



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

**STAVEBNÍ PRŮZKUM A DIAGNOSTIKA
ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE**

SURVEY AND DIAGNOSTICS OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Martina Filipu

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

BRNO 2017



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM	N3607 Stavební inženýrství
TYP STUDIJNÍHO PROGRAMU	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
STUDIJNÍ OBOR	3607T009 Konstrukce a dopravní stavby
PRACOVISŤE	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

DIPLOMANT	Bc. Martina Filipu
NÁZEV	Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce
VEDOUCÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE	Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
DATUM ZADÁNÍ	31. 3. 2016
DATUM ODEVZDÁNÍ	13. 1. 2017

V Brně dne 31. 3. 2016

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

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

PODKLADY A LITERATURA

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČŽV, VUT v Brně, 2010.

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

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

ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

Příslušné technické normy.

Výběr separátů z databáze ÚSZK k danému tématu.

Projektová dokumentace.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ (ZADÁNÍ, CÍLE PRÁCE, POŽADOVANÉ VÝSTUPY)

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

Závěr - proveďte krátké shrnutí a jasně a přehledně deklarujte výsledky diplomové práce.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ/DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

.....

Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Vedoucí diplomové práce

Abstrakt

Diplomová práce se v úvodu zabývá vlastnostmi betonu a uvádí do problematiky stavebně technického průzkumu. V jednotlivých částech se pak věnuje metodám užívaným k diagnostice stavebních konstrukcí. Blíže se zabývá vybranými metodami, které jsou aplikovány pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích.

Cílem praktické části, v rámci které byly provedeny dva stavební průzkumy železobetonových průmyslových hal, bylo stanovení polohy výztuže u vybraných prvků jeřábové dráhy a také vyhodnocení kvality použitého betonu v konstrukci. Poslední část práce se věnuje statickému posouzení krátké konzoly jeřábové dráhy.

Klíčová slova

Beton, železobeton, ocelová výztuž, nedestruktivní testování, stavebně technický průzkum, Hilti PS 1000, Profometer PM-630, jeřábová dráha, krátká konzola

Abstract

The master's thesis deals with concrete properties and it introduces problematics of building survey. In each part the study deals with diagnostic methods used for building construction. Then it closely examines selected methods, which are used for recognisability of steel reinforcement in concrete.

In the practical part I conducted two engineering surveys of reinforced concrete industrial buildings. The main aims were to identify the position of reinforcement in selected elements of crane runway and to evaluate the quality of used concrete. The last part of thesis is focused on static assessment of short corbel of crane runway.

Keywords

Concrete, reinforced concrete, steel reinforcement, non-destructive testing, building survey, Hilti PS 1000, Profometer PM-630, short corbel, crane runway

Bibliografická citace VŠKP

Bc. Martina Filipu *Stavební průzkum a diagnostika železobetonové konstrukce*. Brno, 2017. 111 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2017

.....
podpis autora
Bc. Martina Filipu

Poděkování:

Tímto bych chtěla poděkovat vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za cenné rady, vstřícný přístup, čas, který mi věnoval při konzultacích a poskytnutí nejen materiálů potřebných pro vypracování této práce, ale i tvůrčího nadšení.

OBSAH

1	ÚVODNÍ ČÁST	10
1.1	Úvod.....	10
1.1	Cíle práce.....	10
2	BETON A ŽELEZOBETON.....	12
2.1	Vývoj betonového stavitelství	12
2.2	Uplatnění betonu v konstrukcích	12
2.3	Přednosti a nedostatky betonových konstrukcí.....	13
3	DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ.....	16
3.1	Stavebně technický průzkum (STP)	16
3.2	Základní přehled diagnostických metod	17
3.1.1	Nedestruktivní metody	17
3.1.2	Semidestruktivní metody	18
3.1.3	Destruktivní metody.....	18
4	DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE	20
4.1	Metody diagnostiky železobetonových konstrukcí.....	21
4.2	Vybrané metody sloužící pro kontrolu vyztužení	21
4.2.1	Destruktivní metoda – sekaná sonda.....	22
4.2.2	Elektromagnetické indikátory	22
4.2.3	Radiační metoda – Radiografie	25
4.2.4	Metoda georadaru.....	26
5	STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM PRŮMYSLOVÉ HALY ALPINE BAU CZ a.s., ČESKÉ MEZÍŘÍČÍ.....	29
5.1	Základní údaje.....	29
5.2	Zkušební předpisy a postupy	30
5.3	Rozsah průzkumu	30
5.4	Použité metody a princip zkoušení	31
5.4.1	Ověření vyztužení	31
5.4.2	Vlastnosti betonu.....	31
5.5	Identifikace vyztužení prvků JD	34
5.5.1	Vyhodnocení sond – georadar Hilti PS 1000	34
5.5.2	Vyhodnocení sond – profometer Proceq PM-630.....	39
5.5.3	Vyhodnocení sond – sekané sondy	53
5.6	Vyhodnocení pevnosti betonu a stanovení karbonatace betonu	57
5.6.1	Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci	57
5.6.2	Stanovení karbonatace betonu.....	59

5.7	Výsledné vyztužení prvků JD	60
5.7.1	Vyztužení sloupu JD	60
5.7.2	Vyztužení nosníku JD	62
5.8	Shrnutí výsledků diagnostického průzkumu	63
6	STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM PRŮMYSLOVÉ HALY Č.V. PROTOTYP s.r.o., OSTRAVA.....	64
6.1	Základní údaje.....	64
6.2	Zkušební předpisy a postupy	64
6.3	Rozsah průzkumu	65
6.4	Použité metody a princip zkoušení	65
6.4.1	Ověření vyztužení	65
6.4.2	Vlastnosti betonu.....	66
6.5	Identifikace vyztužení sloupů JD	66
6.5.1	Stanovení vyztužení sloupu S1 – Nový typ	66
6.5.2	Stanovení vyztužení sloupu S2 – Starý typ.....	75
6.6	Vyhodnocení pevnosti betonu a stanovení karbonatace betonu	82
6.6.1	Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci	82
6.6.2	Stanovení karbonatace betonu.....	84
6.7	Výsledné vyztužení sloupů JD.....	86
6.7.1	Sloup S1 – Nový typ	86
6.7.2	Sloup S2 – Starý typ.....	87
6.8	Shrnutí výsledků diagnostického průzkumu	88
7	STATICKÉ POSOUZENÍ	89
7.1	Vyztužení krátké konzoly	89
7.2	Mezní zatížení podle ČSN EN 1992-1-1	91
7.3	Mezní smykové zatížení podle metody vzpěra-táhlo	93
7.4	Zatížení krátké konzoly jeřábovou dráhou	98
7.5	Posouzení krátké konzoly	100
8	ZÁVĚR	102
9	ZDROJE.....	103
10	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	105
11	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	110

1 ÚVODNÍ ČÁST

1.1 Úvod

Slovo diagnóza podle slovníku cizích slov znamená rozpoznání a klasifikaci nějakého obvykle nežádoucího stavu, zejména nemoci, případně i poškození či poruchy. Metodami diagnózy se pak zabývá diagnostika. Jak již naznačuje uvedená definice, diagnóza je obvykle spojována s lékařskými obory, nicméně se s ní setkáváme stále častěji i v oborech technických.

Současnost je čím dál více spojována s termíny „šetření nákladů“ či „zlevňování projektů“. Pro stavebnictví to znamená mnohdy nekorektní technická řešení související s nedodržováním technologických postupů. Bohužel v těchto případech dochází téměř vždy k poruchám konstrukce, které se nastřádaly za desítky let a které je nutné v pozdější době rekonstruovat. Diagnostika železobetonových konstrukcí se tedy jeví jako nepostradatelný nástroj dnešní doby. Při rekonstrukci budovy je třeba se zaměřit v první řadě na nosnou konstrukci, u které je nutné zjistit podstatné informace pro následné posouzení. Výstup ze stavebně technického průzkumu slouží jako podklad pro stanovení únosnosti konstrukce nebo jejích jednotlivých prvků.

Samotná diagnostika je komplexní obor, který vyžaduje teoretickou průpravu, určité zkušenosti v praxi a samozřejmě také znalost používaných metod. Nesprávná interpretace výsledků by mohla mít vážné následky, a to především v případě mylného nadhodnocení určené výztuže.

1.1 Cíle práce

V současné době se pro diagnostické průzkumy stavebních konstrukcí používá řada metod, které jsou schopné určitým způsobem stanovit aktuální stav existující stavby. Cílem teoretické části diplomové práce bylo nahlédnout do problematiky těchto zkušebních metod a podrobněji se zaměřit na vybrané metody, které jsou používány pro detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích. Zejména u nových konstrukcí je však účelné do konstrukce příliš nezasahovat, a proto je třeba využívat metody vyhledávání, které konstrukci příliš nepoškodí. Tento nelehký úkol plní nedestruktivní metody testování neboli NDT (podrobněji viz kap. 3.1.1). Dále bylo pojednáno o některých přístrojích, které se k této činnosti používají. Bylo také poukázáno na důležitost betonu a železobetonu jako stavebního materiálu.

V rámci praktické části diplomové práce byly provedeny dva stavebně technické průzkumy železobetonových průmyslových hal. V obou případech se jednalo o diagnostiku vybraných prvků jeřábové dráhy (JD). Hlavním cílem těchto průzkumů bylo stanovit polohu výztuže nosných sloupů a nosníku JD in-situ za použití NDT metod diagnostiky, díky čemuž bylo možné následně zjistit únosnost těchto prvků. NDT metody ke zjištění polohy vyztužení u jednodušších konstrukcí se dnes v praxi běžně používají. Otázkou však zůstává, zda jsou tyto metody schopné identifikovat polohu vyztužení i v tak složitě vyztužených prvcích, jako jsou krátké konzoly JD. Na základě odebraných vzorků z konstrukce byla také vyhodnocena kvalita použitého betonu z hlediska pevnosti betonu v tlaku a míry karbonatace.

V poslední části diplomové práce bylo provedeno posouzení stávající krátké konzoly vybraného sloupu JD na vzniklé přetížení způsobené výměnou nedostačujícího mostového jeřábu o nosnosti 8 tun za jeřáb nový o nosnosti 20/5 tun.

2 BETON A ŽELEZOBETON

2.1 Vývoj betonového stavitelství

Počátek betonového stavitelství je obvykle datován do období říše římské. Jako pojivo pro kamenné mostní konstrukce a konstrukce akvaduktů byla používána vápenná malta s přísadou sopečného popele z Puzzolanu nebo trasu. Dodnes zachované zbytky staveb dokazují, že kvalita tohoto betonu byla vysoká. Po pádu říše římské nastal všeobecný úpadek, kterým byla ovlivněna také oblast stavebnictví. Hydraulická malta se začala znovu používat teprve koncem 18. století. Od této doby byl další vývoj stavitelství poměrně rychlý. Nejvýznamnější událostí v tomto smyslu byl vynález cementu (rok 1824).

Až do roku 1848 byl beton používán pouze jako prostý, tedy bez výztuže. Za přelom pro rozšíření betonu je považován vynález francouzského zahradníka J. Moniera, tzv. železový beton. Díky výrobě zahradních květináčů vyztužených drátěnými sítěmi byla odstraněna jedna z hlavních nevýhod betonu, to je velká neúměrnost mezi tahovou a tlakovou pevností.

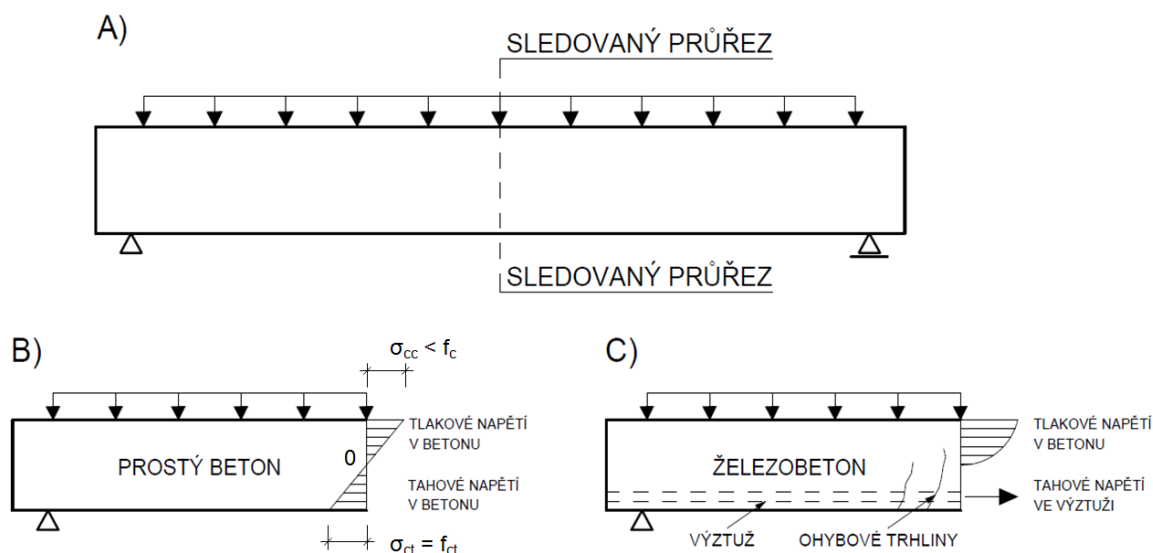
Betonové konstrukce či prvky byly poměrně dlouho navrhovány bez výpočtů, pouze na základě zkušeností a citu. Francouz Coignet vypracoval teorii o chování vyztuženého betonu (rok 1894), která se stala základem pro pozdější teorii výpočtu podle dovolených namáhání. Další pokrok v betonovém stavitelství nastal při použití předpjatého betonu.

U nás se betonové stavitelství začalo rozvíjet od devadesátých let devatenáctého století. Mezi první průkopníky řadíme Herzana, Kloknera, Hacara, Bechyně a další. [1] [2]

2.2 Uplatnění betonu v konstrukcích

Beton je z hlediska struktury uměle vyrobeným slepencem, který se skládá z různých složek. Mezi základní složky patří plnivo – kamenivo, pojivo – cement a voda. Vedlejší složky mohou představovat přísady, které mění charakter betonu, nebo příměsi.

Konstrukční beton se vyznačuje podobnými vlastnostmi jako přírodní kámen. Jedná se o stavební látku, která je pevná, ale křehká, neumožňující větší deformace. Při rychlém zatížení na mez pevnosti se poruší křehkým lomem. Beton odolává výborně tlakovým silám, pevnost v tahu a smyku je však jen cca 1/10 až 1/15 pevnosti v tlaku. Prostý beton se tedy výhradně používá pro konstrukce namáhané především tlakem. Vyztužením tažených oblastí výztužnými ocelovými vložkami se odstraňuje nevýhoda malé pevnosti betonu v tahu. Takový druh betonu se nazývá železobeton (železový beton). [1]



Obr. 2.1: Princip působení železobetonu. [1]

Základní princip železobetonu jako konstrukčního materiálu vyplývá z Obr. 2.1. Je zde znázorněn prostě uložený nosník, který je rovnoměrně zatížen. V jeho horních vláknech vznikají tlaková napětí, v dolních vláknech naopak napětí tahová. U nosníku tvořeného prostým betonem je únosnosti dosaženo, pokud napětí v tahu σ_{ct} dosáhne pevnosti betonu v tahu za ohybu f_{ct} . Vzhledem k malé hodnotě této pevnosti bude i únosnost celého prvku malá. Napětí blízké se pevnosti betonu v tlaku f_c není v běžném průřezu při porušení v tlačené části zdaleka dosaženo (Obr. 2.1 – B).

Pokud umístíme dostatečně silné ocelové pruty při dolním okraji železobetonového nosníku, pak je toto vyztužení schopné zachytit sílu v tažené oblasti průřezu, která se vytvoří v okamžiku vzniku trhliny v betonu. Není zde vyčerpána únosnost tohoto prvku. Vznikem trhliny se tažená část betonu v průřezu vylučuje ze spolupůsobení a nepřispívá tedy k celkové únosnosti prvku. Meze únosnosti se většinou docílí při vyčerpání pevnosti betonu v tlaku v tlačené části průřezu (Obr. 2.1 – C). Je tedy zřejmé, že u železobetonu je přípustný vznik trhlin. Aby však nedošlo ke korozi výztuže nebo narušení vzhledu konstrukce, nesmí být šířka trhlin nadměrná. [1]

2.3 Přednosti a nedostatky betonových konstrukcí

Jako všechny stavební materiály má i beton své výhody i nevýhody. Při návrhu prvku nebo konstrukce je nutné znát obojí, a to pro maximální využití jeho předností a samozřejmě naopak pro potlačení jeho nedostatků.

Mezi přednosti betonu a betonových konstrukcí patří:

- a) Vysoká únosnost**, která je závislá na fyzikálně-mechanických vlastnostech betonu, způsobu vyztužení a samotné výztuži. Pevnost v tlaku se pohybuje běžně do 60 MPa, v případě vysokopevnostního betonu okolo 100 MPa i více.
- b) Trvanlivost** je závislá na hutnosti a pevnosti. Hutný beton je trvanlivý ve vlhku, na vzduchu i pod vodou. Betonové konstrukce jsou poměrně odolné proti korozi, netrpí únavou materiálu a nepožadují častou údržbu.
- c) Odolnost vůči ohni** závisí na kamenivu a tloušťce betonového krytí výztuže. Samotný beton je nehořlavý, teploty do 300°C na něj nemají vliv.
- d) Houževnatost**, tj. odolnost proti mechanickému poškození. Je závislá na kvalitě betonu, dané kvalitě jednotlivých složek (kamenivo, druh a množství cementu, množství záměsové vody, způsob výroby, zpracování i ošetřování betonu).
- e) Vodotěsnost**, tj. odolnost proti pronikání vody. Při vysoké hutnosti vykazuje beton značnou vodotěsnost.
- f) Monolitičnost** je přednost, díky které monolitické, v menší míře i prefabrikované, konstrukce odolávají proti mimořádným vnějším vlivům (např. zemětřesení, vichřice, exploze, bombardování apod.).
- g) Tvárnost**, díky které je možné u monolitického provedení vytvořit libovolný tvar, který je daný bedněním. [1]

Mezi nedostatky betonu a betonových konstrukcí patří:

- a) Vysoká hmotnost**, která omezuje použití prvky na překlenutí větších rozpětí. Na tato rozpětí se navrhuje místo železobetonu předpjatý beton.
- b) Tvrdost** je vlastnost, která je na jednu stranu předností a na druhou stranu nevýhodou, a to hlavně při opravách, prorážení otvorů apod. Bourací práce betonových konstrukcí patří mezi nejobtížnější.
- c) Objemová nestálost**, která díky smršťování způsobuje u staticky neurčitých konstrukcí doplňkové statické účinky, které mohou vést ke vzniku nechtěných trhlin. Beton se také díky dlouhodobě působícímu zatížení nepružně přetváří – dotvaruje.
- d) Závislost na kvalitě výroby**. Konečné vlastnosti betonu jsou ovlivněny celou řadou okolností (jakost složek, způsob výroby a zpracování, teplota, prostředí apod.), které je možné ovlivňovat pouze v omezené míře.
- e) Značná tepelná vodivost**, která způsobuje promrzání a pocení konstrukcí.

f) Nízká odolnost proti agresivním vlivům, jako je např. působení kyselin, vzdušného oxidu uhličitého i rozmrazovacích solí.

g) Nesnadná kontrola v situacích, kdy je nutné zjistit kromě rozměrů prvku i profil výztuže, polohu a její množství. U jednoduchých prvků se tak děje odsekáním krycí vrstvy betonu, u složitých prvků je používána např. ultrazvuková metoda, radiografie apod. [1]

Více informací o této problematice je uvedeno v kapitole 4.2.

3 DIAGNOSTIKA STAVEBNÍCH KONSTRUKCÍ

Vývoj techniky směřuje ve všech odvětvích lidské činnosti k účinnějšímu využití různých typů materiálu všeho druhu. Masivní historické kamenné stavby jsou nahrazovány stavbami z betonu a oceli, které jsou subtilní. Spolehlivost a bezpečnost budovaných objektů roste se zvyšováním kvality materiálu, který však musí splňovat předpokládané vlastnosti.

Podmínkou důvěryhodného hodnocení existující stavby je prověření aktuálního stavu konstrukce a také vlastností stavebních materiálů. A právě diagnostika stavebních konstrukcí je vhodnou metodou pro nejen účinnou, ale i spolehlivou kontrolu tvaru, kvality a rozmístění materiálu v konstrukci. Díky diagnostice jsme schopni zpřesnit a rozšířit informace získané z prohlídky stavby nebo z projektové dokumentace. Vlastnosti materiálů, jejich identifikace, klasifikace a kvantifikace chyb či poruch je možné ověřit pomocí používaných metod v diagnostice. [3] [4]

3.1 Stavebně technický průzkum (STP)

Hlavním cílem stavebně technického průzkumu (STP) je především statické zhodnocení stavu stavebních konstrukcí. Díky STP lze zjistit vlastnosti jak celých konstrukcí, tak i částí, ze kterých je konstrukce zhotovena.

Diagnostické práce se musí přizpůsobit stavu a povaze objektu, typu plánovaných stavebních úprav apod., z tohoto důvodu je každý STP jiný. Je proto nezbytné, aby průzkum vedli diagnostici s odbornou způsobilostí. Mohou to být autorizovaní inženýři nebo znalci v oboru stavebnictví – zkoušení a diagnostika staveb.

Stavebně technický průzkum lze provést ve třech stupních, a to jako STP:

- předběžný – pro potřeby zadávací studie rekonstrukce, modernizace apod.;
- podrobný – pro zpracování projektové dokumentace a statických výpočtů;
- doplňující – pro případné doplnění podrobného STP a řešení změn při úpravách stavebních prací. [4]

Přesné postupy pro provádění STP jsou uvedeny v ČSN ISO 13822. V rámci praktické části diplomové práce byly provedeny dva STP, které měly za cíl identifikovat polohu výztuže vybraných prvků železobetonové jeřábové dráhy a dále zhodnotit kvalitu použitého betonu v konstrukci (viz kapitola 5 a 6).

3.2 Základní přehled diagnostických metod

Diagnostické metody, které jsou používány u nás i v zahraničí pro zkoušení vlastností materiálů a konstrukcí, se mohou dělit podle několika hledisek. Zásadní dělení je podle stupně poškození zkoumané konstrukce na:

- nedestruktivní metody;
- semidestruktivní metody;
- destruktivní metody. [4]

3.1.1 Nedestruktivní metody

Nedestruktivními metodami lze určit hledané vlastnosti bez rozsáhlých poškození konstrukčního prvku či stavebního materiálu. V praxi to znamená, že nedestruktivní metoda je i taková, která nějakou stopu zanechá (např. tvrdoměrná – dochází k obroušení povrchu, příp. vrypu nebo vtisku).

Tyto metody umožňují několikanásobné měření na stejném místě a tím statistické vyhodnocení hodnot, což patří mezi hlavní klady. Zásadním nedostatkem je skutečnost, že zjišťujeme pomocnou charakteristiku materiálu, která je s požadovanou charakteristikou v jisté závislosti.

Nedestruktivní zkoušky se dělí podle různých hledisek. Mezi základní metody, které jsou založené na fyzikálním principu měření, lze zařadit např. metody tvrdoměrné, elektromagnetické, radiační apod. [3] [4]



Obr. 3.1: Příklad použití nedestruktivní (elektromagnetické) metody ke stanovení polohy výztuže s použitím přístroje Profometer 600. [7]

3.1.2 Semidestruktivní metody

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

Mezi základní typy semidestruktivních metod řadíme jádrové vývrty, odtrhové zkoušky apod. [4]



Obr. 3.2: Příklad použití semidestruktivní metody (jádrových vývrťů) v praxi s použitím přístroje od firmy Hilti. [12]

3.1.3 Destruktivní metody

Pokud nevedou nedestruktivní metody k požadovanému cíli nebo pokud je nutné přesnější stanovení hledaných charakteristik, je nutné použít metody destruktivní. Kombinace obou typů metod je velmi účelná, protože destruktivní metoda dokáže zpřesnit kalibrační vztahy metod nedestruktivních. [3]



Obr. 3.3: Příklad provedení sekané sondy v praxi. (Archiv Ing. Ondřeje Antona, Ph.D)

Nejvýraznějším kladem této metody je naprosto přesná identifikace obnažené výztuže v konstrukci. Naopak při realizaci dochází k poškození konstrukce a tím i redukci zkoušených míst. Nejpoužívanější destruktivní metoda používaná pro diagnostiku železobetonových konstrukcí je sekaná sonda (viz Obr. 1.4).

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

4 DIAGNOSTIKA ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

Beton díky svým technickým možnostem patří bez pochyby mezi nejpoužívanější stavební materiály současnosti. Jeho celková roční spotřeba na světě se již několik desítek let udržuje na hodnotě 6,5 mld. m³. Nesmí být však opomenuto, že použití betonu má svá úskalí, jako např. korozivní mechanismy ovlivňující jeho trvanlivost. Životnost tohoto materiálu tedy ovlivňuje řada faktorů, a to např. uložení ocelové výztuže, způsob ukládání a hutnění betonové směsi, klimatické podmínky v době zrání či způsob užívání konstrukce a samozřejmě i zkušenosti pracovníků. [2]

Potřeba diagnostiky vychází z několika důvodů. U nové konstrukce je diagnostika betonových a železobetonových konstrukcí vyžadována, jestliže vznikly pochybnosti o kvalitě betonu či krytí výztuže. U starší konstrukce pak při pochybnostech o její bezpečnosti, a to většinou při vzniku staticky závažných poruch (trhlin apod.). Provedení diagnostiky je také předepsáno v projektové dokumentaci po určité době od výstavby, dále pak při rekonstrukci, přestavbě či nadstavbě starších konstrukcí.

Při hodnocení železobetonové konstrukce je nutné počítat s rozdílnou kvalitou betonu a s jeho rozdílným stupněm degradace. V praxi se lze často setkat s nekvalitně vyrobeným betonem, jehož vlastnosti se díky degradačním procesům ještě zhoršily. Hlavní problémy vyskytující se na konstrukcích jsou podle časového období následující:

- **Konec 19. století** – nekvalitní vstupní suroviny (cement, kamenivo), použití prokládaného betonu a možný výskyt kaveren.
- **Po 1. světové válce** – vznik úsporných staveb, masivní konstrukce mívají kvalitní pouze povrchovou vrstvu betonu, tzv. předsádkový beton, uvnitř konstrukce se pak nachází málo zhutněný až mezerovitý beton.
- **30. až 50. léta 20. století** – použití hlinitanového cementu, což je materiál charakteristický rychlým nárůstem pevnosti, avšak po čase dochází k rozkladu pojiva a tím ke ztrátě únosnosti konstrukcí.
- **Po 2. světové válce** – rychlá a často provizorní obnova válkou zničených objektů, kdy ve stavbách zůstává železobeton zasažený požárem či výbuchem.
- **50. až 70. léta 20. století** – technologická nekázeň spočívající v nízké kontrole kvality, nízké pracovní morálce, nahrazování jinými druhy oceli a malé krytí výztuže krycí vrstvou betonu („Akce Z“ apod.).
- **Po roce 1989** – zlepšování jakosti betonových konstrukcí díky lepší kontrole kvality a hlavně vyšší úrovni technologie. [4]

Při průzkumech a hodnocení starších železobetonových konstrukcí se můžeme setkat s řadou výše uvedených úskalí. Nelze tedy beton hodnotit jen na základě vizuálního vzhledu, protože kvalitní povrch vyrobený z vrstvy kvalitní cementové malty dokáže skrýt řadu trhlin a dalších poruch. [4]

4.1 Metody diagnostiky železobetonových konstrukcí

Při diagnostice železobetonového objektu se rozlišují zkoušené vlastnosti betonu a ocelové výztuže. V souvislosti s tím je důležitý vhodný výběr metody, která umožňuje stanovit požadované vlastnosti. K vlastnostem **betonu**, na které je třeba se zaměřit, patří např. druh betonu, jeho stejnorodost, pevnost, modul pružnosti, objemová hmotnost a další. Mezi hlavní zjišťované vlastnosti **ocelové výztuže** patří druh, množství, poloha a také koroze výztuže.

Metody pro beton:

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

Metody pro ocelovou výztuž:

- koroze výztuže – metoda elektromagnetických indikátorů, metoda akustické emise;
- množství a poloha výztuže – radiografická metoda, metoda elektromagnetických indikátorů, sekané sondy, georadar. [4]

4.2 Vybrané metody sloužící pro kontrolu vyztužení

Jednou z nejdůležitějších součástí diagnostického průzkumu železobetonových konstrukcí je stanovení polohy výztuže, a to např. u konstrukcí, k nimž se nedochovala projektová dokumentace, nebo je třeba naopak ověřit soulad projektové dokumentace s reálným vyztužením. Dalším důvodem může být nutnost minimalizovat riziko porušení či přerušení výztuže při vrtání, kdy je potřebné získat vzorky betonu jádrovými vývrty. V současnosti je k dispozici hned několik metod, kterými lze získat požadované informace, avšak každá z nich má své výhody i nevýhody. [5]

4.2.1 Destruktivní metoda – sekaná sonda

Slovo destrukce, nebo lze také říci porušení, napovídá, jaký je základní princip této metody. Při použití destruktivní metody dochází k odstranění krycí vrstvy betonu a tím i k viditelnému poškození konstrukce. Metoda má za cíl vizuálně vyhodnotit obnaženou výztuž za použití minimálního vybavení. Výztuž se zpravidla odkrývá v místě tahového namáhání prvku, kde normálová napětí přenáší výztuž, takže na únosnost konstrukce by odstranění krycí vrstvy betonu nemělo mít negativní vliv. Průměr výztuže, vzájemná poloha a krytí se pak měří pomocí posuvného měřidla.

Avšak u složitěji vyztužených prvků dochází k velkému riziku při zpracování výsledků, protože výztuže uložené hlouběji nejsou vždy zjištěny. Tato metoda je tedy efektivní jen u velmi jednoduchých případů vyztužování. [5]



Obr. 4.1: Sekaná sonda s obnaženou ocelovou výztuží. (Archiv Ing. Ondřeje Antona, Ph.D.)

4.2.2 Elektromagnetické indikátory

Elektromagnetické indikátory jsou přístroje používané k diagnostice železobetonových konstrukcí již několik století. Jsou založené na principu využití feromagnetického jevu či vířivých proudů, které způsobují změnu charakteristik magnetického pole sondy při přiblížení k výztuži. [6]

Elektromagnetické indikátory lze využít pro:

- Identifikaci, zda je beton prostý nebo vyztužený (dosah přístrojů je až do 200 mm).
- Stanovení polohy výztuže, omezení je však dáno vzdáleností a hloubkou výztuže.

- Stanovení průměru výztuže, kdy úspěšnost stoupá s klesajícím krytím a zvětšující se vzdáleností mezi jednotlivými pruty.
- Stanovení krytí výztužné vložky. Pokud je znám průměr výztuže a její rozmístění, je možné pomocí korekcí zjištěných při měření na modelu konstrukce určit krytí výztuže velmi přesně.

Indikátory výztuže nelze díky svým omezením využít pro:

- Identifikaci druhé vrstvy výztuže ve stejném směru, jsou-li pruty umístěny ve dvou či více vrstvách nad sebou.
- Rozpoznání výztuže, která probíhá příliš blízko sebe.
- Nalezení výztuže, která se nachází mimo dosah přístroje.
- Určení druhu výztužné vložky (tvar žebírek apod.).
- Určení míry koroze a v jakém stavu se nachází. [4]

V současné době je na trhu k dispozici celá řada magnetických indikátorů výztuže různých značek. Mezi firmy zabývající se výrobou těchto přístrojů patří např. Proceq, Hilti, Bosch a jiné. Historický vývoj typů elektromagnetických indikátorů výztuže firmy Proceq je patrný z Obr. 4.2.



Obr. 4.2: Vývoj přístrojů Profometer švýcarské firmy Proceq. [7]

▪ **Profometer PM-630 (firma Proceq)**

Tento přístroj má mnohaletou tradici, v současné době je na trhu šestá generace, která se od předchozích typů výrazně odlišuje. Tento přístroj využívá moderní dotykový displej umožňující okamžité zobrazení průběhu měření, což přispívá ke kontrole postupu měření

v reálném čase. Sonda, kterou lze snadno vložit do rámu se čtyřmi kolečky, je bodová, směrová, hloubková a průměrová. K tradiční zvukové signalizaci přibyla i světelná signalizace (dvě šipky a kruh - viz detail na Obr. 4.3) pro lepší orientaci při lokalizaci. Po přejetí výztuže šipka ukáže směr, kterým je třeba se posunout či vrátit. Pokud se sonda nachází přesně nad výztuží, rozsvítí se červený kruh. V tomto případě je možné výztuž zakreslit i změřit její průměr. Díky všem těmto detailům je obsluha přístroje velmi komfortní. [7]



rok 2013

Obr. 4.3: Přístroj Profometer PM-630. [7]

Pro samotné měření lze využít dva měřicí režimy: režim zjištění minimálního krytí a režim pro zjištění průměru výztuže. Tento přístroj umožňuje detekci objektů s následující přesností:

- Hloubka detekce do 185 mm;
- Přesnost lokalizace ± 3 mm;
- Přesnost určení hloubky od ± 1 do ± 4 mm. [7]

Mezi hlavní přednosti elektromagnetických indikátorů patří rychlost a jednoduchost kontroly polohy výztuže. Naopak zásadní omezení metody spočívá v jejím hloubkovém dosahu. Tyto přístroje jsou tedy používány spíše jako podpůrné, a proto je účelné používat je v kombinaci s jinými metodami, např. sekanými sondami či s metodou radiografie.

Pro účely praktické části diplomové práce při měření v terénu byl použit již zmíněný přístroj Profometer PM-630 (viz Obr. 4.3).

4.2.3 Radiační metoda – Radiografie

Radiografie je součástí souboru metod, které tvoří oblast nedestruktivního zkoušení, nazývanou radiační defektoskopie. Tato metoda je jednou z nejstarších aplikací, která využívá ionizující záření. Obecně lze říci, že radiační defektoskopie využívá specifických vlastností ionizujícího záření, a to schopnost procházet hmotou v různé hustotě toku. [9]

Tato metoda se běžně využívá ke zjištění množství, polohy, profilu a typu ocelové výztuže v železobetonu. Je schopná zobrazit vnitřní nehomogenity v prvcích a materiálech bez porušení. Tento průzkum se využívá především v silně vyztužených železobetonových konstrukcích, kde jsou pruty uloženy těsně vedle sebe, popř. ve více vrstvách nad sebou a také v konstrukcích, v kterých je ocelová výztuž kryta tlustou vrstvou betonu.

Jako zdroj záření je používán radioaktivní kobalt Co 60, který je umístován do defektoskopického krytu (Obr. 4.4). Gamazářiče jsou schopny prozářit železobetonové konstrukce až do tloušťky 500 mm. [5] [8]



Obr. 4.4: Radiografický uranový kryt TECH/OPS. [4]

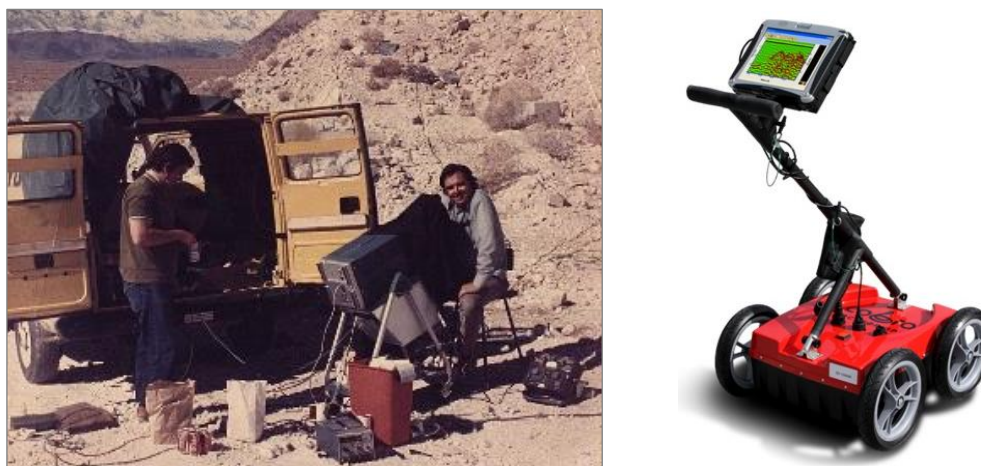
Touto metodou lze tedy zjistit kompletní stanovení polohy výztuže, druh a také průměr hledané výztuže. Výhoda gamazářičů spočívá v jejich nezávislosti na zdrojích energie. Radiografie má však i řadu omezení, která spočívají v časové náročnosti a složitosti metody. Je také nutné zabezpečit místo prozařování z důvodu ochrany před škodlivým zářením. [9]

4.2.4 Metoda georadaru

Metoda georadaru (GPR – Ground Penetrating Radar) je zcela nedestruktivní metoda používaná pro diagnostiku železobetonových konstrukcí. Jedná se o metodu založenou na principu vysílání elektromagnetických pulzů do zkoumaného prostředí (půda nebo beton) a na následné registraci jejich odrazů od překážek.

GPR technologie se uplatňuje v mnoha odvětvích lidské činnosti, jako například letectví, kosmonautika, glaciologie, kriminalistika, geologie a geotechnika, archeologie a nedílnou součástí je stavebnictví. V České republice se georadarová měření provádějí od 90. let, avšak na stavební účely je tato metoda používána od začátku 20. století. [10]

Vývoj georadarů je patrný z Obr. 4.5, přičemž pro účely diagnostiky stavebních konstrukcí je pojízdné zařízení nahrazeno soustavou os x, y, po které se přístroj pohybuje.



Obr. 4.5: GPR aparatura v roce 1973 (vlevo), GPR aparatura dnes (vpravo).

Technologie radaru, původně vyvinutá pro geologické aplikace, se díky technickému rozvoji a požadavkům trhu začíná stále více uplatňovat ve stavebnictví. Jak již bylo řečeno, metoda GPR využívá princip vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických impulzů do zkoumaného prostředí a registraci jejich odrazů v časovém okně. Přední výrobci georadarových systémů uvedli na trh vysokofrekvenční antény s dostatečně velkým rozlišením detekovatelných nehomogenit (rozsah frekvencí 10^8 - 10^9 Hz).

