VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ
INSTITUTE OF BUILDING TESTING

PŘÍPRAVA A REALIZACE STAVEBNĚ TECHNICKÉHO PRŮZKUMU KONSTRUKCE
PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL SURVEY OF A BUILDING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE Václav Šebela
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE doc. Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Václav Šebela
Název	Příprava a realizace stavebně technického průzkumu konstrukce
Vedoucí práce	doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2021
Datum odevzdání	27. 5. 2022

V Brně dne 30. 11. 2021

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D. Vedoucí ústavu	prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc. Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Cikrle, P. a kol. Diagnostické metody ve stavebnictví. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2011
Adámek, J., Hobst, L., Cikrle, P., Schmid, P. Diagnostika stavebních konstrukcí. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2005.
Holický, M. a kol. Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2007.
Bažant, Z., Klusáček, L. Statika při rekonstrukcích objektů. Skriptum VUT v Brně FAST, CERM Brno, 2002
Pume, D., Čermák, F. a kol.: Průzkumy a opravy stavebních konstrukcí, Praha, Arch 1998.
ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí a další platné normy.
Projektová dokumentace a podklady od vlastníka objektu.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cíle práce – v teoretické části práce provést rešerše doporučené literatury a vypracování podkladů pro řešení diplomové práce. V rámci praktické části provést prvotní prohlídku hodnocené konstrukce, předběžné hodnocení stavu a sestavení plánu stavebně technického průzkumu. Provedení a vyhodnocení průzkumu konstrukce. Závěrečné zhodnocení stavu konstrukce.
Závěr - proveďte krátké shrnutí a jasně a přehledně deklarujte výsledky diplomové práce.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:
1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá přípravou a provedením stavebně technického průzkumu stávající železobetonové konstrukce v obci Rousínov. V teoretické části se zaměřuje na zkoumané vlastnosti železobetonu a možnosti jeho diagnostiky pomocí vybraných metod. Praktická část práce se věnuje samotnému průzkumu konstrukce a jeho zhodnocení. Cílem průzkumu bylo ověření vyztužení a stanovení pevnosti betonu v tlaku. Na závěr jsou zhodnoceny výsledky měření.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stavební diagnostika, stavebně technický průzkum, beton, železobeton, ocelová výztuž, železobetonový skelet, georadar, ultrazvuk, pevnost v tlaku, karbonatace, destruktivní metody, nedestruktivní metody

ABSTRACT

This bachelors thesis covers preparation and implementation of a construction and technical survey of reinforced concrete structure in Rousínov. The theoretical part is describing examined properties of reinforced concrete and methods of diagnostics used in this field of study. The practical part focuses on the construction and technical survey. The main focus of the survey is the quality of concrete and the assessment of reinforcement in representative parts of the structure. The last part concludes results of the survey.

KEYWORDS

Diagnostics, construction and technical survey, concrete, reinforced concrete, steel reinforcement, reinforced concrete frame, ground penetrating radar, ultrasound, compressive strength, carbonation, destructive methods, nondestructive methods

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Václav Šebela *Příprava a realizace stavebně technického průzkumu konstrukce.* Brno, 2022. 85 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Příprava a realizace stavebně technického průzkumu konstrukce* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 25. 5. 2022

Václav Šebela
autor práce

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Příprava a realizace stavebně technického průzkumu konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 25. 5. 2022

Václav Šebela
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce, panu doc. Ing. Ondřeji Antonovi, Ph.D. za pomoc, rady a věcné připomínky při zpracování bakalářské práce. Také bych rád poděkoval všem, kteří mě podporovali během celého studia.

OBSAH

1 ÚVOD 11

1.1 Cíle práce 11

2 TEORETICKÁ ČÁST 12

2.1 Historie železobetonu 12

2.2 Stavebně technický průzkum 13

2.3 Diagnostika železobetonových konstrukcí 14

2.3.1 Důvody pro diagnostiku železobetonových konstrukcí 14

2.3.2 Zjišťované vlastnosti betonu 14

2.3.3 Zjišťované vlastnosti ocelové betonářské výztuže 16

2.3.4 Hlavní vlivy ovlivňující železobetonové konstrukce 16

2.3.5 Diagnostické metody 17

2.3.6 Postup hodnocení existujících konstrukcí dle ČSN ISO 13822 17

2.4 Metodika zkoušení železobetonových konstrukcí 21

2.4.1 Nedestruktivní diagnostické metody 21

2.4.2 Semidestruktivní diagnostické metody 27

2.4.3 Destruktivní diagnostické metody 30

3 PRAKTICKÁ ČÁST 31

3.1 Základní informace o zkoumané konstrukci 31

3.2 Důvod provedení průzkumu 32

3.3 Předběžný průzkum objektu 33

3.4 Návrh průzkumu 33

3.5 Stanovení kvality betonu 37

3.5.1 Ultrazvuková kontrola kvality betonu 37

3.5.2 Jádrové vývrty 41

3.5.3 Výsledky laboratorních zkoušek betonu 45

3.6 Stanovení polohy a průměru výztuže 47

3.6.1 Elektromagnetický indikátor výztuže Profometer PM-630 47
3.6.2 Georadar HILTI PS 1000 49
3.6.3 Sekané sondy 53
3.6.4 Vyztužení sloupů a průvlaků 54
4 ZÁVĚR 78
5 BIBLIOGRAFIE 79
6 SEZNAM OBRÁZKŮ 82
7 SEZNAM TABULEK A GRAFŮ 85

1 ÚVOD

Diagnostika stavebních konstrukcí je mezi laickou veřejností poměrně neznámý obor, přitom jde o nedílnou součást dnešního stavebnictví a je stále více vyžadována. Zabývá se průzkumem nových i stávajících konstrukcí z důvodu zjištění a stanovení kvality provedení, materiálových a konstrukčních vlastností.

Potřebu diagnostického průzkumu může vyvolat porucha konstrukce, plánovaná přestavba nebo rekonstrukce. U staveb staršího data vzniku je možné, že částečně nebo úplně chybí projektová dokumentace a je nutné znovu stanovit parametry konstrukce. Vzhledem k tomu, že nikdy není jisté, zda plná dokumentace stavby odpovídá realitě, je potřeba ověřit, jestli byly dodrženy návrhové parametry i u staveb s existující dokumentací.

1.1 Cíle práce

Cílem bakalářské práce je příprava a provedení stavebně technického průzkumu trojpodlažní železobetonové konstrukce v Rousínově. Práce se zaměřuje na posouzení stávající konstrukce z důvodu plánované přestavby.

Teoretická část práce popisuje vlastnosti jednotlivých ověřovaných materiálů, mezi které patří beton a jeho ocelová výztuž. Dále se věnuje vybraným diagnostickým metodám zkoušení stávajících stavebních konstrukcí, u kterých vysvětluje princip jejich fungování a popisuje metodiku provádění těchto zkoušek.

Práce v praktické části posuzuje dodržení projektovaných vlastností konstrukce. U betonu je zjišťována pevnost v tlaku a případná nerovnoměrnost ultrazvukovým měřením a laboratorními zkouškami jádrových vývrtů. U ověřování vyztužení prvků se práce zaměřuje na stanovení polohy, průměru a typu výztuže. Vzhledem k tomu, že se dochovala původní dokumentace (kromě výkresu skladby stropu nad 1. PP), dojde k ověření shody projektu se skutečným stavem.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Historie železobetonu

Beton je jako stavební materiál používán již několik tisíciletí. V antickém období se vyráběl kombinací kameniva a přírodního předchůdce cementu, sopečného popílku zvaného pucolán. Kvůli hydraulickým vlastnostem pucolánu byl beton schopen tvrdnout i pod vodou a byl využit na stavby po celém území antického Říma jako přístavní hráze, mosty, akvadukty nebo kopule Pantheonu, která je dodnes považována za největší nevyztuženou betonovou kopuli na světě. [1]

Za vynálezce železobetonu lze považovat Francouze Josepha Moniera, ten při výrobě květináčů a různých nádrží pro zahradnické účely využíval drátěného pletiva pro vyztužení betonu, který mu předtím popraskal mrazem. 16. července 1867 si nechal železobeton patentovat. [2]

Železobeton je materiálem, který kombinuje vlastnosti betonu a ocelové výztuže. U betonu je to vysoká pevnost v tlaku, nízkou tahovou pevnost betonu přebírá výztuž. Dalším předpokladem pro použití je podobná tepelná roztažnost, pro beton je koeficient tepelné roztažnosti $\alpha = 10 \cdot 10^{-6}\,[K^{-1}]$ a pro ocel je $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}\,[K^{-1}]$ [3]. Ochranu výztuže proti korozi zajišťuje zásadité prostředí betonu, jehož pH = 12,5. První výztuže byly hladkého průřezu, případně byly splétány. Pozdější výztuže již mají povrchovou úpravu pro lepší soudržnost, např. žebírka. Tato povrchová úprava navíc pomáhá při identifikaci typu výztuže. [4]

2.2 Stavebně technický průzkum

Stavebně technický průzkum je obvykle prováděn za účelem odzkoušení a zhodnocení stávajícího stavu konstrukcí, a to především po stránce statické. Ovšem může se zaměřit i na stanovení stavebních materiálů použitých při stavbě konstrukce nebo ověření správnosti výkresové dokumentace. Účel průzkumu záleží na dohodě s objednatelem průzkumu.

Pro každou konstrukci je potřeba stavební průzkum upravit tak, aby zahrnul všechny aspekty důležité pro stanovení všech požadovaných materiálových charakteristik. Lze tedy říci, že každý stavební průzkum je originální a nelze stanovit jednotný postup. Průzkum přináší informace o stávajícím stavu objektu a může být použit při rozhodování o dalších úpravách či opravách stavby, může se zaměřovat jak na celou konstrukci, tak na její detaily.

Stavebně technický průzkum (STP) můžeme rozdělit na tři druhy:

- **Předběžný STP** volíme kvůli potřebě získání základních informací a údajů o konstrukci pro zadávací studii pro rekonstrukci a modernizaci.
- **Podrobný STP**, který konstrukci rozebírá mnohem více než, předešlý průzkum volíme pro zjištění údajů potřebných ke zpracování statických výpočtů a projektové dokumentace.
- **Doplňující STP** je volen až v případě, kdy jsou zjištěny lokální nedostatky podrobného STP a je nutné jeho doplnění, a také při řešení změn z úprav při realizaci stavebních prací.

Výstupem z každého provedeného stavebně technického průzkumu je závěrečná technická zpráva, ve které dojde ke shrnutí stavu zkoumaného objektu a případnému návrhu konstrukčních opatření a řízení rizik. [5]

2.3 Diagnostika železobetonových konstrukcí

2.3.1 Důvody pro diagnostiku železobetonových konstrukcí

Diagnostika je potřebná pro objekty všech typů a stáří a vychází z několika důvodů:

Nové konstrukce

- Pochybnosti o správnosti a kvalitě provedení (vyztužení, kvalita betonu, krytí výztuže)
- Kontrola předepsaná v projektové dokumentaci po určitém čase uplynulém od výstavby

Stávající konstrukce

- Staticky závažné poruchy ovlivňující bezpečnost při užívání konstrukce
- Rekonstrukce, přestavba nebo jiná stavební úprava starší konstrukce
- Změna druhu užívání konstrukce a s tím i změna zatížení [5]

2.3.2 Zjišťované vlastnosti betonu

Sledované vlastnosti oceli podle ČSN 73 2011 jsou:

- pevnostní třída;
- modul pružnosti betonu;
- míra karbonatace betonu;
- vlhkost betonu;
- objemová hmotnost;
- rovnoměrnost betonu;
- druh betonu;
- vlhkost betonu;
- vodotěsnost a mrazuvzdornost.

Sledované vlastnosti lze stanovit pomocí následujících zkoušek:

- pevnostní třída – zkoušky pevnosti zkušebních těles v hydraulickém lisu, tvrdoměrné metody, ultrazvuková impulzová metoda;
- modul pružnosti – stanovuje se pomocí ultrazvukové impulzové metody nebo statickými zkouškami na jádrových vývrtech;
- objemová hmotnost – stanovuje se na základě zkoušek prováděných na odebraných jádrových vývrtech;

- míra karbonatace – hloubka průniku karbonatace do konstrukce se stanoví pomocí zkoušky 1% roztokem fenolftaleinu;
- rovnoměrnost betonu – pomocí ultrazvukové impulzové metody, měření objemové hmotnosti či měření pevnosti. [6]

Pevnostní třída konstrukce je zaznamenávána i ve výkresové dokumentaci. Často se tedy můžeme setkat s jinou klasifikací tříd betonu. Pro převod slouží následující tabulka.

Tab. 1: Druhy, značky, třídy betonů a převod značení [7]

Beton				
druh	značka	třída	Třída	pevnostní třída
ČSN 1090:1931 ČSN 1230:1937	ČSN 73 2001:1956 ČSN 73 6206:1971	ČSN 73 1201:1967	ČSN 73 1201:1986	ČSN EN 206-1
a	60	0I	-	(C 3/3,5)
b	80		B 5	(C 4/5)
c	105	0	B 7,5	(C 6/,75)
d	135	I	B 10	C 8/10
			B 12,5	(C 9/12,5)
e	170	II	-	(C 10/13,5)
			B 15	C 12/15
f	250	III	B 20	C 16/20
			B 25	C 20/25
g	330	IV	-	(C 23/28)
			B 30	C 25/30
	400		B 35	(C 28/35)
			-	C 30/37
		V	B 40	(C 30/40)
	500		B 45	C 35/45
		VI	B 50	C 40/50
	600		B 55	C 45/55
			B 60	C 50/60
Poznámka: Pevnostní třídy uvedené v závorkách nejsou v příslušné normě zavedeny				

2.3.3 Zjišťované vlastnosti ocelové betonářské výztuže

Sledované vlastnosti ocelové výztuže podle ČSN 73 2011 jsou:

- poloha;
- průměr výztuže;
- počet;
- krycí betonová vrstva;
- typ výztuže;
- koroze výztuže.

Sledované vlastnosti lze stanovit pomocí následujících zkoušek:

- průměr – pomocí posuvného měřítka na základě sekané sondy nebo elektromagnetickými indikátory;
- poloha, počet, krytí – georadarem, elektromagnetickými indikátory, sekanou sondou;
- typ výztuže – sekanou sondou a porovnáním s používanými typy;
- koroze výztuže – odkrytí krycí vrstvy výztuže sekanou sondou. [6]

Všechny z výše zmíněných vlastností kromě koroze lze stanovit pomocí radiografie. Mezi nejčastěji používané gamazářiče patři kobalt Co60. Nicméně tato metoda není momentálně běžně dostupná.

2.3.4 Hlavní vlivy ovlivňující železobetonové konstrukce

Fyzikálně mechanické vlivy

- Vliv od zatížení
- Zatížení teplotou
- Vlhkost a mráz

Fyzikálně chemické vlivy

- Vliv agresivních látek
- Působení plynů a pevných látek
- Biogenní vlivy

2.3.5 Diagnostické metody

Diagnostické metody se dělí na několik druhů. Základní rozdělení těchto metod je podle závažnosti zásahu do konstrukce:

- Nedestruktivní – povrch konstrukce není nijak výrazně narušen.
- Semidestruktivní – dojde k porušení částečnému porušení vzorku nebo konstrukce.
- Destruktivní – dochází k mechanickému poškození konstrukce nebo její části. [7]

2.3.6 Postup hodnocení existujících konstrukcí dle ČSN ISO 13822

Normou jsou určeny tyto základní postupy hodnocení:

ÚČEL

Jako první krok při hodnocení stávající konstrukce je stanovení účelu průzkumu, ten je stanoven po konzultaci s objednatelem samotného průzkumu. Hodnocení konstrukce se provádí z hlediska požadavků na její funkční způsobilost, ta vychází z předem daných funkčních úrovní:

- Úroveň bezpečnosti konstrukce, ta musí uživatelům poskytovat bezpečnost při užívaní stavby a jejích částí.
- Úroveň trvale udržitelných funkčních vlastností konstrukce, u speciálních konstrukcí jako jsou např. nemocnice, klíčové mosty nebo jinak významné budovy musí udržovat funkčnost při nepředvídatelných událostech (zemětřesení, náraz a další)
- Zvláštní požadavky na funkční vlastnosti. Tyto požadavky se týkají ochrany vlastnictví a použitelnosti konstrukce. [7]

POSTUP

Postup průzkumu závisí na účelu hodnocení a specifických okolnostech daných typem konstrukce (dostupnost objektu, projektové dokumentaci, stavu objektu a zjištěných škodách apod.). Před samotným zahájením průzkumu se doporučuje předběžná prohlídka. Stavba se hodnotí s přihlédnutím k jejímu současnému stavu. [7]

Postup se sestává z těchto kroků:

a) **Stanovení účelu hodnocení**

Stanovení účelu hodnocení proběhne na základě dohody s objednatelem a s ohledem na její budoucí funkci a využití. Funkční způsobilost je dána předpokládaným využitím a plánovanými bezpečnostními opatřeními. [7]

b) **Scénáře**

Pro určení možných kritických situací jsou vytvořeny scénáře související se změnou využití stavby, jejich konstrukčních podmínek nebo zatížení. Scénáře jsou tvořeny jako základ pro možné postupy při hodnocení a návrzích opatření pro zajištění bezpečnosti a použitelnosti konstrukce. [7]

c) **Předběžné hodnocení**

1) **Studium dokumentace a dalších údajů**

Jako první část předběžného hodnocení je nutné ověření správnosti a aktuality projektové dokumentace. Dále je nutné ověřit zaznamenání všech provedených konstrukčních změn a opatření. Také je potřeba provést kontrolu všech extrémně zatěžujících vlivů ovlivňujících životnost objektu jako jsou například seismická zatížení, změny základových poměrů, poškození korozí nebo nesprávné používání konstrukce. [7]

