



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

**VYBRANÉ ASPEKTY DIAGNOSTIKY OCELOVÉ
VÝZTUŽE V ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍCH
A KONSTRUKCÍCH Z PŘEDPJATÉHO BETONU**

SELECTED ASPECTS OF DIAGNOSTICS OF STEEL REINFORCEMENT IN REINFORCED
CONCRETE AND PRESTRESSED CONCRETE STRUCTURES

HABILITAČNÍ PRÁCE

HABILITATION THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.

BRNO 2021

Abstrakt

Cílem práce byl rozbor řady aspektů současné situace ve specifické oblasti diagnostiky železobetonových konstrukcí a konstrukcí z předpjatého betonu, tedy v oblasti stanovení vyztužení konstrukcí. Dnešní doba je charakterizována zvýšenou četností požadavků na hodnocení stávajících konstrukcí, součástí tohoto procesu je následně diagnostika konstrukcí a stavebně technické průzkumy. Ty jsou prováděny u konstrukcí různého provedení i stáří, z různých důvodů, počínaje snahou o prodloužení životnosti a změnami účelu využívání u starých konstrukcí, až po vysvětlení poruch či odhalení vad u konstrukcí zcela nových.

Ruku v ruce s navýšením těchto požadavků naštěstí, po letech stagnace, přichází období dynamického rozvoje technologií a přístrojového vybavení zejména v oblasti nedestruktivních diagnostických metod. I v oblasti diagnostiky vyztuže dnes disponujeme jak novými generacemi přístrojů v oblasti tradičních metod, jakými je například metoda elektromagnetických indikátorů vyztuže, kde rozdíl mezi poslední a minulou generací přístrojů je doslova propastný, tak například technologií georadaru, speciálně aplikovanou pro tuto oblast diagnostiky železobetonových konstrukcí, která přinesla do oboru zcela nové obzory. Na druhé straně byla zásadně omezena možnost využití nejtradičtější a nejkompexnější metody, jakou bezesporu byla radiografie s užitím izotopu Co60.

Práce se snaží jednoznačně posoudit tuto situaci, a naznačit výhody i nevýhody jednotlivých metod, šíří možnosti jejich využití jako náhrady vybraných aspektů radiografie, a současně predikovat oblasti diagnostiky železobetonu, kde má radiografie s využitím technických rentgenů, jako alternativních zdrojů záření, stále své uplatnění.

Klíčová slova

Hodnocení stávajících konstrukcí, železobetonová konstrukce, konstrukce z předpjatého betonu, vyztuž, elektromagnetický indikátor vyztuže, georadar, radiografie, izotop Co60, rentgen.

Abstract

The aim of the work was to analyze various aspects of the current situation in the specific field of diagnostics of reinforced concrete and prestressed concrete structures, i.e. in the field of determining the reinforcement of structures. Today's time is characterized by an increased frequency of need for the evaluation of existing structures. An eventual part of this process are the diagnostics of structures and construction-technical surveys. These are performed on structures of various designs and ages, and for various reasons, from an effort to extend the service life of old structures or changes in their purpose, to an explanation or detection of defects in completely new structures.

Fortunately, hand in hand with the increase in these requirements, after years of stagnation, comes a period of dynamic development of technologies and instrumentation, especially in the field of non-destructive diagnostic methods. Even in the field of reinforcement diagnostics, we now have access to new generations of devices for both traditional methods, such as the method of electromagnetic indicators of reinforcement, where the difference between the last and previous generation of devices is literally abysmal, and i.e. the GPR technology, specially applied for this area of diagnostics of reinforced concrete structures, which has brought completely new horizons to the field. On the other hand, the possibility of using the most traditional and complex method, such as radiography using the Co-60 isotope, became fundamentally limited.

The work tries to clearly assess this situation, and outline the advantages and disadvantages of individual methods, the breadth of their use as a substitute for selected aspects of radiography, and at the same time predict areas of reinforced concrete diagnostics where radiography using technical X-rays as alternative sources of radiation still has its application.

Keywords

Evaluation of existing structures, reinforced concrete structure, prestressed concrete structure, challenge, electromagnetic indicator of reinforcement, GPR, radiography, Co60 isotope, X-ray.

Bibliografická citace VŠKP

Ing. Ondřej Anton, Ph.D. *Vybrané aspekty diagnostiky železobetonových konstrukcí a konstrukcí z předpjatého betonu*. Brno, 2021. 266 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená habilitační práce je původní a zpracoval jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, a že ve své práci jsem nepotušil autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 13. 4. 2021

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Poděkování

Diagnostika stavebních konstrukcí je vždy týmová práce, kde každý z členů týmu přidá do společného řešení své znalosti, schopnosti a myšlenky. Je pro mne vždy radostí a ctí poučit se z názorů zkušenějších, či přispět svým pohledem na věc při společné diskusi.

Rád bych tedy poděkoval všem svým bývalým i současným kolegům, se kterými jsem měl tu čest spolupracovat, kteří mne obohatili svými znalostmi, či se kterými jsem hledal cesty k výslednému řešení, zejména svým nejbližším spolupracovníkům doc. Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D. jenž mi byl vždy odbornou inspirací, a Ing. Věře Heřmánkové, Ph.D. Nemohu zapomenout ani na prof. Ing. Leonarda Hobsta, CSc., který stál na počátku mé kariéry v oboru radiografie, a mimořádného kolegu statika doc. Ing. Zdeňka Bažanta, CSc., jež mi byl vždy vzorem.

Děkuji rovněž všem, kdo mi umožnili měření na reálných konstrukcích, včetně zveřejnění výsledků, především firmě Mostní a silniční s.r.o., SÚS Pardubického kraje a dalším.

Poděkování patří rovněž mé ženě Monice za pochopení a trpělivost po celou dobu mé kariéry a práci bych rád věnoval své mamince Ludmile Antonové, která má zásadní podíl na tom, že jsem se dal na profesní dráhu v oblasti stavebnictví.

OBSAH

1 ÚVOD.....	12
2 HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ.....	15
2.1 Postup hodnocení stávající konstrukce.....	16
3 DIAGNOSTIKA VYZTUŽENÍ ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ.....	18
3.1 Důvody stanovení polohy výztuže	18
3.2 Požadavky na stanovení vyztužení.....	20
3.3 Druhy výztuží	21
3.4 Možnosti stanovení polohy výztuže – metody	26
3.4.1 Radiografie	26
3.4.2 Sekané sondy – destruktivní metoda.....	42
3.4.3 Elektromagnetické indikátory – nedestruktivní metoda.....	43
3.4.4 Georadar	47
3.5 Současná situace možnosti využití metod pro stanovení polohy výztuže.....	59
3.6 Koroze výztuže.....	60
4 DIAGNOSTIKA VYZTUŽENÍ KONSTRUKCÍ Z PŘEDPJATÉHO BETONU.....	61
4.1 Diagnostika předpjatých konstrukcí.....	62
4.2 Využitelné metody pro stanovení polohy předpínací výztuže v konstrukci.....	63
4.3 Následné metody stanovení zainjektování kabelových kanálů a stavu kabelů (koroze)	65
4.3.1 Vizualní kontrola.....	65
4.3.2 Radiografie	66
4.3.3 Vývoj nových metod	67
4.4 Koroze předpínací výztuže.....	68
5 DIAGNOSTIKA ROZPTÝLENÉ KOVOVÉ VÝZTUŽE	69

6	MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ METOD (NOVÝCH PŘÍSTROJŮ I TECHNOLOGIÍ) NA MODELECH	71
6.1	Modely variabilně měnitelné	72
6.1.1	Prázdný krabicový model pro elektromagnetické indikátory.....	72
6.1.2	Krabicový model s vnitřním médiem pro georadary.....	73
6.2	Modely stabilní (neměnné).....	75
6.2.1	Masivní bloky.....	75
6.2.2	Malé železobetonové modely	77
6.2.3	Modely částí předpjatých prvků	78
6.2.4	Speciální modely pro radiografii	79
7	TESTOVÁNÍ GEORADARU A KOMBINACE METOD IN SITU – OPTIMÁLNÍ POSTUPY STANOVENÍ VYZTUŽENÍ NA VYBRANÝCH TYPICKÝCH PRVCÍCH ŽELEZOBETONOVÝCH A PŘEDPJATÝCH KONSTRUKCÍ.....	80
7.1	Sloupy.....	80
7.1.1	Sloupy čtvercového a obdélníkového průřezu	80
7.1.2	Sloupy kruhového průřezu	86
7.1.3	Sloupy nepravidelných tvarů či s nerovnou povrchovou úpravou	91
7.2	Desky.....	92
7.2.1	Doporučený postup při měření vyztužení desek radarem	93
7.2.2	Pokrytí velké plochy měření.....	103
7.2.3	Dutinové panely – speciální případ	104
7.3	Trámy	107
7.3.1	Hlavní nosná výztuž u spodního líce prvku (postup platí v modifikované podobě i pro výztuž u horního líce nad podporou)	108
7.3.2	Smykové ohyby hlavních výztuží	112
7.3.3	Třmínky	115
7.3.4	Jádrové vývrty do trámů.....	116

7.4 Předpjaté mostní nosníky – lokalizace předpínací výztuže	119
7.4.1 Nosník KA.....	119
7.4.2 Nosník I.....	121
7.4.3 Nosník DS-A konstrukce vzpěradlového rámu se středním polem	122
8 PŘÍPADOVÉ STUDIE VYUŽITÍ RADARU V KOMBINACI S OSTATNÍMI METODAMI NA ROZSÁHLEJŠÍCH KONSTRUKCÍCH – POROVNÁNÍ S MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ RADIOGRAFIE	124
8.1 Případová studie 1 – srovnání možností stanovení množství a průběhu hlavní nosné výztuže v konstrukci železobetonového trémového mostu	124
8.1.1 První stavebně technický průzkum.....	126
8.1.2 Druhý stavebně technický průzkum	127
8.1.3 Třetí stavebně technický průzkum	129
8.1.4 Vyhodnocení	134
8.2 Případová studie 2 – stanovení příčiny poškození železobetonové konzoly balkonu bytového domu	136
8.2.1 Postup měření	138
8.2.2 Výsledky měření.....	142
8.2.3 Vyhodnocení	145
8.3 Případová studie 3 – stanovení vyztužení vybraných prvků železobetonové jeřábové dráhy	146
8.3.1 Plán stanovení vyztužení vybraných prvků konstrukce	147
8.3.2 Výsledky měření radarem Hilti PS1000 X-SCAN.....	148
8.3.3 Výsledky měření elektromagnetickým indikátorem Proceq Profometer PM-630153	
8.3.4 Cílené sekané sondy	173
8.3.5 Finální výsledek stanovení vyztužení.....	174
8.3.6 Vyhodnocení	176

8.4 Případová studie 4 – vazníky montovaného skeletu – potvrzení správného vyztužení	177
8.4.1 Příklad 1: Prefabrikované vazníky v obchodním centru	177
8.4.2 Příklad 2: Prefabrikované vazníky v průmyslové hale.....	179
8.4.3 Vyhodnocení	179
8.5 Případová studie 5 – stanovení provedení vyztužení železobetonové základové desky rodinného domu.....	180
8.5.1 Vyhodnocení	182
8.6 Případová studie 6 – stanovení polohy předpjaté výztuže v mostních nosnících.....	183
8.6.1 Vyhodnocení	188
8.7 Případová studie 7 – stanovení polohy předpjaté výztuže v mostních nosnících.....	189
8.7.1 Vyhodnocení	193
9 PŘÍPADOVÉ STUDIE SOUČASNÉHO VYUŽITÍ RADIOGRAFIE S POMOCÍ RENTGENU.....	194
9.1 Případová studie 8 – Radiografický průzkum plastiky Pieta	194
9.1.1 Metodika stanovení polohy výztuže.....	195
9.1.2 Výsledky radiografické kontroly.....	196
9.1.3 Vyhodnocení	204
9.2 Případová studie 9 – Plastika Torzo ženy.....	205
9.2.1 Metodika prozařování jednotlivých partií díla – geometrie prozařování.....	207
9.2.2 Vyhodnocení	212
9.3 Případová studie 10 – Radiografická kontrola rozmísení drátků v drátkobetonových deskách	213
9.3.1 Deska série 2 – drátkobeton	217
9.3.2 Deska série 1 – UHPC + drátky	220
9.3.3 Deska série 3 – železobeton	223
9.3.4 Závěrečné vyhodnocení homogenity rozptýlení výztuže v deskách	226

9.3.5 Radiografie zkušebních desek po provedení zkoušek.....	226
9.3.6 Vyhodnocení	231
10 ZÁVĚR.....	232
11 SEZNAM LITERATURY A PRAMENŮ	234
12 SEZNAM OBRÁZKŮ	242
13 SEZNAM TABULEK.....	264
14 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	265

1 ÚVOD

Žijeme v době, která v sobě v oblasti stavebních konstrukcí obdivuhodně snoubí současnost i historii. Každý rok vzniká velké množství stavebních konstrukcí, mnohdy velmi inovativních a neotřelých řešení, jindy zase tradičních, využívajících rozsáhlé zkušenosti generací projektantů a stavitelů. Současně jsou hodnoceny tisíce stávajících konstrukcí, pro které se hledá nový způsob využití související s prodloužením jejich životnosti, změnou podoby, zatížení a celým spektrem dalších hledisek. Jedno mají ale všechny stavební konstrukce společné – v některé z fází své existence vyžadují provedení diagnostiky s cílem ověřit vybrané, v dané situaci významné, vlastnosti použitých materiálů, stavebních prvků či konstrukčních celků pro optimalizaci řešení vzniklé situace a potřebné zhodnocení skutečného stavu dané konstrukce.

V této fázi přichází ke slovu specifický obor – diagnostika stavebních konstrukcí. Obor, na jedné straně zcela plnohodnotný, který se ovšem neobejde bez úzké interdisciplinární spolupráce s blízkými obory jako je statika, materiálové inženýrství, geotechnika, chemie a geodézie, či v případech historických konstrukcí související obory humanitními, jako archeologie či historie. Doby, kdy byla diagnostika konstrukcí brána pouze jako pomocný, podpůrný proces základních stavebních oborů, již naštěstí neplatí.

Ruku v ruce s vývojem stavebních technologií a v souladu se směry stavebního vývoje společnosti v daném období se mění a specifikují cíle, které musí obor diagnostiky řešit. A opět v návaznosti na tento proces je nezbytný vývoj nových a modernizace stávajících metod a technologií, které umožní stavební diagnostice udržet krok s vývojem a požadavky v oboru.

Je obrovskou devízou současné doby, že po letech jisté stagnace v tomto směru můžeme sledovat v poslední dekádě značnou renesanci v oboru. Pokrok v oblasti vývoje měřících přístrojů určených pro diagnostiku stavebních konstrukcí je v tomto období větší než v průběhu několika předchozích desetiletí. Do popředí se dostávají zejména metody pro nedestruktivní zkoušení (dále jen NDT), které jsou nejen šetrné ke konstrukci, ale i současně s rostoucí kvalitou používaných technologií již ne vždy platí dříve proklamovaná premisa, že zkoušky nedestruktivní jsou zákonitě méně přesné než ty destruktivní.

Právě potřebu a následně rozvoj nových metod si diktují požadavky stavební praxe. Existují oblasti, kde až řešení zásadní události nastaví další směry vývoje – typickým příkladem byly v nedávné době havárie konstrukcí z předpjatého betonu, a v jejich důsledku zvýšené

požadavky právě na možnosti diagnostiky stavu předpjaté výztuže, ideálně v oblasti NDT. Vše, co bylo dosud řečeno, platí měrou vrchovatou i pro specifickou část oboru, kterým je diagnostika stavebních konstrukcí zaměřená na ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích a konstrukcích z předpjatého betonu.

I v oblasti diagnostiky vyztužení konstrukcí dnes disponujeme jak novými generacemi přístrojů v oblasti tradičních metod, jakými je například metoda elektromagnetických indikátorů výztuže, kde rozdíl mezi poslední a minulou generací přístrojů je doslova propastný, tak například technologií georadaru, která se konečně po mnoha desetiletích využívání v geologii, geotechnice či archeologii konečně dočkala adekvátní aplikace určené speciálně pro oblast diagnostiky železobetonových konstrukcí. Na druhé straně vývoj v jiných oblastech lidské činnosti může používání některých tradičních NDT metod narušit – typickým příkladem je ztráta možnosti využít při terénní diagnostice železobetonu klasickou radiografickou metodu s použitím gamazářiče Co60, jejímž důvodem bylo zpřísnění bezpečnostních předpisů pro nakládání se zdroji ionizujícího záření, který de facto využití této metody ve většině případů znemožnil či ekonomicky deklasoval.

Právě ekonomický faktor je na druhé straně jednou z příčin, že navzdory vývoji nových a rozvoji tradičních diagnostických metod, jsou některé z nich využívány spíše sporadicky. Zařízení odpovídající kvality nejsou často v majetku subjektů věnujících se diagnostice stavebních konstrukcí a druhým důvodem, proč se některé metody či přístroje nevyužívají v diagnostické praxi tak běžně, je nedůvěra často způsobená malou zkušeností obsluhy či neúspěchy způsobené přeceňováním možností jednotlivých technologií či nepochopením fyzikálních principů a z nich plynoucích omezení.

Právě zde by měla vystoupit do popředí role univerzitních pracovišť, aby v rámci výzkumu i praktických činností využily svých možností, sledovaly a využívaly maximálně moderních metod a zařízení, a snažily se šířit relevantní informace prostřednictvím odborných publikací či teoretické i praktické výuky. V tomto směru byla v minulosti i současnosti velmi aktivní tradiční instituce Ústav stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně, která v současnosti mimo jiné zajišťuje odbornou veřejností uznávaný a vyhledávaný kurz „Nedestruktivní metody ve stavebnictví“ akreditovaný Českým institutem pro akreditaci (ČIA), jehož absolventi získávají certifikát Technik NDT zkoušení ve stavebnictví. Ústav stavebního zkušebnictví současně spolupracuje s řadou subjektů v oboru zaměřeném na řešení zejména komplikovaných a problematických realizací v oblasti diagnostiky stavebních konstrukcí.

Podobný cíl si klade i tato práce, která by měla osvětlit vybrané aspekty diagnostiky stavebních konstrukcí zaměřené na ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích a konstrukcích z předpjatého betonu.

2 HODNOCENÍ EXISTUJÍCÍCH KONSTRUKCÍ

Stavebně technické průzkumy, či širěji a obecněji, diagnostika stavebních konstrukcí jsou součástí rozsáhlého systému Hodnocení stávajících konstrukcí. Tento systém byl poměrně podrobně sepsán v normě ČSN ISO 138 22 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení stávajících konstrukcí [1], ta vznikla jako doplněk předpisu ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí [2], právě pro postižení specifik přístupu ke konstrukcím již stojícím. Paradoxně právě pojem „stávající konstrukce“ je doslova všeobsahující, není podstatné, zda je konstrukce stovky let stará, či jde o novostavbu. Součástí tohoto předpisu byly v dřívější verzi i národní dodatky, které byly však odděleny, a dnes jsou již obsahem navazující normy ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení [3].

I tak je nosným motivem předpisu snaha o případné maximální prodloužení životnosti konstrukce, což je přístup v mnohém se lišící od navrhování nových konstrukcí.

Podle [1] lze tedy normu použít pro hodnocení každé stavební konstrukce, která byla původně navržena, staticky posouzena a realizována, s tím, že k hodnocení mohou vést následující okolnosti:

- Očekávaná změna v užívání nebo prodloužení návrhové životnosti.
- Ověření spolehlivosti.
- Degradace konstrukce vlivem časově závislých zatížení či vlivů.
- Poškození konstrukce od mimořádných zatížení.

Norma [1] rovněž definuje základní pojmy jako:

- Hodnocení – soubor činností prováděných za účelem ověření spolehlivosti existující konstrukce z hlediska jejího budoucího používání.
- Poškození – nepříznivá změna stavu konstrukce, která může ovlivnit její funkční spolehlivost.
- Degradace – proces, který nepříznivě ovlivňuje funkční způsobilost včetně spolehlivosti v čase vlivem:
 - přirozeně se vyskytujících chemických, fyzikálních či biologických jevů,
 - opakovaných zatížení, která mohou vyvolat únavu,
 - obvyklých či nepříznivých vlivů prostředí,
 - opotřebení v důsledku způsobu používání,
 - nesprávného provozu nebo údržby.

Podstatným faktorem hodnocení konstrukce je dle [1] účel z hlediska požadavků na její budoucí funkční spolehlivost.

2.1 Postup hodnocení stávající konstrukce

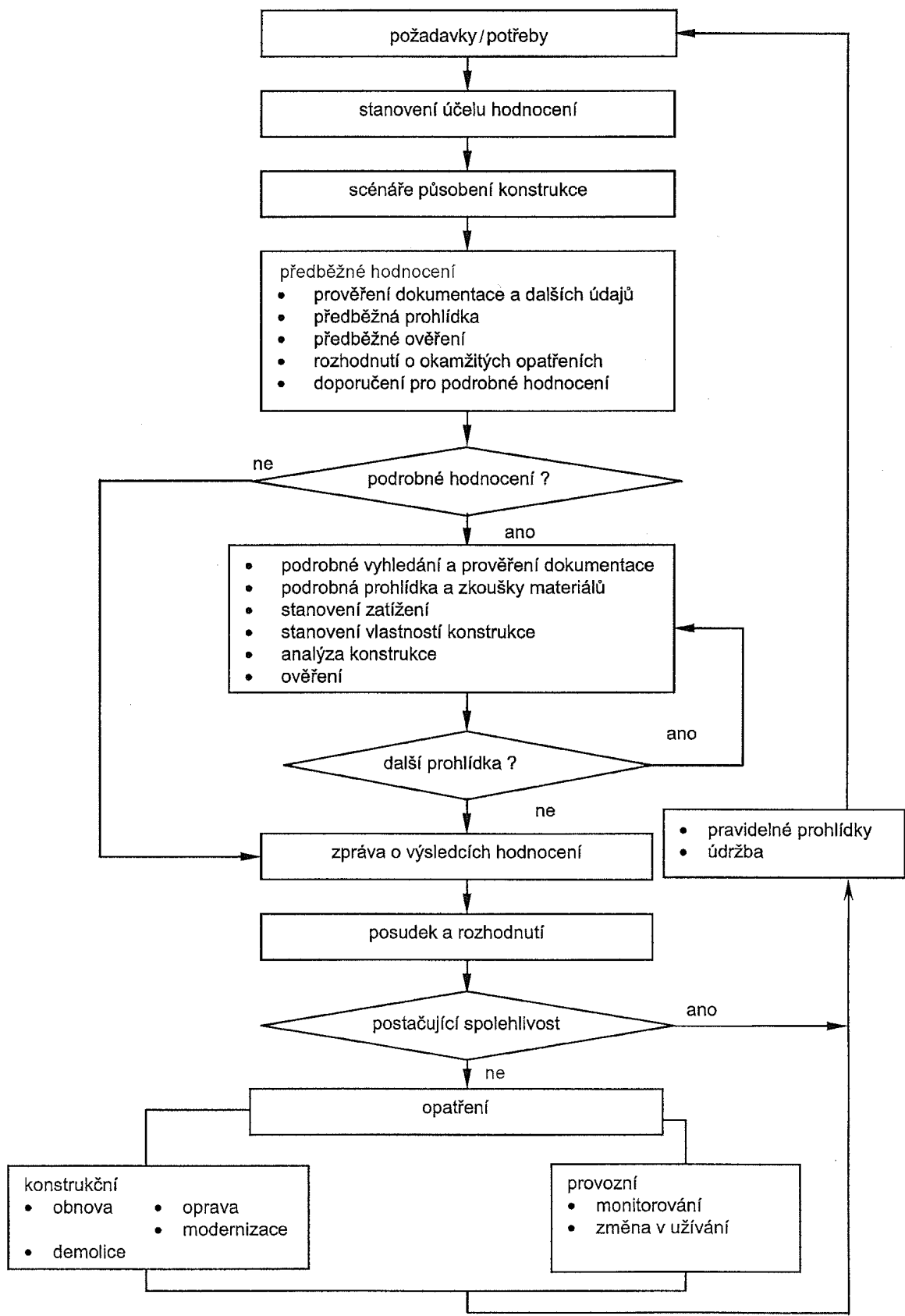
Postup hodnocení závisí jak na účelu hodnocení, ale také na specifických okolnostech, mezi něž patří dostupnost projektové dokumentace, zjištěné škody, způsob využívání konstrukce atd. Před samotným zahájením procesu hodnocení se doporučuje prohlídka stavby [1]. Samotný proces sestává z následujících kroků:

- Stanovení účelu hodnocení – jednoznačný účel s ohledem na budoucí způsobilost, stanovený dohodou mezi objednatelem, posuzovatelem a příslušnými úřady.
- Scénář – pro identifikaci možných kritických situací, pro následné zajištění bezpečnosti a použitelnosti konstrukce.
- Předběžné hodnocení – na základě studia dokumentace, následuje předběžná prohlídka pro identifikaci konstrukčního systému, vizuálního stanovení míry poškození konstrukce, jejíž výsledky vyjadřují kvalitativní zařazení konstrukce. Předběžná ověření pro určení nutnosti dalšího průzkumu, případně rozhodnutí o okamžitých opatřeních (havarijní stav). Konkrétní doporučení pro podrobné hodnocení.
- Podrobné hodnocení – zejména vyhledání dokumentace a podrobná prohlídka, zkoušky materiálů, které vyústí v analýzu konstrukce a ověření spolehlivosti.
- Výsledky hodnocení – součástí je zpráva, koncepční návrh konstrukčních opatření a řízení rizik.
- V případě potřeby se proces opakuje.

Velmi ilustrativní je vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí, Obr. 1.

Předpis se poměrně podrobně věnuje i problematice objektů kulturních památek, které vyžadují ve většině ohledů specifický přístup.

Z hlediska praxe je podstatné, že ve výběru zkušebních metod pro ověření vlastností jsou jednoznačně preferovány metody nedestruktivního zkoušení.



Obr. 1 Vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí [1]

3 DIAGNOSTIKA VYZTUŽENÍ ŽELEZOBETONOVÝCH KONSTRUKCÍ

3.1 Důvody stanovení polohy výztuže

V rámci stavebně technických průzkumů železobetonových konstrukcí se běžně setkáváme s požadavkem stanovení vyztužení vybraných prvků konstrukce. Důvodů může být více, ale dominují dva:

- Absence dokumentace (projektová či prováděcí dokumentace konstrukce), zahrnující výkresy množství a tvarů ocelové výztuže v jednotlivých prvcích konstrukce. Důvodem nutnosti zjištění vyztužení je potřeba statického přepočtu únosnosti konstrukce.
- Pochybnost o správném vyztužení konstrukce – většinou motivovaná nežádoucím chováním konstrukce, poruchami v podobě trhlin, nadměrných deformací a podobně.

Absence projektové dokumentace je v České republice u starších konstrukcí poměrně typickým jevem, příčinu lze hledat nejčastěji v dějinných, společenských a hospodářských změnách, kterých nastalo na území naší země za dobu posledních více než 100 let (doba, kdy jsou realizovány železobetonové konstrukce) mnoho, a jejich vedlejším efektem je právě ztráta písemností, či celých archivů v důsledku zániku stavebních subjektů, či jejich transformace. Dochování výkresů objektů realizovaných před rokem 1989 je tedy v praxi spíše výjimkou než pravidlem.

S nedodržením vyztužení, předepsaného v projektové dokumentaci, se setkáváme paradoxně nejen u starších objektů, ale stále častěji u staveb současných. O příčinách těchto chyb, ať už v dobách dávno i nedávno minulých, nebo v současnosti, můžeme jen spekulovat.

Nedodržení předepsaného vyztužení v minulosti většinou souviselo s dvojitou příčinou:

- Nedostatkem konkrétní výztuže na trhu, a její adekvátní náhrada například jinými průměry prutů (kumulace tohoto faktu v objektech z konce 30. let 20. století může souviset s velkou spotřebou výztuže při budování pohraničního opevnění, a přednostními dodávkami na tyto stavby).
- Druhou typickou příčinou je změna typu výztuže v období probíhajících změn sortimentu vyráběných výztuží, kdy v době realizace stavby již původně projektovaná výztuž nebyla k dispozici.

S tímto jevem se setkáváme při stavebně-technických průzkumech. V těch vzácných případech, kdy se dochovala projektová dokumentace například u monolitických železobetonových skeletů z 30. let 20. století, je poměrně běžné například využití výztužných ocelových prutů jiných průměrů, než je uvedeno ve výkresech, totéž u staveb na přelomu 50. a 60. let 20. století. Možné příčiny tohoto faktu jsou uvedeny výše. Nicméně tehdejší stavitelé či stavbyvedoucí byli natolik erudovaní, že operativně přepočítali výztuž tak, aby tu původně předepsanou nahradili v daném místě alternativou jiných průměrů. Ze statického hlediska pak byla většinou např. celková plocha průřezu výztuží v daném místě vyšší, tedy na straně bezpečnosti. Takovéto odchylky se pak nemohly stát příčinou pozdějších poruch konstrukcí. Pochopitelně i v minulých dobách se vyskytly případy nepřesného uložení výztuže v rámci daného průřezu, ale jsou podle dlouholetých zkušeností spíše výjimečné.

Ve srovnání s touto érou se v dnešní době setkáváme s problémem odchylky skutečného vyztužení od projektovaného relativně častěji. Příčin je řada, ale ve většině případů jde buď o vyslovenou technologickou nekázeň při vázání či ukládání armokošů, špatné čtení výkresů, či záměrný krok v případech, kdy je v reálu nemožné nebo krajně obtížné dodržet to, co projektant uvedl ve výkresech. Na výsledku se ve finále podepíše nedostatečná kontrola před vybetonováním příslušného prvku konstrukce. Víra řady stavebních firem, že daný problém se skryje v betonu, kde jej již není možné prokázat, je až pozoruhodná navzdory výskytu následných poruch konstrukce ve formě trhlin či nadměrných průhybů a podobně, nehledě na to, že úroveň diagnostických NDT metod v posledních letech zásadně pokročila, a prokázání těchto chyb je ve většině případů relativně snadno řešitelné.

Prokázání daných vad je poté častým úkolem nedestruktivního zkušebnictví. Ústav stavebního zkušebnictví Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně má s těmito úkoly již několik desítek let zkušeností.

3.2 Požadavky na stanovení vyztužení

Rozsah vyztužení vybraných prvků, průřezů či částí železobetonové konstrukce je formulován na základě důvodu provádění této části stavebnětechnického průzkumu.

Obecně může zahrnovat zjištění:

- Množství prutů výztuže v daném místě, či řezu konstrukce nebo prvku konstrukce či dílce.
- Tvaru prutů vyztužení, polohy jednotlivých prutů (či jiných výztužných prvků).
- Typu výztuže – u výztužných prutů jde o třídu oceli, která je vždy charakterizovaná základními mechanickými vlastnostmi (mez kluzu, pevnost v tahu, tažnost a další).
- Průměry jednotlivých výztužných vložek.

V případě kontroly dodržení předepsaného vyztužení jde pak o konkrétní případy předpokládaných chyb vyztužení, z nichž lze charakterizovat nejběžnější:

- Předpoklad absence části vyztužení.
- Předpoklad chybného tvaru vyztužení.
- Předpoklad nepřesné polohy (dodržení minimálního krytí výztuže, posunutí celého armokoše, nebi části výztuží).
- Předpoklad změny počtu, průměrů či typu výztuží.

Obecným parametrem pro diagnostiku v případě ocelové výztuže i je i problematika její koroze.

Nezanedbatelným, a v řadě případů opomíjeným důvodem pro stanovení polohy výztuže, je odběr vzorků betonu pro laboratorní zkoušky (např. jádrovým vrtáním), nebo nutnost dodatečného vytvoření prostupů skrze prvky železobetonové konstrukce. V těchto případech by mělo být zjištění polohy výztuže elementárním krokem, bohužel v praxi jsme svědky v řadě případů, že se tak neděje, což vede k přerušení výztuží a oslabení konstrukce.

Podle konkrétních požadavků, typu a provedení konstrukce a v neposlední řadě na základě stavu a způsobu užívání konstrukce se pak odvíjí volba vhodných diagnostických metod, které jsou podrobně popsány v části 3.4.

3.3 Druhy výztuží

V průběhu více než stoleté historie realizace železobetonových konstrukcí byla užívána řada druhů a způsobů vyztužení, důvodem vyztužení je přenášení vnitřních sil v tažené oblasti prvku železobetonové konstrukce.

Principiálně můžeme výztuž rozdělit na:

- Tuhé výztužné vložky – v podobě válcovaných ocelových profilů.
- Betonářská výztuž (tzv. měkká výztuž) – tyče a svařované sítě.
- Předpínací výztuž.
- Rozptýlená výztuž – drátky, vlákna.

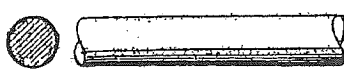


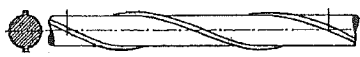
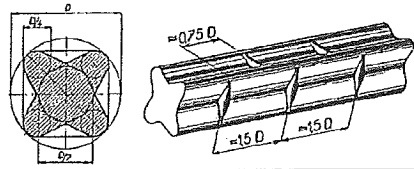
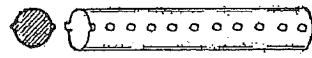
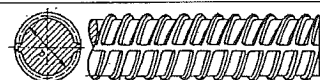
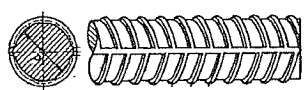

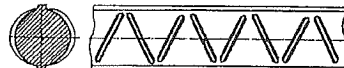

V této kapitole bude věnována pozornost téměř výhradně betonářské výztuži – zejména ocelovým výztužným tyčím (prutům).

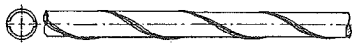
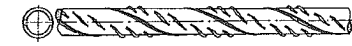

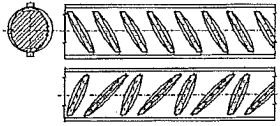
Diagnostiku železobetonových konstrukcí z pohledu určení vyztužení komplikuje fakt, že se během historie vytváření železobetonových konstrukcí používala řada různých typů výztuže, výrazně se lišících svými vlastnostmi, zejména mezi kluzu R_e a mez pevností v tahu R_m [5]. Právě určení druhu výztuže je jedním z požadovaných parametrů v rámci diagnostiky.

Pozitivní je, že s výjimkou několika druhů oceli s hladkým povrchem lze různé druhy výztužných ocelí v historii snadno identifikovat na základě vzhledu povrchových úprav, tedy tzv. žebírek, či přímo charakteristického tvaru průřezu (výztuže Roxor či Isteg). Každému druhu výztuže u nás bylo v období do roku 2007 přiřazeno pětímístné označení, např. 10216, kde první dvojčíslí označovalo užití oceli (10 – betonářská ocel), druhé dvojčíslí desetinu zaručené meze kluzu v MPa, a poslední číslo význačnou vlastnost (např. 5 – zaručená svařitelnost) [6].

Velkou pomocí pro obecné povědomí o dříve užívaných typech betonářské výztuže jsou souhrnné informace uvedené a tabelizované formě v normě ČSN 78 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení [3].

Tab. 1 Tvary běžných druhů betonářských výztuží [1]

Druh	Označení	Tvar	Dokument
	C 34		ČSN 1016:1926
	Cc		ČSN 1090:1931
	C 38		ČSN 1090:1931
	Jakostní		ČSN 1090:1931
	Cb		ČSN 1091:1935
	C 37		ČSN 1230:1937
	C 52		ČSN 1230:1937
	Beton speciál		-
10 000			ČSN 41 0000 ČSN 42 5510
10 002	A		ČSN 41 0002
10 210	A-0	ČSN 41 0210	
10 216	E	ČSN 41 0216 ČSN 42 5512	
10 372	B A-0	ČSN 41 0373	
10 373	Bs	ČSN 41 0373 ²⁾	
10 452	C		ČSN 41 0452
10 453	Cs		ČSN 42 5513
10 472 (ISTEG)	I		
10 492 (TOROS)	T, Tor 30		ČSN 41 0492 ČSN 42 6560 ²⁾
10 512 (ROXOR)	R		ČSN 42 5537 ²⁾
10 513 (ROXOR)	Rs		
10 512 (LAROS)	L		
10 513 (LAROS)	Ls		
10 300	A – II ⁴⁾ R 30		ČSN 41 0300 ČSN 42 5538
10 400 10 400 A	Rs 40 As – III ⁴⁾		ČSN 41 0401 ČSN 42 5539
10 401 10 400 B	R 40 A – III ⁴⁾		
10 402	Tor 40 RK 40		ČSN 41 0402
11 373	EZ ³⁾		ČSN 41 1373 ČSN 42 5510
10 245	K		ČSN 41 0245 ČSN 42 5529
10 335	J		ČSN 41 0335 ČSN 42 5533

Druh	Označení	Tvar	Dokument
10 338	T A – II ³⁾		ČSN 41 0338 ČSN 42 5534
10 302	B II Tor 30		ČSN 41 0302 ČSN 42 6560
10 425	V A – III ³⁾		ČSN 41 0425 ČSN 42 5535
10 426	W A – III ³⁾		ČSN 42 5535 ¹⁾
10 505	R		ČSN 41 0505 ČSN 42 5538

¹⁾ ČSN 73 2001:1972
²⁾ ČSN 1510:1948
³⁾ Metodické pokyny pro užívání výztužných ocelí v betonových konstrukcích navrhovaných podle ČSN 73 1201:1967, VUPS Praha 1, 1970
⁴⁾ Věstník Ministerstva výstavby, částka 23/1962

Tab. 2 Vlastnosti běžných výztužných ocelí používaných v období 1920 až 1965 [1]

Druh výztuže	Vlastnosti výztužných ocelí ¹⁾ (MPa)					
	Označení	Návrhová hodnota pevnosti oceli pro betony pevnostní třídy C12/15 a vyšší		Charakteristická hodnota oceli		Svařitelnost
		tah	tlak	mez kluzu, mez 0,2	mez pevnosti	
10 210 10 216	E	190	190	210	500	dobrá
10 300 10 307	H, R30	250	250	300	450	dobrá
10 302 10 308	K, TOR30	250	250	300	400	nesvařitelná
10 400	Rs40	330	330	400	550	zaručená
10 401	R40	330	330	400	550	obtížná
10 402	RK40	330	330	400	550	nesvařitelná
svař. sítě	S	270	240	500	600	nesvařitelná

¹⁾ Výztužné oceli jsou uvedeny v těchto již neplatných normách:
– ČSN 41 0210:1962 Ocel 10 210
– ČSN 41 0300:1962 Ocel 10 300
– ČSN 41 0302:1962 Ocel 10 302
– ČSN 41 0400:1962 Ocel 10 400
– ČSN 41 0401:1962 Ocel 10 401
– ČSN 41 0402:1962 Ocel 10 402
– ČSN 42 0139:1964 Tyče pro výztuž do betonu.

Tab. 3 Vlastnosti běžných výztužných ocelí používaných v období 1960 až 1970 [1]

Druh výztuže	Vlastnosti výztužných ocelí ¹⁾ (MPa)				
	Návrhová hodnota pevnosti ocelí pro betony pevnostní třídy C12/15 a vyšší		Charakteristická hodnota oceli		Svařitelnost
	tah	tlak	mez kluzu, ³⁾ mez 0,2	mez pevnosti	
Cc, C 34	180	180	neuvádí se	min. 340	neuvádí se
Cb	180	180	neuvádí se	min. 350	neuvádí se
C37, C38	180	180	neuvádí se	min. 370	neuvádí se
C52 ²⁾	250 ⁴⁾	250	min. 340	min. 520	neuvádí se
10 002	180	180	210	320 až 500	neuvádí se
10 370	180	180	210	370 až 450	dobrá
10 372	190	190	230	370 až 450	dobrá
10 452	230	230	270	neuvádí se	obtížná
10 472 (Isteg)	320	0	360	min. 400	nesvařitelná
10 492 (Toros)	340	340	400	min. 440	nesvařitelná
10 512 (Roxor) ⁵⁾	340	340	400	min. 500	dobrá

¹⁾ Výztužné oceli jsou uvedeny v těchto již neplatných normách:
 – ČSN 1090:1931 Navrhování betonových staveb
 – ČSN 1090:1948 Navrhování betonových staveb
 – ČSN 1090:1948 Navrhování staveb ze železového betonu podle stupně bezpečnosti
 – ČSN 42 0132:1957 Tyče pro výztuž do betonu
 – ČSN 73 2001:1956 Projektování betonových staveb

²⁾ Také tzv. ocel Jakostní a ocel Beton speciál.

³⁾ Dříve mez průtažnosti.

⁴⁾ Vyšší hodnoty je možno stanovit na základě zkoušek.

⁵⁾ Při výpočtu průřezové plochy výztužných prutů typu Roxor (oceli řady 10 512 a 10 513) s nekruhovým průřezem (viz tabulka 6.8) se plocha jedné výztužné vložky $A_{s,1}$ stanoví ze vztahu:
 $A_{s,1} = 0,481\ 58\ D^2$,
 kde D je průměr kružnice opsané výztužné vložce (charakteristický průměr výztuže).

Tab. 4 Vlastnosti běžných výztužných ocelí používaných po roce 1970 [1]

Druh výztuže		Vlastnosti výztužných ocelí ¹⁾ (MPa)							
		Označení	Návrhová hodnota pevnosti oceli				Charakteristická hodnota oceli		Svařitelnost
			tah		tlak		mez kluzu, mez 0,2	mez pevností	
			C12,5/15	C16/20 a vyšší	C12,5/15	C16/20 a vyšší			
10 216		E	190				206		dobrá
11 373		EZ	215 pro $d_s \leq 16$ mm				235	340	vhodná ke svařování
			205 pro $d_s > 16$ mm				226		
10 245		K	220				245	363	zaručená
10 335		J	300		300		325	471	zaručená
10 338		T	300		270		325	390	podmíněná
10 425		V	340	375	340	375	410	569	zaručená
10 505		R	340	425	340	420	490	720	zaručená
Svařované sítě z drátů	hladkých	S	270	300	240	270	490	539	nesvařitelná
	s vtisky	Sv	320	375	290	340	441	530	nesvařitelná
	KARI	Sz	340	425	290	380	490	539	podmíněná

¹⁾ Výztužné oceli jsou uvedeny v těchto normách a pokynech:

- ČSN 41 0216:1979 Ocel 10 216
- ČSN 41 0335:1979 Ocel 10 335
- ČSN 41 0338:1979 Ocel 10 338
- ČSN 41 0425:1979 Ocel 10 425
- ČSN 41 0505:1996 Ocel 10 505
- ČSN 42 0139:1978 Tyče pro výztuž do betonu. Technické dodací předpisy
- ČSN 42 0159:1991 Tyče válcované za tepla pro výztuž do betonu
- Metodické pokyny pro používání ocelí v betonových konstrukcích, Výzkumný ústav pozemních staveb, Praha, 1967
- Změny a doplňky Metodických pokynů z 21.6.1967 pro používání výztužných ocelí v betonových konstrukcích, Výzkumný ústav pozemních staveb, Praha, 1969
- Metodické pokyny pro používání ocelí v betonových konstrukcích navrhovaných podle ČSN 73 1201:1967.

Poněkud komplikovanější situace nastala po roce 2007, kdy přechod na nové značení ocelí dle evropských zvyklostí přineslo i další nemožnost identifikace konkrétní oceli dle povrchových úprav [4].

Proto v rámci diagnostiky železobetonové konstrukce ve většině případů postačí uvažovat s udanými mechanickými vlastnostmi dané výztuže, na základě určení jejího typu. Ve vyjimečných případech, kdy nelze určit typ výztuže nebo se jedná o druh neuvedený v [1] se v dalším uvažují konzervativně vlastnosti oceli 10 216 [1].

Ve vyjimečných případech se pro stanovení reálných vlastností neznámé výztuže ve vhodném místě odeberou vzorky pro laboratorní zkoušky – odběr vzorků nesmí ohrozit odolnost konstrukce [1].

3.4 Možnosti stanovení polohy výztuže – metody

V této části habilitační práce budou popsány všechny metody, které je možno v rámci diagnostiky konstrukce využít k identifikaci polohy výztuže. Pořadí nebylo zvoleno náhodně. Jako první bude velmi zevrubně popsána radiografie, tedy jediná metoda, poskytující zcela komplexní výsledky (viz. kapitola 3.2) ve všech požadovaných aspektech. Nicméně jde současně o metodu, jejíž možnosti provádění byly v nedávné době významně omezeny, přičemž reálnost návratu k původnímu stavu je dnes otázkou – právě tato omezení a další perspektivy jsou náplní následujících kapitol. Dále budou popsány metody, které lze dnes považovat za tradiční, neboť byly desítky let k dispozici současně s radiografií – elektromagnetické indikátory a sekané sondy, ale v případě elektromagnetických indikátorů došlo v posledních letech k velmi zásadnímu rozvoji měřicí techniky. Jako poslední bude opět velmi podrobně popsána metoda georadaru, která se jako plnohodnotná začlenila do portfolia využitelných metod v posledním desetiletí, a navzdory počáteční nedůvěře se stala perspektivně vůdčí metodou s ambicemi v řadě případů radiografii více než adekvátně nahradit, či dokonce v některých aspektech předstihnout.

3.4.1 Radiografie

Radiografie – teoretický základ

Radiografická metoda je založena na specifických vlastnostech záření gama či rentgenového záření, které je rozptylováno a absorbováno prostředím, kterým prochází. Míra zeslabení při stejné energii záření je závislá na prozařované tloušťce a na objemové hmotnosti materiálu. V technické praxi jde tedy o metodu umožňující zobrazení vnitřních nehomogenit v materiálech a prvcích konstrukcí zcela bez porušení.

V případě železobetonu je například záření zeslabováno výrazněji ocelovou výztuží nežli betonem. Míra zeslabení záření po průchodu materiálem je dosud obvykle zaznamenávána na radiografickém filmu, který po vyvolání zobrazuje vnitřní strukturu kontrolovaného místa. U železobetonu se rozložení výztuže v prozařované části konstrukce projevuje světlejšími stopami nižšího zčernání na vyvolaném filmu způsobeným centrálním průmětem výztuže na radiografický film.

Jako **záření rentgenové** – je označováno krátkovlnné fotonové záření, vznikající v elektronovém obalu atomu. Jde především o tzv. brzdné záření vznikající zpomalováním

nabitých částic ve hmotě a dále o tzv. záření vznikající při přechodech elektronů z vyšší energetické hladiny do nižší.

Jako **záření gama** – je označováno krátkovlnné fotonové záření vznikající většinou při přechodu atomového jádra z vyššího energetického stavu do nižšího (radioaktivní přeměna v radioizotopech).

Zdroje záření v radiografii

V praktické radiografii rozlišujeme obecně dvě skupiny využitelných zdrojů záření, jednak tzv. zdroje s dočasnou emisí záření (rentgeny, betatrony, lineární urychlovače) a tzv. zdroje s trvalou emisí záření (radioaktivní zářiče).

Obecně platí, že při průzkumu železobetonových konstrukcí je výhodné volit gamazářič s velkou energií E , s velkým poločasem rozpadu $T_{1/2}$ a velkou aktivitou A . Těmto požadavkům vyhovuje radioaktivní kobalt $Co60$ ($E = 1,25$ MeV, $T_{1/2} = 5,3$ roku).

Aktivita A

Aktivita je míra vydatnosti (emise) zářiče, udávající střední počet těch atomů radionuklidů v zářiči, u kterých během jedné sekundy nastane samovolná radioaktivní přeměna. Je definována vztahem:

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (1)$$

kde je: dN střední počet atomů přeměněných v časovém intervalu dt , -;
 dt časový interval, v s.

Jednotkou aktivity je becquerel Bq [s^{-1}]. Aktivita zářiče se vlivem rozpadu radioaktivních atomů s časem snižuje.

Přeměnová konstanta λ

Radioaktivní rozpad se děje podle určitého zákona. Poměrný počet úbytku atomů v určitém časovém intervalu je ve srovnání s množstvím atomů na začátku intervalu ve stejném radionuklidu stejný. Tento úbytek je charakterizován přeměnovou konstantou λ .

Rozpad probíhá podle **rozpadového zákona**:

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2)$$

kde je: N počet jader, ve kterých k rozpadu nedošlo, -;

N_0 původní počet jader, -;

e základ přirozených logaritmů, -;

λ přeměnová konstanta, v s^{-1} ;

t čas, v s.

Rozpad probíhá také podle **časového zákona**:

$$A_t = A_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (3)$$

kde je: A_t aktivita zářiče v čase t , v Bq;

A_0 aktivita zářiče při začátku pozorování, v Bq;

λ přeměnová konstanta, v s^{-1} ;

t doba, která uplynula od začátku pozorování, v s.

Poločas rozpadu $T_{1/2}$

Je čas, při kterém se rozpadne právě polovina počátečního množství atomů. Je konstantní a pro každý radionuklid jiný (od zlomku sekundy do mnoha miliard let). Mezi přeměnovou konstantou a poločasem rozpadu platí vztah:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (4)$$

kde je: λ přeměnová konstanta, v s^{-1} .

Gamazářič je umístěn v defektoskopickém stínícím krytu, který se v současné době nejčastěji zhotovuje z ochuzeného uranu. Velikost krytu limituje aktivitu zářiče. Gamazářiče umožňují prozařovat železobetonové konstrukce až do tloušťky 500 mm. Velkou předností gamazářičů je jejich mobilnost a nezávislost na zdrojích energie. Používají se proto převážně při pracích v terénu.

Pomocí dálkového ovládání lze zářič zasunout i do nesnadno přístupných míst.

Pokud jsou k tomu vhodné podmínky, je možné použít místo gamazářiče zdroj rentgenového záření – technický rentgen. Jeho výhodou je vyšší jakost zhotovených radiogramů, nevýhodou je omezená tloušťka prozařovaného materiálu (např. v případě betonu do cca 150 mm), velké rozměry a závislost na zdroji elektrické energie. Tato zařízení se tedy používají ve specifických případech, nebo v rámci stabilních defektoskopických pracovišť.

Gamazářič Co60 je z defektoskopického krytu do tzv. ohniska prozařování vysouván mechanicky, pomocí bovdeny, přičemž obsluha zařízení ovládá z bezpečné vzdálenosti.



Obr. 2 Gamagrafičský kryt TECH/OPS se zářičem CO60, na transportním vozíku s hadicemi ovládacího zařízení (vlevo) [7] a technický rentgen YXLON SMART 300kV (vpravo)

Radiografie – záznam obrazu

K registraci obrazu se v minulosti nejčastěji používal radiografický film (ač jde dnes již o princip užívaný desítky let), pro stavební aplikace radiografie nejčastěji ve formátu 400×300 mm, což je plošně největší v současnosti běžně dodávaný formát. Filmy jsou buď umístovány do plastových či kovových kazet nebo jsou od výrobce dodávány v kazetách tzv. denního balení. Umístění a rozložení výztuže se na filmu projeví světlejšími stopami (menší zčernání) na vyvolaném filmu.

Na nosné folii filmu je nanese vrstva emulze obsahující bromid stříbrný (AgBr). Jakmile ionizující záření zasáhne v citlivé vrstvě filmu krystaly halogenidu stříbra, nastanou v nich určité fotochemické změny, které vedou ke vzniku nepatrně malých zárodků kovového stříbra tzv. latentního obrazu. Dalším zpracováním tzv. negativním procesem, tj. vyvoláním a v závěru ustálením, se výtěžek fotochemického děje zvýší o několik řádů.

Ke zvýšení účinků záření gama na citlivou vrstvu filmu, a tím i pro zkrácení expozice se používají tzv. zesilovací fólie, a to buď kovové, fluorescenční nebo fluorometalické.

V posledním desetiletí se prosazují spíše digitální metody záznamu (flat panely, paměťové folie atd.).

Pro stavební radiografii se zdají být nejvýhodnější tzv. paměťové fólie. Jde o fólie na bázi fosforu, které se vkládají do kazet, podobně jako radiografické filmy, a i formát fólií je obdobný. Dopad fotonů rentgenového záření, nebo záření gama vybudí část elektronů v krystalické mřížce materiálu fólie do vyšších energetických hladin, kde zůstanou v kvazistabilním stavu. Ve speciálním scanneru se pomocí technologie využívající laserového paprsku tyto elektrony uvolňují, a ve fluorescenční vrstvě fólie vznikne krátkodobě viditelný obraz, který je okamžitě snímán scannerem a digitalizován. Paměťové fólie mají poměrně velkou dynamiku záznamu, vysoké možnosti digitálního zesílení obrazu při zpracování.

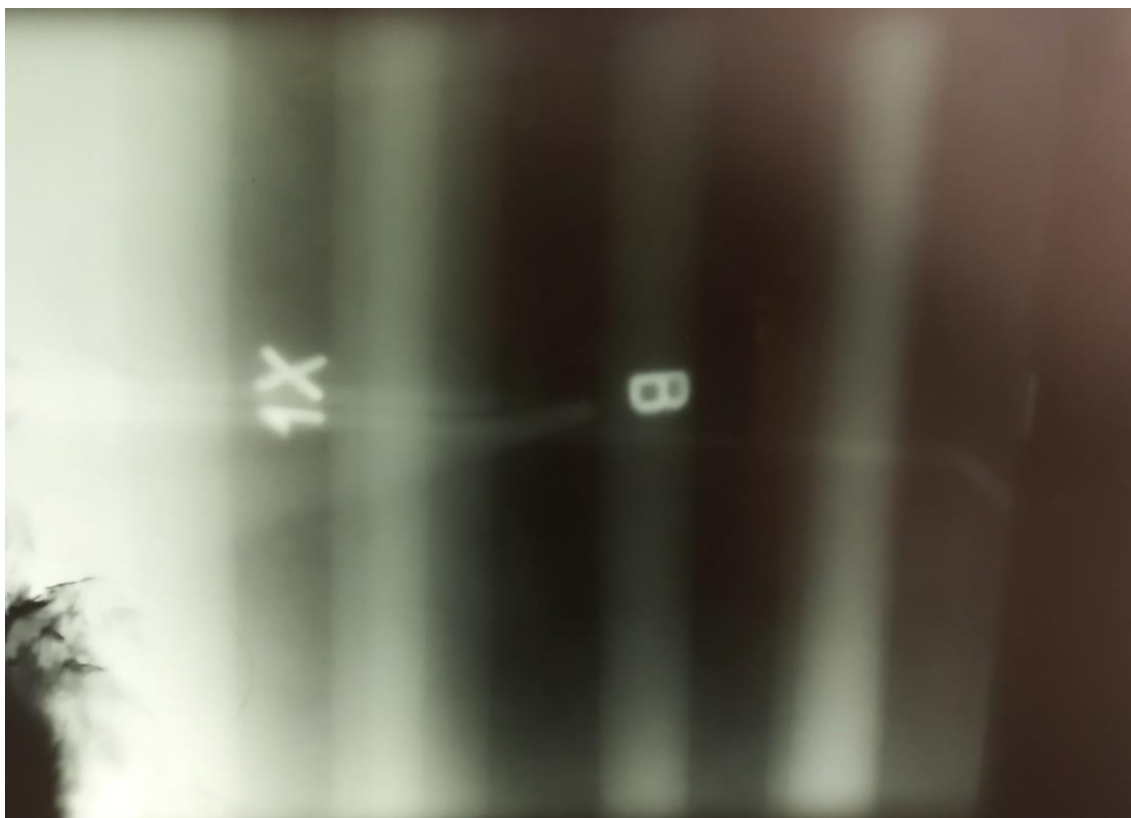


Obr. 3 Rotační laserový Scanner Dürer pro sejmutí obratu z paměťových folií

Využití radiografie v diagnostice konstrukcí

Nejčastějším využitím radiografie v diagnostice konstrukcí bylo právě stanovení vyztužení, zejména v silně vyztužených železobetonových konstrukcích, v nichž jsou pruty vyztuže uloženy těsně vedle sebe, popř. v několika vrstvách nad sebou a v konstrukcích, v nichž je ocelová vyztuž kryta velkou vrstvou betonu. Zde je nezbytné jako zdroj záření užít izotop Co60 (gamagrafie), který umožňuje prozáření tloušťek betonu cca do 1 m.

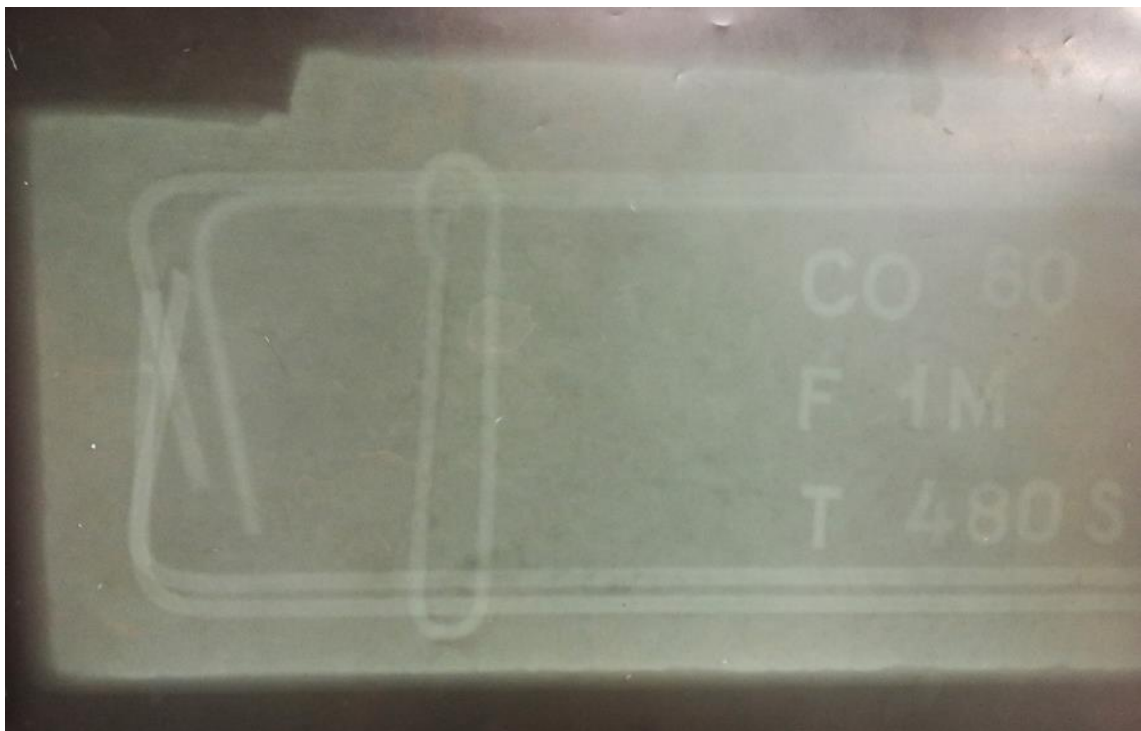
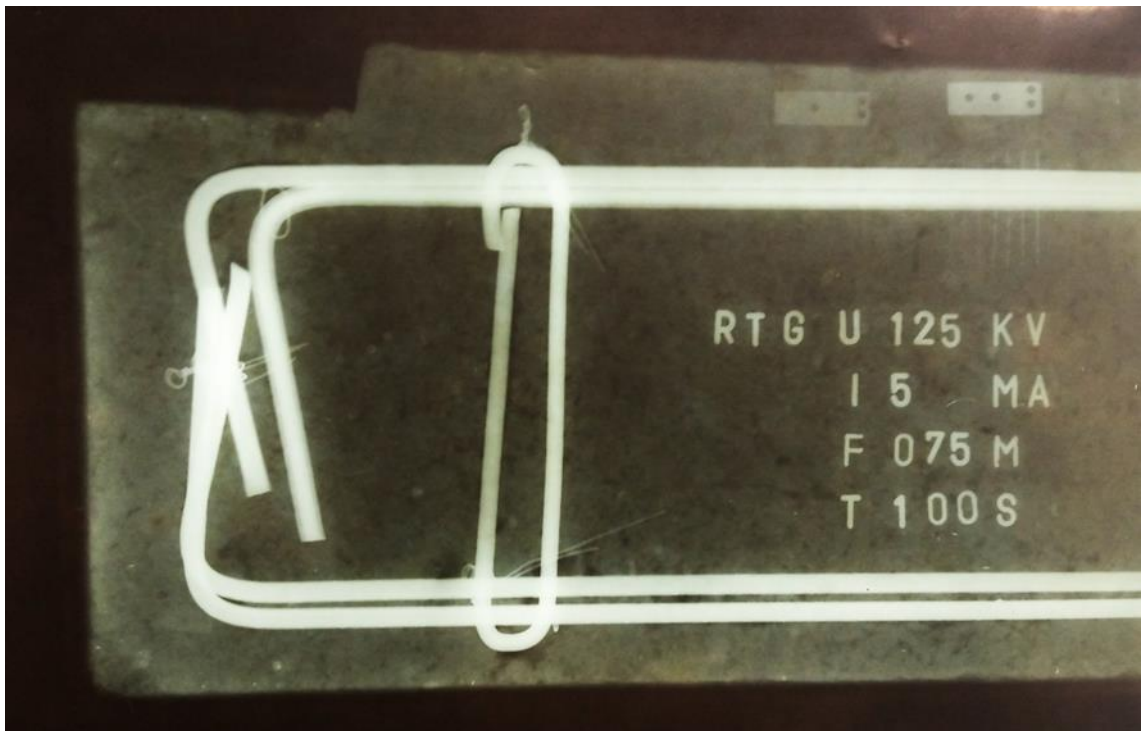
V posledních letech je radiografie stále častěji nástrojem pro posouzení správnosti vyztužení nových konstrukcí, kdy chyba v provedení vyztužení je často důvodem pro poruchy konstrukce. Radiografii lze rovněž užít při stanovení kontroly zainjektování předpínací vyztuže (viz, kapitola 4.3.2).



Obr. 4 Radiogram zachycující obraz výztuže v železobetonovém trámu uprostřed rozpětí –výztuž je uložena ve dvou vrstvách, nicméně díky pronikavost záření gama jsou všechny pruty detekovatelné



Obr. 5 Radiogram zachycující obraz výztuže v železobetonovém trámu technikou bočního prozařování (viz. Obr. 10) – na radiogramu jsou zachyceny pruty hlavní výztuže u spodního líce v blízkosti podpory, z nichž jeden pokračuje do podpory rovně, jeden se ohýbá dolů podél zešíkmení náběhu a vlevo je zachycen poslední ze smykových ohybů. Současně jsou dobře patrné dva třmínky přes celou šířku trámu



Obr. 6 Radiogramy téhož prvku (železobetonový prefabrikát tloušťky 70 mm vyztužený pruty výztuže Roxor 8 mm, Nahore gamagram, dole rentgenogram, je dobře patrná výrazně vyšší jakost rentgenogramu

Radiografie s užitím rentgenů (rentgenografie) se užívá v diagnostice železobetonových konstrukcí v případech, kdy je postačující limitní prozařovaná tloušťka betonu do 150 mm. V poslední době jde zejména o diagnostiku rozličných plastik, které jsou součástí konstrukcí

(nebo konstrukcí samotnou), či jako ideální postup k zobrazení makrostruktury různých zkušebních těles či vzorků (např. drátkobeton v kapitole 5). Vhodnost využití rentgenu k podobným účelům vyplývá i z faktu, že díky nižší energii záření mají radiogramy pořízené s užitím rentgenu (rentgenogramy) výrazně vyšší jakost (dáno kontrastem a ostrostí radiogramu), než odpovídající radiogramy pořízené s užitím gamazářiče (gamagramy).

Radiografie Co60 – praktické aspekty při prozařování prvků železobetonové konstrukce

Obvykle se zjišťuje vyztužení v místech působení největších ohybových momentů anebo posouvajících sil. V praxi to znamená např. u prostých nosníků dolní tahová výztuž uprostřed rozpětí a smyková výztuž u podpory, u spojitých nosníků navíc horní tahová výztuž nad podporou a podobně.

Jiným kritériem pro výběr míst může být zejména u nových konstrukcí předpokládané místo vady vyztužení odhadnuté na základě zjištěných poruch konstrukce.

Radiografické určení polohy výztuže je indikováno pouze tehdy, když selhávají jednodušší metody.

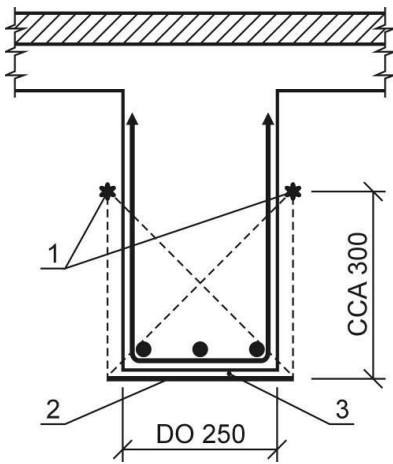
Podle typu a rozměrů prozařovaného prvku se volí poloha ohniska prozařování a poloha záznamového média (filmu) tak, aby bylo zajištěno ideální zobrazení předpokládané výztuže, a aby současně byl film exponován, pokud možno rovnoměrně. Současně se volí konfigurace prozařování tak, aby prozařovaná tloušťka nepřesáhla 300 – 350 mm (z důvodů omezení doby expozice).

V případě radiografie železobetonových trámů bývá zdroj záření umístěn často do předvrtaného otvoru dovnitř prvku, což je dobře možné díky malým rozměrům používaných izotopů (vrtá se otvor o průměru cca 16 mm). V případě železobetonových desek do tloušťky 300 – 350 mm se umísťuje zářič na povrch desky (a radiografický film na povrch protilehlý), v případě větších tlouštěk materiálu se opět izotop umístí do předvrtaných otvorů.

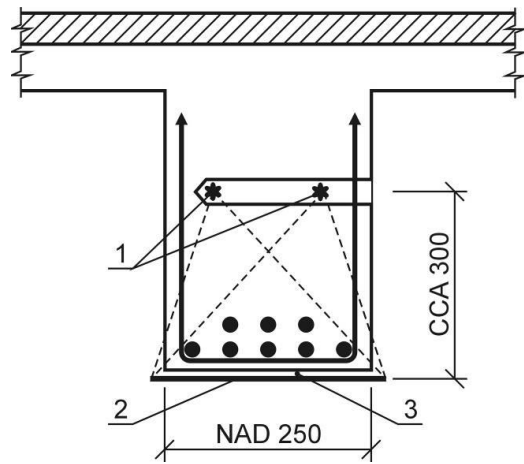
Každé místo se prozařuje postupně ze 2 a více ohnisek, aby bylo možné vyhodnotit polohu a průměr výztuží.

Na Obr. 7 – 12 jsou znázorněny základní geometrie prozařování v typických průřezích železobetonové konstrukce. Na všech obrázcích je vyznačena poloha: 1 – ohniska prozařování

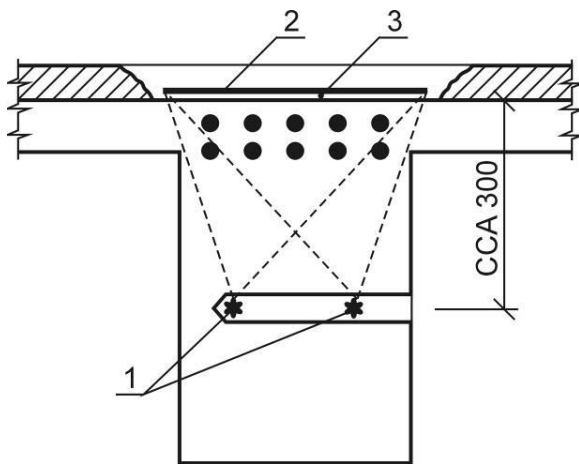
(polohy zdroje záření), 2 – radiografický film, 3 – olovené fixační značky (díky vysoké hustotě olova se dobře zobrazí na radiogramu a umožní přesnost geometrie při vyhodnocování).



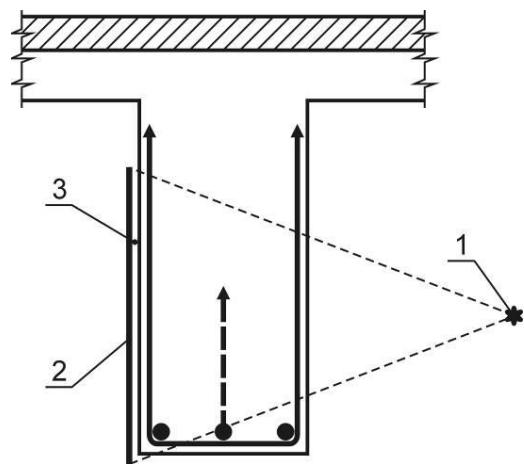
Obr. 7 Prozařování trámu do šířky 250 mm [7]



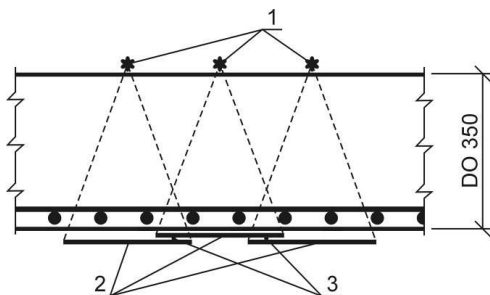
Obr. 8 Prozařování trámu o šířce nad 250 mm [7]



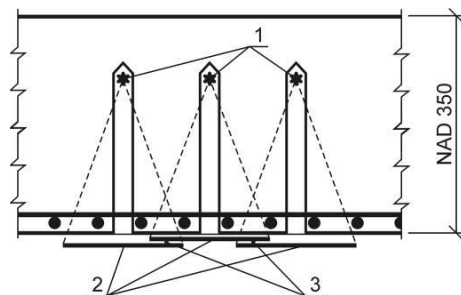
Obr. 9 Prozařování trámu – zjištění výztuže nad podporou [7]



Obr. 10 Prozařování trámu – zjištění polohy smykové výztuže [7]



Obr. 11 Prozařování desky – do tloušťky 350 mm [7]



Obr. 12 Prozařování desky – nad 350 mm [7]

Stanovení doby expozice, zčernání filmu

Při užití Co60 se ukázalo nejvýhodnější užití klasických radiografických filmů (díky vhodné dynamice zčernání). Paměťové folie jsou naopak vhodnější pro prozařování rentgenem.

Pro prozařování Co60 byl týmem Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně vytvořen program zahrnující veškeré parametry ovlivňující expoziční dobu, tedy aktivitu zdroje záření k příslušnému datu, prozařovaný materiál, ohniskovou vzdálenost, tloušťku materiálu, rozměry a citlivost radiografického filmu. Výsledkem je vlastní expoziční doba a zčernání filmu.

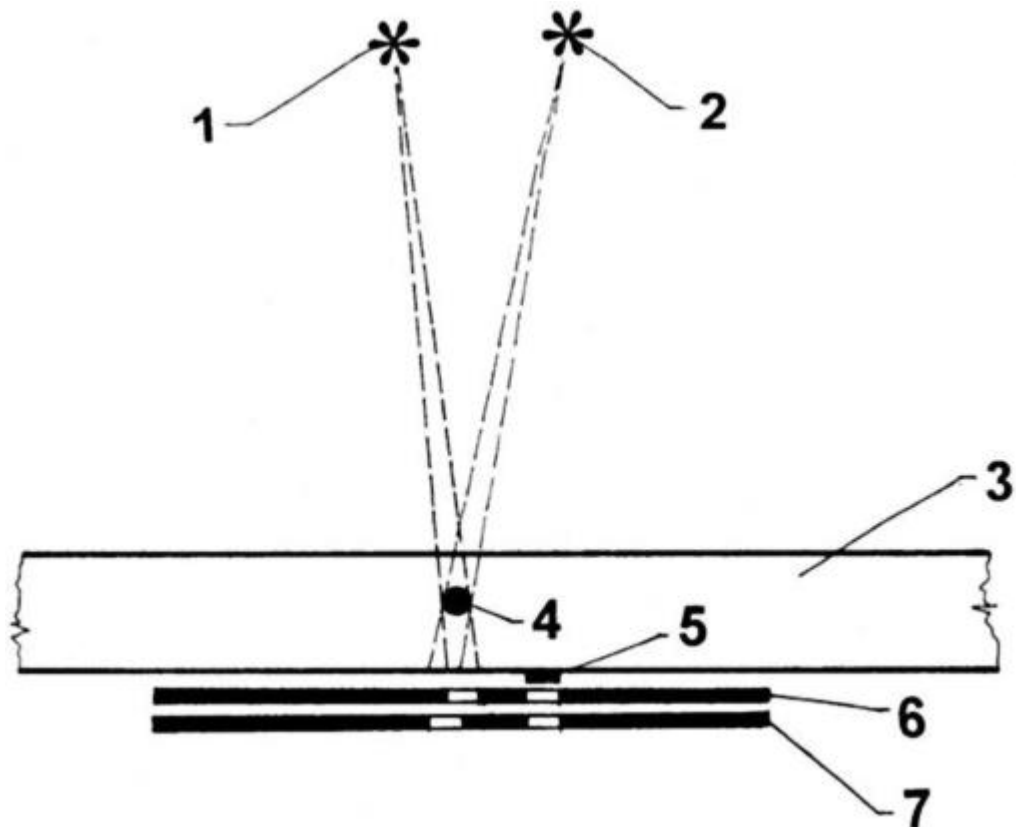
Zčernání filmu, nebo také optická hustota D , je definováno jako logaritmus opacity – opacita je poměr světla dopadajícího ku světlu prošlému filmem. Velikost zčernání lze měřit pomocí denzitometrů.

Doby expozice jsou stanoveny tak, aby zčernání ve středu filmu nabývalo hodnot cca $D = 2,5 - 3,0$, kdy dosáhneme nevyšší rozeznatelnosti a viditelnosti výztuže, dané vysokým kontrastem. Při nižších hodnotách postupně klesá kontrast radiogramů, a tím i možnost optimálního vyhodnocení, zejména při výskytu druhé vrstvy výztuže.

Vyšší zčernání okolo hodnoty $D = 3,5$ je ještě akceptovatelné, ale pouze při užití negatoskopu s vysokou svítivostí. Naopak nižší zčernání filmu často neumožňuje odpovídající vyhodnocení.

Vyhodnocení radiografie

Radiografické filmy se prohlíží a vyhodnocují na prohlížečkách – negatoskopech, elektronické výstupy digitálních záznamových médií pak v počítači. Rozložení výztuže v průřezích zkoumaných konstrukcí se nejčastěji zjišťuje graficky vnesením geometrie, v jaké byly průřezy snímkovány. Na výkres se vykreslí řez konstrukcí, poloha ohnisek zářičů během prozařování a umístění fixačních olověných značek. Právě od fixačních olověných značek na výkrese se začnou vynášet stopy výztuže, zjištěné po vyvolání rentgenových filmů. Zakreslené stopy výztuže se postupně propojují s oběma ohnisky. Průsečíky příslušných spojnic ohniska se stopami výztuže ohraničují polohu výztuže.



Obr. 13 Schéma principu vyhodnocování radiografické kontroly výztuže: 1 - první ohnisko prozařování, 2 - druhé ohnisko prozařování, 3 - železobetonová deska, 4 - prut ocelové výztuže, 5 - olověné značení, 6 - radiografický film z první expozice, 7 - radiografický film z druhé expozice [7]

Výsledkem radiografie je **přesné určení polohy a průměru všech výztuží** v daném místě železobetonové konstrukce.

V rámci výzkumu autora zveřejněného v rámci [38] bylo experimentálně ověřeno, že prakticky při všech běžně dosažitelných prozařovaných tloušťkách betonu (do 650 mm) je zaručena odpovídajícím rozdílem zčernání radiogramu jak detekovatelnost všech užívaných průměrů betonářských výztuží, nad 650 mm již jsou obtížně detekovatelné profily menšího průměru než 10 mm.

Co se týká rozeznatelnosti typu výztuže dle tvaru průřezu či žebírek, záleží na konkrétní poloze (natočení výztuže), ale do tloušťky betonu 300 mm je možnost určení pravděpodobná, zejména u větších průměrů výztuže.



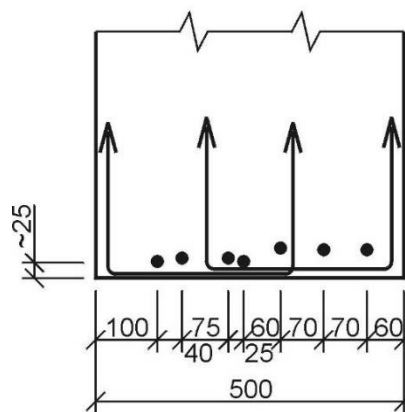
Obr. 14 Příprava prozařování železobetonového průvlastku uprostřed rozpětí [7]



Obr. 15 Detail místa prozařování s patrnou kazetou s radiografickým filmem, hadice pro vysunutí zářiče zasunutá do předvrtaného otvoru [7]



Obr. 16 Jeden z radiogramů, patrné 4 z hlavních výztuží, dobře jsou viditelné olověné značky [7]



Obr. 17 Výsledné vyhodnocení polohy výztuže [7]

Bezpečnostní opatření

Zásadním omezením radiografie je fakt, že při její aplikaci je využíváno ionizující záření, jež je lidskému zdraví škodlivé. V české legislativě je ochrana před zářením řešena Atomovým zákonem 263/2016 Sb. (tzv. Atomový zákon) a navazující vyhláškou č. 422/2016 Sb. (Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje).

Jako základ zákonných opatření byly stanoveny **limity ozáření**, jejichž překročení není z hlediska radiační ochrany přípustné. Tyto limity se vztahují na ozáření ze všech činností vedoucích k ozáření. Nezapočítává se však do nich ozáření přírodními zdroji (cca 3 – 5 mSv/rok), pokud nejsou záměrně využívány, dále ozáření v lékařství a další ozáření specifikovaná zákonem a vyhláškou (při výuce, při haváriích atp.).

Tyto limity jsou uvažovány jiné pro obyvatelstvo a jiné pro radiační pracovníky.

Obecné limity pro obyvatelstvo – se vztahují na průměrné vypočtené ozáření v kritické skupině obyvatel (v okolí pracoviště se zdroji ionizujícího záření). Tento limit efektivní dávky ze zevního i vnitřního ozáření činí 1 mSv/rok (výjimečně lze uvažovat hodnotu 5 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků).

Limity pro radiační pracovníky – součet vnějšího a vnitřního ozáření je stanoven hodnotou efektivní dávky 100 mSv za dobu pěti za sebou jdoucích kalendářních roků (v průměru 20 mSv/rok), přitom hodnota ozáření za jeden rok nesmí překročit 50 mSv.

Uvedené předpisy však pracují s principem optimalizace v rámci, neboť jsou reálně dosažitelné hodnoty ozáření mnohonásobně nižší. V důsledku těchto předpisů, a dalších souvisejících platných nařízení je provádění gamagrafie v terénu velmi obtížné, je třeba zajistit mimo jiné:

- V terénu vytyčení přechodného kontrolovaného pásma s vyloučením pohybu a pobytu osob z řad obyvatelstva v době prozařování.
- Kontrola dosažených dávkových příkonů a dávek na hranicích přechodného kontrolovaného pásma.
- Přeprava na místo kontroly vozidlem splňujícím předpisy ADR, řidič s certifikací pro přepravu nebezpečných nákladů, plánování trasy s ohledem na nepovolené části komunikací pro přepravu nebezpečných nákladů. Zřízení externího manažera přepravy.
- Hlášení místa a doby prozařování příslušným úřadům, včetně hlášení o trase a době přepravy.
- Pravidelné ověřování provozní stálosti a dlouhodobé stability zdroje záření certifikovaným orgánem.
- Certifikace personálu pro práci s významným zdrojem záření.

Všechny tyto aspekty vedly k tomu, že i poslední pracoviště, které provádělo terénní radiografii železobetonových konstrukcí izotopem Co60 (Ústav stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně) se této činnosti z ekonomických i organizačních důvodů vzdalo.

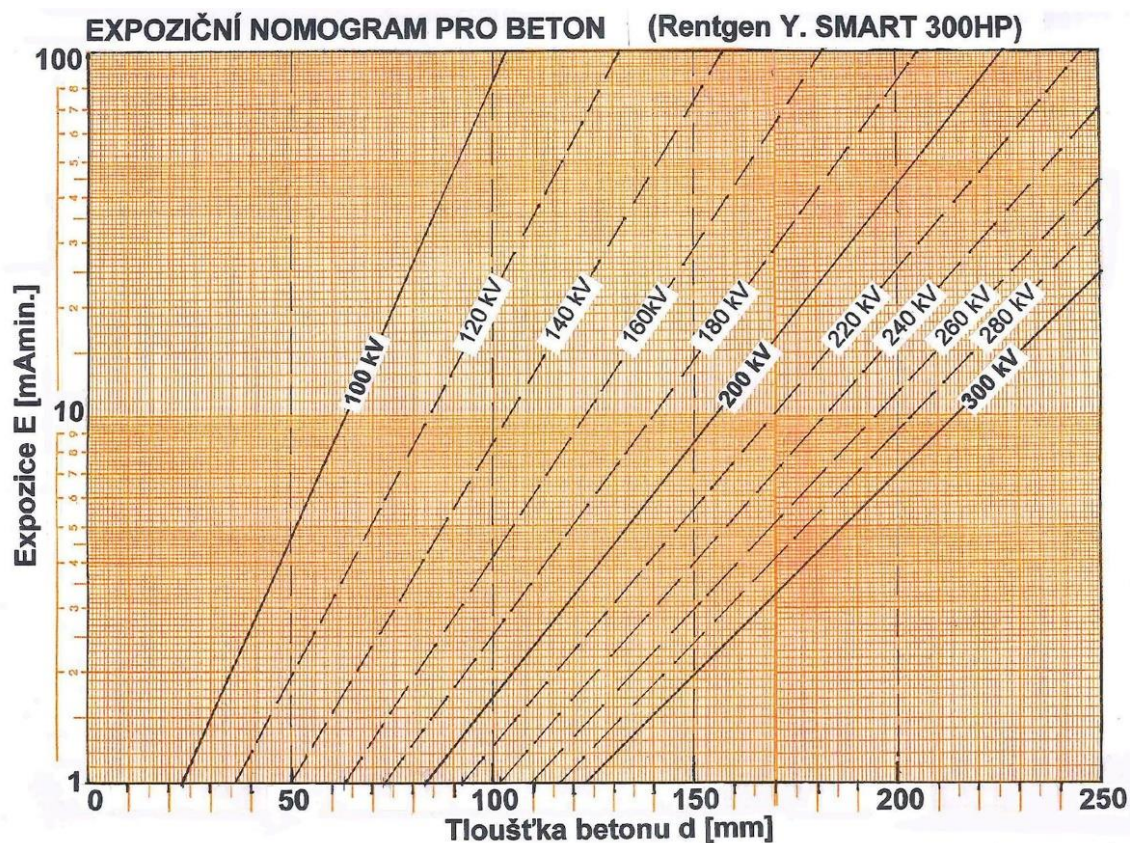
Nelze však vyloučit, že tato metoda bude pod tlakem investorů pro speciální případy obnovena.

Rentgenografie – perspektivní budoucnost

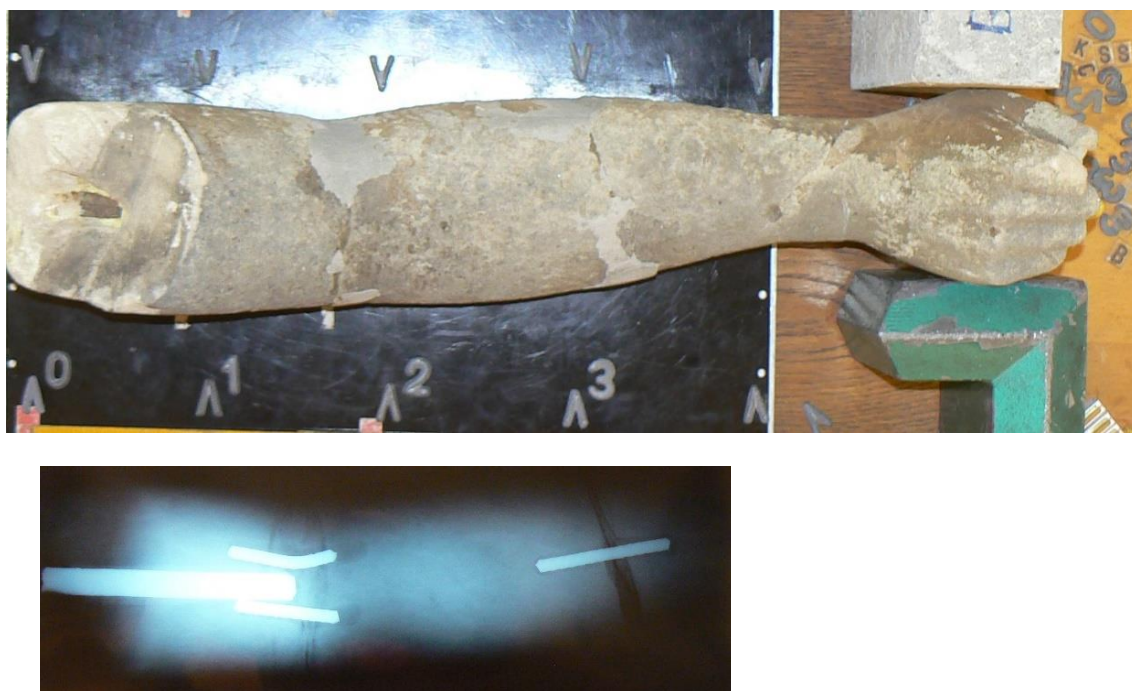
Jak již bylo naznačeno, výhodou rentgenografie oproti gamagrafii je výrazně vyšší jakost radiogramů. Na druhé straně umožňuje zdroj záření v případě železobetonu prozařování výrazně menších tloušťek (do 150 mm), a zdroj záření je výrazně rozměrnější. Primárně byly sice technické rentgeny určeny pro užití v ozařovnách, nicméně u moderních přístrojů není vyloučeno užití v terénu. Příznivý je zcela jiný přístup k rentgenům, z hlediska ochrany před zářením, vzhledem k tomu, že rentgen je zcela jinou kategorií zdroje záření, jeho záření je kolimováno a pro přepravu nejsou třeba žádná opatření.

Rentgenografie si díky tomu našla prostor jako náhrada gamagrafie při prozařování konstrukčních prvků s menší tloušťkou, například v oblasti prozařování plastik, tedy uměleckých děl, které jsou součástí konstrukcí, či konstrukcí samou (viz kapitoly 9.1 a 9.2), nebo při makroskopické kontrole vnitřní struktury experimentálních zkušebních těles a vzorků (viz kapitoly 5 a 9.3).

V souvislosti s rozšiřováním možností využití rentgenografie v kombinaci s novým využíváním digitálních záznamových médií (paměťové folie) jsou nově zpracovávány tzv. expoziční nomogramy pro volbu parametrů prozařování (proud na rentgence, napětí na rentgence, doba expozice) v závislosti na geometrii (tloušťka materiálu a ohnisková vzdálenost) a materiálu. K rentgenovým přístrojům se běžně dodávají expoziční nomogramy pro ocel, ale ty nelze jednoduše přetransformovat pro materiály jako je beton. Je třeba uskutečnit řadu expozičních pro různé vrstvy betonu na zvolený záznamový prostředek a pro různé nastavení energie na rentgenu.