Zásadním přelomem ve využívání georadaru při stavebně technických průzkumech se stalo uvedení na trh přístroje PS 1000 X-Scan od firmy Hilti. [10] [9]

▪ Radar Hilti PS 1000 X-Scan

Celý přístroj je přímo určen pro železobetonové konstrukce. Tento detektor je schopen vyhledat všechny druhy kovových předmětů (např. výztuž, předpínací táhla, měděné a hliníkové trubky) a nekovových předmětů (vzduchové dutiny, plasty, kabelovody, kabely ze skleněných vláken apod.) uložených v betonu. Dále dokáže vyhledat předměty ve více vrstvách nad sebou. [11]

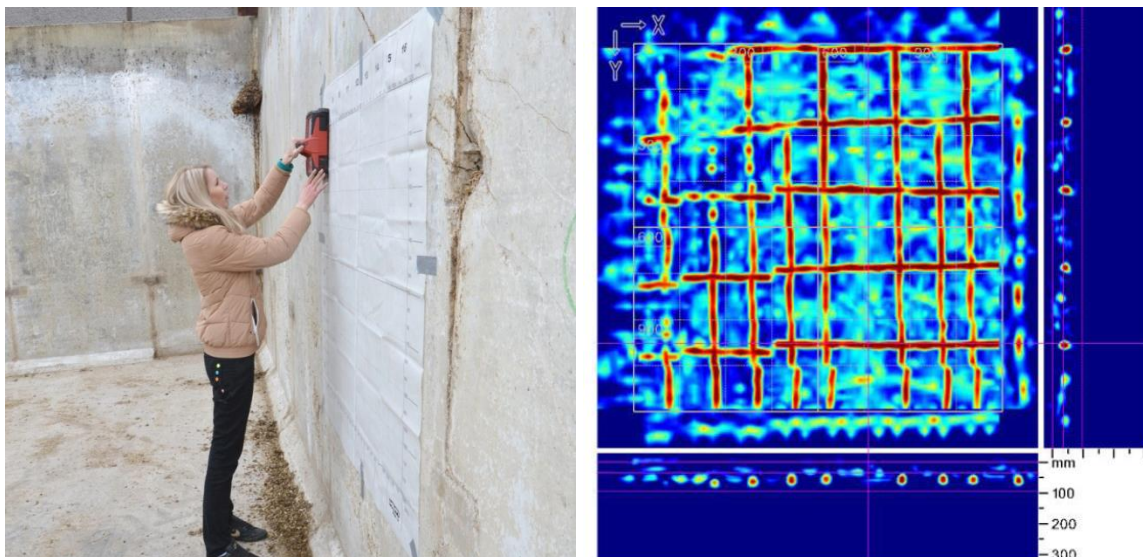


Obr. 4.6: Hilti PS 1000 – Skener PS 1000 (vlevo), vyhodnocovací jednotka (vpravo). [1]

Tento přístroj disponuje relativně malou sondou, která je osazena trojicí antén umožňujících dokonalé určení polohy výztuže i několika objektů ležících nad sebou. Obsluha georadaru Hilti PS 1000 je velice snadná a přístroj je schopen detekovat objekty s následující přesností:

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

Hilti PS 1000 poskytuje náhled do betonových konstrukcí v reálném čase a připojený software dokáže vyhodnotit získaná data přímo na místě. V praxi lze skenovat ve třech režimech. Jednodušší liniové skenování, které poskytuje pohled v řezu – režim **Quickscan**. Pro záznam dlouhé řady skenů se využívá režim **Quickscan Recording**. Plošné skenování je možné v rastru 600×600 mm nebo 1200×1200 mm a poskytuje možnosti zobrazení výstupu ve 2D nebo 3D – režim **Imagescan**. [5] [11]



Obr. 4.7: Plošné skenování v režimu Imagescan (vlevo), příklad výsledného skenu v režimu Imagescan (vpravo).

Použití přístroje je určeno přímo na betonové povrchy, jeho výkon je negativně ovlivněn každou přidanou vrstvou nad betonem. Při skenování přes omítky, izolační vrstvy apod., je tedy nutné počítat s jistým snížením vyhledávacích schopností přístroje. Určité problémy lze očekávat i při skenování na drsném povrchu, který vytváří rušivé signály a tím snižuje výkon samotného přístroje.

Vysoký hloubkový dosah, přehledné zobrazení více objektů nad sebou a rychlé vyhodnocení patří mezi hlavní výhody georadaru Hilti PS 1000. Veškerá naměřená data lze také zpracovat a vyhodnocovat dodatečně.

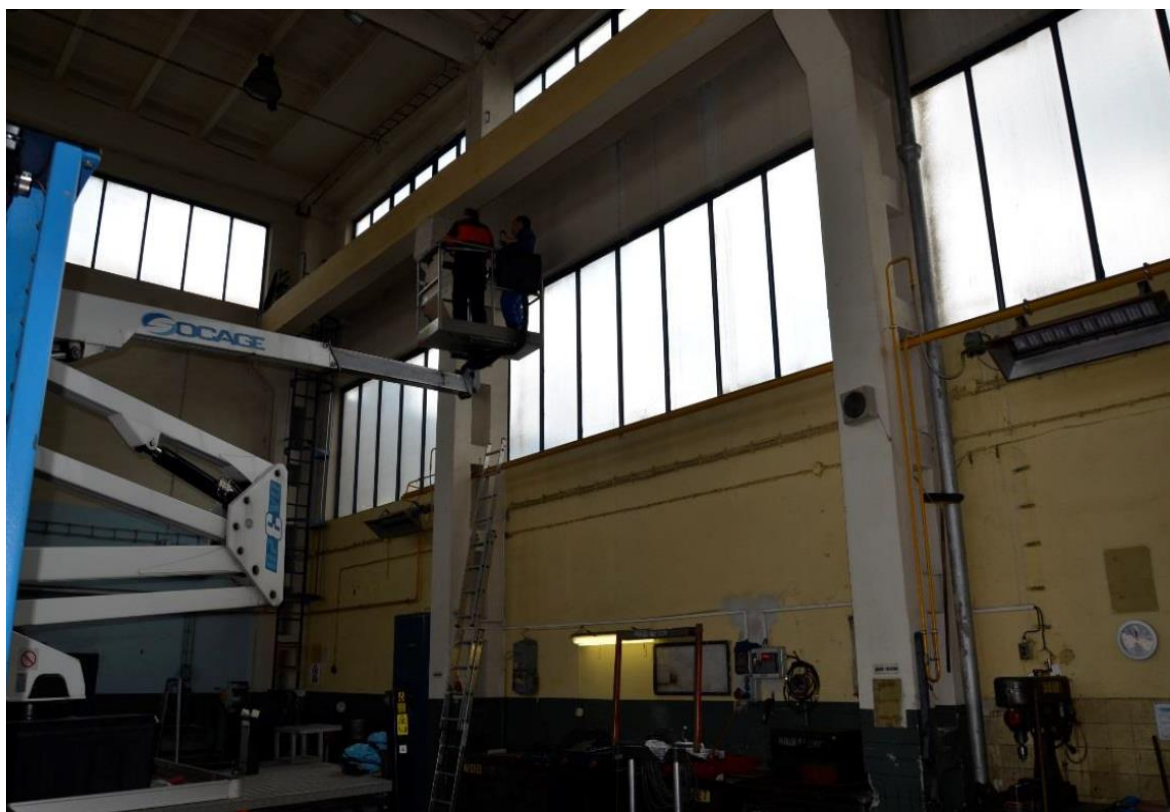
Zásadní nevýhoda přístroje spočívá v neschopnosti zaznamenat průměr lokalizované ocelové výztuže. I v tomto případě je tedy účelné použít při diagnostice stavebních konstrukcí kombinaci s některou alternativní zkušební metodou. [5] [11]

5 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM PRŮMYSLOVÉ HALY ALPINE BAU CZ a.s., ČESKÉ MEZIŘÍČÍ

5.1 Základní údaje

V rámci diplomové práce byl proveden stavebně technický průzkum železobetonové průmyslové haly v obci Krásno nad Bečvou v blízkosti Valašského Meziříčí. Jednalo se o diagnostiku vybraných prvků železobetonové jeřábové dráhy (JD). Konkrétně se průzkum týkal nosných sloupů a mezilehlého nosníku JD. Diagnostikované sloupy jsou po celé své výšce vylehčeny otvory a připomínají příhradovou konstrukci s tuhými styčníky, tzv. Vierendeelovy sloupy.

Z důvodů současných narůstajících nároků na průmyslovou výrobu a tím i na stavební konstrukci, vznikl ze strany investora požadavek na výměnu stávající jeřábové dráhy za novou. Předmětem diagnostického průzkumu bylo tedy identifikovat polohu výztuže již zmíněných prvků JD in-situ pro následné zjištění jejich únosnosti a dále zhodnotit kvalitu použitého betonu v konstrukci.



Obr. 5.1: Pohled na zkoumanou oblast jeřábové dráhy (sloup S1, nosník N1 a sloup S2). [13]

5.2 Zkušební předpisy a postupy

Veškeré průzkumné práce in-situ a následné laboratorní zkoušky byly prováděny a vyhodnocovány v souladu s následujícími normovými předpisy:

ČSN ISO 13822	Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí
ČSN EN 13791	Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích
ČSN EN 12504-1	Zkoušení betonu v konstrukcích Část 1: Vývrty – Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku
ČSN EN 206	Beton. Vlastnosti, výroba, ukládání a kritéria hodnocení
Schmid P. a kol.	Základy zkušebnictví, skripta VUT FAST v Brně

5.3 Rozsah průzkumu

Na místě byl nejdříve proveden předběžný průzkum (vizuální prohlídka) a na jeho základě byla vybrána místa pro provedení stavebně technického průzkumu.

Pro ověření vyztužení byla zvolena reprezentativní místa nosných prvků. Ověřování vyztužení probíhalo tak, že byly nejprve zjištěny počty prutů a jejich poloha v konstrukci pomocí přístroje Profometer PM-630 v kombinaci s použitím radaru Hilti PS 1000. Následně byl počet prutů výztuže ověřen na vybraných místech pomocí sekaných sond. Sekané sondy byly prováděny i z důvodu zjištění typu výztuže a míry koroze prutů výztuže, protože pomocí NDT metod (s výjimkou radiografie) nelze tyto parametry určit. Radiografická metoda k určení vyztužení nebyla v tomto případě použita, a to z důvodu větší časové i finanční náročnosti.

Pro získání pevnostních charakteristik betonu bylo použito výhradně testování na jádrových vývrtech, a to z důvodu omezení prašnosti při provádění průzkumu. Použití odrazové zkoušky pomocí Schmidtova tvrdoměru s sebou nese prašné procesy (odstranění vrstvy omítky a následné zbroušení povrchu), které byly v tomto případě nežádoucí.

V rámci stavebně technického průzkumu byly provedeny tyto úkony:

1. Určení způsobu vyztužení vybraných prvků JD

- Sondy na sloupu JD s označením S1 (2. sloup v řadě)
- Sondy na sloupu JD s označením S2 (3. sloup v řadě)
- Sondy na nosníku JD s označením N1 (nosník mezi 2. a 3. sloupem)

Umístění zkoušených prvků v konstrukci je patrné z Obr. 5.2.

2. Odběr vzorků betonu ze sloupů JD

- 3 jádrové vývrty o průměru 50 mm

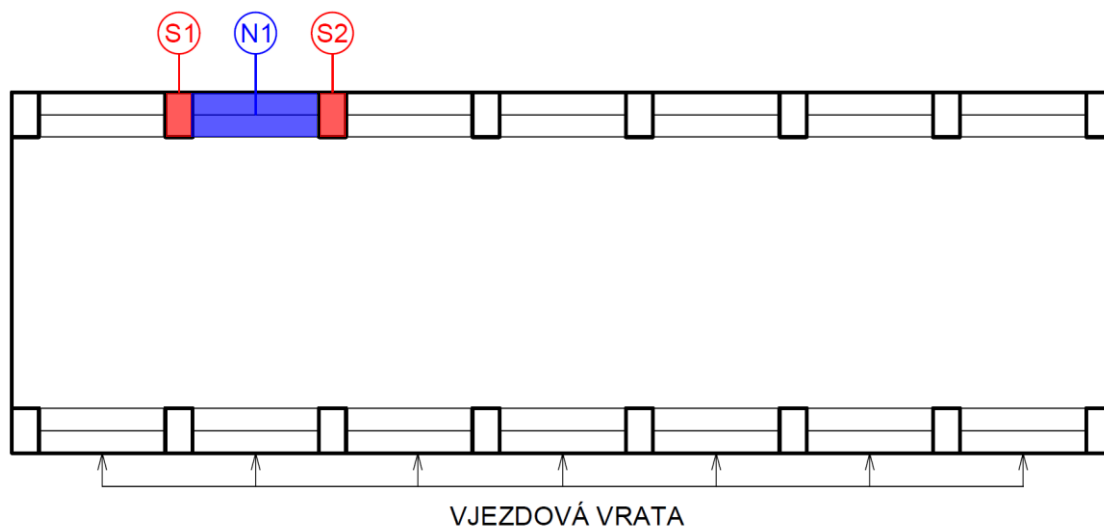
3. Zjištění míry karbonatace betonu určená za pomoci 1% roztoku fenolftaleinu

- Orientační test míry karbonatace na všech odebraných vzorcích betonu

4. Výroba zkušebních těles a jejich laboratorní zkoušení

5. Určení charakteristické pevnosti betonu a jeho zařazení do pevnostní třídy

- Charakteristická pevnost dle ČSN ISO 13822, pevnostní třída dle ČSN EN 206-1



Obr. 5.2: Půdorysné schéma haly s vyznačením diagnostikovaných prvků (sloup S1, mezilehlý nosník N1, sloup S2).

5.4 Použité metody a princip zkoušení

5.4.1 Ověření vyztužení

- Metoda magnetických indikátorů – přístroj Profometer PM-630
(podrobněji viz kapitola 4.2.2);
- Metoda georadaru – přístroj Hilti PS 1000 X-scan (podrobněji viz kapitola 4.2.4);
- Sekaná sonda (podrobněji viz kapitola 4.2.1).

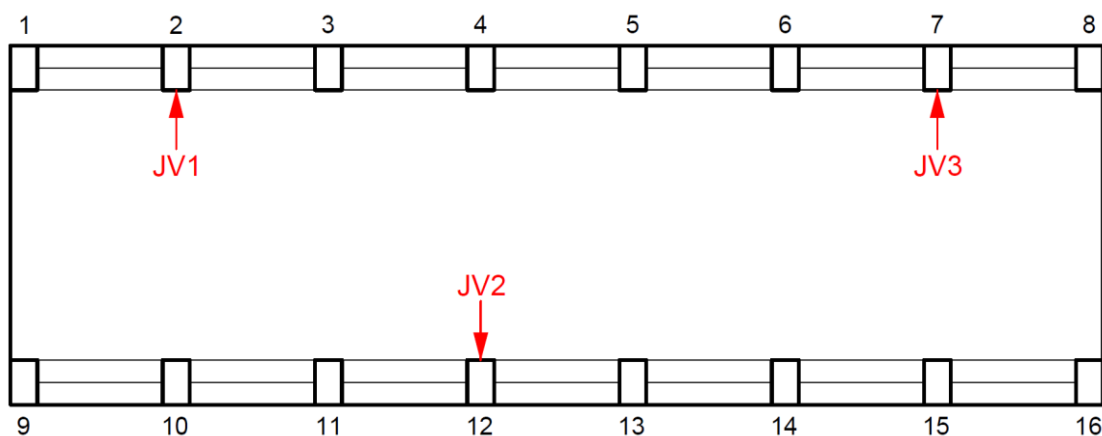
5.4.2 Vlastnosti betonu

▪ Jádrové vývrty

Vývrty jsou válcové zkušební vzorky, které se získávají z konstrukce pomocí dobře chlazeného jádrového vrtáku. Pro tento případ byla využita jádrová vrtací technika Hilti DD200 s příslušenstvím. Vývrty získané jádrovým vrtákem byly pečlivě vyšetřeny, upraveny zabroušením a zkoušeny v tlaku normovým postupem.

Odběr vývrtu je vždy značný zásah do konstrukce, a proto byl zvolen co nejmenší průměr vývrtu (50 mm). Odběr byl také prováděn přednostně z míst, kde bylo minimum výztuže a také ne v blízkosti spár nebo hran betonových prvků. Právě pro vyloučení poškození konstrukce tím, že by byla při vrtání přerušena výztuž, byla použita kombinace nedestruktivních přístrojů – radaru Hilti PS 1000 a profometeru PM-630.

Byly odebrány celkem 3 jádrové vývrtky o průměru 50 mm z 2., 7. a 12. sloupu JD. Rozmístění je znázorněno na Obr. 5.3. Jádrové vývrtky se také staly podkladem pro stanovení pevnostních charakteristik betonu (viz kapitola 5.6.1).



Obr. 5.3: Půdorysné schéma s umístěním jádrových vývrtů (2., 7. a 12. sloup).

▪ Karbonatace betonu

Po odvrtání jádrových vývrtů a jejich vyjmutí z konstrukce byl v laboratoři proveden základní test karbonatace povrchových vrstev betonu. K posouzení hloubky karbonatace byla použita jednoduchá fenolftaleinová zkouška. Povrch betonu se po odvrtání a odbroušení zropil destilovanou vodou a nechal oschnout. Na povrch se poté aplikoval 1% roztok fenolftaleinu.

Princip zkoušky spočívá ve stanovení stavu zbarvení povrchu betonu, kdy při hodnotě pH vyšší než 9,5 dochází ke zbarvení betonu do fialova. Toto zbarvení indikuje z hlediska karbonatace „zdravý beton“, tedy fakt, že je v této hloubce výztuž chráněna proti korozi. Je však nutné zdůraznit, že tato zkouška je pro stanovení hloubky karbonatace pouze orientační.

▪ Výroba zkušebních těles, princip zkoušení

V laboratorních podmínkách byly odebrané vzorky betonu nařezány při mokřém řezání na kružní pile na jednotlivá zkušební tělesa v poměru délky vývrtu k průměru 1:1.

Po osušení těles byly vzorky změřeny s citlivostí alespoň 0,1 mm, zváženy s přesností 0,1 g a podrobeny zkoušce v tlaku na hydraulickém lisu FormTest s rychlostí zatěžování odpovídající hodnotě přírůstku 0,6 MPa/s. Pevnost v tlaku u každého zkušební tělesa byla poté určena jako podíl maximálního zatížení průřezovou plochou. Výsledek byl zaokrouhlen na nejbližší 0,1 MPa.

▪ Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci

Jak již bylo řečeno, podkladem pro stanovení charakteristických pevností betonu v tlaku se stala zkušební tělesa vyrobená z jádrových vývrtů odebraných z konstrukce. Charakteristickou pevnost betonu v konstrukci ze zkoušek na vývrtech lze v současné době stanovit podle ČSN ISO 13822 a ČSN EN 13791.

Pro tento případ byl zvolen postup dle **ČSN ISO 13822**:

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

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

Za předpokladu normálního rozdělení se pak charakteristická hodnota X_k (dolní 5% kvantil) stanoví dle vztahu:

$$X_k = m_x(1 - k_n V_x) = m_x - m_x k_n \frac{s_x}{m_x} = m_x - k_n s_x$$

kde k_n je součinitel pro stanovení 5% kvantilu dle tabulky.

Tab. 5.1: Součinitele k_n pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty):

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

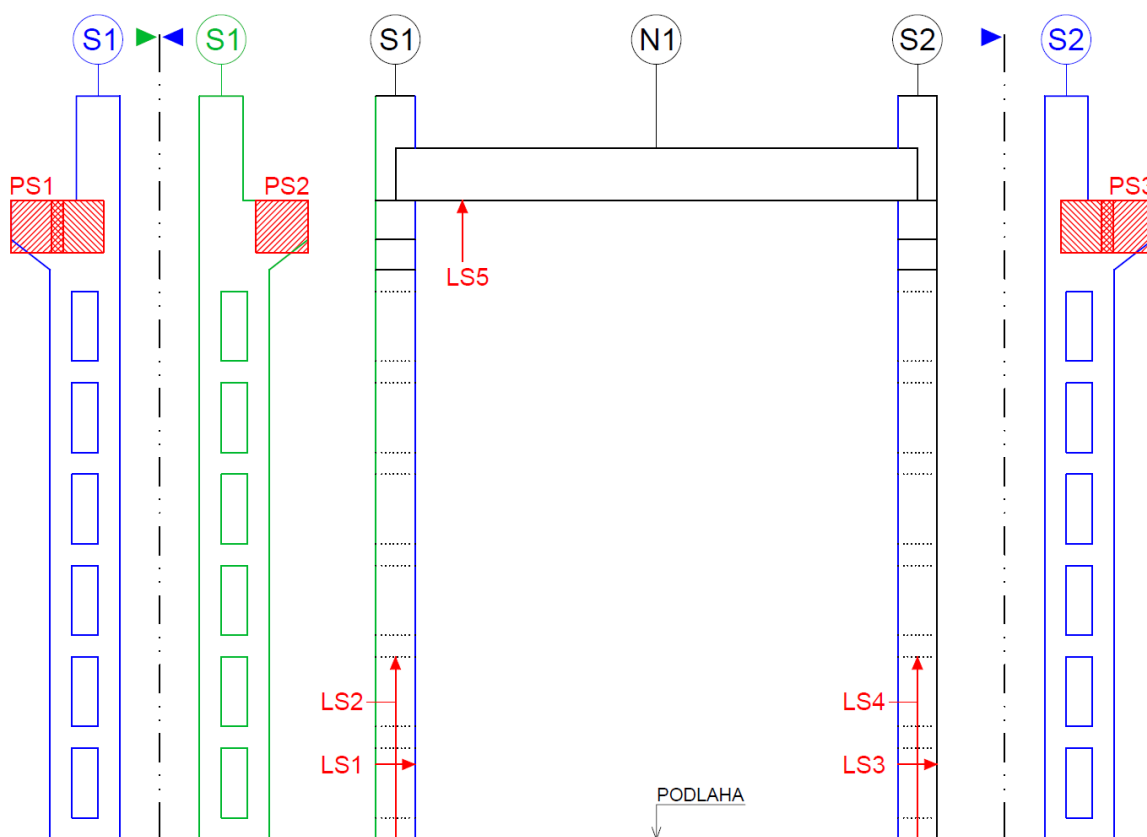
Variační součinitel lze považovat za známý, jestliže to ukazují dlouhodobé zkušenosti získané za stejných podmínek, avšak pro starší neznámé konstrukce je vhodné uvažovat V_x neznámý. I v případě, že tab. 5.1 naznačuje možnost využití jedné zkoušky, doporučuje se provést minimálně 3 až 6 zkoušek.

5.5 Identifikace vyztužení prvků JD

Při vlastním stavebně technickém průzkumu pro určení vyztužení sloupů a nosníku JD ve vybraných pozicích byly použity vždy kombinace dvou nedestruktivních metod sondování. Jednalo se o již zmíněnou elektromagnetickou metodu v zastoupení přístroje Profometer PM-630 a metodu georadaru za pomoci přístroje Hilti PS 1000. Dále pro upřesnění identifikovaných výztuží byla použita destruktivní metoda, a to konkrétně sekaná sonda. V zastoupení semidestruktivních metod byly provedeny jádrové vývrty pro následné vyhodnocení pevnostní třídy betonu.

5.5.1 Vyhodnocení sond – georadar Hilti PS 1000

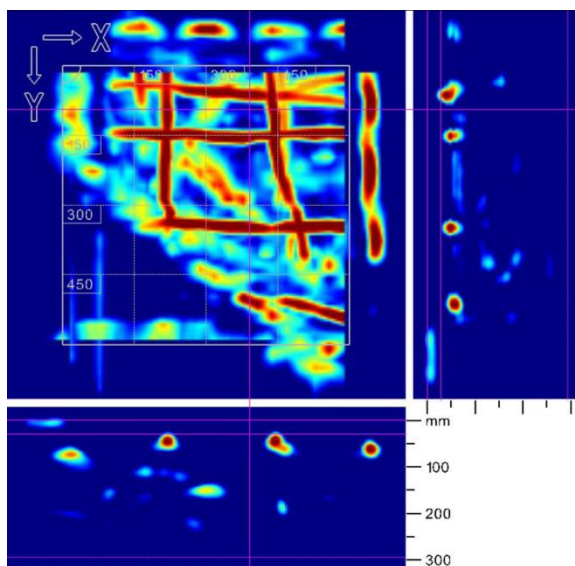
Za účelem ověření způsobu vyztužení sloupů S1, S2 a nosníku N1 jeřábové dráhy byly provedeny vždy dva liniové skeny u spodních částí sloupů S1, S2 v pozicích s označením LS1, LS2, LS3 a LS4. Dále byly provedeny radarové skeny v ploše 600 x 600 mm v pozicích s označením PS1, PS2 a PS3 z bočních stran krátkých konzol sloupů JD. Sonda PS1 a PS3 je složena ze dvou částečně se překrývajících skenů z důvodu velké měřené plochy. Poslední byla proměřena krajní oblast nosníku N1 liniovým skenem s označením sondy LS5. Rozmístění všech provedených sond je patrné z Obr. 5.4.



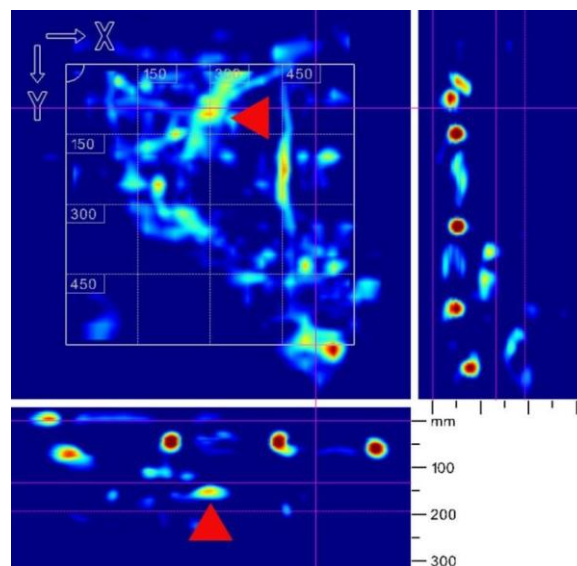
Obr. 5.4: Poloha sond prováděných radarem Hilti PS 1000 na prvcích S1, S2 a N1.

• Plošný radarový sken PS1

Plošný radarový sken PS1 byl proveden na boční straně v oblasti konzoly sloupu S1. Plošný sken na Obr. 5.5 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi lícem prvku a hloubkou 100 mm. Plošný sken na Obr. 5.6 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi hloubkou 130 až 190 mm. Na snímku je patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 130 mm. Tento ohyb je na snímku zvýrazněn červenými šipkami.

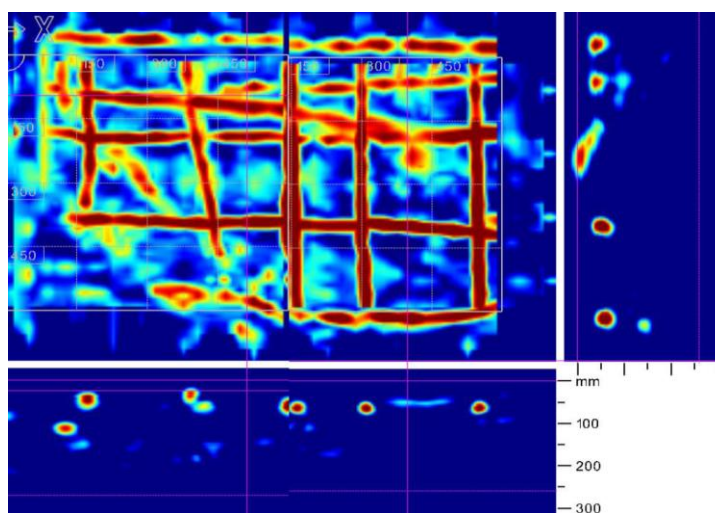


Obr.5.5: Plošný sken do hloubky 100 mm.



Obr. 5.6: Plošný sken v hloubce 130 až 190 mm.

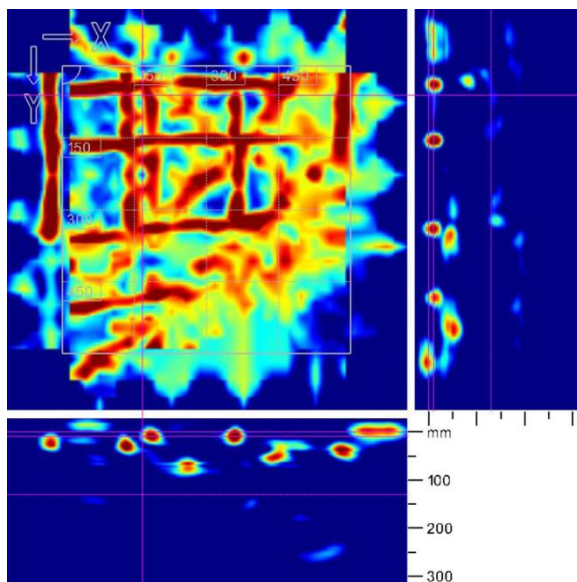
Jak již bylo řečeno, z důvodu velké měřené plochy je výsledný sken s označením PS1 složen ze dvou vzájemně se překrývajících skenů (viz Obr. 5.7). Dvojice skenů zachycuje výztuž na celém boku konzoly sloupu S1. Z těchto skenů je také patrné, že hlavní výztuž pod šikmou částí konzoly je poměrně utopená.



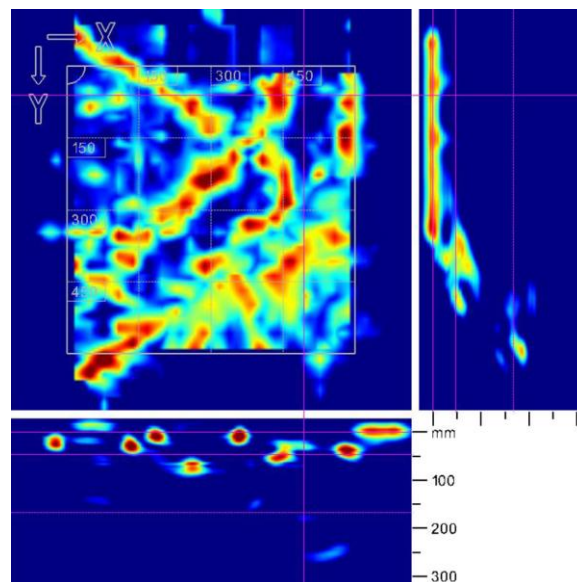
Obr.5.7: Výsledná dvojice plošných skenů PS1.

▪ Plošný radarový sken PS2

Plošný radarový sken PS2 byl proveden na druhé boční straně v oblasti konzoly sloupu S1. Plošný sken na Obr. 5.8 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi lícem prvku a hloubkou 100 mm. Plošný sken na Obr. 5.9 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi hloubkou 50 až 170 mm. Na snímku je patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 70 mm a současně velké krytí hlavní výztuže nacházející se pod šikmým lícem konzoly.



Obr.5.8: Plošný sken do hloubky 100 mm.

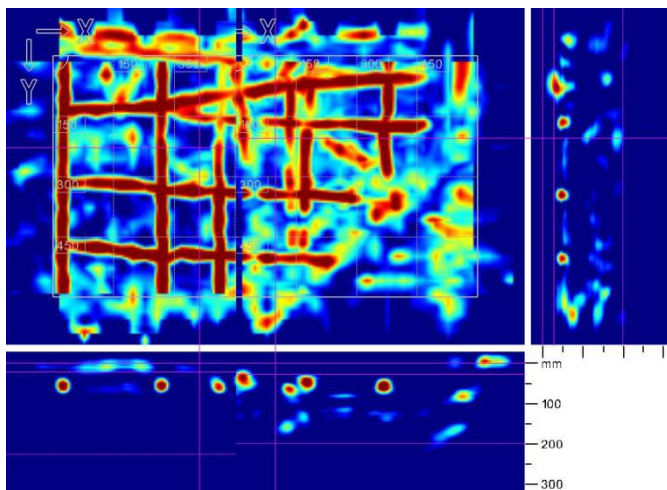


Obr. 5.9: Plošný sken v hloubce 50 až 170 mm.

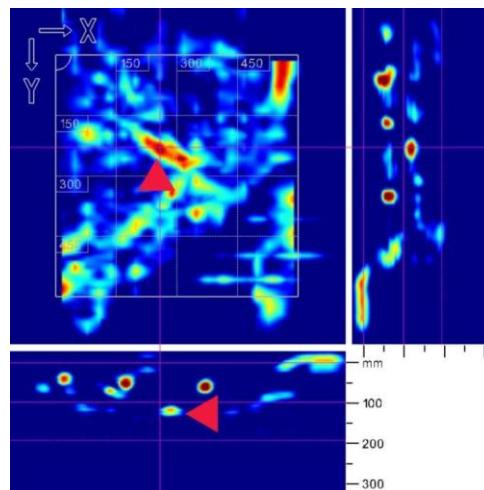
▪ Plošný radarový sken PS3

Plošný radarový sken PS3 byl proveden na boční straně v oblasti konzoly sloupu S2. I v tomto případě se výsledný plošný sken skládá ze dvou vzájemně se překrývajících skenů z důvodu velké měřené plochy.

Dvojice skenů na Obr. 5.10 zachycuje výztuž na celém boku konzoly sloupu S2. Část skenu na Obr. 5.11 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi hloubkou 100 až 200 mm. Na tomto snímku je patrný ohyb jedné z výztuží v hloubce cca 110 mm. Zmíněný ohyb je na snímku zvýrazněn červenými šipkami.



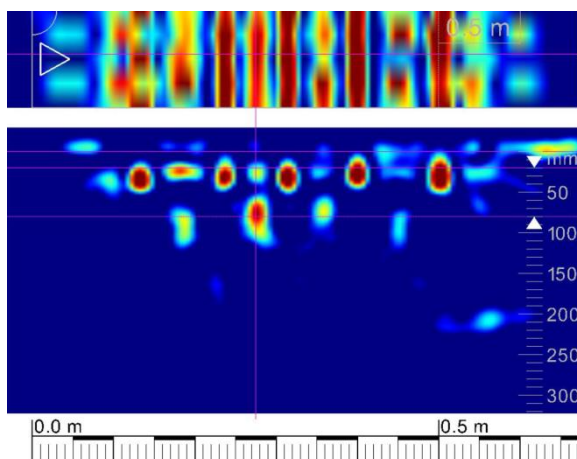
Obr. 5.10: Výsledná dvojice plošných skenů PS3.



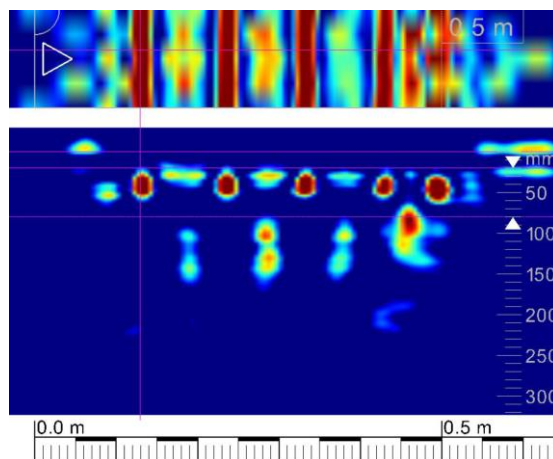
Obr. 5.11: Plošný sken v hloubce 100 až 200 mm.

▪ Liniové radarové skeny LS1, LS3

Liniové radarové skeny s označením LS1 a LS3 jsou vedeny horizontálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S1 (viz Obr. 5.12) a stejně tak sloupu S2 (viz Obr. 5.13). Skeny jsou vedené ve výšce cca 1000 mm nad podlahou a zachycují 5 prutů hlavní svislé výztuže. Na skenech jsou viditelné také zdánlivé nehomogenity ve větší hloubce, které jsou však způsobené pouze interferencemi radarových odrazů.



Obr. 5.12: Liniový radarový sken LS1.

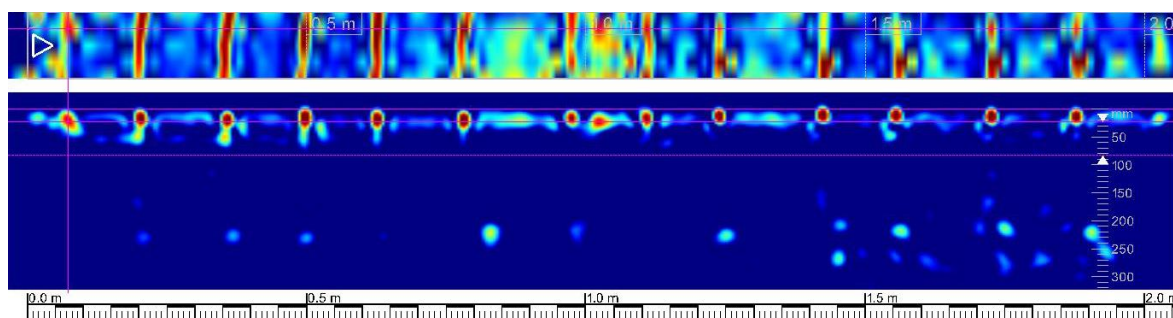


Obr. 5.13: Liniový radarový sken LS3.

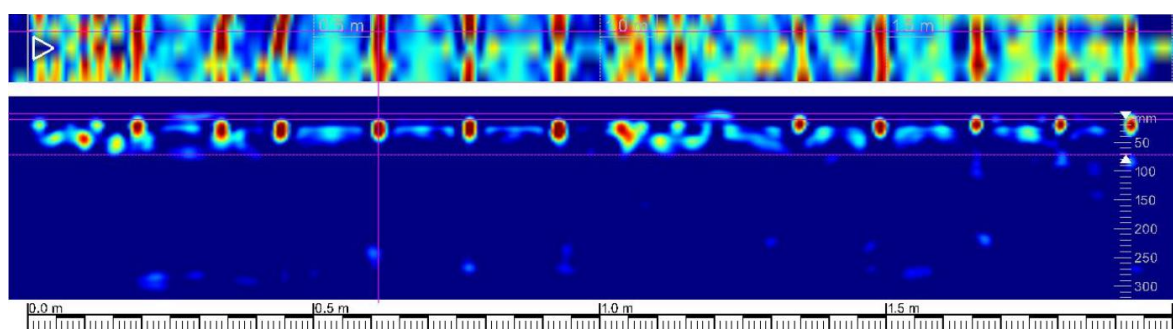
▪ Liniové radarové skeny LS2, LS4

Liniové radarové skeny s označením LS2 a LS4 jsou vedeny vertikálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S1 (viz Obr. 5.14) a stejně tak sloupu S2 (viz Obr. 5.15).

Skeny zachycují polohu třmínků ve spodní části sloupů S1 a S2 od cca 100 mm nad podlahou do výšky cca 2000 mm.

