



Vysoké učení technické v Brně

Antonínská 548/1, 602 00 Brno

&



Link projekt s.r.o.

Makovského náměstí 3147/2, 616 00 Brno

Metodika pro posouzení zbytkové únosnosti předpjatých mostů

Identifikační č.:

CK01000042-V1

Datum:

6. 12. 2023

Schválená metodika Ministerstvem dopravy (NmetS):**Metodika pro posouzení zbytkové únosnosti předpjatých mostů**

Metodika vznikla v rámci řešení výzkumného projektu v Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti dopravy – DOPRAVA 2020+ „Upřesnění zbytkové únosnosti předpjatých mostů“, vedeným pod identifikačním číslem CK01000042, Technologické agentury České republiky (TA ČR).

Autoři:

doc. Ing. Ladislav Klusáček, CSc., doc. Ing. Radim Nečas, Ph.D., Ing. Tomáš Kulhavý, Ph.D., Ing. Jan Kolářek, Ph.D., Ing. Jiří Strnad, Ph.D., Ing. Adam Svoboda, Ing. Martin Olšák

Oponenti:

doc. Ing. Vladislav Hrdoušek, CSc. (ČVUT v Praze)
Ing. Martin Vilč (DOPRAVOPROJEKT Ostrava a.s.)

Cíl metodiky:

Cílem metodiky je stanovit soubor vzájemně provázaných a podmíněných postupů, diagnostických zjištění a jejich vyhodnocení tak, aby bylo možné jejich provedením stanovovat zbytkovou únosnost předpjatých mostů. Metodiku lze uplatnit u předpjatých mostů obecně, ale její prvky jsou hlouběji rozpracovány do oblasti předpjatých mostů sestavených z dodatečně předpínaných tyčových prefabrikátů.

Uplatněním metodiky bude možné minimalizovat případy předčasného, případně zaujatého bourání předpjatých mostů jen na základě nalezení ojedinělých poruch na straně jedné a současně bude možné s její pomocí předložit relevantní poznatky vedoucí na nutnost snesení vážně poškozených mostů na straně druhé.

Předpokládané využití metodiky:

Předpokládané využití se očekává u správců mostů, které mají ve vlastnictví předpjaté mosty nebo vykonávají jejich správu. Těmi mohou být Ředitelství silnic a dálnic České republiky, Správa železnic, Správy a údržby silnic působící v jednotlivých krajích České republiky a města, případně obce.

Využití metodiky má potenciál výrazných úspor v těch případech, kdy bude možné jejím využitím odvrátit unáhlené bourání předpjatých mostů. Při započítání celospolečenských

nákladů lze očekávat nutnost vynaložení 10x nižších finančních objemů na opravy nebo rekonstrukce existujících předpjatých mostů s využitím stávající nosné konstrukce oproti finančním objemům, které by se musely vynaložit na jejich úplné přestavby (se zbouráním nosných konstrukcí) nebo výstavby zcela nových mostů.

Klíčová slova:

předpjatý beton, předpínací výztuž, mostní konstrukce, zbytková únosnost, diagnostický průzkum, monitoring

OBSAH

1.	ÚVOD	6
1.1	HISTORIE A TYPOVÉ PODKLADY	8
1.1.1	Prefabrikovaný nosník I-62.....	10
1.1.2	Prefabrikovaný nosník KA-61	11
1.2	EKONOMICKÁ ANALÝZA	12
1.2.1	Ukázková ekonomická analýza	13
2.	METODICKÝ POSTUP.....	18
3.	DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM PŘEDPJATÝCH MOSTŮ.....	23
3.1	DESTRUKTIVNÍ METODY	25
3.1.1	Kopané/řezané sondy	26
3.2	SEMI-DESTRUKTIVNÍ METODY	27
3.2.1	Metoda semi-destruktivního sondování	28
3.3	NEDESTRUKTIVNÍ METODY	30
3.3.1	Georadar (GPR).....	30
3.3.2	Infračervená termografie (IRT)	31
3.3.3	Magnetoelektrické metody	32
3.3.4	Elektrické metody – poločlávková metoda (HP)	34
3.3.5	Ultrazvuková pulzní metoda (US).....	34
3.3.6	Ultrazvuková tomografie (UST)	35
3.3.7	Ultrazvukové pulse echo metody (PE).....	36
3.3.8	Rezonanční metody	36
3.3.9	Akustická emise (AE)	37
3.3.10	Radiační defektoskopie (XR)	38
3.3.11	Akustická trasovací metoda	39
3.4	POROVNÁNÍ METOD A POUŽITELNOST V PRAXI	40
4.	DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE METODOU SDT SONDOVÁNÍ.....	42
4.1	DIAGNOSTIKA PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE PO DÉLCE KABELU	42
4.1.1	Způsob rozmístění SDT sond.....	42
4.1.2	Prostorové omezení umístění SDT sond	49
4.1.3	Provádění SDT vrtaných sond.....	52
4.1.4	Protokol o provedené SDT sondě.....	60
4.1.5	Vyhodnocení SDT sondáže.....	71
4.2	DIAGNOSTIKA PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE V KOTEVNÍ OBLASTI	78
4.2.1	Vizuální endoskopie	78
4.3	MECHANICKÉ POMŮCKY PRO PROVÁDĚNÍ SDT SOND	80

4.3.1	Přípravek pro mechanické provádění semi-destruktivní diagnostiky.....	80
4.3.2	Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou	88
5.	ZAPOČITATELNOST PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE NA ZÁKLADĚ PROVEDENÉ DIAGNOSTIKY	93
5.1	KOTEVNÍ DÉLKY PŘERUŠENÉ PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE.....	93
5.2	GRAFICKÉ VYHODNOCENÍ ZAPOČITATELNOSTI VÝZTUŽE	96
5.3	APLIKACE KOTEVNÍCH DÉLEK V NUMERICKÉM MODELU	101
5.3.1	Předpínací výztuž bez porušení	101
5.3.2	Předpínací výztuž porušena za kotvami	102
5.3.3	Předpínací výztuž porušena na počátku oblouku	102
5.3.4	Rozsáhlé porušení zvedané i přímé předpínací výztuže.....	102
5.3.5	Aplikace porušení na celé konstrukci	102
6.	MONITORING KONSTRUKCE S VYUŽITÍM SDT SOND.....	103
6.1	ZPŮSOB OSAZENÍ SENZORU PRO TRVALÉ SLEDOVÁNÍ VLASTNOSTÍ INJEKTÁŽNÍ MALTY .	103
6.1.1	Popis zvolené metody	104
6.1.2	Technické řešení, použité přístroje a způsob měření.....	105
6.1.3	Postup instalace.....	106
7.	ZÁVĚR	112
8.	DEDIKACE	113
9.	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	114
10.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	118
11.	SEZNAM SOUVISEJÍCÍ LITERATURY.....	121
12.	SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODIKU.....	124
13.	SEZNAM PRODUKTŮ PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODIKU	126

Přílohová část:

Příloha 1: Katalog typických poruch a závad předpjatých mostů

Příloha 2: Katalog prefabrikovaných nosníků I a KA

Příloha 3: Experimentální ověření míry soudržnosti předpínacích drátů s injektáží kabelového kanálku

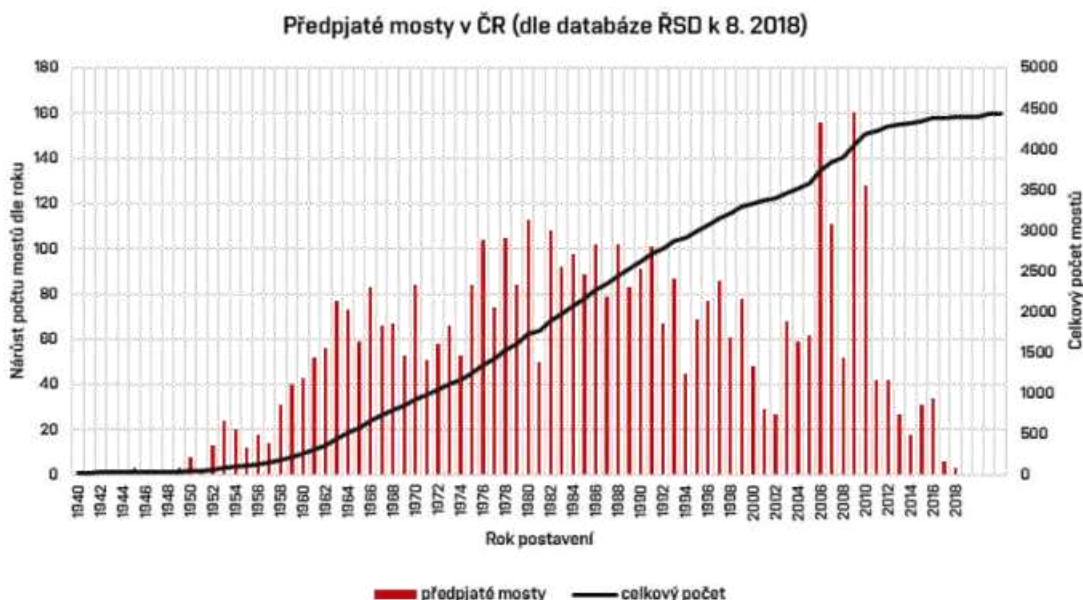
1. ÚVOD

Metodiku lze uplatnit u předpjatých mostů obecně, ale její prvky jsou hlouběji rozpracovány do oblasti předpjatých mostů sestavených z dodatečně předpínaných tyčových prefabrikátů. Těmi jsou deskové převážně prosté mostní desky sestavené z dodatečně předpjatých nosníků MPD, KA a zejména I.

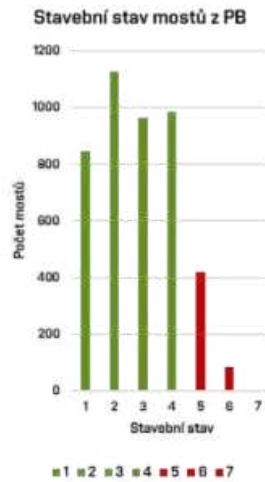
Metodiku pro upřesnění zbytkové únosnosti předpjatých mostů bude užitečné uplatnit rovněž v těch případech, kdy se především dálniční tahy plánují rozšiřovat a bude tedy nezbytné během realizace rozšíření převádět provoz až na několik let v jednom směru na původních mostních konstrukcích. Uplatněním metodiky bude možné snadněji a spolehlivěji rozhodnout o možnosti zbytkového využití původních předpjatých mostů pro tyto situace anebo pro podobné dočasné mimořádné využití. To může vést na značné snížení investičních nákladů a na významné časové úspory. Původní předpjaté dálniční mosty jsou nejčastěji tvořeny deskami z podélně předpjatých prefabrikátů.

Nutnost a užitečnost hlubšího rozpracování metodiky právě do oblasti předpjatých mostů z tyčových prefabrikátů je ilustrována na následujících přehledech. Z nich vyplývá, že podíl předpjatých mostů z tyčových prefabrikátů na celkovém počtu předpjatých mostů je vysoký, dosahuje téměř 57 %. Přitom jsme v současné době (léta 2010 až 2020) svědky jejich téměř paušálního nahrazování zcela novými konstrukcemi. Tato paušalizace je omezena pouze dostupnými finančními zdroji a částečně i disponibilními dodavatelskými kapacitami.

Graf na Obr. 1 ukazuje celkový počet předpjatých mostů na dálnicích a silnicích I. třídy dle databáze ŘSD k 8/2018. Celkový počet k tomuto datu byl 4442 ks, z nichž cca 11 % se nacházelo ve stavebním stavu V-VII (špatný až havarijní).



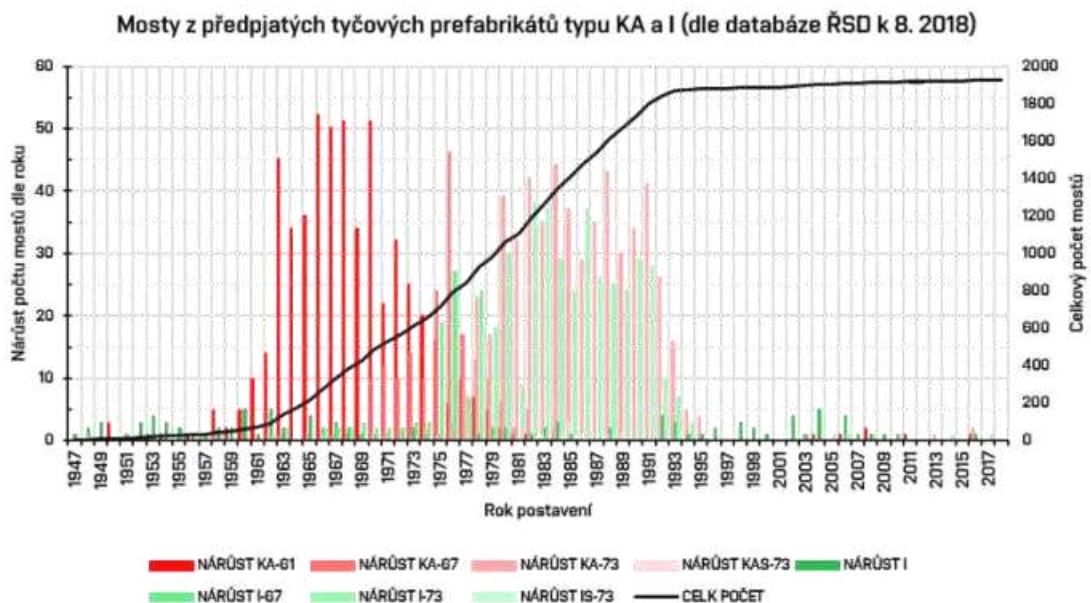
Obr. 1 Graf počtu předpjatých mostů v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018



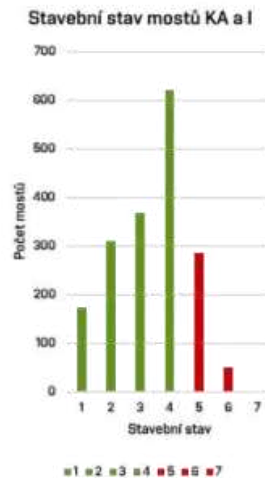
Obr. 2 Graf stavebního stavu předpjatých mostů v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018

Z grafu je zároveň zřejmé, že největší nárůst předpjatých mostů nastal v 60. a 70. letech, právě s použitím typizovaných předpjatých prefabrikovaných nosníků KA a I. Tento trend od 90. let po dostavbě hlavních dálničních tahů začal pomalu klesat. Významný nárůst předpjatých mostů na počátku 21. století představují zejména monolitické předpjaté mosty v průběhu dalšího rozšiřování dálniční a silniční sítě v ČR.

Více jak polovina předpjatých mostů, přesněji cca 2600 mostů je zhotovených z tyčových prefabrikovaných nosníků a z toho 1925 ks právě z prefabrikovaných nosníků KA a I. Podíl mostů z nosníků KA nebo I na celkovém počtu mostů z předpjatých tyčových prefabrikátů je vysoký, a to téměř 77 %. Z nichž cca 18 % se k 8/2018 nacházelo ve stavebním stavu V-VII (špatný až havarijní).



Obr. 3 Graf počtu mostů z předpjatých tyčových prefabrikátů typu KA a I v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018



Obr. 4 Graf stavebního stavu předpjatých mostů z předpjatých tyčových prefabrikátů typu KA a I v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018

Důležité je také zdůraznit, jak ukazuje graf na Obr. 4, ve stavebním stavu IV (uspokojivý) byla již téměř polovina těchto mostů a lze očekávat, že v následujících pěti až deseti letech se naprostá většina těchto mostů přesune do stavu V (špatný) a VI (velmi špatný). Proto je nutné, aby těmto mostním konstrukcím byla věnována zvýšená pozornost již v současnosti s nutnou přípravou reakce na tento budoucí stav.

1.1 Historie a typové podklady

Většina mostů s rozpětím jednoho pole do 30 m byla od druhé poloviny padesátých let vyráběna z tyčových předpjatých prefabrikátů. I přes krátká rozpětí 12 m byly použity předpjaté nosníky, které byly vyrobeny z poměrně kvalitních betonů s vysokou pevností B500 (dnešní C35/45). Kvalitu betonu i po 50 letech potvrzují výsledky z laboratoří při v současnosti probíhajících diagnostických průzkumech.

První typy předpjatých nosníků z padesátých let byly k sobě příčně předepruty a v podélném směru sestaveny ze tří dílů. Jednalo se o nosníky MPN (tzv. „fousáče“) a nosníky MPD. Z důvodu komplikované montáže, pracného předpínání v příčném směru s komplikovanou aplikací u šikmých mostů se od použití těchto nosníků upustilo.

Od počátku 60. let se přešlo k výrobě prefabrikovaných nosníků komůrkového průřezu „KA“ tzv. „Klimešů“ nebo průřezu tvaru písmena „I“ tzv. Ševčíků. Tyto nosníky jsou dodatečně předpjaté, a to pouze v podélném směru, v příčném směru jsou propojeny „petlicovitě“ betonářskou výztuží. Staticky tak vzniká tzv. žaluziová deska. Statické řešení na rozdíl od předchozích příčně předpjatých konstrukcí umožňuje pootočení sousedních prvků, dochází tak ke vzniku podélných trhlin a k potrhání spádového betonu nad nosníky. Časem poté přes porušenou hydroizolaci mostu (není-li obnovována) dochází k přístupu vody z mostního svršku do nosné konstrukce a skrze poruchy betonu může také docházet až k dlouhodobému působení vody přímo na předpínací výztuži, které vede na iniciaci korozního procesu. Nejhuře je na tom obecně s ohledem na příčný sklon a odvodnění komunikace oblast v okolí spáry mezi krajním nosníkem a sousedním nosníkem, nad jejich propojením bývá ve většině případů

typových mostů osa odvodnění izolace a zároveň skrze spáru vede svod dešťové vody z mostu.

I přes tuto nedokonalost vyhrála menší náročnost výstavby, což bylo v době nárůstu dálniční infrastruktury tehdejšího Československa žádoucí. Velkou výhodou byla hlavně také snadnější aplikace na různé šikmosti mostů.

Typové nosníky „KA“ a „I“ se tak staly nejpoužívanějšími nosníky a až do konce 80. let docházelo pouze k jejich optimalizaci výztuže s ohledem na úpravu normového zatížení.

Z důvodu uvedené četnosti nosníků „KA“ a „I“ viz grafy v kapitole 1 je tato metodika zaměřena zejména na tyto tyčové prefabrikáty, nicméně je možné ji v určité míře aplikovat i na podobné předpjaté tyčové prefabrikáty viz tabulka níže, která uvádí seznam nejpoužívanějších předpjatých prefabrikovaných nosníků v letech 1950-2010 v ČR.

Název	Rok zavedení	Rozpětí
VLOŠŠÁK	1956	
PPB 6-12	1985	
PPB 16-20	1985	
PPN		6,12,16,20 m
MPN	1951	
I-62	1962	
I-67	1967	
I-73	1973	
IS-73	1976	21,24,27,30 m
I-90	1990	
I-96	1996	
I-2006	2006	
IST-97	1997	9-30 m
VST-88	1988	
VST-92	1992	
VSTI 2000	2000	24,27,30,42 m
TAUROS	1982	
DPS-35	1978	
DPS-T		21-36 m
DPS VP-97	2002	12,15,18,21 m
DPS VP-I 03	2003	24,27 m
DPS VP-I 04	2004	24,27,30 m
DPS VP-T 07	2007	33,36,39,42,45 m
DPS VP-I 10	2010	24,27,30 m
T-90	1990	10-18 m
DZ-97	1997	21,24,27,30 m
TT-DZ-97	1997	12,15,18 m

Komůrkové nosníky

MPD	1956	9,12,15,18
KA-61	1961	
KA-67	1967	
KA-73	1973	9-18 m
KAS-73	1973	
KA-93	1993	12,15,18,21,24,27 m
KAS-93	1993	

komorové nosníky, segmenty a lamely

DS-V 620/100	1967	
PDK	1967	
KD 70	1970	
IS KOŠICE	1971	
DS-C	1981	
DPS-FI	1982	

Obr. 5 Seznam nejpoužívanějších předpjatých prefabrikovaných nosníků v letech 1950-2010

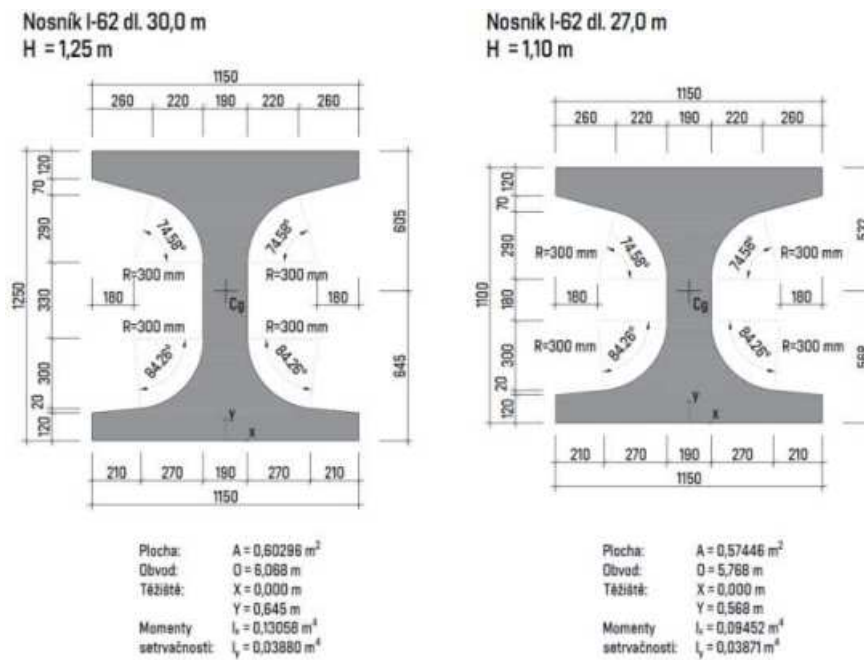
Detailní popis nejpoužívanějších prefabrikovaných nosníků I a KA je uveden v příloze: Příloha 2: Katalog prefabrikovaných nosníků I a KA.

Níže je uveden pouze stručný náhled z této přílohy.

1.1.1 Prefabrikovaný nosník I-62

Typová délka [m]	Rozpětí [m]	Výška nosníku [m]	Váha nosníku [t]
24,0	23,0	1,00	34,66
27,0	26,0	1,10	40,33
30,0	29,0	1,25	47,03

Obr. 6 Typové délky nosníků I-62

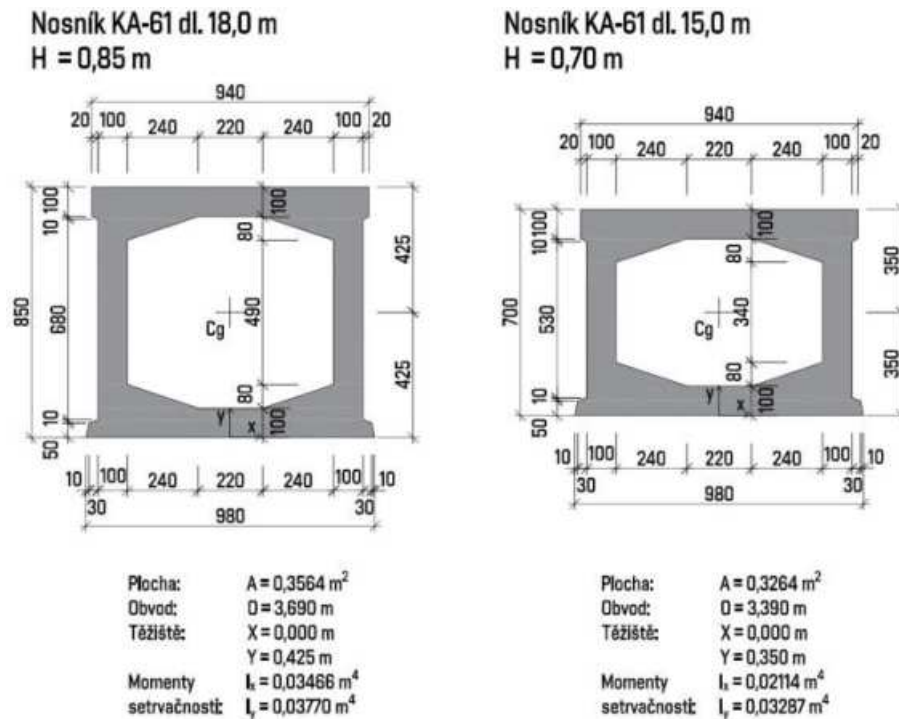


Obr. 7 Průřezové charakteristiky vybraných nosníků I-62



Obr. 8 Pohled na čelo nosníku I-62

1.1.2 Prefabrikovaný nosník KA-61



Obr. 9 Průřezové charakteristiky vybraných nosníků KA-61



Obr. 10 Uložení nosníků KA-61 dl. 16,6 m na úložném prahu opěry

1.2 Ekonomická analýza

Vlastníci nebo správci mostů v rámci vykonávání činnosti hospodaření s mosty (tzv. BMS – Bridge Management Systém) rozhodují o rozdělení finančních prostředků na jednotlivé investiční akce zajišťující bezpečný provoz mostních konstrukcí, které spravují. Cílem aktivit BMS je optimalizace nákladů na provozování mostních objektů (cit. „opravuje se v optimální době, víme, kam a proč se finanční prostředky vynakládají“ [1]). Investičními akcemi jsou myšleny následující:

- činnosti údržby mostů;
- kompletní výměna mostní konstrukce;
- rekonstrukce mostní konstrukce.