Obr. 18 Experimentálně získaný nomogram pro beton a rentgen YXLON SMART 300HP v kombinaci s paměťovými foliemi Dürr [8]



Obr. 19 Příklad využití rentgenografie při diagnostice historické plastiky – ruka sochy Archanděla Gabriela z Malenovic, rentgenografie stanovila způsob někdejší opravy poškozeného díla vložením částí ocelových výztuží



Obr. 20 Rentgenografie hlavy plastiky Krista (Fakulta architektury VUT v Brně), patrné prostorové detaily a vyztužení připojení drapérie trnové koruny

3.4.2 Sekané sondy – destruktivní metoda

Tuto metodu nelze nezmínit. Spočívá v odstranění krycí vrstvy betonu a obnažení výztužných vložek v potřebném rozsahu. Navzdory její problematičnosti v řadě případů, je bohužel řadou subjektů stále užívána jako základní metoda pro ověření vyztužení prvků železobetonové konstrukce. Jde sice o řešení relativně nejlevnější a nevyžadující žádnou speciální technologii, kromě lidské síly a bouracího kladiva, nicméně jde o metodu problematickou. Negativa se dají shrnout do několika bodů:

- Dochází k poškození povrchu konstrukce, což je v řadě případů (zejména u nových konstrukcí) nevhodné, u některých konstrukcí (pohledový beton, vodonepropustné konstrukce) vysloveně nepřijatelné.
- V extrémním případě může dojít i k zásadnímu statickému oslabení v místě realizace sondy.
- Sekaná sonda nemusí odhalit u prvků vyztužených ve více vrstvách veškerou hledanou výztuž, což vede při statickém přepočtu k podcenění únosnosti konstrukce.

- Samotné odstranění krycí vrstvy výztuže ve značném rozsahu v kombinaci s nekvalitním zapravením, nebo jeho absencí může být v budoucnu zdrojem koroze.

Sekané sondy lze akceptovat jen jako pomocnou metodu, realizovanou v nezbytném minimálním rozsahu, jako prostředek např. k ověření průměru výztužného prutu v případech, že to není možné jinak, nebo pro kalibraci nedestruktivních metod, či pro určení druhu výztuže.

V případě, že k obnažení výztuže (zejména ve větší hloubce) slouží návrt (obvykle běžným vrtáním s příklepem, spíše výjimečně jádrovým vrtáním), lze hovořit o tzv. vrtané sondě.



Obr. 21 Příklad cílené sekané sondy pro určení typu výztuže
– sloup a konzoly jeřábové dráhy



Obr. 22 Příklad rozsáhlé sekané sondy
na trámu, pro určení výztuží ve druhé vrstvě
by musela být sonda podstatně rozsáhlejší

3.4.3 Elektromagnetické indikátory – nedestruktivní metoda

Jde svým způsobem již o tradiční metodu, která má kořeny hluboko v minulosti. Dnes je tendence ji někdy označovat dle zvyklostí západních zemí Eddy Current, tedy Metoda vířivých proudů. Poměrně sofistikované přístroje druhé generace byly k dispozici již počátkem 80. let 20. století.

„Metoda původně využívala magnetických vlastností hledaného materiálu. Starší přístroje vyhodnocovaly změnu magnetického odporu magnetického obvodu. Stabilita měření byla ovlivněna jednak závislostí magnetických vlastností jádra vyhledávací cívky na teplotě, a též rušivými účinky cizích magnetických polí včetně magnetického pole země.

V poslední době je využívána metoda založená na pulsně – indukční technologii, která má cívky vyhledávací hlavy bez magnetického jádra, a tudíž je odolná vůči výše uvedeným vlivům. Princip metody je popsán v [13], porovnání citlivosti přístrojů je uvedeno např. v [14].

Metoda má oporu i v platných normách, zejména v ČSN 73 2011 [15], která je však zaměřena spíše na starší typy přístrojů“ [9].

V současnosti je v České republice (a šířeji i v Evropě) dosud využívána poměrně široká plejáda přístrojů, několika generací, od několika výrobců. Zařízení se liší uspořádáním, i měřicím výkonem, ovlivňujícím citlivost a hloubkový dosah sondy. Lze konstatovat, že v oblasti profesionálních přístrojů dominují firmy Proceq (která představuje tradičního výrobce této techniky, jehož výrobky se v oboru diagnostice konstrukcí používají již mnoho desítek let) se svojí řadou Profometer, zatím nejnovějším produktem jsou přístroje šesté generace Proceq Profometer PM 600/630/650, a dále firma Hilti svojí řadou Ferrosan, s posledním modelem Hilti PS300 Ferrosan. Oproti starším generacím přístrojů mají obě uvedené sondy pojezd detekující ujetou dráhu po povrchu konstrukce. To je další zásadní odlišnost od starších či jednodušších přístrojů, kdy bylo třeba po indikaci výztuže pod sondou zakreslit její polohu na povrch konstrukce.



Obr. 23 Proceq Profometer PM 630, s oddělenou měřicí sondou. Profometer PM-6 s dotykovým displejem a integrovanou sondou; svítící šipky na sondě pomáhají lokalizovat výztuž, na displeji lze ihned kontrolovat správnost měření pomocí křivek intenzity signálu [9]



Obr. 24 Hilti PS300 Ferrosan se sondou integrovanou s vyhodnocovací jednotkou a displejem [10]

Pro výrobky Proceq je typická samostatná sonda, spojená s měřicí jednotkou kabelem, zatímco Hilti preferuje kompaktní sondu s integrovaným displejem, cenou za toto řešení jsou výrazně vyšší rozměry sondy, výhodou je naopak společný vyhodnocovací software pro kombinaci s georadarem Hilti PS1000 X-scan. Pro obecnou diagnostiku konstrukcí se jeví svými vlastnostmi výhodnější výrobek Proceq. Pracovníci ústavu stavebního zkušebnictví měli

možnost intenzivně jako první v České republice rozsáhle testovat model PM 630, a nadále jej intenzivně využívají v rámci diagnostiky konstrukcí. Proto bude nadále v této práci popisovaná diagnostika směřovaná na použití tohoto zařízení.

Metoda je předurčena pro určování relativně jednodušších typů vyztužení, důvodem jsou omezení daná fyzikálním principem metody. V rámci měření se sonda pohybuje po povrchu konstrukce v liniích s indikací výztuže, přes kterou sonda „přejede“. Poslední modely umožňují i plošné měření s řadou pojezdů ve dvou navzájem kolmých směrech, vzhledem fyzikálním omezením této metody může být takové měření někdy zavádějící.

Na druhou stranu devízou těchto nejmodernějších přístrojů je možnost určení průměru výztuže za optimálních podmínek, daných vzdáleností okolních prutů, ale i současnou možností kalibrace v závislosti na vzdálenosti okolních výztuží.

Omezující faktory:

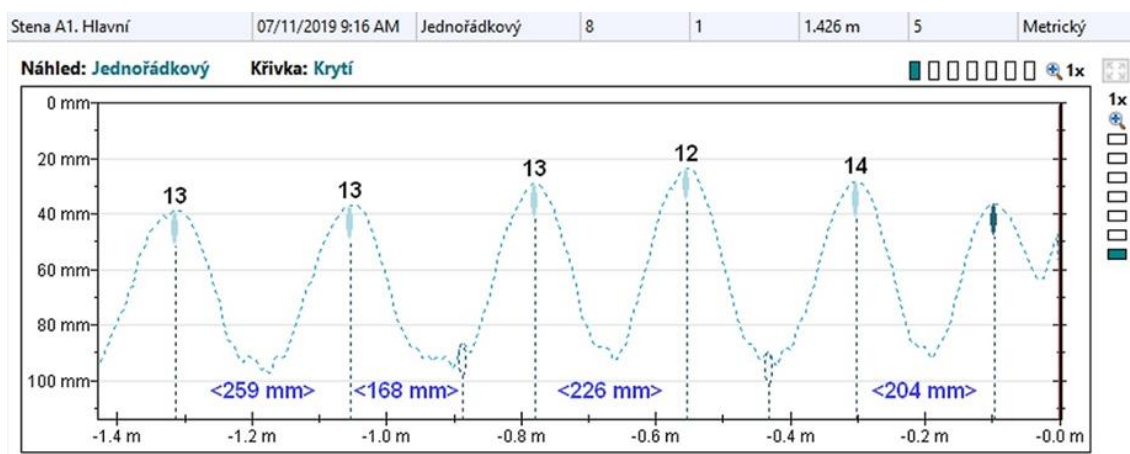
- Hloubkový dosah – obecně – při použití běžných sond 60 mm až 100 mm, při použití hloubkových sond ve výjimečně příznivých případech 150 mm až 200 mm [9].
- Blízkost sousední výztuže – pruty příliš blízko u sebe nejsou rozlišitelné – zde záleží rozlišitelnost vzdálenosti prutů od sebe v kombinaci s hloubkou pod povrchem betonu.
- Je možné detekovat jen vrstvu výztuže nejbližší povrchu.
- Není možné stanovit druh výztuže ani její korozi.
- U starších modelů byla omezujícím faktorem přítomnost elektromagnetických polí vytvářených např. stejnosměrnou elektrickou trakcí. V takových případech nebylo měření možné.

Kromě toho nelze opomenout skutečnost, že ve složitějších případech vyztužení je k úspěšnému měření zapotřebí značných zkušeností obsluhy [9]. Proto je doporučeno před použitím konkrétního přístroje testovat na modelu citlivost přístroje zejména ve složitějších variantách vyztužení, tedy případy hloubkového dosahu v kombinaci s typy a průměry výztuží, rozlišitelnost výztuží v závislosti na jejich vzdálenosti a hloubce pod povrchem. Měření mohou zejména u starších modelů ovlivnit magnetické složky v použitém kamenivu, zcela znemožnit může měření například použití kovové rozptýlené výztuže (drátkobeton).

Vzhledem k tomu, že v dalších částech práce bude v rámci stanovení vyztužení konstrukcí používán téměř výhradně přístroj Proceq Profometer PM 630, další popis vlastností bude zaměřen na tento typ.

„Šestá generace přístrojů Profometer PM-6 (typ 600, 630, 650) se od předchozích typů výrazně odlišuje. Přístroj Profometer PM-630 využívá moderní dotykový displej umožňující okamžité zobrazení průběhu měření, což přispívá ke kontrole postupu měření v reálném čase. Sonda je integrovaná (bodová, směrová, hloubková i průměrová), lze ji snadno vložit do rámečku (měřiče dráhy) se čtyřmi kolečky. Kromě tradiční zvukové signalizace je přímo na sondě i světelná signalizace – dvě šipky a kruh, která usnadňuje lokalizaci výztuže i v náročných podmínkách stavby. Po přejetí výztuže šipka ukáže směr, kterým je třeba se vrátit, v případě vystředění sondy přesně nad výztuží se rozsvítí červený kruh. V tom okamžiku lze nejen výztuž zakreslit, ale rovněž změřit její průměr. Ovládací tlačítko je přitom jak na dotykovém displeji, tak i na boku sondy. Všechny tyto detaily přispívají k většímu komfortu obsluhy přístroje Profometer PM-630, který má kromě základního vyhledávacího režimu rovněž liniové skenování v jedné nebo více liniích. Vyšší model PM-650 má navíc k dispozici plošné křížové skenování pro vykreslení výztuže v obou směrech“ [9].

Možnosti měření přístrojem Profometer PM-630, včetně řady praktických případů byly podrobně popsány v [9], proto zde nebudou opakovány. Je třeba ale opakovat, že i u takto sofistikované sondy je nezbytná zkušenost obsluhy, a ověření různých aspektů měření na modelech i adekvátních reálných konstrukcích.



Obr. 25 Příklad záznamu přístroje PM-630 z měření polohy hlavní výztuže ve stěně železobetonového podchodu v areálu vápenky Mokrá - liniový sken hlavní výztuže ve stěně s nedestruktivním měřením průměru výztuže. Krytí výztuží: 24 až 40 mm. Průměr: naměřený 12-14 mm, skutečný (ověřený sondou) 12 mm. Mírná disproporce v naměřených hodnotách jde na vrub druhu výztuže TOR 30 se spirálovitě kroucenými podélnými žebry, která opticky (i elektromagneticky) rozšiřují průměr výztuže [12]

Přístroj Profometer PM-630 představuje na základě rozsáhlých testů absolutní špičku, zejména ve srovnání s předchozími typy elektromagnetických indikátorů výztuže.

„Mezi největší přínosy patří:

- *Samostatná sonda se snadným vsazením do měřiče dráhy.*
- *Světelné ukazatele na sondě pro snadné vystředění sondy.*
- *Snadné měření průměru výztuže pomocí tlačítka na sondě.*
- *Okamžité znázornění hledané výztuže na liniovém skenu včetně křivky krytí nebo intenzity signálu. Jedná se o důležitý kontrolní mechanismus, pomocí něhož lze eliminovat „šumy“.*
- *Záznam dat včetně údajů o roztečích a velikosti krytí.*
- *Přehledný dotykový displej s intuitivním ovládáním.*
- *Grafické znázornění výsledků.*
- *Možnost korekce sousední výztuže při měření průměru“ [9].*

Pro užití v diagnostice konstrukcí lze doporučit používání nejmodernějších přístrojů této kategorie. V praxi jsou doposud často užívány přístroje starší, či jednodušší, se všemi z toho vyplývajícími omezeními.

Pro stanovení měřících postupů a metodiky je v dalších kapitolách uvažována sonda Proceq Profometer PM 630.

3.4.4 Georadar

Georadar – teoretický základ

Georadar (v anglofonní oblasti GPR – ground penetrating radar) je metoda založená na principu vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů (frekvence řádově stovky MHz až jednotky GHz) do zkoumaného prostředí a na následné registraci jejich odrazů od překážek. Dosah georadaru dle prostředí činí až 15 m. Metoda je dnes již standardně využívána k lokalizaci nehomogenit v zemním prostředí (archeologické průzkumy, vyhledávání polohy potrubí apod.), dále k lokalizaci dutin za stěnami a ostěním tunelů, chodeb a stok a v poslední době je metoda využívána pro lokalizaci ocelové výztuže a dalších nehomogenit v betonu při diagnostice železobetonových konstrukcí [16].

Georadar je nedestruktivní diagnostická metoda. Vysílací anténa (transmitter) generuje vysokofrekvenční elektromagnetický puls, který se šíří zkoumaným prostředím. Přijímač (receiver) přijímá v nastaveném časovém okně pulzní odezvu. K odrazu elektromagnetických

vln dochází na každém rozhraní změny elektromagnetických vlastností prostředí srovnatelných s vlnovou délkou signálu. Registrovanou veličinou je intenzita odražené vlny zaznamenávaná v diskrétních časových okamžicích. Měření lze provádět s velmi hustým krokem měření a získat tak prakticky kontinuální obraz zkoumaného prostředí. Z rychlosti šíření elektromagnetického vlnění prostředím lze čas příchodu přepočítat na hloubku odrazného rozhraní od povrchu. Rychlost šíření u nemagnetických materiálů je závislá především na relativní permitivitě zkoumaného materiálu podle vzorce:

$$v = \frac{c}{\varepsilon^{1/2}} \quad (5)$$

kde je v rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím, v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

c rychlost šíření vakuem, v $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;

ε relativní permitivita prostředí, -.

Útlum elektromagnetického signálu α (dB/m) a s tím související maximální hloubka průniku signálu H (m) jsou závislé především na vodivosti prostředí σ ($\text{S}\cdot\text{m}$). Pro nemagnetické materiály lze pro výpočet koeficientu útlumu a použít rovnici:

$$\alpha = \frac{1,64 \cdot \sigma}{\varepsilon^{1/2}} \quad (6)$$

kde je σ vodivost prostředí, v $\text{S}\cdot\text{m}$;

ε relativní permitivita prostředí, -.

Pro vysokofrekvenční elektromagnetické pulzy 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.

Na rozhraní dvou prostředí se skokovou změnou elektromagnetických vlastností dochází k odrazu části signálu.

Schopnost georadarové metody detekovat nehomogenity závisí na mnoha faktorech. Významnou roli hraje velikost anomálie, 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. Pro výpočet vlnové délky lze použít následující vztah:

$$\lambda_L = \frac{v}{f} \quad (7)$$

- kde je λ_L vlnová délka, v m;
 v rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím, v $m \cdot s^{-1}$;
 f střední frekvence vysílaného signálu, v Hz.

Zařízení pracující s anténami o vyšších frekvencích mají tedy větší rozlišovací schopnost, nevýhodou je však menší hloubkový dosah. Citlivost měření je rovněž závislá na poměru mezi užitečným signálem a šumem, tedy např. na „odladění“ aparatury, intenzitě okolního rušení (elektromagnetický smog) atd. [17].

Zatímco ve světě, především v USA, patří georadar ke standardně používaným diagnostickým metodám a na toto téma se pořádají specializované odborné konference, v České republice není metoda GPR ve stavebnictví zatím příliš rozšířená a odbornou veřejností dostatečně akceptovaná. Lze konstatovat, že příčina spočívá nejspíše ve faktu, že donedávna používané aparatury se vyznačovaly komplikovaností, zdlouhavostí měření a vyhodnocení měření vyžadovalo značnou odbornou erudovanost obsluhy. Přelomem se stal přístroj Hilti PS 1000, určený pro užití řadovými technikami při provádění stavebně technických průzkumů.

Způsob zobrazení nehomogenit v materiálu georadarem, a georadary v nedávné minulosti

K rozvoji využívání georadaru při diagnostických průzkumech dochází v Evropě především od poloviny první dekády tohoto století, a to hlavně v souvislosti s rozvojem měřicí techniky, kdy přední výrobci georadarových systémů uvedli na trh vysokofrekvenční antény (10^9 Hz) s dostatečně vysokým rozlišením detekovatelných nehomogenit $10^{-2} - 10^{-3}$ m. Nevýhodou dosud užívaných systémů byly jednak velké rozměry užívaných antén, a především náročnost vyhodnocení georadarových skenů. Přes snahu některých subjektů, např. firmy Inset s.r.o. se pro zmíněné výhrady nedařilo zařadit georadar mezi běžně a standardně užívané metody při provádění stavebně technických průzkumů.

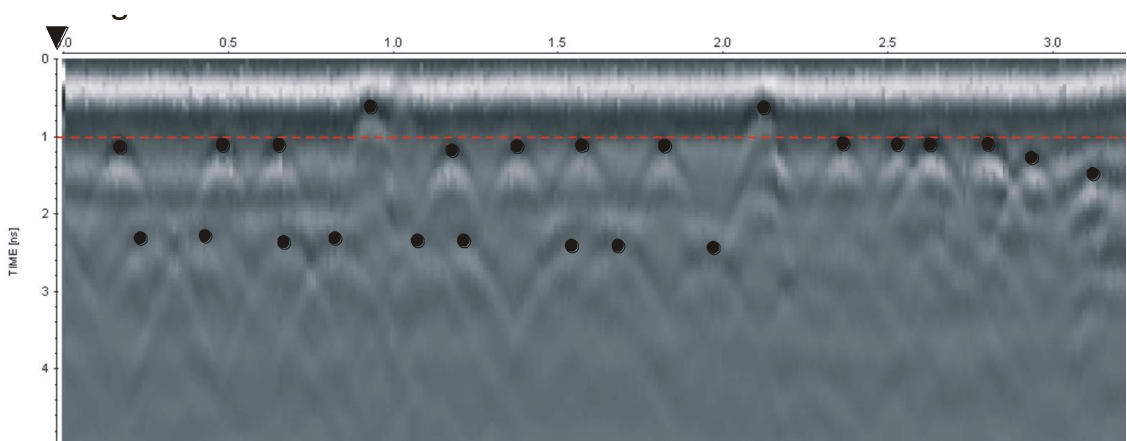
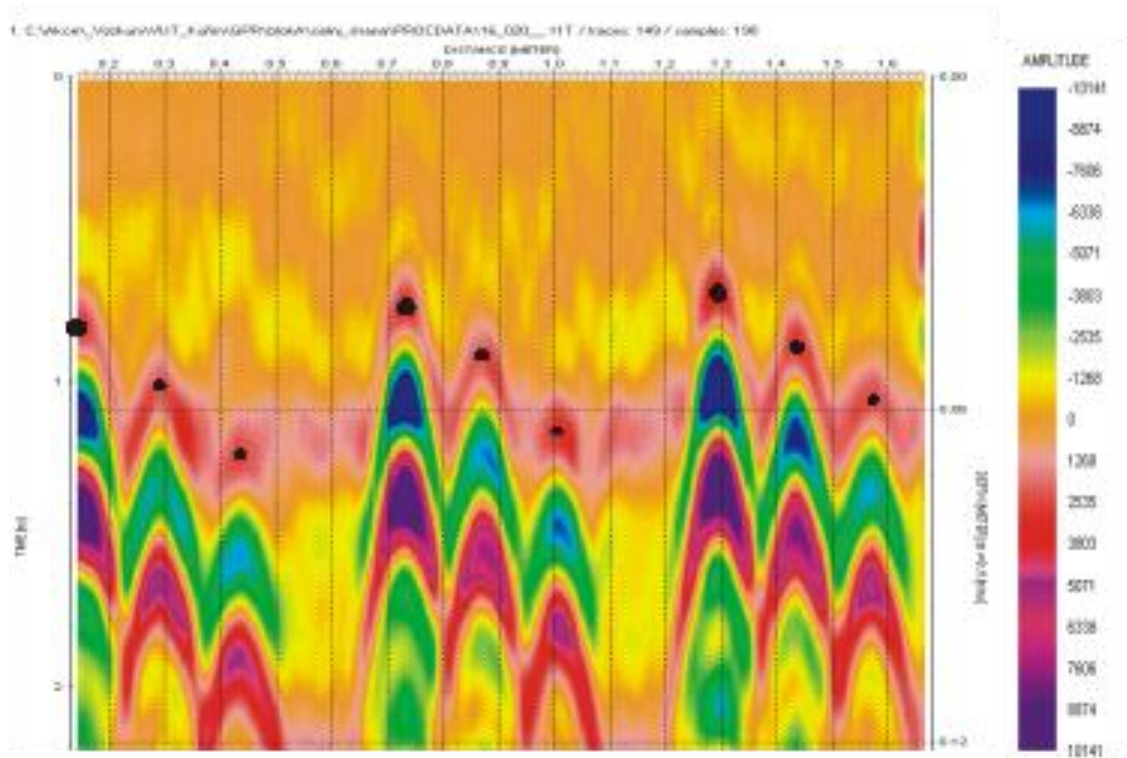
Jedním z důvodů byla nevhodnost stávajících zařízení, určených primárně pro geotechniku či archeologii, pro diagnostiku železobetonových konstrukcí. Vlastnosti a možnosti zařízení jsou limitovány v souvislosti s vysílací frekvencí antény. V tab. 5 je patrná závislost hloubkového dosahu na vysílací frekvenci, navíc vyšší hloubkový dosah je „vykoupen“ menší citlivostí, tedy větší ideální velikostí cílového detekovatelného objektu. Právě pokusy uplatnit v diagnostice železobetonu geotechnické radary s nižšími frekvencemi vedla zpočátku u odborné veřejnosti k nedůvěře v tuto technologii.

Tab. 5 Vhodné frekvence antény související s hloubkou zobrazení a velikostí cíle [18]

Frekvence antény související s hloubkou zobrazení a velikostí cíle			
Typická doba trvání pulzu	Střední frekvence antény	Přibližná hloubka zobrazení	Přibližná velikost cíle
[ns]	[MHz]	[m]	[m]
1,0	1500	0,3	0,03
1,5	1000	1,0	0,10
3,0	500	2,0	0,20
6,0	250	3,0	0,30
15,0	100	5,0	0,50
30,0	50	10,0	1,00
75,0	20	20,0	2,00

Z tabulky jasně vyplývá, že pro diagnostiku výztuží by byly optimální sondy s vysokou frekvencí (1,5 GHz a vyšší), pochopitelně s vědomím nižšího hloubkového dosahu (řádově desítky cm).

Druhou problematickou okolností, která bránila zařazení georadarů mezi běžně užívané technologie v diagnostice konstrukcí patřil tradiční způsob výstupů ze zařízení a jeho komplikované vyhodnocování, do značné míry závislé na odborné erudici a zkušenostech obsluhy. Standardní výstup z georadarového měření, kdy se sonda pohybuje lineárně po povrchu má podobu podélného řezu zkoumaným prostředím. V tomto zobrazení je poloha nehomogenit určována určujeme z vrcholů hyperbolických zobrazení odrazů radarového signálu v georadarovém skenu. Interpretace těchto skenů je výsadou odborníků s rozsáhlými zkušenostmi [19].



Obr. 26 Dvě ukázky georadarových skenů tzv. radarogramů – s charakteristickými projevy prutů ocelové výztuže v železobetonu, kdy polohu výztuží určujeme z vrcholů hyperbolických zobrazení odrazů radarového signálu v radarogramu. V obou případech byly do vrcholů odrazových hyperbol pro názornost vloženy černé tečky označující skutečnou polohu detekovaných výztuží [20]



Obr. 27 Ukázka experimentálního měření na mostní podpěře anténním systémem 500 MHz [17]

Nicméně z provedených experimentů bylo zjevné, že georadarové měření je schopno detekovat betonářskou výztuž i v několika vrstvách, samozřejmě s drobnými omezeními danými geometrií vzájemné polohy měřicího zařízení a výztuží.

Sonda Hilti PS1000 X-scan – přelom možnosti využití georadaru v diagnostice železobetonu

Přelomem ve využívání principu georadaru při stavebně technických průzkumech se stalo uvedení na trh přístroje PS1000 X-scan výrobce Hilti. Jak konstrukce zařízení, tak používaný software, jsou přímo určeny pro diagnostiku železobetonu s předpokládanou možností určit jak polohu ocelových výztuží, tak dalších případných nehomogenit v prvcích betonových konstrukcí. Na rozdíl od klasických georadarů je sonda určená k pohybu po povrchu konstrukce relativně malá, a pro dokonalé určení polohy i několika objektů ležících nad sebou je osazena trojicí antén. Vzhledem k tomu, že na volbě vysílací frekvence závisí jednak hloubkový dosah zařízení, jednak minimální velikost detekovatelného objektu zvolil výrobce řešení – vysílací frekvence 2 GHz, umožňující detekci objektů s následující přesností:

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

Údaje o přesnosti jsou spíše orientační, při přesném a správném měření je přesnost prostorového určení objektu vyšší.



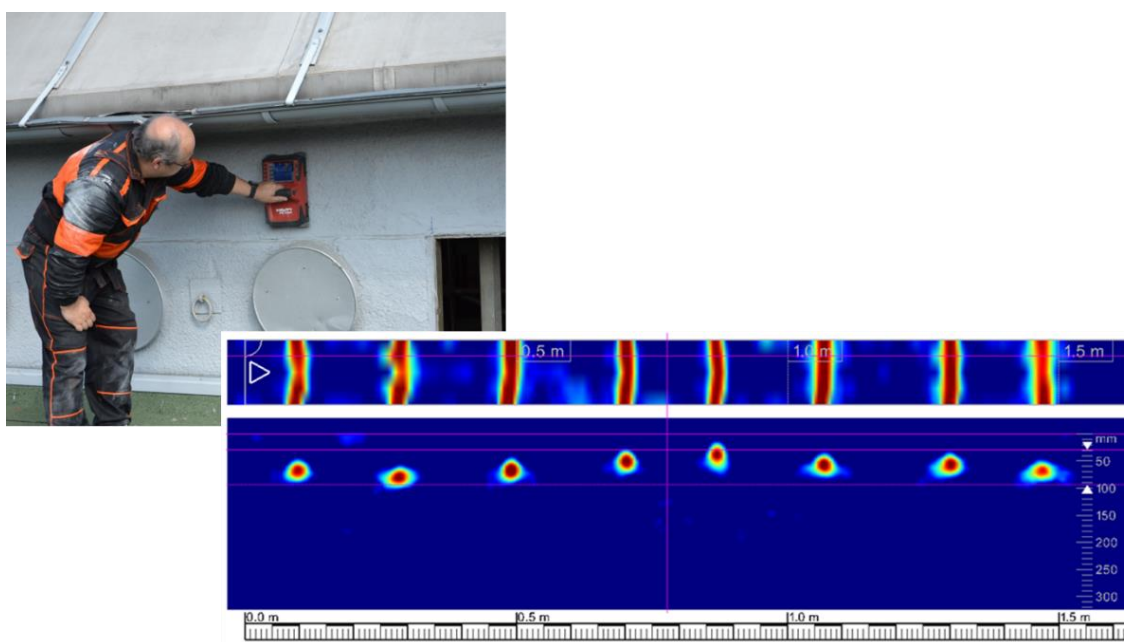
Obr. 28 Vlastní georadarová sonda Hilti PS1000 X-scan má relativně malé rozměry ($310 \times 180 \times 150$ mm), opatřená displejem pro okamžitou vizualizaci skenů (vlevo). Výrobce alternativně dodává k sondě terénní tablet pro možnost rozsáhlejšího vyhodnocení skenů v terénu (vpravo) [21]

Pohybem koleček vozíku sondy je detekován a zaznamenáván její pohyb po povrchu konstrukce. Zde je potřeba kvitovat pozitivně fakt, že pohyb každého pojezdového kola je snímán samostatně a záznam dráhy je odvozen od záznamu kola, které se v daném okamžiku pohybuje nejvíc, což eliminuje chybný záznam dráhy na nerovném povrchu, kde není celý podvozek v kontaktu s povrchem.

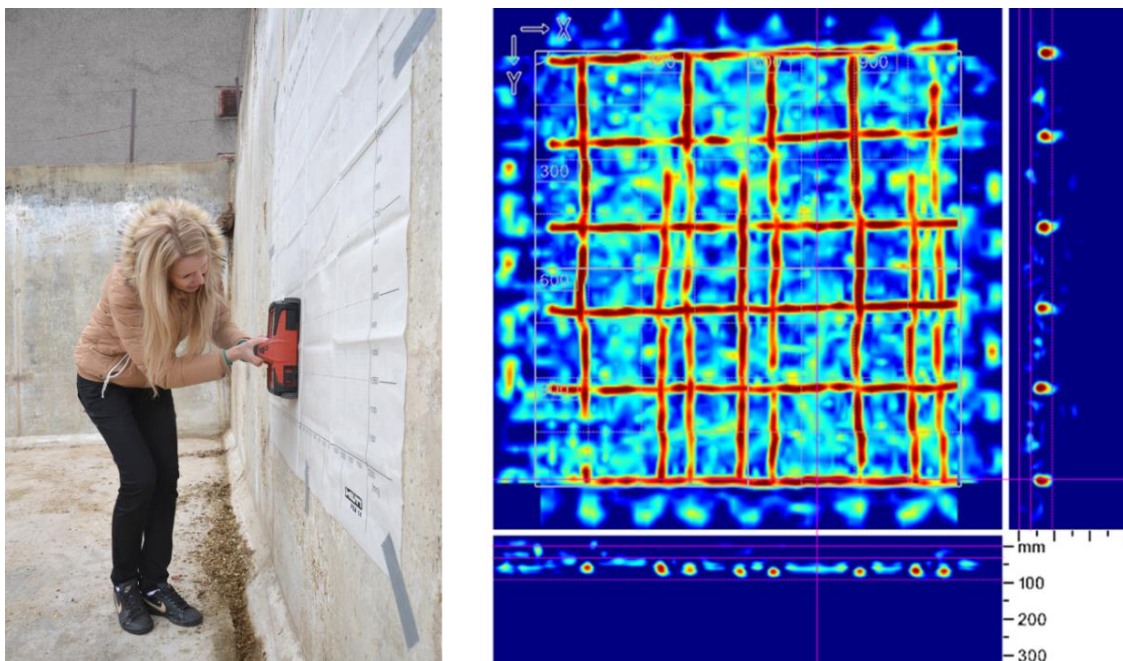
Sonda umožňuje v principu dva typy skenování liniové a plošné. V praxi lze použít buď jednodušší liniový sken délky až 10 m (pohyb sondy jen v jednom směru, zde je použití do jisté míry analogické k užívání magnetického indikátoru výztuže), nebo lze užít plošný sken, kdy sondou pohybujeme po povrchu konstrukce v předem nastaveném rastru ve dvou na sebe kolmých směrech buď na ploše 600×600 mm nebo 1200×1200 mm.

Připojený software poté přímo vytváří na monitoru jak sondy, tak později v počítači nebo dodaném tabletu, přímo vykreslení polohy zachycených objektů, a to buď jako 2D zobrazení (půdorys skenované plochy + řezy u liniového skenu, nebo půdorys skenované plochy + řezy ve dvou na sebe kolmých rovinách), nebo přímo 3D zobrazení skladby zjištěných objektů ve zkoumané části konstrukce. V softwaru je rovněž možné upravovat při vyhodnocování skenu řadu parametrů souvisejících s vlastnostmi betonu a ovlivňujících např. přesnost měření hloubky objektů. Stejně tak je možné využít i původní surová data v podobě hyperbol (viz kapitola 7.2.3).

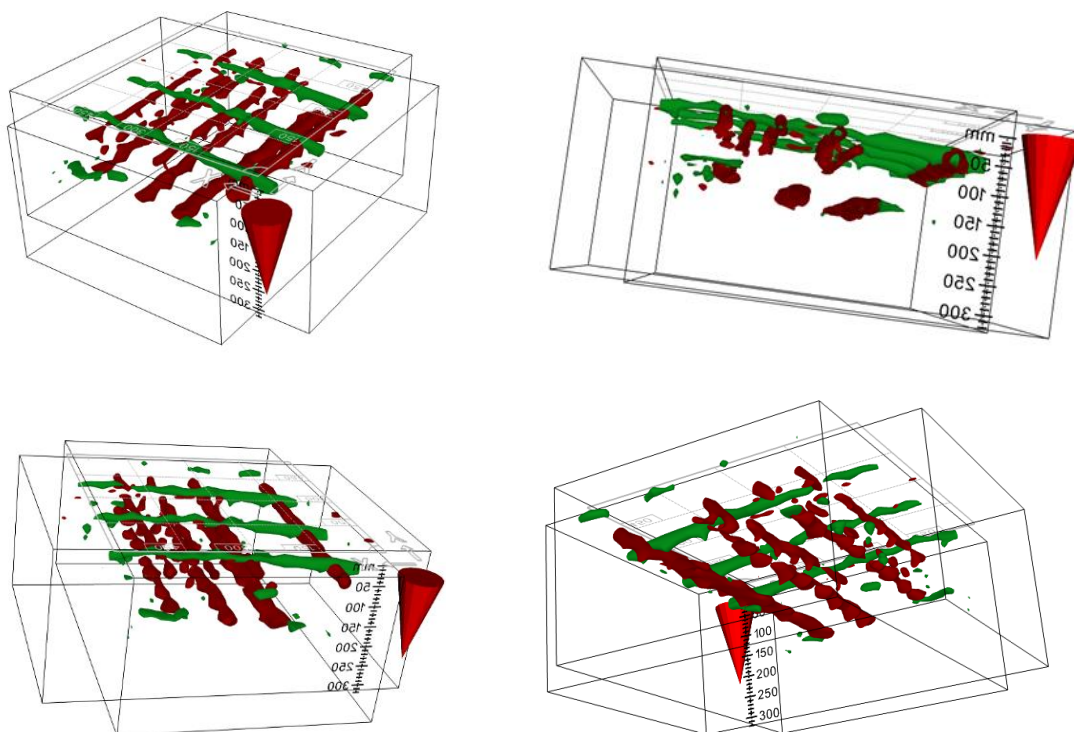
Obrovskou výhodou je to, že sonda je osazena ne jednou, ale hned třemi anténami, které provádí souběžně měření. Každý sken jsou de facto 3 skeny vzdálené od sebe cca 8,5 cm. Proto je možné i při liniovém skenu zaznamenat úhel, pod kterým výztuže kříží dráhu sondy (viz kapitola 7.3.2).



Obr. 29 Liniové skenování na boku průvlaku železobetonové konstrukce a výstup v podobě softwarem upraveného skenu, který je v horní části tvořen pohledem na skenovanou dráhu sestaveným z údajů trojice antén, v dolní části pak podélným řezem vycházejícím z původního radarogramu s odrazovými hyperbolami



Obr. 30 Plošné skenování na rastru 1200×1200 mm přilepeném na povrch konstrukce železobetonové stěny, a výstup v podobě softwarem upraveného skenu, který je tvořen pohledem na skenovanou plochu a řezy ve dvou na sebe kolmých rovinách

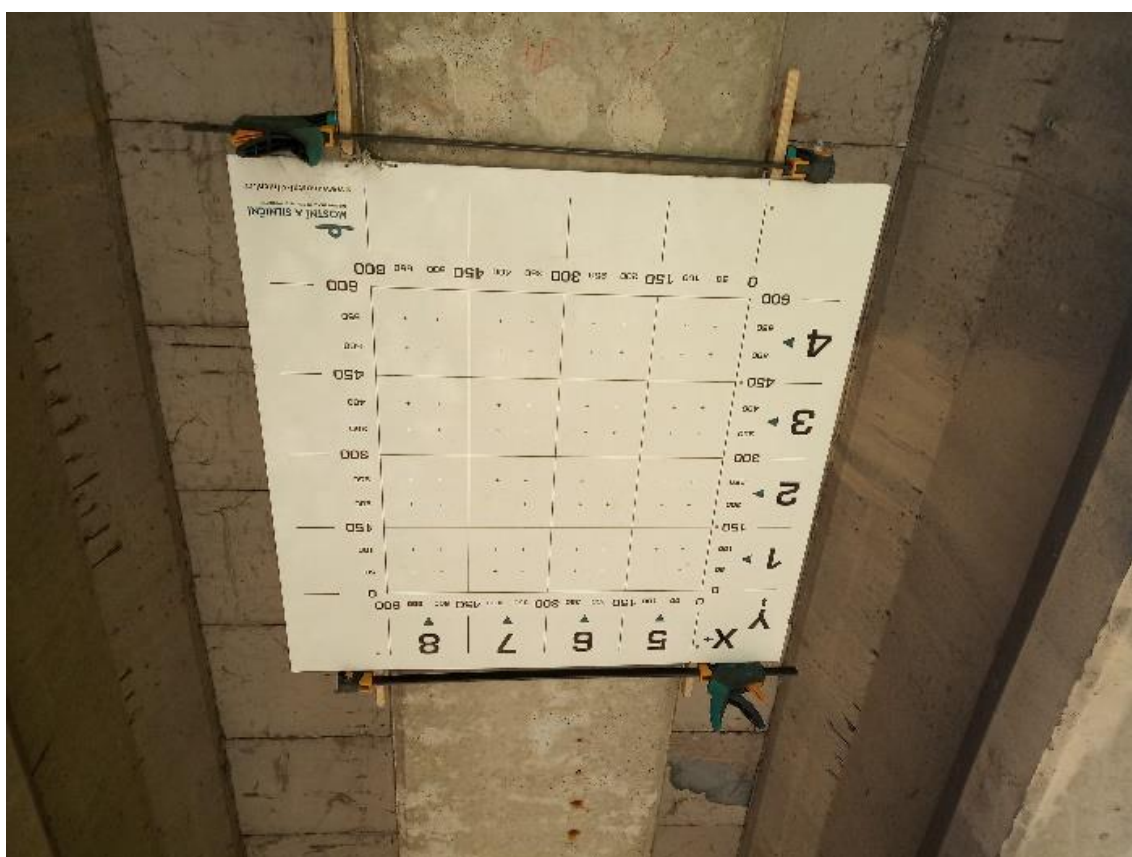


Obr. 31 3D výstupy plošných skenů lze s výhodou využít při vyhodnocování prostorově náročnějších vyztužení, lze je libovolně prostorově otáčet či naklápět (zde sken 600×600 mm na spodním lici předpjatého mostního nosníku typu I, se zachycenou předpínací i konstrukční podélnou výztuží)

Při provádění plošných skenů lze jako vodítko použít výrobcem dodané rastry tištěné na omyvatelném papíru, které se lepí přímo na konstrukci, či je možné na konstrukci tento rastr přímo nakreslit. Další variantou, která je výhodná tam, kde je plocha povrchu konstrukce menší než rastr, nebo tam, kde je povrch výrazně nerovný, lze využít například rastr natištěný na povrchu plastové desky (testovací vzorek byl vyroben ve spolupráci s firmou Mostní a silniční s.r.o.).

Veškeré výstupy měření lze okamžitě vizualizovat nejprve na displeji sondy, poté v rámci vyhodnocovacího programu (v rámci dodaného tabletu, či běžného PC). Následně je možný export v podobě obrázků v běžných grafických editorech, či například export do programu Autocad k dalšímu zpracování. Rovněž je možné propojení vyhodnocovacích programů s elektromagnetickými indikátory téhož výrobce.

Ač je zařízení určeno primárně ke stanovení polohy ocelové výztuže, je možné s jeho pomocí lokalizovat v betonu i liniové objekty z jiných materiálů, či dutiny (viz kapitola 7.2.3). Rovněž umožňuje záznam zadní strany betonové desky (viz kapitoly 7.2.1 a 7.1.2).

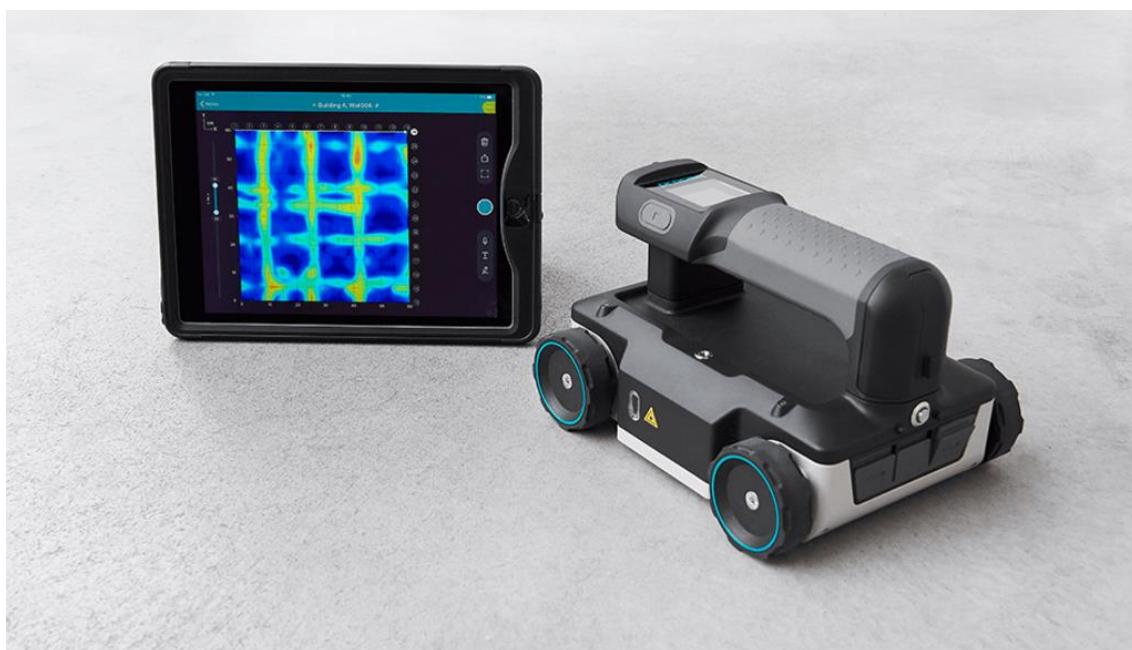


Obr. 32 Rastr pro skeny 600 × 600 mm vytištěný na plastovou desku, užitý při skenování předpjatých nosníků I na mostní konstrukci

Georadar Hilti PS1000 X-scan se stal skutečným přelomovým momentem pro využití technologie georadaru v diagnostice železobetonových konstrukcí a prolomil dosavadní nedůvěru uživatelů v tuto technologii.

Georadary pro diagnostiku železobetonu, situace k 1.1.2021

Na Evropském trhu zůstal přístroj Hilti PS1000 X-scan většinu druhého decennia jediným georadarem určeným prioritně pro diagnostiku výztuže. Na konci desetiletí se k němu připojil přístroj GPR Live tradičního výrobce diagnostických přístrojů Proceq. Tato sonda, která byla Ústavem stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně rovněž testována, se v mnohém předchozímu přístroji podobá a v mnohém se liší. Sonda je obdobných rozměrů, nicméně jako zobrazovací displeje nevyužívá integrovaný displej, ale připojený Apple iPad. Disponuje pouze jednou anténou, ale multifrekvenční v rozsahu 0,9 to 3,5 GHz, umožňující hloubkový dosah až 700 mm.



Obr. 33 Sonda Proceq GPR Live s připojeným Apple iPad [22]



Obr. 34 Na obrázku je viditelné, že rozměrově je velmi obdobná sondě Hilti PS1000 X-scan

Při nedávno publikovaném porovnání sond Hilti PS100 X-scan, Proceq GPR Live a obdobné kanadské sondy GSSI StructureScan Mini XT (která se na Evropském trhu nevyskytuje) [23] vyplynula hlavní výhoda přístroje Proceq, která spočívá v hloubkovém dosahu – 70 cm oproti 60 cm u GSSI a 30 cm u Hilti. Je pravda, že nebyly zvažovány aspekty uživatelské výhodnosti softwaru, a že autorem porovnání byl tým Proceq. Podobné porovnání, zahrnující i další lokálně rozšířená zařízení bylo publikováno v [24].

Rozhodně lze říci, že technologie georadaru rozhodně dosud neřekla poslední slovo, a právě konkurence výrobců může být v budoucnu hnacím motorem dalšího vývoje této metody a sond samotných.

Pro stanovení měřicích postupů a metodiky je v dalších kapitolách uvažována sonda Hilti PS100 X-scan.

3.5 Současná situace možnosti využití metod pro stanovení polohy výztuže

Jak bylo naznačeno v předchozích kapitolách, situace ohledně využitelnosti jednotlivých metod pro stanovení vyztužení železobetonové konstrukce se v posledním desetiletí významně změnila. Portfolio metod bylo připraveno o gamagrafii, neboť v České republice, ani okolních zemích není žádný subjekt, který by ji v tradiční podobě prováděl. Na druhé straně se do výčtu metod plnohodnotně zařadila metoda georadaru, která do jisté míry gamagrafii dokázala v řadě aspektů nahradit či předstihnout. Současně s tím došlo v zásadní modernizaci metody elektromagnetických indikátorů s výrazným zvýšením jejich možností, a zároveň prožívá jakousi renesanci v oboru i rentgenografie.

3.6 Koroze výztuže

Poměrně zádadním faktorem z hlediska diagnostiky výztuže a následného hodnocení stavu konstrukce je koroze výztuže.

Beton je ze své podstaty alkalický materiál. V případě čerstvě uloženého betonu se jeho Ph pohybuje mezi hodnotami 12 až 13. Díky tomuto rozsahu alkality je vložená výztuž pasivačně chráněna vůči korozi.

Koroze výztuže je ve většině případů elektrochemický proces, kdy elektrody jsou tvořeny výztuží, elektrolytem je vlhkost betonu, aby mohla reakce probíhat, musí být přítomen kyslík. Ke zrychlení koroze dochází, když beton ztrácí pasivační ochranné vlastnosti vlivem snížení Ph karbonatací či sulfatací pod hodnotu 9,6 [25].

Korozní produkty oceli zvyšují svůj objem, což může způsobit poškození, či odpadnutí krycí vrstvy betonu.

Pro stanovení koroze výztuže lze využít nedestruktivní metody založené na měření elektrického pole na povrchu konstrukce (při elektrochemické korozi vzniká galvanický článek), následně se sestavují korozní mapy konstrukce, které mohou naznačit rozsah zasažení konstrukce korozi.

Pro posouzení stupně koroze je ale zcela nezbytné provést vizuální prohlídku korodující výztuže. Posuzuje se pak plošné zasažení korozi i úbytek profilů [26].

Typy diagnostikované koroze [26]:

- Povrchová koroze (P) – u výztuže nedochází k významnému úbytku profilu. U výztuží s tvarovou úpravou povrchu (žebírková výztuž) je dosud patrný reliéf žebírek.
- Hlubková koroze (H) – dochází k odlupování korozních zplodin, výrazný úbytek profilu, uvádí se v % úbytku profilu.
- Extrémní koroze (E) – oslabení profilu větší než 50 % nebo úplné přerušení prutu.

4 DIAGNOSTIKA VYZTUŽENÍ KONSTRUKCÍ Z PŘEDPJATÉHO BETONU

„Na území České republiky se dnes nachází značné množství konstrukcí z předpjatého betonu nejrůznějších typů. Asi nejčastěji se vyskytujícími a v současnosti poutajícími pozornost z pohledu diagnostiky s účelem stanovení životnosti, jsou mosty sestavené z prefabrikovaných předpjatých nosníků různých typů, ale i mosty řešené například jako monolitická předpjatá deska, početnou skupinu v centru zájmu tvoří i předpjaté příhradové vazníky v konstrukcích průmyslových hal a další typy prvků a konstrukcí. Zatímco například střešní vazníky hal jsou prvky, které není až takový problém v případě pochybností o jejich funkčnosti v konstrukci nahradit, v případě mostních konstrukcí jde o zásadní problém, komplikovaný obecnou nechutí společnosti i investorů uvažovat o jejich náhradě, ale i problém na úrovni veřejného mínění, které má tendenci přisuzovat konstrukcím charakter „věčnosti“ a nekonečné trvanlivosti.

Vzhledem k nedávným haváriím předpjatých mostních konstrukcí v České republice i v zahraničí je v současnosti věnována mimořádná pozornost stavebně technickým průzkumům předpjatých mostních konstrukcí, s cílem stanovit nejen technický stav ale především odhadnout na jeho základě zbytkovou životnost konstrukce pro zajištění bezpečnosti při jejím využívání. Bezprostředně po havárii lávky pro pěší v Praze-Tróji byla zprvu věnována pozornost obdobným konstrukcím, která místy hraničila až s neuváženou hysterií směřující k preventivní demolici objektů. U ostatních předpjatých mostů naštěstí vedly obavy spíše k uskutečnění podrobných stavebně technických průzkumů a sledování stavu konstrukce.

Je ovšem otázkou, zda současná úroveň diagnostických metod a dostupných přístrojů pro jejich realizaci odpovídá požadavkům na dokonalý průzkum konstrukce, přesněji řečeno průzkum s ideálně relevantními výsledky pro posouzení stavu konstrukce“ [27].

4.1 Diagnostika předpjatých konstrukcí

„Lze konstatovat, že pro stanovení celkového stavu, životnosti a užitných vlastností předpjaté konstrukce je stěžejní zejména zjištění stavu předpínací výztuže. Zde nemá smysl hovořit například o kabelech umístěných volně, mimo betonový průřez, kde je určení stavu snadné, ale jde především o předpínací dráty a kabely umístěné v kabelových kanálech. Ochrana výztuže v kabelových kanálech před korozi je do značné míry závislá na včasném a správném zainjektování kabelového kanálu vhodnou injektážní směsí. V rámci stavebně technických průzkumů předpjatých konstrukcí a dílců by tedy měla být věnována mimořádná pozornost nejen již vzniklé korozi předpínací výztuže, ale i samotné existenci správného zainjektování kabelových kanálů, kde absence injektážní směsi je vada, kterou je třeba pro snížení budoucích rizik neprodleně odstranit.

Pochopitelně v rámci diagnostiky předpjatých konstrukcí je věnována pozornost i ostatním parametrům, například vlastnostem betonu, ale stav předpínací výztuže, nebo její ohrožení je základním parametrem.

Samotnou diagnostiku stavu předpínací výztuže lze rozdělit do dvou fází. V první fázi jde o přesné určení polohy, respektive průběhu předpínacích drátů či kabelů, ve druhé fázi pak stanovení přítomnosti injektážní směsi a jejich stavu (koroze)“ [27].

4.2 Využitelné metody pro stanovení polohy předpínací výztuže v konstrukci

„Přestože správná poloha předpínací výztuže, respektive kabelových kanálů v předem předpjatých i dodatečně předpjatých konstrukcích a prvcích je dána výrobní dokumentací, je třeba počítat s jistými disproporcemi, vzniklými při výrobě (viz. podrobněji v kapitole 7.7). Určení přesné polohy a průběhu předpínacích kanálů, a tím i výztuže je tedy logicky prvním krokem v jejich diagnostice. Nutno poznamenat, že v řadě případů je kabelový kanál vymezen ocelovou chráničkou (bezešvé trubky Sandrik)“ [27].

Vyjděme z předpokladu, že pro účely diagnostiky disponujeme čtyřmi základními metodami pro stanovení polohy výztuže v betonu, které byly popsány podrobně v kapitole 3.

„Sekané sondy – pro specifický případ určení polohy předpínací výztuže jde o metodu zcela nevhodnou.

Elektromagnetické indikátory výztuže – pro určení polohy předpínací výztuže jde o metodu velmi problematicky využitelnou vzhledem k faktu, že je hloubkový dosah sond velmi omezený, a současně je pravděpodobné, že mezi povrchem betonu a předpínací výztuží se nachází měkká konstrukční výztuž, která neumožní lokalizovat další prvky hlouběji v betonu.

Georadar – s příchodem radaru Hilti PS1000 začala být tato metoda vysoce využitelná i pro výše uvedený problém, výhodou je hloubkový dosah (Hilti PS1000 až 300 mm, GPR Proceq až 700 mm), okamžitá vizualizace výsledku a nezávislost na další výztuži blíže povrchu.

Dnes jsou na evropském trhu pouze dva georadary, určené primárně pro diagnostiku železobetonových konstrukcí. Hilti PS1000 X-Scan a Proceq GPR Live. Hilti PS1000 disponuje v jedné sondě trojicí antén s frekvencí 2,0 GHz, s hloubkovým dosahem 300 mm, Proceq s jednou anténou s proměnlivou frekvencí 0,9–3,5 GHz s dosahem až 700 mm. U obou zařízení je možné transformovat výsledky měření do plnohodnotného 3D obrazu. Naopak nevýhodou je nutnost provádět měření z rovného povrchu konstrukce, nezbytný je jistý minimální rozměr měřené plochy. Proto nelze určit vyztužení například na složitě tvarovaných, či nepřístupných částech konstrukce, to se týká zejména některých typů prefabrikovaných mostních nosníků.

Radiografie – vzhledem k zásadnímu rozdílu objemové hmotnosti betonu a hustoty oceli je pak možné na výstupním médiu (radiografický film, elektronická zobrazovací média apod.) zobrazit veškerou výztuž, a při prozařování z více ohnisek přesně vyhodnotit polohu výztuže. Bonusem je možnost stanovení zainjektování kabelového kanálku. Nevýhodou je naopak

relativně malá prozkoumaná plocha, daná velikostí záznamového média (většinou 300 × 400 mm), a v současnosti diskutabilní dostupnost této diagnostické metody.

Z dosavadních rozsáhlých zkušeností pracoviště autora jednoznačně vyplývá volba georadaru, jako ideální metody pro stanovení přesné polohy předpínací výztuže v konstrukci, v případech prvků, kde je výztuž pro radarové měření nedostupná by bylo nezbytné využít radiografii, ta však z obecně známých důvodů není momentálně v České republice k dispozici (radiografie Co60“) [27].

4.3 Následné metody stanovení zainjektování kabelových kanálů a stavu kabelů (koroze)

4.3.1 Vizualní kontrola

V současnosti se v rámci diagnostiky předpjatých zejména mostních konstrukcí praktikuje de facto jediná základní metoda pro stanovení správnosti zainjektování kabelových kanálků a posouzení případné koroze předpínací výztuže. Jde o metodu destruktivní spočívající ve vybraných místech v cíleném návrtu k samému okraji kabelového kanálku (přesněji mírně za něj) či až k předpínací výztuž, a následně vizuální posouzení a konstatování požadovaných skutečností – v případě správného zainjektování je proveden i test injektážní směsi na karbonataci roztokem fenolftaleinu.

V neposlední řadě se v posledních letech mezi odborníky rozvíjí diskuse, zda je vůbec vhodné v rámci těchto sond otevřít doposud chráněné vnitřní prostředí kabelového kanálku vnějším vlivům (ovzduší, vlhkost), tedy zda právě takto provedená diagnostika nemůže být v budoucnu příčinou vzniku koroze výztuže. Dalšími riziky je pochopitelně možnost poškození předpínací výztuže při vrtání, a obecnou nevýhodou metody je pouze bodové zjištění stavu, který může být „o pár centimetrů dál“ zcela odlišný – výsledek může být v extrémním případě zcela zavádějící, v závislosti na počtu a místech provedených sond.

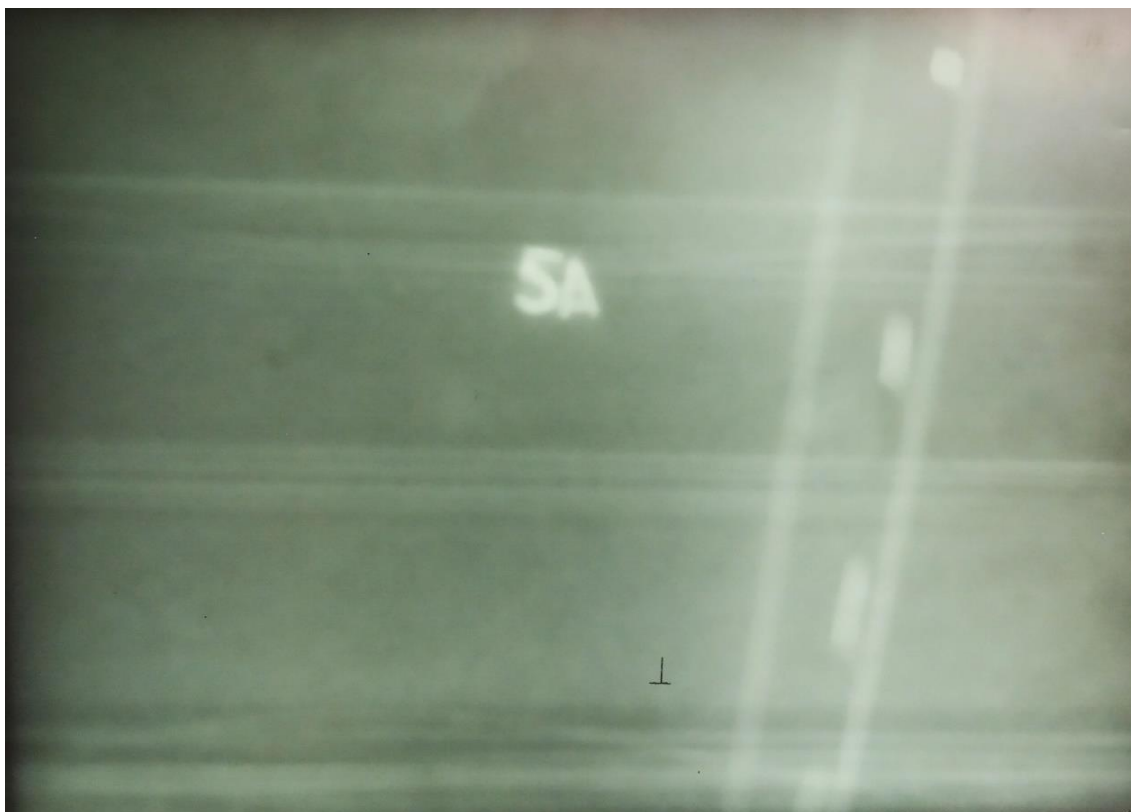


Obr. 35 Předpjatý mostní nosník, příklad návrtu k ocelové chráničce Sandrik, vylomení vývrtu a průraz chráničky až ke kabelu plus provedení fenolftaleinového testu. Současná běžná praxe kontroly zainjektování a stavu předpínací výztuže [27]

4.3.2 Radiografie

Jednoznačně vhodnější metodou pro výše uvedený účel se jeví radiografie s užitím gamazářiče Co60. Vhodně zvolená konfigurace prozařování v tomto případě umožňuje zjistit provedení zainjektování kabelového kanálku bez jeho narušení, tedy bez narušení vnitřního prostředí okolí předpjaté výztuže s následnými riziky, která zde byla konstatována. V současnosti je v České republice takováto radiografie nedostupná, ale tento stav se může pod tlakem investorů (správců mostních či jiných předpjatých konstrukcí) změnit.

Nicméně vzhledem ke komplikované realizaci gamagrafie jde opět o omezené a lokální měření, nepostihující celou konstrukci (i když jeden radiogram současně může postihnout více kabelových kanálků), jediným zásadním přínosem tedy může být šetrnost ke konstrukci.

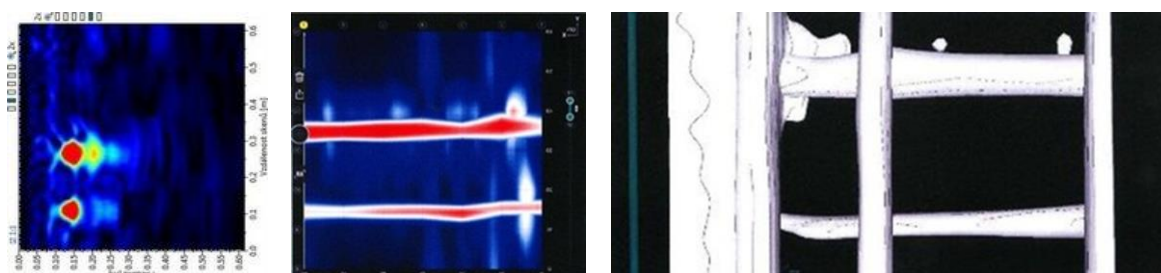


Obr. 36 Radiogram trojice předpínacích výztuží v mostním nosníku, na jednom z kabelových kanálků je zřetelné nezainjektování (dole)

4.3.3 Vývoj nových metod

Vzhledem k tomu, že současné období je typické překotným vývojem nových metod, ale zejména rozšiřováním možností metod stávajících, lze předpokládat, že se v dohledné době podaří najít alternativní, ideálně čistě nedestruktivní metody a postupy pro stanovení zainjektování a koroze předpínací výztuže.

„Na základě experimentů prováděných ve spolupráci s firmou Proceq se zdají být jednou z cest nové radarové a ultrazvukové přístroje. Na modelových blocích v areálu Fakulty stavební VUT v Brně, které obsahují i model zainjektovaného a nezainjektovaného kabelového kanálu s výztuží byly testovány radar Proceq GPR Live a ultrazvukový odrazový přístroj Proceq Pundit PL-200 PE. Předběžné výsledky na modelu naznačily možnost dalšího vývoje a vhodnost dalších experimentů v tomto směru“ [27].



Obr. 37 Vlevo záznam lokalizace dvojice kabelových kanálů UZ sondou Proceq Pundit PL-200 PE, uprostřed a vpravo záznam plošného skenu radarem Proceq GPR Live. Výstupy naznačují patrný rozdíl mezi zainjektovaným a nezainjektovaným kanálem (nahore) a pravděpodobnou možnost využití modifikace těchto metod a zařízení (samozřejmě s ohledem např. na přítomnost ocelové chráničky a podobně) [27]

4.4 Koroze předpínací výztuže

Obecně pro vznik a podmínky koroze platí informace u kapitoly 3.5. Pro hodnocení závažnosti koroze však u předpínací výztuže platí zcela jiný přístup [28].

Norma ČSN 73 6221 pro mostní konstrukce uvádí úbytek průřezové plochy větší než 5 % již jako havarijný stav konstrukce! Přitom jde o korozní úbytky na jednotlivých drátech předpínacího lana v řádech desítek mikrometrů. Lze tedy prakticky jakoukoli korozi předpínací výztuže s měřitelným korozním úbytkem považovat za nepřijatelnou. Tento aspekt následně formuluje požadavky na diagnostiku konstrukcí z předpjatého betonu zcela zásadním způsobem.

5 DIAGNOSTIKA ROZPTÝLENÉ KOVOVÉ VÝZTUŽE

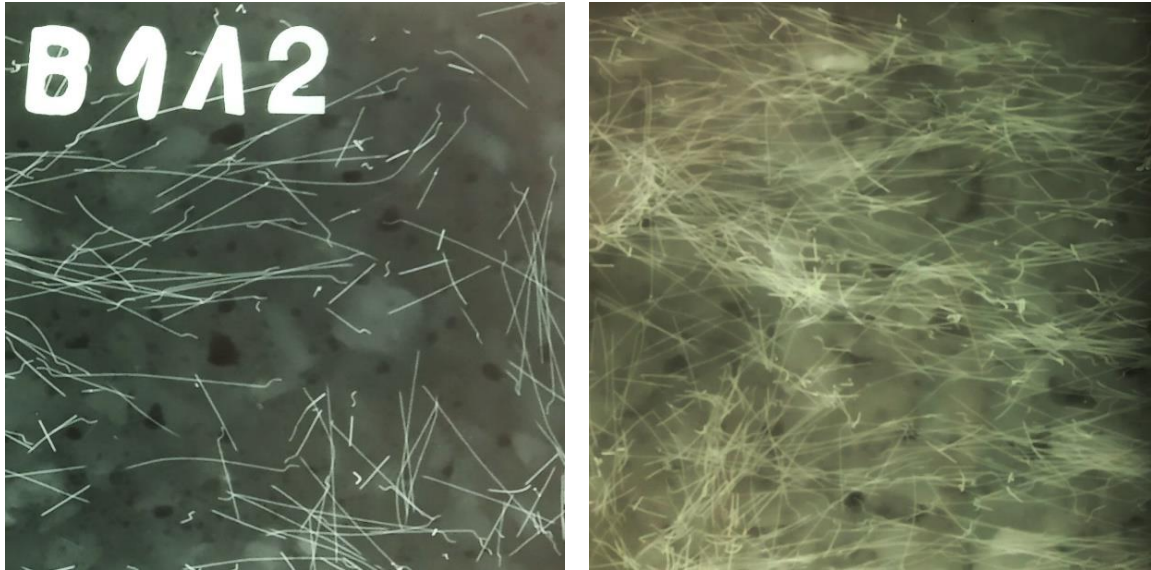
Provádění betonů s rozptýlenou výztuží patří k velmi aktuálním tématům současného betonového stavitelství. Většinou se užívá rozptýlená výztuž ve tvaru vláken, která zachycují v cementové matici lokální tahové účinky, způsobené prostorovou napjatostí mezi zrny hrubého kameniva. V případě užití ocelových vláken (drátků) hovoříme o tzv. drátkobetonu [29].

V rámci diagnostiky drátkobetonových konstrukcí je řešena i tato rozptýlená výztuž, konkrétně v rozsahu správnosti provedení z hlediska předepsané koncentrace drátků, a rovněž je podstatné jejich správné rozmísení, postrádající nežádoucí shluky drátků či místně převládající jednosměrnou orientaci drátků [30].

Doposud platné normy znají pro stanovení koncentrace drátků v zatvrdlém železobetonu jediný postup, a sice odběr vzorků jádrovým vrtáním, a po jejich rozdrčení stanovení hmotnostní koncentrace separovaných drátků [31].

Jde však o metodu destruktivní, navíc s lokálním dosahem, pro statistické zhodnocení betonu v celé konstrukci by byl rozsah poškození konstrukce zásadní a nevhodný. To je příčinou, proč v současné době řada především univerzitních týmů řeší možnosti vývoje nových technologií, zejména na elektromagnetickém principu, které by byly schopny hodnotit na NDT principu statisticky významnou část zkoumaného drátkobetonu (standardní elektromagnetické technologie – indikátory výztuže, georadar a podobně zde nefungují) [32-35].

Právě při vývoji těchto technologií (ale současně i v oblasti testování mechanických vlastností drátkobetonů) se setkáváme s požadavkem na vytvoření zkušebních vzorků, nejčastěji v podobě drátkobetonových desek, trámců či krychlí, u nichž je nezbytné před dalšími experimenty ověřit správnost provedení, tedy prostorové rozmístění a orientaci drátků či případné nehomogenity. K tomuto účelu se doposud ideálně osvědčila radiografie, konkrétně rentgenografie, díky zobrazovacím možnostem a vysoké jakosti radiogramů. Limitní je v tomto případě prozařovaná tloušťka, technickými rentgeny není reálné prozařovat drátkobetonu o tloušťce vyšší než cca 150 mm. I při využití jiného zdroje záření by při vyšších tloušťkách nebyla rozeznatelnost drátků adekvátní potřebám [36].



Obr. 38 Rentgenogram experimentálních zkušebních desek rozměrů $150 \times 150 \times 75$ mm s drátky Dramix různých koncentrací, pro testování elektromagnetické sondy vyvíjené na VUT v Brně

V odůvodněných případech lze využít pro stanovení prostorové orientace drátků technologii počítačové tomografie (CT), nicméně její provádění je dle konkrétní aparatury omezeno rozměry vzorku, a standardní provádění je limitováno vyššími náklady.

6 MOŽNOSTI TESTOVÁNÍ METOD (NOVÝCH PŘÍSTROJŮ I TECHNOLOGIÍ) NA MODELECH

Jak již bylo několikrát zdůrazněno v předchozích kapitolách, základem všech metod pro stanovení polohy výztuže, předněji u všech používaných přístrojů, je jedním ze základních aspektů úspěšné práce zkušenost a určení a pochopení reálných možností a omezení jednotlivých technologií a konkrétních aparatur. Vzhledem k dynamickému vývoji měřících zařízení, změnám jejich funkcí a možností je třeba ideálně před zahájením měření v terénu mít přesnou představu nejen o základních parametrech, jako je například hloubkový dosah, ale i o detekovatelnosti, respektive rozlišitelnosti jednotlivých prutů v závislosti na kombinaci faktorů, jako je hloubka, průměr, vzdálenost sousedních prutů, jejich vzájemné krytí (více vrstev) a podobně.

Pomineme-li testování na konstrukcích in-situ, základním předpokladem může být ověření na předem připravených modelech. Zde v plném rozsahu platí staré přísloví „těžko na cvičišti, lehký na bojišti“. Zkušební modely je možno připravit v několika zásadních podobách.

6.1 Modely variabilně měnitelné

Ideální se mohou zdát modely, jejichž konfiguraci můžeme během testování přístrojů operativně měnit. V případě diagnostiky vyztužení jde o prostorové (krabicové) modely, kde je možno operativně měnit pozice, geometrii, průměry a typy výztuží, v rámci testování hranic využitelnosti metod a přístrojů. Bohužel, zde je třeba respektovat fyzikální princip jednotlivých metod.

6.1.1 Prázdný krabicový model pro elektromagnetické indikátory

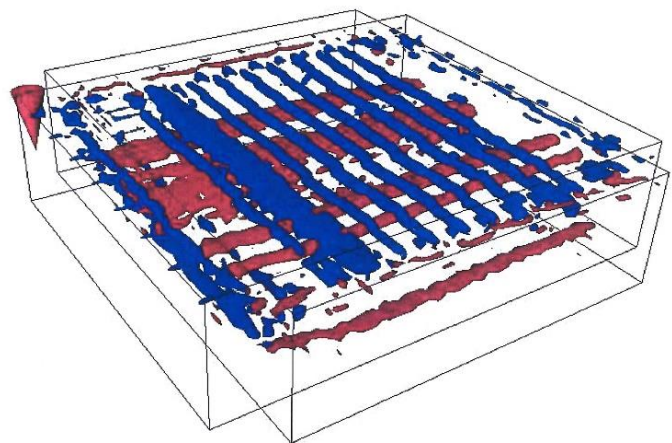
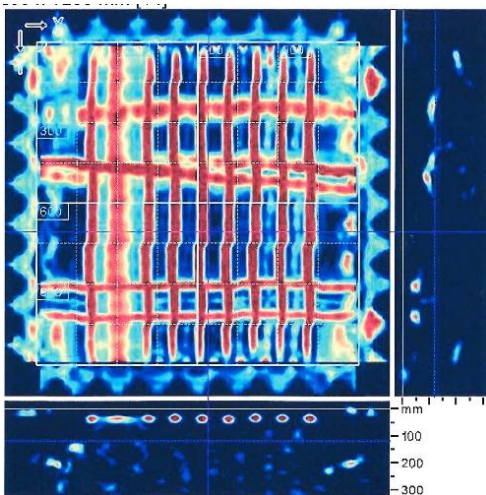
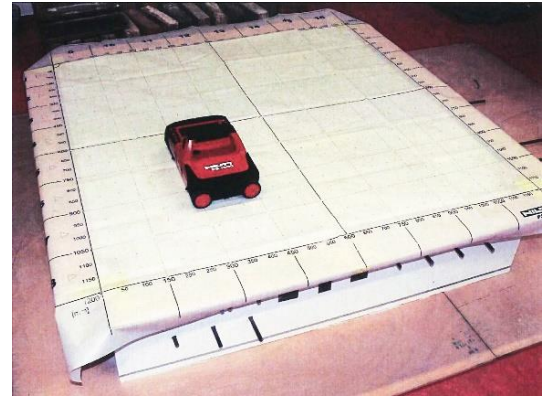
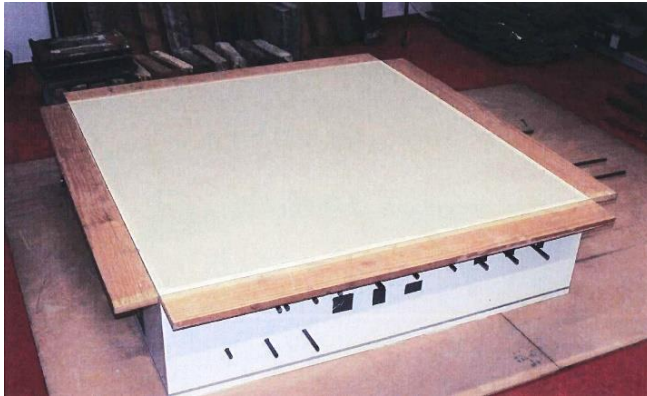
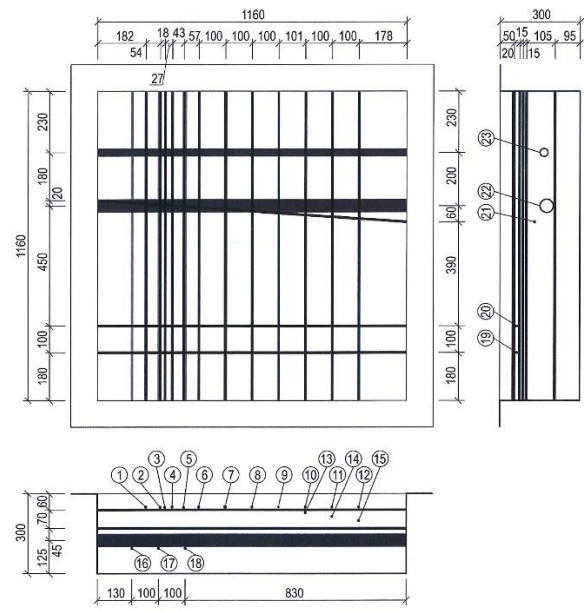
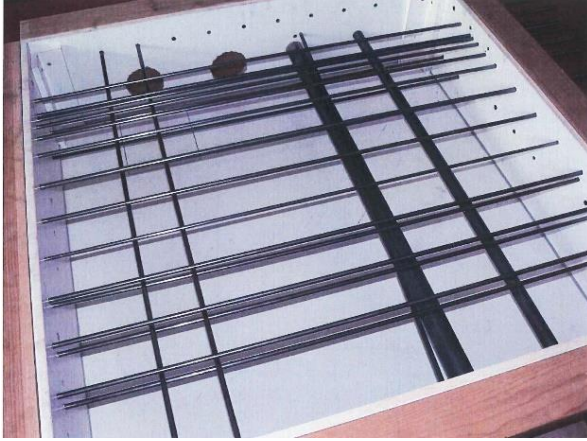
Pro testování elektromagnetických indikátorů se jeví nejjednodušším způsobem uzavřený krabicový model, v němž můžeme libovolně měnit polohu výztuží, simulovat různé hloubky pod povrchem, různé vzdálenosti prutů, průměry a typy výztuží, geometrii jejich směru, co přináší nekonečné množství variant. O zavedení podobných modelů a testování celého spektra elektromagnetických indikátorů se zásadně zasloužil doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D. z Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně, jehož publikace v daném oboru i výuková činnost jsou v České republice dobře známé.



Obr. 39 Krabicové modely s libovolně měnitelnou polohou výztuže (vlevo), a alternativní krabicový model simulující vyztužení konkrétního reálného prvku (vpravo)

6.1.2 Krabicový model s vnitřním médiem pro georadary

Pro testování georadarových sond lze využít podobné modely, jako v předchozí části 6.1.1. Je však nezbytné do modelu umístit náplň, která umožní podobně jako beton vedení impulsů radarového signálu a jejich návrat. Možnou alternativu v minulosti vytvořil a publikoval RNDr. Jakub Štainbruch, Ph.D. v rámci působení ve firmě Inset s.r.o. pod označením „Fyzikální model“. Tento model měl možnost testovat i Ústav stavebního zkušebnictví VUT v Brně. Model byl vytvořen v podobě krabicového modelu větších rozměrů ($1160 \times 1160 \times 300$ mm), do modelu bylo možné umístit různé varianty výztuží, i rozměrnějších objektů, jako chrániček předpínací výztuže, trubek a podobně. Následně byl model vyplněn extrémně jemným křemičitým pískem, který umožnil průchod radarových impulsů, nicméně zde bylo třeba testované zařízení dokalibrovávat v souvislosti s odlišnými vlastnostmi vodícího média oproti betonu. Pro počáteční testování účinnosti různých radarových aparatur, zejména s ohledem na zobrazitelnost výztuží ve vrstvách nad sebou, byl velmi účelný, nicméně manipulace s jemným křemičitým pískem (nutnost odsání při změně konfigurace modelu, propad netěsnostmi v modelu) tento typ modelu poněkud deklasoval. Přesto při zavádění technologie georadaru do oblasti diagnostiky konstrukcí – stanovení polohy výztuže přinesl model množství odpovědí na řadu otázek.



Obr. 40 Testování možností georadaru Hilti PS1000 X-scan na fyzikálním modelu: Nahore uspořádání modelu před vyplněním pískem v jedné z testovaných konfigurací výztuže, uprostřed model vyplněný křemičitým pískem a měření po překrytí sololitovou deskou a měřícím rastrem, dole výstupy z měření ve 2D a 3D provedení pro další analýzy

6.2 Modely stabilní (neměnné)

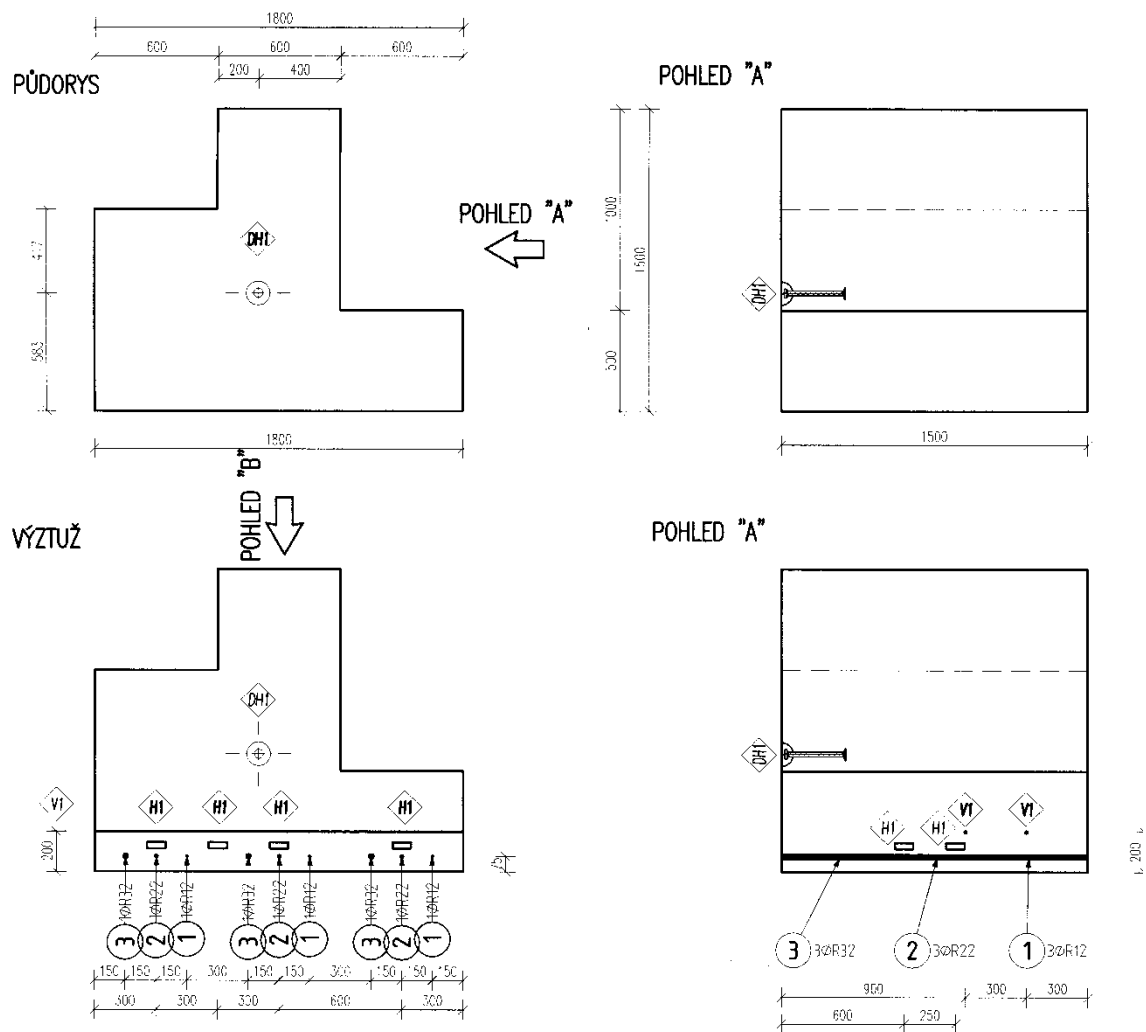
Pro možnost testování prakticky všech metod pro stanovení polohy výztuže jsou ideální modely vytvořené jako železobetonová konstrukce, nebo její vybraná část, se simulovanými situacemi a variabilní geometrií umístěné výztuže. Na druhé straně jejich nevýhodou je neměnnost parametrů, při potřebě změny je nutné vyrobit nový model. Rovněž použitý materiál a rozměry mohou představovat následné potíže z hlediska umístění a manipulace. Na základě zkušeností se tyto modely jeví ideální pro počáteční testování přístrojů a technologií, před příchodem možnosti je rozsáhleji testovat na skutečných konstrukcích, a neocenitelnou pomůckou jsou při výukových demonstracích jednotlivých metod a přístrojů.

6.2.1 Masivní bloky

Příkladem rozměrných modelů je masivní blok vytvořený pro testování možností diagnostiky masivních železobetonových konstrukcí, vytvořený v rámci projektu [37]. V bloku jsou umístěny různé průměry betonářských výztuží, chráničky s předpínací výztuží (zainjektovaná a nezainjektovaná), dále nehomogenity formátu šterkových hnízd a podobně. Geometricky je blok řešen tak, aby bylo možné tytéž objekty měřit přes různé tloušťky betonu. Tento rozměrný model je určen především pro testování radarů, nicméně slouží i jako pomůcka pro testování celého spektra NDT metod (ultrazvuková impulzová metoda průchodová i odrazová, impact echo, odrazové tvrdoměry atd.). Za zmínku stojí, že právě po tyto metody byl ještě vyroben analogický blok z prostého betonu pro srovnávací měření. Za svou více než desetiletou existenci prokázaly masivní bloky v oblasti testování metod neocenitelné služby.



Obr. 41 Dvojice masivních testovacích bloků v areálu Fakulty stavební VUT v Brně. Levý blok obsahuje vybrané nehomogenity, pravý je z prostého betonu pro srovnávací měření



Obr. 42 Schéma masivního bloku s rozmístěním výztuží a různých typů nehomogenit [37]

6.2.2 Malé železobetonové modely

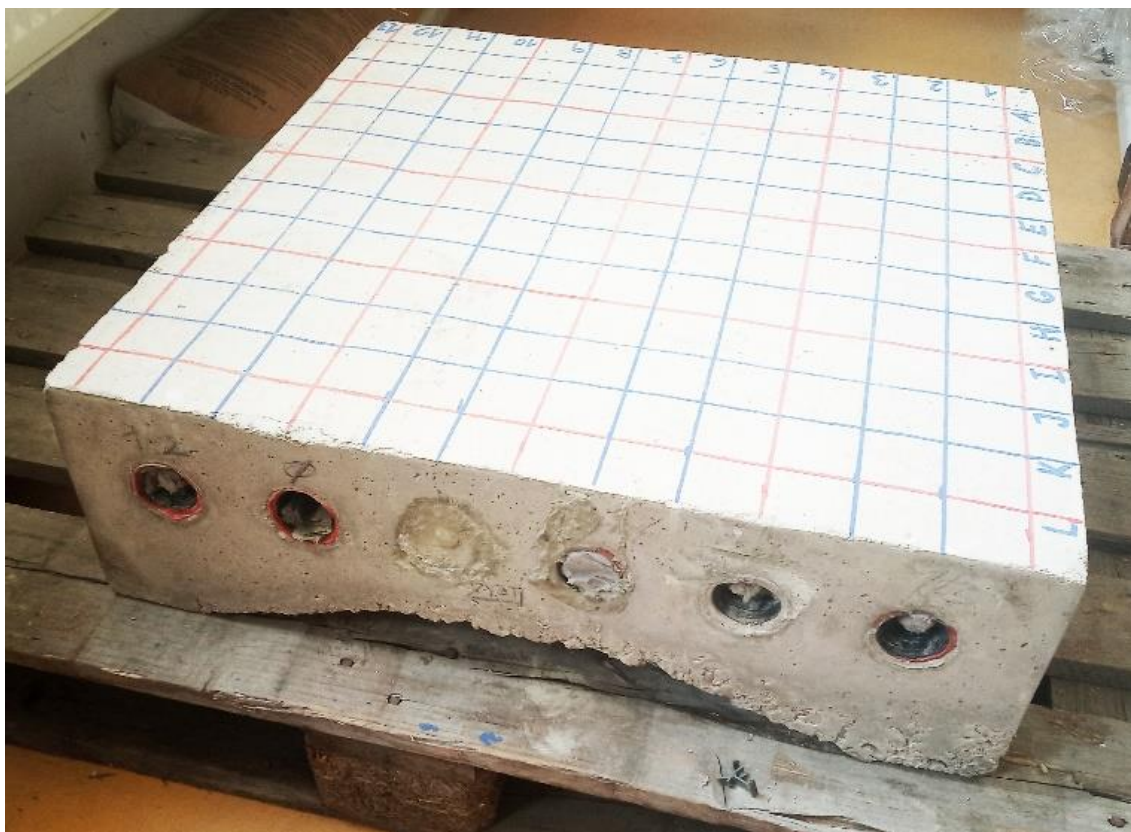
Problémy s hmotností a manipulací mohou vyřešit různé typy deskových či prostorových modelů, určené primárně pro elektromagnetické indikátory (ale jsou použitelné i pro testování georadaru) a vhodné jak pro testy aparatur, tak pro výcvik jejich obsluhy a výukové potřeby. Výhodou je malý rozměr i snesitelná hmotnost pro manipulaci. Tyto modely mohou mít čistě experimentální charakter, či mohou představovat výřez reálného železobetonového prvku – tedy jeho půdorysně omezenou část s tloušťkou rovnou maximálně hloubkovému dosahu testovaných přístrojů. Modely tohoto typu je možné využít jako součást modelové testovací dráhy pro radiografii (viz část 6.2.4).