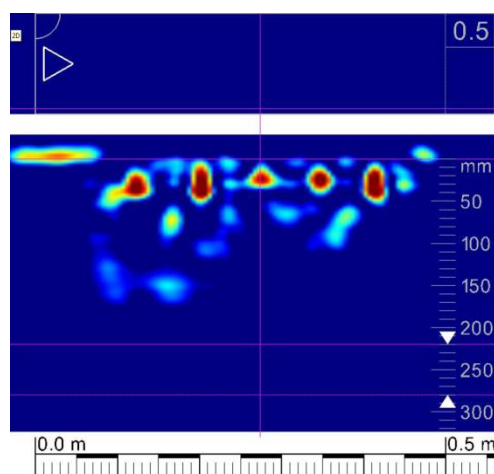


Obr. 5.14: Liniový radarový sken LS2.



Obr. 5.15: Liniový radarový sken LS4.

▪ Liniový radarový sken LS5



Obr. 5.16: Liniový radarový sken LS5.

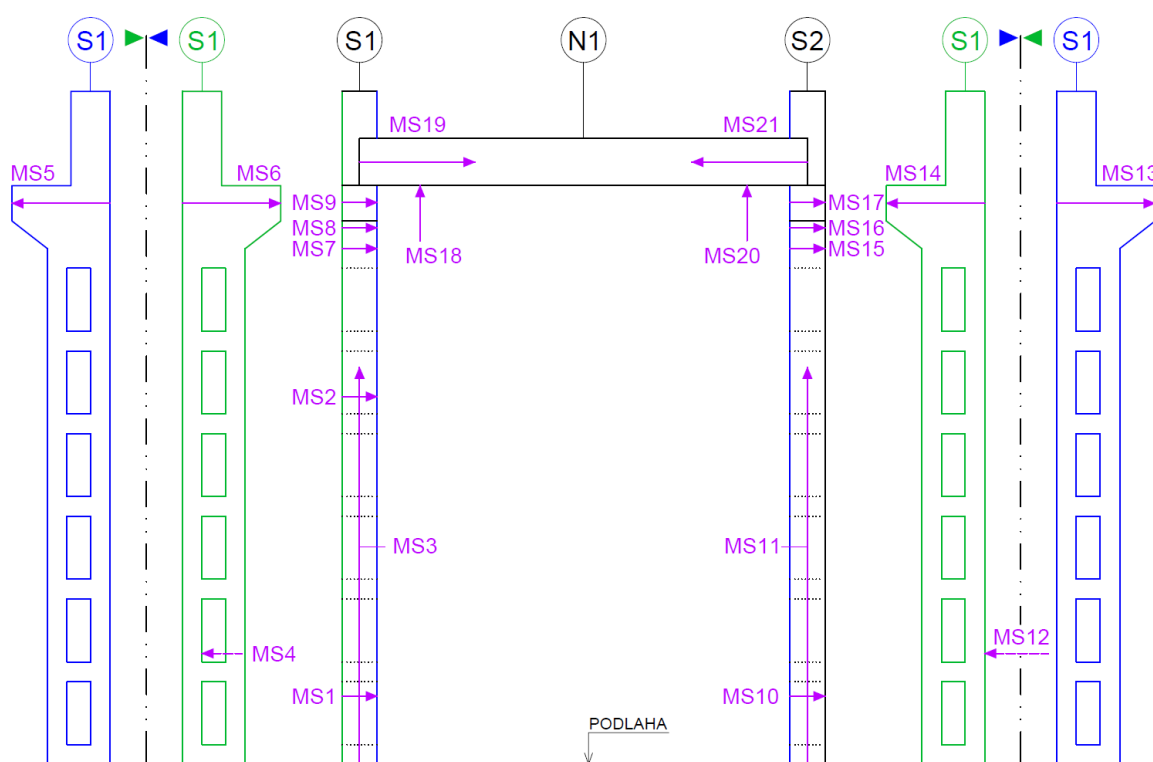
Liniový radarový sken s označením LS5 je vedený na spodním líci nosníku N1 bezprostředně u sloupu S1. Výsledný sken na Obr. 5.16 zobrazuje 5 prutů hlavní výztuže nosníku.

Liniový sken byl proveden i na bočním líci nosníku N1, na něm však nebyly zjištěny žádné ohyby hlavní nosné výztuže.

5.5.2 Vyhodnocení sond – profometer Proceq PM-630

Za účelem ověření způsobu vyztužení sloupů S1, S2 a nosníku N1 jeřábové dráhy byla Profometerem PM-630 nejprve proměřena spodní oblast sloupu S1 s označením sond MS1, MS2 a MS3. Dále byla proměřena oblast kolem vylehčovacího otvoru sloupu S1 s označením sondy MS4. Měření bylo také provedeno v oblasti krátké konzoly sloupu S1, a to z bočních stran s označením sond MS5 a MS6, dále z čelní strany s označením sond MS7, MS8 a MS9. Stejným způsobem byl proměřen i sloup S2 s označením sond MS10 – MS17. Poslední byly provedeny sondy na nosníku N1 s označením MS18 – MS21.

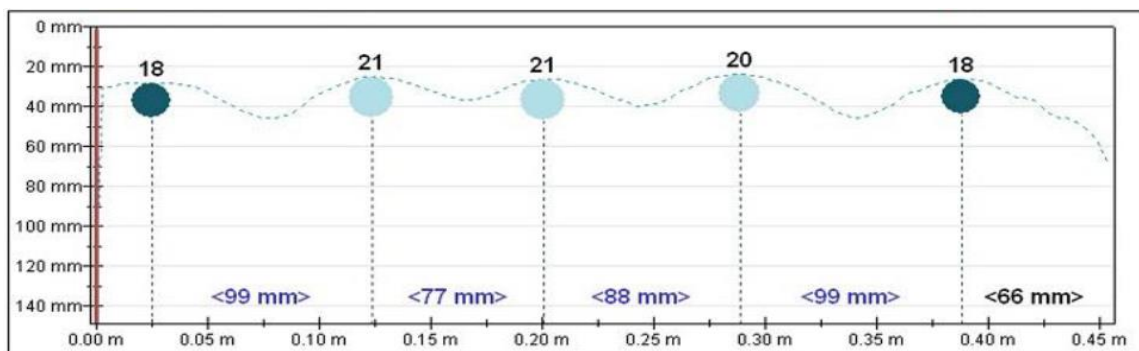
Rozmístění všech provedených sond Profometerem PM-630 je patrné z Obr. 5.17.



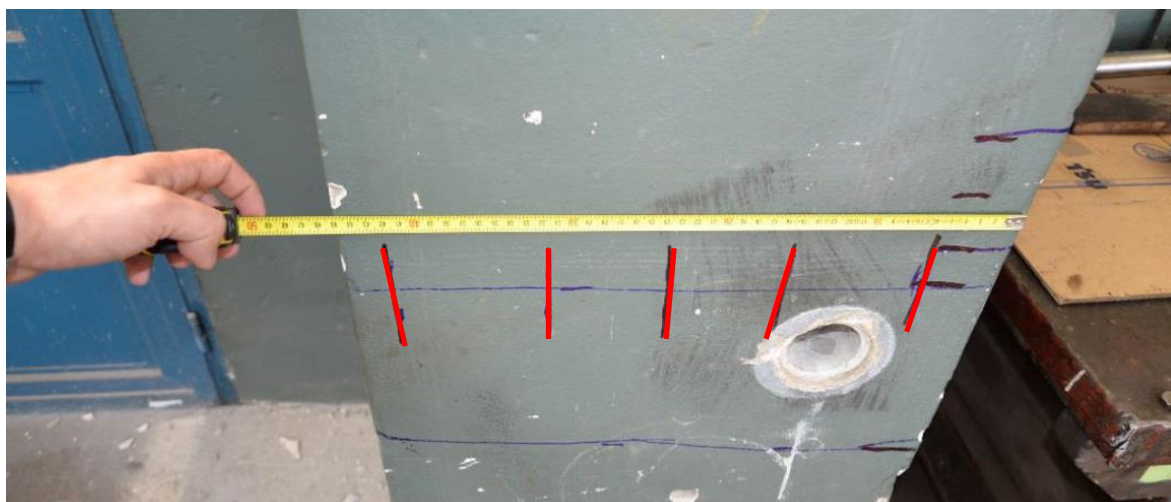
Obr. 5.17: Poloha sond prováděných profometerem Proceq PM-630 na prvcích S1, S2 a N1.

▪ Sonda MS1

Liniový záznam sondy s označením MS1 (viz Obr. 5.18) je vedený horizontálně na čelním povrchu sloupu S1 ve výšce cca 1300 mm a zobrazuje hlavní svislou výztuž sloupu. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 30 mm.



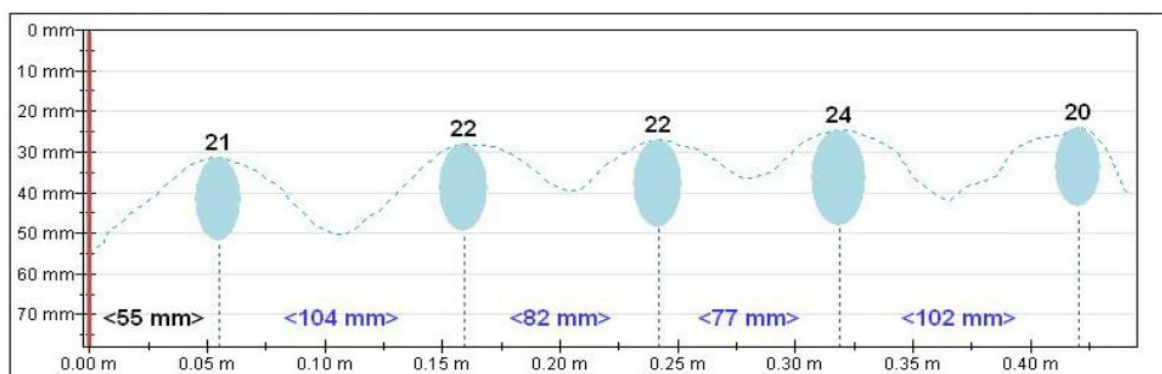
Obr. 5.18: Liniový záznam sondy MS1.



Obr. 5.19: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS1. [13]

▪ Sonda MS2

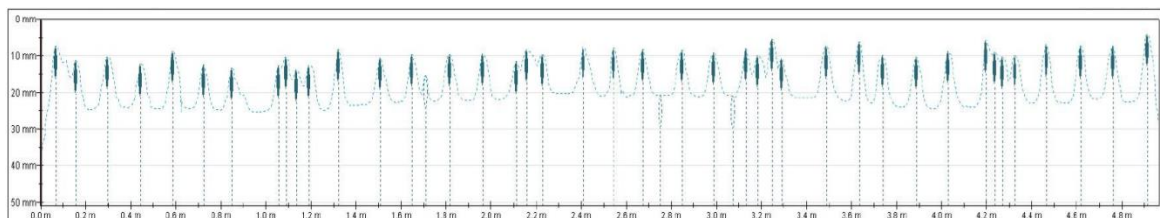
Liniový záznam sondy s označením MS2 (viz Obr. 5.20) je vedený horizontálně na čelním povrchu sloupu S1 ve výšce cca 7000 mm a zobrazuje hlavní svislou výztuž sloupu. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 30 mm.



Obr. 5.20: Liniový záznam sondy MS2.

▪ Sonda MS3

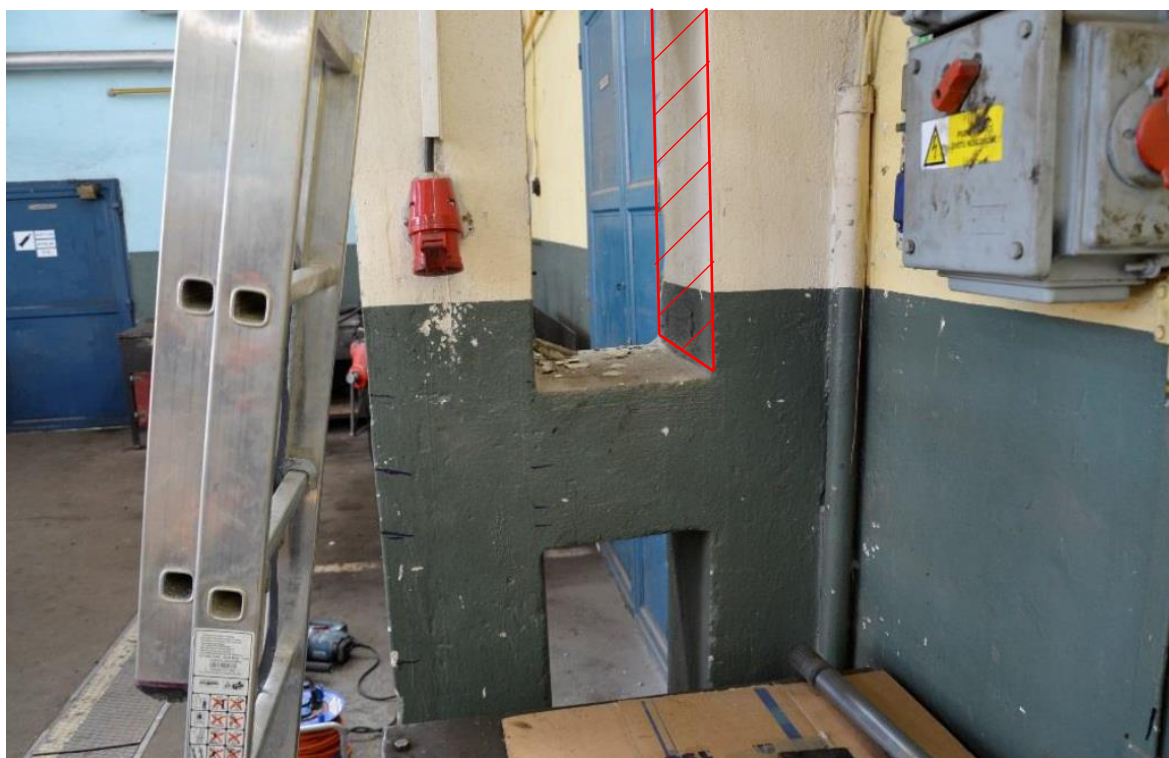
Liniový záznam sondy s označením MS3 (viz Obr. 5.21) je vedený vertikálně od podlahy směrem nahoru na čelním povrchu sloupu S1 do výšky cca 5000 mm. Zobrazuje rozteče třmínek sloupu, které se pohybují v rozmezí 140 – 160 mm. Jedná se o hladkou výztuž s průměrem 8 mm. Krytí třmínek se pohybuje od cca 5 do 15 mm.



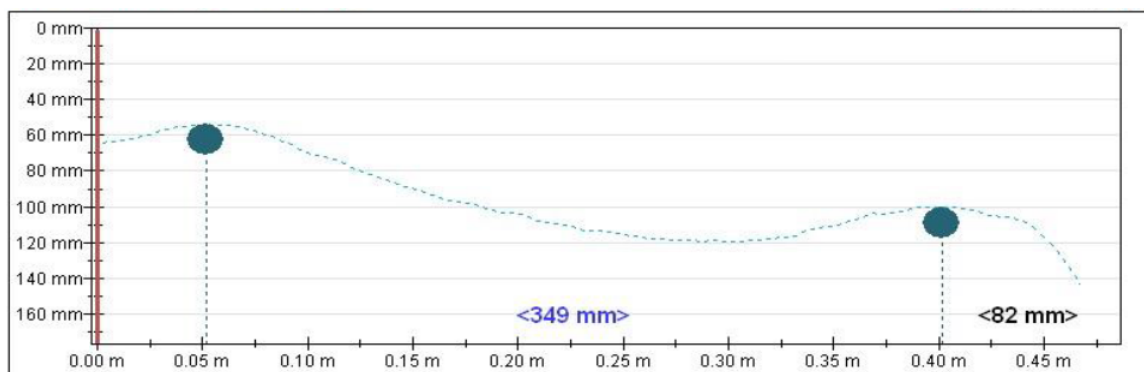
Obr. 5.21: Liniový záznam sondy MS3.

▪ Sonda MS4

Liniový záznam sondy s označením MS4 (viz Obr. 5.23) je vedený horizontálně z vnitřní strany vylehčovacího otvoru sloupu S1 ve výšce cca 1300 mm a zobrazuje hlavní svislou výztuž sloupu. Jedná se konkrétně o 2 pruty výztuže s průměrem 18 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 50 do 100 mm.



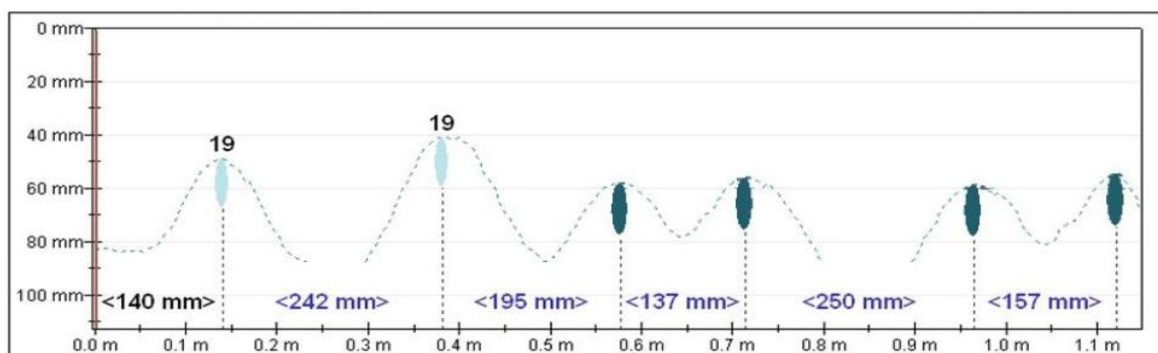
Obr. 5.22: Pohled na oblast pro umístění sondy MS4. [13]



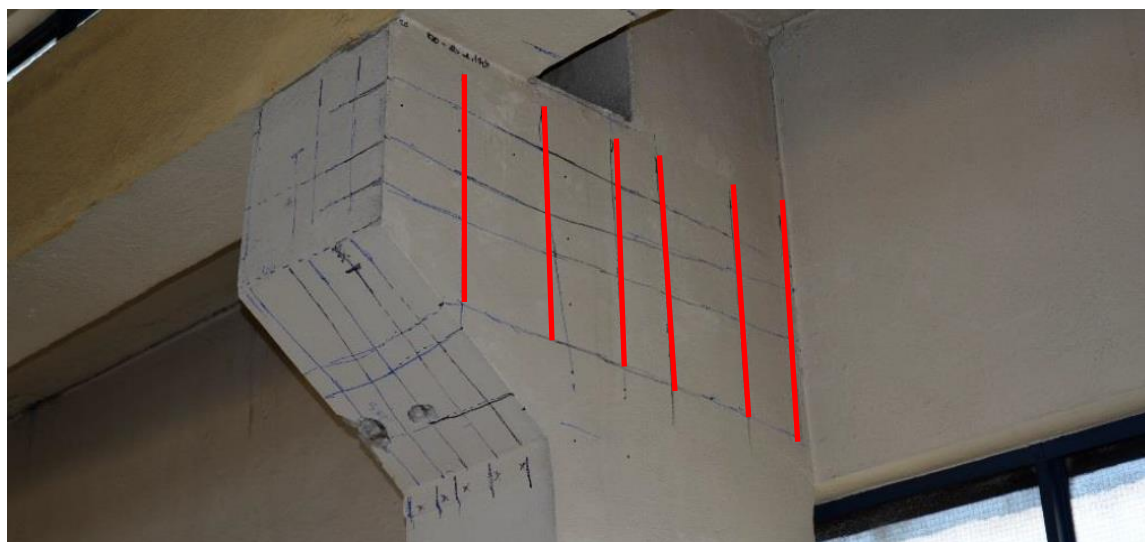
Obr. 5.23: Liniový záznam sondy MS4.

▪ Sonda MS5

Liniový záznam sondy s označením MS5 (viz Obr. 5.24) je vedený horizontálně z boční strany krátké konzoly sloupu S1 a zobrazuje svislou výztuž. Jedná se o 6 prutů výztuže s průměrem 20, 18 a 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 40 do 60 mm.



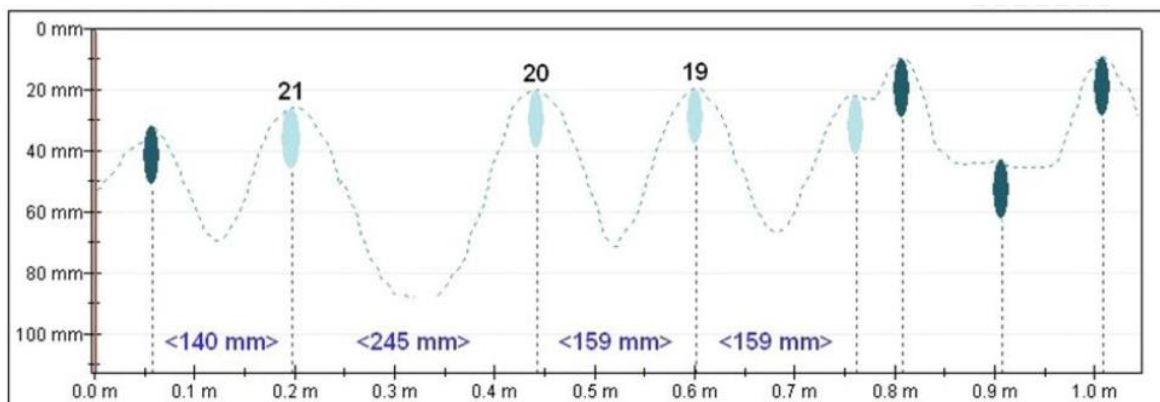
Obr. 5.24: Liniový záznam sondy MS5.



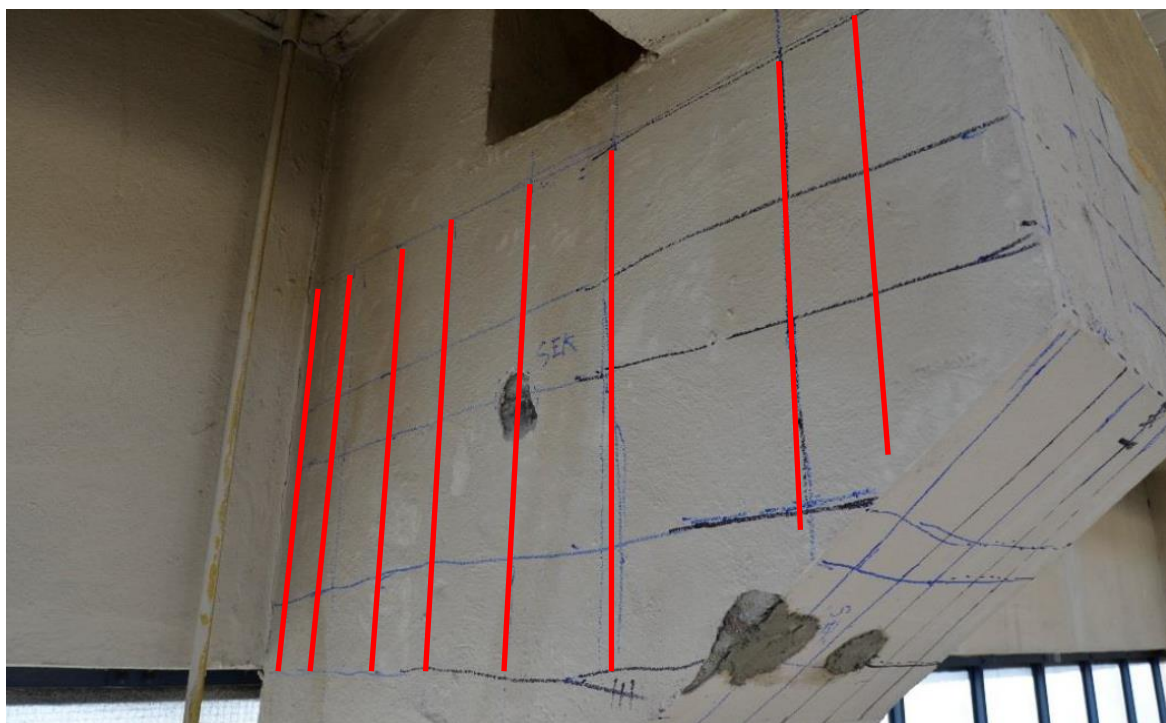
Obr. 5.25: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS5. [13]

▪ Sonda MS6

Liniový záznam sondy s označením MS6 (viz Obr. 5.26) je vedený horizontálně z druhé boční strany krátké konzoly sloupu S1 a zobrazuje svislou výztuž. Jedná se konkrétně o 8 prutů výztuže s průměrem 20, 18 a 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 10 do 45 mm.



Obr. 5.26: Liniový záznam sondy MS6.

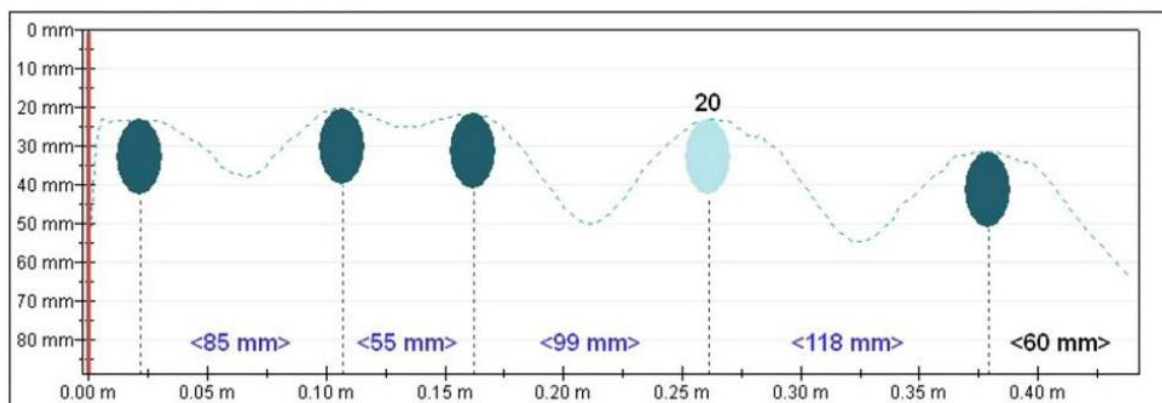


Obr. 5.27: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS6. [13]

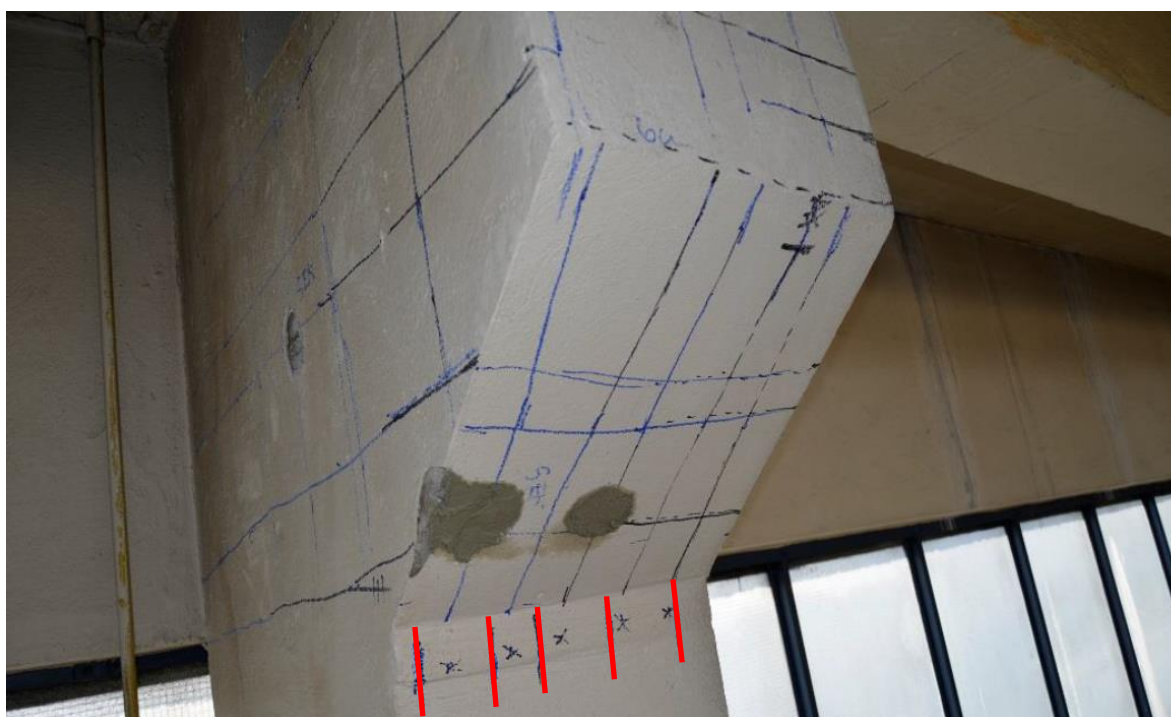
▪ Sonda MS7

Liniový záznam sondy s označením MS7 (viz Obr. 5.28) je vedený horizontálně těsně pod šikmým čelem krátké konzoly sloupu S1 a zobrazuje hlavní svislou výztuž. Jedná

se konkrétně o 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 20 do 30 mm.



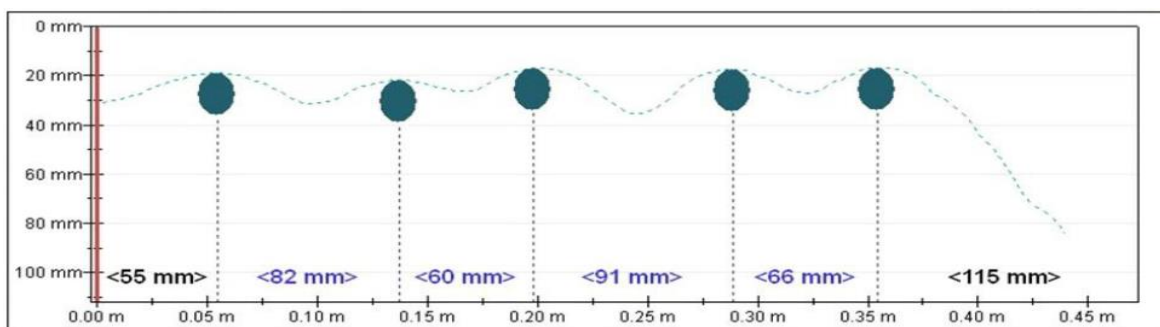
Obr. 5.28: Liniový záznam sondy MS7.



Obr. 5.29: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS7. [13]

▪ Sonda MS8

Liniový záznam sondy s označením MS8 (viz Obr. 5.30) je vedený horizontálně v místě šikmé čela konzoly sloupu S1 a zobrazuje hlavní svislou výztuž. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže. Krytí výztuže se pohybuje od cca 15 do 25 mm.



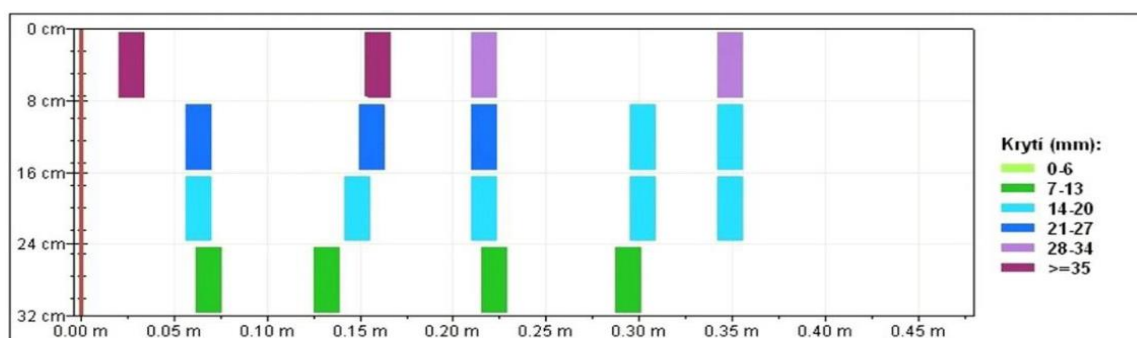
Obr. 5.30: Liniový záznam sondy MS8.



Obr. 5.31: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS8. [13]

▪ Sonda MS9

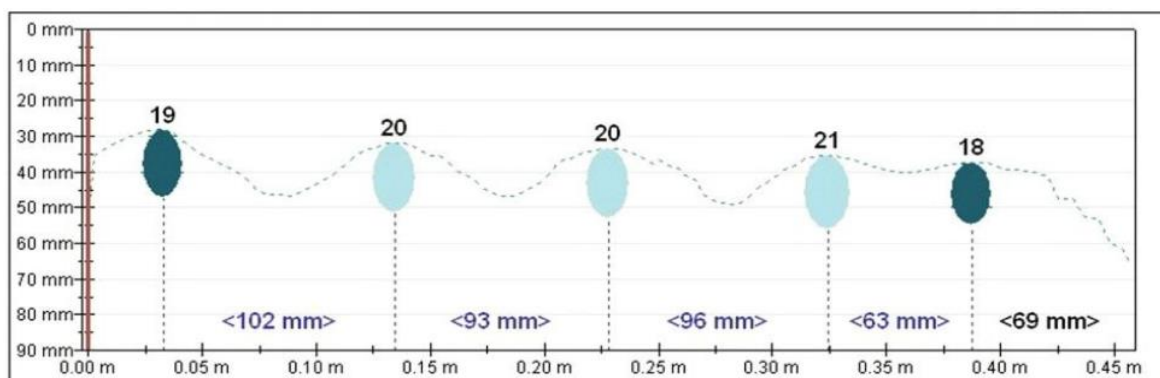
Liniový záznam sondy s označením MS9 (viz Obr. 5.32) je vedený horizontálně v místě čela konzoly sloupu S1. V tomto případě se jedná o multiliniový záznam, který zobrazuje hlavní svislou výztuž. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže. Ze záznamu je také patrné, že některé pruty se ohýbají směrem dovnitř konzoly.



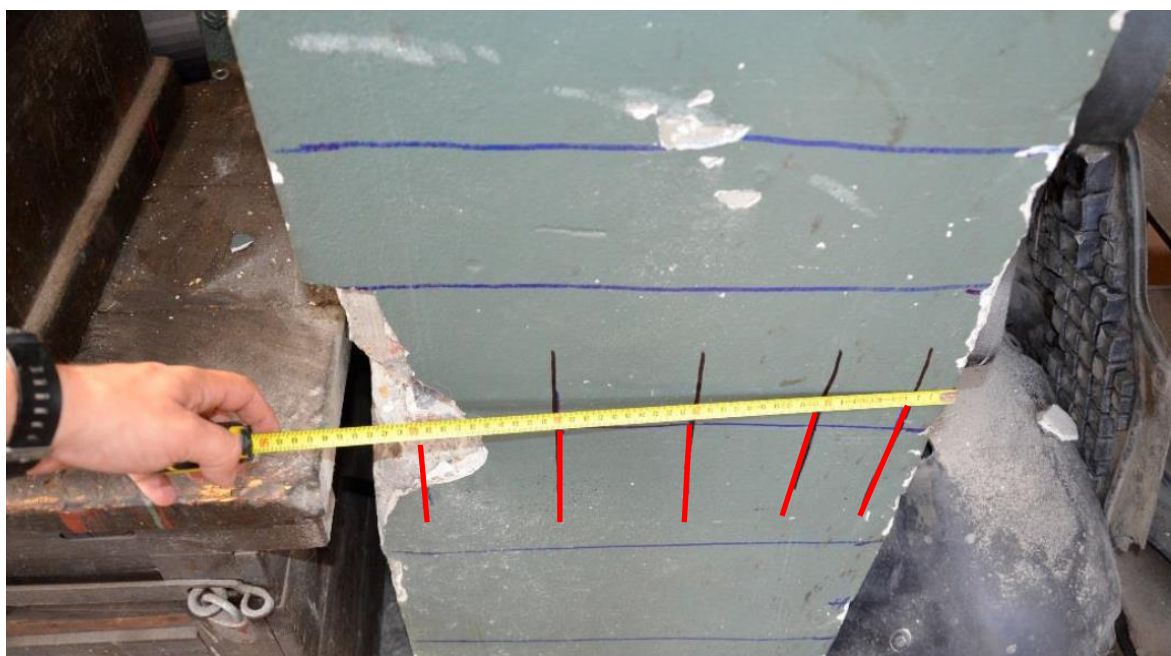
Obr. 5.32: Multiliniový záznam sondy MS9.

▪ Sonda MS10

Liniový záznam sondy s označením MS10 (viz Obr. 5.33) je vedený horizontálně na čelním povrchu sloupu S2 ve výšce cca 1000 mm a zobrazuje hlavní svislou výztuž sloupu. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 35 mm.



Obr. 5.33: Liniový záznam sondy MS10.

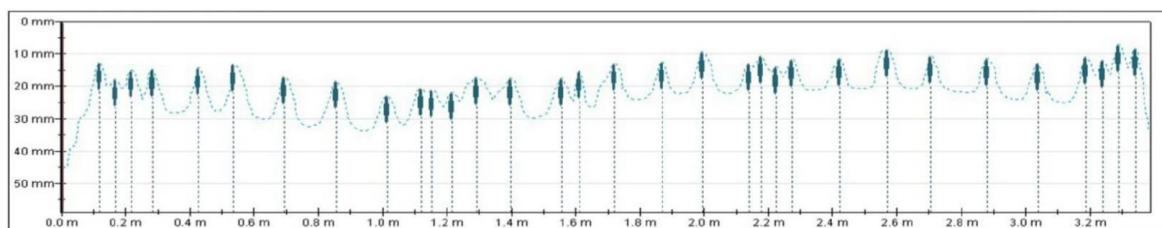


Obr. 5.34: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS10. [13]

▪ Sonda MS11

Liniový záznam sondy s označením MS11 (viz Obr. 5.35) je vedený vertikálně od podlahy směrem nahoru na čelním povrchu sloupu S2 do výšky cca 5000 mm. Zobrazuje

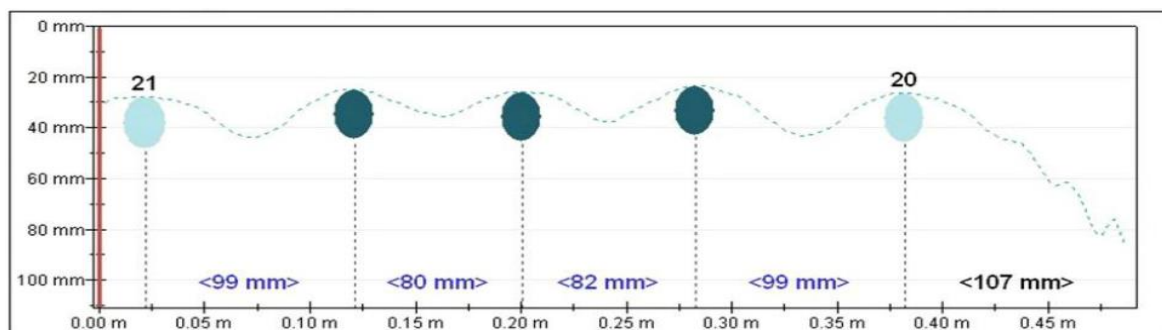
rozteče třmínků sloupu, které se pohybují v rozmezí 140 – 160 mm. Jedná se o hladkou výztuž s průměrem 8 mm. Krytí třmínků se pohybuje od cca 5 do 25 mm.



