru 16 mm na šířku 1500 mm;
- Kritický řez „2“ (svislá stěna ve výši 1650 mm zdola)
 - 6 prutů ocelové výztuže o průměru 12 mm na šířku 1500 mm;
 - 4 pruty ocelové výztuže o průměru 16 mm na šířku 1500 mm;
- Kritický řez „3“ (vodorovná část, 745 mm od konce prvku)
 - 6 prutů ocelové výztuže o průměru 12 mm na šířku 1500 mm;

Uvedené množství výztuže by mělo podle statického výpočtu zajistit stabilitu stěny pro dané zatížení a dostatečně přenést tahové napětí od ohybových momentů v jednotlivých kritických průřezech (řez „1“, řez „2“ a řez „3“). Ohybové momenty v nebezpečných průřezích byly stanoveny hodnotami:

- $M_u = 171,14 \text{ kNm}$ → kritický řez „1“;
- $M_u = 71,63 \text{ kNm}$ → kritický řez „2“;
- $M_u = 70,17 \text{ kNm}$ → kritický řez „3“;

Součástí statického posouzení však nebylo schéma působení zatížení ani schéma podepření prefabrikovaných dílců, které může mít zásadní vliv na chování konstrukce.

6.2 Účel průzkumu stavby

V důsledku nepříznivého stavu železobetonové konstrukce silážních žlabů byl proveden stavební průzkum. Během užívání konstrukce se objevily ve vnější (jihozápadní) stěně pravého silážního žlabu závažné poruchy. Došlo k vyklonění větší části prefabrikátů v délce více než 30 m směrem ven a následkem toho vznikly rozvinuté trhliny v místě porušení. Poškození stěny je zřejmé z Obr. 6.3 až 6.5.



Obr. 6.3: Porušená část jihozápadní stěny silážního žlabu v délce 30 m.



Obr. 6.4: Porušená krajní stěna při pohledu z vnitřní strany.



Obr. 6.5: Porušená krajní stěna při pohledu z vnější strany.

V místě největšího odklonu stěny byla provedena sonda k L prefabrikátu. Po následném odstranění části desky z drátkobetonu se objevila závažná porucha v podstavě L prefabrikátu, která se nachází v blízkosti kritického řezu „3“. Trhlina má nepravidelný tvar a je široká několik cm. Nepřehlédnutelné jsou i některé výztuže $\varnothing 12$ mm, které jsou přetrženy působením tahu (viz. Obr. 6.5). Rozteče výztuží odpovídají předpokladům projektu (cca 250 mm), žádná další výztuž nebyla při horním povrchu zaznamenána.

Výztuž byla objevena i na spodní straně podstavy prefabrikátu. Zde se kříží dva pruty, které však ze statického hlediska nehrají důležitou roli. Stykování horní a dolní výztuže bylo ověřeno sekanou sondou na konci podstavy (viz. Obr. 6.7).



Obr. 6.6: Přetržená výztuž Ø 12 mm v podstavě L prefabrikátu. K porušení došlo při překročení pevnosti v tahu výztuže.



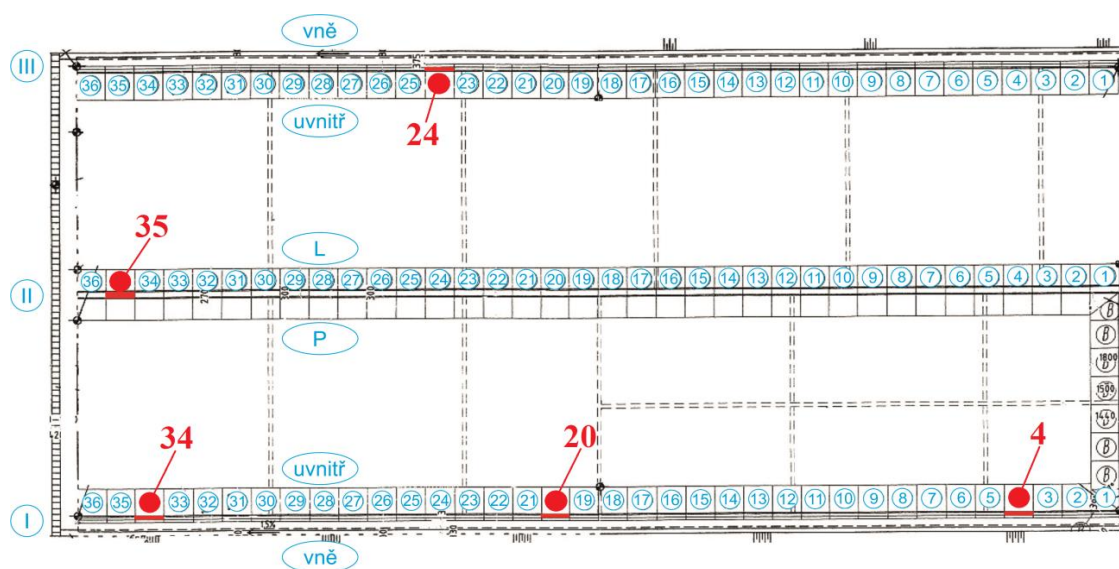
Obr. 6.7: Způsob stykování horní a dolní výztuže na konci podstavy. Pruty jsou bodově svařeny.

6.3 Rozmístění sond

Detailnímu průzkumu bylo podrobena celkem pět prvků. V jihozápadní (poškozené) stěně byly vybrány tři prvky, ve středové a v severovýchodní stěně vždy po jednom prvku. Konkrétně byly zkoumány tyto prvky:

- jihovýchodní stěna žlabů – prvky č. 4, 20 a 34;
- střední stěna žlabů – prvek č. 35;
- severozápadní stěna žlabů – prvek č. 24;

Poloha zkoumaných prvků je červeně vyznačena v Obr. 6.8.



