



# 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 PŘEDPJATÉ MOSTNÍ KONSTRUKCE**

PREPARATION AND IMPLEMENTATION OF CONSTRUCTION AND TECHNICAL SURVEY  
OF PRESTRESSED BRIDGE STRUCTURE

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Kludie Kubová**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. ONDŘEJ ANTON, Ph.D.**

**BRNO 2022**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

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

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Klaudie Kubová
<b>Název</b>	Příprava a realizace stavebně technického průzkumu předpjaté mostní konstrukce
<b>Vedoucí práce</b>	doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2021
<b>Datum odevzdání</b>	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**

Cíkrle, P. a kol. Diagnostické metody ve stavebnictví. Studijní opora, VUT v Brně FAST, 2011  
Adámek, J., Hobst, L., Cíkrle, 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.

Vítek, J., Historie předpjatého betonu, 1. vydání: ČKAIT Praha, 2016.

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 stavebně technickým průzkumem nosné konstrukce předpjatého levého dálničního mostu ev. č. D2-058..2. Dálniční estakáda se nachází na hranicích mezi Českou a Slovenskou republikou a byla zhotovena v roce 1980. Práce je zaměřená na lokalizaci předpínací výztuže prefabrikovaných nosníků předpolí a zjištění jejího stavu. V teoretické části je popsán princip statického působení železového a předpjatého betonu, základní rozdělení stavebně technického průzkumu konstrukcí a diagnostických metod. Dále jsou uvedeny konkrétní diagnostické metody pro stanovení polohy a stavu předpínací výztuže. V praktické části se práce věnuje analýze nosníků předpolí prostřednictvím georadaru a sekaných sond k výztuži. Výstupem je studie odchylek polohy předpínacích kabelů od projektové dokumentace a určení jejich stavu z hlediska míry koroze a zainjektování.

## Klíčová slova

stavebně technický průzkum, most, předpjatý beton, prefabrikované nosníky, georadar, lokalizace předpínací výztuže, stav předpínací výztuže, koroze výztuže, zainjektování kabelového kanálku

## Abstract

The bachelor's thesis deals with the technical survey of the load-bearing structure of the left part of prestressed motorway bridge D2-058..2. The bridge is located on the border between the Czechia and Slovakia, and it was built in 1980. The work is focused on locating the prestressing reinforcement of prefabricated beams and determining its condition. The theoretical part describes the principle of static action of reinforced and prestressed concrete, categorization of technical surveys of structures and diagnostic methods. The work also presents specific diagnostic methods for determining the position and condition of prestressing reinforcement. In the practical part, the work deals with the analysis of beams by means of ground penetrating radar and probes for analysis of the condition of reinforcement. The outcome of the work is a study of the deviations of the position of prestressing cables from the original project documentation and determination of their condition in terms of corrosion degree and grouting.

## Keywords

technical survey, bridge, prestressed concrete, prefabricated beams, ground penetrating radar, location of prestressing reinforcement, quality of prestressing reinforcement, reinforcement corrosion, grouting of the cable duct



## **Bibliografická citace**

KUBOVÁ, Klaudie. *Příprava a realizace stavebně technického průzkumu předpjaté mostní konstrukce*. Brno, 2022. 95 s, 21 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Anton, Ph.D.

## **Prohlášení o shodě listinné a elektronické formy závěrečné práce**

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

V Brně dne 26. května 2022

.....  
Kludie Kubová  
autor práce

## **Prohlášení o původnosti práce**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Příprava a realizace stavebně technického průzkumu předpjaté mostní konstrukce* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. května 2022

.....  
Kludie Kubová  
autor práce

## Poděkování

Ráda bych touto cestou vyjádřila poděkování doc. Ing. Ondřejovi Antonovi, Ph.D. za odborné vedení při průzkumu, konzultace, poskytnuté materiály a jeho laskavý přístup během vytváření této bakalářské práce. Děkuji taktéž Ing. Igorovi Suzovi a jeho týmu z firmy Mostní a silniční, s.r.o. za možnost podílet se na průzkumu předmětné konstrukce, poskytnutí hodnotných dokumentů, pomoc při provádění samotného průzkumu a cenné rady. Děkuji také Ing. Petru Misákovi, Ph.D. za cenné připomínky při zpracování výsledků měření ve skriptovacím programovacím jazyku Python.

Mé poděkování patří i mému manželovi Richardovi za pochopení, trpělivost a všestrannou podporu. Děkuji rovněž mé dceři Karolíně, která je mou životní motivací. V neposlední řadě bych chtěla poděkovat rodině za trvalou podporu (nejen) při studiu.

# Obsah

<b>1 Úvod</b>	<b>3</b>
1.1 Širší souvislosti a kontext . . . . .	3
1.2 Cíle práce . . . . .	4
<b>2 Teoretické souvislosti</b>	<b>5</b>
2.1 Železobeton . . . . .	5
2.1.1 Podstata . . . . .	5
2.2 Předpjatý beton . . . . .	6
2.2.1 Podstata . . . . .	6
2.2.2 Statické působení . . . . .	7
2.3 Diagnostika betonových konstrukcí . . . . .	8
2.3.1 Kategorie stavebně technického průzkumu . . . . .	10
2.3.2 Zjišťované charakteristiky a parametry konstrukce . . . . .	11
2.3.3 Rozdělení diagnostických metod . . . . .	12
2.4 Podněty pro stanovení lokalizace výztuže . . . . .	13
2.5 Diagnostické metody pro lokalizaci výztuže . . . . .	14
2.5.1 Radiografie . . . . .	14
2.5.2 Sekaná sonda . . . . .	18
2.5.3 Elektromagnetický indikátor . . . . .	19
2.5.4 Georadar . . . . .	20
2.5.5 Volba vhodné metody pro lokalizaci předpínací výztuže . . . . .	23
2.6 Podněty pro stanovení stavu předpínací výztuže . . . . .	23
2.6.1 Koroze výztuže . . . . .	23
2.6.2 Zainjektování kabelových kanálků . . . . .	24
2.7 Diagnostické metody pro stanovení stavu předpínací výztuže . . . . .	25
2.7.1 Radiografie . . . . .	25
2.7.2 Vizuální metoda . . . . .	25
2.8 Mostní prohlídky . . . . .	26
2.8.1 Běžná prohlídka . . . . .	27
2.8.2 Hlavní prohlídka . . . . .	27
2.8.3 První hlavní prohlídka . . . . .	28
2.8.4 Mimořádná prohlídka . . . . .	29
2.8.5 Kontrolní prohlídka . . . . .	29
2.8.6 Technická prohlídka . . . . .	29
2.8.7 Prohlídka pojezdu . . . . .	29
<b>3 Analýza předpjatého mostu</b>	<b>30</b>
3.1 Základní informace o mostní konstrukci . . . . .	31

3.1.1	Hlavní mostní objekt . . . . .	32
3.1.2	Předpolí . . . . .	33
3.2	Lokalizace předpínací výztuže . . . . .	38
3.2.1	Zvolená metoda pro lokalizaci předpínací výztuže . . . . .	38
3.2.2	Implementace metody georadaru na konstrukci . . . . .	38
3.2.3	Stanovení odchylek polohy výztuže od projektové dokumentace . . .	41
3.2.4	Interpretace výsledků lokalizace předpínací výztuže . . . . .	47
3.2.5	Závěrečné zhodnocení lokalizace předpínací výztuže . . . . .	53
3.2.6	Reprezentativní sondy z lokalizace předpínací výztuže . . . . .	56
3.3	Zjištění stavu předpínací výztuže . . . . .	62
3.3.1	Zvolená metoda pro zjištění stavu předpínací výztuže . . . . .	62
3.3.2	Implementace vizuální metody na konstrukci . . . . .	62
3.3.3	Stanovení stavu předpínací výztuže z hlediska míry koroze a zainjek- tování . . . . .	68
3.3.4	Interpretace výsledků zjištění stavu předpínací výztuže . . . . .	73
3.3.5	Závěrečné zhodnocení zjištění stavu předpínací výztuže . . . . .	78
3.3.6	Reprezentativní sondy ze zjištění stavu předpínací výztuže . . . . .	80
<b>4</b>	<b>Závěr</b>	<b>83</b>
	<b>Literatura</b>	<b>85</b>
	<b>Seznam zkratk</b>	<b>89</b>
	<b>Seznam tabulek</b>	<b>91</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>95</b>
<b>A</b>	<b>Přílohy</b>	<b>96</b>
A.1	Rozmístění sond . . . . .	96
A.2	Digitální příloha . . . . .	116

# Kapitola 1

## Úvod

### 1.1 Širší souvislosti a kontext

V posledních letech se stavebně technickým průzkumům předpjatých mostních konstrukcí dostává mimořádné pozornosti jak z řad odborníků, tak z řad širší veřejnosti. Impulsem této zvýšené vlny zájmu byly nepochybně havárie mostů z předpjatého betonu v České republice (Praha – Troja) i v zahraničí (Itálie – Janov), které vyvolaly jisté obavy o bezpečnost existujících konstrukcí tohoto typu.

Konstrukce z předpjatého betonu se díky svým vlastnostem staly velmi populární již v minulém století. Předpjatý beton oproti svému předchůdci železobetonu disponuje mnoha výhodami. Mezi nejvýznamnější přednosti patří větší odolnost proti vzniku trhlin, vyšší tuhost, úspora materiálu a možnost aktivního rozložení vnitřních sil v konstrukci ještě před působením zatížení. Příchodem tohoto nového stavebního materiálu došlo k rozšíření prostoru konstruktérům projektovat štíhlé konstrukce velkého rozpětí. Architekti pak dostali možnost navrhovat nenápadné subtilní stavby, které nenarušují přirozené linie krajiny, ale naopak do ní zapadají a doplňují ji [35].

Na našem území je evidováno značné množství předpjatých mostů, které byly budovány během druhé poloviny 20. století a jsou tak v provozu již několik dekád. V souvislosti s globálně zvýšenými obavami o bezpečnost užívání takových konstrukcí vyvstávají požadavky na zjištění celkového technického stavu a odhadu zbytkové životnosti těchto staveb.

Stavebně technický průzkum předpjaté konstrukce se obvykle zaměřuje na stav předpínací výztuže. Je to právě předpětí, které se významně podílí na celkovém statickém působení konstrukce. Z toho důvodu je stav předpínací výztuže podstatný parametr při posuzování technického stavu konstrukce a její zbytkové životnosti. Předmětem zkoumání stavu předpínací výztuže je míra její koroze a ověření přítomnosti injektážní směsi v kabelových kanálech. V praxi se diagnostika jejího stavu člení do dvou fází. V první fázi se vymezuje její přesná poloha a hloubka v kritických a rozhodujících oblastech konstrukce. V druhé fázi se v těchto oblastech provedou sekané sondy pro stanovení stavu předpínací výztuže a existence injektážní směsi. Je důležité zmínit, že při posuzování konstrukce jako celku jsou neméně důležité i jiné parametry konstrukce (například vlastnosti betonu), které je nezbytné zhodnotit [16].

Spolu s aktuální mimořádnou pozorností věnovanou stavu předpjatých konstrukcí se také dynamicky rozvíjí obor diagnostiky stavebních konstrukcí. Stavební praxe klade požadavky na vývoj nových nedestruktivních metod, které jsou šetrné ke konstrukcím. Zejména v poslední dekádě je zaznamenán značný pokrok v oblasti vývoje měřících přístrojů. V sou-

časné době disponujeme novými generacemi elektromagnetických indikátorů a georadary, které dovedou nedestruktivně indikovat polohu výztuže [10].

Je ovšem otázkou, zdali se k diagnostice předpjatých konstrukcí nemělo přistupovat se stejným nasazením již v rámci implementace tohoto konstrukčního systému, tzn. zhruba před 100 lety. Navzdory průlomovému objevu nového konstrukčního systému a jeho dalšímu vývoji lze zaznamenat v tomto období stagnaci v odvětví jeho diagnostiky. Svědčí o tom například vyspělost přístrojů, která ještě před několika lety byla dlouhodobě na stagnující úrovni. Pravděpodobně i v souvislosti s blížícími se konci navrhovaných životností předpjatých konstrukcí zažívá diagnostika v posledních letech opožděnou a překotnou modernizaci v porovnání s faktem, že předpjaté konstrukce nás obklopují již několik dekád. Moderní diagnostické metody poskytující důležité informace o konstrukci však skýtají také řadu nedostatků, které nutí diagnostiky přemýšlet o relevantnosti vypovídající úrovně stavebně technického průzkumu za použití těchto metod.

## 1.2 Cíle práce

Bakalářská práce je rozdělena do dvou hlavních částí. V části Teoretické souvislosti bude vysvětlena podstata a chování předpjatého betonu i jeho předchůdce – železobetonu. Dále bude vysvětlena důležitost diagnostiky betonových konstrukcí a její rozdělení do základních kategorií, které budou blíže specifikovány. Následně budou vysvětleny podněty k určení lokalizace a stavu předpínací výztuže a konkrétní metody pro jejich diagnostiku. V poslední kapitole teoretické části se bakalářská práce bude věnovat mostním prohlídkám.

V druhé části bude práce zaměřena na praktické využití teoretických poznatků uvedených v předešlé kapitole. Hlavním cílem kapitoly s názvem Analýza předpjatého mostu je provést v konkrétní mostní předpjaté konstrukci stavebně technický průzkum zaměřený na předpínací výztuž. Primárně se bude zjišťovat poloha výztuže a její odchylky od dané projektové dokumentace. Sekundárně se stanoví míra její koroze a stav zainjektování. Výsledky budou zpracovány a zhodnoceny ve formě přehledných tabulek a grafů.

## Kapitola 2

# Teoretické souvislosti

### 2.1 Železobeton

Spojení betonu s výztužnou ocelí v druhé polovině 19. století umožnilo stavbu trémových a deskových konstrukcí, které byly do té doby pro nízkou pevnost betonu v tahu nerealizovatelné. Postupem času se železobeton stal jedním z nejrozšířenějších stavebních materiálů a zahájil tak éru nového druhu staveb. Tato práce se především věnuje betonu předpjatému, nicméně pro lepší porozumění problematiky působení vyztužených prvků je uveden i jeho předchůdce – železobeton. Ještě před samotným železobetonem se stavěly konstrukce betonové. Samotný beton výborně přenáší tlakové síly, naopak pevnost v tahu a ve smyku je pouze 1/10 až 1/15 pevnosti v tlaku. Proto se prostý beton používal a používá zejména v konstrukcích, které jsou namáhány tlakem. Aby betonové konstrukce odolávaly i jiným, běžným způsobům namáhání, přidává se do tažených oblastí betonu betonářská výztuž. Takto vyztužený beton se nazývá železobeton [43], [44].

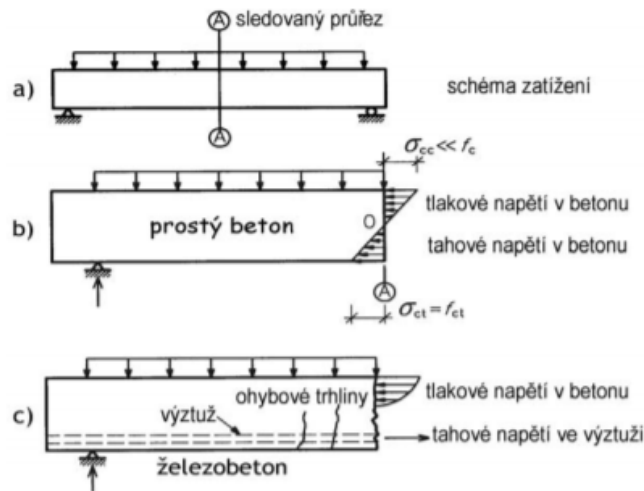
#### 2.1.1 Podstata

Únosnost nosníku závisí na únosnosti jeho nejslabší části, tedy průřezu, kde je nejdříve dosaženo mezního napětí. U nosníku z prostého betonu, je mezního stavu únosnosti dosaženo v momentě, kdy tahová napětí v průřezu dosáhnou pevnosti betonu v tahu za ohybu. Vzhledem k tomu, že tato hodnota pevnosti je pro prostý beton malá, bude i únosnost celého prvku nízká [43].

V případě, že je do tažené oblasti betonu vložena betonářská výztuž, zvýší se tím únosnost celého prvku. V okamžiku vzniku trhliny v betonu se vylučuje tato tažená část průřezu ze spolupůsobení a nepřispívá tak k celkové únosnosti. Tahovou sílu pak přebírá betonářská výztuž, která má mnohem vyšší pevnost v tahu než samotný beton. Únosnost takového železobetonového nosníku závisí na pevnosti betonu v tlaku v tlačené části průřezu [43].

Podstata působení železobetonu tedy spočívá v schopnosti betonu odolávat vysokým tlakovým napětím v kombinaci s betonářskou výztuží, která prostřednictvím spolupůsobení betonu s ocelí přebírá napětí tahová a zvyšuje tímto únosnost celého prvku. Na obrázku 2.1 je znázorněn rovnoměrně zatížený, prostě podepřený nosník ve dvou variantách. Z prostého betonu a ze železobetonu [43].





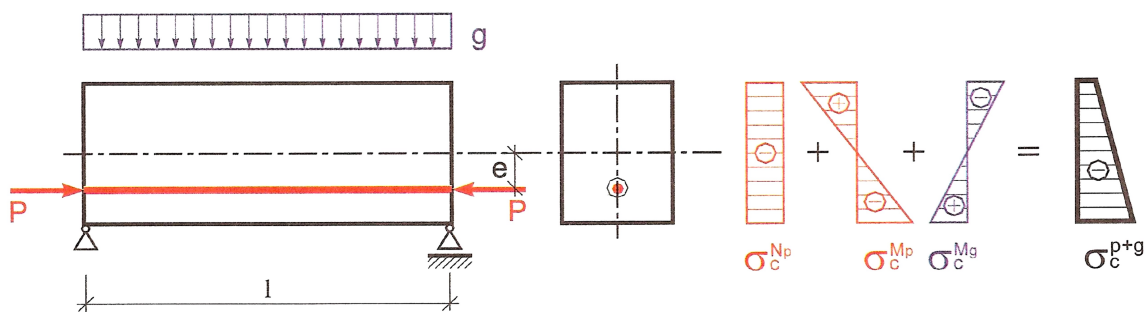
Obrázek 2.1: Působení prostého a železového betonu [43]

## 2.2 Předpjatý beton

Už v 19. století, krátce po objevu železobetonu, spěly teoretické úvahy inženýrů k ještě výhodnějšímu řešení. Tím bylo upravení průběhu napětí v průřezu takovým způsobem, aby se co nejvíce omezily jeho tažené zóny. Je všeobecně známo, že největší vliv na rozvoj předpjatého betonu měl *E. Freyssinet*. Byl to právě jeho návrh, podle kterého se úspěšně realizovala pravděpodobně první stavba z předpjatého betonu. Byla jí sanace základů přístavní budovy v Le Havre v Normandii. *Freyssinetovo* řešení bylo na svou dobu přelomové a originální – stabilizace stavby přístavní budovy byla provedena pomocí zatlačovaných předpjatých pilot. V mostním stavitelství se předpjatý beton rozšířil při realizacích trémových mostů. Umožňoval oproti železobetonu ze statického hlediska velká rozpětí a větší štíhlost nosných konstrukcí. Další ekonomickou výhodou byla hromadná prefabrikace a úspora stavebních materiálů [44].

### 2.2.1 Podstata

V předpjatém betonu, stejně jako v železobetonu, přenáší tahová napětí výztuž. Ovšem v předpjatém betonu je na rozdíl od železobetonu výztuž podél betonového prvku napnutá, tudíž vnáší do betonu přídavná tlaková napětí. Tato napětí zajišťují tlakovou rezervu, která při přenosu zatížení umožní využití schopnosti betonu přenést velká tlaková napětí a zároveň eliminuje jeho nevýhodu nízké pevnosti v tahu. Křehké porušení prvku v tahu vylučujeme a z předpjatého betonu se stává lineárně pružný materiál. Podstata předpjatého betonu je také znázorněna na obrázku 2.2 [35].

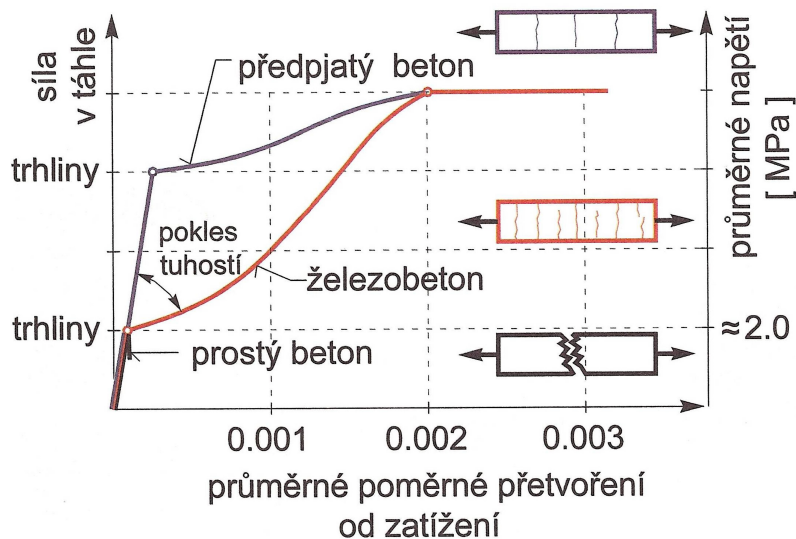


Obrázek 2.2: Rozložení napětí v předpjatém betonovém prvku [35]

Z obrázku 2.2 je zřejmé, že do předpjatého betonu jsou záměrně vneseny vnitřní síly, které částečně nebo úplně vyrovnávají napětí vyvolané vnějším zatížením. Oproti železobetonu, kde výztuž působí pasivně (přenáší pouze tahy od vnějšího zatížení), předpjatý beton je schopen aktivně měnit rozložení vnitřních sil v konstrukci [35].

### 2.2.2 Statické působení

Pro lepší představu o přínosech předpjatého betonu ve stavebnictví je porovnáno statické působení prostého, železového a nakonec i předpjatého betonu. Rozdíly jsou nejlépe patrné v následujícím obrázku 2.3 s pracovním diagramem, kde je vynesena závislost průměrného napětí na průměrném poměrném přetvoření těchto tří prvků zatížených tahem. Pro triviálníu předpokládáme, že oba vyztužené prvky využívají výztuž stejných vlastností [35].



Obrázek 2.3: Rozdíly v působení prostého, železového a předpjatého betonu na tažených prvcích [35]

Prvek z prostého betonu vzdoruje jen nízkému zatížení. Jeho působení je lineární a v okamžiku vzniku první trhliny vyčerpá svou únosnost křehkým porušením [35].

Železobetonový prvek odolává zatížení i po vzniku prvních trhlin, ty ovšem snižují tuhost prvku. K náhlému porušení nedojde ani po dosažení meze kluzu ve výztuži, pracovní

diagram je plastický. Z obrázku 2.3 lze vidět, že železobetonové táhlo má oproti táhlu z prostého betonu vyšší únosnost, ale také houževnatost a tažnost [35].

Nejlepší odezvu má symetricky předepnutý prvek (resp. prvek, který má předpínací výztuž umístěnou ve svém těžišti). Při zatížení takového prvku se nejdříve odčerpá tlaková rezerva, která byla do prvku vnesena předpětím. Při určité velikosti vnější tahové síly je v betonu dosaženo nulového napětí. Až v tomto momentě začíná beton působit v tahu. Předpjatý beton má oproti železobetonu schopnost odolávat většímu zatížení před vznikem trhlin, protože jeho tlaková rezerva oddaluje působení betonu v tahu a následný vznik trhlin [35].

Z pracovního diagramu na obrázku 2.3 je taktéž patrné, že při stejné velikosti vnějšího zatížení jsou v předpjatém prvku trhliny méně rozvinuté než u prvku železobetonového. Předpětí jsme navíc schopni navrhnout tak, aby se trhliny po odlehčení (po ukončení působení proměnného zatížení) uzavřely. Při stálém zatížení tak získáváme konstrukci bez trhlin. V takto navržené konstrukci se významně snižuje riziko nebezpečí koroze výztuže [35].

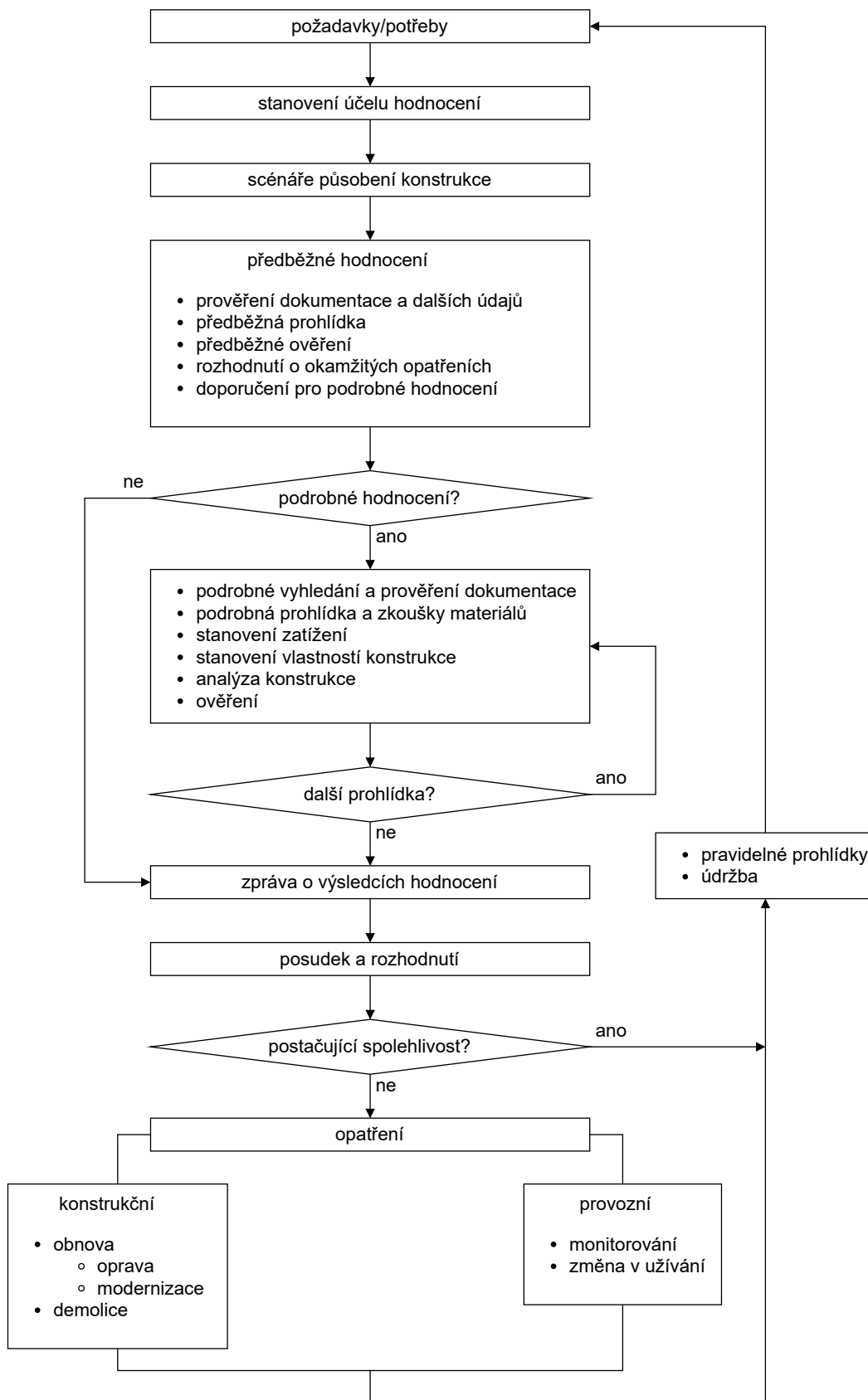
Vznik trhlin souvisí s poklesem tuhosti prvku. Předpjatý prvek je proto tužší, což má za následek menší protažení u ohýbaných prvků. Toho lze využít – při stejných požadavcích na mezní průhyby můžeme namísto železobetonových konstrukcí navrhovat štíhlejší předpjaté konstrukce. Takové konstrukce mají nižší vlastní tíhu, což znamená také větší úsporu materiálu a možnost nadále zvětšovat rozpětí [35].

Z výše uvedeného pracovního diagramu vyplývá, že oba vyztužené prvky mají stejnou mezní únosnost. Rozdíl je ve faktu, že u prvku železobetonového dochází před porušením k markantnímu rozvoji trhlin a k velkému protažení, resp. K velkým průhybům, což je nepřijatelné z hlediska mezního stavu použitelnosti [35].

## 2.3 Diagnostika betonových konstrukcí

V dnešní době se diagnostika a hodnocení betonových konstrukcí stává čím dál více významným technickým úkolem. Postupem času pozorujeme u konstrukcí jejich zvyšující se ekonomickou, politickou a dopravní hodnotu se souběžnou snižující se zbytkovou životností staveb. Z toho důvodu je v zájmu celé společnosti prodloužení zbytkové životnosti těchto konstrukcí. Vyvstává zde tedy otázka navržení způsobu sanace, kterému předchází přezkoumání stavu konstrukce. Hodnotí se fyzikálně-mechanické a fyzikálně-chemické vlastnosti dílčích částí stavby. Nástrojem pro hodnocení konstrukce je stavebně technický průzkum. Rozumíme tím souhrn pracovních postupů prováděných buď v terénu přímo na konstrukci nebo v laboratoři. Výstupem průzkumu je soubor informací o dané konstrukci, pomocí kterého lze zhodnotit stav konstrukce, navrhnout postup sanace a následné údržby konstrukce. Hodnocení konstrukce se provádí dle daného postupu, který je závislý na stanoveném účelu hodnocení a na specifických podmínkách pro konkrétní konstrukci. Obecný postup pro hodnocení konstrukcí je znázorněn na obrázku 2.4 [6], [28].

Před prováděním stavebně technického průzkumu se stanoví na základě dohody mezi objednatelům a posuzovatelem jednoznačný účel hodnocení konstrukce. Ten se vymezuje s ohledem na její budoucí funkční způsobilost, která je určena plánem využití a plánem bezpečnostních opatření. V plánu bezpečnostních opatření se prostřednictvím scénářů zahrnujících změny konstrukčních podmínek nebo zatížení konstrukce identifikují potenciální kritické situace [6].



Obrázek 2.4: Vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí [6] [33]

### 2.3.1 Kategorie stavebně technického průzkumu

Stavebně technický průzkum lze rozdělit do tří částí, které budou níže detailněji popsány. Konkrétně se jedná o stavebně technický průzkum předběžný, podrobný a doplňkový. Jednotlivé části se v rámci stavebně technického průzkumu provádějí chronologicky za sebou a toto uspořádání nelze v průběhu průzkumu měnit. V konkrétních případech není nutné provádět všechny dílčí části průzkumu. V případě, že výsledky předběžného průzkumu jsou dostatečně průkazné, lze celý průzkum ukončit. V případě, že jsou výsledky předběžného průzkumu neuspokojivé, přechází se k podrobnému hodnocení konstrukce. Analogickým postupem se může dojít až k doplňkovému hodnocení. Kompletní rozsah stavebně technického průzkumu je dopředu definován dle účelu hodnocení konstrukce, ovšem během jeho provádění se s ohledem na výsledky dosavadních testů a komplikací například s přístupností jednotlivých konstrukčních detailů může tento rozsah rozšířit [28].

#### Předběžné hodnocení

Pro zevrubné hodnocení konstrukce je nezbytné studium projektové dokumentace (PD), zpráv z předchozích prohlídek, archivních a inspekčních materiálů. Tyto soubory důležitých informací o existující konstrukci je nutné ověřit, zda jsou pravdivé a aktuální, protože při realizaci konstrukce mohlo dojít k nepřesnostem nebo v průběhu životnosti konstrukce do ní mohlo být zasahováno [32].

Při samotné předběžné prohlídce se identifikuje konstrukční systém a na první pohled viditelné poruchy a vady, jako jsou deformace, trhliny, odprýskávání, koroze, porušené prvky. Odhadnou se možné příčiny a následky těchto poruch a vad. Tyto se následně klasifikují jako žádné, menší, mírné, závažné, destrukční, neznámé [32].

V rámci předběžných ověření se posoudí budoucí bezpečnost a použitelnost na základě kritických nedostatků a z výsledků se určí nutnost provedení dalšího průzkumu. V případě jasného zjištění, že se konstrukce nachází v eventuálním nebezpečném stavu, je nezbytné tuto skutečnost nahlásit objednateli, aby se provedly opatření k zajištění konstrukce. Pokud si posuzovatel není jistý, musí se neodkladně určit kritické nedostatky [6].