2) **Předběžná prohlídka**

Úkolem předběžné prohlídky je stanovení konstrukčního systému a možného poškození konstrukce a jejich částí pomocí vizuální prohlídky nebo jednoduchých nástrojů. Výsledky se vyjadřují kvalitativním zatříděním stavu konstrukce. [7]

3) **Předběžné ověření**

Identifikace kritických nedostatků konstrukce, s přihlédnutím k budoucímu použití a bezpečnosti, na které je nutno se blíže zaměřit. Posuzuje se nutnost dalšího podrobného průzkumu. [7]

4) **Rozhodnutí o okamžitých opatřeních**

Pokud jsou při předběžné prohlídce nebo ověření zjištěny nedostatky je nutno objednateli nahlásit tuto skutečnost a provést neprodleně nápravu, aby nedošlo k ohrožení bezpečnosti veřejnosti. [7]

5) **Doporučení pro podrobné hodnocení**

Při zjištění toho že je konstrukci během své požadované zbytkové životnosti možné považovat za spolehlivou není vyžadováno podrobné hodnocení. Pakliže se vyskytnou nejistoty v zatížení, jeho účincích nebo v materiálových vlastnostech konstrukce je provedení podrobného hodnocení doporučeno. [7]

d) **Podrobné hodnocení**

1) **Detailní vyhledávání a prověření dokumentace**

Pokud je k dispozici stavební dokumentace, ověřují se výkresy, statický výpočet, stavební deník, záznamy o prohlídkách a podrobnosti o změnách stavby. Poté se prozkoumávají předpisy a zákonná nařízení, prováděcí předpisy a normy použité pro výstavbu konstrukce. Na závěr se prověřují základové podmínky, hladina podzemní vody a topografie. Je důležité ověřit pravost daných dokumentů ale také brát v potaz že nemusí plně odpovídat skutečnému provedení. [7]

2) **Podrobná prohlídka a zkoušky materiálů**

Z projektové dokumentace lze zjistit a převzít konstrukční detaily, rozměry a charakteristické hodnoty materiálových vlastností. V případě jakékoliv pochybnosti o správnosti udaných údajů je nutné všechny potřebné vlastnosti určit při prohlídce a zkouškách materiálů. Prohlídka je plánována na základě dostupných informací o konstrukci. Výstupem z této prohlídky je pak pravděpodobnostní rozdělení hodnot pro jednotlivé prvky prozkoumávané konstrukce. [7]

3) **Stanovení zatížení**

Všechny působící zatížení a zejména vlivy prostředí se stanovují podle ČSN ISO 2394. [7]

4) **Stanovení vlastností konstrukce**

Za pomocí zkoušek lze stanovit vlastnosti konstrukce nebo do jisté míry předpovídat její únosnost. Použití zkoušek je nutné tehdy, pokud nejsou předchozí průzkumy dostatečně přesvědčivé. [7]

5) **Analýza konstrukce**

Analýza konstrukce podle ČSN ISO 2394 se provádí proto, aby se stanovily účinky zatížení působících na konstrukci. S přihlédnutím k degradaci nosných prvků se stanoví únosnost nosných prvků. Při zjištění degradačních jevů na konstrukci je důležité správně porozumět a identifikovat jevy které k tomuto vedou. [7]

6) **Ověření**

Pro zabezpečení směrné úrovně spolehlivosti se provádí ověření podle normy ČSN ISO 2394 nebo jiné současně platné, ta určí úroveň funkční spolehlivosti. Starší normy z doby vzniku konstrukce pro nás mají pouze informativní hodnotu. [7]

e) **Výsledky hodnocení**

1) **Zpráva**

Ve zprávě by mělo dojít ke shrnutí všech fází průzkumu konstrukce. Všechny naměřené a dále zpracované údaje nesmí být opomenuty. [7]

2) **Koncepční návrh konstrukčních opatření**

Při prokázání nedostatečné bezpečnosti nebo použitelnosti konstrukce se v souladu odpovídající návrhovou životností doporučí konstrukční opatření vedoucí k opravám nebo modernizaci konstrukce. [7]

3) **Řízení rizik**

Řízení nebo snížení rizik je sice alternativním postupem ke konstrukčním opatřením, avšak je v některých případech vhodné. Řízení rizik může mít podobu souboru několika opatření a omezení, mezi které patří např. omezení zatížení konstrukce na navrženou hodnotu, změna způsobu využití nebo monitoring stavu stavby. [7]

f) **Opakování postupu v případě potřeby** [7]

2.4 Metodika zkoušení železobetonových konstrukcí

2.4.1 Nedestruktivní diagnostické metody

Mezi nedestruktivní zkušební metody spadají ty zkoušky, které svým prováděním nijak výrazně nepoškodí povrch zkoumané konstrukce. To znamená, že nedochází ke znatelným poškozením vnější povrchové vrstvy a provádění zkoušky na konstrukci není nijak rozpoznatelné. Jediná poškození mohou vzniknout při tvrdoměrných zkouškách, ty mohou v některých případech vyžadovat povrchovou úpravu zbroušením. [5]

2.4.1.1 Zjišťování pevnosti betonu v tlaku tvrdoměrnými metodami

Tvrdoměrné metody pro stanovení pevnosti betonu v tlaku fungují na principu měření zpětného odrazu vyvolaného rázem razníku měřícího přístroje, který vznikne při kontaktu s betonovou konstrukcí. Za omezení této metody může být považováno to, že musí být použita v kombinaci s jinou metodou, a to nejlépe jádrovými vývrty. Při jejím použití může dojít k velkému ovlivnění výsledků, ať už lidským faktorem při odečítání hodnoty odrazu nebo nevhodně upravený povrch zkoušeného prvku, tyto věci mohou výsledky měření velmi ovlivnit nebo úplně znehodnotit. Za velkou výhodu této metody lze stanovit rychlost měření, tím pádem i větší počet měřených míst a poměrně nízká cena. Nevýhodou může být daná nejmenší tloušťka betonu 60 mm a omezení použitelnosti na rozmezí teplot 0-50 °C. [8]

Typy tvrdoměrů

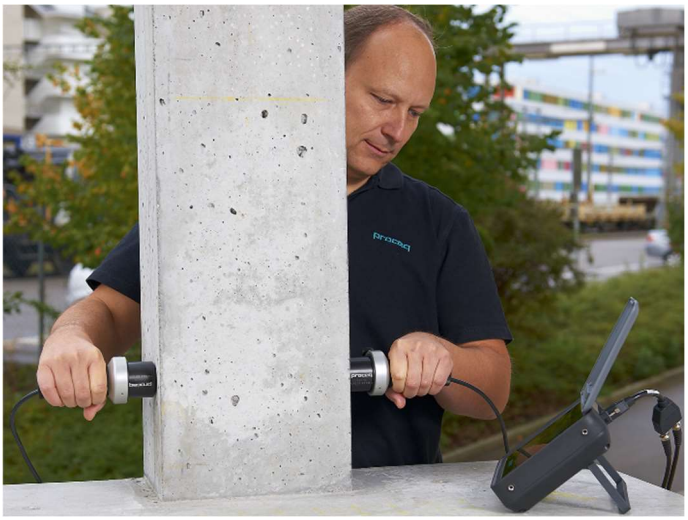
- **Tvrdoměry typu Schmidt**, jedná se o v současnosti nejpoužívanější přístroje od výrobce Proceq, jejich měření spočívá na principu délky vratné dráhy úderníku.
- **Vtiskový Waitzmanův tvrdoměr**, tento nástroj vzniklý úpravou zkušebního kladívka Poldi. Měření se provádí na vtiskové folii a funguje na principu porovnávání vtisku kuličky Ø10 mm na srovnávací tyčince o známé tvrdosti s vtiskem vytvořeným do měřeného betonu.
- **Špičákový tvrdoměr** měří hloubku vniknutí špičáku za provedený počet předepsaných úderů nebo naopak počet úderů nutných k tomu, aby špičák dosáhl určité hloubky. Je vhodný pro betony nižší pevnosti.

- **Vtiskový kuličkový tvrdoměr** funguje na principu podobném Waitzmanovu tvrdoměru, avšak za použití jiného typu kladívka. [6]

Obr. 1: Použití tvrdoměru typu Schmidt [9]

2.4.1.2 Ultrazvuková impulsní metoda

Tato metoda je založena na principu měření doby, za kterou projdou ultrazvukové vlny měřeným materiálem o známých rozměrech. Ze známých dat můžeme následně stanovit rychlost šíření ultrazvukového signálu, tato rychlost je závislá na rovnoměrnosti zkoumaného betonu. Čím je rychlost vyšší tím je vyšší kvalita betonu a naopak. Frekvence ultrazvukového vlnění používaná ve stavebnictví se pohybuje v rozmezí 20-150 kHz, ve výjimečných případech je to až 500 kHz, výhodou je že se ultrazvukové vlnění může šířit i v relativně silných vrstvách betonu. [10; 5]



Obr. 2: Měření ultrazvukovou impulsní metodou [11]

Z naměřených rychlostí a podle zeslabení ultrazvukového odrazu lze v případě neporušeného betonu posoudit jeho kvalitu, v případě vad a poruch může poukázat na místa s větším výskytem trhlin a kaveren. K prozvučování materiálu jsou obecně dvě metody, metoda s jednou sondou funguje na principu odrazu a metoda se dvěma sondami naproti sobě na principu prostupu vln materiálem. Pro metodu je vhodné, aby byly měřené prvky konstrukce přístupné z obou stran. [12; 13]

Tab. 2: Kvalita betonu podle rychlosti šíření ultrazvuku [12]

Všeobecné hodnocení betonu	Rychlost šíření ultrazvuku [m/s]
Výborný	> 4500
Dobrý	3700 - 4500
Diskutabilní	3000 - 3700
Špatný	2100 - 3000
Mizerný	< 2100

Pro výpočet rychlosti šíření platí následující vztah:

$$v_i = \frac{L_i}{T_i - T_0}$$

Kde

v_i je rychlost průchodu impulsu materiálem, v m/s;

L_i je délka měřící základny, v m;

T_i je doba průchodu ultrazvuku měřená přístrojem, v s;

T_0 je mrtvý čas, v s;

i je označení základny [14]

Ve stavebnictví jsou běžně používány tyto typy ultrazvukových přístrojů:

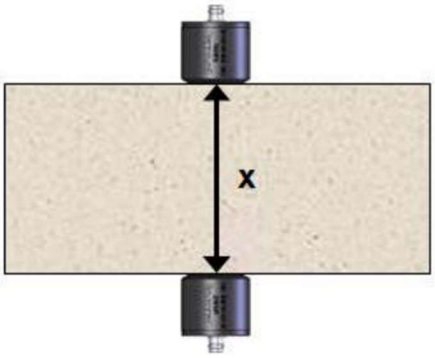
- Přístroje s automatickým měřením času průchodu ultrazvukového vlnění (s digitálním výstupem).
- Přístroje s obrazovkou a ručním nastavením časového znaku na čelo impulsů vlny (starší typy přístrojů).
- Přístroje kombinované z obou druhů. Moderní přístroje jsou integrovány do PC s možností ukládání dat. [5]

Základní způsoby prozvučování

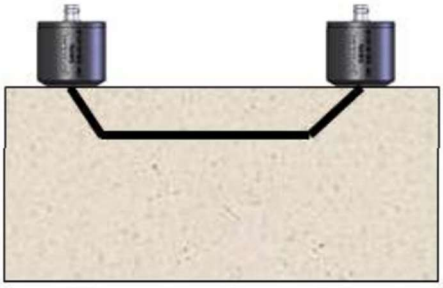
- **Přímá metoda**

  Upřednostňovaná metoda, zejména kvůli nižšímu útlumu vlnění a jednoduššímu měření rozměrů prozvučovaného prvku [5]
- **Nepřímá a polopřímá metoda**

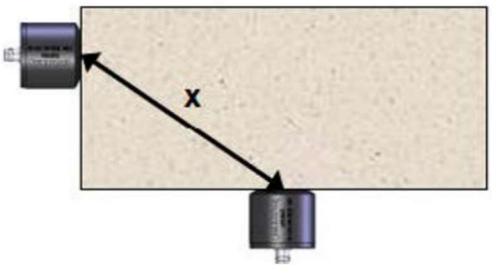
  Tyto metody volíme pouze tehdy, když nejsou dobře dostupné obě protilehlé stěny [5]



Obr. 3: Přímá metoda prozvučování [15]



Obr. 4: Nepřímá metoda prozvučování [15]



Obr. 5: Polopřímá metoda prozvučování [15]

2.4.1.3 Stanovení polohy výztuže pomocí elektromagnetických indikátorů

Tato metoda se ve stavebnictví používá z důvodu potřeby nalezení a lokalizace výztuže železobetonových konstrukcí. Nespornou výhodou této metody je její naprostá nedestruktivnost ale je nutné počítat i s určitými omezeními např. hloubkový dosah přístroje, ovlivnění jinou sousední výztuží nebo nemožnost odhalení výztuže v druhé rovnoběžné vrstvě. [5]

Princip metody

Přístroj je tvořen dvěma částmi: sondou a elektronickými obvody, ty generují signál a pro buzení sondy a také vyhodnocují signál ze sondy přijímaný. Sonda neboli vyhledávací hlava obsahuje buď jednu nebo několik cívek které jsou periodicky nabíjené elektrickým proudem. Tyto cívky generují magnetické pole, které na povrchu každého materiálu v tomto poli vytvářejí vířivé vlny a ty vytvářejí magnetické pole opačného směru.

PROFOMETER PM-630

Jedná se o přístroj používaný pro zjišťování polohy a průměru výztuže nebo jejího krytí. Přístroj funguje na principu popsaném výše. Výsledky měření mohou být ovlivňovány přítomnosti vodivých materiálů v blízkosti magnetického pole. Výsledky měření se zobrazují na dotykovém displeji přístroje, který umožňuje uživateli zobrazení výsledků v reálném čase. Měřicí sonda, se vkládá do pouzdra vybaveného kolečky což zabezpečuje snadnou manipulaci a plynulý pohyb po povrchu konstrukce. [16]

Obr. 6: Měření výztuže za použití Profometeru PM-630

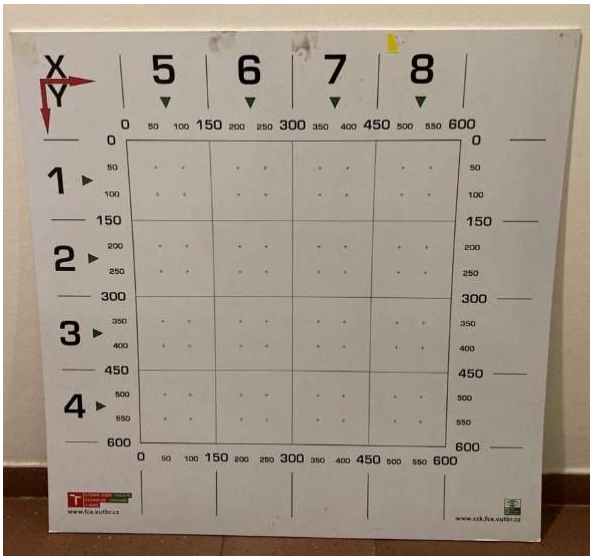
2.4.1.4 Georadar

Georadar, anglicky také GPR (ground penetrating radar), je metoda, která má své hlavní využití ve zkoumání zemního prostředí. Přístroj vysílá vysokofrekvenční elektromagnetické pulzy, skenování se provádí v rastru, ze kterého přístroj skládá ucelený obraz zemního prostředí. Ve stavebnictví je georadar využíván pro lokalizaci výztuže nebo dutin v železobetonových konstrukcích. První typy georadaru ovšem svými rozměry tuto činnost neumožňovali. [17]

HILTI PS 1000

Zařízení bylo plně vyvinuto jako přístroj pro zjišťování polohy ocelové výztuže v konstrukcích, a je také schopno odhalit dutiny v betonu. Jeho vysílací sonda se skládá ze tří antén, kvůli kterým umožňuje detekci výztuží položených nad sebou. Přístroj zaznamenává svou polohu a pohyb po měřeném objektu pomocí koleček v rozích rámu. Změřená data se zobrazují na vestavěném displeji přístroje, ale je možno je upravovat pomocí softwaru pro počítač. Měření je možné provádět ve 2D ale nabízí i možnost 3D skenu, který vytvoří virtuální model vyztužení konstrukce v místě skenu. V praxi lze tedy použít buď liniový sken, který je jednodušší a sonda se pohybuje pouze v jednom směru, nebo plošný sken, při kterém pohybujeme sondou po konstrukci v rastru buď 600 x 600 mm, nebo 1200 x 1200 mm. Hlavní nevýhodou je nemožnost stanovit průměr skenované výztuže, ten je nutné stanovit použitím některé z alternativních metod. [17]

Obr. 7: Liniový sken georadarem



Obr. 8: Rastr pro plošný sken

2.4.2 Semidestruktivní diagnostické metody

Zkoušky semidestruktivní mohou způsobem jejich provádění poškodit určitou část zkoušené konstrukce, tyto poškození mohou vzniknout vrtáním, odtrhovými zkouškami nebo vnikacími metodami.