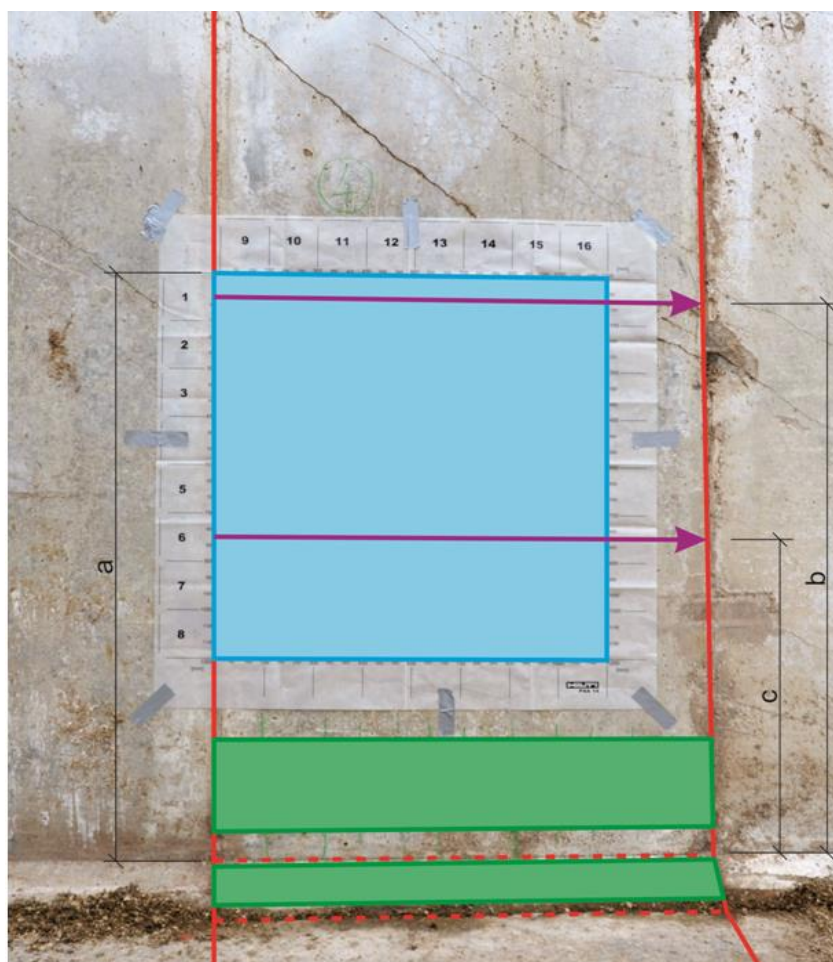
Obr. 6.8: Půdorysné schéma silážních žlabů s vyznačenou polohou zkoumaných prvků.

6.4 Rozsah průzkumu

U pěti vybraných panelů stěn silážních žlabů byla v rámci průzkumu určena poloha výztuže v přístupných místech, a to u vnitřní a vnější strany prvku. Za použití přístrojů Hilti PS 1000 a Proceq Profometr 3 byla v každém prvku stanovena poloha výztuže.

Na všech pěti prvcích z vnější i z vnitřní strany byl proveden radarový sken na ploše 1200 x 1200 mm (v Obr. 6.9 značen modrou barvou). Poloha levého horního rohu skenu je umístěna na levý okraj prvku (pohled zepředu). Výška tohoto bodu nad hranou zešíkmené části paty prvku je označena písmenem **a**. Radarem byly také provedeny dva horizontální liniové skeny přes celou šířku prvku (v Obr. 6.9 značeny fialovou barvou). Písmena **b** a **c** označují výšky linií skenů nad hranou zešíkmené části paty prvku.

Dále byla použita metoda elektromagnetického indikátoru výztuže na vnitřní části obvodových prvků a na obou stranách vnitřního prvku. Touto metodou byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku, jedna ve svislé části a druhá v zešíkmené části (v Obr. 6.9 značeny zelenou barvou).



Obr. 6.9: Schematické znázornění polohy měřených míst. Spáry mezi prvky jsou zvýrazněny červenou plnou čarou.

6.5 Použité metody

Při stavebním průzkumu pro stanovení vyztužení byly použity tyto metody:

- Metoda magnetických indikátorů – v zastoupení přístroje Proceq Profometer 3;
(podrobněji viz. kapitola 4.2.2)
- Metoda georadaru – v zastoupení přístroje Hilti PS 1000 X-scan;
(podrobněji viz. kapitola 5)
- Sekaná sonda – tato destruktivní metoda byla použita pouze v patě poškozeného prvku č. 21 za použití vrtacího kladiva firmy Hilti. Sekaná sonda měla zjistit vyztužení ve vodorovné části prvku, který byl rozlomen a byl jako jediný přístupný.

6.6 Výsledky průzkumu – stanovení vyztužení silážních žlabů

6.6.1 Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 4 v jihozápadní obvodové stěně

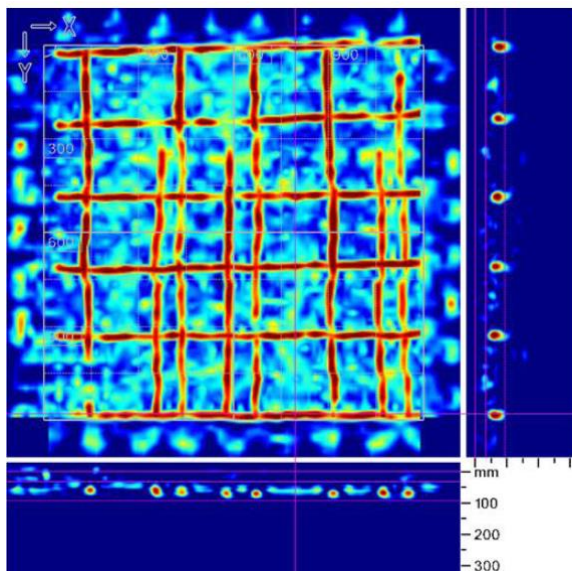
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.1). Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže Proceq Profometer 3 byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku (viz Obr. 6.9 – vyznačeny zeleně).



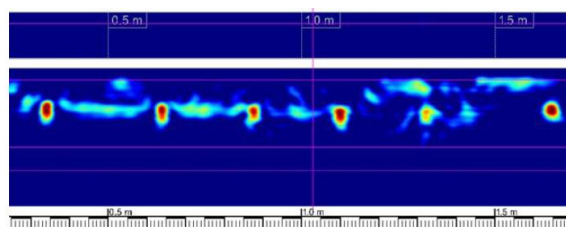
Obr. 6.10: Panel č. 4 v jihozápadní stěně silážních žlabů z vnitřní strany, s připevněným rastrem pro radarové plošné měření.