Obr. 43 Příklad malé železobetonové desky – $600 \times 400 \times 70$ mm, model spodní části průvlaku v konkrétním železobetonovém monolitickém skeletu

6.2.3 Modely částí předpjatých prvků

Vzhledem k důrazu, jaký je v posledních letech kladen na diagnostiku konstrukcí z předpjatého betonu, jsou vytvářeny a testovány i modely částí vybraných předpjatých prvků. Za příklad mohou posloužit modely znázorňující 1:1 spodní část jedné z variant předpjatého nosníku KA-73, s konstrukční i předpjatou výztuží umístěnými dle typového výkresu. Kromě testování detekovatelnosti polohy jednotlivých výztuží různými technologiemi slouží tyto modely i k testování nových metod pro stanovení zainjektování kabelových kanálů – v jednotlivých modelech jsou v injektáži vytvořeny záměrné vady. I tyto typy modelů jsou ještě relativně dobře manipulovatelné a skladovatelné a tvoří vhodný základ pro pozdější měření in situ.



Obr. 44 Model spodní části jedné z variant předpjatého nosníku KA-73, vyztužená podle typového výkresu (včetně měkké konstrukční výztuže), model je součástí celé série totožných modelů, lišících se zainjektováním kabelových kanálků

6.2.4 Speciální modely pro radiografii

Modely pro testování radiografie, případně pro sestavování expozičních nomogramů, jsou vcelku jednoduše realizovatelné. Typickým příkladem je „měřicí dráha“ pro testy radiografie (rozeznatelnost výztuží v závislosti na průměru, druhu, tloušťce betonu, umístění v rámci prozařované oblasti atd.) vytvořená v rámci [38].

Základem je sada desek z obyčejného prostého betonu rozměrů $500 \times 400 \times 50$ mm umožňující simulaci různých tlouštěk prozařovaného betonu, doplněná o totožné desky s vloženou výztuží různých průměrů a typů. Při testování lze sestavením desek a geometrií umístění zdroje záření a záznamového média (paměťových folií) vytvořit konfigurace prakticky s libovolně nastavenými parametry:

- Tloušťka betonu.
- Ohnisková vzdálenost.
- Výztuž – průměr a typ.
- Výztuž – umístění v rámci tloušťky betonu.

Pro testy kontroly zainjektovaných kabelových kanálů předpínací výztuže je dráha opatřena sadou trámů $100 \times 100 \times 400$ mm s vloženými chráničkami a předpínacím sedmidrátovým lanem s různými variantami zainjektování/nezainjektování. Tato dráha byla intenzivně využívána v rámci testování detekovatelnosti a rozeznatelnosti různých výztuží i zainjektování předpínacích kabelů při prozařování Co60, výsledky byly publikovány [39-42] a v plném rozsahu uvedeny v disertační práci autora [38]. V současnosti je testována pro využívání rentgenů v diagnostice konstrukcí.



Obr. 45 Součásti testovací dráhy pro radiografii v ozařovně Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně

7 TESTOVÁNÍ GEORADARU A KOMBINACE METOD IN SITU – OPTIMÁLNÍ POSTUPY STANOVENÍ VYZTUŽENÍ NA VYBRANÝCH TYPICKÝCH PRVCÍCH ŽELEZOBETONOVÝCH A PŘEDPJATÝCH KONSTRUKCÍ

7.1 Sloupy

Stanovení vyztužení železobetonových sloupů patří k ve většině případů k jednodušším variantám. V praxi se v minulosti k danému účelu radiografie používala spíše výjimečně, v případech, kdy využití ostatních metod bylo zásadně kontraindikováno některou z níže uvedených příčin.

7.1.1 Sloupy čtvercového a obdélníkového průřezu

U čtyřhranných sloupů lze předpokládat polohu hlavní (svislé) nosné výztuže v rozích průřezu, a dále podél povrchu jednotlivých stěn (s patřičným krytím) dle statických požadavků na únosnost sloupu. V řadě případů je možné využití elektromagnetického indikátoru, pokud jsou hlavní výztuže alespoň v minimálních nezbytných rozestupech, pokud nejsou trmínky rozmístěny příliš nahusto, a není-li měření touto technologií komplikováno přítomností dalších prvků, které magnetický indikátor registruje, například rohové ochranné lišty z hliníku či oceli. Stejně tak může situaci komplikovat přítomnost výztuží ve větší hloubce (výztuže vytažené ze sloupu v nižším podlaží), nebo přímo extrémně velké krytí (v důsledku chybné velikosti, či excentrického umístění armokoše). Z této premisy je zjevné, že užití elektromagnetických indikátorů je sice možné a v řadě případů účelné (možnost stanovení průměru výztuže), ale při jakékoli komplikaci se jeví vhodnější metoda georadaru, která má vyšší hloubkový dosah a nemá zásadní problémy s výztuží ve více hloubkových úrovních. Rovněž je schopna registrovat výztuž v rozích sloupu i za ochrannými lištami. I v případě vhodných podmínek pro užití elektromagnetických indikátorů je přínosné použít radar k ověření (okamžité vizualizaci) situace vyztužení a potvrzení vhodnosti využití elektromagnetického indikátoru. Podmínkou je rovinný povrch stěn sloupu pro pohyb sondy, což ostatně platí i pro sondy moderních elektromagnetických indikátorů s pojezdem. V případě tvarových nepravidelností povrchu je možné ze sondy elektromagnetického indikátoru pojezd demontovat a užívat sondu bez záznamu jejího pohybu.

Doporučený postup při měření vyztužení sloupu radarem:

- Provedení horizontálních liniových skenů ve vhodné výšce na všech čtyřech stěnách sloupu pro detekování hlavní nosné výztuže.
- Provedení vertikálního liniového skenu od paty sloupu do potřebné výšky pro stanovení roztečí třmíneků.
- Provedení plošných skenů na dvou sousedních stěnách sloupu pro stanovení případných anomálií v průběhu třmíneků apod. (pokud nedostačuje šířka boční stěny na umístění standardního rastru pro plošný sken, je možné ji nahradit rastrem připevněným na tenké plastové desce, a tím umožnit provedení skenu ve standardním požadovaném formátu, viz Obr. 46).

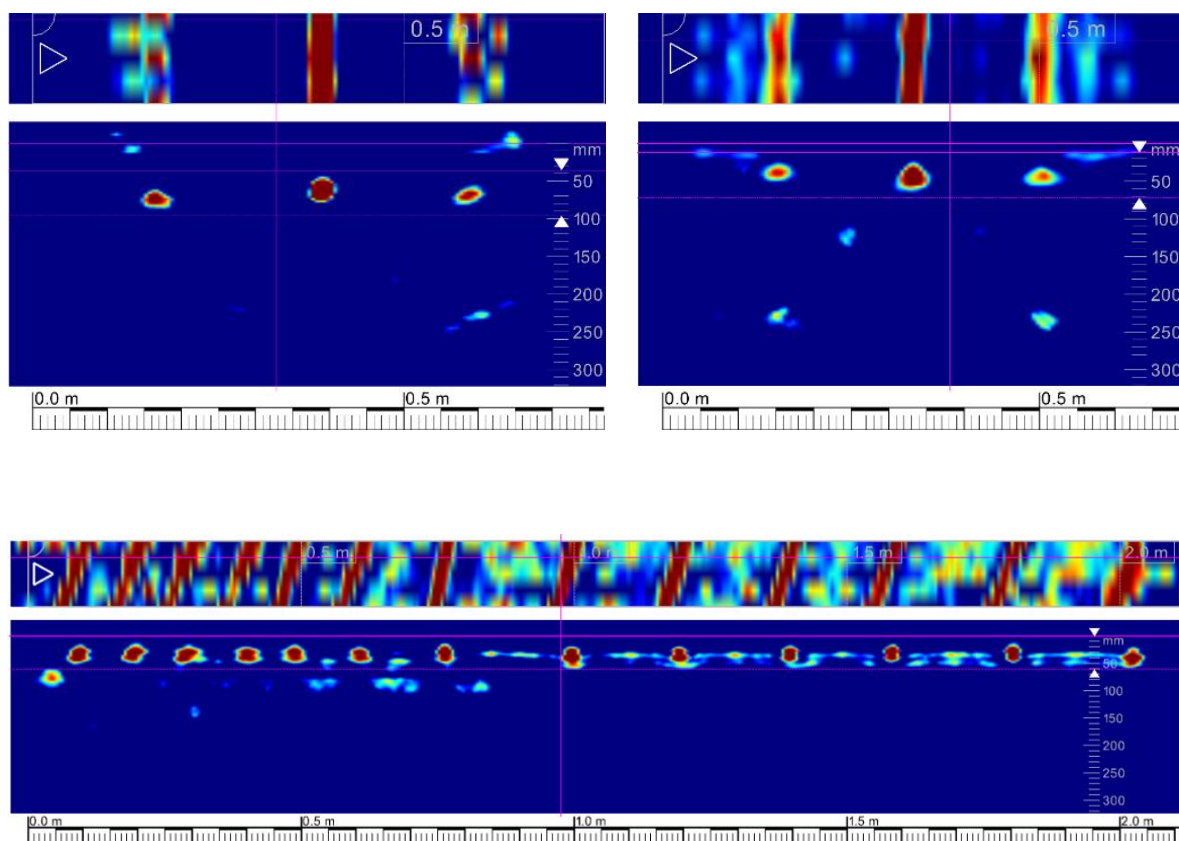
Jako příklad může posloužit sloup železobetonového monolitického skeletu ve 2. NP budovy E1, v areálu VUT v Brně, Fakulty stavební. Sloup je dobře přístupný pouze ze dvou stran, jeho nároží jsou opatřena ochrannými lištami, viz Obr 46. Jeho vnější rozměry jsou:

- Šířka $a = 480$ mm.
- Šířka $b = 530$ mm.
- Výška $v = 300$ mm.

Vzhledem k malé šířce (menší než 600 mm – tedy minimální šířka plošného skenu) je pro plošný radarový sken použita plastová podložka s rastrem.

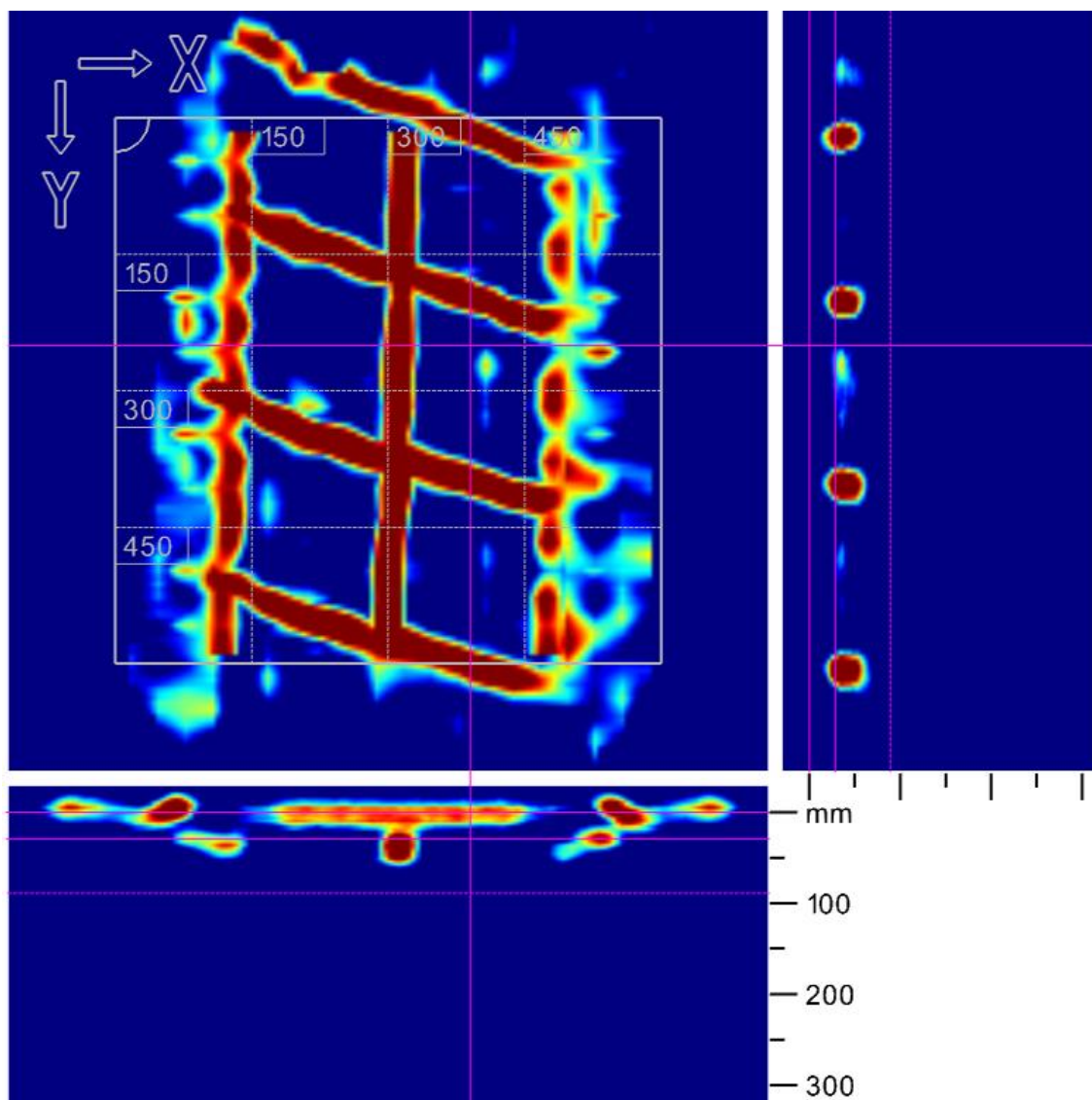


Obr. 46 Sloup obdélníkového průřezu s přístupnými dvěma stranami. Pro aplikaci plošného radarového skenu je vhodné použít pevnou podložku s natištěným skenovacím rastrem



Obr. 47 Dvojice horizontálních skenů na sousedních stěnách sloupu se zobrazením hlavní nosné výztuže (nahore) a vertikální liniový sken od paty sloupu vzhůru, zachycující třmínky (dole)

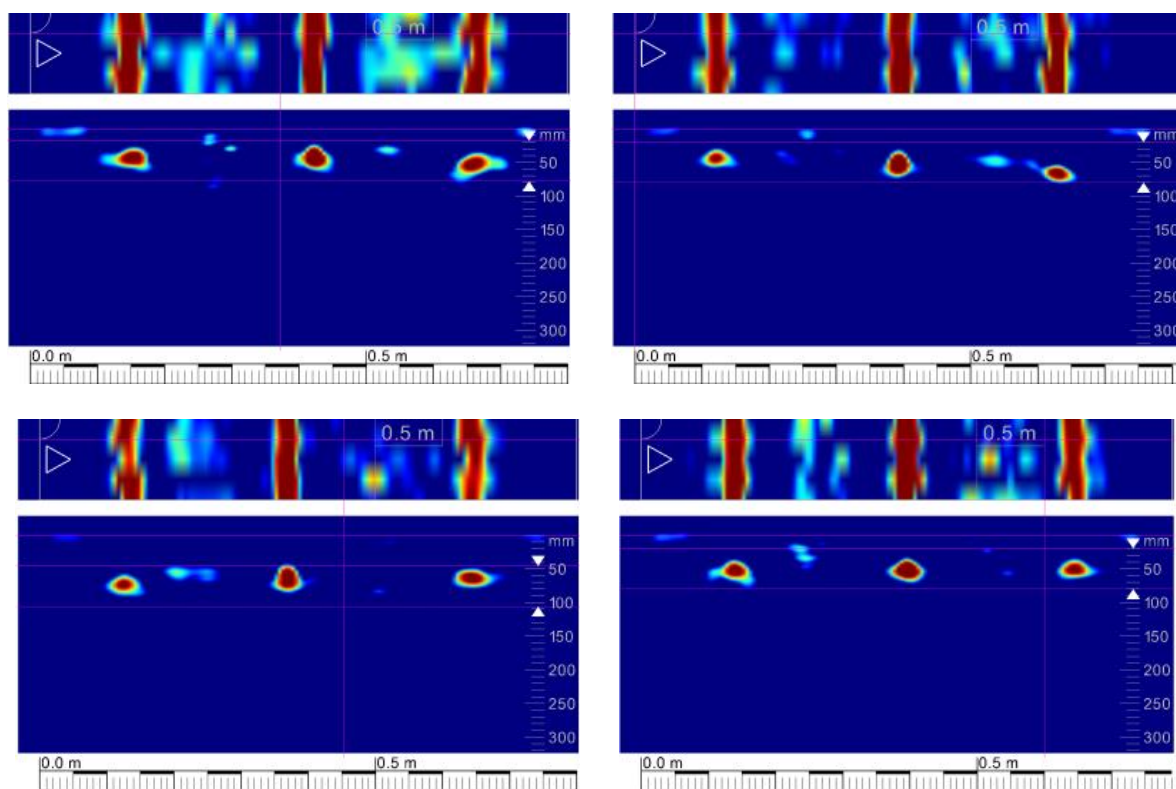
Na horizontálních skenech jsou zachyceny vždy 3 hlavní výztuže u povrchu, a ještě další dvě ve středech sousedních stěn dokazující, že sloup je vyztužen symetricky. Při povrchu byly zobrazeny i ochranné lišty, aniž by měly zásadní vliv na zobrazení výztuží. Na vertikálním skenu jsou patrné třmínky, do výšky cca 600 mm nad podlahou s roztečí 100 mm, výše s roztečí 200 mm. Na pohledové části tohoto skenu je patrné, že třmínky vykazují značný sklon.



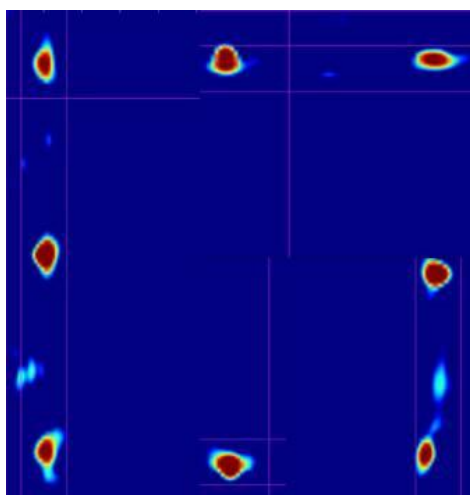
Obr. 48 Plošný radarový sken formátu 600 x 600 mm pořízený na bočním líci sloupu potvrdil předchozí zjištění liniových skenů, a upřesnil zásadní sklon třmínků vzniklý patrně deformací armokoše při umístění do bedně. Tomuto faktu napovídá i rozdílné krytí hlavních výztuží (armokoš byl patrně umístěn do sloupu obdélníkového půdorysu otočený o 90 stupňů)

Výše uvedený příklad ukazuje vhodnost využití radaru pro stanovení vyztužení sloupů, radar umožní okamžitou vizualizaci a vytvoří podklad pro následné doměření průměrů výztuží, případně pro sekanou sondu pro ověření typu výztuže.

Z vytvořených liniových skenů všech stěn je možné z „řezových“ částí skenu přímo sestavit průřez daným sloupem s jasnou polohou hlavních nosných výztuží, viz Obr. 49 a 50.

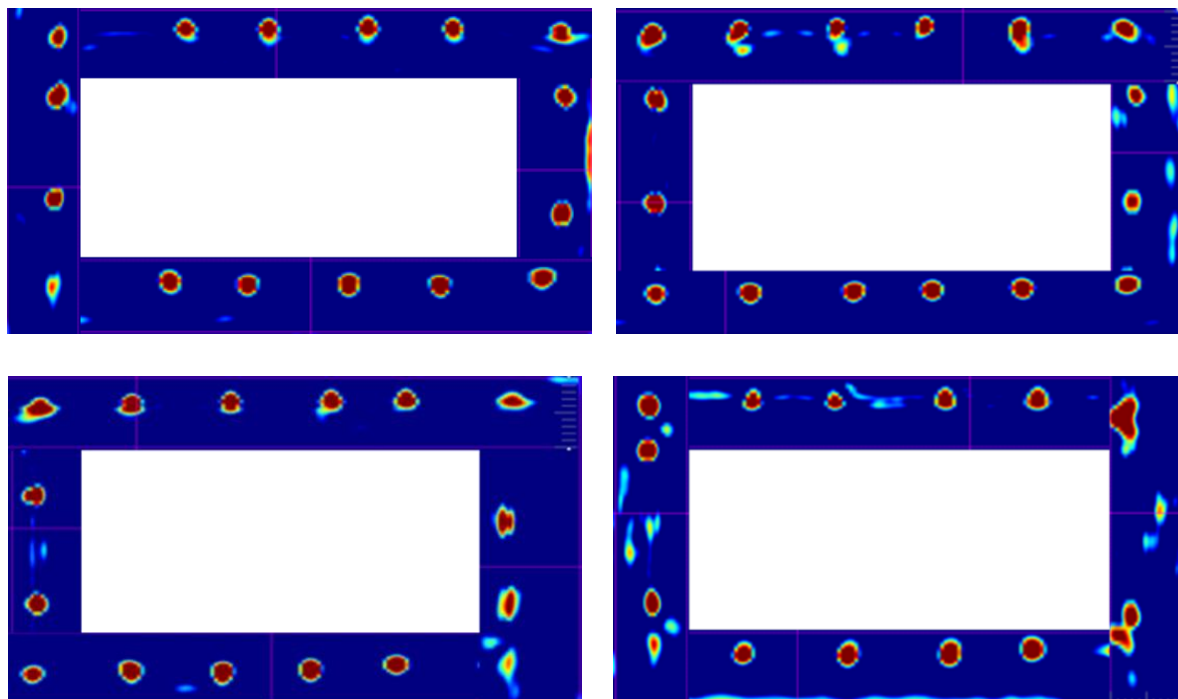


Obr. 49 Příklad horizontálních skenů na stěnách čtvercového sloupu (železobetonová hala v Otrokovicích – objekt 63a, firmy Obaly Morava). Na skenech je zachycena hlavní výztuž sloupu ve výšce cca 1,4 m nad podlahou na všech čtyřech stranách sloupu, krytí včetně omítky bylo proměnlivé od 30 mm do 60 mm [43]

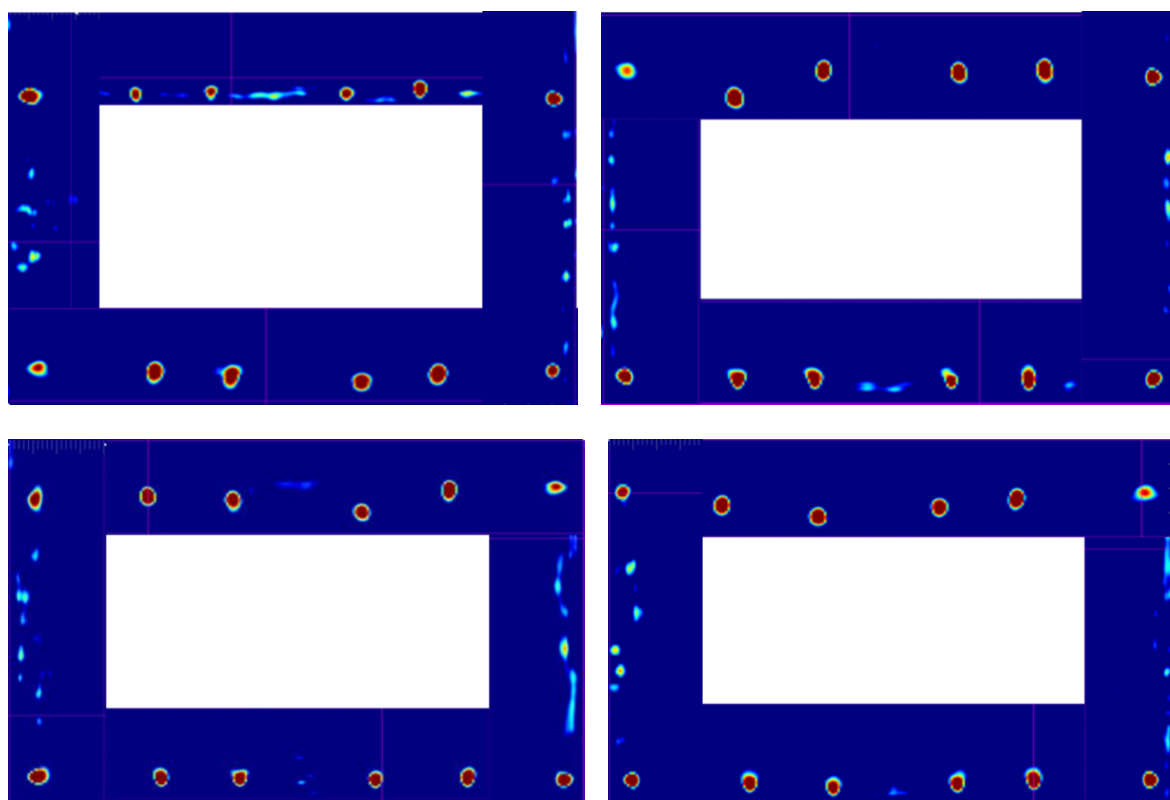


Obr. 50 Složením liniových skenů získáme řez sloupem ve výšce cca 1,4 m nad podlahou s jasně patrnou polohou osmi zjištěných prutů hlavní výztuže [43]

Je celkem běžným jevem u řady konstrukcí, že ve sloupech čtverhranného průřezu je armokoš umístěn excentricky k jedné stěně, nebo je zdeformován. Často jde o systematickou chybu, opakující se ve všech sloupech (viz. Obr. 51 a viz. Obr. 52).



Obr. 51 Čtveřice pilířů mezilehlých podpěr mostů ev.č. 50-003..1 a 50-003..2 v Brně, dokumentující opakující se deformaci armokošů a jejich „přiražení“ do jednoho rohu bednění [44-45]



Obr. 52 Čtveřice pilířů mezilehlých podpěr mostů ev.č. D1-237..2 v Brně, dokumentující opakující se deformaci armokošů a jejich „přiražení“ do jednoho rohu bednění [46]

7.1.2 Sloupy kruhového průřezu

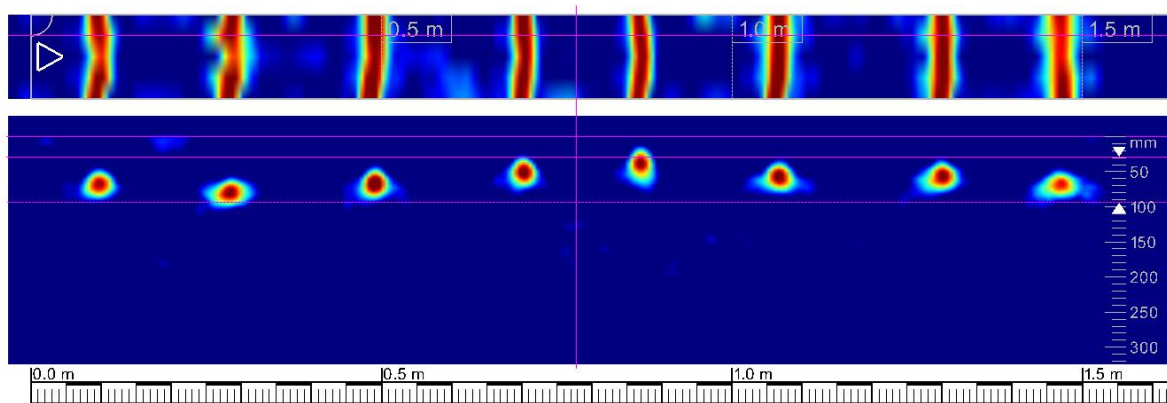
U sloupů kruhového průřezu je možné postupovat obdobně, jako v případě sloupů čtyřhranných. Hlavním rozdílem je to, že místo 4 liniových skenů pro stanovení polohy hlavní nosné výztuže je možné provést jeden liniový sken po obvodu sloupu, záznam pak bude de facto rozvinutým pláštěm válce. Z hlediska výběru metody platí prakticky totéž, jako v předchozí části, věnované sloupům čtyřhranného průřezu. Je vhodné provést radarové měření jako základ, pro zjištění případných neočekávaných anomálií v rozložení výztuže, a elektromagnetický indikátor a sekanou sondu použít pro zjištění chybějících parametrů, či zpřesnění. Použití radaru je zde mimo jiné rovněž indikováno rizikem vyššího krytí, či větší hustoty výztuží, než by umožnilo relevantní elektromagnetické měření.

Mírnou komplikací v případě některých radarů je geometrie uspořádání sondy, jejího dna a pojezdových kol, což v praxi neumožní standardní měření na kruhových sloupech menších průměrů (sonda drhne spodní částí). Zde je však nutno ocenit výhodu sondy Hilti PS1000 X-SCAN, která je osazena trojicí antén, z nichž dvě jsou v zadní části sondy. Je tedy možné si sondu v přední části zvednout, a provádět záznam jen dvěma zadními anténami při jízdě po zadních kolech. I takto provedený záznam je ve výsledku relevantní, a poskytne ideální záznam polohy hlavních výztuží. Nepřesnost měření hloubky uložení (díky náklonu sondy) je velmi malá, a lze ji ve výstupech měření zkalibrovat.

Příkladem může být měření na sloupech nesoucích galerii ve 2. NP Pavilonu Z na Brněnském výstavišti, šlo o železobetonové monolitické sloupy \varnothing 500 mm, s 8 pruty hlavní výztuže \varnothing 14 mm [47].

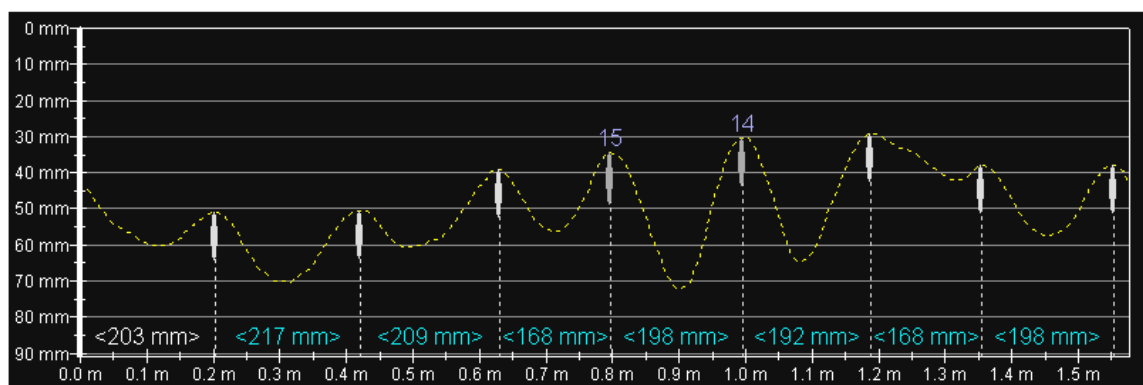


Obr. 53 Měření hlavní výztuže na sloupech nesoucích galerii ve 2. NP Pavilonu Z na Brněnském výstavišti bylo prováděno s mírným pozvednutím čelní části sondy, sonda i v tomto režimu poskytuje relevantní zobrazení polohy hlavních výztuží



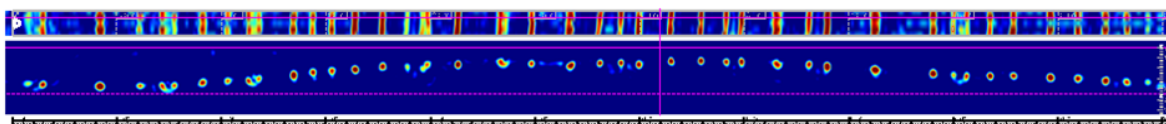
Obr. 54 Typický výstup měření na kruhovém sloupu – radarogram v podobě rozvinutého kruhového pláště.

Sloup obsahoval celkem 8 hlavních výztuží s proměnlivým krytím. Takovéto proměnlivé krytí (kdy na rozvinutém plášti sloupu připomíná linie vedená výztužemi sinusoidu) je pro kruhové sloupy typické. Je důsledkem excentrického umístění armokoše v bednění



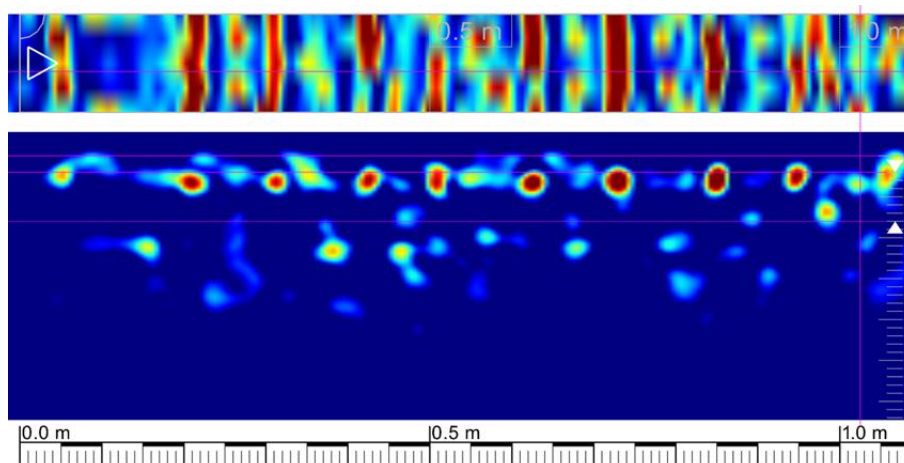
Obr. 55 Pro srovnání – adekvátní záznam provedený elektromagnetickým indikátorem Proceq Profometer PM-630. Zde sonda umožnila i stanovení průměru vybraných výztuží, ale měření je podstatně komplikovanější, neboť sonda se musela pohybovat na sloupu de facto po spirále, dané linií ovíjených třmínků s malou roztečí. Tento problém technologie radaru nemá

U sloupů od průměru cca 1000 mm již není nutné pozvedávání přední části sondy Hilti PS1000, a zakřivení povrchu sloupů již umožňuje standardní režim, viz Obr. 56. U takto rozměrných sloupů se krytí výztuže často dostává mimo dosah elektromagnetických indikátorů, a využití radaru je nezbytné.



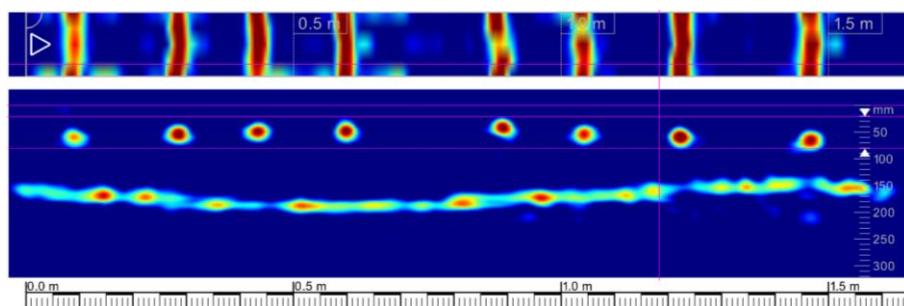
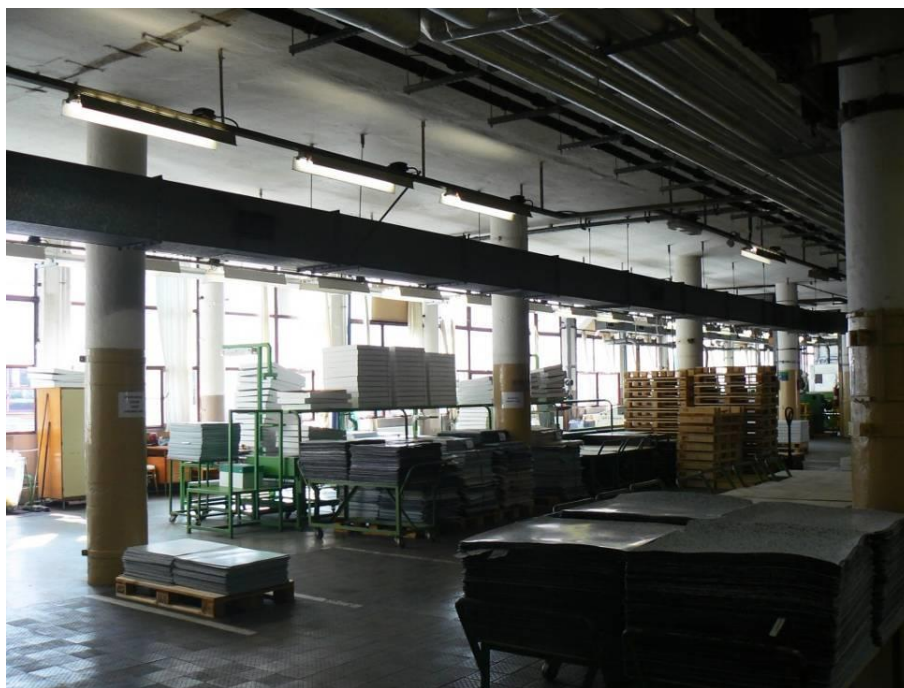
Obr. 56 Masivní sloupy mezilehlé podpory mostu ev.č. D2-058..2 u Lanžhota s průměrem 1600 mm umožňují již standardní provádění liniových skenů (nahore). Radarový liniový sken vedený po obvodu sloupu ve výšce cca 1500 mm nad terénem (dole). Na skenu je patrnou 42 prutů hlavní výztuže (krytí cca 50 – 170 mm). Jak je patrné z linie proložené výztužemi v „řezové“ části skenu, ani tomuto sloupu se nevyhlo excentrické umístění armokoše v bednění [48]

Naopak při diagnostice sloupů extrémně malých průměrů je pozvednutí sondy potřeba, a je třeba dbát na dodržení stabilního náklonu sondy, ideální je využití pomocných klínek či podpěry přední části sondy. Příkladem může být sloup rozvodny velmi vysokého napětí vytvořený odstředivou betonáží, při jehož diagnostice je problémem nejen průměr, ale i vysoké nahuštění ovíjených třmíneků, které do jisté míry opět vyřazují ze hry elektromagnetické indikátory.



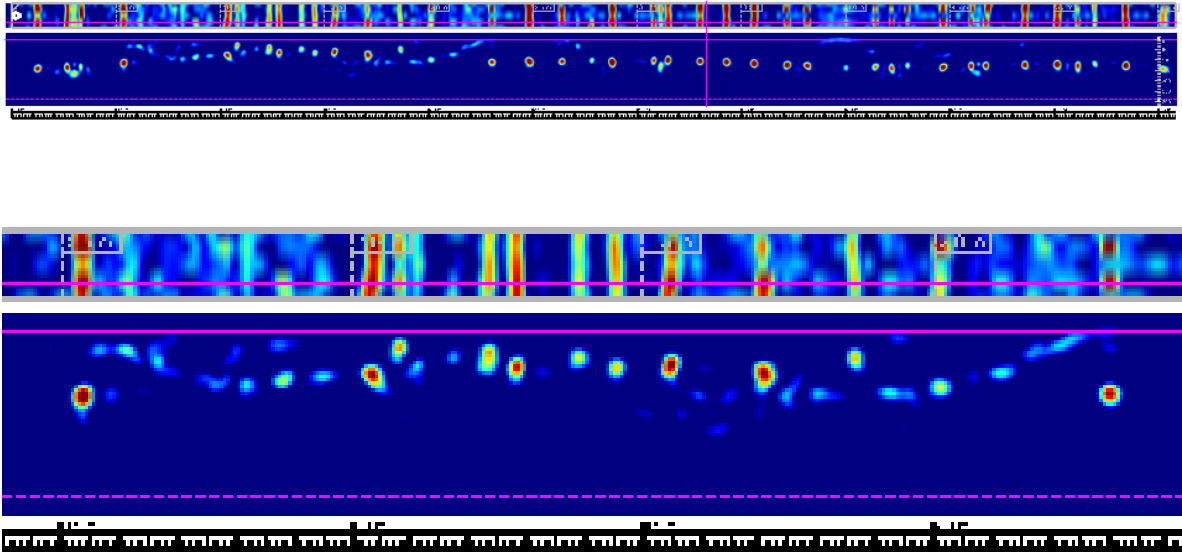
Obr. 57 Sloupy rozvodny velmi vysokého napětí o průměru v místě měření 325 mm (nahore). Liniový radarový sken pořízený horizontálně po obvodu sloupu ve výšce cca 1200 mm jasně ukázal 10 prutů hlavní výztuže [49]

Přidanou hodnotou měření sloupů technologií radaru je případný záznam dalších nehomogenit v tělese sloupu. Typickým případem může být v kruhových sloupech umístění svodů srážkové vody, což bylo typické pro tzv. Baťovy skelety továrních objektů z 30. let 20. století, či skelety novější, které na Baťovy skelety ideově navazují (skelety Průmyslových staveb Gottwaldov z 50. a 60. let 20. století). Právě kovový svod uvnitř sloupu (respektive stěna svodu) může být na radarogramu velmi dobře identifikován, viz Obr. 58.



Obr. 58 Budova 33 areálu Fatra Napajedla ze 30. let 20. století (nahore) a radarový sken provedený po obvodu sloupu, obsahujícího svod srážkové vody. Sken zobrazuje 8 výztuží a pod nimi linii pláště svodu. I svod je umístěn ve sloupu excentricky, proto linie v „řezové“ části radarogramu, která zobrazuje průběh pláště svodu pod povrchem sloupu, má tvar „sinusoidy“) [50]

Podobně, jako v předchozím případě, reaguje radar odrazem radarových pulzů i na nehomogenitách na úrovni trhlin v betonu. Zde je možné uvést typický případ, tedy masivní sloup mezilehlé dilatační podpěry na dálničním mostu ev. č. D2-058..2 u Lanžhota. Na těchto masivních sloupech (průměr 1600 mm) byla v minulosti v místech koroze výztuže odstraněna krycí vrstva betonu a provedena sanace. V současnosti se sanační vrstva jeví jako odtržená od podkladu, a při provádění liniového radarového skenu přístrojem Hilti PS1000 X-SCAN lze porušená místa jednoznačně lokalizovat, přestože nejsou často patrná z povrchu sloupu. Bohužel, tyto masivní vnitřní delaminace působí jako překážka pro průchod radarových impulzů, tudíž za nimi (přesněji v nich) není výztuž detekovatelná, viz Obr. 59.



Obr. 59 Radarový liniový sken vedený po obvodu sloupu mezilehlé dilatační podpory mostu ev.č. D2-058..2 ve výšce cca 1500 mm nad terénem. Na skenu jsou patrné pruty hlavní výztuže s víceméně pravidelnými roztečemi cca 130 mm a krytím 80 – 120 mm (nahore). Celkový počet výztuží není možné určit díky delaminaci betonu a výskytu přidané výztuže v místě sanace (ve střední části sanace). Linie delaminace je dobře patrná na spodním výřezu skenu (dole) [48]

7.1.3 Sloupy nepravidelných tvarů či s nerovnou povrchovou úpravou

Spíše výjimečně se v praxi setkáváme se sloupy, které z architektonických designových důvodů mají nepravidelný, strukturovaný povrch. V těchto případech je při absenci radiografie možné využít, pokud tomu ostatní parametry vyhovují, elektromagnetický indikátor s rovnou podložkou umístěnou mezi něj a konstrukci, či využít indikátor bez pojezdové části, technologie radaru v těchto případech využitelná není.

7.2 Desky

V případě železobetonových, jednostranně či oboustranně armovaných desek, lze v podstatě využít všechny v minulosti či současnosti užívané NDT metody pro stanovení vyztužení. Pod pojmem desky můžeme zahrnout nejen klasické železobetonové desky, tvořící součást železobetonových skeletů, ale prakticky všechny rovinné plošné železobetonové konstrukce a prvky (rovinné, nebo zakřivené, ale způsobem, že s dílčím zkoumaným místem je možno počítat jako s rovinnou konstrukcí). Mimo klasické desky sem můžeme počítat i různé typy železobetonových stěn, ostění tunelů, ale i prefabrikované dílce s převládajícím plošným rozměrem, jako jsou stropní panely, ale i stěny střešních vazníků a podobně.

Radiografie byla v minulosti využívána v závislosti na celkové tloušťce, možnosti přístupu z jedné, či obou stran, viz kapitola 3.4.1.

V současnosti, podobně jako v případě sloupů je pro určení vhodné, či nevhodné metody podstatná předpokládaná hloubka vyztužení pod přístupným povrchem prvku, předpoklad vyztužení v jedné, či více vrstvách, a vzdálenosti sousedních prutů výztuže. Stejně jako u sloupů se osvědčila metoda georadaru, jakožto vytvoření základních vizualizovaných podkladů, následně doplněná metodou elektromagnetických indikátorů, pokud výstupy z radaru ukáží její použitelnost a vhodnost, s uvážením všech omezujících podmínek. Na základě zkušeností se ukazuje, že právě v případě deskových prvků je kombinace onou těchto NDT metod velmi žádoucí, a výsledky se vhodně doplňují. V případě radaru dominuje plošná vizualizace, hloubkový dosah a možnost detekce více vrstev vyztužení, v případě elektromagnetických indikátorů pak přesnost určení krytí a možnost stanovení průměru výztuží. Pro stanovení typu je pak nezbytné provedení cílené sekané sondy.

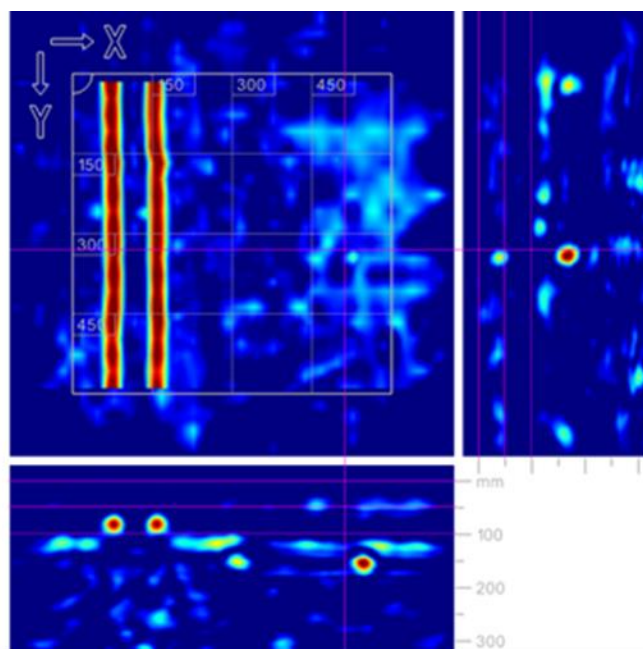
Využití radaru u železobetonových desek má ještě jeden pozitivní aspekt, pokud je dosah zařízení větší, než je tloušťka desky, je možné ve většině případů zobrazit zadní stranu desky, a tím s jistou přesností stanovit její tloušťku (samozřejmě toto je možné s vyšší přesností provést odrazovou ultrazvukovou metodou).

7.2.1 Doporučený postup při měření vyztužení desek radarem

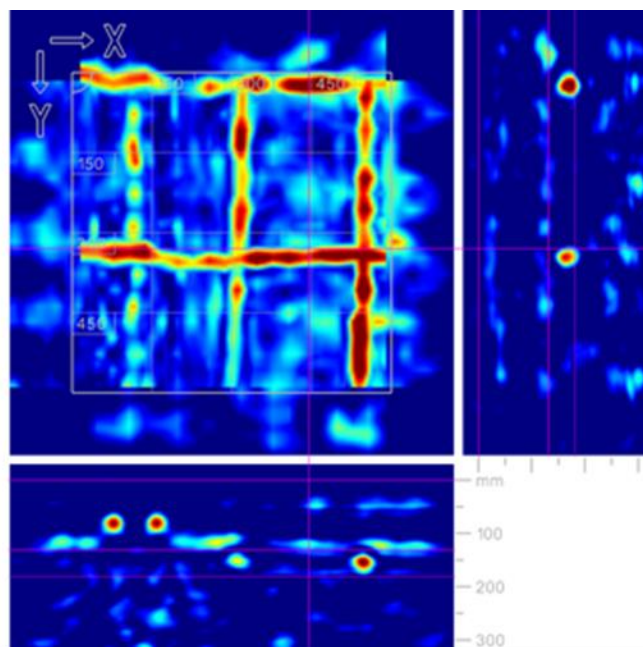
- Preference provedení plošných skenů k analýze celkového vyztužení v ploše, a možnosti analyzování 2D i 3D provedení skenů.
- Následně v potřebných místech provedení liniových skenů, například pro rozsáhlejší posouzení dodržení krytí výztuže a podobně (liniové skeny se provádí ideálně kolmo na předpokládaný směr průběhu výztuží, které chceme detekovat).
- Indikace vhodnosti cíleného využití elektromagnetického indikátoru pro případné zpřesnění měření a určení průměrů, i pro rozsáhlejší posouzení dodržení krytí výztuže a podobně (liniové skeny se provádí ideálně kolmo na předpokládaný směr průběhu výztuží, které chceme detekovat).

Příkladem využití hloubkového dosahu radaru a možnosti detekce více vrstev je stavebně technický průzkum železobetonového stropu bývalé mincovny v Kroměříži [51]. Cílem bylo určení vyztužení stropní desky primárně z důvodu odběru jádrových vývrtů a pro orientační statický výpočet. Deska v tomto případě nebyla přístupná ze spodního líce (dřevěný kazetový podhled), a shora byla kryta skladbou podlahy. Radarové skeny byly prováděny shora přes skladbu podlahy. Bylo použito zařízení Hilti PS1000 X-SCAN.

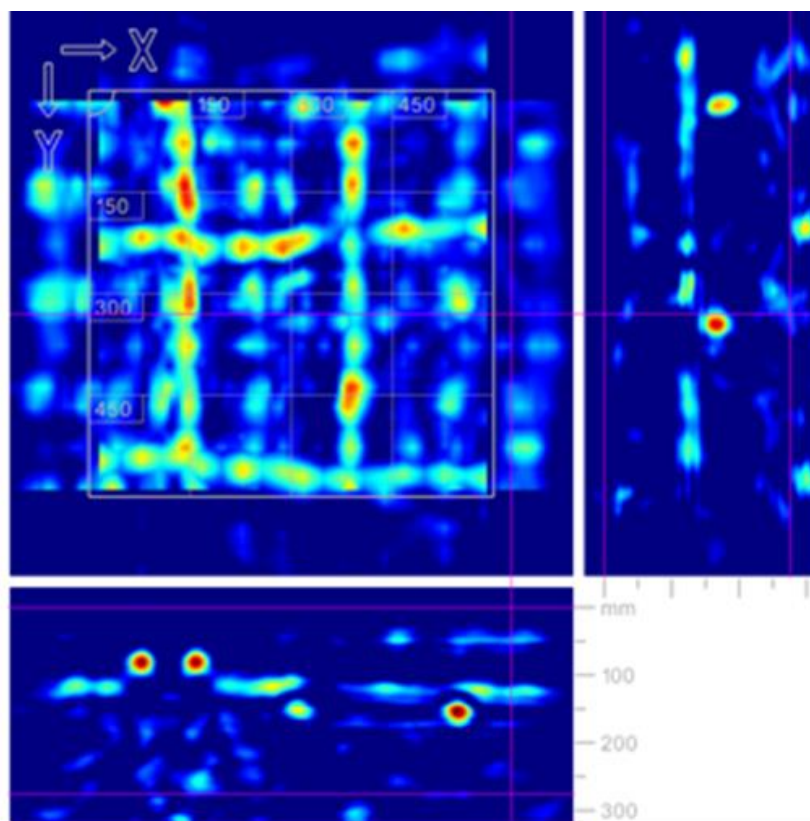
Jako příklad poslouží níže uvedený plošný sken formátu 600 × 600 mm, který je pro názornost předložen ve 3 verzích, kde v každé jsou v pohledové části skenu zobrazeny objekty v konkrétním hloubkovém rozhraní.



Obr. 60 Mincovna Kroměříž – plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm stropní železobetonové desky, pořízený shora přes skladbu podlahy. Zde zobrazení nastaveno tak, aby v pohledové části skenu byly zobrazeny objekty mezi povrchem a hloubkou 100 mm. Na skenu jsou v této oblasti vidět dvě vodovodní trubky umístěné ve vyrovnávacím betonu podlahy v hloubce cca 60 mm. Na dolním řezu jsou vidět i dvě vrstvy vyrovnávacího betonu a v hloubce cca 100 mm horní strana betonové desky



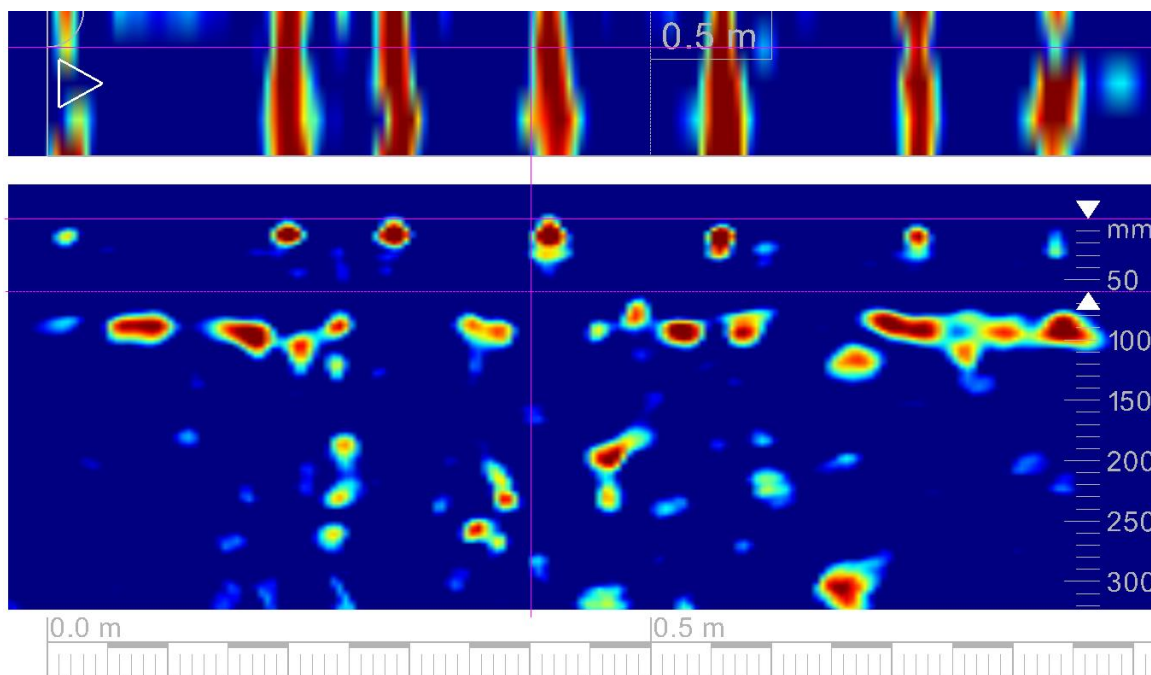
Obr. 61 Mincovna Kroměříž – plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm stropní železobetonové desky, pořízený shora přes skladbu podlahy. Zde zobrazení nastaveno tak, aby v pohledové části skenu byly zobrazeny objekty mezi hloubkami 100 a 200 mm. Na skenu je v této oblasti patrná horní výztuž železobetonové desky, v hloubce cca 140 mm



Obr. 62 Mincovna Kroměříž – plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm stropní železobetonové desky, pořízený shora přes skladbu podlahy. Zde zobrazení nastaveno tak, aby v pohledové části skenu byly zobrazeny objekty mezi hloubkami 200 a 300 mm. Na skenu je v této oblasti patrná dolní výztuž železobetonové desky, v hloubce cca 290 mm

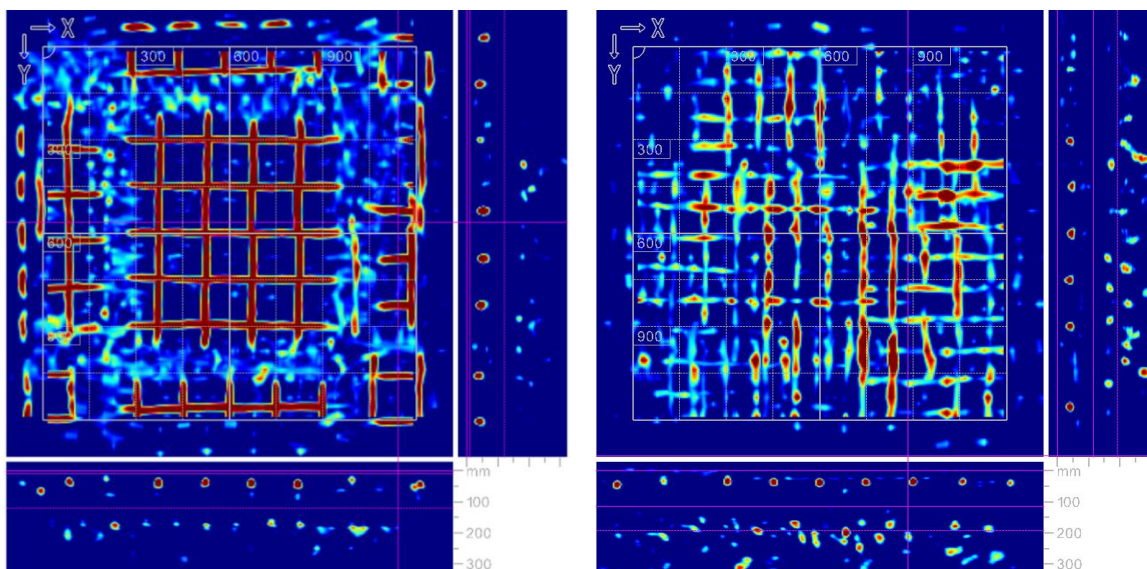
Jak ukazují výše uvedené skeny, navzdory limitní hloubce rovné dosahu radaru, umožnila technologie zobrazit jak skladbu podlahových vrstev, tak horní i dolní výztuž železobetonové desky. V případě využití alternativního radaru s nižší frekvencí by patrně bylo možné zobrazit i spodní stranu železobetonové desky.

Jak již bylo řečeno, schopnost zobrazit zadní stranu desky, pokud je oblast hloubkového dosahu přístroje, patří k dalším pozitivům radaru.



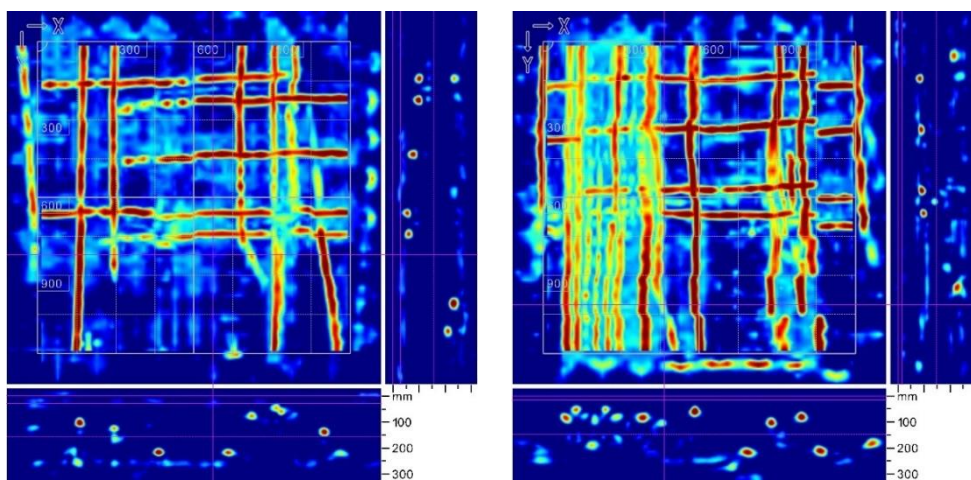
Obr. 63 Příklad radarového skenu desky v místě sondy D1 v rámci stavebně technického průzkumu stropu v objektu Ferona v Brně, ze spodního líce. Na skenu je zachycena poloha hlavních výztuží v desce, a současně řezová část skenu zachycuje odraz zadní strany desky, a vymezuje tím tloušťku desky cca 90 mm [52]

Vhodným příkladem dokumentujícím opět možnosti zobrazení více vrstev výztuže, navzdory heterogenitě vrstev materiálů, je georadarový průzkum provedení sanace podlahy v 1. NP objektu Minaretu v areálu Lednicko-Valtického areálu. V rámci sanace objektu byly rekonstruovány historické mozaiky, a pod nimi zesíleny a upraveny stropní konstrukce.



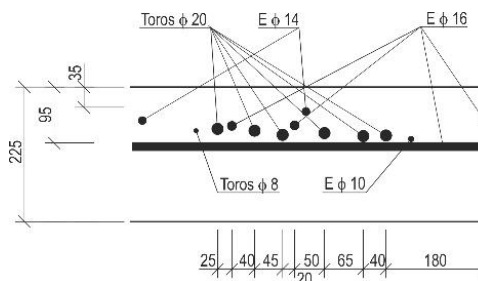
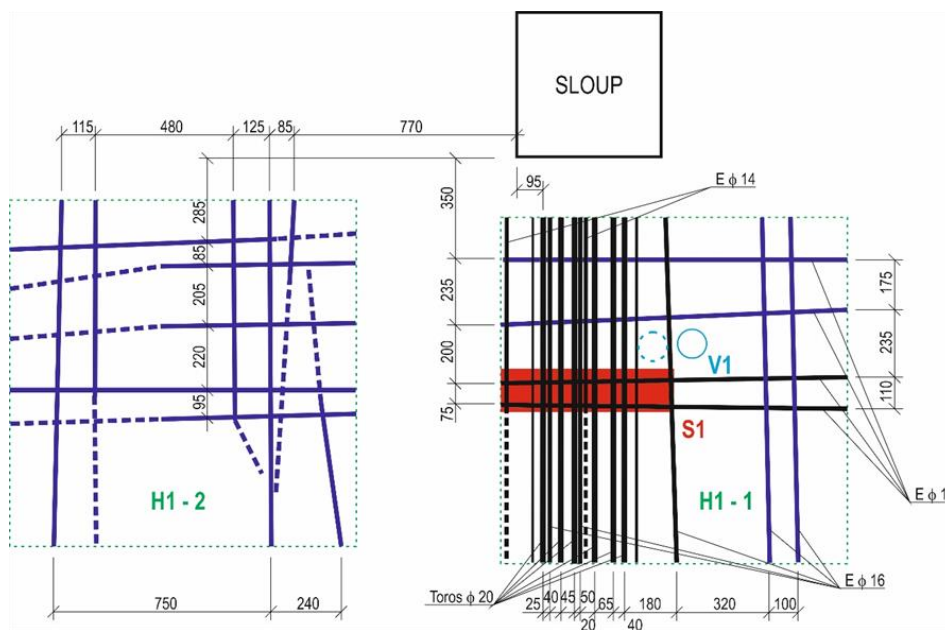
Obr. 64 Využití největšího plošného radarového skenu formátu 1200 × 1200 mm na kontrolu vyztužení sanace stropu v objektu Minaretu v Lednicko-Valtickém areálu, Tentýž sken je zobrazen tak, že v levé verzi zobrazuje v pohledu vyztužení svařovanou sítí 150 × 150 mm v oddělených blocích (v hloubce cca 30 mm) a pravá verze zobrazuje spodní vyztužení stropu opět nakladenými svařovanými sítěmi 100 × 100 mm hloubka cca 180 mm

Jako příklad komplikovaněji vyztužených železobetonových desek může sloužit konstrukce stropu nad 1.NP v objektu obchodního centra na Vídeňské ulici v Brně. Stropní deska byla řešena jako konstrukce obsahující skryté průvlaky a skryté hlavice sloupů. Pro stanovení vyztužení byly mimo jiné použity plošné skeny formátu 1200 × 1200 mm, z horního líce desky, spodní líc byl nepřístupný (podhledy). Zatímco průběh vyztužení v místě skrytých hřibových hlavic sloupů byl dobře detekovatelný, v případě skrytého průvlaku byl problém se stanovením výztuže u podpory, jednotlivé pruty byly bezprostředně vedle sebe a měly velmi malé krytí, georadar nedokázal rozlišit všechny (elektromagnetický indikátor pochopitelně rovněž ne). V tomto případě musela pomoci cílená sekaná sonda, která navíc v průvlaku odhalila kombinace různých průměrů i typů výztuží (do jisté míry doklad, že objekt byl stavěn v rámci tzv. Akce Z).

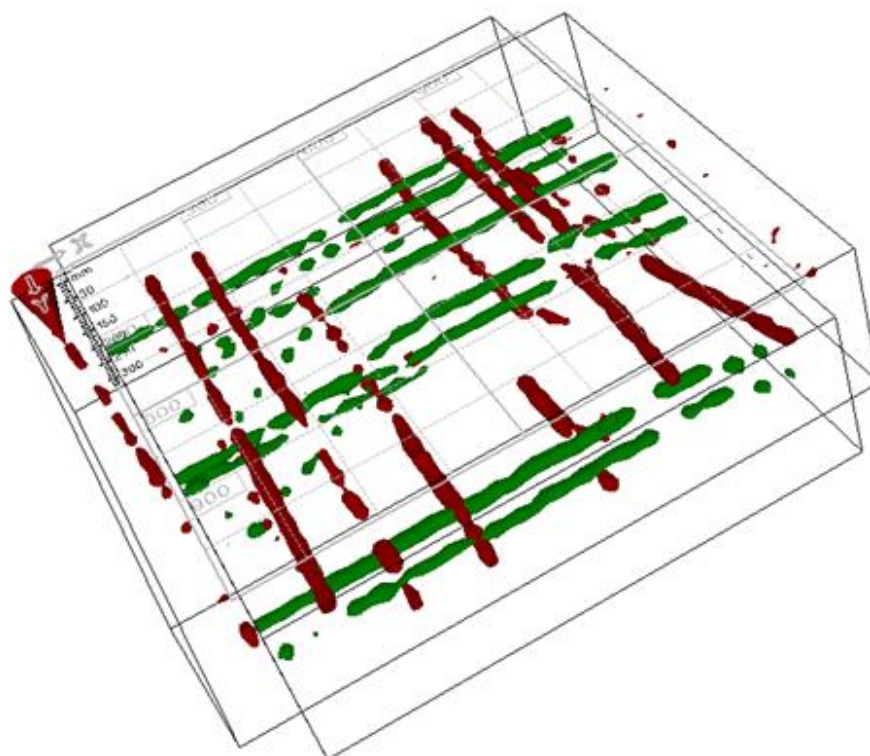


H1-2

H1-1



Obr. 65 Dvojice radarových skenů 1200×1200 mm (nahore) pořizená z horní strany železobetonové desky Nákupního centra na Vídeňské ulici v Brně. Uprostřed půdorys stropu s vyznačením ploch obou skenů (H1-2 a H1-1) a výkresem zjištěné výztuže, dole sekaná sonda S1 v místě skrytého průvzlaku a výkres výztužení (řez) v místě sondy. Ve skenech je výztužení jednoznačné, s výjimkou skrytého průvzlaku, kde jsou jednotlivé výztuže díky nahuštění obtížně detekovatelné [53]



Obr. 66 Situace z předchozího obrázku může být vhodnou indikací k využití 3D výstupu skenu při analýze vyztužení. Příklad 3D zobrazení skenu, s dobře patrnými ohyby některých zeleně znázorněných výztuží [53]

Příkladem účelné kombinace měření georadarem a elektromagnetickým indikátorem je stanovení vyztužení prefabrikovaných dílců silážních žlabů v Nové vsi u Rychnova nad Kněžnou [54]. Konstrukce stěn silážních žlabů se skládá z jednotlivých prefabrikovaných prvků – dílců, které mají v příčném řezu tvar písmene L, vodorovná část konstrukce je tvořena železobetonovou deskou, která překrývá vodorovné části prefabrikovaných stěn. Celou konstrukci tvoří dvojice žlabů oddělená středovou prefabrikovanou stěnou (zde mají prefabrikáty tvar obráceného T). Půdorysné rozměry každé vodorovné železobetonové desky silážního žlabu jsou dle výkresové dokumentace 64 500 × 20 250 mm. Při provozu došlo k zásadnímu poškození konstrukce, cílem diagnostiky bylo stanovení příčiny poruchy.



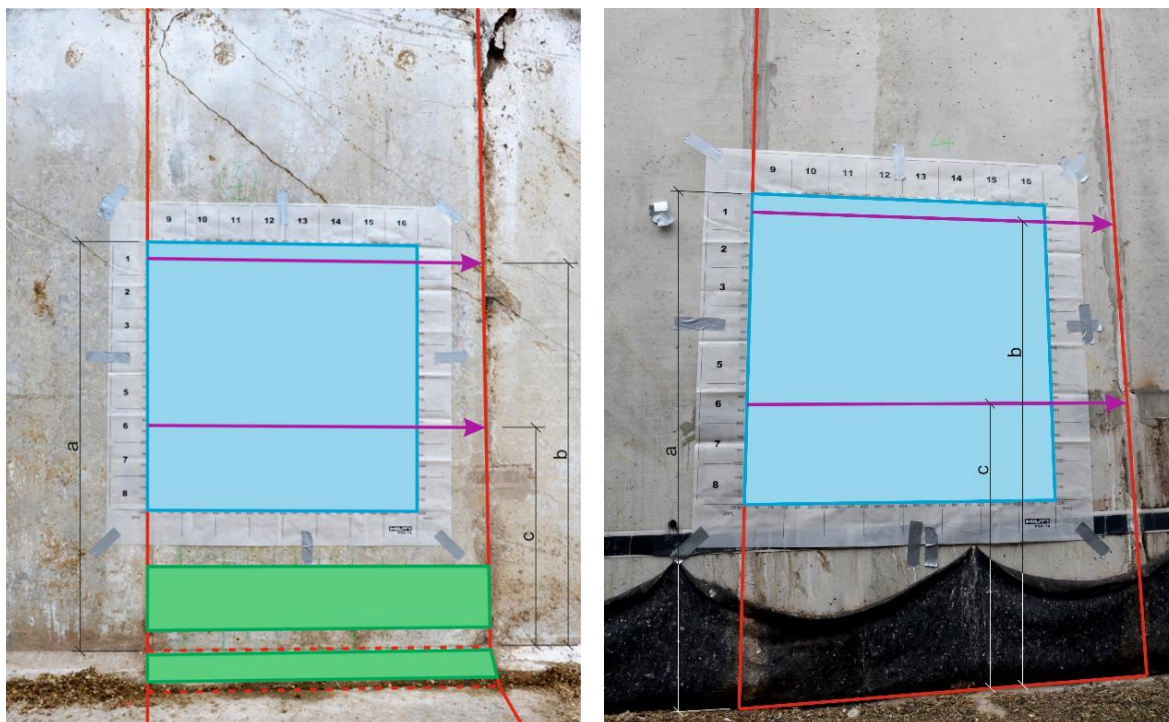
Obr. 67 Silážní žlab, jehož stěny jsou tvořeny železobetonovými prefabrikáty ve tvaru písmene L, se základnou překrytou deskou z drátkobetonu. Zde porušená část jihozápadní stěny silážního žlabu v délce 30 m. Vpravo za cisternou je patrný výrazný zlom stěny. Vpravo detail jedné z poruch mezi prefabrikáty č. 21 a 22 při pohledu z vnitřní strany

Na základě požadavku statika byla provedena detekce vyztužení ve svislé části a patě vybraných prefabrikátů, detekce ve vodorovné části nebyla možná díky překrytí drátkobetonem, v této části byla následně využity sekané sondy.

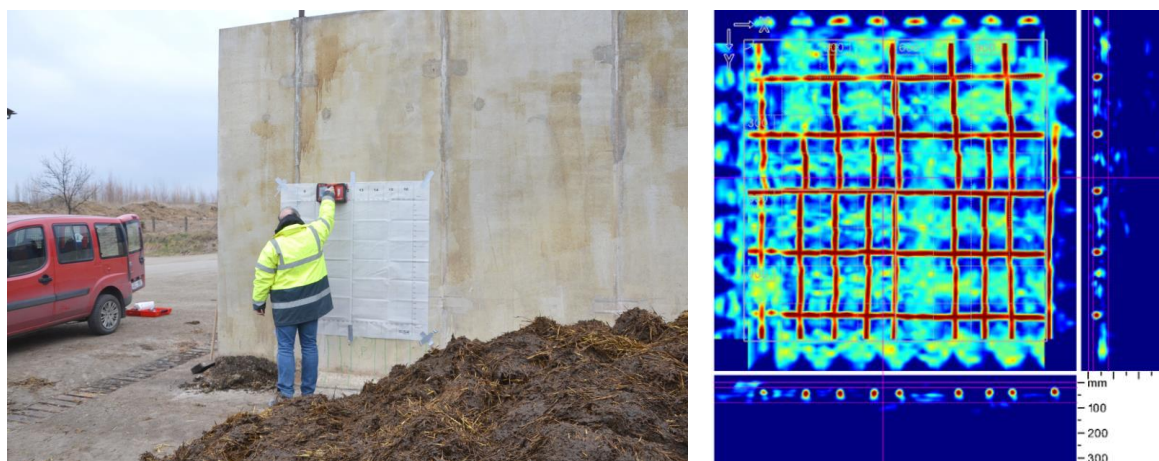
Postup měření byl následující:

Na vnitřní straně dílce byl proveden radarový sken v ploše 1200×1200 mm (v Obr. 67 vyznačen modře). Poloha levého horního rohu skenu je situována na levý okraj prvku (při pohledu zepředu), výška levého horního rohu skenu nad hranou sešikmené části paty prvku označena **a**. Dále byly provedeny radarem dva horizontální liniové skeny přes celou šířku prvku (v Obr. 68 vyznačeny fialově), výšky linií skenů nad hranou sešikmené části paty prvku označeny **b** a **c**. Pomocí elektromagnetického indikátoru vyztuže byly proměřeny dvě oblasti u paty prvku, jedna ve svislé části, druhá v sešikmené části (v Obr. 68 vyznačeny zeleně), v tomto případě byly výsledky měření kresleny pro názornost přímo na konstrukci.

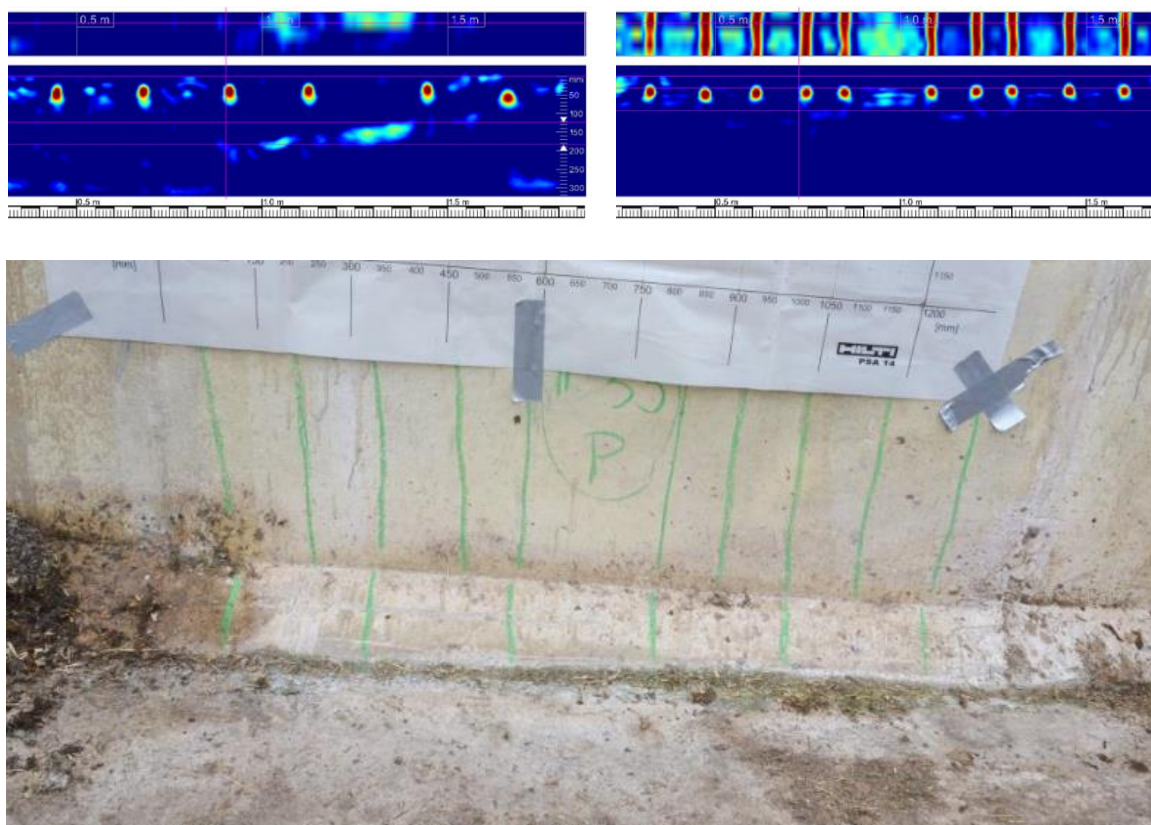
Na vnější straně dílce byl proveden radarový sken v ploše 1200×1200 mm (v Obr. 68 vyznačen modře). Poloha levého horního rohu skenu je situována na levý okraj prvku (při pohledu zepředu), výška levého horního rohu skenu nad úrovní terénu v patě prvku označena **a**. Dále byly provedeny radarem dva horizontální liniové skeny přes celou šířku prvku (v Obr. 68 vyznačeny fialově), výšky linií skenů nad úrovní terénu v patě prvku označeny **b** a **c**.



Obr. 68 Schematické znázornění polohy měřených míst na vnitřní (vlevo) a vnější (vpravo) části obvodových prvků, a na obou stranách vnitřního prvku. Spáry mezi prvky jsou zvýrazněny červenou plnou čarou



Obr. 69 Vlevo panel č. 35 ve střední stěně silážních žlabů z jihozápadní strany – probíhající plošné radarové skenování, vpravo výsledek plošného skenování

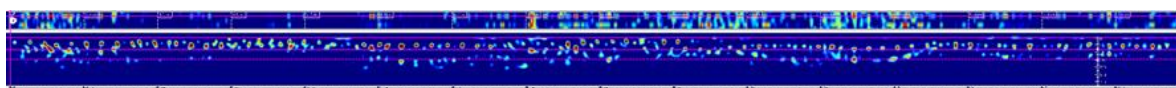
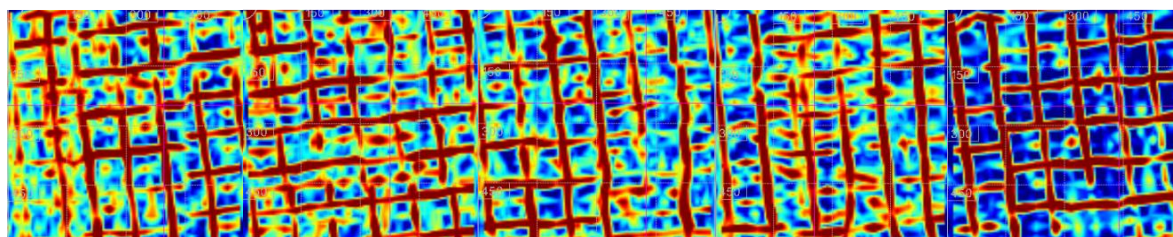


Obr. 70 Nahoře liniové skeny v úrovních **b** a **c** a dole výztuž detekovaná elektromagnetickým indikátorem vyznačená na povrch prvku

Výsledek měření: kombinací plošných a liniových skenů radarem bylo zjištěno, že u jihozápadního líce svislé části panelu se nachází celkem 10 prutů hlavní (svislé) výztuže, s průměrným krytím 50 mm. Podle dokumentace a obnažené výztuže v poškozených panelech jde pravděpodobně o 6 prutů výztuže R Ø 12 mm, a 4 pruty výztuže R Ø 16 mm. Pruty výztuže Ø 16 mm jsou zakončeny 1370 mm nad hranou sešikmené části paty prvku. Vodorovná výztuž je rozmístěná pravidelně v průměru po 240 mm. Do vodorovné části panelu se ohýbá pouze 6 prutů výztuže Ø 12 mm.

7.2.2 Pokrytí velké plochy měření

Při měření rozsáhlých železobetonových plošných konstrukcí je výhodné pokrýt plochu buď liniovými skeny, které na sebe navazují (dle předpokládané polohy a dalších parametrů vyztužení lze alternativně použít jak georadar, tak elektromagnetický indikátor), nebo provést sérii plošných skenů, které na sebe navazují (skeny je možné složit).

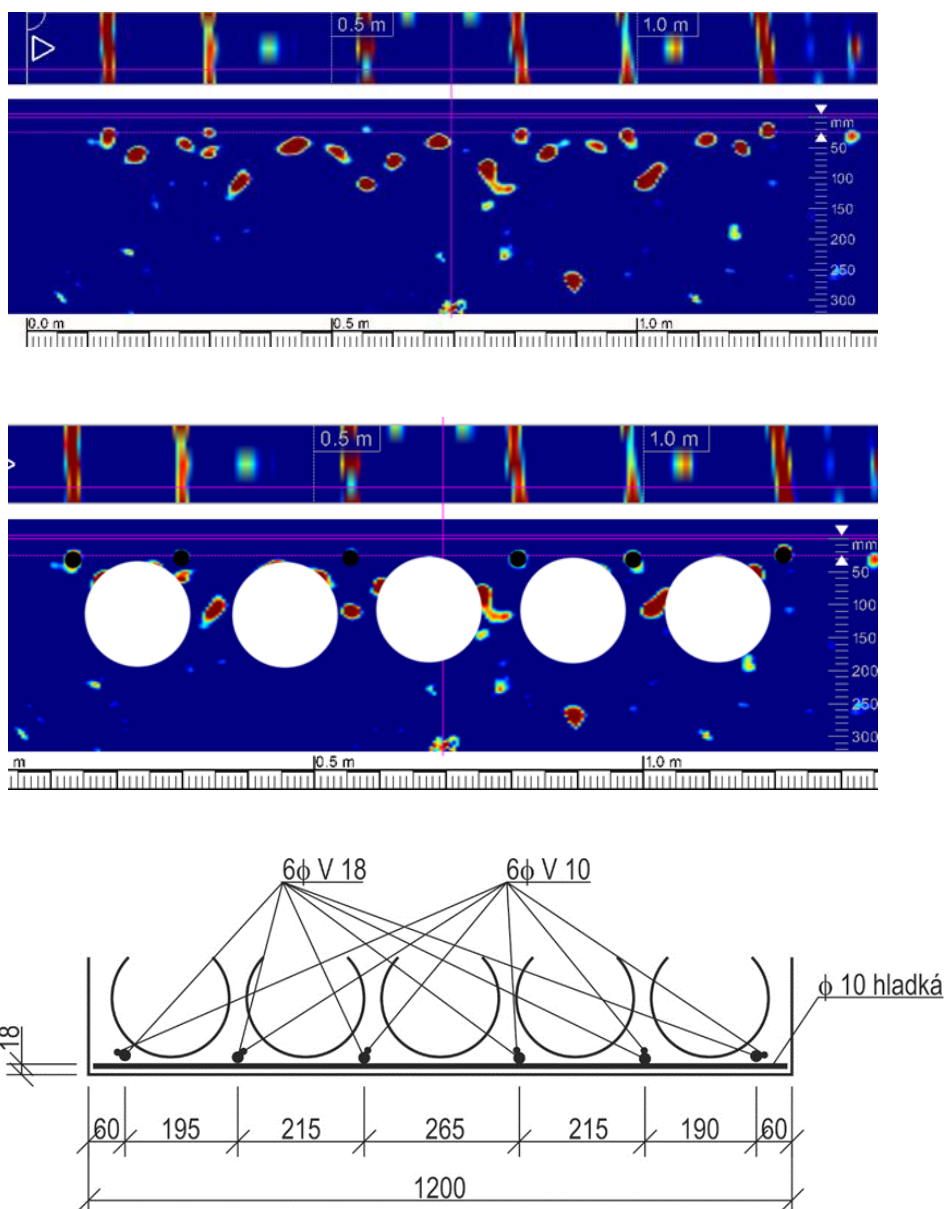


Obr. 71 Stavebně technický průřez stěn výběhu medvědů v ZOO Brno (tzv. Kamčatská chalupa) - příklad složení plošných skenů formátu 600×600 mm a liniového skenu v délce 8 m, zachycující vyztužení svařovanými sítěmi, místy se překrývajícími

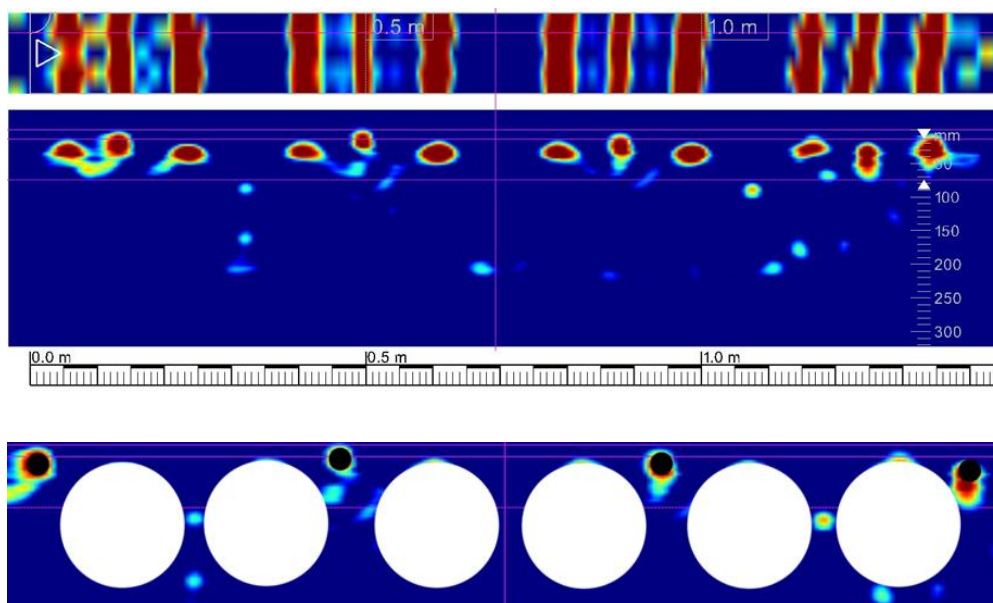
7.2.3 Dutinové panely – speciální případ

Jak bylo řečeno výše, mezi „desky“, tedy železobetonové prvky s převládajícím plošným rozměrem, můžeme počítat i různé typy stropních panelů. Stanovení jejich vyztužení se nijak zásadně neodlišuje diagnostiky ostatních „deskových“ prvků. Poněkud odlišnou kategorií tvoří různé typy dutinových panelů. Zde musíme počítat s tím, že obě v současnosti užívané NDT metody pro výztuž, tedy elektromagnetický indikátor i georadar, zobrazí ocelovou výztuž,

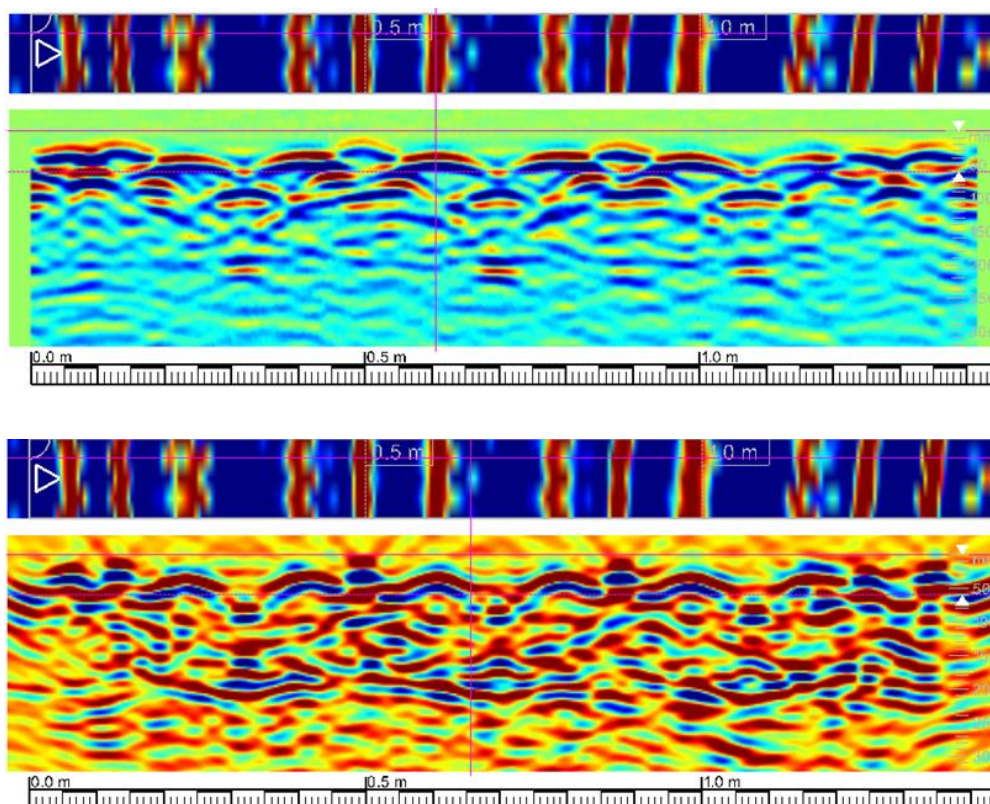
ale georadar navíc zareaguje na dutiny v panelu. Zde je potřeba jisté obezřetnosti, protože u radarů určených převážně pro diagnostiku výztuže má vyhodnocovací software tendenci „ze všech vrcholů odrazových hyperbol udělat výztuž“. Příkladem může být diagnostika železobetonových stropních panelů v Brněnském Hotelu Myslivna, viz Obr 72, či panelů Spiroll ve výškovém objektu na ulici Šumavské v Brně, viz Obr 73 a 74.