2.4.2.1 Jádrové vývrty

Jádrový vývrt je jako takový považován za významný zásah do konstrukce, je tedy důležité pečlivě zvážit jeho smysl a také umístění, momentálně se však jedná o nejpřesnější metodu pro zjištění pevnosti betonu v tlaku. Pro stanovení pevnosti betonu pouze za pomoci jádrových v celé konstrukci je zapotřebí provést velké množství jádrových vývrtu. To by ovšem negativně ovlivnilo stabilitu konstrukce a mohlo by dojít k přílišnému oslabení všech nosných prvků. Z toho důvodu se v dnešní době preferují kombinace s nedestruktivními metodami. [18]

Obr. 9: Jádrová vrtačka upnutá do vrtacího stojanu

Postup odběru zkušebních těles

Odběr vývrtů se provádí jádrovou vrtačkou se speciálními vrtáky dutého průřezu kolmo k povrchu. Vrtáky jsou opatřeny vrtacími korunkami, které mají buď diamantovými nebo tvrdokovovými břity. Průměry vrtáků používané pro vývrty v betonových a zděných konstrukcích se jsou ve velikostech 25, 50, 100 a 150 mm v případě speciálních požadavků je možné použít vrtáky mezilehlých průměrů. Chlazení vrtáku je během vrtání zajišťováno pomocí chladící kapaliny, jenž je přes vrtací přístroj vháněna až k vrtací korunce. Vrtačka se ke konstrukci upevňuje pomocí ocelových kotev. Po dosažení požadované hloubky vrtu se vrták vyjme, pokud jádrový vývrt není oddělen od konstrukce musí být opatrně vylomen. [6]

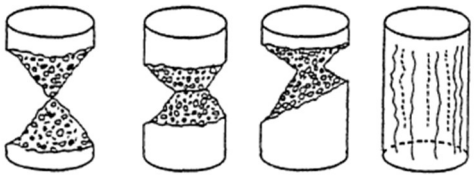
Obr. 10: Jádrový vývrt odebraný ze železobetonové konstrukce

Vývrty se po vyjmutí musí pečlivě označit, aby při manipulaci nedošlo k jejich záměně. V laboratoři se pomocí kotoučové pily s diamantovým kotoučem tělesa zkrátí na požadovanou délku a obě plochy vývrtu se zabrousí tak, aby byly vzájemně rovnoběžné. Poté se vzorky nechají proschnout, jelikož mohou být nasáklé chladící kapalinou použitou při řezání. Po době nutné k úplnému proschnutí dojde k vážení a měření s přesností na 0,1 g respektive 0,1 mm. [6] [19]

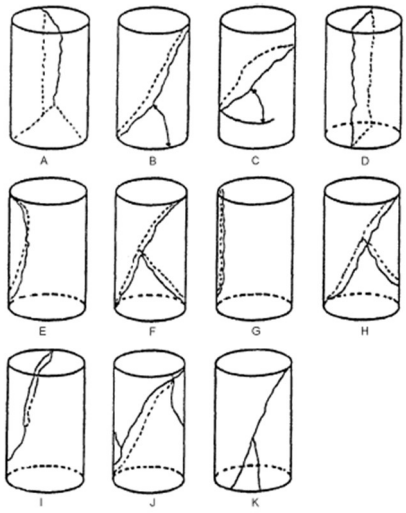
Obr. 11: Hydraulický lis

Laboratorní zkouška pevnosti v tlaku

Po důkladném změření a zvážení vzorků je provedena zkouška válcové pevnosti v tlaku na hydraulickém lisu. Výsledky se zapíší a zaokrouhlí na 0,1 MPa. Zkoušku je nutno provádět lisem vyhovujícím dle EN 12390-4. V průběhu zkoušky je žádoucí kontrolovat porušení vzorků, v případě že porušení neodpovídá požadavkům stanoveným normou ČSN EN 12390-3, je nutné vzorek vyřadit ze zkušební sady. Na následujících obrázcích jsou znázorněny přípustné a nepřípustné způsoby porušení. [18]



Obr. 12: Vyhovující způsoby porušení zkušebních válců dle ČSN EN 12390-3 [19]



Obr. 13: Vybrané nevyhovující porušení zkušebních válců dle ČSN EN 12390-3 [19]

Zkouška karbonatace betonu

Pro vyhodnocení karbonatace betonu se provádí test 1% roztokem fenolftaleinu v ethylalkoholu. Fenolftalein při kontaktu s betonem, který má hodnotu pH vyšší než 9,5 zfialoví. Pokud nedojde k zabarvení vzorku můžeme test považovat za negativní a znamená to, že beton ztrácí funkci pasivní ochrany výztuže a podléhá pokročilé degradaci.

2.4.3 Destruktivní diagnostické metody

Jako destruktivní metodu průzkumu staveb můžeme označit ty metody, při kterých dojde k mechanickému porušení konstrukce. Tyto metody se uplatňují zejména při ověřování vyztužení prvků konstrukcí.

2.4.3.1 Sekané sondy

Sekané sondy jsou metodou, při níž vlivem mechanického odstranění svrchní vrstvy betonu můžeme podrobněji určit přesnou polohu výztuže, její průměr, tloušťku krytí a také poškození jako například koroze. Tato metoda je vhodná především u starších konstrukcí, zatímco u nových je poškození povrchu ve velké většině případů nevhodné.

Ještě, než je přistoupeno k samotnému sekání sondy je vhodné pomocí georadaru nebo elektromagnetického indikátoru stanovit polohu výztuže. Sekaná sonda je prováděna za použití bouracích kladiv nebo jiných k tomuto účelu vhodných prostředků. Těmi se odstraní vrstva betonu až k výztuži. Posuvným měřítkem pak můžeme ověřit průměr nebo jeho úbytek způsobený korozí či krytí výztuže. Na odhalené betonové krycí vrstvě se karbonatace stanoví pomocí 1% roztoku fenolftaleinu. Druh výztuže a stupeň napadení korozí se stanovuje vizuální kontrolou. [5]

Obr. 14: Provádění sekané sondy

3 PRAKTICKÁ ČÁST

3.1 Základní informace o zkoumané konstrukci

Zkoumaným objektem je trojpodlažní rohová budova na Sušilově náměstí 367/1 v obci Rousínov. Stavba je složena ze železobetonového skeletu, který se sestává z trojice monolitických rámů.

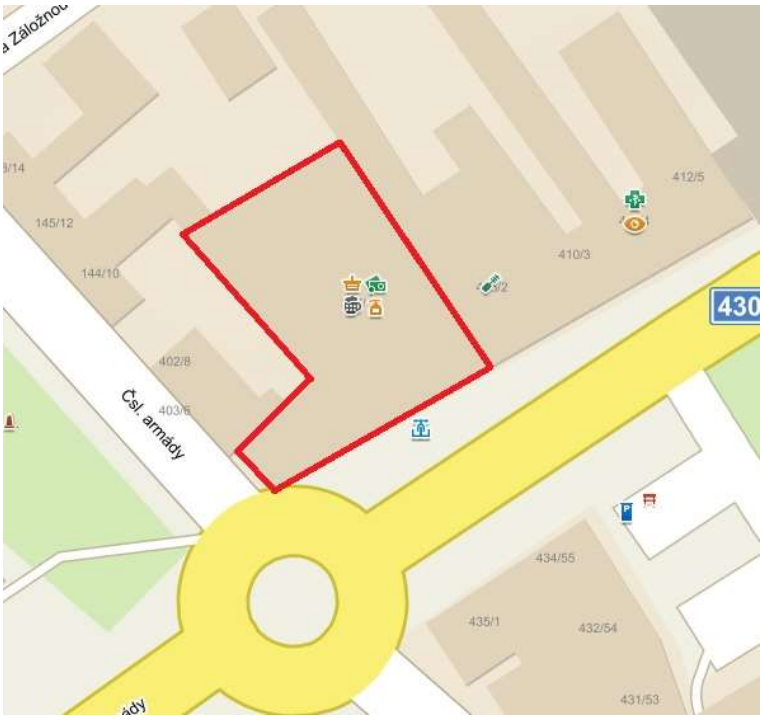
Stavba je tvořena třemi podlažími. Skládá se z 1. PP, 1. NP a 2. NP. V 1. PP se nachází rozvodná stanice elektrické sítě a centrálního vytápění, ostatní prostory byly dříve využívané jako noční klub a v současnosti jako skladové prostory na věci zanechané původními nájemníky 1.NP je nad okolním terénem nadvýšeno o přibližně 1,5 metru a nachází se zde hlavní vchod a přístup k nákladové rampě pro zásobování. V současné době se v prostorách 1.NP nachází prodejna smíšeného zboží a drogerie. 2.NP bylo dříve využíváno jako prodejní plocha, avšak nyní je zde skladováno zboží po původních nájemcích stejně jako v případě 1.PP.

Vzhledem ke konstrukčnímu řešení a použitým stavebním materiálům lze odhadovat dobu vzniku konstrukce na 70 léta minulého století. Stáří konstrukce se dá tedy odhadnout na přibližně 50 let.

Obr. 15: Pohled ze Sušilova náměstí

3.2 Důvod provedení průzkumu

Investor plánuje přestavbu objektu, která má zahrnovat zvýšení budovy o jedno podlaží a také změnu ve způsobu užívání stavby. To by způsobilo i změnu zatížení působící na konstrukci. Z toho důvodu je požadováno zjištění vyztužení vybraných prvků a stanovení pevnosti betonu v tlaku. Vzhledem k tomu že byla k dispozici původní dokumentace, se průzkum zaměřil také na ověření dodržení původního projektu.



Obr. 16: Situace širších vztahů [20]

3.3 Předběžný průzkum objektu

Jako první část průzkumu byla provedena předběžná vizuální prohlídka objektu. Jelikož se jedná o velice jednoduchou část diagnostického průzkumu byla takto zhodnocena celá konstrukce ve všech patrech. Tato metoda slouží pro zjištění stávajících poruch konstrukce a případné určení míst pro další podrobnější měření. Při předběžné prohlídce byl přítomen zástupce investora.

Kvůli této prohlídce a konzultaci se zástupcem investora byly zvoleny diagnostické metody převážně nedestruktivní. V rámci posouzení projektovaných vlastností stavby bylo rozhodnuto o ověření pevnosti betonu a stanovení vyztužení ve vybraných charakteristických místech konstrukce. Do průzkumu byly zahrnuty sloupy, průvlaky a stropní panely ve všech podlažích.

Výběr zkušebních míst pro sondy a míst pro odběr vzorků betonu byl přizpůsoben s ohledem na požadavky investora a také na provoz a bezpečnost nájemců prodejen v 1.NP. Poloha vybraných míst byla dále upravena in situ.

3.4 Návrh průzkumu

Pro stanovení hodnot požadovaných investorem byly vybrány a následně provedeny tyto následující zkoušky:

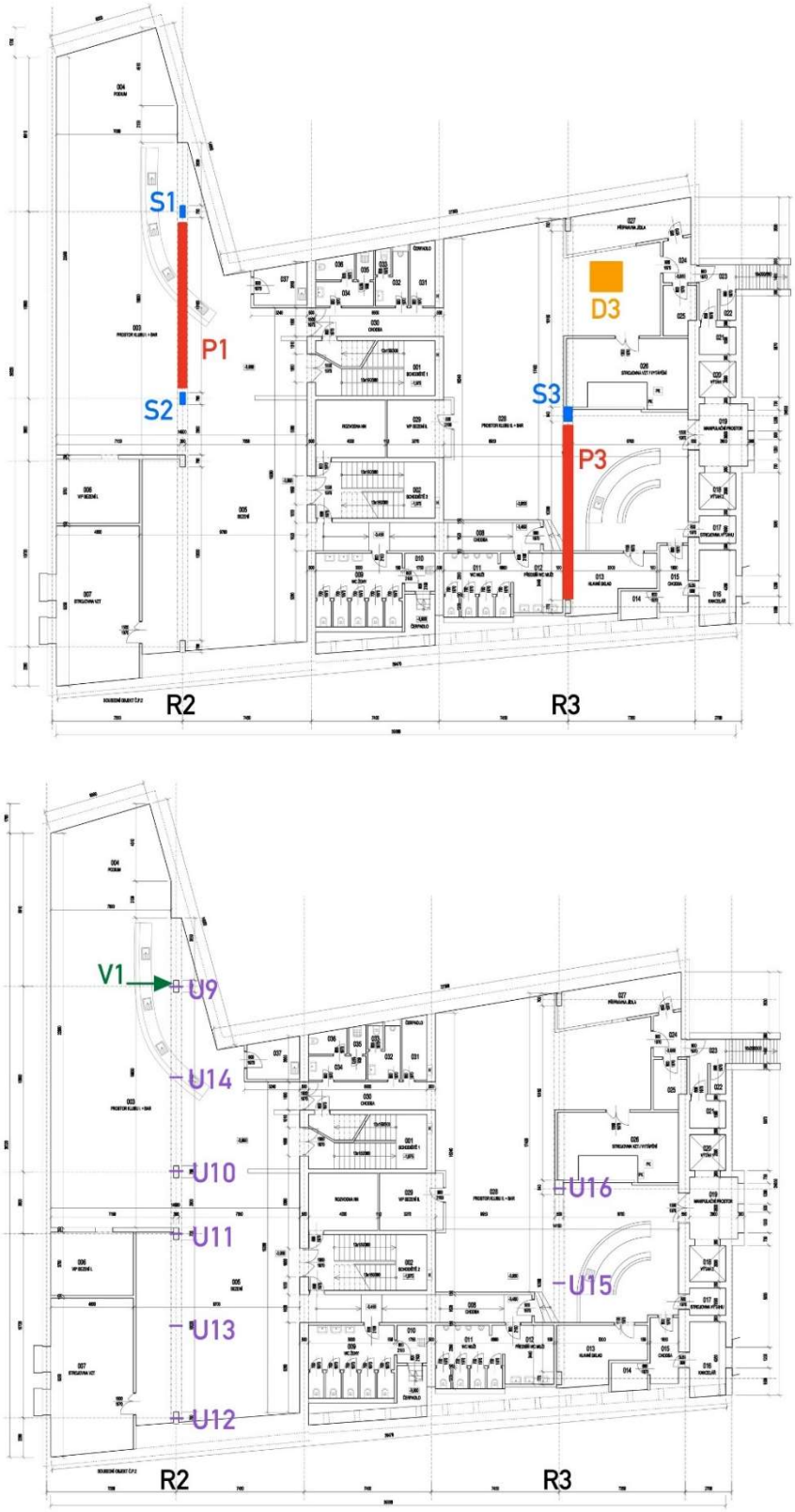
Stanovení kvality betonu:

- 16 míst NDT zkoušek – ultrazvuková metoda (U1 – U16)
- 3 jádrové vývrty v místech nejnižších rychlostí šíření ultrazvuku (V1 – V3)

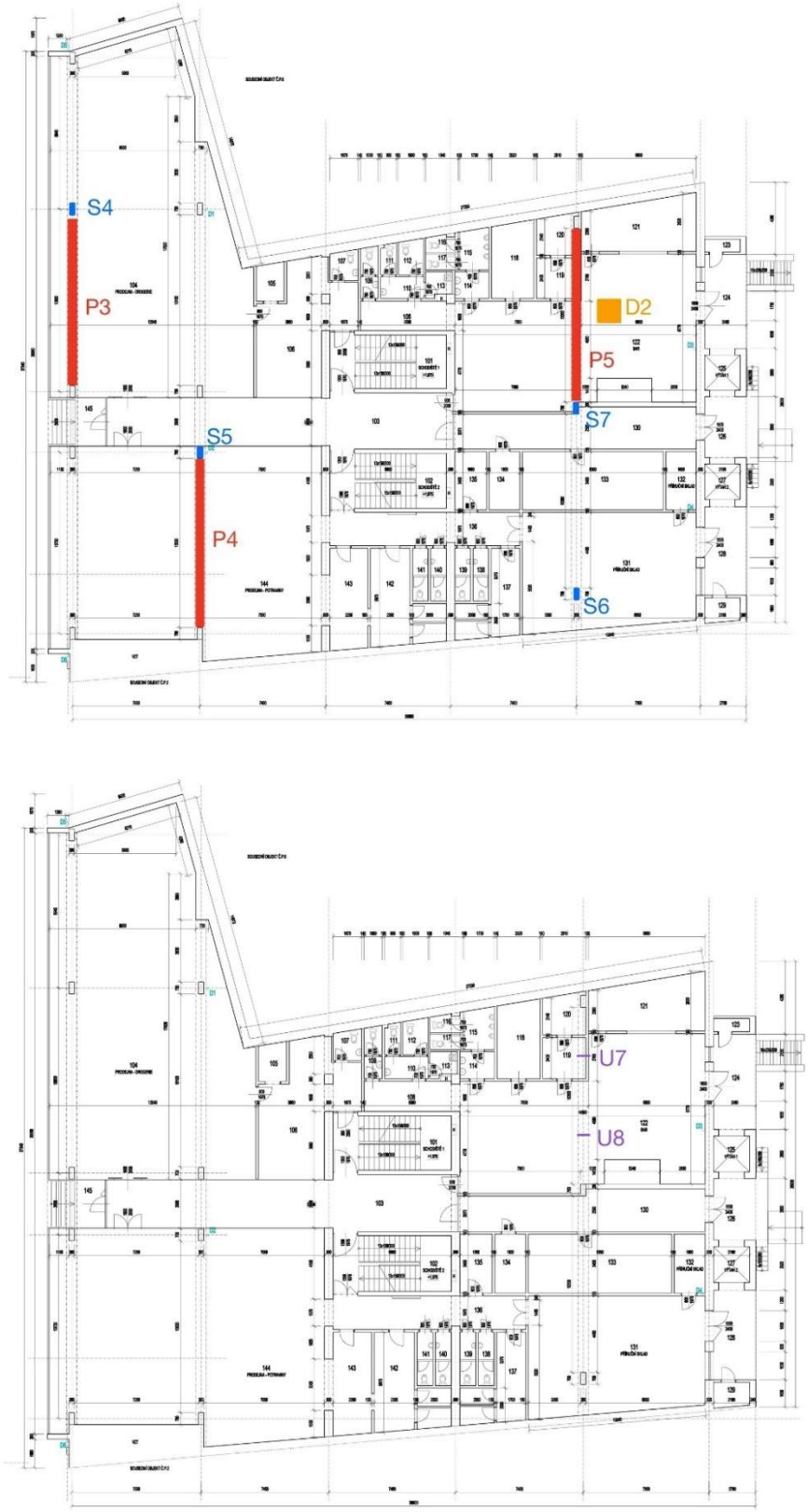
Stanovení vyztužení:

- 8 průvlaků – hlavní nosná výztuž ve středu rozpětí, u podpory, ohyby hlavních výztuží, třmínky (P1 – P8)
- 13 sloupů – hlavní nosná výztuž, třmínky (S1 – S13)
- 3 stropní panely – hlavní a rozdělovací výztuž (D1 – D3)

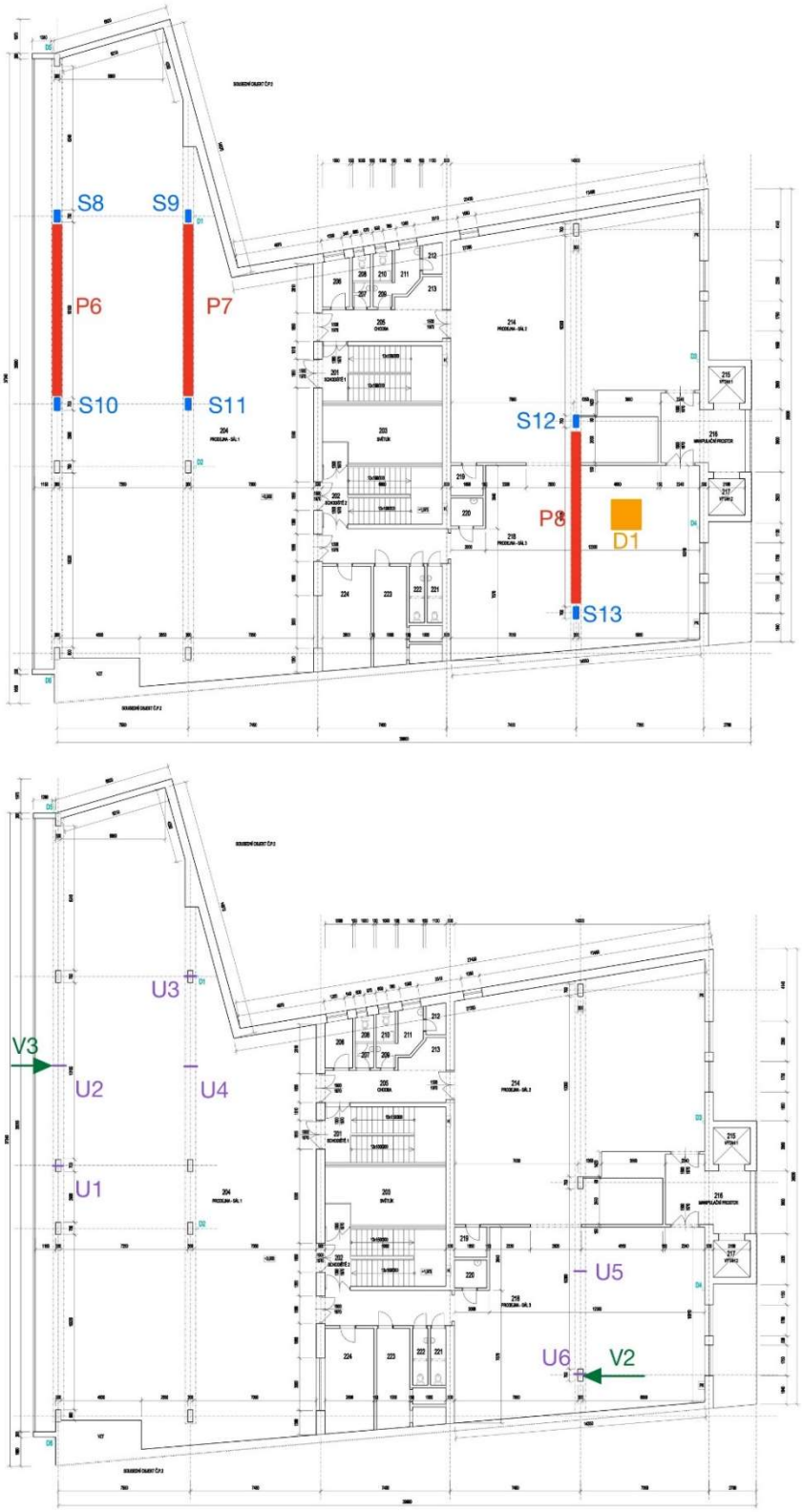
Poznámka: Schéma rozmístění jednotlivých sond pro určení kvality betonu a vyztužení je znázorněno na obr. 17, 18, 19.



Obr. 17: Schéma rozmístění jednotlivých sond ve sloupech v 1. PP a stropu nad 1. PP



Obr. 18: Schéma rozmístění jednotlivých sond ve sloupech v 1. NP a stropu nad 1. NP



Obr. 19: Schéma rozmístění jednotlivých sond ve sloupech v 2. NP a stropu nad 2. NP

3.5 Stanovení kvality betonu

Pro stanovení kvality použitého betonu byl použit postup určený normou ČSN EN 13791:2021, který kombinuje nedestruktivní měření a omezuje počet nutných vývrtů. Nedestruktivním měřením se v tomto případě rozumí ultrazvuková průchodová metoda.

V rámci ultrazvukového měření je možné určit rovnoměrnost, a také přítomnost trhlin nebo kaveren uvnitř betonu. K této metodě bylo přistoupeno z důvodu použití normovaného postupu, dle kterého byly vybrána místa pro odběr jádrových vývrtů. Jako výhodu tohoto postupu lze označit fakt že se výrazně eliminuje počet nutných jádrových vývrtů. Nevýhodou však může být snížení charakteristické pevnosti na úroveň nejhoršího betonu v konstrukci.

3.5.1 Ultrazvuková kontrola kvality betonu

Postup měření

Ultrazvukové měření bylo provedeno za použití přístroje Proceq Pundit PL-200. Tento přístroj má dvě sondy, které se přikládají naproti sobě na očistěné zkušební místo. Pro přesné měření musí být místo zbaveno všech povrchových úprav jako jsou omítky, malby, štuky a jiné podobné až na holý beton, aby byla splněna správnost měření a výsledky nebyly ničím ovlivňovány.

Obr. 20: Místo připravené pro ultrazvukovou zkoušku umístěné na průvlaku P7

Před začátkem samotné zkoušky dojde ke změření tloušťky prvku (vzdálenosti mezi sondami) a ta se zadá přímo do softwaru přístroje. Sondy se umístí naproti sobě a za použití dostačující síly přitlačí na podklad tak, aby došlo ke kontaktu celé plochy spodní části sondy s podkladem. Po spuštění měření přístroj zaznamenává

dobu průchodu ultrazvukových vln prvkem a sám ji kvůli předem zadaným hodnotám přepočítává na rychlost. Měření se kvůli přesnosti provádí třikrát a následné výsledky se zprůměrují. Z konečných rychlostí lze po přepočítání stanovit pevnost betonu v tlaku. Tato měření byla provedena na šestnácti zkušebních místech, ze kterých byla po předběžném zpracováním výsledků vybrána tři místa pro provedení jádrových vývrtů [21].

Obr. 21: Příklad zkušebních míst na sloupech připravených pro ultrazvukovou zkoušku

Na obr. 21 můžeme vidět zkušební místa na sloupech připravená pro měření ultrazvukovou metodou. Zkušební místa se připravují za použití vrtačky s vrtací korunkou pro vrtání za sucha o průměru ø 50 mm. Zkušební místa je zároveň nutné předem označit tak aby nedošlo k jejich záměně při porovnávání s výkresovou dokumentací.

Tab. 3: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového vlnění betonem na konstrukci

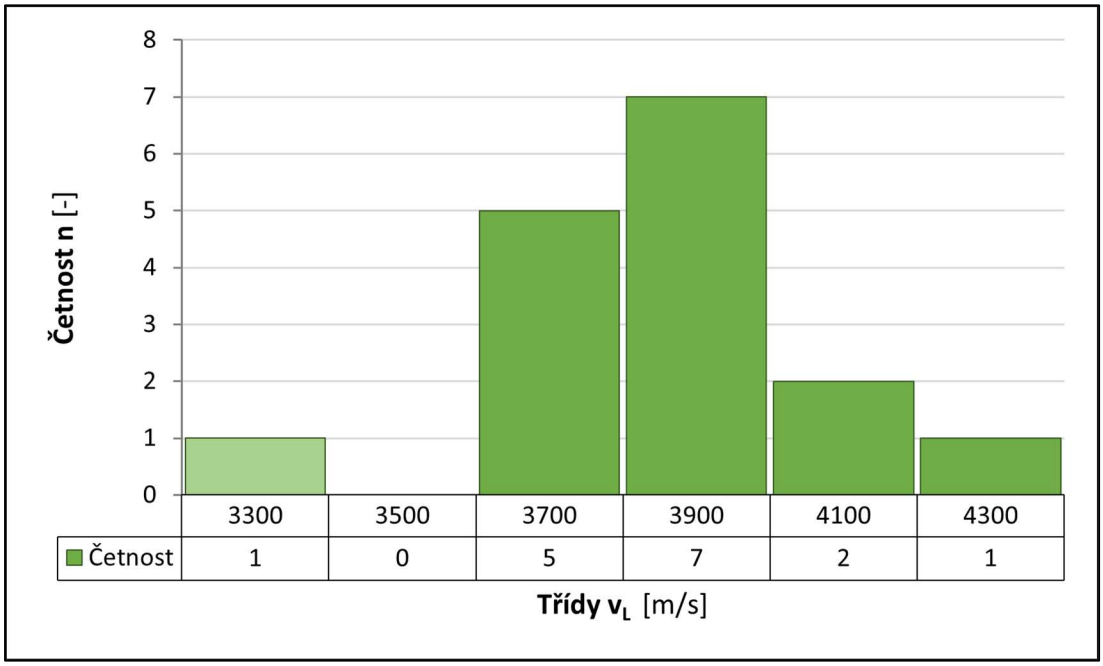
Místo měření	Prvek	Délka [m]	Doba průchodu UZ vlnění [µs]			Rychlost UZ vlnění [m/s]			
			T_1	T_2	T_3	V_{L1}	V_{L2}	V_{L3}	**Průměr V_L**
U1	Sloup	0,300	84,0	84,0	84,2	3571	3571	3563	3568
U2	Průvlak	0,600	182,7	182,2	183,3	3284	3293	3273	3283
U3	Sloup	0,300	79,0	78,2	78,4	3797	3836	3827	3820
U4	Průvlak	0,600	153,1	154,4	154,4	3919	3886	3886	3897
U5	Průvlak	0,600	155,0	154,8	154,0	3871	3876	3896	3881
U6	Sloup	0,300	85,4	85,4	85,4	3513	3513	3513	3513
U7	Průvlak	0,600	153,3	152,9	152,9	3914	3924	3924	3921
U8	Průvlak	0,600	161,5	161,2	161,5	3715	3722	3715	3717
U9	Sloup	0,300	84,1	84,0	84,2	3567	3571	3563	3567
U10	Sloup	0,300	81,7	81,5	81,3	3672	3681	3690	3681
U11	Sloup	0,310	81,2	81,0	81,4	3818	3827	3808	3818
U12	Průvlak	0,320	89,7	89,6	89,6	3567	3571	3571	3570
U13	Sloup	0,600	146,4	146,0	144,5	4098	4110	4152	4120
U14	Průvlak	0,600	153,8	153,5	152,7	3901	3909	3929	3913
U15	Průvlak	0,600	160,7	159,1	159,2	3734	3771	3769	3758
U16	Sloup	0,500	133,9	133,6	133,1	3734	3743	3757	3745
Průměrná hodnota									**3736**

Poznámka: V místech třech nejnižších hodnot došlo k odběru jádrových vývrtů V1 (U9), V2 (U6) a V3 (U2) pro další zkoušení. Tyto hodnoty jsou označeny červenou barvou. Z tabulky lze poznat značný rozptyl hodnot, navíc je důležité zmínit že pro daný beton C20/25 by měly hodnoty rychlosti vycházet kolem 4000 m/s.

Tab. 4: Vyhodnocení rovnoměrnosti betonu na základě ultrazvukového měření

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Počet vzorků	n	16	-
Průměrná hodnota	m_x	3736	m/s
Směrodatná odchylka	s_x	202,7	m/s
Variační součinitel	V_x	5,43	%
Max. variační součinitel	$V_{x,max}$	4,00	%
Rovnoměrnost betonu	NEROVNOMĚRNÝ		

Beton použitý v nosné konstrukci se na základě tohoto měření jeví jako výrazně nerovnoměrný. Toto tvrzení lze podložit faktem, že hodnota variačního součinitele vyšla V_x = 5,43 % což je v porovnání s přípustnou hodnotou danou normou ČSN 73 2011 $V_{x,\,max}$ = 4,00 % poměrně jasný rozdíl.



Graf 1: Histogram četnosti hodnot rychlosti šíření UZ vlnění betonovou konstrukcí.

Poznámka: Z grafu lze vidět, že jedna hodnota byla jasně nižší než ostatní hodnoty. Konkrétně se jedná o zkušební místo U2. Zde byla v dalších zkouškách naměřena nejnižší pevnost betonu.

3.5.2 Jádrové vývrty

Pro upřesnění výsledků nedestruktivního měření pevnosti betonu v tlaku bylo nutné získat zkušební tělesa, proto bylo třeba provést jádrové vývrty. Pro odběr jádrových vývrtů byla použita jádrová vrtačka HILTI DD 120 s jádrovým vrtákem o průměru 75 mm.

Jádrové vývrty patří mezi semidestruktivní metody, kterými je možné zjistit pevnost betonu v tlaku. Jejich prováděním sice dochází k oslabení konstrukce, avšak je to momentálně nejspolehlivější a nejpřesnější metoda. [6]

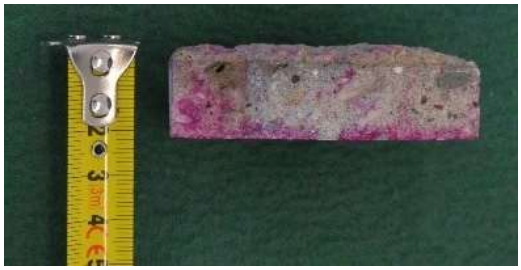
Postup odběru jádrových vývrtů

Vrtačka se na konstrukci připevní pomocí ocelové kotvy OMO, která se natluče do předvrtaného otvoru. Po ukotvení vrtačky dojde k samotnému odebrání vzorku. Při vrtání je nutné zahřívající se jádrový vrták chladit. Chlazení je prováděno za pomoci ponorného čerpadla, které vhání vodu z pomocné nádoby přímo do vrtáku. Přebytečná voda se odsává průmyslovým vysavačem, aby nedocházelo ke zbytečnému znečištění místa odběru.

Obr. 22: Jádrová vrtačka HILTI DD 120 při jádrovém vrtání

Z konstrukce byly odebrány celkem tři jádrové vývrty o průměru 75 mm a délce v rozmezí od 130 mm do 270 mm – viz Obr. 2. Tyto vývrty byly rozděleny pomocí pily s diamantovým kotoučem a dále upraveny broušením tak aby na nich mohly být provedeny zkoušky pevnosti v tlaku. To znamená že z každého vývrtu bylo vytvořeno zkušební těleso tvaru válce o štíhlostním poměru 1:1. Na zbytku vývrtu je dále provedena zkouška karbonatace 1% roztokem fenolftaleinu.