Obr. 5.35: Liniový záznam sondy MS11.

▪ Sonda MS12

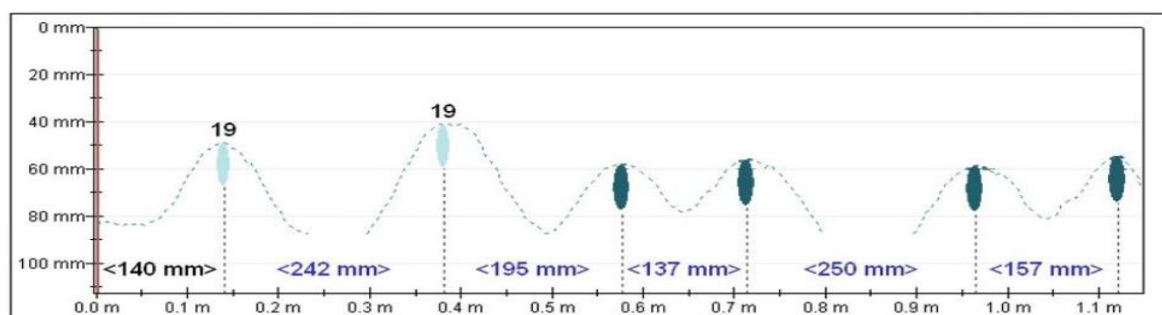
Liniový záznam sondy s označením MS12 (viz Obr. 5.36) je vedený horizontálně na zadním povrchu sloupu S2 ve výšce cca 1300 mm a zobrazuje hlavní svislou výztuž sloupu. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 20 do 30 mm.



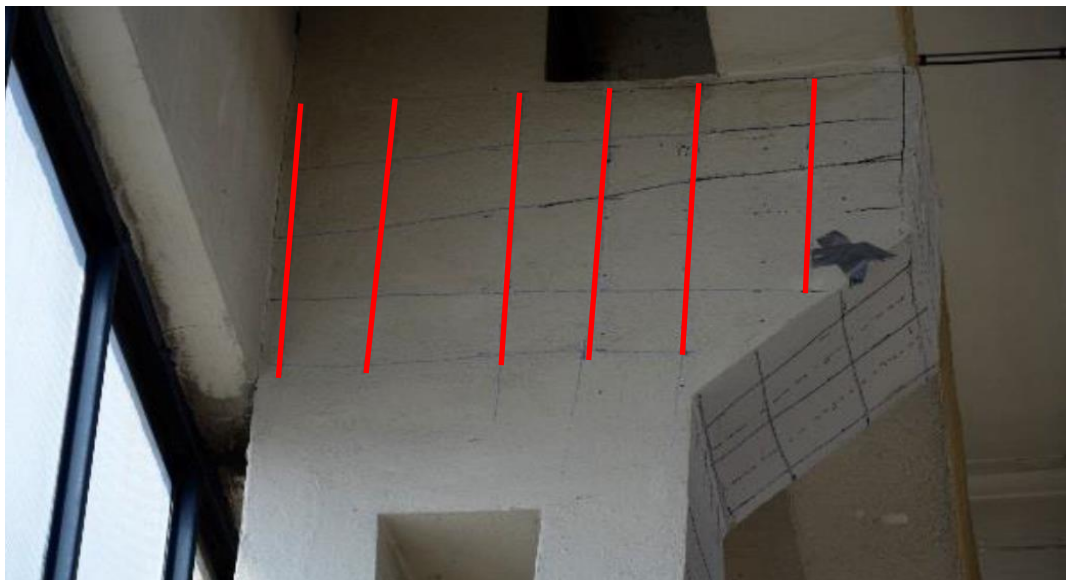
Obr. 5.36: Liniový záznam sondy MS12.

▪ Sonda MS13

Liniový záznam sondy s označením MS13 (viz Obr. 5.37) je vedený horizontálně z boční strany krátké konzoly sloupu S2 a zobrazuje svislou výztuž. Jedná se o 6 prutů výztuže s průměrem 20, 18 a 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 40 do 60 mm.



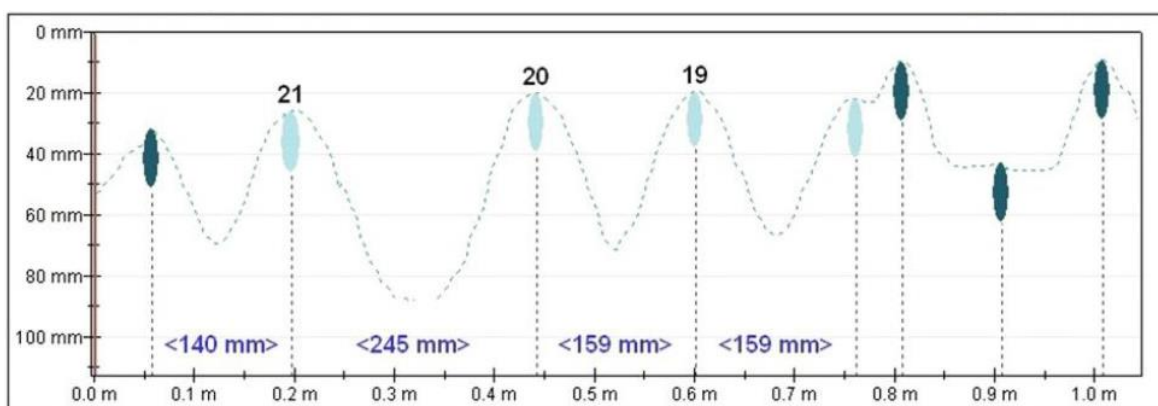
Obr. 5.37: Liniový záznam sondy MS13.



Obr. 5.38: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS13. [13]

▪ Sonda MS14

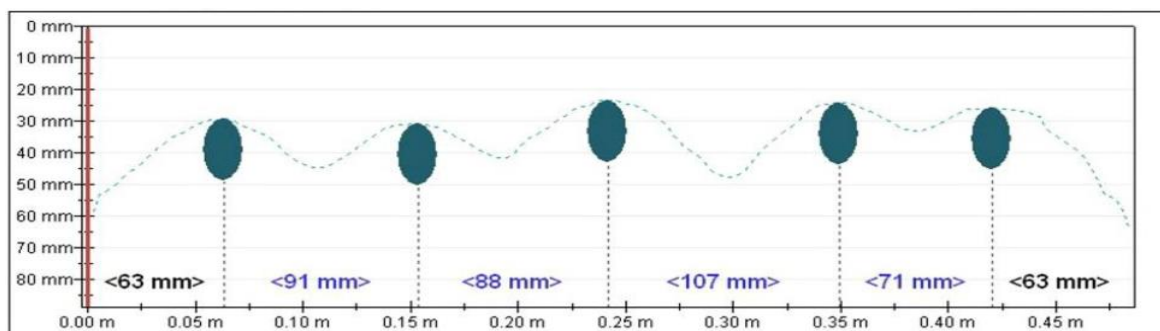
Liniový záznam sondy s označením MS14 (viz Obr. 5.39) je vedený horizontálně z druhé boční strany krátké konzoly sloupu S2 a zobrazuje svislou výztuž. Jedná se konkrétně o 8 prutů výztuže s průměrem 20, 18 a 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 10 do 40 mm.



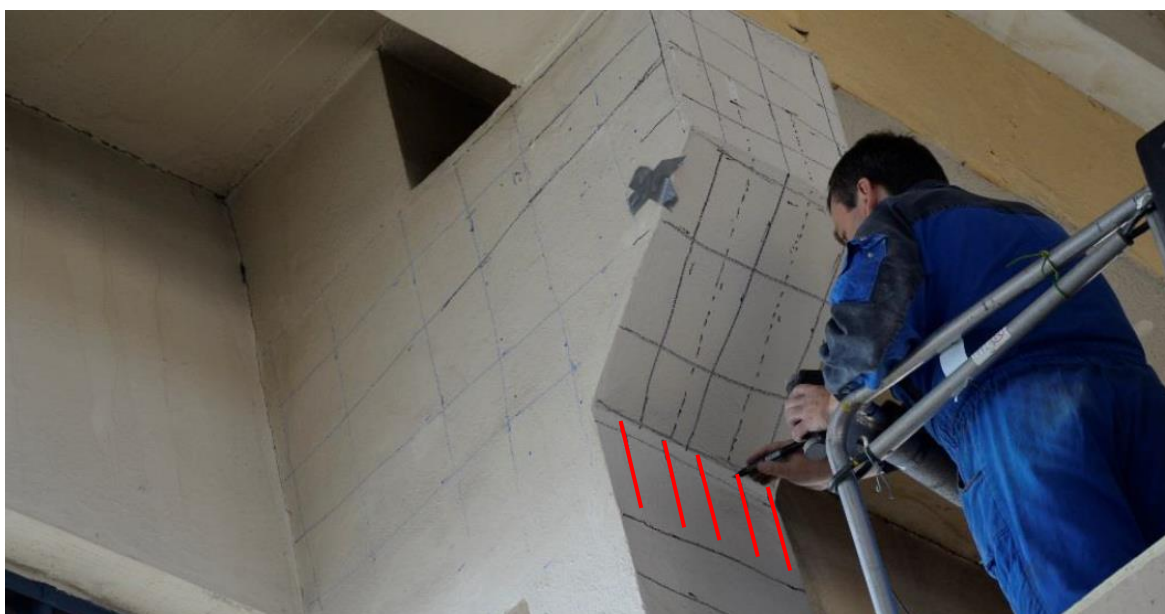
Obr. 5.39: Liniový záznam sondy MS14.

▪ Sonda MS15

Liniový záznam sondy s označením MS15 (viz Obr. 5.40) je vedený horizontálně těsně pod šikmým čelem krátké konzoly sloupu S2 a zobrazuje hlavní svislou výztuž. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 30 mm.



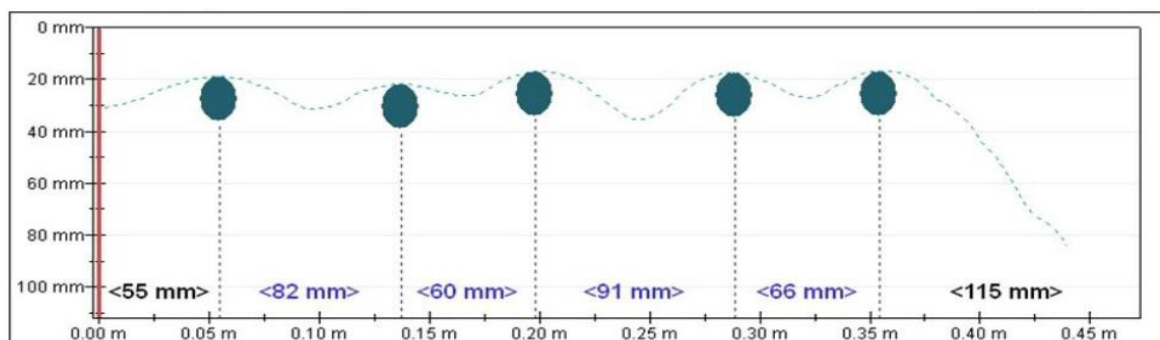
Obr. 5.40: Liniový záznam sondy MS15.



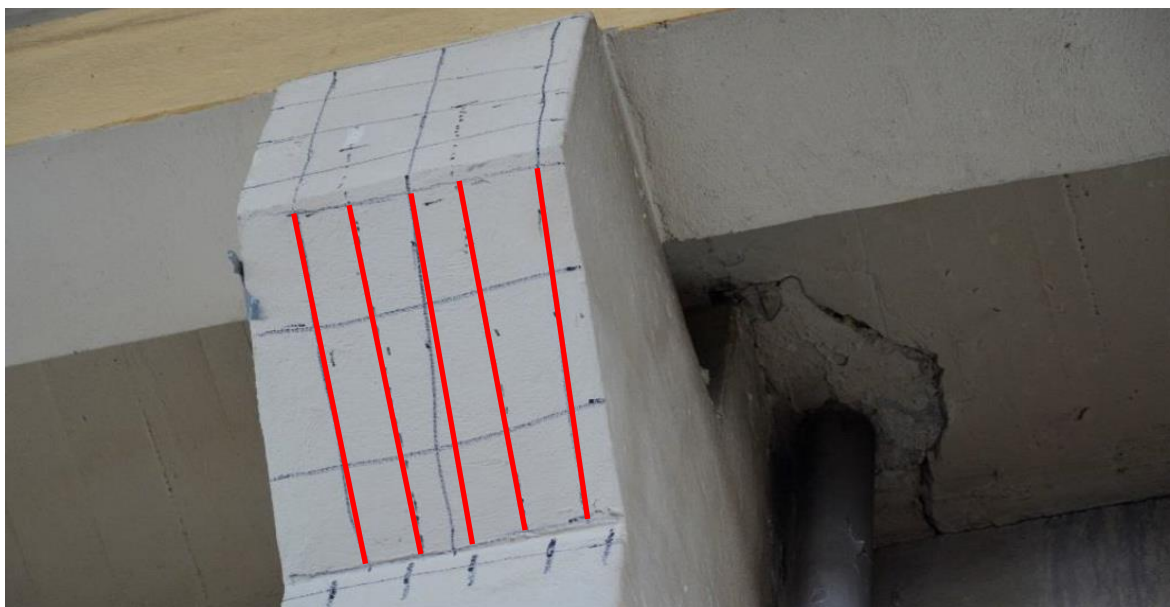
Obr. 5.41: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS15. [13]

▪ Sonda MS16

Liniový záznam sondy s označením MS16 (viz Obr. 5.42) je vedený horizontálně v místě šikmého čela konzoly sloupu S2 a zobrazuje hlavní svislou výztuž. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže. Krytí výztuže se pohybuje od cca 30 do 45 mm.



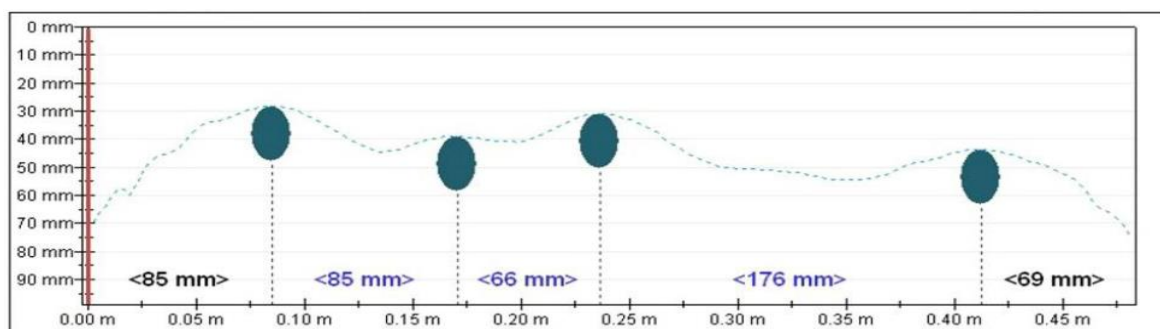
Obr. 5.42: Liniový záznam sondy MS16.



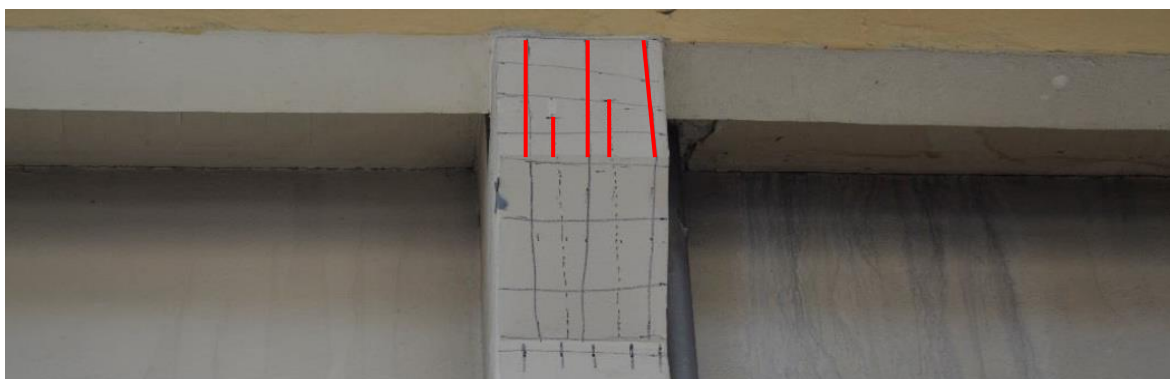
Obr. 5.43: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS16. [13]

▪ Sonda MS17

Liniový záznam sondy s označením MS17 (viz Obr. 5.44) je vedený horizontálně v místě čela konzoly sloupu S2. Zobrazuje hlavní svislou výztuž a i v tomto případě je patrné, že některé pruty se ohýbají směrem dovnitř konzoly.



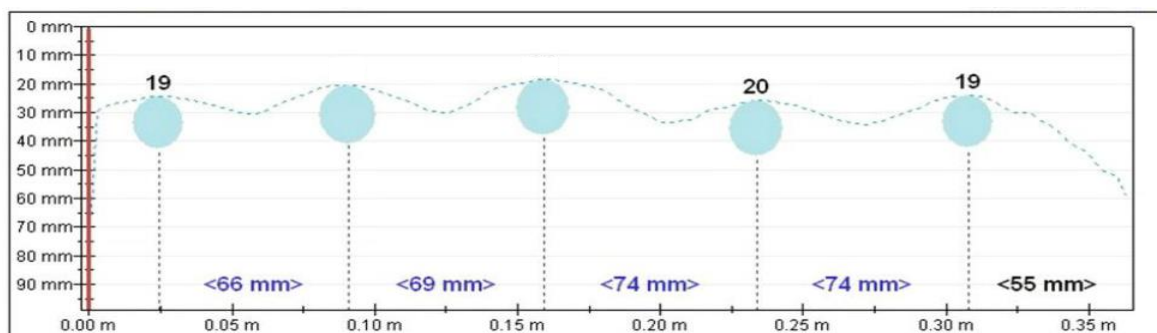
Obr. 5.44: Liniový záznam sondy MS17.



Obr. 5.45: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS17. [13]

▪ Sonda MS18

Liniový záznam sondy s označením MS18 (viz Obr. 5.46) je vedený na spodním líci nosníku N1 v blízkosti sloupu S1 a zobrazuje 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 15 do 25 mm.



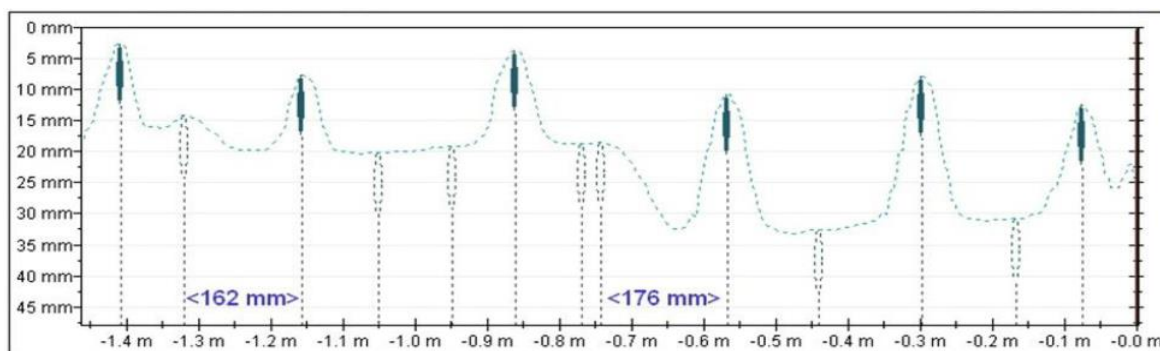
Obr. 5.46: Liniový záznam sondy MS18.



Obr. 5.47: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS18. [13]

▪ Sonda MS19

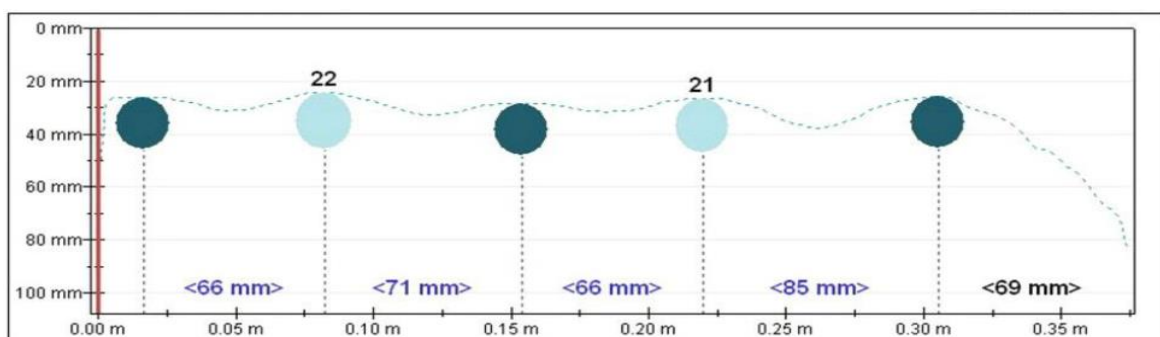
Liniový záznam sondy s označením MS19 (viz Obr. 5.48) je vedený na bočním líci nosníku N1 v blízkosti sloupu S1 a zobrazuje třmínky s průměrnou roztečí cca 260 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 5 do 10 mm.



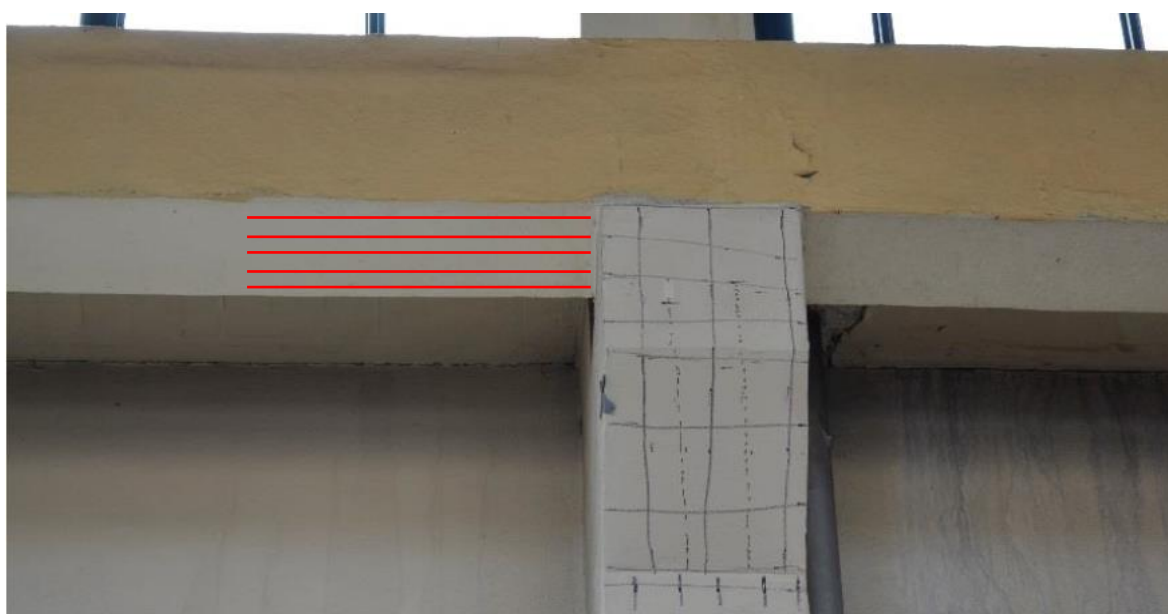
Obr. 5.48: Liniový záznam sondy MS19.

▪ Sonda MS20

Liniový záznam sondy s označením MS20 (viz Obr. 5.49) je vedený na spodním líci nosníku N1 v blízkosti sloupu S2 a zobrazuje 5 prutů výztuže s průměrem 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 30 mm.



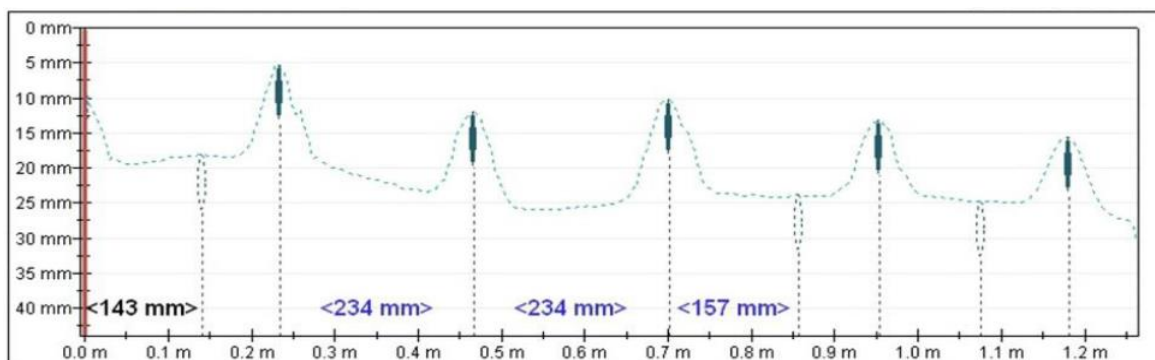
Obr. 5.49: Liniový záznam sondy MS20.



Obr. 5.50: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS20. [13]

▪ Sonda MS21

Liniový záznam sondy s označením MS21 (viz Obr. 5.51) je vedený na bočním líci nosníku N1 v blízkosti sloupce S2 a zobrazuje třmínky s průměrnou roztečí cca 240 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 5 do 15 mm.



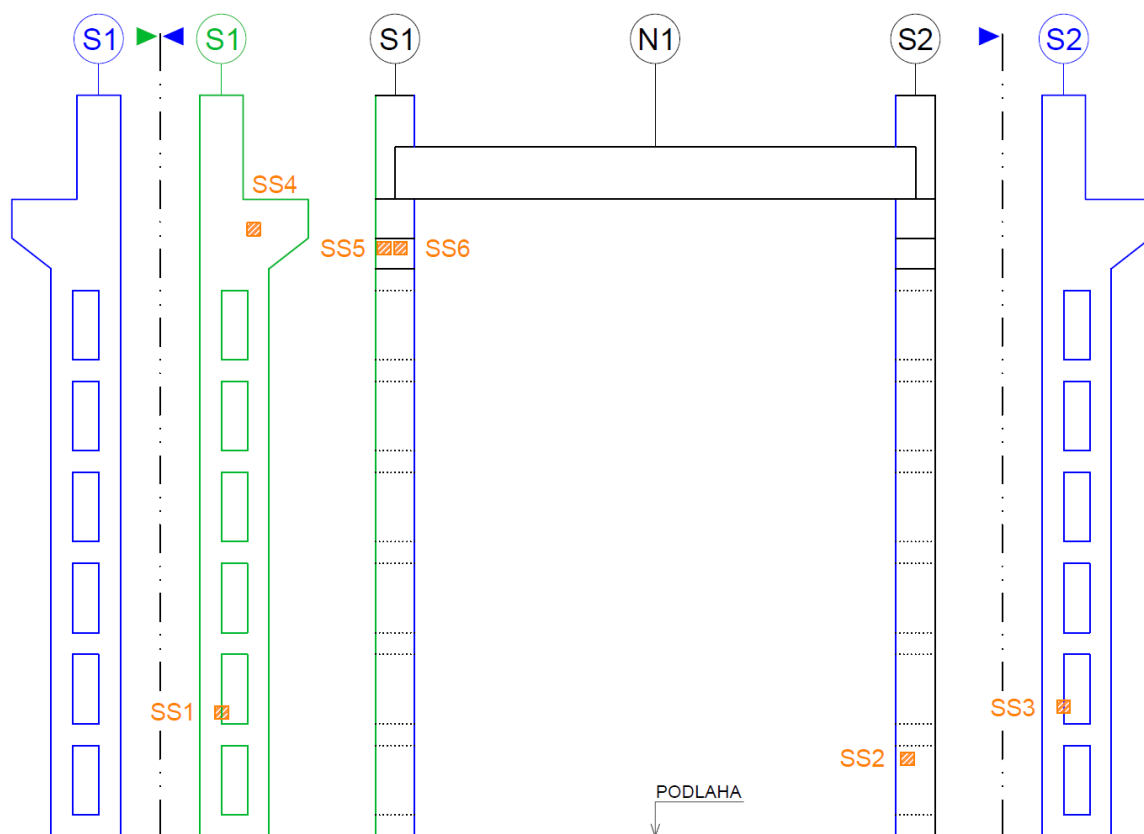
Obr. 5.51: Liniový záznam sondy MS21.



Obr. 5.52: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS21. [13]

5.5.3 Vyhodnocení sond – sekané sondy

Pro upřesnění identifikovaných výztuží nedestruktivními metodami byly provedeny sekané sondy. Konkrétně byl zjišťován typ a průměr použitých výztuží u sloupů S1, S2 a nosníku N1 jeřábové dráhy. Byly provedeny sekané sondy v pozicích s označením SS1 – SS6, jejich rozmístění je patrné z Obr. 5.53.



Obr. 5.53: Poloha sekaných sond na prvcích S1, S2 a N1.

▪ Sekaná sonda SS1

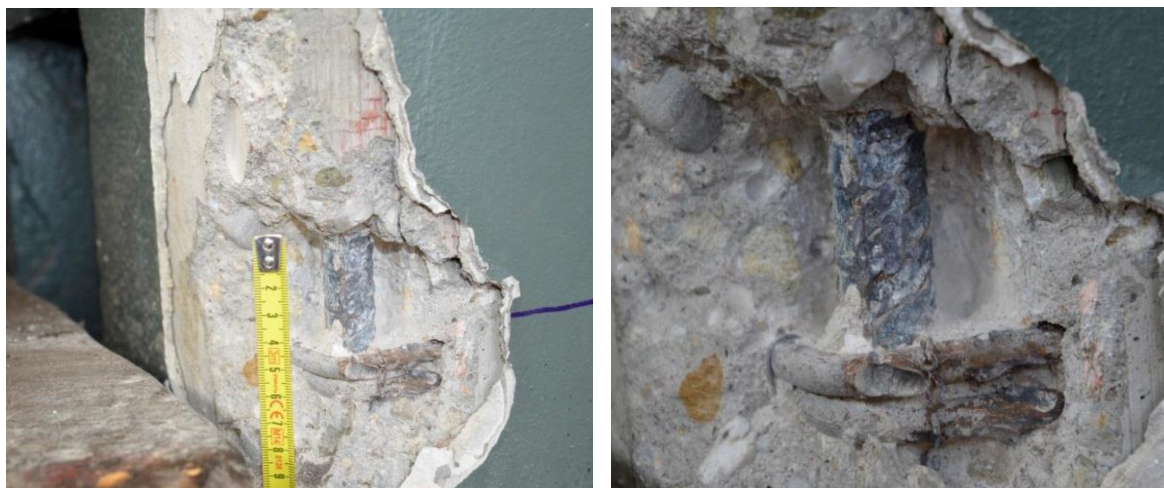
Sekaná sonda s označením SS1 byla provedena z vnitřní strany vylehčovacího otvoru sloupu S1. Byl zde identifikován prut hlavní svislé výztuže a třmínek. Jedná se o žebírkový typ svislé výztuže s označením 10 425 (V) o průměru 18 mm. Třmínek je z hladké oceli s označením 10 216 (E) o průměru 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od 25 do 30 mm.



Obr. 5.54: Pohled na sekanou sondu SS1 (vlevo), detail sekané sondy SS1 (vpravo). [13]

▪ Sekaná sonda SS2

Sekaná sonda s označením SS2 byla provedena na čelním povrchu sloupu. Byl zde identifikován prut hlavní svislé výztuže a třmínek. Jedná se o žebírkový typ svislé výztuže s označením 10 425 (V) o průměru 20 mm. Třmínek je z hladké oceli s označením 10 216 (E) o průměru 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od 25 do 30 mm.



Obr. 5.55: Pohled na sekanou sondu SS2 (vlevo), detail sekané sondy SS2 (vpravo). [13]

▪ Sekaná sonda SS3

Sekaná sonda s označením SS3 byla provedena z vnitřní strany vylehčovacího otvoru sloupu S2. Byl zde identifikován prut hlavní svislé výztuže. Jedná se o žebírkový typ svislé výztuže s označením 10 425 (V) o průměru 18 mm. Krytí výztuže se pohybuje od 25 do 30 mm.



Obr. 5.56: Pohled na sekanou sondu SS3 (vlevo), detail sekané sondy SS3 (vpravo). [13]

▪ Sekaná sonda SS4

Sekaná sonda s označením SS4 byla provedena z boční strany krátké konzoly sloupu S1. Byl zde identifikován prut hlavní svislé výztuže a třmínek. Jedná se o žebírkový typ svislé výztuže s označením 10 425 (V) o průměru 18 mm. Třmínek je z hladké oceli s označením 10 216 (E) o průměru 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od 20 do 25 mm.



Obr. 5.57: Pohled na sekanou sondu SS4 (vlevo), detail sekané sondy SS4 (vpravo). [13]

▪ Sekaná sonda SS5

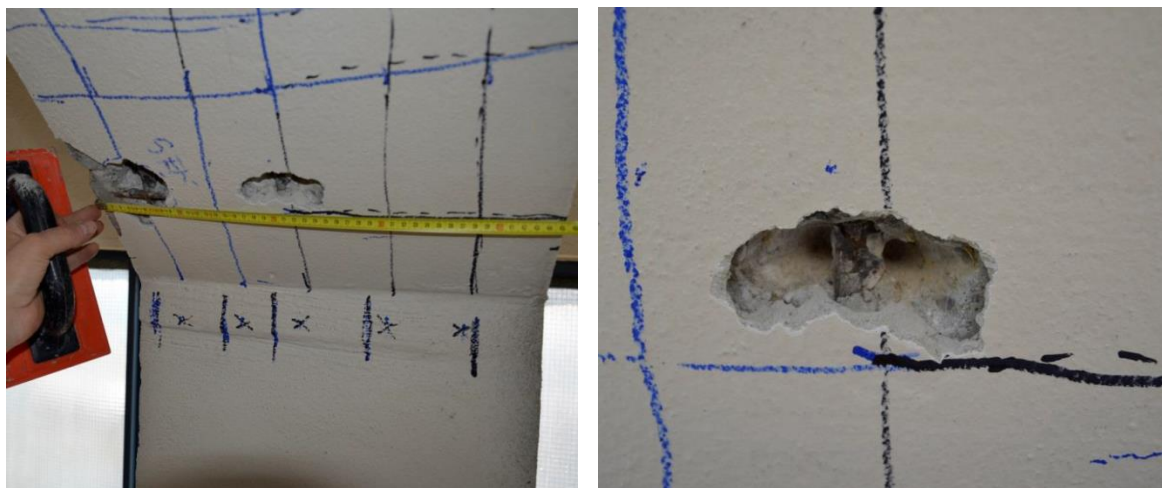
Sekaná sonda s označením SS5 byla provedena v místě šikmého čela konzoly sloupu S1. Byl zde identifikován prut hlavní svislé výztuže a třmínek. Jedná se o žebírkový typ svislé výztuže s označením 10 425 (V) o průměru 16 mm. Třmínek je z hladké oceli s označením 10 216 (E) o průměru 8 mm. Krytí výztuže se pohybuje od 20 do 25 mm.



Obr. 5.58: Pohled na sekanou sondu SS5 (vlevo), detail sekané sondy SS5 (vpravo). [13]

▪ Sekaná sonda SS6

Sekaná sonda s označením SS6 byla provedena také v místě šikmého čela konzoly sloupu S1 vedle sondy SS5. Byl zde identifikován prut hlavní svislé výztuže. Jedná se o žebírkový typ svislé výztuže s označením 10 425 (V) o průměru 16 mm. Krytí výztuže se pohybuje od 20 do 25 mm.



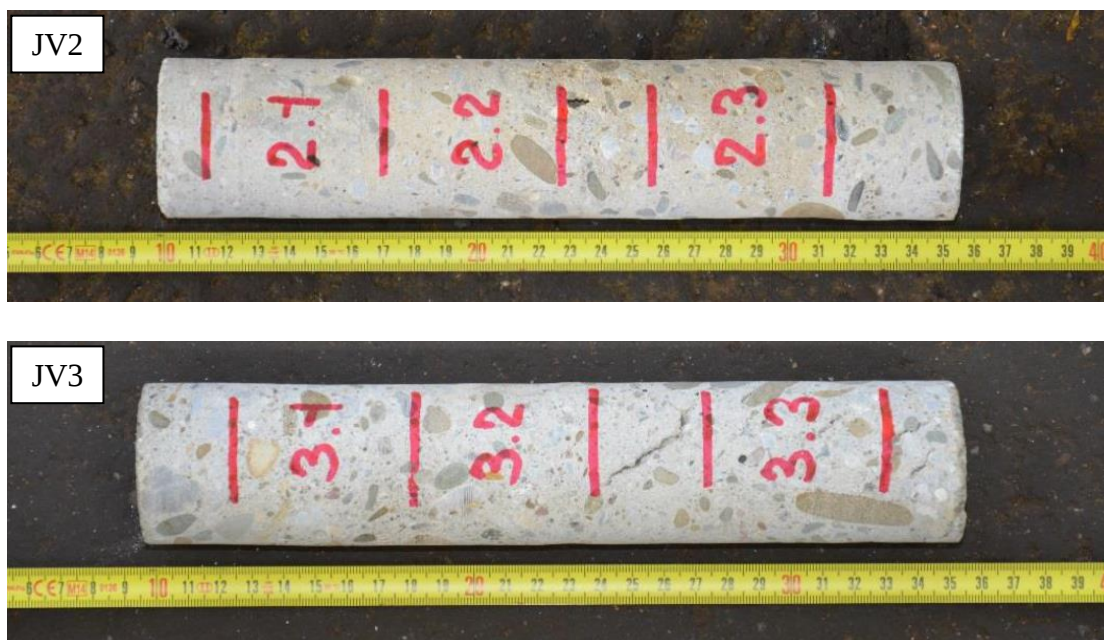
Obr. 5.59: Pohled na sekanou sondu SS6 (vlevo), detail sekané sondy SS5 (vpravo). [13]

5.6 Vyhodnocení pevnosti betonu a stanovení karbonatace betonu

5.6.1 Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci

Na hodnocené konstrukci byly ze sloupů JD odebrány celkem 3 jádrové vývrty o průměru 50 mm a délce 250 mm (viz Obr. 5.60). Jádrové vývrty byly provedeny ve výšce cca 1000 – 1500 mm s označením JV1 – JV3. Umístění v konstrukci je patrné z Obr. 5.3. Z každého vývrtu byla vytvořena 3 zkušební tělesa, která byla poté zkoušena v laboratoři. Výsledné hodnoty laboratorních zkoušek jsou uvedeny v následujících tabulkách.