Obr. 72 Stropní panel v Hotelu Myslivna v Brně šířky 1200 mm. Radarový liniový sken vedený ze spodního líce napříč stropním panelem uprostřed rozpětí. Na skenu je patrných 6 hlavních výztuží, a v části řezu i vrcholy 5 dutin v panelu, které však software zpracoval v místě průsečíků odrazových hyperbol vytvořených výztužení a vrcholy dutin jako další výztuže (nahore). Ve středu tentýž sken, pro názornost je v části řezu výztuž vyznačena černě a dutiny bíle, a dole výsledné reálné vykreslení vyztužení [55]



Obr. 73 Výškový objekt Šumavská Brno, záznam liniového skenu přístrojem PS1000 napříč stropním panelem od spodního líce. Dobře jsou patrné jednotlivé ocelové výztuže a vrcholy dutin v panelu, ne okrajích skenu jsou ještě zachyceny krajní výztuže sousedních panelů (nahore). Dole tentýž sken oříznutý na rozměr stropního panelu, se zvýrazněnými výztužemi (černá) a dutinami (bílá)



Obr. 74 Sken z předchozího obrázku, kde softwarem nezpracovaná data v „řezové“ části skenu přesně napoví, jak software vytváří zobrazení fiktivní výztuže namísto dutin, v místě vrcholů odrazových hyperbol, případně v místě jejich protínání. Nahore surová data, dole usměrněné vlny

7.3 Trámy

Stanovení vyztužení železobetonových trámů (průvlaků, trámů, žeber), patří ke komplikovanějším případům. Rozsah stanovení vyztužení je diktován účelem stavebně technického průzkumu. Pokud tento slouží jako podklad pro statický přepočít únosnosti, minimální rozsah stanovení vyztužení trámu je následující:

- Hlavní nosná výztuž ve středu rozpětí u spodního líce prvku.
- Hlavní nosná výztuž u horního líce nad podporou (respektive v praxi spíše u „podpory“) – pokud není přístupný horní povrch trámu u podpory, lze do jisté míry nahradit stanovením vyztužení u podpory u spodního líce a zjištěním smykových ohybů hlavních výztuží, ale s výhradou.
- Poloha a množství smykových ohybů hlavních výztuží.
- Třmínky – rozteče a tvar, ideálně po celé délce prvku (rozdíly ve středu rozpětí a u podpory).

Právě diagnostika hlavní nosné výztuže je problematická v případech, kdy jsou výztuže umístěny v několika vrstvách (nebo obecně prostorově komplikovaně), vzdálenosti sousedních výztuží jsou minimální, výztuž je „utopená“ hluboko pod povrchem a podobně. Právě tyto nepříznivé případy v minulosti byly řešeny pomocí radiografie s užitím izotopu Co60, optimální konfigurace prozařování byly v minulosti dostatečně upřesněny (viz kapitola 3.4.1).

V tomto směru dokáže kombinace ostatních metod radiografii nahradit ve většině případů, byť za cenu zvýšené nutnosti provedení rozsáhlejších sekaných sond tam, kde nedestruktivní metody selhávají díky omezením, daným jejich fyzikálními principy.

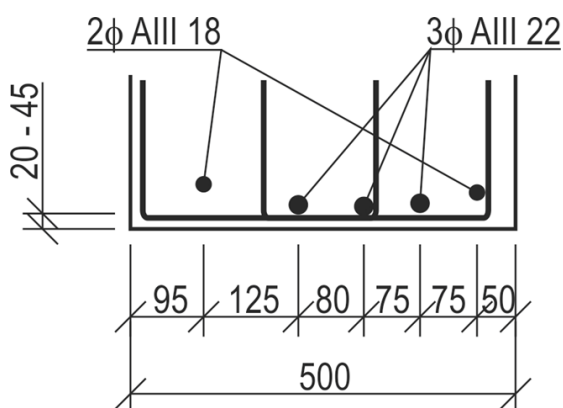
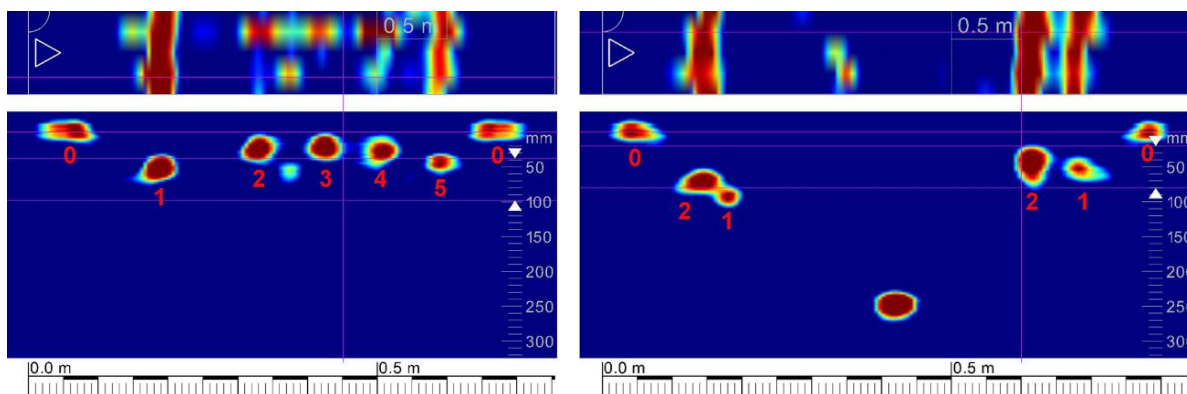
Následně jsou uvedeny optimální postupy měření vyztužení trámu.

7.3.1 Hlavní nosná výztuž u spodního líce prvku (postup platí v modifikované podobě i pro výztuž u horního líce nad podporou)

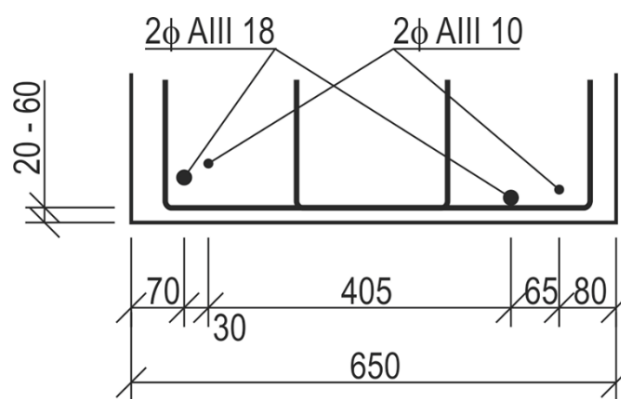
Provedení liniových skenů napříč trámem ze spodního líce pro určení polohy hlavních výztuží – dle prostorových dispozic předpokládané polohy výztuže (krytí, počet vrstev) volíme metodu georadaru či elektromagnetického indikátoru. Optimální je kombinace obou metod a vzájemné zpřesnění výstupů. Pro měření elektromagnetickým indikátorem je vhodné předchozí určení polohy třmínků, aby měření probíhalo mezi nimi (u georadaru tato premisa neplatí). V případě předpokladu více vrstev výztuže následně realizovat svislé skeny na obou bocích trámu, vždy od spodního líce vzhůru. Georadar by měl mít takový dosah, aby při bočních skenech pokryl celou šířku trámu (tedy z každé strany by měl mít dosah přes polovinu šířky). Ve finále je nezbytné chybějící parametry stanovit sekanou sondou, či cílenými příklepovými návrty.

V případě komplikovaného vyztužení více vrstvami nemusí být využití kombinace zmíněných NDT metod stoprocentní. Například i jinak spolehlivý georadar může mít problém výztužemi přímo nad sebou, komplikaci tvoří v okrajové části trámu i odraz radarového signálu od bočních stěn (při měření na spodním líci – nutno počítat s tím, že na radarogramu může vzniknout v místě kraje trámu falešný odraz, který software vyhodnotí jako další výztuž u povrchu – viz Obr.75. Rozšíření výsledků může přinést využití plošných radarových skenů na spodní, i na bočních stranách trámu, a následně studium 2D či 3D variant výstupů.

Na následujícím příkladu (Obr.75 a Obr. 76) je prezentováno liniové měření radarem na průvzlaku v objektu průmyslové haly v areálu Fatra Chropyně [56]. Vzhledem k vyztužení při spodním líci pouze jednou vrstvou výztuží mohla technologie georadaru přesně doložit polohu všech prutů.

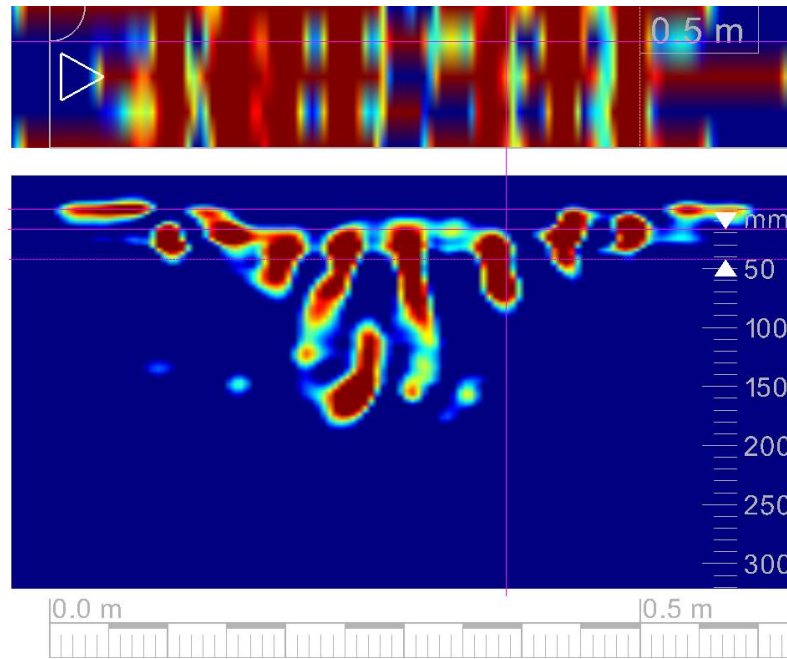


Obr. 75 Výsledky měření hlavní výztuže přístrojem HILTI PS 1000 uprostřed rozpětí průvlaku S1-1. U spodního líce je registrováno v souladu s výkresovou dokumentací 5 prutů výztuže (značeno 1 až 5), projev odrazu radarových vln na okraji prvku je označen 0. Typ a průměr výztuží byl ověřen cílenou sekanou sondou



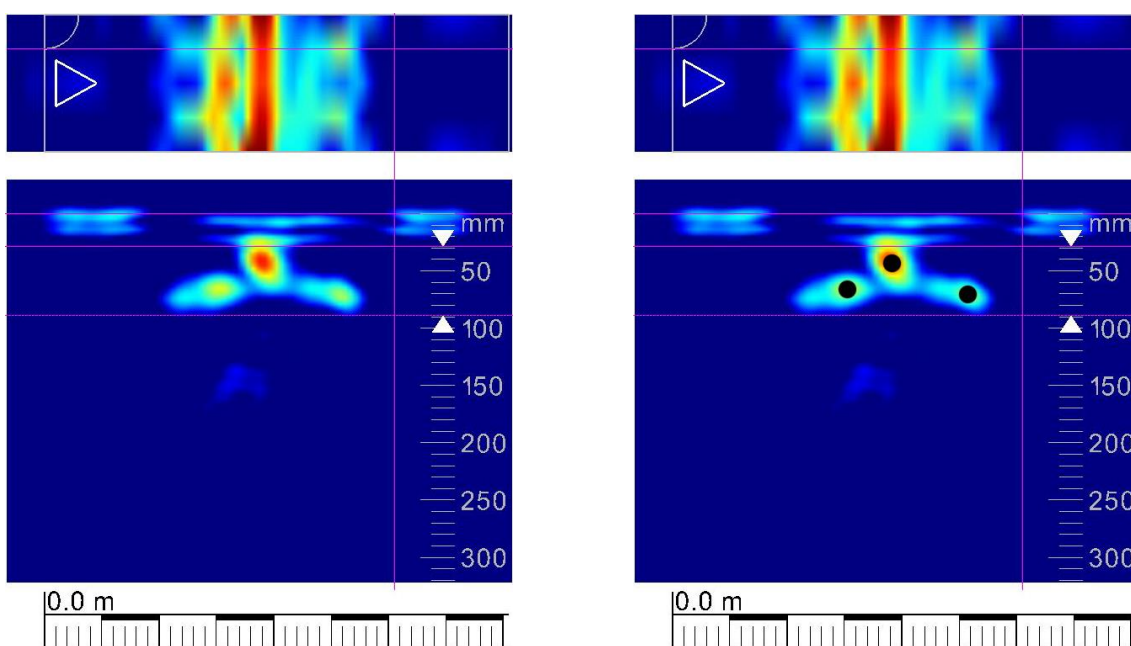
Obr. 76 Výsledky měření hlavní výztuže přístrojem HILTI PS 1000 u podpory průvlaku S3-1. U spodního líce jsou registrovány v souladu s výkresovou dokumentací 4 pruty výztuže, je patrný i rozdíl průměrů. (značeno 1 a 2), projev odrazu radarových vln na okraji prvku je označen 0. Uprostřed řezu je zachycen jeden z ohybů hlavní výztuže. Typ a průměr výztuží byl ověřen cílenou sekanou sondou

Jak již bylo řečeno, více vrstev výztuže je problematické, zejména když jsou pruty umístěny přímo nad sebou, zde i technologie georadaru v řadě přístavu selhává, a polohu výztuží v horních vrstvách je možné zjistit pouze kombinací bočních skenů, a cílených příklepových návrtů mezi pruty výztuže ve spodní vrstvě. Jako příklad poslouží průvlak konstrukce Paláce Jalta v Brně, viz. Obr. 77.



Obr. 77 Liniový radarový sken napříč průvlakem v objektu Paláce Jalta v Brně ze spodního líce, jasně patrných 8 výztuží u spodního líce, bohužel technologie radaru při tak hustém vyztužení neumožňuje zobrazení výztuží ve 2. řadě – jsou sice z části na skenu zobrazeny, ale díky malým roztečím a vzájemným zakrytím je sken téměř nevyhodnotitelný. Šířka průvlaku je 500 mm

Měření na trámech (žebrech) malých rozměrů je komplikované díky pravděpodobnosti malých rozestupů mezi výztužemi (zejména pro elektromagnetický indikátor, ale i pro georadar), a současně díky okrajovému efektu odrazu radarového signálu, viz Obr. 78.



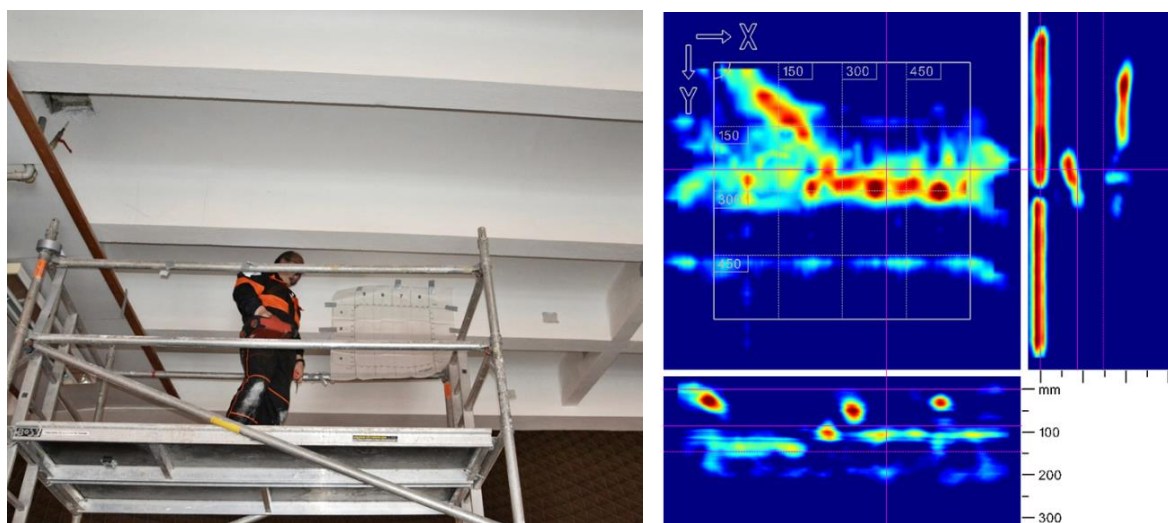
Obr. 78 Pavilon Z na Brněnském výstavišti – základem diagnostiky výztuže žebér se stalo liniové skenování radarem zesponu prvků (nahore). Dole záznam liniového radarového skenu napříč žebrem u spodního líce, na pravém obrázku zvýrazněna poloha hlavní výztuže, krajní pruty jsou méně rozeznatelné vlivem okrajového efektu odrazu [57]

7.3.2 Smykové ohyby hlavních výztuží

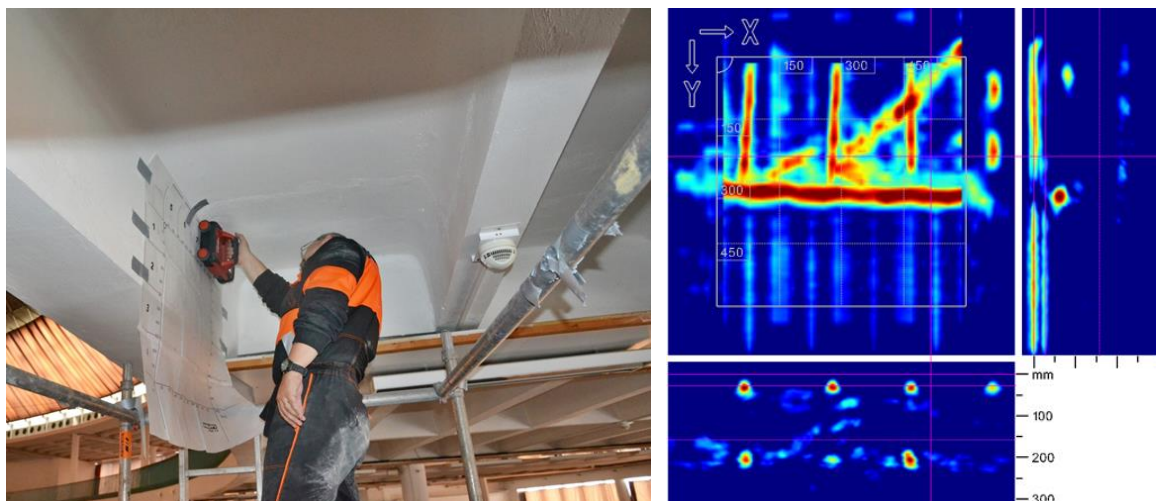
Do příchodu technologie georadaru do odvětví diagnostiky konstrukcí bylo stanovení polohy smykových ohybů výztuže velmi komplikované. Většinou probíhalo formou stanovení rozdílu v počtu výztuží uprostřed rozpětí a u podpory při spodním líci, a to ideálně radiograficky izotopem Co60, ve výjimečně geometricky příznivých případech elektromagnetickým indikátorem (či v extrémních případech sekanou sondou). Přesná poloha ohybů se mohla stanovit díky měření ve více místech staničení trámu. V extrémně důležitých případech bylo možné provést radiograficky boční prozáření, za cenu vysoké časové náročnosti (doba expozice daná ohniskovou vzdáleností a tloušťkou betonu).

S příchodem georadaru se situace radikálně změnila. V závislosti na vhodnosti podmínek (přístupnosti a rozměrech trámu) je možné detekovat smykové ohyby dvojím způsobem:

Prvním způsobem může být provedení řady plošných skenů na bočním líci trámu, pokud jsou rozměry prvku takové, že je provedení plošného skenu možné. Zásadou je mít možnost zmapovat celý vnitřní prostor trámu, tedy hloubkový dosah radaru musí odpovídat alespoň polovině šířky trámu (při skenování z obou bočních líců je pokryt celý vnitřní prostor).

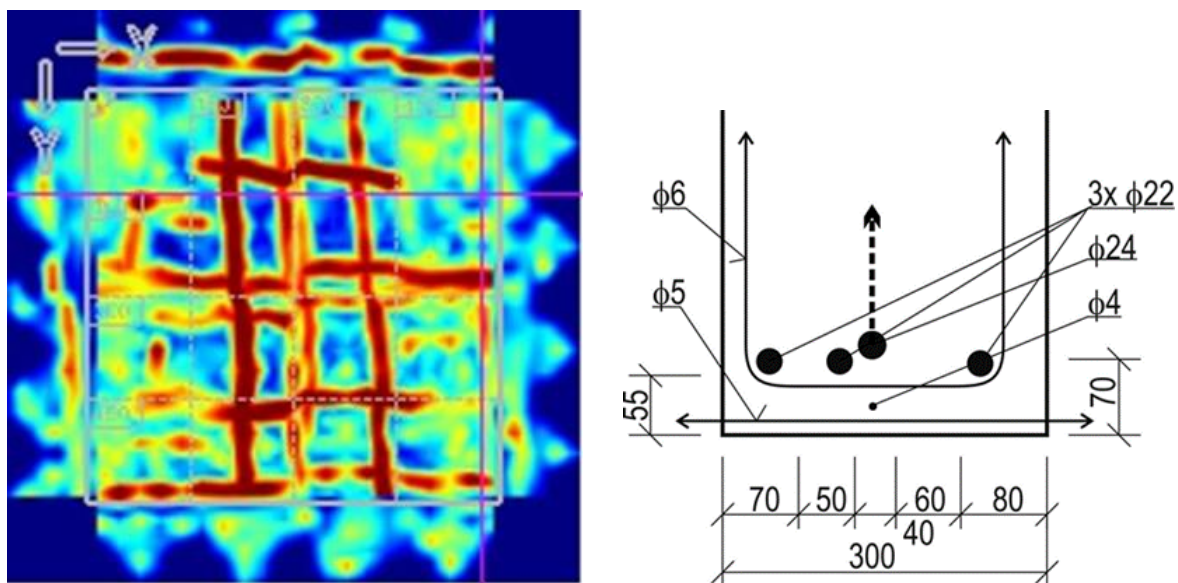


Obr. 79 PAVILON Z Brněnského výstaviště – příklad provádění plošného skenu z boku žebra, problém činil malý rozměr prvku, zejména jeho výška (vlevo). Vpravo radarogram s dobře patrným ohybem hlavní výztuže [57]



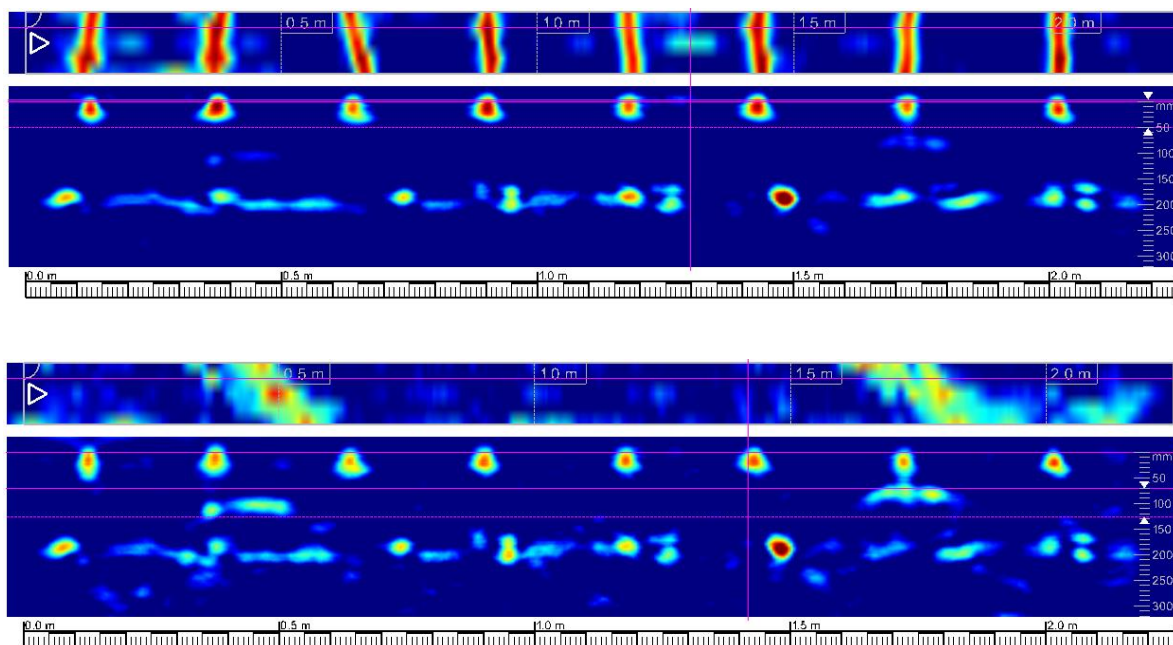
Obr. 80 Pavilon Z Brněnského výstaviště – příklady provádění plošného skenu z boku průvzlaku, i zde činila problém malá výška prvku. Vpravo radarogram s dobře patrným ohybem hlavní výztuže [57]

V případě jedné vrstvy výztuže lze zachytit polohu ohybu i plošným skenem ze spodního líce prvku, v rámci stanovení počtu hlavních výztuží, viz Obr. 81.



Obr. 81 Průvzlak šířky 300 mm v 1.NP objektu 33, Fatra Napajedla, vpravo plošný radarový sken 600 × 600 mm ze spodního líce průvzlaku zachytil 650 mm od kraje sloupu jeden ohyb hlavní výztuže. Vpravo řez průvzlakem v místě skenu [58]

Druhou, výrazně jednodušší a rychlejší metodou lokalizace ohybů hlavních výztuží je provedení horizontálního liniového skenu po bočním líci trámu. Zde se ukazuje obrovská výhoda radaru Hilti PS1000 X-SCAN, která spočívá v osazení trojicí antén, což umožňuje i při provádění liniového skenu (de facto sonda provádí 3 liniové skeny současně) určit i pohledové části skenu sklon výztuží. Proto provedení horizontálních skenů z obou stran trámu umožní lokalizaci všech ohybů (jsou-li v hloubkovém dosahu sondy).



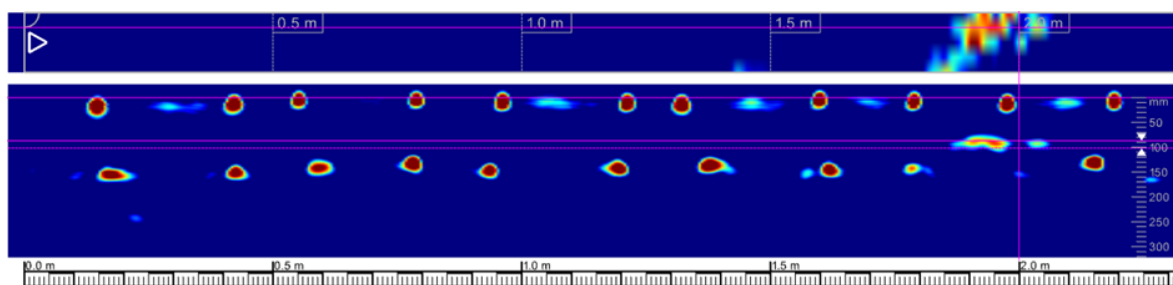
Obr. 82 Pavilon Z Brněnského výstaviště – záznamy liniového radarového skenu podél bočního líce žebra, horní sken je nastaven tak, aby zobrazoval třmínky, dolní sken tak, aby zobrazil ohyby smykové výztuže [57]



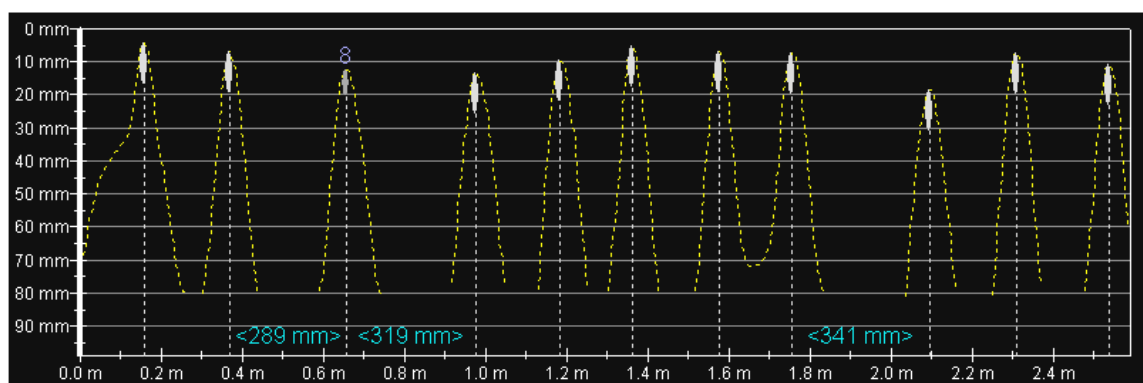
Obr. 83 Díky okamžité vizualizaci výsledků měření na displeji radarové sondy je možné například okamžitě zakreslení polohy ohybů na povrch prvku pro další činnosti [59]

7.3.3 Třmínky

Relativně jednodušším úkolem v rámci stanovení vyztužení trámu je určení polohy třmínků. Vzhledem k tomu, že se nachází při povrchu prvku, je pro zjištění jejich roztečí a tvaru standardně používán elektromagnetický indikátor, nověji nahraditelný radarem. Tato náhrada však není nezbytná, jediné, čím může radar nově přispět, je při provedení plošného skenu ze spodní části trámu stanovení provedené třmínků, tedy například jsou-li dvoustřížné či čtyřstřížné, toto ale může radar určit i při bočním liniovém skenu, viz Obr. 84. Standardně je poloha třmínků určována liniovými skeny rovnoběžně s osou nosníku, u podpory a ve středu rozpětí, nebo ideálně po celé délce prvku, a to buď na spodním líci, nebo pro vyloučení rušivého vlivu hlavních výztuží na bočním líci trámu. Výhodou měření elektromagnetickým indikátorem je případná možnost určení průměru prutů.



Obr. 84 Budova č. p. 329 v Osvětimanech, Příklad liniového radarového skenu pořízeného vodorovným pojezdem na bočním líci průvlaků přístrojem Hilti PS1000, na skenu je dobře patrná poloha třmínků a jednoho ohybu hlavní výztuže (šikmý prvek v horní - pohledové části skenu) – u třmínků je v „řezové“ části skenu patrné, že jsou čtyřstržňné – jsou patrné dvě ze čtyř svislých řad – druhé dvě jsou patrné na skenu z protilehlého boku průvlaků [60]



Obr. 85 Pavilon Z na Brněnském výstavišti - záznam měření roztečí a krytí třmínků v žebru elektromagnetickým indikátorem včetně průměru prutu [57]

7.3.4 Jádrové vývrty do trámů

S vyztužením trámů souvisí ještě jeden aspekt, kdy využití georadaru výrazně přispělo ke zjednodušení provádění diagnostiky železobetonových objektů.

Již bylo řečeno, že georadar je optimálním zařízením pro výběr míst provádění jádrových vývrtů (ať již pro stanovení pevnosti betonu, nebo pro technologické průvrty), kdy je užitím radaru s dosahem odpovídajícím předpokládané hloubce vývrtu (nebo alespoň oblasti s předpokládaným výskytem vyztužení) zajištěno, že nedojde při vrtání ke kolizi, nebo dokonce převrtání výztuže. V případě železobetonových trámů (průvlaků, žeber) bylo obvyklé odebírat vývrty ve staticky příhodném místě vrtem do boku trámu, což s sebou neslo v řadě případů

komplikace související s využitím výškové techniky (např. v průmyslových objektech s velkou výškou podlaží), či komplikace spojené s rizikem prašnosti a vlhkosti v užívaných interiérech. Provádění vývrtů shora do trámů přes skladbu podlahy nebylo možné z důvodu hustého vyztužení, a téměř 100% jistoty kolize s výztuží. Technologie georadaru umožňuje i v hustém vyztužení nad trámem (horní výztuž trámu, výztuž desky, horní části třmínků) najít vhodný prostor, a vhodně zvolit průměr vrtání, aby nebyla výztuž poškozena.



Obr. 86 Příprava místa provádění vývrtu v průmyslovém objektu, radarová sonda Hilti PS1000 X-SCAN umožňuje na displeji okamžitou vizualizaci plošného skenu a rozhodnutí pro místo vrtání

Tab. 6 Příklady radarových skenů stropní konstrukce pro upřesnění polohy a možného průměru jádrového vývrtu betonu průvzlaku pro stanovení pevnosti betonu v tlaku. [61] [62] [63]

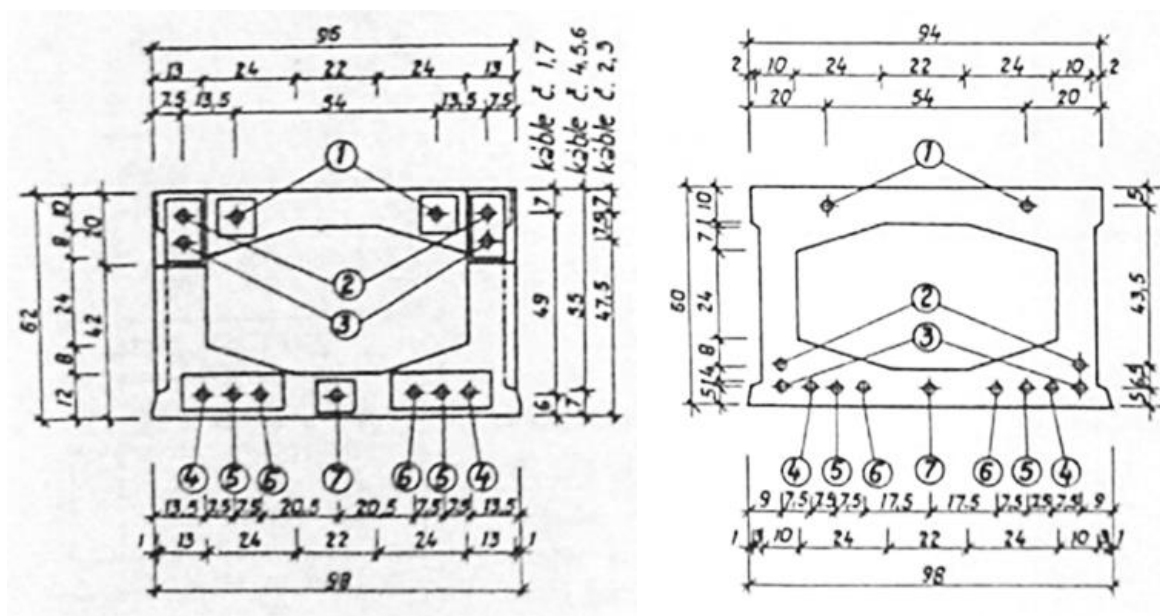
<p>Akce: Stavebně technický průzkum objektu č. 27 (tzv. velká pětítážovka) v areálu Fatra Chropyně. Sonda 1V2.</p> <p>Možný \varnothing vývrtu: 75 mm</p>	<p>Akce: Stavebně technický průzkum objektu č. 24 (tzv. malá třítážovka) v areálu Fatra Napajedla. Sonda M2V1.</p> <p>Možný \varnothing vývrtu: 75 mm</p>
<p>Akce: Stavebně technický průzkum objektu B26 Fatra Chropyně. Sonda V1.</p> <p>Možný \varnothing vývrtu: 75 mm</p>	<p>Akce: Stavebně technický průzkum objektu B26 Fatra Chropyně. Sonda V1-1.</p> <p>Možný \varnothing vývrtu: 75 mm</p>

7.4 Předpjaté mostní nosníky – lokalizace předpínací výztuže

V následujících příkladech je demonstrováno radarové určení polohy předpínacích kabelů (přístroj Hilti PS1000 X-Scan) u tří běžných typů prefabrikovaných mostních nosníků. Jak bude demonstrováno níže, je technologie radaru optimálním řešením pro stanovení polohy předpjaté (i betonářské) výztuže, ale zásadním omezením je tvar a přístupnost prvků, kdy část výztuží, nebo část jejího průběhu je geometricky mimo možnost dosahu jakýchkoli měřicích přístrojů. To se týká i následných sond k výztuži.

7.4.1 Nosník KA

„Prvním příkladem je komorový nosník typu KA-67 délky 12 m, řešený jako uzavřený profil přibližně obdélníkového průřezu, s vnitřní šestibokou komorou. Nosníky KA byly ideově vyvíjeny od druhé poloviny 50. let 20. století a později typizovány Dopravoprojektem Bratislava. Nosník je vyztužen celkem 13 předpínacími kabely, tvořenými 7 až 12 předpínacími dráty $\varnothing 4,5$ mm. Uprostřed rozpětí se 9 kabelů nachází u spodního líce nosníku, dva u spodního líce ve druhé vrstvě a dva u horního líce, přičemž krajní dva ze spodní vrstvy a 2 v druhé vrstvě se ke konci nosníku zvedají až k hornímu líci“ [64] [65].

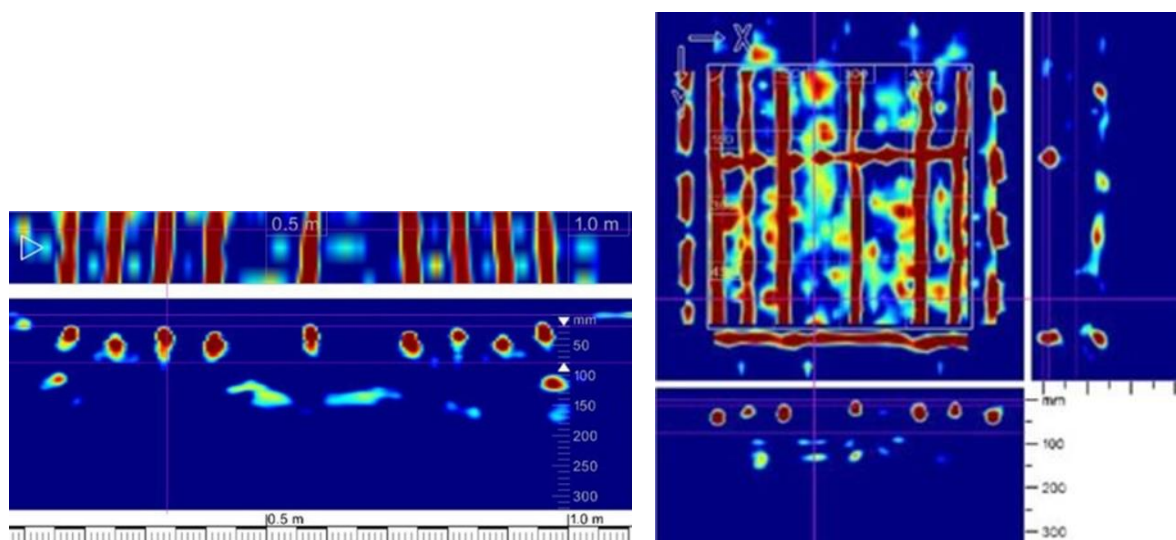


Obr. 87 Typový výkres prvku KA-67 pro délku 12 m, vlevo řez v čele prvku, vpravo uprostřed rozpětí [65]

Pro stanovení polohy kabelů byl použit radar Hilti PS1000 X-Scan. V rámci diagnostiky obdobných typových nosníků byl zvolen následující postup skenování ze spodního líce nosníků:

- Liniový sken napříč nosníkem pro stanovení polohy předpínací výztuže i případné podélné konstrukční výztuže.
- Liniový sken v ose nosníku v délce alespoň 1 m pro stanovení polohy a roztečí třmíneků.
- Plošný sken formátu 600 × 600 mm ve středu šířky nosníku pro potvrzení výsledků liniových skenů (3D analýza, vysvětlení případných nejasností).

Tento postup se osvědčil, pro následné vyhodnocení průběhu předpínací výztuže je nezbytné zaznamenávat vzdálenost místa měření od konce nosníku.

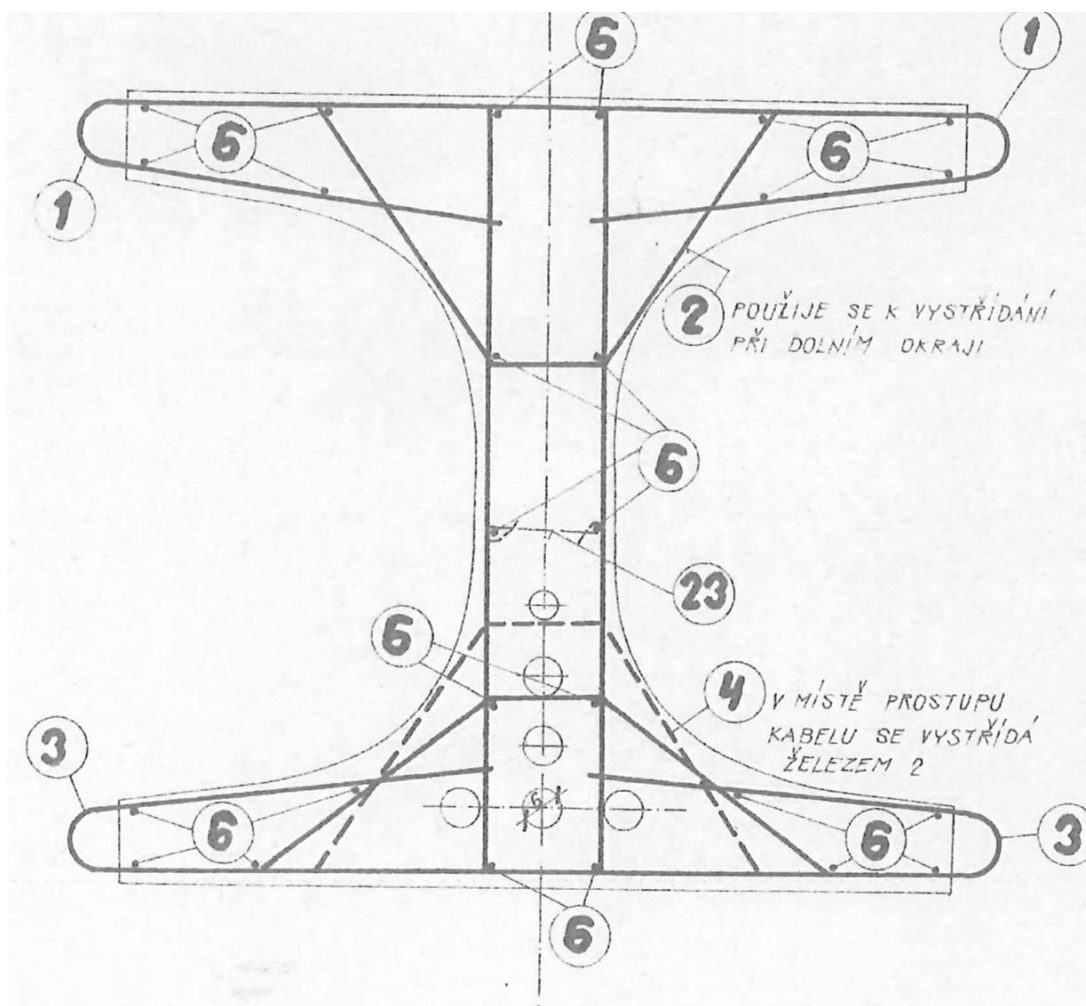


Obr. 88 Radarové skeny (radarogramy) pořízené ze spodní strany nosníku KA-67 přibližně uprostřed rozpětí. Vlevo liniový sken napříč nosníkem, zachycuje všech 11 předpínacích kabelů u spodního líce včetně těch ve druhé vrstvě. Na pravém obrázku je ověřovací plošný sken 600 × 600 mm v témže místě, zachycující totožné kabely a třmínky [65]

„U tohoto typu nosníku lze tedy přesně určit polohu kabelů, dokud se nacházejí u spodního líce nosníku, včetně druhé vrstvy. Kabely na horním líci nelze detekovat díky dutině prvku. Kabely, které se zvedají, není možné detekovat v důsledku hloubkového omezení přístroje. V případě použití radaru s větším hloubkovým dosahem by to patrně možné bylo“ [65].

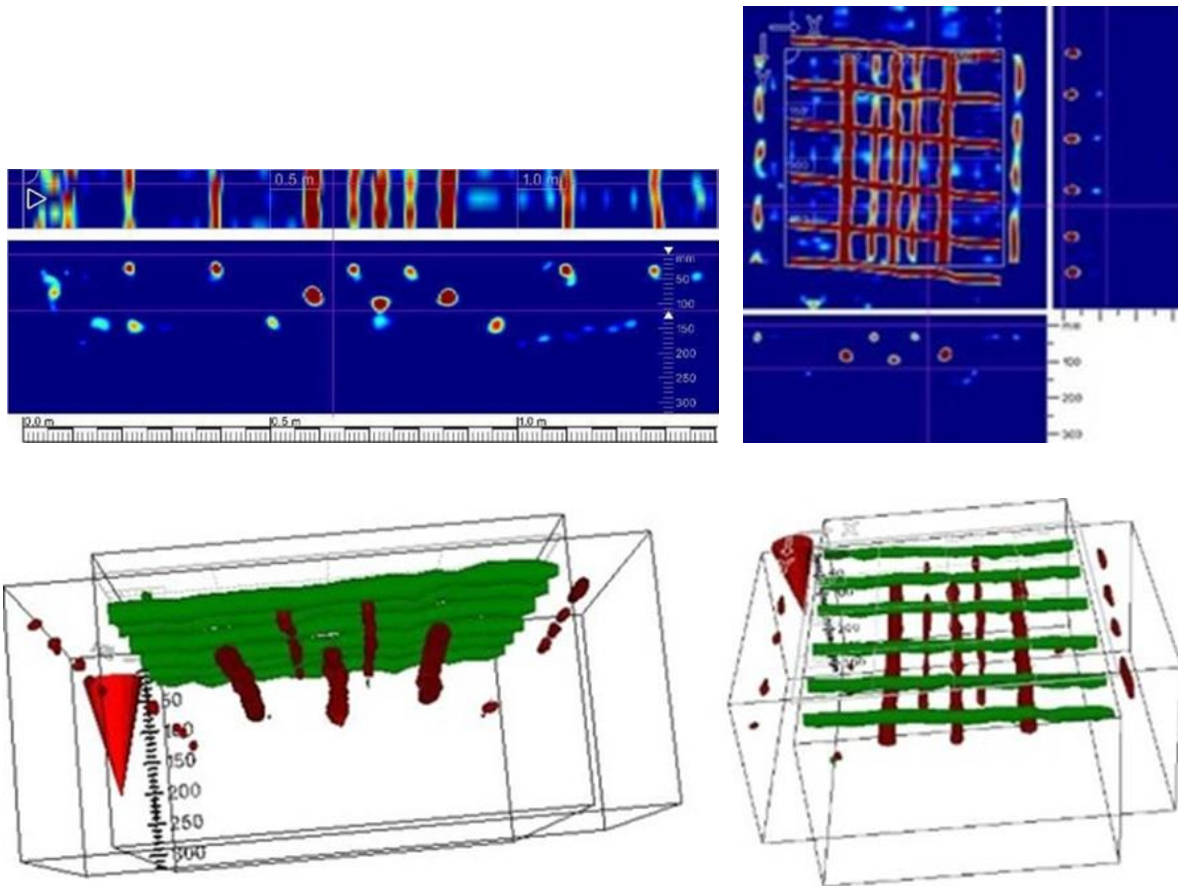
7.4.2 Nosník I

„Druhým typem předpjatého nosníku vyvíjeným současně s KA je tzv. I nosník. I nosníky byly spojované tzv. petlicovým spojem přecházející příčnou výztuží, výsledek byla deska s podélnými dutinami. Varianta nosníku I použitá jako příklad je vyztužena šestí předpínacími kabely v patě svislého dřívku a v dřívku samotném. (varianta s výškou 1100 mm). Pro stanovení polohy kabelů byl použit radar Hilti PS1000 X-Scan“ [64] [65].



Obr. 89 Typový výkres nosníku I (řez uprostřed rozpětí) [65]

Pro stanovení polohy kabelů byl použit radar Hilti PS1000 X-Scan. Postup je de facto totožný s diagnostikou nosníků KA.

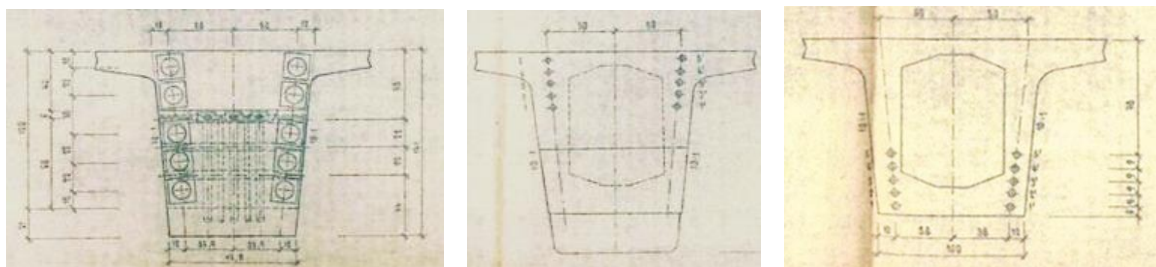


Obr. 90 Vlevo liniový radarový sken ze spodního líce, zachycující spodní trojici předpínacích kabelů a všechnu podélnou měkkou výztuž v prvku, vpravo ověřovací plošný sken 600×600 mm v témže místě. Dole tentýž plošný radarový sken formátu 600×600 mm pro názornost v provedení 3D v různém naklopení. Veškerá výztuž je jasně patrná [65]

„I u tohoto typu nosníku lze přesně určit polohu kabelů, ovšem pouze spodní trojice. Zbylé 3 kabely umístěné v dřívku se díky malé šířce dřívku a zákrytu za spodním kabelem určit nedají. Bylo by to do jisté míry možné z vnitřku komory, která ale není přístupná. Výjimku tvoří v mostu krajní nosníky s přístupným bočním povrchem“ [65].

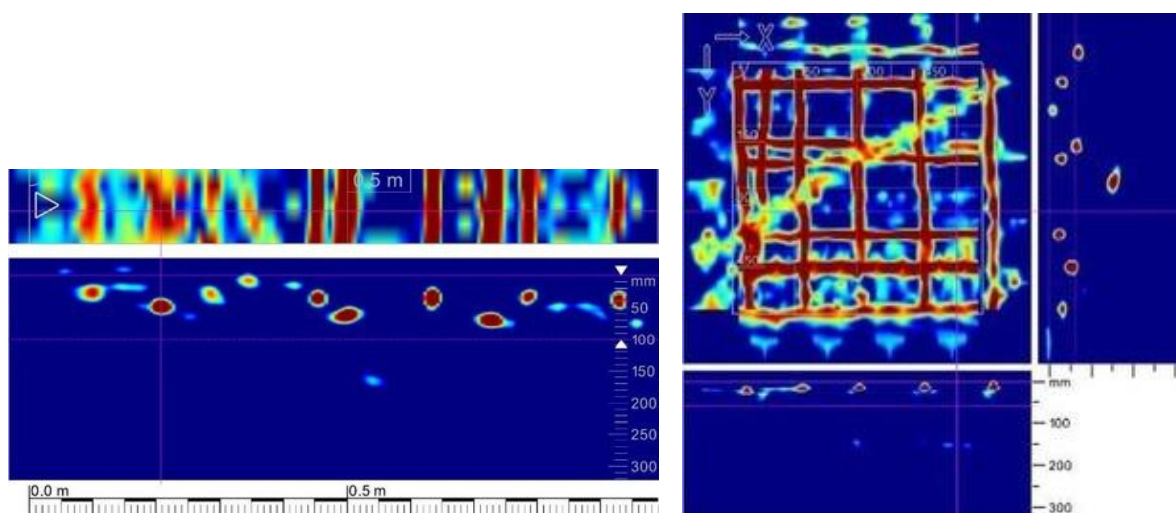
7.4.3 Nosník DS-A konstrukce vzpěradlového rámu se středním polem

„Posledním příkladem je nosník DS-A konstrukce vzpěradlového rámu se středním polem dálničního mostu. Nosník je řešený jako komorový, s přepínací výztuží v bočních stěnách nosníku“ [16].



Obr. 91 Typový výkres nosníku DS-A, vlevo řez na konci nosníku, uprostřed nad mezilehlou podpěrou (vzpěrou) a vpravo uprostřed středního pole [65]

Pro stanovení polohy kabelů byl použit radar Hilti PS1000 X-Scan. Zde je vhodné kombinovat liniové vertikální skeny na bočních partiích nosníků s ověřovacími plošnými skeny tamtéž.



Obr. 92 Radarové skeny pořízené z bočního líce nosníku DS-A cca 3 m od kraje nosníku. Skeny zachytily kromě měkké výztuže 4 a 3 předpínací kabely. Zbývající dva kabely nebylo možné detekovat kvůli rozšířené horní partii nosníku. V partiích nosníku nad mezilehlými podpěrami ze stejného důvodu bylo reálné zachytit vždy na každé straně jen jeden až dva spodní kabely [65]

I u tohoto typu nosníku lze přesně určit polohu kabelů, ovšem pouze pokud se nachází pod rovným bokem nosníku, kde je možný pojezd sondy.

8 PŘÍPADOVÉ STUDIE VYUŽITÍ RADARU V KOMBINACI S OSTATNÍMI METODAMI NA ROZSÁHLEJŠÍCH KONSTRUKCÍCH – POROVNÁNÍ S MOŽNOSTÍ VYUŽITÍ RADIOGRAFIE

V následujících případových studiích bude předvedeno praktické provádění diagnostiky polohy výztuže s rozбором možné kombinace jednotlivých metod, a rozvahou ohledně využitelnosti radiografie.

8.1 Případová studie 1 – srovnání možností stanovení množství a průběhu hlavní nosné výztuže v konstrukci železobetonového trémového mostu

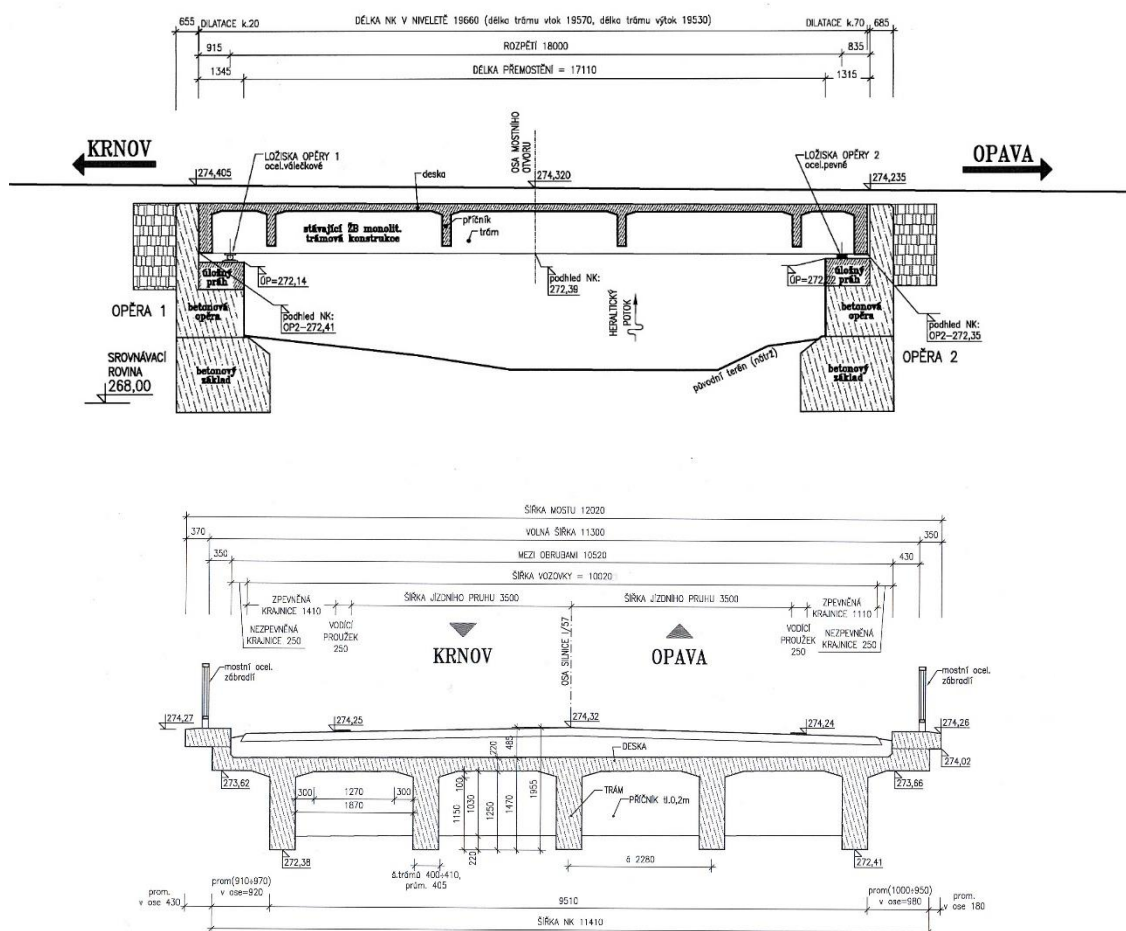
Cílem této studie se stal silniční most ev.č. 57-016 přes místní vodoteč u obce Holasovice u Opavy. Nosná konstrukce mostu je železobetonová trémová, tvořená pěti trémy o šířce 400 mm a výšce bez desky 1260 mm, spojených čtyřmi příčníky o šířce 250 mm a výšce 1040 mm. Trémy a příčníky jsou monoliticky spojeny s deskou [70].

Původ konstrukce je třeba hledat v 50. letech, kdy podle všeho nahradila mostní provizorium na místě mostu poškozeného v průběhu bojů v závěru druhé světové války.

Typickým rysem konstrukcí z dané doby je fakt, že se nedochovala původní dokumentace, a únosnost konstrukce byla běžně odhadována na základě doby vzniku a třídy komunikace, na níž se v době vzniku most nacházel. Na sklonku 80. let 20. století bylo rozhodnuto o stavebně technickém průzkumu, jehož výsledky umožní přesné určení aktuální únosnosti mostu v návaznosti na jeho technický stav a plánovanou rekonstrukci komunikace. Je zajímavé, že do doby skutečného zahájení rekonstrukce objektu (2015) byly provedeny celkem 3 stavebně technické průzkumy, na nichž lze velmi ilustrativně doložit možnosti i úskalí vybraných diagnostických metod pro stanovení vyztužení konstrukce. Tato studie je nadále detailně zaměřena na stanovení **vyztužení hlavních nosných trémů**.



Obr. 93 Silniční most ev.č. 57-016 přes místní vodoteč u obce Holasovice u Opavy, stav k srpnu 2011



Obr. 94 Silniční most ev.č. 57-016 přes místní vodoteč u obce Holasovice u Opavy – podélný a příčný řez mostem [70]

8.1.1 První stavebně technický průzkum

První stavebně technický průzkum byl proveden pracovníky Technického a zkušebního ústavu v Brně v roce mezi lety 1988 až 1991. Průzkum byl proveden v běžném rozsahu, zahrnoval předběžnou prohlídku s výčtem a charakteristikou zjištěných poruch konstrukce, a dále vlastní diagnostiku s cílem stanovit jak základní vlastnosti betonu mostní konstrukce (trámů, příčníků a desek), betonu opěr a úložných prahů, dále skladbu vozovky a stanovení vyztužení ve vybraných průřezech základních prvků železobetonové konstrukce (krajní trám, vnitřní trám, příčník, deska, úložný práh opěry).

Hlavní nosné trámy byly z hlediska vyztužení zkoumány v následujícím rozsahu:

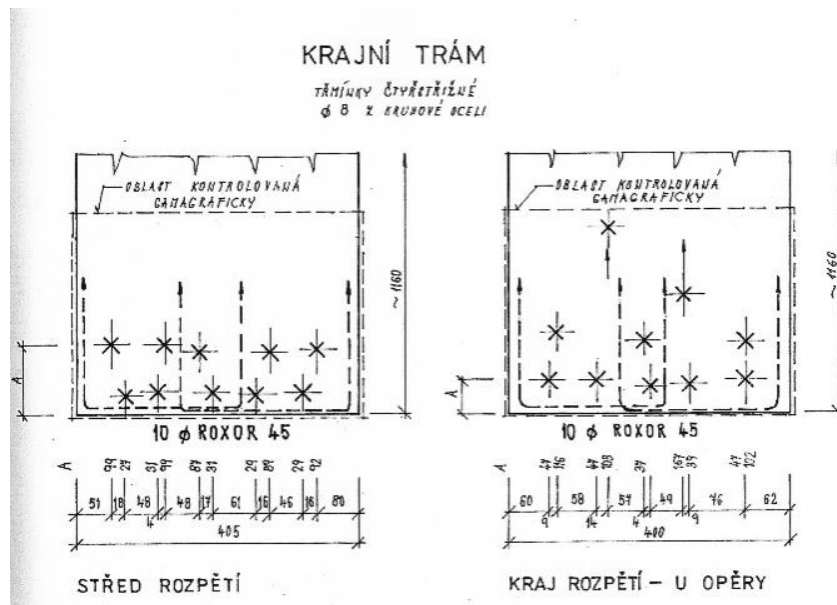
- Vnitřní trám – stanovena poloha hlavních nosných výztuží uprostřed rozpětí u spodního líce trámu, dále totéž v blízkosti opěry, následně byl proveden pokus o zjištění polohy smykových ohybů výztuží, a zjištěna průměrná rozteč třmínků.
- Krajní trám – poloha výztuže stanovena pouze uprostřed rozpětí.

Ke splnění požadavků na stanovení vyztužení byly využity následující metody a zařízení.

- Radiografická metoda s užitím gamazářiče Co60 pro stanovení množství a polohy hlavních výztuží u spodního líce trámů.
- Elektromagnetický indikátor 2. generace Profometer 2 – zjištění polohy třmínků a snad stanovení polohy smykových ohybů krajních hlavních výztuží.
- Sekané sondy – pravděpodobně doplnily údaje o průměrech výztuží a třmínků.

Výsledky 1. průzkumu

V původní zprávě bylo konstatováno, že vnitřní i krajní trám jsou vyztuženy stejně, tj. 10 pruty hlavní výztuže R45 ve dvou vrstvách, přičemž dva pruty se ohýbají nahoru ve vzdálenosti 1,07 m respektive 1,17 m od ložiska. Dále byla stanovena rozteč třmínků (\varnothing 8 mm) a fakt, že jsou čtyřstržňné.



Obr. 95 Původní deklarované výsledky stanovení vyztužení v trámech mostu z roku 1991 [67]

Při statickém přepočtu únosnosti konstrukce byla vyslovena pochybnost o skutečném počtu a průběhu výztuží v trámech mostu, nicméně vzhledem k odkladu rekonstrukce nebyla situace řešena. Jak ukáže následující část, pochybnost byla oprávněná. Příčinou pochybení byla patrně nevhodně zvolená malá ohnisková vzdálenost při volbě parametrů radiografie, kdy nebylo počítáno s případnou třetí vrstvou výztuží, třetí vrstva výztuží byla na radiogramech již zobrazena v takové šířce zobrazení, že nebyla reálně detekovatelná. Navíc zobrazení výztuží typu Roxor (10 512) je přivýhodnocování radiogramů komplikovanější, než u výztuží kruhového průřezu (křížový průřez Roxoru vytváří na radiogramu více zobrazených hran, tedy „falešných“ linií, které při více výztužích nad sebou velmi komplikují vyhodnocení radiogramů).

8.1.2 Druhý stavebně technický průzkum

Druhý stavebně technický průzkum byl proveden pracovníky Fakulty stavební VUT v Brně v roce 2011. Jeho rozstah měl upřesnit změny stavu mostní konstrukce a materiálových charakteristik betonu k aktuálnímu datu, a současně vyjasnit pochybnosti o vyztužení trámů.

Vyztužení bylo na základě požadavku objednatele ověřeno pouze na krajním trámu – poloha výztuže stanovena pouze uprostřed rozpětí.

Ke splnění požadavků na stanovení vyztužení byly využity následující metody a zařízení.

- Radiografická metoda s užitím gamazářiče Co60 pro stanovení množství a polohy hlavních výztuží u spodního líce trámů.
- Elektromagnetický indikátor 4. generace Profometer 4 – zjištění polohy třmínků.
- Sekaná sonda – doplnění údajů o průměrech a typu třmínků.

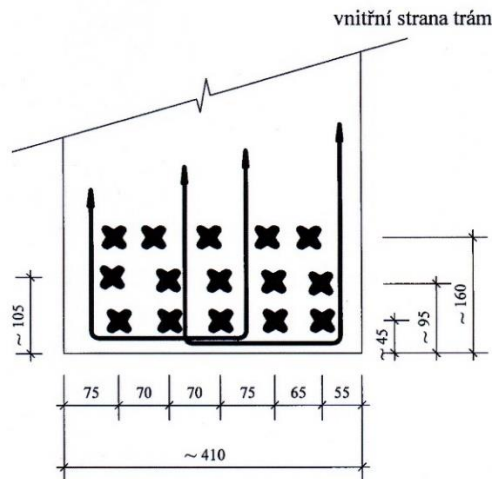
Rozmístění výztuže v krajním trámu bylo určováno radiografickou stereometodou. Jako zdroje záření bylo použito zářiče Co60 o aktivitě 1,095 TBq k 19.9. 2004, který byl přepravován v radiografickém krytu TECH/OPS, model 741. Radiogramy byly exponovány na filmy AGFA Testix C7 + Pb v komorovém balení o rozměrech 0,4 × 0,3 m, umístěné v plastických kazetách. Exponované filmy byly následně zpracovány v temné místnosti v objektu fakulty a následně vyhodnoceny.

Pro stanovení polohy výztuží v daném místě bylo nutné provést celkem 4 expozice, postupně ze čtyř ohnisek, každá expozice trvala na místě cca 15 minut. Úspěšnost zvolených a užitých parametrů metody bylo možné zjistit až po vyvolání radiogramů a provedení poměrně komplikovaného grafického vyhodnocení. V průběhu prozařování bylo nezbytné uzavření mostu pro pěší, a omezení pohybu obyvatel v dotčeném okolí tzv. přechodného kontrolovaného pásma.

Výsledky 2. průzkumu

V krajním trámu uprostřed rozpětí bylo nově zjištěno celkem 15 prutů hlavní výztuže R45 ve třech vrstvách, množství a poloha smykových ohybů nebyly řešeny. Dále byl stanoven typ, a rozteč třmínků a fakt, že jsou čtyřstržné (hladká výztuž Ø 8 mm).

Polohy a počet ohybů hlavních výztuží nebyly určovány, k danému datu byla jedinou použitelnou metodou k danému účelu radiografie, provedená vodorovným (bočním) prozařováním trámů kdy zářič by byl umístěn ve volném prostoru na jednom bočním líci trámu, a radiografické filmy na protilehlém bočním líci trámu. Při vhodně zvolené ohniskové vzdálenosti by bylo možné sice prozařovat doučasně na více filmů (2 – 3), nicméně tloušťka betonu 600 mm (šířka trámu) v kombinaci s vyšší ohniskovou vzdáleností by vyžadovala expozici řádově v jednotkách hodin, což bylo v kontextu bezpečnostních opatření a časové náročnosti vyloučeno.



Zjištěno: 15 x R 45(Roxor)

Třínky : ø 8 hladká

Obr. 96 Nově radiograficky stanovené vyztužení krajního trámu uprostřed rozpětí. [68]

8.1.3 Třetí stavebně technický průzkum

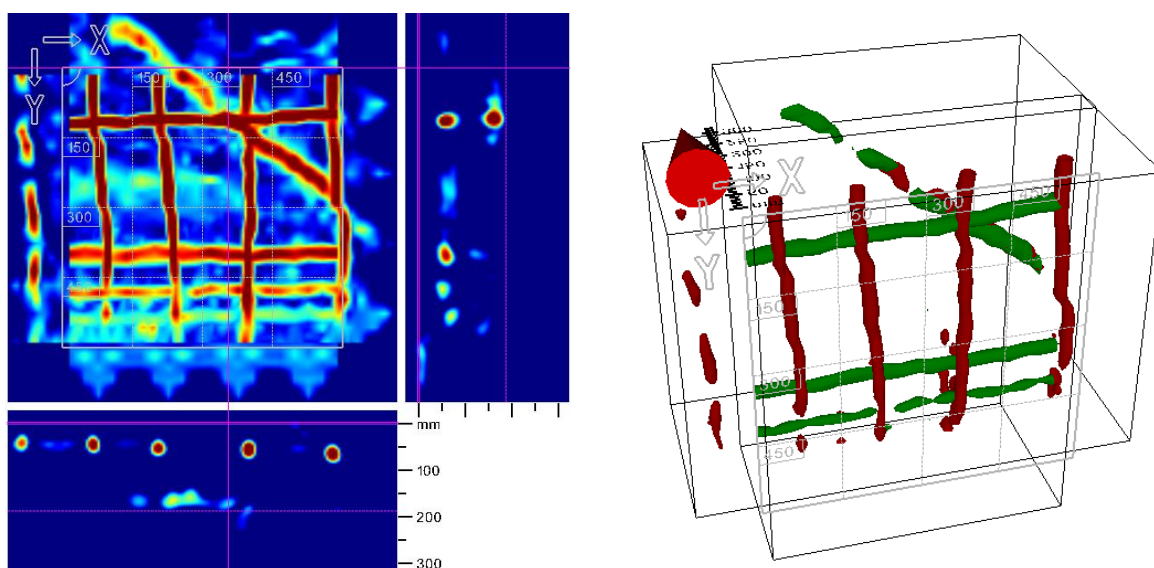
Třetí stavebně technický průzkum byl proveden pracovníky Ústavu stavebního zkušebnictví Fakulty stavební VUT v Brně v roce 2014. Jeho cílem bylo nově dostupnou technologií georadaru doplnit chybějící údaje k vyztužení hlavních nosných trámů konstrukce, tedy rozsah a polohu smykových ohybů hlavní výztuže.

Ke splnění požadavků na stanovení polohy ohybů hlavní výztuže byl využit Georadar Hilti PS1000 X-SCAN. Na jednom krajním a jednom vnitřním trámu. Na obou zkoumaných trámech mostu byly provedeny série plošných radarových skenů 600×600 mm z obou stran trámu vždy od okraje trámu na Holasovické straně. Vzhledem k šířce trámu 400 mm a hloubkovému dosahu zařízení 300 mm bylo zaručeno, že skenované oblasti se uvnitř trámu překrývají, a byla tedy záruka zobrazení všech ohybů smykové výztuže. Prováděné radarové skeny na sebe svými bočními okraji navazovaly. Spodní okraj skenovaných polí mírně přesahoval spodní okraj trámů. Bylo tedy zaručeno, že na skenech bude zachycen průběh všech hlavních výztuží, ve všech vrstvách jejich případné ohyby. Celkem bylo provedeno na každém bočním líci trámu až 12 plošných skenů formátu 600×600 mm (z vnitřní strany v místech příčniců byly skeny adekvátně posunuty).

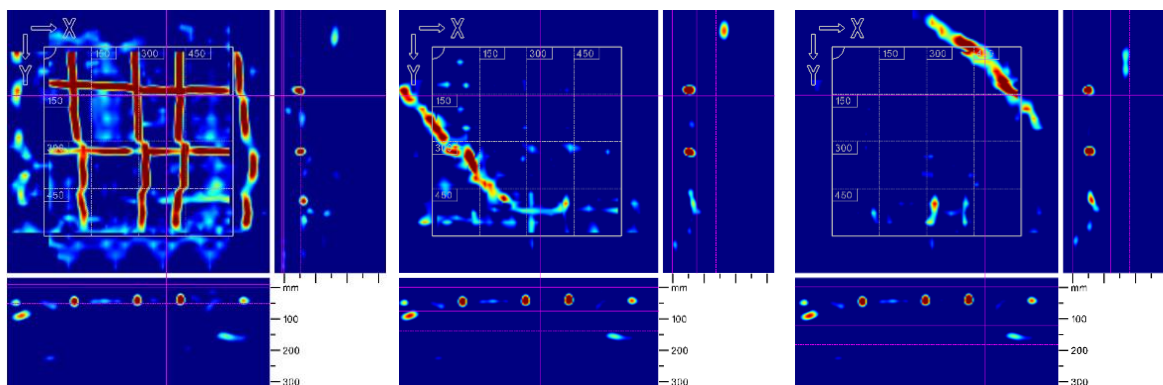
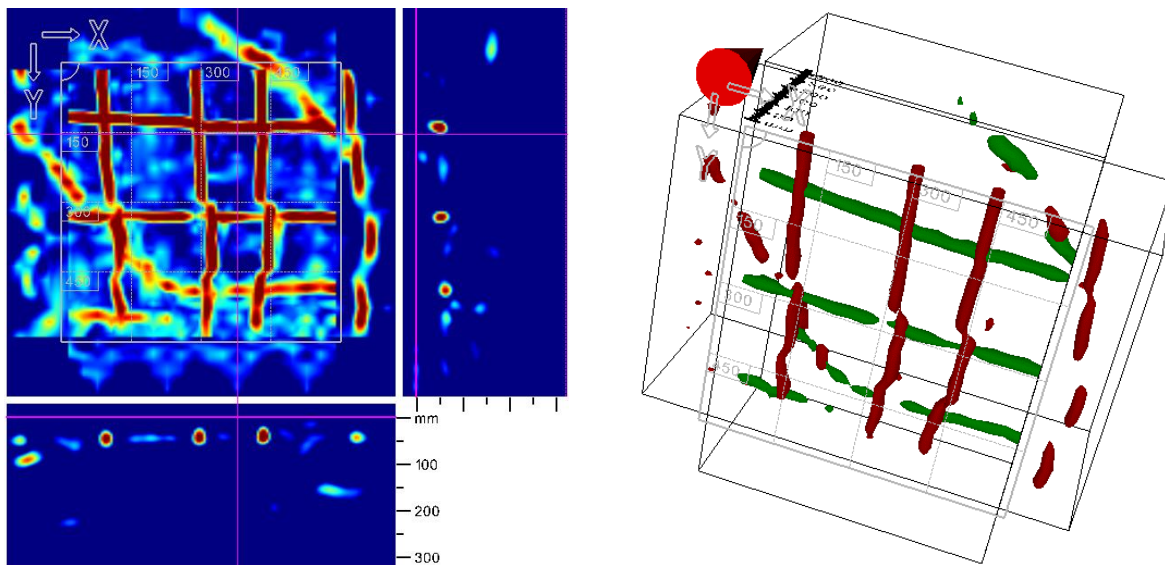


Obr. 97 Celkový pohled a detail umístění měřícího rastru při jednom ze série měření na bočním líci krajního trámu

Výsledkem jednotlivých skenů je zobrazení nehomogenit v betonu (v tomto případě ocelové výztuže) do hloubky 300 mm, v podobě pohledu na skenovanou oblast, a řezů v navzájem kolmých rovinách. Roviny řezu je možno v dodaném softwaru při vyhodnocování libovolně měnit. Stejně tak je možné nastavit provedení skenu tak, aby se v pohledu zobrazovala výztuž jen mezi dvěma konkrétními hloubkovými úrovněmi.



Obr. 98 Příklad jednoho z radarových skenů s jasně zobrazenou polohou hlavních nosných výztuží (zde ohybem jedné z nich), třmínků i vodorovné konstrukční výztuže. Výsledek je možné zobrazit pro názornost v plnohodnotném 3D zobrazení s možností libovolné prostorové rotace

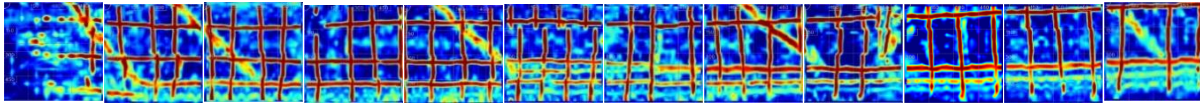


Obr. 99 Další z radarových skenů s jasně zobrazenou polohou hlavních nosných výztuží (a ohybem dvou z nich), třmínků i vodorovné konstrukční výztuže. Zde je demonstrována možnost zobrazení v kompletním 2D (na celou hloubku dosahu radaru), vedle adekvátní 3D a dole trojice zobrazení téhož skenu, se separátním zobrazením třmínků a konstrukční výztuže u povrchu, ohybu cca 80 mm pod povrchem a konečně druhého ohybu cca 150 mm pod povrchem. Tyto možnosti výrazně usnadňují vyhodnocování a další práci s radarovými skeny

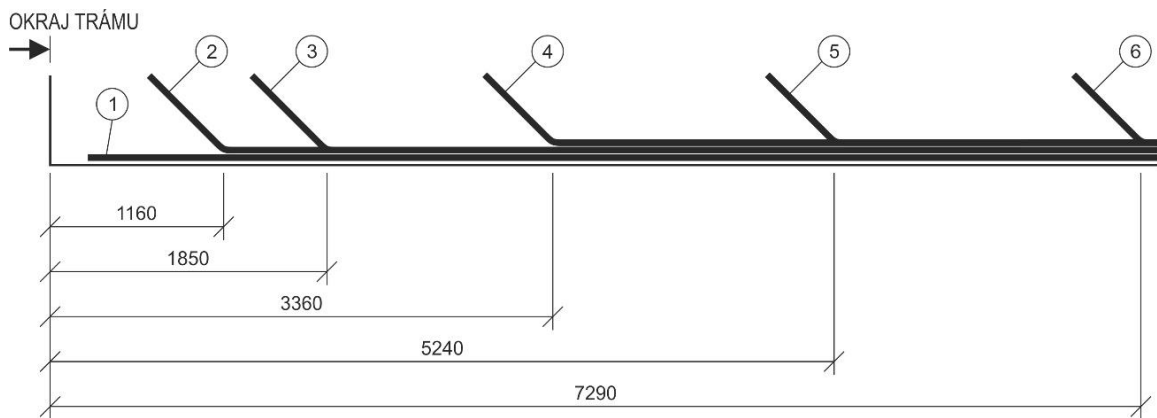
Výsledky 3. průzkumu

S využitím zařízení Hilti PS1000 X-SCAN byly provedeny série plošných skenů na bočních lících jednoho krajního trámu na návodní straně mostu a středního trámu, v obou případech z Holasovické (Krnovské) strany do vzdálenosti cca 8 m od kraje trámu.

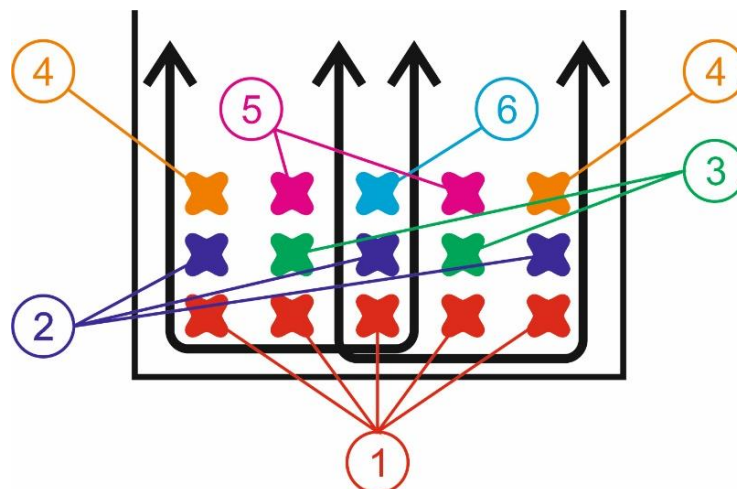
Bylo detekováno celkem 10 ohybů hlavních výztuží, de facto tedy kompletně obě horní řady. Ohyby byly sdruženy na celkem 5 jasně definovaných pozicích.