Na konci předběžného průzkumu se může dojít ke třem možným závěrům. Buď jsou zjištěny konkrétní defekty konstrukce, nebo se konstrukce zhodnotí jako spolehlivá v rámci své zbytkové životnosti. V těchto dvou případech není nutné provádět podrobné hodnocení konstrukce. V posledním případě mohou vzniknout pochybnosti ve vlastnostech a chování konstrukce nebo v zatížení či účincích zatížení na konstrukci a je doporučeno uskutečnit podrobné hodnocení konstrukce [31], [32].

#### Podrobné hodnocení

Z podrobného prověření dostupné dokumentace, pokud je k dispozici, se určí geometrie konstrukce s konstrukčními detaily, charakteristické hodnoty materiálových vlastností, druh, uspořádání a velikost zatížení. Jestliže tato dokumentace není dostupná nebo vznikne podezření, že se dostupná dokumentace neshoduje se skutečným stavem konstrukce nebo je stavba namáhána odlišným zatížením, než se původně počítalo ve statickém výpočtu, přejde se k podrobné prohlídce, která umožní upřesnění rozměrů konstrukce, konstrukčních detailů, materiálových vlastností a vyšetřuje zatížení. Dále se věnuje rozsahu narušení povrchových vrstev betonu, tloušťce krycích vrstev, míře obnažení výztuže, její korozi, degradaci betonu, biokorozi a dalším anomáliím [6], [28].

Spolehlivost konstrukce vyjadřuje směrným indexem spolehlivosti  $\beta$ , v jehož definici uvažujeme referenční dobu. Tato referenční doba je u nové konstrukce její návrhová životnost, zatímco u existující konstrukce se považuje s ohledem na únavu její zbytková doba životnosti [6].

Výsledky musí být zdokumentovány ve zprávě. V případě, že se konstrukce zhodnotí jako nevyhovující z hlediska bezpečnosti nebo použitelnosti, doporučí se vhodná konstrukční opatření nebo alternativní řízení rizik, jako je redukce zatížení, záměna způsobu využívání nebo monitorování konstrukce [32].

### Doplňkové hodnocení

Pro upřesnění podrobného stavebně technického průzkumu se se provádí doplňkový stavebně technický průzkum. Cílem tohoto průzkumu je analýza částí objektu, které při podrobném průzkumu nebyly přístupné nebo zjištěné hodnoty hodnocených parametrů byly klasifikovány jako nevyhovující nebo měly velmi vysokou amplitudu [28].

### 2.3.2 Zjišťované charakteristiky a parametry konstrukce

Pro určení komplexního stavu konstrukce je zapotřebí konstrukci rozdělit na dílčí fragmenty a posuzovat kvalitu jednotlivých konstrukčních materiálů. Rozlišujeme proto vlastnosti betonu, vlastnosti ocelové výztuže, vlastnosti a chování konstrukce jako celku a další vady [31], [34]:

- Vlastnosti betonu:
  - stejnorodost betonu;
  - pevnost betonu;
  - modul pružnosti betonu;
  - objemová hmotnost betonu;
  - mrazuvzdornost, vodotěsnost betonu;
  - vlhkost betonu;
  - chemické vlastnosti betonu;
  - vlastnosti povrchových vrstev betonu.
- Vlastnosti ocelové výztuže:
  - množství a uložení výztuže, krytí výztuže;
  - koroze výztuže.
- Vlastnosti konstrukce:
  - únosnost a ohybová tuhost při statickém zatížení;
  - tuhost betonových vozovek při rázové zatěžovací zkoušce;
  - provozně funkční vlastnosti jako vodotěsnost, mrazuvzdornost.
- Vady a poruchy:
  - přítomnost a rozsah.

### 2.3.3 Rozdělení diagnostických metod

K zjištění specifických vlastností konstrukcí bylo vyvinuto široké spektrum zkušebních metod, které se provádějí buď v terénu (přímo na konstrukci), nebo v laboratoři (na vzorku odebraném z konstrukce). Diagnostické metody můžeme klasifikovat z několika různých hledisek. Obecně dle [22] lze metody zatřídit dle stupně poškození konstrukce při jejich provádění na metody:

- nedestruktivní;
- semidestruktivní;
- destruktivní.

Přičemž přechod mezi nedestruktivní a destruktivní zkouškou není vždy zcela zřetelný. V tomto případě označujeme zkoušky jako semidestruktivní metody.

Aktuální zkušební normy [9] rozlišují metody:

- přímé;
- nepřímé.

Rozdíl mezi přímými a nepřímými metodami se skýtá ve zjišťované vlastnosti. Přímými metodami zjišťujeme přímo danou vlastnost. Nepřímé metody zjišťovanou vlastnost určují prostřednictvím jiné vlastnosti a hledá se co nejvýstižnější korelační vztah mezi měřenou a zjišťovanou veličinou [25].

Dále dle [28] lze metody prováděné při stavebně technickém průzkumu třídit na základě zjišťované vlastnosti na metody:

- vizuální;
- zaměřené na určení fyzikálně-mechanických vlastností betonu a oceli;
- zaměřené na určení stupně korozního narušení betonu a oceli;
- určování polohy výztuže;
- zatěžovací zkoušky.

Diagnostické zkoušky je rovněž možné zatřídit podle fyzikálního principu, na kterém jsou založeny nebo dle veličin, které metody zjišťují pomocí různých fyzikálních principů. Pro přehlednost je v této bakalářské práci užitá první výše uvedená klasifikace dle úrovně porušení konstrukce při jejich provádění [22].

#### Nedestruktivní metody

Nedestruktivní zkoušky nijak nenarušují diagnostikovanou konstrukci. Avšak u některých metod dochází v oblasti zkoušky k estetickým úpravám, jako je například zbroušení, odstranění omítek, obkladů, vryp nebo vtisk, jež prakticky nemají na únosnost žádný vliv. Tyto povrchové úpravy je nezbytné provést z důvodu korektního provedení vybraných zkoušek. Výhodou nedestruktivních metod je možnost velkého počtu zkušebních míst, neboť zkoušky tohoto typu jsou šetrné ke konstrukci a nijak ji neoslabují. Slabinou těchto metod je jejich nižší přesnost [22].

## Semidestruktivní metody

U těchto částečně destruktivních zkoušek dochází k mírnému poškození konstrukce, například vývrty či odtrhy. Při stavebně technickém průzkumu se musí důkladně zvážit poloha zkušebních míst pro tyto zkoušky, protože je vyloučeno, aby se v důsledku provedení semidestruktivních zkoušek ovlivnila stabilita nebo únosnost konstrukce. Z toho plyne nevýhoda semidestruktivních zkoušek – omezený počet kontrolních míst. Naopak výhodou těchto zkoušek je vysoká přesnost [31].

## Destruktivní metody

Rozdíl mezi semidestruktivními a destruktivními metodami není jasně definován a dostupná literatura se v přístupu jejich odlišení rozchází. Například vývrty a odtrhy jsou často řazeny mezi destruktivní metody navzdory tomu, že vůči konstrukci jsou reálně semidestruktivní a destruktivní charakter těchto metod je pouze lokální. Pokud se metody rozlišují dle jejich odezvy na konstrukci jako celek, do destruktivních zkoušek zařazujeme zatěžovací zkoušky do dosažení meze únosnosti. Vzhledem k charakteru a finanční náročnosti se tyto zkoušky provádí spíše výjimečně buď na speciálně vytvořených experimentálních modelech v rámci výzkumu, nebo na dílcích, které bylo možno odebrat z konstrukce a v konstrukci je relativně snadno nahradit, např. na stropních či střešních panelech. Destruktivní zkoušky jsou zpravidla nejpřesnější.

Z výše uvedené základní deskripce metod lze usoudit, že zkoušky mají své přednosti i handicap, se kterými je nutné pracovat. Základem účinného provedení stavebně technického průzkumu konstrukce je mimo jiné také stanovení vhodné kombinace a naplánování jednotlivých metod přesně podle potřeb diagnostikované konstrukce. Zkoušky jsou prováděny v předem určené logické posloupnosti a vhodnou kombinací zkoušek je možné eliminovat některé jejich nevýhody tak, aby se jednotlivé metody doplňovaly.

## 2.4 Podněty pro stanovení lokalizace výztuže

Výztuž má v železobetonových i předpjatých konstrukcích zásadní vliv na přenášení zatížení a tím pádem i na statiku objektů. Kontrola její přítomnosti, rozmístění, typu a dodržení minimální krycí vrstvy má zásadní vliv při hodnocení konstrukce. Požadavek na zjištění lokalizace výztuže v konstrukci vyplývá mnoha důvodů. Mezi nejčastější i dle [10] patří:

- pochybnost o správném vyztužení konstrukce;
- absence dokumentace;
- plánovaný zásah do konstrukce;
- ověření stavu výztuže.

Důvodem vzniku pochybností o správném vyztužení konstrukce dle projektu je nežádoucí chování konstrukce<sup>1</sup> nebo potřeba vyloučit hrubé chyby při vyztužování. Příčiny nedodržení vyztužení lze jen odhadovat, neboť je paradoxem dnešní doby, že při provádění konstrukcí, navzdory snahám o maximální dodržení jakosti výroby, neustále dochází ke

<sup>1</sup>Přesná poloha výztuže je determinovaná ve statickém výpočtu. Výrazné odchylky skutečného provedení od stanovené polohy mohou mít za následek poruchy, trhliny, nadměrné deformace nebo selhání konstrukce.



vzniku vad. Ve většině případů může být na vině technologická nekázeň, chybné čtení výkresové dokumentace nebo nedostatek konkrétní výztuže na trhu. V některých případech jde dokonce k záměrnému nedodržení vyztužení ať už z důvodu obtížné realizace vyztužení uvedené v projektu nebo z důvodu ekonomického. Všechny tyto závady lze odhalit při závěrečné kontrole vyztužení a opravit před vybetonováním příslušného prvku konstrukce. Pokud se tomu tak nestane, je prokázání chyb díky nedestruktivním metodám snadno řešitelné [10], [19].

Pro vyhodnocení lokalizace výztuže klíčové získat výkresovou dokumentaci objektu, konkrétně dokumentaci vyztužení, dle kterého lze posoudit korektnost skutečného provedení vyztužení, případně vyhodnotit odchylky od výkresové dokumentace. V minulosti byla výkresová dokumentace kreslena ručně na papír, a proto není ojedinělé, že jsou výkresy nečitelné, nekompletní nebo dokonce chybí. Ztráta dokumentace je zapříčiněna dějinnými, společenskými a hospodářskými událostmi. V takovém případě je nutné zjistit kompletní vyztužení prvků ve všech staticky významných průřezech, aby byl následně proveden statický přepočet únosnosti konstrukce [10], [22].

Velmi opomíjeným důvodem pro přesné stanovení polohy výztuže je plánovaný zásah do konstrukce (např. odběr vzorku betonu jádrovým vrtáním). Je proto důležité, aby technický pracovník provádějící jádrové vrtání provedl vývrt v místě absence výztuže. V opačném případě dojde k nezáměrnému přerušení výztuže a oslabení konstrukce [10].

Pokud vznikl požadavek na ověření stavu výztuže (jejím navrtáním a obnažením), je naopak žádoucí, aby technický pracovník znal její polohu a hloubku umístění v konstrukci. Například při zjišťování stavu předpínacích kabelů je přesná lokalizace a stanovení hloubky kabelů pod povrchem směrodatným ukazatelem, neboť při jejich obnažování je nutné postupovat velmi opatrně, aby nedošlo k oslabení konstrukce.

## 2.5 Diagnostické metody pro lokalizaci výztuže

V této části bakalářské práce budou podrobně popsány metody, které lze uplatnit pro stanovení polohy výztuže. Kromě její lokalizace se dostupnými metodami zjišťuje dle [10] i:

- množství výztuže v diagnostikované oblasti konstrukce;
- tvar prutů;
- typ výztuže (třída oceli);
- průměr výztuže.

Bohužel žádná z metod samostatně neposkytuje komplexní výsledky. Jak bude popsáno níže, jednotlivé metody mají své výhody a nevýhody a liší fyzikální podstatou, na které jsou založeny. V diagnostice předpjatých konstrukcí disponujeme čtyřmi metodami: radiografie, sekaná sonda, elektromagnetický indikátor a georadar [10].

### 2.5.1 Radiografie

Radiografická metoda je nedestruktivní zkouška umožňující zobrazení vnitřních nehomogenit v materiálu. Tato metoda je jediná ze všech dostupných metod, která poskytuje velmi konkrétní informace o vyztužení konstrukce. Dle typu vysílaného záření je radiografie rozdělena do dvou kategorií: gamagrafie a rentgenografie. Bohužel v současné době je

z bezpečnostních důvodů použití gamagrafie značně omezeno Atomovým zákonem 263/2016 Sb. a navazující vyhláškou č. 422/2016 Sb. (Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje). Důvodem restrikcí je fakt, že při jejím provádění uniká ionizující záření, které je škodlivé lidskému zdraví. Provádění gamagrafie v terénu je velmi obtížné, neboť je potřeba splnit zákonem daná bezpečnostní opatření. Zavedení těchto přísných opatření vedlo k tomu, že poslední pracoviště, které provádělo diagnostiku stavebních konstrukcí izotopem  $CO60$  (Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví) od této činnosti z ekonomických i organizačních důvodů upustilo. Vzhledem k faktu, že v současnosti není známa komplexnější a přesnější metoda, nelze vyloučit, že použití gamagrafie bude v budoucnu obnoveno [10].

### Podstata metody

Fyzikální podstata radiografie je založena na prozařování materiálu zářením gama nebo rentgenovým zářením, které je rozptylováno a absorbováno prostředím. Míra zeslabení záření se odvíjí od prozařované tloušťky a objemové hmotnosti zkoumaného objektu. Například při průchodu záření betonem je jeho zeslabení nižší, než v případě průchodu ocelovou výztuží. Rozsah zeslabení je po průchodu zkoumaným objektem zachycen na radiografický film. Výsledkem je zobrazení vnitřních struktur objektu v podobě světlých stop (menší zčernání) na vyvolaném filmu. Při provádění gamagrafie se vyvolaný film nazývá gamagram, v případě rentgenografie se nazývá rentgenogram [10].

### Využití radiografie při diagnostice konstrukcí

Pro diagnostiku stavebních konstrukcí v terénu je díky svým vlastnostem vhodný k použití radioaktivní kobalt  $CO60$ . Tento gamazářič je trvale umístěn ve stínícím defektoskopickém krytu, který lze vidět na obrázku 2.5. Při jeho použití se využívá dálkové mechanické ovládání, jež umožní zářič vysunout a umístit i do obtížně přístupných míst konstrukce z bezpečné vzdálenosti obsluhy. Diagnostika železobetonové konstrukce gamazářičem kobaltem  $CO60$  má řadu výhod [10]:

- umožňuje prozařovat železobetonové konstrukce do tloušťky 500 mm;
- je mobilní;
- nezávislý na zdrojích elektrické energie.



Obrázek 2.5: Gamagrafijský kryt TECH/OPS se zářičem  $CO60$  na transportním vozíku s hadicemi ovládacího zařízení [23]

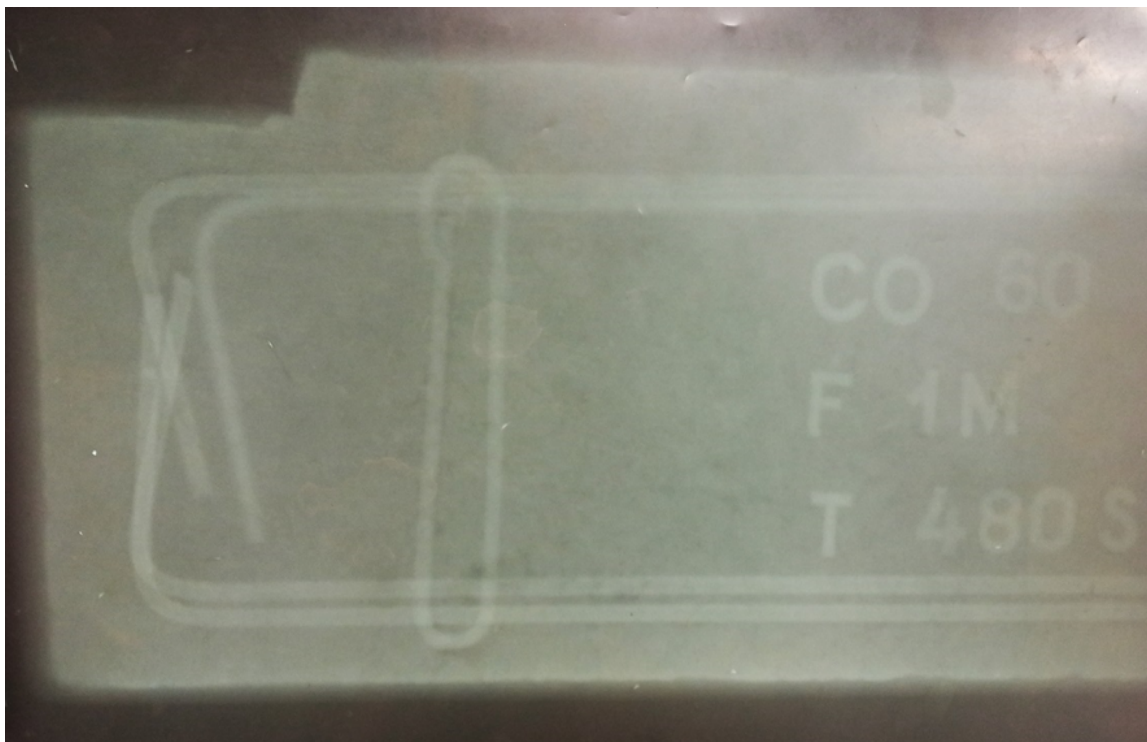
Gamazářič kobalt *CO60* lze nahradit alternativním zdrojem rentgenového záření – *technický rentgen 2.6*. Ten v porovnání s kobaltem *CO60* dle [10]:

- umožňuje prozařovat železobetonové konstrukce jen do tloušťky 150 mm;
- má velké rozměry – používá se jen ve specifických případech nebo v rámci stabilních pracovišť;
- je závislý na zdroji elektrické energie;
- poskytuje rentgenogramy vyšší jakosti (vyšší kontrast a ostrost) v porovnání s gamagramy.

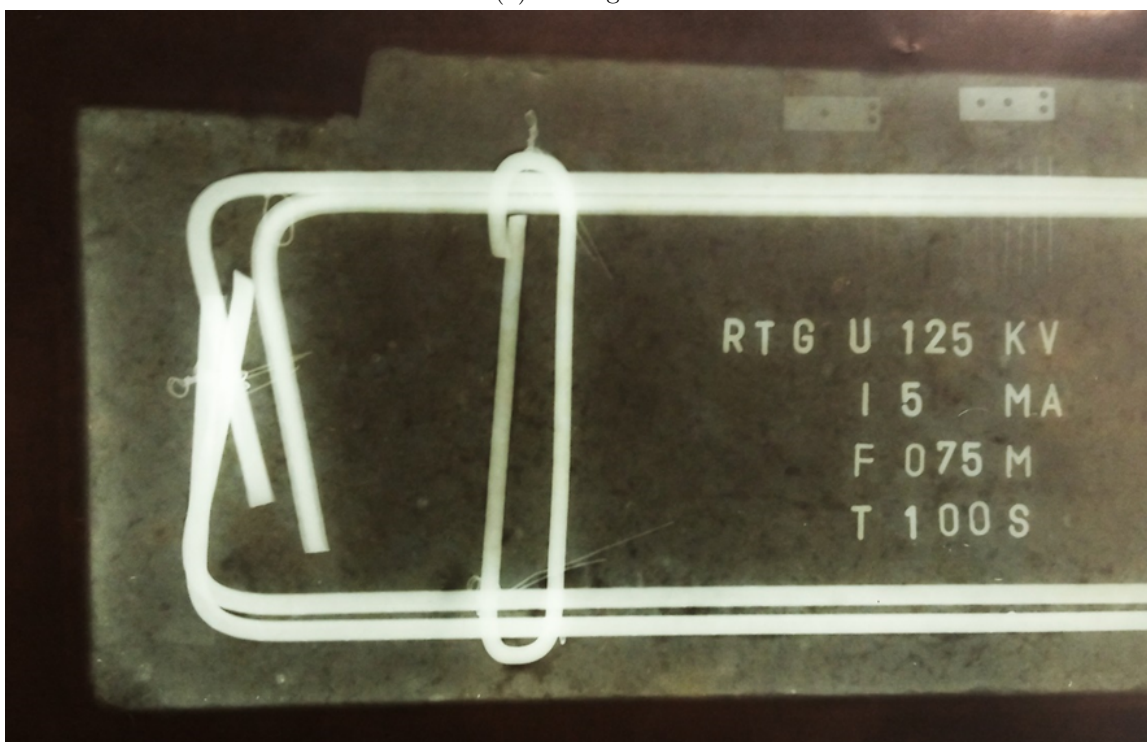


Obrázek 2.6: Technický rentgen YXLON SMART 300KV [10]

V praxi je především díky mobilitě a možnosti vyšší hloubky prozáření konstrukce výhodnější použití zdroje gamazáření – izotopu *CO60*. Naopak rentgenografie je populární pro svou vyšší jakost rentgenogramů. Výhoda použití této metody pak spočívá v přehledném zobrazení makrostruktury těles (např. drátkobetonu). Odlišnost jakostí jednotlivých radiogramů je patrná na obrázcích 2.7 [10].



(a) Gamagram



(b) Rentgenogram

Obrázek 2.7: Radiogramy totožného objektu (železobetonový prvek tloušťky 70 mm vyztužený pruty Roxor 8 mm [10])

Výsledkem radiografie je *100% přesná lokalizace výztuže a velikost jejího průměru* v prozařované oblasti konstrukce [10], [19].

### 2.5.2 Sekaná sonda

Sekaná sonda je semidestruktivní metoda, která spočívá v obnažení výztužné vložky. Nástrojem k provedení sekané sondy slouží bourací kladivo, ve větších hloubkách se používá příklepová vrtačka, ojediněle pak vrtačka jádrová (v takových případech se hovoří o tzv. vrtaných sondách) [10].

Aplikace sekaných sond skýtá dle [10] řadu nedostatků:

- povrch konstrukce se provedením sond výrazně poškodí viz obr. 2.8;
- vzniká zde riziko narušení výztuže s možným následkem výrazného statického oslabení konstrukce;
- u prvků vyztužených ve více vrstvách vzniká riziko neodhalení veškeré výztuže s vedlejším efektem podhodnocení únosnosti konstrukce při statickém přepočtu;
- obnažení výztuže znamená odstranit její krycí vrstvu a v případě nedokonalého zaopravení je výztuž vystavena agresivnímu prostředí, které má za následek její korozi.



Obrázek 2.8: Rozsáhlá sekaná sonda na trámu [10]

Z důvodu nešetrnosti sekaných sond ke konstrukci a všech rizik, které hrozí při jejich aplikaci, je vhodné tuto zkoušku realizovat spíše jako doplňkovou k jiným nedestruktivním metodám. V minimálním množství lze sekanou sondou ověřit průměr a typ výztuže, dále může být použita ke kalibraci nedestruktivních metod a ověření výsledků [10].



### 2.5.3 Elektromagnetický indikátor

Diagnostika stavebních konstrukcí s použitím elektromagnetického indikátoru je nedestruktivní metoda. Tuto metodu lze považovat za tradiční, neboť první sofistikované přístroje byly použity na začátku 80. let 20. století. Od té doby se na trhu objevují další a stále se modernizující nové generace elektromagnetických indikátorů od různých výrobců. Jednotlivé konkurenční firmy nabízí produkty, které se navzájem liší především uspořádáním, citlivostí, hloubkou dosahu, obsluhou a dalším. Na trhu dominují především firmy Proceq a Hilti. Proceq představuje tradičního výrobce této techniky, aktuálně nabízí pokročilý elektromagnetický indikátor šesté generace Proceq Profometer PM 600/630/650. Posledním modelem firmy Hilti je přístroj Hilti PS300 Ferrosan. Oba přístroje jsou vyobrazeny níže na obr. 2.9 a 2.10 [5], [10], [22].



Obrázek 2.9: Proceq Profometer PM 630 s oddělitelnou měřicí sondou a dotykovým displejem [24]



Obrázek 2.10: Hilti PS300 Ferrosan s integrovanou sondou s displejem [29]

#### Podstata metody

Původní technologie starších přístrojů využívala magnetických vlastností zkoumaného materiálu. Spočívala ve vyhodnocování změn magnetického odporu magnetického obvodu. Výsledky měření mohly být nepříznivě ovlivněné závislostí magnetických vlastností jádra cívky na teplotě nebo cizími magnetickými poli včetně magnetického pole země. Aktuálně se však využívají přístroje založené na pulzně indukční technologii [22].

## Využití elektromagnetického indikátoru při diagnostice konstrukcí

Ve stavební praxi jsou elektromagnetické indikátory velmi účinnou a hojně využívanou nedestruktivní metodou. Zkoušky těmito přístroji se dle [5] využívají pro zjištění:

- polohy a rozmístění prutů výztuže;
- tloušťky betonové krycí vrstvy výztuže;
- průměru prutů výztuže.

Metoda elektromagnetických indikátorů má i svá omezení, která vyplývají z fyzikální podstaty zkoušky. Omezující faktory dle [5], [10] a [22] jsou:

- dosah přístrojů – běžné sondy mají dosah 60 mm až 100 mm, hloubkové sondy pak 150 mm až 220 mm;
- ovlivnění sousední výztuží – v případě, že jsou ocelové pruty blízko u sebe (v závislosti na průměru výztuže a velikosti krycí vrstvy), klesá jejich rozlišitelnost;
- přítomnost silných elektromagnetických polí (např. od stejnosměrné elektrické trakce) – starším modelům přístrojů blízkost elektromagnetických polí zcela znemožňovala měření;
- složky magnetického charakteru – při neznámém složení betonu je nutné se před měřením ujistit o tom, že beton neobsahuje tyto složky (např. struska s magnetickými vlastnostmi, létavý popílek) a v případě jejich přítomnosti tuto skutečnost zohlednit, kovová rozptýlená výztuž pak měření zcela znemožňuje;
- pomocí této metody nelze zjistit výztuž v druhé a další rovnoběžné vrstvě výztuže, její typ ani míru koroze.

Pro efektivní průběh měření je zapotřebí, aby přístroj obsluhovala osoba, která je seznámena s návodem od výrobce, ve kterém jsou uvedeny postupy měření pro jednotlivé případy uložení a konstrukce výztuže. Dále je doporučeno před měřením ověřit citlivost přístroje na model [5].

### 2.5.4 Georadar

Georadar (anglofonně GPR – Ground Penetrating Radar) je nedestruktivní metoda, která se využívá k lokalizaci nehomogenit v různorodém prostředí. Tato metoda je rozšířená v mnoha odvětvích lidské činnosti, zejména se používá v zemním prostředí (např. v geologii, archeologii, kriminalistice, průzkumech zaměřených na lokalizaci potrubí, vyhledávání munice atd.). Dále se aplikuje při lokalizaci dutin za ostěním tunelů a stěnami chodeb. V neposlední řadě nachází své uplatnění při stavebně technických průzkumech zaměřených na lokalizaci výztuže a imperfekcí v betonových konstrukcích. V České republice se georadarová měření provádí od 90. let 20. století, přičemž od poloviny první dekády tohoto století dochází k intenzivnímu rozvoji měřicí techniky v souvislosti s rozvojem stavebně technických průzkumů [17].

Obdobně jako u elektromagnetických identifikátorů, i v případě georadarů na evropském trhu aktuálně dominují firmy Hilti a Proceq. Je nutné zmínit, že přístroj Hilti PS 1000 X-Scan byl většinu druhého decennia jediným georadarem určeným pro diagnostiku výztuže. Teprve na konci desetiletí se v tržní nabídce objevil přístroj GPR Live od konkurenční firmy Proceq [10].

## Podstata metody

Fyzikální princip metody je založen na vysílání vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů do diagnostikované oblasti a následné analýze registrovaných odrazů od překážek. Vysílač generuje pulz, který se roznáší do zkoumaného prostředí. Pulzy se od nehomogenit v daném prostředí odraží zpět k sondě, která pomocí přijímače přijímá tuto pulzní odezvu. Frekvence vysílaných pulzů se pohybuje přibližně mezi stovky MHz až jednotky GHz. [10].

## Využití georadaru při diagnostice konstrukcí

Před představením přístroje Hilti PS 1000, byly radary v diagnostice železobetonových konstrukcí rozšířené jen minimálně. Důvodem tohoto jevu byla skutečnost, že doposud aplikované radarové přístroje byly velkých rozměrů a vysoké hmotnosti. V konečném důsledku se s nimi obtížně manipulovalo, měření bylo dlouhé, neefektivní a vyhodnocení vyžadovalo vysokou erudovanost obsluhy. Velmi nepohodlná a komplikovaná obsluha přístrojů při diagnostice konstrukcí souvisela s faktem, že převážná část těchto aparatur nebyla sestrojena pro využití ve stavebnictví. Skoro všechny tyto nevýhody týkající se využití radaru v diagnostice konstrukcí byly odstraněny představením nového přístroje Hilti PS 1000. Tento přístroj byl prvoplánově vyvinut pro diagnostiku železobetonových konstrukcí a to se projevilo jak na jeho konstrukčním mechanismu, tak na softwaru. Přístroj Hilti PS 1000 je v porovnání s předchozími radary lehký, jednoduchý na manipulaci a obsluhu a měření je svižné. Je ovšem mít stále na paměti, že i přes všechny výhody skýtající se v samotném měření s radarem Hilti PS 1000 může tento přístroj obsluhovat pouze dostatečně odborně erudovaná osoba s rozsáhlými zkušenostmi získanými v praxi. V opačném případě může dojít k neschopnosti interpretovat naměřené výsledky nebo k jejich nesprávné interpretaci [19], [20].

Přístroj Hilti PS 1000 X-Scan byl vyvinut pro analýzu struktury betonu a jeho velkou výhodou je osazení třemi anténami a detekce zapaštěných objektů ve více vrstvách. Vysílací frekvence, která ovlivňuje hloubkový dosah a minimální velikost detekovaného objektu byla zvolena na 2 GHz, což umožňuje dle výrobce [45] následující přesnost měření:

- maximální detekční hloubka pro lokalizaci objektu: 300 mm;
- přesnost indikace hloubky: < 100 mm:  $\pm 10$  mm, > 100 mm:  $\pm 15$  %;
- přesnost lokalizace objektu  $\pm 10$  mm.

Přístroj je omezen svým rozsahem provozní teploty na práci od  $-10$  °C do 50 °C. I s bateriemi váží pouhé 3 kg. Práci s ním výrazně usnadňují čtyři kolečka, která detekují pohyb sondy po povrchu konstrukce. V praxi se často setkáváme s nerovným a znečištěným povrchem konstrukce, proto je další velkou výhodou funkce detekce a zaznamenání pohybu sondy pomocí jediného styčného kolečka s konstrukcí. Sondou lze měřit ve dvou režimech – liniový sken a plošný sken (skenování ploch  $600 \times 600$  mm nebo  $1200 \times 1200$  mm). Prakticky ihned po provedení skenu se na displeji (později i v počítači nebo dodaném tabletu) vykreslí naměřené výsledky. Uživatel si může zvolit 2D zobrazení, což obsahuje půdorys skenované plochy a dva řezy ve dvou na sebe kolmých rovinách, nebo 3D zobrazení zachycených objektů [10], [19], [20], [45].

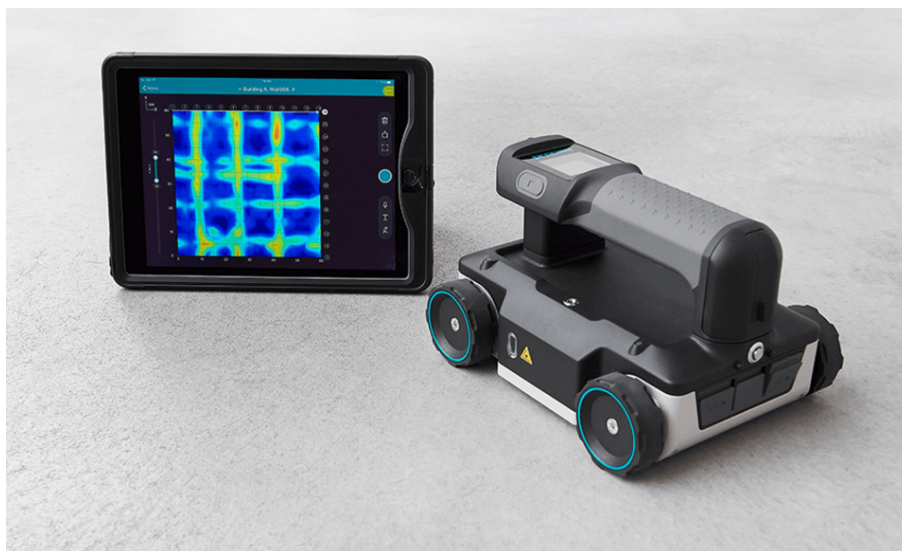
Georadar pro aplikaci při diagnostice konstrukcí vyvinula o několik let později také konkurenční firma Proceq. Její přístroj GPR Live (později byl přístroj Proceq GPR Live v souvislosti s aktualizací softwaru přejmenován na Proceq GP8000) je obdobných rozměrů



jako Hilti PS 1000 X-Scan. Pro zobrazování výsledků nevyužívá integrovaný displej, nýbrž připojený Apple iPad. Narozdíl od Hilti PS 1000 disponuje pouze jednou anténou, která je ale multifrekvenční v rozsahu 0,9 do 3,5 GHz, umožňující hloubkový dosah až 700 mm. Jednotlivé sondy jsou znázorněny na obrázcích 2.11 a 2.12 [10].