VÝVRT V1	
Jádrový vývrt Ø 75 mm byl odebrán ze sloupu v 1.PP konkrétně v místě UZ sondy U9, vodorovně ve výšce cca 800 mm nad podlahou, poloha zakreslena na Obr. 17 a zdokumentována na Obr. 23.	
 Obr. 23: Pohled na místo sondy V1 do sloupu v 1.PP	 *Obr. 24: Ostění vrtu po vyjmutí vzorku V1*
Popis sondy:	• délka vzorku je cca 130 mm • ze vzorku bylo vyrobeno zkušební těleso pro laboratorní zkoušky
 Obr. 25: Laboratorní fotografie Vzorku V1 o průměru 75 mm a délce cca 130 mm [13]	 *Obr. 26: Fotografie zkoušky karbonatace vzorku z vývrtu V1 fenolftaleinovým testem [13]*
Vlastnosti betonu:	• Kamenivo těžené, frakce 0–16 mm • Maximální velikost zrn do 25 mm • Nízká pórovitost, póry do 2 mm • Karbonatace do hloubky 16 mm

VÝVRT V2	
Jádrový vývrt Ø 75 mm byl odebrán ze sloupu v 2.NP konkrétně v místě UZ sondy U6, vodorovně ve výšce cca 800 mm nad podlahou, poloha zakreslena na Obr. 19 a zdokumentována na Obr. 27	
 Obr. 27: Pohled na místo sondy V2 do sloupu ve 2.NP	 *Obr. 28: Ostění vrtu po vyjmutí vzorku V2*
Popis sondy:	• délka vzorku je cca 160 mm • ze vzorku bylo vyrobeno zkušební těleso pro laboratorní zkoušky
 Obr. 29: Laboratorní fotografie Vzorku V2 o průměru 75 mm a délce cca 160 mm [13]	 *Obr. 30: Fotografie zkoušky karbonatace vzorku z vývrtu V2 fenolftaleinovým testem [13]*
Vlastnosti betonu:	• Kamenivo těžené, frakce 0–16 mm • Maximální velikost zrn do 30 mm • Nízká pórovitost, póry do 2 mm • Karbonatace do hloubky 17 mm

VÝVRT V3	
Jádrový vývrt Ø 75 mm byl odebrán z průvlaku v 2.NP konkrétně v místě UZ sondy U2, vodorovně ve výšce cca 3000 mm nad podlahou, poloha zakreslena na Obr. 19 a zdokumentována na Obr. 31	
 Obr. 31: Pohled na místo sondy V3 do průvlaku ve 2.NP	 *Obr. 32: Ostění vrtu po vyjmutí vzorku V3*
Popis sondy:	• délka vzorku je cca 270 mm • ze vzorku bylo vyrobeno zkušební těleso pro laboratorní zkoušky
 Obr. 33: Laboratorní fotografie Vzorku V2 o průměru 75 mm a délce cca 160 mm [13]	 *Obr. 34: Fotografie zkoušky karbonatace vzorku z vývrtu V2 fenolftaleinovým testem [13]*
Vlastnosti betonu:	• Kamenivo těžené, frakce 0–16 mm • Maximální velikost zrn do 35 mm • Nízká pórovitost, póry do 2 mm • Karbonatace do hloubky 18 mm

3.5.3 Výsledky laboratorních zkoušek betonu

V laboratoři byla vyrobena zkušební tělesa. Z každého vývrtu bylo pomocí pily s diamantovým řezným kotoučem vytvořeno jedno zkušební těleso tvaru válce se štíhlostním poměrem 1:1 – viz obr. 15. Dále bylo provedeno přesné změření rozměrů vzorků a jejich zvážení s přesností na 0,1 g. Pevnost betonu v tlaku byla určena na základě laboratorního zkoušení v hydraulickém lisu. Výsledky zkoušek těchto vývrtů jsou uvedeny v tab. 3. Na koncových částech odebraných vývrtů byla provedena zkouška 1% roztokem fenolftaleinu pro stanovení karbonatace betonu.

Obr. 35: Zkušební tělesa pro stanovení pevnosti betonu v tlaku [13]

Tab. 5: Laboratorní zkoušení pevnosti betonu v tlaku

Označení tělesa	naměřené veličiny				vypočtené veličiny			
	průměr	délka	hmotnost	max. síla	štíhlost	objem. Hmotnost	pevnost zkušebního místa v tlaku	
	d	**L**	**m**	**F**	**λ**	**D**	**$f_{c,\ 1:1\ core}$**	**$f_{c,\ 2:1\ core}$**
	[mm]	**[mm]**	**[kg]**	**[kN]**	**[-]**	**[kg/m^3]**	**[Mpa]**	**[Mpa]**
V 1	73,1	76,2	714,4	133,8	1,04	2234	31,9	26,1
V 2	73,8	76,4	712,7	147,4	1,04	2181	34,5	28,3
V 3	73,8	76,5	710,1	70,1	1,04	2170	16,4	13,4
Minimální hodnota						*2170*	*16,4*	*13,4*
Průměrná hodnota						***2195***	***27,6***	***22,6***

Podle vyhodnocení dle aktuálního znění normy ČSN EN 13791 z roku 2021 lze usoudit, že zkoušený beton nosné konstrukce, co se týče pevnosti v tlaku, odpovídá pevnostní třídě **C20/25**. V tomto znění normy je zmíněno, že charakteristická pevnost v tlaku stanovená ze 3 vývrtů odebraných z nejhorších míst konstrukce se stanoví jako průměr pevností v tlaku těchto 3 vývrtů. Jelikož nebyl splněna podmínka zakotvená v normě, která říká, že se výsledky těchto zkoušek od sebe nesmí lišit o více než 15 %, je sice možné ponechat pevnostní třídu **C20/25**, avšak v místě průvlaku, kde dochází k této odchylce je nutné pevnost snížit na **C12/15**. Navíc je dáno doporučení, v případě významného přitížení nějakého z vybraných prvků ve 2. NP, bude nutné provést jejich podrobnější průzkum. [22]

Obr. 36: Zkušební těleso umístěné v hydraulickém lisu

Obr. 37: Zkušební těleso po provedené zkoušce pevnosti

Na obrázku 36 můžeme vidět porušené těleso po provedené zkoušce pevnosti v tlaku v hydraulickém lisu. Porušení odpovídá vyhovujícímu porušení vzorku podle normy ČSN EN 12390-3 viz obr. 12. Zkoušku lze tedy podle normovaného postupu považovat za platnou.

3.6 Stanovení polohy a průměru výztuže

Použité metody byly zvoleny vzhledem k požadavkům investora, který stanovil nutnost použití co nejmenšího počtu destruktivních metod. Dalším omezením byl požadavek na provedení měření za provozu pronajímaných částí budovy. Jelikož se v 1.NP nachází prodejna potravin a drogerie bylo nutné v těchto místech provést rychlá a čistá měření, které nevyžadují příliš komplikovanou přípravu a následný úklid.

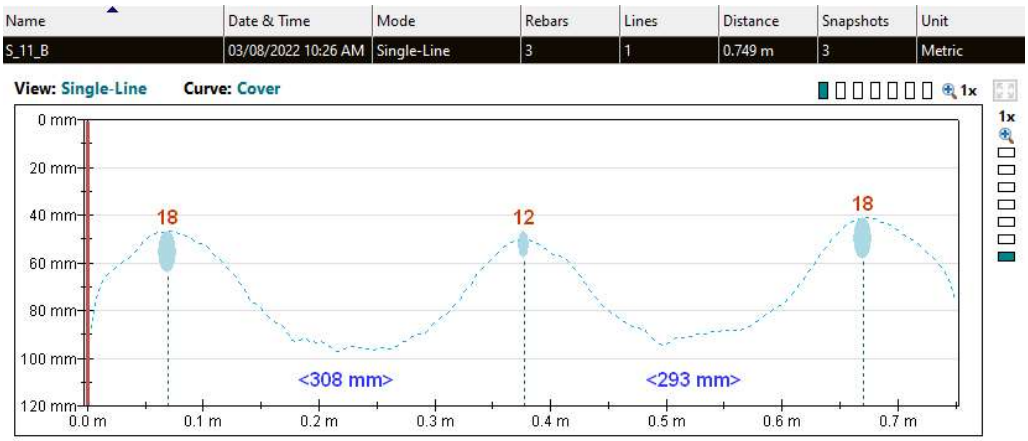
Za těchto podmínek tedy došlo k vyloučení destruktivních metod jako jsou například sekané sondy. S přihlédnutím ke všem požadavkům byly metody uzpůsobeny prostorám, ve kterých byly prováděny. Proto byly zvoleny moderní metody vyznačující se rychlostí a čistotou provedení. V 1.PP a 2.NP navíc došlo k ověření výztuže pomocí sekaných sond, které odstraňují omezení předchozích metod a pomáhají určit typ a parametry vybraných výztuží. Prašnost, které se při sekaní nedá zabránit, byla omezena za použití průmyslových vysavačů.

3.6.1 Elektromagnetický indikátor výztuže Profometer PM-630

Elektromagnetický indikátor Profometer PM-630 byl použit k zjištění vyztužení průvlaků a sloupů rámové konstrukce.

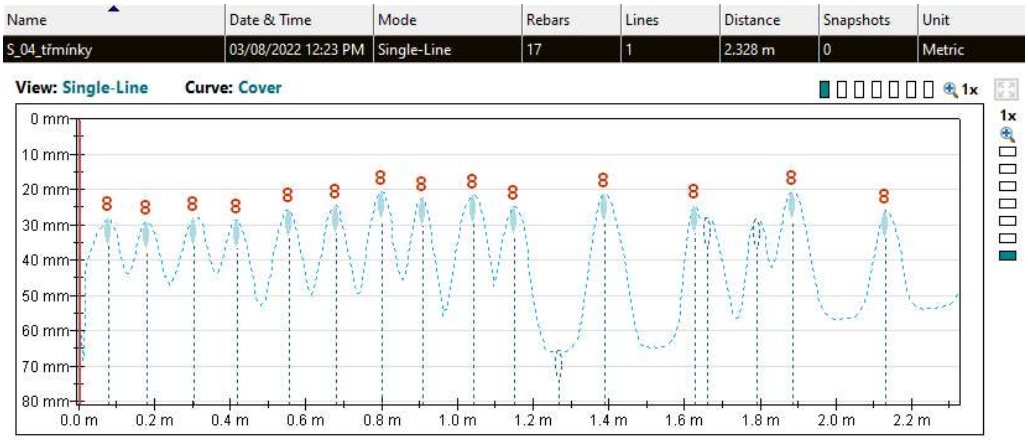
Postup měření

Integrovanou sondu umístěnou v rámečku s kolečky přiložíme na konstrukci a pohybem ve vybraném směru postupujeme po konstrukci. Odhalení výztuže přístroj signalizuje pomocí zvukového znamení a také vizuálně přímo na sondě světelnými prvky – dvě šipky a kruh. Šipky ukazují na polohu výztuže, zatímco kruh potvrzuje umístění sondy přímo nad výztuží.



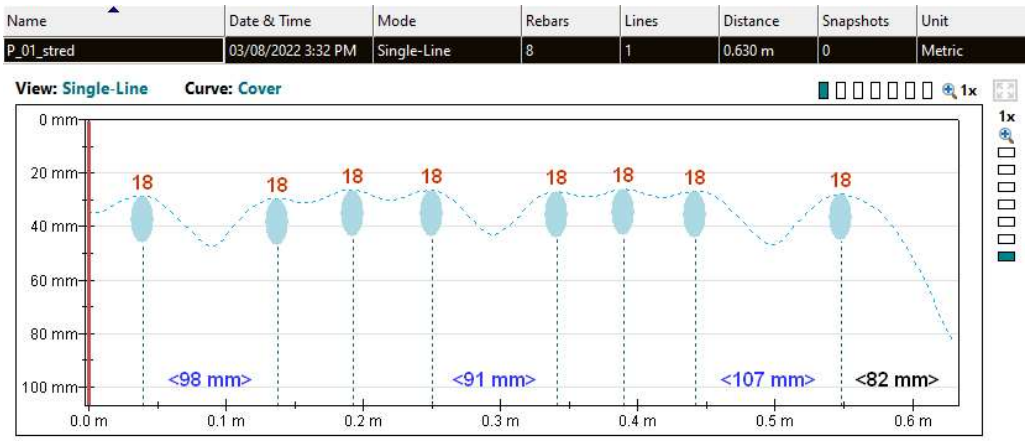
Obr. 38: Záznam z měření polohy a prům. vyztužení na boku sloupu S11 [13]

Poznámka: Ze záznamu lze rozpoznat krytí, průměr a rozmístění hlavních výztuží.



Obr. 39: Záznam z měření polohy třmínků ve sloupu S4 [13]

Poznámka: Ze záznamu lze rozpoznat krytí, průměr a rozteče třmínků.



Obr. 40: Záznam z měření polohy hlavní výztuže uprostřed průvlaku P1 [13]

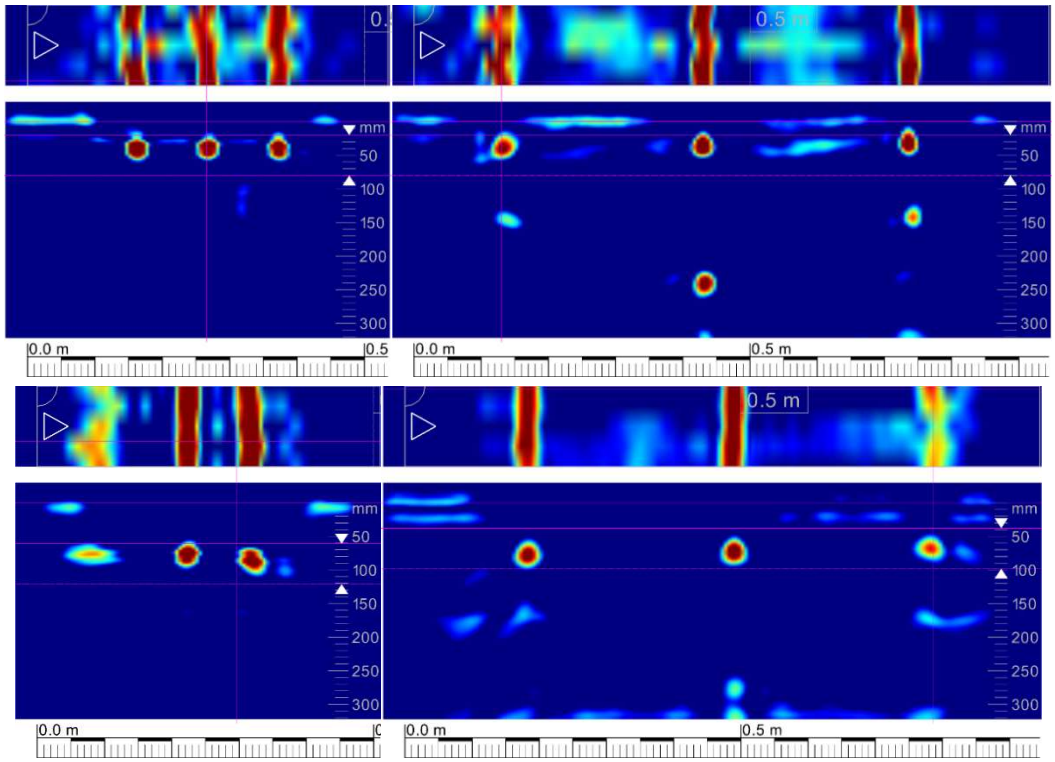
Poznámka: Ze záznamu lze rozpoznat krytí, průměr a poloha výztuží.

3.6.2 Georadar HILTI PS 1000

Pro ověření splnění projektu podle originální dokumentace byl zvolen georadar HILTI PS 1000. Za nevýhodu tohoto přístroje lze považovat fakt, že není schopen určit průměr výztuže, to je ovšem vyřešeno použitím některé z alternativních metod jako je například výše zmíněný Profometer. Pomocí této metody byly skenovány jak části rámu, tak stropní konstrukce. Po změření a zpracování výsledků došlo k porovnání s původní dokumentací.

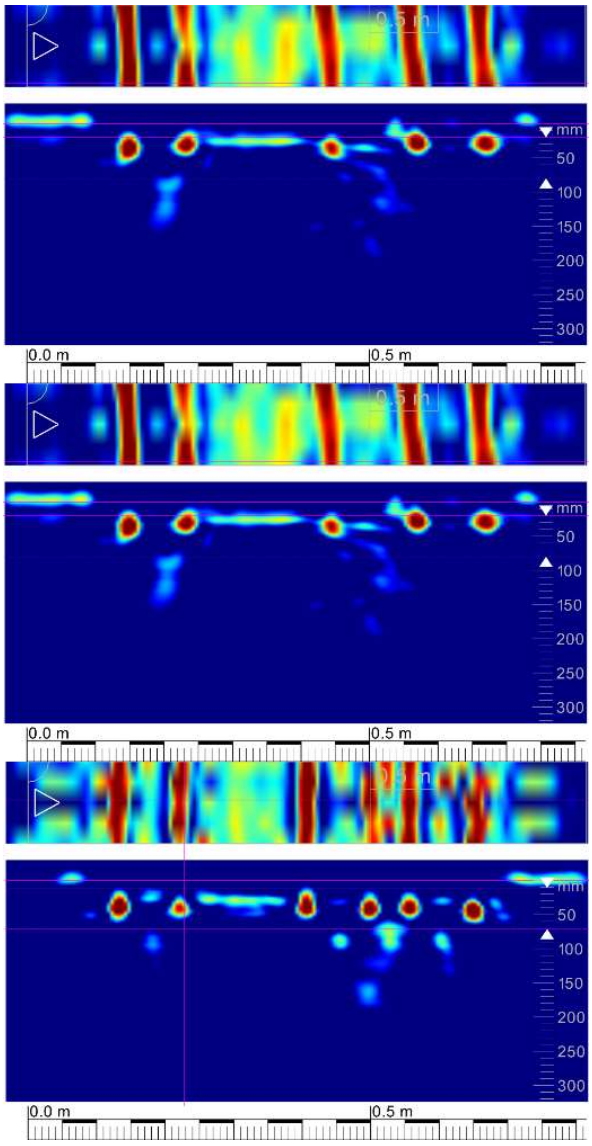
Postup měření

Přístroj přiložíme na zkoumanou část konstrukce, pohybem koleček přístroj zaznamenává pohyb sondy a připojený software zobrazuje přímo na monitoru sondy vykreslení polohy zachycených objektů ve zkoumané části konstrukce.