Podstatou provedené ekonomické analýzy a jejího ukázkového nasazení je vytvoření základů metodiky posuzování, podle níž by bylo možné realizovat více objektivní ekonomicko-sociální analýzu poskytující informace pro rozhodnutí odpovědných veřejných orgánů o tom, zda provést rekonstrukci nebo kompletní výměnu mostní konstrukce zejména v souvislosti s předpjatými mostními konstrukcemi z tyčových prefabrikátů, a to při zohlednění nákladů na technické řešení a doposud nezohledňované celospolečenské náklady. Předpokladem je splnění mechanických a dispozičních kritérií původní mostní konstrukce. Správce mostu se v rámci přípravy investiční akce BMS zpravidla rozhoduje mezi rekonstrukcí mostu se zachováním původní konstrukce anebo demolicí původní konstrukce a nahrazení konstrukcí zcela novou. Z pohledu finančních nákladů se jedná o řádově větší investici oproti variantě rekonstrukce mostu i bez zahrnutí celospolečenských nákladů, které zpravidla nebývají zahrnuty v rozhodovacím procesu správce.

Celospolečenské náklady a benefity jsou nedílnou součástí finanční zátěže každé investiční akce, ať už rekonstrukce nebo demolice a výstavba nového mostu. Běžné posuzování rekonstrukcí anebo novostaveb se děje účetně na základě přímých nákladů podle celkové hodnoty vynaložených nákladů stavby s přihlédnutím k následujícím tvrzením o novostavbách:

- delší životnost bez nároku na údržbu;
- větší znalost materiálů;
- menší dispoziční omezení.

Nevyčíslování celospolečenských nákladů, které jsou mnohdy větší než náklady tzv. účetní, společně s výše uvedenými tvrzeními znevýhodňují pohled na rekonstrukce. Jako diskutabilní lze označit tvrzení o nárocích na údržbu, kdy i novostavba potřebuje v rámci zodpovědného přístupu k hospodaření s mosty provádění pravidelných činností údržby podle deklarovaného plánu údržby. Tato část projektových dokumentací je v ČR dlouhodobě velmi podceňována.

Ekonomické hodnocení přínosů a užitků veřejných investičních akcí spadá do problematiky hodnocení veřejných (vládních) výdajových programů. Proto je možné metodologicky vycházet z dosavadní poznatkové základny a rozšířit ji o specifika systému hospodaření s mosty.

Jednou z významných forem alokace veřejných zdrojů je jejich realizace prostřednictvím veřejných výdajových programů, veřejných projektů a veřejných zakázek [2]. Protože jsou zdroje vzácné (omezené), musí se tvůrci veřejných politik neustále rozhodovat, jak disponibilní zdroje využít s ohledem na jejich omezení a naplnění alokačních cílů. Předpokladem pro správné rozhodnutí je provedení ekonomické analýzy (hodnocení), která objasňuje společensky poměřované ekonomické náklady a přínosy (užitky) jednotlivých alternativ.

Pro objektivní hodnocení veřejných výdajových programů (projektů) je třeba vyčíslit všechny jak explicitní, tak implicitní užitky a náklady. Výsledky analýzy potom mají sloužit jako podklad pro veřejné rozhodnutí o realizaci nejlepšího projektu. Takový projekt přináší v porovnání s jinými projekty (včetně nulové varianty – nerealizace projektu) nejvyšší čistý mezní užitek [3].

Postup hodnocení veřejných výdajových programů (projektů) vychází z postupů aplikovaných v soukromém sektoru, kde jsou ekonomické analýzy běžnou záležitostí. Protože se ovšem veřejný sektor v určitých předpokladech od sektoru soukromého liší (cílem není maximalizace zisku, ale maximalizace blahobytu), tak postupy ekonomického hodnocení musí být mírně modifikovány. Postup hodnocení projektů lze shrnout takto:

1. identifikace potenciálních programů a projektů,
2. identifikace vstupů a výstupů,
3. ocenění (kvantifikace) vstupů a výstupů,
4. časová hodnota peněz,
5. metody ekonomického hodnocení,
6. výběr alternativy.

1.2.1 Ukázková ekonomická analýza

Pro pilotní nasazení ekonomické analýzy zahrnující i kromě nákladů na samotnou investiční akci i celospolečenské náklady byl vybrán ukázkový typický most z prefabrikovaných předpjatých nosníků I-73 o třech polích cca z roku 1980 (Obr. 11).

Postup hodnocení je níže vytvářen pro dva základní scénáře:

- A. úplné stržení mostu a jeho kompletní nová výstavba,
- B. rekonstrukce mostu při zachování kyvadlového provozu.

Obě varianty přinášejí v souladu se svým charakterem potřebu vyčíslit náklady náhradních řešení, resp. náklady “nepohodlí”, které investiční akce způsobí. V souladu s realizovanou analýzou v první fázi postačuje vyčíslit tyto náklady a obě možnosti investičního řešení porovnat.

Třetí možností, která by měla být také diskutována, je z hlediska vědeckého (C.) zachování stávajícího stavu. Tuto možnost je však třeba vnímat v kontextu technického stavu daného infrastrukturního prvku (mostu) a představuje spíše dočasné řešení. V praxi je k tomuto řešení přistupováno v případě, že technický stav není ohrožující uživatele mostu a při nedostatku investičních finančních prostředků.



Obr. 11 Pohled na demolici původní konstrukce mostu z prefabrikovaných nosníků I-73

V rámci ukázkového hodnocení není možné zohlednit všechny faktory (disjunktně pokrýt), které jsou dotčeny obnovou zadaného mostu. Je nezbytné využít vědecké abstrakce a některé z vlivů vnímat jako marginální. Mezi ně patří zejména:

- účast cyklistů, hromadné dopravy, chodců, zemědělské dopravy;
- dopad na životní prostředí. K vyčíslení dopadů by bylo potřeba zvláštního expertního posudku;
- v případě nákladní autodopravy (případně i autobusové dopravy či řidičů zemědělských prostředků), dopravních služeb (kurýři, pošta atd.) se předpokládá, že řidiči jsou v zaměstnání, tudíž u nich nebude zohledněna potenciální ušlá mzda;
- do důležitých efektů je třeba zmínit i dopad na psychický stav řidičů, kteří čekají v koloně nebo využívají objížďky.

Jako zásadní se z hlediska ekonomicko-sociální analýzy jeví problematika regionálního a makroekonomického (celospolečenského) vlivu veřejných investic a jejich rekonstrukcí, kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Konkrétně se jedná o:

- vliv na životní prostředí vyplývající z dopravní obslužnosti investiční stavby (odvážka sutí, dovážka nového materiálu),
- spotřeba energie a prvotních surovin na výrobu mostních komponent a dalšího materiálu,
- opotřebením vozovek coby vedlejší negativní vliv (externalita) zvýšeného pohybu těžkých nákladních automobilů v okolí stavby a v příjezdových komunikacích,
- vliv na turistický ruch v turisticky exponovaných lokalitách, a to v krátkém či dlouhém období,
- existenci “společensky prospěšných protiplnění”, která jsou poskytována dotčeným obcím dodavatelem stavby. Tato protiplnění mohou být povinná (směřující

k odhlučnění, snížení světelnosti apod.), ale také dobrovolná směřující k snazšímu akceptování stavby jako takové v lokalitě obce.

Z hlediska teoretického je třeba uvažovat o tvorbě hodnotících postupů pouze v případě, že bude možné porovnávat dvě (substituční) varianty, které samy o sobě přinášejí užitek. V tomto případě je možné aplikovat metodu CBA (analýza nákladů a přínosů). Pokud není možné očekávat generování celospolečenského benefitu, pak se doporučuje srovnávat možnosti pouze na bázi nákladů (explicitních, implicitních) a aplikovat CMA (analýzu minimalizace nákladů).

1.2.1.1 VARIANTA A. ÚPLNÉ STRŽENÍ MOSTU A JEHO KOMPLETNÍ NOVÁ VÝSTAVBA

Předpokládá se, že při zavedení objízdne trasy bude do nákladů třeba zahrnout zejména náklady času, spotřeby pohonných hmot a náklady opotřebení objízdne trasy.

Náklady:

- čas řidiče a čas spolucestujících v osobní dopravě. Pro výpočet je uvažována průměrná hodnota počtu cestujících 1,8;
- u nákladní dopravy se vychází z předpokladu, že nákladním automobilem cestuje pouze 1 člověk, řidič;
- zavedení objízdne trasy je pro řidiče časově náročnější;
- vyšší spotřeba pohonných hmot, než u kyvadlového provozu;
- vyšší amortizace automobilu, než u kyvadlového provozu;
- zvýšená frekvence dopravy má vliv na opotřebení té části silnice, po které povede objízdne trasa;
- ztráty zisku vznikající třetím stranám (benzinky, obchody, restaurace).

Benefity:

- nižší opotřebení vozovky navazující na most (nájezd), případně celé silnice;
- růst zisku třetím stranám (benzinky, obchody, restaurace).

Souhrnné číselné hodnocení varianty A je uvedeno v Tab. 1.

1.2.1.2 VARIANTA B. REKONSTRUKCE MOSTU PŘI ZACHOVÁNÍ KYVADLOVÉHO PROVOZU

Předpokládá se, že při zachování kyvadlového provozu bude do nákladů třeba zahrnout především náklady na čekání na průjezd.

Náklady:

- čas řidiče a čas spolucestujících v osobní dopravě. Pro výpočet je uvažována průměrná hodnota počtu cestujících 1,8;
- u nákladní dopravy se vychází z předpokladu, že nákladním automobilem cestuje pouze 1 člověk, řidič;
- spotřebu pohonných hmot (benzín a nafta) z důvodu prostojů na místě (přibližně 0,022 litr/min u osobních automobilů);

Název nákladové/benefitové položky	Kvantifikace Q	Za jak dlouho	Jednotka	Výpočet v textu	Pilotní propočet (v Kč)
Opotřebení osobního auta	2651	548	/den	Q * délka objížďky v km * sazba opotřebení	82 457 976.48
Ztráta času cestujících v osobním autě v Kč	2651	548	/den	Q * průměrný počet lidí v osobním autě * průměrná hodinová mzda * délka objížďky pro vozidla pod 12 tun + autobus linky 174 vyjádřená v	141 365 922.97
Zvýšení spotřeby osobního auta (benzín) způsobná objížďkou	2651	548	/den	Q * průměrná spotřeba osobního (benzín) auta na objížďku * průměrná cena PHM u auta (benzín)	44 033 746.34
Zvýšení spotřeby osobního auta (diesel) způsobná objížďkou	2651	548	/den	Q * průměrná spotřeba osobního (diesel) auta na objížďku * průměrná cena PHM u auta (diesel)	30 390 711.81
Zvýšení spotřeby těžké nákladní autodopravy (diesel) způsobná objížďkou	526	548	/den	Q * průměrná spotřeba nákladního (diesel) auta na objížďku * průměrná cena PHM u auta (diesel)	87 263 046.53
Ztráta času řidiče v nákladním autě v Kč (ze abstrahovat)	526	548	/den	Q * průměrný počet lidí v nákladním autě * průměrná hodinová mzda * délka objížďky pro vozidla nad 12 tun vyjádřená v hodinách	33 391 925.54
Náklady na opravu svršku silnice vedené objížďky pro vozidla do 12 tun + autobus linky 174				Plocha objížďné trasy pro vozidla do 12 tun + autobusu linky 174 * cena za výměnu obrusné vrstvy vozovky (svršku)	49 665 000.00
Náklady na opravu svršku silnice vedené objížďky pro vozidla nad 12 tun				Plocha objížďné trasy pro vozidla nad 12 tun * cena za výměnu obrusné vrstvy vozovky (svršku)	231 875 000.00
Náklady spojené s vyšší emisí osobních automobilů	2651	548	/den	Q * délka objížďky v km * stínová cena emise skleníkových plynů (centrální odhad) * objem emise CO2 osobního automobilu	1 327 011.21
Náklady spojené s vyšší emisí nákladních automobilů	526	548	/den	Q * délka objížďky v km * stínová cena emise skleníkových plynů (centrální odhad) * objem emise CO2 nákladního automobilu	1 037 165.31
Externí náklady hluku (neprojede žádný osobní, ani nákladní automobil)	3349	548	/den	Externí náklady hluku v Kč/den na osobu (při hluku 60dB) * počet osob zasažených hlukem (60dB) / (Q * délka úseku (mostu))	640 094.44
Cena nového mostu					85 357 500.00
					788 805 100.62

Tab. 1 Hodnocení varianty A. úplné stržení mostu a jeho kompletní nová výstavba

- náklady na opravu části silnice – týkající se vozovky navazující na most (nájezd), tak případně celé silnice – poničení stávajícího povrchu z důvodu prostojů nebo stářích komunikace;
- ztráty zisku vznikající třetím stranám (benzinky, obchody, restaurace).

Benefity:

- nedojde k zavedení objížďky, která je časově náročnější. Dochází tak k poklesu spotřeby a ušetření času;
- v případě kyvadlové dopravy je amortizace automobilu menší, než kdyby byla zavedena objížďka;
- snížení frekvence nákladní dopravy, poněvadž osobní automobily jsou často schopny projíždět rekonstruovaným místem, i když kyvadlově, kdežto nákladní automobily (obecně těžší dopravní prostředky) musí použít objížďku;
- růst zisku třetím stranám (benzinky, obchody, restaurace).

Souhrnné číselné hodnocení varianty B je uvedeno v Tab. 2

1.2.1.3 POROVNÁNÍ VARIANT

Již z této ukázkové analýzy je zřejmé, že společenské náklady na výstavbu nové konstrukce jsou několikanásobně vyšší, než by odpovídalo pouhým srovnáním účetních nákladů staveb.

Problematika je obecně považována za velmi závažnou a prvotní výsledky pilotního nasazení výpočtu celospolečenských nákladů u rekonstrukce/výstavby nového mostu potvrzují její naléhavost.

Název nákladové/benefitové položky	Kvantifikace Q	Za jak dlouho	Jednotka	Výpočet v textu	Pilotní propoččet (v Kč)
Zvýšení spotřeby osobního auta (benzín) na neutral	2651	548	/den	Q * průměrná spotřeba osobního (benzín) auta na neutral na semaforu * průměrná cena PHM u auta (benzín)	1 510 230,65
Zvýšení spotřeby osobního auta (diesel) na neutral	2651	548	/den	Q * průměrná spotřeba osobního (diesel) auta na neutral na semaforu * průměrná cena PHM u auta (diesel)	529 760,78
Zvýšení spotřeby těžké nákladní autodopravy (diesel) na neutral	526	548	/den	Q * průměrná spotřeba nákladního (diesel) auta na neutral na semaforu * průměrná cena PHM u auta (diesel)	302 972,34
Ztráta času cestujících v osobním autě v Kč	2651	548	/den	Q * průměrný počet lidí v osobním autě * průměrná hodinová mzda * doba strávená na semaforu	12 621 957,41
Ztráta času řidiče nákladního auta v Kč (lze abstrahovat)	526	548	/den	Q * průměrný počet lidí v nákladním autě * průměrná hodinová mzda * doba strávená na semaforu	1 391 330,23
Externí náklady hluku	3349	548	/den	Externí náklady hluku v Kč/den na osobu (při hluku 60dB) * počet osob zasažených hlukem (60dB) / (Q * délka úseku (mostu))	721,25
Náklady spojené s vyšší emisí osobních automobilů	2651	548	/den	Q * celková délka trasy při kyvadlovém provozu * stínová cena emise skleníkových plynů * objem emise CO2 osobního automobilu + Q * objem emise CO2 osobního automobilu při čekání na semaforu * stínová cena emise skleníkových plynů	130 257,03
Náklady na opravu mostu				Plocha mostu v m2 * cena na m2 mostu	45 999 156,75

62 486 386.43

Tab. 2 Hodnocení varianty B. rekonstrukce mostu při zachování kyvadlového provozu

2. METODICKÝ POSTUP

Metodický postup je pro větší přehlednost a pro dosažení náležité jednoznačnosti znázorněn ve vývojových schématech. Vývojová schémata jsou sestavena jak na základě ustálené dobré praxe, tak na dílčích výsledcích řešeného grantového projektu. Postup prováděný podle následujících schémat povede ke stanovení zbytkové únosnosti předpjatých mostů nejen v případech, kdy předpínací výztuž nevykazuje žádné příznaky poškození a tomu odpovídající přetvárné vlastnosti konstrukce korespondují s odpovídajícími teoretickými předpoklady (vzepětí, průhyb, nepřítomnost trhlin, nerozevírání spár), ale také v těch případech, kdy budou nalezena dílčí poškození. I v těchto případech je předpokládáno omezení rizika selhání předpjaté konstrukce na technicky přijatelnou míru.

1. Vývojové schéma pro konstrukce bez jakýchkoliv znaků poškození předpínací výztuže (PV).

Jde o postup, který se uplatní u těch předpjatých konstrukcí, o kterých lze konstatovat, že jsou prakticky v bezvadném stavu. V případě plného předpětí, což je nejčastější stav konstrukcí z plně předpjatých tyčových prefabrikátů, jsou přítomny znaky plného předpětí. Konstrukce má při působení vlastní tíhy vzepětí, je bez trhlin nejen v dílcích prefabrikátů, ale i v příčných stycích dílců. Po provedení semi-destruktivního testování na základě rozvržení jednotlivých sond podle této metodiky je zastižena plná injektáž kabelů a předpínací dráty kabelů jsou bez koroze. V těchto případech se při vlastním výpočtu zbytkové únosnosti postupuje obvyklými statickými postupy. Vychází se z geometrie konstrukce, diagnostiky betonu vč. chemického rozboru, diagnostiky předpínací výztuže doplněné zpravidla uspořádáním kabelů uvedeným v typových podkladech včetně v nich uvedených kotevních napětí nebo sil. Kotevní napětí lze případně použít podle normových podkladů platných v době návrhu konstrukce.

2. V případě předpětí částečného (mohou se vyskytovat tahy vlivem působení proměnného zatížení, někdy i vlivem vlastní tíhy, ale tahy, které nepřekračují pevnost betonu v tahu) nelze zpravidla zaznamenat trvalé vzepětí konstrukce vlivem působení předpětí. Je ovšem nutné kontrolovat přítomnost trhlin (resp. skutečnost, že konstrukce není trhlinami zasažena). Pokud konstrukce nebude trhlinami zasažena, postupuje se dále shodně s bodem 1.

3. Vývojové schéma konstrukce bez plné injektáže předpínacích kabelů.

Při zjištění, že předpínací kabely nejsou plně zainjektovány (kanálky vyplněny částečně nebo vůbec injektážní maltou), je další rozhodující skutečností případná koroze předpínací výztuže. Nezainjektované nebo částečně zainjektované předpínací kabely bez koroze předpínací výztuže nevedou samy o sobě ke snížení zbytkové únosnosti předpjaté konstrukce, ale tato skutečnost může mít vliv na další životnost mostu. Ta může být snížena případným zatékáním do nosné konstrukce a k předpínací výztuži v budoucnu, i když aktuálně při provádění SDT není zatékání patrné.

Nezainjektované nebo částečně zainjektované předpínací kabely se zaznamenanou korozí předpínací výztuže již vedou ke snížení zbytkové únosnosti předpjaté konstrukce. Při výpočtu zbytkové únosnosti se postupuje v závislosti na tom,



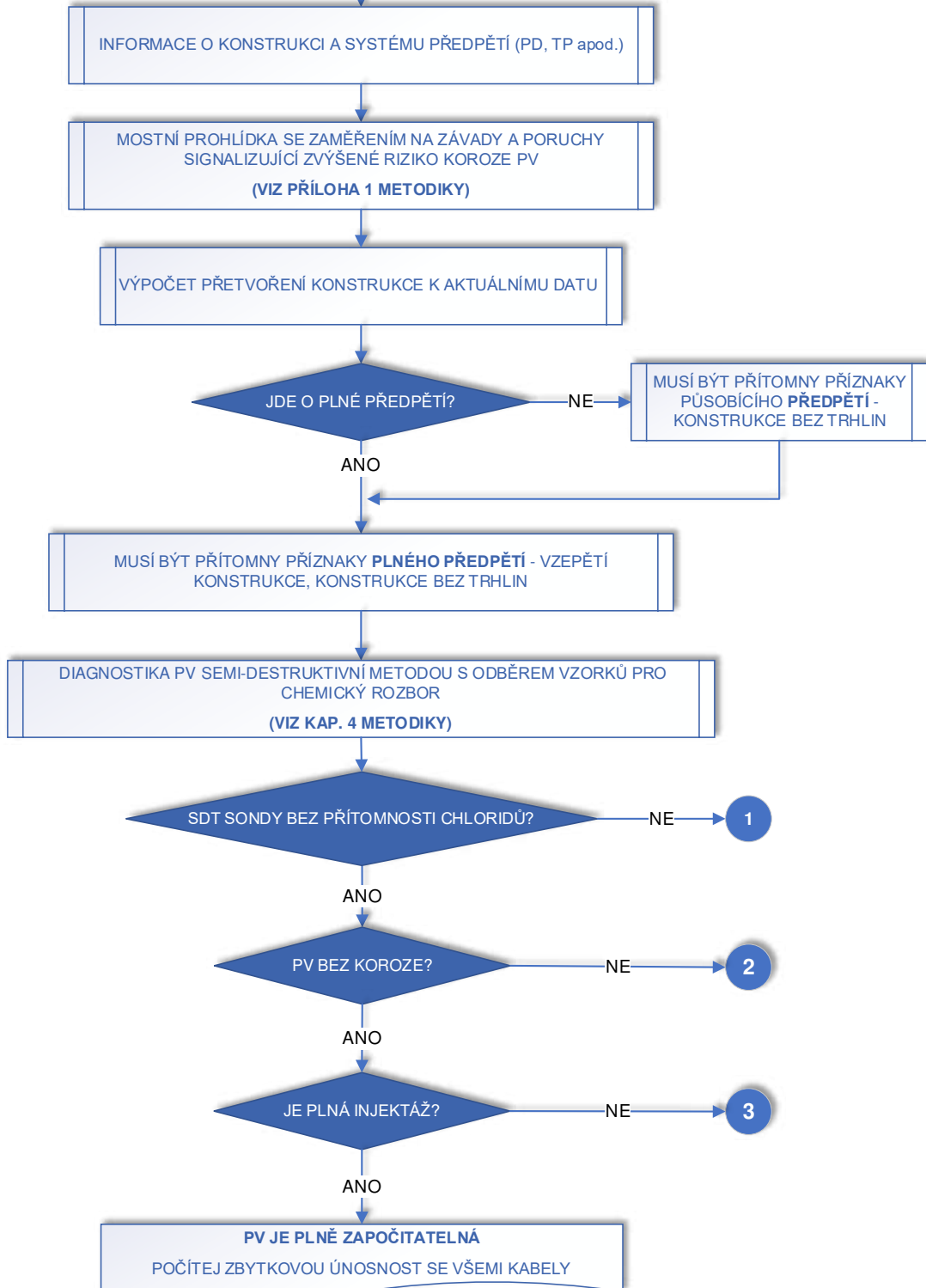
keré části korozí zasažených kabelů je nutné vyloučit ze spolehlivého započítání do působení předpětí. V konkrétních případech se postupuje tak, že se SDT diagnostika přiměřeně zjemní. Při zastižení plné injektáže v přímých částech kabelů přibližně kolem středů polí lze potom podle kapitoly 5 vyřadit takové kabely zpravidla v částech od kotev až po zaznamenaná místa s plnou injektáží zvětšenou o kotevní délku s návrhovou hodnotou. V dalších částech nosníků (předpjaté konstrukce) s takovým kabelem potom lze staticky uvažovat.