Obrázek 2.11: Hilti PS 1000 X-Scan s integrovanou obrazovkou [45]



Obrázek 2.12: Proceq GP8000 (GPR Live) s bezdrátově připojeným Apple iPad [30]

Nevýhodou metody georadaru je neschopnost určení průměru a typu výztuže. Dalším výrazným nedostatkem georadaru je skutečnost, že v případě, kdy se kabelový kanálek

předpínací výztuže nachází ve velmi těsné blízkosti měkké výztuže, nelze určit jeho přesnou polohu nebo na radarových skenech zcela chybí [10], [27].

### 2.5.5 Volba vhodné metody pro lokalizaci předpínací výztuže

Určení přesné polohy a průběhu výztuže/předpínacích kabelů je u předpjaté konstrukce jeden z prvních kroků k její diagnostice. V dnešní době máme k dispozici čtyři výše zmíněné základní metody – radiografie, sekaná sonda, elektromagnetický indikátor a georadar. Jednotlivé metody se liší jak svým fyzikálním principem, tak náročností na obsluhu a svými možnostmi i omezeními, které jsou vypsány výše. Bohužel jednu skutečnost mají společnou – ani jedna metoda nepřináší výsledky o komplexním vyztužení konstrukce v celém jejím objemu. Z výše uvedených popisů metod vyplývá, že ideální metoda pro stanovení polohy výztuže je radiografie pomocí gamazářiče *CO60*, která stanoví přesnou polohu i průměr výztuže. Tato metoda je aktuálně vyřazena, protože z důvodu přísných bezpečnostních opatření ji nyní neprovádí žádný subjekt v České republice ani v okolních zemích. Z dosavadních rozsáhlých zkušeností Ústavu stavebního zkušebnictví vyplývá jako ideální metoda pro lokalizaci výztuže georadar, který dokázal gamagrafiu částečně nahradit svými možnostmi určení polohy výztuže a jejího krytí [10], [19].

## 2.6 Podněty pro stanovení stavu předpínací výztuže

Jak již bylo zmíněno výše, výztuž se v železobetonových i v předpjatých konstrukcích značně podílí na přenášení zatížení a je důležité se na ni při diagnostice zejména předpjatých konstrukcí zaměřovat. Kromě lokalizace výztuže je určení jejího stavu také zásadním faktorem pro hodnocení. Při diagnostice stavu předpínací výztuže se hodnotí:

- koroze výztuže;
- zainjektování kabelových kanálků.

### 2.6.1 Koroze výztuže

Koroze ocelové výztuže spočívá v její oxidaci látkami, které se nachází v její těsné blízkosti. Je tedy zřejmé, že korozi výztuže nejvíce ovlivňuje prostředí, ve kterém je umístěna. V železobetonových stavbách je výztuž umístěna uvnitř konstrukce a tím pádem beton tvoří ochrannou krycí vrstvu ocelové výztuže před okolními vlivy. Stav této ochranné krycí vrstvy, tedy betonu, ovlivňuje korozní chování výztuže [28].

#### Podmínky a princip vzniku koroze

V čerstvém alkalickém betonu je výztuž proti korozi chráněna, protože vysoké<sup>2</sup> pH betonu zajišťuje tvorbu pasivního filmu na povrchu výztuže, který zabraňuje působení negativních vlivů. V zatvrdlém betonu závisí chování výztuže na míře jeho karbonatace, tedy hodnotě pH. Čím má okolní beton hodnotu pH nižší, tím rychleji postupuje karbonatace výztuže, přičemž hraniční hodnota pH před rozrušením pasivního ochranného filmu je 9,5. V případě, že beton obsahuje chloridy, koroze výztuže probíhá i při pH vyšším než 9,5, protože chloridové ionty jsou schopné narušit pasivní ochranný film. Čím vyšší je koncentrace chloridových

<sup>2</sup>Čerstvě uložený beton má pH mezi hodnotami 12 až 13.

iontů v betonu, tím je vyšší rychlost korodování výztuže. Ovšem nejrychleji probíhá koroze na výztuži zcela obnažené, protože ta je vystavena přímým vlivům korozního prostředí [28].

V železobetonových konstrukcích se nejčastěji vyskytuje elektrochemická koroze, kdy elektrody jsou tvořeny výztuží, elektrolytem je vlhkost betonu (aby mohla reakce probíhat, musí být přítomen kyslík) [28].

### Hodnocení koroze výztuže

Při posuzování rozsahu korozního poškození výztuže je směrným ukazatelem rozsah plošného zasažení a úbytek profilu. Míra úbytku profilu dle [26] rozděluje typy koroze na:

- povrchová koroze (P) – nepatrný úbytek profilu, u výztuží s tvarovaným reliéfem profilu (např. žebírková výztuž) je tento reliéf viditelný;
- hloubková koroze (H) – dochází k odlupování korozních zplodin po vrstvách, úbytek profilu je výrazný a uvádí se v %;
- extrémní koroze (E) – oslabení profilu je větší než 50 % plochy průřezu, nebo úplné přerušení prutu

Rozsah plošného zasažení se vyjadřuje také v procentech z celkové délky (u nosníků) nebo z celkové plochy (desky, stěny) [26].

Koroze výztuže způsobuje také odlupování vrstev betonu. Korozní produkty oceli totiž zvětšují svůj objem a tato změna vyvolá v konstrukci napětí, které se může projevit poškozením nebo odpadnutím krycí vrstvy betonu [10].

### Koroze předpínací výztuže

Podmínky a princip vzniku koroze u předpínací výztuže je totožný jako u klasické betonářské výztuže a je popsán v předešlých odstavcích. Hodnocení míry koroze předpínací výztuže je však odlišné – přísnější. Norma [7] uvádí, že konstrukce je v havarijním stavu, pokud úbytek průřezové plochy je větší než 5 %. Pro předpínací výztuž se tato hodnota vztahuje k jednotlivým předpínacím drátům, ze kterých jsou složeny předpínací lana. Korozní úbytek v hodnotě 5 % je pak v řádech desítek mikrometrů. V praxi to znamená, že jakákoli měřitelná koroze je nepřipustná [10].

#### 2.6.2 Zainjektování kabelových kanálků

Pro dlouhou životnost předpjatých konstrukcí je kromě jiného důležité kvalitní zainjektování kabelových kanálků. Injektáž zajišťuje alkalické prostředí a izoluje výztuž od korozi způsobujících látek (vody, kyslíku a chloridů). Koncept protikorozní ochrany výztuže však není založen pouze na kvalitním zainjektování, nýbrž zahrnuje i další aspekty. Klíčovým faktorem je návrh konstrukce, který má zajistit rychlé odvedení vody mimo konstrukci. Dalšími složkami ochrany výztuže je hydroizolace, hutný beton s nízkou propustností a v některých případech vnější obal kabelů z plastu, který je odolný proti korozi [21].

Diagnostické průzkumy [21] ukazují, že výztuž koroduje v místech s pronikající vodou, kde nejsou zcela vyinjektované kabelové kanálky (např. ve vrcholech a v oblasti kotev, což souvisí s odloučením vody z injektážní malty). Příčinou nekvalitního zainjektování může být nezkušenost, nedodržení technologického postupu nebo chybná receptura injektážní malty. Dodavatel injektáže by proto měl mít dostatečné znalosti, zkušenosti a odpovědnost [21].

## 2.7 Diagnostické metody pro stanovení stavu předpínací výztuže

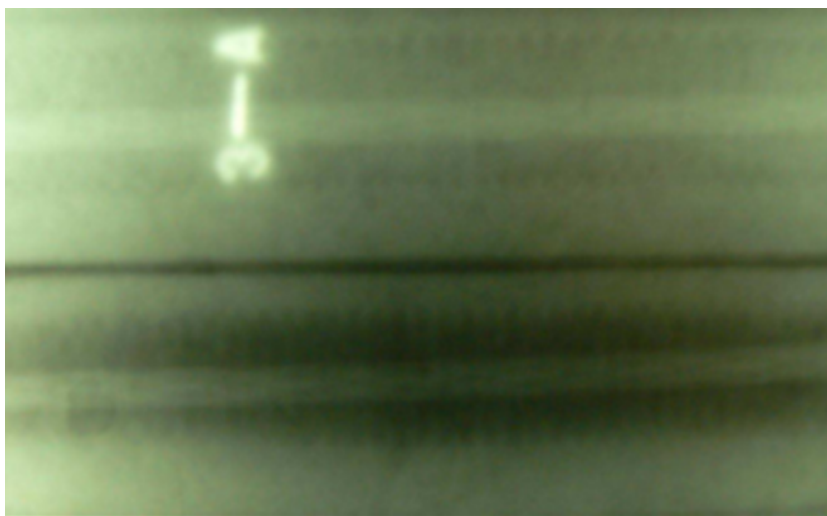
V současné době jsou dostupné pouze dvě metody pro stanovení stavu předpínací výztuže:

- radiografie;
- vizuální metoda.

V rámci laboratorního výzkumu dle [27] byly zkoušeny i další metody (radarové a ultrazvukové) pro stanovení stavu zainjektování. Jedná se zatím o metody velmi nejisté a neprůkazné. Metody jsou ve fázi experimentů, které zatím nedávají jednoznačné výsledky a je třeba dalšího zkoumání pro prokázání jejich průkaznosti.

### 2.7.1 Radiografie

Radiografie je nedestruktivní metoda, kterou lze s užitím gamazářiče *CO60* určit stav předpínací výztuže z hlediska stavu zainjektování bez rizik pospaných výše, navíc je schopna zachytit více kabelových kanálků najednou. Její výstup je patrný na obrázku 2.13. Tato metoda je ovšem jen lokálního charakteru a neposkytuje informace o celé konstrukci. Metoda je aktuálně vyřazena, protože z důvodu přísných bezpečnostních opatření ji nyní neprovádí žádný subjekt v České republice ani v okolních zemích [18].



Obrázek 2.13: Gamagram – na horní části obrázku je patrná plná injektáž, v dolní části obrázek znázorňuje chybějící injektáž [18]

### 2.7.2 Vizuální metoda

Vizuální kontrola je destruktivní (ve vztahu k místu sondy)/semidestruktivní (ve vztahu ke konstrukci) a zároveň jediná metoda, která se momentálně aplikuje v praxi. Před provedením této zkoušky je nutné lokalizovat výztuž, aby bylo možné v daném místě provést přesný vývrt. Ten se provádí jádrovým vrtáním až k okraji kabelového kanálku. Po vylomení vývrtu následuje příklepové dovtření až k předpínací výztuži. Výztuž je v této fázi obnažená a kvalifikovaný technik může posoudit míru její koroze a stav zainjektování, případně je

provedena i fenolftaleinová zkouška injektážní směsí pro zjištění pH. Výsledek této zkoušky lze vidět na obr. [10], [18].



Obrázek 2.14: Návrvt k ocelové chrániče Sandrik v předpjatém nosníku, následné vylomení vývrtu, dovtřetí k výztuži a realizace fenolftaleinové zkoušky [16]

Přestože má vizuální kontrola stavu předpínací výztuže řadu omezení, z nichž některé mohou mít přímý vliv na statiku konstrukce, nelze ji z hodnocení konstrukce vyřadit, neboť jiné metody nejsou v praxi dostupné. Jedním z hlavních rizik této metody je možnost poškození předpínací výztuže návrtem a následné oslabení konstrukce. Další nevýhodou je fakt, že se jedná pouze o bodové zjištění stavu – takový výsledek může být v některých případech zavádějící. V neposlední řadě se v řadách odborné veřejnosti rozvíjí diskuze, zdali jakýkoliv zásah do chráněného vnitřního prostředí kanálku nemůže být v budoucnu příčinou vzniku druhotné koroze [10].

## 2.8 Mostní prohlídky

Stavební stav mostů je v souladu s platnou legislativou průběžně sledován pomocí mostních prohlídek. Norma ČSN 73 6221 [7] rozlišuje jejich následující druhy:

- běžná;
- hlavní;
- první hlavní;
- mimořádné;
- kontrolní;
- technické;
- pojezdu.

Na dalších stranách jsou jednotlivé prohlídky obecně popsány. Konkrétní kontrolované vlastnosti konstrukcí a časové intervaly pro provádění prohlídek jsou uvedeny v normě [7].



Je ovšem nutné zdůraznit, každá konstrukce dle svého typu (betonová, ocelová, spřažená, zděná, dřevěná) má své specifické vlastnosti a pro korektní interpretaci výsledků mostních prohlídek je důležité přistupovat k jednotlivým konstrukcím individuálně.

### 2.8.1 Běžná prohlídka

Běžná prohlídka se realizuje za účelem zajištění bezpečnosti provozu a dalšího plánování údržby konstrukce. Při běžné prohlídce se kontroluje všeobecný stav, použitelnost a bezpečnost provozu všech částí a prvků mostu. Části mostu, které jsou nepřístupné bez vnějších zásahů do konstrukce nebo bez použití speciálních zařízení se hodnotí nepřímo na základě výsledků prohlídek z běžně přístupných míst [7]. Dle této normy je součástí běžné prohlídky:

- kontrola shody označení mostu a údajů uvedených v mostním listu;
- všeobecná kontrola a popis stavu konstrukce z hlediska použitelnosti, funkčnosti a bezpečnosti provozu na převáděných i přemostovaných komunikacích;
- kontrola provádění běžné údržby a uskutečňování opatření, které byly stanoveny na základě předchozích prohlídek;
- návrh opatření;
- stanovení požadavků na údržbu mostu.

V případě, že předchozí prohlídky zjistily závady, při běžné prohlídce se těmto poruchám věnuje speciální pozornost. Pokud vyvstanou pochybnosti o stavu mostu (významné deformace, kmitání, trhliny, pochybnost o jakosti použitých materiálů), do návrhu opatření se uvede požadavek na provedení mimořádné prohlídky [7].

### 2.8.2 Hlavní prohlídka

Při hlavní prohlídce se kontrolují a hodnotí všechny části mostu z hlediska jejich stavu, stability, odolnosti, spolehlivosti, použitelnosti a bezpečnosti provozu. Části mostu, které jsou nepřístupné bez zásahů do konstrukce se hodnotí nepřímo na základě závad a poruch zjištěných z přístupných míst konstrukce. Pro provádění hlavní prohlídky slouží jako podklady údaje uvedené v mostní evidenci a předchozí prohlídky doplněné o výsledky předchozích zkoušek realizovaných v rámci diagnostických průzkumů a sledování mostu [7]. Dle této normy je součástí hlavní mostní prohlídky:

- kontrola správnosti údajů uvedených v mostním listu;
- podrobné hodnocení stavu mostu a jeho částí včetně mostního vybavení;
- kontrola provádění údržby mostu a plnění opatření, které byly stanoveny na základě předchozích prohlídek;
- popis aktuálního stavu konstrukce, přičemž zjištěné závady jsou porovnány s výsledky předchozích prohlídek, zkoušek, diagnostických průzkumů a sledování mostu;
- návrh opatření;
- hodnocení mostu a stanovení termínu dalších prohlídek

Ve většině případů se u hlavní prohlídky postupuje totožně jako u běžné prohlídky. Tzn. že pokud byly dřív zjištěny v rámci předchozích prohlídek závady, jsou tyto poruchy při hlavní prohlídce důkladně sledovány. V případě pochybností o stavu mostu se do návrhu opatření uvede požadavek na provedení mimořádné prohlídky a/nebo diagnostického průzkumu [7].

### 2.8.3 První hlavní prohlídka

Při první hlavní prohlídce se kontroluje nový most nebo jeho část uváděná do provozu. Hodnotí se z hlediska stavu, stability, odolnosti, spolehlivosti, použitelnosti a připravenosti pro budoucí bezpečný provoz. Dále se ověřuje skutečné provedení s údaji v předložených dokumentech (např. Zpráva zhotovitele o provedení a kvalitě stavby, mostní list, dokumentace skutečného provedení, podklady k provádění zatěžovací zkoušky). Nepřístupné nebo zakryté části konstrukce se nekontrolují [7]. Dle této normy je součástí první hlavní mostní prohlídky:

- podrobné hodnocení skutečného provedení konstrukce dle předložených podkladů;
- popis aktuálního stavu, závad, poruch a rozdílů od dodané dokumentace;
- návrh opatření;
- stanovení stavu konstrukce;
- stanovení termínu dalších prohlídek;
- realizace a vyhodnocení zatěžovací zkoušky, pokud je požadována;
- hodnocení konstrukce z hlediska zatížitelnosti, uvedení do provozu, funkčnosti a spolehlivosti.

V případě, že vyvstanou pochybnosti o jakosti konstrukce z hlediska jejího provedení nebo použitých materiálů, do návrhu opatření se uvedou požadavky na dodatečné provedení zkoušek nebo měření na konstrukci [7].

#### 2.8.4 Mimořádná prohlídka

Mimořádné prohlídky zjišťují podrobný stav, stabilitu, odolnost, spolehlivost, použitelnost a bezpečnost konstrukce. Provádí se v případě, že konstrukce byla vystavena mimořádným situacím, které mohly konstrukci potenciálně významně poškodit nebo již existuje podezření na takové poškození mostu. Tyto prohlídky se provádí i na základě požadavku vlastníka/správce mostu. Zakryté a nepřístupné části konstrukce, jsou se souhlasem vlastníka/správce mostu zpřístupněny, aby bylo možné provést mimořádnou prohlídku v požadovaném rozsahu. Mezi konkrétní důvody k provedení mimořádné prohlídky dle [7] patří:

- živelné pohromy;
- dopravní nehody;
- po zjištění svahové aktivity v bezprostřední blízkosti mostu;
- po zjištění důlních škod v bezprostřední blízkosti mostu;
- po zjištění nebezpečného oslabení, trhlin a nadměrných deformací;
- po zjištění nebezpečných jevů, které se vyskytují za provozu konstrukce (významné kmitání, nadzvedání mostních závěrů a ložisek nebo jejich nedosedání);
- v případě provedení mimořádných přeprav nadměrných nákladů po mostě;
- před uplynutím záruční doby.

#### 2.8.5 Kontrolní prohlídka

Kontrolní prohlídka se provádí na základě požadavku silničního správního úřadu, který je nadřízený vlastníkovvi/správci mostu. Kontroluje se výkon dozoru nad mostním objektem, dodržování termínů a kvality provádění prohlídek, stav dokumentace a provádění údržby mostu. Tuto prohlídku neprovádí správce mostu [7].

#### 2.8.6 Technická prohlídka

Technická prohlídka se provádí za účelem zjištění okamžitého technického stavu konstrukce, její poruchy, závady a nedodělky a slouží jako podklad pro přejímku mostu nebo jeho části. Při této prohlídce se postupuje podle ustanovení, která jsou platná pro běžné nebo hlavní prohlídky [7].

#### 2.8.7 Prohlídka pojezdu

Prohlídka pojezdu hodnotí technický stav, závady a poruchy, které se přímo týkají zajištění bezpečnosti provozu na přemostované komunikaci. Při této prohlídce se postupuje podle ustanovení, která jsou platná pro běžné prohlídky [7].



## Kapitola 3

# Analýza předpjatého mostu

Bakalářská práce se v této – praktické části zabývá provedením stavebně technického průzkumu na reálné předpjaté mostní konstrukci a interpretaci jeho výsledků. Předmětem diagnostického zkoumání je dálniční mostní konstrukce postavená a uvedená do provozu v roce 1980. Konstrukce se nachází v Jihomoravském kraji a převádí silniční dopravu dálnice D2 ve směrech Brno–Bratislava a Bratislava–Brno na hranici České a Slovenské republiky, jižně od města Lanžhot. Dálniční doprava je převáděna přes lužní les, komunikaci II/425 a řeku Moravu, která v dané oblasti tvoří hraniční tok mezi sousedícími státy. Na přecházející komunikaci dálnice D2 se v místě střednice řeky Moravy nachází hraniční přechod Břeclav (D2) – Brodské. Polohopis předpjaté mostní konstrukce je vyznačený na obrázku 3.1.



Obrázek 3.1: Polohopis diagnostikovaného dálničního mostu [36]

Mostní objekt je popisován ve směru staničení trasy převáděné dálnice D2, tedy ve směru Brno–Bratislava (ze severu k jihu) a je složen ze dvou samostatných mostních konstrukcí, přičemž každý z těchto dvou mostů převádí jeden dopravní tah. Pravý most se nachází na

západní straně a je označen ev. č. D2-058..1. Levý most se nachází na východní straně a je označen ev. č. D2-058..2. Oba mosty jsou řešeny totožně.

Způsob provádění údržby a oprav tohoto mostu upravuje Smlouva mezi Českou republikou a Slovenskou republikou o údržbě a opravách silničních mostních objektů a úseků silnic na česko-slovenských státních hranicích, která vstoupila v platnost dne 1. června 2011 na základě souhlasu Parlamentu České republiky a ratifikace prezidentem republiky. Je zveřejněná ve Sbírce mezinárodních smluv s označením č. 44/2011 [37].

Stavebně technický průzkum se prováděl v rámci rozsáhlé diagnostiky předmětného mostního objektu, jejíž objednatelem je Ředitelství silnic a dálnic ČR. Diagnostický průzkum byl zadán na základě závěrů a navržených opatření z hlavní prohlídky mostu, která dle normy [7] klasifikovala stav spodní stavby stupněm V – špatný a stav nosné konstrukce stupněm IV – uspokojivý. Aby bylo zabráněno dalšímu chátrání a snižování zatížitelnosti mostu, je naplánovaná celková rekonstrukce včetně dokonalé izolace mostovky (na obrázcích 3.4 a 3.5 je patrná nefunkční izolace). Výsledky diagnostického průzkumu jsou výchozím podkladem pro návrh a zpracování dokumentace rekonstrukce mostu.

Tato práce se úzce specializuje na stavebně technický průzkum levého mostu s označením D2-058..2. Konkrétně se zaměřuje na předpínací výztuž v nosnících mostu v oblasti předpolí. Výztuž byla posuzována ve dvou fázích z hlediska:

- lokalizace výztuže v konstrukcích nosníků a stanovení odchylek polohy od projektové dokumentace;
- zjištění stavu výztuže z hlediska koroze a stavu zainjektování.

Jednotlivé fáze diagnostiky předpínací výztuže byly provedeny v logické návaznosti. V první fázi byla realizována nedestruktivní lokalizace výztuže, aby ve druhé fázi mohly být provedeny přesné návrhy k detekovaným kabelům s minimálním rizikem jejich poškození.

### 3.1 Základní informace o mostní konstrukci

Dálniční estakáda je rozdělena do 6 dilatačních celků. První až čtvrtý DC (dilatační celek) je umístěn na moravské straně konstrukce a tvoří předpolí. Pátý DC představuje hlavní mostní objekt, který převádí dálnici D2 přes řeku Moravu. Poslední, šestý DC, se nachází na slovenské straně a tvoří opět předpolí. Dilatační celky předpolí (obrázek 3.3) mají 4 pole, DC hlavního mostního objektu (obrázek 3.2) je o 3 polích:

- 1. DC – předpolí, moravská strana, 4 pole;
- 2. DC – předpolí, moravská strana, 4 pole;
- 3. DC – předpolí, moravská strana, 4 pole;
- 4. DC – předpolí, moravská strana, 4 pole;
- 5. DC – hlavní mostní objekt, hraniční přechod Břeclav (D2) – Brodské (resp. obě strany), 3 pole;
- 6. DC – předpolí, slovenská strana, 4 pole.

Konstrukce levého mostu s označením D2-058..2 má dle [8] následující vlastnosti:

- celkový počet polí: 23;
- délka přemostění: 876,62 m;
- délka nosné konstrukce: 879,02 m;
- šikmost: kolmý most (100 g);
- volná šířka: 11,75 m;
- celková šířka mostu: 13,45 m.

### 3.1.1 Hlavní mostní objekt



Obrázek 3.2: Pohled na levý most hlavního mostního objektu, hlavním nosným prvkem je komorový nosník proměnné výšky průřezu

#### Směrové a výškové vedení

Hlavní mostní objekt má začátek ve staničení km 60,38708 na podpěře P17 a jeho konec leží v km 60,55620 na podpěře P20. Je dlouhý 168,92 m a nachází se ve směrovém oblouku o poloměru  $R = 15\,000$  m. Niveleta objektu je ve vrcholovém zakružovacím oblouku o poloměru  $R = 22\,000$  m. Příčné sklony jednotlivých mostů (pravého i levého) jsou jednostranné, klesající k jejich vnějším okrajům ve sklonu 2 % [2].

#### Systém nosné konstrukce

Přemostění řeky Moravy bylo provedeno systémem letmé betonáže a staticky tvoří spojitý předpjatý nosník o třech polích. Rozpětí polí je ve směru staničení 39,575 m + 80,0 m +



+ 48,695 m. Celková délka spojitého nosíku je 168,260 m. V příčném směru se jedná o uzavřený komorový průřez konstantní šířky 6,55 m se symetricky vyloženými konzolami délky 3,30 m. Výška průřezu je plynule proměnná – ve středu rozpětí nejnižší, nad podpěrami nejvyšší. Pro možnost přístupu dovnitř komory jsou v příčnicích nad pilíři č. 18a, 18b, 19a, 19b vynechané průlezné otvory s ocelovým poklopem, které se využívají při stavebně technických průzkumech komorových nosníků [2].

### Předpínací výztuž

Předpínací výztuž v hlavním mostním objektu přes řeku Moravu je tř. 11. Jeden předpínací kabel se skládá z 24 drátů o průměru 7 mm a je osazen v krepované tlustostěnné chráničce o průměru 60/1,5 mm. Chránička je dále vyplněná injektážní maltou [2].

### 3.1.2 Předpolí



Obrázek 3.3: Pohled na předpolí na české straně, vpravo levý most, vlevo pravý most, na podpěře P16 u zrcadla levého mostu je patrné zvláštní zařízení (které hojně realizoval předchozí režim) sloužící k případné detonaci mostu

### Směrové a výškové vedení

Předpolí se nachází moravské i slovenské straně objektu. Staničení předpolí na moravské straně je v km 59,81948 až v km 60,38708, jeho délka je 567,60 m. Na slovenské straně se předpolí nachází v km 60,55620 až v km 60,69780, tzn. v délce 141,60 m. Směrový oblouk o poloměru  $R = 15\,000$  m začíná v km 60,03847 a končí v km 63,68672. Část předpolí na moravské straně o délce 219,39 m je v přímé, zbývající část předpolí o délce

490,61 m je v oblouku. Niveleta dálnice je od začátku objektu v km 59,81948 po km 59,82095 tzn. v délce 1,47 m ve sklonu + 2,019 %. Od km 59,82095 po km 60,68705 se niveleta nachází ve vrcholovém zakružovacím oblouku o poloměru  $R = 22\ 000$  m. Od km 60,68705 po km 60,69780 tzn. v délce 10,75 m je niveleta ve sklonu  $-1,918$  % [1].

### **Systém nosné konstrukce**

Horní stavbu konstrukce předpolí tvoří koncové a mezilehlé prefabrikované příčníky. V jednom dilatačním celku se nachází dva koncové příčníky tvaru L a tři mezilehlé příčníky tvaru obráceného T. Hlavním nosným prvkem je prefabrikovaný předpjatý nosník tvaru I, z betonu B 500. V každém poli je příčně osazeno 9 nosníků, které jsou od sebe osově vzdáleny 1,5 m. V jednom dilatačním celku o 4 polích je 36 nosníků, v celé konstrukci předpolí je pak 180 I nosníků. Výška nosníku je 1550 mm, šířka 600 mm, šířka stojiny 220 mm a délka 34 800 mm. Schématický příčný řez levého mostu je patrný na obrázku 3.6, přesné rozměry průřezu I nosníku jsou patrné na obrázku 3.7 [1].

### **Předpínací výztuž**

V každém nosníku je vedeno 7 předpínacích kabelů z oceli tř. 11. Jeden předpínací kabel se skládá z 24 drátů o průměru 7 mm a je osazen v krepované chráničce o vnitřním průměru 57 mm. Chránička je vyplněná injektážní maltou. Vedení kabelů podél nosníku je znázorněno na obrázku 3.7. V polovině I nosníku jsou předpínací kabely vedeny v dolní části a směrem ke krajům nosníku se zvedají. Všechny kabely jsou vedeny průběžně a v konstrukci předpolí je jich 1260 o celkové délce 43 812 m [1], [4].