Tab. 6.1: Výškové umístění skenů na prvku č. 4 – vnitřní strana prvku:

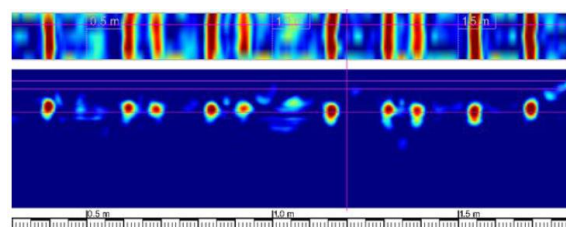
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1825
b (liniový sken)	1750
c (liniový sken)	1000
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.11: Plošný radarový sken panelu č. 4 v jihozápadní stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.12: Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce **b** (vnitřní strana).



Obr. 6.13: Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce **c** (vnitřní strana).



Obr. 6.14: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 4.

Zjištěno:

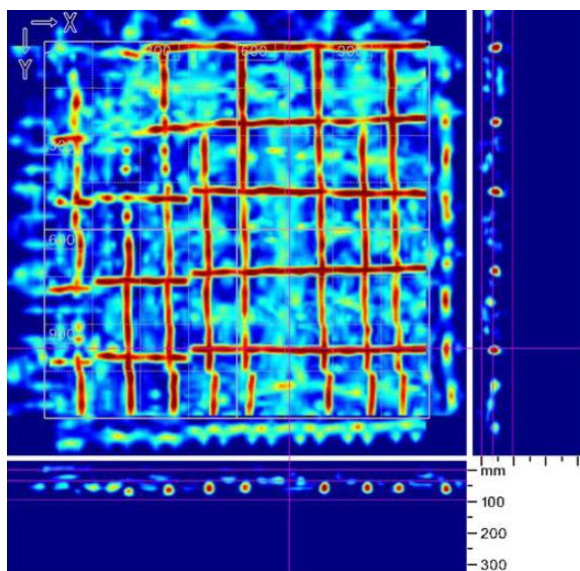
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnitřního líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1495 mm nad hranou zešikmené části prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.
- Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm, 4 pruty výztuže Ø 16 mm se neohýbají (zvýrazněno červenou barvou v Obr. 6.14).

6.6.2 Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 4 v jihozápadní obvodové stěně

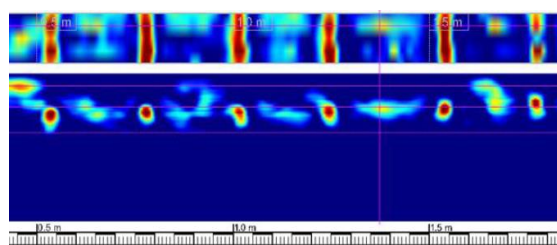
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.2).

Tab. 6.2: Výškové umístění skenů na prvku č. 4 – vnější strana prvku:

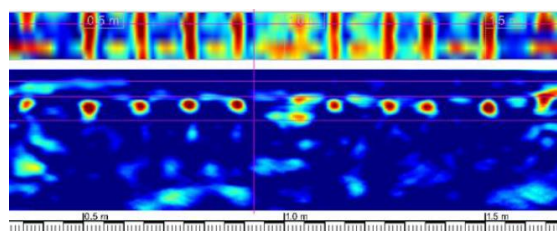
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1910
b (liniový sken)	1835
c (liniový sken)	1085
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.15: Plošný radarový sken panelu č. 4 v jihozápadní stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.16: Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce **b** (vnější strana).



Obr. 6.17: Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce **c** (vnější strana).

Zjištěno:

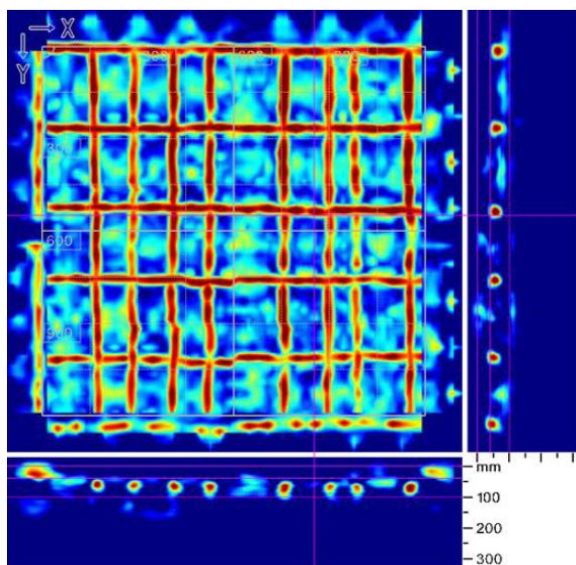
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnějšího líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1610 mm nad úrovní terénu v patě prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.

6.6.3 Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 20 v jihozápadní obvodové stěně

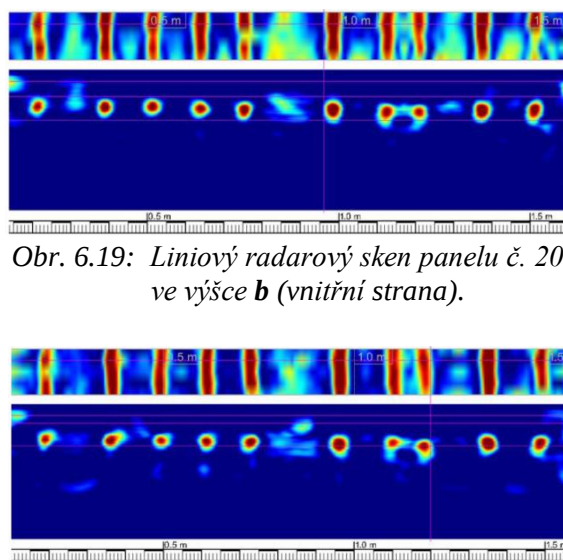
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.3). Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže Proceq Profometer 3 byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku (viz Obr. 6.9 – vyznačeny zeleně).

Tab. 6.3: Výškové umístění skenů na prvku č. 20 – vnitřní strana prvku:

ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1360
b (liniový sken)	1360
c (liniový sken)	1260
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.18: Plošný radarový sken panelu č. 20 v jihozápadní stěně ve výšce a.



Obr. 6.19: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce b (vnitřní strana).

Obr. 6.20: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce c (vnitřní strana).