Obr. 5.60: Odebrané jádrové vývrtý JV1, JV2 a JV3. [13]

Tab. 5.2: Charakteristiky zkušebních těles betonu ve stavu přirozeně vlhkém:

Označení tělesa	Průměr	Délka	Hmotnost	Štíhlost	Objemová hmotnost
	D [mm]	L [mm]	m [g]	λ [-]	D [kg/m ³]
JV1.1	50,05	53,64	242,2	1,072	2300
JV1.2	50,01	54,81	243,0	1,096	2260
JV1.3	50,13	55,84	248,4	1,114	2260
JV2.1	50,09	55,68	235,4	1,112	2250
JV2.2	50,06	54,23	227,9	1,083	2140
JV2.3	50,11	56,11	236,5	1,120	2140
JV3.1	50,03	55,17	240,6	1,103	2220
JV3.2	50,08	53,18	234,7	1,062	2240
JV3.3	50,17	58,84	255,9	1,173	2200

Tab. 5.3: Pevnost betonu v tlaku (vzorky vyrobené z vývrtů):

Označení tělesa	Max. síla	Koeficient průměru	Koeficient štíhlosti	Válcová pevnost	Koeficient krychle	Krychelná pevnost
	F [kN]	$K_{c,cyl}$ [-]	$K_{c,cube}$ [-]	$f_{c,cyl}$ [MPa]	$K_{cyl,cube}$ [-]	$f_{c,cube}$ [MPa]
JV1.1	58,6	0,872	0,91	23,7	1,249	29,5
JV1.2	62,2	0,878	0,91	25,3	1,247	31,6
JV1.3	55,9	0,882	0,91	22,8	1,250	28,4
JV2.1	50,8	0,882	0,91	20,7	1,251	25,9

JV2.2	48,6	0,875	0,91	19,7	1,251	24,6
JV2.3	52,5	0,884	0,91	21,4	1,251	26,8
JV3.1	52,2	0,880	0,91	21,3	1,250	26,6
JV3.2	49,8	0,870	0,91	20,0	1,251	25,0
JV3.3	56,6	0,895	0,91	23,3	1,250	29,2

Tab. 5.4: Vyhodnocení charakteristické pevnosti betonu v tlaku dle ČSN ISO 13822:

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost betonu	D	2210	[kg/m ³]
Minimální hodnota krychelné pevnosti betonu	$f_{c,min}$	24,6	[MPa]
Střední hodnota krychelné pevnosti betonu	$f_{c,x}$	27,5	[MPa]
Maximální hodnota krychelné pevnosti betonu	$f_{c,max}$	31,5	[MPa]
Výběrová směrodatná odchylka krychelné pevnosti	s_x	2,31	[MPa]
Variační součinitel	V_x	8,4	[%]
Počet platných vzorků	n	9	[-]
Variační koeficient známý / neznámý		neznámý	[-]
Součinitel odhadu 5% kvantilu	k_n	1,96	[-]
Charakteristická pevnost betonu v tlaku	$f_{ck,cube}$	23,0	[MPa]

Zatřídění do pevnostní třídy dle ČSN EN 206-1 bylo provedeno na základě provedených laboratorních zkoušek a zjištěné charakteristické pevnosti betonu v tlaku. Beton odebraný ze sloupů JD byl tedy zařazen do **pevnostní třídy C16/20** (resp. B20 dle tehdejší normy ČSN 73 2400:1989).

5.6.2 Stanovení karbonatace betonu

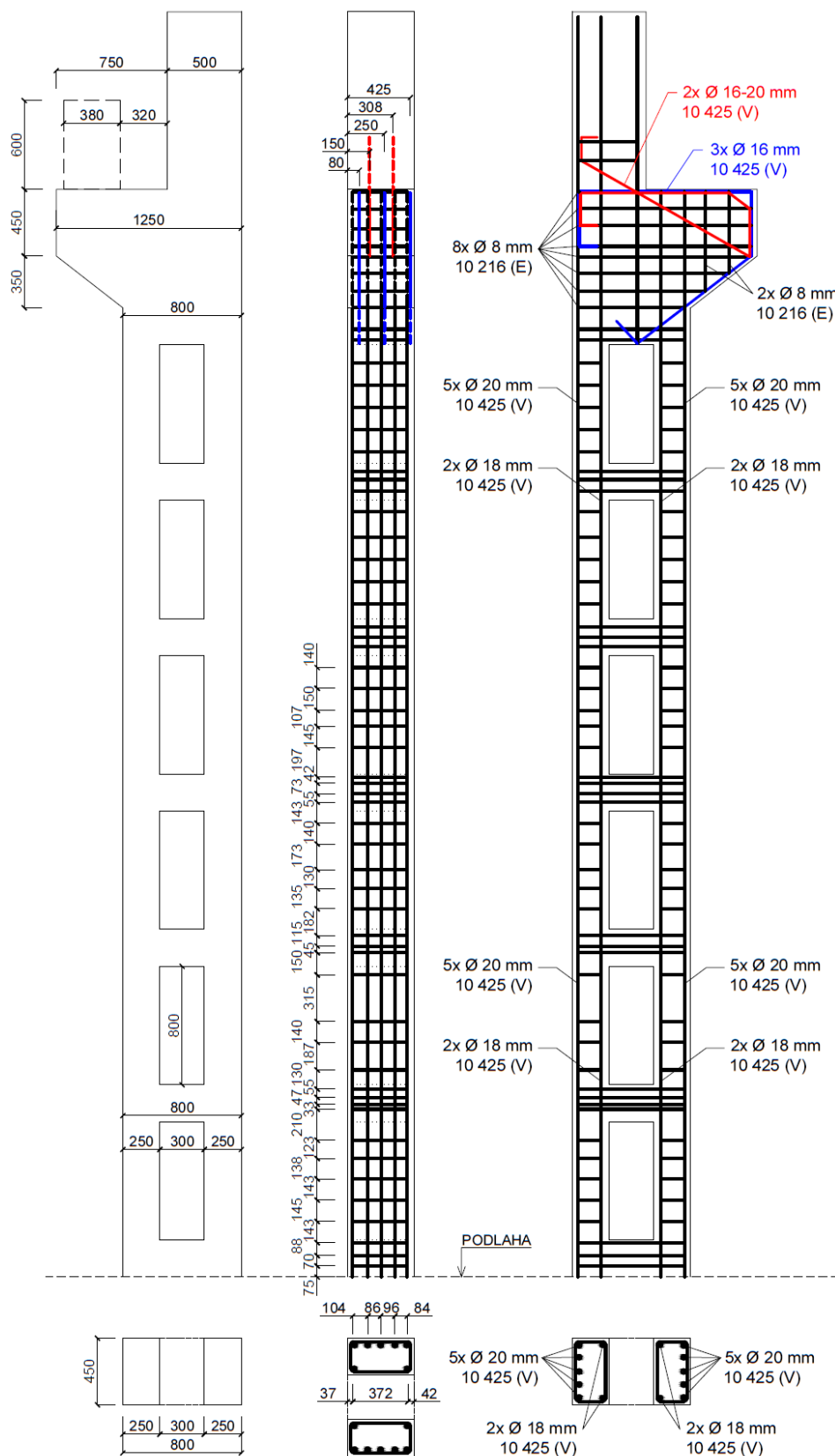
Na všech odebraných jádrových vývrtech byla provedena orientační zkouška karbonatace betonu. K posouzení hloubky karbonatace byla použita jednoduchá fenolftaleinová zkouška. Výsledné hodnoty z této zkoušky jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 5.5.

Tab. 5.5: Výsledné hodnoty míry karbonatace na jádrových vývrtech:

Označení vzorku	Část konstrukce	Míra karbonatace
JV1	Sloup	0 - 1 mm
JV2	Sloup	0 - 1 mm
JV3	Sloup	0 - 1 mm

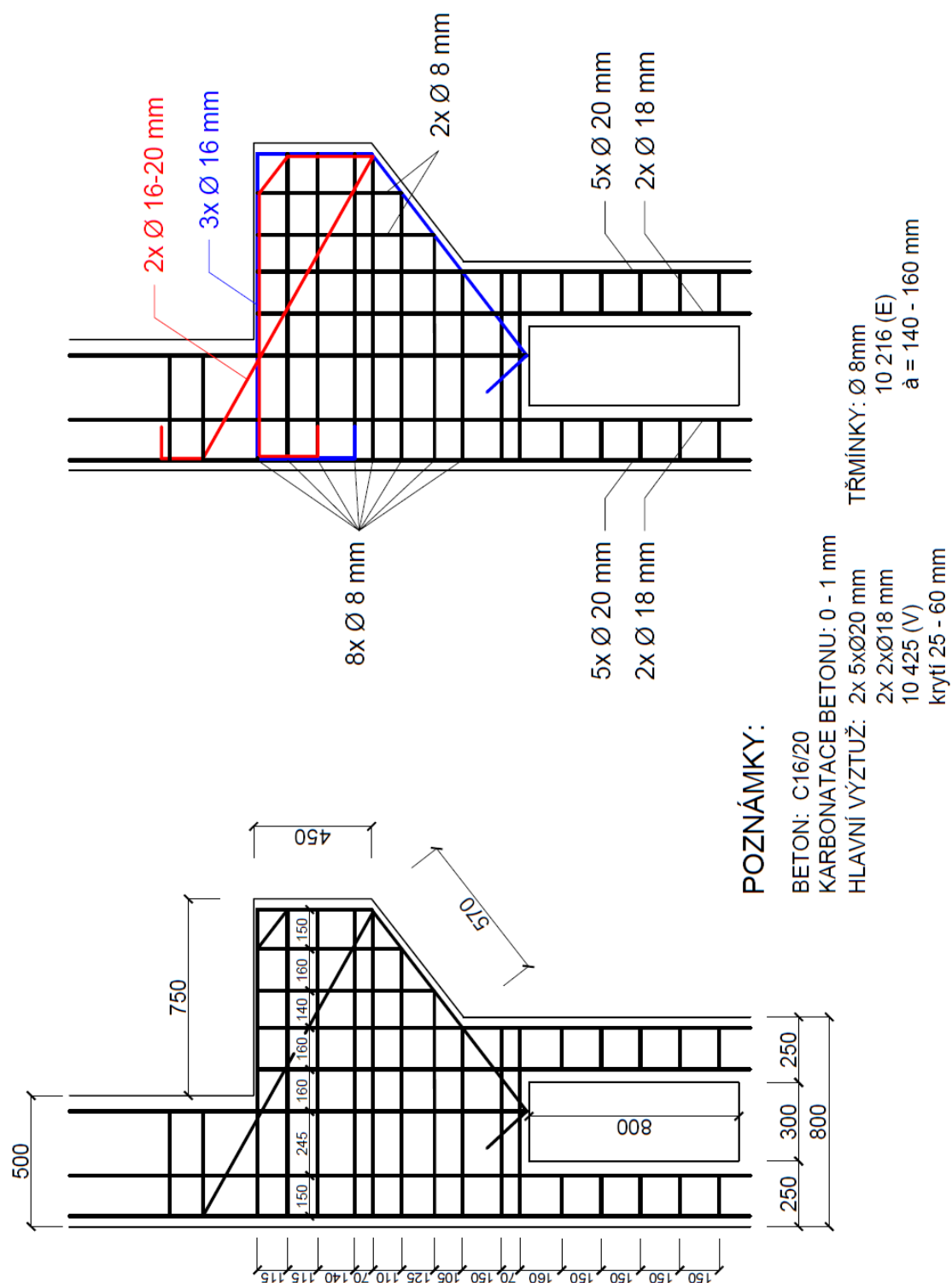
5.7 Výsledné vyztužení prvků JD

5.7.1 Vyztužení sloupu JD



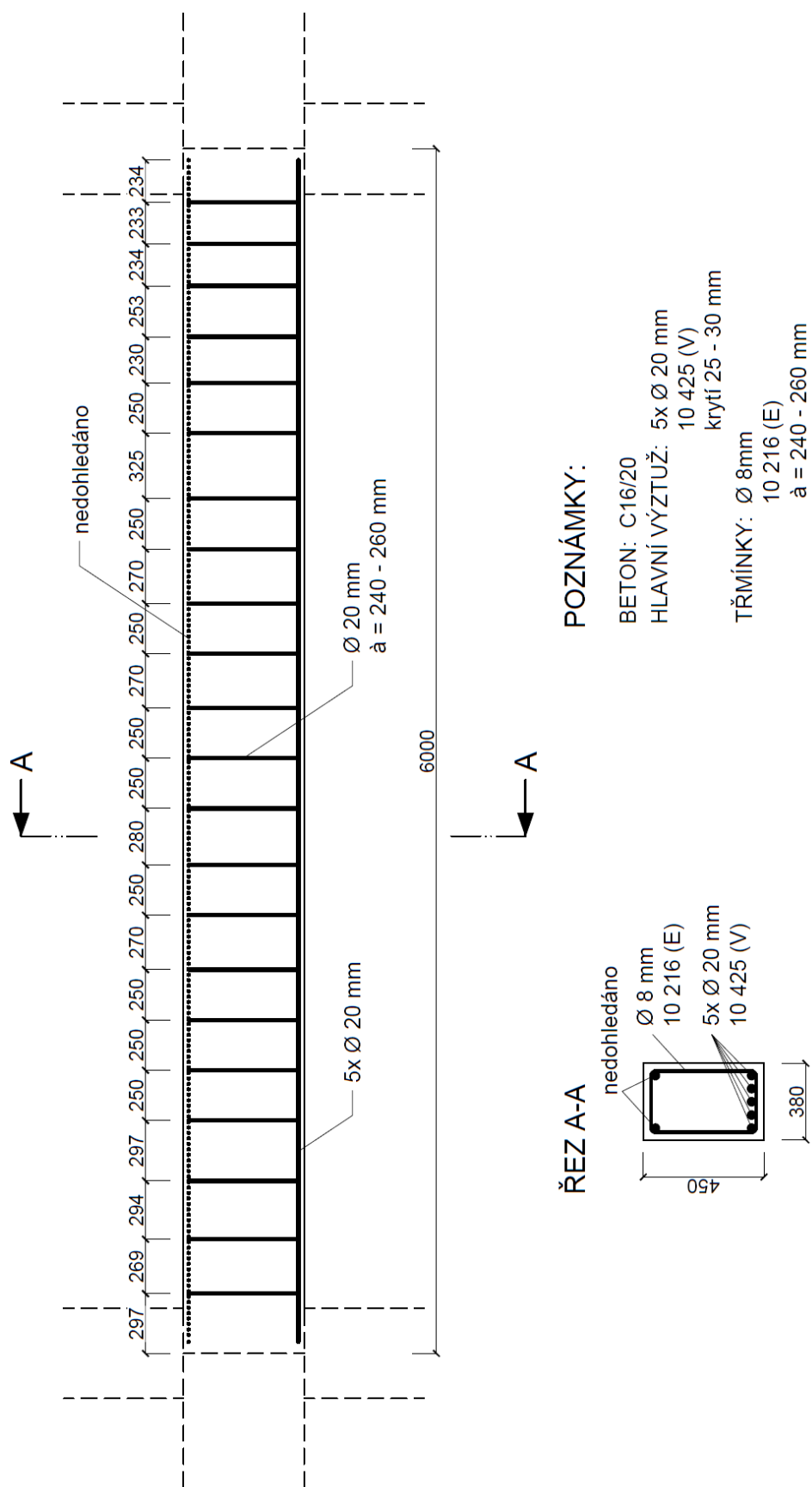
Obr. 5.61: Schéma celkového vyztužení sloupu JD.

▪ Detail konzoly sloupu



Obr. 5.62: Schéma vyztužení konzoly sloupu JD.

5.7.2 Vyztužení nosníku JD



Obr. 5.63: Schéma vyztužení nosníku JD.

5.8 Shrnutí výsledků diagnostického průzkumu

Vzhledem k provedenému stavebně technickému průzkumu prefabrikovaných sloupů a nosníku jeřábové dráhy v objektu průmyslové haly společnosti ALPINE Bau CZ a.s. byl identifikován způsob vyztužení předmětných konstrukcí. V rámci průzkumu bylo také provedeno hodnocení kvality použitého betonu z hlediska pevnosti betonu v tlaku a míry karbonatace.

Zjištěný způsob vyztužení sloupů, konzoly a nosníku JD na základě provedených sond je patrný z Obr. 5.61 – 5.63. Identifikované vyztužení lze považovat za „typický způsob vyztužení“ pro již zmíněné prvky JD. Sekanou sondou byl také ve vytipovaných místech ověřen průměr výztuže a její typ dle povrchové úpravy. Všechny provedené sondy pro kontrolu vyztužení jsou uvedeny v kapitole 5.5.

Pevnostní třída betonu sloupu byla laboratorní zkouškou pevnosti betonu v tlaku stanovena jako C16/20 (viz kapitola 5.6.1). Pevnostní třída odpovídá tehdejším požadavkům a lze ji očekávat i u nosníku JD.

Orientační doplňkovou zkouškou byla na odebraných jádrových vývrtech z konstrukce prokázána hloubka karbonatace v rozmezí 0 – 1 mm.

6 STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM PRŮMYSLOVÉ HALY Č.V. PROTOTYP s.r.o., OSTRAVA

6.1 Základní údaje

V rámci diplomové práce byl jako druhý v pořadí proveden stavebně technický průzkum železobetonové průmyslové haly v Ostravě, která byla postavena roku 1966. Tento průzkum nebyl zdaleka tak rozsáhlý jako v prvním případě, zde se jednalo o diagnostiku pouze nosných sloupů jeřábové dráhy (JD), které jsou opět po celé své výšce vylehčeny otvory, tzv. Vierendeelovy sloupy.

I v tomto případě vznikl ze strany investora požadavek na výměnu stávající jeřábové dráhy za novou. Předmětem diagnostického průzkumu bylo tedy identifikovat polohu výztuže sloupů JD in-situ pro následné zjištění jejich únosnosti a dále zhodnotit kvalitu použitého betonu v konstrukci.



Obr. 6.1: Pohled na zkoumanou oblast jeřábové dráhy (sloup S1). [14]

6.2 Zkušební předpisy a postupy

Veškeré prováděné průzkumné práce in-situ a následné laboratorní zkoušky byly prováděny a vyhodnocovány v souladu s normovými předpisy uvedenými v kapitole 5.2.

6.3 Rozsah průzkumu

Rozsah průzkumu je obdobný jako u diagnostiky průmyslové haly společnosti ALPINE Bau a.s. Na místě byl nejdříve proveden předběžný průzkum (vizuální prohlídka) a na jeho základě byla vybrána místa pro provedení stavebně technického průzkumu.

Pro ověření vyztužení byla zvolena reprezentativní místa nosných sloupů. Ověřování vyztužení probíhalo tak, že byly nejprve zjištěny počty prutů a jejich poloha v konstrukci pomocí přístroje Profometer PM-630 v kombinaci s použitím radaru Hilti PS 1000. Následně byl počet prutů výztuže ověřen na vybraných místech pomocí sekaných sond. Sekané sondy byly prováděny i z důvodu zjištění typu výztuže a míry koroze prutů výztuže, protože pomocí NDT metod (s výjimkou radiografie) nelze tyto parametry určit. Radiografická metoda k určení vyztužení nebyla v tomto případě použita, a to z důvodu větší časové i finanční náročnosti.

Pro získání pevnostních charakteristik betonu bylo použito výhradně testování na jádrových vývrtech, a to z důvodu omezení prašnosti při provádění průzkumu. Použití odrazové zkoušky pomocí Schmidtova tvrdoměru s sebou nese prašné procesy (odstranění vrstvy omítky a následné zbroušení povrchu), které byly v tomto případě nežádoucí.

V rámci stavebně technického průzkumu byly provedeny tyto úkony:

1. Určení způsobu vyztužení sloupů JD

- Sondy na novém typu sloupu JD s označením S1
- Sondy na starém typu sloupu JD s označením S2

2. Odběr vzorků betonu ze sloupů JD

- 4 jádrové vývrty o průměru 50 mm

3. Zjištění míry karbonatace betonu určená za pomoci 1% roztoku fenolftaleinu

- Orientační test míry karbonatace na všech odebraných vzorcích betonu

4. Výroba zkušebních těles a jejich laboratorní zkoušení

5. Určení charakteristické pevnosti betonu a jeho zařazení do pevnostní třídy

- Charakteristická pevnost dle ČSN ISO 13822, pevnostní třída dle ČSN EN 206-1

6.4 Použité metody a princip zkoušení

6.4.1 Ověření vyztužení

- Metoda magnetických indikátorů – přístroj Profometer PM-630
(podrobněji viz kapitola 4.2.2);

- Metoda georadaru – přístroj Hilti PS 1000 X-scan (podrobněji viz kapitola 4.2.4);
- Sekaná sonda (podrobněji viz kapitola 4.2.1).

6.4.2 Vlastnosti betonu

- Jádrové vývrty (podrobněji viz kapitola 5.4.2 – *Jádrové vývrty*);
- Karbonatace betonu (podrobněji viz kapitola 5.4.2 – *Karbonatace betonu*);
- Výroba zkušebních těles, princip zkoušení
(podrobněji viz kapitola 5.4.2 – *Výroba zkušebních těles, princip zkoušení*);
- Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci
(podrobněji viz kapitola 5.4.2 – *Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci*).

6.5 Identifikace vyztužení sloupů JD

Při vlastním stavebně technickém průzkumu pro určení vyztužení nosných sloupů JD ve vybraných pozicích byly použity vždy kombinace dvou nedestruktivních metod sondování. Jednalo se o již zmíněnou elektromagnetickou metodu v zastoupení přístroje Profometer PM-630 a metodu georadaru za pomoci přístroje Hilti PS 1000. Dále pro upřesnění identifikovaných výztuží byla použita destruktivní metoda, a to konkrétně sekaná sonda. V zastoupení semidestruktivních metod byly provedeny jádrové vývrty pro následné vyhodnocení pevnostní třídy betonu.

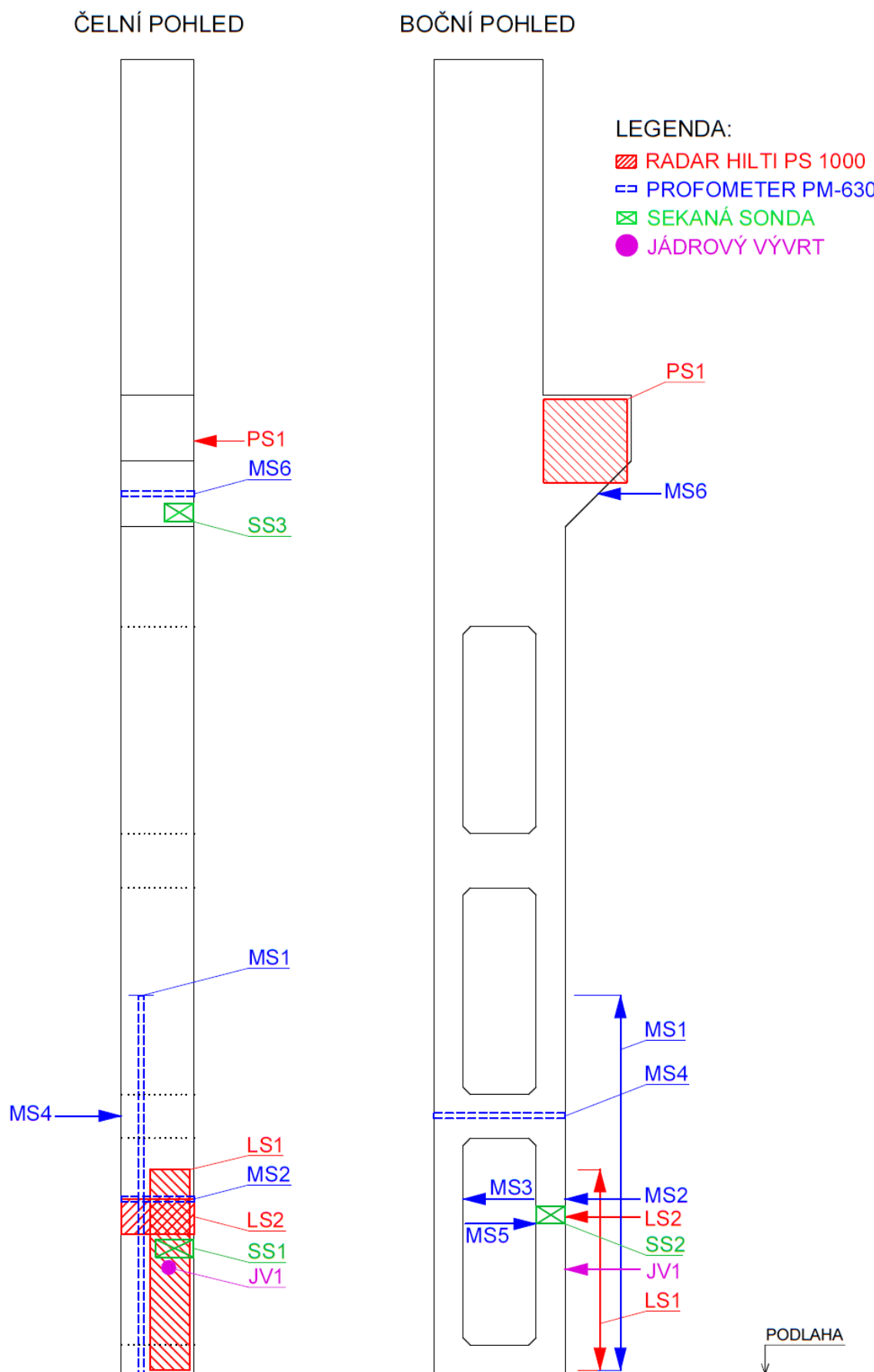
6.5.1 Stanovení vyztužení sloupu S1 – Nový typ

Za účelem ověření způsobu vyztužení nosného sloupu JD s označením S1 byl proveden radarový sken v ploše 600 x 600 mm s označením sondy PS1 a dva liniové skeny s označením sond LS1, LS2 (viz Obr. 6.2 – vyznačeny červeně).

Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže byly proměřeny oblasti s označením sond MS1 – MS6 (viz Obr. 6.2 – vyznačeny modře).

Dále byly sekanými sondami ověřeny výztuže v pozicích s označením SS1, SS2 a SS3 (viz Obr. 6.2 – vyznačeny zeleně).

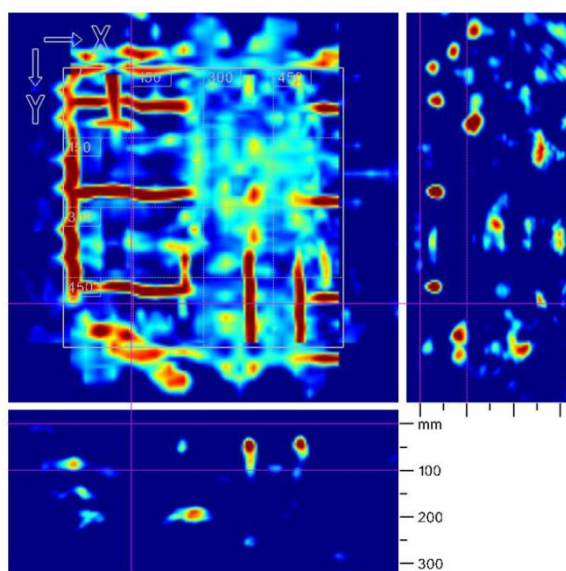
Poslední krok spočíval v odběru jádrového vývrtu z konstrukce na pozici označené JV1 (viz Obr. 6.2 – vyznačen fialově).



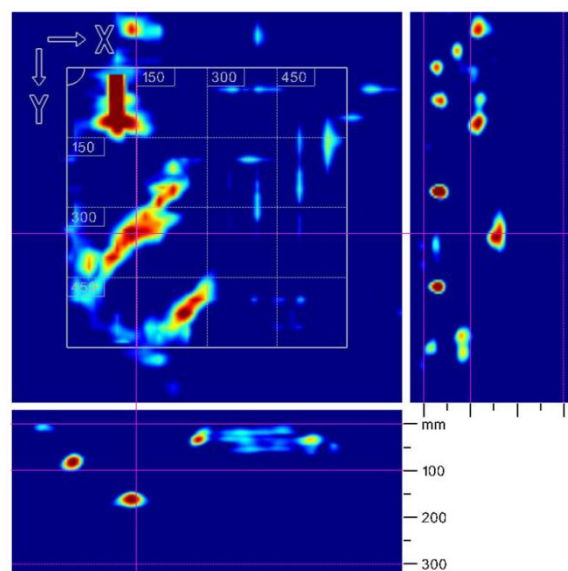
Obr. 6.2: Poloha prováděných sond na sloupu S1.

▪ Plošný radarový sken PS1

Plošný radarový sken PS1 byl proveden na boční straně v oblasti konzoly sloupu S1. Umístění skenu PS1 je cca 25 mm od čela konzoly a 25 mm pod horním povrchem konzoly. Plošný sken na Obr. 6.3 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi lícem prvku a hloubkou 100 mm. Střed zobrazení je zde odstíněn ocelovou deskou, která je umístěna na boku konzoly. Plošný sken na Obr. 6.4 zobrazuje výztuž nacházející se v prostoru mezi hloubkou 100 až 300 mm. Na snímku je patrná dvojice diagonálních výztuží v hloubce cca 180 mm.



Obr.6.3: Plošný sken do hloubky 100 mm.

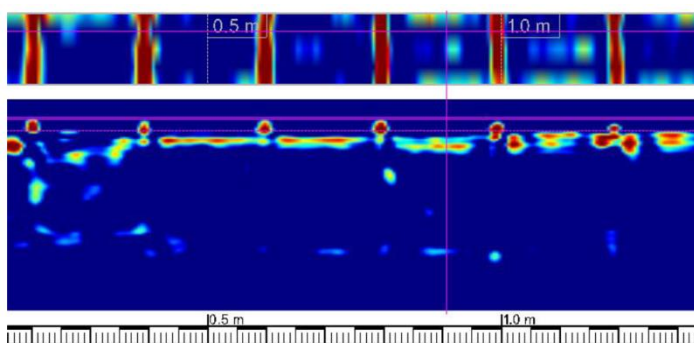


Obr. 6.4: Plošný sken v hloubce 100 až 300 mm.

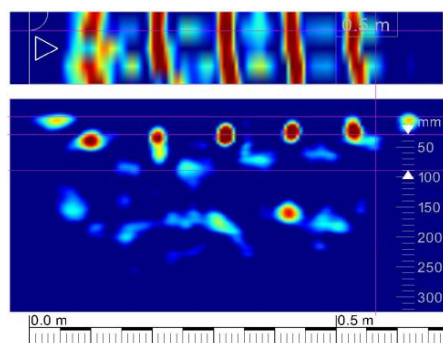
▪ Liniové radarové skeny LS1, LS2

Liniový radarový sken s označením LS1 (viz Obr. 6.5) je vedený vertikálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S1 a zachycuje polohu třmínek ve spodní části sloupu S1, rozteče třmínek jsou průměrně po 200 mm.

Liniový radarový sken s označením LS2 (viz Obr. 6.6) je vedený horizontálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S1 ve výšce cca 1200 mm nad podlahou. Tento snímek zachycuje polohu 5 prutů hlavní svislé výztuže.



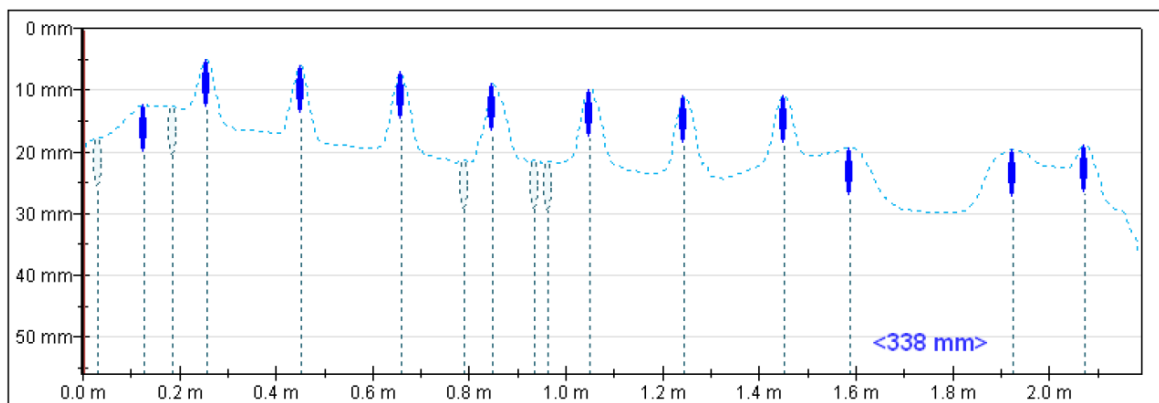
Obr. 6.5: Liniový radarový sken LS1.



Obr. 6.6: Liniový radarový sken LS2.

▪ Sonda MS1

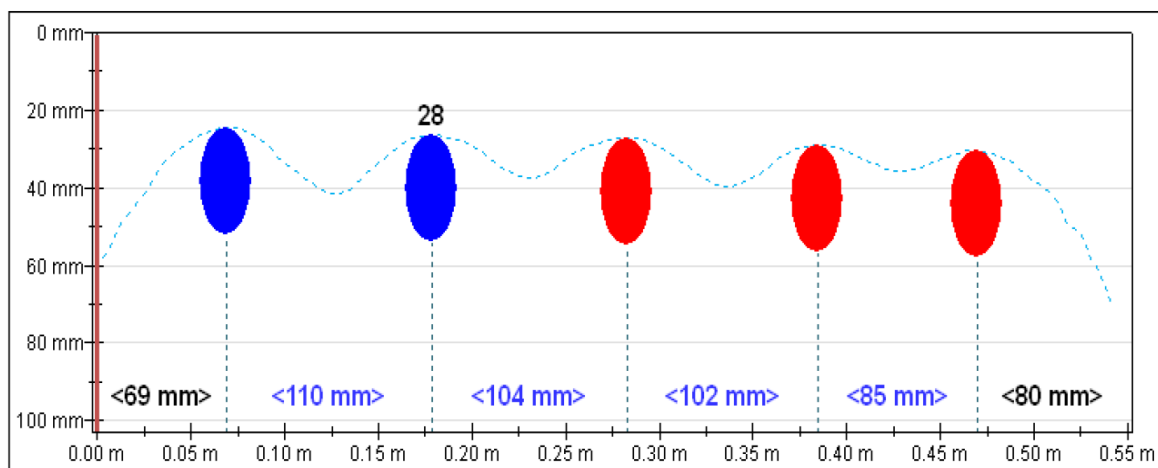
Liniový záznam sondy s označením MS1 (viz Obr. 6.7) je vedený vertikálně od podlahy směrem nahoru na čelním povrchu sloupu S1 a zobrazuje rozteče třmínek sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 8 mm. Krytí třmínek se pohybuje od cca 5 do 20 mm.



Obr. 6.7: Liniový záznam sondy MS1.

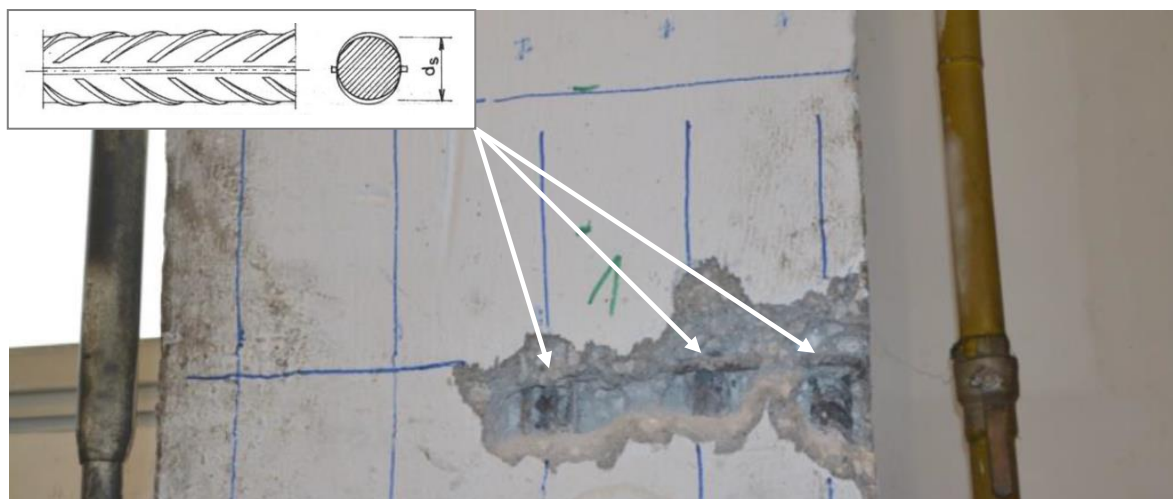
▪ Sonda MS2

Liniový záznam sondy s označením MS2 (viz Obr. 6.8) je vedený horizontálně na čelním povrchu sloupu S1 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 28 mm. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže Ø 28 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 30 mm.



Obr. 6.8: Liniový záznam sondy MS2.