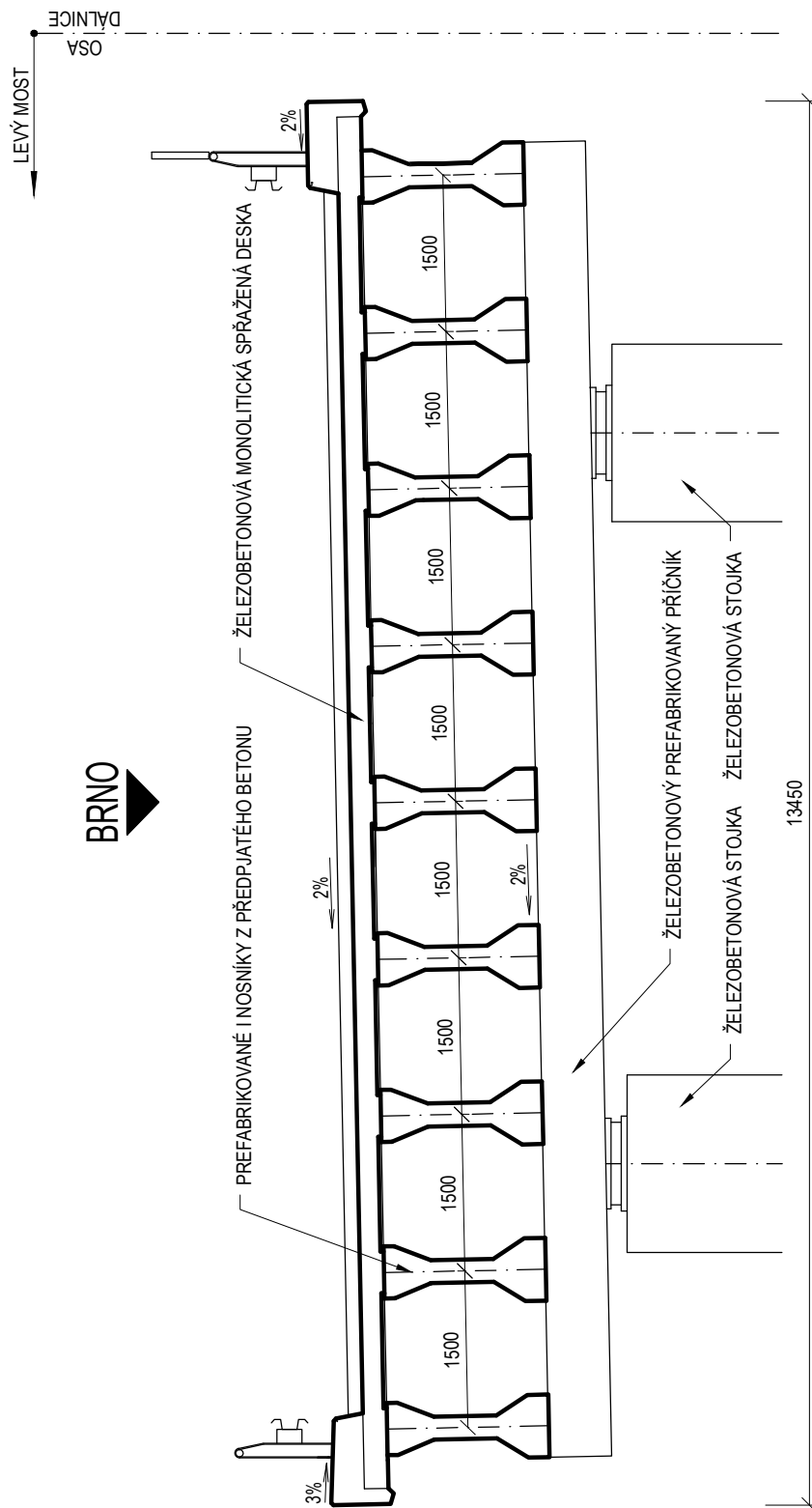
Obrázek 3.4: Pohled na předpolí levého mostu na českou stranu, 14. pole, v krajní části je patrná nefunkční izolace, stopy po zatékání a průsaky v místech odvodňovačů, inkrustace, odpadaná krycí vrstva betonu a v návaznosti i obnažená zkorodovaná měkká výztuž



Obrázek 3.5: Detail obrázku 3.4 – nefunkční izolace, stopy po zatékání a průsaky, inkrustace, odpadaná krycí vrstva betonu a v návaznosti i obnažená zkorodovaná měkká výztuž

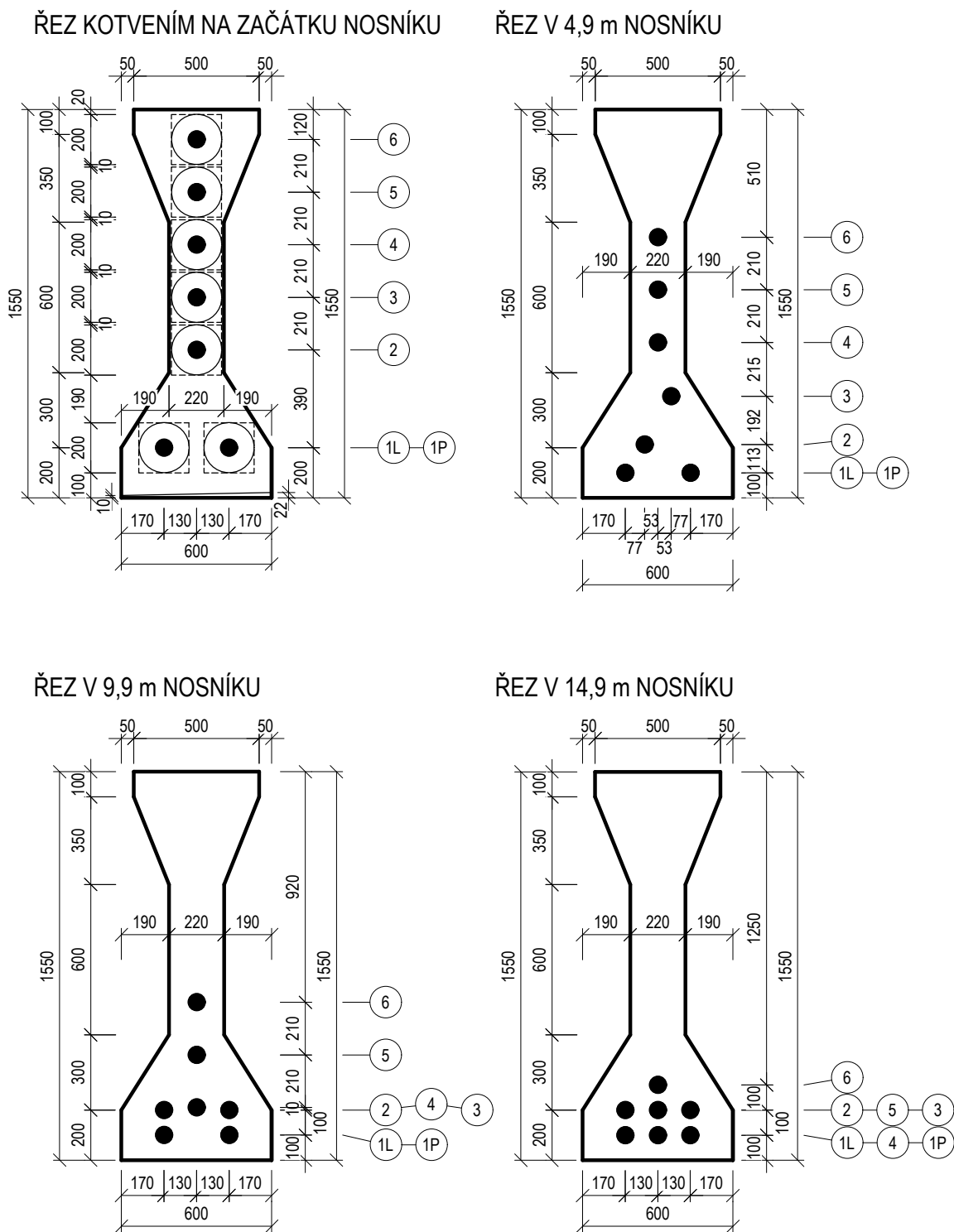


# SCHEMATICKÝ PŘÍČNÝ ŘEZ PŘEDPOLÍM, M 1:70



Obrázek 3.6: Schématický příčný řez předpolím, rozměry v [mm] [3]

# SCHÉMA VEDENÍ KABELŮ V NOSNÍCÍCH PŘEDPOLÍ, M 1:25



Obrázek 3.7: Schéma vedení kabelů v nosnících předpolí, rozměry v [mm] [4]



## 3.2 Lokalizace předpínací výztuže

Diagnostika konstrukce zaměřená na lokalizaci předpínací výztuže měla za cíl ověření počtu a polohy detekované předpínací výztuže na vybraných mostních nosnících levého mostu ev. č. D2-058..2. Průzkum byl realizován pod vedením doc. Ing. Ondřeje Antona, Ph.D. Ve spolupráci s autorkou této práce a dalšími pracovníky. Rozsah průzkumu byl stanoven na místě v součinnosti se zástupcem firmy Mostní a silniční, s.r.o., Ing. Igorem Suzou. Výběr diagnostikovaných míst na konstrukci byl proveden s ohledem na požadavky objednatele diagnostiky konstrukce, kterým je Ředitelství silnic a dálnic ČR [11].

### 3.2.1 Zvolená metoda pro lokalizaci předpínací výztuže

Ověření počtu a polohy předpínacích kabelů bylo provedeno metodou georadaru. Použit byl nejmodernější dostupný přístroj firmy Hilti, PS 1000 X-Scan. Fyzikální principům, výhodám metody a přesnosti měření tímto přístrojem je věnována podkapitola 2.5.4. Zdůvodnění použití právě této metody pro lokalizaci výztuže je popsáno v podkapitole 2.5.5. Alternativní řešení pro stanovení lokalizace výztuže v rámci metody georadaru je použití přístroje od konkurenční firmy Proceq, GP8000.

### 3.2.2 Implementace metody georadaru na konstrukci

V místě každé sondy byly provedeny radarové skeny. Skenovalo se ve třech variantách:

- liniový sken napříč nosníkem – pro stanovení polohy předpínacích kabelů a podélné měkké výztuže;
- podélný liniový sken v ose nosníku – pro zjištění polohy třmínků;
- plošný sken se středem zhruba v ose nosníku – pro ověření a upřesnění polohy předpínacích kabelů ve vztahu k měkké výztuži a třmínkům.

Přístup k I nosníkům se realizoval pomocí vysokozdvížné plošiny, která byla umístěna pod nosníky předpolí a dopravila pracovníky k předemtné oblasti skenování na nosníku.

#### Rozmístění sond

Použití vysokozdvížné plošiny zajistilo detailnější pohled na nosníky, který odhalil možné rizikové oblasti na konstrukci. Sondy se pak prováděly i v těchto místech. Celkem bylo provedeno 78 sond, které detekovaly 222 předpínacích kabelů – ve středních částech nosníků se detekovaly vždy 3 kabely, v krajních částech kabely 2. V 1. DC, 3. DC, 4. DC a v 6. DC bylo provedeno 15 sond, v 2. DC bylo provedeno 18 sond. Sondy v rámci jednoho DC byly rozmístěny do jednotlivých polí. V každém poli (kromě 23. pole v 6. DC, kde nebylo možné z provozních důvodů přistavit vysokozdvížnou plošinu) se sondy rozmístily do odlišných nosníků. Pro celkové zaměření kabelů v konstrukci byla snaha o rovnoměrné rozmístění jednotlivých sond. V průběhu průzkumu ale byly na konstrukci shledány možné rizikové oblasti a proto se v těchto místech sondy provedly přednostně. Výsledné rozložení sond na nosnících proto není dokonale rovnoměrné. Radarové skenování se provádělo vždy ze spodního líce nosníku [11].

Konkrétní rozmístění sond je shrnuto v následujících tabulkách 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 a 3.5. Schémata rozmístění sond jsou v příloze A.1.

## 1. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	ČÁST NOSNÍKU	POZICE NA NOSNÍKU	
N1	1	1	střední	16 240 mm	za ÚP 1. P
N2		2	krajní	4 000 mm	
N3		4	střední	15 820 mm	
N4		5	střední	15 640 mm	
N5	2	1	střední	12 750 mm	za ÚP 2. P
N6		2	střední	13 030 mm	
N7		4	střední	15 250 mm	
N8		5	střední	15 350 mm	
N9	3	3	střední	16 100 mm	za ÚP 3. P
N10		4	střední	15 800 mm	
N11		5	střední	15 650 mm	
N12		6	střední	16 200 mm	
N13	4	1	střední	13 650 mm	za ÚP 4. P
N14		2	střední	14 240 mm	
N15		4	střední	15 320 mm	

Tabulka 3.1: 1. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.1, A.2, A.3 a A.4 [11]

## 2. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	ČÁST NOSNÍKU	POZICE NA NOSNÍKU	
N16	5	4	střední	16 570 mm	za ÚP 5. P
N17		1	střední	21 210 mm	
N18		7	střední	20 300 mm	
N19	6	1	střední	13 500 mm	za ÚP 6. P
N20		4	střední	13 000 mm	
N21		6	střední	15 850 mm	
N22		9	krajní	24 150 mm	
N23		7	krajní	24 000 mm	
N24	7	9	střední	14 240 mm	za ÚP 7. P
N25		7	střední	13 580 mm	
N26		6	střední	16 660 mm	
N27		3	střední	14 510 mm	
N28		1	střední	15 500 mm	před ÚP 8. P
N29		9	krajní	6 570 mm	
N30	8	4	střední	12 570 mm	za ÚP 8. P
N31		5	střední	12 770 mm	
N32		6	střední	12 490 mm	
N33		7	střední	12 500 mm	

Tabulka 3.2: 2. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.5, A.6, A.7 a A.8 [14]

### 3. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	ČÁST NOSNÍKU	POZICE NA NOSNÍKU	
N34	9	8	krajní	5 000 mm	za ÚP 9. P
N35		5	krajní	3 400 mm	
N36		1	střední	19 630 mm	
N37	10	6	krajní	6 690 mm	za ÚP 10. P
N38		5	střední	16 600 mm	
N39		1	střední	15 250 mm	
N40	11	9	krajní	7 650 mm	za ÚP 11. P
N41		6	střední	11 550 mm	
N42		1	střední	18 450 mm	
N43	12	2	střední	16 600 mm	za ÚP 12. P
N44		3	střední	16 660 mm	
N45		4	střední	15 950 mm	
N46		5	střední	15 640 mm	
N47		6	střední	15 690 mm	
N48		8	střední	15 500 mm	

Tabulka 3.3: 3. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.9, A.10, A.11 a A.12 [15]

### 4. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	ČÁST NOSNÍKU	POZICE NA NOSNÍKU	
N49	13	1	střední	20 810 mm	za ÚP 13. P
N50		4	krajní	6 370 mm	
N51		5	střední	23 300 mm	
N52	14	2	střední	17 900 mm	za ÚP 14. P
N53		5	střední	17 800 mm	
N54		8	střední	17 700 mm	
N55	15	2	střední	17 420 mm	za ÚP 15. P
N56		5	střední	19 160 mm	
N57		8	střední	17 710 mm	
N58	16	5	střední	19 510 mm	za ÚP 16. P
N59		3	střední	19 750 mm	
N60		2	střední	19 800 mm	
N61		5	krajní	6 500 mm	
N62		6	krajní	6 750 mm	
N63		8	krajní	6 800 mm	

Tabulka 3.4: 4. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.13, A.14, A.15 a A.16 [12]

## 6. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	ČÁST NOSNÍKU	POZICE NA NOSNÍKU	
N64	20	2	střední	13 900 mm	před ÚP 21. P
N65		3	střední	14 550 mm	
N66		4	střední	16 290 mm	
N67		6	střední	16 990 mm	
N68		7	střední	17 210 mm	
N69	21	4	střední	15 180 mm	před ÚP 22. P
N70		5	střední	14 070 mm	
N71		7	střední	15 210 mm	
N72		8	střední	14 510 mm	
N73		9	střední	16 500 mm	
N74	22	9	střední	16 730 mm	před ÚP 23. P
N75		7	střední	12 600 mm	
N76		6	střední	12 560 mm	
N77		1	střední	14 700 mm	
N78		2	střední	15 500 mm	

Tabulka 3.5: 6. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.17, A.18 a A.19 [13]

### 3.2.3 Stanovení odchylek polohy výztuže od projektové dokumentace

Následující tabulky 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 a 3.10 předkládají souhrnné výsledky sond v jednotlivých dilatačních celcích z hlediska krytí detekovaných předpínacích kabelů.

V 1. DC, 2. DC, 3. DC, 4.DC a 6.DC (v předpolí na konstrukcích I nosníku) radar indikoval kabely označené na obrázku 3.7 jako 1L, 1P a 4, přičemž zvedaný kabel s označením 4 byl detekován pouze ve střední části nosníku. Georadar tedy zachytil jen předpínací kabely umístěné v první řadě od spodního líce I nosníku (strany, odkud se prováděly radarové skeny). Osově jsou tyto kabely v dodané projektové dokumentaci [4] kótovány ve vzdálenosti 100 mm od líce nosníku. Vnitřní průměr ocelové chráničky předpínacích kabelů je dle dokumentace 57 mm. Tloušťka chráničky (krepované ocelové trubky) je uvažována jako 0,5 mm. Krytí kabelů v předpolí je proto vypočítáno jako:

$$100 - \frac{57}{2} - 0,5 = \underline{71 \text{ mm.}}$$

V posledních třech sloupcích následujících tabulek jsou zobrazeny vypočítané odchylky reálné polohy kabelů od projektové dokumentace, tedy od vypočítaného krytí 71 mm. Kabely s kladnými hodnotami odchylek jsou orientovány blíže k líci nosníku – jsou to kabely s menší naměřenou hodnotou krytí než je uvedeno v projektové dokumentaci (méně než 71 mm). Kabely se zápornými hodnotami odchylek jsou orientovány dále od líce nosníku, jejich hodnota krytí byla georadarem naměřena jako větší než 71 mm. Kabely umístěné tímto způsobem se ve stavební praxi také označují jako tzv. „utopené“ kabely.

### 1. DC – VÝSLEDKY SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	POČET DETEKOVANÝCH KABELŮ	KRYTÍ KABELU 1L [mm]	KRYTÍ KABELU 4 [mm]	KRYTÍ KABELU 1P [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1L [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 4 [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1P [mm]
<b>N1</b>		1	3	130	110	90	-59	-39	-19
<b>N2</b>	1	2	2	190	-	110	-119	-	-39
<b>N3</b>		4	3	120	135	95	-49	-64	-24
<b>N4</b>		5	3	95	120	110	-24	-49	-39
<b>N5</b>	2	1	3	100	130	100	-29	-59	-29
<b>N6</b>		2	3	80	130	95	-9	-59	-24
<b>N7</b>		4	2	100	120	170	-29	-49	-99
<b>N8</b>		5	3	110	125	95	-39	-54	-24
<b>N9</b>		3	3	110	125	90	-39	-54	-19
<b>N10</b>	3	4	3	145	120	110	-74	-49	-39
<b>N11</b>		5	3	95	110	100	-24	-39	-29
<b>N12</b>		6	3	150	140	130	-79	-69	-59
<b>N13</b>		1	3	80	75	105	-9	-4	-34
<b>N14</b>	4	2	3	105	95	100	-34	-24	-29
<b>N15</b>		4	3	100	115	90	-29	-44	-19

Tabulka 3.6: 1. DC – výsledky sond georadaru [11]

## 2. DC – VÝSLEDKY SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	POČET DETEKOVANÝCH KABELŮ	KRYTÍ KABELU 1L [mm]	KRYTÍ KABELU 4 [mm]	KRYTÍ KABELU 1P [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1L [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 4 [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1P [mm]
N16		4	3	110	130	90	-39	-59	-19
N17	5	1	3	110	130	120	-39	-59	-49
N18		7	3	90	100	95	-19	-29	-24
N19		1	3	90	120	115	-19	-49	-44
N20		4	3	85	100	90	-14	-29	-19
N21	6	6	3	80	110	110	-9	-39	-39
N22		9	2	80	-	70	-9	-	1
N23		7	2	110	-	90	-39	-	-19
N24		9	3	100	110	70	-29	-39	1
N25		7	3	115	115	90	-44	-44	-19
N26		6	3	80	100	90	-9	-29	-19
N27	7	3	3	75	105	100	-4	-34	-29
N28		1	3	75	110	110	-4	-39	-39
N29		9	2	90	-	130	-19	-	-59
N30		4	3	90	120	85	-19	-49	-14
N31	8	5	3	80	135	75	-9	-64	-4
N32		6	3	100	125	85	-29	-54	-14
N33		7	3	120	200	95	-49	-129	-24

Tabulka 3.7: 2. DC – výsledky sond georadaru [14]

### 3. DC – VÝSLEDKY SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	POČET DETEKOVANÝCH KABELŮ	KRYTÍ KABELU 1L [mm]	KRYTÍ KABELU 4 [mm]	KRYTÍ KABELU 1P [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1L [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 4 [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1P [mm]
N34	9	8	2	40	-	70	31	-	1
N35		5	2	110	-	180	-39	-	-109
N36		1	3	95	105	85	-24	-34	-14
N37	10	6	2	85	-	65	-14	-	6
N38		5	3	110	125	110	-39	-54	-39
N39		1	3	70	95	90	1	-24	-19
N40	11	9	2	85	-	100	-14	-	-29
N41		6	3	95	150	85	-24	-79	-14
N42		1	3	120	120	85	-49	-49	-14
N43	12	2	3	110	125	125	-39	-54	-54
N44		3	3	90	110	100	-19	-39	-29
N45		4	3	105	110	100	-34	-39	-29
N46		5	3	120	125	130	-49	-54	-59
N47		6	3	80	55	70	-9	16	1
N48		8	3	120	125	90	-49	-54	-19

Tabulka 3.8: 3. DC – výsledky sond georadaru [15]

#### 4. DC – VÝSLEDKY SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	POČET DETEKOVANÝCH KABELŮ	KRYTÍ KABELU 1L [mm]	KRYTÍ KABELU 4 [mm]	KRYTÍ KABELU 1P [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1L [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 4 [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1P [mm]
N49		1	3	85	100	90	-14	-29	-19
N50	13	4	2	115	-	100	-44	-	-29
N51		5	3	100	150	85	-29	-79	-14
N52		2	3	105	110	100	-34	-39	-29
N53	14	5	3	100	115	110	-29	-44	-39
N54		8	3	95	115	110	-24	-44	-39
N55		2	3	95	120	110	-24	-49	-39
N56	15	5	3	100	110	105	-29	-39	-34
N57		8	3	110	120	95	-39	-49	-24
N58		5	3	100	105	85	-29	-34	-14
N59		3	3	90	100	115	-19	-29	-44
N60	16	2	3	90	95	100	-19	-24	-29
N61		5	2	125	-	85	-54	-	-14
N62		6	2	110	-	100	-39	-	-29
N63		8	2	90	-	75	-19	-	-4

Tabulka 3.9: 4. DC – výsledky sond georadaru [12]



### 6. DC – VÝSLEDKY SOND GEORADARU

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	POČET DETEKOVANÝCH KABELŮ	KRYTÍ KABELU 1L [mm]	KRYTÍ KABELU 4 [mm]	KRYTÍ KABELU 1P [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1L [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 4 [mm]	ODCHYLKA KRYTÍ KABELU 1P [mm]
N64		2	3	80	95	85	-9	-24	-14
N65		3	3	115	115	80	-44	-44	-9
N66	20	4	3	105	115	125	-34	-44	-54
N67		6	3	85	115	100	-14	-44	-29
N68		7	3	105	110	85	-34	-39	-14
N69		4	3	85	100	115	-14	-29	-44
N70		5	3	80	115	90	-9	-44	-19
N71	21	7	3	115	115	95	-44	-44	-24
N72		8	3	90	75	90	-19	-4	-19
N73		9	3	115	130	100	-44	-59	-29
N74		9	3	110	120	95	-39	-49	-24
N75		7	3	110	120	95	-39	-49	-24
N76	22	6	3	80	130	100	-9	-59	-29
N77		1	3	90	90	80	-19	-19	-9
N78		2	3	105	115	95	-34	-44	-24

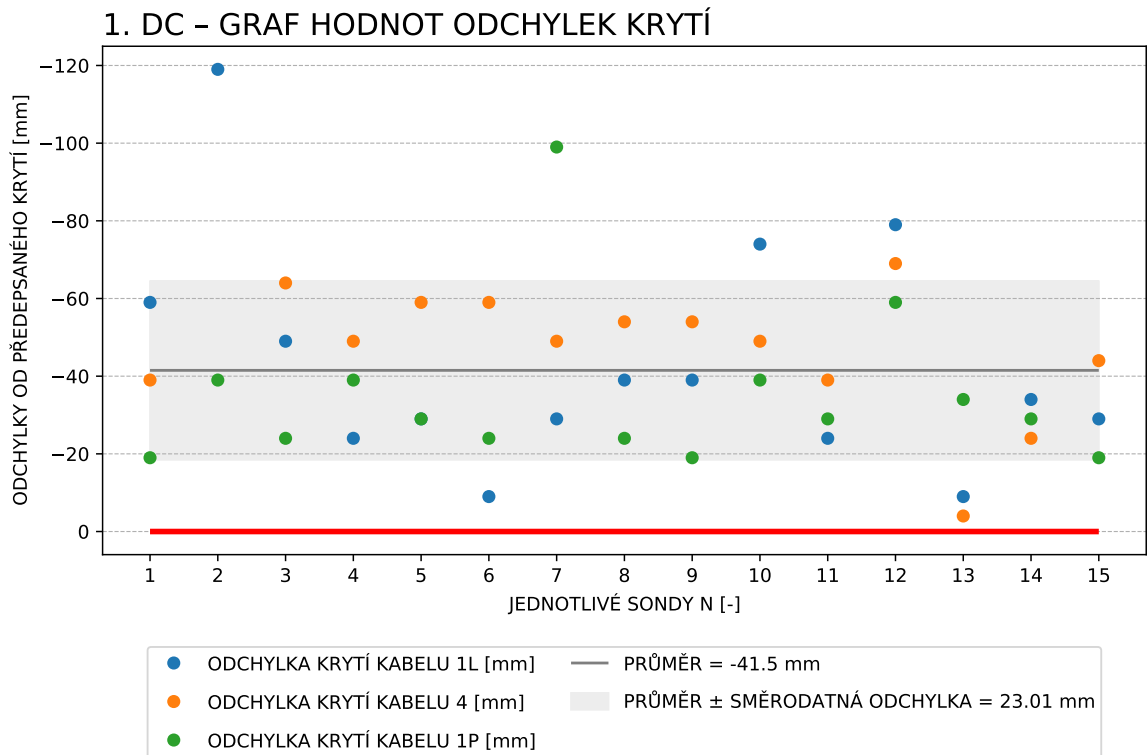
Tabulka 3.10: 6. DC – výsledky sond georadaru [13]

### 3.2.4 Interpretace výsledků lokalizace předpínací výztuže

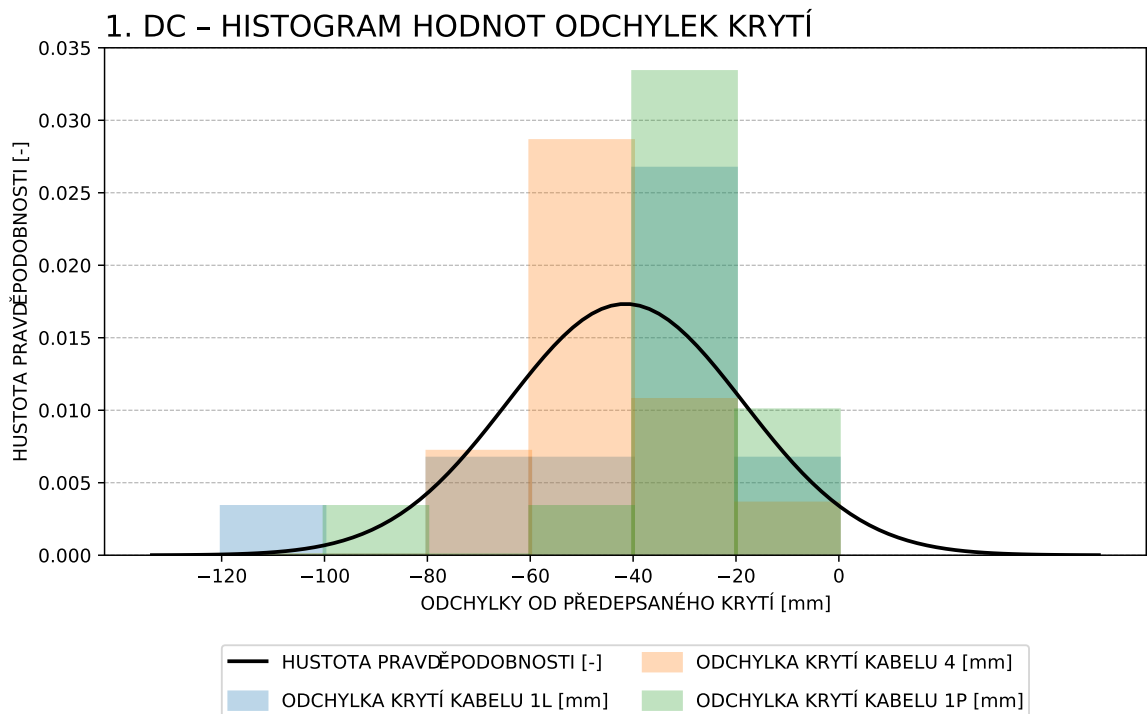
Předchozí tabulky předkládají všechna naměřená data stavebně technického průzkumu zaměřeného na lokalizaci předpínací výztuže v rámci jednotlivých dilatačních celků. Protože se v tabulkách hůře orientuje a je obtížné z nich vyvodit konkrétní výsledky průzkumu, byla vytvořena tato podkapitola, která si klade za cíl naměřená data roztrždit a vizualizovat. Pro vizualizaci výsledků průzkumu předmětné konstrukce byly vytvořeny přehledné grafy. Zobrazení dat prostřednictvím grafů umožní jejich zhodnocení a poslouží jako vodítko pro orientaci ve výsledcích celého průzkumu bez použití tabulek. Výsledky jednotlivých sond byly vizualizovány odděleně v rámci jednotlivých dilatačních celků. Pro každý DC předpolí jsou zobrazeny vždy dva grafy.

První graf dilatačního celku poskytuje zobrazení odchylek dílčích diagnostikovaných kabelů od nulové hodnoty, která je zobrazena jako červená horizontální úsečka. V ideálním případě, který nikdy nenastane, by všechny hodnoty měly ležet na této úsečce. Detekované kabely by pak za předpokladu dokonale přesného měření byly vedeny zcela dle projektové dokumentace. Kladné hodnoty na vertikální ose jsou hodnoty odchylek kabelů umístěných blíže k líci nosníku, než je v PD. Záporné hodnoty označují kabely dále od líce, než stanovených 71 mm. Jednotlivé kabely jsou v grafech barevně odlišeny. Modře jsou zobrazeny hodnoty odchylek krytí kabelu 1L, oranžově hodnoty odchylek krytí kabelu 4, zeleně hodnoty odchylek krytí kabelu 1P. Šedá horizontální úsečka vyznačuje průměrnou hodnotu odchylky krytí naměřených dat v příslušném dilatačním celku. Světle šedý pás kolem této úsečky značí směrodatnou odchylku. Hodnoty odchylek jsou udávány v milimetrech. Grafy tohoto typu jednotlivých dilatačních celků jsou uvedeny níže s označením 3.8, 3.10, 3.12, 3.14 a 3.16.

Druhý graf příslušící k témuž dilatačnímu celku popisuje hustotu pravděpodobnosti odchylek, které jsou rozděleny do intervalů po 20 mm. Stanovení intervalů má své opodstatnění – v podkapitole 2.5.4 autorka uvádí, že přesnost lokalizace objektu georadarem Hilti PS 1000 X-Scan, který byl použit při průzkumu, je  $\pm 10$  mm, což je důvodem pro třídění hodnot odchylek krytí do sloupců po 20 mm. Jednotlivé kabely jsou barevně odlišeny. Modře jsou zobrazeny hodnoty odchylek krytí kabelu 1L, oranžově hodnoty odchylek krytí kabelu 4, zeleně hodnoty odchylek krytí kabelu 1P. Černá křivka zobrazuje teoretickou Gaussovu křivku proloženou příslušnými daty a zobrazuje ideální hustotu pravděpodobnosti. Jelikož soubor naměřených dat představuje spojitou náhodou veličinu, mohl být v rámci dilatačních celků proveden test normality a následně i jednovýběrový Studentův  $t$ -test. Pro oba testy byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Tyto testy byly zadány autorkou práce ve skriptovacím programovacím jazyku Python. Test normality posuzoval nulovou hypotézu  $H_0$  o normálním rozdělení dat. V obou případech (zamítnutí i nezamítnutí hypotézy  $H_0$ ) byl následně proveden i Studentův  $t$ -test, který porovnává střední hodnotu naměřených odchylek se střední hodnotou odchylek dle projektové dokumentace, kterou je konstanta, tedy 0. Studentův  $t$ -test tedy testuje nulovou hypotézu  $H_0$  o statistické významnosti rozdílu těchto středních hodnot. Výsledky Studentova  $t$ -testu nabývají dvou hodnot, buď je rozdíl mezi střední hodnotou odchylky polohy detekované výztuže na dilatačním celku a známou konstantou statisticky významný či nikoliv (tzn. buď je hypotéza  $H_0$  zamítnuta či nezamítnuta). V případě zamítnutí této hypotézy lze tvrdit, že ze statistického hlediska kabely nejsou vedeny dle projektové dokumentace. V opačném případě hypotéza  $H_0$  nezamítá tvrzení, že kabely jsou vedeny dle PD. Výsledek Studentova  $t$ -testu může být ovlivněn výsledkem testu normality. Grafy jednotlivých dilatačních celků jsou uvedeny níže s označením 3.9, 3.11, 3.13, 3.15 a 3.17, výsledky statistických testů jsou uvedeny v popisících grafech.