Obr. 100 Příklad výsledku složení radarových skenů na vnějším lici krajního trámu mostu, skenovaná oblast začíná 290 mm od kraje trámu. Jednoznačně je patrná jak poloha třmínků, tak ohybů smykové výztuže i vodorovné konstrukční výztuže, počty ohybů smykové výztuže v každé pozici byly následně stanoveny kombinací skenů z obou líců trámu

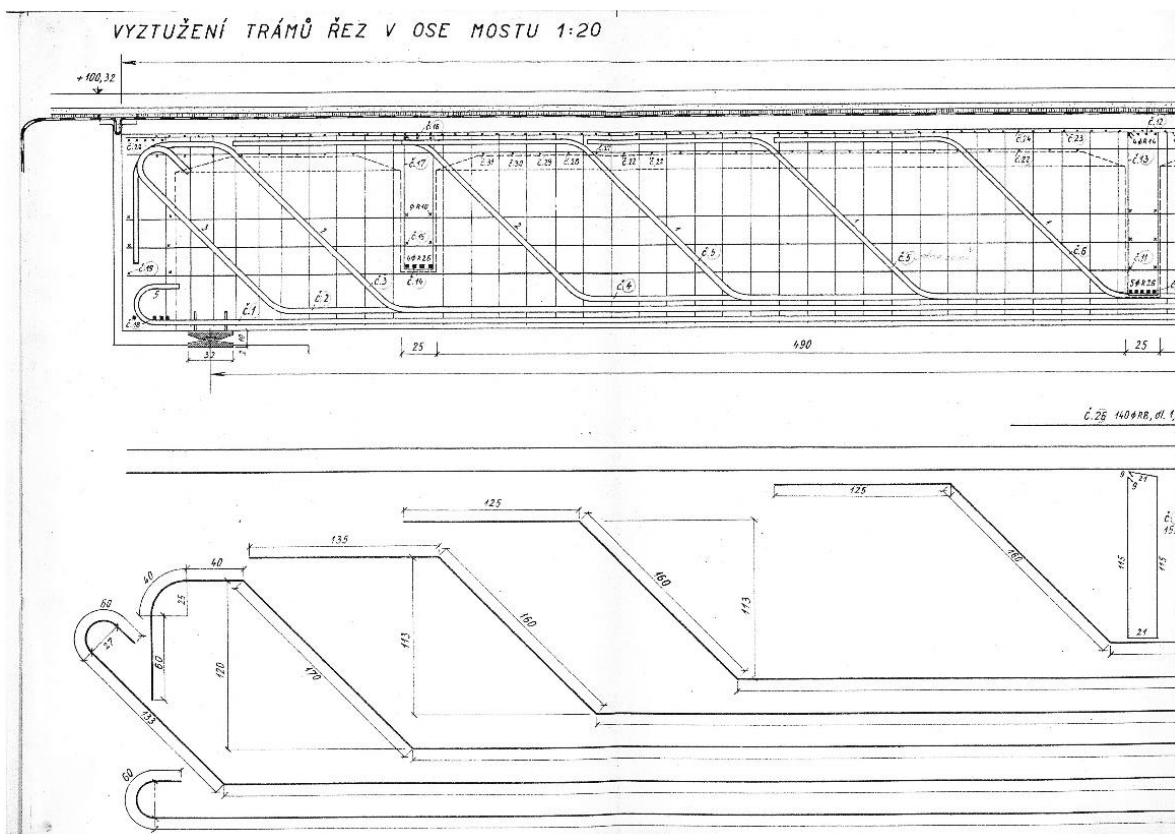


Obr. 101 Schematický výkres polohy ohybů smykové výztuže v krajním trámu mostu na návodní straně z Holasovické (Krnovské) strany. Výztužím jsou přiřazena čísla odpovídající označení v řezu trávem uprostřed rozpětí v Obr. 102. 1 – pět výztuží spodní řady jdoucí přímo do podpory. 2 – trojice výztuží ohýbajících se ze střední řady (obě krajní a střední). 3 – dvojice výztuží ohýbajících se ze střední řady (druhá a čtvrtá). 4 – dvojice výztuží ohýbajících se z horní řady (obě krajní). 5 – dvojice výztuží ohýbajících se z horní řady (druhá a čtvrtá). 6 – jedna výztuž ohýbající se z horní řady (střední)

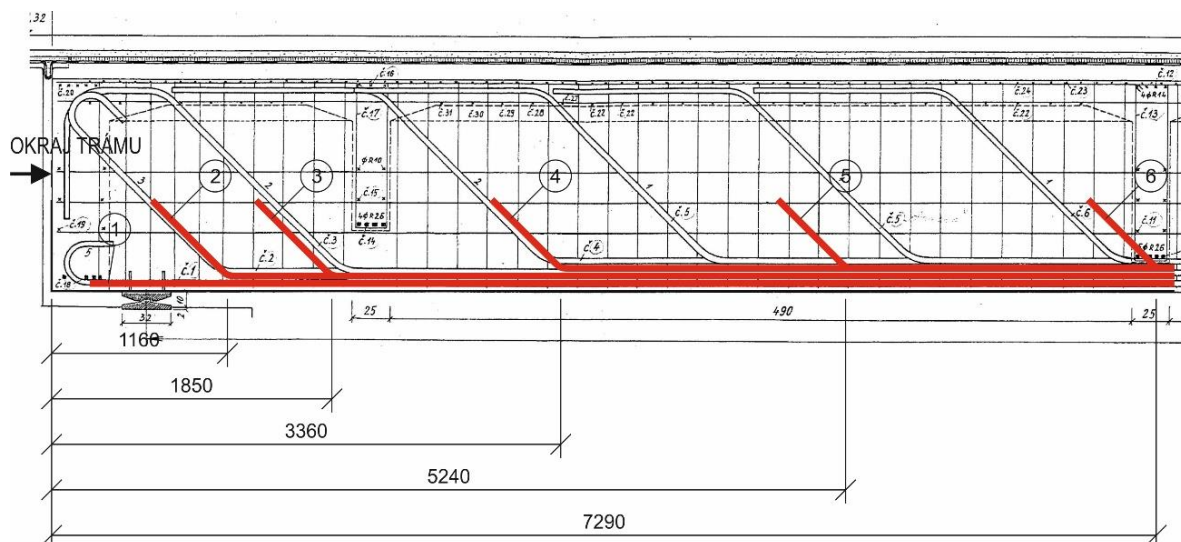


Obr. 102 Schematický řez trávem uprostřed rozpětí, jednotlivým výztužím jsou přiřazena čísla, korespondující s označením jednotlivých ohybů v Obr. 101

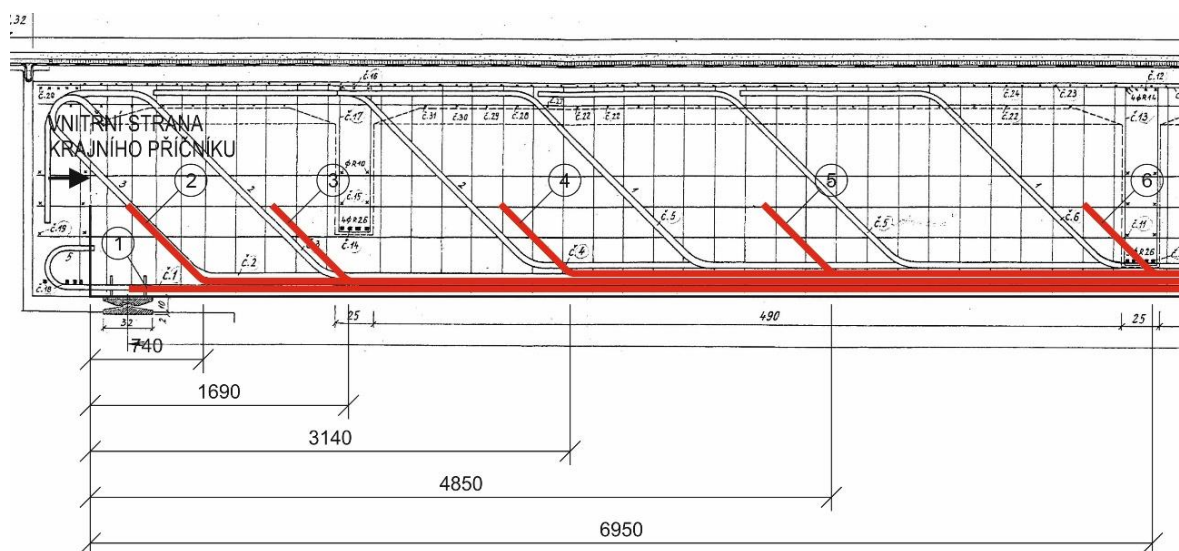
Zajímavou skutečností je, že až po provedení tohoto třetího stavebně technického průzkumu mostu se provozovateli konstrukce dostala do rukou původní prováděcí výkresová dokumentace, což umožnilo ex post srovnání výsledků radarového průzkumu s výkresy požadovanou podobou vyztužení. Lze konstatovat, že vyztužení bylo provedeno poměrně přesně, odchylku lze spatřit pouze ve sloučení dvou plánovaných pozic ohybů do jedné. Z radarových skenů byly zpřesněny i průměrné vzdálenosti třmínků u povrchu trámů ve sledované oblasti.



Obr. 103 Jeden z původních armovacích výkresů mostu – vyztužení trámů [66]



Obr. 104 Porovnání skutečné a předpokládané polohy ohybů smykové výztuže v krajním trámu mostu na návodní straně z Holasovické strany. Skutečná poloha ohybů nakreslena červeně [69]



Obr. 105 Porovnání skutečné a předpokládané polohy ohybů smykové výztuže ve středním trámu mostu z Holasovické strany. Skutečná poloha ohybů nakreslena červeně [69]

8.1.4 Vyhodnocení

Tento příklad dobře ukazuje možnosti, omezení i rizika jednotlivých diagnostických metod pro stanovení polohy výztuže, především radiografie a georadaru. Radiografie s užitím gamazářiče Co60 je sice pro stanovení polohy hlavní výztuže v průřezích železobetonových

trámů ideální, ale i její provedení má značná rizika ve smyslu neodhalení veškeré výztuže v komplikovaně vyztužených prvcích, kde se výztuž nachází ve více vrstvách. Na druhé straně jsou zásadním omezením bezpečnostní opatření, i nárůst doby expozice v souvislosti s prozařovanou tloušťkou betonu a vyšší ohniskovou vzdáleností. To jsou faktory, které i v minulosti radiografii znemožňovaly v kontextu praktických, časových i finančních možností při prealizaci stavebně technických průzkumů. Lze tedy předpokládat, že kdyby byla v současnosti radiografická metoda s využitím izotopu Co60 k dispozici, byla by z bezpečnostních a ekonomických důvodů využita nejvýše pro stanovení celkového počtu a rozložení výztuží ve vybraném průřezu trámu.

Metoda georadaru zde naopak zcela prokázala své rozsáhlé možnosti, a vysokou hodnotu danou rychlým prováděním a okamžitou vizualizací výsledků měření. Rovněž možnosti vyhodnocovacího softwaru jsou další přidanou hodnotou dané metody. Pro stanovení polohy ohybů hlavních výztuží se jeví metoda georadaru optimální, bez nutnosti využití dalších doplňkových metod. Na druhé straně pro určení základní polohy všech hlavních výztuží uprostřed rozpětí v průřezu nosníku by bylo nezbytné provést radarový sken ze spodního líce trámu, i z obou líců bočních, s rizikem, že vnitřní výztuže ve 2. a 3. vrstvě nebudou zobrazeny. Nicméně po kombinaci se skeny zachycujícími ohyby hlavních výztuží, by bylo možné celkový obraz vyztužení (tedy i počtu výztuží ve středu rozpětí u spodního líce) spolehlivě stanovit.

8.2 Případová studie 2 – stanovení příčiny poškození železobetonové konzoly balkonu bytového domu

Předmětem této studie byly balkony bytového domu na ulici Sadové 571 v Modřicích. Jedná se o dům s 1 podzemním a 4 nadzemními podlažími – viz Obr. 106. Dům byl dle informací vlastníků postaven v rámci akce „Z“ v roce 1967.

Objekt disponuje dvěma typy balkonů, předmětem zájmu byly balkony na východní straně domu, které jsou železobetonové a mají členitější půdorys, neboť pokračují i za roh fasády. Nejvíce poškozený je balkon v 1.NP – viz Obr. 103, u něhož je na převislém konci obnažena výztuž $\varnothing 12$ (V) zakončená háky. Tato výztuž je zkorodovaná, podobně jako trubka uchycení zábradlí – viz Obr 108 a 109. Problémem přitom není pouze obnažená a zkorodovaná výztuž, ale rovněž vodorovná trhлина na styku nosné desky a nášlapných vrstev způsobená značným průhybem balkonu [71].



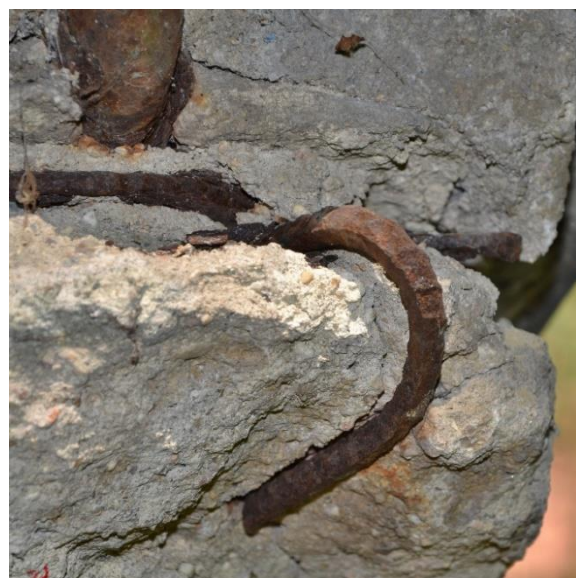
Obr. 106 Bytový dům v ulici Sadová 571, Brno – Modřice



Obr. 107 Balkon v 1.NP na východní straně domu. Jedná se o nejvíce poškozený balkon ze všech, jehož nosná konstrukce vykazuje i značný průhyb



Obr. 108 Detail poškození balkonu v 1.NP. Hlavní výztuž $\varnothing 12$ (V) je zakončena háky, které jsou obnažené a zkorodované



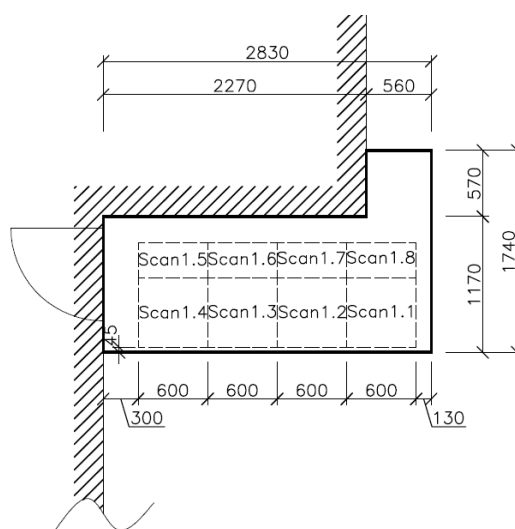
Obr. 109 Detail koroze výztuže a uchycení zábradlí na rohu balkonu v 1.NP

V rámci studie byla zjišťována poloha výztuže ve dvojici rohových balkonů na východní straně domu.

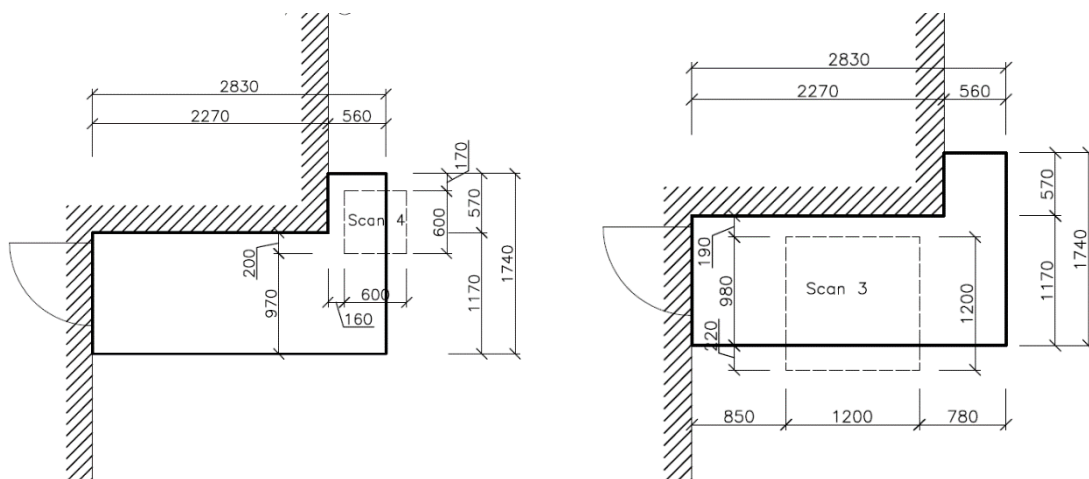
8.2.1 Postup měření

Ke splnění požadavků na stanovení vyztužení byly využity následující metody a zařízení. Pro zjištění polohy výztuže byl použit radar HILTI PS 1000 X-scan, který umožňuje detekovat výztuž na celou tloušťku balkonové železobetonové desky i ve více vrstvách nad sebou. Pro upřesnění krytí a rozlišení výztuže dle průměru byl použit elektromagnetický indikátor nejnovější generace Profometer PM-630. Pro ověření obou nedestruktivních metod byly provedeny drobné sekané sondy. Veškerá prováděná měření byla situována na spodním líci balkonové desky.

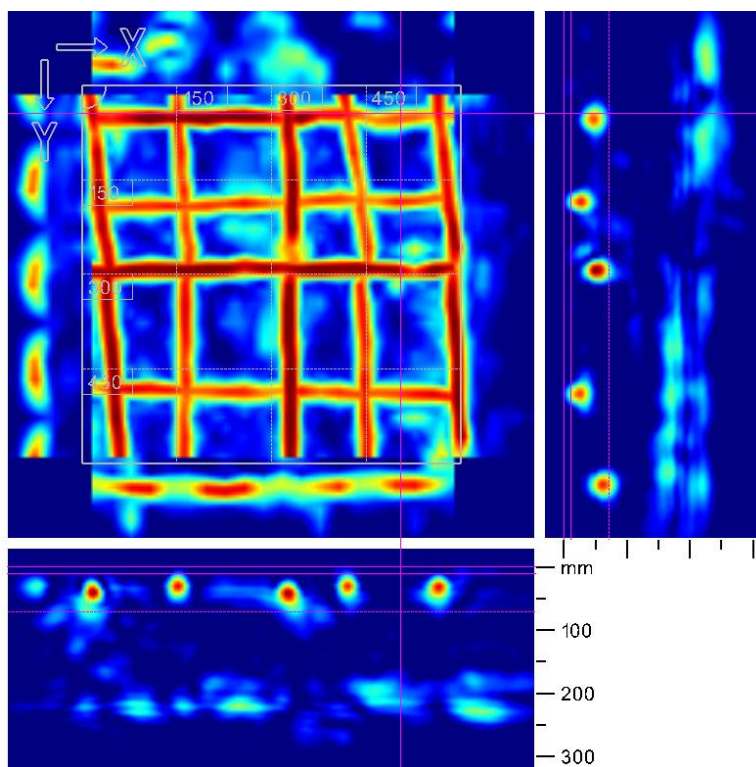
V případě balkonu v 1. NP byla provedena řada radarových plošných skenů o rozměrech 600×600 mm (skeny 1.1 až 1.8 a scan 4) a navíc jeden velký sken 1200×1200 mm (scan 3). Poloha skenů je vyznačena na Obr. 110 a 111. Grafické výstupy skenů jsou uvedeny na Obr. 112 až 114. Upřesnění vzdálenosti a krytí výztuže pomocí Profometru PM-630 je znázorněno na Obr. 115 a 116. Nakonec bylo provedeno cílené drobné odseknutí krycí vrstvy pro ověření průměru a druhu výztuže – viz Obr. 117 a 118. Lze konstatovat, že tímto způsobem, za použití kombinace nejmodernějších přístrojů, byla ověřena poloha výztuže prakticky v celé ploše balkonu, včetně krytí, průměru a druhu výztuže.



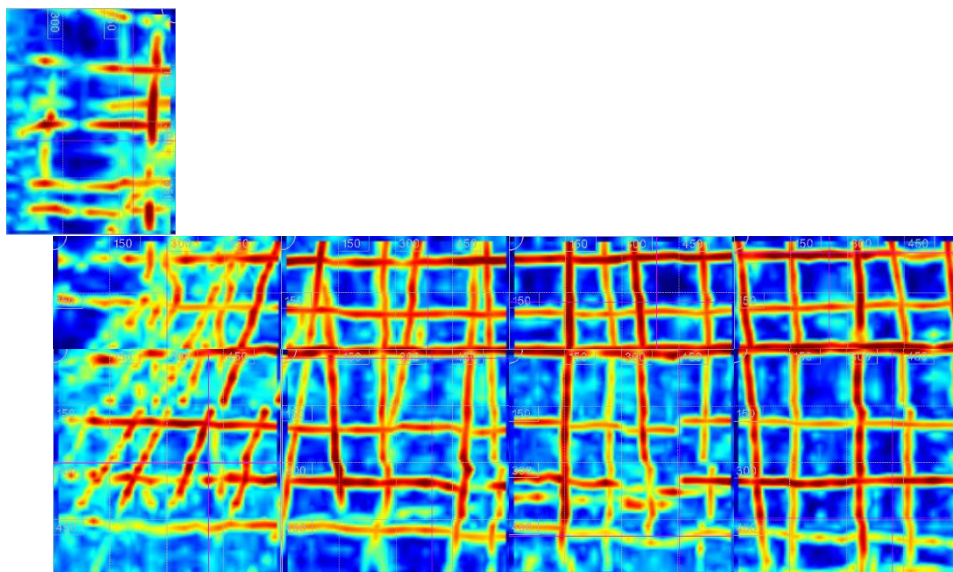
Obr. 110 Rozmístění radarových skenů 600×600 mm na spodním líci balkonu v 1. NP v jeho jižní části (scan 1.1 až 1.8).



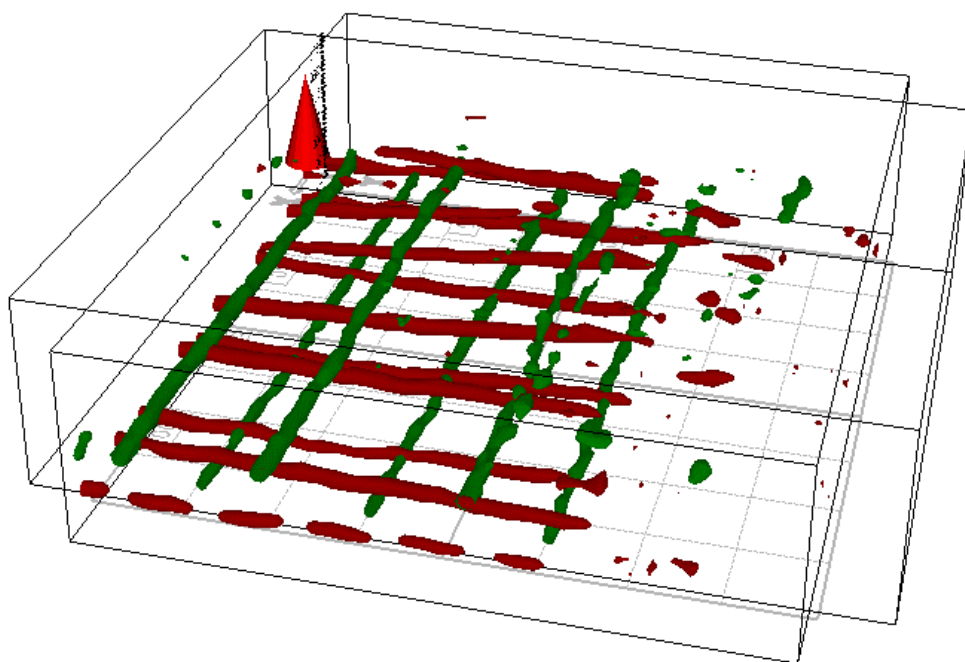
Obr. 111 Poloha radarového skenu 600×600 mm na spodním líci balkonu v jeho severovýchodní části (scan 4) a skenu 1200×1200 v 1. NP (scan 3)



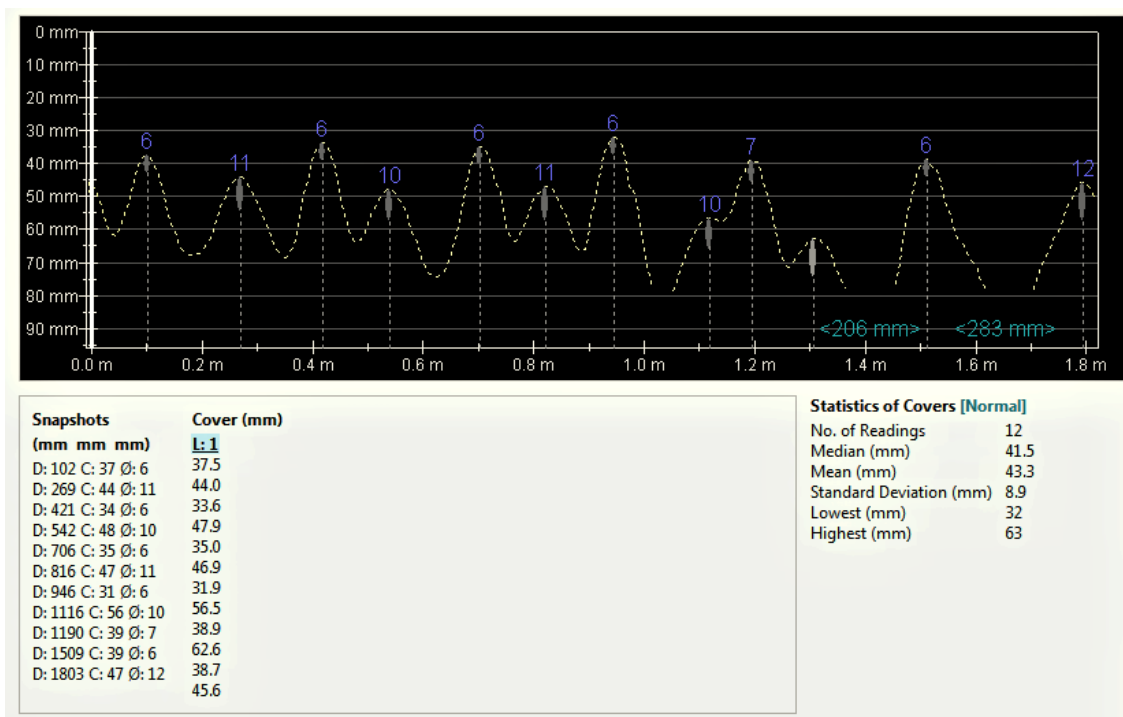
Obr. 112 Příklad radarového skenu (scan 1.5) na spodním líci balkonu v 1. NP, zobrazen pohled na výztuž a řezy ve dvou na sebe kolmých směrech, v příčných řezech skenu je dobře patrné, že v tomto místě je hlavní výztuž umístěná velmi blízko spodnímu líci prvku, téměř v jedné rovině s konstrukční výztuží u spodního líce (scan je situovaný v pohledu zespodu)



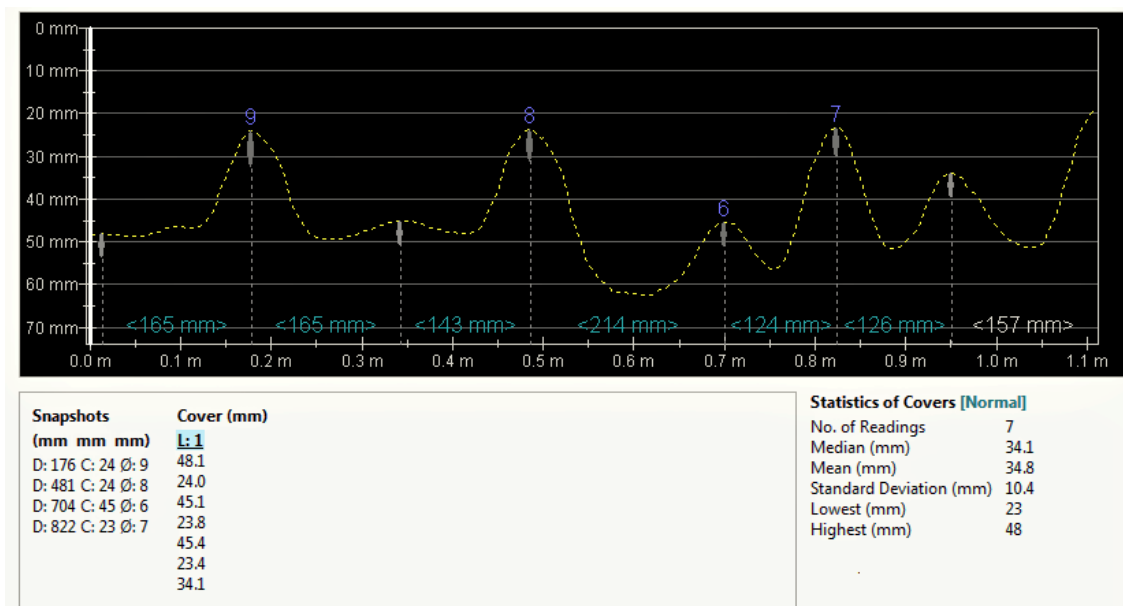
Obr. 113 Soubor složených navazujících radarových scanů (scan 1.1 – 1.8 a scan 4), zobrazující v pohledu odspodu zjištěnou výztuž v desce balkonu v 1. NP



Obr. 114 Radarový scan 1200×1200 mm desky balkonu v 1. NP (scan 4) v zobrazení 3D. Na scanu je dobře patrna poloha prutů hlavní výztuže, kdy od háků na vnější straně balkonu (ve scanu nejsou zobrazeny) je výztuž „sešlapaná“ tak, že u vetknutí konzoly je prakticky v jedné rovině s konstrukční výztuží u spodního líce desky



Obr. 115 Záznam měření roztečí, krytí a průměrů hlavní výztuže na spodním líci balkonu v 1.NP přístrojem Profometer PM-630. Osově vzdálenosti jednotlivých výztuží umožnily provést orientační stanovení jejich průměrů. Ze záznamu je patrné, že blízko dolního povrchu je výztuž malého průměru (odseknutím potvrzeny V Ø 6 mm), hlavní výztuž (odseknutím potvrzena jako V Ø 12 mm) je však rovněž příliš blízko dolnímu povrchu



Obr. 116 Záznam měření roztečí, krytí a průměrů rozdělovací výztuže na spodním líci balkonu v 1.NP přístrojem Profometer PM-630. Ze záznamu je patrné, že všechny pruty mají malý průměr (odseknutím potvrzeny V Ø 6 mm), přičemž část se nachází pod hlavní výztuží a část nad hlavní výztuží



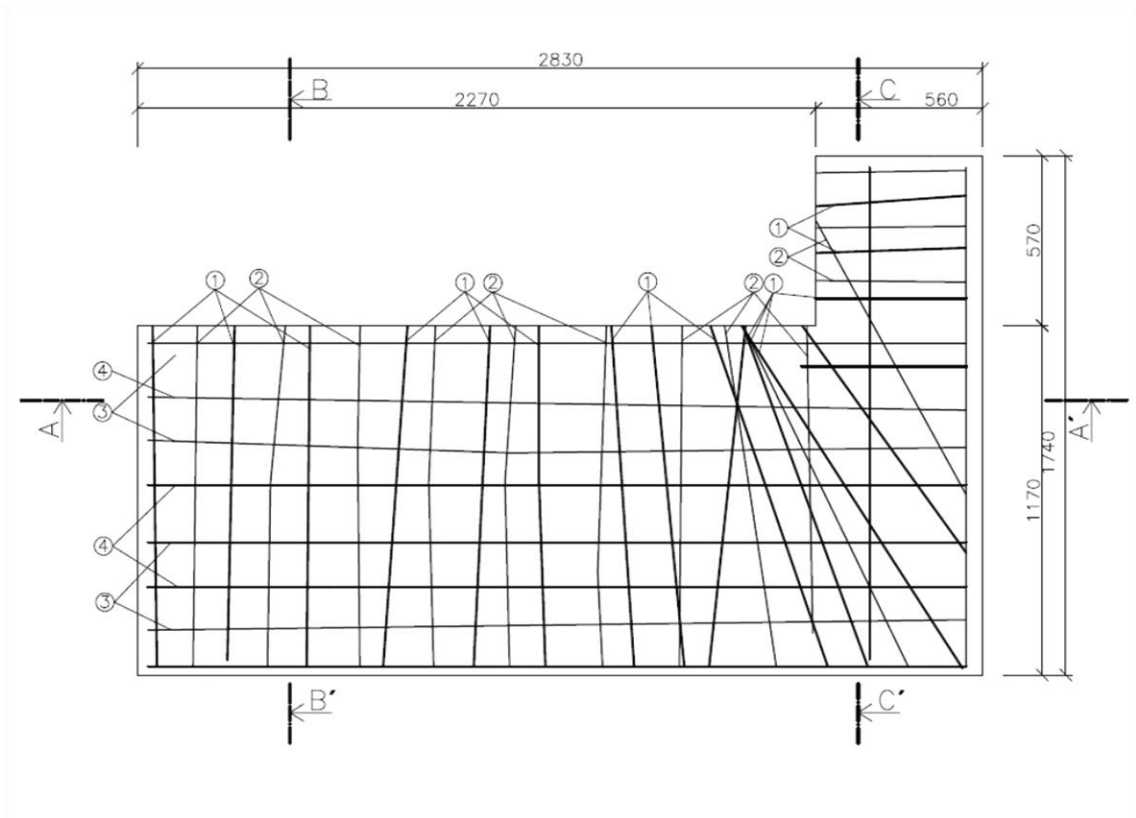
Obr. 117 Sekané sondy k výztuži na spodním líci balkonu v 1.NP



Obr. 118 Detail cílené sondy k výztuži pro ověření průměru a zejména druhu výztužné vložky

8.2.2 Výsledky měření

Na základě provedených měření bylo možné získat komplexní obraz o skutečném vyztužení desky balkonu. Půdorys výztuže je na Obr. 119. Jednotlivé řezy s uvedením krytí od spodního líce jsou zobrazeny na Obr. 120 a 121.



Obr. 119 Schematický výkres zjištěného vyztužení desky balkonu v 1. NP. Popis jednotlivých druhů vyztuže je uveden na následujících řezech

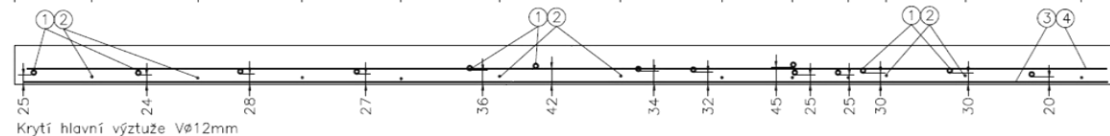
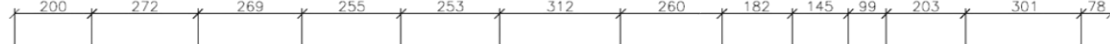
Řez A-A'

Výška desky 100mm

Osově vzdálenosti hlavní vyztuže V \varnothing 12mm



Osově vzdálenosti konstrukční vyztuže V \varnothing 6mm



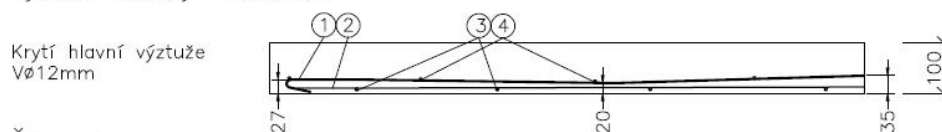
Krytí hlavní vyztuže V \varnothing 12mm

- | | | | |
|---|--------------------------------------|---|--------------------------------------|
| ① | V \varnothing 12mm | ② | V \varnothing 6mm; min. krytí 10mm |
| ③ | V \varnothing 6mm; min. krytí 5mm | | |
| ④ | V \varnothing 6mm; min. krytí 25mm | | |

Obr. 120 Schematický výkres vyztuže balkonu v 1. NP v řezu A-A' (u stěny). Na řezu je uvedeno krytí hlavní vyztuže od dolního líce, které se pohybuje pouze od 20 mm do 45 mm

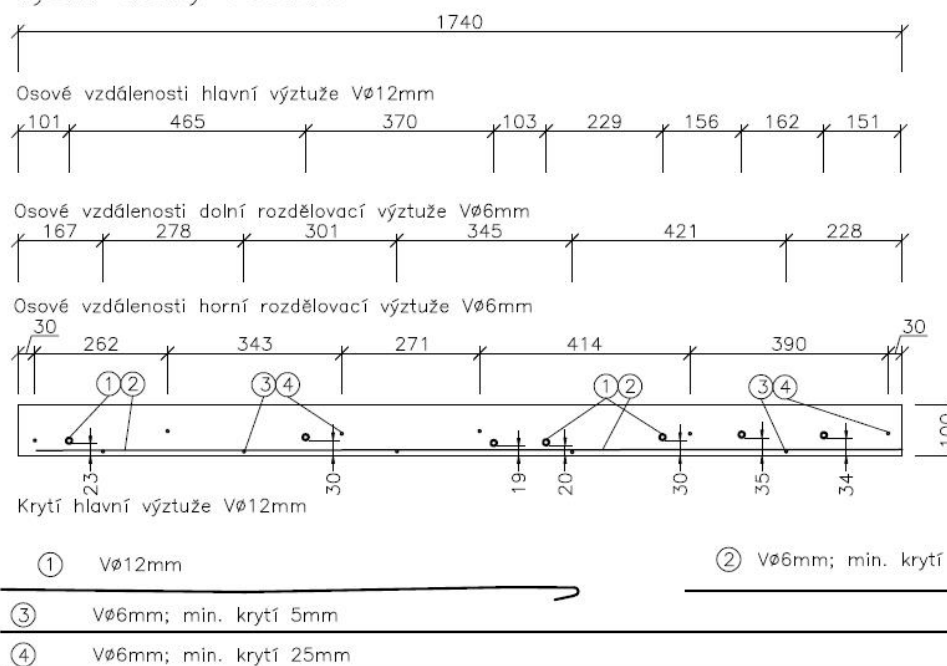
Řez B-B'

Výška desky 100mm



Řez C-C'

Výška desky 100mm



Obr. 121 Schematický výkres výztuže balkonu v 1. NP v řezu B-B' (rozdělovací výztuž) a C-C' (hlavní výztuž kratší strany). Hlavní výztuž je i zde velmi blízko dolnímu povrchu desky

Bylo zjištěno, že balkony na východní straně objektu jsou železobetonové. Hlavní výztuž balkonů je tvořena profily o $\varnothing 12\text{ mm}$ z žebírkové oceli (10425 V), dále jsou zde rozmístěny konstrukční profily $\varnothing 6\text{ mm}$ v obou směrech. Hlavním problémem všech balkonů je, že hlavní výztuž v rozhodujícím průřezu u stěny byla již při výstavbě umístěna příliš nízko, takže vyztužení neodpovídá správnému vyztužení konzoly.

Extrémním případem je balkon v 1.NP, kde se hlavní výztuž nachází téměř u dolního okraje, zatímco v tažené oblasti konzoly zcela chybí. Dle průběhu výztuže (od háků na vnějším konci se výztuž postupně přibližuje spodnímu líci desky) lze usuzovat, že problém vznikl pohybem osob či uložením břemen na výztuži před jejím zabetonováním. Zde je třeba hledat příčinu poruch i značného průhybu nosné desky balkonu.

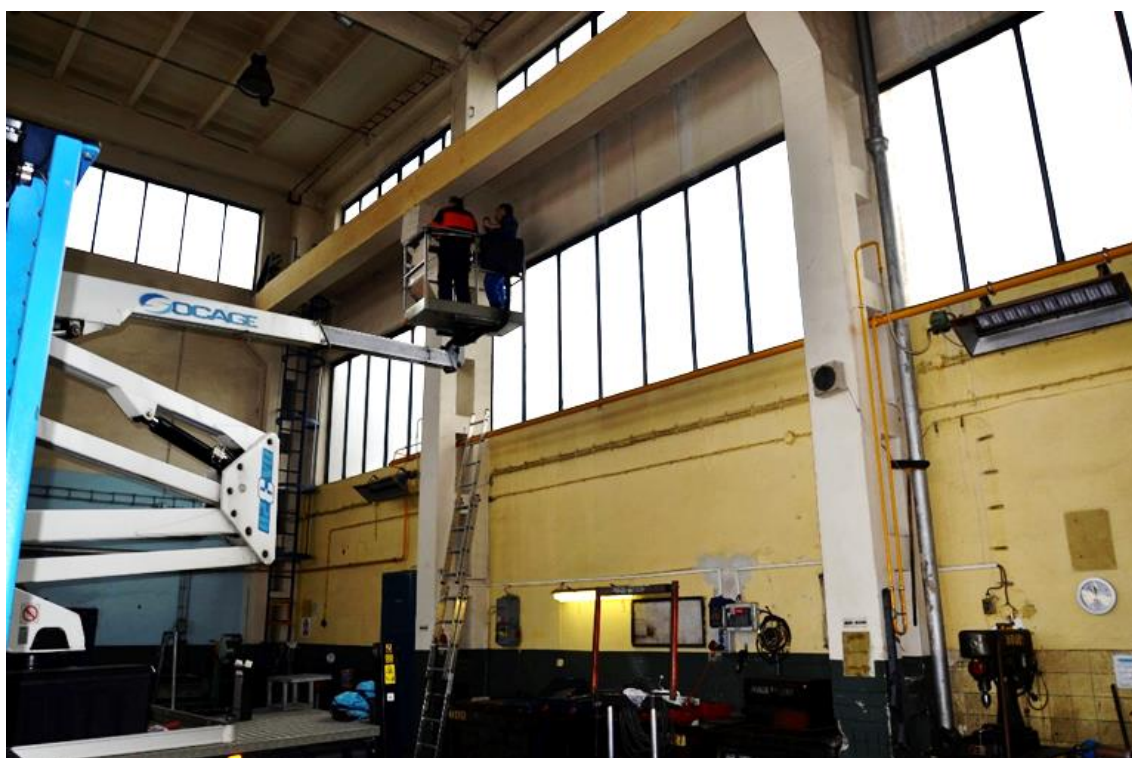
8.2.3 Vyhodnocení

Tento příklad je dobrou ukázkou vhodné kombinace využití metody georadaru, magnetického indikátoru a cílených sekaných sond, přičemž tato kombinace využívající dílčích předností jednotlivých metod je ideální pro stanovení vyztužení železobetonových desek. V tomto případě by případné zapojení radiografie nemělo žádný praktický přínos.

8.3 Případová studie 3 – stanovení vyztužení vybraných prvků železobetonové jeřábové dráhy

Jedním z komplikovanějších případů stanovení vyztužení prvků železobetonových konstrukcí se kterým se běžně setkáváme při rekonstrukci objektů průmyslových areálů, jsou prvky halových či externích jeřábových drah. Požadavky na stanovení vyztužení zahrnují většinou sloupy včetně konzol pro umístění jeřábové dráhy, a v případě, že vlastní jeřábová dráha je tvořena železobetonovými nosníky, tak průzkum zahrnuje i zmíněné nosníky.

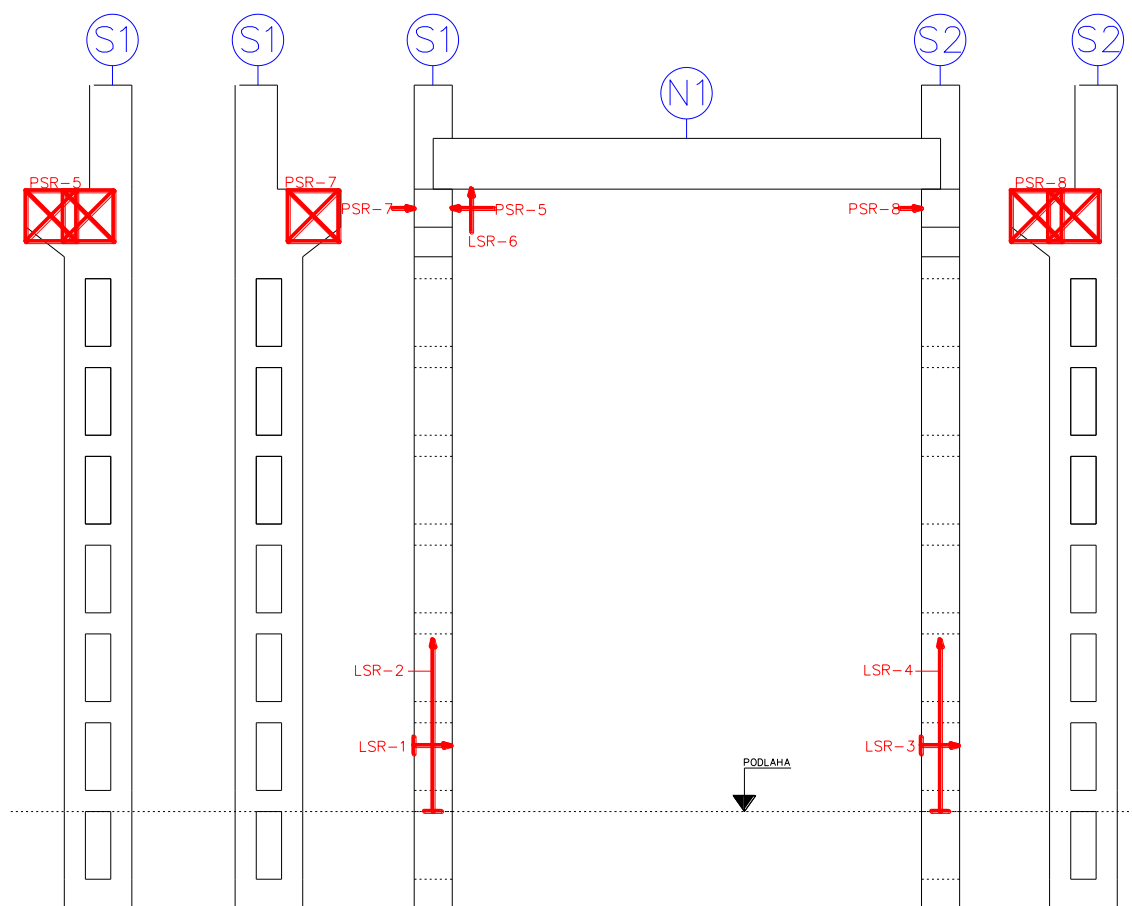
Jako typický příklad byl vybrán stavebně technický průzkum dvojice sloupů s konzolami a mezilehlého nosníku jeřábové dráhy průmyslové haly ALPINE Bau CZ a.s. ve Valašském Meziříčí.



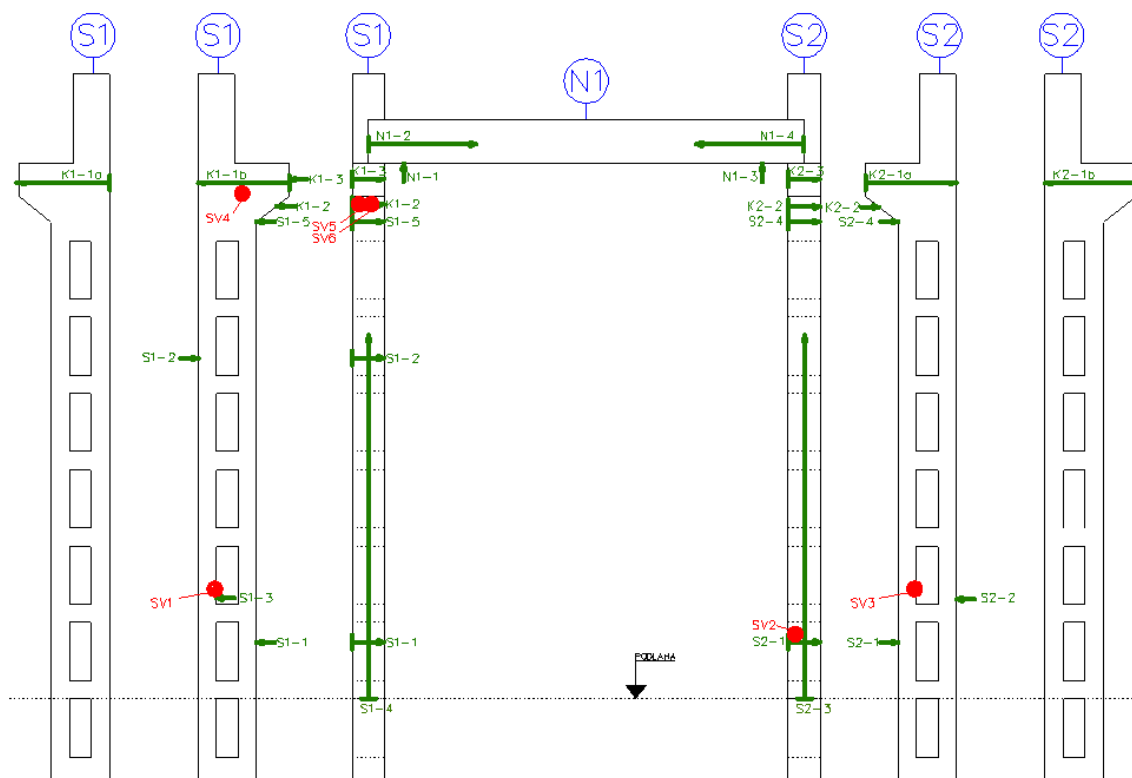
Obr. 122 Celkový pohled na zkoumanou oblast konstrukce, sloup označený S1, nosník označený N1 a sloup označený S2 [72]

8.3.1 Plán stanovení vyztužení vybraných prvků konstrukce

Při vlastním průzkumu identifikace vyztužení prvků jeřábové dráhy byla užita kombinace využití radaru Hilti PS1000 X-SCAN, elektromagnetického indikátoru Proceq Profometer PM-630 a cílených sekaných sond. Pozice pro měření oběma přístroji byly voleny s ohledem na možnosti, přednosti i nedostatky obou technologií tak, aby výsledky, podpořené identifikací použitého druhu výztuže cílenými sekanými sondami, poskytly dostatečné podklady pro sestavení kompletních výkresů vyztužení, které následně posloužily pro statický přepočet konstrukce (v kombinaci se zjištěnými pevnostmi betonu v tlaku, což není předmětem této práce). Přehled liniových i plošných skenů radarem je vyobrazen v Obr. 123, přehled liniových skenů prováděných elektromagnetickým indikátorem je představen na Obr. 124.

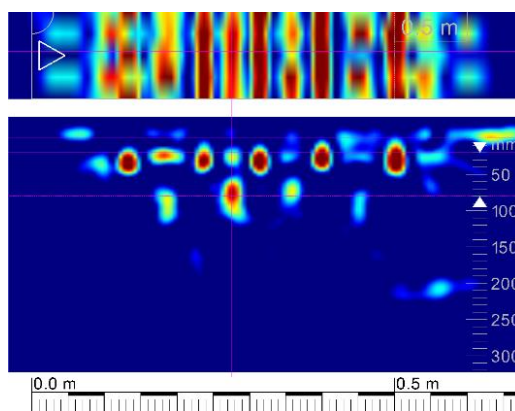


Obr. 123 Celkový pohled na zkoumanou oblast konstrukce, sestávající ze dvojice sloupů (S1 a S2) a nosníku označeného N1. Na obrázku jsou vyznačeny všechny prováděné radarové skeny. Byly zvoleny dva typy skenů, liniové značené na obrázku LSR a plošné skeny formátu 600 × 600 mm, značené v obrázku PSR [72]

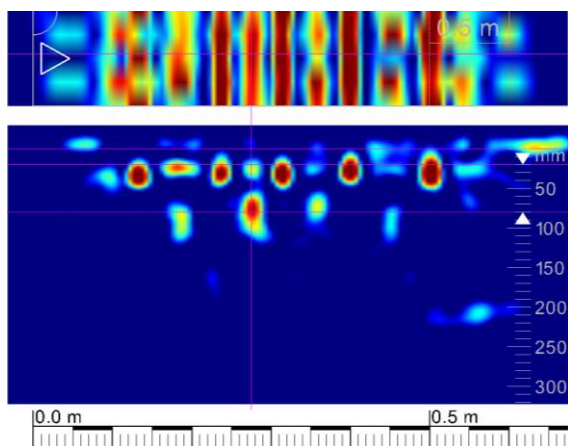


Obr. 124 Celkový pohled na zkoumanou oblast konstrukce, sestávající ze dvojice sloupů (S1 a S2) a nosníku označeného N1. Na obrázku jsou vyznačeny všechny liniové skeny prováděné elektromagnetickým indikátorem, značené v obrázku zeleně a cílené sekané sondy ke zjištění typu výztuže a ověření průměru (mimo jiné pro kalibraci pro NDT určení průměru v jiných částech konstrukce) [72]

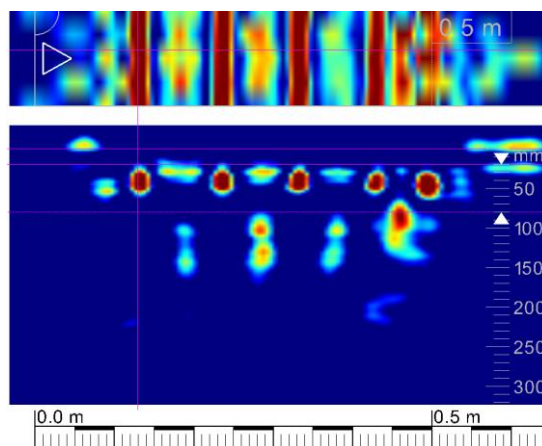
8.3.2 Výsledky měření radarem Hilti PS1000 X-SCAN



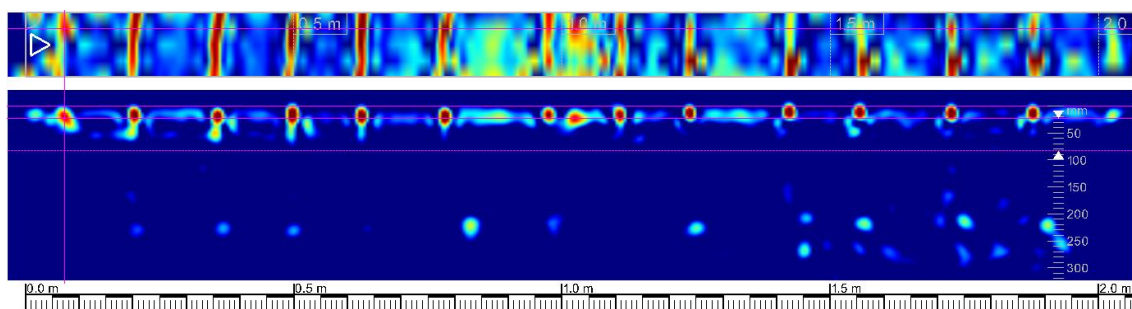
Obr. 125 Sonda LSR-1. Liniový sken napříč sloupem S1 ve výšce 1000 mm nad podlahou zachycující 5 prutů hlavní nosné výztuže. Zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce jsou ve skutečnosti pouze interference radarových odrazů



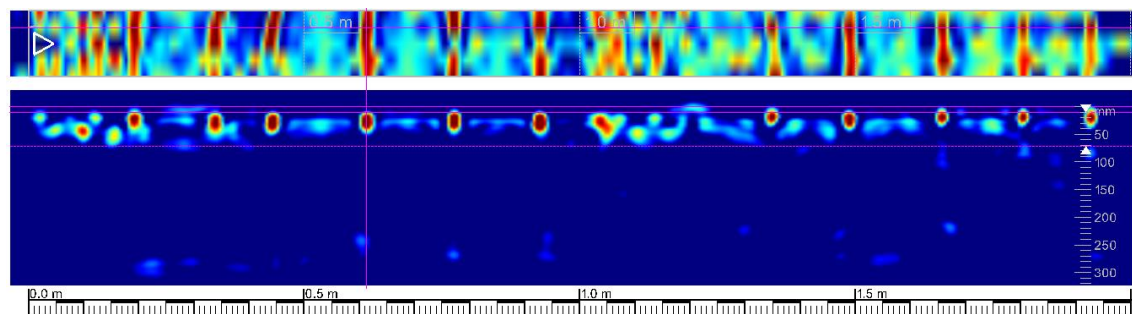
Obr. 126 Sonda LSR-1. Liniový sken napříč sloupem S1 ve výšce 1000 mm nad podlahou zachycující 5 prutů hlavní nosné výztuže. Zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce jsou ve skutečnosti pouze interference radarových odrazů



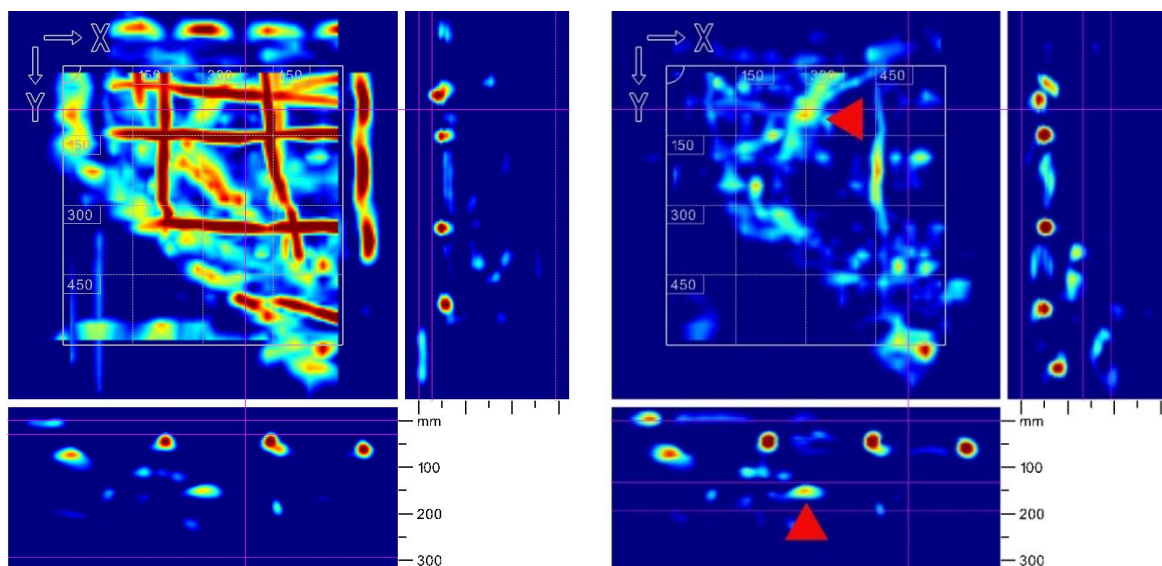
Obr. 127 Sonda LSR-3. Liniový sken napříč sloupem S2 ve výšce 1000 mm nad podlahou zachycující 5 prutů hlavní nosné výztuže. Zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce jsou ve skutečnosti pouze interference radarových odrazů



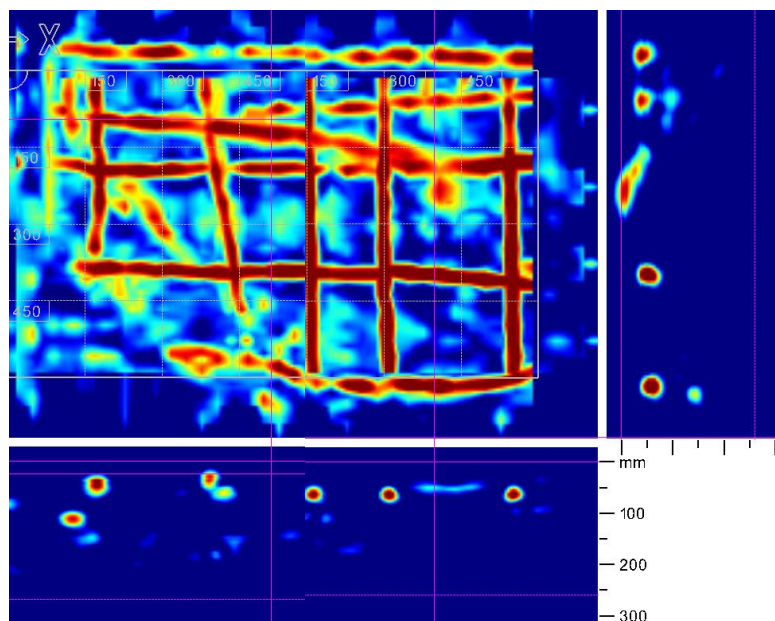
Obr. 128 Sonda LSR-2. Liniový sken sloupem S1 v místě sondy LSR-2 zachycuje polohu třmíneků paty sloupu od cca 100 mm nad podlahou do výšky cca 2000 mm



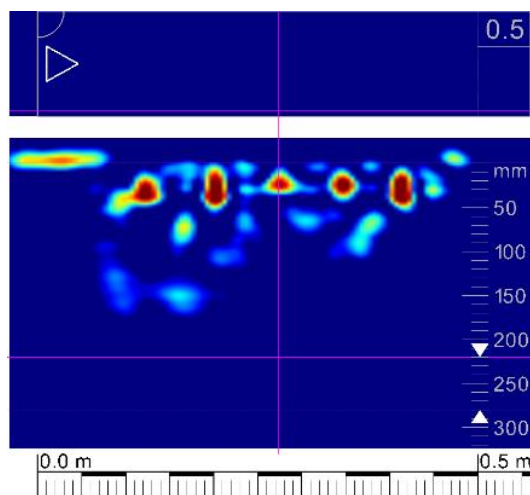
Obr. 129 Sonda LSR-4. Liniový sken sloupem S2 v místě sondy LSR-2 zachycuje polohu třmíneků paty sloupu od cca 100 mm nad podlahou do výšky cca 2000 mm



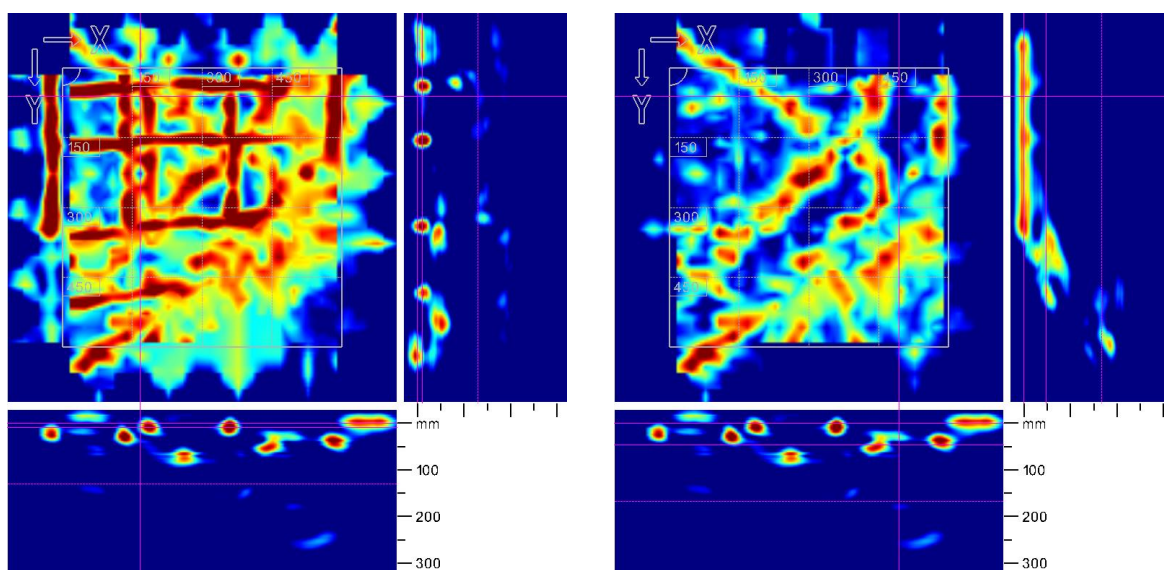
Obr. 130 Výstup radarového plošného skenu konzoly sloupu S1 v místě sondy PSR-5, v podobě pohledu na skenovanou oblast a řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Na pravém obrázku je sken upravený tak, aby zachycoval pouze zjištěné objekty mezi úrovněmi 130 a 190 mm pod povrchem. Na skenu je dobře patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 130 mm (v pohledu a řezu skenu označený šipkami)



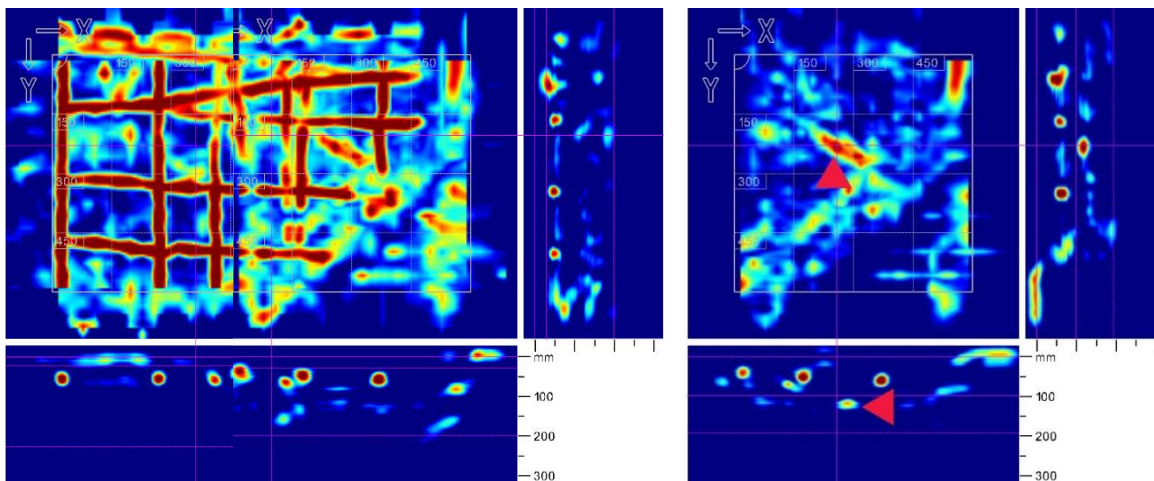
Obr. 131 V sondě PSR-5 byly provedeny dva plošné skeny, navzájem se překrývající, jež umožnily na celém boku konzoly sloupu S1 zachycení všech výztuží (povšimněte si hlavní výztuže pod šikmou částí konzoly, má extrémní krytí, rozhodně neodpovídající krytí původně projektovanému)



Obr. 132 Sonda LSR-6 byla provedena ve formě liniového skenu na spodním líci nosníku jeřábové dráhy označeném N1 bezprostředně u sloupu (pro zjištění hlavní výztuže) a dále na bočním líci nosníku pro lokalizaci trmínků a zjištění případných ohybů hlavní výztuže. Na bočním skenu nebyly žádné ohyby hlavní nosné výztuže zjištěny

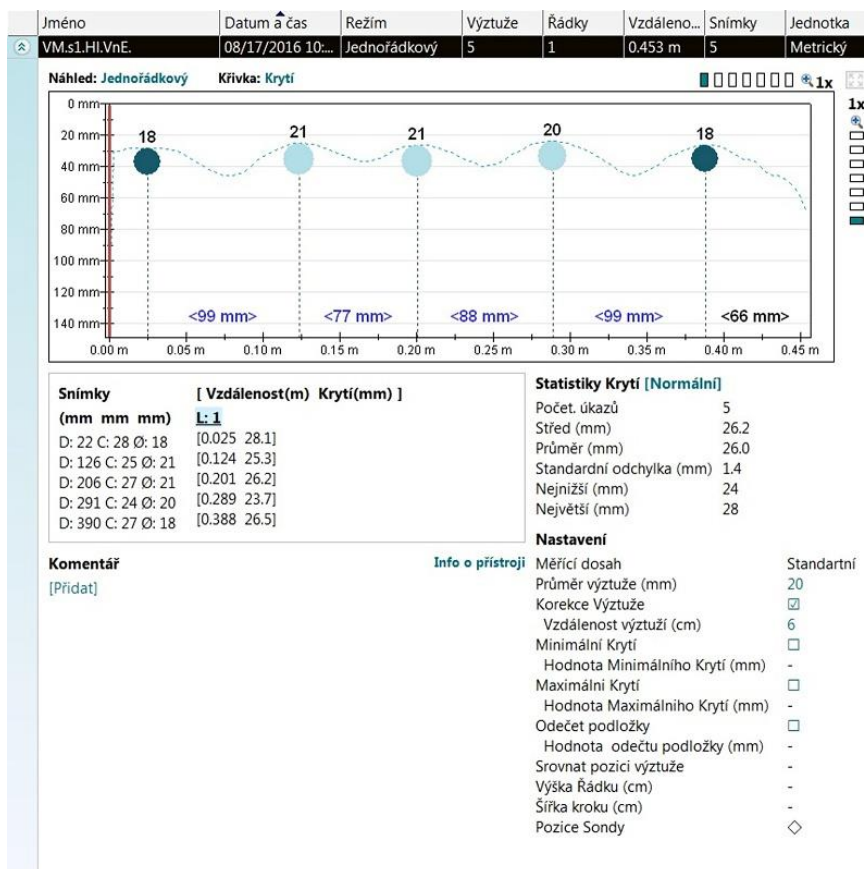


Obr. 133 Výstup radarového plošného skenu konzoly sloupu S1 v místě sondy PSR-5, v podobě pohledu na skenovanou oblast a řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Vpravo sken je upravený tak, aby zachycoval pouze zjištěné objekty mezi úrovněmi 50 a 170 mm pod povrchem. Na skenu je dobře patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 70 mm a současně poměrně velké krytí hlavní výztuže pod šikmým lícem konzoly

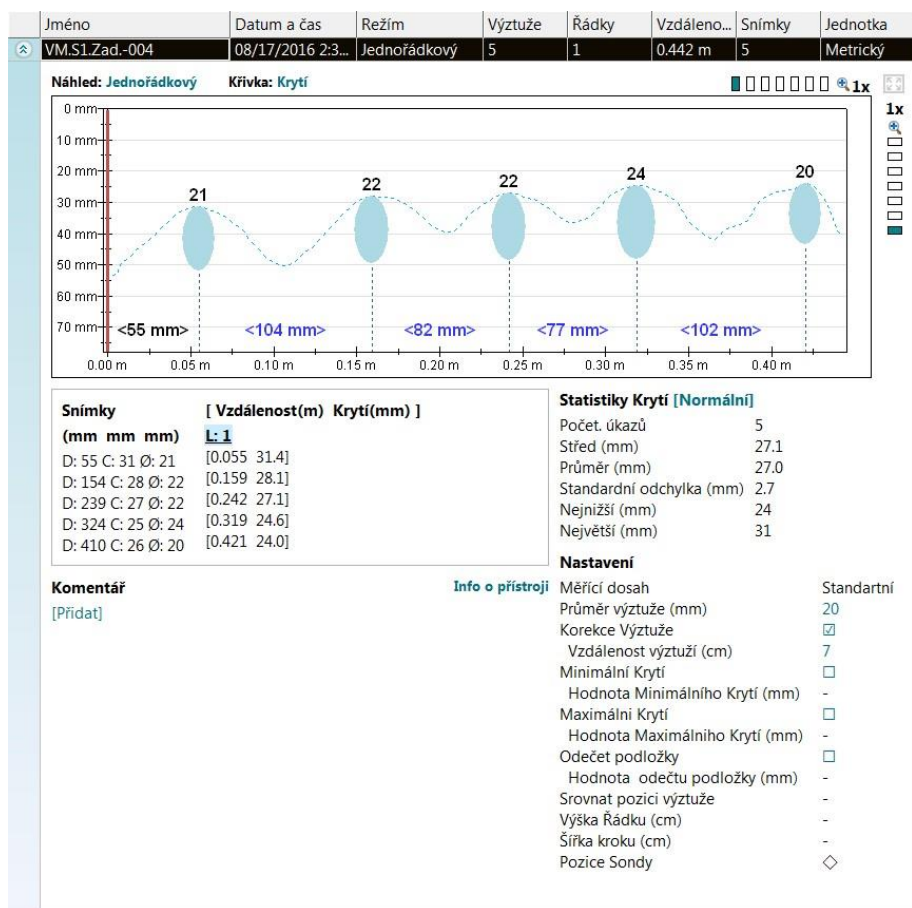


Obr. 134 Dvojice překrývajících se skenů na konzole sloupu S2, skeny označené PSR-8 zachycující výztuž na celém boku konzoly. Vpravo část skenu z předchozího obrázku je upravená tak, aby zachycovala pouze zjištěné objekty mezi úrovněmi 100 a 200 mm pod povrchem. Na skenu je dobře patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 110 mm (v pohledu a řezu skenu označený šipkami)

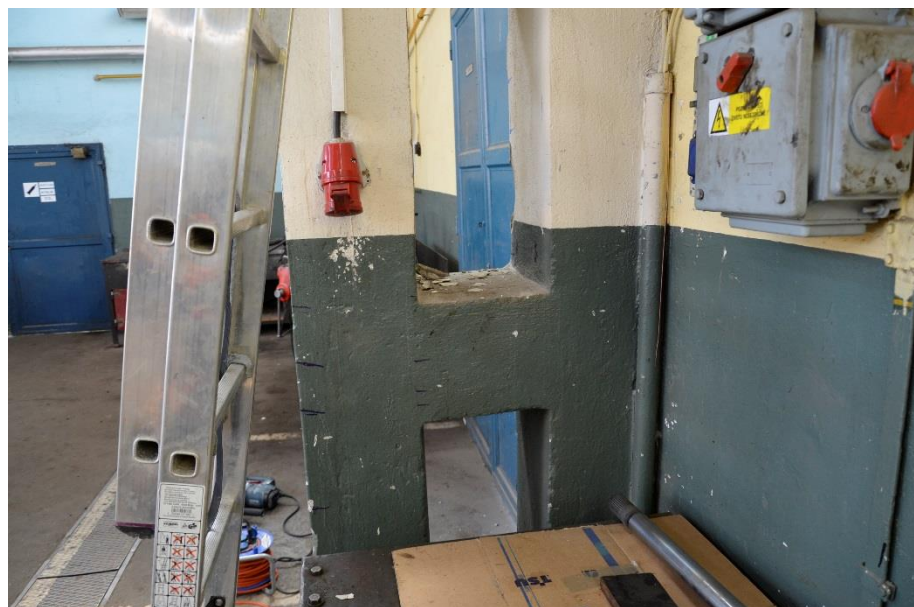
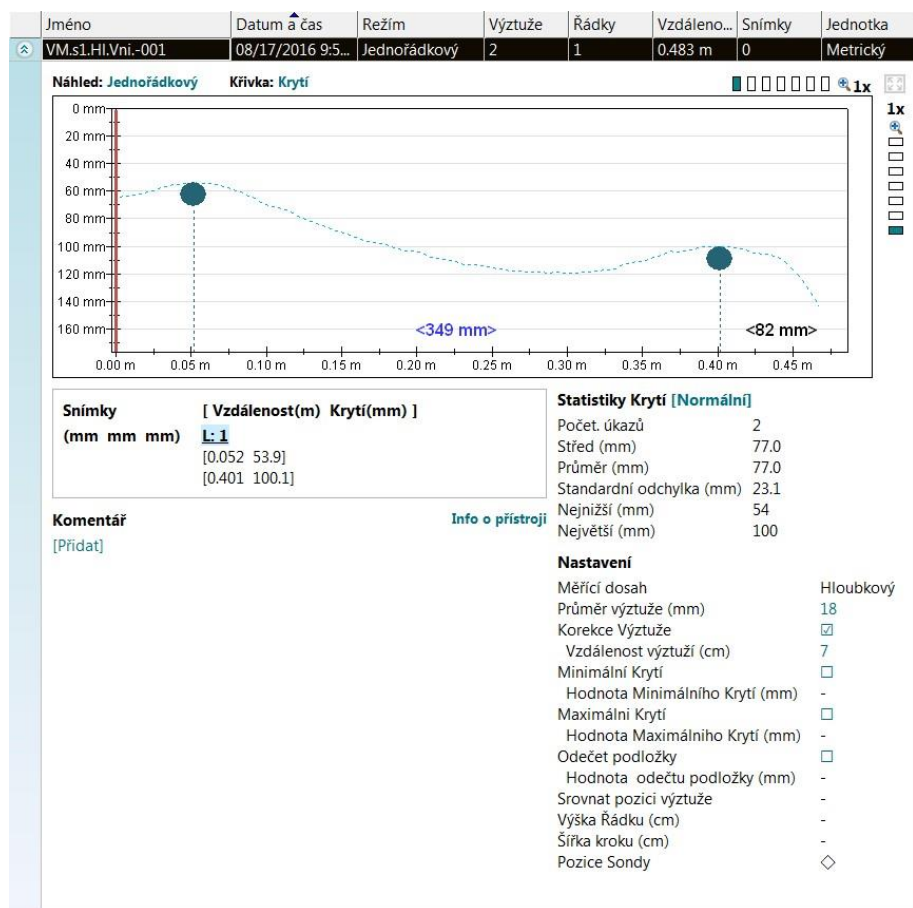
8.3.3 Výsledky měření elektromagnetickým indikátorem Proceq Profometer PM-630



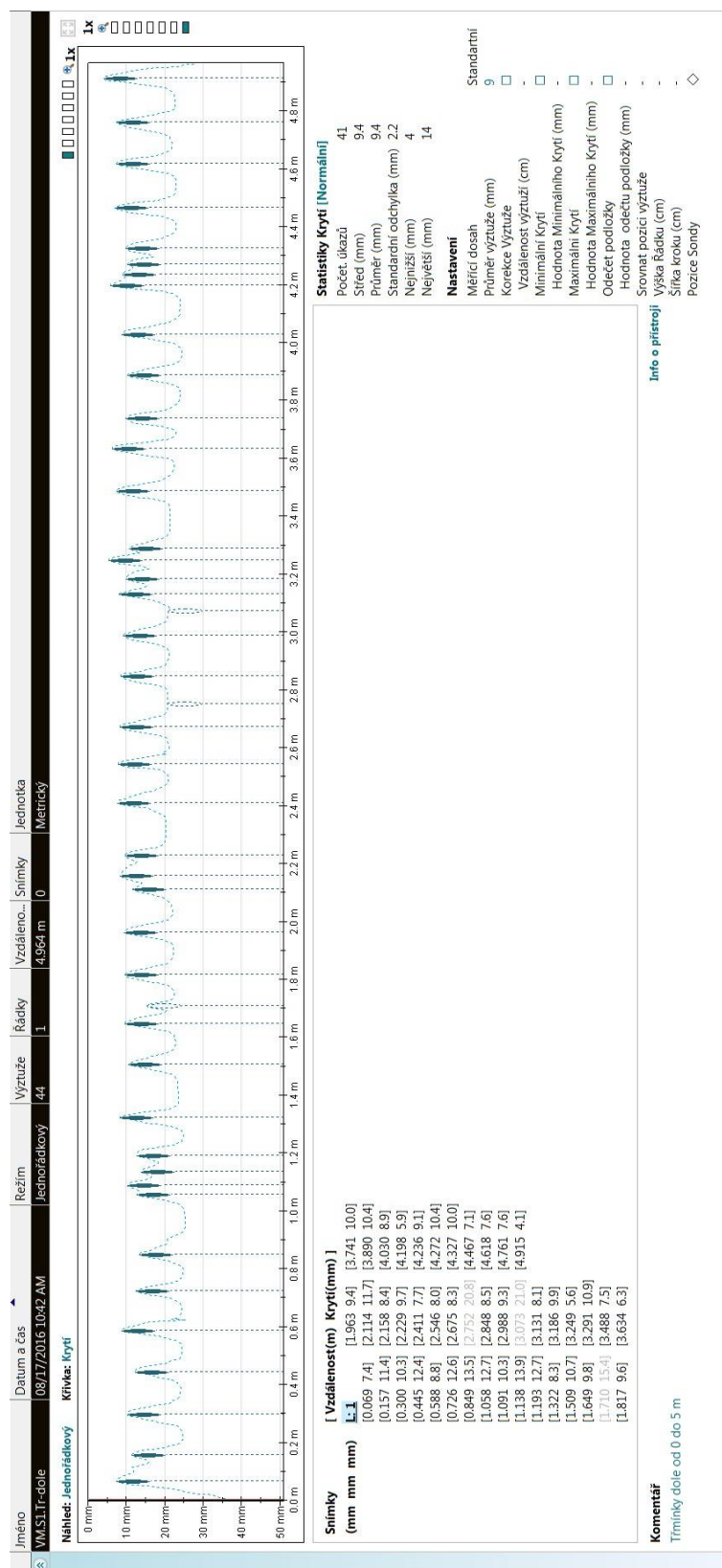
Obr. 135 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 ve výšce 1300 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-1. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svíslé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 136 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 ve výšce 7000 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-2. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svíslé výztuže o průměru 20 mm. Vnější hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]

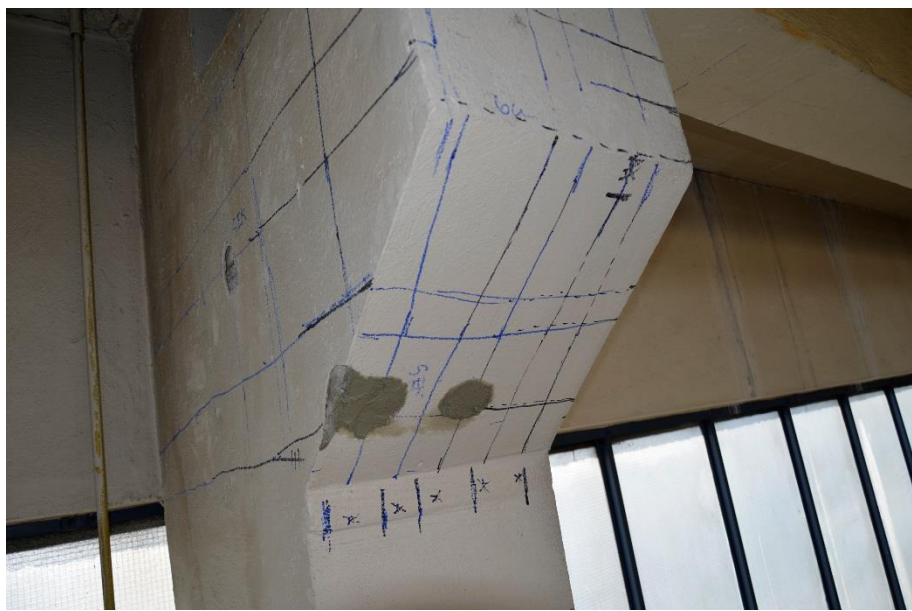
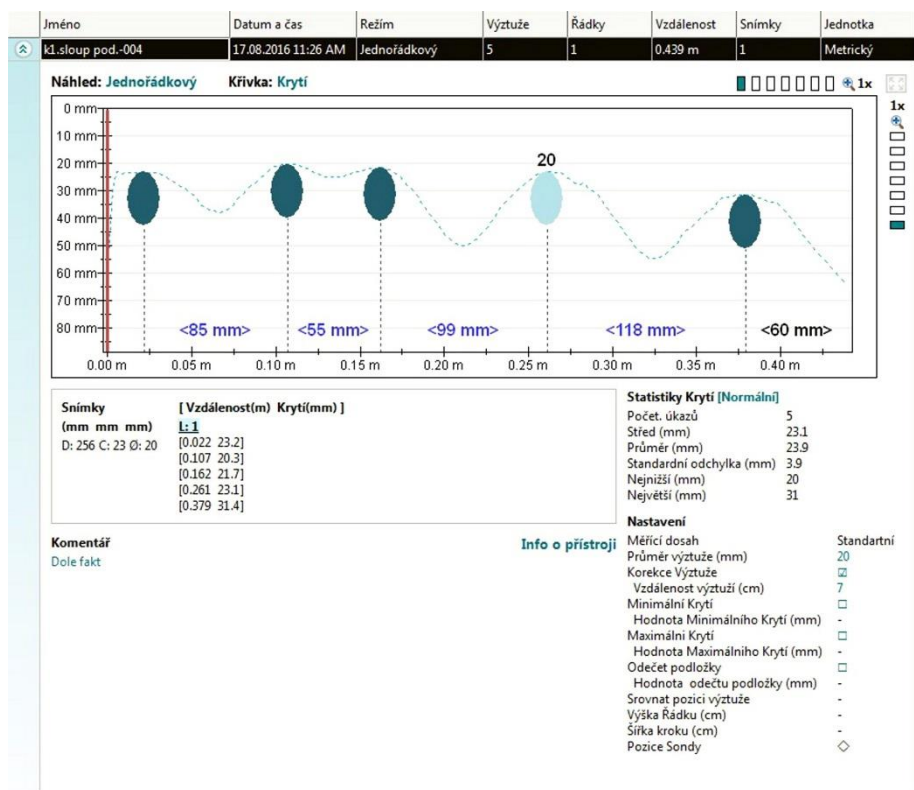


Obr. 137 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 ve výšce 1300 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-3. S využitím kalibrace přístroje byly zaměřeny celkem 2 profily hlavní svíslé výztuže o průměru 18 mm. V místě sondy byla provedena sekaná sonda označená SV1 [72]

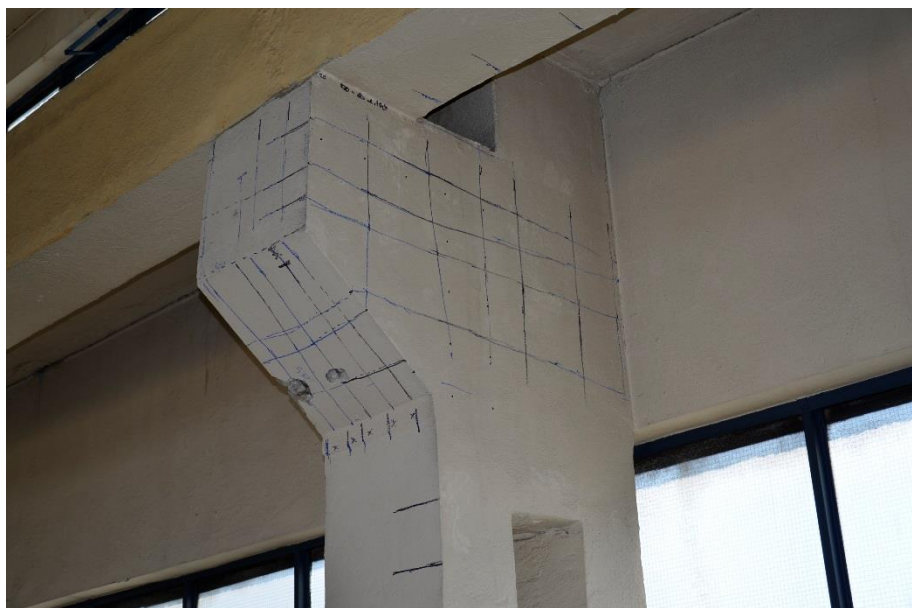


Obr. 138 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem po výšce sloupu S1, 0,1 – 5,0 m od podlahy, v místě provedení sondy S1-4. Průměrná rozteč tříminků 140 – 160 mm. Třímének o průměru 8 mm, hladká výtzuž.