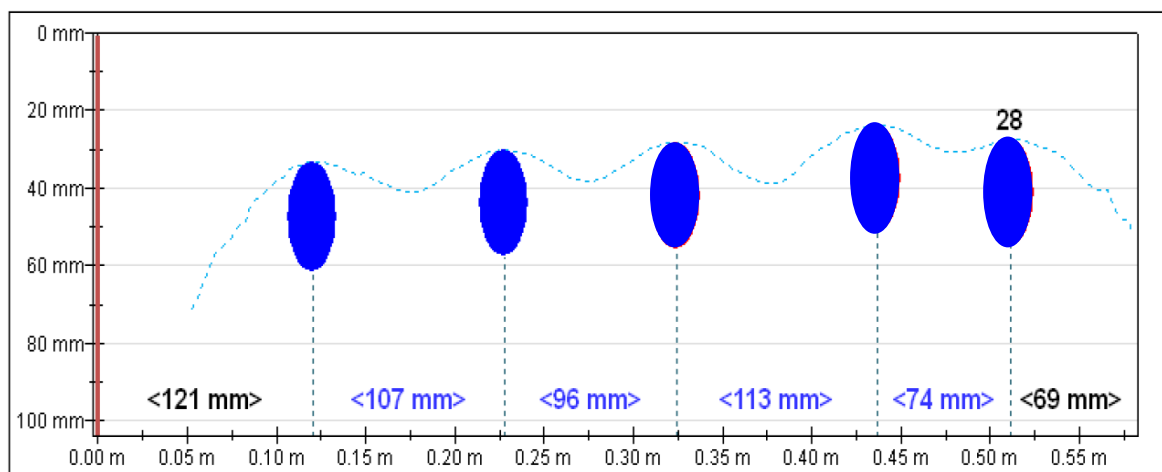
Byla zde provedena také sekaná sonda s označením SS1 (viz Obr. 6.9), díky které byl identifikován typ 3 prutů výztuže (červeně značené pruty na Obr. 6.8). Jedná se o žebírkový typ výztuže s označením 10 425 (V).



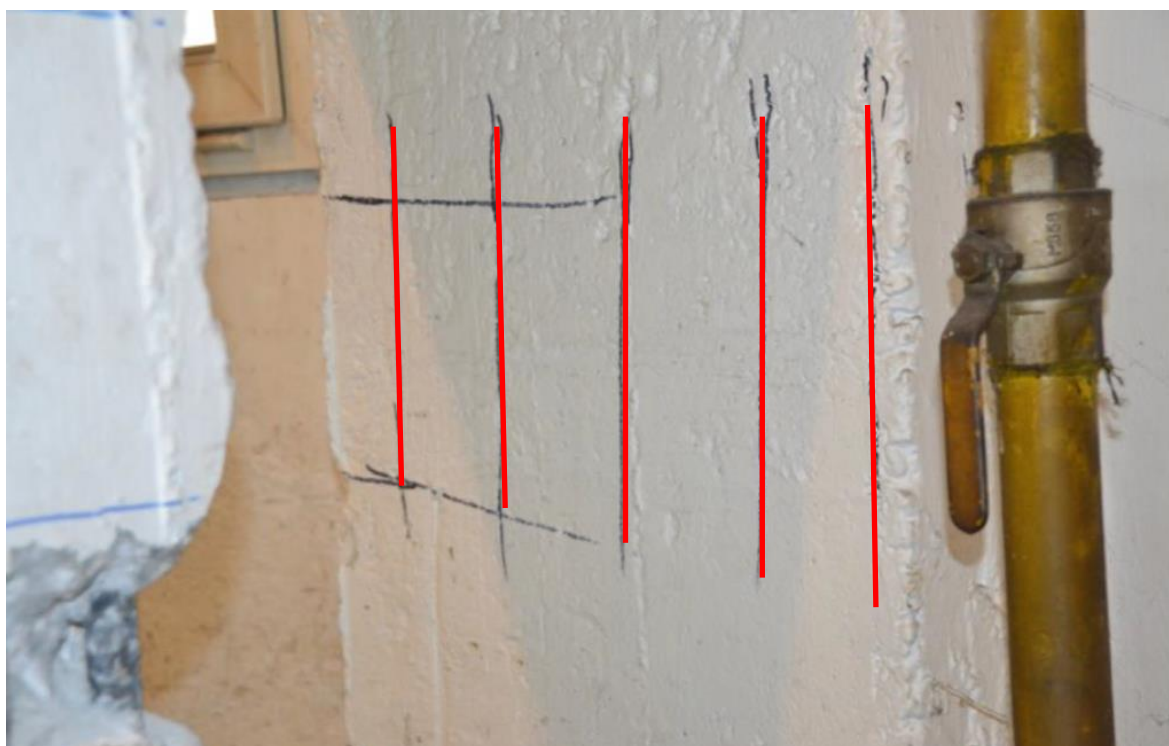
Obr. 6.9: Sekaná sonda s viditelnými třemi pruty hlavní nosné výztuže v poloze sondy MS2. [14]

▪ Sonda MS3

Liniový záznam sondy s označením MS3 (viz Obr. 6.10) je vedený horizontálně na pohledové straně sloupu S1 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 28 mm. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže Ø 28 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 20 do 35 mm.



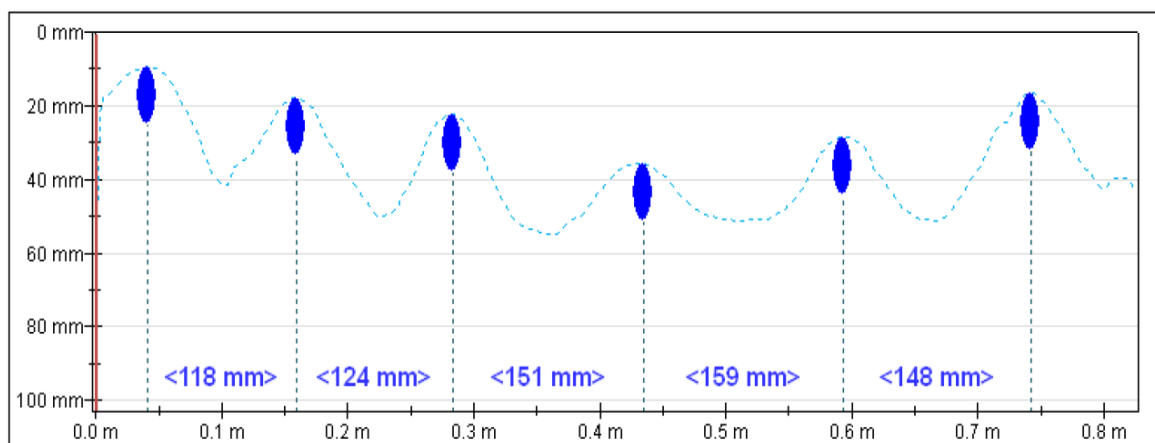
Obr. 6.10: Liniový záznam sondy MS3.



Obr. 6.11: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS3. [14]

▪ Sonda MS4

Liniový záznam sondy s označením MS4 (viz Obr. 6.12) je vedený horizontálně na boční straně příčniku sloupu S1 a zobrazuje rozteče třmínků sloupu. Krytí výztuže se pohybuje od cca 10 do 35 mm.



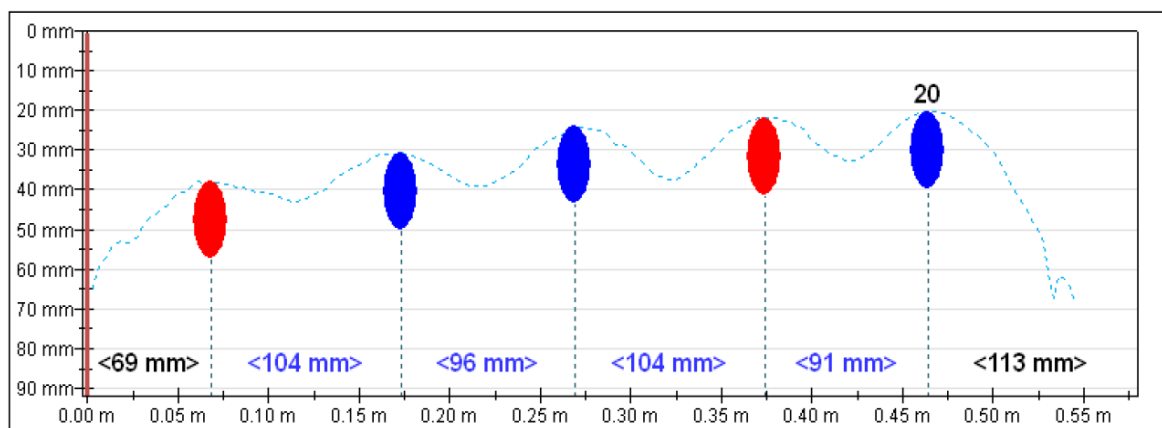
Obr. 6.12: Liniový záznam sondy MS4.



Obr. 6.13: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS4. [14]

▪ Sonda MS5

Liniový záznam sondy s označením MS5 (viz Obr. 6.14) je vedený horizontálně při zadní pohledové straně sloupu S1 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 20 mm. Jedná se konkrétně o 5 prutů výztuže Ø 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 20 do 40 mm.

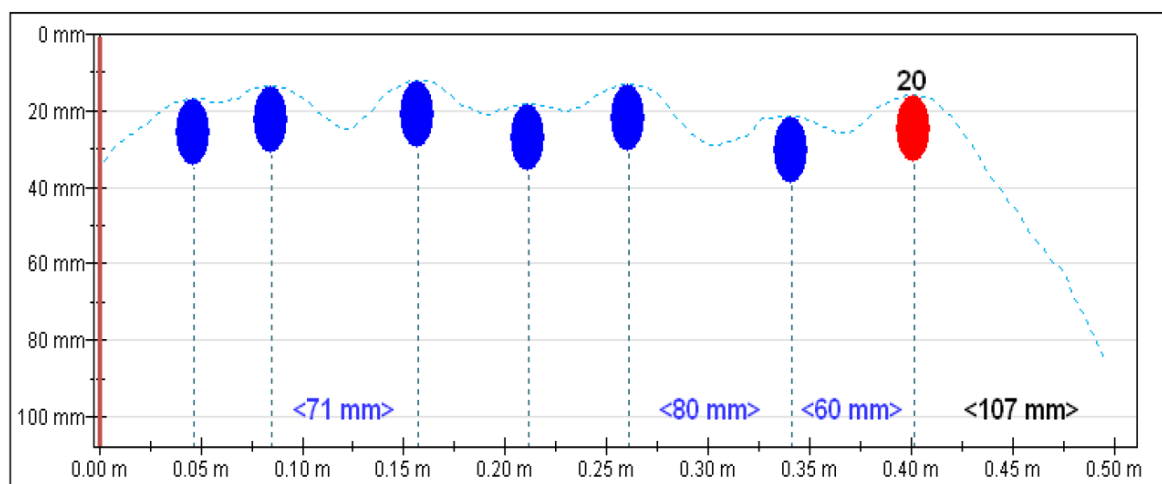


Obr. 6.14: Liniový záznam sondy MS5.

Byla zde provedena také sekaná sonda s označením SS2, díky které byl identifikován typ 2 prutů výztuže (červeně značené pruty na Obr. 6.14). Jedná se o žebírkový typ výztuže s označením 10 425 (V).

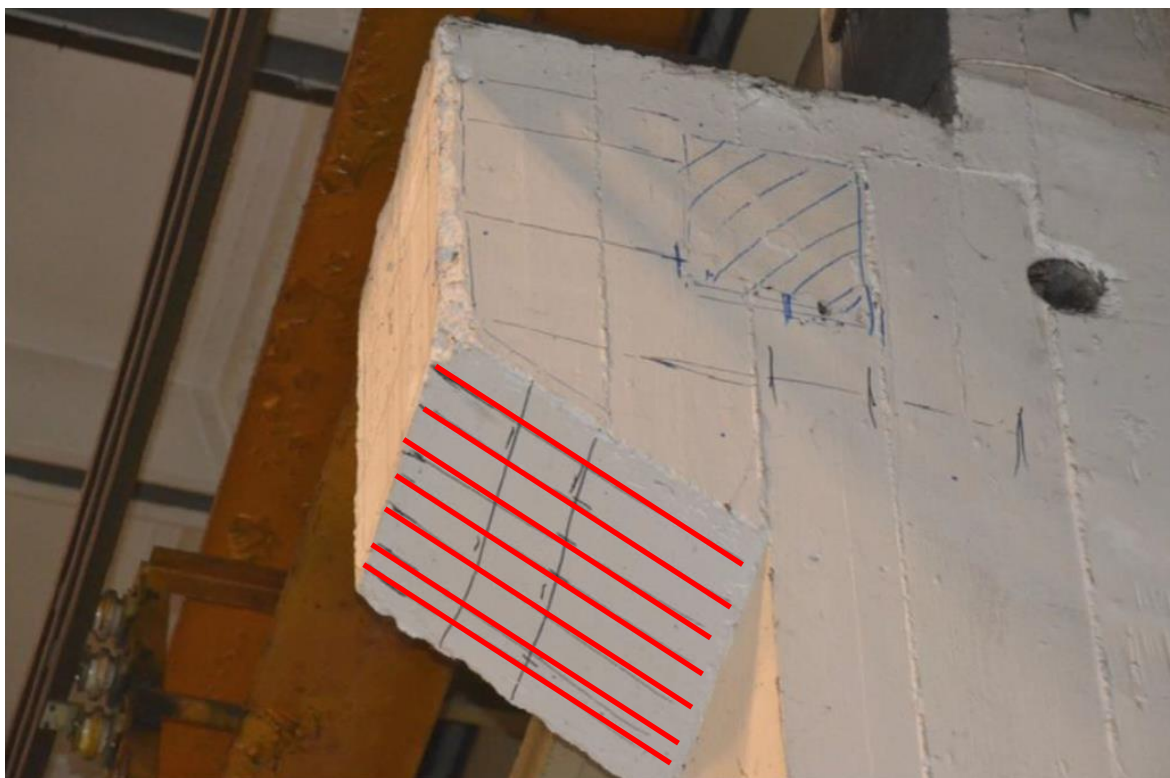
▪ Sonda MS6

Liniový záznam sondy s označením MS6 (viz Obr. 6.15) je vedený horizontálně v místě šikmého čela konzoly sloupu S1 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 20 mm. Jedná se o 5 prutů výztuže Ø 20 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 10 do 25 mm.



Obr. 6.15: Liniový záznam sondy MS6.

Byla zde provedena také sekaná sonda s označením SS3, díky které byl identifikován typ 1 prutu výztuže (červeně značený prut na Obr. 6.16). Jedná se o žebírkový typ výztuže s označením 10 425 (V).



Obr. 6.16: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS6. [14]

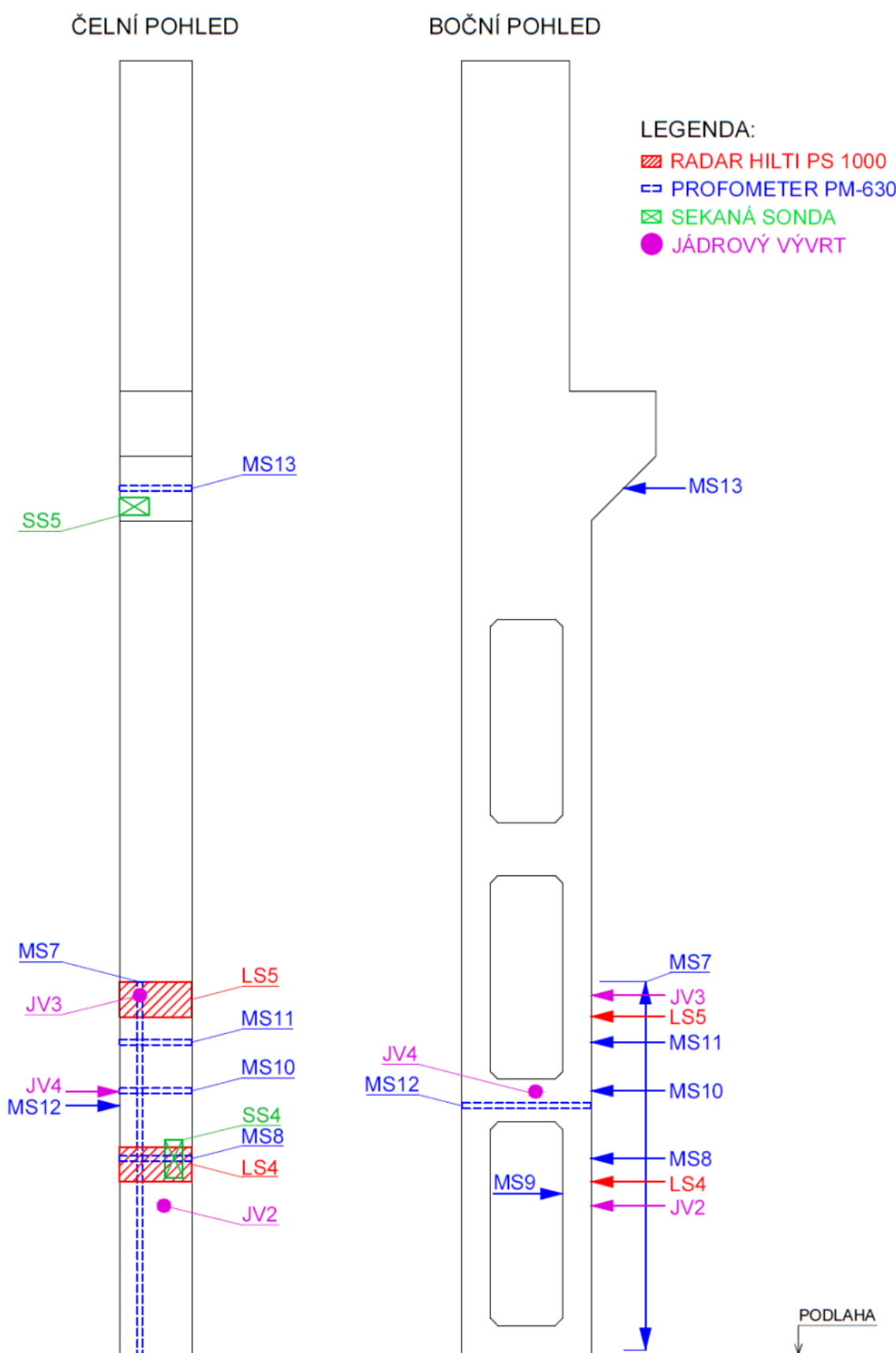
▪ Jádrový vývrt JV1

Jádrový vývrt o průměru 50 mm byl odebrán z čelní strany sloupu S1 (umístění vývrtu viz Obr. 6.2). Následné vyhodnocení betonu v tlaku na odebraných vzorcích je uveden v kapitole 6.6.1.



Obr. 6.17: Detail polohy jádrového vývrtu na pozici JV1. [14]

6.5.2 Stanovení vyztužení sloupu S2 – Starý typ



Obr. 6.18: Poloha prováděných sond na sloupu S2.

Za účelem ověření způsobu vyztužení sloupu JD s označením S2 byly provedeny dva liniové radarové skeny s označením sond LS4, LS5 (viz Obr. 6.18 – vyznačeny červeně).

Pomocí elektromagnetického indikátoru výztuže byly proměřeny oblasti s označením sond MS7 – MS13 (viz Obr. 6.18 – vyznačeny modře).

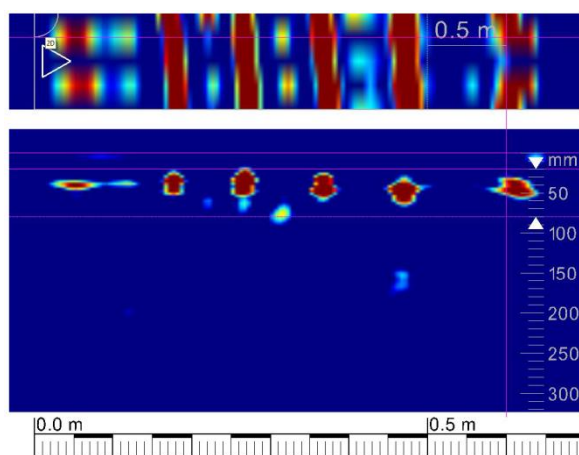
Dále byly sekanými sondami ověřeny výztuže v pozicích s označením SS4 a SS5 (viz Obr. 6.18 – vyznačeny zeleně).

Poslední krok spočíval v odběru jádrových vývrtů z konstrukce na pozicích označených JV2, JV3 a JV4 (viz Obr. 6.18 – vyznačeny fialově).

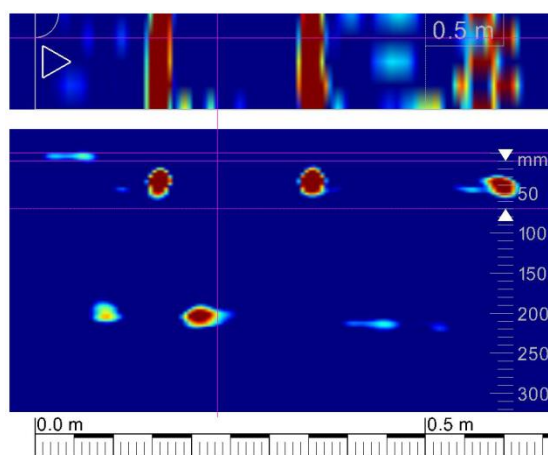
▪ Liniové radarové skeny LS4, LS5

Liniový sken s označením LS4 (viz Obr. 6.19) je vedený horizontálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S2 ve výšce cca 1200 mm nad podlahou. Tento snímek zachycuje polohu 5 prutů hlavní nosné výztuže.

Umístění liniového skenu s označením LS5 (viz Obr. 6.20) je stejné jako v předchozím případě pouze s rozdílnou výškou skenu, LS5 je tedy veden ve výšce cca 1900 mm nad podlahou. Tento snímek zachycuje polohu pouze 3 prutů hlavní nosné výztuže.



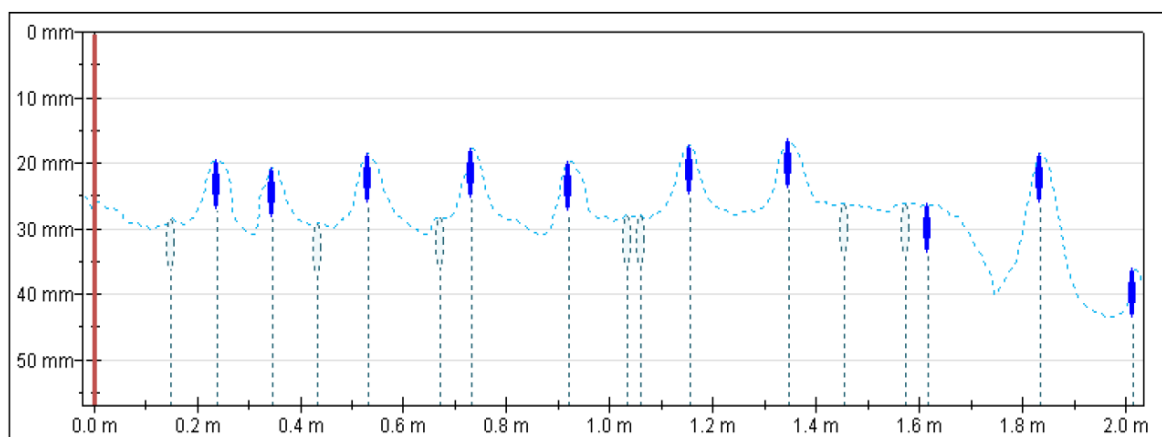
Obr. 6.19: Liniový radarový sken LS4.



Obr. 6.20: Liniový radarový sken LS5.

▪ Sonda MS7

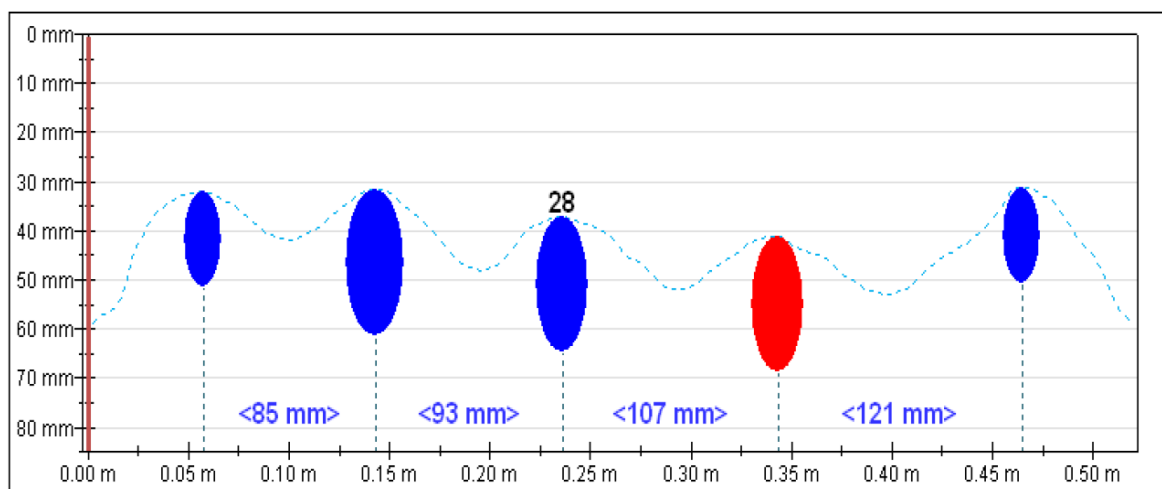
Liniový záznam sondy s označením MS7 (viz Obr. 6.21) je vedený vertikálně od podlahy směrem nahoru na čelním povrchu sloupu S2 a zobrazuje rozteče třmínek sloupu. Krytí třmínek se pohybuje od cca 15 do 35 mm.



Obr. 6.21: Liniový záznam sondy MS7.

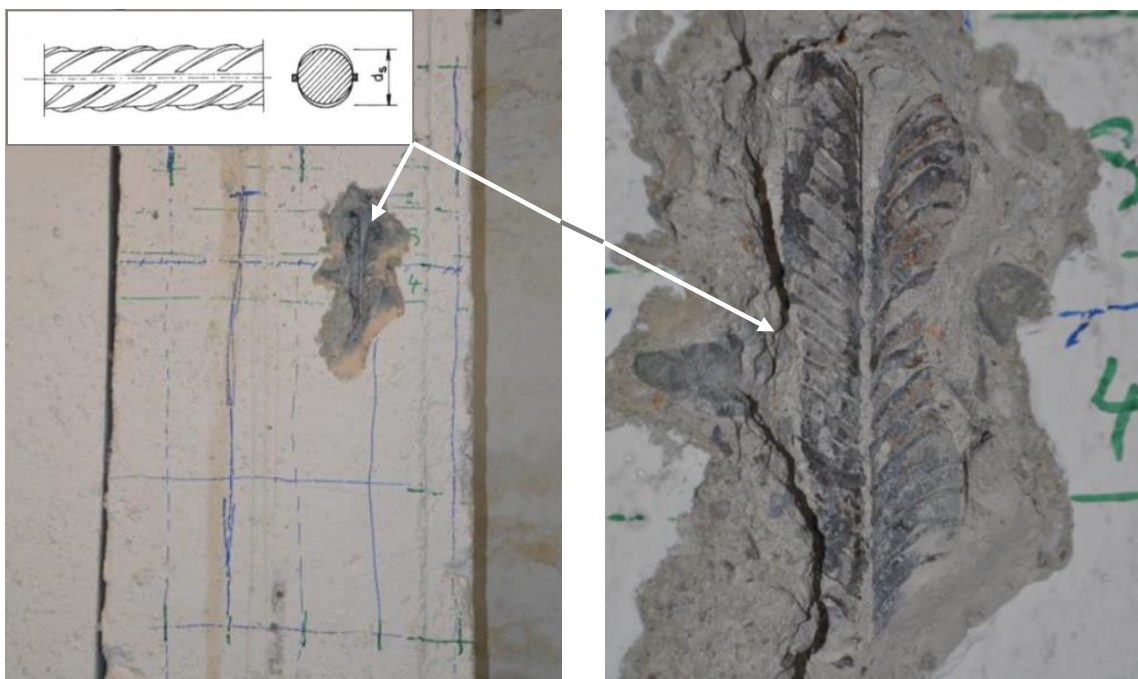
▪ Sonda MS8

Liniový záznam sondy s označením MS8 (viz Obr. 6.22) je vedený horizontálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S2 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 20 a 28 mm. Jedná se konkrétně o 2 pruty výztuže Ø 20 mm a 3 pruty výztuže Ø 28 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 30 do 45 mm.



Obr. 6.22: Liniový záznam sondy MS8.

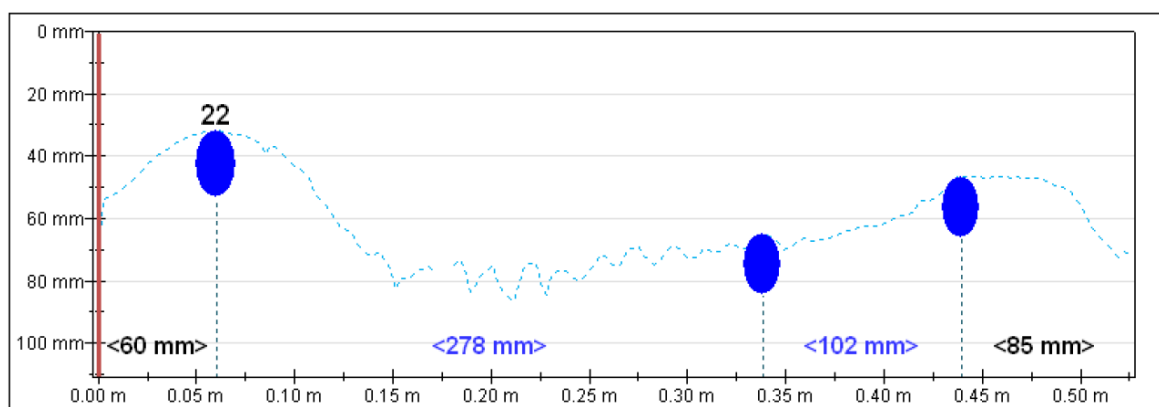
Byla zde provedena také sekaná sonda s označením SS4, díky které byl identifikován typ 1 prutu výztuže (červeně značený prut na Obr. 6.22). Jedná se o žebírkový typ výztuže s označením 10 335 (J).



Obr. 6.23: Sekaná sonda s viditelnými pruty nosné výztuže v poloze sondy MS8. [14]

▪ Sonda MS9

Liniový záznam sondy s označením MS9 (viz Obr. 6.24) je vedený horizontálně při zadní pohledové straně sloupu S2 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 22. Jedná se konkrétně o 3 pruty výztuže Ø 22 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 65 mm.

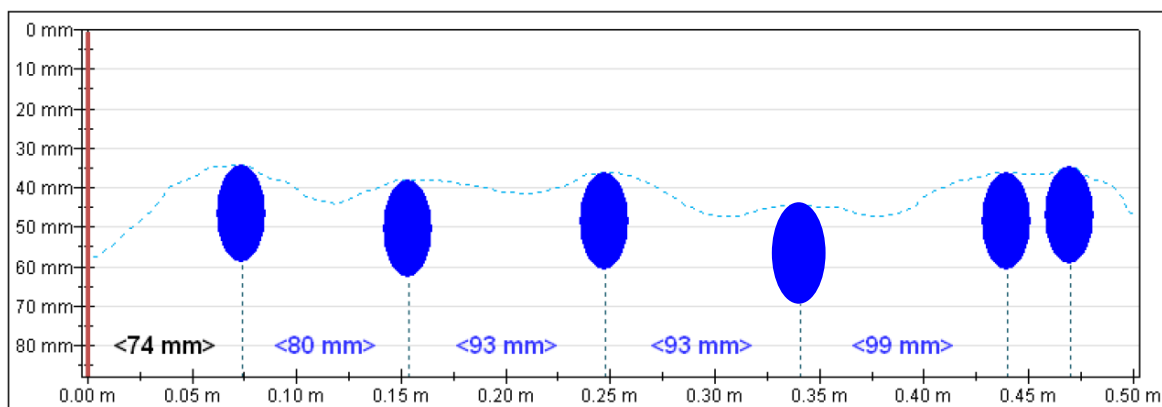


Obr. 6.24: Liniový záznam sondy MS9.

▪ Sonda MS10

Liniový záznam sondy s označením MS10 (viz Obr. 6.25) je vedený horizontálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S2 ve výšce cca 1700 mm. Zobrazuje rozteče

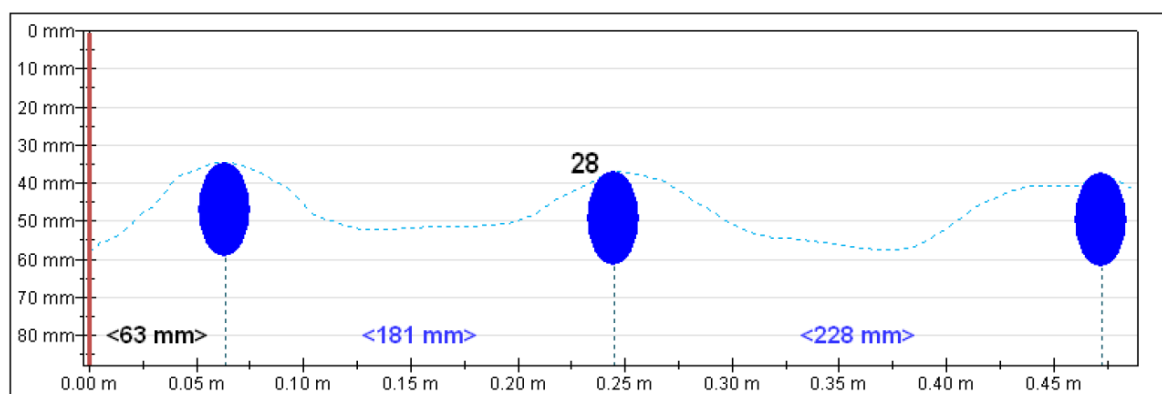
hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl, stejně jako v případě sondy MS8, nedestruktivně určen hodnotou 20 a 28 mm. Jedná se konkrétně o 2 pruty výztuže Ø 20 mm a 3 pruty výztuže Ø 28 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 35 do 45 mm.



Obr. 6.25: Liniový záznam sondy MS10.

▪ Sonda MS11

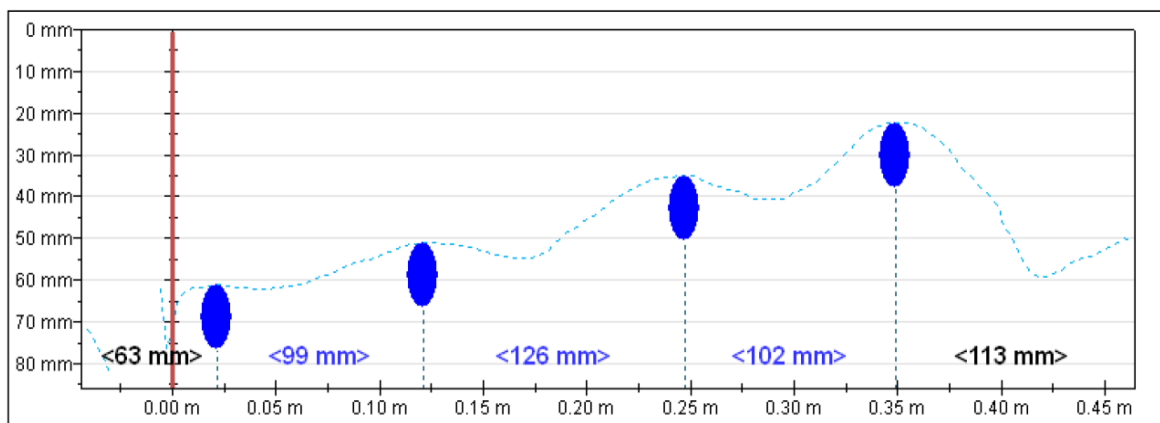
Liniový záznam sondy s označením MS11 (viz Obr. 6.26) je vedený horizontálně po povrchu čelní strany svislé větve sloupu S2 ve výšce cca 1900 mm. Zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 28 mm. V tomto případě se však jedná pouze o 3 pruty výztuže Ø 28 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 35 do 40 mm.



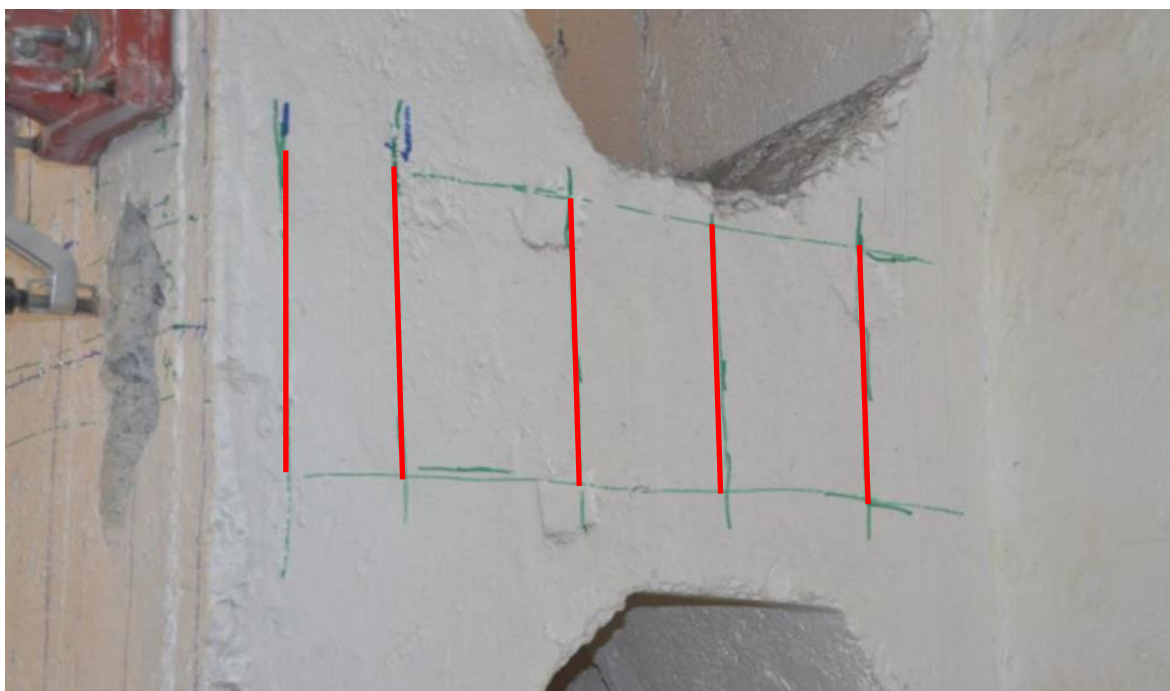
Obr. 6.26: Liniový záznam sondy MS11.

▪ Sonda MS12

Liniový záznam sondy s označením MS12 (viz Obr. 6.27) je vedený horizontálně po povrchu boční strany sloupu S2 v místě příčnicku a zobrazuje rozteče třmínek sloupu. Krytí výztuže se pohybuje od cca 25 do 65 mm.