Zjištěno:

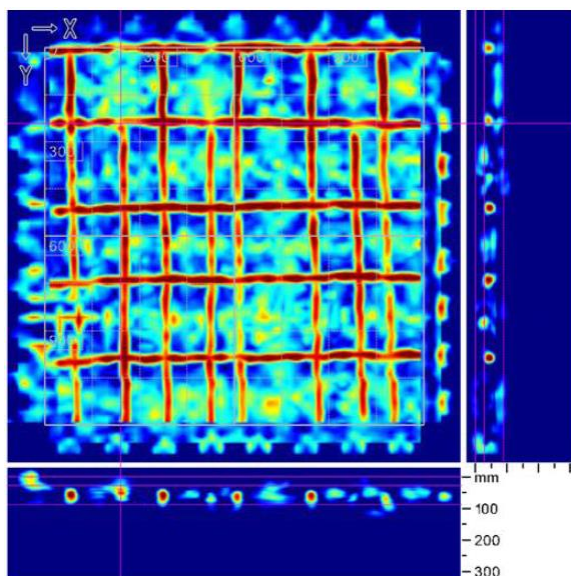
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnitřního líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.
- Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm.

6.6.4 Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 20 v jihozápadní obvodové stěně

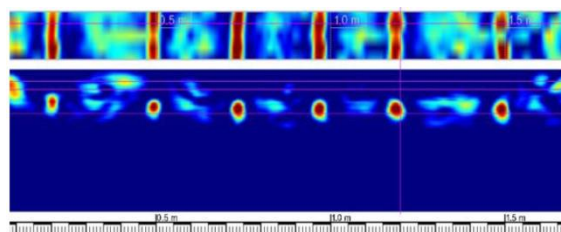
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.4).

Tab. 6.4: Výškové umístění skenů na prvku č. 20 – vnější strana prvku:

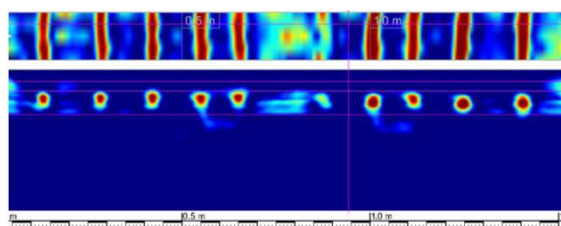
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1900
b (liniový sken)	2050
c (liniový sken)	150
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.21: Plošný radarový sken panelu č. 20 v jihozápadní stěně ve výšce a.



Obr. 6.22: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce b (vnější strana).



Obr. 6.23: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce c (vnější strana).

Zjištěno:

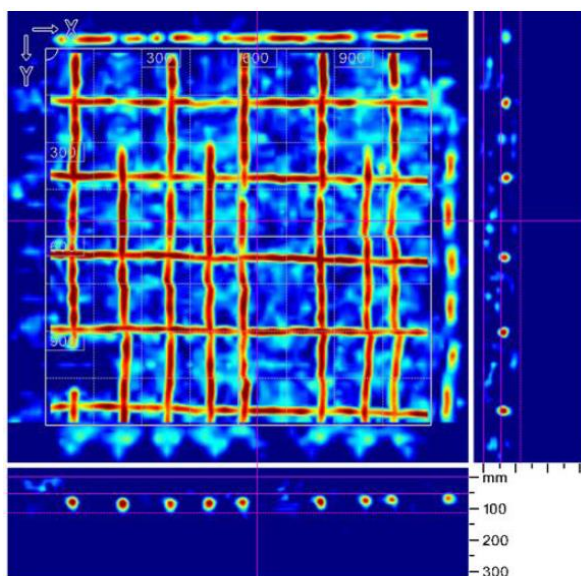
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnějšího líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1660 mm nad úrovní terénu v patě prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.

6.6.5 Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 34 v jihozápadní obvodové stěně

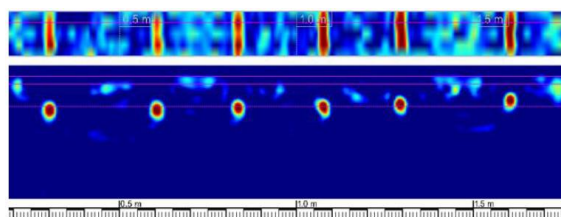
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.5). Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže Proceq Profometer 3 byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku (viz Obr. 6.9 – vyznačeny zeleně).

Tab. 6.5: Výškové umístění skenů na prvku č. 34 – vnitřní strana prvku:

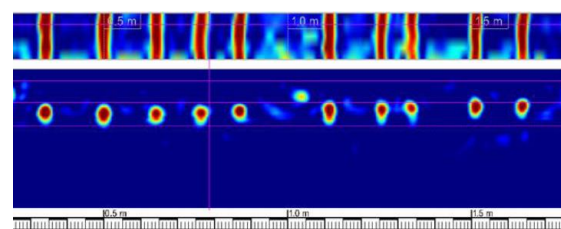
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1770
b (liniový sken)	1695
c (liniový sken)	945
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.24: Plošný radarový sken panelu č. 34 v jihozápadní stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.25: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce **b** (vnitřní strana).



Obr. 6.26: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce **c** (vnitřní strana).



Obr. 6.27: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 34.

Zjištěno:

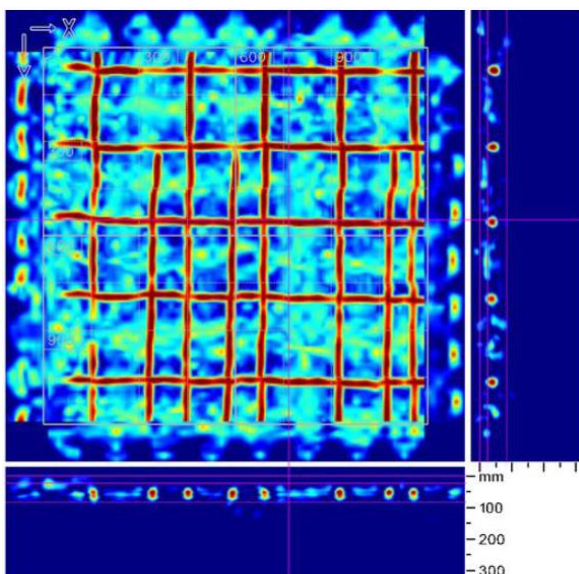
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnitřního líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1470 mm nad hranou zešíkmené části prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.
- Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm, 4 pruty výztuže Ø 16 mm se neohýbají (zvýrazněno červenou barvou v Obr. 6.27).