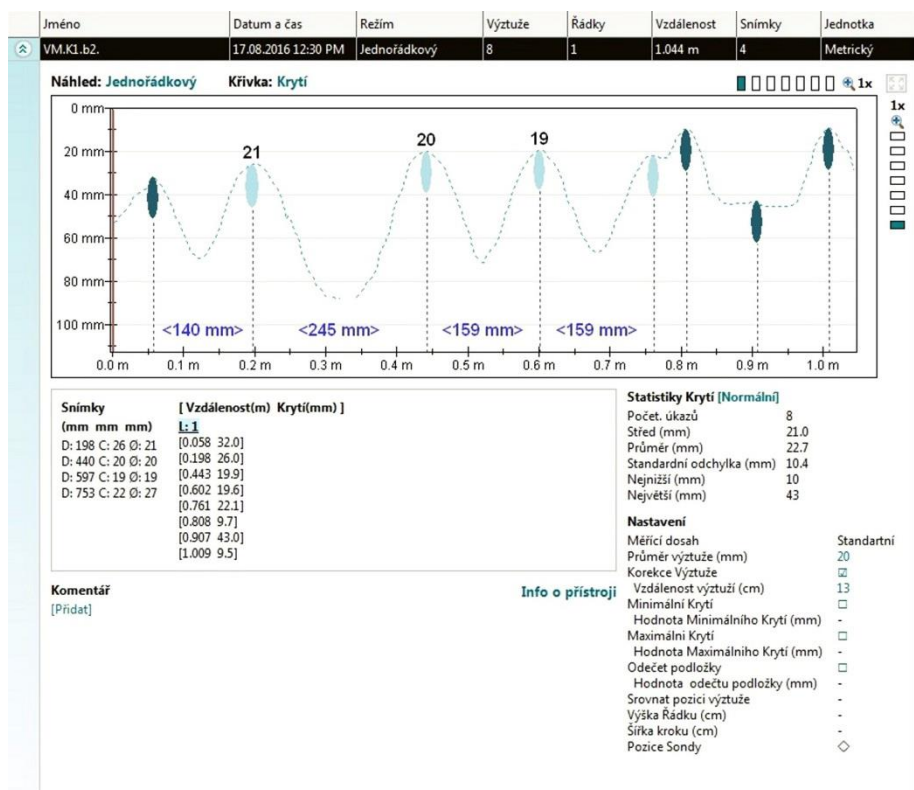
Krytí výtzuže cca 10 – 20 mm [72]



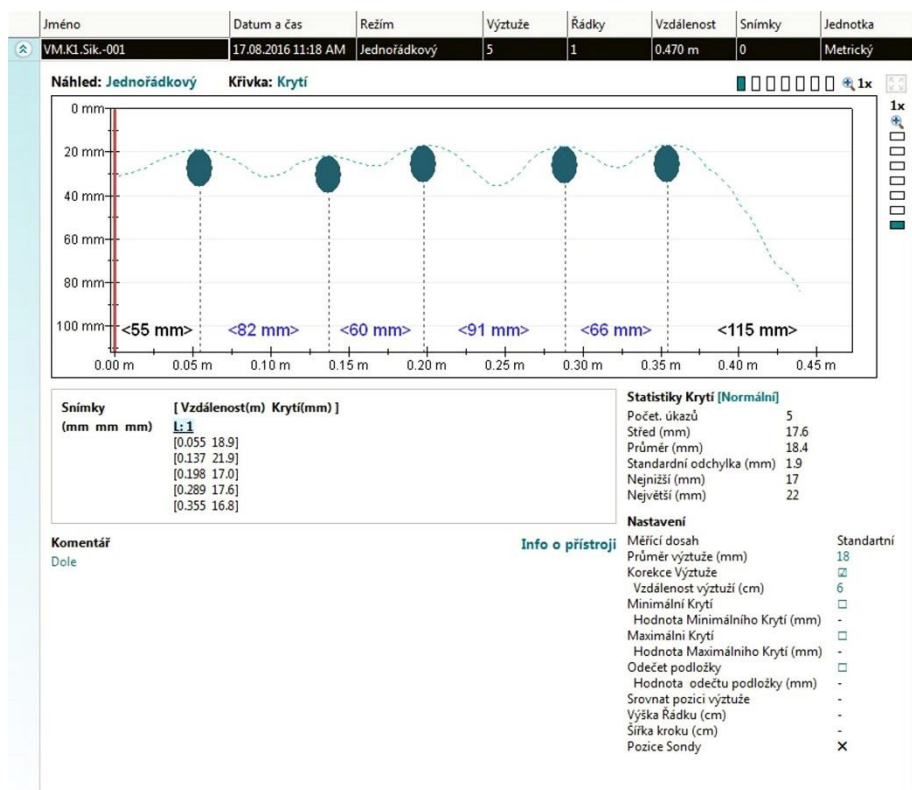
Obr. 139 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 pod konzolou, v místě provedení sondy S1-5. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svíslé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



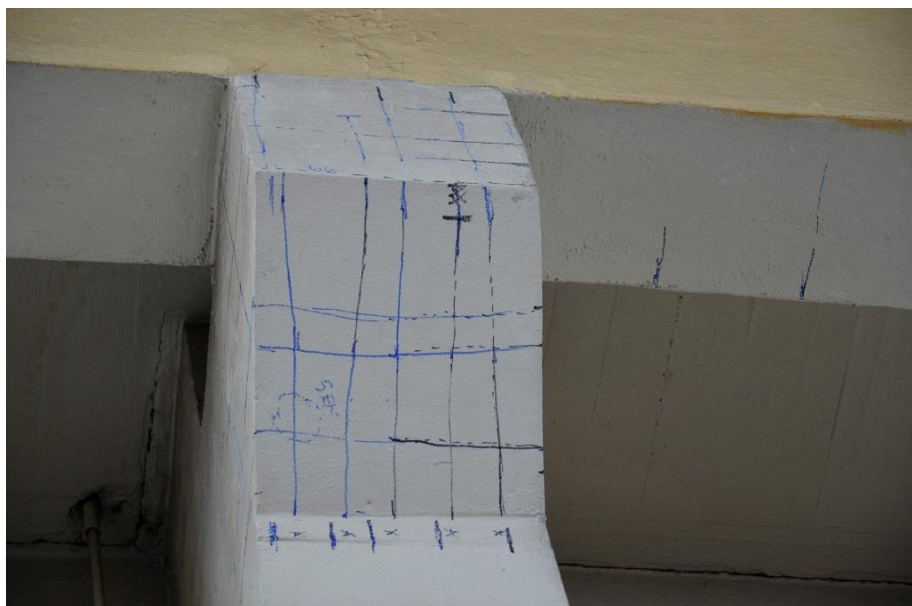
Obr. 140 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S1, v místě provedení sondy K1-1a. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 6 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



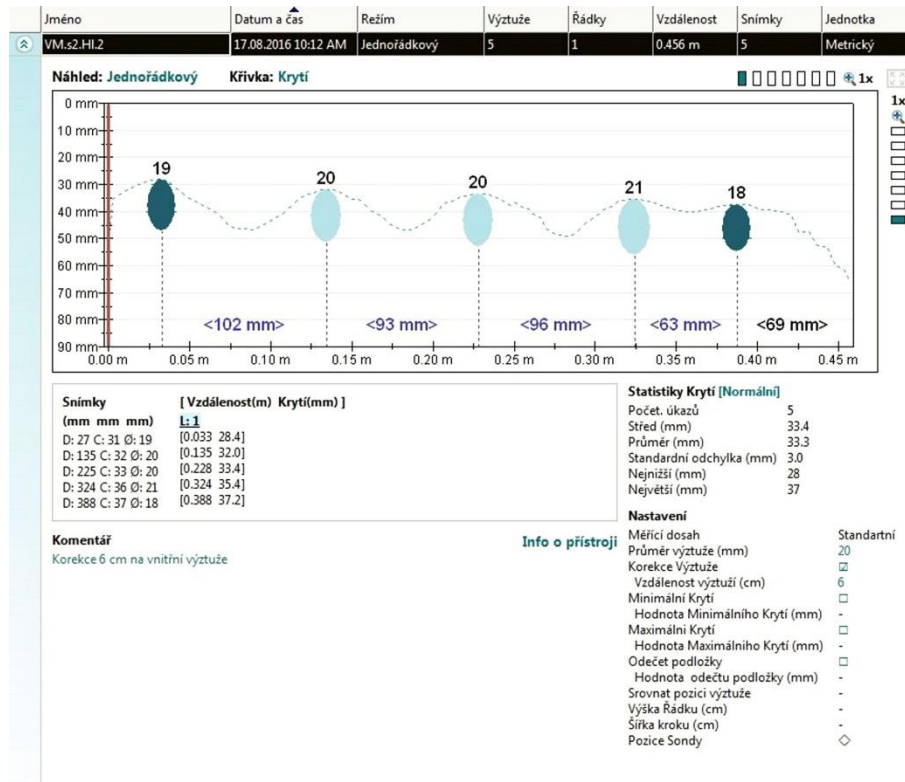
Obr. 141 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S1, v místě provedení sondy K1-1b. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 8 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Vodorovná výztuž byla ověřena sekanou sondou označenou SV4. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



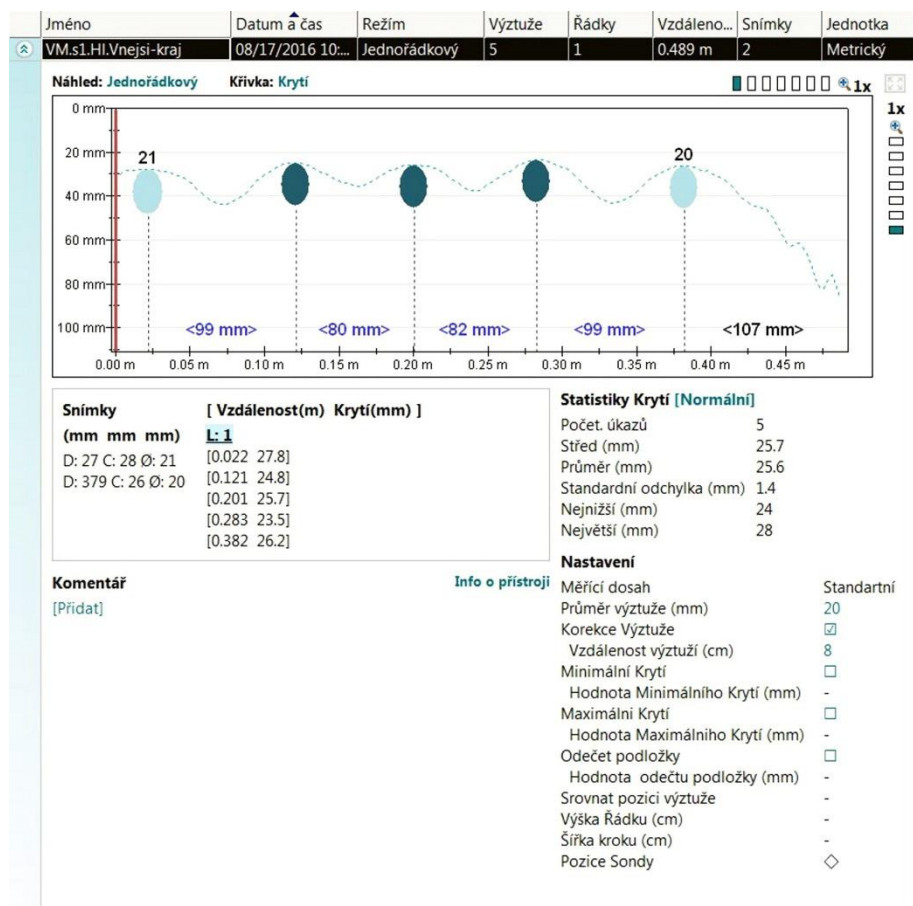
Obr. 142 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč šikmou částí konzoly sloupu S1, v místě provedení sondy K1-2. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů svislé výztuže. Dva profily blízko povrchu byly ověřeny sekanými sondami SV5 a SV6, byl identifikován průměr výztuže 16 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



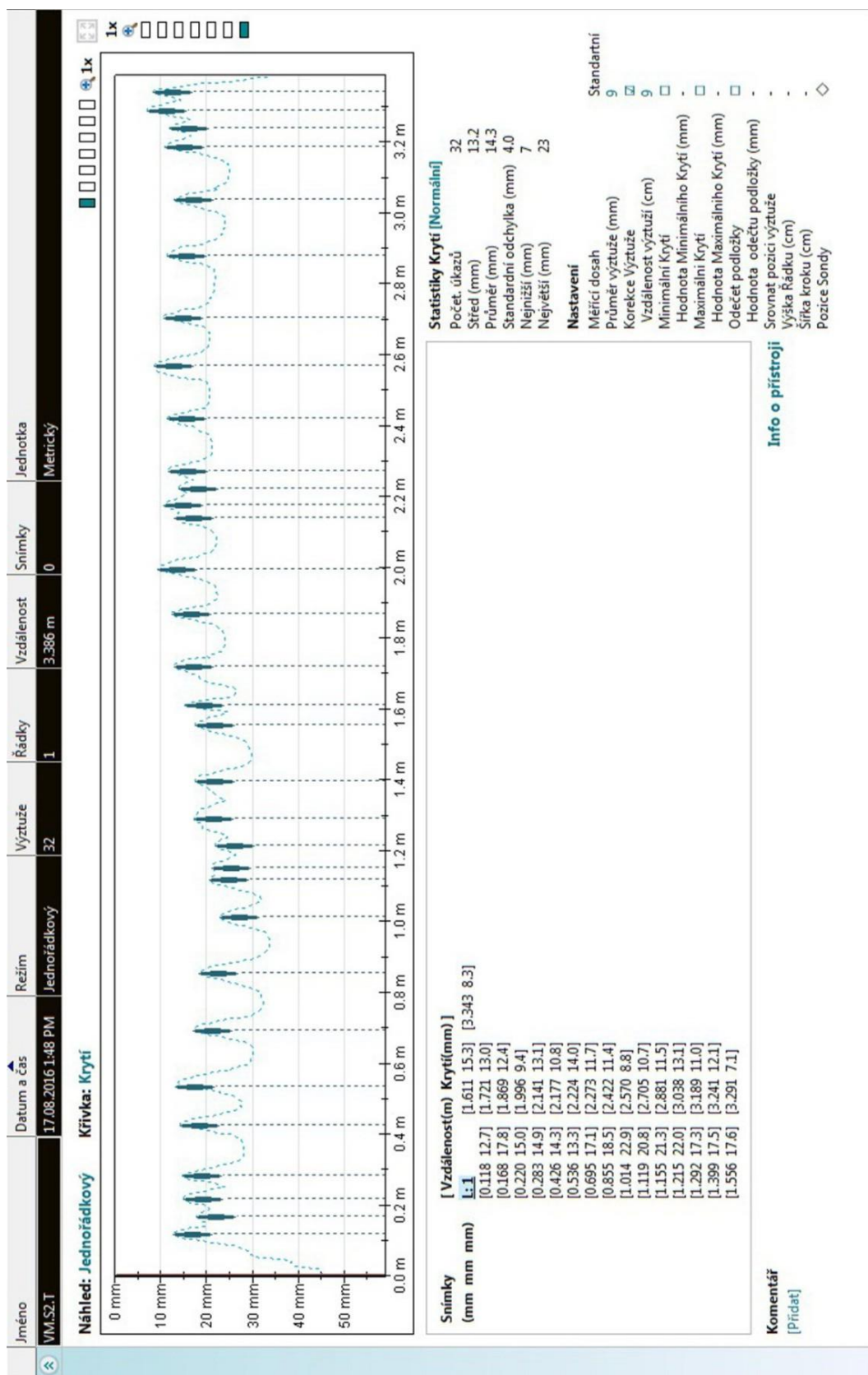
Obr. 143 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč čelem konzoly sloupu S1, v místě provedení sondy K1-3. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů svislé výztuže. Ze záznamu je patrné, že některé vložky se ohýbají směrem dovnitř konzoly. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 144 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S2 ve výšce 1000 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-2. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 145 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S2 ve výšce 7000 mm od podlahy, v místě provedení sondy S2-2. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svíslé výztuže o průměru 20 mm. Vnější hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]

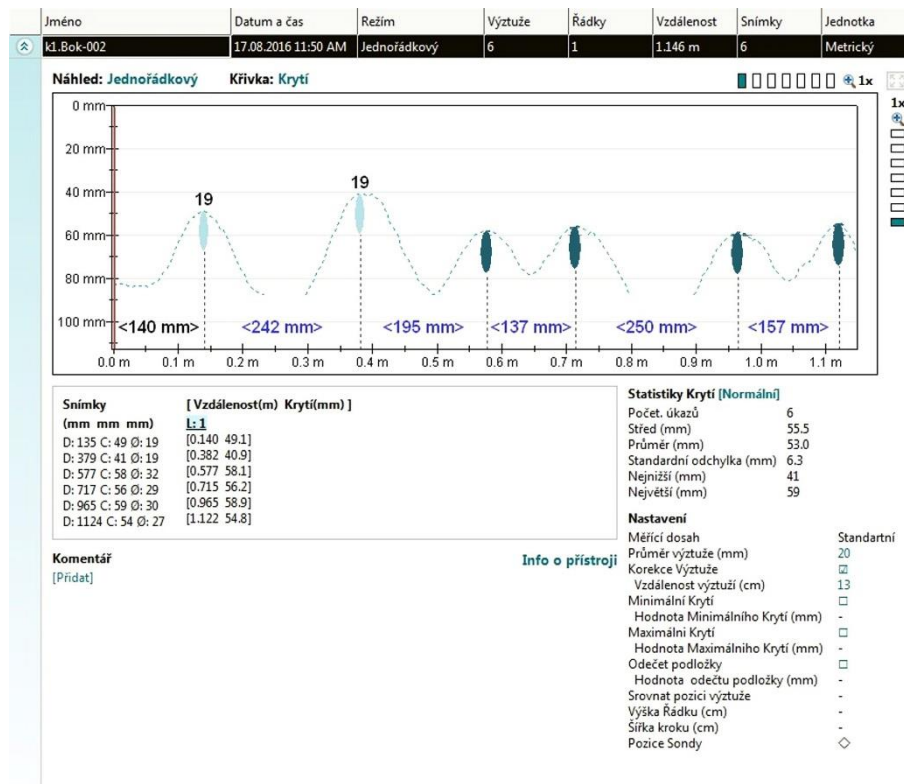


Obr. 146 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem po výšce sloupu S2, 0,1 – 5,0 m od podlahy, v místě provedení sondy S1-4. Průměrná rozteč trmínek 140 – 160 mm. Trmínek o průměru 8 mm, hladká výztuž.

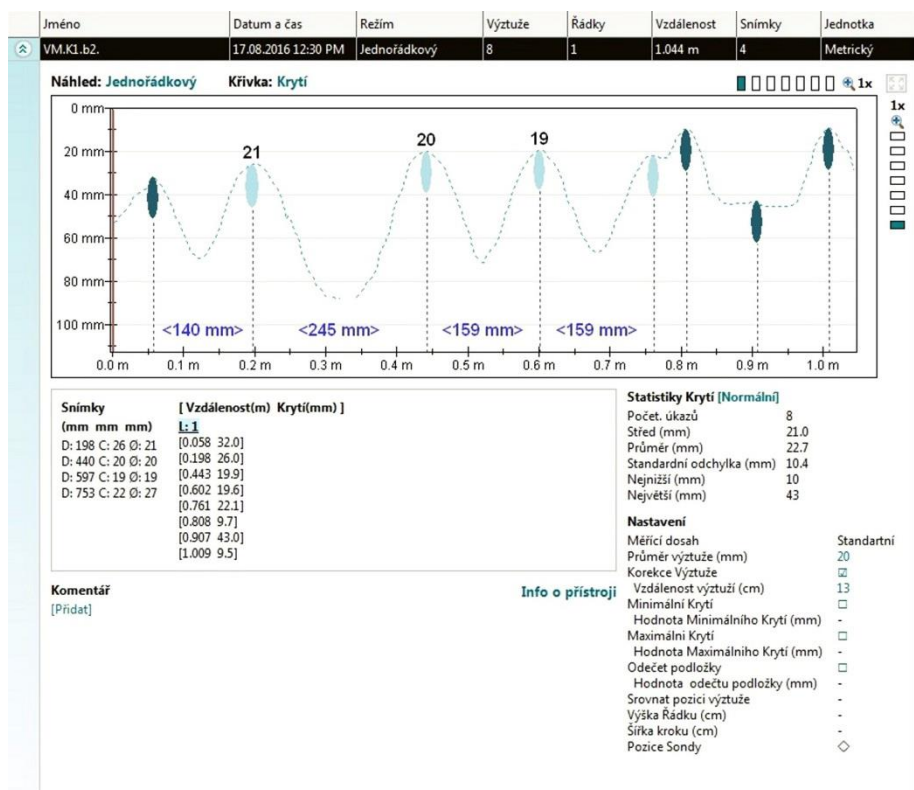
Krytí výztuže cca 10 – 20 mm [72]



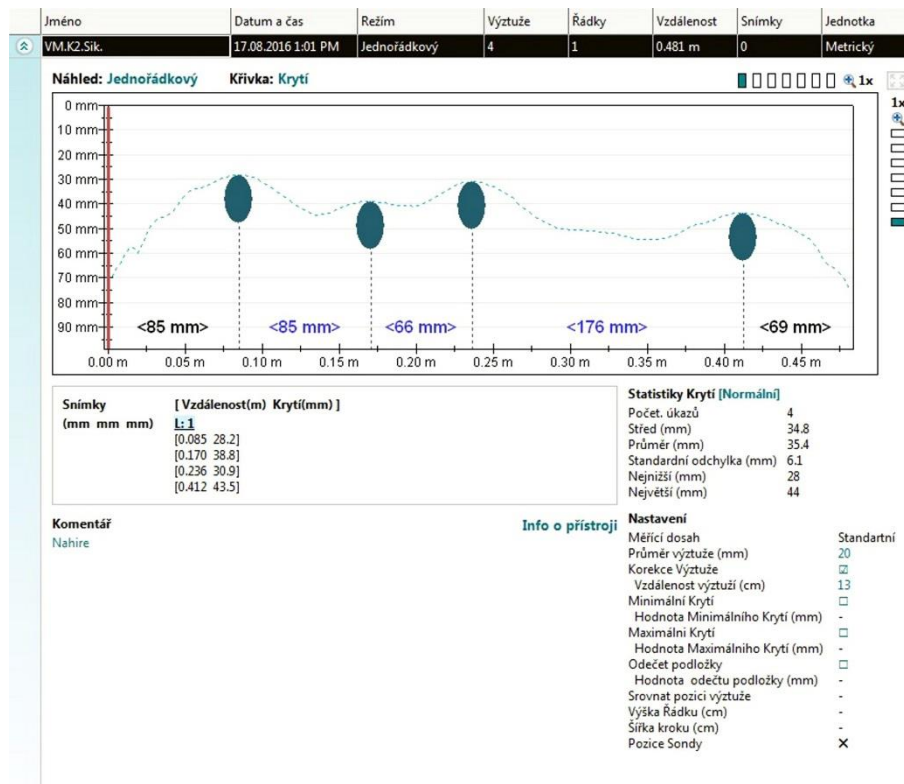
Obr. 147 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S2 pod konzolou, v místě provedení sondy S2-4. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



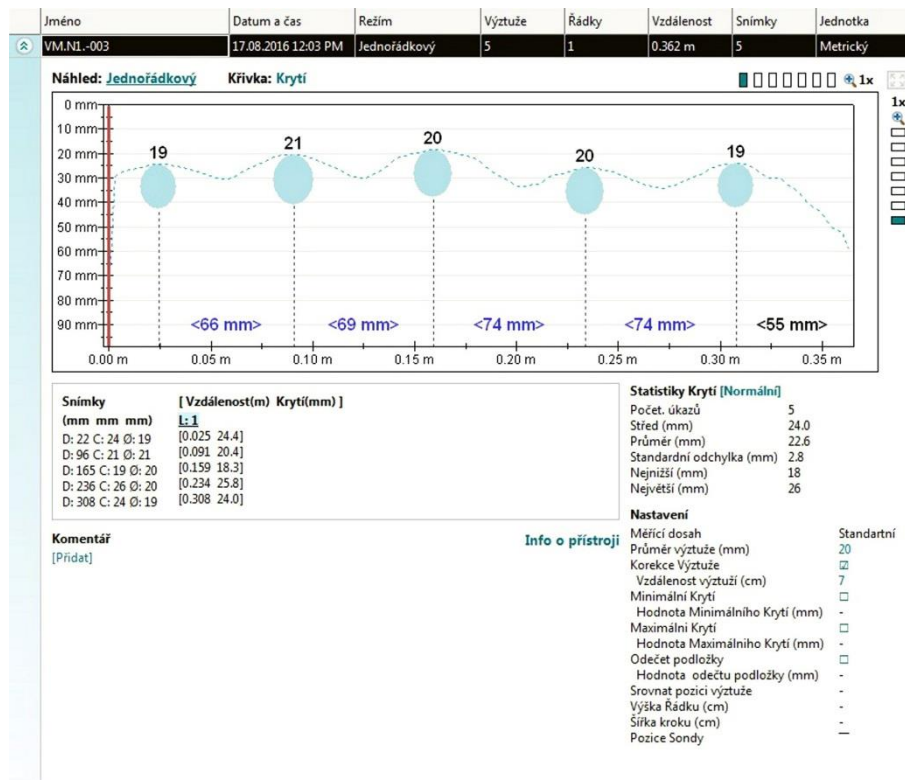
Obr. 148 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S2, v místě provedení sondy K2-1a. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 6 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 149 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S2, v místě provedení sondy K2-1b. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 8 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]

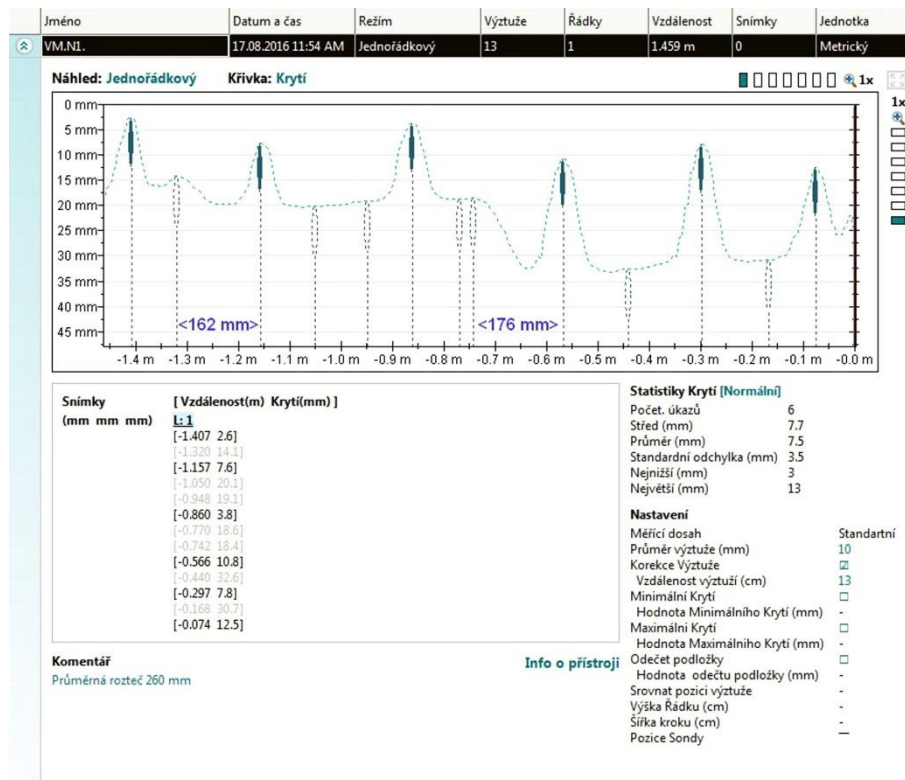


Obr. 150 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč šikmou částí konzoly sloupu S2, v místě provedení sondy K2-2. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů svislé šikmé výztuže. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]

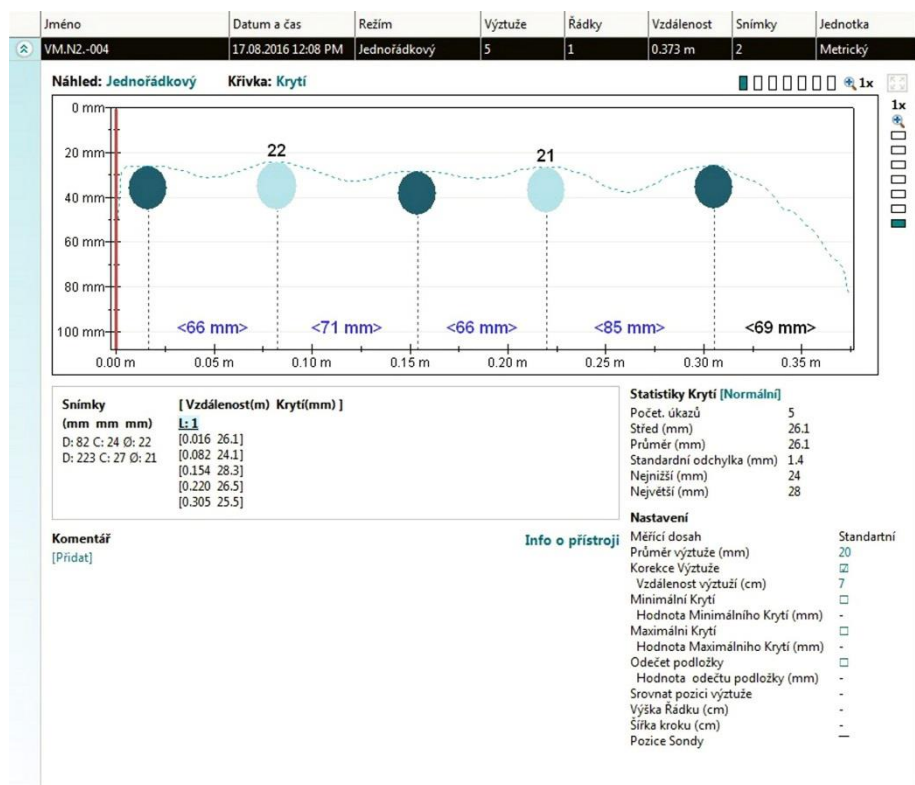


Obr. 151 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S1.

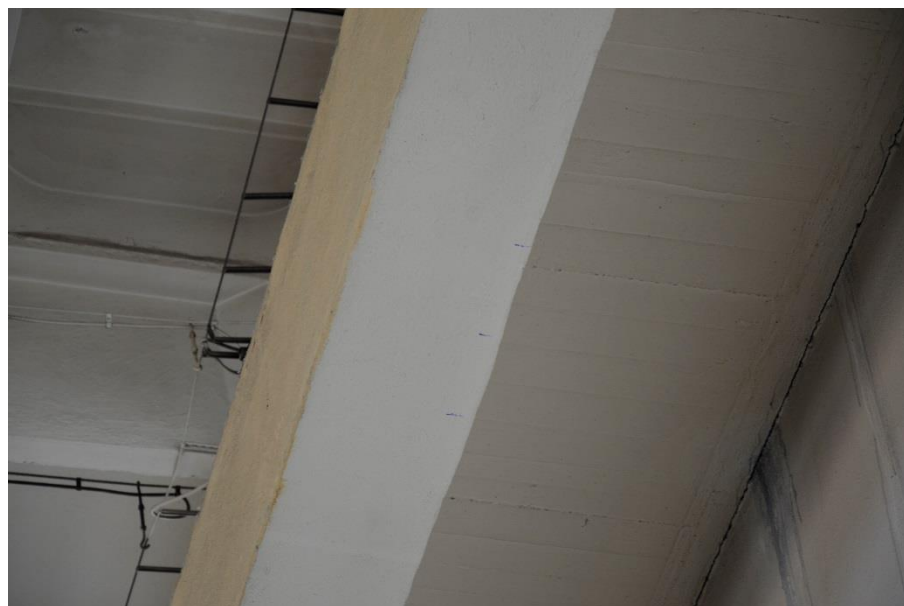
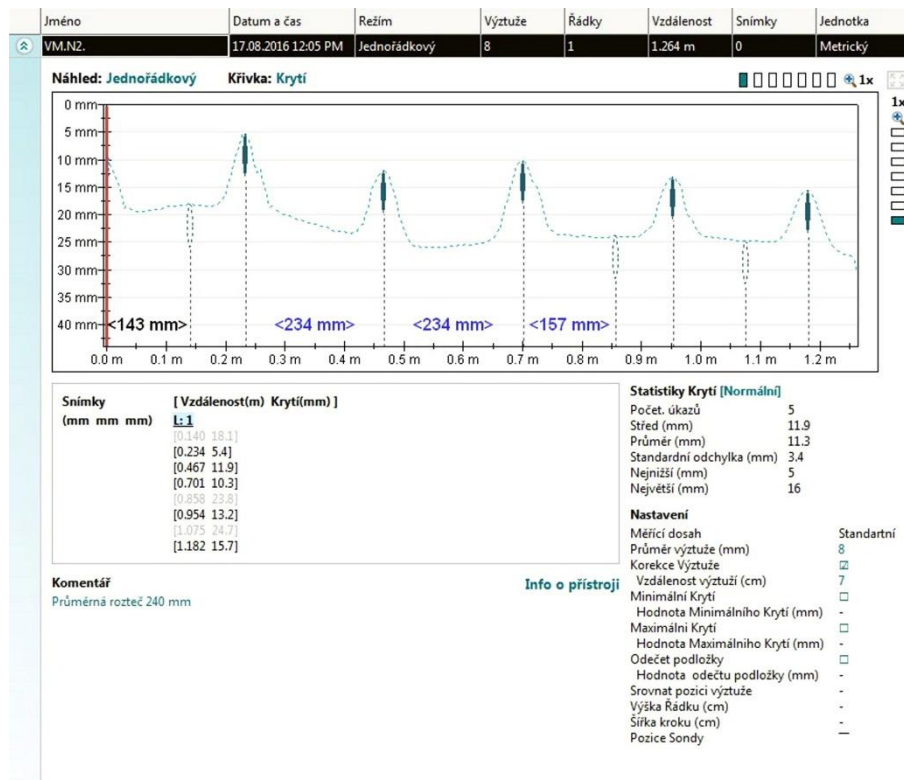
V místě provedení sondy N1-1 bylo identifikováno 5 výztuží o průměru 20 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 152 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S1. V místě provedení sondy N1-1 byly identifikovány třmínky s průměrnou roztečí 260 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 153 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S2. V místě provedení sondy N1-3 bylo identifikováno 5 výztuží o průměru 20 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]



Obr. 154 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S2.

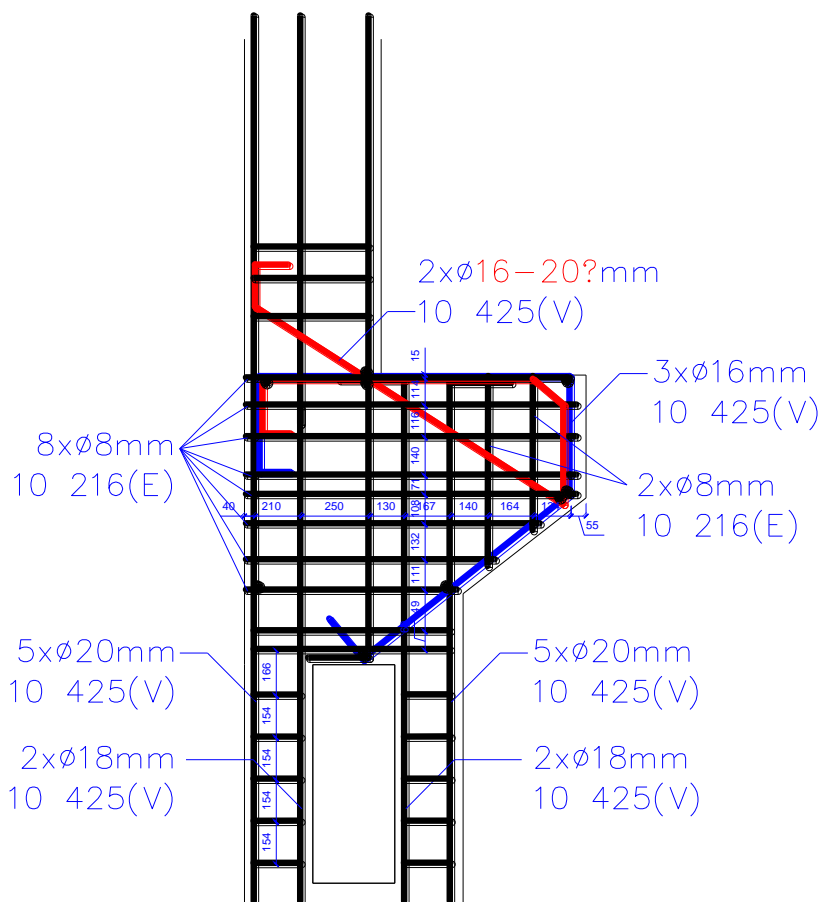
V místě provedení sondy N1-4 byly identifikovány třmínky s průměrnou roztečí 240 mm [72]

8.3.4 Cílené sekané sondy

Sekané sondy sloužily v tomto případě přesně k tomu účelu, ke kterému jsou primárně předurčeny, tj. jejich rozsah byl striktně omezen na minimum, s cílem ověřit či doplnit výsledky nedestruktivních zkoušek, případně posloužit pro kalibraci NDT přístrojů.



Obr. 155 Sekaná sonda k výztuži SV4, provedená na boční straně konzoly sloupu S1. V místě provedení sondy byla identifikována výztuž 10 425 (V) o průměru 18 mm. Krytí výztuže 20 – 25 mm. Třmínek v místě sondy o průměru 8 mm, hladká výztuž 10 216 (E). Rozsah sekané sondy byl omezen na minimum [72]



Obr. 158 Vyztužení sloupu jeřábové dráhy – detail konzoly (výkres byl vytvořen aproximací sond provedených na sloupech S1 a S2) [72]

8.3.6 Vyhodnocení

Tento příklad je opět mimořádně dobrou ukázkou vhodné kombinace využití metody georadaru, magnetického indikátoru a cílených sekaných sond. Jejich správným využitím bylo stanoveno kompletní vyztužení poměrně složité konstrukce, s maximálním využitím nedestruktivního principu zkoušení.

Využití radiografie by nepřineslo žádný podstatný přínos z hlediska finálních výsledků, naopak samotný stavebně technický průzkum by se výrazně zkomplikoval nutností vyloučení přítomnosti osob v širokém okolí testované konstrukce, nehledě na zvýšení časové náročnosti, a s tím souvisejících ekonomických hledisek.

8.4 Případová studie 4 – vazníky montovaného skeletu – potvrzení správného vyztužení

Tato případová studie má za cíl přímé porovnání dvou velmi obdobných případů. Předmětnou konstrukcí byly železobetonové prefabrikované vazníky v halových objektech, u nichž se v krátké době po uvedení konstrukce do provozu vyskytly poruchy v podobě trhlin. Úkolem diagnostiky bylo stanovení příčin těchto poruch. Z tohoto důvodu bylo prioritně ověřeno vyztužení prvků a provedeno srovnání s prováděcí dokumentací. Zásadní odlišností obou případů je fakt, že první z nich byl realizován pomocí radiografie Co60, druhý v době kdy gamagrafie již nebyla k dispozici technologií georadaru. Oba příklady umožňují přímé porovnání obou metod ve velmi podobných situacích [73].

8.4.1 Příklad 1: Prefabrikované vazníky v obchodním centru

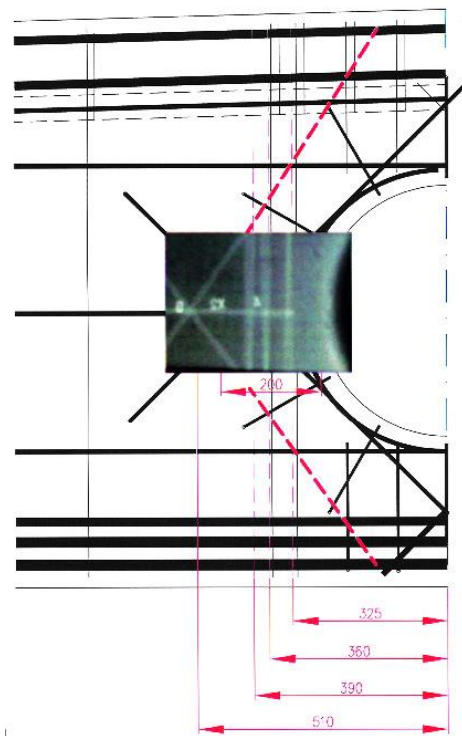
Typickým příkladem stanovení příčiny vzniku poruch je případ vazníků nesoucích střešní konstrukci supermarketu. Šlo o vazníky délky 12 m, opatřené trojicí otvorů určených pro případný průchod vzduchotechniky a kabeláží. Právě u těchto otvorů byly zjištěny trhliny a byla vyslovena domněnka o chybném vyztužení prvků.

V rámci diagnostiky vyztužení byla realizována gamagrafie s užitím izotopu Co60, kdy na jeden boční líc vazníku byl umístěn radiografický film a na protilehlou stranu gamazáříč. Její provádění bylo komplikováno provozem objektu. Pro realizaci radiografie bylo nezbytné uzavření objektu a vyloučením pohybu osob v okolí (vytyčení přechodného kontrolovaného pásma). Proto musela být radiografie realizována v nočních hodinách. Současně musela být zřízena v prostorách objektu mobilní fotokomora pro okamžité vyvolávání a vyhodnocení radiogramů (pro možnost plánování dalšího postupu diagnostiky).



Obr. 159 Konstrukce nákupního centra s předmětnými vazníky

Vyhodnocení radiogramů jednoznačně prokázalo pochybení ve vyztužení vazníků, část výztuže v okolí otvorů nebyla do prvku umístěna. V tomto případě radiografie jednoznačně prokázala příčinu poruch vazníků.

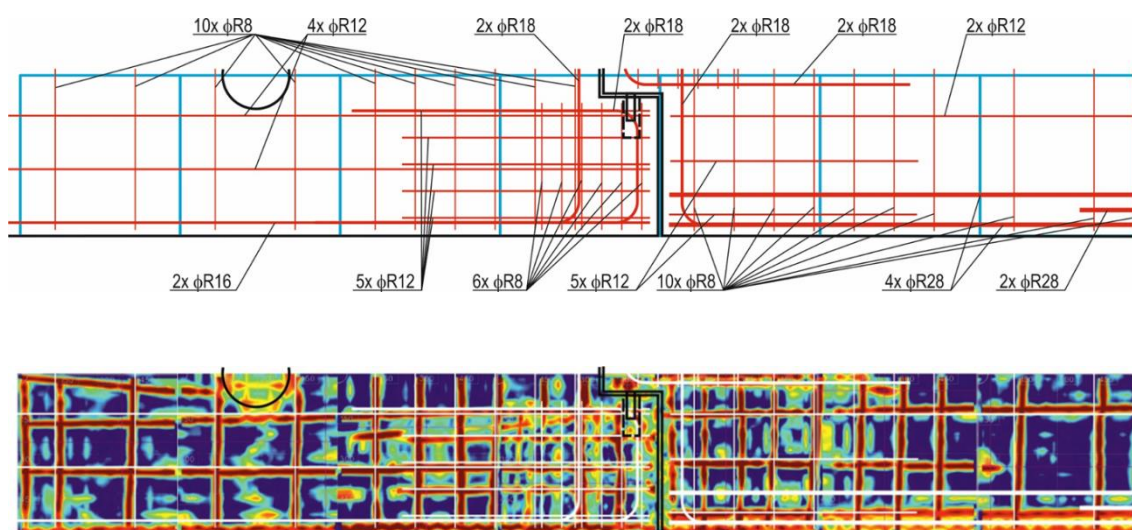


Obr. 160 Jeden z radiogramů v místě chybného vyztužení (vlevo) a jeho zasazení do výkresu výztuže (vpravo).

Je dobře patrné, že v prvku chybí kruhové vyztužení kolem otvoru s radiálními paprsky. Naopak navíc je přidán jeden třmínek

8.4.2 Příklad 2: Prefabrikované vazníky v průmyslové hale

Velmi obdobný je případ, kdy byly konstatovány trhliny na systému vazníků v průmyslové hale. I zde bylo prvním krokem ověření správnosti vyztužení prvku. V tomto případě byla využita technologie georadaru. Pomocí sondy Hilti PS1000 X-scan byla na vybraných vaznicích provedena z jednoho bočního líce série plošných radarových skenů 600×600 mm (tloušťka prvku byla nižší, než hloubkový dosah radaru) a následně byly skeny spojeny a v počítači porovnány s elektronickou verzí prováděcí dokumentace. Celý proces byl sofistikovaný a relativně rychlý. Po potvrzení, že výztuž tvarově a polohově odpovídá, bylo provedeno ve vybraných místech měření elektromagnetickým indikátorem Proceq Profometer PM-630 pro určení průměrů výztuží. Poté, co i zde se prokázala shoda, byly už dále hledány příčiny poruch nikoli ve vyztužení, ale ve vlastnostech betonu.



Obr. 161 Příklad porovnání předepsaného vyztužení prvku se složenými radarovými skeny, je zjevné že prvky jsou vyztuženy poměrně přesně dle výkresů

8.4.3 Vyhodnocení

Porovnáním obou případů bylo jednoznačně prokázáno, že z hlediska možných výstupů a úspěšnosti jsou v tomto případě radiografie a georadar v kombinaci s elektromagnetickým indikátorem zcela rovnocenné. Co však rovnocenné není, je časová, ekonomická a organizační náročnost, kde využití georadaru má oproti radiografii jednoznačné výhody.

8.5 Případová studie 5 – stanovení provedení vyztužení železobetonové základové desky rodinného domu

Následující příklad je typickou ukázkou prokázání předpokládané technologické nekázně při přípravě betonáže. Předmětnou konstrukcí je základová deska rodinného domu v okrese Brno – venkov. Projekt předpokládal následující postup stavby:

- Vytvoření železobetonových základových pasů.
- Mezi základovými pasy vytvoření štěrkového lože.
- Přes základové pasy položení výztuže v podobě svařovaných sítí 100×100 mm, sítě měly ležet na vrcholech základových pasů, v místě štěrkového lože měly být podloženy distančními kozlíky tak, aby byly v rovině s vrcholem základových pasů a ve výsledné železobetonové desce byly umístěny v 1/3 výšky železobetonové desky.

Po přípravě vyztužení a vybetonování základové desky, bez přítomnosti stavebního dozoru, vyslovil investor pochybnost o tom, zda byly sítě adekvátně podepřeny, dle jeho názoru zůstaly prohnuté až k povrchu štěrkového lože.

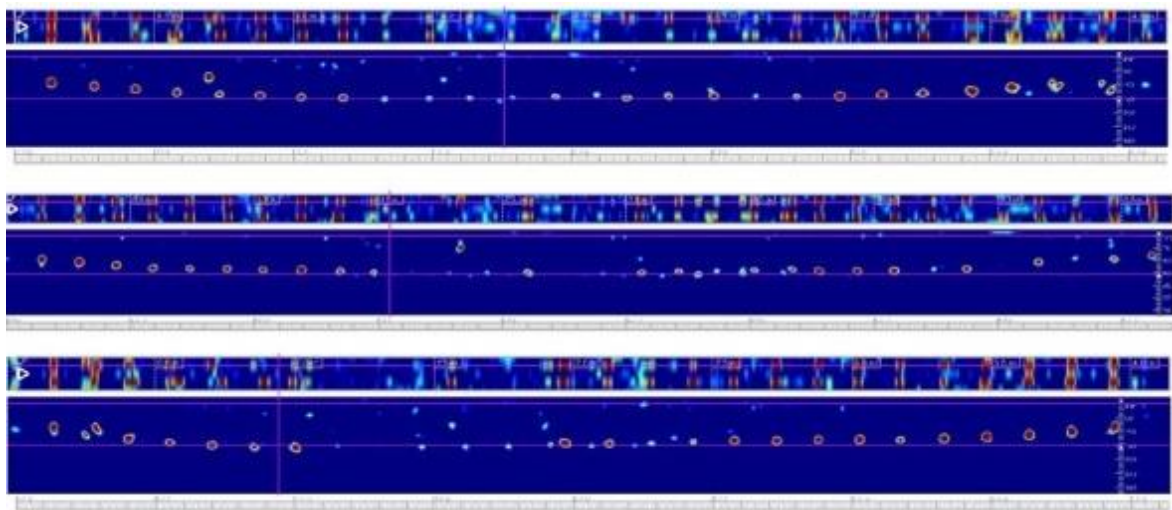
Cílem následné diagnostiky bylo stanovení skutečné polohy ocelové výztuže v základové desce. Tloušťka desky byla 150 mm, výztuž má dle projektu ležet v rovině, v předepsané úrovni cca 50 mm nad spodním lícem železobetonové základové desky, položená na základové pasy. Tento fakt prováděcí firma striktně odmítla. Vzhledem k tomu, že v projektu bylo s výztuží počítáno v rámci dimenzování konstrukce na průhyb, v případě, že by se prokázalo prověšení desky, trval statik na vytvoření další desky tloušťky 100 mm spřažené se stávající.

Pro stanovení polohy výztuže byl použit radar Hilti PS1000 X-SCAN, jehož dosah a přesnost měření je v tomto případě zcela dostačující. Zvažované použití elektromagnetického indikátoru bylo vyloučeno, tato technologie by mohla selhat vzhledem k velké hloubce pod povrchem a častému předpokládanému překrytí sítí, kde by měření bez doplňkových sond mohlo být zavádějící. U technologie radaru jedinou překážkou byl fakt, že se jednalo o nevyzrálý beton, díky tomuto faktu bylo třeba provést dokalibrování aparatury pro přesné měření hloubky.



Obr. 162 Situace před betonáží základové desky, ve fázi pokládání svařovaných sítí. Jak je patrné, sítě dosud nejsou mezi uložení na základových pasech podloženy

Byla provedena liniová měření, vždy mezi základovými pasy. Měření zcela jednoznačně prokázala prověšení svařovaných sítí Kari až na štěrkové lože, v některých místech na štěrku ležela většina sítě s výjimkou krajních partií, které se zvedaly nad základový pas. Na radarogramech byly zcela jasné i partie, kde byla dokonce svařovaná síť sešlapaná až do samotného štěrkového lože. Radar Hilti PS1000 X-SCAN se v tomto případě ukázal jako ideální zařízení, mimo jiné i díky okamžité vizualizaci výsledku měření.



Obr. 163 Trojice liniových radarových skenů dokládá prověšení sítí až ke štěrkovému loži, na všech skenech jsou dobře, díky mizejícímu zobrazení výztuží v řezech skenů, patrná místa, kde je výztuž v kontaktu se štěrkem



Obr. 164 Pouze v místě přeložení dvou pásů sítě přes sebe došlo sice k prohnutí, ale nikoli až na úroveň štěrkového lože, překrytí sítí je na řezové části skenu dobře patrné (zdvojení detekovaných prutů)

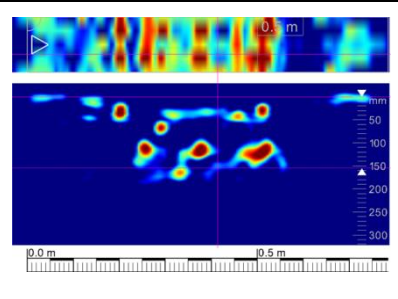
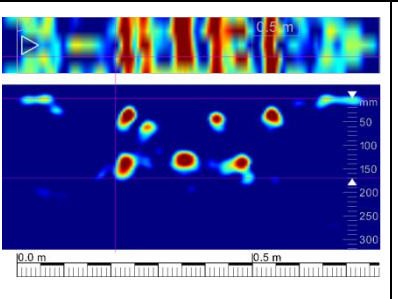
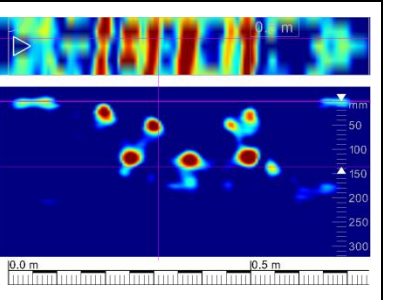
8.5.1 Vyhodnocení

Tento příklad je dobrou ukázkou ideálního využití technologie radaru, kde není třeba využít alternativních metod. Navíc např. využití destruktivní metody sekaných či vrtaných sond je v tomto případě vysloveně nevhodné. Na základě výsledků měření přiznala prováděcí firma chybu a bylo přikročeno k vytvoření sprážené železobetonové desky na náklady prováděcí firmy.

8.6 Případová studie 6 – stanovení polohy předpjaté výztuže v mostních nosnících

S laskavostí firmy Mostní a silniční s.r.o. bylo možné experimentálně zkoumat v rámci diagnostiky řady mostů, kde samotná nosná konstrukce je tvořena předpjatými nosníky. V rámci diagnostiky mostů bývá obvyklé jednak ověření polohy a počtu předpjaté výztuže, a v návaznosti provést ve vybraných místech sondy k výztuži samotné za účelem stanovení zainjektování kabelových kanálů a vyloučení či potvrzení koroze výztuže. Ze zkušenosti je známo, že při řadě průzkumů v minulosti nebyla poloha kabelů určována, a byly prováděny sondy, vycházející z předpokladu jejich umístění přesně dle výkresu prvku. Tato situace byla způsobena absencí zařízení, které by u řady předpjatých prvků bylo schopno stanovit polohu kabelů předpínací výztuže pod pruty konstrukční měkké výztuže u povrchu. Díky využívání radaru je v současnosti tento problém vyřešen. V následujících pěti tabulkách jsou předvedeny vybrané radarové skeny zachycující výztuž v předpjatých nosnících typu KA a I, a je možné posoudit v některých případech značné nepravidelnosti v rozmístění výztuží a současně v řadě případů i nepravidelnosti v umístění konstrukční výztuže. Sondy prováděné „naslepo“ by v takových případech nebyly schopny dát relevantní výsledek. Nezbytnost využití georadaru je zde jednoznačně potvrzena.

Tab. 7 Most D2-058..1 u Lanžhota, Nosníky typu I. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků 5. – 12. pole [74]

		
D2-058..1, 7. Pole, nosník č. 1	D2-058..1, 7. Pole, nosník č. 4	D2-058..1, 7. Pole, nosník č. 6
Krytí kab. kanálků 100 mm	Krytí kab. kanálků 110 – 120 mm	Krytí kab. kanálků 90 – 105 mm

D2-058..1, 7. Pole, nosník č. 8	D2-058..1, 7. Pole, nosník č. 8	D2-058..1, 6. Pole, nosník č. 6
Krytí kab. kanálků 105 – 130 mm	Krytí kab. kanálků 95 – 115 mm	Krytí kab. kanálků 80 – 105 mm
D2-058..1, 6. Pole, nosník č. 5	D2-058..1, 6. Pole, nosník č. 4	D2-058..1, 5. Pole, nosník č. 5
Krytí kab. kanálků 110 – 130 mm	Krytí kab. kanálků 105 – 150 mm	Krytí kab. kanálků 110 mm
D2-058..1, 5. Pole, nosník č. 7	D2-058..1, 5. Pole, nosník č. 9	D2-058..1, 5. Pole, nosník č. 3
Krytí kab. kanálků 85 – 95 mm	Krytí kab. kanálků 100 – 120 mm	Krytí kab. kanálků 120 – 130 mm
D2-058..1, 12. Pole, nosník č. 7	D2-058..1, 12. Pole, nosník č.1	D2-058..1, 11. Pole, nosník č. 9
Krytí kab. kanálků 90 – 120 mm	Krytí kab. kanálků 85 – 105 mm	Krytí kab. kanálků 75 – 100 mm

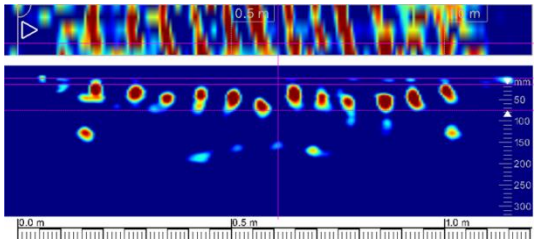
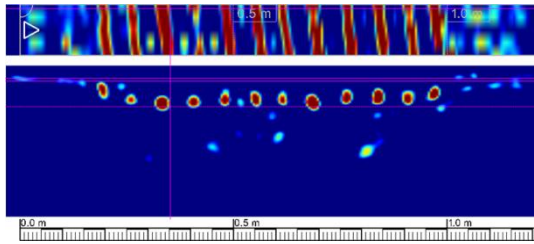
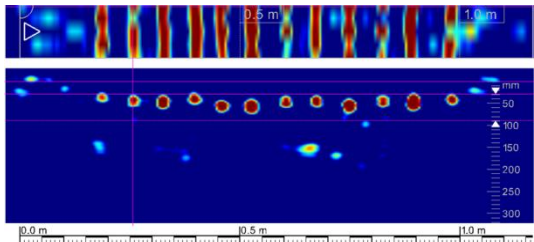
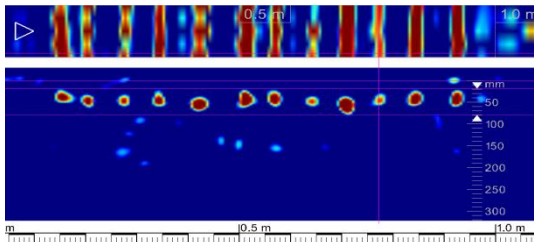
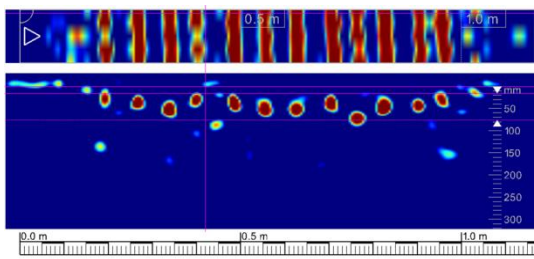
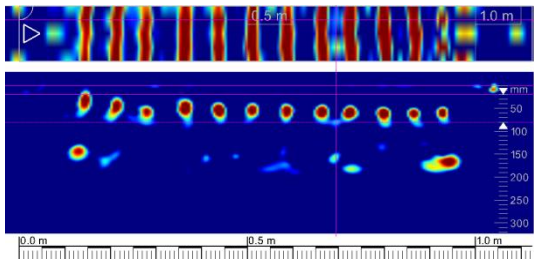
Pozn.: Povšimněte si excentricit v polohách trojice kabelových kanálů a systémové nepravidelnosti v umístění čtveřice konstrukčních podélných výztuží i u povrchu, které v řadě případů znemožňují přímou sondu k předpjaté výztuži. Pochopitelně zbývající kabely v ose nosníku ve vyšších vrstvách nedokáže lokalizovat ani technologie georadarů.

Tab. 8 Most ev. č. D1-237..2 přes řeku Svitavu, nosníky typu I. liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [75]

<p>D1-237..2, nosník č. 2. Krytí kab. kanálků 80 - 110 mm.</p>	<p>D1-237..2, nosník č. 5. Krytí kab. kanálků 70 - 105 mm.</p>
<p>D1-237..2, nosník č. 7. Krytí kab. kanálků 80 - 100 mm.</p>	<p>D1-237..2, nosník č. 8. Krytí kab. kanálků 80 - 100 mm.</p>

Pozn.: Na těchto nosnících lze konstatovat totožné rozložení kabelových kanálů dle výkresu, i přesné rozložení podélných konstrukčních výztuží. Jedinou výjimku tvoří nosník č. 5, kde je střední kabel výrazně excentrický. Pochopitelně zbývající kabely v ose nosníku ve vyšších vrstvách nedokáže lokalizovat ani technologie georadaru.

Tab. 9 Most ev. č. D1-226.1 u Ostopovic, nosníky typu KA. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [76]

	
<p>D1-226.2, 1. Pole, nosník č. 2 Krytí kab. kanálků 30 - 60 mm</p>	<p>D1-226.2, 1. Pole, nosník č. 1 Krytí kab. kanálků 30 - 50 mm</p>
	
<p>D1-226.2, 1. Pole, nosník č. 6 Krytí kab. kanálků 40 - 50 mm</p>	<p>D1-226.2, 1. Pole, nosník č. 11 Krytí kab. kanálků 40 - 50 mm</p>
	
<p>D1-226.2, 1. Pole, nosník č. 9 Krytí kab. kanálků 30 - 50 mm</p>	<p>D1-226.1, 1. Pole, nosník č. 10 Krytí kab. kanálků 40 - 50 mm</p>

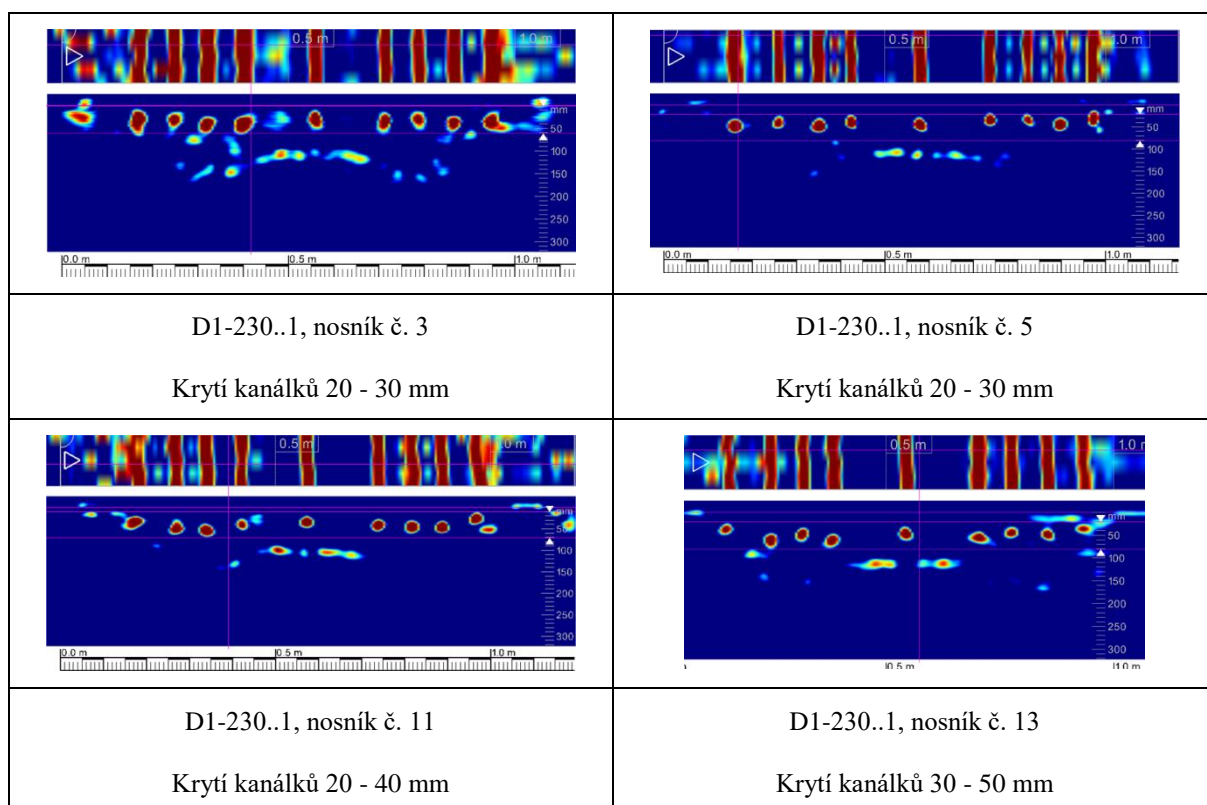
Pozn.: Na těchto nosnících radar spolehlivě identifikoval polohu 12 kabelových kanálů ve spodní vrstvě a ve většině případů i zbývající dva kanály na okrajích ve druhé vrstvě. Za pozornost stojí nepravidelnost krytí jednotlivých kanálů. Poloha předpjatých výztuží je zde ale taková, že by bylo možné je spolehlivě detekovat elektromagnetickým indikátorem.

Tab. 10 Most ev. č. D1-227.2 u Ostopovic, nosníky typu KA. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [77]

<p>D1-227..2 3. Pole mostu. Nosník č.7, 7,0 m za 3. podpěrrou. Krytí kanálků 45 – 80 mm Pro názornost ve spodní verzi skenu kanálky vyznačeny černě.</p>	<p>D1-227..2 3. Pole mostu. Nosník č.8, 8,6 m za 3. podpěrrou. Krytí kanálků 35 – 70 mm. Pro názornost ve spodní verzi skenu kanálky vyznačeny černě.</p>
<p>D1-227..2 3. Pole mostu. Nosník č.4, 5,8 m za 3. podpěrrou. Krytí 40 – 50 mm. Pro názornost ve spodní verzi skenu kanálky vyznačeny černě.</p>	<p>D1-227..2 3. Pole mostu. Nosník č.5, 5,8 m za 3. podpěrrou. Krytí 40 – 75 mm Pro názornost ve spodní verzi skenu kanálky vyznačeny černě.</p>

Pozn.: Na těchto nosnících radar spolehlivě identifikoval polohu 10 či 8 kabelových kanálů ve spodní vrstvě s velmi nepravidelným krytím, navíc nepravidelně rozmístěná je i podélná konstrukční výztuž.

Tab. 11 Most ev. č. D1-230..1 přes místní komunikaci u Starého Lískovce, nosníky typu KA. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [78]



Pozn.: Na těchto nosnících radar spolehlivě identifikoval polohu 9 kabelových kanálů ve spodní vrstvě. Navzdory nepravidlostem v krytí jednotlivých kanálů by bylo možné je spolehlivě detekovat elektromagnetickým indikátorem.

8.6.1 Vyhodnocení

Díky možnosti využití radaru se výrazně zjednodušila a zpřesnila diagnostika předpjatých mostních nosníků typových řad KA a I. Lze dokonce konstatovat, že díky možnostem technologie georadaru a spoluprací s ŘSD, je dnes standardně užití tohoto zařízení při diagnostice tohoto typu vyžadováno.

Jediným, i když zásadním přínosem radiografie by mohlo být nedestruktivní stanovení zainjektování kabelových kanálků, v místech předtím měřených georadarem.

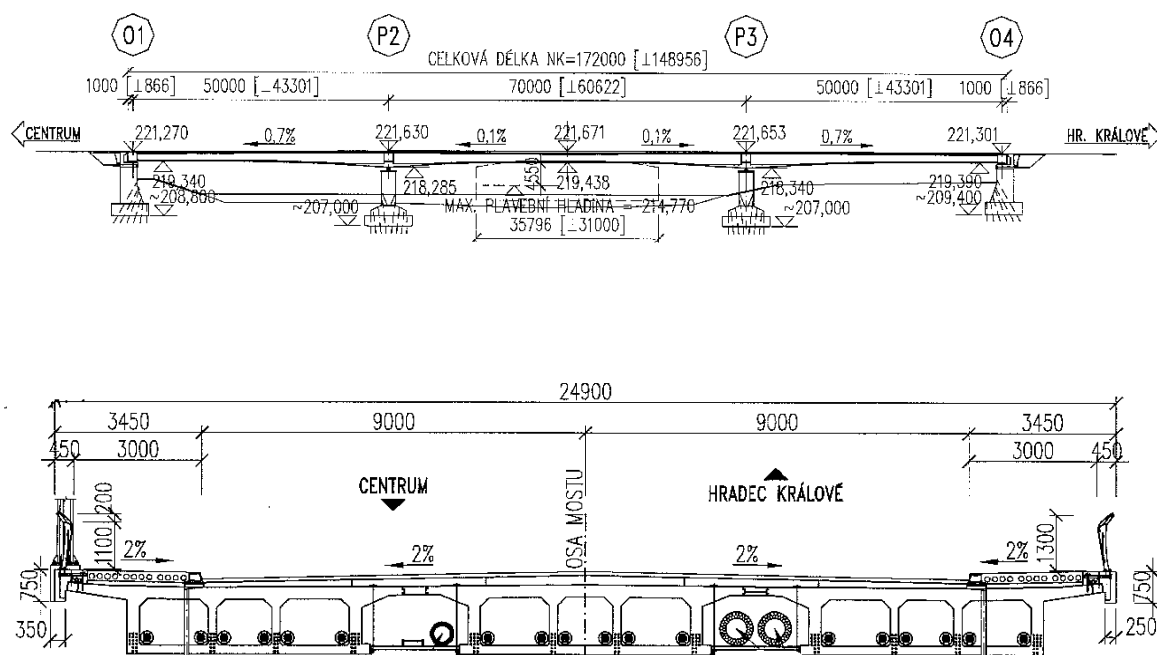
8.7 Případová studie 7 – stanovení polohy předpjeté výztuže v mostních nosnících

Příkladem maximálně komplexního stanovení polohy předpínací výztuže v rámci přístupné části konstrukce je příslušná část diagnostiky mostu Pavla Wonky přes Labe v Pardubicích (most ev. č. 324-018).

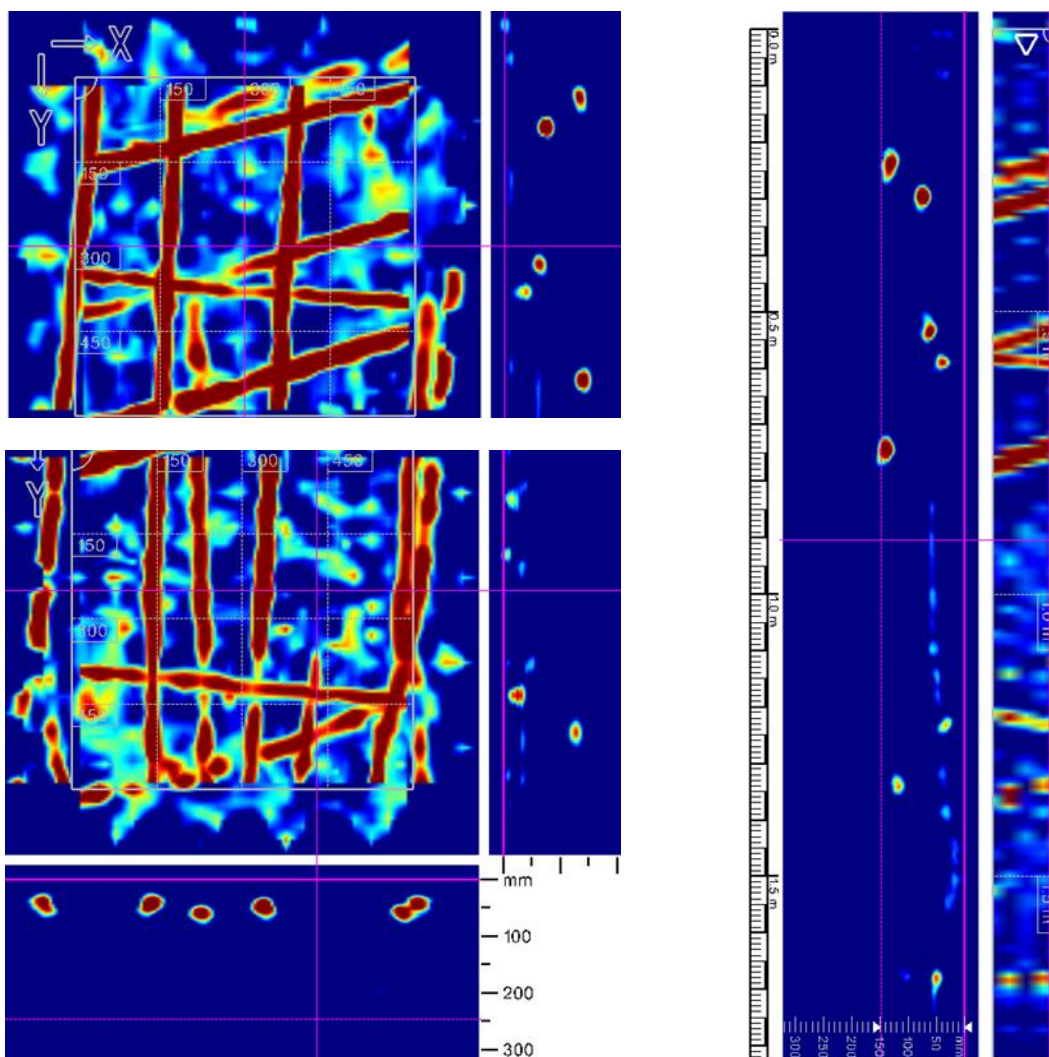
Most je původem z konce padesátých let, nosnou konstrukci tvoří spojitý nosník o rozpětí polí 50, 70 a 50 m. V příčném řezu se konstrukce skládá ze tří tříkomorových nosníků, výška průřezu je proměnlivá od 1,65 do 2,90 m.

V rámci průzkumu byly zjišťovány polohy předpínacích výztuží ve stěnách komor, následně i ve stropěch komor. Pro diagnostiku polohy předpjeté výztuže byl využit georadar Hilti PS1000 X-scan.

Pro zjednodušení se zaměříme na sondy na vnější straně krajního pravého nosníku (na povodní straně). Pro stanovení polohy předpínacích kabelů byly provedeny plošné skeny vhodného formátu, doplněné ještě vertikálními liniovými skeny na celou výšku nosníku. Díky tomu byla v každém zkoumaném místě získána přesná představa o poloze výztuží bez rizika opomenutí.

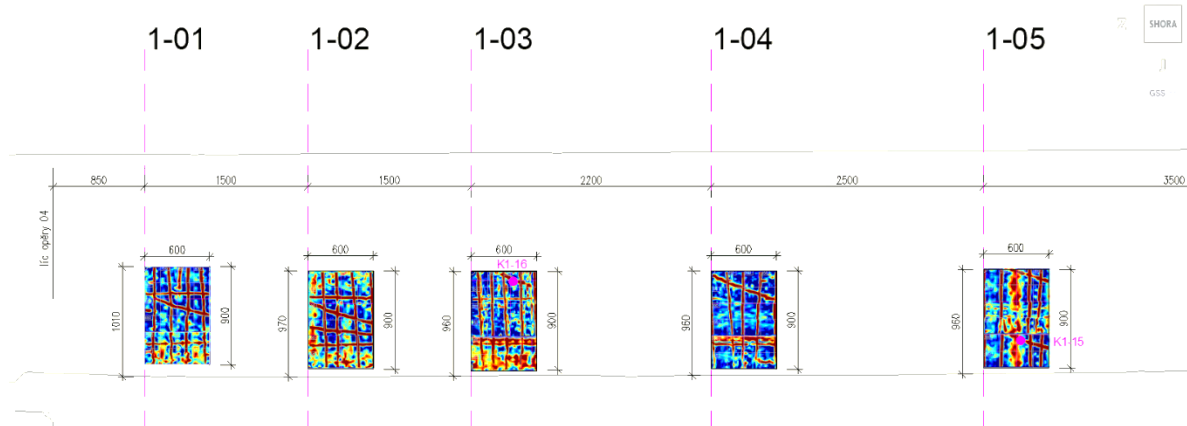


Obr. 165 Most ev. č. 324-018 v Pardubicích, podélný a příčný řez [80]

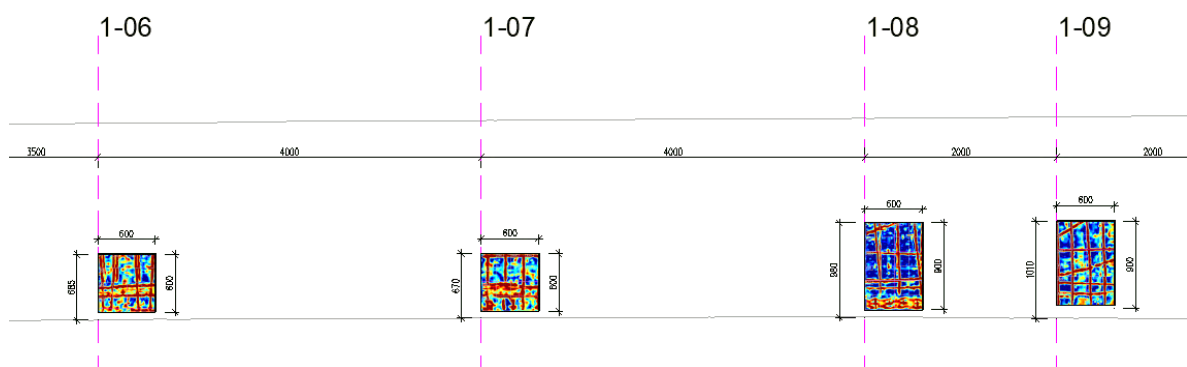


Obr. 166 Příklad radarových skenů v jednom zkoumaném místě na boku komorového nosníku. Vlevo dvojice plošných radarových skenů formátu 600×600 mm složená do jednoho obrázku pokryla plochu bočního líce nosníku 600×1200 mm. Skeny zachytily celkem 5 zvedajících se chrániček s předpjatou výztuží (dvojice blíže povrchu má krytí cca 60 mm, trojice hlouběji má krytí cca 130 mm). Vpravo kontrolní liniový sken, vedený vertikálně na bočním líci nosníku shora dolů, potvrdil výsledky plošného skenování [80]

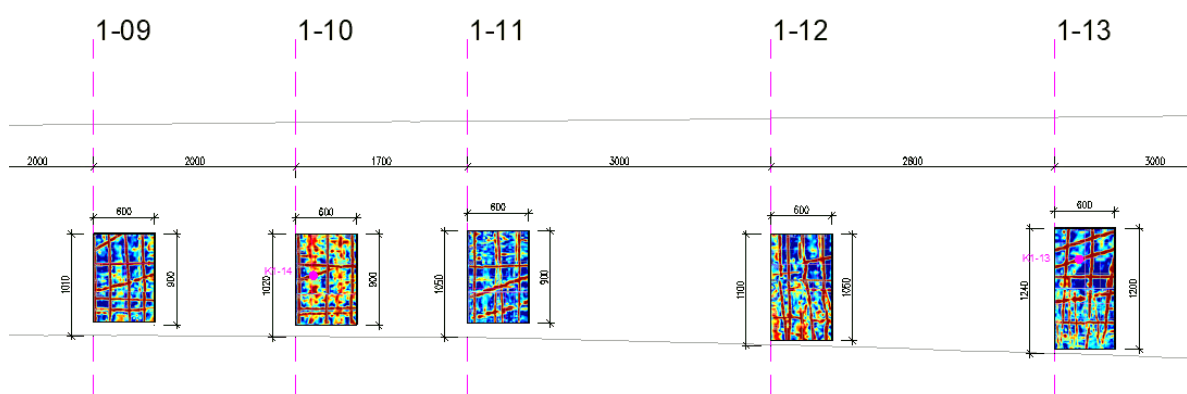
Provedením takovýchto sond ve vhodně zvolených místech bylo možné vytvořit podklady prakticky pro vykreslení kompletní výztuže na bocích komor. Pro příklad jsou uvedeny pouze výsledky sond na vnější straně krajního pravého nosníku na povodní straně, šlo o celkem 36 skenovaných míst, které byly rozmístěny od kraje mostu po cca polovinu středního pole.



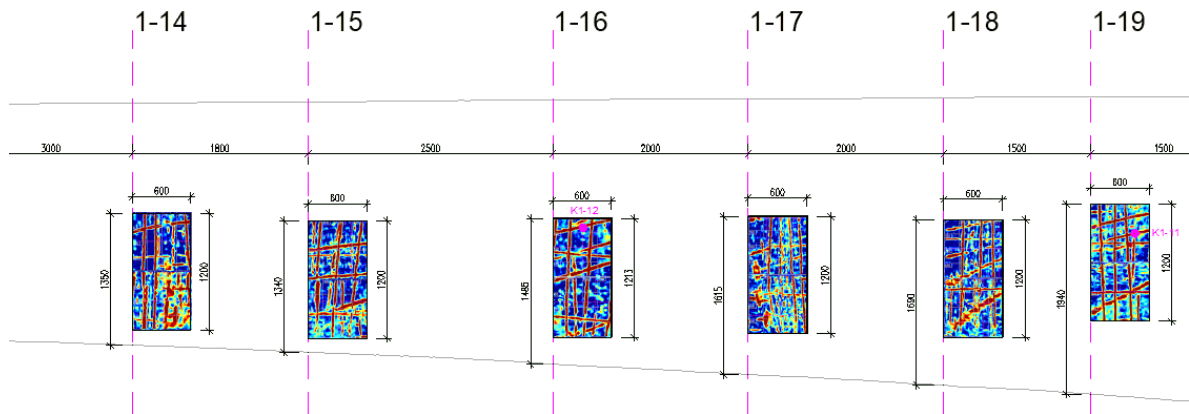
Obr. 167 Zakreslení skenů 1-01 až 1-05 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším lici na povodní straně [80]



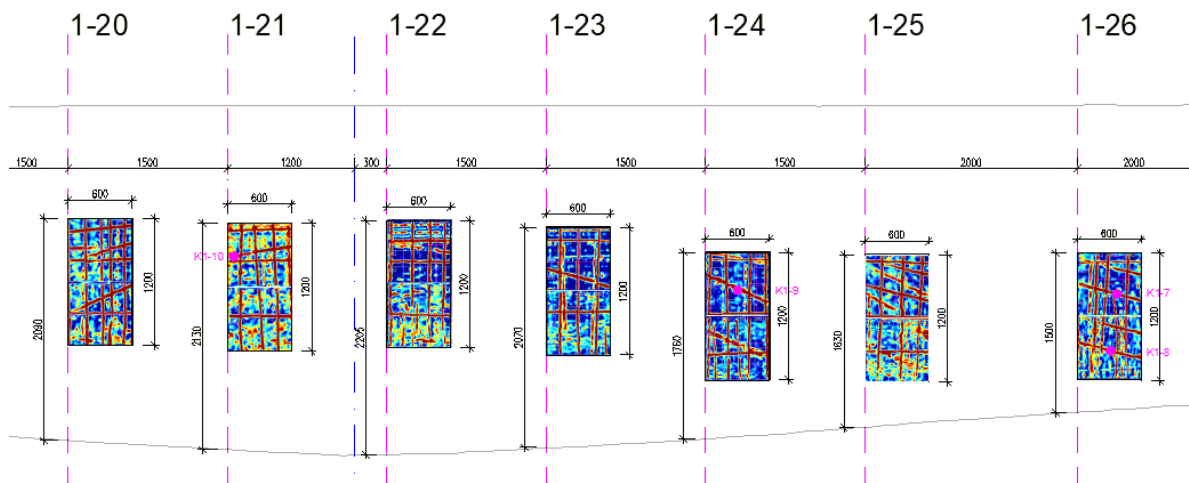
Obr. 168 Zakreslení skenů 1-06 až 1-09 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším lici na povodní straně [80]



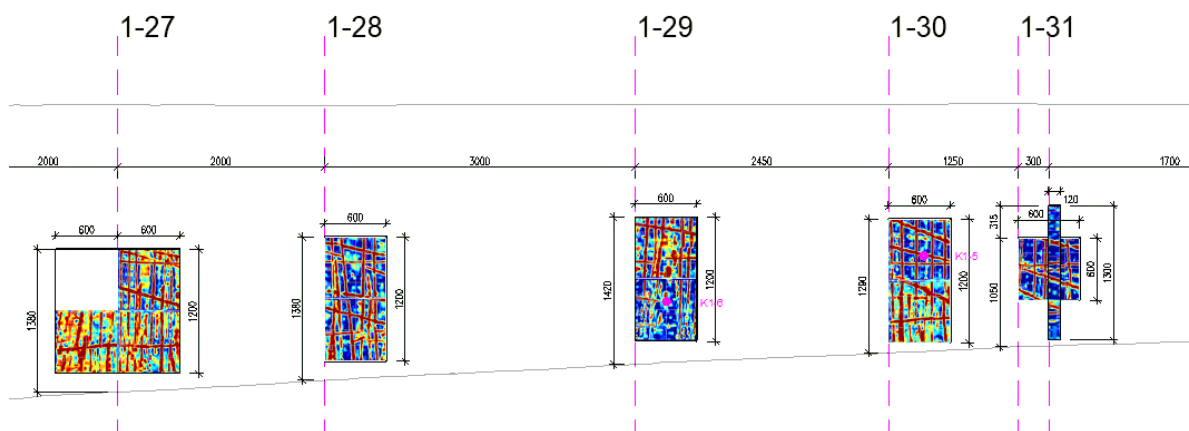
Obr. 169 Zakreslení skenů 1-09 až 1-13 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším lici na povodní straně [80]



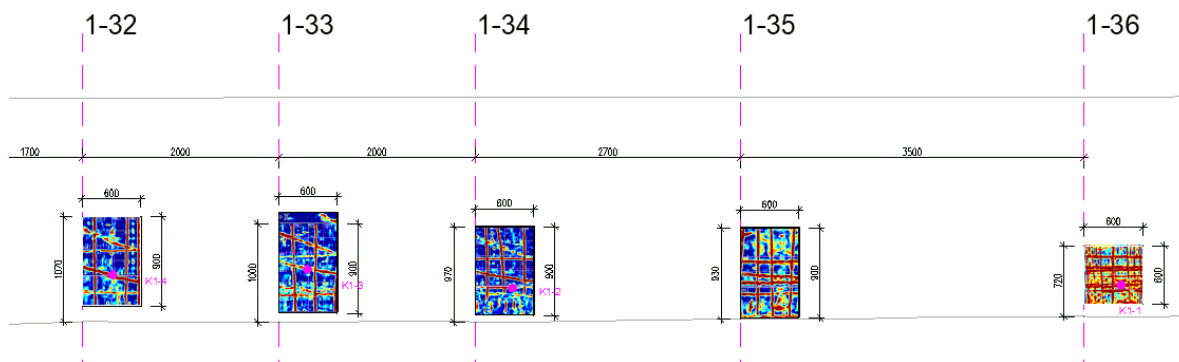
Obr. 170 Zakreslení skenů 1-14 až 1-19 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším lici na povodní straně [80]



Obr. 171 Zakreslení skenů 1-20 až 1-26 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším lici na povodní straně [80]



Obr. 172 Zakreslení skenů 1-01 až 1-05 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším lici na povodní straně [80]



Obr. 173 Zakreslení skenů 1-32 až 1-36 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80]

Na výše uvedených skenech vynesných do výkresu mostního nosníku je dost dobře patrný prakticky kompletní průběh předpínací výztuže.

8.7.1 Vyhodnocení

Díky využití georadaru se proces vyhledávání polohy kabelových kanálků výrazně usnadnil. Použití elektromagnetických indikátorů by v tomto směru bylo komplikované, díky větší hloubce některých kabelů pod povrchem, a současně vykrytí některých pozic měkkou výztuží. Radiografie by mohla zastat řešení tohoto úkolu pouze lokálně, na malých plochách a s bezpečnostními komplikacemi, které k této metodě patří. Jasnou výhodou georadaru je i okamžitá vizualizace výsledků a možnost další bezodkladné práce s nimi, například při plánování sond pro stanovení zainjektování a koroze.

9 PŘÍPADOVÉ STUDIE SOUČASNÉHO VYUŽITÍ RADIOGRAFIE S POMOCÍ RENTGENU

Dále prezentované případové studie dokládají účelnou možnost využití technického rentgenu při provádění diagnostiky vyztužení železobetonu.

9.1 Případová studie 8 – Radiografický průzkum plastiky Pieta

Předmětem radiografického průzkumu byla plastika hudebníka nazvaná Pieta, pocházející z rozptylové loučky hřbitova v Přerově. Dle předpokladu byla plastika vyrobena z umělého kamene, či betonového kompozitu, použité kamenivo bylo neznámé. Plastika byla zjevně vyztužena ocelovými pruty čtvercového a kruhového průřezu, což bylo patrné na částech, které byly v průběhu expozice plastiky povětrnostními vlivy poškozeny. V těchto místech došlo ke vzniku trhlin, či odpadení části kompozitu a obnažení výztuže. Kupodivu ani na těchto místech nebyla patrná nijak dramatická koroze ocelové výztuže. Cílem průzkumu bylo stanovení vyztužení plastiky (poloha a tvar prutů výztuže) a současně lokalizace případných vnitřních dutin objektu [81] [82].



Obr. 174 Plastika hudebníka vytvořená z betonového kompozitu vyztuženého ocelovými výztužemi

Použitý kompozit byl podle všeho směsí cementového pojiva a drobného kameniva odhadované frakce 0 – 4 mm. Použité kamenivo bylo jednodruhové s velmi vysokou objemovou hmotností a vysokým obsahem magnetických částic (přiložený permanentní magnet na povrchu kompozitu vykazoval vysokou přídržnost).

Konzultací s geologem doc. RNDr. Pavlem Pospíšilem, Ph.D. z Katedry geotechniky a podzemního stavitelství VŠB TU – Ostrava, bylo použité kamenivo identifikováno s vysokou pravděpodobností jako čedič, původem z lokality Bílčice (dosud činný lom). Tomu odpovídá i vysoká objemová hmotnost kompozitu, kdy navzdory pórovitosti pojiva má cementový kompozit objemovou hmotnost ve stavu přirozeně vlhkém cca 2700 kg/m³. Tento fakt (vysoká objemová hmotnost kompozitu) ovlivnil parametry radiografie, konkrétně zvýšil časy expozice, i nároky na volený proud a napětí na rentgence, a ve výsledku omezil možnosti prozařování v největších tloušťkách korpusu sochy, kde tloušťka byla na hranici možností prozařování rentgenem a rozeznatelnost výztuže byla omezená.

9.1.1 Metodika stanovení polohy výztuže

Jako zdroj rentgenového záření byl použit technický 300 kV rentgen YXLON, pro snímání prošlého a zeslabeného záření byly použity paměťové folie a skenovací systém Dürr.

Zkoumaný objekt byl prozařován v různých směrech přes klíčové části objektu. Během prozařování se ukázalo, že vzhledem k extrémnímu užitému kamenivu s vysokou stínící schopností byly tloušťky některých partií plastiky (záda, sokl) na samé hranici možností rentgenu, nebo i za ní (vysoká tloušťka a současně malý rozdíl plošné hmotnosti v místě s výztuží a bez výztuže). Proto bylo možno prozařovat postupně jen malé úseky plastiky, vždy s výrazně odlišnými expozičními parametry vhodnými pro zobrazení výztuže v dané části. Zároveň je třeba konstatovat, že tvar plastiky byl natolik komplikovaný, že prozáření některých partií nebylo možné – nebylo možné vytvořit osu Zdroj záření – objekt – paměťová folie, bez vykrytí jinou částí objektu. Expoziční parametry rentgenu (napětí na rentgence V a proud na rentgence A) byly spolu s dobou expozice operativně měněny v závislosti na vhodné geometrii prozařování (tloušťka a ohnisková vzdálenost).

9.1.2 Výsledky radiografické kontroly

Na základě provedených radiografických zkoušek bylo zjištěno, že ve všech částech je kompozit homogenní a neobsahuje dutiny.