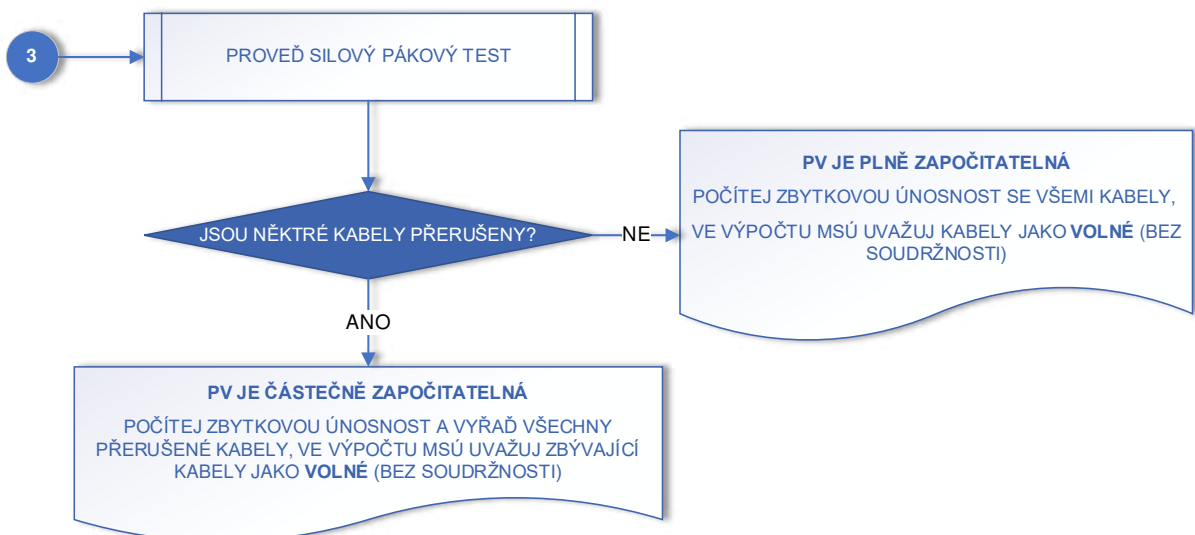
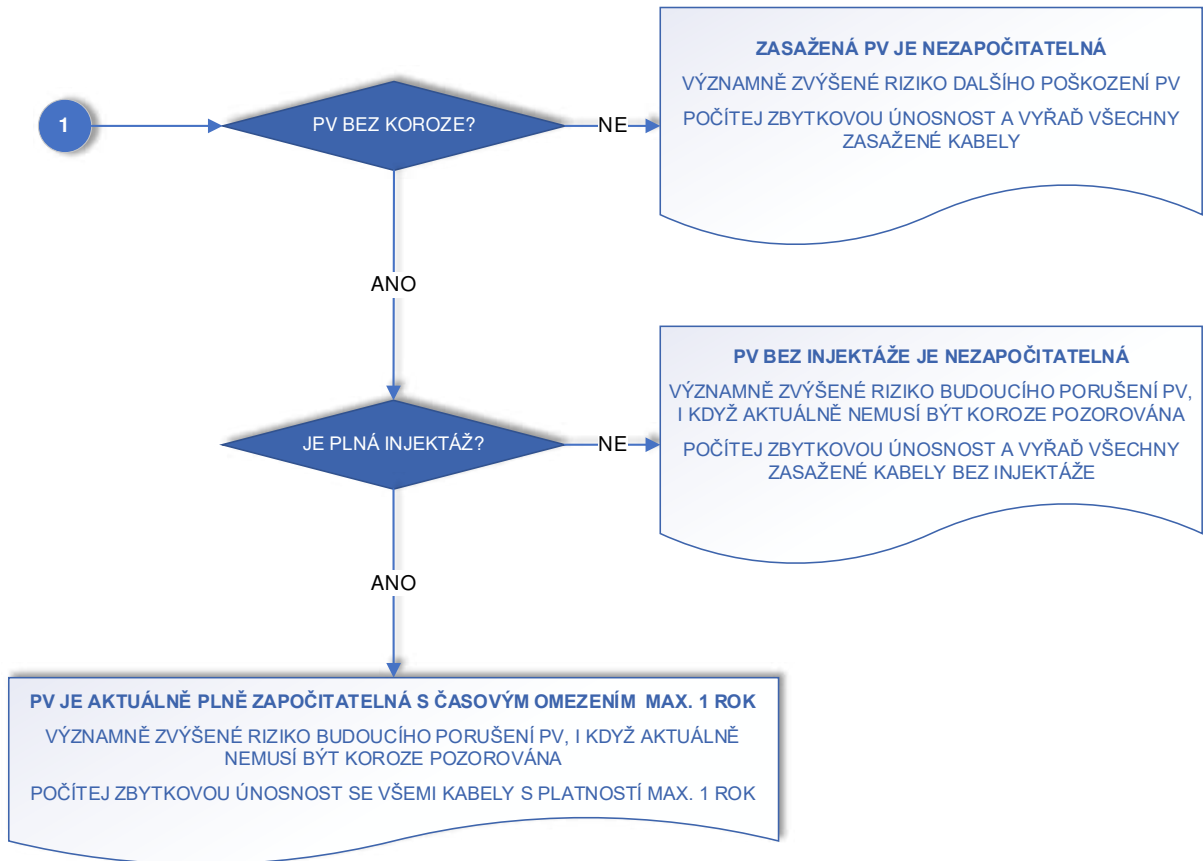
Pokud plnou injektáž není možné zastihnou ani v přímých částech kabelů přibližně kolem středů polí, je nutné vyřadit takové kabely podle míry napadení korozí po celé své délce.

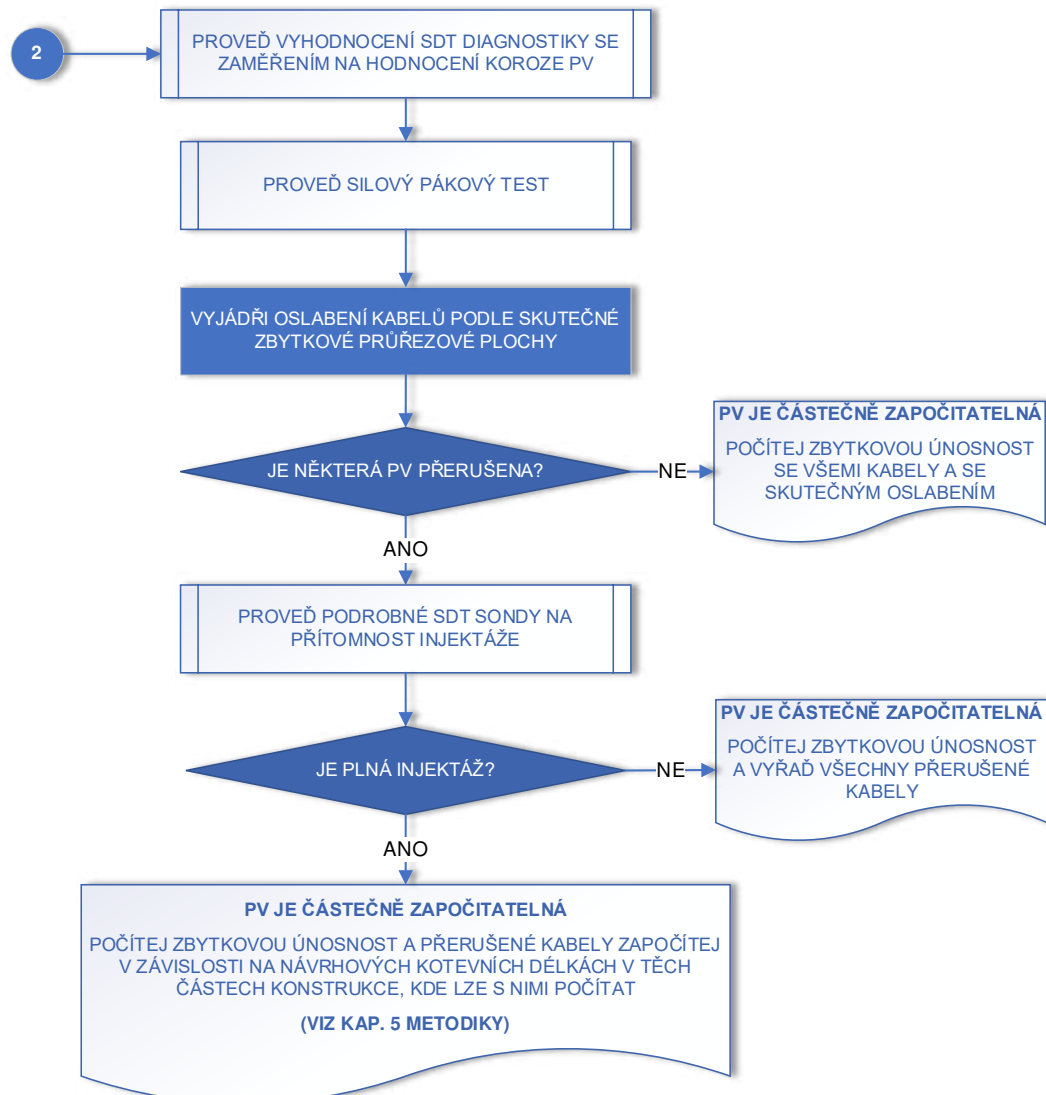
4. Vývojové schéma konstrukce s vlivem zastižených chloridů.

Při zjištění, že předpínací kabely jsou kontaminovány chloridy, je nutné zohlednit zvýšené riziko vrubového oslabení předpínacích kabelů lokální korozí způsobenou chloridy. Při vrubovém oslabení způsobeném chloridy dochází k přetržení předpínacích kabelů pouhým působením napínacího napětí, často bez vlivu přírůstků napětí v předpínací výztuži proměnným zatížením.

Zastižení chloridů potom vede na časové omezení zbytkové únosnosti předpjatých mostů 1 rok i v těch případech, kdy jsou plně nebo částečně zainjektovány. Toto je konzervativní přístup, který bere v úvahu nemožnost predikovat rychlost nerovnoměrné koroze předpínací výztuže působením chloridů a který se opírá o zkušenost, že při větším množství vzájemně překrývajících se předpínacích kabelů, a navíc při jejich překryvu s betonářskou výztuží, nevedou ojedinělá selhání kabelů k vážné poruše konstrukce v kratších časových úsecích.

VÝVOJOVÝ DIAGRAM METODIKY
PRO POSOUZENÍ ZBYTKOVÉ ÚNOSNOSTI PŘEDPJATÝCH MOSTŮ





3. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM PŘEDPJATÝCH MOSTŮ

Pokud je na základě provedené vizuální prohlídky (běžné, mimořádné, hlavní) či investičního záměru předepsáno provedení podrobného diagnostického průzkumu mostu, je hlavním cílem diagnostiky u předpjatých mostů zpravidla stanovení stavu předpínací výztuže stávající konstrukce se zaměřením na její korozní stav. Toto diagnostické zjištění je u předpjatých prvků zcela rozhodující pro rozhodnutí o jejich další provozuschopnosti.

Koroze je nežádoucí fyzikálně-chemická interakce kovového materiálu a prostředí, která vede ke změnám vlastností kovu a může vyvolat významné zhoršení funkce kovu, prostředí nebo technického systému, jehož složkami jsou kov a prostředí. Projevem koroze je jakákoliv změna složky korozního systému způsobená korozí, která způsobuje korozní poškození, které může vést až ke koroznímu selhání, tedy k úplné ztrátě funkce technického systému [4].

Terminologická norma EN ISO 8044 [4] uvádí 35 druhů koroze, ale českých termínů, které lze obecně pokládat za různé formy nebo druhy koroze je více než 100. Z technického pohledu a z pohledu významnosti korozních projevů se používá 9 základních druhů:

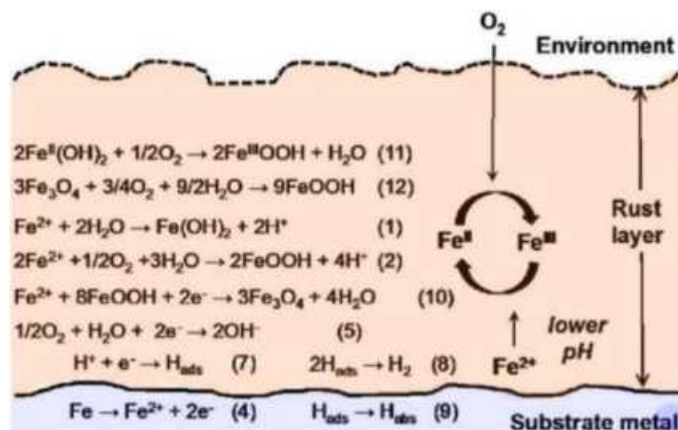
1. koroze plošná, celková („rovnoměrná“) – probíhající na celém povrchu kovu, který je vystaven koroznímu prostředí, téměř konstantní rychlostí;
2. koroze působením makročlánků – probíhá na styku dvou rozdílných kovů a projevuje se intenzifikací koroze jednoho z nich (zvýšení korozní rychlosti méně ušlechtilého kovu);
3. koroze štěrbinová – probíhá podél nebo v bezprostředním okolí úzkých štěrbin nebo mezer mezi povrchem kovu a jiným povrchem;
4. koroze bodová („místní“) – lokální koroze, jejímž výsledkem jsou důlky, tj. dutiny v kovu počínající na jejím povrchu;
5. koroze mezikystalová – probíhá na hranicích jednotlivých zrn kovu nebo v oblasti, která k nim přiléhá;
6. koroze selektivní – koroze slitiny, při které složky slitiny korodují v poměrech odlišných od jejich poměrů ve slitině;
7. prostředím vyvolané korozní praskání (korozní únava) – proces zahrnující společné působení koroze a střídavého mechanického namáhání kovu, který často vede k praskání;
8. erozní koroze – proces zahrnující společné působení koroze a eroze např. v potrubí s vysokou rychlostí proudění kapaliny;
9. poškození vodíkem – proces, který způsobuje snížení houževnatosti nebo tvárnosti kovu v důsledku absorpce vodíku.

Během koroze v systému vznikají tzv. korozní zplodiny (korozní produkty), které jsou přímým důsledkem koroze. Při korozi kovu dochází k přeměně kovové mřížky na korozní produkty, ve kterých už kov nemá „kovový charakter“. Nejběžnějším viditelným korozním produktem oceli je rez (FeOOH), která se skládá převážně z hydratovaných oxidů železa a vzniká až následnou chemickou oxidací (vzdušným kyslíkem) [5].

Korozní produkty uhlíkové oceli [5]:

- FeO (wustit) – černý, nestabilní pod 560 °C, součást okuje;
- Fe₃O₄ (magnetit) – černý, metastabilní, v anaerobním prostředí nebo pod vrstvou korozních produktů Fe³⁺;
- γ-FeOOH (lepidokrokit) – oranžový, metastabilní, vzniká dočasně v trvale vlhkém prostředí;
- α-FeOOH (goethit) – červenohnědý, velmi stabilní, konečný produkt;
- β-FeOOH (akagenit) – hnědý, stabilní, vzniká s prostředím s vysokým obsahem chloridů;
- γ-Fe₂O₃ (maghemit) – hnědý, metastabilní;
- γ-Fe₂O₃ (hematit) – červenohnědý, velmi stabilní, konečný produkt.
- další produkty – FeCO₃ (siderit), Fe₂(OH)₂X (zelená rez „green rust“, kde X = CO₃²⁻, SO₄²⁻, Cl), Fe₃Si₂O₅(OH)₄ (greenalit), Fe₄MgAl(AlSi₃O₁₀)(OH)₈ (chamosit)

Výztuž, která je uložena v betonu je pasivní (probíhá rovnoměrná korozní rychlostí menší než 0,1 μm/rok), neboť zásoba volného hydroxidu vápenatého vytváří po průniku vody a vzdušné vlhkosti do betonu roztok, který má hodnotu pH 12,5 až 13,5 a tato alkalita zaručuje samovolnou pasivaci oceli a velmi malou korozní rychlost. Korozní agresivita roztoku v betonu je především daná přístupem kyslíku, oxidu uhličitého a chloridů, které pronikají do struktury betonu z okolního prostředí. Pronikáním oxidu uhličitého z atmosféry také dochází k reakci s volným hydroxidem vápenatým a jeho přeměně na uhličitán vápenatý. Tento děj se nazývá karbonatace betonu a je spojen s poklesem hodnoty pH betonu a tím pádem vede ke ztrátě pasivační schopnosti betonu [5].



Obr. 12 Korozní proces na povrchu oceli [5]

Pokud karbonatace dorazí přes krycí vrstvu betonu až k výztuži, dochází k tzv. aktivaci oceli a významnému zvýšení korozní rychlosti. Uhlíková ocel, je-li aktivována, koroduje ve všech vodných prostředích rovnoměrně. V aktivním stavu je korozní rychlost více než 10 μm/rok. V případě přítomnosti chloridů může být aktivace oceli i lokální. Důsledkem korozního napadení předpínací výztuže je vznik objemných korozních produktů bez ochranné funkce, neboť vrstva korozních produktů není kompaktní. O rychlosti korozí rozhoduje

především přístup kyslíku z atmosféry, poměr objemu elektrolytu (vodné prostředí) a povrchu kovu a doba, po kterou je povrch kovu v kontaktu s elektrolytem [5].

Níže jsou uvedeny diagnostické metody, které dle provedené rešerše lze využít za účelem diagnostiky stavu předpínací výztuže. Ovšem je nutné podotknout, že řada z uvedených metod je stále ve stádiu prováděných laboratorních experimentů a jen malá skupina metod je aktuálně spolehlivě využívána v reálné praxi provádění diagnostických průzkumů. A ani laboratorní uspokojivé výsledky nemusí znamenat budoucí nasazení metody do praxe, neboť reálné podmínky skutečných mostních konstrukcí mohou znamenat taková omezení, kvůli kterým nebude možné metodu aplikovat.

Základní rozdělení diagnostických přístupů dle velikosti zásahu do integrity konstrukce je na metody:

- I. destruktivní (DT – z anglického *destructive testing*);
- II. semi-destruktivní (SDT – z anglického *semi-destructive testing*);
- III. nedestruktivní (NDT – z anglického *non-destructive testing*).

Níže je uveden přehled metod, které jsou dále popsány:

I. Destruktivní metody (DT)

- A. Kopané/řezané sondy

II. Semi-destruktivní metody (SDT)

- A. Metoda semi-destruktivního sondování

III. Nedestruktivní metody (NDT)

- A. Georadar (PR)
- B. Infračervená termografie (IRT)
- C. Magnetoelektrické metody
- D. Elektrické metody – poločlávková metoda (HP)
- E. Ultrazvuková pulzní metoda (US)
- F. Ultrazvuková tomografie (UST)
- G. Ultrazvukové pulse echo metody (PE)
- H. Rezonanční metody
- I. Akustická emise (AE)
- J. Radiační defektoskopie (XR)
- K. Akustická trasovací metoda

3.1 Destruktivní metody

Výsledky získané destruktivními metodami (DT) poskytují nejlepší výsledky pro potřeby posouzení míry korze předpínací výztuže, ale v praxi nejsou na reálných konstrukcích použitelné, protože jejich použitím na konstrukci vznikají nevratné zásahy do nosné konstrukce, které negativně ovlivňují přerozdělení napětí v předpjatém průřezu. Takovým

zásahem do konstrukce může být narušena stabilita konstrukce anebo výrazně snížena schopnost konstrukce odolávat normovým zatížením. Proto je jejich uplatnění při reálných diagnostických průzkumech existujících konstrukcí pro zjištění stavu předpínací výztuže prakticky vyloučené.

3.1.1 Kopané/řezané sondy

Mezi destruktivní diagnostické metody se řadí metoda kopaných nebo řezaných sond do nosné předpjaté konstrukce. Po nastudování dostupné projektové dokumentace anebo po lokalizaci předpínací výztuže pomocí lokátorů, je na konstrukci vybráno místo pro provedení sondy. Destruktivní sonda má obvykle v půdorysu obdélníkový tvar s rozměry stran v řádech stovek milimetrů (např. 200x400 mm). Celý půdorysný tvar sondy je následně vysekán až na úroveň předpínací výztuže, která je tak odhalena. Nezřídka je během provádění destruktivní sondy nutné i přeřezání betonářské výztuže, která brání v provádění sondy v celém půdorysném průmětu. Během realizace sond bývá nasazena středně těžká staveništní ruční technika – bourací a sekací kladiva, diamantové vrtací a řezací systémy, frézy apod.

Nepřípustného použití destruktivní metody v případě předpjatých konstrukcí lze ilustrovat na příkladu diagnostického průzkumu předpjaté lávky z velmi subtilních prefabrikovaných segmentů výšky cca 300 mm, které je uvedeno na Obr. 13 [6].

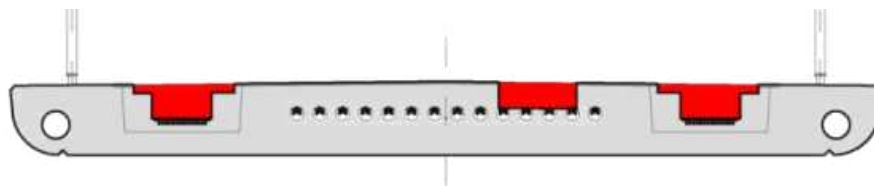


Obr. 13 Celkový pohled na destruktivní sondy k předpínací výztuži [6]



Obr. 14 Detail DT sondy [6]

Použitím DT metody pro průzkum předpínací výztuže segmentové lávky může dojít k výraznému oslabení tlačeneho profilu lávky v řádech desítek procent – viz Obr. 14.



Obr. 15 Oslabení profilu lávky po provedené DT sondáži [6] o 11 %

Jak již bylo výše uvedeno, ačkoliv z pohledu informace o stavu předpínací výztuži je metoda DT velmi robustní, v žádném případě nelze DT metody reálně aplikovat na předpjatých konstrukcích, které mají i po provedeném průzkumu zůstat v plném v provozu bez omezení zatížitelnosti, neboť představují příliš velký zásah do integrity konstrukce. Stoupá koncentrace napětí ve zbytkových částech konstrukce, a to je hlavní důvod pro nepřijatelnost použití DT metody. Jediné uplatnění těchto sond v případě předpjatých konstrukcí je tedy v rámci tzv. patologických průzkumů – průzkumů konstrukcí před demolicí, které se provádí za účelem vyhodnocení skutečného celkového stavu mostu, k vědeckým účelům pro kalibraci vyvíjených metod či pro porovnání výsledků z předchozích průzkumů, které rozhodly o demolicí.

3.2 Semi-destruktivní metody

Během provádění semi-destruktivních (SDT) diagnostických metod dochází k řádově menším zásahům do konstrukce oproti metodám destruktivním, a přitom výsledky získané ze SD metod jsou pro vyhodnocení stavu předpínací výztuže téměř srovnatelné. Z konstrukce se extrahují malé vzorky z nosných prvků konstrukce takovým způsobem, že jejich velikost (a tím

ovlivnění konstrukce) je vzhledem k velikosti celé nosné konstrukce prakticky zanedbatelná, na úrovni nižších jednotek procent v daném zkušebním řezu [7].

Hlavním omezením SDT metod je nutnost provedení relativně velkého počtu sond k předpínací výztuži tak, aby získané výsledky co nejlépe vystihovaly skutečný stav výztuže.

3.2.1 Metoda semi-destruktivního sondování

Semidestruktivní metoda diagnostiky předpínacích kabelů spočívá v selektivním provedení sondážních otvorů o průměru cca 40 mm (Obr. 16) ze spodního/horního povrchu konstrukce k předpínací výztuži. V takto zhotovených sondách je možné posuzovat stav kabelu vizuálně a také mechanicky. Vizuální pozorování se zaměřuje na popis korozního stavu výztuže, stav injektáže a také se pozoruje rovnoběžnost jednotlivých drátů kabelu, přičemž i malá odchylka od rovnoběžnosti (desetiny až jednotky úhlových stupňů) signalizuje stav bez mechanického napětí v drátech [8].

Mechanické posuzování výztuže v SDT sondě spočívá v tzv. silovém pákovém testu, kdy dochází k páčení jednotlivých drátů nezainjektovaného kabelu od sebe (kalený úzký nástroj, např. šroubovák š. 5 až 7 mm). Takto lze spolehlivě odlišit stav nenapnutého kabelu (a tedy přerušeno kabelu) od napnutého kabelu. Dráty nenapnutého kabelu lze relativně malou silou (ručně bez použití prodlužovací páky) oddělit od sebe za snadného vniku bříty šroubováku do hloubky běžně i 10 mm, dráty napnutého kabelu prakticky nelze oddělit od sebe, vnik bříty je možný do hloubky max. 1 až 2 mm, nebo není možné vůbec vniknout mezi jednotlivé předpínací dráty kabelu [8].