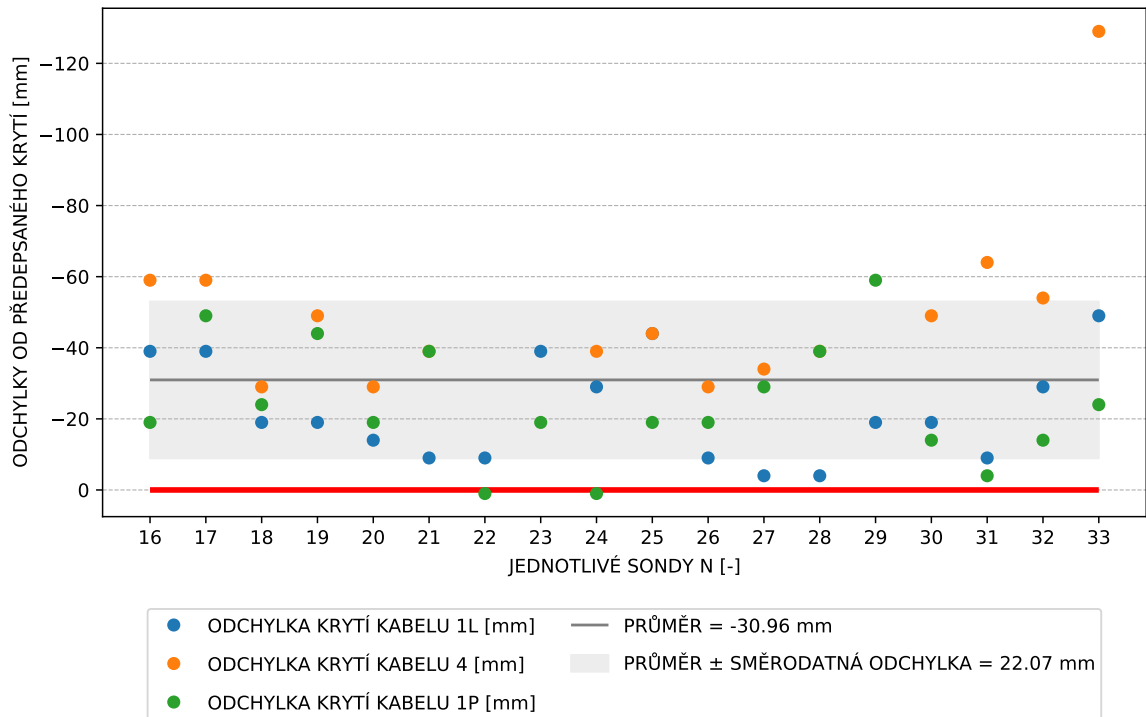


Obrázek 3.8: 1. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách



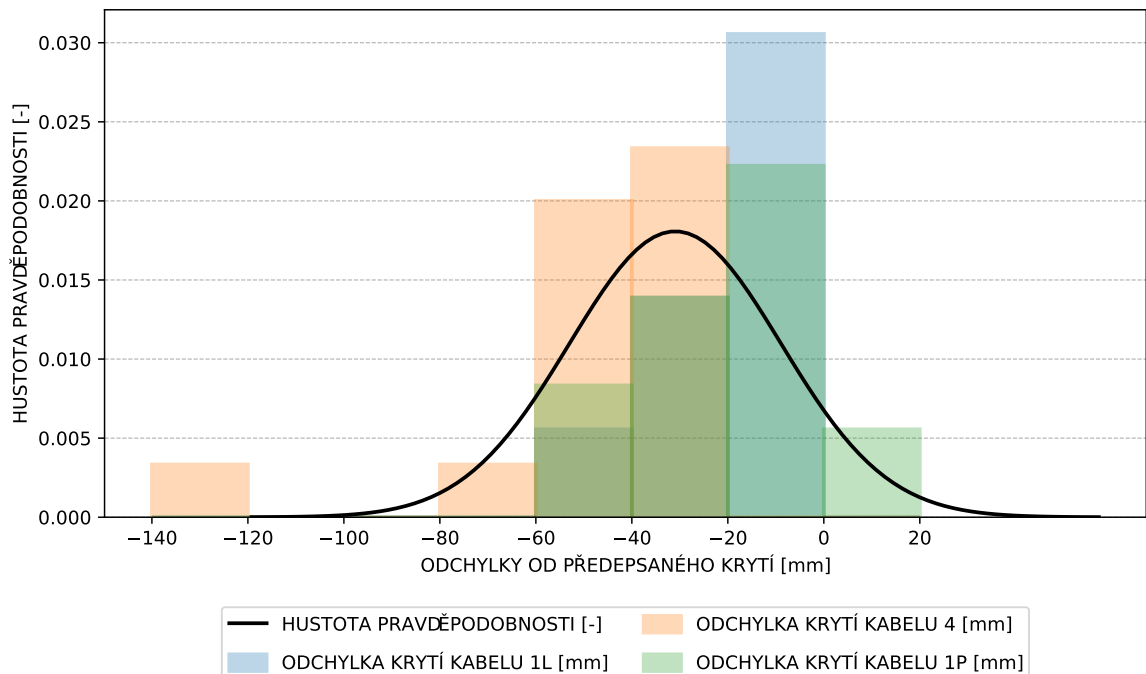
Obrázek 3.9: 1. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality:  $H_0$  zamítnuta, Studentův  $t$ -test:  $H_0$  zamítnuta

## 2. DC – GRAF HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



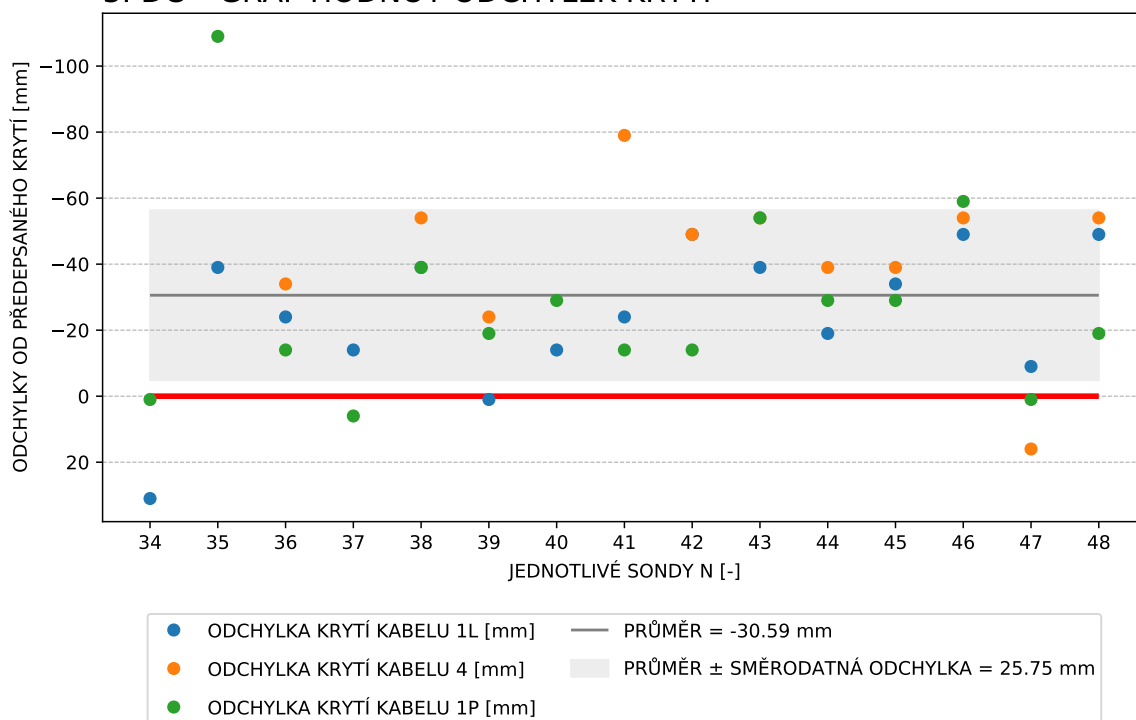
Obrázek 3.10: 2. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách

## 2. DC – HISTOGRAM HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



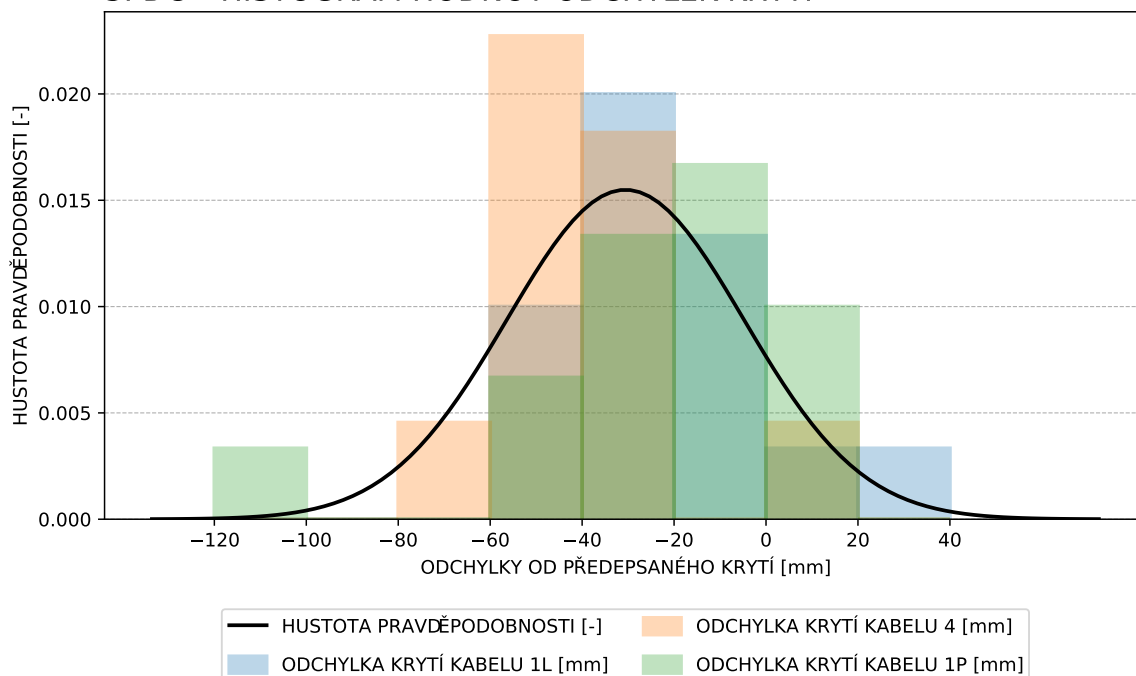
Obrázek 3.11: 2. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality:  $H_0$  zamítnuta, Studentův  $t$ -test:  $H_0$  zamítnuta

### 3. DC – GRAF HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



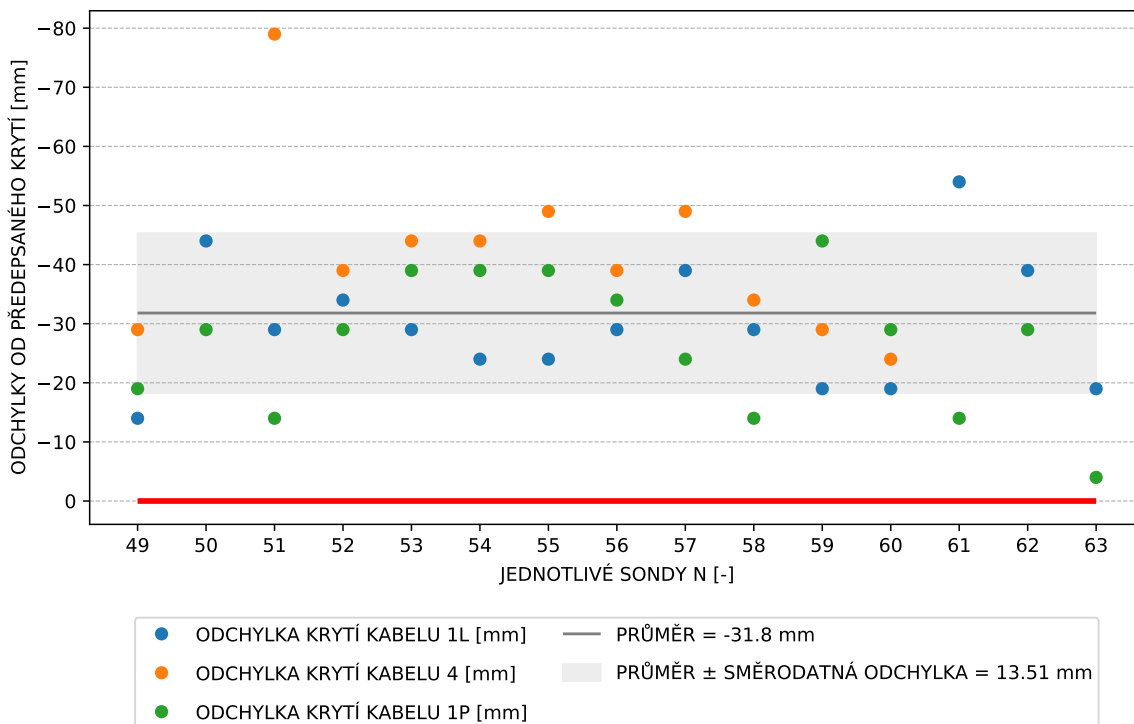
Obrázek 3.12: 3. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách

### 3. DC – HISTOGRAM HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



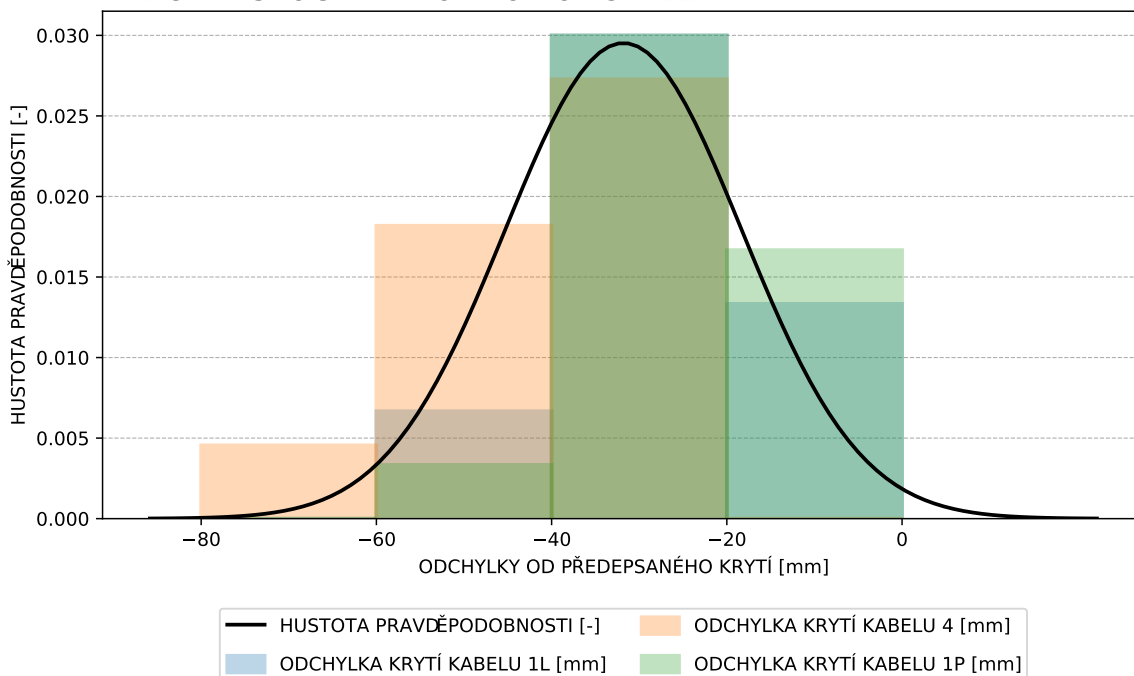
Obrázek 3.13: 3. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality:  $H_0$  nezamítnuta, Studentův  $t$ -test:  $H_0$  zamítnuta

#### 4. DC – GRAF HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



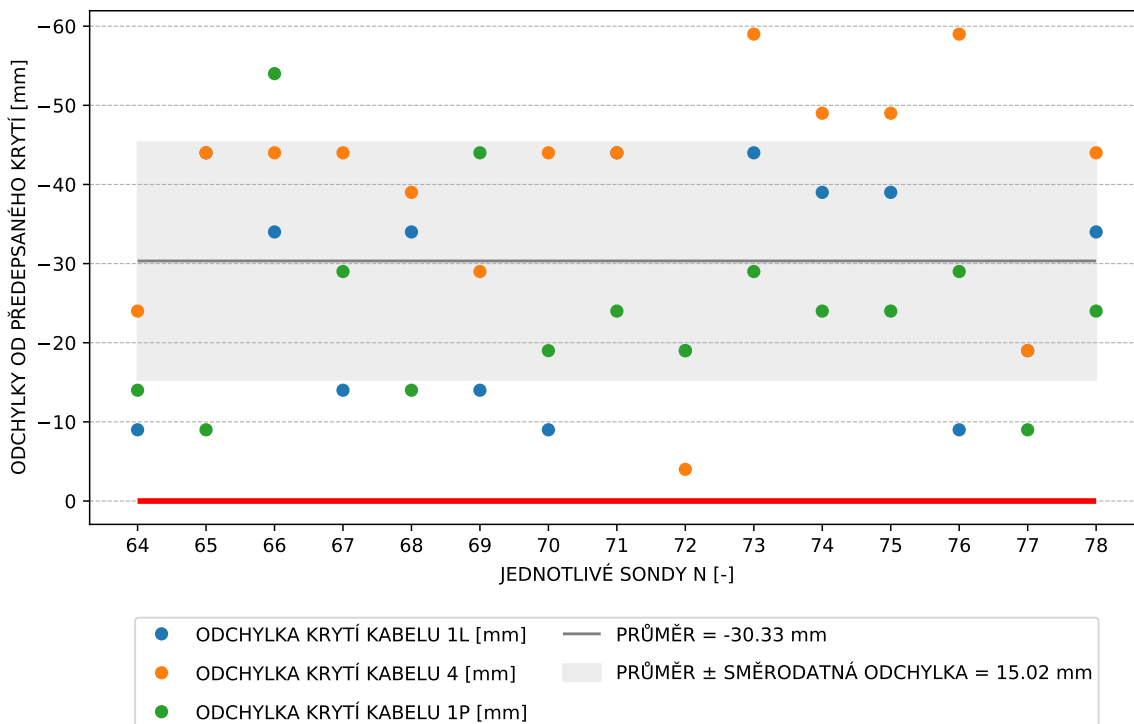
Obrázek 3.14: 4. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách

#### 4. DC – HISTOGRAM HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



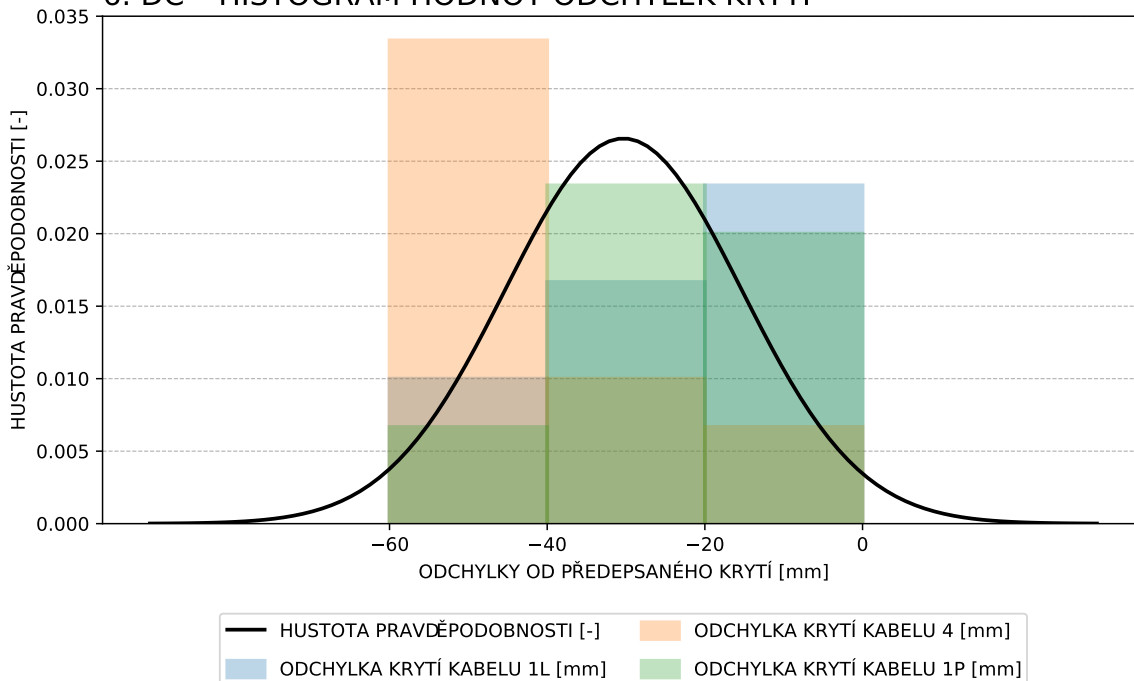
Obrázek 3.15: 4. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality:  $H_0$  zamítnuta, Studentův  $t$ -test:  $H_0$  zamítnuta

### 6. DC – GRAF HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ



Obrázek 3.16: 6. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách

### 6. DC – HISTOGRAM HODNOT ODCHYLEK KRYTÍ

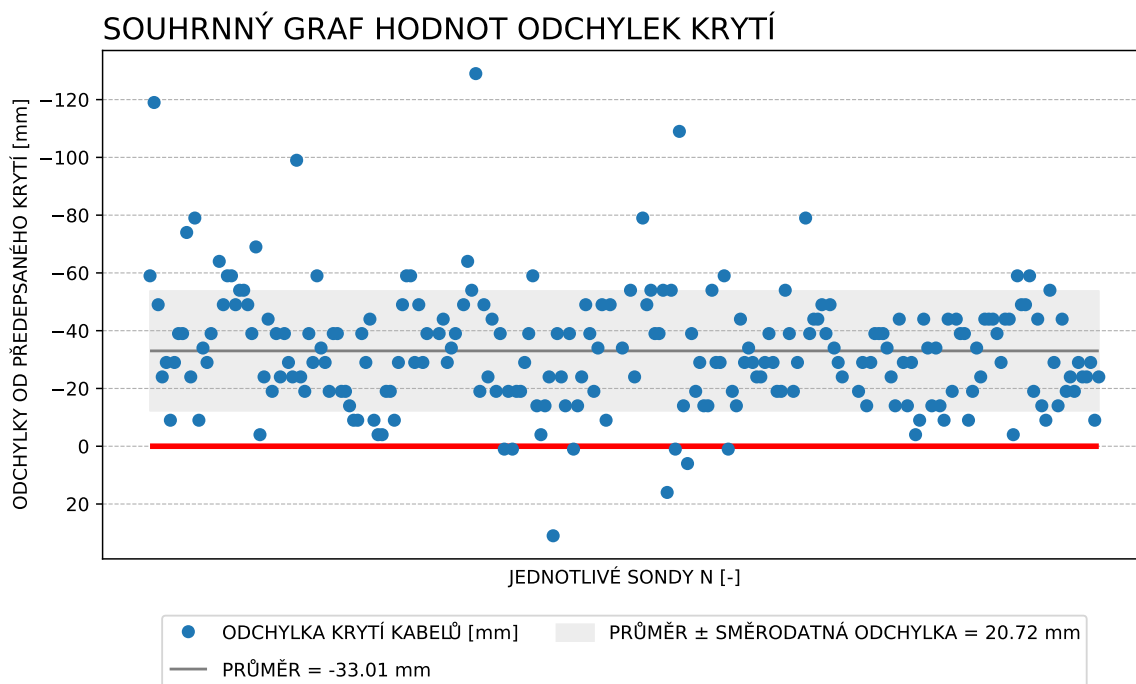


Obrázek 3.17: 6. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality:  $H_0$  zamítnuta, Studentův  $t$ -test:  $H_0$  zamítnuta

### 3.2.5 Závěrečné zhodnocení lokalizace předpínací výztuže

Pro interpretaci a zhodnocení celkového stavu konstrukce předpolí z pohledu lokalizace předpínací výztuže georadarem byly vytvořeny 4 grafy, které znázorňují naměřená data souhrnně. První, třetí a čtvrtý graf (označené jako 3.18, 3.20 a 3.21) nerozlišují jednotlivé dilatační celky. Porovnání jednotlivých dilatačních celků znázorňuje druhý graf (s označením 3.19). Podrobnější grafy pro každý DC zvlášť jsou uvedeny v podkapitole 3.2.4.

První souhrnný graf poskytuje zobrazení odchylek dílčích diagnostikovaných kabelů od nulové hodnoty, která je zobrazena jako červená horizontální úsečka. V ideálním případě, který nikdy nenastane, by všechny hodnoty měly ležet na této úsečce. Detekované kabely by pak za předpokladu dokonale přesného měření byly vedeny zcela dle projektové dokumentace. Kladné hodnoty na vertikální ose jsou hodnoty odchylek kabelů umístěných blíže k líci nosníku, než je v PD. Záporné hodnoty označují kabely dále od líce, než stanovených 71 mm. Z grafu je patrné, že většina kabelů leží dále, než je v PD. Průměrná hodnota odchylky od krytí je znázorněna šedou horizontální úsečkou a je rovna  $-33,01$  mm. Světle šedý pás kolem této úsečky značí směrodatnou odchylku, která je rovna  $20,72$  mm. Hodnoty odchylek jsou udávány v milimetrech. Důvodem vysoké průměrné hodnoty jsou pravděpodobně faktory, které při prefabrikaci ovlivnily polohu kabelů před betonáží nebo při ní. Typicky se mohlo jednat o běžnou technologickou nekázeň při výrobě, kdy krepované chráničky nebyly správně vyvázané a při betonáži změnily svou polohu. Graf má označení 3.18.

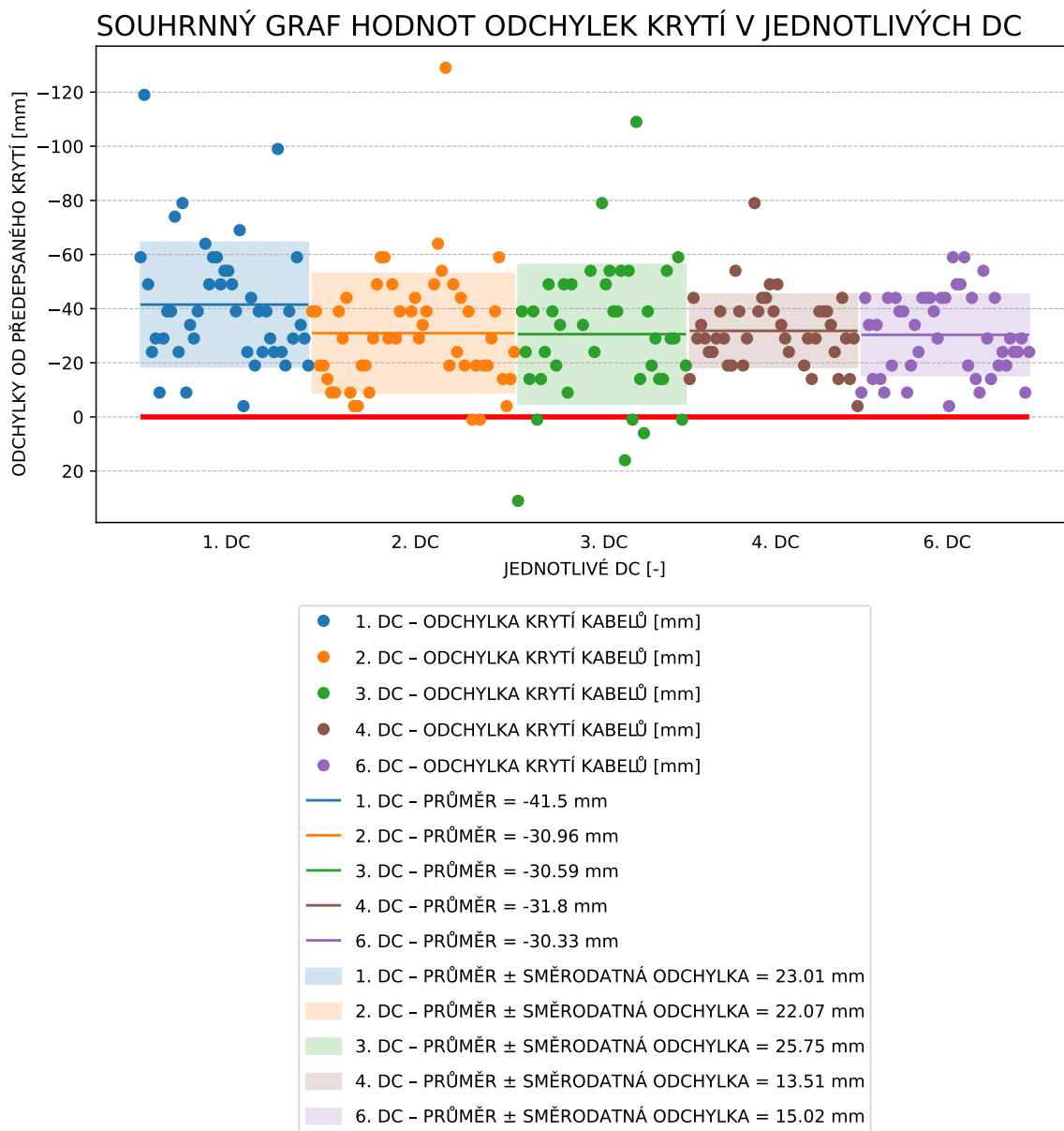


Obrázek 3.18: Souhrnný graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách

Druhý souhrnný graf má stejné vlastnosti jako předchozí graf s označením 3.18 s tím rozdílem, že v tomto grafu jsou barevně rozlišené jednotlivé dilatační celky. Modře je 1. DC, oranžově 2. DC, zeleně 3. DC, hnědě 4. DC a fialově 6. DC. Z grafu je patrné, že nejvyšší průměrnou hodnotu odchylky od předepsaného krytí má 1. DC s hodnotou  $-41,5$  mm. U ostatních dilatačních celků předpolí se průměrná hodnota odchylky od předepsaného krytí pohybuje v rozmezí  $-30,33$  mm až  $-31,8$  mm. Nejnižší směrodatná odchylka přísluší



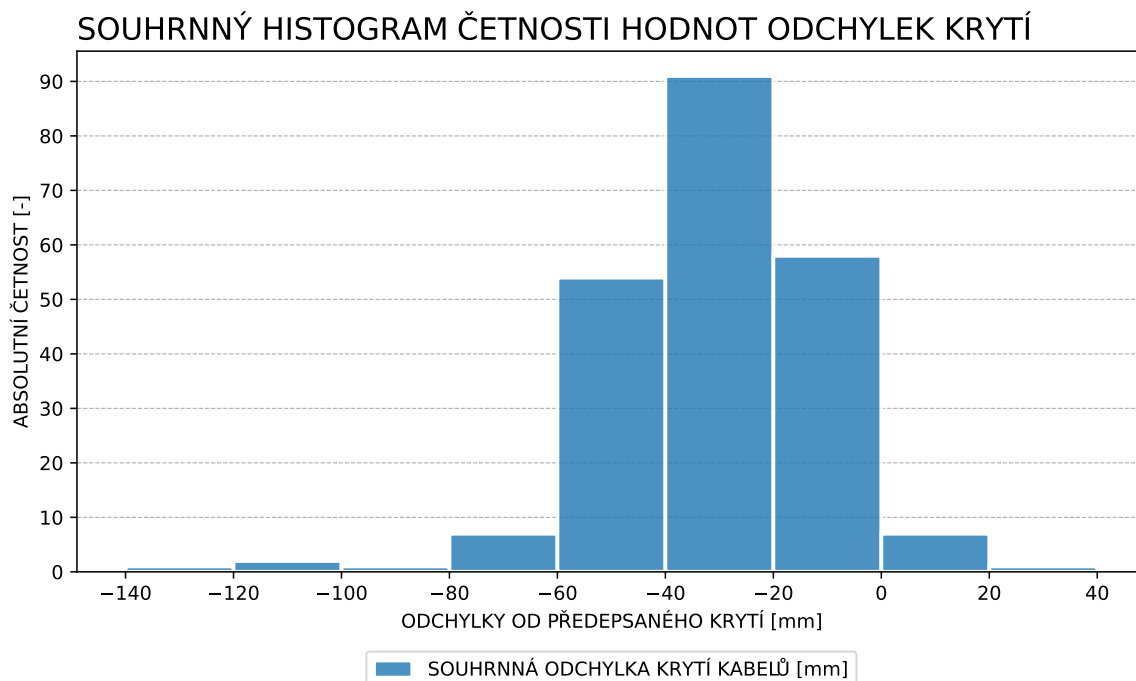
4. DC a její hodnota je 13,51 mm. Nejvyšší směrodatná odchylka náleží 3. DC a její hodnota je 25,75 mm. Extrémní hodnota kabelu, který je umístěn nejdále od líce nosníku je v 2. DC a jedná se o sondu N33 s naměřenou odchylkou od předepsaného krytí -129 mm. Extrémní hodnota kabelu, který je umístěn nejbliže k líci nosníku je v 3. DC a jedná se o sondu N34 s naměřenou odchylkou od předepsaného krytí 31 mm. Obě sondy těchto extrémních hodnot byly vybrány k zobrazení v podkapitole 3.2.6. Graf má označení 3.19.