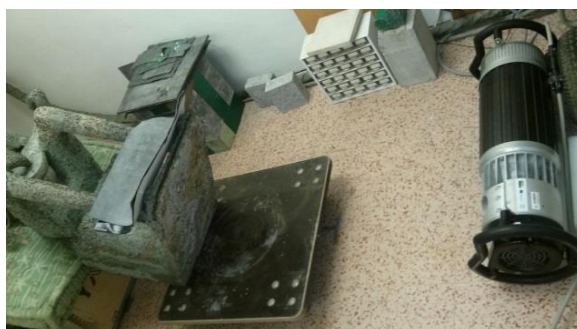
Poloha výztuže byla zjištěna v jednotlivých prozařovaných částech s omezeními uvedenými v předchozí části. Celý objekt je podle všeho vyztužen dvěma typy ocelových prutů. Hlavní výztuže ztužující osu hlava – trup, horní i dolní končetiny jsou čtvercového průřezu 10×10 mm. Doplňková výztuž vymezující tvar a obvod plastiky, případně mandolínu a prsty hudebníka, má kruhový průřez $\varnothing 6$ mm. Mimoto se v plastice nachází jeden prvek ztužení hlavní osy (od hrudě k podstavci), což je výztuž neznámého průřezu o hraně (nebo průměru) min. cca 15 mm.

Způsob vyztužení jednotlivých partií a způsob jejich prozařování je patrný z následující obrazové přílohy.

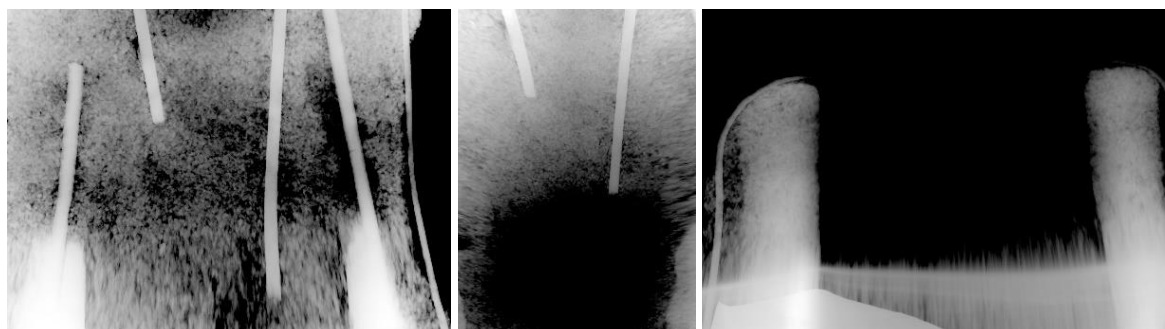
Podstavec



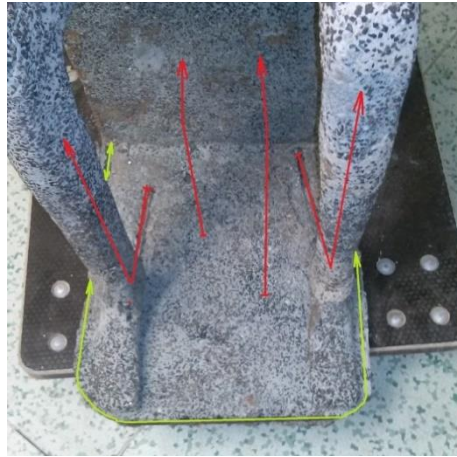
Obr. 175 Prozařování podstavce sochy, vpravo zdroj záření, rentgen YXLON300 kV



Obr. 176 Prozařování podstavce sochy – tři varianty umístění flexibilní kazety s paměťovou fólií Dürr, pro zachycení průběhu výztuží v jednotlivých částech podstavce



Obr. 177 Radiogramy zachycující průběh výztuže v jednotlivých částech podstavce

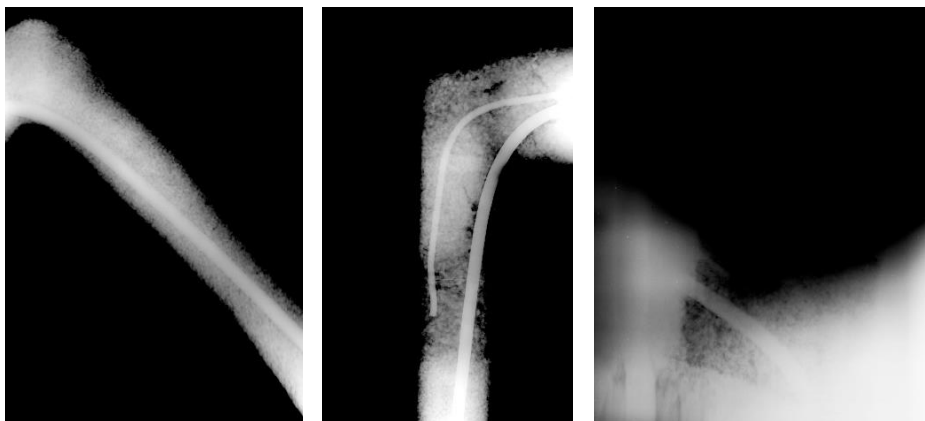


Obr. 178 Předpokládaný průběh výztuže v podstavci. Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm

Nohy



Obr. 179 Prozařování nohou sochy – varianty umístění flexibilní kazety s paměťovou fólií, pro zachycení průběhu výztuží v jednotlivých částech



Obr. 180 Radiogramy zachycující průběh výztuže v jednotlivých částech nohou

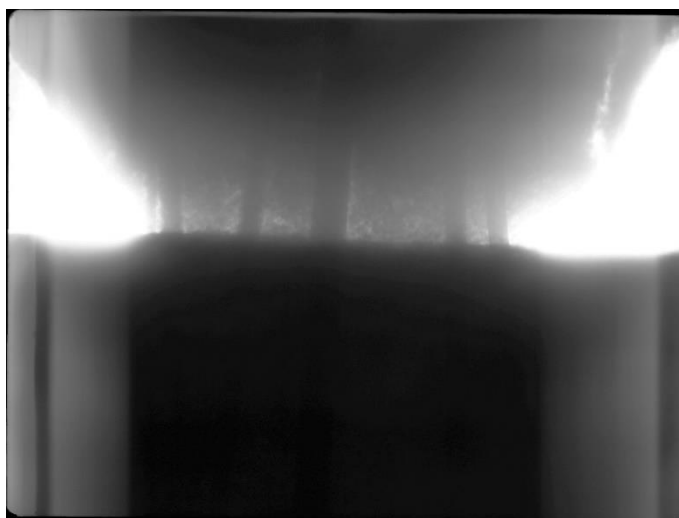


Obr. 181 Předpokládaný průběh výztuže v nohách plastiky. Červená – čtverhranný průřez 10×10 mm, zelená – kruhový průřez $\varnothing 6$ mm

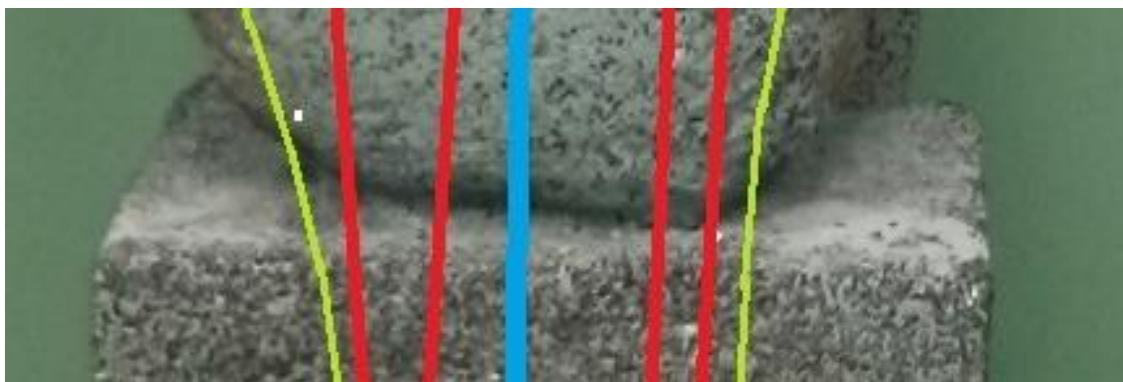
Přechod sokl – trup



Obr. 182 Prozařování přechodu sokl – trup

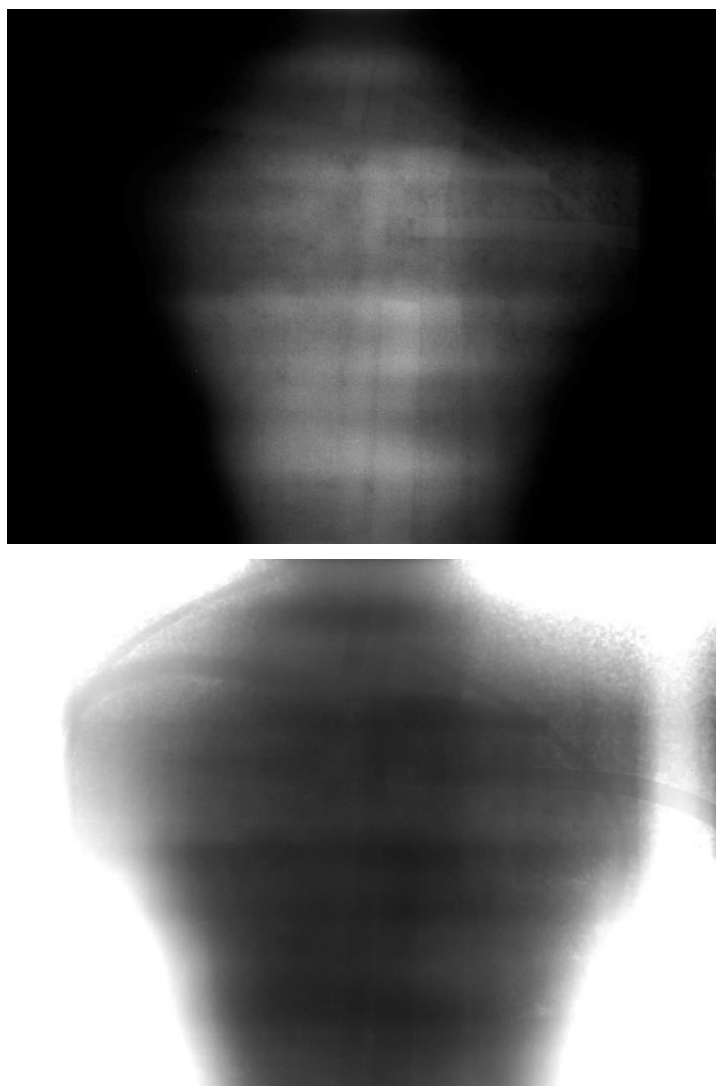


Obr. 183 Radiogram přechodu sokl – trup

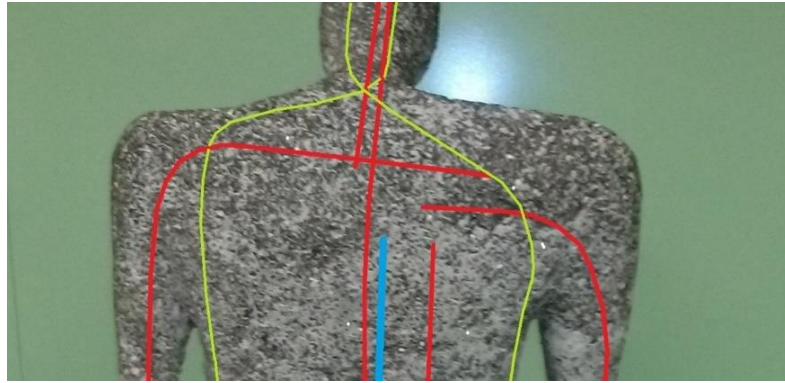


Obr. 184 Předpokládaný průběh výztuže v přechodu sokl – trup. Červená – čtverhranný průřez 10×10 mm, zelená – kruhový průřez $\varnothing 6$ mm, modrá – výztuha kruhového průřezu tloušťky (průměru) 15 mm

Horní část trupu a paže

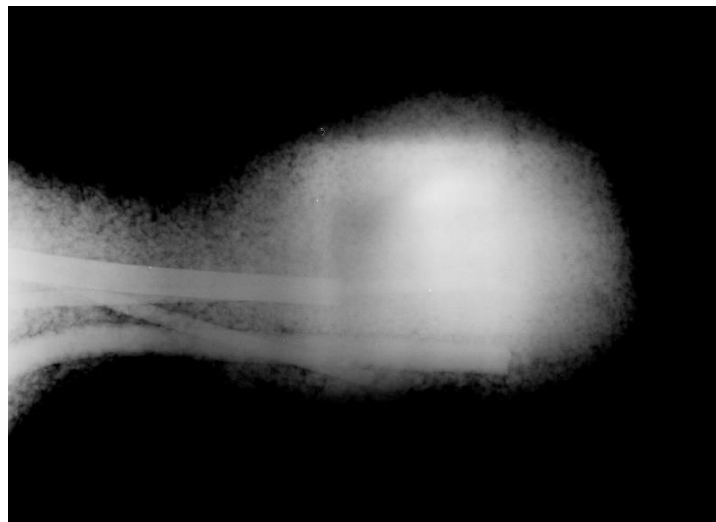


Obr. 185 Radiogram hrudi a napojení paží



Obr. 186 Předpokládaný průběh výztuže v hrudi a pažích (pohled ze strany zad). Červená – čtverhanný průřez 10×10 mm, zelená – kruhový průřez $\varnothing 6$ mm, modrá – výztuha neznámého průřezu tloušťky (průměru) cca 16 mm

Hlava

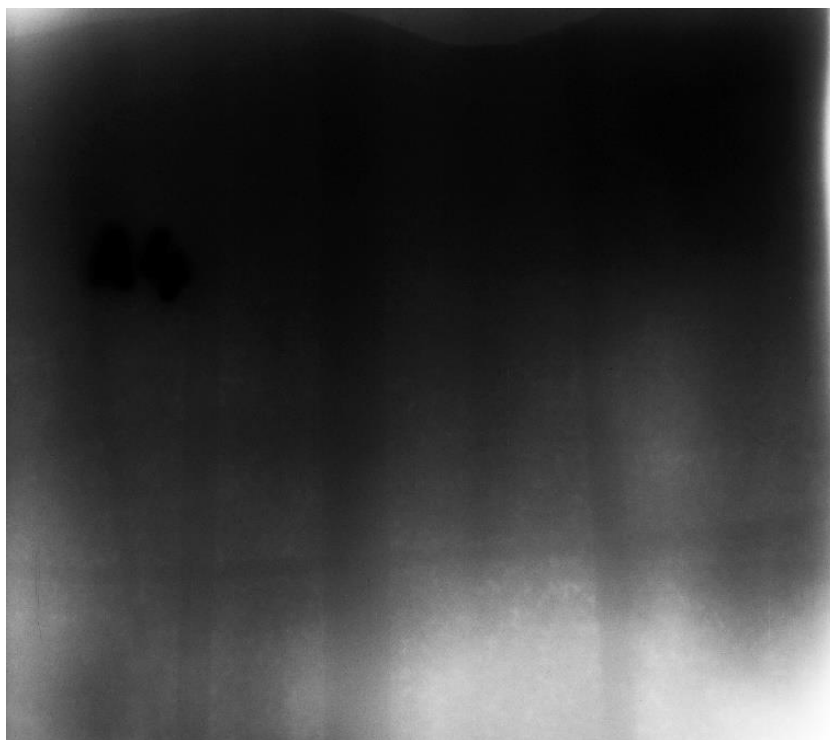


Obr. 187 Radiogram hlavy z boku



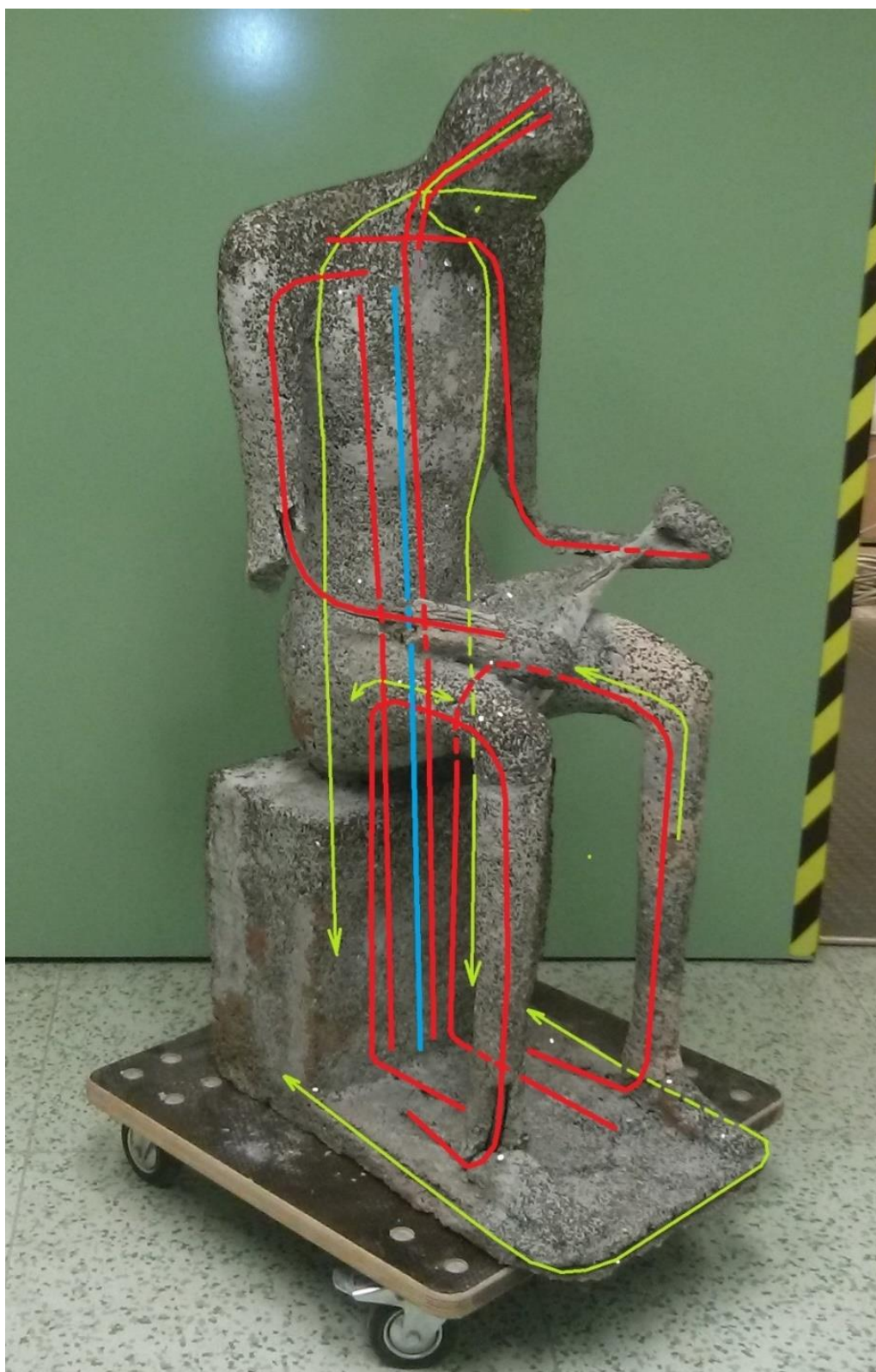
Obr. 188 Předpokládaný průběh výztuže v hlavě. Červená – čtverhranný průřez 10×10 mm, zelená – kruhový průřez $\varnothing 6$ mm

Sokl, na kterém socha sedí



Obr. 189 Radiogram části soklu, radiogram potvrzuje ve svislém směru přítomnost jedné masivní výztuhy, čtveřice výztuh 10×10 mm a krajních $\varnothing 6$ mm, současně zachycuje jeden $\varnothing 6$ mm ve vodorovném směru

Celek



Obr. 190 Předpokládaný průběh zjištěné výztuže v plastice. Červená – čtverhranný průřez 10×10 mm, zelená – kruhový průřez $\varnothing 6$ mm, modrá – výztuha kruhového průřezu tloušťky (průměru) cca 16 mm. Vyztužení mandolíny a prstů pomocí výztuže $\varnothing 6$ mm není v obrázku zachyceno

9.1.3 Vyhodnocení

Ve zkoumané plastice byl díky rentgenografii v maximálním možném rozsahu zachycen a vyhodnocen průběh vyztužení a byl orientačně posouzen použitý kompozit. Plastika je vyztužena třemi druhy vyztužných prutů:

- Čtverhranný průřez 10×10 mm – základní vyztužení osy hlava – trup – sokl, vyztužení rukou a nohou.
- Kruhový průřez $\varnothing 6$ mm – vyztužení drobných partií (prsty, mandolina) a orámování soklu a trupu.
- Výztuha patrně kruhového průřezu tloušťky (průměru) 16 mm. Zesílení základní osy trup – sokl.

Rentgenografie se k účelu stanovení vyztužení plastiky zcela osvědčila.

9.2 Případová studie 9 – Plastika Torzo ženy

Obdobným příkladem, jako v předchozím případě je radiografický průzkum plastiky Miroslava Jiravy „Torzo ženy“ umístěné na ulici Koněvově, v katastrálním území Praha – Žižkov. Dle předpokladu byla plastika vyrobena z betonu, či betonového kompozitu, způsob vyztužení plastiky je zcela neznámý. Navíc plastika byla dle předpokladu dutá.

Cílem průzkumu bylo stanovení vyztužení plastiky (poloha a tvar prutů výztuže). Bylo uvažováno o radiografii díla na místě, nicméně výhodou se ukázala možnost převezení do ozařovny výzkumného centra AdMaS, Fakulty stavební VUT v Brně.

Poloha výztuží byla stanovena prostřednictvím rentgenografie (radiografie, kdy zdrojem záření je rentgen). Jako zdroj rentgenového záření byl použit technický 300 kV rentgen YXLON, pro snímání prošlého a zeslabeného záření byly použity paměťové folie a skenovací systém Dürr.

Zkoumaný objekt byl podobně jako předchozí plastika prozařován v různých směrech přes klíčové části objektu. Během prozařování se ukázalo, že vzhledem k nepravidelnému tvaru sochy, vnitřním dutinám a tloušťkám stěn byly pouze některé partie díla vhodné k prozáření, mnohdy na samé hranici možností rentgenů, nebo i za ní (vysoká tloušťka). Proto bylo možno prozařovat postupně jen malé úseky plastiky, vždy s výrazně odlišnými expozičními parametry vhodnými pro zobrazení výztuže v dané části. Zároveň je třeba konstatovat, že tvar plastiky byl natolik komplikovaný, že prozáření některých partií nebylo možné – nebylo možné vytvořit osu: zdroj záření – objekt – paměťová folie, bez vykrytí jinou částí objektu. [83].



Obr. 191 Plastika Torzo ženy Miroslava Jiravy [84]

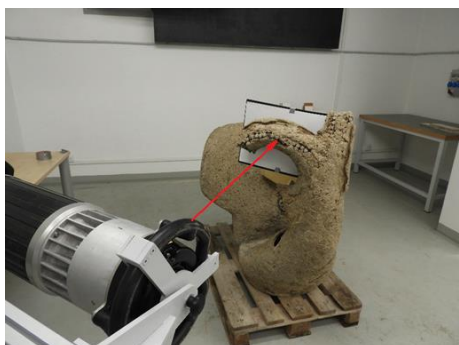
Pro prozařování jednotlivých partií sochy byly operativně voleny expoziční parametry (napětí na rentgence V – 150 – 200kV, proud na rentgence A – 3mA a doba expozice) kombinací odhadu z expozičního nomogramu, nutné ohniskové vzdálenosti (dle geometrie 1000 – 1300 mm) a odhadované tloušťky plastiky, s ohledem na odhad velikosti dutin (80 – 150 mm). I za těchto podmínek musely být odhadnuté doby expozice testovány a operativně měněny (ve výsledku 1 – 4 min).

Na základě provedených radiografických zkoušek bylo zjištěno, že ve všech částech je kompozit homogenní, výztuž je tvořena pouze stavebním pletivem Keramid (jde o pozinkované drátěné pletivo s nalisovanými ččkami na bázi cementu, v minulosti využívané při konstrukci příček a stropů), ze kterého byly vymodelovány základní tvary díla, a následně byla takto vytvořená kostra pokryta cementovým jemnozrnným kompozitem.

V celém díle byly zjištěny pouze dva odlišné výztužné prvky, tvořené ocelovými trubkami (dle odhadu jde o běžné vodovodní trubky), dalším ocelovým prvkem je kus ploché oceli, nemající zásadní výztužný význam. Všechny tyto prvky patrně pouze rozpíraly hrubou konstrukci z Keramidu.

Způsob prozařování jednotlivých partií díla je patrný z příložené fotodokumentace. U fotografií jsou rovněž popsány zjištěné sporadické výztuhy.

9.2.1 Metodika prozařování jednotlivých partií díla – geometrie prozařování



Obr. 192 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 1



Obr. 193 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 2



Obr. 194 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 3



Obr. 195 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 4



Obr. 196 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 5



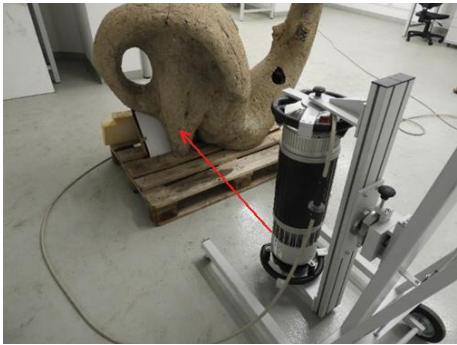
Obr. 197 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 6



Obr. 198 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 7



Obr. 199 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 8



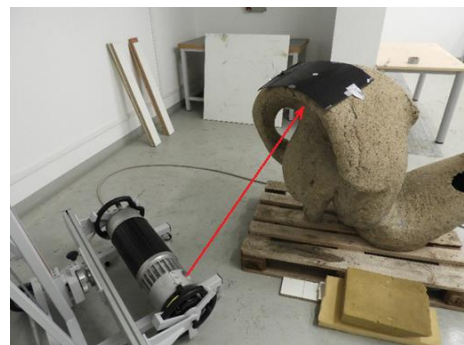
Obr. 200 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 9



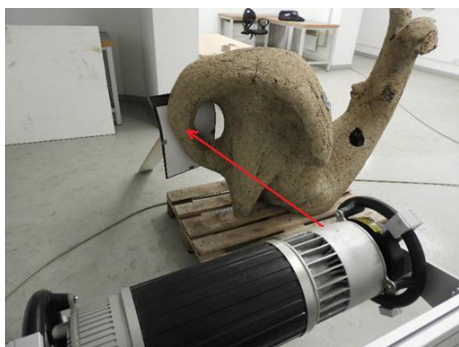
Obr. 201 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 10



Obr. 202 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 11



Obr. 203 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 12

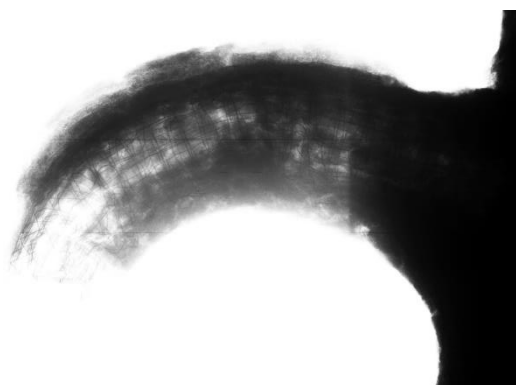


Obr. 204 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 13



Obr. 205 Radiografie plastiky Torzo ženy.
Konfigurace prozařování 14

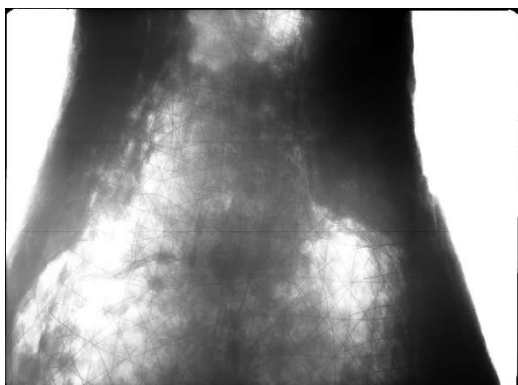
Jednotlivé konfigurace prozařování umožnily podrobnou prohlídku struktury materiálu sochy ve všech klíčových místech a stanovení vyztužení, i způsobu provedení díla. Na dílčích radiogramech uvedených níže je dobře patrný materiál, kterým je stavební pletivo Keramid (jde o pozinkované drátěné pletivo s nalisovanými ččkami na bázi cementu, v minulosti využívané při konstrukci přiček a stropů), je dobře patrné jak kovové pletivo samotné, tak struktura cementových čček. Jedinou další výztuž tvoří dvojice ocelových trubek tvořících oporu pro stočené pláty pletiva Keramid při vytváření plastiky. Spíše úsměvný prvek tvoří zabetonované korunkové uzávěry od lahví s nápoji.



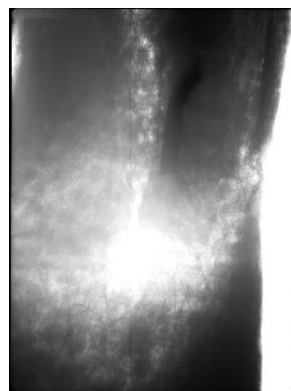
Obr. 206 Radiogram z konfigurace prozařování 1.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 207 Radiogram z konfigurace prozařování 2.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 208 Radiogram z konfigurace prozařování 3.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



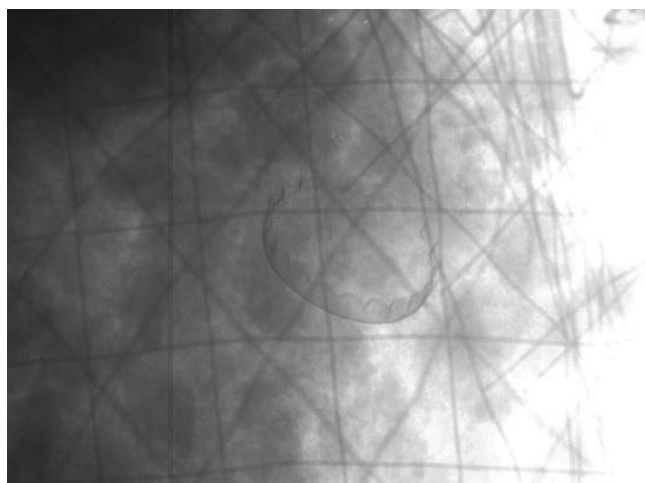
Obr. 209 Radiogram z konfigurace prozařování 4.
Na radiogramu je zobrazen kus ploché oceli nepatrné
délky (cca 13 cm) a drátěné pletivo



Obr. 210 Radiogram z konfigurace prozařování 5.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 211 Radiogram z konfigurace prozařování 6.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva. V pravém horním
kvadrantu je zachycen korunkový uzávěr z lahve



Obr. 212 Detail z předchozího radiogramu s dobře patrným korunkovým uzávěrem



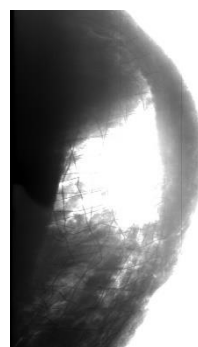
Obr. 213 Radiogram z konfigurace prozařování 7.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 214 Radiogram z konfigurace prozařování 8.
Na radiogramu je zachycen konec kovové, patrně
vodoinstalační trubky a drátěné pletivo. Radiogram
rovněž zachytil výrazné stopy zaboření 4 prstů při
ručním vytváření díla (na vnitřním povrchu)



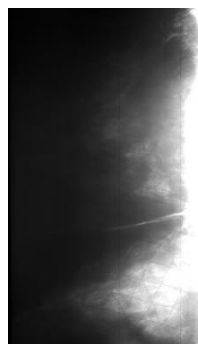
Obr. 215 Radiogram z konfigurace prozařování 9.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s
výjimkou drátěného pletiva



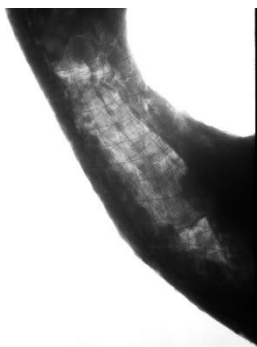
Obr. 216 Radiogram z konfigurace prozařování 10.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 217 Radiogram z konfigurace prozařování 11.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 218 Radiogram z konfigurace prozařování 12.
Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž
s výjimkou drátěného pletiva. Radiogram zachytil
rovněž trhlinu v betonu



Obr. 219 Radiogram z konfigurace prozařování 13. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva



Obr. 220 Radiogram z konfigurace prozařování 14. Na radiogramu je zachycena část kovové, patrně vodoinstalační trubky a drátěné pletivo

9.2.2 Vyhodnocení

Na základě provedených radiografických zkoušek bylo zjištěno, že ve všech částech je korpus plastiky vyztužen pouze stavebním pletivem Keramid, ze kterého byly vymodelovány základní tvary díla, a následně byla takto vytvořená kostra pokryta cementovým jemnozrnným kompozitem.

V celém díle byly zjištěny pouze dva odlišné výztužné prvky tvořené ocelovými trubkami (dle odhadu jde o běžné vodovodní trubky, dalším ocelovým prvkem je kus ploché oceli, nemající zásadní výztužný význam. Všechny tyto prvky patrně pouze rozpíraly hrubou konstrukci z Keramidu.

Zajímavým detailem zachyceným na radiogramech je korunkový uzávěr z lahve nacházející se v betonovém kompozitu. Radiografie, přesněji rentgenografie, zde jasně prokázala svoji vhodnost pro požadovaný průzkum, a vzhledem k mobilitě užitého rentgenu a relativní bezpečnosti při práci s ním není vyloučeno i provádění obdobné radiografie v terénu, v původním umístění obdobného objektu.

9.3 Případová studie 10 – Radiografická kontrola rozmísení drátků v drátkobetonových deskách

Radiografie se jeví ideální nedestruktivní metodou pro stanovení polohy kovové rozptýlené výztuže (drátků) ve vzorcích drátkobetonu. Podmínkou je, aby byly vzorky, či části konstrukce dobře přístupné z obou stran, pro ideální umístění zdroje záření a záznamového zařízení, a současně aby tloušťka vzorků nepřesáhla hraniční možnosti použitého zdroje záření, konkrétně technického rentgenu, kde hovoříme o reálné limitní tloušťce cca 150 mm.

Takováto radiografie je pak ideálním nástrojem nejen např. pro stanovení množství a pravidelnosti rozmísení drátků ve vzorcích odebraných z konstrukce, ale zejména pro ověření těchto vlastností u zkušebních vzorků používaných pro stanovení vlastností daného typu betonu, nebo při kontrole vzorků využívaných pro testování a kalibraci například magnetických sond pro měření obsahu a rozložení drátků.

Typickým příkladem využití rentgenografie při ověřování rozptýlení drátků je následující příklad. Jde zde o tři sady zkušebních desek rozměrů 700×700 mm a tloušťce 60 mm, z nichž jedna sada byla vytvořena z UHPC s přídavkem drátků Dramix RC80/60 BP, druhá z drátkobetonu – obyčejný beton s užitím drátků Dramix RC80/60 BP, a poslední sada z obyčejného betonu vyztuženého betonářskou výztuží v pravidelné síti. Vzorky byly vyrobeny v rámci návrhu a testování betonů pro konstrukci ochranných prvků proti explozi vyvíjených ve spolupráci s Univerzitou obrany v Brně a ČVUT v Praze [85].



Obr. 221 Jedna ze zkušebních desek připravená k prozařování, na zadní straně je patrné rozložení olověných orientačních značek

Důvodem radiografické kontroly bylo v počáteční fázi ověření homogenity vyztužení v jednotlivých vzorcích před jejich testováním trhavinou ve VVP AČR Boletice.

Pro kontrolu homogenity rozptýlení drátků byla tedy zvolena radiografická metoda, jako zdroj záření byl použit rentgen YXLON SMART 300 HP, pro záznam prošlého a zeslabeného záření byly užity paměťové folie Dürr v kombinaci se Skenerem CR35 NDT Plus.

Pro radiografii desek byla nastavena ohnisková vzdálenost 1200 mm, expoziční parametry rentgenů byly určeny dle experimentálně stanoveného expozičního nomogramu a optimalizovány v hodnotách:

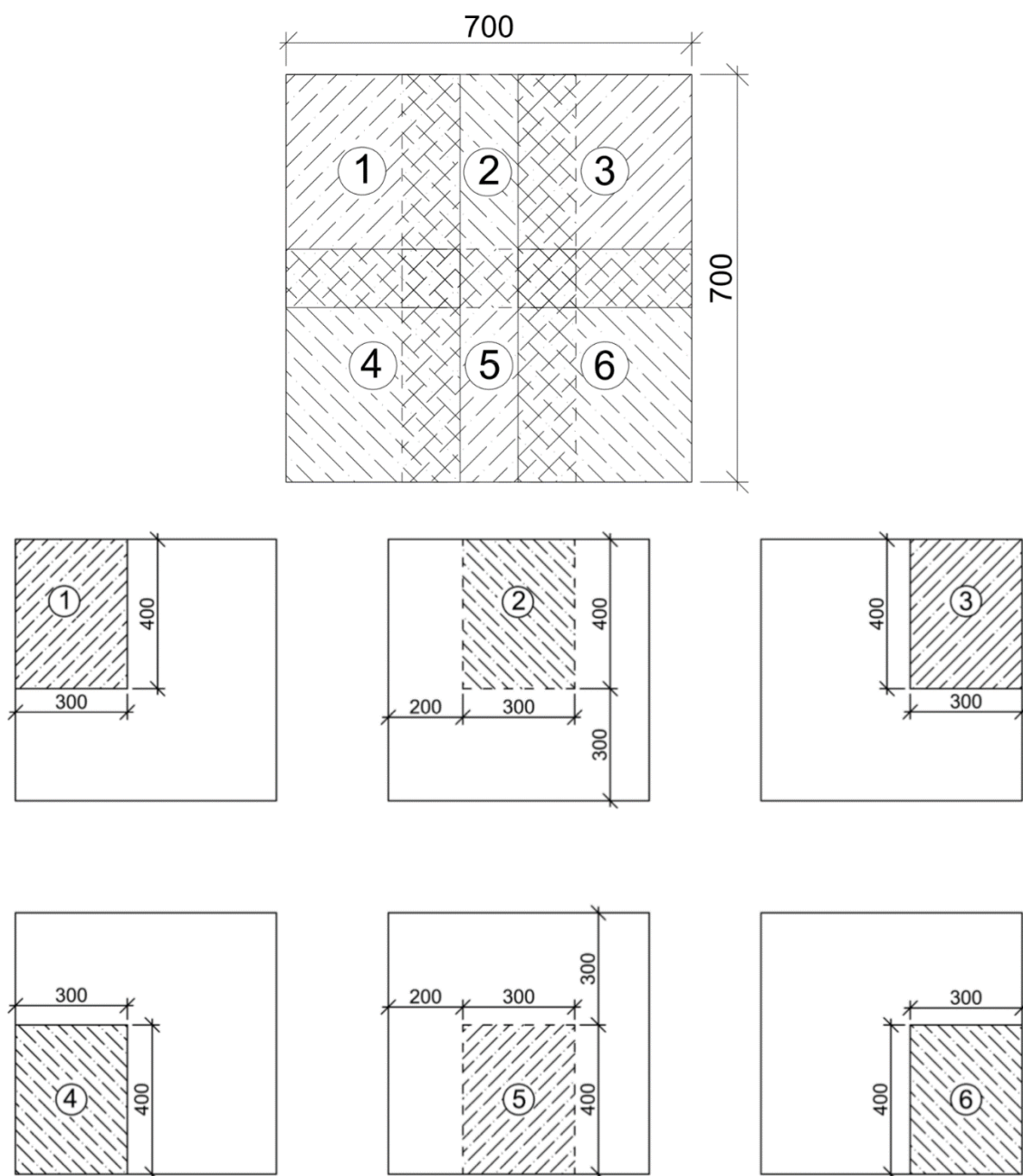
- Pro desky č. 2-1, 2-2 a 2-3 byly optimalizovány expoziční parametry:
 - Proud na rentgence: 3 mA.
 - Napětí na rentgence: 150 kV.
 - Doba expozice: 2,0 min.

- Pro desky č. 1-2 (UHPC) byly optimalizovány expoziční parametry:
 - Proud na rentgence: 3 mA.
 - Napětí na rentgence: 180 kV.
 - Doba expozice: 3,0 min.

- Pro desky č. 3-1, 3-2 a 3-3 (železobeton) byly optimalizovány expoziční parametry:
 - Proud na rentgence: 3 mA.
 - Napětí na rentgence: 150 kV.
 - Doba expozice: 2,0 min.

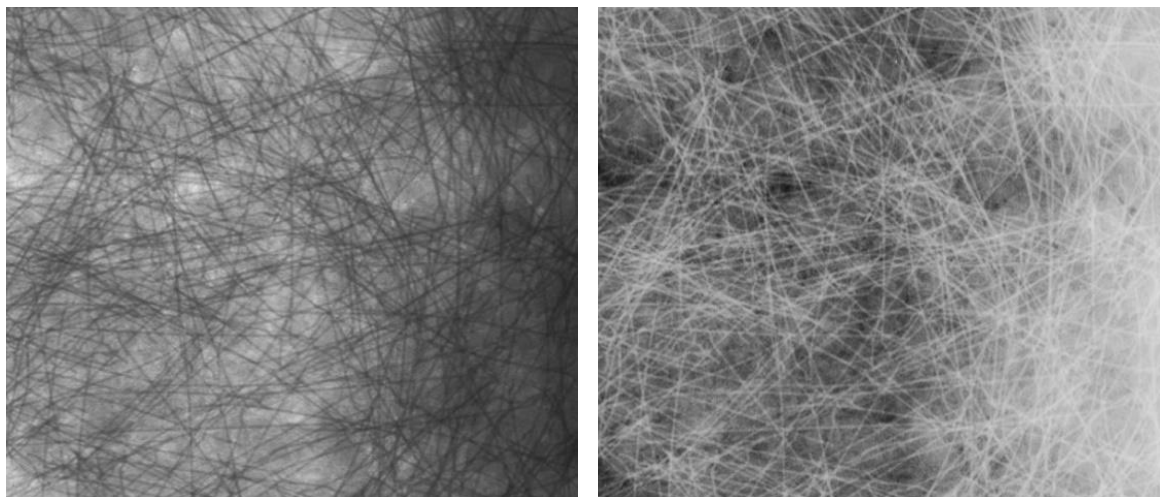
Vzhledem k plošným rozměrům zkušebních desek 700 × 700 mm, a rozměrům paměťových folií 400 × 400 mm, byla plocha zkušební desky pokryta vždy šesti radiogramy, viz Obr.222. Pro jednoznačnou identifikaci polohy radiogramu v rámci plochy desky byly na zadní stranu prozařovaných desek (na stranu blíže paměťové folii) umístěny olověné značky, které díky vysoké hustotě olova jsou bez ohledu na prozařovací parametry na snímcích dobře patrné.

Výhodou použití paměťových folií, jako záznamového média, je kromě snadné digitální úpravy kontrastu a jasu radiogramu rovněž možnost pracovat díky možnosti invertování obrazu s pozitivem či negativem původního zobrazení. Díky tomu je možné zobrazit objekty s vyšší objemovou hmotností buď světlejší (což je obvyklé, vychází to z klasického původního principu tradičních radiografických filmů – viz kapitola 3), nebo naopak tmavší, což lépe vyhovuje jakési obecné přirozené představě. Pro různé účely se hodí obě varianty, jak bude ukázáno dále.



Obr. 222 Schematické znázornění rozložení šesti radiogramů (1 až 6) na ploše zkušební desky

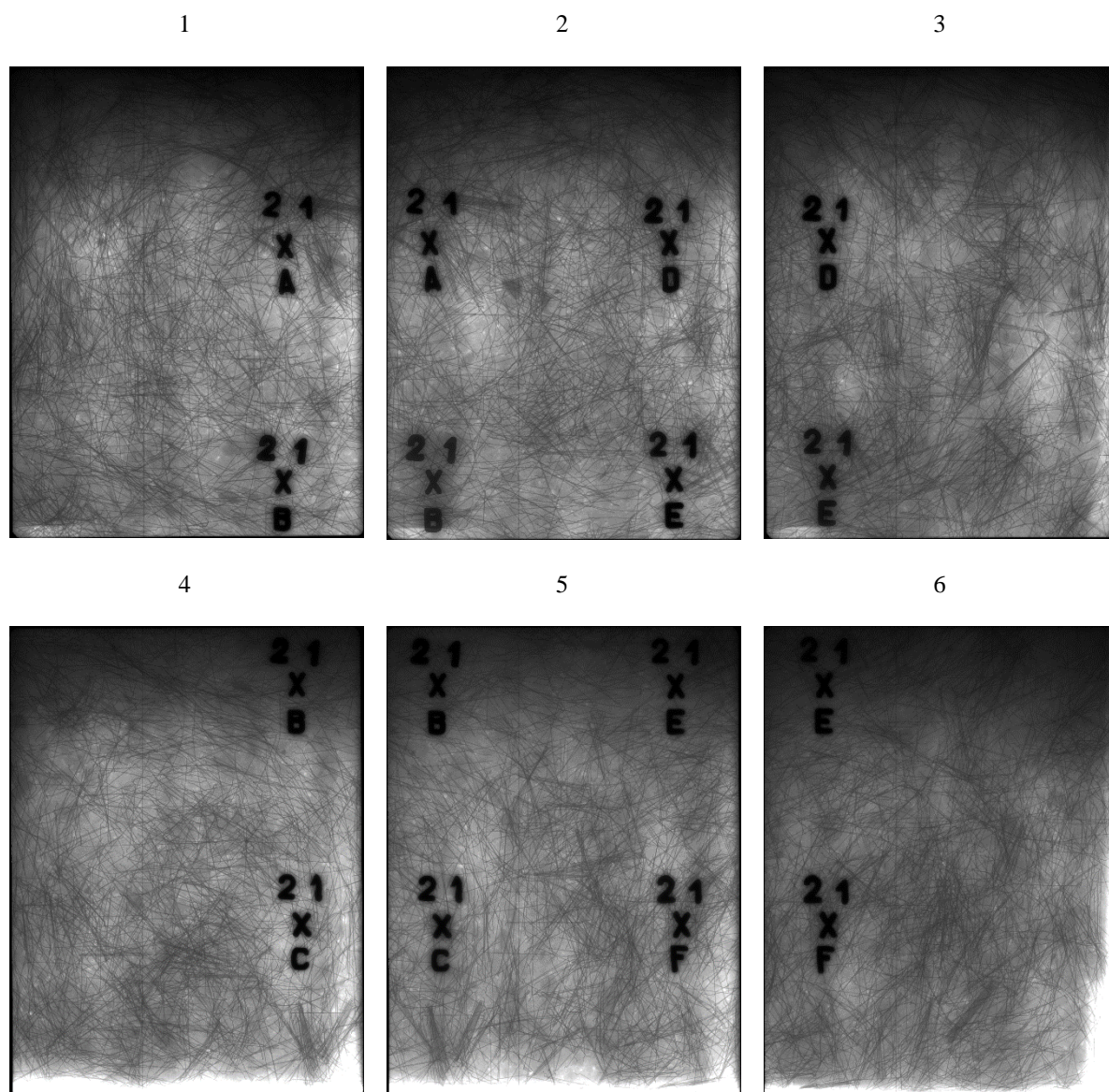
Pro posouzení správného rozptýlení drátků byla zvolena právě druhá varianta, kdy drátky jsou v zobrazení tmavší (mají větší zčernání), než okolní beton.



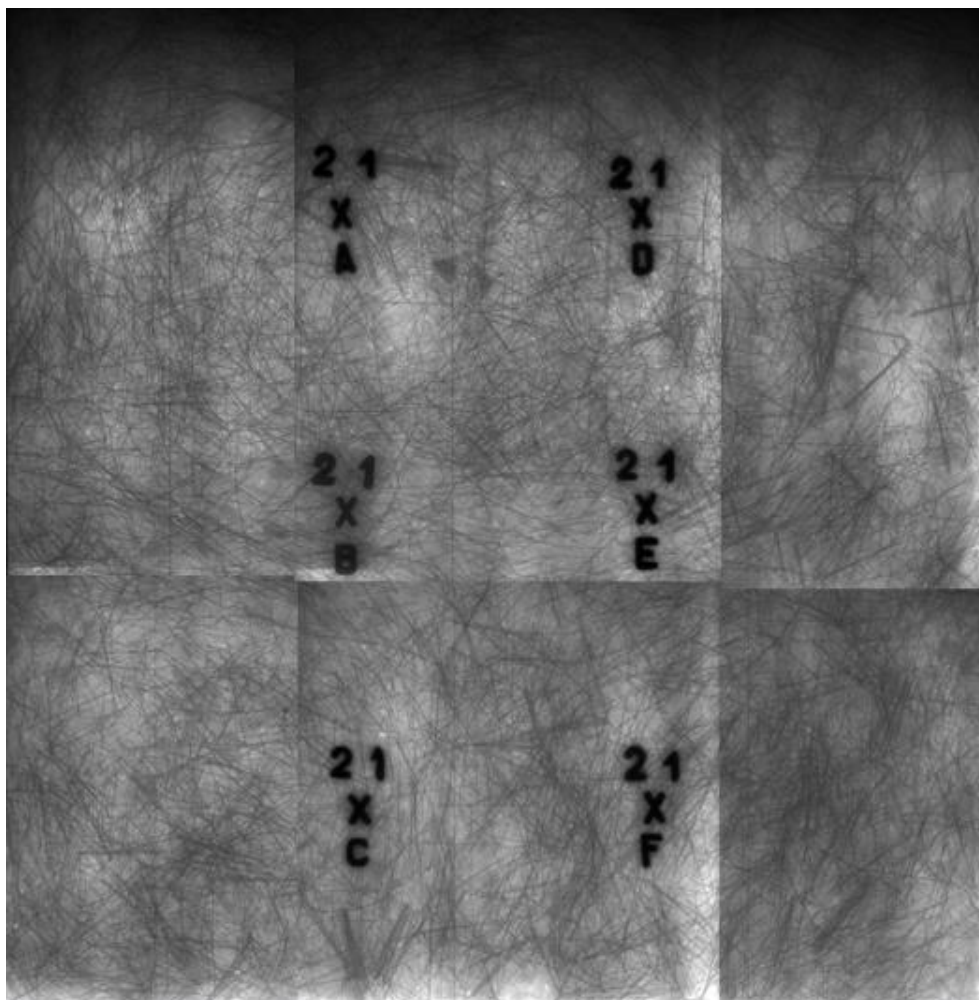
Obr. 223 Příklad totožné části rentgenogramu jedné z drátkobetonových desek, v zobrazení „pozitiv“ (vlevo, objekty s vyšší hustotou jsou tmavší) a v provedení „negativ“ (vpravo)

Následují příklady výstupů provedené radiografie u jednotlivých typů desek

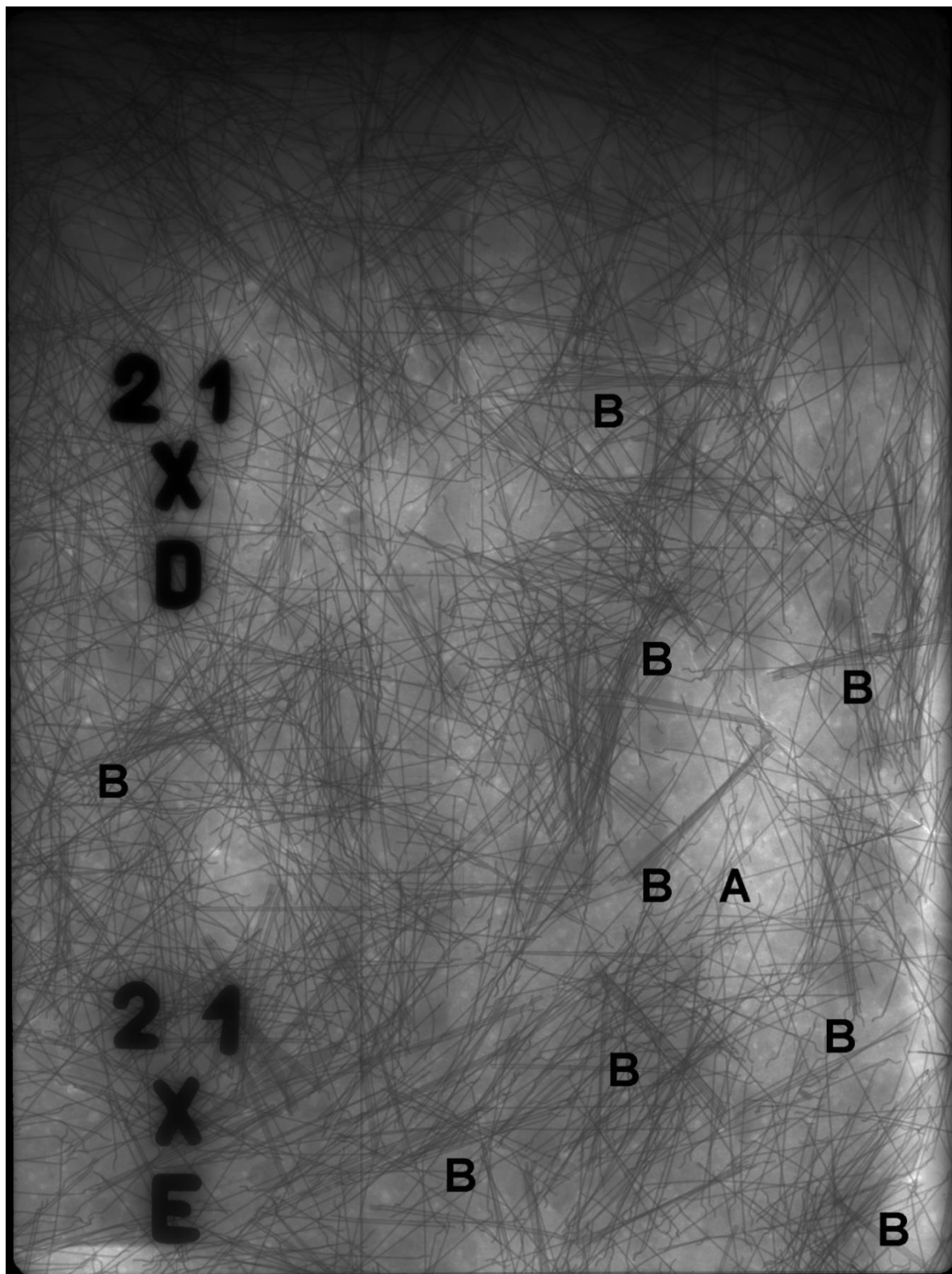
9.3.1 Deska série 2 – drátkobeton



Obr. 224 Výsledek prozařování desky 2-1, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly

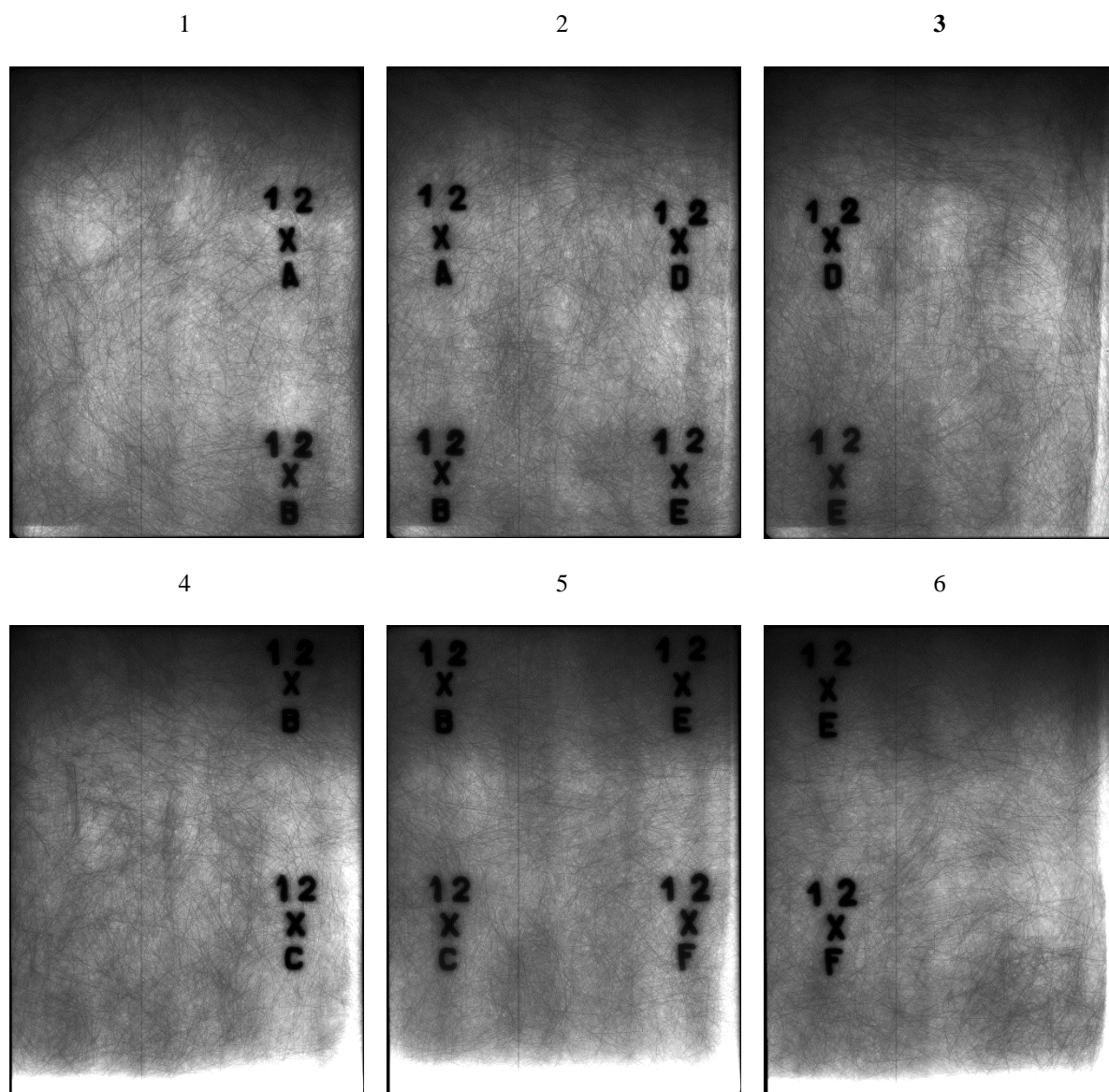


Obr. 225 Výsledek prozařování desky 2-1. Snímek jasně ukazuje drobné nehomogenity v rozložení ocelových drátků v desce, místy svazky dosud slepených a neoddělených drátků, a v několika oblastech i drátky s převládající jednosměrnou orientací

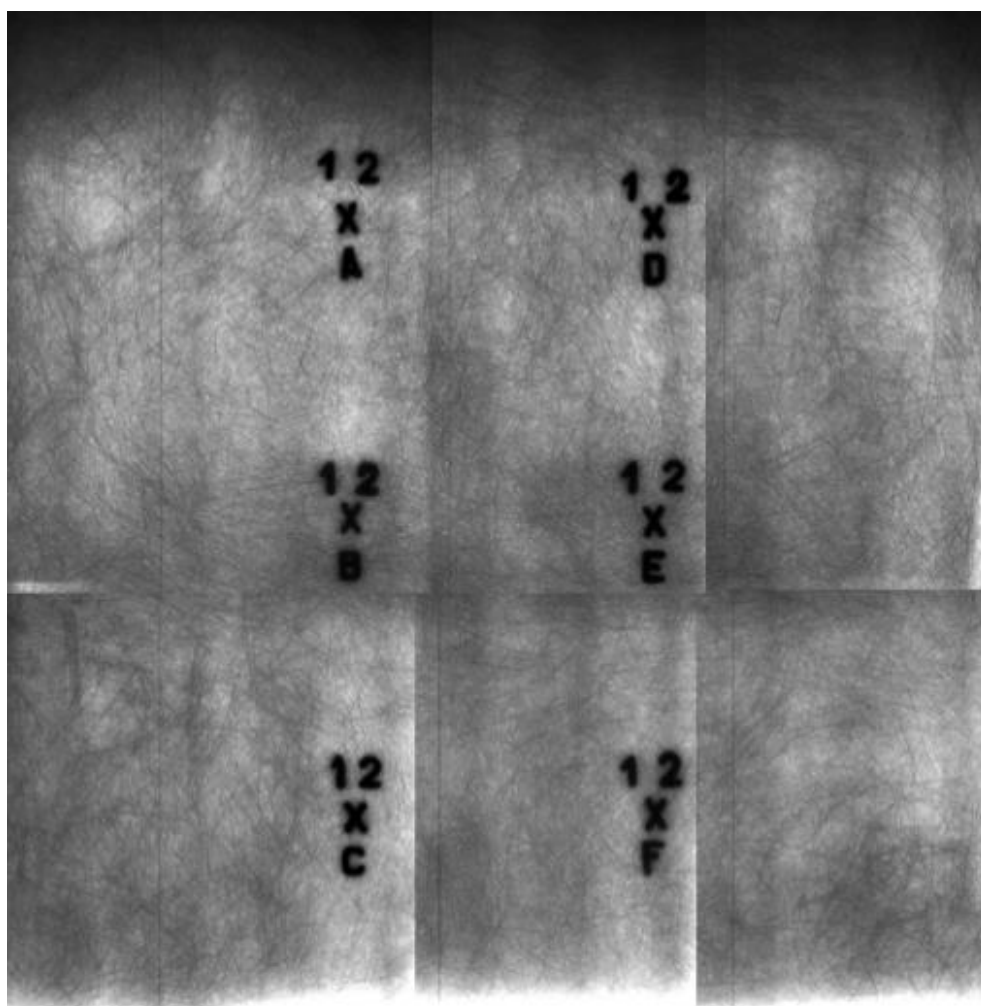


Obr. 226 Při detailním studiu radiogramů je možné posoudit homogenitu rozmístění drátků ve vzorku. Zde na příkladu jednoho z radiogramů pořízených na desce 2-1 je například patrné místo s lokálně nižší hustotou drátků (A), a současně řada svazků drátků, které zůstaly spojeny (B)

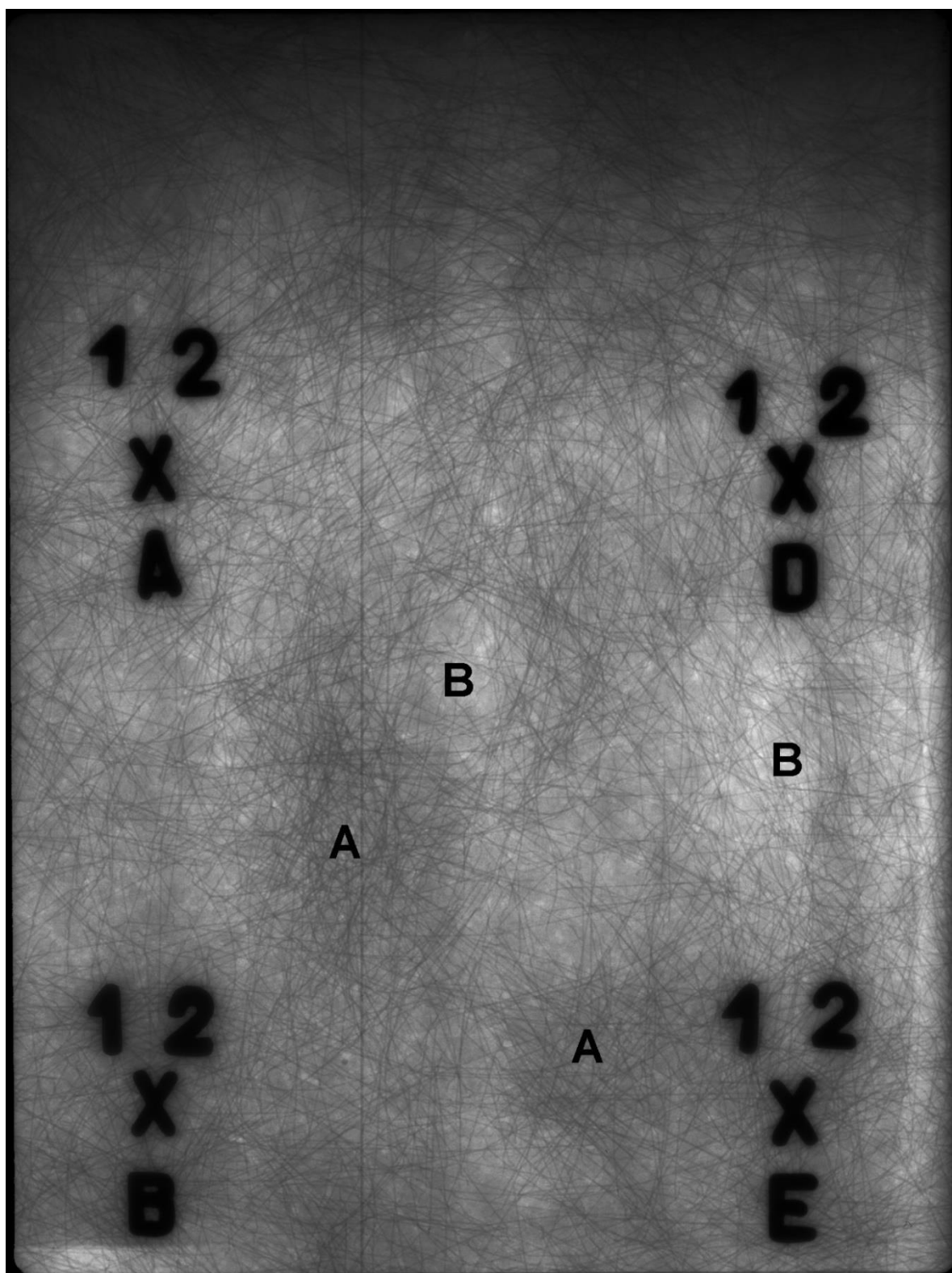
9.3.2 Deska série 1 – UHPC + drátky



Obr. 227 Výsledek prozařování desky 1-2, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly

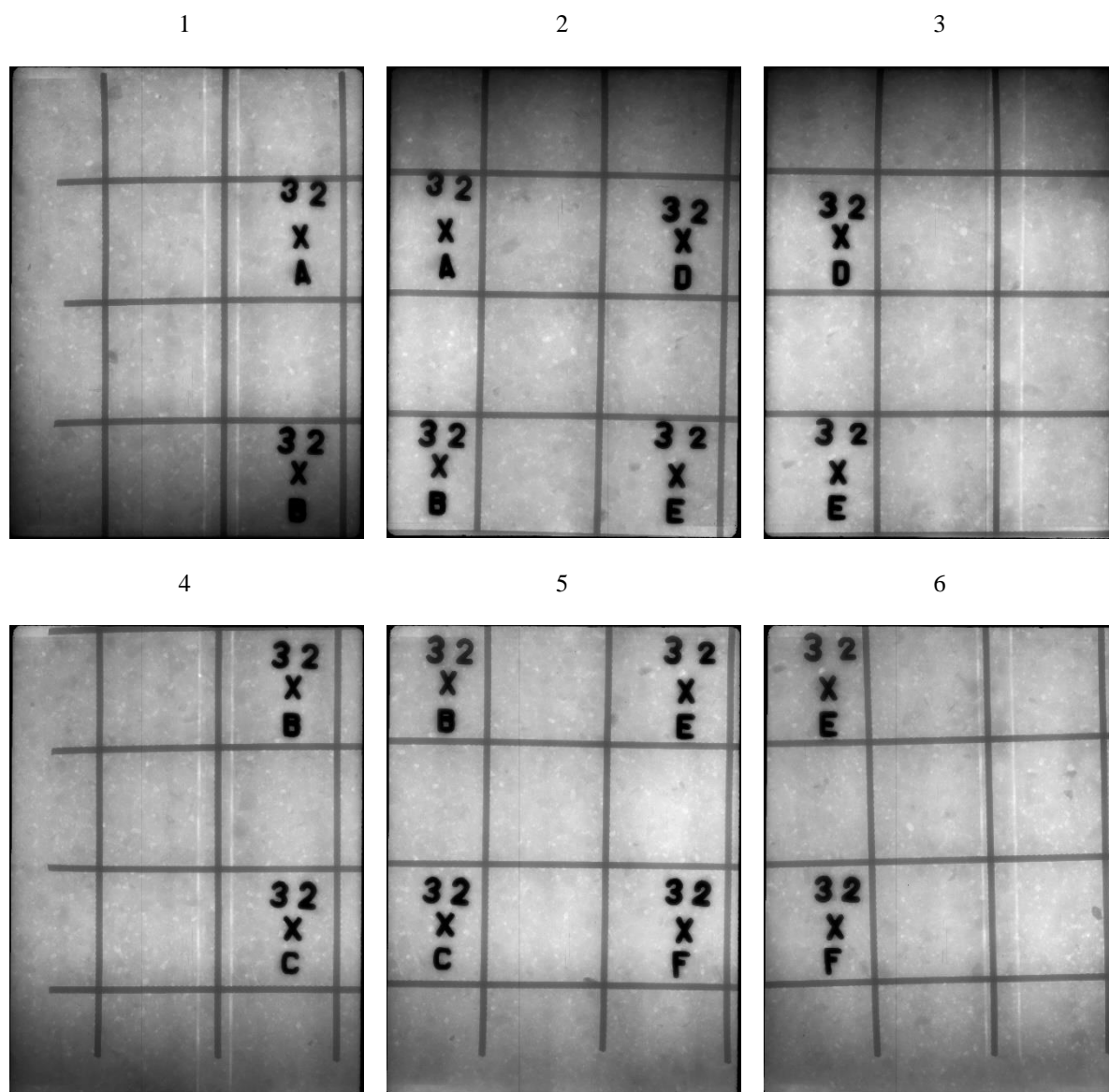


Obr. 228 Výsledek prozařování desky 1-2, finální radiogram vzniklý sloučením původní šestice. Na snímku je patrné velmi homogenní rozptýlení drátků ve vzorku, pouze s nepatrnými odchylkami koncentrace

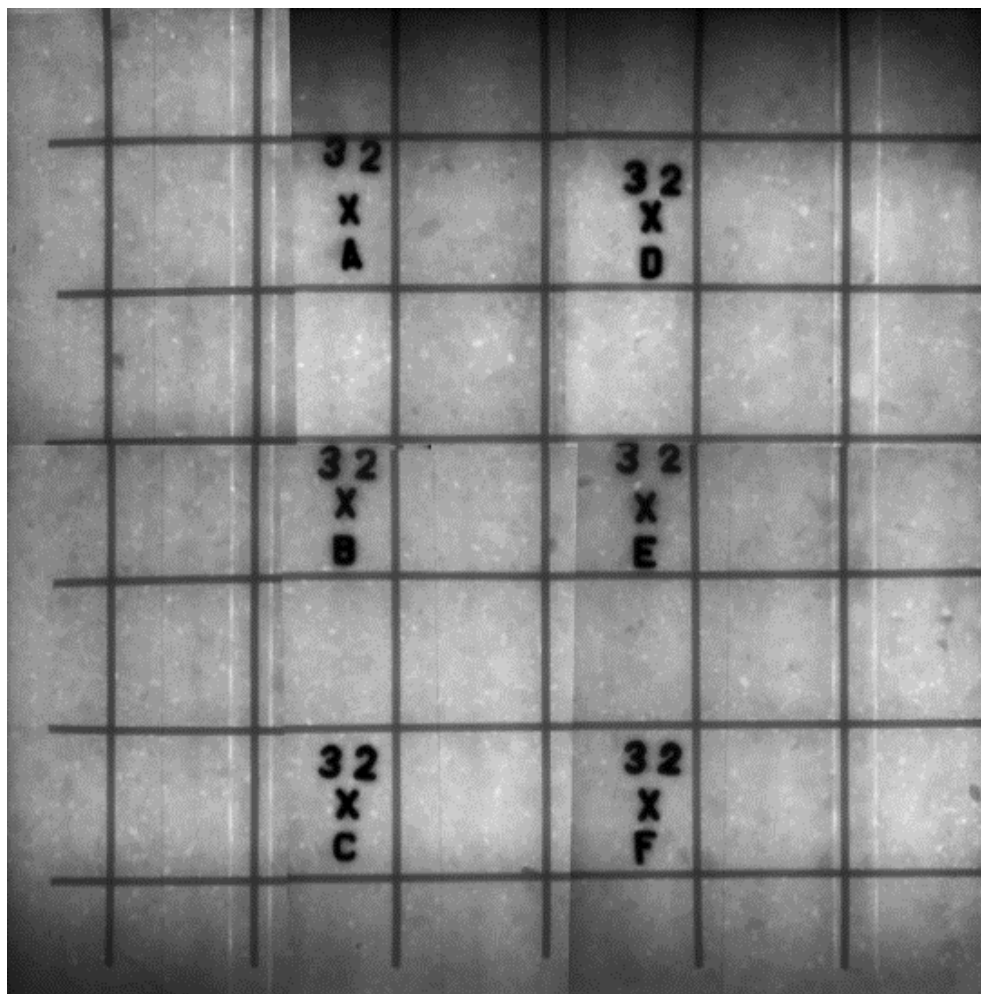


Obr. 229 V případě UHPC betonu je rozptýlení drátků více homogenní, ale i zde se nachází místa s vyšší koncentrací (A), nebo výrazně nižší (B). Jde však o nehomogenity nepřilíš rozsáhlé

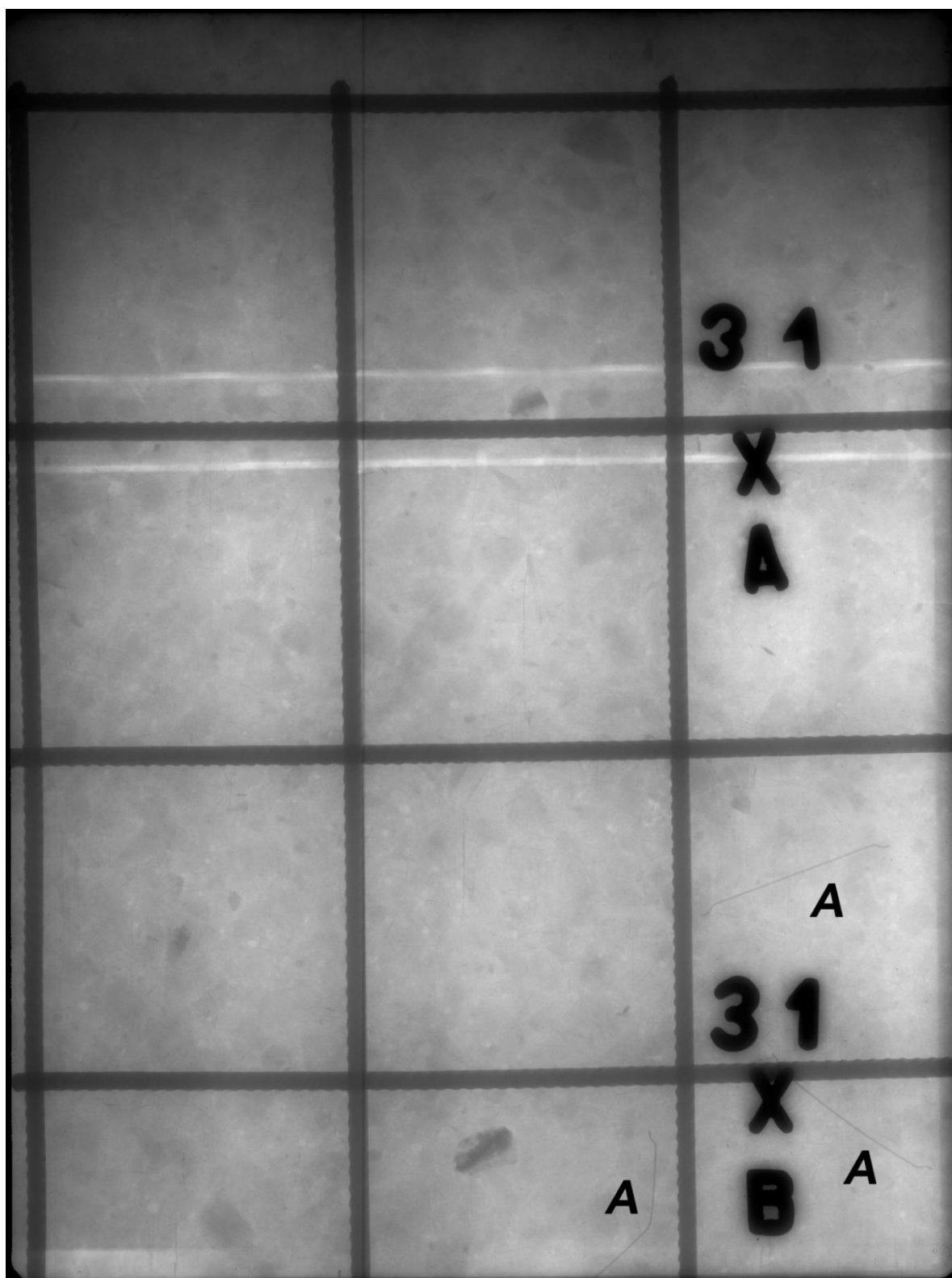
9.3.3 Deska série 3 – železobeton



Obr. 230 Výsledek prozařování desky 3-2, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly



Obr. 231 Výsledek prozařování desky 3-2. Snímek jasně ukazuje polohu výztužných prutů, i strukturu kameniva v betonu



Obr. 232 Při detailním studiu radiogramů je možné posoudit správné rozmístění výztužných prutů. Jedinou anomálii představují sporadicky se vyskytující drátky (označeny A) po nedokonalém vyčištění míchačky po výrobě drátkobetonu

9.3.4 Závěrečné vyhodnocení homogenity rozptýlení výztuže v deskách

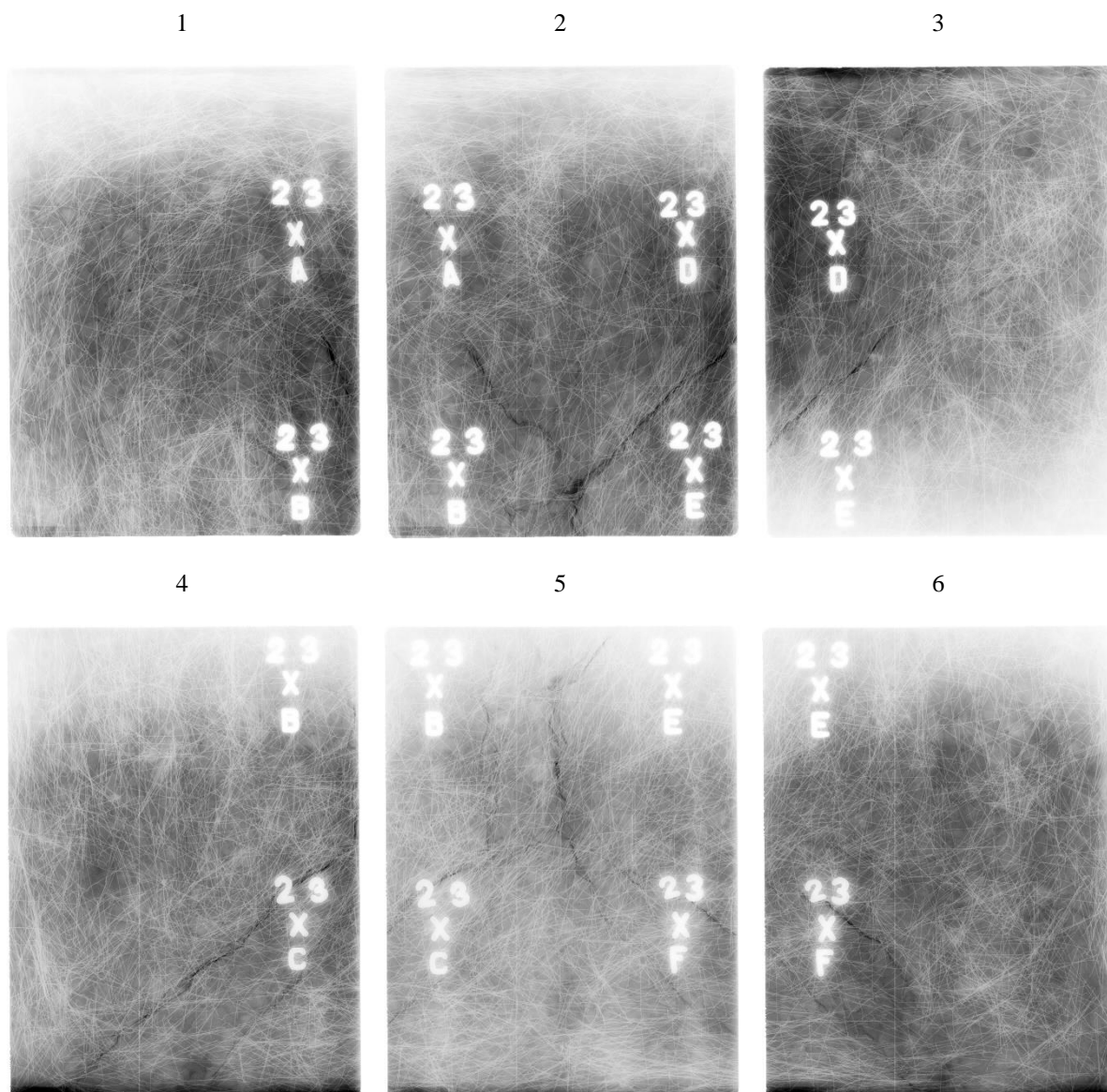
Analýza na základě provedené podrobné rentgenografie umožnila pro všechna testovaná zkušební tělesa konstatovat, že struktura vzorků je z hlediska rozložení drátků i betonářské výztuže homogenní, zjištěné drobné odchylky lokálně zvýšené či snížené koncentrace drátků jsou zanedbatelné. Rovněž testy prokázaly mimořádnou vhodnost využití rentgenografie i použitého zobrazovacího systému, kde výstupem bylo zobrazení s velmi vysokým rozlišením, které umožnilo detailní studium vnitřní struktury zkoumaných vzorků. Proto mohlo být přikročeno k dalším plánovaným testům vzorků

9.3.5 Radiografie zkušebních desek po provedení zkoušek

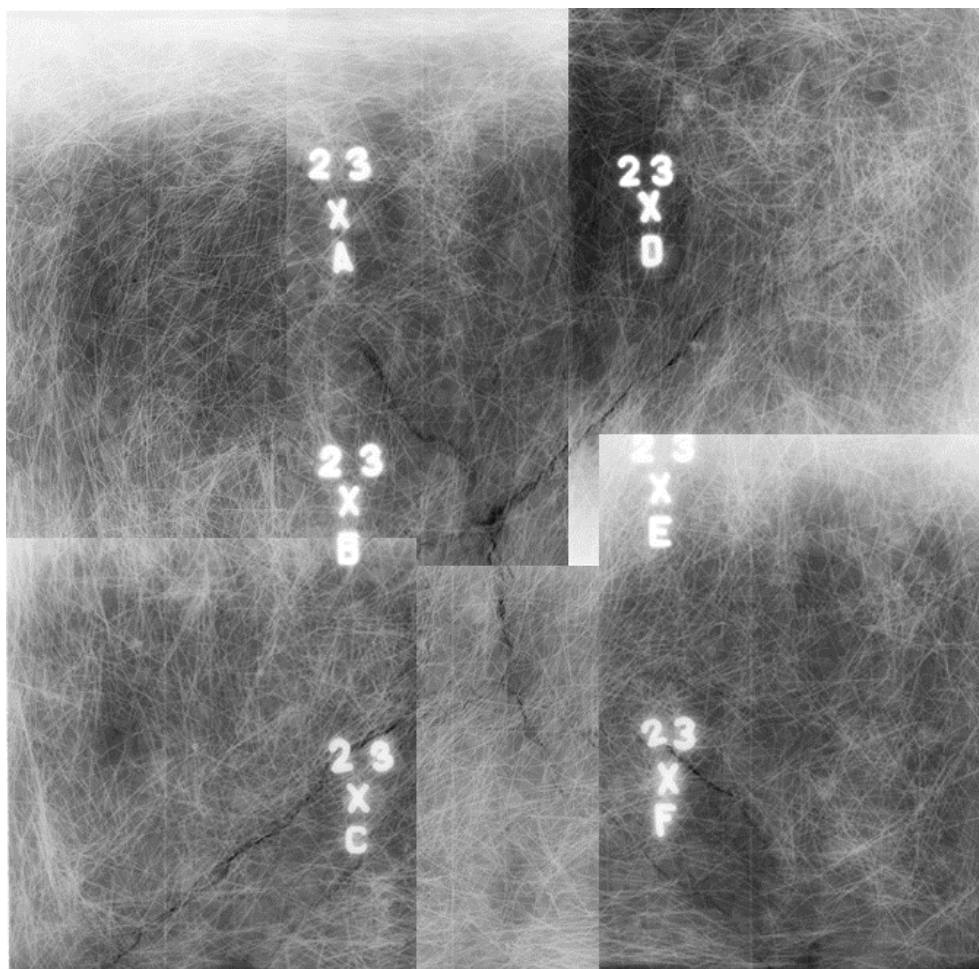
Po provedení testů odolnosti zkušebních desek trhavinou, byla pro stanovení rozsahu poškození vzorků trhlinami stejně jako před provedením testů využita radiografická metoda, ve stejném rozsahu a užitých parametrech, jako při výchozím testování zkušebních desek. Některé vzorky, byly po vystavení výbuchu pokryty sítí povrchových trhlin, provedená radiografie měla za cíl prokázat závažnost trhlin. Bylo předpokládáno, že díky užitým materiálům, zejména díky rozptýlené výztuži se deska při vystavení tlakové vlně výbuchu prohnila, což na straně odvrácené od výbuchu vytvořilo síť trhlin, které se následně zase téměř uzavřely. Pouze kritická místa, kde u vložené výztuže došlo již k jejímu průťahu, zůstaly trhliny masivnější, a již se zcela nezavřely. Vzhledem k principu radiografie může být na radiogramu trhlinka zobrazena pouze tehdy, když ve směru toku fotonů tvoří zásadní snížení objemové hmotnosti (když její průběh je rovnoběžný se směrem prozařování), což se uplatní pouze u trhlin procházejících materiálem zcela rovnoběžně s osou prozařování, nebo je trhlinka natolik široká, že i při nedodržení rovnoběžnosti jí fotony část své dráhy prochází.

Na radiogramech se ve shodě s předpokladem jasně zobrazily trhliny zásadnějšího charakteru, pouze vlasová poškození patrná nejsou, radiogram tedy na rozdíl od vizuálně patrné sítě vlasových trhlin na povrchu některých vzorků indikuje pouze závažnější poškození výraznější šířky. Pro ideální zobrazení trhlin bylo po testování obou možností zvoleno inverzní zobrazení radiogramů, kde se objekty s vyšší hustotou zobrazují světlejší, tedy výztuž a drátky jsou bílé, a trhliny černé.