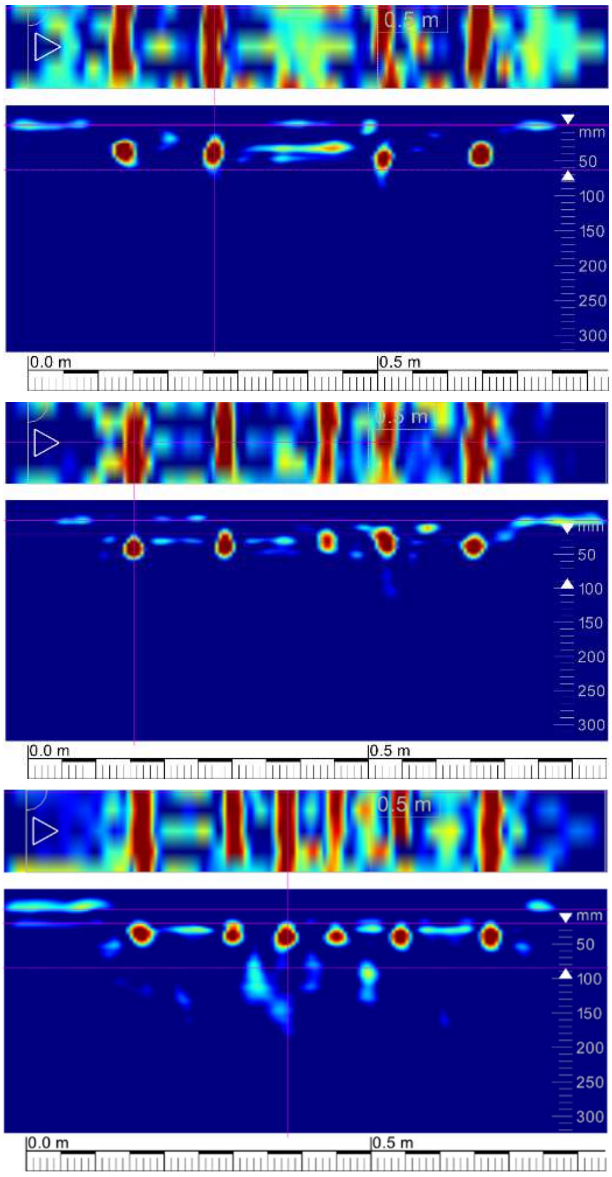
Obr. 41: Výstup z liniových radarových skenů provedených na sloupu S10 [13]

Poznámka: Sken prováděn ve výšce cca 1200 mm nad úrovní podlahy. Ze skenů je patrné že sloup obsahuje 8 prutů hlavní výztuže. Sken byl proveden na všech 4 stěnách sloupu.



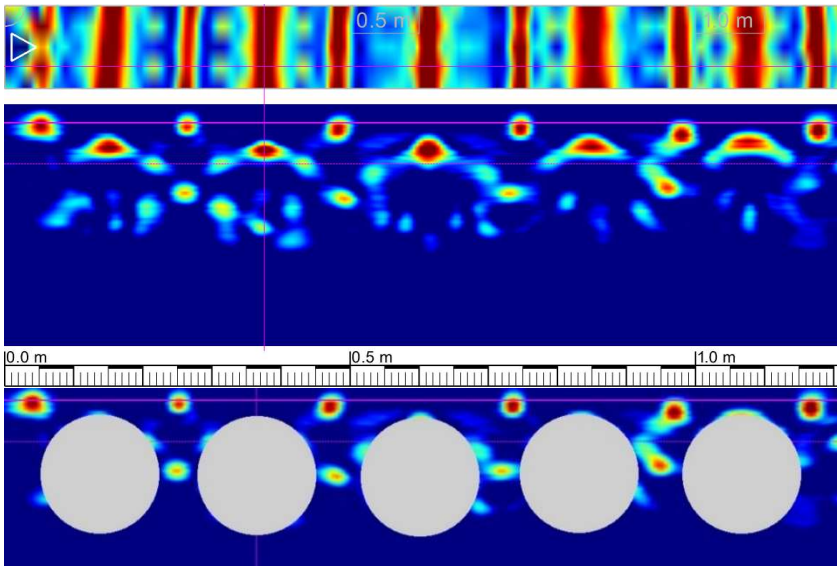
Obr. 42: Liniové skeny pořízené napříč průvlakem P8 ze spodního líce [13]

Z obrázku č. 42 můžeme vidět že horní sken, který byl pořízen u líce sloupu S12 ukázal pětici výztuží, a to v souladu s výkresovou dokumentací. Prostřední sken ve vzdálenosti cca 750 mm od líce sloupu S12 navíc oproti minulému skenu odhalil příložku. Na dolním skenu příložka chybí ale byla zachycena šestá hlavní výztuž (ohyb cca 145 mm od líce sloupu S12). Kvůli měření přístrojem Profometer bylo o 800 dále zachyceno již 7 hlavních výztuží, což znovu odpovídá původní dokumentaci.



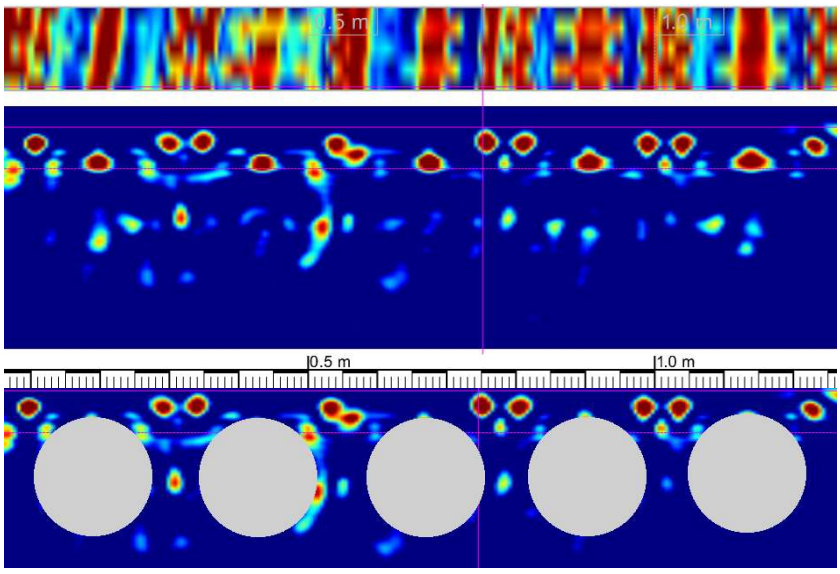
Obr. 43: Liniové radarové skeny průvlakem P7 ze spodního líce [13]

Na obrázku č. 43 lze pozorovat že horní sken pořízený u líce sloupu S11 zobrazil čtveřici hlavních výztuží což je znovu v souladu s původními výkresy. Střední sken umístěný cca 750 mm od líce sloupu S11 zachytil oproti hornímu skenu navíc jednu hlavní výztuž. Na dolním skenu již můžeme pozorovat šestici hlavních výztuží (6. výztuž je ohýbána cca 150 mm od líce sloupu S11). Tyto výsledky opět odpovídají výkresové dokumentaci.



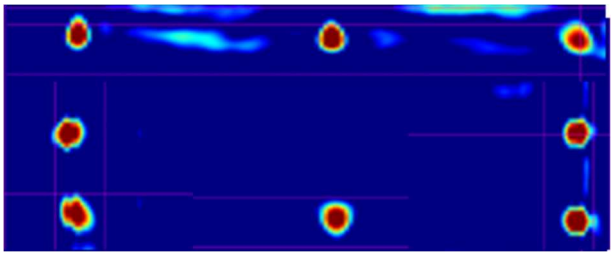
Obr. 44: Liniový radarový sken stropním panelem ve stropu nad 2. NP [13]

Na obrázku č. 44 můžeme na horním skenu pozorovat šestici předpínacích lan ØL 12,5 mm, tyto vlastnosti odpovídají panelu typu Spiroll 16-6-HI-53/720 (PPD 720/306 dle novějšího značení). Na spodním obrázku jsou pro přehlednost doplněny dutiny panelu, ty jsou v původním skenu pouze naznačeny.



Obr. 45: Liniový radarový sken stropním panelem ve stropu nad 1. NP [13]

Na obrázku č. 45 můžeme na horním skenu pozorovat šestici předpínacích lan ØL 12,5 mm, tyto vlastnosti odpovídají panelu typu Spiroll 16-6-HI-55/720 (PPD 720/312 dle novějšího značení). Na spodním obrázku jsou pro přehlednost doplněny dutiny panelu, ty jsou v původním skenu pouze naznačeny.



Obr. 46: Půdorysný pohled na vyztužení sloupu vzniklý spojením skenů [13]

3.6.3 Sekané sondy

Vzhledem k určitým omezením obou výše rozebíraných metod, které spočívá hlavně v nemožnosti určení typů jednotlivých výztuží, bylo nutné k vybraným výztužím provést sekané sondy k ověření a stanovení těchto parametrů. Prašnost vzniklá při sekání byla omezena odsáváním průmyslovými vysavači.

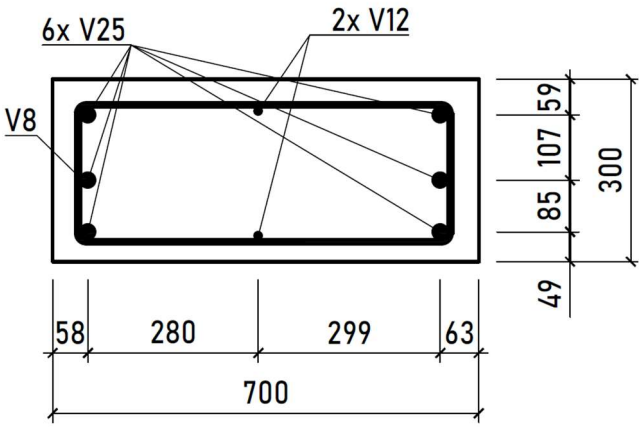
Obr. 47: Sekaná sonda do průvlaku P6

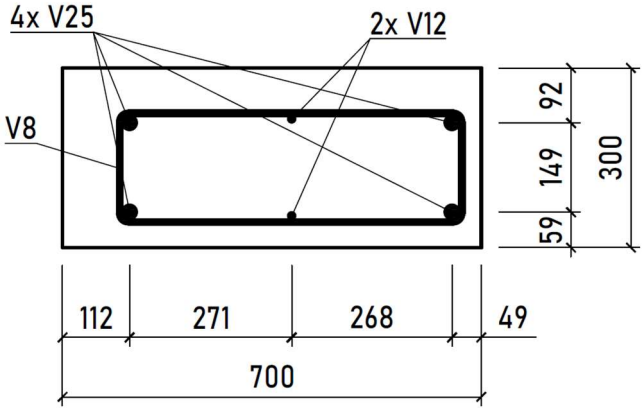
Obr. 48: Sekaná sonda ve sloupu S10

3.6.4 Vyztužení sloupů a průvlaků

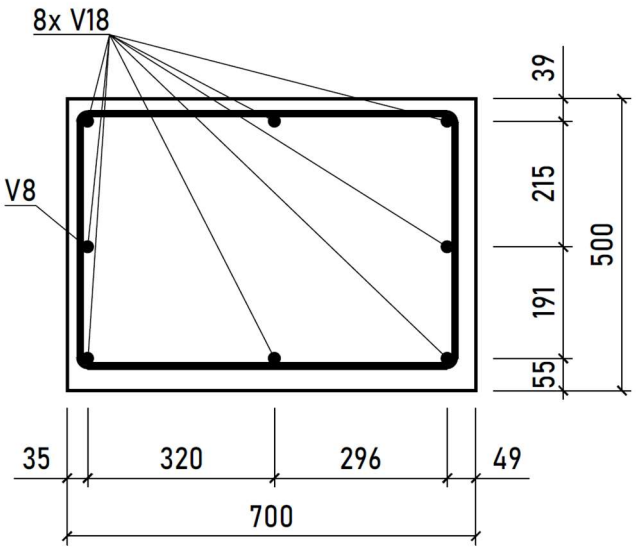
Kombinací výše uvedených metod došlo ke stanovení vyztužení sloupů a průvlaků. Poloha hlavní výztuže a třmínků byla stanovena za použití elektromagnetického indikátoru Profometer PM-630 a georadaru HILTI PS 1000. Zjištěné prvky vyztužení odpovídají původní výkresové dokumentaci. Na několika místech došlo k ověření výztuže pomocí sekaných sond.

3.6.4.1 Vyztužení sloupů a průvlaků v 1. PP a prvků ve stropu nad 1. PP

SONDA S1 – Sloup	
• Nosný sloup S1 v 1. PP • Zjišťování polohy výztuže provedeno za pomoci Profometeru PM-630 a georadaru HILTI PS 1000	
	
Obr. 49: Schematický výkres výztuže sloupu S1 v místě sondy S1	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø25 mm, nejnižší krytí 36 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 36 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,8 m po 115 mm, výše po 245 mm, nejnižší krytí 28 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

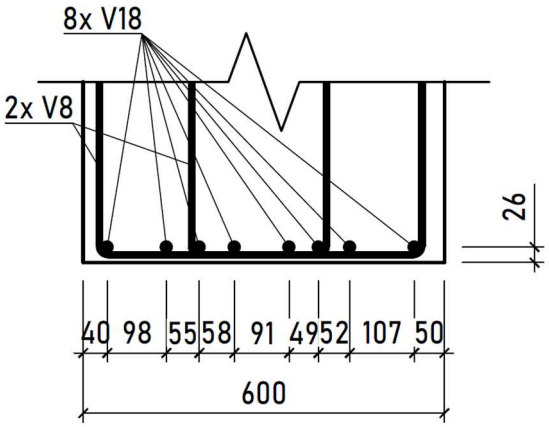
SONDA S2 – Sloup	
• Nosný sloup S2 v 1. PP • Zjišťování polohy výztuže provedeno za pomoci Profometeru PM-630 a georadaru HILTI PS 1000	
	
Obr. 50: Schematický výkres výztuže sloupu S2 v místě sondy S2	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø25 mm, nejnižší krytí 36 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 46 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 1,5 m po 111 mm, výše po 249 mm, nejnižší krytí 25 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

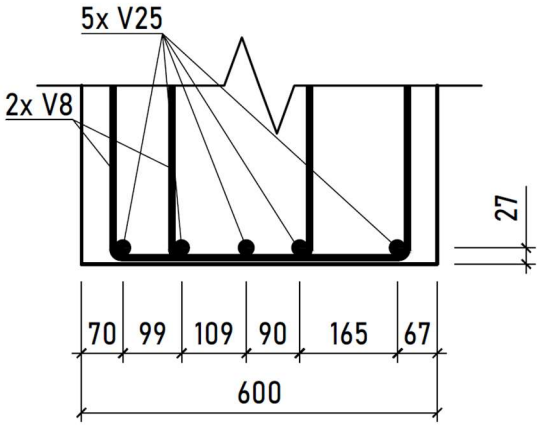
SONDA S3 – Sloup
• Nosný sloup S3 v 1. PP • Zjišťování polohy výztuže provedeno za pomoci Profometeru PM-630 a georadaru HILTI PS 1000

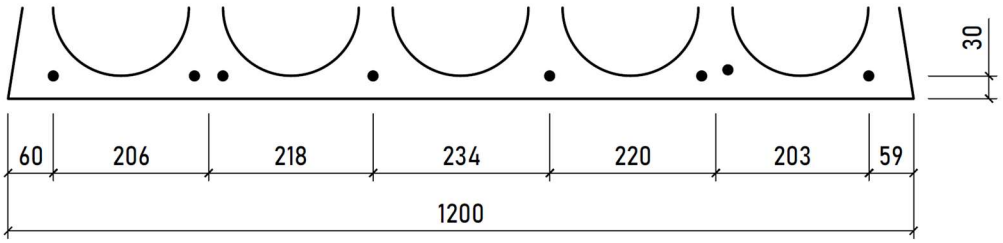


Obr. 51: Schematický výkres výztuže sloupu S3 v místě sondy S3

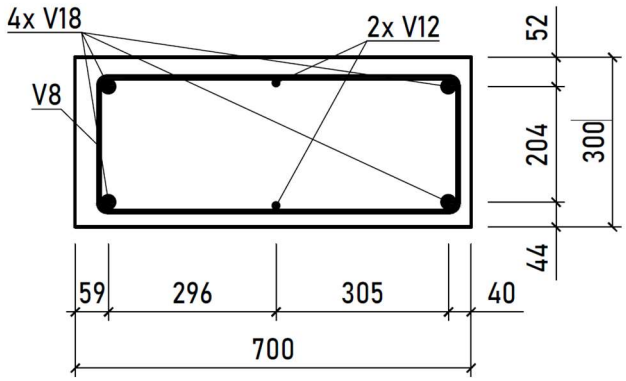
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 8x V Ø25 mm, nejnižší krytí 26 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,8 m po 126 mm, výše po 205 mm, nejnižší krytí 18 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