Obr. 16 Pohled na provedené semidestruktivní sondy k předpínací výztuži před zapravením

Ve vyhledávací diagnostice se provádí semidestruktivní testování především v oblastech zamáčení, v oblastech styků jednotlivých dílců nebo v jiných podobných místech, kde lze očekávat zvýšení rizika poškození kabelů korozí. Počet samotných sond bývá omezen v závislosti na kapacitách prováděcí diagnostické skupiny. Pokud nelze vybrat žádná taková místa, jež by svým vzhledem naznačovala zvýšení rizika, určí se místa obvykle náhodně po

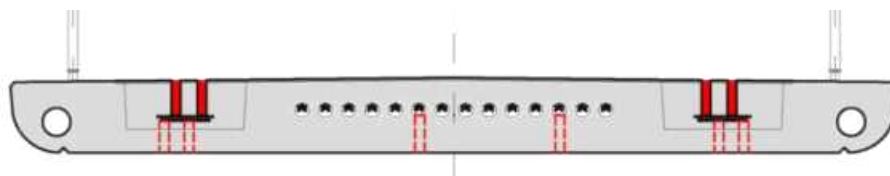
ploše konstrukce s přihlédnutím ke statickému působení [8]. Pokročilá metodika rozmístění SDT sond na nosné konstrukci se zohledněním míry rizika koroze je uvedena dále v kap. 4.



Obr. 17 Detail sondy S4 (viz. Obr. 16). Viditelná kompaktní injektáž a předpínací drát bez koroze.

Obecně lze konstatovat, že semidestruktivní metoda představuje spolehlivý a účinný nástroj běžné inženýrské mostní praxe pro vyhledávání a hodnocení rizika koroze předpínacích kabelů. V protokolu o sondě lze zaznamenat údaje o korozním stavu PV (bez koroze, povrchová koroze, hloubková koroze), stavu injektáže (plná injektáž, mezerovitá injektáž, bez injektáže – kaverna) a také o vlhkostních poměrech v okolí PV (suchá nebo vlhká injektáž, vodní nálev). Současně lze během vrtání odebírat vzorky betonu pro chemický rozbor v laboratoři pro vyhodnocení pH a zjištění přítomnosti chloridů. Získané údaje mohou být upřesňovány zvýšením počtu provedených sondážních prací a tím může být robustnost metody dále zvyšována. Je nepochybně jakýmsi etalonem výpovědní schopnosti a spolehlivosti i pro další vyvíjené metody. Nevýhodou této metody je její velká časová náročnost, pracnost a nemožnost diagnostikovat stav PV uložených ve více vrstvách nad sebou [8].

V porovnání s DT sondovací metodou (viz kap. 3.1.1 a Obr. 14) dochází během SDT sondáže k řádově nižšímu zásahu do integrity konstrukce. Na příkladu segmentové předpjeté lávky, stejné jako na Obr. 15, dochází v jednom profilu k oslabení o 2 % oproti 11 % při použití DT metody sondování.



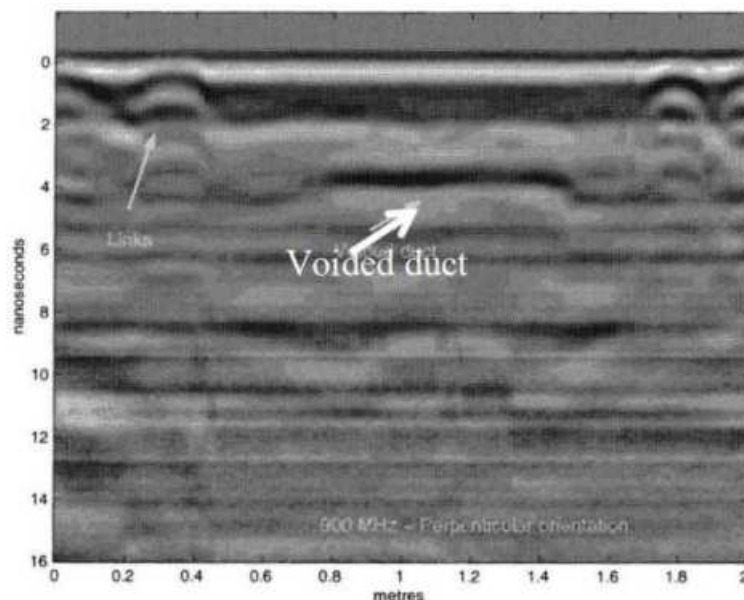
Obr. 18 Oslabení profilu předpjeté lávky po provedené SDT sondáži o 2 %

3.3 Nedestruktivní metody

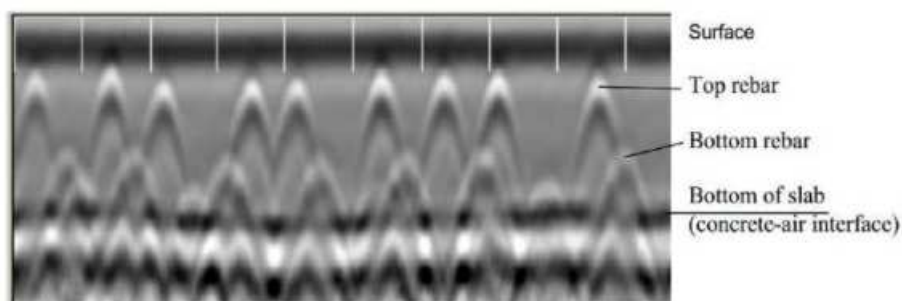
Použití nedestruktivních metod zaručuje, že žádným způsobem nedojde k narušení integrity zkoumané konstrukce [7]. Riziko nedestruktivních metod (NDT) spočívá hlavně v tom, že aktuálně neposkytují dostatečně spolehlivé údaje o aktuálním stavu předpínací výztuže, o něž by mohli zodpovědné osoby opřít své expertní vyjádření o spolehlivosti konstrukce.

3.3.1 Georadar (GPR)

Jedná se o moderní průzkumnou metodu podloží, která byla prvně využita v roce 1975. Georadar neboli „Ground-penetrating radar“ (ang. překl., dále GPR) využívá radarového principu vyslaných vln o frekvenci od 10 MHz do 2,6 GHz a sledováním jejich odrazů od rozhraní a struktur různých materiálů. Tímto způsobem lze pořizovat liniové tzv. B-skeny, které vytvoří 2D řez danou konstrukcí. Pokud se skeny pořídí ve formě na sebe kolmých podélných a příčných B-skenů lze rekonstruovat přibližný 3D sken dané struktury [9].



Obr. 19 Ukázka výstupu z georadaru – identifikace prázdné kabelového kanálku [10]



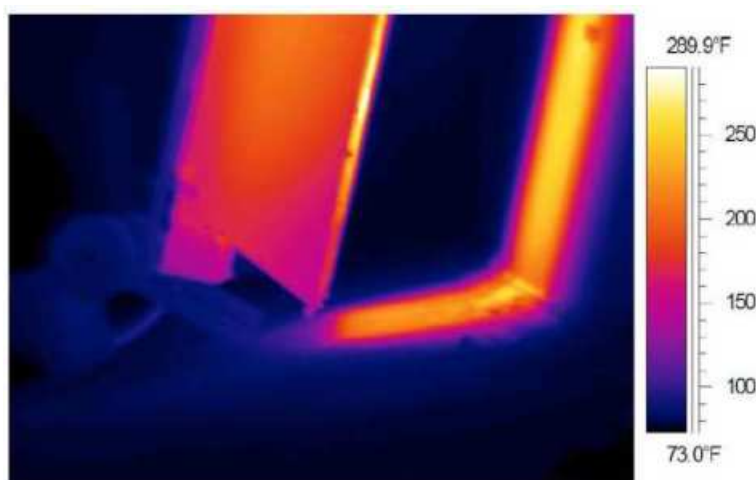
Obr. 20 Výstup z GPR radaru – rozlišení jednotlivých vrstev [11]

Každé médium a rozhraní různých médií a jejich následná lokalizace je závislá na vodivosti, permitivitě, obsahu vody, vzduchových mezer a objemové hmotnosti daných materiálů. Hlavními parametry pro optimalizaci GPR měření jsou použitá frekvence antén,

rychlost měření (rychlost pojezdu antény po měřeném povrchu), počet použitých antén a software pro interpretaci naměřených dat. Úspěšnost přesné lokalizace defektů pak závisí na heterogenitě skenovaného materiálu, vodivosti, vnitřní impedanci a nastavené frekvenci antény. V praxi lze tedy georadar úspěšně použít pro lokalizaci rozhraní konstrukčních vrstev, vzduchových kaveren, ocelových prvků apod., avšak jeho použití pro stanovení míry degradace výztuže, předpínacích lan či přítomnost korozních procesů je podstatně obtížnější úkol. Jak však uvádí zahraniční studie, míra koroze zabudované výztuže lze rozpoznat pomocí georadaru v průběžném sledování kontrolovaného úseku v čase [12], nicméně je potřeba zmínit že se jedná o laboratorní experiment a využití georadaru v praxi k tomuto úkolu je ojedinělé. Navíc tento přístup nelze použít v situaci, kdy potřebujeme zjistit aktuální stav konstrukce bez provedení předchozího průběžného monitorování pomocí GPR.

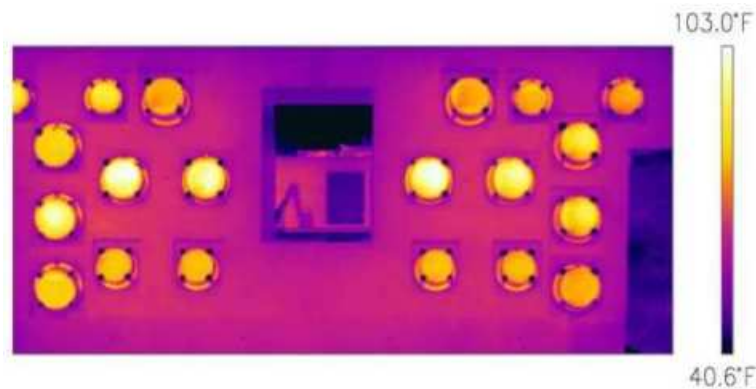
3.3.2 Infračervená termografie (IRT)

Tato metoda je založena na vytvoření tepelné vlny v konstrukci a následným snímáním pomocí termografické kamery. Prostup tepelné vlny a zachování jejího homogenního rozložení na straně pozorovatele je závislá na tepelné kapacitě a součiniteli tepelné vodivosti jednotlivých prvků uvnitř struktury. Vzduchové dutiny slouží jako tepelný izolant, a tedy redukuje prostupující teplo. Naopak místa, která dosahují vyšší vodivosti uspořádají rychlost prostupu tepla danou konstrukcí. Tato metoda se běžně používá například v průběžném testování kompozitů na přítomnost delaminace, v posledních letech však přibývá studií popisující aplikaci této metody v oblasti lokalizaci kaveren v betonu.



Obr. 21 Ukázka výstupu metody IRT – segmentový komorový nosník [13]

IRT metoda závisí na možnosti regulace vytvoření tepelné vlny v konstrukci. Pokud testujeme prvek a jsme schopni jej homogenně nahřát z jedné strany, pak existuje šance, že budeme schopni rozeznat vnitřní strukturu z termografického snímání. Pokud však jako zdroj tepelné vlny využíváme např. pohyblivé slunce s proměnlivým osvětlením díky oblačnosti, nelze vzniklé snímání považovat za jednoznačné. Nicméně pro analýzu přítomnosti dutin a kaveren může tato metoda poskytovat počáteční filtr pro zúžení výběru sondážních míst SDT metody.



Obr. 22 Ukázka výstupu metody IRT – kotevní oblast [14]

3.3.3 Magnetoelektrické metody

Nedestruktivní magnetoelektrické metody nachází hlavní uplatnění v rámci průmyslu hlavně ve strojírenských oborech, kde hrají nezastupitelnou roli od výroby, testování až po diagnostiku. Proto existuje celá řada velice pokročilých a hojně využívaných elektromagnetických metod, které ve stavitelství zastupují spíše výzkumnou roli. V rámci stavitelství jsou metody založeny na vztahu mezi mechanickým napětím v kovovém prvku a změnou elektromagnetických charakteristik. Díky správně zvolené metodě lze lokalizovat různé typy poškození od vzniku povrchových prasklin, přes nahromaděné napětí až po lokalizaci probíhající hloubkové koroze ocelových prvků.

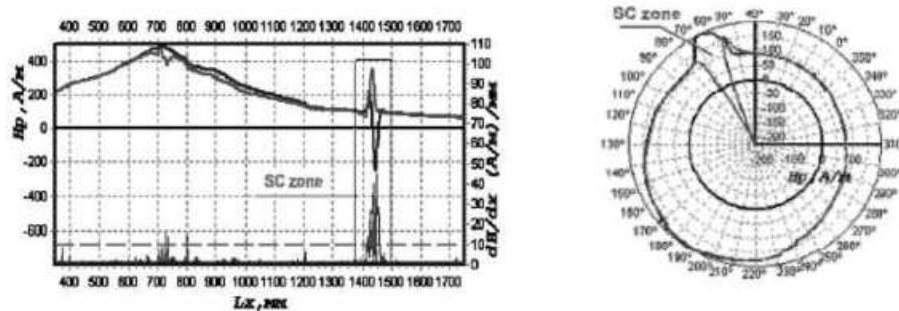
V oblasti ocelových lan ať už závěsných systémů, či předpínacích jednotek zabudovaných v mostním tělese se nejčastěji uplatňují magneto-elastické metody, které se zaměřují na změnu v magnetickém poli feromagnetického prvku, který je vystaven změně mechanického napětí. Pro úspěšnou a přesnou aplikaci této metody je potřeba soustavu cívek nasunout na posuzovaný tyčový prvek (samostatný drát, svazek) a je potřeba stanovit stav při nulovém napětí. Poté je možné vytvořit přepočtení vztah s přesností od 10 do 1 MPa v závislosti na typu výztuže, kalibraci a okrajových podmínkách.

Metoda elektrické kapacity vyžaduje obepnutí předpínacího lana měřicí aparaturou a poté je schopná vytvořit za současného pojezdu 3D sken kde zobrazuje rozložení dielektrika v měřeném průřezu. Tímto způsobem lze kontrolovat předpínací kanálek na přítomnost vzduchových kaveren či lokalizaci korozního procesu. Metoda elektrické kapacity se často využívá pro kontrolu lan visutých a zavěšených mostů velkých rozponů (převážně USA, Čína, Německo apod.), avšak její použití na přepínací lana v konstrukci mostu je limitována přístupností kanálků [14].

Metoda vířivých proudů (ET) je založená na magnetizaci daného prvku a následného měření změny magnetického pole. Zatímco celistvé prvky bez prasklin nevykazují změnu v magnetickém poli, rozhraní prasklin, přerušovaných prvků nebo místo s aktivní korozi umožní vznik mnoha magnetických dipólů, které lze detekovat a s jistou neurčitostí lze rozpoznat míru poškození. Tato metoda je nicméně též závislá na obejmutí předpínacího prvku měřicí aparaturou [9].

Metoda magnetické paměti kovu (MMM) je relativně nová NDT metoda, která našla širší uplatnění v lokalizaci koncentrace mechanického napětí ocelových trubek ropovodů

a plynovodů mezi Ruskem a Čínou. Metoda MMM je založená na měření vzniku přirozených magnetických dipolů v místě kovové struktury, která prodělala stav zvýšeného mechanického napětí. Studiemi bylo zjištěno, že toto přirozené lokální zmagnetizování může přetrvávat v čase a lze jej lokalizovat. V posledních letech je experimentálně využívána i na lokalizaci ztráty předpětí v předpínacích lanecích na vybraných konstrukcích v ČR. Tato metoda má výhodu, že ji lze použít i na povrchu betonového krytí kanálku a není potřeba vytvářet sondážní místo, nicméně tato aplikace je pouze na úrovni výzkumu a v praxi není využívána [15].



Obr. 23 Ukázka výstupu MMM metody z diagnostiky potrubí [15]

Elasto-magnetická metoda (EM) byla původně vynalezena pro stanovení aktuálního napětí v předpínacím kabelu a má potenciál i pro identifikaci změn/ztrát předpětí např. z důvodu probíhající koroze předpínacích drátů [16]. Metoda využívá vlastnosti magnetické permeability, která je u kovových materiálů citlivá na změny napětí. Laboratorní měření napětí pomocí EM senzorů vykazuje velmi dobrou shodu s měřením ze siloměrů.

EM senzory v podobě dutých válců lze instalovat např. na volné předpínací kabely anebo na mostní závěsy. Přestože se senzor EM poměrně snadno instaluje v laboratorních podmínkách nebo na přístupných místech volných kabelů, je tato metoda pro určení stávajícího stavu existujících předpínacích výztuží zabudovaných uvnitř průřezů prakticky nepoužitelná. Dalším omezením této metody je nutnost kalibrace křivky magnetické permeability na vzorku konkrétní kovové výztuže se stejným chemickým složením, jako má zkoumaná výztuž, což opět není pro použití na existujících konstrukcích, které jsou desítky let v provozu, reálné.

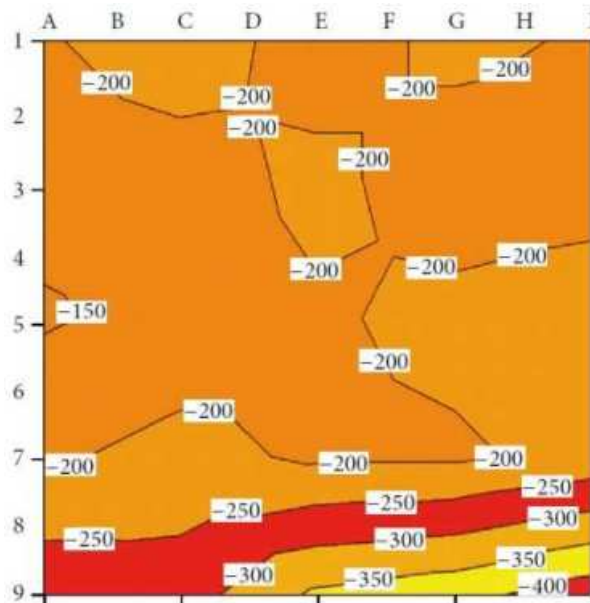


Obr. 24 Ukázka typického použití EM metody [14]

3.3.4 Elektrické metody – poločláneková metoda (HP)

Kvalitativní a kvantitativní posouzení přítomnosti korozního procesu na předpínacím laně/drátu je napříč všemi metodami velice komplikovaný úkol. Díky hustotě betonářské výztuže obklopující předpínací kanálky v monolitických nebo prefabrikovaných prvcích, je často velice obtížně rozlišit jednotlivými metodami, zda se jedná o korozi předpínací výztuže či okolních výztužných prvků. Pokud se tedy podaří zjistit „co koroduje“, často nelze poznat jaký je korozní úbytek na předpínací výztuži.

Pro stanovení pravděpodobnosti přítomnosti koroze lze využívat měření poločlánekových potenciálů. Pro toto měření je potřeba odhalit a vodivě připojit aparaturu k potenciálně korodující výztuži (slouží jako anoda) a poté pomocí měřicí elektrody postupně proměřit posuzovanou plochu ve vhodně zvoleném rastru. Poté lze na základě změřené vlhkosti podkladu a elektrického potenciálu mezi elektrodami (katodou a anodou) posuzovat plochu na pravděpodobnou přítomnost probíhající koroze. Metoda HP však nedokáže stanovit míru korozního úbytku [14].



Obr. 25 Ukázka vykонтurované mapy změřených potenciálů [17]

Je důležité také zmínit, že nejčastější použití HP metody je u klasické konstrukční výztuže, která není kryta v kabelovém kanálku např. Sandrik trubkou. V případě že bychom chtěli tuto metodu použít na předpínací lana, lze to pouze u starších typů mostů, kde se ještě nepoužívaly krepované Sandrik trubky. Dále pokud daný prvek není obalen injektážní maltou, nedochází tedy k vodivému propojení a metodu tak nelze použít.

3.3.5 Ultrazvuková pulzní metoda (US)

Metoda měření rychlosti průchodu ultrazvukového pulzu (dále US) je jedna s nejrozšířenějších nedestruktivních testovacích metod pro lokalizaci defektů ve stavebních konstrukcích. Metoda US je založena na směrové excitaci zkoušeného elementu pomocí vysokofrekvenčního mechanického vlnění a měření rychlosti těchto vln protilehlým snímačem (nebo jinak

umístěným). Tyto metody nejčastěji operují ve frekvenčním rozsahu 40-50 KHz, jedná se tedy o neslyšitelnou oblast.

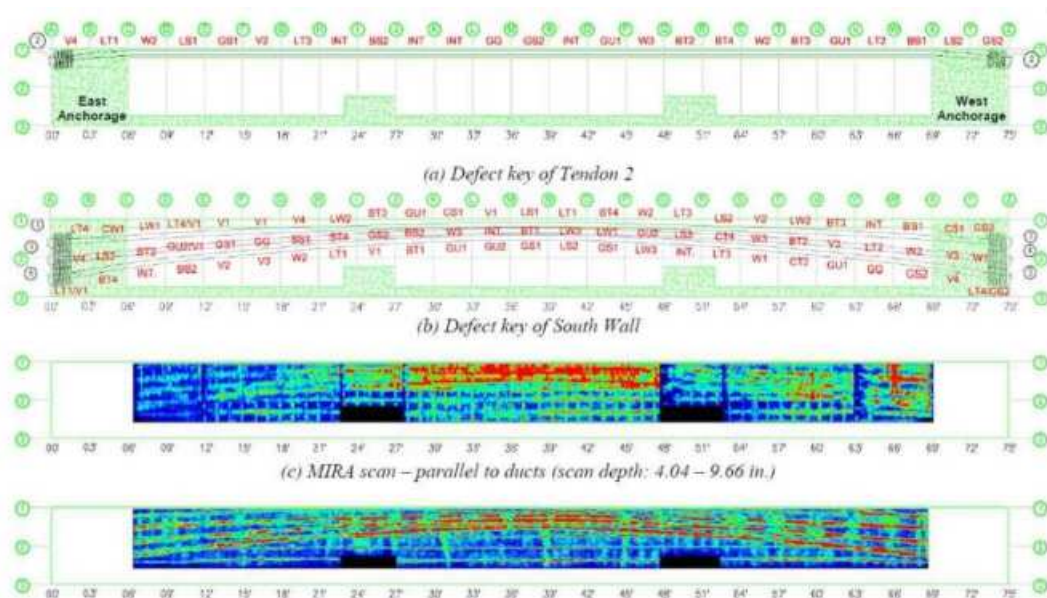
Pomocí vhodné kombinace umístění budič-snímač lze měřit například pevnost betonu v tlaku, dynamický modul pružnosti, hloubky vzniklé trhliny, přítomnost kaveren a nehomogenit v daném materiálu. Při kombinaci s dalšími metodami lze tuto metodu též použít pro zjištění tloušťky testovaného prvku, nebo objemovou hmotnost daného prvku [9].

V laboratorních podmínkách existují též různé variace US metody v podobě ultrazvukové spektroskopie, která na rozdíl od rychlosti průchodu sleduje i frekvenční spektrum a změnu ve frekvenčním spektru spojitého ultrazvukového signálu po průchodu testovaným prvkem. Tato metoda je však omezená, co se použití týče pouze na zkušební tělesa, její nasazení na masivních prvcích prefabrikátu či monolitu je obtížně realizovatelné, a i zahraniční studie jsou velice skoupé na podobné aplikace. US metoda v základní podobě není schopná rozlišit mezi korodovanou a „zdravou“ výztuží [9].

3.3.6 Ultrazvuková tomografie (UST)

S nástupem výkonnější výpočtové techniky ať už z pohledu hardwaru nebo softwaru vznikají v posledním desetiletí nové aplikace a variace klasické ultrazvukové metody. Jedná se především o metodu „phase array“ a metodu ultrazvukové tomografie [9].

V základní sestavě budič-přijímač se jedná o vytvoření rastru rychlosti průchodů daným prvkem a vytvoření jakési ekvipotenciální mapy rychlostí průchodu. Ze znalosti referenční rychlosti pro danou konstrukci lze pak odvodit rozložení defektů, delaminace či prasklin.