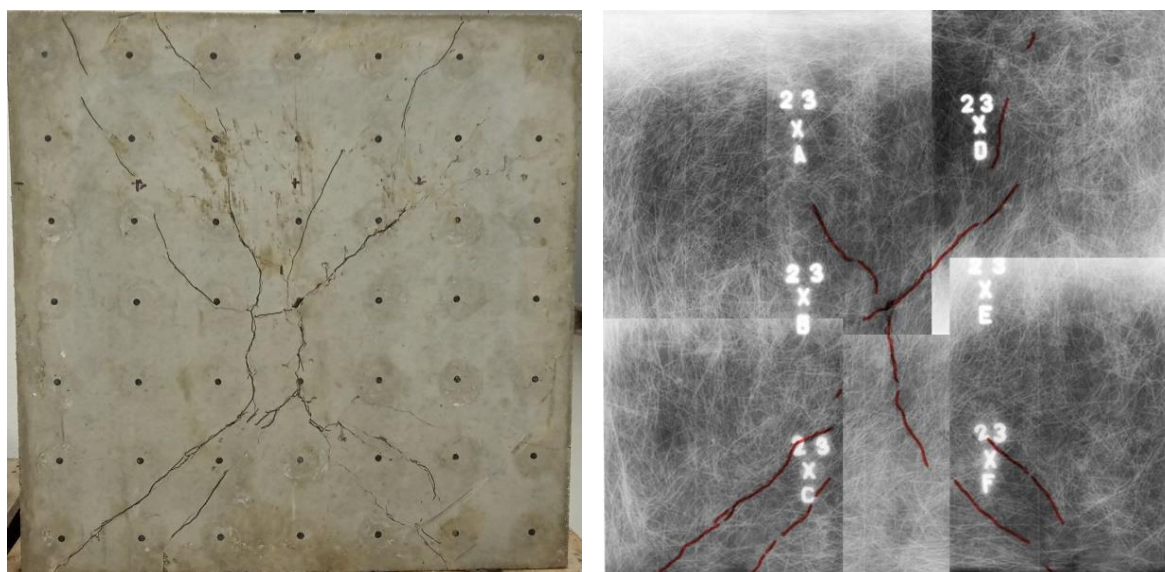
Příklad radiografické detekce trhlin v desce série 2 – drátkobeton



Obr. 233 Výsledek prozařování desky 2-3, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly

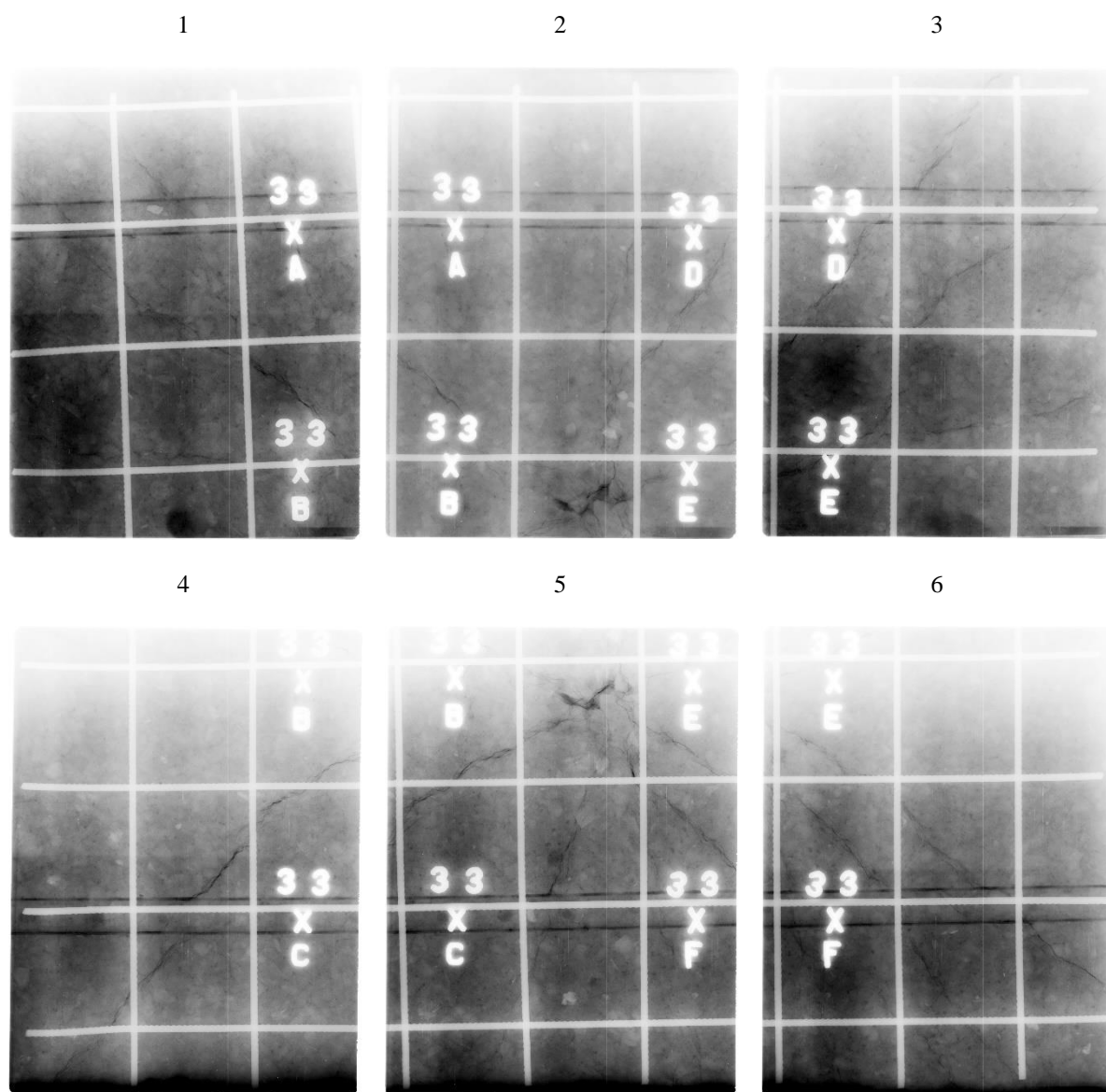


Obr. 234 Výsledek prozařování desky 2-3, finální rentgenogram vzniklý sloučením původní šestice

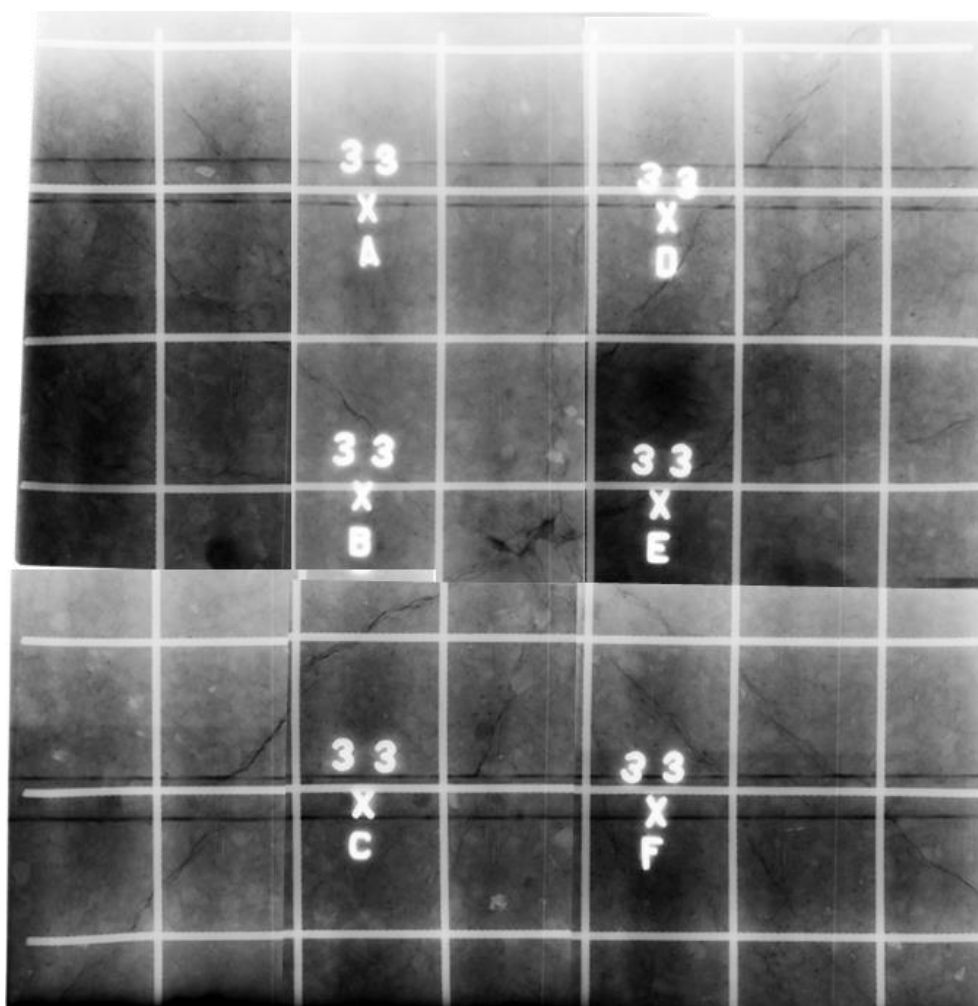


Obr. 235 Deska 2-3 s trhlinami patrnými vizuálně ve srovnání s významnějšími trhlinami zachycenými na radiogramu (na radiogramu jsou trhliny pro názornost zvýrazněny červeně)

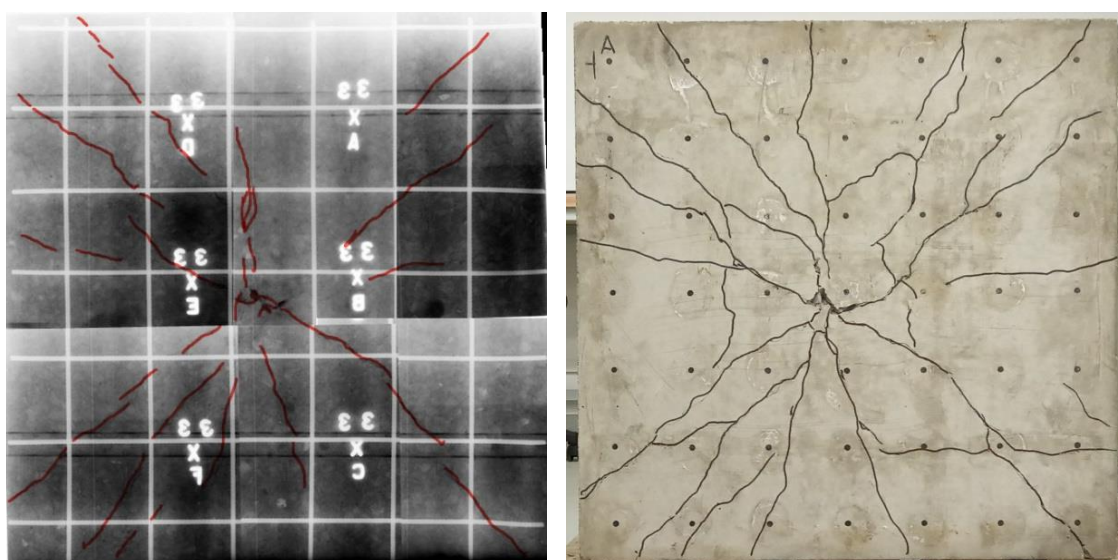
Příklad radiografické detekce trhlin v desce série 2 – železobeton



Obr. 236 Výsledek prozařování desky 2-3, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly



Obr. 237 Výsledek prozařování desky 3-3, finální radiogram vzniklý sloučením původní šestice



Obr. 238 Deska 3-3 s trhlinami patrnými vizuálně ve srovnání s významnějšími trhlinami zachycenými na radiogramu (na radiogramu jsou trhliny pro názornost zvýrazněny červeně)

9.3.6 Vyhodnocení

Rentgenografie zde opět prokázala poměrně rozsáhlé možnosti, a své účelné uplatnění v oboru stavebního zkušebnictví.

10 ZÁVĚR

Současný vývoj ve stavebnictví lze charakterizovat mimo jiné velkým zájmem o hodnocení existujících konstrukcí, zejména z důvodů rekonstrukcí či prodloužením životnosti starších objektů, a z důvodu kontroly jakosti provedení u konstrukcí nových. To platí v maximální možné míře i pro konstrukce železobetonové, či konstrukce z předpjatého betonu. Adekvátně tomu narůstá význam stavebně technických průzkumů a vlastní diagnostiky stavebních konstrukcí. V kontextu s platnými předpisy se rovněž v tomto směru zvyšuje preference nedestruktivních způsobů měření a zkoušek.

V této souvislosti je velmi pozitivním faktem, že během posledního desetiletí můžeme konstatovat oživení zájmu tradičních i nově etablovaných výrobců přístrojové techniky pro nedestruktivní zkoušky o vývoj nových a modernizaci tradičních zkušebních metod a zařízení.

V případě diagnostiky ocelové výztuže je to jednak zásadní pokrok v konstrukci elektromagnetických indikátorů, jejichž možnosti jsou dnes zcela jiné, než u předchozích generací, a zejména lze pozitivně kvitovat začlenění technologie georadaru mezi plnohodnotné metody pro diagnostiku železobetonu.

Stinnou stránkou obecného pokroku je ztráta gamagrafie v terénní diagnostice, kde hlavním důvodem je eskalace náročnosti platných bezpečnostních předpisů, která tuto metodu učinila ekonomicky a organizačně prakticky neudržitelnou.

V předchozích kapitolách bylo však jasně prokázáno, že většinu standardních požadavků, které oblast diagnostiky výztuže přináší, lze uspokojivě řešit vhodnou kombinací stávajících dostupných metod. Zde je zásadní přínos georadaru, který nejen, že pokryje v kombinaci s elektromagnetickými indikátory většinu úkolů, ale umožňuje aplikovat postupy a činnosti před jeho příchodem nedosažitelné. Gamagrafie překonává ostatní metody prakticky již jen ve dvou dílčích aspektech – v rámci stanovení polohy výztuže ve velmi komplikovaných průřezech konstrukce, s extrémní hustotou vyztužení v kombinaci s více vrstvami (železobetonové trámy), a dále při stanovení správného zainjektování předpínací výztuže. Do jisté míry i toto je příčinou, proč návrat gamagrafie do oboru nelze v dohlednu očekávat.

Na druhé straně rozvoj zobrazovacích technologií a dostupnost mobilních rentgenů umožňují dnes ve zvýšené míře ve vhodných případech využití rentgenografie.

Prakticky všechny dnes používané metody slibují navíc značné perspektivy dalšího vývoje technologie i přístrojové techniky, a tím i zvýšení jejich praktických možností. Je však nutno mít na paměti, že v oblasti detekce ocelové výztuže platí ve zvýšené míře to, co můžeme vztáhnout na celou oblast diagnostiky konstrukcí:

- Je třeba vhodně kombinovat dostupné metody, neomezit se v dané oblasti pouze na jedinou.
- Využívat moderní zařízení, které umožní využití maximálních možností dané metody.
- Nezbytná je vysoká odborná erudice personálu, provádějícího diagnostická měření, zkušenost s danými přístroji a typy konstrukcí.
- V případě nestandardních měření je žádoucí provést předchozí přípravu testy na vhodných modelech.

Takto vhodné využití optimálních postupů a technologií, ideálně využívajících NDT principu, ve výsledku zajistí kvalitní výsledky diagnostiky konstrukce a její následné adekvátní zhodnocení. Na základě současných trendů lze předpokládat další pozitivní vývoj v oboru a další rozšíření možností kvalitní diagnostiky.

11 SEZNAM LITERATURY A PRAMENŮ

- [1] ČSN ISO 138 22 Zásady navrhování konstrukcí – hodnocení stávajících konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2015.
- [2] ČSN EN 1990 Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2021.
- [3] ČSN 73 0038 Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení. Praha: ÚNMZ, 2019.
- [4] ČSN 42 0139 Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel žebírková a hladká. Praha: ÚNMZ, 2011.
- [5] ČSN EN ISO6892-1. Kovové materiály – Zkoušení tahem. Praha: ÚNMZ, 2017.
- [6] ČSN 42 0002 Číselné označování a rozdělení ocelí ke tváření. Praha: ČNI, 1976.
- [7] CIKRLE, P., ANTON, O., DANĚK, P., KUCHARCZYKOVÁ, B., MISÁK, P. NDT zkoušení ve stavebnictví, příručka kurzu CŽV. 18. Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební, VUT v Brně. 2010. ISBN: 978-80-214-4-4198-9.
- [8] HOBST, L.; ANTON, O. Zásadní změny ve využívání radiografie ve stavebnictví. 18. Štiavnické dni Zborník 2017. RNDr. Bianka Horváthová. 2017. s. 24-28. ISBN: 9788097175436.
- [9] CIKRLE, P.; ANTON, O.; HEŘMÁNKOVÁ, V. Indikátory výztuže - oživení tradiční metody. Zkoušení a jakost ve stavebnictví. Brno: VUT Brno, 2014. s. 27-36. ISBN: 978-80-214-5032-5.
- [10] Hilti [online]. [cit 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r9374764.
- [11] CIKRLE, P., Význam nedestruktivních diagnostických metod pro hodnocení železobetonových konstrukcí – habilitační práce. VUT v Brně, Brno, 2017.
- [12] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum železobetonových stěn a stropu podchodu v areálu vápenky Mokrá. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2019.

- [13] CIKRLE, P.; ANTON, O.; DANĚK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; MISÁK, P., NDT Zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČŽV., ISBN 978-80-214-4198-9, VUT v Brně FAST, Brno, 2010.
- [14] KOCÁB, D.; CIKRLE, P.; POSPÍCHAL, O.; ODEHNALOVÁ, P., Porovnání citlivosti indikátorů výztuže, příspěvek na konferenci Zkoušení a Jakost ve stavebnictví 2009, ISBN 978-80-214-3951-1, VUT v Brně, Brno, 2009.
- [15] ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí. Praha: ÚNMZ, 2012.
- [16] ANTON, O.; CIKRLE, P.; HEŘMÁNKOVÁ, V. Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech. TZB- info, 2014, roč. 2014, č. 5, s. 1-12. ISSN: 1801-4399.
- [17] ANTON, O.; ŠTAINBRUCH, J.; KORDINA, T., Rozvoj a použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí, článek v Beton TKS, ISSN 1213-3116, Beton TKS s.r.o., Praha, 2011.
- [18] CASSIDY, Nigel. 2008. Introduction to GPR. Proceedings of the Tenth International Conference on Ground Penetrating Radar. 21 - 24 June 2004, Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- [19] KORDINA, T.; KADLECOVÁ, Z.; ANTON, O., Evaluation of the Influence of a Scanning Method on the Resulting Quality of the GPR Images, příspěvek na konferenci Proceedings of the XIII International Conference on Ground penetrating Radar Lecce (Italy), 21–25 June 2010, ISBN 978-1-4244-4605-6, 2010.
- [20] CIKRLE, P.; ANTON, O.; DANĚK, P.; KUCHARCZYKOVÁ, B.; MISÁK, P., NDT Zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČŽV., ISBN 978-80-214-4198-9, Ústav stavebního zkušebnictví, VUT v Brně FAST, Brno, 2010.
- [21] Hilti [online]. [cit 2020-04-13]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r6436760.
- [22] Proceq [online]. [cit 2021-02-13]. Dostupné z: <https://www.proceq.com/compare/rebar-detection-and-cover-measurement/>.
- [23] TRONCA, G., LEHNER, S., RAJ, L., TSALICOGLU, I, MEIER, J., MENNICKE, R. Looking into concrete – multiple frequency usage in radar products to detect structural parameters and defect faster and more accurately. 15th Asia Pacific Conference for Non-

Destructive Testing, Singapore, 2017. Dostupné z:

https://www.ndt.net/events/APCNDT2017/app/content/Paper/274_Frehner.pdf.

[24] XIANG, Z., RASHIDI, A., OU, G. States of Practise and Research on Applying GF Technology for Labelling and Scanning Constructed Facilities. Journal of Performance of Constructed Facilities. Volume 33. Issue 5. American Society of Civil Engineers. Reston. USA 2019. Dostupné z : <https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/%28ASCE%29CF.1943-5509.0001313>.

[25] DROCHYTKA, R., DOHNÁLEK, J., BYDŽOVSKÝ, J., PUMPR, V., DUFKA, A., DOHNÁLEK, P. Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III, ISBN 978-80-260-2210-7, SSBK Brno, 2019.

[26] CIKRLE, P., LOUTOCKÁ, V., UCHATILOVÁ J. Průzkumy a opravy železobetonových konstrukcí meziválečného období, ISBN 978-80-7480-123-5, Národní památkový ústav, Brno, 2018.

[27] ANTON, O.; CIKRLE, P.; HEŘMÁNKOVÁ, V. Problematika současných možností diagnostiky předpínací výztuže v konstrukcích. Sborník recenzovaných příspěvků konference ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2019. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019. s. 5-14. ISBN: 978-80-214-5750-8.

[28] ČSN 73 6221 - Prohlídky mostů pozemních komunikací. Praha: ÚNMZ, 2018.

[29]. KRÁTKÝ, J., TRTÍK, K., VODIČKA, J.. Drátkobetonové konstrukce. ČKAIT Edice betonové stavitelství. Praha 1999. ISBN: 978-1-7281-4593-8.

[30] ČSN P 73 2450 Vláknobeton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, Praha: ÚNMZ, 2015.

[31] ČSN P 73 2452 Vláknobeton – Zkoušení zatvrdlého vláknobetonu, Praha: ÚNMZ, 2015.

[32] ZEZULOVÁ, E.; KOMÁRKOVÁ, T.; STONIŠ, P. Experimental Detection of Fibres Concentration in Steel Fibre Reinforced Concrete by Electromagnetic Coil. In International Conference on Military Technologies (ICMT) 2019. 2019. s. 1-5. ISBN: 978-1-7281-4593-8.

[33] HOBST, L.; BÍLEK, P. Non-destructive identification of material properties of fibre concrete: a stationary magnetic field. In ICNAAM 2015 - Proceedings. AIP conference proceedings. AIP Conference Proceedings. Melville (USA): American Institute of Physics, 2016. s. 380010-1 (380010-4 s.) ISBN: 978-0-7354-1392-4. ISSN: 0094-243X.

- [34] HOBST, L.; BÍLEK, P.; VODIČKA, J.; VALA, J. Measurement of set fibre-concrete homogeneity in finished steel fibre-concrete structure of segmental tunnel lining. *Advanced Materials Research*, 2015, roč. 2015, č. 1106, s. 41-44. ISSN: 1022-6680.
- [35] KOMÁRKOVÁ, T.; ANTON, O.; STONIŠ, P.; DUBEC, B. NDT Method for the Assessment of Homogeneity of Steel Fibre Reinforced Concrete. In *International Conference on Military Technologies (ICMT) 2019*. 2019. s. 1-4. ISBN: 978-1-7281-4593-8.
- [36] ZEZULOVÁ, E.; KOMÁRKOVÁ, T.; HASILOVÁ, K.; STONIŠ, P.; ŠTOLLER, J.; ANTON, O. NDT Methods Suitable for Evaluation the Condition of Military Fortification Construction in the Field. *Applied Sciences - Basel*, 2020, roč. 10, č. 22, s. 1-16. ISSN: 2076-3417.
- [37] GA103/06/0891 Metodika zkoušení masivních železobetonových konstrukcí. Závěrečná zpráva. Brno. 2008.
- [38] ANTON, O., Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Brno. 2009.
- [39] ANTON, O. Radiografie Co60 – identifikace dutin, možnost ověření správnosti zainjektování předpínací výztuže. In *Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2009*. Brno: VUT v Brně, 2009. s. 47-55. ISBN: 978-80-214-3951-1.
- [40] ANTON, O.; NĚMCOVÁ, H. Možnost identifikace ocelové výztuže v železobetonu radiografickou kontrolou pomocí CO60. In *Konference Construmat 2007*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007. s. 36-41. ISBN: 978-80-248-1536-7.
- [41] ANTON, O. Radiografická kontrola výztuže pomocí Co60 možnost přesného určení typu výztuže v závislosti na prozařované tloušťce. In *Konference Zkoušení a jakost ve stavebnictví 2007*. Praha: ČVUT v Praze, 2007. s. 145-150. ISBN: 978-80-01-03794-2.
- [42] ANTON, O.; SVOBODA, D. The Possibility of Identification of the Reinforcement in Concrete Using by Radiographic Checking with Co60. In *International Topical Meeting VVER 2007*. Praha: UJV, 2007. p. 1-6. ISBN: 978-80-02-01980-0.
- [43] CIKRLE, P., ANTON, O. Zpráva o průzkumu vyztužení 4 podlažní železobetonové haly v Otrokovicích – objekt 63 a, Obaly Morava – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2016.

- [44] ANTON. O. ZPRÁVA o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. 50-003..2 (levý most) přes komunikaci 373 – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2018.
- [45] ANTON. O. ZPRÁVA o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. 50-003..1 (pravý most) přes komunikaci 373 – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2018.
- [46] ANTON. O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D1-237..2 přes řeku Svitavu – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2018.
- [47] CIKRLE, P., ANTON, O., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stanovení vyztužení vybraných prvků železobetonové konstrukce PAVILONU Z v areálu BVV – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2014.
- [48] ANTON, O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D2-058..2 (Levý most) u Lanžhota – 9. až 12. pole – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2021.
- [49] ANTON. O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum objektu rozvodny E.ON Husovice – závěrečná zpráva. Brno. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2020.
- [50] ANTON, O., BAŽANT, Z., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavební průzkum budovy 33 v areálu Fatra Napajedla – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2013.
- [51] CIKRLE, P., ANTON, O. Průzkum železobetonové stropní desky a železobetonového průvzlaku v objektu Mincovny v Kroměříži – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2013.
- [52] ANTON. O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum stropu v objektu Feronu v Brně – pro akci Statické zabezpečení Feronu, II. Etapa – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2017.
- [53] CIKRLE, P., ANTON, O., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavební průzkum v objektu OC Union – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2014.

- [54] CIKRLE, P., ANTON, O., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavební průzkum stěn silážního žlabu v Dlouhé vsi u Rychnova nad Kněžnou – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2014.
- [55] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Nedestruktivní stanovení vyztužení stropních konstrukcí na objektu hotelu Myslivna v Brně – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2020.
- [56] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum objektu B26 v areálu Fatra Chropyně – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2015.
- [57] CIKRLE, P., ANTON, O., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stanovení vyztužení vybraných prvků železobetonové konstrukce PAVILONU Z v areálu BVV – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2014.
- [58] ANTON, O., BAŽANT, Z., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavební průzkum budovy 33 v areálu Fatra Napajedla – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2013.
- [59] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum stropu v objektu Feron v Brně – pro akci Statické zabezpečení Feron, II. Etapa – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2017.
- [60] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum budovy č. p. 329 v Osvětimanech – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2019.
- [61] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum objektu č. 24 (tzv. třítážovka) v areálu Fatra Napajedla – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2016.
- [62] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum objektu č. 27 (tzv. velká pětítážovka) v areálu Fatra Chropyně – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2016.
- [63] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Stavebně technický průzkum objektu B26 v areálu Fatra Chropyně – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2015.

- [64] VÍTEK, J. Historie předpjatého betonu. INFORMAČNÍ CENTRUM ČKAIT s.r.o., Praha 2016. ISBN: 978-80-87438-84-8.
- [65] ANTON, O.; CIKRLE, P.; HEŘMÁNKOVÁ, V. Problematika současných možností diagnostiky předpínací výztuže v konstrukcích. Sborník recenzovaných příspěvků konference ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2019. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019. s. 5-14. ISBN: 978-80-214-5750-8.Brno.
- [66] Armovací výkresy nosné konstrukce mostu ev. č. 57-008 u Holasovic, fragmenty výkresové dokumentace, 1950.
- [67] Zpráva o výsledcích průzkumu silničního mostu ev. č. 57-008 u Holasovic, Technický a zkušební ústav stavební v Praze, Brno 1991.
- [68] Zpráva o radiografické a NDT kontrole železobetonového mostu ev. č. 57-016 v obci Holasovice před Opavou– závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Středisko radiační defektoskopie, Brno 2011.
- [69] Zpráva o diagnostickém průzkumu smykové výztuže (ohybů) trámů nosné konstrukce mostu na silnici I/57 v Holasovicích, ev. č. 57-016 – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Středisko radiační defektoskopie, Brno, 2014.
- [70] Silnice I/57 Holasovice, Most ev. č. 57-016 c – stavební část. Ing. Pavel Kurečka Mosty s.r.o., Brno 2011.
- [71] CIKRLE, P., ANTON, O., HEŘMÁNKOVÁ, V. Zpráva o průzkumu balkonů bytového domu na Sadové ul. č. 571 v Modřicích – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2014.
- [72] LÁNÍK, J., ANTON, O., CIKRLE, P., ŽÍTT, P. Diagnostika vybraných prvků železobetonové jeřábové dráhy – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2016.
- [73] ANTON, O.; HEŘMÁNKOVÁ, V. Průkazné stanovení vyztužení železobetonové konstrukce a vhodné NDT metody. TZB-info, 2017, roč. 9, č. 2017, s. 1-6. ISSN: 1801-4399.
- [74] ANTON, O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu D2-058..1 u Lanžhota – závěrečná zpráva. Zář 2021.

- [75] ANTON, O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D1-237..2 přes řeku Svitavu – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2018.
- [76] ANTON, O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu D1-226.1 u Ostopovic – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2019.
- [77] ANTON, O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu D1-227.2 u Ostopovic – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2019.
- [78] ANTON, O. Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D1-230..1 přes místní komunikaci u Starého Lískovce – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2019.
- [80] LÁNÍK, J., ANTON, CIKRLE, P., O., ŽÍTT, P., NIEDOBA, J., LISTWAN, D. Diagnostika mostního objektu ev. č. 324-018 most Pavla Wonky přes Labe v Pardubicích – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2019.
- [81] ANTON, O. Zpráva o radiografickém průzkumu plastiky Pieta – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2018.
- [82] ANTON, O.; VÍTEK, L.; HEŘMÁNKOVÁ, V.; KOMÁRKOVÁ, T.; CIKRLE, P. Detection of reinforcement in the non-traditional building structures – historical statues. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Bristol: IOP Publishing, 2018. s. 1-7. ISSN: 1757-8981.
- [83] ANTON, O., CIKRLE, P., HEŘMÁNKOVÁ, V. Rentgen betonové sochy Torzo ženy – závěrečná zpráva. Vysoké učení technické v Brně, Ústav stavebního zkušebnictví, Brno, 2018.
- [84] Drobné památky [online]. [cit 2021-04-14]. Dostupné z: <https://www.drobnepamatky.cz/node/24238>.
- [85] ZEZULOVÁ, E.; KOMÁRKOVÁ, T.; HASILOVÁ, K.; STONIŠ, P.; ŠTOLLER, J.; ANTON, O. NDT Methods Suitable for Evaluation the Condition of Military Fortification Construction in the Field. Applied Sciences – Basel, 2020, vol. 10, no. 22, p. 1-16. ISSN: 2076-3417.

12 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí [1]	17
Obr. 2 Gamagrafický kryt TECH/OPS se zářičem CO60, na transportním vozíku s hadicemi ovládacího zařízení (vlevo) [7] a technický rentgen YXLON SMART 300kV (vpravo)	29
Obr. 3 Rotační laserový Scanner Dürr pro sejmutí obratu z paměťových folií.....	31
Obr. 4 Radiogram zachycující obraz výztuže v železobetonovém trámu uprostřed rozpětí – výztuž je uložena ve dvou vrstvách, nicméně díky pronikavost záření gama jsou všechny pruty detekovatelné	32
Obr. 5 Radiogram zachycující obraz výztuže v železobetonovém trámu technikou bočního prozařování (viz. Obr. 10) – na radiogramu jsou zachyceny pruty hlavní výztuže u spodního líce v blízkosti podpory, z nichž jeden pokračuje do podpory rovně, jeden se ohýbá dolů podél zešíkmení náběhu a vlevo je zachycen poslední ze smykových ohybů. Současně jsou dobře patrné dva třmínky přes celou šířku trámu	32
Obr. 6 Radiogramy téhož prvku (železobetonový prefabrikát tloušťky 70 mm vyztužený pruty výztuže Roxor 8 mm, Nahoře gamagram, dole rentgenogram, je dobře patrná výrazně vyšší jakost rentgenogramu	33
Obr. 7 Prozařování trámu do šířky 250 mm [7]	35
Obr. 8 Prozařování trámu o šířce nad 250 mm [7]	35
Obr. 9 Prozařování trámu – zjištění výztuže nad podporou [7].....	35
Obr. 10 Prozařování trámu – zjištění polohy smykové výztuže [7]	35
Obr. 11 Prozařování desky – do tloušťky 350 mm [7].....	35
Obr. 12 Prozařování desky – nad 350 mm [7].....	35
Obr. 13 Schéma principu vyhodnocování radiografické kontroly výztuže: 1 - první ohnisko prozařování, 2 - druhé ohnisko prozařování, 3 - železobetonová deska, 4 - prut ocelové výztuže, 5 - olovené značení, 6 - radiografický film z první expozice, 7 - radiografický film z druhé expozice [7]	37
Obr. 14 Příprava prozařování železobetonového průvzlaku uprostřed rozpětí [7]	38

Obr. 15 Detail místa prozařování s patrnou kazetou s radiografickým filmem, hadice pro vysunutí zářiče zasunutá do předvrtaného otvoru [7]	38
Obr. 16 Jeden z radiogramů, patrné 4 z hlavních výztuží, dobře jsou viditelné olovené značky [7]	38
Obr. 17 Výsledné vyhodnocení polohy výztuže [7]	38
Obr. 18 Experimentálně získaný nomogram pro beton a rentgen YXLON SMART 300HP v kombinaci s paměťovými foliemi Dürr [8]	41
Obr. 19 Příklad využití rentgenografie při diagnostice historické plastiky – ruka sochy Archanděla Gabriela z Malenovic, rentgenografie stanovila způsob někdejší opravy poškozeného díla vložením částí ocelových výztuží.....	41
Obr. 20 Rentgenografie hlavy plastiky Krista (Fakulta architektury VUT v Brně), patrné prostorové detaily a vyztužení připojení drapérie trnové koruny	42
Obr. 21 Příklad cílené sekané sondy pro určení typu výztuže – sloup a konzoly jeřábové dráhy	43
Obr. 22 Příklad rozsáhlé sekané sondy na trámu, pro určení výztuží ve druhé vrstvě by musela být sonda podstatně rozsáhlejší	43
Obr. 23 Proceq Profometer PM 630, s oddělenou měřicí sondou. Profometer PM-6 s dotykovým displejem a integrovanou sondou; svítící šipky na sondě pomáhají lokalizovat výztuž, na displeji lze ihned kontrolovat správnost měření pomocí křivek intenzity signálu [9].....	44
Obr. 24 Hilti PS300 Ferroskan se sondou integrovanou s vyhodnocovací jednotkou a displejem [10]	44
Obr. 25 Příklad záznamu přístroje PM-630 z měření polohy hlavní výztuže ve stěně železobetonového podchodu v areálu vápenky Mokrá - liniový sken hlavní výztuže ve stěně s nedestruktivním měřením průměru výztuže. Krytí výztuží: 24 až 40 mm. Průměr: naměřený 12-14 mm, skutečný (ověřený sondou) 12 mm. Mírná disproporce v naměřených hodnotách jde na vrub druhu výztuže TOR 30 se spirálovitě kroucenými podélnými žebry, která opticky (i elektromagneticky) rozšiřují průměr výztuže [12].....	46
Obr. 26 Dvě ukázky georadarových skenů tzv. radarogramů – s charakteristickými projevy prutů ocelové výztuže v železobetonu, kdy polohu výztuží určujeme z vrcholů hyperbolických zobrazení odrazů radarového signálu v radarogramu. V obou případech byly do vrcholů	

odrazových hyperbol pro názornost vloženy černé tečky označující skutečnou polohu detekovaných výztuží [20].....	51
Obr. 27 Ukázka experimentálního měření na mostní podpěře anténním systémem 500 MHz [17]	52
Obr. 28 Vlastní georadarová sonda Hilti PS1000 X-scan má relativně malé rozměry (310 × 180 × 150 mm), opatřená displejem pro okamžitou vizualizaci skenů (vlevo). Výrobce alternativně dodává k sondě terénní tablet pro možnost rozsáhlejšího vyhodnocení skenů v terénu (vpravo) [21].....	53
Obr. 29 Liniové skenování na boku průvlaku železobetonové konstrukce a výstup v podobě softwarem upraveného skenu, který je v horní části tvořen pohledem na skenovanou dráhu sestaveným z údajů trojice antén, v dolní části pak podélným řezem vycházejícím z původního radarogramu s odrazovými hyperbolami	54
Obr. 30 Plošné skenování na rastru 1200 × 1200 mm přilepeném na povrch konstrukce železobetonové stěny, a výstup v podobě softwarem upraveného skenu, který je tvořen pohledem na skenovanou plochu a řezy ve dvou na sebe kolmých rovinách	55
Obr. 31 3D výstupy plošných skenů lze s výhodou využít při vyhodnocování prostorově náročnějších vyztužení, lze je libovolně prostorově otáčet či naklápět (zde sken 600 × 600 mm na spodním líci předpjatého mostního nosníku typu I, se zachycenou předpínací i konstrukční podélnou výztuží)	55
Obr. 32 Rastr pro skeny 600 × 600 mm vytištěný na plastovou desku, užitý při skenování předpjatých nosníků I na mostní konstrukci.....	56
Obr. 33 Sonda Proceq GPR Live s připojeným Apple iPad [22]	57
Obr. 34 Na obrázku je viditelné, že rozměrově je velmi obdobná sondě Hilti PS1000 X-scan	58
Obr. 35 Předpjatý mostní nosník, příklad návrtu k ocelové chráničce Sandrik, vylomení vývrtu a průraz chráničky až ke kabelu plus provedení fenolftaleinového testu. Současná běžná praxe kontroly zainjektování a stavu předpínací výztuže [27].....	65
Obr. 36 Radiogram trojice předpínacích výztuží v mostním nosníku, na jednom z kabelových kanálků je zřetelné nezainjektování (dole)	66

Obr. 37 Vlevo záznam lokalizace dvojice kabelových kanálů UZ sondou Proceq Pundit PL-200 PE, uprostřed a vpravo záznam plošného skenu radarem Proceq GPR Live. Výstupy naznačují patrný rozdíl mezi zainjektovaným a nezainjektovaným kanálem (nahore) a pravděpodobnou možnost využití modifikace těchto metod a zařízení (samozřejmě s ohledem např. na přítomnost ocelové chráničky a podobně) [27]	67
Obr. 38 Rentgenogram experimentálních zkušebních desek rozměrů 150 × 150 × 75 mm s drátky Dramix různých koncentrací, pro testování elektromagnetické sondy vyvíjené na VUT v Brně	70
Obr. 39 Krabicové modely s libovolně měnitelnou polohou výztuže (vlevo), a alternativní krabicový model simulující vyztužení konkrétního reálného prvku (vpravo)	72
Obr. 40 Testování možností georadaru Hilti PS1000 X-scan na fyzikálním modelu: Nahore uspořádání modelu před vyplněním pískem v jedné z testovaných konfigurací výztuže, uprostřed model vyplněný křemičitým pískem a měření po překrytí sololitovou deskou a měřícím rastrem, dole výstupy z měření ve 2D a 3D provedení pro další analýzy	74
Obr. 41 Dvojice masivních testovacích bloků v areálu Fakulty stavební VUT v Brně. Levý blok obsahuje vybrané nehomogeneity, pravý je z prostého betonu pro srovnávací měření	76
Obr. 42 Schéma masivního bloku s rozmístěním výztuží a různých typů nehomogenit [37]..	76
Obr. 43 Příklad malé železobetonové desky – 600 × 400 × 70 mm, model spodní části průvlaku v konkrétním železobetonovém monolitickém skeletu	77
Obr. 44 Model spodní části jedné z variant předpjatého nosníku KA-73, vyztužená podle typového výkresu (včetně měkké konstrukční výztuže), model je součástí celé série totožných modelů, lišících se zainjektováním kabelových kanálků.....	78
Obr. 45 Součásti testovací dráhy pro radiografii v ozařovně Ústavu stavebního zkušebnictví FAST VUT v Brně	79
Obr. 46 Sloup obdélníkového průřezu s přístupnými dvěma stranami. Pro aplikaci plošného radarového skenu je vhodné použít pevnou podložku s natištěným skenovacím rastrem	81
Obr. 47 Dvojice horizontálních skenů na sousedních stěnách sloupu se zobrazením hlavní nosné výztuže (nahore) a vertikální liniový sken od paty sloupu vzhůru, zachycující třmínky (dole)	82

- Obr. 48 Plošný radarový sken formátu 600 x 600 mm pořízený na bočním líci sloupu potvrdil předchozí zjištění liniových skenů, a upřesnil zásadní sklon třmínek vzniklý patrně deformací armokoše při umístění do bednění. Tomuto faktu napovídá i rozdílné krytí hlavních výztuží (armokoš byl patrně umístěn do sloupu obdélníkového půdorysu otočený o 90 stupňů) 83
- Obr. 49 Příklad horizontálních skenů na stěnách čtvercového sloupu (železobetonová hala v Otrokovicích – objekt 63a, firmy Obaly Morava). Na skenech je zachycena hlavní výztuž sloupu ve výšce cca 1,4 m nad podlahou na všech čtyřech stranách sloupu, krytí včetně omítky bylo proměnlivé od 30 mm do 60 mm [43]..... 84
- Obr. 50 Složením liniových skenů získáme řez sloupem ve výšce cca 1,4 m nad podlahou s jasně patrnou polohou osmi zjištěných prutů hlavní výztuže [43]..... 84
- Obr. 51 Čtveřice pilířů mezilehlých podpěr mostů ev.č. 50-003..1 a 50-003..2 v Brně, dokumentující opakující se deformaci armokošů a jejich „přiražení“ do jednoho rohu bednění [44-45] 85
- Obr. 52 Čtveřice pilířů mezilehlých podpěr mostů ev.č. D1-237..2 v Brně, dokumentující opakující se deformaci armokošů a jejich „přiražení“ do jednoho rohu bednění [46]..... 85
- Obr. 53 Měření hlavní výztuže na sloupech nesoucích galerii ve 2. NP Pavilonu Z na Brněnském výstavišti bylo prováděno s mírným pozvednutím čelní části sondy, sonda i v tomto režimu poskytuje relevantní zobrazení polohy hlavních výztuží..... 86
- Obr. 54 Typický výstup měření na kruhovém sloupu – radarogram v podobě rozvinutého kruhového pláště. Sloup obsahoval celkem 8 hlavních výztuží s proměnlivým krytím. Takovéto proměnlivé krytí (kdy na rozvinutém plášti sloupu připomíná linie vedená výztužemi sinusoidu) je pro kruhové sloupy typické. Je důsledkem excentrického umístění armokoše v bednění 87
- Obr. 55 Pro srovnání – adekvátní záznam provedený elektromagnetickým indikátorem Proceq Profometer PM-630. Zde sonda umožnila i stanovení průměru vybraných výztuží, ale měření je podstatně komplikovanější, neboť sonda se musela pohybovat na sloupu de facto po spirále, dané linií ovíjených třmínek s malou roztečí. Tento problém technologie radaru nemá 87
- Obr. 56 Masivní sloupy mezilehlé podpory mostu ev.č. D2-058..2 u Lanžhota s průměrem 1600 mm umožňují již standardní provádění liniových skenů (nahore). Radarový liniový sken vedený po obvodu sloupu ve výšce cca 1500 mm nad terénem (dole). Na skenu je patrné 42 prutů hlavní

- výztuže (krytí cca 50 – 170 mm). Jak je patrné z linie proložené výztužemi v „řezové“ části skenu, ani tomuto sloupu se nevyhlo excentrické umístění armokoše v bednění [48]..... 88
- Obr. 57 Sloupy rozvodny velmi vysokého napětí o průměru v místě měření 325 mm (nahore). Liniový radarový sken pořízený horizontálně po obvodu sloupu ve výšce cca 1200 mm jasně ukázal 10 prutů hlavní výztuže [49] 89
- Obr. 58 Budova 33 areálu Fatra Napajedla ze 30. let 20. století (nahore) a radarový sken provedený po obvodu sloupu, obsahujícího svod srážkové vody. Sken zobrazuje 8 výztuží a pod nimi linii pláště svodu. I svod je umístěný ve sloupu excentricky, proto linie v „řezové“ části radarogramu, která zobrazuje průběh pláště svodu pod povrchem sloupu, má tvar „sinusoidy“ [50] 90
- Obr. 59 Radarový liniový sken vedený po obvodu sloupu mezilehlé dilatační podpory mostu ev.č. D2-058..2 ve výšce cca 1500 mm nad terénem. Na skenu jsou patrné pruty hlavní výztuže s víceméně pravidelnými roztečemi cca 130 mm a krytím 80 – 120 mm (nahore). Celkový počet výztuží není možné určit díky delaminaci betonu a výskytu přidané výztuže v místě sanace (ve střední části sanace). Linie delaminace je dobře patrná na spodním výřezu skenu (dole) [48] 91
- Obr. 60 Mincovna Kroměříž – plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm stropní železobetonové desky, pořízený shora přes skladbu podlahy. Zde zobrazení nastaveno tak, aby v pohledové části skenu byly zobrazeny objekty mezi povrchem a hloubkou 100 mm. Na skenu jsou v této oblasti vidět dvě vodovodní trubky umístěné ve vyrovnávacím betonu podlahy v hloubce cca 60 mm. Na dolním řezu jsou vidět i dvě vrstvy vyrovnávacího betonu a v hloubce cca 100 mm horní strana betonové desky..... 94
- Obr. 61 Mincovna Kroměříž – plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm stropní železobetonové desky, pořízený shora přes skladbu podlahy. Zde zobrazení nastaveno tak, aby v pohledové části skenu byly zobrazeny objekty mezi hloubkami 100 a 200 mm. Na skenu je v této oblasti patrná horní výztuž železobetonové desky, v hloubce cca 140 mm 94
- Obr. 62 Mincovna Kroměříž – plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm stropní železobetonové desky, pořízený shora přes skladbu podlahy. Zde zobrazení nastaveno tak, aby v pohledové části skenu byly zobrazeny objekty mezi hloubkami 200 a 300 mm. Na skenu je v této oblasti patrná dolní výztuž železobetonové desky, v hloubce cca 290 mm 95
- Obr. 63 Příklad radarového skenu desky v místě sondy D1 v rámci stavebně technického průzkumu stropu v objektu Ferona v Brně, ze spodního líce. Na skenu je zachycena poloha

hlavních výztuží v desce, a současně řezová část skenu zachycuje odraz zadní strany desky, a vymezuje tím tloušťku desky cca 90 mm [52].....	96
Obr. 64 Využití největšího plošného radarového skenu formátu 1200 × 1200 mm na kontrolu vyztužení sanace stropu v objektu Minaretu v Lednicko-Valtickém areálu, Tentýž sken je zobrazen tak, že v levé verzi zobrazuje v pohledu vyztužení svařovanou sítí 150 × 150 mm v oddělených blocích (v hloubce cca 30 mm) a pravá verze zobrazuje spodní vyztužení stropu opět nakladenými svařovanými sítěmi 100 × 100 mm) hloubka cca 180 mm.....	97
Obr. 65 Dvojice radarových skenů 1200 × 1200 mm (nahore) pořízená z horní strany železobetonové desky Nákupního centra na Vídeňské ulici v Brně. Uprostřed půdorys stropu s vyznačením ploch obou skenů (H1-2 a H1-1) a výkresem zjištěné výztuže, dole sekaná sonda S1 v místě skrytého průvlaku a výkres vyztužení (řez) v místě sondy. Ve skenech je vyztužení jednoznačné, s výjimkou skrytého průvlaku, kde jsou jednotlivé výztuže díky nahuštění obtížně detekovatelné [53]	99
Obr. 66 Situace z předchozího obrázku může být vhodnou indikací k využití 3D výstupu skenu při analýze vyztužení. Příklad 3D zobrazení skenu, s dobře patrnými ohyby některých zeleně znázorněných výztuží [53].....	100
Obr. 67 Silážní žlab, jehož stěny jsou tvořeny železobetonovými prefabrikáty ve tvaru písmene L, se základnou překrytou deskou z drátkobetonu. Zde porušená část jihozápadní stěny silážního žlabu v délce 30 m. Vpravo za cisternou je patrný výrazný zlom stěny. Vpravo detail jedné z poruch mezi prefabrikáty č. 21 a 22 při pohledu z vnitřní strany	101
Obr. 68 Schematické znázornění polohy měřených míst na vnitřní (vlevo) a vnější (vpravo) části obvodových prvků, a na obou stranách vnitřního prvku. Spáry mezi prvky jsou zvýrazněny červenou plnou čarou.....	102
Obr. 69 Vlevo panel č. 35 ve střední stěně silážních žlabů z jihozápadní strany – probíhající plošné radarové skenování, vpravo výsledek plošného skenování	102
Obr. 70 Nahore liniové skeny v úrovních b a c a dole výztuž detekovaná elektromagnetickým indikátorem vyznačená na povrch prvku.....	103
Obr. 71 Stavebně technický průzkum stěn výběhu medvědů v ZOO Brno (tzv. Kamčatská chalupa) - příklad složení plošných skenů formátu 600 × 600 mm a liniového skenu v délce 8 m, zachycující vyztužení svařovanými sítěmi, místy se překrývajícími	104

- Obr. 72 Stropní panel v Hotelu Myslivna v Brně šířky 1200 mm. Radarový liniový sken vedený ze spodního líce napříč stropním panelem uprostřed rozpětí. Na skenu je patrných 6 hlavních výztuží, a v části řezu i vrcholy 5 dutin v panelu, které však software zpracoval v místě průsečíků odrazových hyperbol vytvořených váztužení a vrcholy dutin jako další výztuže (nahore). Ve středu tentýž sken, pro názornost je v části řezu výztuž vyznačena černě a dutiny bíle, a dole výsledné reálné vykreslení vyztužení [55]..... 105
- Obr. 73 Výškový objekt Šumavská Brno, záznam liniového skenu přístrojem PS1000 napříč stropním panelem od spodního líce. Dobře jsou patrné jednotlivé ocelové výztuže a vrcholy dutin v panelu, ne okrajích skenu jsou ještě zachyceny krajní výztuže sousedních panelů (nahore). Dole tentýž sken oříznutý na rozměr stropního panelu, se zvýrazněnými výztužemi (černá) a dutinami (bílá) 106
- Obr. 74 Sken z předchozího obrázku, kde softwarem nezpracovaná data v „řezové“ části skenu přesně napoví, jak software vytváří zobrazení fiktivní výztuže namísto dutin, v místě vrcholů odrazových hyperbol, případně v místě jejich protínání. Nahore surová data, dole usměrněné vlny 106
- Obr. 75 Výsledky měření hlavní výztuže přístrojem HILTI PS 1000 uprostřed rozpětí průvlaku S1-1. U spodního líce je registrováno v souladu s výkresovou dokumentací 5 prutů výztuže (značeno 1 až 5), projev odrazu radarových vln na okraji prvku je označen 0. Typ a průměr výztuží byl ověřen cílenou sekanou sondou 109
- Obr. 76 Výsledky měření hlavní výztuže přístrojem HILTI PS 1000 u podpory průvlaku S3-1. U spodního líce jsou registrovány v souladu s výkresovou dokumentací 4 pruty výztuže, je patrný i rozdíl průměrů. (značeno 1 a 2), projev odrazu radarových vln na okraji prvku je označen 0. Uprostřed řezu je zachycen jeden z ohybů hlavní výztuže. Typ a průměr výztuží byl ověřen cílenou sekanou sondou..... 109
- Obr. 77 Liniový radarový sken napříč průvlakem v objektu Paláce Jalta v Brně ze spodního líce, jasně patrných 8 výztuží u spodního líce, bohužel technologie radaru při tak hustém vyztužení neumožňuje zobrazení výztuží ve 2. řadě – jsou sice z části na skenu zobrazeny, ale díky malým roztečím a vzájemným zakrytím je sken téměř nevyhodnotitelný. Šířka průvlaku je 500 mm..... 110
- Obr. 78 Pavilon Z na Brněnském výstavišti – základem diagnostiky výztuže žeber se stalo liniové skenování radarem zesponu prvků (nahore). Dole záznam liniového radarového skenu

napříč žebrem u spodního líce, na pravém obrázku zvýrazněna poloha hlavní výztuže, krajní pruty jsou méně rozeznatelné vlivem okrajového efektu odrazu [57].....	111
Obr. 79 PAVILON Z Brněnského výstaviště – příklad provádění plošného skenu z boku žebra, problém činil malý rozměr prvku, zejména jeho výška (vlevo). Vpravo radarogram s dobře patrným ohybem hlavní výztuže [57].....	112
Obr. 80 PAVILON Z Brněnského výstaviště – příklady provádění plošného skenu z boku průvlatku, i zde činila problém malá výška prvku. Vpravo radarogram s dobře patrným ohybem hlavní výztuže [57].....	113
Obr. 81 Průvlak šířky 300 mm v 1.NP objektu 33, Fatra Napajedla, vpravo plošný radarový sken 600 × 600 mm ze spodního líce průvlatku zachytil 650 mm od kraje sloupu jeden ohyb hlavní výztuže. Vpravo řez průvlakem v místě skenu [58].....	113
Obr. 82 PAVILON Z Brněnského výstaviště – záznamy liniového radarového skenu podél bočního líce žebra, horní sken je nastaven tak, aby zobrazoval třmínky, dolní sken tak, aby zobrazil ohyby smykové výztuže [57].....	114
Obr. 83 Díky okamžité vizualizaci výsledků měřené na displeji radarové sondy je možné například okamžitě zakreslení polohy ohybů na povrch prvku pro další činnosti [59].....	115
Obr. 84 Budova č. p. 329 v Osvětimanech, Příklad liniového radarového skenu pořízeného vodorovným pojezdem na bočním líci průvlatku přístrojem Hilti PS1000, na skenu je dobře patrná poloha třmínků a jednoho ohybu hlavní výztuže (šikmý prvek v horní - pohledové části skenu) – u třmínků je v „řezové“ části skenu patrné, že jsou čtyřstržné – jsou patrné dvě ze čtyř svislých řad – druhé dvě jsou patrné na skenu z protilehlého boku průvlatku [60].....	116
Obr. 85 PAVILON Z na Brněnském výstavišti - záznam měření roztečí a krytí třmínků v žebře elektromagnetickým indikátorem včetně průměru prutu [57].....	116
Obr. 86 Příprava místa provádění vývrtu v průmyslovém objektu, radarová sonda Hilti PS1000 X-SCAN umožňuje na displeji okamžitou vizualizaci plošného skenu a rozhodnutí pro místo vrtání.....	117
Obr. 87 Typový výkres prvku KA-67 pro délku 12 m, vlevo řez v čele prvku, vpravo uprostřed rozpětí [65].....	119
Obr. 88 Radarové skeny (radarogramy) pořízené ze spodní strany nosníku KA-67 přibližně uprostřed rozpětí. Vlevo liniový sken napříč nosníkem, zachycuje všech 11 předpínacích kabelů	

u spodního líce včetně těch ve druhé vrstvě. Na pravém obrázku je ověřovací plošný sken 600 × 600 mm v témže místě, zachycující totožné kabely a třmínky [65].....	120
Obr. 89 Typový výkres nosníku I (řez uprostřed rozpětí) [65]	121
Obr. 90 Vlevo liniový radarový sken ze spodního líce, zachycující spodní trojici předpínacích kabelů a všechnu podélnou měkkou výztuž v prvku, vpravo ověřovací plošný sken 600 × 600 mm v témže místě. Dole tentýž plošný radarový sken formátu 600 × 600 mm pro názornost v provedení 3D v různém naklopení. Veškerá výztuž je jasně patrná [65].....	122
Obr. 91 Typový výkres nosníku DS-A, vlevo řez na konci nosníku, uprostřed nad mezilehlou podpěrou (vzpěrou) a vpravo uprostřed středního pole [65]	123
Obr. 92 Radarové skeny pořízené z bočního líce nosníku DS-A cca 3 m od kraje nosníku. Skeny zachytily kromě měkké výztuže 4 a 3 předpínací kabely. Zbývající dva kabely nebylo možné detekovat kvůli rozšířené horní partii nosníku. V partiích nosníku nad mezilehlými podpěrami ze stejného důvodu bylo reálné zachytit vždy na každé straně jen jeden až dva spodní kabely [65].....	123
Obr. 93 Silniční most ev.č. 57-016 přes místní vodoteč u obce Holasovice u Opavy, stav k srpnu 2011	125
Obr. 94 Silniční most ev.č. 57-016 přes místní vodoteč u obce Holasovice u Opavy – podélný a příčný řez mostem [70].....	125
Obr. 95 Původní deklarované výsledky stanovení vyztužení v trámech mostu z roku 1991 [67]	127
Obr. 96 Nově radiograficky stanovené vyztužení krajního trámu uprostřed rozpětí. [68].....	129
Obr. 97 Celkový pohled a detail umístění měřicího rastru při jednom ze série měření na bočním líci krajního trámu	130
Obr. 98 Příklad jednoho z radarových skenů s jasně zobrazenou polohou hlavních nosných výztuží (zde ohybem jedné z nich), třmínků i vodorovné konstrukční výztuže. Výsledek je možné zobrazit pro názornost v plnohodnotném 3D zobrazení s možností libovolné prostorové rotace	130
Obr. 99 Další z radarových skenů s jasně zobrazenou polohou hlavních nosných výztuží (a ohybem dvou z nich), třmínků i vodorovné konstrukční výztuže. Zde je demonstrována možnost zobrazení v kompletním 2D (na celou hloubku dosahu radaru), vedle adekvátní 3D	

a dole trojice zobrazení téhož skenu, se separátním zobrazením třmínků a konstrukční výztuže u povrchu, ohybu cca 80 mm pod povrchem a konečně druhého ohybu cca 150 mm pod povrchem. Tyto možnosti výrazně usnadňují vyhodnocování a další práci s radarovými skeny.....	131
Obr. 100 Příklad výsledku složení radarových skenů na vnějším líci krajního trámu mostu, skenovaná oblast začíná 290 mm od kraje trámu. Jednoznačně je patrná jak poloha třmínků, tak ohybů smykové výztuže i vodorovné konstrukční výztuže, počty ohybů smykové výztuže v každé pozici byly následně stanoveny kombinací skenů z obou líců trámu	132
Obr. 101 Schematický výkres polohy ohybů smykové výztuže v krajním trámu mostu na návodní straně z Holasovické (Krnovské) strany. Výztužím jsou přiřazena čísla odpovídající označení v řezu trámem uprostřed rozpětí v Obr. 102. 1 – pět výztuží spodní řady jdoucí přímo do podpory. 2 – trojice výztuží ohýbajících se ze střední řady (obě krajní a střední). 3 – dvojice výztuží ohýbajících se ze střední řady (druhá a čtvrtá). 4 – dvojice výztuží ohýbajících se z horní řady (obě krajní). 5 – dvojice výztuží ohýbajících se z horní řady (druhá a čtvrtá). 6 – jedna výztuž ohýbající se z horní řady (střední).....	132
Obr. 102 Schematický řez trámem uprostřed rozpětí, jednotlivým výztužím jsou přiřazena čísla, korespondující s označením jednotlivých ohybů v Obr. 101	132
Obr. 103 Jeden z původních armovacích výkresů mostu – vyztužení trámů [66]	133
Obr. 104 Porovnání skutečné a předpokládané polohy ohybů smykové výztuže v krajním trámu mostu na návodní straně z Holasovické strany. Skutečná poloha ohybů nakreslena červeně [69]	134
Obr. 105 Porovnání skutečné a předpokládané polohy ohybů smykové výztuže ve středním trámu mostu z Holasovické strany. Skutečná poloha ohybů nakreslena červeně [69].....	134
Obr. 106 Bytový dům v ulici Sadová 571, Brno – Modřice.....	136
Obr. 107 Balkon v 1.NP na východní straně domu. Jedná se o nejvíce poškozený balkon ze všech, jehož nosná konstrukce vykazuje i značný průhyb.....	137
Obr. 108 Detail poškození balkonu v 1.NP. Hlavní výztuž Ø 12 (V) je zakončena háky, které jsou obnažené a zkorodované	137
Obr. 109 Detail koroze výztuže a uchycení zábradlí na rohu balkonu v 1.NP.....	137

Obr. 110 Rozmístění radarových skenů 600 × 600 mm na spodním líci balkonu v 1. NP v jeho jižní části (scan 1.1 až 1.8).	138
Obr. 111 Poloha radarového skenu 600 × 600 mm na spodním líci balkonu v jeho severovýchodní části (scan 4) a skenu 1200 × 1200 v 1. NP (scan 3)	139
Obr. 112 Příklad radarového skenu (scan 1.5) na spodním líci balkonu v 1. NP, zobrazen pohled na výztuž a řezy ve dvou na sebe kolmých směrech, v příčných řezech skenu je dobře patrné, že v tomto místě je hlavní výztuž umístěná velmi blízko spodnímu líci prvku, téměř v jedné rovině s konstrukční výztuží u spodního líce (scan je situovaný v pohledu zespodu)	139
Obr. 113 Soubor složených navazujících radarových scanů (scan 1.1 – 1.8 a scan 4), zobrazující v pohledu odspodu zjištěnou výztuž v desce balkonu v 1. NP	140
Obr. 114 Radarový scan 1200 × 1200 mm desky balkonu v 1. NP (scan 4) v zobrazení 3D. Na scanu je dobře patrna poloha prutů hlavní výztuže, kdy od háků na vnější straně balkonu (ve scanu nejsou zobrazeny) je výztuž „sešlapaná“ tak, že u vetknutí konzoly je prakticky v jedné rovině s konstrukční výztuží u spodního líce desky	140
Obr. 115 Záznam měření roztečí, krytí a průměrů hlavní výztuže na spodním líci balkonu v 1.NP přístrojem Profometer PM-630. Osové vzdálenosti jednotlivých výztuží umožnily provést orientační stanovení jejich průměrů. Ze záznamu je patrné, že blízko dolního povrchu je výztuž malého průměru (odseknutím potvrzeny V Ø 6 mm), hlavní výztuž (odseknutím potvrzena jako V Ø 12 mm) je však rovněž příliš blízko dolnímu povrchu	141
Obr. 116 Záznam měření roztečí, krytí a průměrů rozdělovací výztuže na spodním líci balkonu v 1.NP přístrojem Profometer PM-630. Ze záznamu je patrné, že všechny pruty mají malý průměr (odseknutím potvrzeny V Ø 6 mm), přičemž část se nachází pod hlavní výztuží a část nad hlavní výztuží.....	141
Obr. 117 Sekané sondy k výztuži na spodním líci balkonu v 1.NP	142
Obr. 118 Detail cílené sondy k výztuži pro ověření průměru a zejména druhu výztužné vložky	142
Obr. 119 Schematický výkres zjištěného vyztužení desky balkonu v 1. NP. Popis jednotlivých druhů výztuže je uveden na následujících řezech.....	143
Obr. 120 Schematický výkres výztuže balkonu v 1. NP v řezu A-A' (u stěny). Na řezu je uvedeno krytí hlavní výztuže od dolního líce, které se pohybuje pouze od 20 mm do 45 mm	143

Obr. 121 Schematický výkres výztuže balkonu v 1. NP v řezu B-B' (rozdělovací výztuž) a C-C' (hlavní výztuž kratší strany). Hlavní výztuž je i zde velmi blízko dolnímu povrchu desky	144
Obr. 122 Celkový pohled na zkoumanou oblast konstrukce, sloup označený S1, nosník označený N1 a sloup označený S2 [72].....	146
Obr. 123 Celkový pohled na zkoumanou oblast konstrukce, sestávající ze dvojice sloupů (S1 a S2) a nosníku označeného N1. Na obrázku jsou vyznačeny všechny prováděné radarové skeny. Byly zvoleny dva typy skenů, liniové značené na obrázku LSR a plošné skeny formátu 600 × 600 mm, značené v obrázku PSR [72]	147
Obr. 124 Celkový pohled na zkoumanou oblast konstrukce, sestávající ze dvojice sloupů (S1 a S2) a nosníku označeného N1. Na obrázku jsou vyznačeny všechny liniové skeny prováděné elektromagnetickým indikátorem, značené v obrázku zeleně a cílené sekané sondy ke zjištění typu výztuže a ověření průměru (mimo jiné pro kalibraci pro NDT určení průměru v jiných částech konstrukce) [72].....	148
Obr. 125 Sonda LSR-1. Liniový sken napříč sloupem S1 ve výšce 1000 mm nad podlahou zachycující 5 prutů hlavní nosné výztuže. Zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce jsou ve skutečnosti pouze interference radarových odrazů.....	148
Obr. 126 Sonda LSR-1. Liniový sken napříč sloupem S1 ve výšce 1000 mm nad podlahou zachycující 5 prutů hlavní nosné výztuže. Zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce jsou ve skutečnosti pouze interference radarových odrazů.....	149
Obr. 127 Sonda LSR-3. Liniový sken napříč sloupem S2 ve výšce 1000 mm nad podlahou zachycující 5 prutů hlavní nosné výztuže. Zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce jsou ve skutečnosti pouze interference radarových odrazů.....	149
Obr. 128 Sonda LSR-2. Liniový sken sloupem S1 v místě sondy LSR-2 zachycuje polohu třmínek paty sloupu od cca 100 mm nad podlahou do výšky cca 2000 mm.....	149
Obr. 129 Sonda LSR-4. Liniový sken sloupem S2 v místě sondy LSR-2 zachycuje polohu třmínek paty sloupu od cca 100 mm nad podlahou do výšky cca 2000 mm.....	149
Obr. 130 Výstup radarového plošného skenu konzoly sloupu S1 v místě sondy PSR-5, v podobě pohledu na skenovanou oblast a řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Na pravém obrázku je sken upravený tak, aby zachycoval pouze zjištěné objekty mezi úrovněmi 130 a 190 mm pod	

povrchem. Na skenu je dobře patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 130 mm (v pohledu a řezu skenu označený šipkami).....	150
Obr. 131 V sondě PSR-5 byly provedeny dva plošné skeny, navzájem se překrývající, jež umožnily na celém boku konzoly sloupu S1 zachycení všech výztuží (povšimněte si hlavní výztuže pod šikmou částí konzoly, má extrémní krytí, rozhodně neodpovídající krytí původně projektovanému).....	150
Obr. 132 Sonda LSR-6 byla provedena ve formě liniového skenu na spodním líci nosníku jeřábové dráhy označeném N1 bezprostředně u sloupu (pro zjištění hlavní výztuže) a dále na bočním líci nosníku pro lokalizaci třmínků a zjištění případných ohybů hlavní výztuže. Na bočním skenu nebyly žádné ohyby hlavní nosné výztuže zjištěny.....	151
Obr. 133 Výstup radarového plošného skenu konzoly sloupu S1 v místě sondy PSR-5, v podobě pohledu na skenovanou oblast a řezů ve dvou na sebe kolmých směrech. Vpravo sken je upravený tak, aby zachycoval pouze zjištěné objekty mezi úrovněmi 50 a 170 mm pod povrchem. Na skenu je dobře patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 70 mm a současně poměrně velké krytí hlavní výztuže pod šikmým lícem konzoly.....	151
Obr. 134 Dvojice překrývajících se skenů na konzole sloupu S2, skeny označené PSR-8 zachycující výztuž na celém boku konzoly. Vpravo část skenu z předchozího obrázku je upravená tak, aby zachycovala pouze zjištěné objekty mezi úrovněmi 100 a 200 mm pod povrchem. Na skenu je dobře patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 110 mm (v pohledu a řezu skenu označený šipkami).....	152
Obr. 135 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 ve výšce 1300 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-1. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	153
Obr. 136 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 ve výšce 7000 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-2. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnější hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	154
Obr. 137 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 ve výšce 1300 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-3. S využitím kalibrace přístroje byly zaměřeny celkem 2 profily hlavní svislé výztuže o průměru 18 mm. V místě sondy byla provedena sekaná sonda označená SV1 [72]	155

Obr. 138 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem po výšce sloupu S1, 0,1 – 5,0 m od podlahy, v místě provedení sondy S1-4. Průměrná rozteč třmíneků 140 – 160 mm. Třmínek o průměru 8 mm, hladká výztuž. Krytí výztuže cca 10 – 20 mm [72].....	156
Obr. 139 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S1 pod konzolou, v místě provedení sondy S1-5. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	157
Obr. 140 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S1, v místě provedení sondy K1-1a. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 6 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]	158
Obr. 141 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S1, v místě provedení sondy K1-1b. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 8 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Vodorovná výztuž byla ověřena sekanou sondou označenou SV4. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]	159
Obr. 142 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč šikmou částí konzoly sloupu S1, v místě provedení sondy K1-2. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů svislé výztuže. Dva profily blízko povrchu byly ověřeny sekanými sondami SV5 a SV6, byl identifikován průměr výztuže 16 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	160
Obr. 143 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč čelem konzoly sloupu S1, v místě provedení sondy K1-3. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů svislé výztuže. Ze záznamu je patrné, že některé vložky se ohýbají směrem dovnitř konzoly. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	161
Obr. 144 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S2 ve výšce 1000 mm od podlahy, v místě provedení sondy S1-2. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	162
Obr. 145 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S2 ve výšce 7000 mm od podlahy, v místě provedení sondy S2-2. S využitím kalibrace přístroje bylo zaměřeno	

celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnější hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	163
Obr. 146 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem po výšce sloupu S2, 0,1 – 5,0 m od podlahy, v místě provedení sondy S1-4. Průměrná rozteč třmíneků 140 – 160 mm. Třmínek o průměru 8 mm, hladká výztuž. Krytí výztuže cca 10 – 20 mm [72].....	164
Obr. 147 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč sloupem S2 pod konzolou, v místě provedení sondy S2-4. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů hlavní svislé výztuže o průměru 20 mm. Vnitřní hrana sloupu. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	165
Obr. 148 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S2, v místě provedení sondy K2-1a. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 6 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]	166
Obr. 149 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč konzolou sloupu S2, v místě provedení sondy K2-1b. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 8 profilů svislé výztuže o průměru 20, 18 a 8 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]	167
Obr. 150 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem napříč šikmou částí konzoly sloupu S2, v místě provedení sondy K2-2. S využitím kalibrace přístroje Profometer PM630 bylo zaměřeno celkem 5 profilů svislé šikmé výztuže. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	168
Obr. 151 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S1. V místě provedení sondy N1-1 bylo identifikováno 5 výztuží o průměru 20 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	169
Obr. 152 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S1. V místě provedení sondy N1-1 byly identifikovány třmínky s průměrnou roztečí 260 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72]	170
Obr. 153 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S2. V místě provedení sondy N1-3 bylo identifikováno 5 výztuží o průměru 20 mm. Pro další využití byla poloha výztuží současně kreslena na povrch konstrukce [72].....	171

Obr. 154 Liniové měření elektromagnetickým indikátorem na spodním líci nosníku, v blízkosti sloupu S2. V místě provedení sondy N1-4 byly identifikovány třmínky s průměrnou roztečí 240 mm [72]	172
Obr. 155 Sekaná sonda k výztuži SV4, provedená na boční straně konzoly sloupu S1. V místě provedení sondy byla identifikována výztuž 10 425 (V) o průměru 18 mm. Krytí výztuže 20 – 25 mm. Třmínek v místě sondy o průměru 8 mm, hladká výztuž 10 216 (E). Rozsah sekané sondy byl omezen na minimum [72]	173
Obr. 156 Vyztužení nosníku jeřábové dráhy – nosník N1 [72].....	174
Obr. 157 Vyztužení sloupu jeřábové dráhy. Celkový pohled (výkres byl vytvořen aproximací sond provedených na sloupech S1 a S2) [72].....	175
Obr. 158 Vyztužení sloupu jeřábové dráhy – detail konzoly (výkres byl vytvořen aproximací sond provedených na sloupech S1 a S2) [72].....	176
Obr. 159 Konstrukce nákupního centra s předmětnými vazníky	178
Obr. 160 Jeden z radiogramů v místě chybného vyztužení (vlevo) a jeho zasazení do výkresu výztuže (vpravo). Je dobře patrné, že v prvku chybí kruhové vyztužení kolem otvoru s radiálními paprsky. Naopak navíc je přidán jeden třmínek	178
Obr. 161 Příklad porovnání předepsaného vyztužení prvku se složenými radarovými skeny, je zjevné že prvky jsou vyztuženy poměrně přesně dle výkresů.....	179
Obr. 162 Situace před betonáží základové desky, ve fázi pokládání svařovaných sítí. Jak je patrné, sítě dosud nejsou mezi uložení na základových pasech podložené	181
Obr. 163 Trojice liniových radarových skenů dokládá prověšení sítí až ke štěrkovému loži, na všech skenech jsou dobře, díky mizejícímu zobrazení výztuží v řezech skenů, patrná místa, kde je výztuž v kontaktu se štěrkem	181
Obr. 164 Pouze v místě přeložení dvou pásů sítě přes sebe došlo sice k prohnutí, ale nikoli až na úroveň štěrkového lože, překrytí sítí je na řezové části skenu dobře patrné (zdvojení detekovaných prutů)	182
Obr. 165 Most ev. č. 324-018 v Pardubicích, podélný a příčný řez [80]	189
Obr. 166 Příklad radarových skenů v jednom zkoumaném místě na boku komorového nosníku. Vlevo dvojice plošných radarových skenů formátu 600 × 600 mm složená do jednoho obrázku pokryla plochu bočního líce nosníku 600 × 1200 mm. Skeny zachytily celkem 5 zvedajících	

se chrániček s předpjatou výztuží (dvojice blíže povrchu má krytí cca 60 mm, trojice hlouběji má krytí cca 130 mm). Vpravo kontrolní liniový sken, vedený vertikálně na bočním líci nosníku shora dolů, potvrdil výsledky plošného skenování [80].....	190
Obr. 167 Zakreslení skenů 1-01 až 1-05 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	191
Obr. 168 Zakreslení skenů 1-06 až 1-09 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	191
Obr. 169 Zakreslení skenů 1-09 až 1-13 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	191
Obr. 170 Zakreslení skenů 1-14 až 1-19 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	192
Obr. 171 Zakreslení skenů 1-20 až 1-26 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	192
Obr. 172 Zakreslení skenů 1-01 až 1-05 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	192
Obr. 173 Zakreslení skenů 1-32 až 1-36 polohy předpínací výztuže krajního pravého nosníku na vnějším líci na povodní straně [80].....	193
Obr. 174 Plastika hudebníka vytvořená z betonového kompozitu vyztuženého ocelovými výztužemi	194
Obr. 175 Prozařování podstavce sochy, vpravo zdroj záření, rentgen YXLON300 kV	196
Obr. 176 Prozařování podstavce sochy – tři varianty umístění flexibilní kazety s paměťovou fólií Dürr, pro zachycení průběhu výztuží v jednotlivých částech podstavce.....	197
Obr. 177 Radiogramy zachycující průběh výztuže v jednotlivých částech podstavce.....	197
Obr. 178 Předpokládaný průběh výztuže v podstavci. Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm	198
Obr. 179 Prozařování nohou sochy – varianty umístění flexibilní kazety s paměťovou fólií, pro zachycení průběhu výztuží v jednotlivých částech.....	198
Obr. 180 Radiogramy zachycující průběh výztuže v jednotlivých částech nohou.....	198

Obr. 181 Předpokládaný průběh výztuže v nohách plastiky. Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm	199
Obr. 182 Prozařování přechodu sokl – trup	199
Obr. 183 Radiogram přechodu sokl – trup	199
Obr. 184 Předpokládaný průběh výztuže v přechodu sokl – trup. Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm, modrá – výztuha kruhového průřezu tloušťky (průměru) 15 mm.....	200
Obr. 185 Radiogram hrudi a napojení paží.....	200
Obr. 186 Předpokládaný průběh výztuže v hrudi a pažích (pohled ze strany zad). Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm, modrá – výztuha neznámého průřezu tloušťky (průměru) cca 16 mm.....	201
Obr. 187 Radiogram hlavy z boku.....	201
Obr. 188 Předpokládaný průběh výztuže v hlavě. Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm	202
Obr. 189 Radiogram části soklu, radiogram potvrzuje ve svislém směru přítomnost jedné masivní výztuhy, čtveřice výztuh 10 × 10 mm a krajních Ø 6 mm, současně zachycuje jeden Ø 6 mm ve vodorovném směru	202
Obr. 190 Předpokládaný průběh zjištěné výztuže v plastice. Červená – čtverhranný průřez 10 × 10 mm, zelená – kruhový průřez Ø 6 mm, modrá – výztuha kruhového průřezu tloušťky (průměru) cca 16 mm. Vyztužení mandolíny a prstů pomocí výztuže Ø 6 mm není v obrázku zachyceno	203
Obr. 191 Plastika Torzo ženy Miroslava Jiravy [84].....	206
Obr. 192 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 1	207
Obr. 193 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 2	207
Obr. 194 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 3	207
Obr. 195 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 4	207
Obr. 196 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 5	207
Obr. 197 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 6	207
Obr. 198 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 7	208

Obr. 199 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 8	208
Obr. 200 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 9	208
Obr. 201 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 10	208
Obr. 202 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 11	208
Obr. 203 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 12	208
Obr. 204 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 13	209
Obr. 205 Radiografie plastiky Torzo ženy. Konfigurace prozařování 14	209
Obr. 206 Radiogram z konfigurace prozařování 1. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva.....	209
Obr. 207 Radiogram z konfigurace prozařování 2. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva.....	209
Obr. 208 Radiogram z konfigurace prozařování 3. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva.....	210
Obr. 209 Radiogram z konfigurace prozařování 4. Na radiogramu je zobrazen kus ploché oceli nepatrné délky (cca 13 cm) a drátěné pletivo	210
Obr. 210 Radiogram z konfigurace prozařování 5. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva.....	210
Obr. 211 Radiogram z konfigurace prozařování 6. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva. V pravém horním kvadrantu je zachycen korunkový uzávěr z lahve.....	210
Obr. 212 Detail z předchozího radiogramu s dobře patrným korunkovým uzávěrem	210
Obr. 213 Radiogram z konfigurace prozařování 7. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva.....	211
Obr. 214 Radiogram z konfigurace prozařování 8. Na radiogramu je zachycen konec kovové, patrně vodoinstalační trubky a drátěné pletivo. Radiogram rovněž zachytil výrazné stopy zaboření 4 prstů při ručním vytváření díla (na vnitřním povrchu)	211
Obr. 215 Radiogram z konfigurace prozařování 9. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva.....	211

Obr. 216 Radiogram z konfigurace prozařování 10. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva	211
Obr. 217 Radiogram z konfigurace prozařování 11. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva	211
Obr. 218 Radiogram z konfigurace prozařování 12. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva. Radiogram zachytil rovněž trhlinu v betonu	211
Obr. 219 Radiogram z konfigurace prozařování 13. Na radiogramu není zobrazena žádná výztuž s výjimkou drátěného pletiva	212
Obr. 220 Radiogram z konfigurace prozařování 14. Na radiogramu je zachycena část kovové, patrně vodoinstalační trubky a drátěné pletivo	212
Obr. 221 Jedna ze zkušebních desek připravená k prozařování, na zadní straně je patrné rozložení olověných orientačních značek	213
Obr. 222 Schematické znázornění rozložení šesti radiogramů (1 až 6) na ploše zkušební desky	215
Obr. 223 Příklad totožné části rentgenogramu jedné z drátkobetonových desek, v zobrazení „pozitiv“ (vlevo, objekty s vyšší hustotou jsou tmavší) a v provedení „negativ“ (vpravo) ...	216
Obr. 224 Výsledek prozařování desky 2-1, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly	217
Obr. 225 Výsledek prozařování desky 2-1. Snímek jasně ukazuje drobné nehomogenity v rozložení ocelových drátků v desce, místy svazky dosud slepených a neoddělených drátků, a v několika oblastech i drátky s převládající jednosměrnou orientací	218
Obr. 226 Při detailním studiu radiogramů je možné posoudit homogenitu rozmístění drátků ve vzorku. Zde na příkladu jednoho z radiogramů pořízených na desce 2-1 je například patrné místo s lokálně nižší hustotou drátků (A), a současně řada svazků drátků, které zůstaly spojeny (B)	219
Obr. 227 Výsledek prozařování desky 1-2, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly	220
Obr. 228 Výsledek prozařování desky 1-2, finální radiogram vzniklý sloučením původní šestice. Na snímku je patrné velmi homogenní rozptýlení drátků ve vzorku, pouze s nepatrnými odchylkami koncentrace	221

Obr. 229 V případě UHPC betonu je rozptýlení drátků více homogenní, ale i zde se nachází místa s vyšší koncentrací (A), nebo výrazně nižší (B). Jde však o nehomogenity nepřiliš rozsáhlé.....	222
Obr. 230 Výsledek prozařování desky 3-2, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly.....	223
Obr. 231 Výsledek prozařování desky 3-2. Snímek jasně ukazuje polohu výztužných prutů, i strukturu kameniva v betonu	224
Obr. 232 Při detailním studiu radiogramů je možné posoudit správné rozmístění výztužných prutů. Jedinou anomálii představují sporadicky se vyskytující drátky (označeny A) po nedokonalém vyčištění míchačky po výrobě drátkobetonu	225
Obr. 233 Výsledek prozařování desky 2-3, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly.....	227
Obr. 234 Výsledek prozařování desky 2-3, finální rentgenogram vzniklý sloučením původní šestice	228
Obr. 235 Deska 2-3 s trhlinami patrnými vizuálně ve srovnání s významnějšími trhlinami zachycenými na radiogramu (na radiogramu jsou trhliny pro názornost zvýrazněny červeně)	228
Obr. 236 Výsledek prozařování desky 2-3, šestice radiogramů, které se v ploše desky navzájem překrývaly.....	229
Obr. 237 Výsledek prozařování desky 3-3, finální radiogram vzniklý sloučením původní šestice	230
Obr. 238 Deska 3-3 s trhlinami patrnými vizuálně ve srovnání s významnějšími trhlinami zachycenými na radiogramu (na radiogramu jsou trhliny pro názornost zvýrazněny červeně)	230

13 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Tvary běžných druhů betonářských výztuží [1]	22
Tab. 2 Vlastnosti běžných výztužných ocelí používaných v období 1920 až 1965 [1]	23
Tab. 3 Vlastnosti běžných výztužných ocelí používaných v období 1960 až 1970 [1]	24
Tab. 4 Vlastnosti běžných výztužných ocelí používaných po roce 1970 [1]	25
Tab. 5 Vhodné frekvence antény související s hloubkou zobrazení a velikostí cíle [18].....	50
Tab. 6 Příklady radarových skenů stropní konstrukce pro upřesněné polohy a možného průměru jádrového vývrtu betonu průvlaku pro stanovení pevnosti betonu v tlaku. [61] [62] [63].....	118
Tab. 7 Most D2-058..1 u Lanžhota, Nosníky typu I. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků 5. – 12. pole [74]	183
Tab. 8 Most ev. č. D1-237..2 přes řeku Svitavu, nosníky typu I. liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [75]	185
Tab. 9 Most ev. č. D1-226.1 u Ostopovic, nosníky typu KA. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [76]	186
Tab. 10 Most ev. č. D1-227.2 u Ostopovic, nosníky typu KA. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [77]	187
Tab. 11 Most ev. č. D1-230..1 přes místní komunikaci u Starého Lískovce, nosníky typu KA. Liniové radarové skeny ze spodního líce napříč nosníkem uprostřed rozpětí vybraných nosníků [78].....	188

14 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

ADR	evropská dohoda o mezinárodní silniční přepravě nebezpečných věcí (ADR z francouzského Accord européen relatif au transport international des marchandises Dangereuses par Route) ukládá podmínky přepravy nebezpečného nákladu
AgBr	bromid stříbrný, součást emulze radiografických filmů
Akce Z	v dobách komunistického režimu v Československu neplacená pracovní činnost obyvatel při stavební činnosti
Co60	uměle vytvořený radioaktivní izotop kobaltu, a s poločasem rozpadu 5,2713 roku
CT	výpočetní tomografie (Computed Tomography) metoda, která pomocí rentgenového záření umožňuje zobrazení vnitřních nehomogenit ve 3D projekci
ČIA	Český institut pro akreditaci
ČNI	Český normalizační institut
DS-A	typ nosníku z předpjatého betonu
GPR	z angl. Ground Penetrating Radar (v češtině obvykle Georadar)
I	typ nosníku z předpjatého betonu
ISTEG	označení betonářské výztuže 10 472
KA	typ nosníku z předpjatého betonu
NDT	z angl. Non Destructive Testing (Nedestruktivní zkoušení) – označení metod a zkušebních principů nenarušujících konstrukci
pH	angl. potential of hydrogen, lat. pondus hydrogenia, tj. „potenciál vodíku“, též vodíkový exponent je číslo, kterým se v chemii vyjadřuje, zda vodný roztok reaguje kyselé či zásaditě
ROXOR	označení betonářské výztuže 10 512, 10 513
Sandrik	typ tenkostěnné vinuté ocelové trubky – užívána jako chránička kabelových kanálků u předpjatých dílců
TOR 30	označení betonářské výztuže 10 492

ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
2D	zkratka výrazu „dvoudimenzionální“, „dvourozměrný“
3D	zkratka výrazu „trojdimenzionální“, „trojrozměrný“
A	aktivita zářiče, v Bq
A_t	aktivita zářiče v čase t, v Bq
A_0	aktivita zářiče při začátku pozorování, v Bq
c	rychlost šíření elektromagnetického signálu vakuem, v $m \cdot s^{-1}$
D	zčernání (optická hustota) radiografického filmu – logaritmus opacity – (poměr světla dopadajícího ku světlu prošlému filmem)
E	energie záření, v MeV
Efektivní dávka E	popisuje účinek na celé tělo člověka, v $S \cdot v$
e	základ přirozených logaritmů, bez rozměru
f	střední frekvence vysílaného signálu, v Hz
N	počet jader, ve kterých k rozpadu nedošlo, bez rozměru
N_0	původní počet jader, bez rozměru
dN	střední počet atomů přeměněných v časovém intervalu dt, bez rozměru
R_m	mez pevnosti v tahu, v MPa
R_e	mez kluzu, v MPa
$T_{1/2}$	poločas rozpadu, v jednotkách času
t	čas, v s
dt	časový interval, v s
v	rychlost šíření elektromagnetického signálu prostředím, v $m \cdot s^{-1}$
σ	vodivost prostředí, v $S \cdot m$
ε	relativní permitivita prostředí, bez rozměru
λ_L	vlnová délka, v m
λ	přeměnová konstanta, v s^{-1}