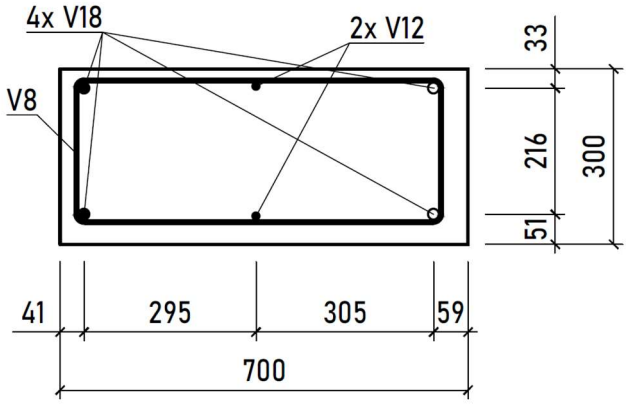
SONDA P1 – Průvlak	
• Průvlak P1, strop nad 1. PP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 52: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P1 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 8x V Ø25 mm, nejnižší krytí 17 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 360 mm, nejnižší krytí 9 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 17 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 180 mm, nejnižší krytí 9 mm
Ohyby:	• Příložka V Ø25 mm ve vzdálenosti 75 mm od líce sloupu (nebylo možné ověřit) • Hlavní výztuž 160 mm a 255 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

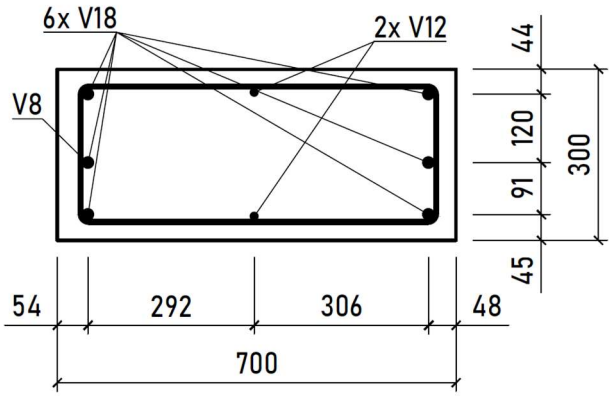
SONDA P2 – Průvlak	
• Průvlak P2, strop nad 1. PP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 53: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P2 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 5x V Ø25 mm, nejnižší krytí 15 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 355 mm, nejnižší krytí 7 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 3x V Ø18 mm, nejnižší krytí 15 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 183 mm, nejnižší krytí 7 mm
Ohyby:	• Příložka V Ø25 mm ve vzdálenosti 70 mm od líce sloupu (průměr nebylo možné ověřit) • Hlavní výztuž 160 mm a 250 mm od líce sloupu • Vpravo hlavní výztuž 70 mm a 160 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

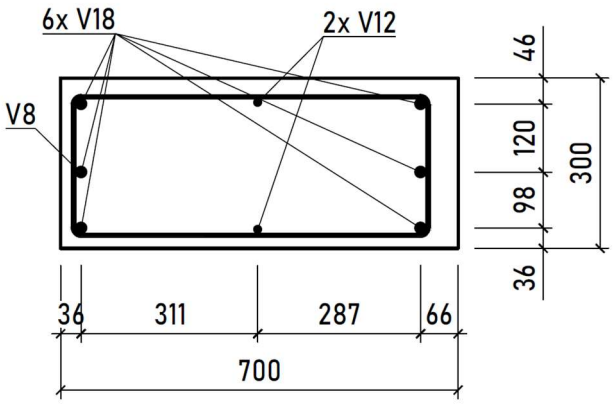
SONDA D3 – Deska	
• Deska D3, stropní panel nad 1. PP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 54: Schematický výkres výztuže zjištěné ve stropní desce v místě sondy D3	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
• 8 předpínacích lan ØL 12,5 mm, nejnižší krytí 24 mm	
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá panelu typu Spiroll 16-6-HI-54/720, (PPD 720/310). Ve stropu by dle dokumentace měly být umístěné panely Spiroll 16-6-HI-54/720 (PPD 720/310) a Spiroll 16-6-HI-55/720 (PPD 720/312). Vzhledem k tomu, že výkresová dokumentace stropu nad 1. NP chybí, nelze s jistotou říci, zda byl použit správně.

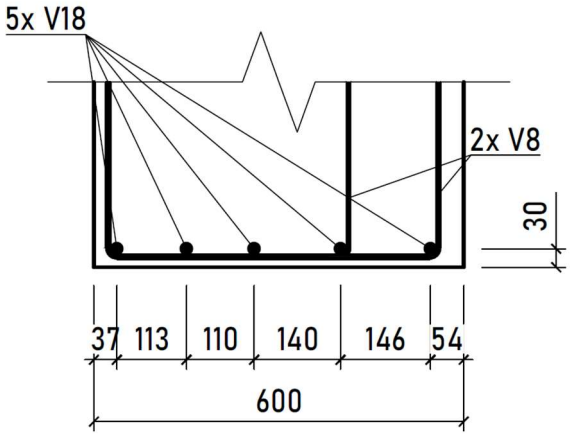
3.6.4.2 Vyztužení sloupů a průvlaků v 1. NP a prvků ve stropu nad 1. NP

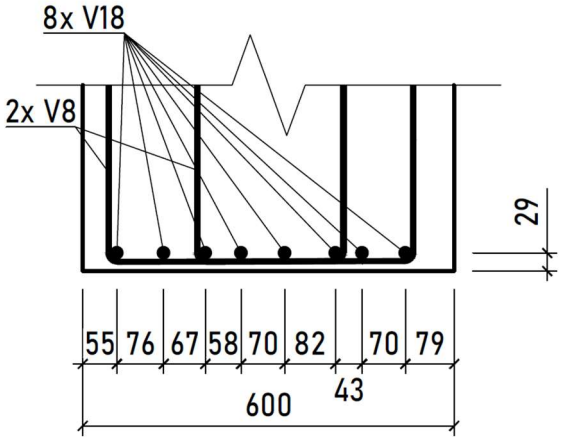
SONDA S4 – Sloup	
• Nosný sloup S4 v 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 55: Schematický výkres výztuže sloupu S4 v místě sondy S4	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 31 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 35 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 1,2 m po 119 mm, výše po 245 mm, nejnižší krytí 22 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

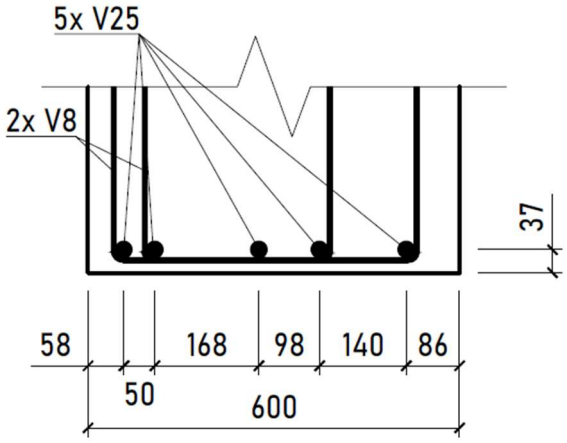
SONDA S5 – Sloup	
• Nosný sloup S5 v 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 56: Schematický výkres výztuže sloupu S5 v místě sondy S5	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 21 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 21 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 1,2 m po 113 mm, výše po 240 mm, nejnižší krytí 13 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

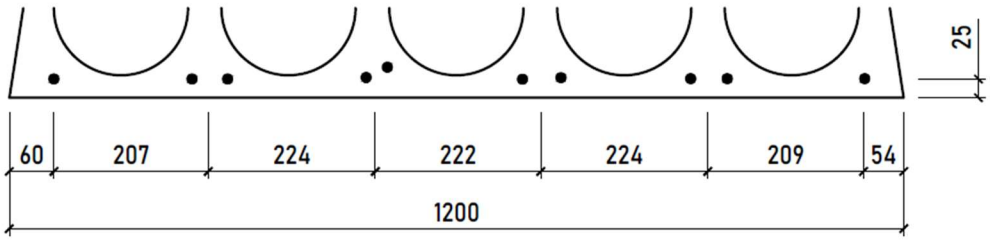
SONDA S6 – Sloup	
• Nosný sloup S6 v 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 57: Schematický výkres výztuže sloupu S6 v místě sondy S6	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 35 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 35 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,9 m po 113 mm, výše po 240 mm, nejnižší krytí 27 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

SONDA S7 – Sloup	
• Nosný sloup S7 v 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 58: Schematický výkres výztuže sloupu S7 v místě sondy S7	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 27 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 27 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,9 m po 126 mm, výše po 249 mm, nejnižší krytí 19 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

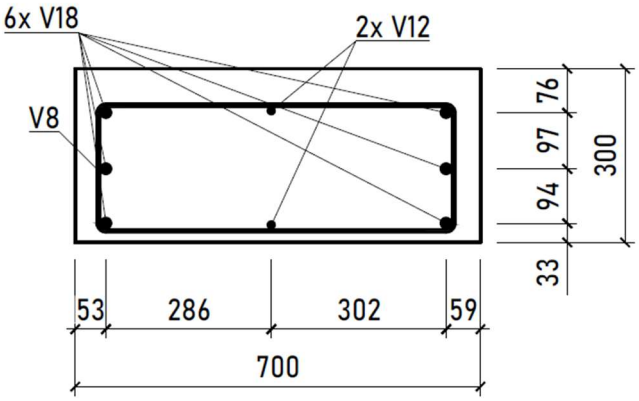
SONDA P3 – Průvlak	
• Průvlak P3, strop nad 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 59: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P3 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 5x V Ø18 mm, nejnižší krytí 21 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 378 mm, nejnižší krytí 13 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 2x V Ø18 mm, nejnižší krytí 21 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 231 mm, nejnižší krytí 13 mm
Ohyby:	• Hlavní výztuž 75 mm, 170 mm a 270 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

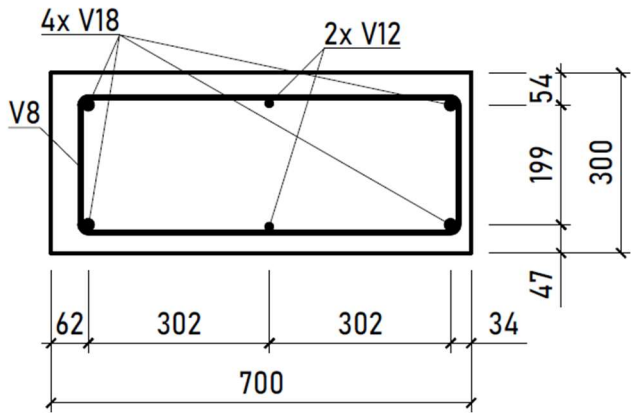
SONDA P4 – Průvlak	
• Průvlak P4, strop nad 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 60: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P4 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 8x V Ø18 mm, nejnižší krytí 20 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 373 mm, nejnižší krytí 12 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 20 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 172 mm, nejnižší krytí 12 mm
Ohyby:	• Příložka V Ø25 mm ve vzdálenosti 70 mm od líce sloupu • Hlavní výztuž 160 mm a 250 mm od líce sloupu • Vpravo hlavní výztuž 70 mm a 170 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

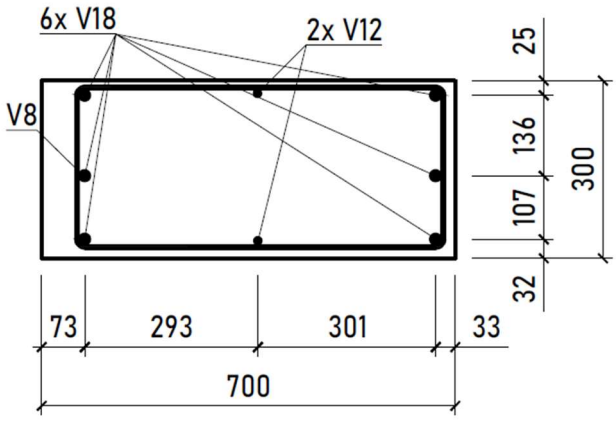
SONDA P5 – Průvlak	
• Průvlak P5, strop nad 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 61: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P5 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 5x V Ø25 mm, nejnižší krytí 28 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 379 mm, nejnižší krytí 18 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 3x V Ø25 mm, nejnižší krytí 18 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 174 mm, nejnižší krytí 18 mm
Ohyby:	• Vpravo příložka V Ø25 mm ve vzdálenosti 70 mm od líce sloupu • Vlevo hlavní výztuž 70 mm a 160 mm od líce sloupu • Hlavní výztuž 160 mm a 250 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

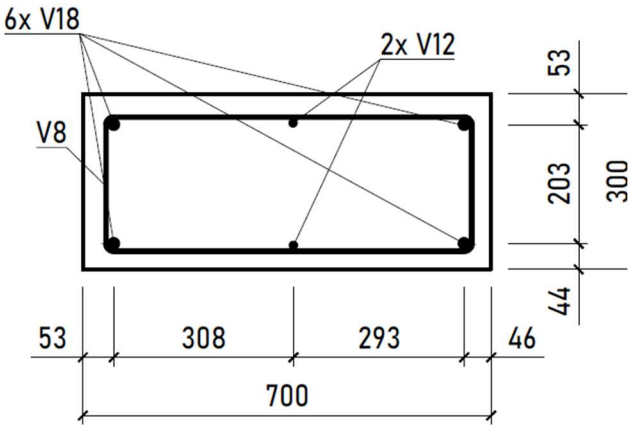
SONDA D2 – Deska	
• Deska D2, stropní panel nad 1. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 62: Schematický výkres výztuže zjištěné ve stropní desce v místě sondy D2	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
• 8 předpínacích lan ØL 12,5 mm, nejnižší krytí 19 mm	
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá panelu typu Spiroll 16-6-HI-55/720, dle novějšího značení PPD 720/312. Dle původní výkresové dokumentace měl být použit panel Spiroll 16-6-HI-54/720 (PPD 720/310), vzhledem k vyšší únosnosti použitého panelu lze uvažovat odchylku na stranu bezpečnou.

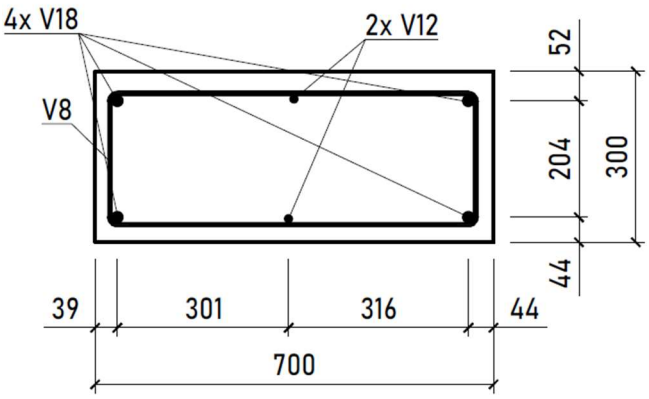
3.6.4.3 Vyztužení sloupů a průvlaků ve 2. NP a prvků ve stropu nad 2. NP

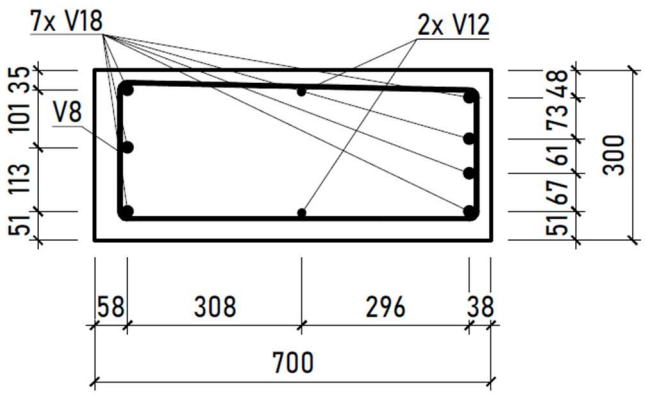
SONDA S8 – Sloup	
• Nosný sloup S8 v 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 63: Schematický výkres výztuže sloupu S8 v místě sondy S8	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 24 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 24 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 1,1 m po 125 mm, výše po 243 mm, nejnižší krytí 16 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

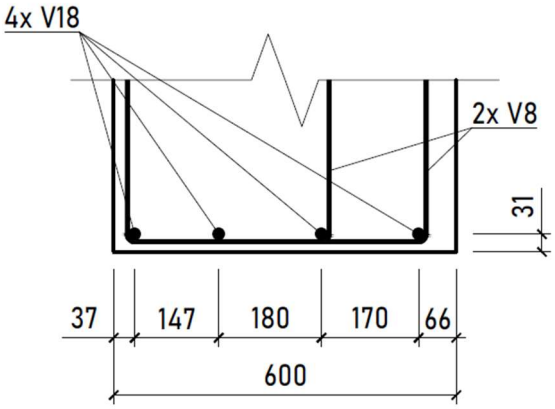
SONDA S9 – Sloup	
• Nosný sloup S9 v 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 64: Schematický výkres výztuže sloupu S9 v místě sondy S9	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 25 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 38 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,9 m po 122 mm, výše po 248 mm, nejnižší krytí 17 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

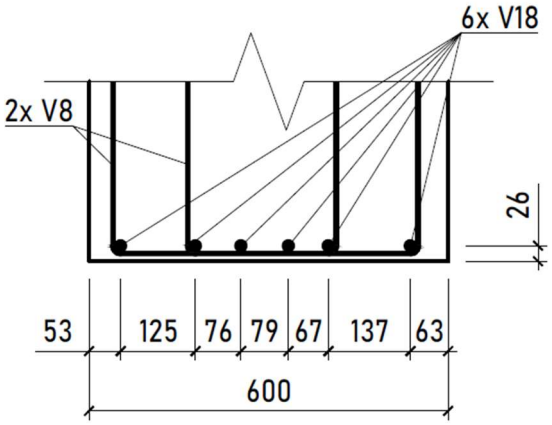
SONDA S10 – Sloup	
• Nosný sloup S10 v 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000, ověření sekanou sondou	
	
Obr. 65: Schematický výkres výztuže sloupu S10 v místě sondy S10	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 16 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 16 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,9 m po 126 mm, výše po 212 mm, nejnižší krytí 8 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