Obr. 26 Ukázka výstupu metody UST [9]

Metodu UST lze použít pro lokalizaci zabudovaných prvků uvnitř betonu, jako jsou vzduchové kaverny, potrubí, rozhraní prasklin apod. avšak metoda je závislá na přístupnosti dané konstrukce z obou stran (Obr. 26). US signál je totiž potřeba poslat skrze zkoušený prvek a zachytit jej snímačem na protilehlé straně. To lze například v případech krátkých stěn, sloupů

patek apod., ale v případě uzavřené komory prefabrikátu mostního tělesa, již tato aplikace není možná, pokud se nevytvoří prostup pro protáhnutí kabelu k budiči/snímači [9].

Pro tyto aplikace se více hodí využívání odražených vln (též lze použít termín ohybových vln), kdy je možné testovat prvek pouze z jedné strany, nicméně klasické vybavení pro metodu US již nedosahuje schopností takové měření pohodlně a efektivně vyhodnotit.

3.3.7 Ultrazvukové pulse echo metody (PE)

Metoda phase array je založená na použití vícenásobných ultrazvukových prvků a elektronického zpoždování pulsů k vytváření zvukových paprsků, které se dají elektronicky směřovat, vychylovat a zaostřovat. Nejčastější aplikace této metody je ve strojírenství pro lokalizaci delaminace, pórů a kontrolu svárů různých slitin. Podstatně dokonalejší varianta v podobě sonografie se využívá v medicíně. Tato technika pracuje ve frekvenčním rozsahu od 2 do 18 MHz, a má tedy v relativně hustém betonu podstatně vyšší útlum než v lidském těle. Zároveň tyto mechanické vlny nemají dostatek energie, aby byly detekovatelné tak jako tomu je u georadaru za současného zachování ostrosti a přesnosti získaných B-skenů.

Ultrazvuková tomografie ve stavitelství je naproti tomu v posledních letech pomalu rozšiřující se metoda, která dosahuje poměrně přesných výsledků a současně i relativně dobrou rozlišovací schopnost co se týče vzduchových dutin [9]. Metoda je založena na soustavě budičů, které zároveň slouží jako snímače. Měření pak probíhá tak, že každý snímač vyšle mechanický impuls (budící frekvence se pohybuje v rozsahu 15 až 100 KHz), hned se přepne do režimu snímače a společně s ostatními budiči/snímači snímá odezvu buzeného prvku. Postupně tak každý snímač/budič vyšle mechanický impuls a SW ze získaných odezev rekonstruuje přibližný řez dané konstrukce. Celá tato sekvence může proběhnout v rámci několika desítek milisekund a umožňuje tak rychle skenovat poměrně velké plochy přístupné pouze z jedné strany. Tato měřicí technika se začíná pomalu rozšiřovat mezi výzkumnými ústavami v rámci diagnostiky, nicméně v praxi není zatím rozšířená.

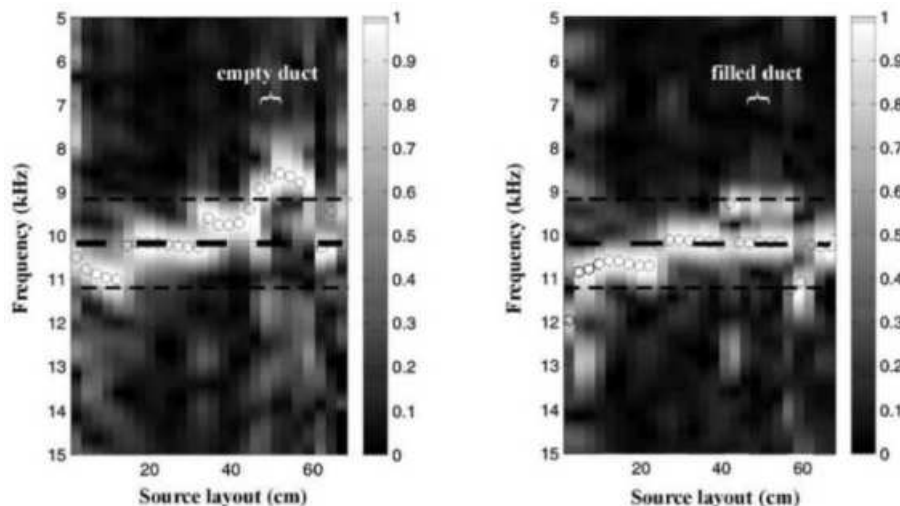


Obr. 27 Ukázka vybavení pulse echo metody [9]

3.3.8 Rezonanční metody

Pro testování tloušťky betonových prvků se v 90. letech začala využívat akustická nedestruktivní metoda **Impakt-Echo (IE)**, nazývaná též jako rezonanční metoda s mechanickým buzením pomocí kladívka (kladívková metoda). Metoda IE je založena na řízeném vytvoření budící mechanické vlny pomocí mechanického úderu a následného snímání nízkofrekvenční odezvy testovaného prvku (metoda pracuje v rozsahu 3 Hz až 20 KHz). IE metoda našla široké uplatnění ve stavebnictví díky své jednoduchosti, nízkému nákladu na provedení a relativně širokému spektru možností použití. Zároveň je tato metoda velmi závislá na správné interpretaci měřených dat [14].

V praxi našla IE uplatnění v měření délky pilot, lokalizaci prasklin masivních monolitických konstrukcí, delaminaci mostních těles, diagnostiky stavu betonových prvků apod. Díky jednoduchému principu zkoušení existuje mnoho variací této metody v podobě například nízkofrekvenční pulse echo metody nebo modální analýzy. Nicméně její reálné uplatnění za účelem stanovení aktuálního korozního stavu předpínací výztuže zatím není dostatečně prozkoumáno. Slibné výsledky metoda poskytuje zatím pouze pro nalezení kaveren v betonu a nedokonalostí provedení injektáže kabelového kanálku [18].



Obr. 28 Ukázka výstupu IE metody na kabelovém kanálku [9]

3.3.9 Akustická emise (AE)

Moderní akustická metoda akustické emise se nejčastěji využívá pro diagnostiku chodu strojírenských výrobků, avšak i ve stavitelství našla uplatnění například v měření lomové energie, či lokalizaci trhlin v tříbodových ohybových zkouškách či trhacích zkouškách. Jedná se o aktivní záznam místních mechanických rázů uvnitř struktury testovaného prvku, vyvolaných uvolněním napětí v důsledku působení vnějších činitelů (mechanické namáhání, vliv teploty apod.). Metoda je použitelná v případě, že je daný prvek vystaven namáhání. V případě mostů to může být vlastní provoz konstrukce, zatěžovací zkouška pojezdem vozidla nebo použití aktivního budiče vlastních vibrací [19].

Aplikace AE metody je založená na využívání 2 a více snímačů dlouhodobě připojených na konstrukci a průběžného monitorování akustické emise. Její výhoda tkví v automatizovaném zpracování dat z velkých stavebních celků, díky čemuž je metoda schopna lokalizovat zdroje akustické emise. Díky Kaiserově jevu lze také lokalizovat

akustickou emisí konstrukční části, kde dochází v průběhu provozu k degradaci a vzniku nových defektů. Takto nastavené monitorování je široce využíváno v rámci výzkumných zahraničních projektů zaměřených na monitorování stavebních konstrukcí [20].



Obr. 29 Ukázka použití metody AE pro detekci porušení předpínací výztuže [20]

3.3.10 Radiční defektoskopie (XR)

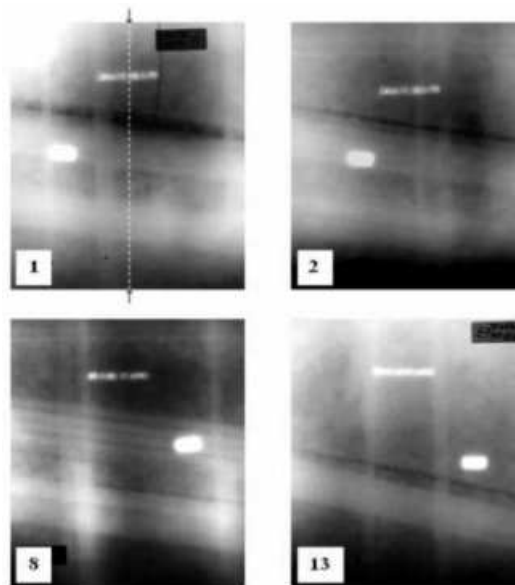
Metody radiografie ve stavitelství mají svou historii převážně v testování dostatečného stínění ionizačně aktivních zařízení jako jsou atomové reaktory, urychlovače částic, rentgenové a gamma pracoviště v lékařství apod. Co se týče jejich využití v diagnostice stavebních konstrukcí můžeme rozlišit dvě základní skupiny. Pro prosvěcování materiálu a vytváření rentgenogramů konstrukčních prvků se využívá brzdného RTG záření a charakteristického RTG záření [21].



Obr. 30 Ukázka zařízení metody XR pro použití ve stavebnictví [22]

Zatímco první typ se používá v lékařství nebo v průmyslu pro účely defektoskopie, druhý typ nalezl uplatnění v chemických analytických metodách nebo například v měření hustoty čerstvého betonu.

Pro zachycení průchozího RTG záření je nutné použít detektor, kterým může být uzpůsobený fotocitlivý papír, který je po provedení expozice nutné vyvolat. V současnosti se již používají fotocitlivé fólie, které je možné použít až 100x. Dále lze využít moderní digitální detektory, které jsou schopné i s vysokou zobrazovací frekvencí detekovat ionizující záření a vytvořit tak požadovaný rentgenogramu v reálném čase. Tyto metody díky vysoké energii RTG záření (frekvence se pohybuje v rozmezí 1017 až 1020 Hz) jsou schopné penetrovat i velmi masivní a hustě vyztužené prefabrikáty a monolitické konstrukce.



Obr. 31 Ukázka výstupu metody radiční defektoskopie při použití na předpínací výztuži [9]

Pro jejich aplikaci v praxi pro účel diagnostiky mostních konstrukcí jsou však dva základní problémy. Pro úspěšné vytvoření rentgenogramu je potřeba, aby na druhé straně tělesa byl osazen detektor záření, což nelze u některých typů konstrukcí zajistit. V provedených studiích existují i případy kdy bylo provedené prosvěcování konstrukce zářičem zasunutým do vrtu, nicméně tento způsob vytvoří značně zkreslený obraz a je potřeba při něm použít izotopového zdroje [14].

Zde existuje další problém, a to použití zdroje ionizujícího záření. Dříve se široce využívalo izotopů (v průmyslové rentgenografii to byl nejčastěji Co_{60}), které byly uloženy v ochranném olověném pouzdře. Pro aplikaci se pak k pouzdru připojil vodící kabel a tlačný bowdenový kabel, kterým byl izotop vytlačen do hlavy vodícího kabelu. Tím pádem byla minimalizována možnost ozáření pracovníků. Po požadovaném čase exponace se pak izotop opět vtáhl dovnitř pouzdra a uschoval pro další využití. Dnešní jaderný zákon však podstatně zpřísňuje použití takových zdrojů a je potřeba konkrétní pracovníky každý rok proškolenat specializovanými firmami. To je jeden z důvodů proč většina pracovišť, které dříve využívala kobalt přechází na generátory RTG záření. Ty mají však problém, že jsou podstatně těžší a masivnějších rozměrů, díky čemuž je obtížné s nimi manipulovat ve stísněných prostorech mostních těles. Díky potřebě obnovovat školení a certifikaci pro práci s ionizujícím zářením diagnostici častěji používají právě georadar, který podobné oprávnění nevyžaduje, a jeho vysílané radarové vlny jsou pro člověka neškodné.

3.3.11 Akustická trasovací metoda

Jedná se o nejjednodušší pulse echo metodu (angl. „sounding“), která je založená na poklepávání sférickým kladívkem konstrukce a zaznamenávání zvukové odezvy ve slyšitelné oblasti (16 Hz až 16 KHz). Tuto metodu často využívají zkušení diagnostici, kteří přímo interpretují odezvu na základě svého sluchu a zkušeností. Díky tomu se jedná o nejvíce subjektivní metodu, která však v současné praxi často pomáhá při lokalizaci místa vhodného pro zevrubnější zkoumání. Jedná se v podstatě o velmi nenáročnou a téměř beznákladovou

metodu určenou pro místní průzkum. Z pohledu přístrojové techniky a vstupu lidského faktoru, je však překonána ostatními diagnostickými metodami [23].

3.4 Porovnání metod a použitelnost v praxi

Z provedené rešerše zahraniční a tuzemské literatury a výzkumných zpráv lze vytvořit přehled používaných metod, jejich dosavadní nasazení v praxi a vhodnost pro účely podrobné diagnostiky předpínací výztuže a zjištění jejího aktuálního stavu. Jednotlivé metody jsou uvedeny v souhrnné tabulce níže (Tab. 3).

V Tab. 3 jsou jednotlivé diagnostické metody „ohodnoceny“ vzhledem k několika kritériím:

- dosavadní nasazení v praxi;
- vhodnost pro detailní průzkum;
- vhodnost pro rychlé posouzení;
- vhodnost pro průběžné monitorování;
- schopnost rozeznat kavernu;
- schopnost rozeznat přerušení výztuže;
- schopnost rozeznat napětí ve výztuži;
- schopnost určit korozní úbytky;
- možnost použití z povrchu bez odhalení předpínací výztuže.

Každé metodě jsou v tabulce přiřazeny „body“ od jedné do tří (● až ●●●), kde tříbodové ohodnocení znamená kladné hodnocení kritéria a jednobodové záporné hodnocení.

Ze zmíněných metod se pouze menší část využívá v praxi, a to převážně semidestruktivní, magnetoelastické a akustické metody. Větší míru nacházejí moderní metody (zejména NDT) v rámci počáteční kalibrace, případně kontroly nově postavených konstrukcí. Využití zmíněných metod na mostních objektech postavených od 50. do 90. let minulého století, které jsou nejčastějšími konstrukcemi, které mohou obsahovat poškozené přepínací systémy, je minimální a prakticky jedinou v praxi použitelnou metodou je metoda semi-destruktivního sondování.

Technologie předpjatého betonu umožňuje při správném provedení vytvořit konstrukci, která je spolehlivě odolná a únosná v čase. Existuje celá řada historických mostních děl, kde byla uplatněna technologie předpínání, a které bez výrazného problému a závad slouží doteď. Nicméně tyto konstrukce neposkytují možnost pokročilého monitoringu předpínací výztuže a není umožněno rychle zkontrolovat její stav. Pro vizuální prohlídku jsou tyto konstrukce často téměř nerozpoznatelné od „zdravých“ konstrukcí (zejména provádí-li prohlídky ne tolik zkušená osoba) a v případě nedodržení technologických postupů při výstavbě existuje nezanedbatelně vysoká pravděpodobnost, že v těchto mostních konstrukcích může probíhat koroze předpínací výztuže. Navíc problém neurčitosti stavu přepínacích systémů (a údržby) starších mostních těles v ČR byl systematicky zanedbáván. Díky těmto faktorům lze jednoznačně říct, že v současnosti neexistuje v praxi používaná spolehlivější a jednodušší

diagnostická metoda než semi-destruktivní sondování předpínací výztuže, a to i navzdory veškerému posunu v technologiích posledních 40 let.

n	Název metody	Negativní ●●●								
		Dosavadní nasazení v praxi	Vhodnost pro detailní průzkum	Vhodnost pro rychlé posouzení	Vhodnost pro průběžné monitorování	Schopnost rozeznat kavernu	Schopnost rozeznat přerušení výztuže	Schopnost rozeznat napětí ve výztuži	Schopnost určit korozní úbytky	Možnost použití z povrchu*
1	Semi-destruktivní sondáž	●●●	●●●	●	●	●●●	●●●	●●	●●●	●
2	Georadar	●●	●●●	●●	●	●●	●●	●	●●	●●●
3	Termografická termografie	●	●	●●	●	●	●	●	●	●●●
4	Metoda elektrické kapacity	●	●●	●	●●●	●●	●●	●●	●●	●
5	Metoda magnetické impedance	●	●●	●	●●●	●	●●	●●	●●	●
6	Metoda vířivých proudů	●●	●●	●	●	●	●●	●●	●	●
7	Metoda magnetické paměti	●	●●●	●●	●	●●	●●	●●	●●	●●
8	Elasto-magnetická metoda	●●	●	●	●●	●	●●	●●	●	●
9	Poločlánková metoda lokalizace koroze	●●	●●	●	●	●	●	●	●●	●●
10	Ultrazvuková pulzní metoda	●●	●●	●●	●	●●	●●	●	●	●●
11	Ultrazvuková tomografie	●	●●●	●	●	●●	●●	●	●	●●
12	Ultrazvuková pulse echo metoda	●	●●	●	●	●	●●	●●	●	●●
13	Rezonanční metody	●●	●●●	●●	●	●●	●●	●●	●	●●
14	Akustická emise	●	●●●	●	●●	●	●●	●	●	●●
15	Akustická trasovací metoda	●●●	●●●	●●	●●	●●	●	●	●	●●
16	Rentgenografie	●	●	●	●	●	●●	●	●●	●●

*bez nutnosti odhalení předpínacích jednotek

Tab. 3 Porovnání jednotlivých diagnostických metod

4. DIAGNOSTICKÝ PRŮZKUM PŘEDPÍNAČÍ VÝZTUŽE METODOU SDT SONDOVÁNÍ

Semidestruktivní metoda sondáže předpínačích výztuže představuje účinný nástroj běžné inženýrské mostní praxe pro vyhledávání a hodnocení rizika koroze předpínačích kabelů. V dalších podkapitolách je uveden podrobný metodický pokyn pro provádění SDT sondování předpjatých konstrukcí s využitím pokročilé pravděpodobnostní metody rozmístění sond v ploše diagnostikované konstrukce a mechanických pomůcek pro provádění.

Podrobný diagnostický průzkum předpínačích systému lze rozdělit do dvou částí:

- I. Diagnostika předpínačích výztuže po délce kabelu
- II. Diagnostika předpínačích výztuže v kotevní oblasti

Diagnostika předpínačích výztuže v dráze může být provedena na konstrukci před plánovanou investiční akcí za běžného provozu nebo pouze s částečným omezením dopravy (použití prohlížecí plošiny, diagnostika výztuže v oblasti nad podporou z povrchu mostovky apod.). Diagnostika předpínačích výztuže v blízkosti kotevní oblasti je prováděna během investiční akce, kdy je nutné zpřístupnit kotevní oblasti předpínačích systému, což nutně znamená omezení provozu na mostě.

4.1 Diagnostika předpínačích výztuže po délce kabelu

4.1.1 Způsob rozmístění SDT sond

Cílem níže popsané metody je definování způsobu rozmístění semi-destruktivních sond pro náležité vystižení stavu předpínačích kabelů v konstrukci. Jedná se o popis metody, která směřuje k vytipování míst vhodných k provedení SDT sond k předpínačích výztuži v rámci podrobného diagnostického průzkumu mostních předpjatých konstrukcí za účelem odhalení možného poškození výztuže korozí.

Popisovaná metoda pracuje s termínem (1) riziko ohrožení mostní konstrukce korozí. Tento termín je výstižný a popisně přesný, jazykově však poměrně nešikovný. V dalším textu je nahrazen termínem korozní riziko, který je sice méně popisný, jazykově však příhodnější. Kdekoli bude v dalším textu zmíněno korozní riziko, vždy je tím míněn termín (1).

Iniciace koroze předpínačích výztuže je způsobena především zatékáním a pronikáním vzdušné vlhkosti k předpínačích výztuži za současného přístupu kyslíku, oxidu uhličitého a případně i chloridů, které prostupují do struktury betonu z okolního prostředí. Tento děj je spojen s poklesem hodnoty pH betonu a tím vede ke ztrátě pasivační schopnosti betonu. O rychlosti koroze rozhoduje především přístup kyslíku z atmosféry, poměr objemu elektrolytu (vodné prostředí) a povrchu kovu a doba, po kterou je povrch kovu v kontaktu s elektrolytem (viz kap. 3). Uvedený proces je vždy spojen s rozvojem poruch za současného vzniku vnějších vizuálních znaků na konstrukci upozorňujících na zvýšené riziko koroze [5].

Pro 100% odhalení koroze předpínačích výztuže by bylo teoreticky ideální provést na dané mostní konstrukci co možná nejpodrobnější a vyčerpávající, plošnou diagnostiku

předpínací výztuže metodou SDT sondování, což však vede na neúměrně velký počet provedených sond, a to není z kapacitních důvodů možné a také by to nebylo ani hospodárné. Proto se při volbě míst k provedení diagnostiky pracuje s myšlenkou, že pro úvodní diagnostiku postačí dostatečně hustá síť náhodně zvolených pozic, a teprve dostatečně významný počet nálezů takto prováděné diagnostiky bude indicií k jejímu přesnějšimu zacílení.

Slabým místem tohoto přístupu je však skutečnost, že korozním rizikem nejsou ohroženy všechny části mostu stejně. Do náhodného výběru podle tohoto způsobu volby pozice pro diagnostiku tak může padnout i taková část mostu, kde je korozní riziko nízké či dokonce vůbec neexistuje. Tím se zvyšuje pravděpodobnost, že pozice, která by přinesla o korozi významnou informaci, se do výběrové sítě pozic vůbec nedostane. Ukazuje se tak jako účelné provádět náhodný výběr pozic k diagnostice nikoli plošně, nýbrž pouze z těch partií konstrukce, kde je korozní riziko vyšší, než je stanovený limit L ¹.

Protože převažujícím geometrickým atributem mostní konstrukce je její plocha, nabízí se myšlenka vytvořit k předmětnému mostu mapu, která korozní riziko mostu zohlední a poskytne přehled pozic, z nichž má smysl provádět náhodný výběr k provedení semi-destruktivních sond v rámci diagnostiky ².

Korozní riziko je možné v případě mostních konstrukcí rozdělit do dvou skupin:

1. **riziko ohrožení korozí stálé** – korozní riziko stálé je riziko, vyplývající z neměnného umístění komponent mostní konstrukce a z dispozičních specifik mostů, které se nacházejí na každé mostní konstrukci. Jedná se o taková místa na konstrukci, u kterých je zvýšené riziko vzniku poruchy a případného následného zatékání – například mostní závěry, odvodňovače a jiné prostupy konstrukcí, místa kotvení mostního vybavení apod. Jmenované součásti mostu jsou (měly by být) na mostě přítomny vždy, a vždy v jednoznačných, typických pozicích. Stejně tak lze u každé mostní konstrukce očekávat zvýšenou agresivní aktivitu prostředí na vnějších betonových plochách. Korozní riziko stálé je tak pro daný typ konstrukce charakteristické a obecně platné.
2. **riziko ohrožení korozí nahodilé** – korozní riziko nahodilé je riziko, jehož pozici nelze na základě typu konstrukce dopředu předvídat. Zpravidla je důsledkem nějaké závady či poruchy – například zatékání do konstrukce z důvodu poškození izolace, trhliny v mostovce apod. Korozní riziko nahodilé je pro každý konkrétní objekt jedinečné a je nutné tato rizika popsat na základě podrobné vizuální mostní prohlídky, která předchází diagnostickému průzkumu mostní konstrukce.

Navrhovaná metoda k výše uvedenému účelu vytváří vstupní tabulky pro uživatelsky zadané hodnoty a tabulku výstupní, výsledkovou. Dimenze tabulek jsou totožné a představují čtvercovou síť vhodné jemnosti, která pokrývá plochu diagnostikovaného mostu. Níže bude metoda popisována na typové konstrukci (např. jedno pole deskové konstrukce složené z předpjatých nosníků I-73) za použití čtvercové sítě 1 x 1 m o celkové ploše 10 x 24 m.

¹ Stanovení takového limitu může být předmětem dalších úvah, expertního výzkumu, a také kalibrace metody na reálných datech

² Pro aplikaci v reálných podmínkách bude na místě uvážit, jakou metodou se bude náhodný výběr uskutečňovat. Úvahy na toto téma zatím nebyly provedeny

1										
2										
3			3							
4										
5				5						
6										
7										
8						2				
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										

Obr. 33 Ukázková tabulka T2 – rozložení korozního rizika nahodilého

- **Tabulka W3** (Obr. 34) představuje váhovou funkci, která upravuje významnost pozic na konstrukci. Typicky jde o spády na mostní konstrukci, kdy je nasnadě, že pozice v nižší úrovni spádu bude zatékáním ohrožena více než pozice, která stojí výše (váhová funkce vypsádování konstrukce je ukázána na Obr. 34).

Vlastní podoba váhové funkce je obecně na volbě řešitele, uživatele a metoda umožňuje uvažovat ve výpočtu více váhových funkcí. Počtu váhových funkcí poté odpovídá počet tabulek. Váhové funkce mohou sledovat různá relevantní kritéria.