6.6.6 Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 34 v jihozápadní obvodové stěně

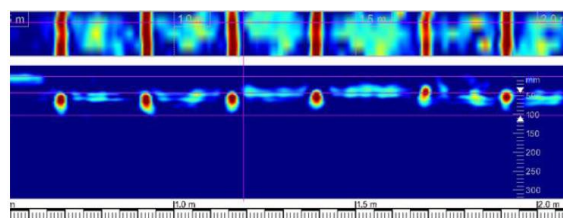
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.6).

Tab. 6.6: Výškové umístění skenů na prvku č. 34 – vnější strana prvku:

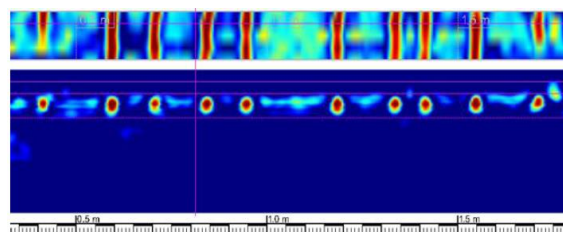
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1950
b (liniový sken)	1875
c (liniový sken)	1125
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.28: Plošný radarový sken panelu č. 34 v jihozápadní stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.29: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce **b** (vnější strana).



Obr. 6.30: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce **c** (vnější strana).

Zjištěno:

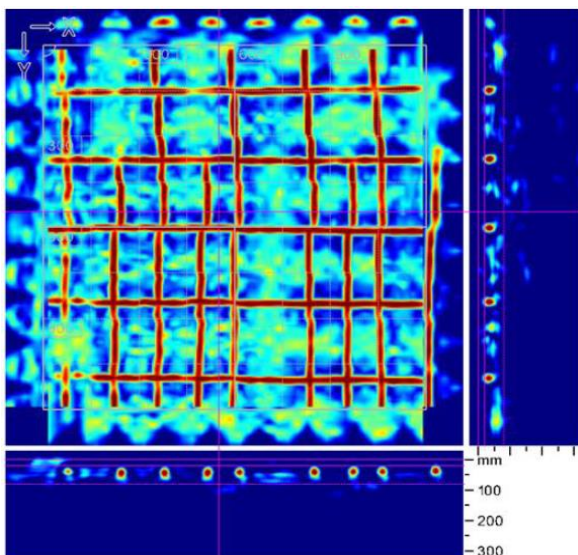
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnějšího líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1635 mm nad úroveň terénu v patě prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 245 mm.

6.6.7 Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 35 ve střední stěně z jihozápadní strany

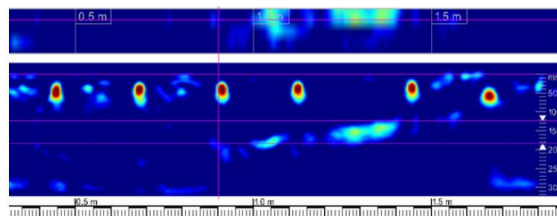
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.7). Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže Proceq Profometer 3 byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku (viz Obr. 6.9 – vyznačeny zeleně).

Tab. 6.7: Výškové umístění skenů na prvku č. 35 – vnitřní (jihozápadní) strana prvku:

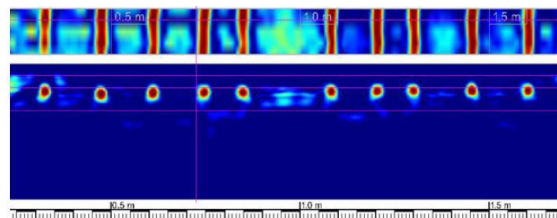
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1730
b (liniový sken)	1655
c (liniový sken)	905
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.31: Plošný radarový sken panelu č. 35 ve střední stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.32: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce **b** (jihozápadní strana).



Obr. 6.33: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce **c** (jihozápadní strana).



Obr. 6.34: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 35.

Zjištěno:

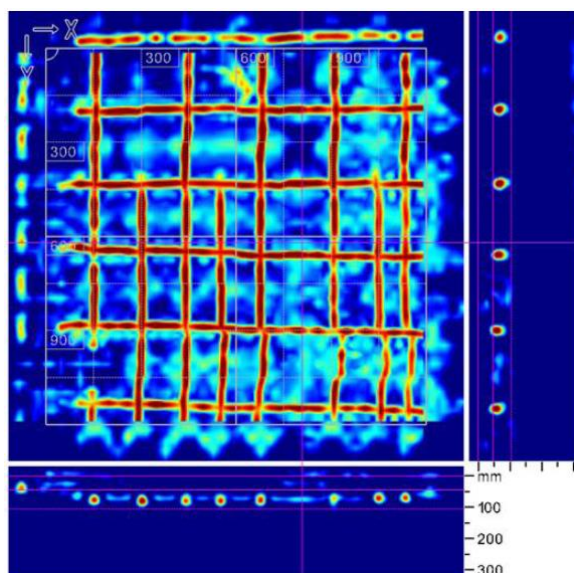
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u jihozápadního líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 50 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1370 mm nad hranou zešíkmené části prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.
- Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm, 4 pruty výztuže Ø 16 mm se neohýbají (zvýrazněno červenou barvou v Obr. 6.34).

6.6.8 Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 35 ve střední stěně ze severovýchodní strany

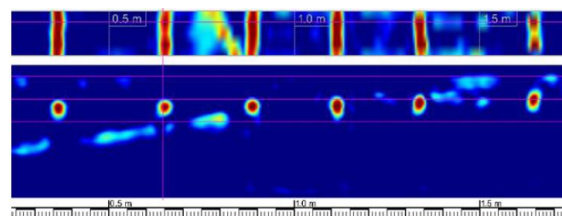
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.8). Pomocí elektromagnetického indikátoru vyztuže Proceq Profometer 3 byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku (viz Obr. 6.9 – vyznačeny zeleně).