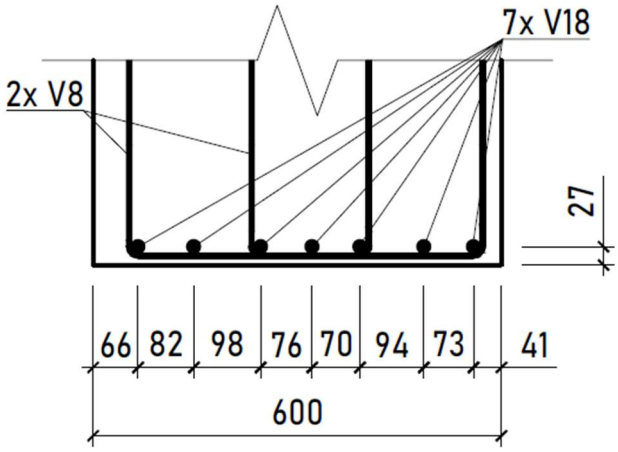
SONDA S11 – Sloup	
• Nosný sloup S11 v 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 66: Schematický výkres výztuže sloupu S11 v místě sondy S11	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 35 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 35 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 0,9 m po 127 mm, výše po 237 mm, nejnižší krytí 26 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

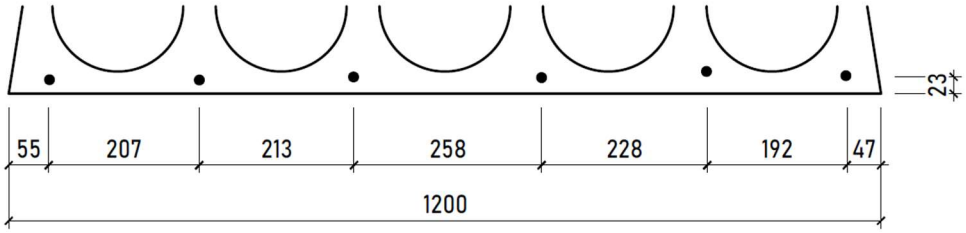
SONDA S12 – Sloup	
• Nosný sloup S12 v 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 67: Schematický výkres výztuže sloupu S12 v místě sondy S12	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 30 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 35 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 1,0 m po 125 mm, výše po 255 mm, nejnižší krytí 22 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

SONDA S13 – Sloup	
• Nosný sloup S13 v 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 68: Schematický výkres výztuže sloupu S13 v místě sondy S13	
Stanovené vyztužení	
Hlavní výztuž:	• 7x V Ø18 mm, nejnižší krytí 26 mm • 2x V Ø12, nejnižší krytí 26 mm
Třmínky:	• dvoustřižné V Ø8 mm, do 1,0 m po 125 mm, výše po 228 mm, nejnižší krytí 16 mm
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

SONDA P6 – Průvlak	
• Průvlak P6, strop nad 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 69: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P6 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 22 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 344 mm, nejnižší krytí 14 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 3x V Ø18 mm, nejnižší krytí 22 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 271 mm, nejnižší krytí 14 mm
Ohyby:	• Hlavní výztuž 70 mm a 160 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

SONDA P7 – Průvlak	
• Průvlak P7, strop nad 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 70: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P7 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 6x V Ø18 mm, nejnižší krytí 17 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 408 mm, nejnižší krytí 9 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 4x V Ø18 mm, nejnižší krytí 17 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 215 mm, nejnižší krytí 9 mm
Ohyby:	• Hlavní výztuž 70 mm a 150 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

SONDA P8 – Průvlak	
• Průvlak P8, strop nad 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 71: Schematický výkres výztuže v průvlaku v místě sondy P8 uprostřed rozpětí	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
Hlavní výztuž:	• 7x V Ø18 mm, nejnižší krytí 18 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 399 mm, nejnižší krytí 10 mm
Stanovené vyztužení u podpory	
Hlavní výztuž:	• 5x V Ø18 mm, nejnižší krytí 18 mm
Třmínky:	• čtyřstřižné V Ø8 mm, po 209 mm, nejnižší krytí 10 mm
Ohyby:	• Vlevo příložka V Ø18 mm ve vzdálenosti 65 mm od líce sloupu • Vpravo hlavní výztuž 65 mm a 145 mm od líce sloupu • Hlavní výztuž 145 mm a 225 mm od líce sloupu
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá původní výkresové dokumentaci.

SONDA D1 – Deska	
• Deska D1, stropní panel nad 2. NP • Profometer PM-630 a georadar HILTI PS 1000	
	
Obr. 72: Schematický výkres výztuže zjištěné ve stropní desce v místě sondy D1	
Stanovené vyztužení uprostřed rozpětí	
• 6 předpínacích lan ØL 12,5 mm, nejnižší krytí 17 mm	
Poznámka:	Zjištěné vyztužení odpovídá panelu typu Spiroll 16-6-HI-53/720, dle novějšího značení PPD 720/306, což je v souladu s výkresovou dokumentací.

4 ZÁVĚR

Teoretická část práce byla věnována zkoumaným vlastnostem železobetonu a následně byly popsány a blíže rozebrány vybrané nejpoužívanější diagnostické metody pro zkoumání železobetonových konstrukcí.

Stanoveným cílem praktické části práce bylo zpracování stavebně technického průzkumu železobetonové konstrukce v Rousínově. Posouzení konstrukce bylo provedeno z důvodu plánované rekonstrukce objektu. Na žádost investora byly použity především metody nedestruktivní, které doplnily jádrové vývrty a malé množství sekaných sond. Pevnost v tlaku u betonu použitého v konstrukci byla stanovena kombinací jádrových vývrtů a ultrazvukových zkoušek. Beton byl podle výkresové dokumentace značen jako B 330 což by podle převodní tabulky v normě ČSN ISO 13822 odpovídalo betonu C 23/28 podle platné normy ČSN EN 206. Podle zkoušky pevnosti v tlaku byla pevnostní třída stanovena jako C20/25 a v nejhorším místě konstrukce, průvlaku P6, dokonce jako C 12/15.

Dále proběhlo stanovení polohy a průměru výztuže ve vybraných reprezentativních sloupech a průvlacích a také ověření skladeb stropů. Toto bylo provedeno za pomoci georadaru HILTI PS 1000 a elektromagnetického indikátoru výztuže Profometer PM-630. Z výsledku lze konstatovat že vyztužení všech sloupů a průvlaků odpovídá výkresové dokumentaci. Ačkoliv stropní deska D2 není umístěna správně, je odchylka v únosnosti stropní desky na stranu bezpečnou. U desky D3 nelze s jistotou konstatovat, zda byla použita správně, protože výkresová dokumentace stropu daného patra chybí.

Cílem práce bylo nabídnout čtenářům představení ústředního tématu práce a poukázat na jeho uplatnitelnost v praxi, toho bylo dosaženo v teoretické a praktické části bakalářské práce.

5 BIBLIOGRAFIE

[1] *Roman concrete* [online]. [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: http://www.romanconcrete.com/

[2] MÖRSCH, Emil. *Concrete-Steel Construction: Der Eisenbetonbau*. 1. New York: The Engineering news publishing company, 1909.

[3] MIKULČÁK, Jiří, Jura CHARVÁT, Martin MACHÁČEK a František ZEMÁNEK. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky a vzorce pro střední školy*. 2. vydání. Praha: Prometheus, 2019. ISBN 978-80-7196-477-3.

[4] Železobeton – Železový beton. In: *Ebeton.cz* [online]. [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/pojmy/zelezobeton-zelezovy-beton/

[5] CIKRLE, Petr. *Diagnostické metody ve stavebnictví*. 1. Brno: Fakulta stavební VUT v Brně, 2011.

[6] HOBST, Leonard, Jiří ADÁMEK, Petr CIKRLE a Pavel SCHMID. *Diagnostika stavebních konstrukcí*. 1. Brno: Vysoké učení technické, Fakulta stavební VUT v Brně, 2005.

[7] *ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 43 s.

[8] *ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu - Společná ustanovení*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.

[9] Original Schmidt Aplication 01.jpg. In: *Www.proceq.com* [online]. Switzerland: Proceq, 2001 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Original%20Schmidt%20Aplication%2001.jpg

[10] KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.

[11] Pundit PL-200 Application 01.jpg. In: *Www.proceq.com* [online]. Switzerland: Proceq, 2001 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Pundit%20PL-200%20Application%2001.jpg

[12] CIKRLE, Petr, Dalibor KOCÁB a Ondřej POSPÍCHAL. ZKOUŠENÍ BETONU ULTRAZVUKOVOU IMPULSOVOU METODOU. In: *Ebeton.cz* [online]. Brno, 2013 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://www.ebeton.cz/clanky/2013-3-74-zkouseni-betonu-ultrazvukovou-impulsovou-metodou/

[13] ANTON, Ondřej. *Stavebně technický průzkum polyfunkčního objektu v Rousínově: Technická Zpráva*. Brno: Ústav stavebního zkušebnictví, Fakulta stavební VUT v Brně, 2022.

[14] *ČSN EN 12504-4 (731303) Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

[15] Pundit Operating Instructions. In: *Www.proceq.com* [online]. Switzerland: Proceq SA, 2017 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Pundit%202_Operating%20Instructions_English.pdf

[16] PROFOMETER® PM-600 / PM-630 ADVANCED CONCRETE COVER METERS. In: *Www.metesco.nl* [online]. Switzerland: Proceq, 2013 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://www.metesco.nl/media/15eddogj/proceq-profometer-pm-600-serie-brochure.pdf

[17] ANTON, Ondřej, Petr CIKRLE a Věra HEŘMÁNKOVÁ. Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech. In: *Stavba.tzb-info.cz* [online]. Brno: FAST VUT v Brno, Ústav stavebního zkušebnictví, 2014 [cit. 2022-05-22].

Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technickych-pruzkumech

[18] *ČSN EN 12504-1 (731303) Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

[19] *ČSN EN 12390-3 Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.

[20] Mapa: Sušilovo náměstí 367/1, Rousínov, Česko. In: *Mapy.cz* [online]. [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://mapy.cz/zakladni?x=16.8795134&y=49.2032623&z=17&source=addr&id=10374934

[21] PUNDIT® PL-200 ULTRASONIC PULSE VELOCITY. In: *Www.proceq.com* [online]. Switzerland: Proceq SA, 2014 [cit. 2022-05-22]. Dostupné z: https://d3d9uh9i6bytyw.cloudfront.net/asset/Downloads/Pundit%20PL-2_Sales%20Flyer_English_high.pdf

[22] *ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

6 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Použití tvrdoměru typu Schmidt 22
Obr. 2: Měření ultrazvukovou impulsní metodou 22
Obr. 3: Přímá metoda prozvučování 24
Obr. 4: Nepřímá metoda prozvučování 24
Obr. 5: Polopřímá metoda prozvučování 24
Obr. 6: Měření výztuže za použití Profometeru PM-630 25
Obr. 7: Liniový sken georadarem 26
Obr. 8: Rastr pro plošný sken 26
Obr. 9: Jádrová vrtačka upnutá do vrtacího stojanu 27
Obr. 10: Jádrový vývrt odebraný ze železobetonové konstrukce 28
Obr. 11: Hydraulický lis 28
Obr. 12: Vyhovující způs. porušení zkuš. válců dle ČSN EN 12390-3 29
Obr. 13: Vybrané nevyhovující porušení zkuš. válců dle ČSN EN 12390-3 29
Obr. 14: Provádění sekané sondy 30
Obr. 15: Pohled ze Sušilova náměstí 31
Obr. 16: Situace širších vztahů 32
Obr. 17: Schéma rozmístění jednotl. sond ve sl. v 1. PP a stropu nad 1. PP 34
Obr. 18: Schéma rozmístění jednotl. sond ve sl. v 1. NP a stropu nad 1. NP 35
Obr. 19: Schéma rozmístění jednotl. sond ve sl. v 2. NP a stropu nad 2. NP 36
Obr. 20: Místo připravené pro UZ zkoušku umístěné na průvlaku P7 37
Obr. 21: Příklad zkušebních míst na sloupech připravených pro UZ zk. 38
Obr. 22: Jádrová vrtačka HILTI DD 120 při jádrovém vrtání 41
Obr. 23: Pohled na místo sondy V1 do sloupu v 1.PP 42
Obr. 24: Ostění vrtu po vyjmutí vzorku V1 42
Obr. 25: Laboratorní fotografie Vz. V1 o prům. 75 mm a délce cca 130 mm 42
Obr. 26: Fotografie zk. karbon. vz. z vývrtu V1 fenolftaleinovým testem 42
Obr. 27: Pohled na místo sondy V2 do sloupu ve 2.NP 43
Obr. 28: Ostění vrtu po vyjmutí vzorku V2 43
Obr. 29: Laboratorní fotografie Vz.V2 o prům. 75 mm a délce cca 160 mm 43
Obr. 30: Fotografie zk. karbon. vzorku z vývrtu V2 fenolftaleinovým test. 43
Obr. 31: Pohled na místo sondy V3 do průvlaku ve 2.NP 44
Obr. 32: Ostění vrtu po vyjmutí vzorku V3 44

Obr. 33: Laboratorní fot. Vzorku V2 o prům. 75 mm a délce cca 160 mm [. 44
Obr. 34: Fotografie zk. karbon. vz. z vývrtu V2 fenolftaleinovým testem..... 44
Obr. 35: Zkušební tělesa pro stanovení pevnosti betonu v tlaku 45
Obr. 36: Zkušební těleso umístěné v hydraulickém lisu..... 46
Obr. 37: Zkušební těleso po provedené zkoušce pevnosti 46
Obr. 38: Zázn. z měření polohy a prům. vyztužení na boku sloupu S11..... 48
Obr. 39: Záznam z měření polohy třmínků ve sloupu S4..... 48
Obr. 40: Zázn. z měření polohy hlavní výztuže uprostřed průvlaku P1 48
Obr. 41: Výstup z liniových radarových skenů provedených na sl. S10 49
Obr. 42: Liniové skeny pořízené napříč průvlakem P8 ze spodního líce 50
Obr. 43: Liniové radarové skeny průvlakem P7 ze spodního líce..... 51
Obr. 44: Liniový radarový sken stropním panelem ve stropu nad 2. NP..... 52
Obr. 45: Liniový radarový sken stropním panelem ve stropu nad 1. NP..... 52
Obr. 46: Půdorysný pohled na vyztužení sloupu vzniklý spojením skenů.... 53
Obr. 47: Sekaná sonda do průvlaku P6..... 53
Obr. 48: Sekaná sonda ve sloupu S10..... 53
Obr. 49: Schematický výkres výztuže sloupu S1 v místě sondy S1 54
Obr. 50: Schematický výkres výztuže sloupu S2 v místě sondy S2..... 55
Obr. 51: Schematický výkres výztuže sloupu S3 v místě sondy S3..... 56
Obr. 52: Schem. výkres výzt. v průvl. v místě sondy P1 uprostřed rozpětí... 57
Obr. 53: Schem. výkres výzt. v průvl. v místě sondy P2 uprostřed rozpětí... 58
Obr. 54: Schem. výkres výztuže zjištěné ve strop. desce v místě sondy D3 . 59
Obr. 55: Schematický výkres výztuže sloupu S4 v místě sondy S4..... 60
Obr. 56: Schematický výkres výztuže sloupu S5 v místě sondy S5..... 61
Obr. 57: Schematický výkres výztuže sloupu S6 v místě sondy S6..... 62
Obr. 58: Schematický výkres výztuže sloupu S7 v místě sondy S7..... 63
Obr. 59: Schem. výkres výzt. v průvl. v místě sondy P3 uprostřed rozpětí... 64
Obr. 60: Schem. výkres výzt. v průvl.v místě sondy P4 uprostřed rozpětí.... 65
Obr. 61: Schem. výkres výzt. v průvl. v místě sondy P5 uprostřed rozpětí... 66
Obr. 62: Schem. výkres výzt. zjištěné ve stropní desce v místě sondy D2 67
Obr. 63: Schematický výkres výztuže sloupu S8 v místě sondy S8..... 68
Obr. 64: Schematický výkres výztuže sloupu S9 v místě sondy S9..... 69
Obr. 65: Schematický výkres výztuže sloupu S10 v místě sondy S10..... 70
Obr. 66: Schematický výkres výztuže sloupu S11 v místě sondy S11..... 71

Obr. 67: Schematický výkres výztuže sloupu S12 v místě sondy S12 72
Obr. 68: Schematický výkres výztuže sloupu S13 v místě sondy S13 73
Obr. 69: Schem. výkres výz. v průvl. v místě sondy P6 uprostřed rozpětí 74
Obr. 70: Schem. výkres výzt. v průvl. v místě sondy P7 uprostřed rozpětí ... 75
Obr. 71: Schem. výkres výzt. v průvl. v místě sondy P8 uprostřed rozpětí ... 76
Obr. 72: Schem. výkres výzt. zjištěné ve stropní desce v místě sondy D1 77

7 SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Tab. 1:	Druhy, značky, třídy betonů a převod značení	15
Tab. 2:	Kvalita betonu podle rychlosti šíření ultrazvuku	23
Tab. 3:	Stanovení rychlosti šíření UZ vlnění betonem na konstrukci	39
Tab. 4:	Vyhodnocení rovnoměrnosti betonu na základě UZ měření	40
Tab. 5:	Laboratorní zkoušení pevnosti betonu v tlaku	45
Graf 1:	Hist. četnosti hodnot rychlosti šíření UZ vlnění betonovou kcí	39