1	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20
2	1.92	1.73	1.53	1.34	1.15	0.96	0.77	0.58	0.38	0.19
3	1.83	1.65	1.47	1.28	1.10	0.92	0.73	0.55	0.37	0.18
4	1.75	1.58	1.40	1.23	1.05	0.88	0.70	0.53	0.35	0.18
5	1.67	1.50	1.33	1.17	1.00	0.83	0.67	0.50	0.33	0.17
6	1.58	1.43	1.27	1.11	0.95	0.79	0.63	0.48	0.32	0.16
7	1.50	1.35	1.20	1.05	0.90	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15
8	1.42	1.28	1.13	0.99	0.85	0.71	0.57	0.43	0.28	0.14
9	1.33	1.20	1.07	0.93	0.80	0.67	0.53	0.40	0.27	0.13
10	1.25	1.13	1.00	0.88	0.75	0.63	0.50	0.38	0.25	0.13
11	1.17	1.05	0.93	0.82	0.70	0.58	0.47	0.35	0.23	0.12
12	1.08	0.98	0.87	0.76	0.65	0.54	0.43	0.33	0.22	0.11
13	1.00	0.90	0.80	0.70	0.60	0.50	0.40	0.30	0.20	0.10
14	0.92	0.83	0.73	0.64	0.55	0.46	0.37	0.28	0.18	0.09
15	0.83	0.75	0.67	0.58	0.50	0.42	0.33	0.25	0.17	0.08
16	0.75	0.68	0.60	0.53	0.45	0.38	0.30	0.23	0.15	0.08
17	0.67	0.60	0.53	0.47	0.40	0.33	0.27	0.20	0.13	0.07
18	0.58	0.53	0.47	0.41	0.35	0.29	0.23	0.18	0.12	0.06
19	0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05
20	0.42	0.38	0.33	0.29	0.25	0.21	0.17	0.13	0.08	0.04
21	0.33	0.30	0.27	0.23	0.20	0.17	0.13	0.10	0.07	0.03
22	0.25	0.23	0.20	0.18	0.15	0.13	0.10	0.08	0.05	0.03
23	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.08	0.07	0.05	0.03	0.02
24	0.08	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.01

Obr. 34 Ukázková tabulka W3 – váhová funkce vypsádování konstrukce

- **Tabulka W4** (Obr. 35) představuje váhovou funkci, která upravuje významnost pozice na konstrukci z hlediska statického chování konstrukce. Vyšší váhu přiřazuje pozicím v blízkosti největšího namáhání od ohybových momentů. V případě ukázkové konstrukce se jedná o konstrukci prostě uloženou s kritickým řezem uprostřed rozpětí.

1	6,00	5,80	5,60	5,40	5,20	5,00	4,80	4,60	7,40	4,20
2	3,83	2,63	2,44	2,25	2,06	1,87	1,68	1,48	1,29	3,10
3	3,56	5,38	5,19	2,01	1,83	1,64	1,46	4,28	4,09	2,91
4	3,57	2,39	5,22	2,04	1,87	1,69	1,52	1,34	1,17	2,99
5	3,39	2,23	2,06	1,89	1,73	1,56	1,39	1,23	1,06	2,89
6	3,31	2,15	1,99	1,84	1,68	1,52	1,36	1,20	1,04	2,89
7	3,05	1,90	1,75	4,10	1,95	1,80	1,15	1,00	0,85	2,70
8	4,60	3,46	3,32	4,17	4,03	4,89	2,75	2,61	2,47	4,32
9	4,70	3,56	3,93	5,30	5,16	5,03	3,40	2,76	2,63	4,50
10	3,70	2,58	2,95	4,33	5,20	4,08	2,45	1,83	1,70	3,58
11	3,80	2,69	3,07	4,45	5,34	4,22	2,60	1,99	1,87	3,75
12	4,08	2,98	2,87	7,76	3,65	3,54	2,43	2,33	2,22	4,11
13	4,00	2,90	2,80	3,20	3,10	3,00	2,40	2,30	2,20	4,10
14	3,55	2,46	2,37	2,28	2,19	2,09	3,00	4,91	2,82	3,73
15	4,29	3,20	3,12	3,04	2,95	2,87	4,79	5,70	4,62	4,54
16	4,11	3,04	2,96	2,89	2,81	2,74	2,66	4,59	2,51	4,44
17	2,85	1,78	1,72	1,65	1,58	1,52	1,45	1,38	1,32	3,25
18	2,13	1,07	1,01	0,95	0,90	0,84	0,78	0,72	0,66	2,60
19	2,23	1,18	1,13	1,08	1,03	0,98	0,93	0,88	0,83	2,78
20	2,14	1,10	5,06	1,02	0,98	0,94	0,89	1,85	0,81	2,77
21	2,15	1,12	1,08	1,05	1,02	0,98	0,95	0,92	0,88	2,85
22	1,98	1,95	1,93	0,90	0,88	0,85	0,83	1,80	1,78	2,75
23	2,08	1,06	1,04	1,03	1,01	0,99	0,98	0,96	0,94	2,93
24	4,08	4,08	4,07	4,06	4,05	4,04	4,03	4,03	4,02	4,01

Obr. 39 Ukázková tabulka R1 – výsledková tabulka

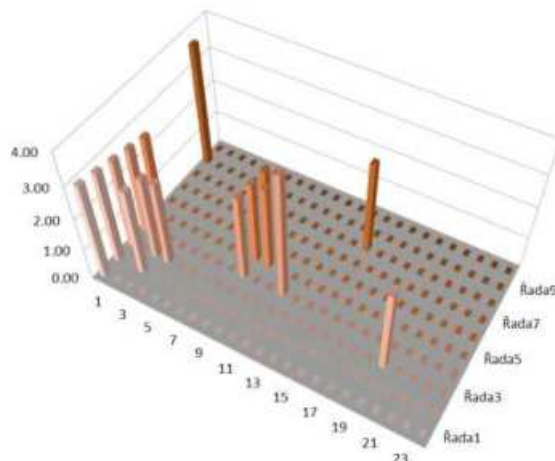
- **Tabulka R2** (Obr. 40) je normalizovaná výsledková tabulka. Je součtem předchozích tabulek vstupních dat, normalizovaným do škály 0-7 (Obr. 41) a zmenšeným o uživatelsky zadaný limit L, který umožňuje redukovat počet náhodných pozic na konstrukce s ohledem např. na omezený počet prováděných sond. Obsahem tabulky R2 jsou buňky s nulovou nebo kladnou hodnotou. Do náhodného výběru pozic pro diagnostiku projdou pak jen ty pozice, kterým odpovídají buňky s kladnou hodnotou. Extrémní hodnoty, vymykající se běžné 7stupňové škále, jsou více zvýrazněny. Takto je zajištěno, že do náhodného výběru pozic pro diagnostiku předpínací výztuže neprojdou pozice, u nichž provádění diagnostiky nemá z pohledu zjišťovaného rizika žádný smysl. Míru rizika znázorňuje také graf na Obr. 42.

1	3,00	2,90	2,80	2,70	2,60	2,50	2,40	2,30	3,70	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	2,69	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	2,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	2,30	0,00	0,00	0,00	0,00	2,45	0,00	0,00	0,00	0,00
9	2,35	0,00	0,00	2,65	2,58	2,52	0,00	0,00	0,00	0,00
10	0,00	0,00	0,00	0,00	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
11	0,00	0,00	0,00	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12	0,00	0,00	0,00	3,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,46	0,00	0,00
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,39	2,85	2,31	2,27
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	0,00	0,00
17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	2,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Obr. 40 Ukázková tabulka R2 – normalizovaná výsledková tabulka

0.00	1.00
1.00	2.00
2.00	3.00
3.00	4.00
4.00	5.00
5.00	6.00
6.00	7.00

Obr. 41 Ukázková škála korozního rizika 0-7



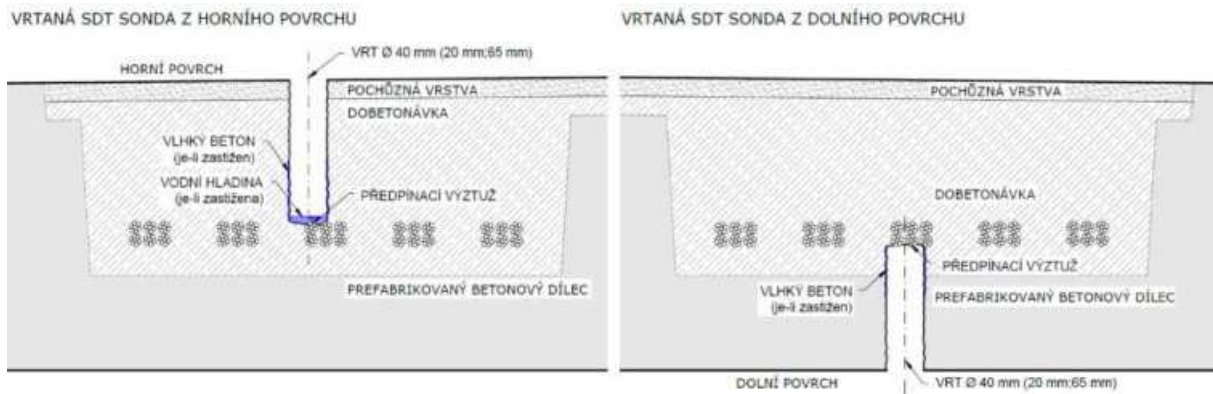
Obr. 42 Ukázkový graf výsledného stanovení míry rizika koroze v ploše mostní konstrukce

Prezentovaná metoda způsobu rozmístění semi-destruktivních sond na základě definovaných stálých a nahodilých rizik s využitím váhových funkcí nabízí možnost dalšího rozšíření a/nebo zobecnění na základě rozšiřujících parametrů zadaných uživatelem, a tím je umožněno metodu dále zpřesňovat pro potřeby praxe. V případě dalšího rozšíření lze uvažovat i o zohlednění jiných rizik, než je riziko koroze.

4.1.2 Prostorové omezení umístění SDT sond

Prostorové omezení umístění SDT sond je dáno především skutečností, že v době projekční přípravy akce musí být diagnostika předpjeté konstrukce prováděna v době provozu po mostě. Proto jsou přístupny zpravidla spodní plochy konstrukce (nosníků) a vnější boky krajních nosníků. Tak tomu je u konstrukcí složených z nosníků MPD, KA a I. To samo o sobě není fatální překážkou pro provádění SDT sond, protože u prostých konstrukcí (těch je většina) předpínací kabely probíhají v souladu se statickým účinkem v rozhodující délce nosníků a přes příčné styky mezi dílci při spodním povrchu nosníků. Jistým prostorovým omezením je SDT sondování zvedaných částí průběžných kabelů, které není možné u vnitřních nosníků provést.

Dále uvedený příklad SDT sondování pomocí otevřených přístupových otvorů ukazuje, že je proveditelné u konstrukcí sestavených z nosníků I. Přístupové otvory lze dodatečně provést v dobetonovaných podélných stycích mezi nosíky přibližně na délku 800 mm a na celou šířku dobetonovaného styku. Těmito přístupovými otvory pak lze do dutiny mezi nosíky přistoupit, umístit tam vrtací techniku a provést SDT diagnostiku PV.



Obr. 43 Provádění SDT sondáže z horního (vlevo) nebo spodního (vpravo) povrchu konstrukce

V případě dodatečné diagnostiky v průběhu stavby lze tyto práce provádět relativně bezproblémově z horního povrchu mostovky. Uvedený rozsah přístupových otvorů má jen zanedbatelný vliv na spolupůsobení nosníků v konstrukci.

V případě provádění diagnostiky za provozu lze tyto práce provádět sice obtížněji, ale přesto realizovatelně z dolního povrchu mostovky. Rozsah přístupových otvorů má opět jen zanedbatelný vliv na spolupůsobení nosníků v konstrukci.



Obr. 44 Označení místa pro otevření diagnostického přístupového otvoru



Obr. 45 Postupné vybourávání spáry mezi nosníky



Obr. 46 Hotový diagnostický přístupový otvor ve spáře



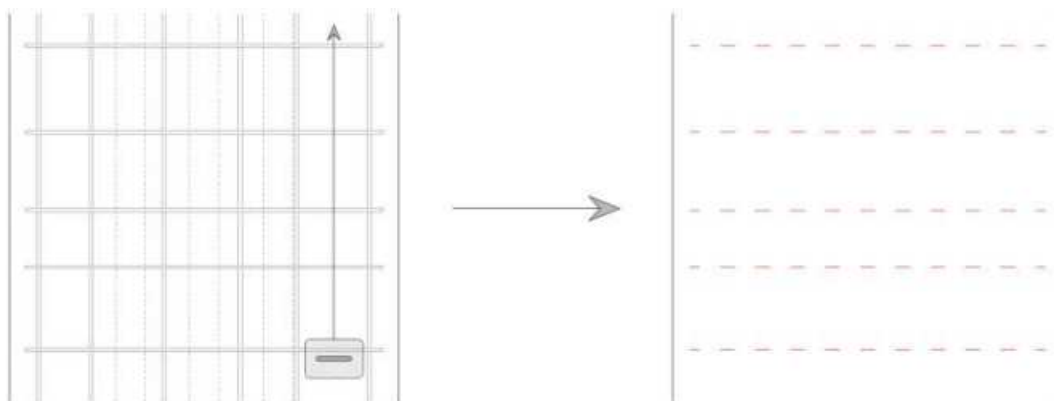
Obr. 47 Pracovník v diagnostickém přístupovém otvoru ve spáře

4.1.3 Provádění SDT vrtaných sond

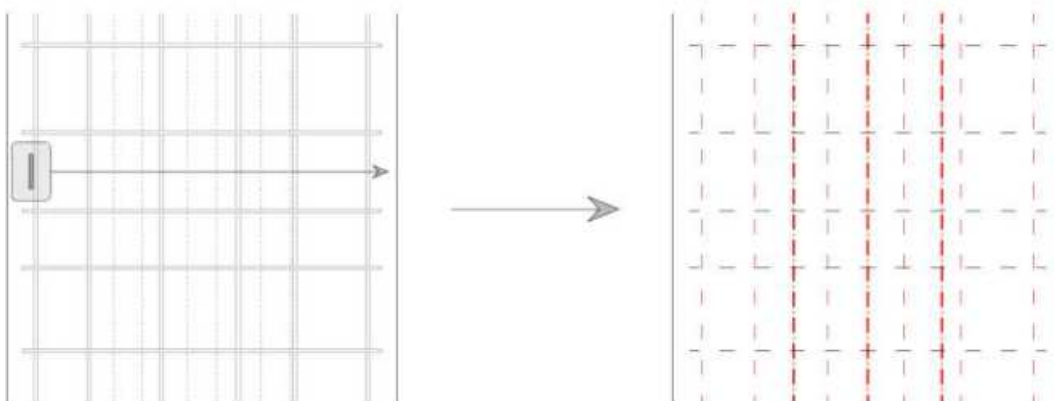
Provádění semi-destruktivního sondování předpínacích kabelů má řadu kroků. Všechny směřují k co nejpřesnějšímu určení polohy budoucí vrtané sondy, aby se minimalizovalo poškození předpjatého betonu konstrukce.

Základní kroky SDT metody vrtaných sond jsou:

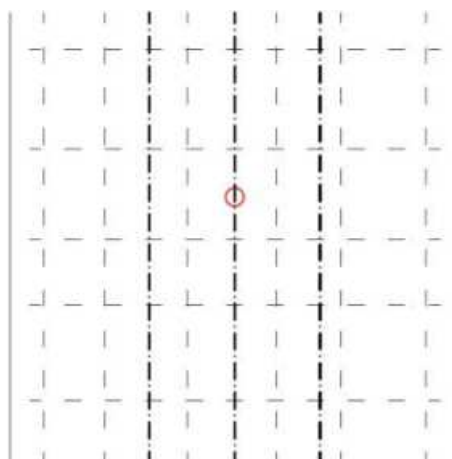
- I. Studium dokumentace (PD konstrukce, typové podklady nosníků apod.).
Vedení sondážních vrtů musí brát ohled na relativně hustou betonářskou výztuž, která se nachází mezi povrchem betonu a sondovaným předpínacím kabelem. Ve většině případů jde vlastně o inverzní úlohu, kdy se indikačními prostředky hledá nejvhodnější místo pro sondážní vývrt Φ 40 mm tak, aby vrt minul betonářskou výztuž. Běžné osové vzdálenosti betonářské výztuže jsou 100 až 150 mm ve dvou navzájem kolmých směrech. Stavba nebo volba prostředků pro přístup ke konstrukci jsou jako běžné stavební postupy v tomto popisu provádění SDT sond vynechány.
- II. Lokalizace výztuže v podélném i příčném směru pomocí lokátorů výztuže in situ. Vyznačení polohy sondovaných kabelů, resp. os sondážních vrtů.



Obr. 48 Lokalizace výztuže v podélném směru konstrukce



Obr. 49 Lokalizace výztuže v příčném směru konstrukce

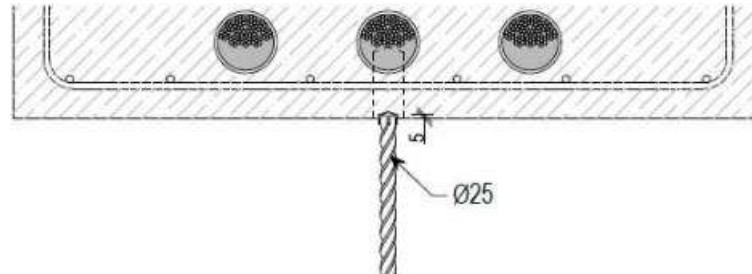


Obr. 50 Výběr vhodného místa pro provedení SDT vrtu z hlediska okolní výztuže

III. Stabilizační závrt v místě provedení SDT sondy.

Před samotným vrtáním je nutné ve vybraném místě pro provedení SDT sondy provést tzv. stabilizační závrt, který definuje vedení vrtáku pro vlastní vrtání sondy. Stabilizační závrt bývá zpravidla proveden vrtákem o menším průměru,

než bude vlastní SDT sonda, do hloubky cca 5 mm. Nejčastěji se za tímto účelem používá vrták profilu 25 mm. Provedením stabilizačního závrtu se minimalizuje poškození povrchu v okolí sondy.



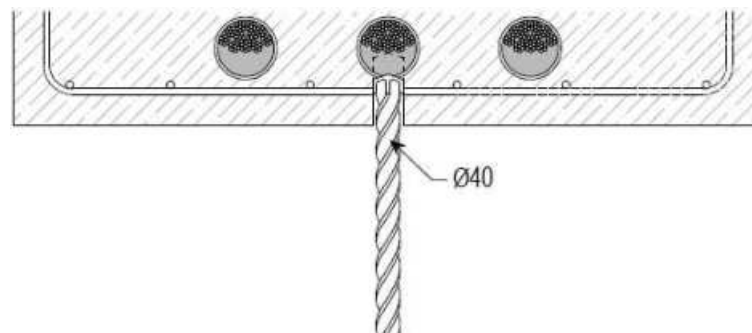
Obr. 51 Stabilizační závrt do hloubky cca 5 mm

- IV. Postupné vrtání směrem ke kabelu s pozorováním případné chráničky kabelů a injektáže.

Pro vrtání je vhodné používat mechanickou pomůcku po provádění SDT sond (např. funkční vzorek Gfunk Přípravek pro mechanické provádění semi-destruktivní diagnostiky, který je výstupem výzkumného projektu CK01000042), který zajišťuje dostatečný přítlak pro vrtání a přenáší tíhu stroje. Vrtání tzv. „z ruky“ je třeba považovat za ne příliš vhodné (přetěžování obsluhy, rizikové situace při zaseknutí vrtacích prostředků apod.).

Součástí této fáze postupného vrtání může být i odebírání práškových vzorků betonu pro laboratorní zkoumání – stanovení pH betonu a obsahu chloridů v betonu pro identifikaci chloridové koroze.

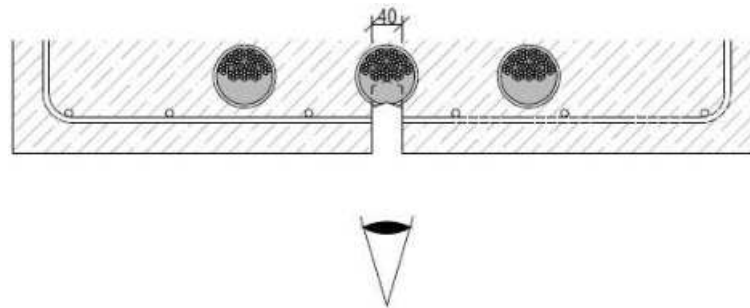
Zásadně se nedoporučuje vrtat technologiemi s vodním výplachem.



Obr. 52 Postupné vrtání SDT sondy profilem 40 mm do úrovně kabelového kanálku

- V. Vizuální kontrola stavu kabelového kanálku, injektáže příp. odklopení chráničky kabelového kanálku pro vizuální kontrolu injektáže.

Po dosažení hloubky, ve které je uložen kabelový kanálek je nutné vizuálně zkontrolovat jeho stav ať už se jedná o kanálek betonový (tedy bez chráničky), anebo o kabelový kanálek vytvořený např. Sandrik trubkou. Postupné vrtání umožní rozeznat, v jakém stavu je chránička, kterou je kabelový kanálek vytvořen (je-li přítomna). Bývá vhodné ji narušit vrtákem menšího průměru nebo citlivě narušit plochým sekáčkem. Narušenou chráničku je pak možné vychlípnout do stran a vizuálně zhodnotit stav a kvalitu injektáže.



Obr. 53 Vizuální kontrola stavu injektáže



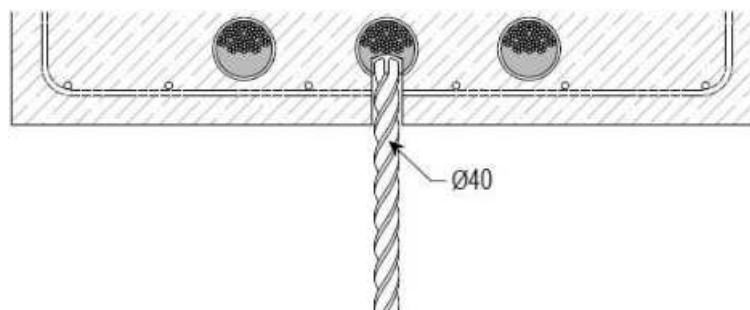
Obr. 54 Kontrola injektáže v SDT sondě



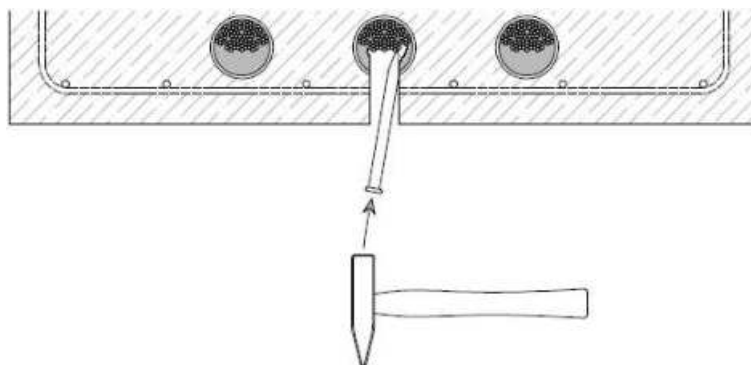
Obr. 55 Kontrola injektáže v SDT sondě

VI. Vizuální hodnocení drátů kabelu.

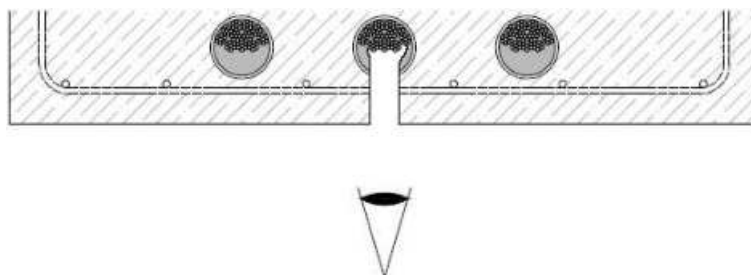
Po vizuálním zhodnocení injektáže kabelového kanálku lze citlivě pokračovat ve vrtání SDT sondy až na úroveň předpínacích drátů. Po odhalení krajních drátů předpínací výztuže následuje vizuální vyhodnocení stavu předpínací výztuže. Základní vyhodnocení spočívá v popisu povrchu drátů z hlediska zasažení korozí. Tento popis vede na výroky jako: bez korozí, s povrchovou korozí, s povrchovou korozí pasivovanou vápenitými kondenzáty, s hloubkovou korozí, přerušeny korozí. Vizuální hodnocení injektáže je popis stavu injektážní malty z hlediska vyplnění kanálků, obklopení jednotlivých drátů. Vede na výroky jako: s plnou injektáží, bez injektáže, injektáž suchá, injektáž vlhká apod.