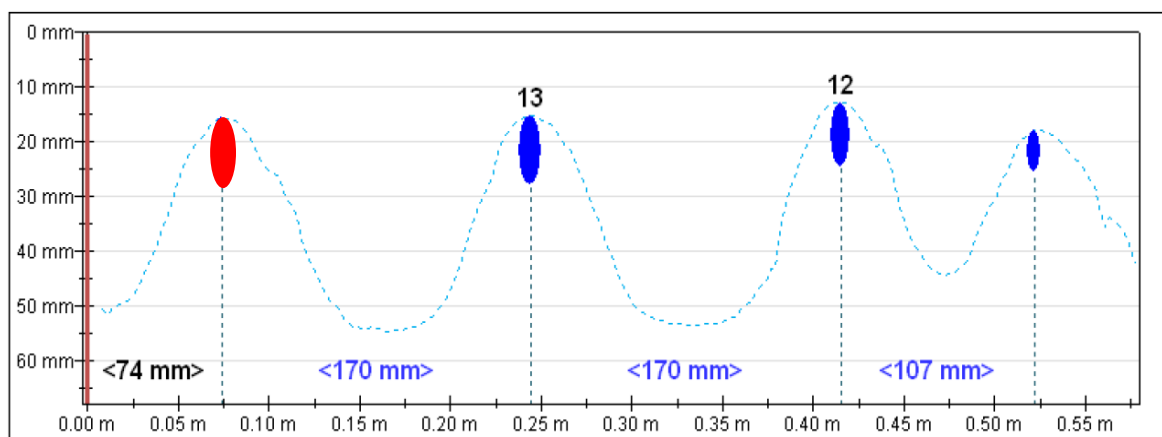
Obr. 6.27: Liniový záznam sondy MS12.



Obr. 6.28: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS12. [14]

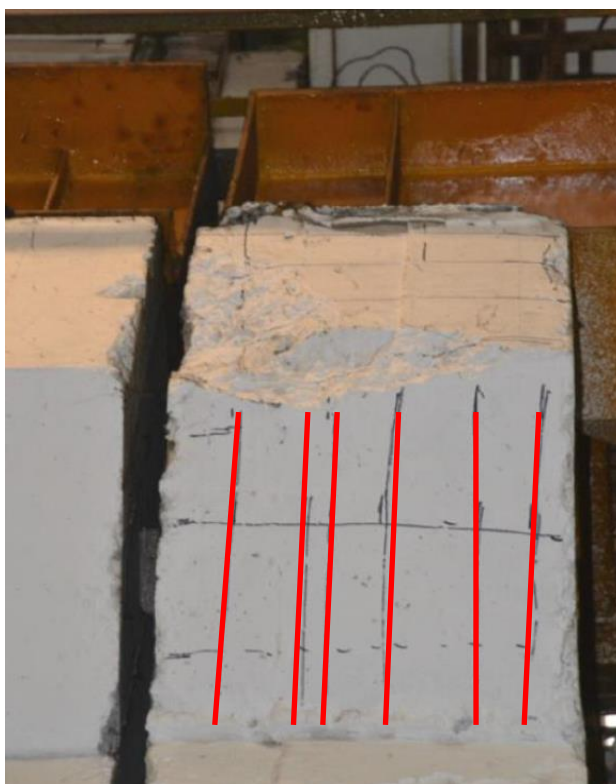
▪ Sonda MS13

Liniový záznam sondy s označením MS13 (viz Obr. 6.29) je vedený horizontálně v místě šikmého čela konzoly sloupu S2 a zobrazuje rozteče hlavní svislé výztuže sloupu. Průměr prutů výztuže byl nedestruktivně určen hodnotou 16 a 12 mm. Jedná se konkrétně o 3 pruty výztuže Ø 16 mm a 3 pruty výztuže Ø 12 mm. Krytí výztuže se pohybuje od cca 15 do 20 mm.



Obr. 6.29: Liniový záznam sondy MS13.

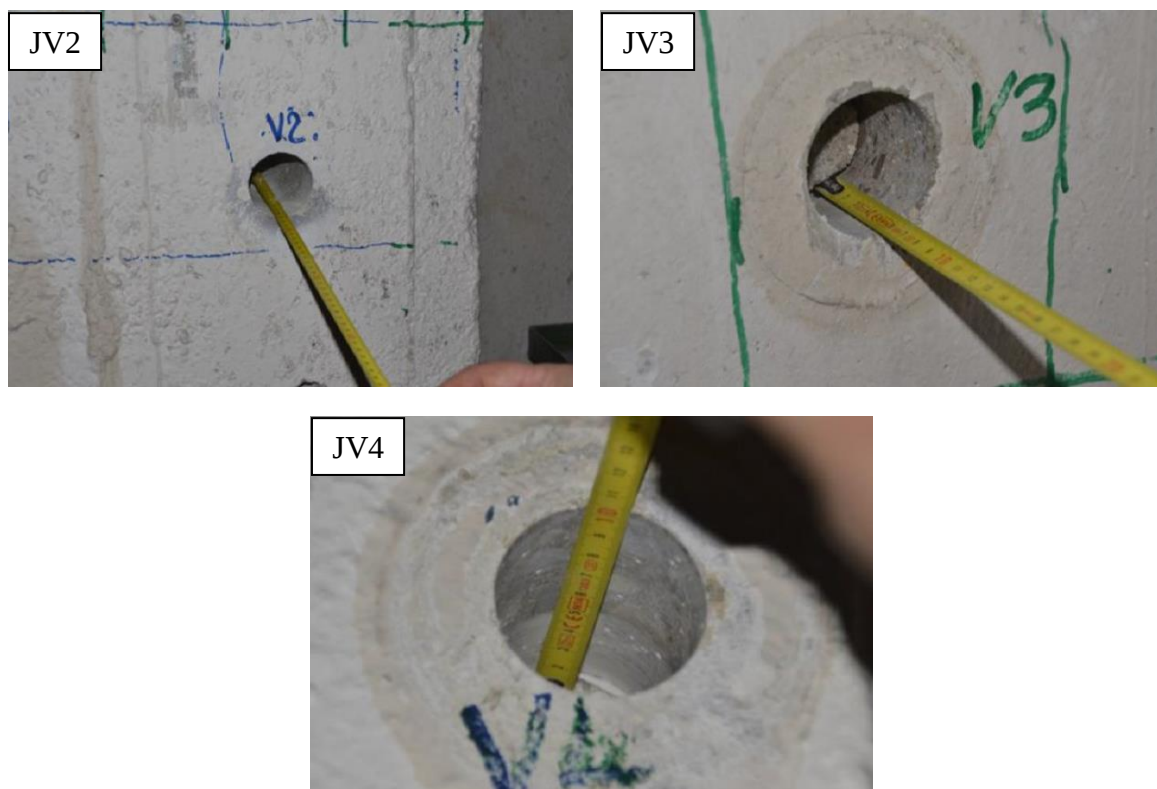
Byla zde provedena také sekaná sonda s označením SS5, díky které byl identifikován typ 1 prutu výztuže (červeně značený prut na Obr. 6.29). Jedná se o žebírkový typ výztuže s označením 10 335 (J).



Obr. 6.30: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS13. [14]

▪ Jádrové vývrty JV2, JV3 a JV4

Jádrové vývrty o průměru 50 mm byly odebrány z konstrukce sloupu S2 (umístění vývrtů viz Obr. 6.18). Následné vyhodnocení betonu v tlaku na odebraných vzorcích je uveden v kapitole 6.6.1.



Obr. 6.31: Detail polohy jádrových vývrtů s označením JV2, JV3 a JV4. [14]

6.6 Vyhodnocení pevnosti betonu a stanovení karbonatace betonu

6.6.1 Vyhodnocení pevnosti betonu v konstrukci

Na hodnocené konstrukci byly ze sloupů JD odebrány celkem 4 jádrové vývrty o průměru 50 mm. Ze sloupu S1 byl odebrán 1 vývrt s označením JV1 a ze sloupu S2 byly odebrány 3 vývrty s označením JV2, JV3 a JV4. Z každého vývrtu byla vytvořena zkušební tělesa, která byla poté zkoušena v laboratoři. Z vývrtu JV1 byla vytvořena dvě zkušební tělesa, z vývrtů JV2, JV3 a JV4 bylo vytvořeno vždy po jednom zkušebním tělese. Výsledné hodnoty laboratorních zkoušek jsou uvedeny v následujících tabulkách.



Obr. 6.32: Odebrané jádrové vývrtky JV1 (sloup S1) a JV2 (sloup S2). [14]

Tab. 6.1: Charakteristiky zkušebních těles betonu ve stavu přirozeně vlhkém:

Označení tělesa	Průměr	Délka	Hmotnost	Štíhlost	Objemová hmotnost
	D [mm]	L [mm]	m [g]	λ [-]	D [kg/m ³]
JV1.1	50,32	55,64	252,5	1,106	2280
JV1.2	50,42	54,24	242,6	1,076	2240
JV2	50,30	58,54	241,4	1,164	2080
JV3	50,31	53,41	219,7	1,062	2070
JV4	50,31	55,05	248,5	1,094	2270

Tab. 6.2: Pevnost betonu v tlaku (vzorky vyrobené z vývrtů):

Označení tělesa	Max. síla	Koeficient průměru	Koeficient štíhlosti	Válcová pevnost	Koeficient krychle	Krychelná pevnost
	F [kN]	$\kappa_{c,cyl}$ [-]	$\kappa_{c,cube}$ [-]	$f_{c,cyl}$ [MPa]	$\kappa_{cyl,cube}$ [-]	$f_{c,cube}$ [MPa]
JV1.1	82,9	0,880	0,91	33,4	1,243	41,5
JV1.2	90,5	0,873	0,91	36,0	1,241	44,7
JV2	58,8	0,893	0,91	24,1	1,249	30,0
JV3	63,9	0,869	0,91	25,4	1,249	31,8
JV4	68,9	0,878	0,91	27,7	1,247	34,5

Tab. 6.3: Vyhodnocení charakteristické pevnosti betonu v tlaku dle ČSN ISO 13822:

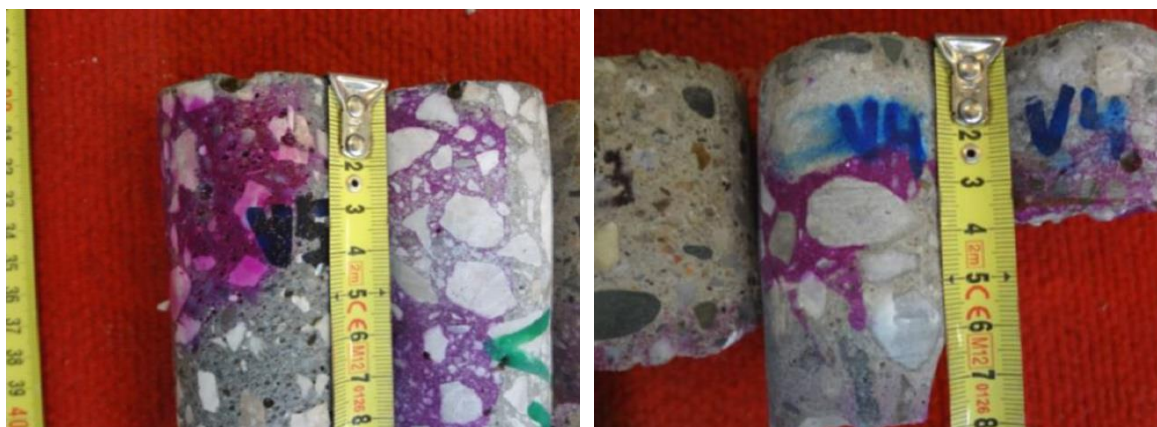
Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Objemová hmotnost betonu	D	2140	[kg/m ³]
Minimální hodnota krychelné pevnosti betonu	$f_{c,min}$	30,0	[MPa]
Střední hodnota krychelné pevnosti betonu	$f_{c,x}$	36,5	[MPa]
Maximální hodnota krychelné pevnosti betonu	$f_{c,max}$	44,7	[MPa]
Výběrová směrodatná odchylka krychelné pevnosti	s_x	6,34	[MPa]
Variační součinitel	V_x	17,4	[%]
Počet platných vzorků	n	5	[-]
Variační koeficient známý / neznámý		neznámý	[-]
Součinitel odhadu 5% kvantilu	k_n	2,33	[-]
Charakteristická pevnost betonu v tlaku	$f_{ck,cube}$	21,7	[MPa]

Zatřídění do pevnostní třídy dle ČSN EN 206-1 bylo provedeno na základě provedených laboratorních zkoušek a zjištěné charakteristické pevnosti betonu v tlaku. Beton odebraný ze sloupů JD byl tedy zařazen do **pevnostní třídy C16/20** (resp. B20 dle tehdejší normy ČSN 73 2400:1989).

6.6.2 Stanovení karbonatace betonu

Na všech jádrových vývrtech byla provedena orientační zkouška karbonatace betonu. Na Obr. 6.34 jsou viditelné nezbarvené zkarbonatované vrstvy betonu. V částech, které se po nastříkání roztoku fenolftaleinu fialově zbarvily, je výztuž dostatečně chráněna před vznikem koroze. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce Tab. 6.5.





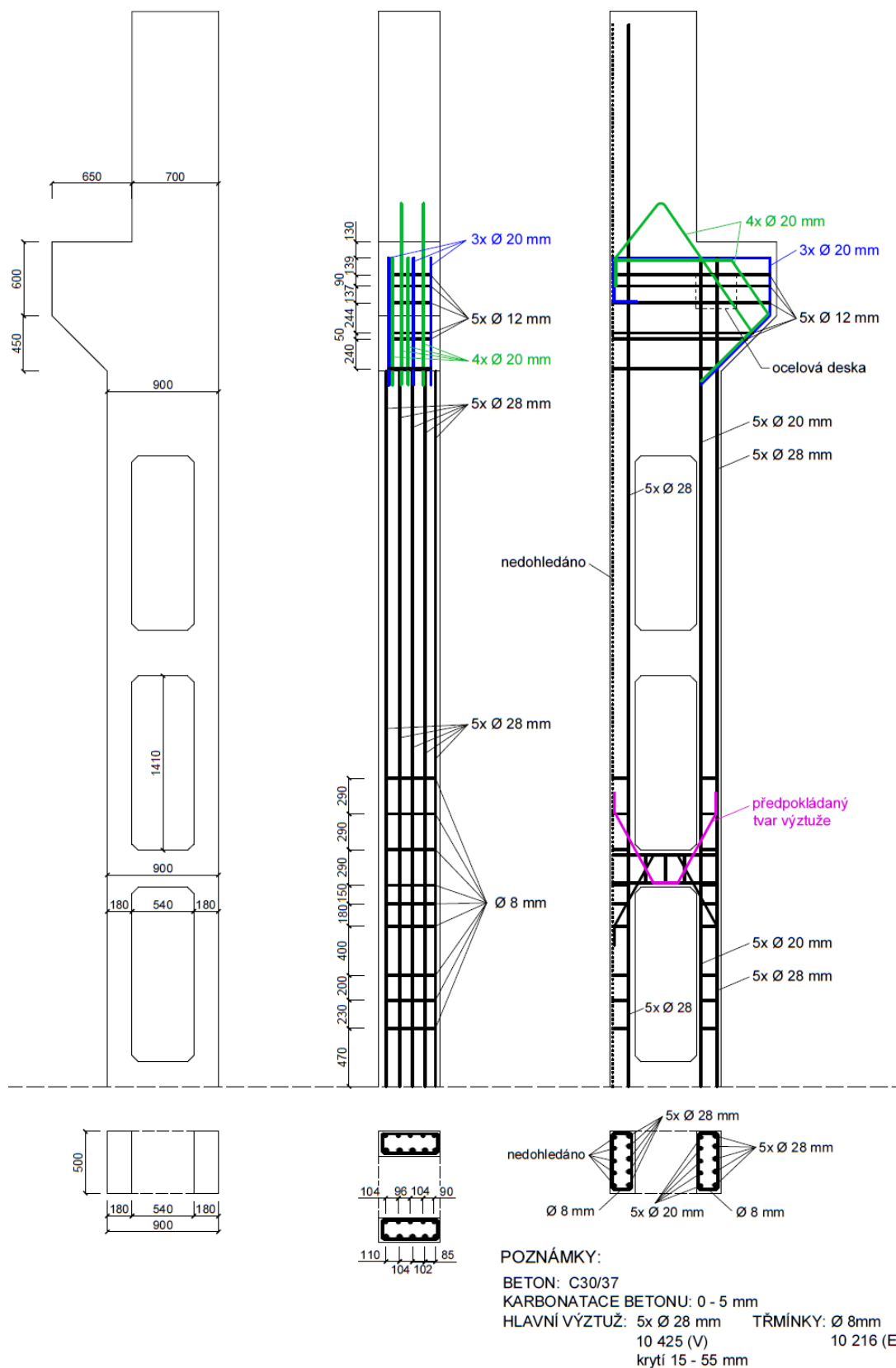
Obr. 6.33: Znázornění hloubky karbonatace betonu na jádrových vývrtech. [14]

Tab. 6.4: Výsledné hodnoty míry karbonatace na zkušebních tělesech:

Označení vzorku	Poloha na konstrukci	Míra karbonatace
JV1	S1 - nový typ	0 - 3 mm
JV2	S2 - starý typ	50 - 55 mm
JV3	S2 - starý typ	50 - 55 mm
JV4	S2 - starý typ	15 - 20 mm

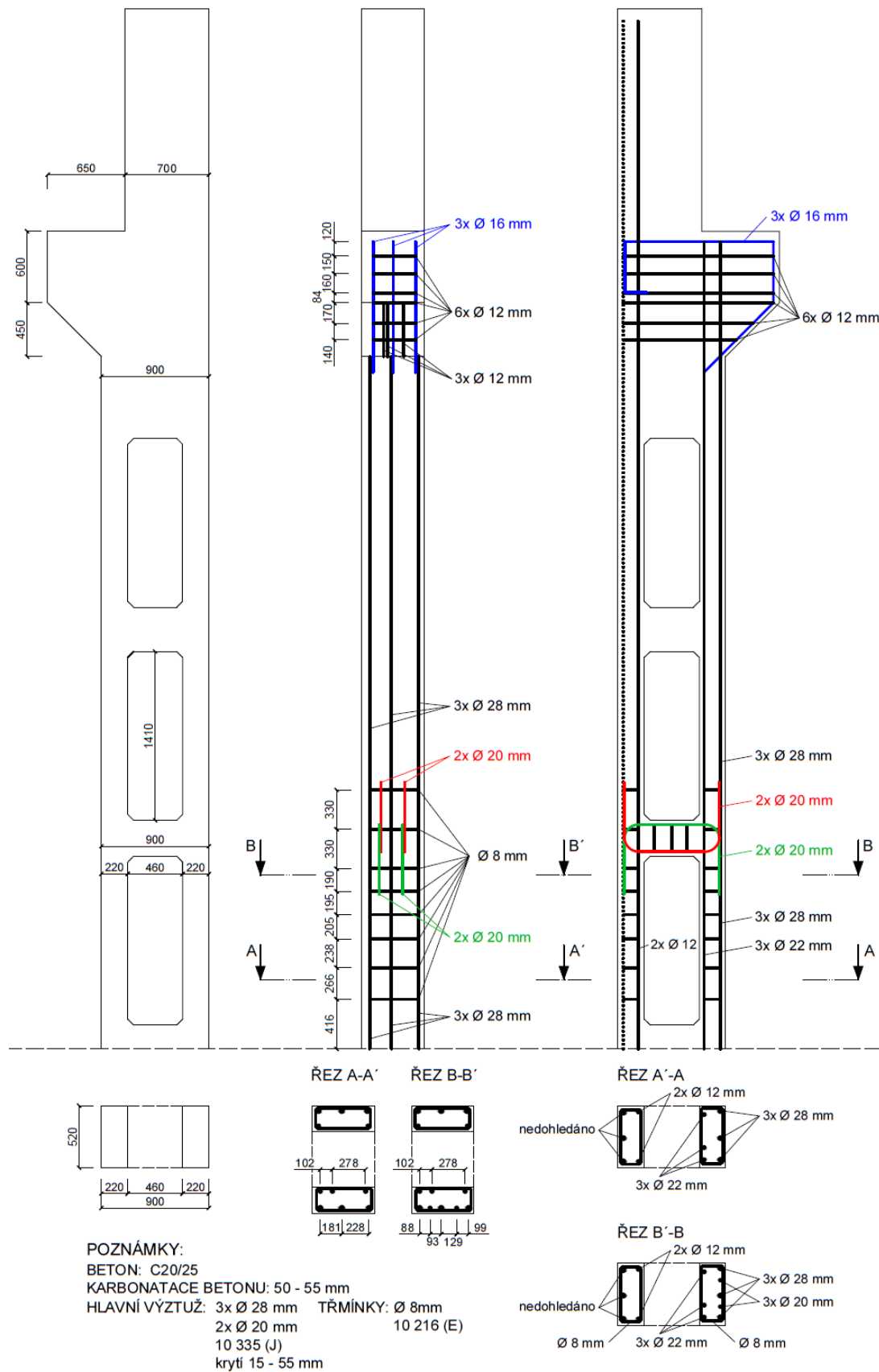
6.7 Výsledné vyztužení sloupů JD

6.7.1 Sloup S1 – Nový typ



Obr. 6.34: Schéma celkového vyztužení sloupu S1.

6.7.2 Sloup S2 – Starý typ



Obr. 6.35: Schéma celkového vyztužení sloupu S2.

6.8 Shrnutí výsledků diagnostického průzkumu

Vzhledem k provedenému stavebně technickému průzkumu prefabrikovaných sloupů jeřábové dráhy v objektu průmyslové haly společnosti Č.V. PROTOTYP s.r.o. byl identifikován způsob vyztužení předmětných konstrukcí. V rámci průzkumu bylo také provedeno hodnocení kvality použitého betonu z hlediska pevnosti betonu v tlaku a míry karbonatace.

Zjištěný způsob vyztužení sloupů S1 a S2 jeřábové dráhy na základě provedených sond je patrný z Obr. 6.35 a 6.36. Sekanou sondou byl také ve vytipovaných místech ověřen průměr výztuže a její typ dle povrchové úpravy. Všechny provedené sondy pro kontrolu vyztužení jsou uvedeny v kapitole 6.5.

Pevnostní třída betonu sloupů S1 a S2 byla laboratorní zkouškou pevnosti betonu v tlaku stanovena jako C16/20 (viz kapitola 6.6.1). Zjištěná pevnostní třída odpovídá tehdejšími požadavkům na průmyslové konstrukce.

Orientační doplňkovou zkouškou byla na odebraných jádrových vývrtech z konstrukce prokázána hloubka karbonatace, která je u sloupu S1 v rozmezí 0 – 3 mm a u sloupu S2 v rozmezí 15 – 55 mm (viz kapitola 6.6.2).

7 STATICKÉ POSOUZENÍ

Tato kapitola se věnuje posouzení stávající krátké konzoly jeřábové dráhy v objektu průmyslové haly společnosti ALPINE Bau CZ a.s. v blízkosti Valašského Meziříčí.

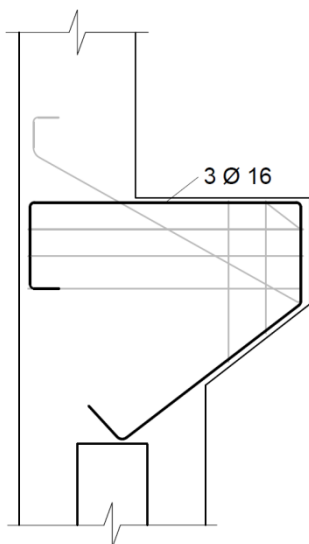
Jedná se o jednopodlažní jednolodní halu o modulovém rozpětí lodě 18,0 m. V podélném směru je hala tvořena jednotlivými poli, přičemž rozpětí každého pole je 6,0 m. Hlavní nosné konstrukce jsou z prefabrikovaných dílců. Krátké konzoly přenáší do sloupů zatížení z nosníků jeřábových drah o nosnosti 8 tun. Ze strany investora vznikl požadavek na výměnu stávajícího mostového jeřábu (nosnost 8 tun) za nový o nosnosti 20/5 tun. Je tedy nutné provést posouzení konstrukčních prvků haly na vzniklé přetížení.

Vlastní posouzení je provedeno tzv. „odzadu“, kdy je nejprve stanovena mezní únosnost krátké konzoly, na základě zjištěného vyztužení při stavebně technickém průzkumu, postupným přitěžováním. Zjištěná mezní zatížitelnost je potom porovnána s výsledným návrhovým zatížením od obou jeřábových drah.

7.1 Vyztužení krátké konzoly

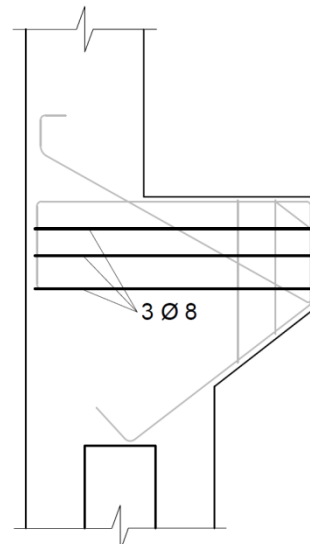
Schématické zobrazení stávajícího vyztužení krátké konzoly společnosti ALPINE Bau CZ a.s. zjištěné na základě provedeného stavebně technického průzkumu (viz kapitola 5):

- Hlavní ohybová výztuž: 3 Ø 16 mm
 $A_{s,prov} = 6,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (dle tab. [15])



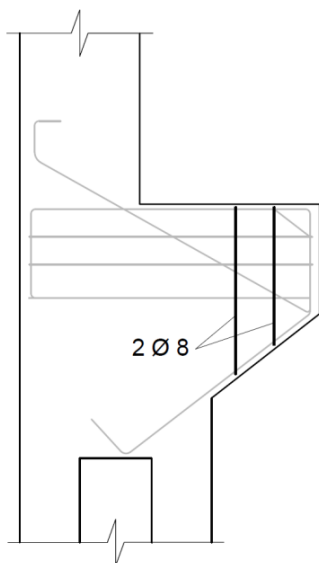
Obr. 7.1: Stávající hlavní ohybová výztuž.

- Hlavní smyková výztuž: 2x 3 Ø 8 mm
 $A_{sw,v,prov} = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (dle tab. [15])
3 vodorovné třmínky (dvojstřížné)



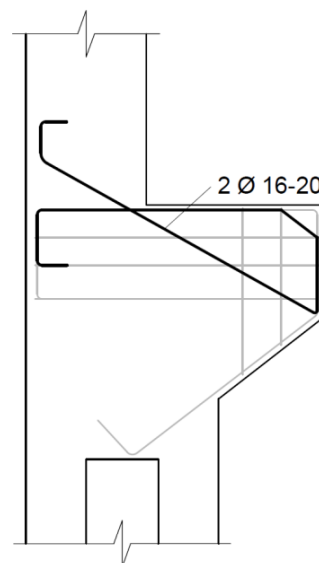
Obr. 7.2: Stávající hlavní smyková výztuž.

- Konstrukční výztuž: 2x 2 Ø 8 mm
 $A_{sw,s,prov} = 2,01 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (dle tab. [15])
 2 svislé třmínky (dvojstřížné)



Obr. 7.3: Stávající svislá výztuž.

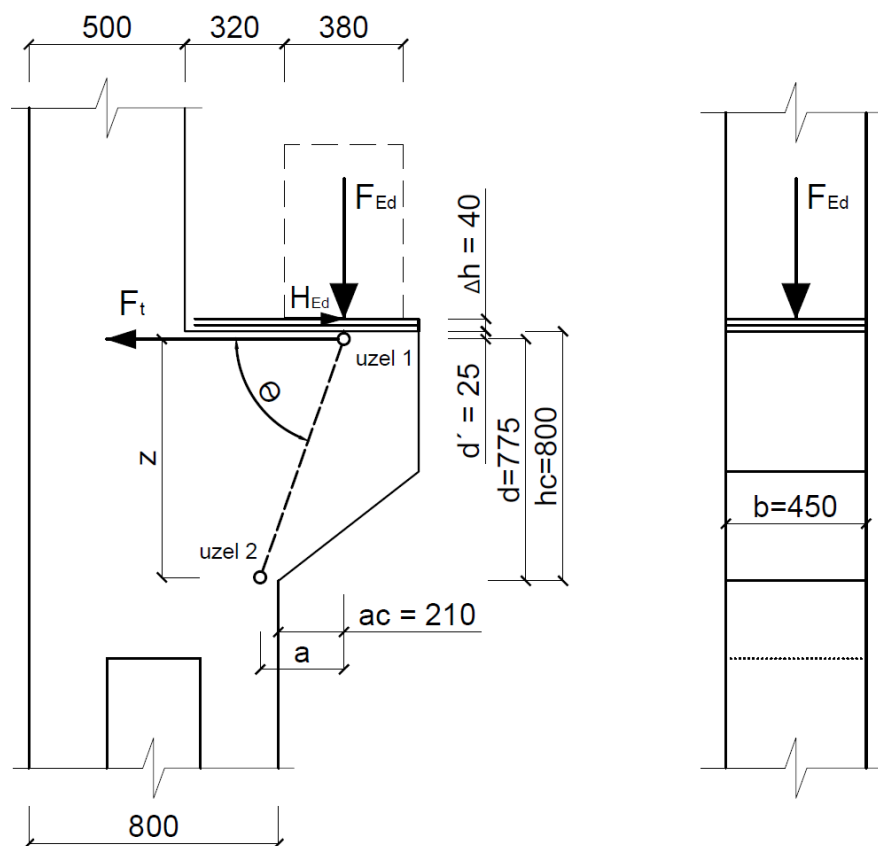
- Atypická výztuž: 2 Ø 16-20 mm
 $A_{s,a,prov} = 4,02 \cdot 10^{-4} - 6,28 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
 (dle tab. [15])



Obr. 7.4: Stávající atypická výztuž.

Posouzení hlavní ohybové výztuže bude provedeno podle ČSN EN 1992-1-1 (viz kapitola 7.2), hlavní smyková výztuž bude posouzena metodou náhradní příhradoviny – metoda vzpěra-táhlo (viz kapitola 7.3). U krátkých konzol jsou vodorovné třmínky účinnější než svislé, ty zde působí pouze konstrukčně, a proto s nimi nebude ve výpočtu uvažováno. Stejně tak atypická výztuž, která se dle dnešních přístupů již nenavrhuje a její příspěvek k únosnosti krátké konzoly je pouze nepatrný. Z tohoto důvodu s ní také nebude ve výpočtech uvažováno.

7.2 Mezní zatížení podle ČSN EN 1992-1-1



Obr. 7.5: Geometrie posuzované krátké konzoly podle ČSN EN 1992-1-1.

Materiálové charakteristiky:

BETON C16/20: $f_{ck} = 16,00 \text{ MPa}$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{16,00}{1,5} = 10,67 \text{ MPa}$$

$$\nu' = 1 - \frac{f_{ck}}{250} = 1 - \frac{16,00}{250} = 0,936$$

$$\sigma_{Rd,max} = 1,0 \cdot \nu' \cdot f_{cd} = 1,0 \cdot 0,936 \cdot 10,67 = 9,98 \text{ MPa}$$

(styčník typu C-C-C)

OCEL 10 425(V): $f_{yk} = 420 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{420}{1,15} = 365,22 \text{ MPa}$$

Geometrie krátké konzoly:

$$h_c = 0,800 \text{ m}$$

$$b = 0,450 \text{ m}$$

$$a_c = 0,210 \text{ m}$$

$$\Delta h = 0,040 \text{ m}$$

$$d' = 0,025 \text{ m}$$

Geometrická podmínka pro krátkou konzolu:

$$\frac{a_c}{h_c} \leq 0,5 \quad \rightarrow \quad \frac{0,210}{0,800} \leq 0,5 \quad \rightarrow \quad 0,263 \leq 0,5$$

VYHOVUJE

Stávající ohybová výztuž (viz Obr. 7.1): 3 Ø 16 mm

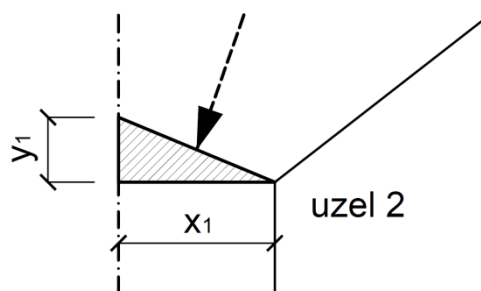
$$A_{s,prov} = 6,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (dle tab. [15])}$$

Zatížení (určeno odhadem):

$$F_{Ed} = 200,00 \text{ kN}$$

$$H_{Ed} = 0,20 \cdot F_{Ed} = 40,00 \text{ kN}$$

Posouzení ohybové výztuže:



Obr. 7.6: Označení rozměrů uzlu 2 podle ČSN EN 1992-1-1.

$$x_1 = \frac{F_{Ed}}{\sigma_{Rd,max} \cdot b} = \frac{200 \cdot 10^3}{9,98 \cdot 10^6 \cdot 0,450} = 0,045 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} a &= a_c + 0,5 \cdot x_1 + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) = \\ &= 0,210 + 0,5 \cdot 0,045 + \frac{40 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^3} \cdot (0,025 + 0,040) = 0,245 \text{ m} \end{aligned}$$

$$d = h_c - d' = 0,800 - 0,025 = 0,775 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} y_1 &= d - \sqrt{d^2 - 2 \cdot x_1 \cdot \left(a + \frac{H_{Ed}}{F_{Ed}} \cdot (d' + \Delta h) \right)} = \\ &= 0,775 - \sqrt{0,775^2 - 2 \cdot 0,045 \cdot \left(0,245 + \frac{40 \cdot 10^3}{200 \cdot 10^3} \cdot (0,025 + 0,040) \right)} = \\ &= 0,015 \text{ m} \end{aligned}$$

$$z = d - 0,5 \cdot y_1 = 0,775 - 0,5 \cdot 0,015 = 0,768 \text{ m}$$

$$F_t = F_{Ed} \cdot \frac{a}{z} + H_{Ed} = 200 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,245}{0,768} + 40 \cdot 10^3 = 103,80 \text{ kN}$$

$$A_{s,req} = \frac{F_t}{f_{yd}} = \frac{103,80 \cdot 10^3}{365,22 \cdot 10^6} = 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s,prov} = 6,03 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq A_{s,req} = 2,84 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVUJE

Určení mezní síly F_{Ed} :

Tab. 7.1: Mezní silové zatížení krátké konzoly podle ČSN EN 1992-1-1:

F_{Ed} [kN]	200	250	259,28	300
H_{Ed} [kN]	40	50	51,856	60
d [m]	0,775	0,775	0,775	0,775
a [m]	0,245	0,259	0,261	0,267
x_1 [m]	0,045	0,073	0,076	0,087
y_1 [m]	0,015	0,041	0,043	0,050
z [m]	0,768	0,755	0,754	0,750
F_t [m]	103,80	135,96	141,57	166,71
$A_{s, req}$ [m ²]	$2,84 \cdot 10^{-4}$	$5,79 \cdot 10^{-4}$	$6,03 \cdot 10^{-4}$	$7,10 \cdot 10^{-4}$
VYUŽITÍ VÝZTUŽE	47,18%	96,03%	100,00%	117,75%
POSOUZENÍ	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	NEVYHOVUJE

Výsledek:

Mezní ohybové zatížení krátké konzoly jeřábové dráhy podle ČSN EN 1992-1-1:

$$F_{Ed} = \mathbf{259,28 \text{ kN}}$$

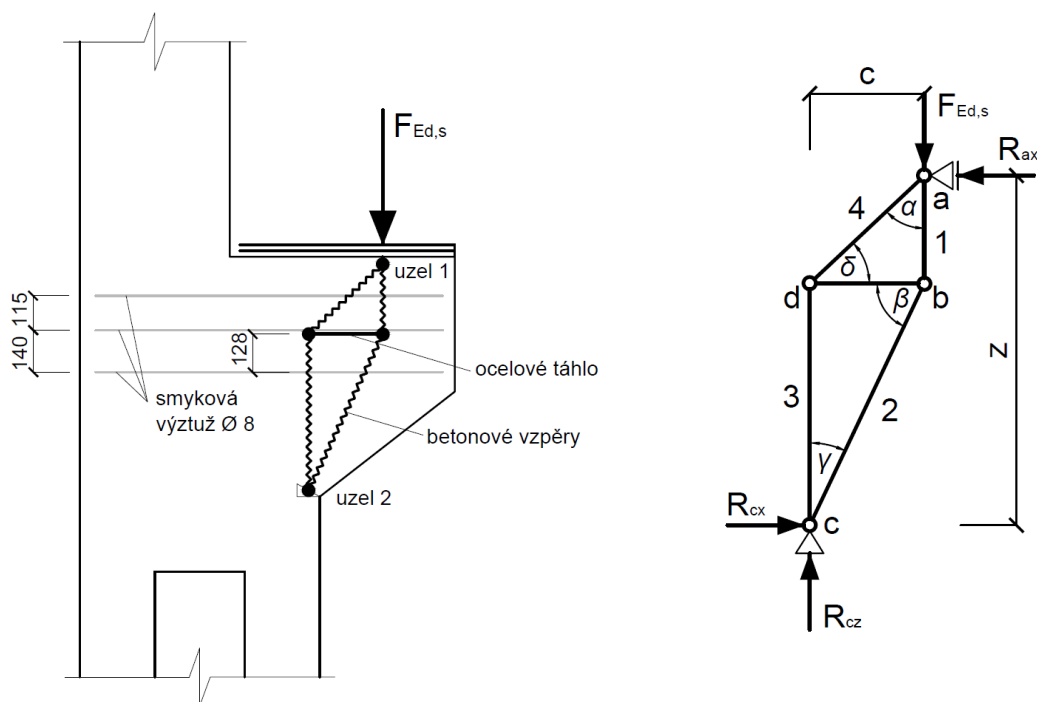
$$H_{Ed} = 0,20 \cdot F_{Ed} = 0,20 \cdot 259,28 \cdot 10^3 = \mathbf{51,86 \text{ kN}}$$

7.3 Mezní smykové zatížení podle metody vzpěra-táhlo

Smykovou únosnost krátké konzoly stanovíme pomocí modelu náhradní příhradoviny, jejíž geometrie betonových tlačných vzpěr a ocelového taženého táhla vyplývá z rozměrů uzlů 1, 2 a z polohy hlavní smykové výztuže – vodorovné třmínky 2x 3 Ø 8 mm (viz Obr. 7.2). Ze znalosti smykového vyztužení můžeme určit mezní zatížení svislou silou $F_{Ed,s}$ postupným přitěžováním příhradového systému a jeho řešením např. styčnickovou metodou.

Model vzpěra-táhlo

Prutový model náhradní příhradoviny



Obr. 7.7: Model krátké konzoly pro posouzení metodou vzpěra-táhlo (vlevo), prutový model náhradní příhradoviny (vpravo).