Obrázek 3.19: Souhrnný graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách rozdělený do DC

Třetí souhrnný graf zobrazuje absolutní četnost odchylek, které jsou rozděleny do intervalů po 20 mm. Stanovení tohoto intervalu je zamýšlené a stejně jako v předchozí podkapitole 3.2.4 se autorka odkazuje na přesnost lokalizace objektu georadarem Hilti PS 1000 X-

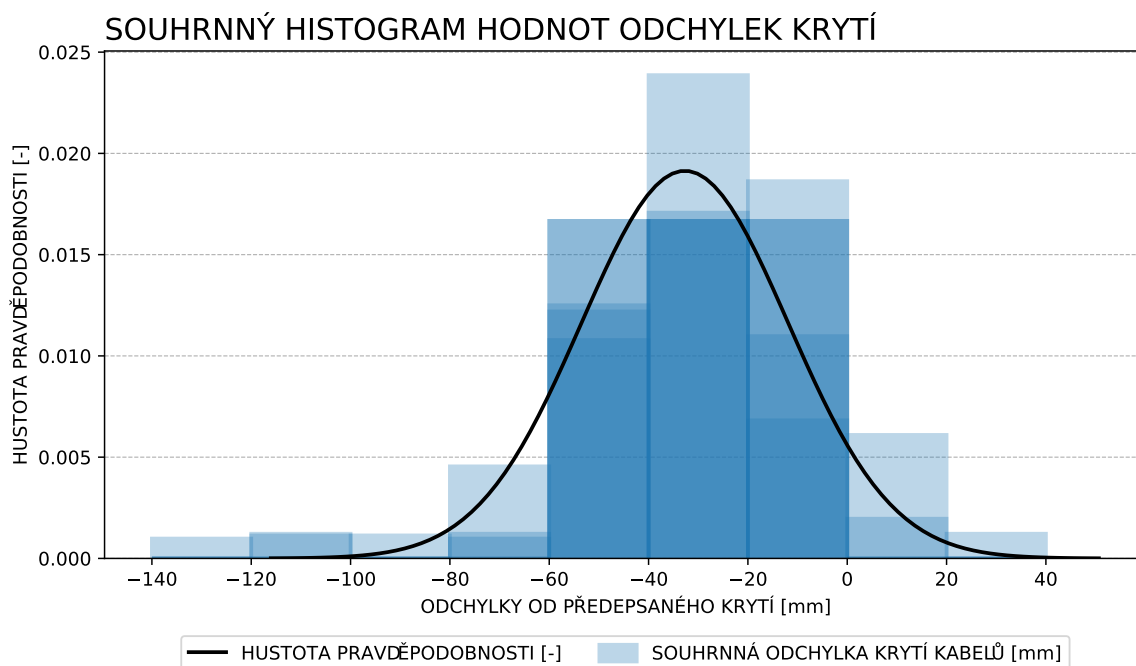
Scan. Tento georadar byl použit při průzkumu a dle výrobce je přesnost lokalizace objektu  $\pm 10$  mm, což je důvod pro třídění odchylek do sloupců po 20 mm. Další informace o přesnosti použitého přístroje jsou uvedeny v podkapitole 2.5.4. Je zřejmé že v sondách rozmístěných po celém předpolí je umístěno nejvíce kabelů s odchylkou  $-20$  mm až  $-40$  mm od předepsaného krytí, které bylo dle podkapitoly 3.2.3 vypočteno jako 71 mm. Z grafu je patrné, že 91 sond má odchylku od předepsaného krytí mezi  $-20$  až  $-40$  mm, 58 sond má odchylku 0 až  $-20$  mm, 54 sond má odchylku  $-40$  až  $-60$  mm, 7 sond má odchylku 0 až 20 mm, 7 sond má odchylku  $-60$  až  $-80$  mm, 2 sondy mají odchylku  $-100$  až  $-120$  mm, 1 sonda má odchylku 20 až 40 mm, 1 sonda má odchylku  $-80$  až  $-100$  mm, 1 sonda má odchylku  $-120$  až  $-140$  mm. Graf má označení 3.20.



Obrázek 3.20: Souhrnný histogram absolutní četnosti odchylek krytí v jednotlivých sondách

Čtvrtý souhrnný graf popisuje hustotu pravděpodobnosti odchylek od krytí dle projektové dokumentace. Dílčí sloupce jsou taktéž tříděny do intervalů po 20 mm jako v předchozím grafu 3.20. Černá křivka zobrazuje teoretickou Gaussovu křivku proloženou příslušnými daty a zobrazuje ideální hustotu pravděpodobnosti. Jelikož soubor naměřených dat představuje spojitou náhodou veličinu, mohl být (stejně jako u jednotlivých DC) proveden test normality a následně i jednovýběrový Studentův  $t$ -test (který byl taktéž proveden v rámci jednotlivých DC). Pro oba testy byla zvolena hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Tyto testy byly zadány autorkou práce ve skriptovacím programovacím jazyku Python. Test normality posuzoval nulovou hypotézu  $H_0$  o normálním rozdělení dat. V obou případech (zamítnutí i nezamítnutí hypotézy  $H_0$ ) byl následně proveden i Studentův  $t$ -test, který porovnává střední hodnotu naměřených odchylek se střední hodnotou odchylek dle projektové dokumentace, kterou je konstanta, tedy 0. Studentův  $t$ -test tedy testuje nulovou hypotézu  $H_0$  o statistické významnosti rozdílu těchto středních hodnot. Výsledky Studentova  $t$ -testu nabývají dvou hodnot, buď je rozdíl mezi střední hodnotou odchylky polohy výztuže a známou konstan-

tou statisticky významný či nikoliv (tzn. buď je hypotéza  $H_0$  zamítnuta či nezamítnuta). V případě zamítnutí této hypotézy lze tvrdit, že ze statistického hlediska kabely nejsou vedeny dle projektové dokumentace. V opačném případě hypotéza  $H_0$  nezamítá tvrzení, že kabely jsou vedeny dle PD. Výsledek Studentova  $t$ -testu může být ovlivněný výsledkem testu normality. Graf má označení 3.21 a výsledky statistických testů jsou uvedeny v popisku. Závěrem testování celého souboru dat je zamítnutí hypotézy  $H_0$  Studentova  $t$ -testu. Znamená to tedy, že ze statistického hlediska reálné krytí detekovaných předpínacích kabelů není dle PD.

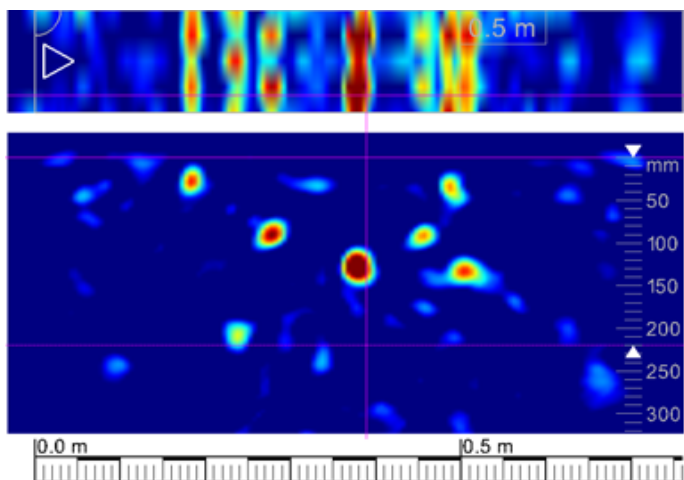


Obrázek 3.21: Souhrnný histogram relativní četnosti odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality:  $H_0$  zamítnuta, Studentův  $t$ -test:  $H_0$  zamítnuta

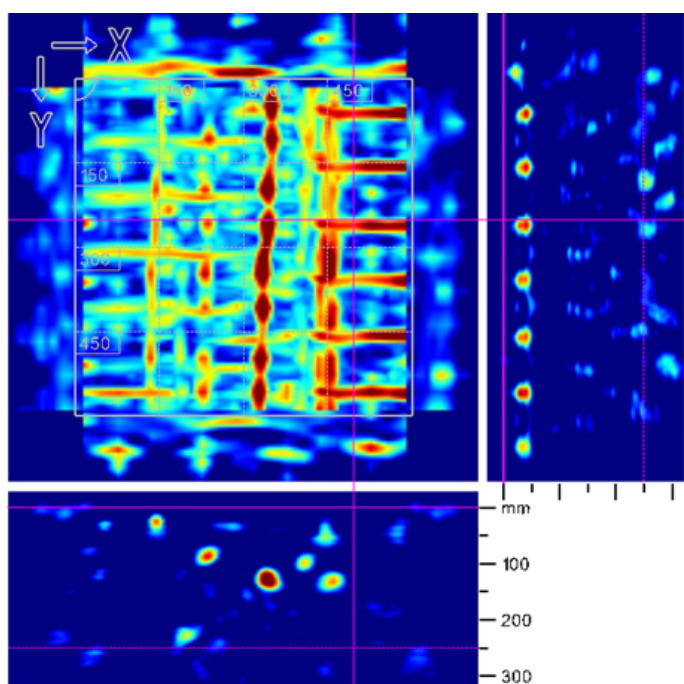
### 3.2.6 Reprezentativní sondy z lokalizace předpínací výztuže

Z důvodu omezeného rozsahu této práce zde nemohla autorka zobrazit a popsat všech 78 provedených sond, které detekovaly 222 kabelů. Byly proto vybrány reprezentativní ukázky sond z každého dilatačního celku, konkrétně liniový sken vedený napříč nosníkem a plošný sken se středem cca v ose nosníku. Podélný liniový sken v ose nosníku byl z výběru vyřazen, protože znázorňuje třmínky, tedy měkkou výztuž, na kterou není tato práce zaměřená, navíc je patrná i na plošném skenu, který je zde zobrazen.

Z 1. DC byla vybrána sonda N2, která detekovala kabel umístěný nejhluběji v tomto DC. Je jím kabel 1L. Tato sonda byla situována v 1. poli na nosníku č. 2 v jeho krajní části, 4 000 mm od opěry O1. Liniový a plošný sken této sondy je patrný na obrázcích 3.22 a 3.23.



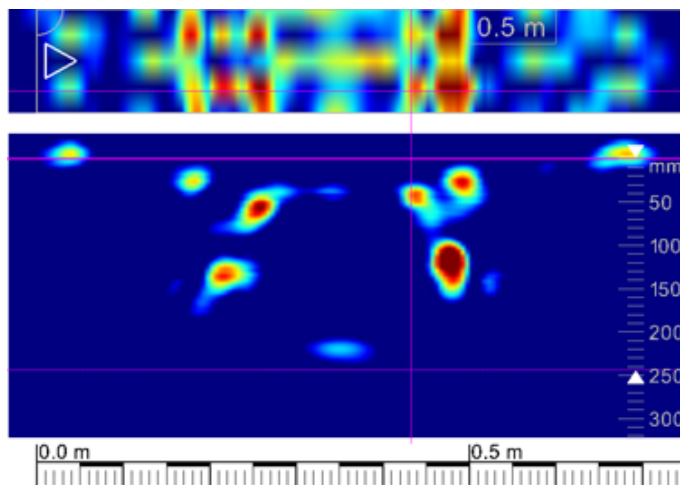
Obrázek 3.22: 1. DC, sonda N2 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [11]



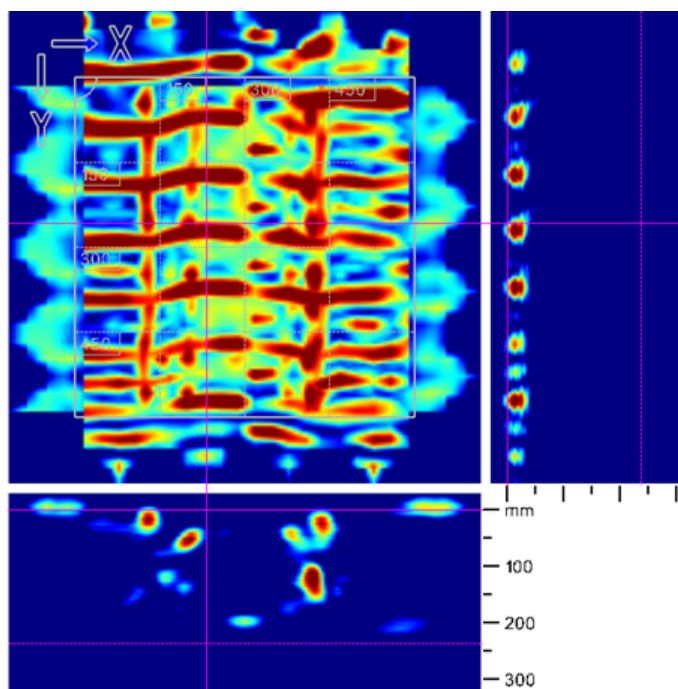
Obrázek 3.23: 1. DC, sonda N2 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [11]

Na skenech jsou patrné 2 předpínací kabely 1L a 1P, s krytím 190 mm a 110 mm, s odchylkou od předepsaného krytí –119 mm a –39 mm, 4 pruty podélné měkké výztuže a třmínky.

Z 2. DC byla vybrána sonda N33, která detekovala kabel umístěný nejhlouběji ze všech DC předpolí, jedná se o **extrémní hodnotu** z celého měření. Konkrétně je jím **kabel 4**. Tato sonda byla situována v 8. poli na nosníku č. 7 v jeho střední části, 12 500 mm od podpěry P8. Liniový a plošný sken této sondy je patrný na obrázcích 3.24 a 3.25.



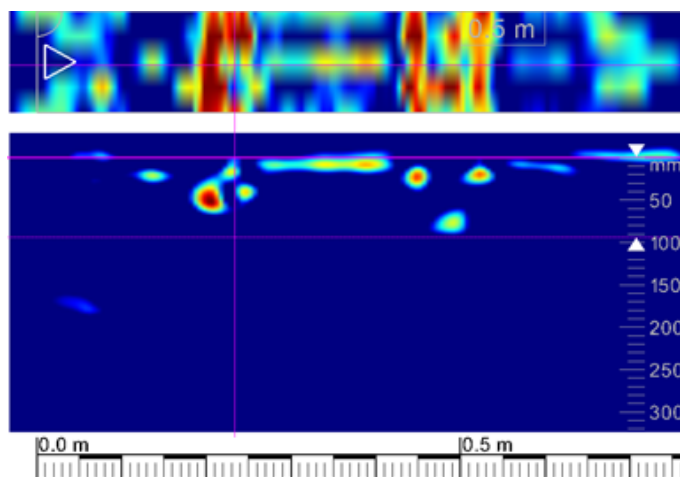
Obrázek 3.24: 2. DC, sonda N33 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [14]



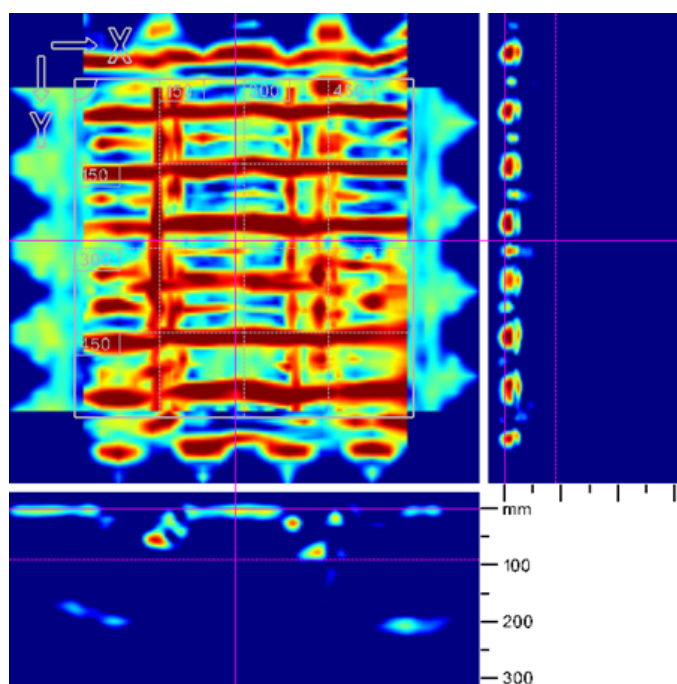
Obrázek 3.25: 2. DC, sonda N33 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [14]

Na skenech jsou patrné 3 předpínací kabely 1L, 4 a 1P, s krytím 120 mm, **200 mm** a 95 mm, s odchylkou od předepsaného krytí  $-49$  mm,  $-129$  mm,  $-24$  mm, 4 pruty podélné měkké výztuže a třmínky.

Z 3. DC byla vybrána sonda N34, která detekovala kabel umístěný nejbližší k lici nosníku z všech DC předpolí, jedná se tedy o **extrémní hodnotu** z celého měření. Konkrétně je jím **kabel 1L**. Kabel 1P leží cca dle PD. Tato sonda byla situována v 9. poli na nosníku č. 8 v jeho krajní části, 5 000 mm od podpěry P9. Liniový a plošný sken této sondy je patrný na obrázcích 3.26 a 3.27.



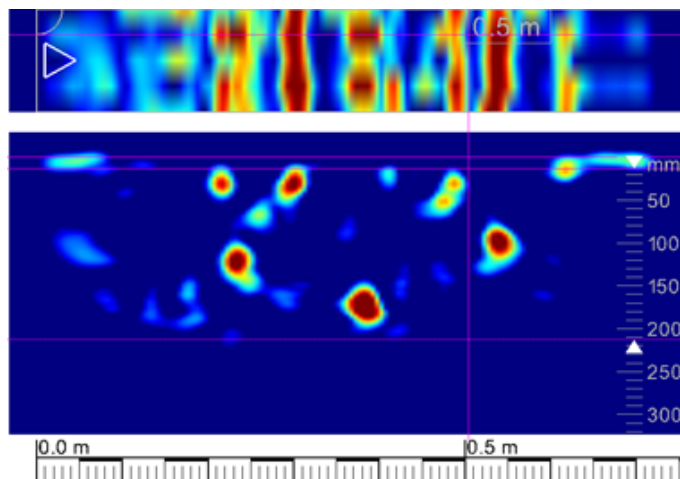
Obrázek 3.26: 3. DC, sonda N34 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [15]



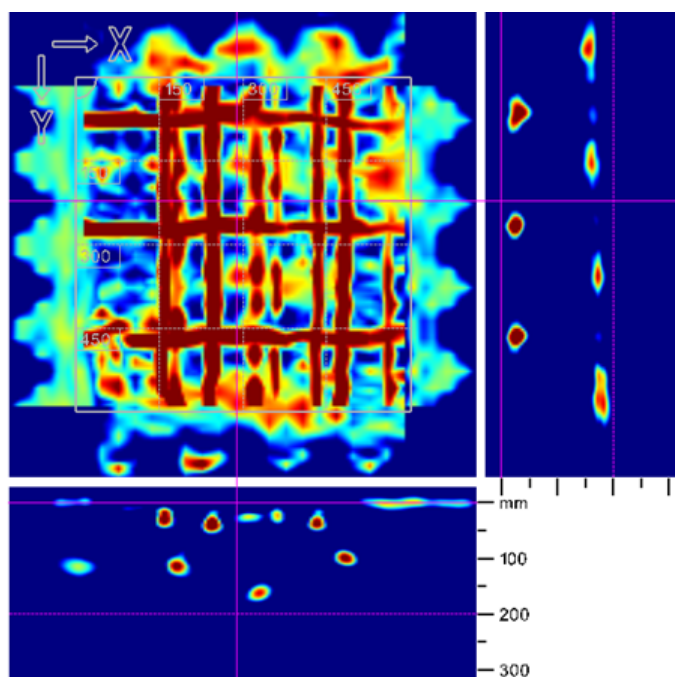
Obrázek 3.27: 3. DC, sonda N34 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [15]

Na skenech jsou patrné 2 předpínací kabely **1L** a **1P**, s krytím **40 mm** a **70 mm**, s odchylkou od předepsaného krytí **31 mm** a **1 mm**, 4 pruty podélné měkké výztuže a třmínky.

Ze 4. DC byla vybrána sonda N51, která detekovala kabel umístěný nejhluběji v tomto DC. Konkrétně je jím kabel 4. Tato sonda byla situována v 13. poli na nosníku č. 5 v jeho střední části, 23 300 mm od podpěry P13. Liniový a plošný sken této sondy je patrný na obrázcích 3.28 a 3.29.



Obrázek 3.28: 4. DC, sonda N51 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [12]

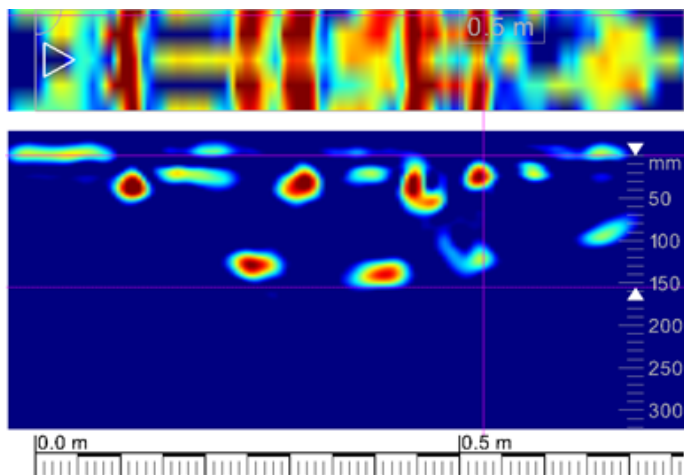


Obrázek 3.29: 4. DC, sonda N51 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [12]

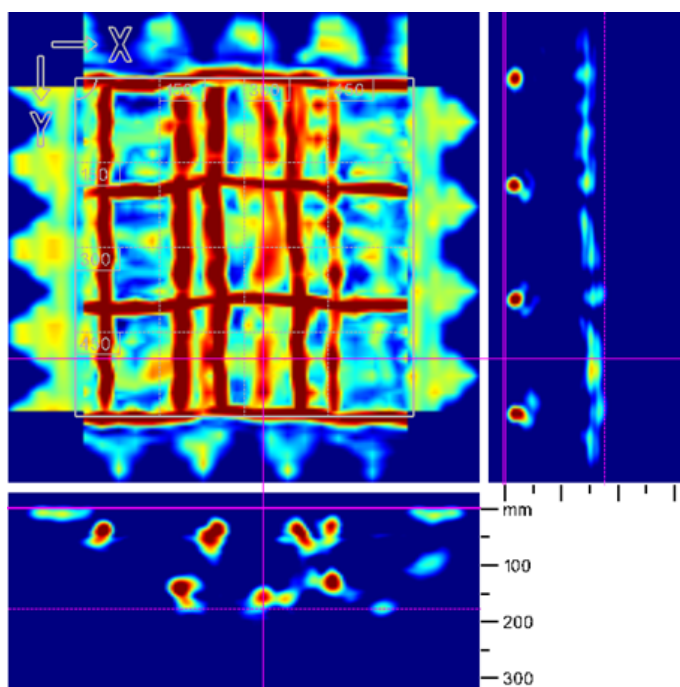
Na skenech jsou patrné 3 předpínací kabely 1L, 4, a 1P, s krytím 100 mm, 150 mm a 85 mm, s odchylkou od předepsaného krytí  $-29$  mm,  $-79$  mm,  $-14$  mm, 4 pruty podélné měkké výztuže a třmínky.



Z 6. DC byla vybrána sonda N73, která detekovala kabel umístěný nejhlouběji v tomto DC. Konkrétně je jím kabel 4. Tato sonda byla situována v 21. poli na nosníku č. 9 v jeho střední části, 16 500 mm od podpěry P22. Liniový a plošný sken této sondy je patrný na obrázcích 3.30 a 3.31.



Obrázek 3.30: 6. DC, sonda N73 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [13]



Obrázek 3.31: 6. DC, sonda N73 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [13]

Na skenech jsou patrné 3 předpínací kabely 1L, 4, a 1P, s krytím 115 mm, 130 mm a 100 mm, s odchylkou od předepsaného krytí -44 mm, -59 mm a -29 mm, 4 pruty podélné měkké výztuže a třmínky.



### 3.3 Zjištění stavu předpínací výztuže

Diagnostika konstrukce, která zjišťovala stav předpínací výztuže měla za cíl zjištění jejího stavu z hlediska koroze a stavu zainjektování na vybraných nosnicích mostu ev. č. D2-058..2. Průzkum byl realizován pod vedením zástupce firmy Mostní a silniční, s.r.o., Ing. Igorem Suzou v návaznosti na předchozí průzkum zabývající se lokalizací předpínací výztuže georadarem Hilti PS 1000 X-Scan. Dle výsledků předcházejícího průzkumu se zvolila vhodná místa pro provedení návrů k předpínací výztuži tak, aby se návrty vyhnuly oblastem, kde je vedena podélná měkká výztuž nebo třmínky a minimalizovalo se tak nežádoucí poškození konstrukce. Lokalizace výztuže před provedením návrů byla také důležitá z hlediska stanovení vzdálenosti kabelů od líce nosníku. Znalost reálné polohy předpínacích kabelů značně ulehčila práci pracovníkům při provádění návrů k jednotlivým předpínacím kabelům – návrty byly prováděny s velkou opatrností, aby nedošlo k poškození předpínací výztuže. Rozsah průzkumu byl stanoven na místě Ing. Igorem Suzou. Na průzkumu a vyhodnocení stavu předpínací výztuže se podílela také korozní specialista Ing. Ludmila Černá. Výběr diagnostikovaných míst na konstrukci byl proveden s ohledem na požadavky objednatele diagnostiky konstrukce, kterým je Ředitelství silnic a dálnic ČR [38].

#### 3.3.1 Zvolená metoda pro zjištění stavu předpínací výztuže

Pro zjištění stavu předpínací výztuže z hlediska její koroze a zainjektovanosti jsou dosud známy pouze dvě metody blíže popsány v podkapitole 2.7. V České republice je v současné době dostupná pouze metoda vizuální kontroly, proto byla použita na diagnostiku předmětné konstrukce levého mostu ev. č. D2-058..2. Alternativní řešení pro zjištění stavu předpínací výztuže je zatím pouze v rané fázi průzkumu.

#### 3.3.2 Implementace vizuální metody na konstrukci

Výztuž byla v místě sond mechanicky odhalena a vizuálně posouzena. Po provedení sond průměru 35 mm byly vzniklé otvory vyplněny speciální sanační hmotou na bázi cementu. Přístup k I nosníkům se realizoval pomocí vysokozdvížné plošiny, která byla umístěna pod konstrukcí a dopravila pracovníky k předmětné oblasti na nosníku [38].

#### Rozmístění sond

Vysokozdvížná plošina poskytla detailnější pohled na nosníky, který odhalil možné rizikové oblasti na konstrukci. Sondy se prováděly i v těchto místech (s podélnou trhlinkou, inkrustací, stopami po dlouhodobém zatékání, odpadem krycí vrstvy betonu, s výskytem mezerovitěho betonu). Celkem bylo provedeno 150 sond. V 1. DC, 2. DC, 3. DC, 4. DC a v 6. DC bylo provedeno vždy 30 sond. V každém poli (kromě 23. pole v 6. DC, kde nebylo možné z provozních důvodů přistavit vysokozdvížnou plošinu) se sondy rozmístily do odlišných nosníků. Pro celkové zjištění stavu kabelů v konstrukci byla snaha o rovnoměrné rozmístění jednotlivých sond. V průběhu průzkumu ale byly na konstrukci shledány možné rizikové oblasti a proto se v těchto místech sondy provedly přednostně. Výsledné rozložení sond na nosnicích proto není dokonale rovnoměrné. Sondy se prováděly ze spodního líce I nosníku kromě sondy S1, která byla provedena do stojiny nosníku, 760 mm vertikálně od spodní hrany [38].

Konkrétní rozmístění sond je shrnuto v následujících tabulkách 3.11, 3.12, 3.13, 3.14 a 3.15. Schémata rozmístění sond jsou v příloze A.1.

## 1. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	POZICE NA NOSNÍKU		VZDÁLENOST OD LEVÉ HRANY NOSNÍKU
S1	1	1	3	840 mm	za čelem nosníku	760 mm vertikálně
S2		2	1L	6 450 mm	za ÚP 1. OP	180 mm
S3		3	1P	6 282 mm		440 mm
S4		4	1L	6 204 mm		200 mm
S5		5	1L	6 197 mm		170 mm
S6		1	1P	16 246 mm		390 mm
S7		9	1L	14 550 mm		180 mm
S8		9	4	14 538 mm		320 mm
S9		9	1P	14 548 mm		440 mm
S10	2	1	1L	12 662 mm		za ÚP 2. P
S11		1	1P	12 751 mm	380 mm	
S12		1	1P	12 747 mm	430 mm	
S13		2	1L	13 033 mm	200 mm	
S14		2	4	13 047 mm	330 mm	
S15		2	1P	13 057 mm	440 mm	
S16		9	4	21 791 mm	250 mm	
S17		9	1P	21 779 mm	420 mm	
S18	3	1	1L	4 037 mm	za ÚP 3. P	180 mm
S19		1	1P	4 035 mm		420 mm
S20		5	1L	15 652 mm		130 mm
S21		5	4	15 635 mm		250 mm
S22		5	1P	15 630 mm		410 mm
S23		9	1L	17 737 mm		180 mm
S24		9	4	17 713 mm		300 mm
S25		9	1P	17 680 mm		420 mm
S26	4	1	1L	13 572 mm	za ÚP 4. P	150 mm
S27		1	4	13 564 mm		250 mm
S28		1	1P	13 564 mm		400 mm
S29		9	4	19 791 mm		260 mm
S30		9	1P	19 781 mm		420 mm

Tabulka 3.11: 1. DC – rozmístění sond návrhem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, sonda S1 byla provedena 760 mm vertikálně od spodního líce stojiny nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.1, A.2, A.3 a A.4 [38]

## 2. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	POZICE NA NOSNÍKU		VZDÁLENOST OD LEVÉ HRANY NOSNÍKU
S31	5	1	1L	21 130 mm	za ÚP 5. P	180 mm
S32		1	4	21 270 mm		300 mm
S33		1	1P	21 210 mm		440 mm
S34		4	1L	16 576 mm		180 mm
S35		4	4	16 583 mm		260 mm
S36		4	1P	16 572 mm		420 mm
S37		7	1L	20 330 mm		160 mm
S38		7	4	20 326 mm		270 mm
S39		7	1P	20 299 mm		420 mm
S40	6	1	1L	13 505 mm	za ÚP 6. P	160 mm
S41		1	4	13 504 mm		270 mm
S42		1	1P	13 508 mm		400 mm
S43		4	1L	13 032 mm		190 mm
S44		4	1P	13 064 mm		420 mm
S45		6	1L	15 897 mm		200 mm
S46		6	1P	15 852 mm		420 mm
S47		9	1L	24 125 mm		170 mm
S48		9	1P	24 164 mm		430 mm
S49	7	1	1L	15 502 mm	za ÚP 7. P	150 mm
S50		1	1P	15 491 mm		420 mm
S51		3	4	14 514 mm		310 mm
S52		6	1L	13 662 mm		150 mm
S53		6	4	13 663 mm		310 mm
S54		7	1L	13 583 mm		150 mm
S55		7	1P	13 588 mm		430 mm
S56		9	4	14 239 mm		280 mm
S57		9	1P	6 569 mm	před ÚP 8. P	430 mm
S58	8	4	4	12 568 mm	za ÚP 8. P	300 mm
S59		5	1L	12 796 mm		170 mm
S60		6	1P	12 487 mm		440 mm

Tabulka 3.12: 2. DC – rozmístění sond návrhem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.5, A.6, A.7 a A.8 [39]

### 3. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	POZICE NA NOSNÍKU		VZDÁLENOST OD LEVÉ HRANY NOSNÍKU
S61	9	5	1L	3 152 mm	za ÚP 9. P	190 mm
S62		5	1P	3 441 mm		460 mm
S63		8	1L	4 943 mm		130 mm
S64		8	1P	5 047 mm		410 mm
S65		1	1L	19 629 mm		185 mm
S66		1	4	19 625 mm		290 mm
S67		1	4	19 604 mm		340 mm
S68	10	6	1L	6 687 mm	za ÚP 10. P	160 mm
S69		6	1P	6 693 mm		440 mm
S70		1	1L	15 257 mm		150 mm
S71		1	4	15 248 mm		270 mm
S72		1	1P	15 233 mm		410 mm
S73		5	1L	16 594 mm		140 mm
S74		5	4	16 603 mm		280 mm
S75		5	1P	16 617 mm		430 mm
S76	11	1	1L	18 445 mm	za ÚP 11. P	180 mm
S77		1	4	18 447 mm		320 mm
S78		1	1P	18 461 mm		440 mm
S79		6	1L	11 554 mm		160 mm
S80		6	4	11 564 mm		280 mm
S81		6	1P	11 554 mm		440 mm
S82		9	1L	7 670 mm		170 mm
S83		9	1P	7 649 mm		410 mm
S84	12	3	4	16 655 mm	za ÚP 12. P	280 mm
S85		3	1P	16 700 mm		410 mm
S86		4	4	15 937 mm		290 mm
S87		4	1P	15 972 mm		400 mm
S88		5	1P	15 640 mm		420 mm
S89		6	4	15 683 mm		300 mm
S90		6	1P	15 685 mm		440 mm

Tabulka 3.13: 3. DC – rozmístění sond návrhem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.9, A.10, A.11 a A.12 [42]

#### 4. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	POZICE NA NOSNÍKU		VZDÁLENOST OD LEVÉ HRANY NOSNÍKU
S91	13	1	1L	20 832 mm	za ÚP 13.P	180 mm
S92		1	4	20 818 mm		280 mm
S93		1	1P	20 833 mm		450 mm
S94		4	1L	23 369 mm		170 mm
S95		4	1P	23 434 mm		480 mm
S96		7	1L	21 804 mm		160 mm
S97		7	4	21 769 mm		300 mm
S98		7	1P	21 756 mm		470 mm
S99	14	4	1L	17 975 mm	za ÚP 14.P	120 mm
S100		4	4	17 985 mm		290 mm
S101		4	1P	18 008 mm		430 mm
S102		6	1L	18 252 mm		160 mm
S103		6	4	18 244 mm		280 mm
S104		6	1P	18 227 mm		420 mm
S105		7	4	17 711 mm		300 mm
S106	15	2	1L	17 421 mm	za ÚP 15.P	220 mm
S107		2	4	17 418 mm		330 mm
S108		2	1P	17 447 mm		430 mm
S109		5	1L	19 165 mm		160 mm
S110		5	4	19 134 mm		280 mm
S111		5	1P	19 125 mm		430 mm
S112		8	1L	17 723 mm		170 mm
S113		8	4	17 710 mm		280 mm
S114		8	1P	17 700 mm		430 mm
S115	16	3	1L	19 748 mm	za ÚP 16.P	190 mm
S116		3	4	19 749 mm		290 mm
S117		3	1P	19 749 mm		450 mm
S118		5	1L	19 514 mm		190 mm
S119		5	4	19 522 mm		290 mm
S120		5	1P	19 502 mm		420 mm

Tabulka 3.14: 4. DC – rozmístění sond návrhem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.13, A.14, A.15 a A.16 [40]

## 6. DC – ROZMÍSTĚNÍ SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	POZICE NA NOSNÍKU		VZDÁLENOST OD LEVÉ HRANY NOSNÍKU
S121	20	2	4	13 900 mm	před ÚP 21. P	260 mm
S122		2	1P	13 900 mm		430 mm
S123		3	4	14 550 mm		280 mm
S124		3	1P	14 550 mm		390 mm
S125		4	1L	16 290 mm		200 mm
S126		4	4	16 270 mm		290 mm
S127		6	1L	16 990 mm		130 mm
S128		6	1P	17 020 mm		410 mm
S129		7	4	17 210 mm		290 mm
S130		7	1P	17 180 mm		420 mm
S131		21	4	4		15 180 mm
S132	4		1P	15 160 mm	430 mm	
S133	5		1L	14 070 mm	170 mm	
S134	7		4	15 210 mm	320 mm	
S135	7		1P	15 300 mm	440 mm	
S136	8		1L	14 510 mm	170 mm	
S137	8		1P	14 540 mm	410 mm	
S138	9		1L	16 500 mm	180 mm	
S139	9		4	16 550 mm	340 mm	
S140	9		4	12 950 mm	322 mm	
S141	22		1	4	14 820 mm	před ÚP 23.P
S142		1	1P	14 820 mm	440 mm	
S143		2	4	14 700 mm	260 mm	
S144		2	1P	14 700 mm	400 mm	
S145		6	4	12 550 mm	280 mm	
S146		6	1P	12 550 mm	430 mm	
S147		7	1L	12 600 mm	170 mm	
S148		7	4	12 600 mm	310 mm	
S149		9	1L	16 730 mm	210 mm	
S150		9	1P	16 670 mm	400 mm	

Tabulka 3.15: 6. DC – rozmístění sond návrhem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.17, A.18 a A.19 [41]

### 3.3.3 Stanovení stavu předpínací výztuže z hlediska míry koroze a zainjektování

Stav předpínací výztuže z hlediska koroze a zainjektování byl kvalifikovaně slovně klasifikován na základě dvou tabulek 3.16 a 3.17 uvedených níže:

#### HODNOCENÍ STAVU PŘEDPJATÉ VÝZTUŽE Z HLEDISKA KOROZE

MÍRA KOROZE	CHARAKTERISTIKA
<b>SILNÁ KOROZE</b>	Koroze na obnažených drátech předpjeté výztuže je celoplošná se zřetelným oslabením profilu s odhadem nad 10 %.
<b>KOROZE</b>	Koroze na obnažených drátech předpjeté výztuže je celoplošná s prokazatelným oslabením profilu s odhadem 5 – 10 %.
<b>MÍRNÁ</b>	Koroze na obnažených drátech předpjeté výztuže je povrchová a bez oslabení profilu kabelu. Dráty nejsou zasaženy stejně a koroze není celoplošná.
<b>BEZ</b>	Koroze se nenachází na žádném z obnažených drátů předpjeté výztuže.