Obr. 56 Vrtání SDT sondy až na úroveň předpínací výztuže



Obr. 57 Citlivé mechanické rozvolnění injektáže kolem předpínací výztuže



Obr. 58 Vizuální kontrola stavu předpínací výztuže



Obr. 59 Ukázka SDT sondy



Obr. 60 Ukázka SDT sondy



Obr. 61 Ukázka SDT sondy



Obr. 62 Ukázka SDT sondy



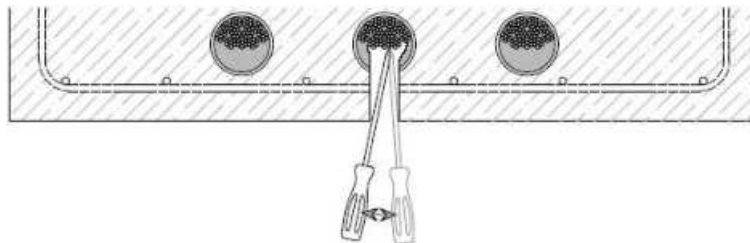
Obr. 63 Ukázka SDT sondy



Obr. 64 Ukázka SDT sondy

VII. Mechanické testování drátů (lan) kabelu.

Mechanické testování drátů, tzv. pákový test, je hodnocení stavu napjatosti výztuže na základě možnosti, či nemožnosti vychýlit výztuž páčením. Toto testování je možné provést jen u sond, kde jsou dráty (resp. lana) zcela odhalena. Vede na výroky jako: bez napětí, pod napětím, a to podle toho, zda je možné vůbec vniknout mezi dráty kabelu vhodným plochým nástrojem (např. šroubovákem z kalené oceli) a zda dráty vzdorují či nevzdorují vychýlení bez použití prodlužovací páky. Toto hodnocení je možné provádět pouze u drátových kabelů, u lanových kabelů lze analogicky provádět páčení až na úrovni jednotlivých lan.



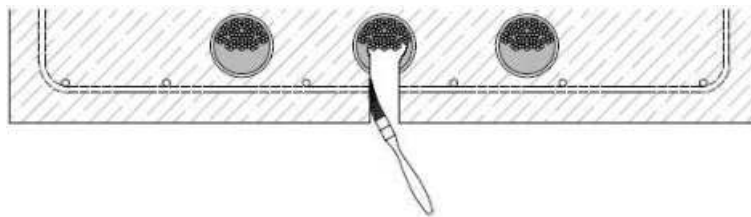
Obr. 65 Mechanická kontrola napětí v předpínací výztuži

VIII. Dokumentace odhaleného kabelu.

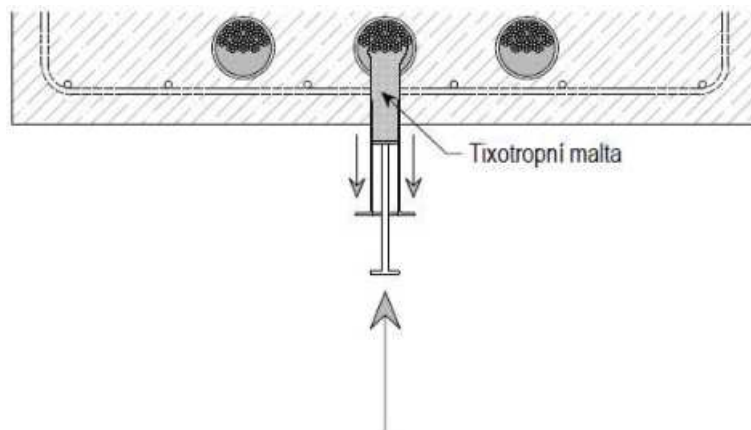
Po odhalení drátů předpínací výztuže, vizuálním zhodnocení a mechanických zkouškách následuje dokumentace provedené sondy. Dokumentace je zpravidla dvojí, a sice v podobě tzv. polního náčrtu a v podobě fotodokumentace. V polním náčrtu jsou shrnuty základní geometrické údaje o provedené sondě (profil vrtu, hloubka vrtu, umístění vrtu na konstrukci apod.) a slovní vyhodnocení stavu injektáže a samotných drátů předpínací výztuže. Po zaznamenání údajů do polního náčrtu následuje provedení fotodokumentace sondy, ze které je jednak patrné umístění sondy vzhledem ke konstrukci, ale zejména je zachycen detailní pohled na odhalené předpínací dráty. Tento obrazový materiál slouží k celkovému vyhodnocení sondážní diagnostiky v rámci tzv. post-processingu, kdy jsou zpracovávána veškerá data z diagnostiky.

IX. Zapravení sondy.

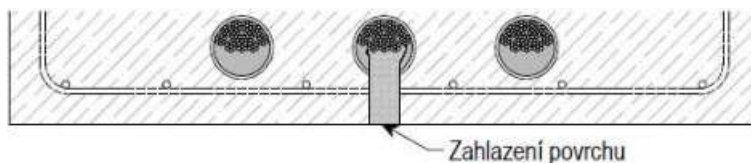
Zapravení SDT sondážního otvoru (vrtu) je třeba provádět bezprostředně po provedené diagnostice, aby se zabránilo korozi vzdušnou vlhkostí. V praxi se osvědčilo vyplnění objemu vrtu tixotropními silikátovými maltami po předchozím očištění povrchu vrtu alespoň mechanicky rotačním kartáčem (Obr. 66). Vyplnění se děje vytlačováním aktivované směsi pístem za pomoci duté trubky vhodného průměru, který se blíží průměru sondážního vrtu (Obr. 67). Takto lze zapravit a utěsnit sondážní otvory běžně až do délky 200 mm. Ve většině případů se délky sondážních otvorů pohybují mezi 60 až 120 mm. Ukázky zapravení jsou uvedeny na Obr. 69 a Obr. 70.



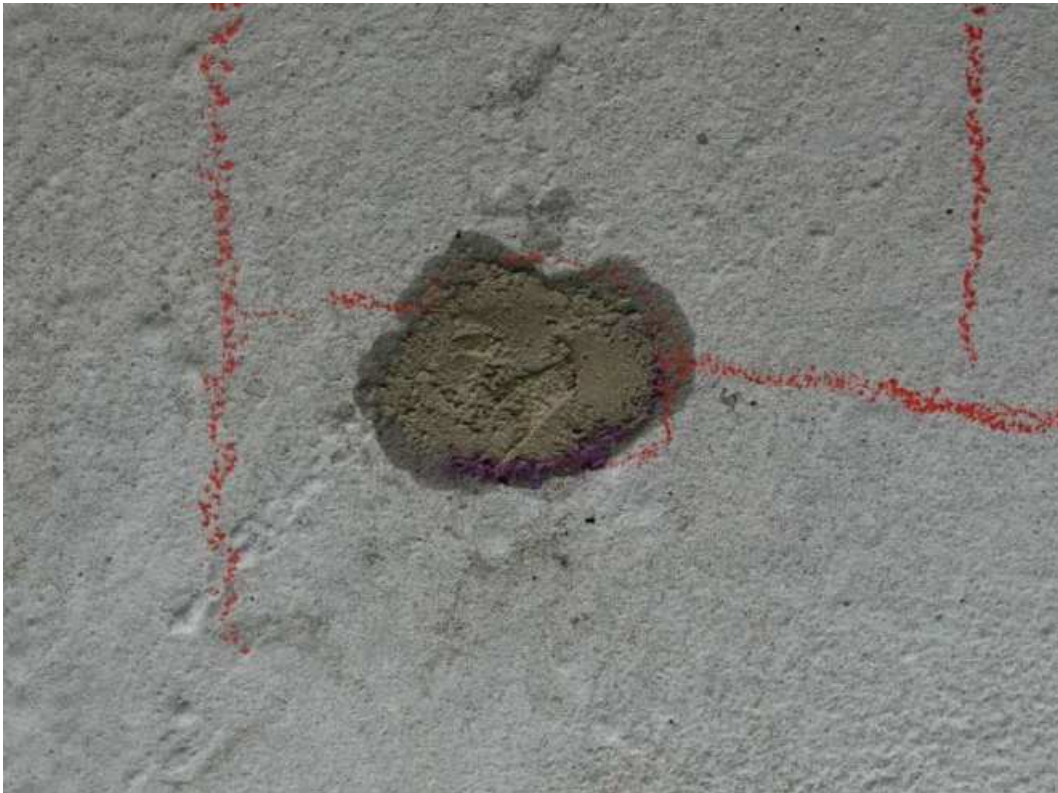
Obr. 66 Očištění stěn vrtu SDT sondy



Obr. 67 Provádění zapravení SDT sondy pomocí přípravku s pístem



Obr. 68 Zapravená SDT sonda



Obr. 69 Ukázka zapravení SDT sondy tixotropní malta



Obr. 70 Ukázka zapravení SDT sond tixotropní maltou

X. Fáze tzv. „post-processingu“

V této závěrečné fázi jsou zpracována data z provedených SDT vrtů během diagnostického průzkumu. Dochází k podrobnému rozboru obrazového materiálu a konečnému zhodnocení stavu předpínací výztuže a injektáže. Součástí post-processingu je i globální vyhodnocení celkového stavu mostu z hlediska aktuálního stavu předpínací výztuže např. pomocí tvorby konturovaných map s izopásmi apod. Vše je na závěr zaznamenáno do protokolu o provedené sondě.

4.1.4 Protokol o provedené SDT sondě

Všechny zjištěné skutečnosti během provádění SDT sondování musí být zaznamenány do protokolu o provedené sondě (ukázky protokolů jsou uvedeny níže na Obr. 73 až Obr. 81).

Protokol o provedené sondě musí obsahovat jednoznačné označení sondy a její umístění na nosné konstrukci (ideálně včetně grafických schémat), geometrické charakteristiky vrtu (průměr, hloubka) a typ vrtání, obrazová data neboli fotografie pořízené během diagnostických prací (celkový pohled, detail sondy). Obrazová data musí být zajištěna v dostatečné kvalitě a za dobrého osvětlení. Protokol by měl obsahovat i informace o zařízení, kterým byla obrazová data pořízena a také informace o osvětlení.

Nejdůležitější částí protokolu je vyhodnocení SDT vrtané sondy. Jedná se o vizuální hodnocení stavu koroze předpínací výztuže vč. popisu stavu okolní injektáže příp. betonu.

Za účelem systematického klasifikování stavu je účelné hodnotit jednotlivé atributy podle klasifikační stupnice jednotlivých ukazatelů a tím dosáhnout zvýšení objektivnosti a porovnatelnosti získaných výsledků diagnostiky, alespoň tak, jak je uvedeno níže:

Stupnice pro klasifikaci stavu betonu/injektáže sondy:

plná injektáž/obetonování	mezerovitá/ý injektáž/beton	bez injektáže/bez obetonování
---------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Stupnice pro klasifikaci koroze předpínací výztuže:

bez koroze	povrchová koroze	koroze	hloubková koroze	korozivní rozpad
------------	------------------	--------	------------------	------------------

Stupnice pro klasifikaci vlhkosti betonu/injektáže sondy:

suchý/á beton/injektáž	vlhký/á beton/injektáž	mokvý/á beton/injektáž	vodní nálev
------------------------	------------------------	------------------------	-------------

V případě, že součástí provádění vrtané sondy je i odebrání vzorků betonu (nebo injektáže) pro laboratorní zkoumání, je tato skutečnost v protokolu uvedena. Zhodnocení sondy je poté doplněno i o laboratorní vyhodnocení. Zejména se jedná o stanovení hodnoty vodíkového exponentu pH betonu/injektáže v okolí předpínací výztuže (je-li pH silně zásadité s hodnotou > 9,6 má beton/injektáž dostatečnou pasivační schopnost) a definování tzv. chloridové koroze resp. přítomnosti chloridů (poměr koncentrace chloridových a hydroxidových iontů, je-li poměr koncentrací $cCl^-/cOH^- > 0,6$ je předpoklad koroze výztuže).

Vodíkový exponent pH:

V protokolu je uvedena zjištěná hodnota pH podle následující klasifikační stupnice:

12.50	12.00	11.50	11.00	10.50	10.00	9.50	9.00
-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------

Přítomnost chloridů:

V protokolu je uveden výsledný poměr koncentrace chloridových a hydroxidových iontů podle následující klasifikační stupnice:

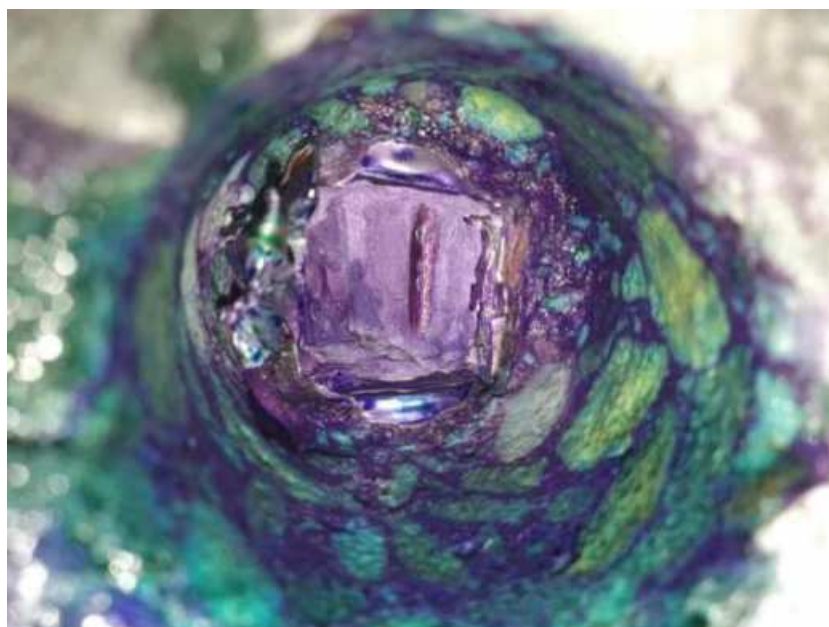
0.00	0.05	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
------	------	------	------	------	------	------	------

Orientační zkouška pH betonu in situ:

V otevřených sondách k výztuži se doporučuje také provést orientační test pH betonu (karbonatace betonu) pomocí pH indikátoru nebo tzv. širokospektrého Rainbow indikátoru. Indikátor ve spreji je nanesen na vnitřní povrch sondy a pozoruje se zbarvení betonu, které se poté porovnává s kalibrační stupnicí od výrobce (Obr. 71). Zároveň se dokumentuje změna barvy po výšce vrtané sondy – hloubka karbonatace. Je-li zjištěná hodnota pH betonu v rozmezí 12,5–9,0 (prostředí silně zásadité) plní beton pasivační ochrannou funkci výztuže.



Obr. 71 Stupnice pH pro orientační zkoušku pomocí pH indikátoru (Rainbow Indicator) Zdroj: <http://germann.org/products-by-application/carbonation/deep-purple-and-rainbow-indicator>



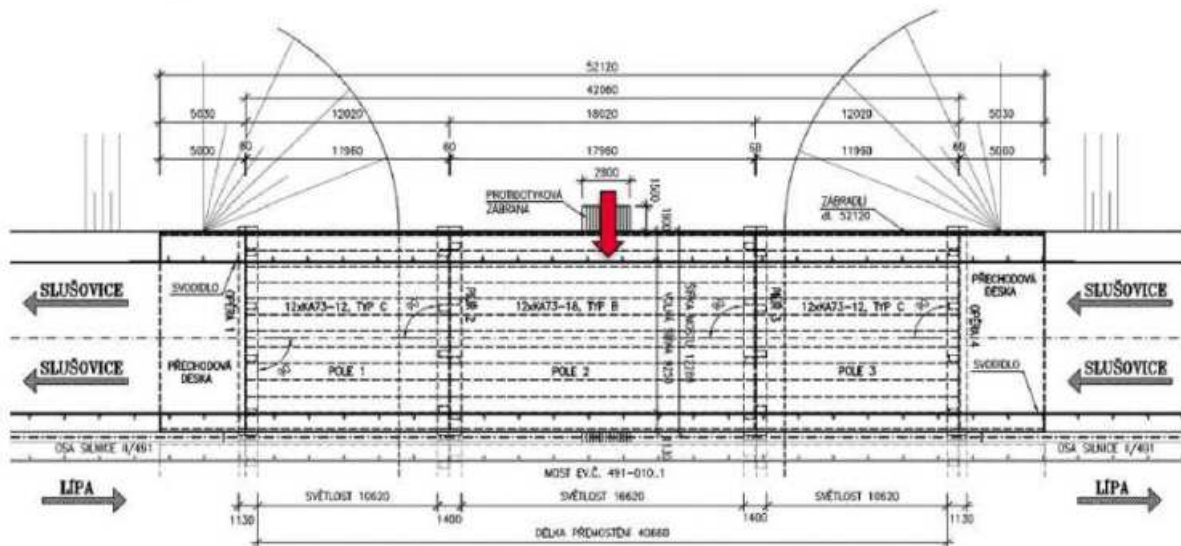
Obr. 72 Ukázka orientační zkoušky pH v otevřené sondě k výztuži

Součástí protokolu o provedené SDT sondě je i výsledné vyhodnocení započitatelnosti předpínací výztuže podle kap. 4.1.5.

PROTOKOL O PROVEDENÉ VRTANÉ SONDĚ

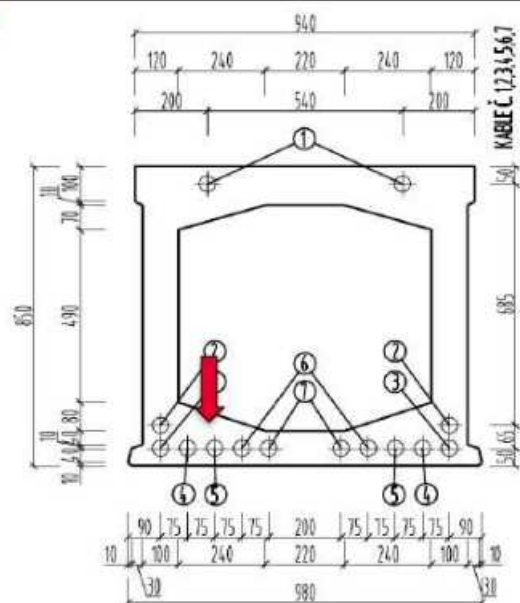
Akce:		
Datum:		
Označení sondy:	S7_2	Popis: - zařízení: Samsung SM-A320FL (ISO-40, 1/880 s, f/1.9, s bleskem)
Sonda k:	předpinací výztuž	
Umístění sondy:	pole 2	
Část nosníku:	uprostřed rozpětí	
Povrch nosníku:	dolní povrch	
Typ vrtání:	tvrdokovové; příklepové	
Odběr vzorků do lab.:	ano	

Umístění sondy na mostě:



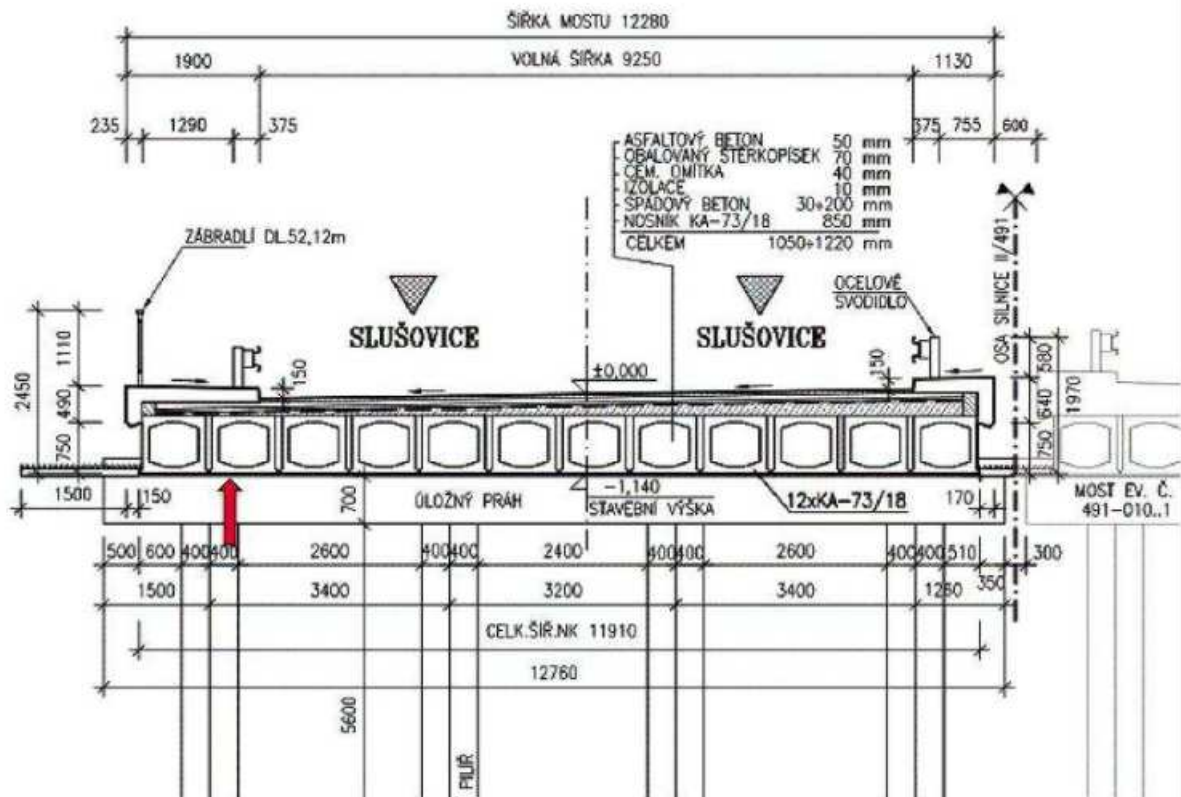
Geometrie sondy:	
Průměr:	40 mm
Hloubka:	35 mm
Vizuální zhodnocení sondy:	
Stav injektáže sondy:	plná injektáž
Koroze výztuže:	bez koroze
Vlhkost sondy:	suchá injektáž
Laboratorní zhodnocení sondy:	
Vodíkový exp. pH:	12.09
Chloridová koroze:	0.066
Započitatelnost předpinací výztuže:	
plně započitatelná	

Příčný řez:



Obr. 73 Ukázka č. 1 protokolu SDT sondy

Schémat a fotografie sondy (celkový pohled/detail):