Zatížení (určeno odhadem):

$$F_{Ed,s} = 200,00 \text{ kN}$$

Geometrie:

$$\begin{aligned} c &= 0,248 \text{ m} & \alpha &= 46,75^\circ & \gamma &= 25,35^\circ \\ z &= 0,754 \text{ m} & \beta &= 64,65^\circ & \delta &= 43,25^\circ \end{aligned}$$

Stávající vodorovná smyková výztuž (viz Obr. 7.2): 2x 3 Ø 16 mm

$$A_{sw,v,prov} = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ (dle tab. [15])}$$

Výpočet reakcí podpor příhradoviny:

$$\sum M_{i,c} = 0: \quad F_{Ed,s} \cdot c - R_{ax} \cdot z = 0$$

$$R_{ax} = \frac{F_{Ed,s} \cdot c}{z} = \frac{200 \cdot 10^3 \cdot 0,248}{0,754} = 65,78 \text{ kN}$$

$$\sum F_{i,x} = 0: \quad R_{ax} - R_{cx} = 0$$

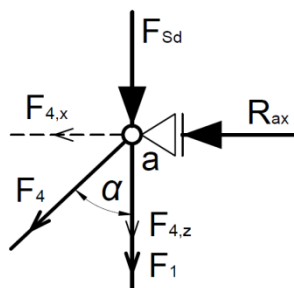
$$R_{cx} = R_{ax} = 65,78 \text{ kN}$$

$$\sum F_{i,z} = 0: \quad R_{cz} - F_{Ed,s} = 0$$

$$R_{cz} = F_{Ed,s} = 200,00 \text{ kN}$$

Výpočet vnitřních sil styčnickovou metodou:

▪ Styčník *a*



Obr. 7.8: Styčník *a*.

$$\sum F_{i,x} = 0: \quad R_{ax} + F_{4,x} = 0$$

$$\sum F_{i,z} = 0: \quad F_{Sd} + F_1 + F_{4,z} = 0$$

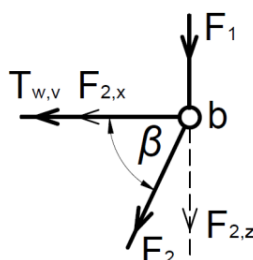
$$R_{ax} + F_4 \cdot \sin \alpha = 0$$

$$F_{Ed,s} + F_1 + F_4 \cdot \cos \alpha = 0$$

$$F_4 = \frac{-R_{ax}}{\sin \alpha} = \frac{-65,78}{\sin 46,75^\circ} = -90,31 \text{ kN}$$

$$F_1 = -F_{Ed,s} - F_4 \cdot \cos \alpha = -200 - (-90,31 \cdot \cos 46,75^\circ) = -138,12 \text{ kN}$$

▪ Styčník *b*:



Obr. 7.9: Styčník *b*.

$$\sum F_{i,x} = 0: \quad T_{w,v} + F_{2,x} = 0$$

$$\sum F_{i,z} = 0: \quad F_1 + F_{2,z} = 0$$

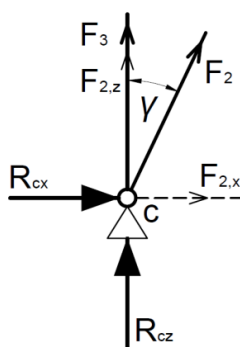
$$T_{w,v} + F_2 \cdot \cos \beta = 0$$

$$F_1 + F_2 \cdot \sin \beta = 0$$

$$F_2 = \frac{-F_1}{\sin \beta} = \frac{-138,12}{\sin 64,65^\circ} = -152,84 \text{ kN}$$

$$T_{w,v} = -F_2 \cdot \cos \beta = -(-152,84) \cdot \cos 64,65^\circ = 65,44 \text{ kN}$$

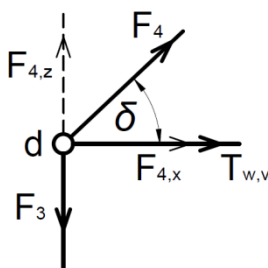
▪ **Styčnick c:**



Obr. 7.10: Styčnick c.

$$\begin{aligned}
 \sum F_{i,x} = 0: & \quad R_{cx} + F_{2,x} = 0 \\
 \sum F_{i,z} = 0: & \quad R_{cz} + F_3 + F_{2,z} = 0 \\
 & \quad R_{cx} + F_2 \cdot \sin \gamma = 0 \\
 & \quad R_{cz} + F_3 + F_2 \cdot \cos \gamma = 0 \\
 & \quad F_2 = -152,84 \text{ kN (viz Styčnick b)} \\
 & \quad F_3 = -R_{cz} - F_2 \cdot \cos \gamma = -200 - (-152,84 \cdot \cos 25,35^\circ) = -61,87 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

▪ **Styčnick d (kontrola výpočtu):**



Obr. 7.11: Styčnick d.

$$\begin{aligned}
 \sum F_{i,x} = 0: & \quad T_{w,v} + F_{4,x} = 0 \\
 \sum F_{i,z} = 0: & \quad F_{4,z} - F_3 = 0 \\
 & \quad T_{w,v} + F_4 \cdot \cos \delta = 65,44 - 90,31 \cdot \cos 43,25^\circ \approx 0 \\
 & \quad F_4 \cdot \sin \delta - F_3 = -90,31 \cdot \sin 43,25^\circ - (-61,87) \approx 0
 \end{aligned}$$

VYHOVUJE

Návrh vodorovné smykové výztuže:

$$A_{sw,v,req} = \frac{T_{w,v}}{f_{yd}} = \frac{65,44 \cdot 10^3}{365,22 \cdot 10^6} = 1,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{sw,v,prov} = 3,02 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \geq A_{sw,v,req} = 1,79 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

VYHOVUJE

Určení mezní síly $F_{Ed,s}$:

Tab. 7.2: Mezní silové zatížení krátké konzoly podle metody vzpěra-táhlo:

$F_{Ed,s}$ [kN]	200	300	337,01	400
R_{ax} [kN]	65,78	98,67	110,85	131,56
R_{cx} [kN]	65,78	98,67	110,85	131,56
R_{cz} [kN]	200,00	300,00	337,01	400,00
F_1 [kN]	-138,12	-207,15	-232,71	-276,21
F_2 [kN]	-152,84	-229,41	-257,81	-305,88
F_3 [kN]	-61,87	-92,85	-104,20	-123,79
F_4 [kN]	-90,31	-135,54	-152,16	-180,72
$T_{w,v}$ [kN]	65,44	98,19	110,73	130,91
$A_{sw,v,req}$ [m ²]	$1,79 \cdot 10^{-4}$	$2,69 \cdot 10^{-4}$	$3,02 \cdot 10^{-4}$	$3,58 \cdot 10^{-4}$
VYUŽITÍ VÝZTUŽE	59,35%	89,02%	100,00%	118,69%
POSOUZENÍ	VYHOVUJE	VYHOVUJE	VYHOVUJE	NEVYHOVUJE

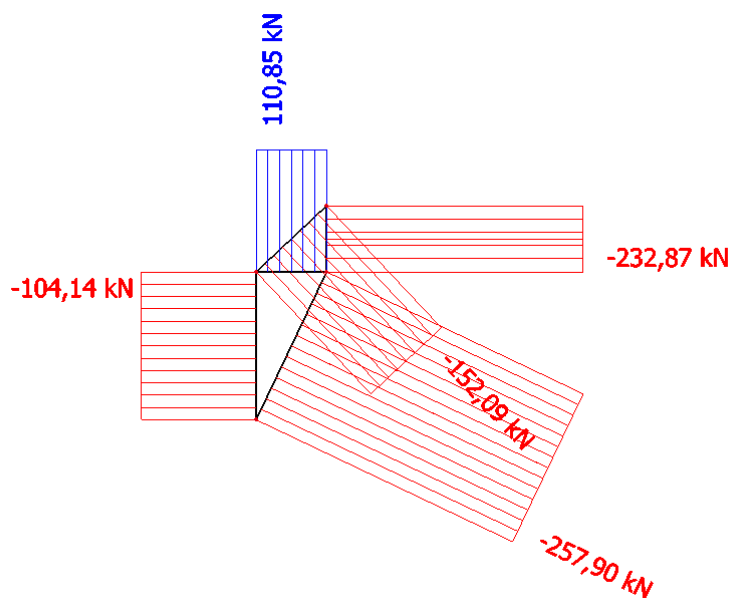
Výsledek:

Mezní smykové zatížení krátké konzoly jeřábové dráhy podle metody vzpěra-táhlo:

$$F_{Ed,s} = 337,01 \text{ kN}$$

$$H_{Ed,s} = 0,20 \cdot F_{Sd} = 0,20 \cdot 337,01 \cdot 10^3 = 67,40 \text{ kN}$$

Ověření výsledků vnitřních sil řešené příhradoviny pomocí softwaru:

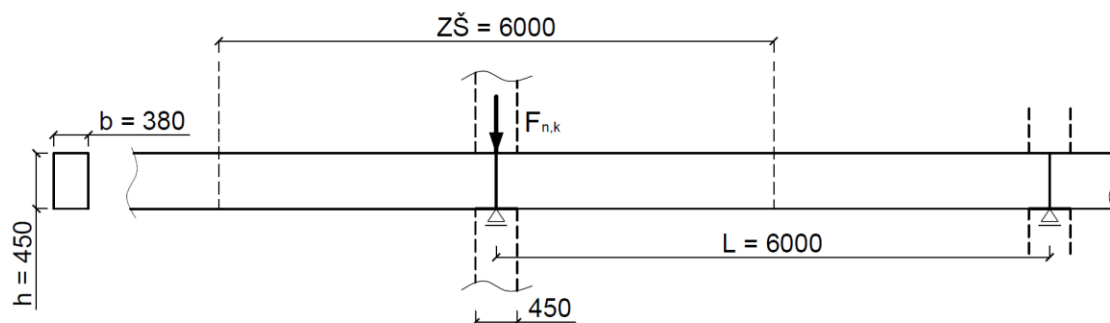


Obr. 7.12: Průběh vnitřních sil příhradového systému při zatížení silou 337,01 kN.

7.4 Zatížení krátké konzoly jeřábovou dráhou

▪ Hlavní nosník jeřábové dráhy

Hlavní nosník jeřábové dráhy v průmyslové hale společnosti ALPINE Bau CZ a.s. tvoří železobetonový průvlak (objemová tíha $\gamma_{\text{bet}} = 25 \text{ kN/m}^3$) obdélníkového průřezu s rozměry dle Obr. 7.13. Hlavní nosník je tvořen soustavou prostých nosníků.



Obr. 7.13: Geometrie hlavního nosníku jeřábové dráhy.

Geometrie:

$$h = 0,450 \text{ m} \quad L = 6,0 \text{ m}$$

$$b = 0,380 \text{ m} \quad Z\check{S} = 6,0 \text{ m}$$

Vlastní tíha hlavního nosníku:

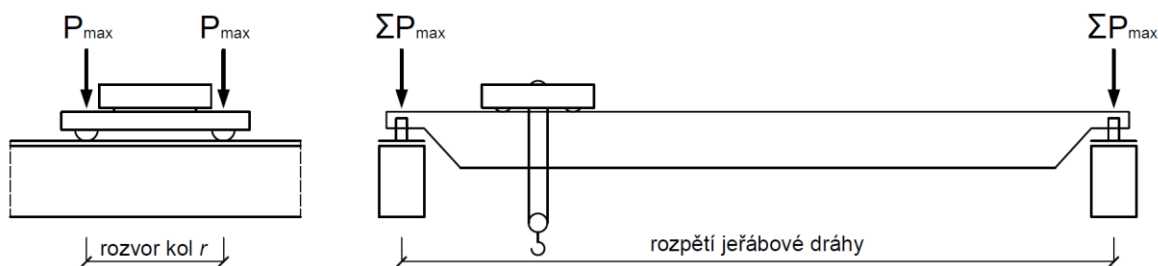
$$F_{n,k} = b \cdot h \cdot Z\check{S} \cdot \gamma_{\text{bet}} = 0,380 \cdot 0,450 \cdot 6,0 \cdot 25 = 25,65 \text{ kN}$$

▪ Jeřábová dráha

Stávající mostová jeřábová dráha v průmyslové hale společnosti ALPINE Bau a.s. o nosnosti 8 tun má být vyměněna za jeřábovou dráhu o nosnosti 20/5 tun. Potřebné charakteristiky obou jeřábových drah pro výpočet zatížení jsou uvedeny v Tab. 7.3 dle statických tabulek [16].

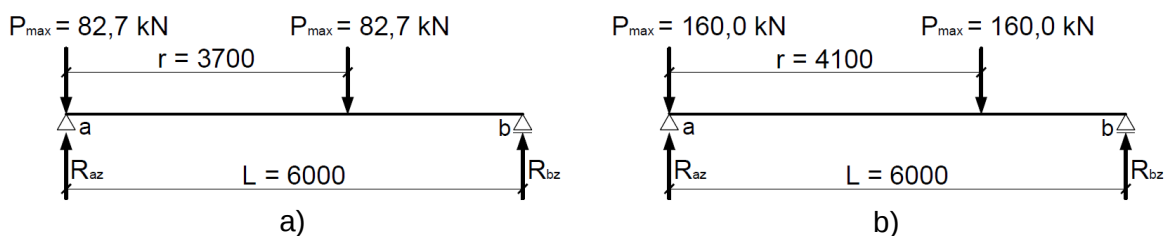
Tab. 7.3: Charakteristiky jeřábových drah zdvihové třídy „b“ a únavové provozní skupiny II [16]:

Nosnost [t]	Rozpětí lodi [m]	Rozvor kol [mm]	Zatížení 1 kola jeřábu P_{max} [kN]
8	18	3700	82,70
20/5	18	4100	160,00



Obr. 7.14: Zjednodušené schéma mostové jeřábové dráhy. [16]

Pro výpočet maximální reakce hlavního nosníku, kterou musí přenést krátká konzola při zatížení jeřábovou dráhou, musíme určit správné umístění dvojice sil kolových tlaků P_{max} na hlavním nosníku o rozpětí 6,0 m. Maximální hodnotu podporové reakce získáme, umístíme-li soustavu sil do takové polohy na nosníku, kdy jedna kolová síla působí přímo nad podporou a druhá v poli (viz Obr. 7.15).



Obr. 7.15: Umístění kolových tlaků na hlavním nosníku pro výpočet maximální podporové reakce: a) mostový jeřáb nosnosti 8 tun; b) mostový jeřáb nosnosti 20/5 tun.

a) Výpočet reakcí nosníku pro zatížení mostovým jeřábem o nosnosti 8 tun:

$$\sum M_{i,b} = 0:$$

$$R_{az} \cdot l - P_{max} \cdot l - P_{max} \cdot (l - r) = 0$$

$$R_{az} = \frac{P_{max} \cdot l + P_{max} \cdot (l - r)}{l} = \frac{82,7 \cdot 6,0 + 82,7 \cdot (6,0 - 3,7)}{6,0}$$

$$R_{az} = 114,40 \text{ kN} = R_{8,k}$$

$$\sum F_{i,z} = 0:$$

$$R_{az} + R_{bz} - 2 \cdot P_{max} = 0$$

$$R_{bz} = 2 \cdot P_{max} - R_{az} = 2 \cdot 82,7 - 114,40 = 51,00 \text{ kN}$$

b) Výpočet reakcí nosníku pro zatížení mostovým jeřábem o nosnosti 20/5 tun:

$$\sum M_{i,b} = 0:$$

$$R_{az} \cdot l - P_{\max} \cdot l - P_{\max} \cdot (l - r) = 0$$

$$R_{az} = \frac{P_{\max} \cdot l + P_{\max} \cdot (l - r)}{l} = \frac{160,0 \cdot 6,0 + 160,0 \cdot (6,0 - 4,1)}{6,0}$$

$$R_{az} = 210,67 \text{ kN} = R_{20/5,k}$$

$$\sum F_{i,z} = 0:$$

$$R_{az} + R_{bz} - 2 \cdot P_{\max} = 0$$

$$R_{bz} = 2 \cdot P_{\max} - R_{az} = 2 \cdot 160,0 - 210,67 = 109,33 \text{ kN}$$

Výsledné návrhové zatížení krátké konzoly od jeřábové dráhy:

- Jeřábová dráha nosnosti 8 tun

$$F_{Ed,8} = \gamma_G \cdot (F_{n,k} + R_{8,k}) = 1,35 \cdot (25,65 + 114,40) = 189,07 \text{ kN}$$

- Jeřábová dráha nosnosti 20/5 tun

$$F_{Ed,20/5} = \gamma_G \cdot (F_{n,k} + R_{20/5,k}) = 1,35 \cdot (25,65 + 210,67) = 319,03 \text{ kN}$$

7.5 Posouzení krátké konzoly

Posouzení krátké konzoly objektu průmyslové haly společnosti ALPINE Bau CZ a.s. na základě statického výpočtu podle ČSN EN 1992-1-1 a metody náhradní příhradoviny:

- Mezní zatížení krátké konzoly pro únosnost v ohybu: $F_{Ed} = 259,28 \text{ kN}$
- Mezní zatížení krátké konzoly pro únosnost ve smyku: $F_{Ed,s} = 337,01 \text{ kN}$

Ohybová únosnost stávající krátké konzoly je ve srovnání s únosností smykovou nižší, a proto je tedy pro posouzení krátké konzoly rozhodující.

Skutečné zatížení jeřábovými drahami:

- Jeřábová dráha o nosnosti 8 tun: $F_{Ed,8} = 189,07 \text{ kN}$
- Jeřábová dráha o nosnosti 20/5 tun: $F_{Ed,20/5} = 319,03 \text{ kN}$

Posouzení krátké konzoly:

$$F_{Ed} = 259,28 \text{ kN} \geq F_{Ed,8} = 189,07 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

$$F_{Ed} = 259,28 \text{ kN} \not\geq F_{Ed,20/5} = 319,03 \text{ kN}$$

NEVYHOVUJE

Krátká konzola průmyslové haly společnosti ALPINE Bau CZ a.s. **vyhovuje** svojí únosností pro stávající návrhové zatížení jeřábovou drahou nosnosti 8 tun, avšak pro zatížení jeřábovou drahou nosnosti 20/5 tun již **nevyhovuje**. Pokud tedy dojde k výměně jeřábové dráhy za novou (nosnost 20/5 tun), je nutné z důvodu bezpečnosti užívání konstrukce zvýšit únosnost krátké konzoly.

Zvýšení únosnosti krátké konzoly je možné několika způsoby. Základním řešením je podepření konzoly ke sloupu kotvenými ocelovými stojkami nebo podepření krátké konzoly podbetonováním. Moderní, ne zcela běžný způsob ztužování konstrukcí, je zesílení pomocí předpínacích lan. Vzhledem k téměř okamžité aktivaci opravy je dobře navržené předpětí pro konstrukci výhodné. Největší předností je, že při předpínání jsou minimalizovány zásahy do původní konstrukce. Díky tomu se nemění tvary konstrukcí a vzhled objektu není dotčen. [17]

8 ZÁVĚR

V první části diplomové práce bylo pojednáno o základních vlastnostech a uplatnění betonu ve stavebnictví. Byla nastíněna problematika stavebně technického průzkumu a také byly rozvedeny teoretické poznatky týkající se diagnostických metod užívaných ve stavebním zkušebnictví s bližším zaměřením na metody používané k detekci ocelové výztuže v železobetonových konstrukcích.

V rámci praktické části byly provedeny dva stavební průzkumy železobetonových průmyslových hal společnosti ALPINE Bau CZ a.s. v Českém Meziříčí a společnosti Č.V. PROTOTYP s.r.o. v Ostravě. Předmětem těchto průzkumů byla u vybraných prvků jeřábové dráhy (JD) za použití NDT metod, upřesněných sekanými sondami, určena poloha výztuže a dále byla na základě odebraných jádrových vývrtů vyhodnocena kvalita betonu v konstrukci. Konkrétně se průzkum týkal nosných sloupů (tzv. Vierendeelovy sloupy) a v rámci jednoho průzkumu také nosníku JD. Aproximací všech měření bylo zjištěno, že se jedná o „typické způsoby vyztužení“ u jednotlivých již zmíněných prvků. Laboratorně byla poté stanovena pevnostní třída betonu sloupů JD jako C16/20, která odpovídá tehdejším požadavkům na konstrukce průmyslových hal.

Poslední část diplomové práce se zabývala statickým posouzením krátké konzoly vybraného sloupu JD podle ČSN EN 1991-1-1 a metody náhradní příhradoviny. Posouzení bylo založeno na poznatcích získaných při stavebně technickém průzkumu objektu průmyslové haly společnosti ALPINE Bau CZ a.s. Posouzení bylo provedeno na vzniklé přetížení způsobené výměnou stávajícího mostového jeřábu (nosnost 8 tun) za nový (nosnost 20/5 tun). Krátká konzola vyhověla svou únosností pro návrhové zatížení od stávající JD, avšak pro návrhové zatížení od nové JD nevyhověla. Vzhledem k těmto výsledkům je možné k výměně přistoupit pouze za podmínky zvýšení únosnosti krátké konzoly např. pomocí předpínacích lan.

Na základě praktického ověření použitelnosti nových NDT přístrojů a metod (radar Hilti PS 1000, profometer PM-630) lze konstatovat, že jejich kombinace je do jisté míry schopna nahradit radiografickou metodu, která byla doposud v podobných případech využívána. Nicméně vzhledem k tomu, že radiografie dokáže interpretovat takřka přesné hodnoty počtu a druhu ocelových vložek, hloubky vyztužení i průměru použité výztuže, je její úplné nahrazení možné pouze v případě, že kombinace NDT metod bude doplněna cílenými sekanými sondami. V řešeném případě pak tyto metody poskytly naprosto dostačující podklady pro posouzení řešených prvků.

9 ZDROJE

- [1] TERZIJSKI, Ivailjo. *Betonové prvky: Modul CMI, Základy navrhování konstrukcí, zatížení, materiály*. Studijní opory, Brno, VUT FAST v Brně, Brno, 2005.
- [2] KOLÁŘ, Karel a Pavel REITERMAN. *Betonujeme svépomocí* [online kniha]. První vydání. Havlíčkův Brod: Grada Publishing, a.s., 2012, s. 7-9 [cit. 2016-09-29]. ISBN 978-80-247-7473-2. Dostupné z: http://www.kosmas.cz/knihy/180633/betonujeme-svepomoci/ukazka/9166/betonujeme-svepomociauto_preview.pdf
- [3] BILČÍK, Juraj. Diagnostika betonových konstrukcí. *ASB-portal.cz: odborný stavební portál* [online]. 7.2.2008 [cit. 2016-09-20]. Dostupné z: <http://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/rekonstrukce-staveb/diagnostika-betonovych-konstrukci>
- [4] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí: Přednášky*. Brno: FAST VUT v Brně, Brno, 2005.
- [5] ANTON, Ondřej, Petr CIKRLE a Věra HEŘMÁNKOVÁ. Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech. *TZB-info* [online]. 27.1.2014. [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technickych-pruzkumech>
- [6] ANTON, Ondřej. *Základy zkušebnictví: návody do cvičení*. Brno: CERM, 2002, 61 s. ISBN 80-214-2079-0.
- [7] Profometer 600 – Advanced Concrete Cover Meter. *Proceq* [online]. Switzerland, 2016 [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: <http://www.proceq.com/nondestructivetestequipment/concrete-testing/cover-meter-rebar-detector/profometer-600.html>
- [8] ANTON, Ondřej a kolektiv. *Zkušebnictví a technologie: Modul BI02-M04, Laboratorní cvičení*. Vydání elektronických opor, Brno, VUT FAST v Brně. Rok vydání neuveden. ISBN neudáno.
- [9] ANTON, Ondřej. *Vývoj a upřesnění radiografických metod ve stavebnictví*. Brno, 2009. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Doc. Ing. Leonard Hobst, CSc.
- [10] ŠTAINBRUCH, Jakub, Ondřej ANTON a Tomáš KORDINA. Rozvoj a použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí. *Beton: Technologie*,

- konstrukce, sanace*. Praha: Česká betonářská společnost, 2011, roč. 11, č. 3. ISSN 1213-3116. Dostupné z: <http://www.betontks.cz/casopis/2011-3/66.pdf>
- [11] Pohled pod povrch. *Hilti: Splní nejvyšší nároky* [online]. 2009 [cit. 2016-10-23]. Dostupné z: https://www.hilti.cz/laserov%C3%A1-technika/syst%C3%A9mydetekce/sc-CLS_DETECTION_SYSTEMS
- [12] DD 150-U: Diamantový jádrový vrtací stroj. *Hilti* [online]. [cit. 2016-10-22]. Dostupné z: <https://www.hilti.cz/diamantove-vrtani-a-rezani/diamantove-jadrove-vrtaci-stroje/r5062>
- [13] LÁNÍK, Jaromír. *Závěrečná zpráva: Diagnostika vybraných prvků železobetonové jeřábové dráhy ALPINE Bau CZ a.s.* Brno, 2016.
- [14] LÁNÍK, Jaromír. *Závěrečná zpráva: Stavebně technický průzkum sloupů jeřábové dráhy a základové patky ve výrobní hale společnosti Č.V. PROTOTYP s.r.o.* Brno, 2016.
- [15] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010, 145 s. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [16] HOŘEJŠÍ, Jiří. *Statické tabulky*. Bratislava: ALFA, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, 1987, 683 s.
- [17] BAŽANT, Zdeněk a Ladislav KLUSÁČEK. *Statika při rekonstrukcích objektů*. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM 3. Brno: CERM, 2010, 121 s. ISBN 978-80-7204-692-8.
- [18] Citace.com: ...citovat je snadné [online]. 2004 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://www.citace.com>.

10 SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

OBRÁZKY:

Obr. 2.1:	Princip působení železobetonu	13
Obr. 3.1:	Příklad použití nedestruktivní (elektromagnetické) metody ke stanovení polohy výztuže s použitím přístroje Profometer 600	17
Obr. 3.2:	Příklad použití semidestruktivní metody (jádrových vývrtů) v praxi s použitím přístroje od firmy Hilti	18
Obr. 3.3:	Příklad provedení sekané sondy v praxi	18
Obr. 4.1:	Sekaná sonda s obnaženou ocelovou výztuží	22
Obr. 4.2:	Vývoj přístrojů Profometer švýcarské firmy Proceq	23
Obr. 4.3:	Přístroj Profometer PM-630	24
Obr. 4.4:	Radiografický uranový kryt TECH/OPS	25
Obr. 4.5:	GPR aparatura v roce 1973 (vlevo), GPR aparatura dnes (vpravo)	26
Obr. 4.6:	Hilti PS 1000 – vyhodnocovací jednotka (vpravo), skener PS 1000 (vlevo)	27
Obr. 4.7:	Plošné skenování v režimu Imagescan (vlevo), příklad výsledného skenu v režimu Imagescan (vpravo)	28
Obr. 5.1:	Pohled na zkoumanou oblast jeřábové dráhy (sloup S1, nosník N1 a sloup S2)	29
Obr. 5.2:	Půdorysné schéma haly s vyznačením diagnostikovaných prvků (sloup S1, nosník N1, sloup S2)	31
Obr. 5.3:	Půdorysné schéma s umístěním jádrových vývrtů (2., 7. a 12. sloup)	32
Obr. 5.4:	Poloha sond prováděných radarem Hilti PS 1000 na prvcích S1, S2 a N1	34
Obr. 5.5:	Plošný sken do hloubky 100 mm	35
Obr. 5.6:	Plošný sken v hloubce 130 až 190 mm	35
Obr. 5.7:	Výsledná dvojice plošných skenů PS1	35
Obr. 5.8:	Plošný sken do hloubky 100 mm	36
Obr. 5.9:	Plošný sken v hloubce 50 až 170 mm	36
Obr. 5.10:	Výsledná dvojice plošných skenů PS3	37
Obr. 5.11:	Plošný sken v hloubce 100 až 200 mm	37
Obr. 5.12:	Liniový radarový sken LS1	37
Obr. 5.13:	Liniový radarový sken LS3	37
Obr. 5.14:	Liniový radarový sken LS2	38
Obr. 5.15:	Liniový radarový sken LS4	38
Obr. 5.16:	Liniový radarový sken LS5	38
Obr. 5.17:	Poloha sond prováděných profometerem Proceq PM-630 na prvcích S1, S2, N1	39

Obr. 5.18: Liniový záznam sondy MS1	40
Obr. 5.19: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS1	40
Obr. 5.20: Liniový záznam sondy MS2	40
Obr. 5.21: Liniový záznam sondy MS3	41
Obr. 5.22: Pohled na oblast pro umístění sondy MS4	41
Obr. 5.23: Liniový záznam sondy MS4	42
Obr. 5.24: Liniový záznam sondy MS5	42
Obr. 5.25: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS5	42
Obr. 5.26: Liniový záznam sondy MS6	43
Obr. 5.27: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS6	43
Obr. 5.28: Liniový záznam sondy MS7	44
Obr. 5.29: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS7	44
Obr. 5.30: Liniový záznam sondy MS8	45
Obr. 5.31: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS8	45
Obr. 5.32: Multiliniiový záznam sondy MS9	45
Obr. 5.33: Liniový záznam sondy MS10	46
Obr. 5.34: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS10	46
Obr. 5.35: Liniový záznam sondy MS11	47
Obr. 5.36: Liniový záznam sondy MS12	47
Obr. 5.37: Liniový záznam sondy MS13	47
Obr. 5.38: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS13	48
Obr. 5.39: Liniový záznam sondy MS14	48
Obr. 5.40: Liniový záznam sondy MS15	49
Obr. 5.41: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS15	49
Obr. 5.42: Liniový záznam sondy MS16	49
Obr. 5.43: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS16	50
Obr. 5.44: Liniový záznam sondy MS17	50
Obr. 5.45: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS17	50
Obr. 5.46: Liniový záznam sondy MS18	51
Obr. 5.47: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS18	51
Obr. 5.48: Liniový záznam sondy MS19	52
Obr. 5.49: Liniový záznam sondy MS20	52
Obr. 5.50: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS20.	52
Obr. 5.51: Liniový záznam sondy MS21	53
Obr. 5.52: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS21	53

Obr. 5.53: Poloha sekaných sond na prvcích S1, S2 a N1	54
Obr. 5.54: Pohled na sekanou sondu SS1 (vlevo), detail sekané sondy SS1 (vpravo)	54
Obr. 5.55: Pohled na sekanou sondu SS2 (vlevo), detail sekané sondy SS2 (vpravo)	55
Obr. 5.56: Pohled na sekanou sondu SS3 (vlevo), detail sekané sondy SS3 (vpravo)	55
Obr. 5.57: Pohled na sekanou sondu SS4 (vlevo), detail sekané sondy SS4 (vpravo)	56
Obr. 5.58: Pohled na sekanou sondu SS5 (vlevo), detail sekané sondy SS5 (vpravo)	56
Obr. 5.59: Pohled na sekanou sondu SS6 (vlevo), detail sekané sondy SS6 (vpravo)	57
Obr. 5.60: Odebrané jádrové vývrty JV1, JV2 a JV3	58
Obr. 5.61: Schéma celkového vyztužení sloupu JD	60
Obr. 5.62: Schéma vyztužení konzoly sloupu JD	61
Obr. 5.63: Schéma vyztužení nosníku JD	62
Obr. 6.1: Pohled na zkoumanou oblast jeřábové dráhy (sloup S1)	64
Obr. 6.2: Poloha prováděných sond na sloupu S1	67
Obr. 6.3: Plošný sken do hloubky 100 mm	68
Obr. 6.4: Plošný sken v hloubce 100 až 300 mm	68
Obr. 6.5: Liniový radarový sken LS1	69
Obr. 6.6: Liniový radarový sken LS2	69
Obr. 6.7: Liniový záznam sondy MS1	69
Obr. 6.8: Liniový záznam sondy MS2	70
Obr. 6.9: Sekaná sonda s viditelnými třemi pruty hlavní nosné výztuže v poloze sondy MS2	70
Obr. 6.10: Liniový záznam sondy MS3	71
Obr. 6.11: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS3	71
Obr. 6.12: Liniový záznam sondy MS4	72
Obr. 6.13: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS4	72
Obr. 6.14: Liniový záznam sondy MS5	73
Obr. 6.15: Liniový záznam sondy MS6	73
Obr. 6.16: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS6	74
Obr. 6.17: Detail polohy jádrového vývrtu na pozici JV1	74
Obr. 6.18: Poloha prováděných sond na sloupu S2	75
Obr. 6.19: Liniový radarový sken LS4	76
Obr. 6.20: Liniový radarový sken LS5	76
Obr. 6.21: Liniový záznam sondy MS7	77
Obr. 6.22: Liniový záznam sondy MS8	77
Obr. 6.23: Sekaná sonda s viditelnými pruty nosné výztuže v poloze sondy MS8	78

Obr. 6.24: Liniový záznam sondy MS9	78
Obr. 6.25: Liniový záznam sondy MS10	79
Obr. 6.26: Liniový záznam sondy MS11	79
Obr. 6.27: Liniový záznam sondy MS12	80
Obr. 6.28: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS12	80
Obr. 6.29: Liniový záznam sondy MS13	81
Obr. 6.30: Detail polohy zjištěné výztuže na pozici MS13	81
Obr. 6.31: Detail polohy jádrových vývrtů s označením JV2, JV3 a JV4	82
Obr. 6.32: Odebrané jádrové vývrty JV1 (sloup S1) a JV2 (sloup S2)	83
Obr. 6.33: Znázornění hloubky karbonatace betonu na jádrových vývrtech	85
Obr. 6.34: Schéma celkového vyztužení sloupu S1	86
Obr. 6.35: Schéma celkového vyztužení sloupu S2	87
Obr. 7.1: Stávající hlavní ohybová výztuž	89
Obr. 7.2: Stávající hlavní smyková výztuž	89
Obr. 7.3: Stávající svislá výztuž	90
Obr. 7.4: Stávající atypická výztuž	90
Obr. 7.5: Geometrie posuzované krátké konzoly podle ČSN EN 1992-1-1	91
Obr. 7.6: Označení rozměrů uzlu 2 podle ČSN EN 1992-1-1	92
Obr. 7.7: Model krátké konzoly pro posouzení metodou vzpěra-táhlo (vlevo), prutový model náhradní příhradoviny (vpravo)	94
Obr. 7.8: Styčnick a	95
Obr. 7.9: Styčnick b	95
Obr. 7.10: Styčnick c	96
Obr. 7.11: Styčnick d	96
Obr. 7.12: Průběh vnitřních sil příhradového systému při zatížení silou 337,01 kN	97
Obr. 7.13: Geometrie hlavního nosníku jeřábové dráhy	98
Obr. 7.14: Zjednodušené schéma mostové jeřábové dráhy	99
Obr. 7.15: Umístění kolových tlaků na hlavním nosníku pro výpočet maximální podporové reakce: a) mostový jeřáb nosnosti 8 tun; b) mostový jeřáb nosnosti 20/5 tun	99

TABULKY:

Tab. 5.1:	Součinitele k_n pro stanovení 5% kvantilu (charakteristické hodnoty)	33
Tab. 5.2:	Charakteristiky zkušebních těles betonu ve stavu přirozeně vlhkém	38
Tab. 5.3:	Pevnost betonu v tlaku (vzorky vyrobené z vývrtů)	38
Tab. 5.4:	Vyhodnocení charakteristické pevnosti betonu v tlaku dle ČSN ISO 13822	59
Tab. 5.5:	Výsledné hodnoty míry karbonatace na zkušebních tělesech	59
Tab. 6.1:	Charakteristiky zkušebních těles betonu ve stavu přirozeně vlhkém	83
Tab. 6.2:	Pevnost betonu v tlaku (vzorky vyrobené z vývrtů)	83
Tab. 6.3:	Vyhodnocení charakteristické pevnosti betonu v tlaku dle ČSN ISO 13822	84
Tab. 6.4:	Výsledné hodnoty míry karbonatace na zkušebních tělesech	85
Tab. 7.1:	Mezní silové zatížení krátké konzoly podle ČSN EN 1992-1-1	93
Tab. 7.2:	Mezní silové zatížení krátké konzoly podle metody vzpěra-táhlo	97
Tab. 7.3:	Charakteristiky jeřábových drah zdvihové třídy „b“ a únavové provozní skupiny II	98

11 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

NDT	non destructive testing – nedestruktivní testování
GPR	ground penetrating radar – georadar
STP	stavebně technický průzkum
JD	jeřábová dráha
m_x	průměr
s_x	směrodatná odchylka
V_x	variační součinitel
X_k	charakteristická hodnota
k_n	součinitel pro stanovení 5% kvantilu
n	počet platných vzorků
$f_{c,min}$	minimální hodnota krychelné pevnosti betonu
$f_{c,x}$	střední hodnota krychelné pevnosti betonu
$f_{c,max}$	maximální hodnota krychelné pevnosti betonu
$A_{s,prov}$	předpokládaná průřezová plocha hlavní ohybové výztuže
$A_{s,req}$	nutná průřezová plocha hlavní ohybové výztuže
A_{sv}	průřezová plocha svislé výztuže
A_{sw}	průřezová plocha třmínků
a	rameno vnější síly F_{Ed}
b	šířka krátké konzoly
c	rameno vnější síly $F_{Ed,s}$
d	účinná výška krátké konzoly
d'	vzdálenost horního líce konzoly od osy výztuže
F_{Ed}	svislá síla působící na krátkou konzolu pro zjištění únosnosti v ohybu
$F_{Ed,s}$	svislá síla působící na krátkou konzolu pro zjištění únosnosti ve smyku
F_t	hlavní tahová síla při horním líci krátké konzoly
f_{cd}	návrhová pevnost betonu v tlaku
f_{ck}	charakteristická pevnost betonu v tlaku
f_{yd}	návrhová mez kluzu betonářské oceli
f_{yk}	charakteristická mez kluzu betonářské oceli
H_{Ed}	vodorovná síla působící na krátkou konzolu pro zjištění únosnosti v ohybu
$H_{Ed,s}$	vodorovná síla působící na krátkou konzolu pro zjištění únosnosti ve smyku
h_c	výška krátké konzoly
P_{max}	maximální kolový tlak jednoho kola jeřábové dráhy R reakce podpory

T_w	tahová síla ve výpočtovém modelu
x_1	šířka tlačené oblasti uzlu 1
y_1	výška tlačené oblasti uzlu 1
$Z\check{S}$	zatěžovací šířka
z	rameno vnitřních sil krátké konzoly
Δh	výška styčné desky
$\emptyset$	profil prutu výztuže
θ	úhel sklonu vzpěry krátké konzoly
v'	redukční součinitel zohledňující příčné tahy v betonu
$\sigma_{Rd,max}$	únosnost betonu v tlaku