Tabulka 3.16: Klasifikační tabulka hodnocení stavu předpínací výztuže z hlediska koroze [38]

#### HODNOCENÍ STAVU PŘEDPJATÉ VÝZTUŽE Z HLEDISKA ZAINJEKTOVANOSTI

ZAINJEKTOVANOST	CHARAKTERISTIKA
<b>CHYBĚJÍCÍ</b>	V celém profilu sondy nejsou patrné částčky injektážní směsi.
<b>ČÁSTEČNÁ</b>	V profilu sondy jsou prokazatelné části injektážní směsi, ale vedle předpjetých drátů jsou viditelná dutá místa a kaverny.
<b>PLNÁ</b>	V celém profilu sondy je prostor mezi ocelovou chráničkou a předpjetými dráty vyplněn injektážní směsí.

Tabulka 3.17: Klasifikační tabulka hodnocení stavu předpínací výztuže z hlediska zainjektovanosti [38]

V rámci hodnocení stavu zainjektování byl hodnocen i stav injektážní malty, klasifikované jako *VLHKÁ* nebo *SUCHÁ*. Následující tabulky 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 a 3.22 předkládají souhrnné výsledky sond v jednotlivých dilatačních celcích. Výsledek sondy S1 nelze interpretovat, protože se nepodařilo obnažit předpínací kabel. Důvodem neúspěchu byla přítomnost kónické svařované tlustostěnné trubky, která se nachází na konci nosníku a bránila návrtu ke kabelům.

## 1. DC – VÝSLEDKY SOND NÁVRTEM K PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	KRYTÍ [mm]	MÍRA KOROZE	ZAINJEKTOVANOST	STAV INJEKTÁŽNÍ MALTY
S1	1	1	3	-	-	-	-
S2		2	1L	125	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S3		3	1P	145	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S4		4	1L	140	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S5		5	1L	135	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S6		1	1P	85	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S7		9	1L	150	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S8		9	4	110	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S9		9	1P	95	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S10	2	1	1L	85	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S11		1	1P	100	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S12		1	1P	95	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S13		2	1L	80	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S14		2	4	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S15		2	1P	95	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S16		9	4	160	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S17		9	1P	105	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S18	3	1	1L	125	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S19		1	1P	170	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S20		5	1L	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S21		5	4	102	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S22		5	1P	108	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S23		9	1L	132	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S24		9	4	126	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S25		9	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S26	4	1	1L	80	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S27		1	4	85	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S28		1	1P	102	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S29		9	4	60	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S30		9	1P	65	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ

Tabulka 3.18: 1. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži, u S1 se nepodařilo obnažit předpínací výztuž [38]



## 2. DC – VÝSLEDKY SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	KRYTÍ [mm]	MÍRA KOROZE	ZAINJEKTOVANOST	STAV INJEKTÁŽNÍ MALTY
S31	5	1	1L	110	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S32		1	4	120	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S33		1	1P	110	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S34		4	1L	100	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S35		4	4	130	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S36		4	1P	110	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S37		7	1L	95	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S38		7	4	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S39		7	1P	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S40	6	1	1L	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S41		1	4	110	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S42		1	1P	115	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S43		4	1L	85	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S44		4	1P	85	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S45		6	1L	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S46		6	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S47		9	1L	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S48		9	1P	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S49	7	1	1L	115	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S50		1	1P	95	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S51		3	4	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S52		6	1L	95	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S53		6	4	105	BEZ	PLNÁ	VLHKÁ
S54		7	1L	95	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S55		7	1P	105	MÍRNÁ	PLNÁ	VLHKÁ
S56		9	4	120	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S57		9	1P	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S58	8	4	4	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S59		5	1L	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S60		6	1P	100	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ

Tabulka 3.19: 2. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [39]

### 3. DC – VÝSLEDKY SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	KRYTÍ [mm]	MÍRA KOROZE	ZAINJEKTOVANOST	STAV INJEKTÁŽNÍ MALTY
S61	9	5	1L	120	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S62		5	1P	185	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S63		8	1L	50	KOROZE	PLNÁ	SUCHÁ
S64		8	1P	80	KOROZE	PLNÁ	SUCHÁ
S65		1	1L	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S66		1	4	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S67		1	4	90	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S68	10	6	1L	75	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S69		6	1P	80	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S70		1	1L	75	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S71		1	4	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S72		1	1P	85	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S73		5	1L	120	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S74		5	4	130	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S75		5	1P	115	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S76	11	1	1L	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S77		1	4	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S78		1	1P	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S79		6	1L	90	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S80		6	4	160	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S81		6	1P	90	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S82		9	1L	80	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S83		9	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S84	12	3	4	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S85		3	1P	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S86		4	4	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S87		4	1P	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S88		5	1P	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S89		6	4	65	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S90		6	1P	75	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ

Tabulka 3.20: 3. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [42]

#### 4. DC – VÝSLEDKY SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	KRYTÍ [mm]	MÍRA KOROZE	ZAINJEKTOVANOST	STAV INJEKTÁŽNÍ MALTY
S91	13	1	1L	85	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S92		1	4	95	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S93		1	1P	85	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S94		4	1L	115	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S95		4	1P	95	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S96		7	1L	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S97		7	4	135	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S98		7	1P	85	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S99	14	4	1L	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S100		4	4	110	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S101		4	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S102		6	1L	95	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S103		6	4	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S104		6	1P	90	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S105		7	4	120	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S106	15	2	1L	100	KOROZE	CHYBĚJÍCÍ	-
S107		2	4	105	KOROZE	PLNÁ	SUCHÁ
S108		2	1P	120	MÍRNÁ	ČÁSTEČNÁ	SUCHÁ
S109		5	1L	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S110		5	4	115	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S111		5	1P	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S112		8	1L	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S113		8	4	110	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S114	8	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ	
S115	16	3	1L	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S116		3	4	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S117		3	1P	105	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S118		5	1L	95	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S119		5	4	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S120		5	1P	105	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ

Tabulka 3.21: 4. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [40]

## 6. DC – VÝSLEDKY SOND NÁVRTEM K PŘEDPJATÉ VÝZTUŽI

SONDA Č.	POLE Č.	NOSNÍK Č.	KABEL Č.	KRYTÍ [mm]	MÍRA KOROZE	ZAINJEKTOVANOST	STAV INJEKTÁŽNÍ MALTY
S121	20	2	4	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S122		2	1P	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S123		3	4	110	KOROZE	PLNÁ	SUCHÁ
S124		3	1P	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S125		4	1L	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S126		4	4	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S127		6	1L	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S128		6	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S129		7	4	110	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S130		7	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S131	21	4	4	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S132		4	1P	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S133		5	1L	80	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S134		7	4	110	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S135		7	1P	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S136		8	1L	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S137		8	1P	100	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S138		9	1L	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S139		9	4	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S140		9	4	130	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S141	22	1	4	100	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S142		1	1P	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S143		2	4	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S144		2	1P	100	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S145		6	4	130	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ
S146		6	1P	90	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S147		7	1L	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S148		7	4	120	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S149		9	1L	110	MÍRNÁ	PLNÁ	SUCHÁ
S150		9	1P	110	BEZ	PLNÁ	SUCHÁ

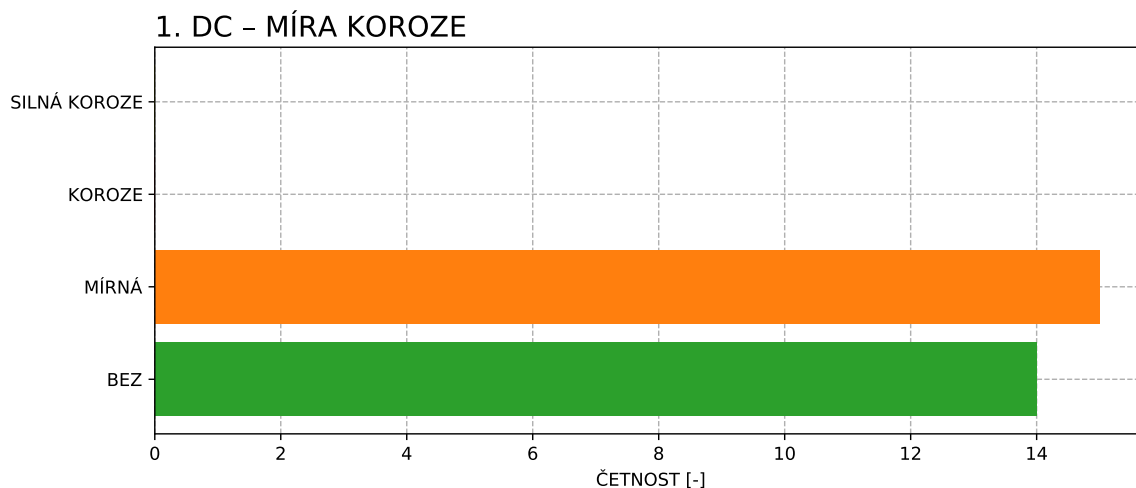
Tabulka 3.22: 6. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [41]

### 3.3.4 Interpretace výsledků zjištění stavu předpínací výztuže

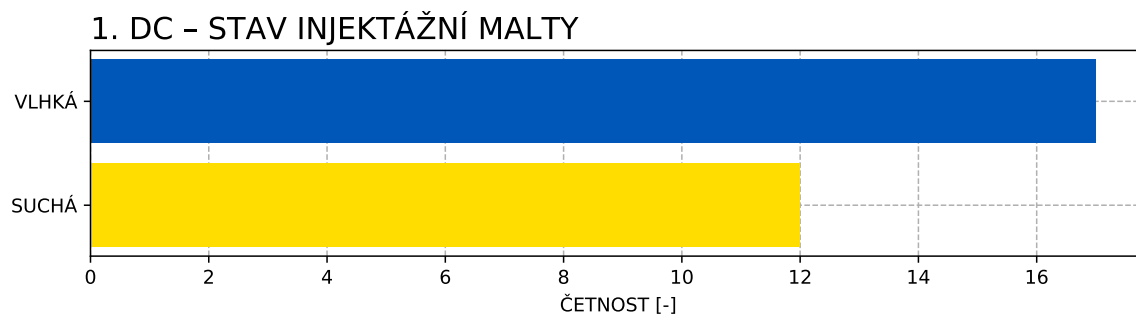
Předešlé tabulky prezentují všechna naměřená data stavebně technického průzkumu zaměřeného na zjištění stavu předpínací výztuže z hlediska míry koroze a zainjektování v rámci jednotlivých dilatačních celků. Stejně jako v předešlé podkapitole (věnující se lokalizaci předpínací výztuže) se v tabulkách s naměřenými daty hůře orientuje, proto byla vytvořena tato podkapitola, která si klade za cíl naměřená data roztrždit a vizualizovat. Pro vizualizaci výsledků průzkumu předmětné konstrukce byly vytvořeny přehledné grafy. Zobrazení dat prostřednictvím grafů umožní jejich snadné zhodnocení a lepší orientaci ve výsledcích celého průzkumu bez použití tabulek. Výsledky jednotlivých sond byly vizualizovány odděleně v rámci jednotlivých dilatačních celků. Pro každý DC předpolí jsou zobrazeny vždy dva grafy, z toho první graf hodnotí korozi výztuže a druhý graf hodnotí stav injeztážní malty. Zainjektovanost, která se klasifikovala v podkapitole 3.3.3 jako *PLNÁ*, *ČÁSTEČNÁ* nebo *CHYBĚJÍCÍ* nebyla v grafech vizualizována, neboť výskyt hodnocení jiného, než *PLNÁ* nastal pouze ve dvou případech ve 4. DC na sondách S106 – *CHYBĚJÍCÍ* a S108 – *ČÁSTEČNÁ*.

První sloupcový graf znázorňuje absolutní četnost míry koroze, což je diskrétní náhodná veličina nabývající hodnot dle klasifikační tabulky míry koroze 3.16 *BEZ*, *MÍRNÁ*, *KOROZE* nebo *SILNÁ KOROZE*. Grafy tohoto typu jsou uvedeny níže s označením 3.32, 3.34, 3.36, 3.38 a 3.40.

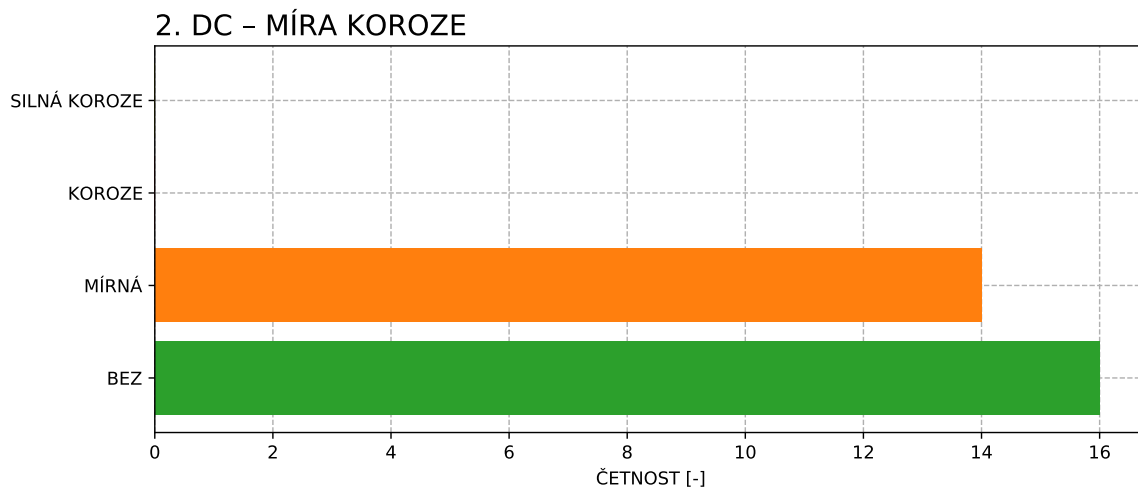
Druhý sloupcový graf vizualizuje absolutní četnost stavu injektážní malty, což je také diskrétní náhodná veličina nabývající hodnot *VLHKÁ* nebo *SUCHÁ*. Grafy jsou uvedeny níže s označením 3.33, 3.35, 3.37, 3.39 a 3.41.



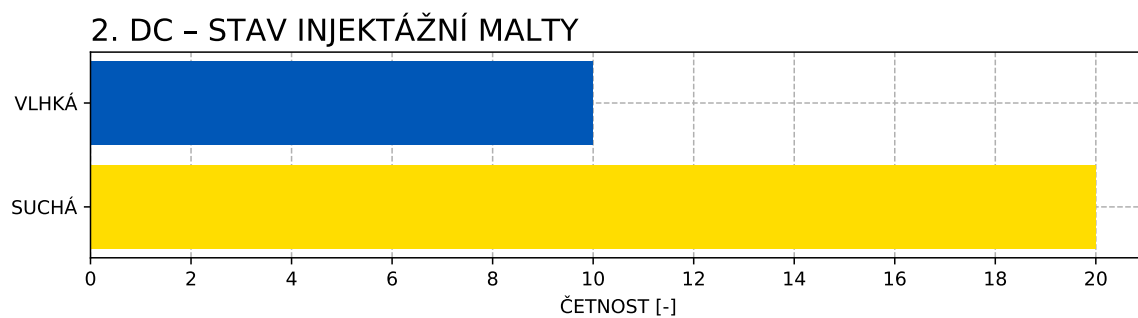
Obrázek 3.32: 1. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 14 sond, s mírnou korozí 15 sond



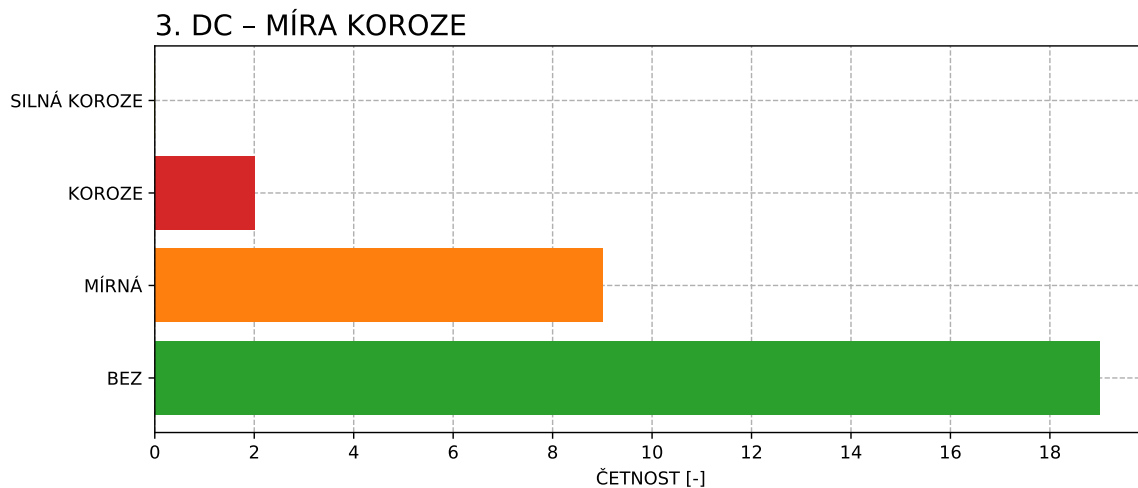
Obrázek 3.33: 1. DC – stav injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 12 sondách, vlhká injektážní malta v 17 sondách



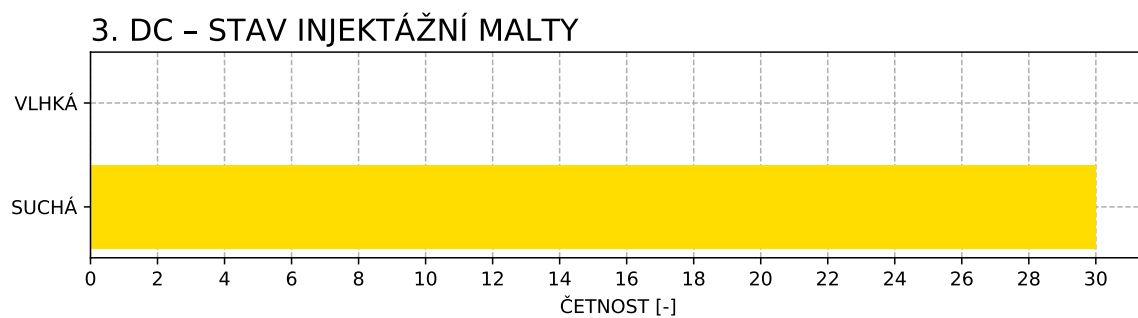
Obrázek 3.34: 2. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 16 sond, s mírnou korozí 14 sond



Obrázek 3.35: 2. DC – stav injekeční malty v jednotlivých sondách, suchá injekeční malta ve 20 sondách, vlhká injekeční malta v 10 sondách

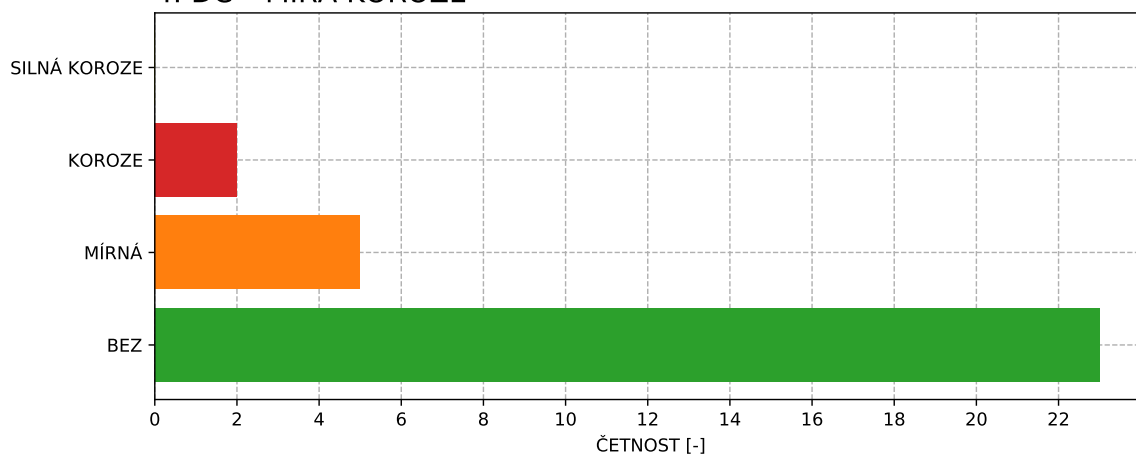


Obrázek 3.36: 3. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 19 sond, s mírnou korozí 9 sond, s korozí 2 sondy



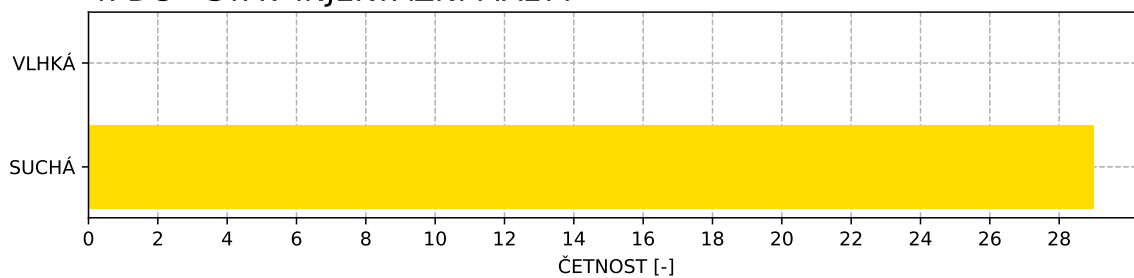
Obrázek 3.37: 3. DC – stav injekeční malty v jednotlivých sondách, suchá injekeční malta ve 30 sondách, vlhká injekeční malta v žádné sondě

#### 4. DC – MÍRA KOROZE



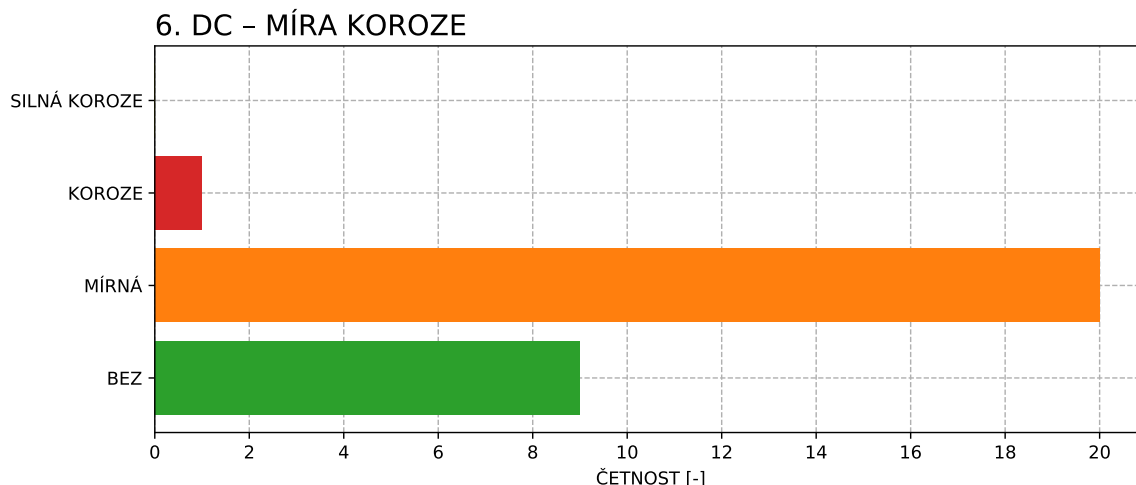
Obrázek 3.38: 4. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 23 sond, s mírnou korozí 5 sond, s korozí 2 sondy

#### 4. DC – STAV INJEKTÁŽNÍ MALTY

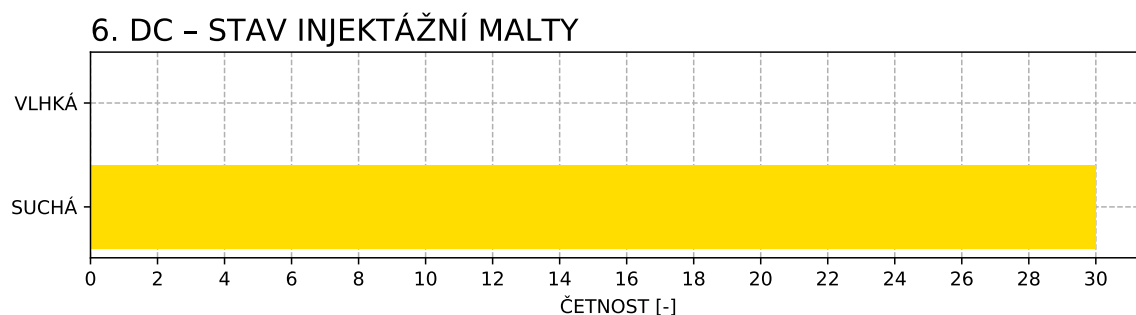


Obrázek 3.39: 4. DC – stav injekeční malty v jednotlivých sondách, suchá injekeční malta v 29 sondách, vlhká injekeční malta v žádné sondě, v 1 sondě (S106) chybějící injekeční, v 1 sondě (S108) částečná injekeční





Obrázek 3.40: 6. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 9 sond, s mírnou korozí 20 sond, s korozí 1 sonda

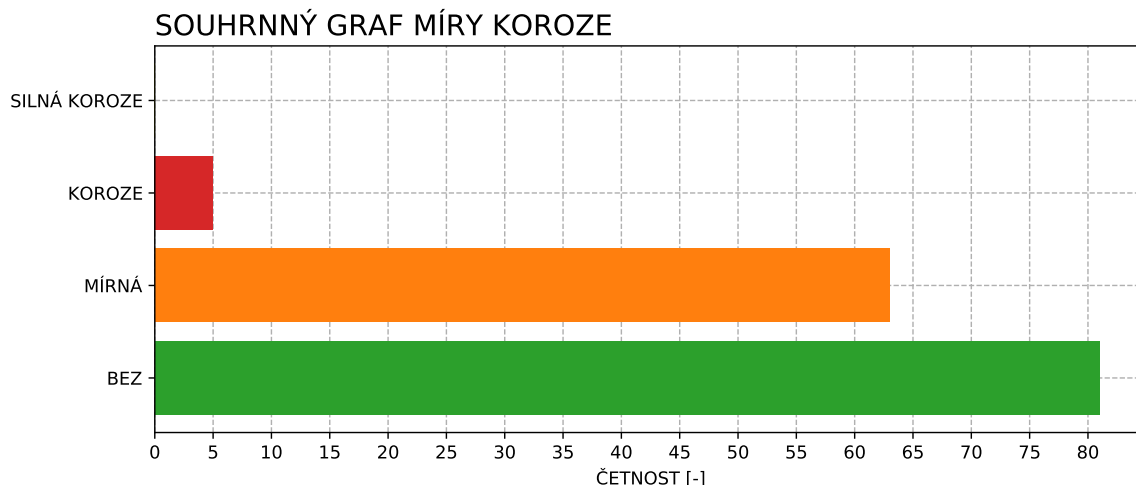


Obrázek 3.41: 6. DC – stav injekeční malty v jednotlivých sondách, suchá injekeční malta ve 30 sondách, vlhká injekeční malta v žádné sondě

### 3.3.5 Závěrečné zhodnocení zjištění stavu předpínací výztuže

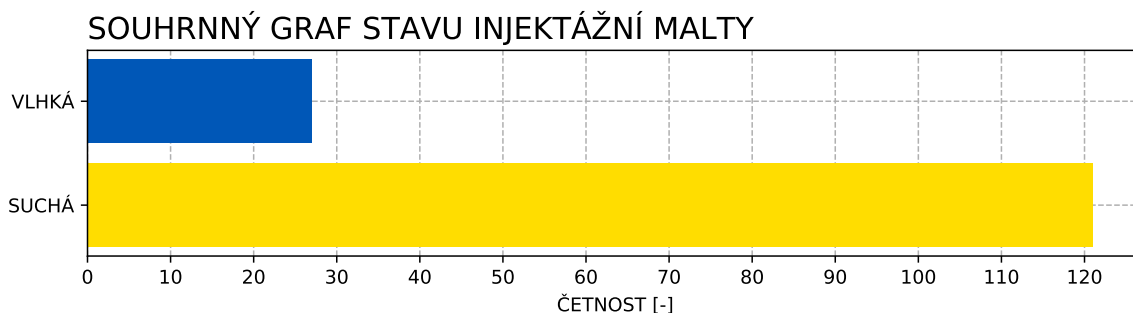
Pro interpretaci výsledků a zhodnocení celkového stavu konstrukce předpolí z pohledu stavu předpínací výztuže z hlediska míry koroze a zainjektování byly vytvořeny dva grafy zobrazující výsledky z návrtů k předpínacím kabelům. Naměřená data míry zainjektovanosti, jejíž klasifikační tabulka je uvedena v podkapitole 3.3.3 jako *PLNÁ*, *ČÁSTEČNÁ* nebo *CHYBĚJÍCÍ* nebyla v grafech vizualizována, neboť výskyt hodnocení jiného, než *PLNÁ* nastal pouze ve dvou případech a to konkrétně v 4. DC na sondách S106 – *CHYBĚJÍCÍ* a S108 – *ČÁSTEČNÁ*.