Tab. 6.8: Výškové umístění skenů na prvku č. 35 – vnitřní (severovýchodní) strana prvku:

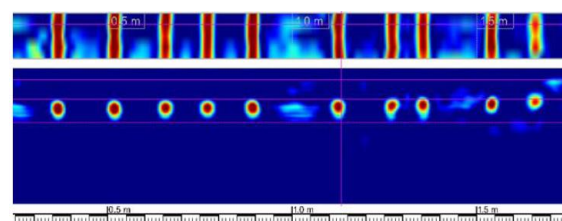
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1760
b (liniový sken)	1685
c (liniový sken)	935
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.35: Plošný radarový sken panelu č. 35 ve střední stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.36: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce **b** (severovýchodní strana).



Obr. 6.37: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce **c** (severovýchodní strana).



Obr. 6.38: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 35.

Zjištěno:

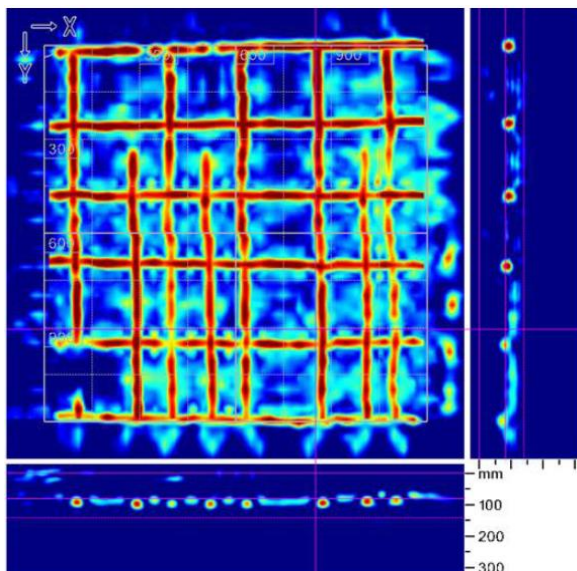
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u severovýchodního líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 60 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1350 mm nad hranou zešíkmené části prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.
- Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm, 4 pruty výztuže Ø 16 mm se neohýbají (zvýrazněno červenou barvou v Obr. 6.38).

6.6.9 Stanovení vyztužení vnitřní strany panelu č. 24 v severovýchodní obvodové stěně

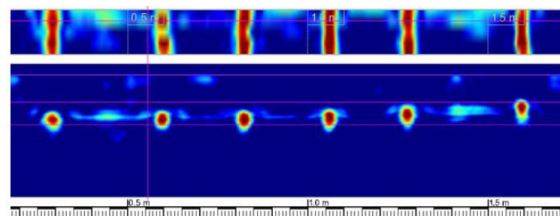
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.9). Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže Proceq Profometer 3 byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku (viz Obr. 6.9 – vyznačeny zeleně).

Tab. 6.9: Výškové umístění skenů na prvku č. 24 – vnitřní strana prvku:

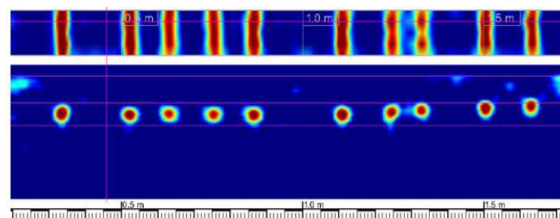
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	1770
b (liniový sken)	1695
c (liniový sken)	945
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.39: Plošný radarový sken panelu č. 24 v severovýchodní stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.40: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce **b** (vnitřní strana).



Obr. 6.41: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce **c** (vnitřní strana).



Obr. 6.42: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 24.

Zjištěno:

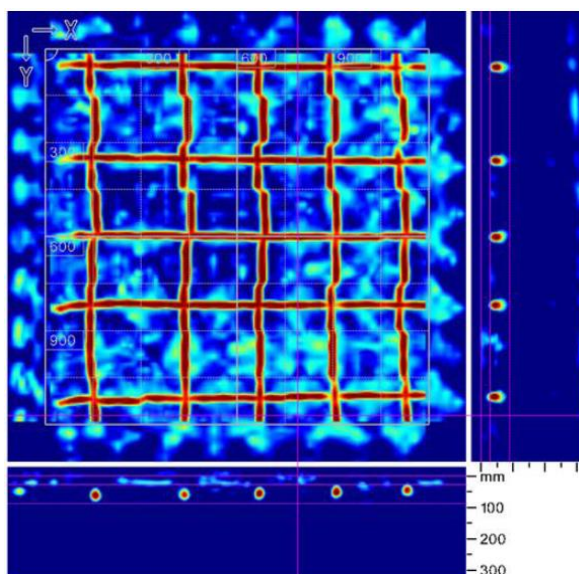
- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnitřního líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 80 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1435 mm nad hranou zešíkmené části prvku.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 240 mm.
- Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm, 4 pruty výztuže Ø 16 mm se neohýbají (zvýrazněno červenou barvou v Obr. 6.42).

6.6.10 Stanovení vyztužení vnější strany panelu č. 24 v severovýchodní obvodové stěně

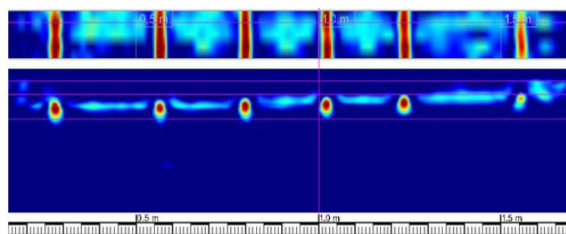
Byl proveden radarový sken v ploše 1200 x 1200 mm a dále dva liniové horizontální skeny přes celou šířku prvku za pomoci přístroje Hilti PS 1000 (výškové umístění skenů viz. Tab. 6.10).

Tab. 6.10: Výškové umístění skenů na prvku č. 24 – vnější strana prvku:

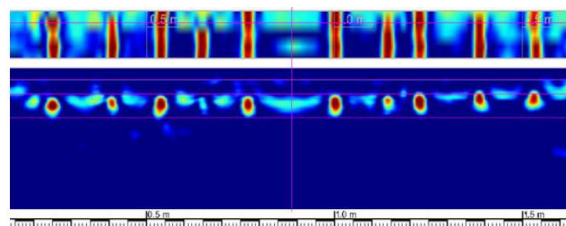
ROZMĚR (viz. Obr. č. 6.9)	VÝŠKA SKENU ⁽¹⁾ [mm]
a (plošný sken)	3000
b (liniový sken)	2925
c (liniový sken)	1440
⁽¹⁾ U plošného skenu značí výšku horního okraje skenovaného pole nad terénem, u liniových skenů značí výšku osy skenu nad terénem.	