První sloupcový graf znázorňuje souhrnnou absolutní četnost míry koroze, což je diskrétní náhodná veličina nabývající hodnoty dle klasifikační tabulky míry koroze 3.16 *BEZ*, *MÍRNÁ*, *KOROZE* nebo *SILNÁ KOROZE*. Ze sloupcového grafu je patrné, že 81 odhalených kabelů bylo bez koroze, 63 s mírnou korozí a 5 klasifikovaných jako koroze. Graf je uveden níže s označením 3.42.



Obrázek 3.42: Souhrnný graf míry koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 81 sond, s mírnou korozí 63 sond, s korozí 5 sond

Druhý sloupcový graf vizualizuje souhrnnou absolutní četnost stavu injektážní malty, což je také diskrétní náhodná veličina nabývající hodnoty *VLHKÁ* nebo *SUCHÁ*. Z grafu je patrné, že 121 sond detekovalo suchou injektážní maltu, 27 sond detekovalo vlhkou injektážní maltu. Graf je uveden níže s označením 3.43.



Obrázek 3.43: Souhrnný graf stavu injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 121 sondách, vlhká injektážní malta v 27 sondách, v 1 sondě (S106) chybějící injektáž, v 1 sondě (S108) částečná injektáž

### 3.3.6 Reprezentativní sondy ze zjištění stavu předpínací výztuže

Z důvodu omezeného rozsahu této práce zde nemohla autorka zobrazit a popsat všech 150 provedených sond. Byly proto vybrány reprezentativní ukázky sond z každého dilatačního celku předpolí, primárně pak sondy s nejhorší klasifikací. Z 2. DC byla vybrána jedna sonda pro ukázkou s klasifikací bez koroze.

Z 1. DC byla vybrána sonda S23. Tato sonda byla situována v 3. poli na nosníku č. 9, 17 737 mm za úložným prahem ÚP 3. P, 180 mm od levé hrany nosníku, ke kabelu 1L. Stav předpínací výztuže je patrný na obrázku 3.44.



Obrázek 3.44: 1. DC, sonda S23 – obnažený kabel je v ocelové chráničce, která je zkorodovaná, na kabelu jsou známky mírné koroze bez oslabení profilu, je plně zainjektovaný a injektážní malta je vlhká [38]

Z 2. DC byla vybrána sonda S42. Tato sonda byla situována v 6. poli na nosníku č. 1, 13 508 mm za ÚP 6. P, 400 mm od levé hrany nosníku, ke kabelu 1P. Sonda byla provedena v místě se suchými stopami zatékání, s odpadlou krycí vrstvou betonu a s korodovanými třmínky. Stav předpínací výztuže je patrný na obrázku 3.45.



Obrázek 3.45: 2. DC, sonda S42 – obnažený kabel je v ocelové chráničce, kabel je bez koroze, je plně zainjektovaný a injektážní malta je suchá [39]

Z 3. DC byla vybrána sonda S63. Tato sonda byla situována v 9. poli na nosníku č. 8, 4 943 mm za ÚP 9. P, 130 mm od levé hrany nosníku, ke kabelu 1L. Sonda byla provedena v místě se suchými stopami zatékání, s odpadlou krycí vrstvou betonu a s korodovanými třmínky. Stav předpínací výztuže je patrný na obrázku 3.46.



Obrázek 3.46: 3. DC, sonda S63 – obnažený kabel je v ocelové chráničce, na kabelu jsou známky koroze s oslabením profilu, je plně zainjektovaný a injektážní malta je suchá [42]

Ze 4. DC byla vybrána sonda S106. Tato sonda byla situována v 15. poli na nosníku č. 2, 17 421 mm za ÚP 15. P, 220 mm od levé hrany nosníku, ke kabelu 1L. Sonda byla provedena v místě se suchými stopami zatékání. Stav předpínací výztuže je patrný na obrázku 3.47.



Obrázek 3.47: 4. DC, sonda S106 – obnažený kabel je v ocelové chráničce, na kabelu jsou známky koroze s oslabením profilu a není zainjektovaný [40]

Ze 6. DC byla vybrána sonda S123. Tato sonda byla situována v 20. poli na nosníku č. 3, 14 550 mm před ÚP 21. P, 280 mm od levé hrany nosníku, ke kabelu 4. Sonda byla provedena v místě bez zjevných známek poruch. Stav předpínací výztuže je patrný na obrázku 3.48.



Obrázek 3.48: 6. DC, sonda S123 – obnažený kabel je v ocelové chráničce s povrchovou korozi, na kabelu jsou známky koroze s oslabením profilu do 10 %, je plně zainjektovaný a injektážní malta je suchá [41]

# Kapitola 4

## Závěr

Bakalářská práce se zabývala přípravou a realizací stavebně technického průzkumu předpjaté mostní konstrukce levého silničního mostu ev. č. D2-058..2 převádějící dálnici D2 přes řeku Moravu a komunikaci II/425 na hranici mezi Českou a Slovenskou republikou. Diagnostika byla zaměřená na lokalizaci předpínací výztuže a zjištění jejího stavu z hlediska míry koroze a zainjektování na i nosnících předpolí. V předešlých podkapitolách 3.2.5 a 3.3.5 byly shrnuty výsledky těchto dvou dílčích průzkumů ve formě přehledných grafů.

V rámci diagnostiky lokalizace předpínací výztuže bylo provedeno 78 nedestruktivních radarových sond, které detekovaly 222 předpínacích kabelů. Jejich poloha byla porovnána s projektovou dokumentací a naměřené odchylky zhodnoceny ve skriptovacím programovacím jazyku Python, do kterého byly zadány statistické testy – konkrétně test normality a Studentův  $t$ -test. Provedené testy podkládají závěrečné tvrzení, že ze statistického hlediska krytí detekovaných předpínacích kabelů není dle projektové dokumentace. Výsledek lokalizace výztuže je patrný i vizuálně na grafech 3.18, 3.20 a 3.21, ze kterých lze vyčíst, že průměrná hodnota odchylek krytí od projektové dokumentace se pohybuje mezi  $-20$  mm a  $-40$  mm.

Pro zhodnocení stavu výztuže bylo provedeno 150 destruktivních návrtů k předpínacím kabelům. Vizuálně se poté posuzovala míra koroze dle klasifikační tabulky 3.16. Výsledky jsou shrnuty v grafu 3.42, ze kterého je patrné, že většina kabelů jsou bez nebo s mírnou korozí. Koroze se v sondách objevuje jen ojediněle, konkrétně v 5 případech. Z hlediska zainjektování bylo 148 sond plně zainjektovaných, jen 2 sondy ve 4. DC detekovaly částečné (sonda S108) a chybějící (sonda S106) zainjektování. Stav injektážní malty je dle grafu 3.43 v 121 sondách suchý, v 27 sondách vlhký.

Průzkum ukázal, že předpínací výztuž nemusí být vždy umístěna dle projektové dokumentace. Na některých radarových skenech je patrné, že kabely nejsou v každém případě lehce přístupné k provedení návrtů – buď jsou umístěny pod měkkou výztuží nebo leží příliš hluboko v průřezu. Aby proto nedocházelo k nechtěnému poškození konstrukce prováděním návrtů mimo kabely, zbytečně hluboko nebo přes měkkou výztuž, je vhodné provádět dva dílčí průzkumy (primárně nedestruktivní lokalizaci, sekundárně destruktivní zjištění stavu předpínací výztuže) ve vzájemné logické návaznosti. Radarové skeny odhalí místa na konstrukci, kde je výztuž lehce přístupná a pracovníci pak můžou provést návrt v místě bez měkké výztuže s očekávaným krytím zjištěným z radarového skenování. Tímto postupem se předejde nechtěnému oslabení konstrukce.

Dále je nutné zdůraznit, že všechny sondy byly prováděny ze spodního líce I nosníku a zachyceny byly pouze 3 kabely ve středních částech nosníků, v krajních částech byly zachyceny pouze kabely 2. Čili z celkového počtu 7 kabelů v jednom nosníku byla bodově

diagnostikována méně než polovina. Délka všech 1260 kabelů na konstrukci předpolí je na základě projektové dokumentace 43 812 m. Z této délky bylo provedeno 150 sekaných sond a 78 plošných radarových skenů velikosti 600 × 600 mm, které bodově (ve vztahu ke konstrukci) zachytily 222 kabelů. Tímto průzkumem naráží na své limity, které se dotýkají problematiky stavu předpínací výztuže ve stavební praxi – problémem dnešní diagnostiky předpjatých konstrukcí je právě bodové zjištění stavu výztuže. Hodnocení na základě této bodové perspektivy je pouze předpokladem, že je výztuž na zakrytých částech konstrukce ve stejném stavu, jako bylo zjištěno bodovými destruktivními návrty. Bohužel nelze vyvrátit, že se v konstrukci nachází oblast, kde je výztuž v podstatně horším stavu, než byla klasifikována a která má zásadní vliv na celkový stav konstrukce – vyvstává zde otázka, zdali provedený počet sond k dosažitelným kabelům může relevantně vypovídat o stavu konstrukce.

Ačkoliv předmětná konstrukce byla dostupná pro provedení sond i z jiných výchozích poloh, v odlišných konstrukcích předpínací výztuž nemusí být vždy takto lehce přístupná. Celá problematika stavu předpínacích kabelů má svůj počátek již v návrhu konstrukcí – proto by měl být při projektování kladen výraznější důraz na možnosti pozdější diagnostiky. Kromě toho je nutné vyvíjet tlak na vývoj nových nedestruktivních diagnostických metod, které by byly schopné detekovat stav výztuže plošně a i v hůře přístupných oblastech konstrukce. Podmětem pro další zkoumání chování předpínacích kabelů je i otázka, zdali jejich navrtávání nenaruší vnitřní prostřední chráničky a nevnese do konstrukce druhotnou korozi, která by paradoxně ještě více ohrozila její stav.

V souvislosti se zjištěním stavu předpínací výztuže vyvstává požadavek na její sanaci. Momentálně neexistuje metoda či postup, který by byl schopen obnovit původní stav zkorodované výztuže. Společensky významným předpjatým konstrukcím nyní běží jejich životnost a je otázkou, jak se tento problém bude řešit v budoucích letech.

Závěrem lze konstatovat, že navzdory prudkému rozvoji a aplikaci předpjatého betonu na konstrukcích se stavební zkušebnictví nedočkal ekvivalentní inovace. Navrhování a konstruování předpjatých konstrukcí značně předběhlo úroveň jejich diagnostiky a sanace. V současné době je proto potřeba vyvíjet tlak na vývoj nových metod a postupů, aby se tento stav zlepšil.



# Literatura

- [1] *Projektová dokumentace: Dialnice D-2, Stavba 024 Břeclav-Hranica ČSR/SSR most cez rieku Moravu v m 60,47164, Príloha: Technická správa a výkaz výmer, Číslo prílohy: C6-1.* DOPRASTAV n. p., TS – Projektový odbor, Bratislava, Drieňová 27, 1977.
- [2] *Projektová dokumentace: Dialnice D-2, Stavba 024 Břeclav-Hranica ČSR/SSR most cez rieku Moravu v m 60,47164, Príloha: Technická správa, Číslo prílohy: C5-1.* DOPRASTAV n. p., TS – Projektový odbor, Bratislava, Drieňová 27, 1977.
- [3] *Projektová dokumentace: Dialnice D-2, Stavba 024 Břeclav-Hranica ČSR/SSR most cez rieku Moravu v m 60,47164, Príloha: Vzorový priečny rez – predpolia, Číslo prílohy: C6-04.* DOPRASTAV n. p., TS – Projektový odbor, Bratislava, Drieňová 27, 1977.
- [4] *Projektová dokumentace: Dialnice D-2, Stavba 024 Břeclav-Hranica ČSR/SSR most cez rieku Moravu v m 60,47164, Príloha: Výkres predpínacej výstuže nosníka, Číslo prílohy: C6-10.* DOPRASTAV n. p., TS – Projektový odbor, Bratislava, Drieňová 27, 1977.
- [5] *ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [6] *ČSN ISO 13822 (73 0038) Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [7] *ČSN 73 6221 Prohlídky mostů pozemních komunikací.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [8] *Mostní list mostu pozemní komunikace D2-058..2.* 2021.
- [9] *ČSN EN 13791 (73 1303) Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [10] ANTON, O. *Vybrané aspekty diagnostiky ocelové výstuže v železobetonových konstrukcích a konstrukcích z předpjatého betonu.* Brno, 2021. 266 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví.
- [11] ANTON, O. *Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D2-058..2 (Levý most) u Lanžhotu - 1. až 4. pole.* Brno: Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Poradenská a konzultační činnost, 2021.



- [12] ANTON, O. *Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D2-058..2 (Levý most) u Lanžhotu - 13. až 16. pole.* Brno: Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Poradenská a konzultační činnost, 2021.
- [13] ANTON, O. *Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D2-058..2 (Levý most) u Lanžhotu - 20. až 23. pole.* Brno: Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Poradenská a konzultační činnost, 2021.
- [14] ANTON, O. *Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D2-058..2 (Levý most) u Lanžhotu - 5. až 8. pole.* Brno: Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Poradenská a konzultační činnost, 2021.
- [15] ANTON, O. *Zpráva o stavebně-technickém průzkumu mostu ev. č. D2-058..2 (Levý most) u Lanžhotu - 9. až 12. pole.* Brno: Ing. Ondřej Anton, Ph.D. Poradenská a konzultační činnost, 2021.
- [16] ANTON, O., CIKRLE, P. a HEŘMÁNKOVÁ, V. *Problematika současných možností diagnostiky předpínací výztuže v konstrukcích. Sborník recenzovaných příspěvků konference ZKOUŠENÍ A JAKOST VE STAVEBNICTVÍ 2019.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2019. s. 5-14. ISBN 978-80-214-5750-8.
- [17] ANTON, O., ŠTAINBRUCH, J. a KORDINA, T. *Rozvoj a použití georadaru při diagnostice železobetonových konstrukcí.* Článek v Beton TKS, ISSN 1213-3116, Beton TKS s.r.o., Praha, 2011.
- [18] ANTON, O., CIKRLE, P. a HEŘMÁNKOVÁ, V. *Problematika současných možností diagnostiky předpínací výztuže v konstrukcích* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, TZB-info, ISSN: 1801-4399 [cit. 2022-16-03]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/22192-problematika-soucasnych-moznosti-diagnostiky-predpinaci-vyztuze-v-konstrukcich>.
- [19] ANTON, O. a HEŘMÁNKOVÁ, V. *Průkazné stanovení vyztužení železobetonové konstrukce a vhodné NDT metody* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, TZB-info [cit. 2021-09-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/16245-prukazne-stanoveni-vyztuzeni-zelezobetonove-konstrukce-a-vhodne-ndt-metody>.
- [20] ANTON, O., CIKRLE, P. a HEŘMÁNKOVÁ, V. *Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, TZB-info [cit. 2021-09-09]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technicky-pruzkumech>.
- [21] SMÍŠEK, P. *Injektáž kabelů dodatečného předpětí* [online]. © Jaga Media, s.r.o. [cit. 2022-18-03]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/inzenyrskostavby/mosty/injektaz-kabelu-dodatecneho-predpeti>.
- [22] CIKRLE, P. *Význam nedestruktivních diagnostických metod pro hodnocení železobetonových konstrukcí.* Brno, 2016. 174 s. Habilitační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví.

- [23] CIKRLE, P., ANTON, O., DANĚK, P., KUCHARCZYKOVÁ, B. a MISÁK, P. *NDT Zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu CŽV*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, 2010. ISBN 978-80-214-4-4198-9.
- [24] CIKRLE, P., ANTON, O. a HEŘMÁNKOVÁ, V. *Indikátory výztuže - oživení tradiční metody*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, 2014. ISBN 978-80-214-5032-5.
- [25] CIKRLE, P. et al. *Diagnostické metody ve stavebnictví*. Studijní opora, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2011.
- [26] CIKRLE, P., LOUTOCKÁ, V. a UCHYTILOVÁ, J. *Průzkumy a opravy železobetonových konstrukcí meziválečného období*. 1. vyd. Metodický list, Národní památkový ústav, Metodické centrum moderní architektury v Brně, 2018. ISBN 978-80-7480-123-5.
- [27] ŠNĚDAR, J., , BARTOŇ, V. a CIKRLE, P. *Stanovení míry zainjektování kabelových kanálků pomocí moderních diagnostických přístrojů* [online]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví, eBeton [cit. 2022-21-05]. Dostupné z: [https://www.ebeton.cz/clanky/2021\\_2\\_71\\_stanoveni-miry-zainjektovani-kabelovych-kanalku-pomoci-modernich-diagnostickyh-pristroju/](https://www.ebeton.cz/clanky/2021_2_71_stanoveni-miry-zainjektovani-kabelovych-kanalku-pomoci-modernich-diagnostickyh-pristroju/).
- [28] DROCHYTKA, R., DOHNÁLEK, J., BYDŽOVSKÝ, J., PUMPR, V., DUFKA, A. et al. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III*. Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [29] *Ferrosan systém PS 300* [online]. Hilti [cit. 2022-19-03]. Dostupné z: [https://www.hilti.cz/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_7127/r9374764](https://www.hilti.cz/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r9374764).
- [30] *Portable Ground Penetrating Radar - Proceq GP8000* [online]. Proceq [cit. 2022-19-03]. Dostupné z: [https://www.proceq.com/index.php?id=30&L=8&tx\\_proceqproductcms\\_proceqproduct%5Bproduct%5D=497&tx\\_proceqproductcms\\_proceqproduct%5Baction%5D=show&tx\\_proceqproductcms\\_proceqproduct%5Bcontroller%5D=Product&cHash=2d0a1c558edaea543860c1b0fbecd73a](https://www.proceq.com/index.php?id=30&L=8&tx_proceqproductcms_proceqproduct%5Bproduct%5D=497&tx_proceqproductcms_proceqproduct%5Baction%5D=show&tx_proceqproductcms_proceqproduct%5Bcontroller%5D=Product&cHash=2d0a1c558edaea543860c1b0fbecd73a).
- [31] HOBST, L., ADÁMEK, J., CIKRLE, P. a SCHMID, P. *Diagnostika stavebních konstrukcí*. Studijní opora, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2005.
- [32] HOLICKÝ, M. *Hodnocení existujících konstrukcí*. České vysoké učení technické v Praze, Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2018. ISBN 978-80-01-06523-5.
- [33] HOLICKÝ, M. et al. *Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí*. 1. vyd. Česká technika – nakladatelství ČVUT v Praze, 2007. ISBN 978-80-01-03790-4.
- [34] MATOUŠEK, M. a DROCHYTKA, R. *Atmosférická koroze betonů*. IKAS - Informační kancelář pro stavebnictví ve spolupráci s Českou komorou autorizovaných inženýrů činných ve výstavbě, 1998. ISBN 80-902558-0-9.
- [35] NAVRÁTIL, J. *Předpjaté betonové konstrukce*. 2. vyd. AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM®, s. r. o., 2008. ISBN 978-80-7204-561-7.
- [36] *Mapy.cz* [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.9871706&y=48.6862237&z=19&l=0>.

- [37] *Sbírka zákonů a Sbírka mezinárodních smluv, Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. [cit. 2022-24-05]. Dostupné z: [https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=44/2011&typeLaw=mezinarodni\\_smlouva&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=44/2011&typeLaw=mezinarodni_smlouva&what=Cislo_zakona_smlouvy).
- [38] SUZA, I., SEDLÁČEK, O. a KŘEPELKA, J. *Zpráva o diagnostickém průzkumu levého mostu ev. č. D2-058..2 přes Moravu a silnici I/2 u Lanžhotu - 1. dilatační celek*. Brno: Mostní a silniční, s.r.o., 2022.
- [39] SUZA, I., SEDLÁČEK, O. a KŘEPELKA, J. *Zpráva o diagnostickém průzkumu levého mostu ev. č. D2-058..2 přes Moravu a silnici I/2 u Lanžhotu - 2. dilatační celek*. Brno: Mostní a silniční, s.r.o., 2022.
- [40] SUZA, I., SEDLÁČEK, O. a KŘEPELKA, J. *Zpráva o diagnostickém průzkumu levého mostu ev. č. D2-058..2 přes Moravu a silnici I/2 u Lanžhotu - 4. dilatační celek*. Brno: Mostní a silniční, s.r.o., 2022.
- [41] SUZA, I., SEDLÁČEK, O. a KŘEPELKA, J. *Zpráva o diagnostickém průzkumu levého mostu ev. č. D2-058..2 přes Moravu a silnici I/2 u Lanžhotu - 6. dilatační celek*. Brno: Mostní a silniční, s.r.o., 2022.
- [42] SUZA, I., SEDLÁČEK, O. a KŘEPELKA, J. *Zpráva o diagnostickém průzkumu mostu levého ev. č. D2-058..2 přes Moravu a silnici I/2 u Lanžhotu - 3. dilatační celek*. Brno: Mostní a silniční, s.r.o., 2022.
- [43] TERZIJSKI, I. *Betonové prvky - Modul M01 - Základy navrhování konstrukcí, zatížení, materiály*. 2. vyd. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2005. ISBN 978-80-7204-514-3.
- [44] VÍTEK, J. *Historie předpjatého betonu*. 1. vyd. Informační centrum ČKAIT, s. r. o., 2016. ISBN 978-80-87438-84-8.
- [45] *Skenner betonu PS 1000 X-Scan* [online]. Hilti [cit. 2022-19-03]. Dostupné z: [https://www.hilti.cz/c/CLS\\_MEA\\_TOOL\\_INSERT\\_7127/CLS\\_CONCRETE\\_SCANNERS\\_7127/r6436760](https://www.hilti.cz/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r6436760).

# Seznam zkratek

<b>DC</b>	dilatační celek
<b>GPR</b>	ground penetrating radar
<b>mm</b>	milimetr
<b>O</b>	opěra
<b>P</b>	podpěra
<b>PD</b>	projektová dokumentace
<b>ÚP</b>	úložný práh

# Seznam tabulek

3.1	1. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.1, A.2, A.3 a A.4 [11] . . . . .	39
3.2	2. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.5, A.6, A.7 a A.8 [14] . . . . .	39
3.3	3. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.9, A.10, A.11 a A.12 [15] . . . . .	40
3.4	4. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.13, A.14, A.15 a A.16 [12] . . . . .	40
3.5	6. DC – rozmístění sond georadaru, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.17, A.18 a A.19 [13] . . . . .	41
3.6	1. DC – výsledky sond georadaru [11] . . . . .	42
3.7	2. DC – výsledky sond georadaru [14] . . . . .	43
3.8	3. DC – výsledky sond georadaru [15] . . . . .	44
3.9	4. DC – výsledky sond georadaru [12] . . . . .	45
3.10	6. DC – výsledky sond georadaru [13] . . . . .	46
3.11	1. DC – rozmístění sond návrtem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, sonda S1 byla provedena 760 mm vertikálně od spodního líce stojiny nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.1, A.2, A.3 a A.4 [38] . . . . .	63
3.12	2. DC – rozmístění sond návrtem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.5, A.6, A.7 a A.8 [39] . . . . .	64
3.13	3. DC – rozmístění sond návrtem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.9, A.10, A.11 a A.12 [42] . . . . .	65
3.14	4. DC – rozmístění sond návrtem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.13, A.14, A.15 a A.16 [40] . . . . .	66
3.15	6. DC – rozmístění sond návrtem k předpínací výztuži, sondy prováděné ze spodního líce I nosníku, schémata jednotlivých polí jsou příloze s označením A.17, A.18 a A.19 [41] . . . . .	67
3.16	Klasifikační tabulka hodnocení stavu předpínací výztuže z hlediska koroze [38]	68

3.17	Klasifikační tabulka hodnocení stavu předpínací výztuže z hlediska zainjektovanosti [38] . . . . .	68
3.18	1. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži, u S1 se nepodařilo obnažit předpínací výztuž [38] . . . . .	69
3.19	2. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [39] . . . . .	70
3.20	3. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [42] . . . . .	71
3.21	4. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [40] . . . . .	72
3.22	6. DC – výsledky sond návrtem k předpínací výztuži [41] . . . . .	73

# Seznam obrázků

2.1	Působení prostého a železového betonu [43] . . . . .	6
2.2	Rozložení napětí v předpjatém betonovém prvku [35] . . . . .	7
2.3	Rozdíly v působení prostého, železového a předpjatého betonu na tažených prvcích [35] . . . . .	7
2.4	Vývojový diagram obecného postupu hodnocení existujících konstrukcí [6] [33]	9
2.5	Gamagrafický kryt TECH/OPS se zářičem CO60 na transportním vozíku s hadicemi ovládacího zařízení [23] . . . . .	15
2.6	Technický rentgen YXLON SMART 300KV [10] . . . . .	16
2.7	Radiogramy totožného objektu (železobetonový prvek tloušťky 70 mm vy- ztužený pruty Roxor 8 mm [10] . . . . .	17
2.8	Rozsáhlá sekaná sonda na trámu [10] . . . . .	18
2.9	Proceq Profometer PM 630 s oddělitelnou měřicí sondou a dotykovým dis- plejem [24] . . . . .	19
2.10	Hilti PS300 Ferroskan s integrovanou sondou s displejem [29] . . . . .	19
2.11	Hilti PS 1000 X-Scan s integrovanou obrazovkou [45] . . . . .	22
2.12	Proceq GP8000 (GPR Live) s bezdrátově připojeným Apple iPad [30] . . . .	22
2.13	Gamagram – na horní části obrázku je patrná plná injektáž, v dolní části obrázek znázorňuje chybějící injektáž [18] . . . . .	25
2.14	Návrh k ocelové chrániče Sandrik v předpjatém nosníku, následné vylomení vývrtu, dovtáčení k výztuži a realizace fenolftaleinové zkoušky [16] . . . . .	26
3.1	Polohopis diagnostikovaného dálničního mostu [36] . . . . .	30
3.2	Pohled na levý most hlavního mostního objektu, hlavním nosným prvkem je komorový nosník proměnné výšky průřezu . . . . .	32
3.3	Pohled na předpolí na české straně, vpravo levý most, vlevo pravý most, na podpěře P16 u zrcadla levého mostu je patrné zvláštní zařízení (které hojně realizoval předchozí režim) sloužící k případné detonaci mostu . . . . .	33
3.4	Pohled na předpolí levého mostu na českou stranu, 14. pole, v krajní části je patrná nefunkční izolace, stopy po zatékání a průsaky v místech odvod- ňovačů, inkrustace, odpadaná krycí vrstva betonu a v návaznosti i obnažená zkorodovaná měkká výztuž . . . . .	35
3.5	Detail obrázku 3.4 – nefunkční izolace, stopy po zatékání a průsaky, in- krustace, odpadaná krycí vrstva betonu a v návaznosti i obnažená zko- rodovaná měkká výztuž . . . . .	35
3.6	Schématičký příčný řez předpolím, rozměry v [mm] [3] . . . . .	36
3.7	Schéma vedení kabelů v nosnících předpolí, rozměry v [mm] [4] . . . . .	37
3.8	1. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách . . . . .	48

3.9	1. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality: $H_0$ zamítnuta, Studentův $t$ -test: $H_0$ zamítnuta . . . . .	48
3.10	2. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách . . . . .	49
3.11	2. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality: $H_0$ zamítnuta, Studentův $t$ -test: $H_0$ zamítnuta . . . . .	49
3.12	3. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách . . . . .	50
3.13	3. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality: $H_0$ nezamítnuta, Studentův $t$ -test: $H_0$ zamítnuta . . . . .	50
3.14	4. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách . . . . .	51
3.15	4. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality: $H_0$ zamítnuta, Studentův $t$ -test: $H_0$ zamítnuta . . . . .	51
3.16	6. DC – graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách . . . . .	52
3.17	6. DC – histogram hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality: $H_0$ zamítnuta, Studentův $t$ -test: $H_0$ zamítnuta . . . . .	52
3.18	Souhrnný graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách . . . . .	53
3.19	Souhrnný graf hodnot odchylek krytí v jednotlivých sondách rozdělený do DC	54
3.20	Souhrnný histogram absolutní četnosti odchylek krytí v jednotlivých sondách	55
3.21	Souhrnný histogram relativní četnosti odchylek krytí v jednotlivých sondách, test normality: $H_0$ zamítnuta, Studentův $t$ -test: $H_0$ zamítnuta . . . . .	56
3.22	1. DC, sonda N2 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [11] . . . . .	57
3.23	1. DC, sonda N2 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [11] . . . . .	57
3.24	2. DC, sonda N33 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [14] . . . . .	58
3.25	2. DC, sonda N33 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [14] . . . . .	58
3.26	3. DC, sonda N34 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [15] . . . . .	59
3.27	3. DC, sonda N34 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [15] . . . . .	59
3.28	4. DC, sonda N51 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [12] . . . . .	60
3.29	4. DC, sonda N51 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [12] . . . . .	60
3.30	6. DC, sonda N73 – liniový sken vedený napříč nosníkem ze spodního líce nosníku [13] . . . . .	61
3.31	6. DC, sonda N73 – plošný sken formátu 600 × 600 mm ze spodního líce nosníku, střed skenu ve středu šířky nosníku [13] . . . . .	61
3.32	1. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 14 sond, s mírnou korozí 15 sond . . . . .	74
3.33	1. DC – stav injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 12 sondách, vlhká injektážní malta v 17 sondách . . . . .	74
3.34	2. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 16 sond, s mírnou korozí 14 sond . . . . .	75
3.35	2. DC – stav injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 20 sondách, vlhká injektážní malta v 10 sondách . . . . .	75



3.36	3. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 19 sond, s mírnou korozí 9 sond, s korozí 2 sondy . . . . .	76
3.37	3. DC – stav injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 30 sondách, vlhká injektážní malta v žádné sondě . . . . .	76
3.38	4. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 23 sond, s mírnou korozí 5 sond, s korozí 2 sondy . . . . .	77
3.39	4. DC – stav injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta v 29 sondách, vlhká injektážní malta v žádné sondě, v 1 sondě (S106) chybějící injektáž, v 1 sondě (S108) částečná injektáž . . . . .	77
3.40	6. DC – míra koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 9 sond, s mírnou korozí 20 sond, s korozí 1 sonda . . . . .	78
3.41	6. DC – stav injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 30 sondách, vlhká injektážní malta v žádné sondě . . . . .	78
3.42	Souhrnný graf míry koroze v jednotlivých sondách, bez koroze 81 sond, s mírnou korozí 63 sond, s korozí 5 sond . . . . .	79
3.43	Souhrnný graf stavu injektážní malty v jednotlivých sondách, suchá injektážní malta ve 121 sondách, vlhká injektážní malta v 27 sondách, v 1 sondě (S106) chybějící injektáž, v 1 sondě (S108) částečná injektáž . . . . .	79
3.44	1. DC, sonda S23 – obnažený kabel je v ocelové chrániče, která je zkorodovaná, na kabelu jsou známky mírné koroze bez oslabení profilu, je plně zainjektovaný a injektážní malta je vlhká [38] . . . . .	80
3.45	2. DC, sonda S42 – obnažený kabel je v ocelové chrániče, kabel je bez koroze, je plně zainjektovaný a injektážní malta je suchá [39] . . . . .	80
3.46	3. DC, sonda S63 – obnažený kabel je v ocelové chrániče, na kabelu jsou známky koroze s oslabením profilu, je plně zainjektovaný a injektážní malta je suchá [42] . . . . .	81
3.47	4. DC, sonda S106 – obnažený kabel je v ocelové chrániče, na kabelu jsou známky koroze s oslabením profilu a není zainjektovaný [40] . . . . .	81
3.48	6. DC, sonda S123 – obnažený kabel je v ocelové chrániče s povrchovou korozí, na kabelu jsou známky koroze s oslabením profilu do 10 %, je plně zainjektovaný a injektážní malta je suchá [41] . . . . .	82
A.1	1. DC, 1. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [38] . . . . .	97
A.2	1. DC, 2. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [38] . . . . .	98
A.3	1. DC, 3. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [38] . . . . .	99
A.4	1. DC, 4. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [38] . . . . .	100
A.5	2. DC, 5. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [39] . . . . .	101
A.6	2. DC, 6. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [39] . . . . .	102
A.7	2. DC, 7. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [39] . . . . .	103
A.8	2. DC, 8. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [39] . . . . .	104
A.9	3. DC, 9. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [42] . . . . .	105
A.10	3. DC, 10. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [42] . . . . .	106
A.11	3. DC, 11. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [42] . . . . .	107
A.12	3. DC, 12. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [42] . . . . .	108
A.13	4. DC, 13. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [40] . . . . .	109
A.14	4. DC, 14. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [40] . . . . .	110
A.15	4. DC, 15. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [40] . . . . .	111
A.16	4. DC, 16. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [40] . . . . .	112

A.17 6. DC, 20. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [41]	. . . . .	113
A.18 6. DC, 21. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [41]	. . . . .	114
A.19 6. DC, 22. pole – schéma rozmístění sond, rozměry v [mm] [41]	. . . . .	115