Obr. 6.43: Plošný radarový sken panelu č. 24 v severovýchodní stěně ve výšce **a**.



Obr. 6.44: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce **b** (vnější strana).



Obr. 6.45: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce **c** (vnější strana).

Zjištěno:

- Kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, která se nachází u vnějšího líce svislé části panelu. Průměrné krytí výztuže je cca 40 mm. Dle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde patrně o 6 prutů výztuže o průměru 12 mm a 4 pruty výztuže s průměrem 16 mm.
- Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1450 mm nad úroveň původního terénu v patě prvku. Terén je dnes v tomto místě navýšen násypem.
- Vodorovná výztuž je rozmístěna pravidelně po cca 260 mm.

7 ZÁVĚR

V první části bakalářské práce byly rozvedeny teoretické poznatky týkající se rozdělení diagnostických metod užívaných ve stavebním zkušebnictví s bližším zaměřením na metody používané k detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích.

Pro praktickou část byl pak proveden stavební průzkum stěn silážního žlabu. V rámci tohoto průzkumu byla u pěti vybraných panelů stěn určena poloha výztuže v přístupných místech u vnitřní i vnější strany prvku. Na základě výsledků lze konstatovat, že vyztužení odpovídá předložené dokumentaci a že příčinu závažných poruch v konstrukci musí tedy stanovit statický posudek. Měření bylo provedeno za použití moderního přístroje Hilti PS 1000 X-scan pracujícího na bázi georadaru.

Georadar umožňuje zobrazit prostorové rozvržení skrytého prvku, jeho přibližnou hloubku od povrchu a geometrii, nikoliv však druh výztuže a její průměr (pro tyto informace je třeba měření doplnit o např. sekanou sondu). Nespornou výhodou tohoto zařízení je vysoký hloubkový dosah měření a možnost okamžitého vyhodnocení na displeji. Naopak velkou nevýhodou je finanční náročnost vstupní investice, která je však odůvodnitelná vzhledem k všestrannému využití.

Na základě teoretických poznatků a výsledků z uskutečněných měření lze říci, že využití georadaru k diagnostice železobetonových konstrukcí je vhodnou alternativou konvenčních metod, jako je radiografie či metoda elektromagnetických indikátorů. Ze zkušeností, které jsem díky této práci získala, považuji georadar za vyhovující variantu pro zjištění polohy výztuže v železobetonových konstrukcích, a to především pro jeho rychlost při měření i při samotném vyhodnocení výsledků a dále pro jeho přesnost.

8 ZDROJE

- [1] Pohled pod povrch. *Hilti: Splní nejvyšší nároky* [online]. 2009 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/laserov%C3%A1-technika/syst%C3%A9my-detekce/sc-CLS_DETECTION_SYSTEMS
- [2] ŠTAINBRUCH, Jakub, Ondřej ANTON a Tomáš KORDINA. Rozvoj a použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí. *Beton: Technologie, konstrukce, sanace*. Praha: Česka betonářská společnost, 2011, roč. 11, č. 3. ISSN 1213-3116. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/casopis/2011-3/66.pdf>
- [3] KOLÁŘ, Karel a Pavel REITERMAN. *Betonujeme svépomocí* [online kniha]. První vydání. Havlíčkův Brod: Grada Publishing, a.s., 2012, s. 7-9 [cit. 2014-02-01]. ISBN 978-80-247-7473-2. Dostupné z: <http://www.kosmas.cz/knihy/180633/betonujeme-svepomoci/ukazka/9166/betonujeme-svepomociauto-preview.pdf>
- [4] KLEČKA, Tomáš. ČESKOMORAVSKÝ BETON, a. s. *Beton: Příručka technologa: suroviny-výroba-vlastnosti* [online kniha]. 1. vydání. Beroun, 2013 [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/3C0A2CE4-C25E-472C-9690-570271F4E311/0/Prirucka_technologa_BETON.pdf
- [5] Co je to beton: Železobeton - Železový beton. *SUNNYSOFT S.R.O. EBETON.: Interaktivní průvodce* [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: <http://www.ebeton.cz/pojmy/zelezobeton-zelezovy-beton>
- [6] Železobeton. *Wikipedie: Otevřená encyklopedie* [online]. 17.10.2013 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C5%BDelezobeton>
- [7] BILČÍK, Juraj. Diagnostika betonových konstrukcí. *ASB-portal.cz: odborný stavební portál* [online]. 7.2.2008 [cit. 2014-01-30]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/diagnostika-betonovych-konstrukci>
- [8] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí: Přednášky*. Brno: FAST VUT v Brně, Brno, 2005.
- [9] ANTON, Ondřej, Petr CIKRLE a Věra HEŘMÁNKOVÁ. Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech. *TZB-info* [online]. 27.1.2014. [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technickych-pruzkumech>

- [10] ANTON, Ondřej. *Základy zkušebnictví: návody do cvičení*. Brno: CERM, 2002, 61 s. ISBN 80-214-2079-0.
- [11] ANTON, Ondřej a kolektiv. *Zkušebnictví a technologie: Modul BI02-M04, Laboratorní cvičení*. Vydání elektronických opor, Brno, VUT FAST v Brně. Rok vydání neuveden. ISBN neudáno.
- [12] Rebar detection system: Profometer 5. *Proceq* [online]. 2014 [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://www.proceq.com/non-destructive-test-equipment/concrete-testing/cover-meter-rebar-detector/profometer-5.html>
- [13] Elektrické nářadí. *Bosch: Stvořeno pro život* [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=413
- [14] ANTON, Ondřej. *Vývoj a upřesnění radiografických metod ve stavebnictví*. Brno, 2009. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Leonard Hobst, CSc.
- [15] Citace.com: ...citovat je snadné [online]. 2004 [cit. 2014-01-29]. Dostupné z: <http://www.citace.com>

9 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

OBRÁZKY:

Obr. 2.1:	Druh zdiva tzv. emplekton	13
Obr. 2.2:	Srovnání působení betonového prvku: a) schéma zatížení, b) prvek z prostého betonu, c) prvek z železobetonu	14
Obr. 4.1:	Příklad provedení sekané sondy v železobetonové konstrukci	21
Obr. 4.2:	Schematické znázornění magnetického indikátoru a jeho omezení vyplývající z malé vzdálenosti jednotlivých prutů výztuže	22
Obr. 4.3:	Magnetický indikátor výztuže Profometer 5	23
Obr. 4.4:	Magnetický indikátor výztuže PS 200 Ferrosan	24
Obr. 4.5:	Detektor výztuže DMF 10 Zoom	24
Obr. 4.6:	Radiografický uranový kryt TECH/OPS	25
Obr. 4.7:	Paměťové fólie a kazety používané při radiografii	26
Obr. 4.8:	Vnější struktura GPR	27
Obr. 4.9:	Schéma šíření elmg. pulzu vysílaného vysílací anténou, odrážejícího se od jednotlivých rozhraní a registrovaného přijímací anténou radaru	28
Obr. 5.1:	HILTI PS 1000 – vyhodnocovací jednotka (vpravo), skener PS 1000 (vlevo)	30
Obr. 5.2:	Měření v režimu Quickscan (vlevo), příklady výsledných skenů v režimu Quickscan (vpravo)	31
Obr. 5.3:	Měření v režimu Imagescan (vlevo), příklad výsledného skenu v režimu Imagescan (vpravo)	32
Obr. 6.1:	Pohled na levý silážní žlab (stěny tvořeny železobetonovými prefabrikáty ve tvaru písmene L, základ překrytý deskou z drátkobetonu)	33
Obr. 6.2:	Schéma dílce s vyznačenými kritickými řezy	34
Obr. 6.3:	Porušená část jihozápadní stěny silážního žlabu v délce 30 m	35
Obr. 6.4:	Porušená krajní stěna při pohledu z vnější strany	36
Obr. 6.5:	Porušená krajní stěna při pohledu z vnitřní strany	36
Obr. 6.6:	Přetržená výztuž Ø 12 mm v podstavě L prefabrikátu	37
Obr. 6.7:	Způsob stykování horní a dolní výztuže na konci podstavu	37
Obr. 6.8:	Půdorysné schéma žlabů s vyznačenou polohou zkoumaných prvků	37
Obr. 6.9:	Schematické znázornění polohy měřených míst	38
Obr. 6.10:	Panel č. 4 v jihozápadní stěně silážních žlabů z vnitřní strany, s připevněným rastrem pro radarové plošné měření	39
Obr. 6.11:	Plošný radarový sken panelu č. 4 v jihozápadní stěně ve výšce a	40
Obr. 6.12:	Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce b (vnitřní strana)	40
Obr. 6.13:	Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce c (vnitřní strana)	40

Obr. 6.14: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 4	40
Obr. 6.15: Plošný radarový sken panelu č. 4 v jihozápadní stěně ve výšce a	41
Obr. 6.16: Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce b (vnější strana)	41
Obr. 6.17: Liniový radarový sken panelu č. 4 ve výšce c (vnější strana)	41
Obr. 6.18: Plošný radarový sken panelu č. 20 v jihozápadní stěně ve výšce a	42
Obr. 6.19: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce b (vnitřní strana)	42
Obr. 6.20: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce c (vnitřní strana)	42
Obr. 6.21: Plošný radarový sken panelu č. 20 v jihozápadní stěně ve výšce a	43
Obr. 6.22: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce b (vnější strana)	43
Obr. 6.23: Liniový radarový sken panelu č. 20 ve výšce c (vnější strana)	43
Obr. 6.24: Plošný radarový sken panelu č. 34 v jihozápadní stěně ve výšce a	44
Obr. 6.25: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce b (vnitřní strana)	44
Obr. 6.26: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce c (vnitřní strana)	44
Obr. 6.27: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 34	45
Obr. 6.28: Plošný radarový sken panelu č. 34 v jihozápadní stěně ve výšce a	46
Obr. 6.29: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce b (vnější strana)	46
Obr. 6.30: Liniový radarový sken panelu č. 34 ve výšce c (vnější strana)	46
Obr. 6.31: Plošný radarový sken panelu č. 35 ve střední stěně ve výšce a	47
Obr. 6.32: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce b (jihozápadní strana)	47
Obr. 6.33: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce c (jihozápadní strana)	47
Obr. 6.34: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 35	47
Obr. 6.35: Plošný radarový sken panelu č. 35 ve střední stěně ve výšce a	48
Obr. 6.36: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce b (severovýchodní strana)	48
Obr. 6.37: Liniový radarový sken panelu č. 35 ve výšce c (severovýchodní strana)	48
Obr. 6.38: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 35	49
Obr. 6.39: Plošný radarový sken panelu č. 24 v severovýchodní stěně ve výšce a	50
Obr. 6.40: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce b (vnitřní strana)	50
Obr. 6.41: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce c (vnitřní strana)	50
Obr. 6.42: Detail polohy výztuže zjištěné elektromagnetickým indikátorem výztuže v panelu č. 24	50
Obr. 6.43: Plošný radarový sken panelu č. 24 v severovýchodní stěně ve výšce a	51
Obr. 6.44: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce b (vnější strana)	51
Obr. 6.45: Liniový radarový sken panelu č. 24 ve výšce c (vnější strana)	51

TABULKY:

Tab. 6.1:	Výškové umístění skenů na prvku č. 4 – vnitřní strana prvku	40
Tab. 6.2:	Výškové umístění skenů na prvku č. 4 – vnější strana prvku	41
Tab. 6.3:	Výškové umístění skenů na prvku č. 20 – vnitřní strana prvku	42
Tab. 6.4:	Výškové umístění skenů na prvku č. 20 – vnější strana prvku	43
Tab. 6.5:	Výškové umístění skenů na prvku č. 34 – vnitřní strana prvku	44
Tab. 6.6:	Výškové umístění skenů na prvku č. 34 – vnější strana prvku	45
Tab. 6.7:	Výškové umístění skenů na prvku č. 35 – vnitřní (jihozápadní) strana prvku	46
Tab. 6.8:	Výškové umístění skenů na prvku č. 35 – vnitřní (severovýchodní) strana prvku	48
Tab. 6.9:	Výškové umístění skenů na prvku č. 24 – vnitřní strana prvku	50
Tab. 6.10:	Výškové umístění skenů na prvku č. 24 – vnější strana prvku	51