Obr. 74 Ukázka č. 1 protokolu SDT sondy – pokračování

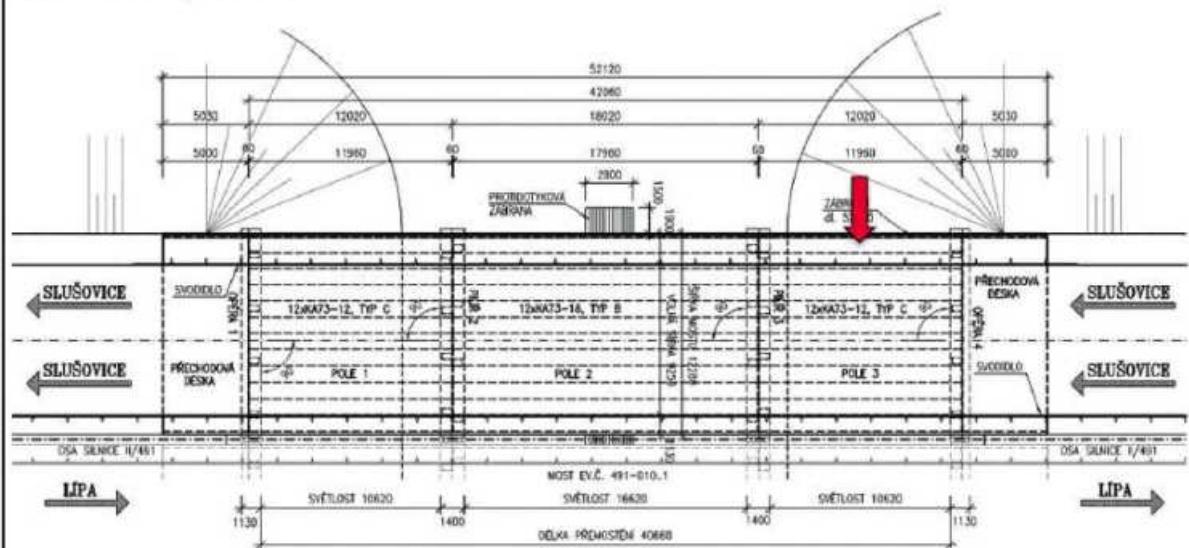


Obr. 75 Ukázka č. 1 protokolu SDT sondy – pokračování

PROTOKOL O PROVEDENÉ VRTANÉ SONDĚ

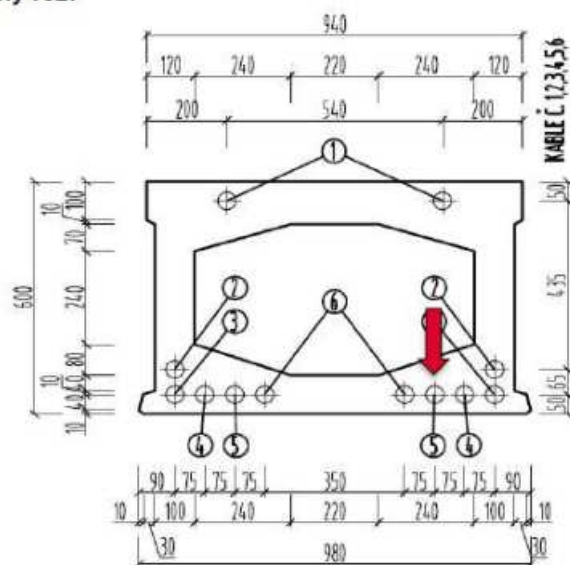
Akce:		
Datum:		
Označení sondy:	S2_3	Popis: - zařízení: Samsung SM-A320FL (ISO-40, 1/1119 s, f/1.9, s bleskem)
Sonda k:	předpinací výztuž	
Umístění sondy:	pole 3	
Část nosníku:	uprostřed rozpětí	
Povrch nosníku:	dolní povrch	
Typ vrtání:	tvrdokovové; příklepové	
Odběr vzorků do lab.:	ano	

Umístění sondy na mostě:



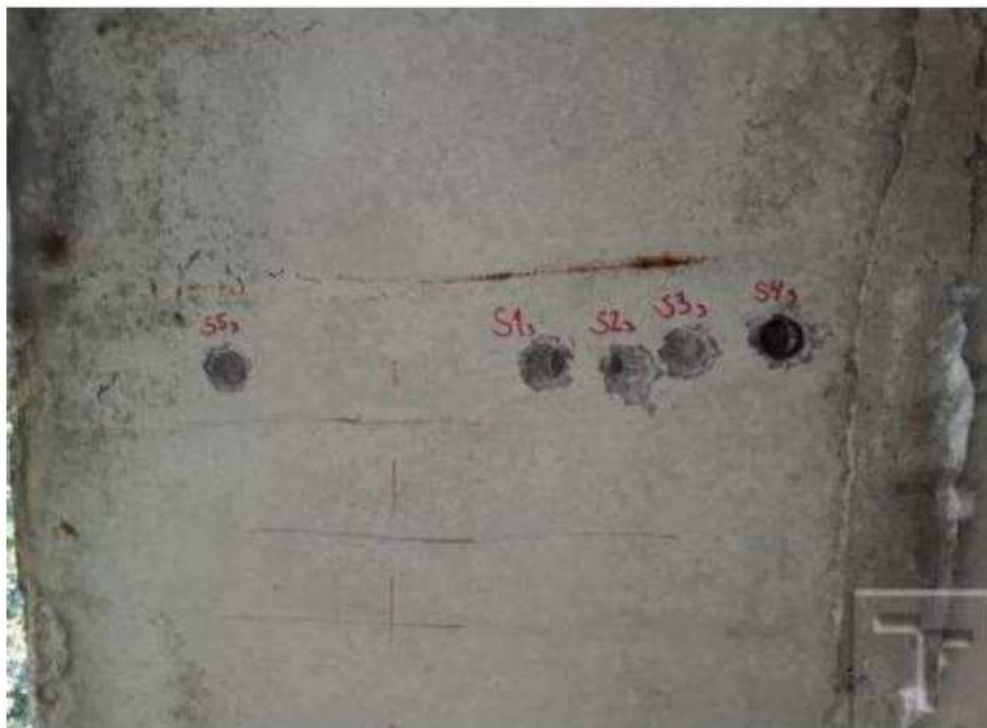
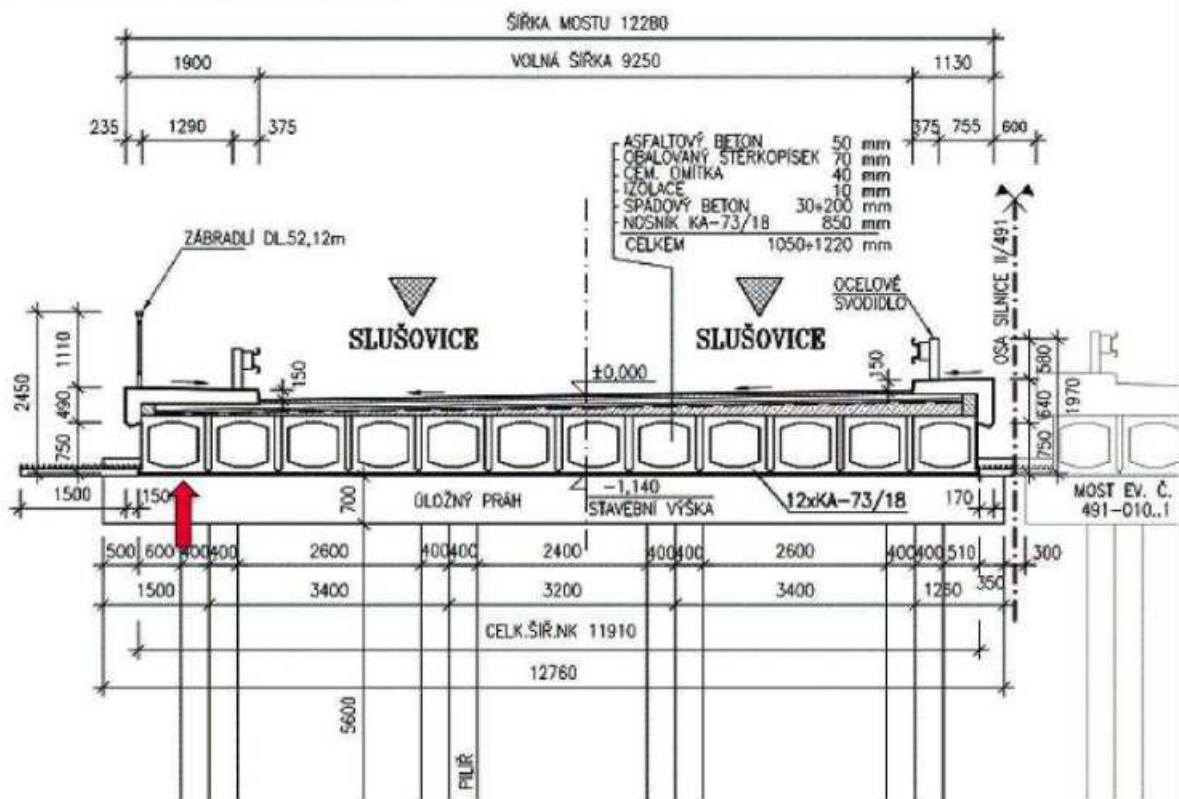
Geometrie sondy:	
Průměr:	40 mm
Hloubka:	35 mm
Vizuální zhodnocení sondy:	
Stav injektáže sondy:	plná injektáž
Koroze výztuže:	bez koroze
Vlhkost sondy:	suchá injektáž
Laboratorní zhodnocení sondy:	
Vodíkový exp. pH:	12.48
Chloridová koroze:	0.003
Započitatelnost předpinací výztuže:	
plně započitatelná	

Příčný řez:

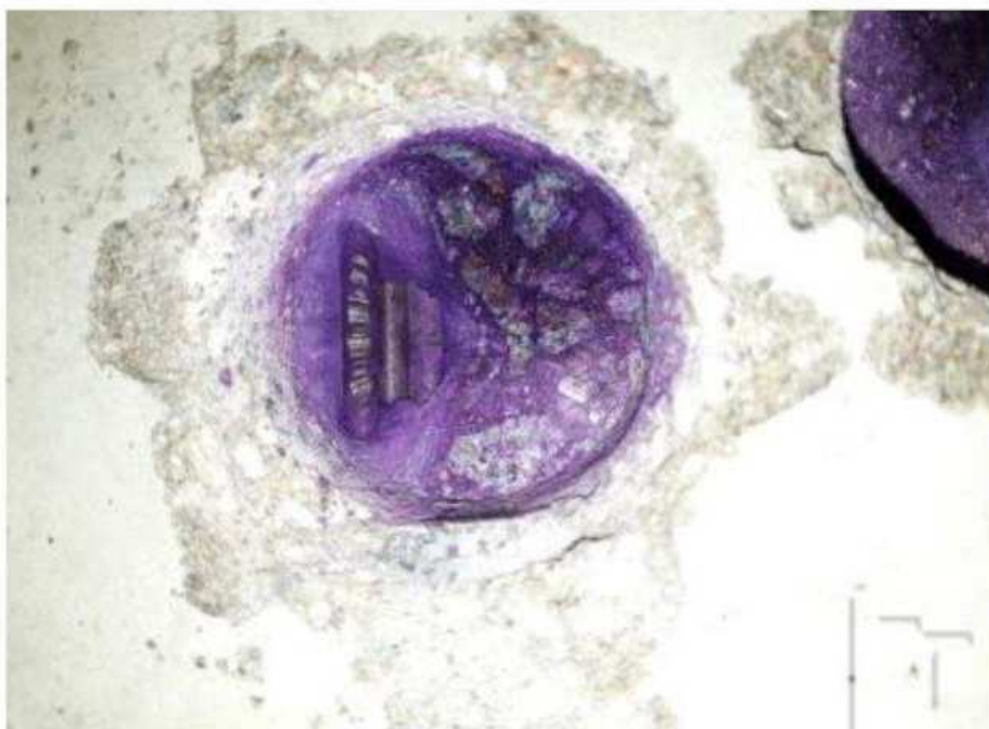


Obr. 76 Ukázka č. 2 protokolu SDT sondy

Schémat a fotografie sondy (celkový pohled/detail):



Obr. 77 Ukázka č. 2 protokolu SDT sondy – pokračování

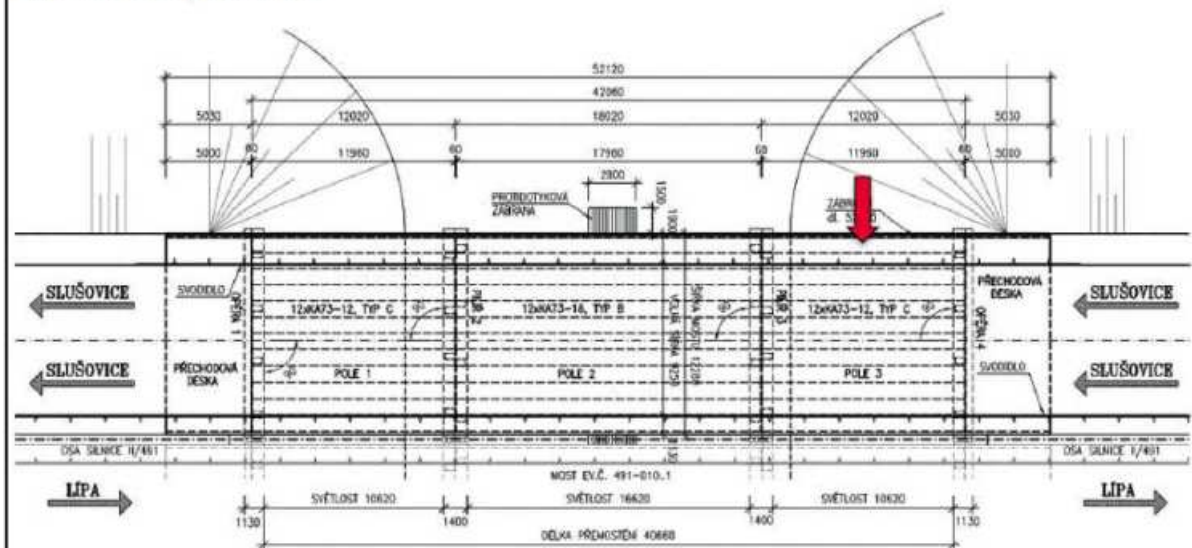


Obr. 78 Ukázka č. 2 protokolu SDT sondy – pokračování

PROTOKOL O PROVEDENÉ VRTANÉ SONDĚ

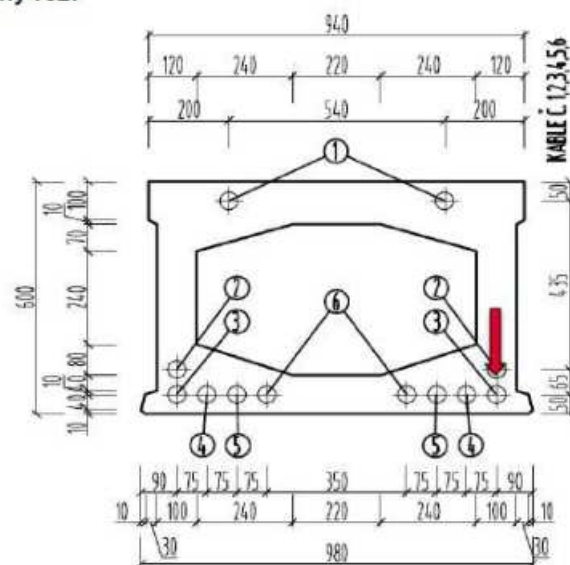
Akce:		
Datum:		
Označení sondy:	S4_3	Popis: - zařízení: Samsung SM-A320FL (ISO-40, 1/1119 s, f/1.9, s bleskem)
Sonda k:	předpinací výztuž	
Umístění sondy:	pole 3	
Část nosníku:	uprostřed rozpětí	
Povrch nosníku:	dolní povrch	
Typ vrtání:	tvrdokovové; příklepové	
Odběr vzorků do lab.:	ano	

Umístění sondy na mostě:



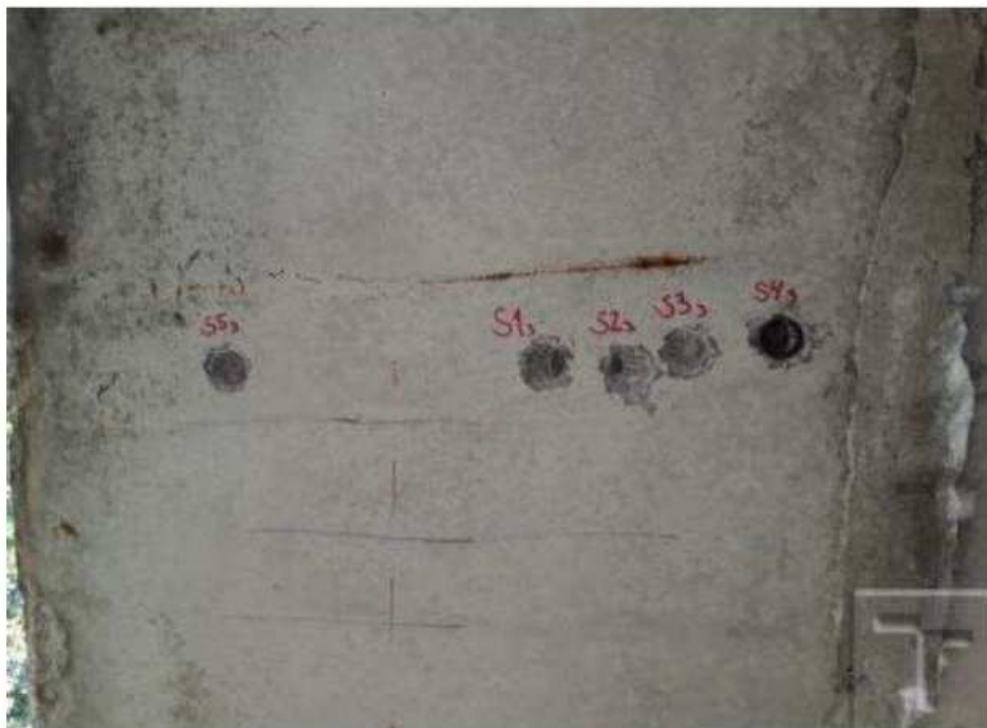
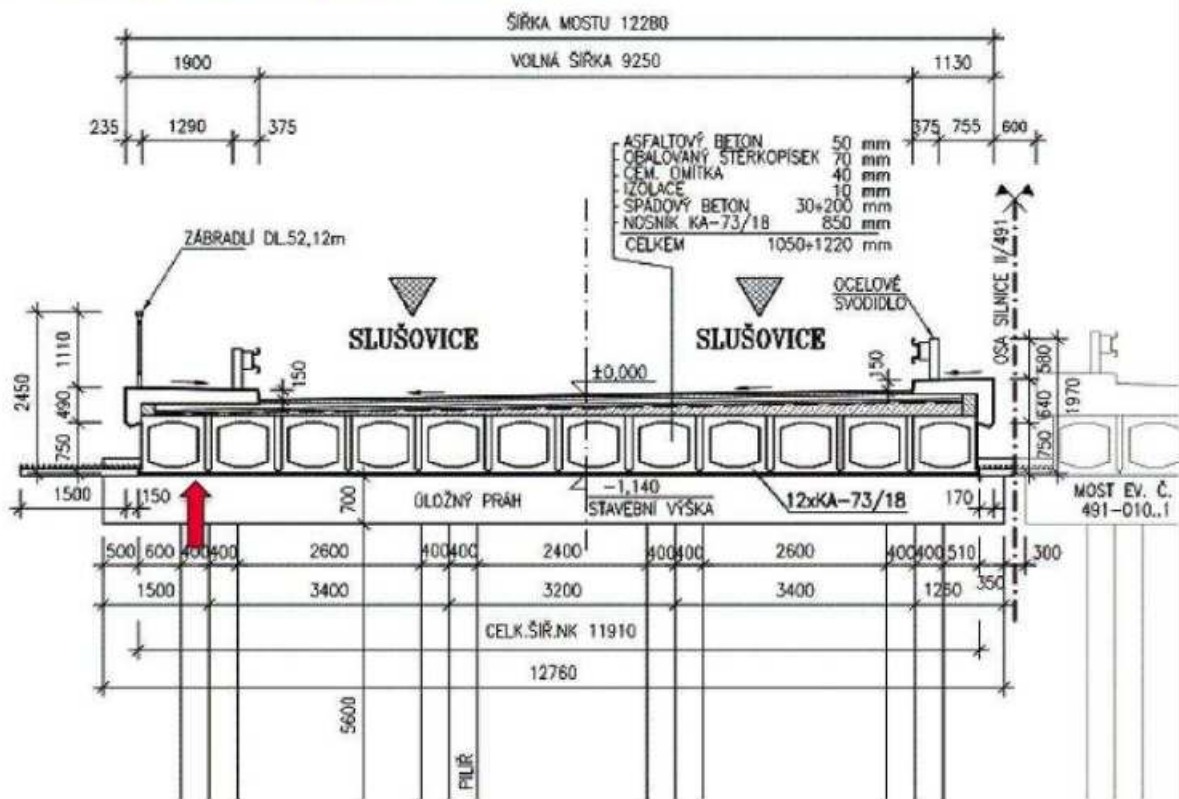
Geometrie sondy:	
Průměr:	40 mm
Hloubka:	35 mm
Vizuální zhodnocení sondy:	
Stav injektáže sondy:	plná injektáž
Koroze výztuže:	bez koroze
Vlhkost sondy:	suchá injektáž
Laboratorní zhodnocení sondy:	
Vodíkový exp. pH:	12.37
Chloridová koroze:	0.004
Započitatelnost předpinací výztuže:	
plně započitatelná	

Příčný řez:

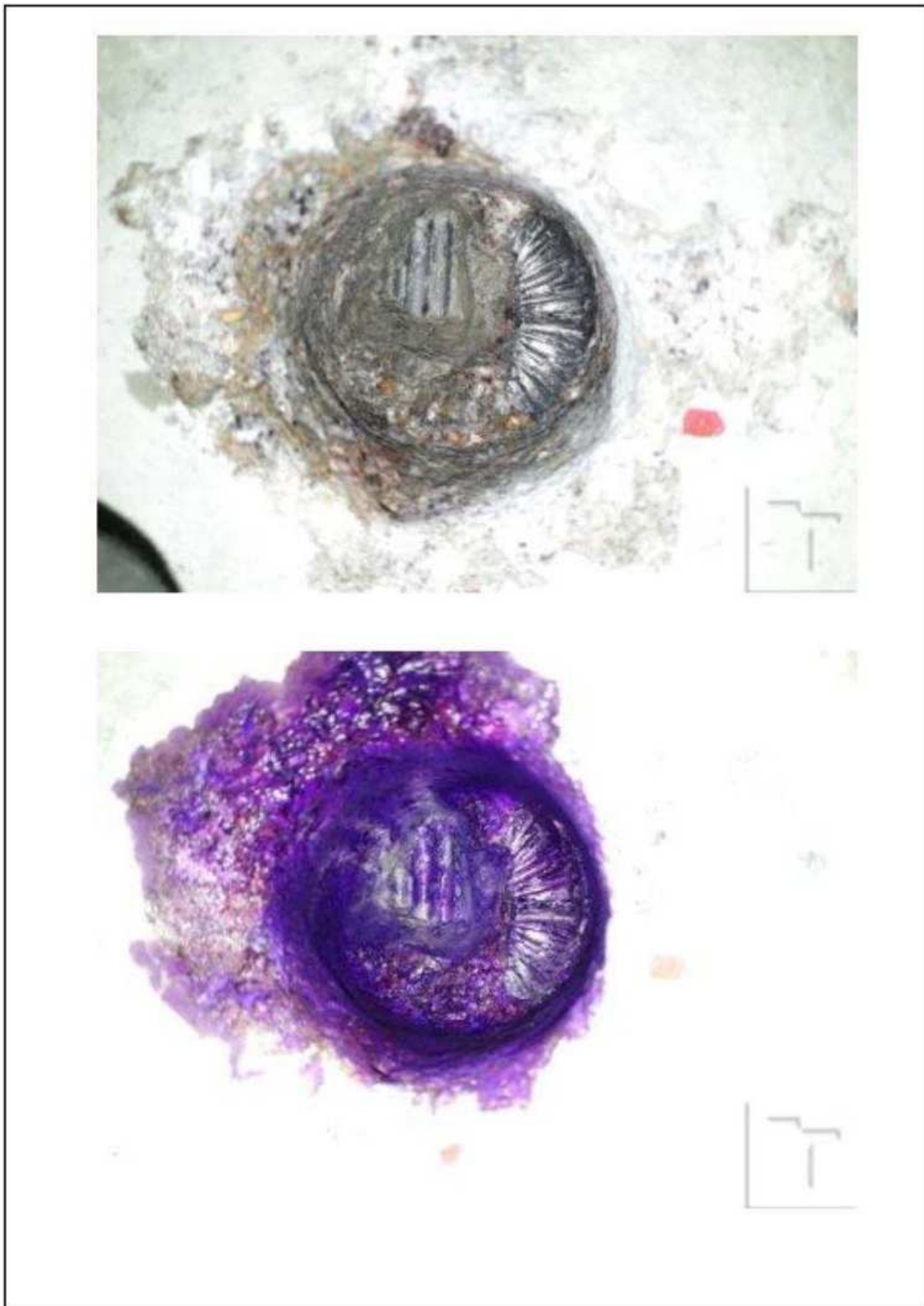


Obr. 79 Ukázka č. 3 protokolu SDT sondy

Schémat a fotografie sondy (celkový pohled/detail):



Obr. 80 Ukázka č. 3 protokolu SDT sondy – pokračování



Obr. 81 Ukázka č. 3 protokolu SDT sondy – pokračování

4.1.5 Vyhodnocení SDT sondáže

V rámci diagnostického průzkumu předpínací výztuže je nejdůležitější popis aktuálního stavu předpínací výztuže z pohledu korozního napadení, neboť právě koroze nejvíce ohrožuje zbytkovou únosnost předpjatých konstrukcí. V běžné inženýrské mostní praxi je aktuálně prakticky využitelná pouze vizuální metoda hodnocení korozního napadení předpínací výztuže, která je zaměřena především na změny, které jsou vyvolány předchozí aktivací oceli v korozním prostředí, které jsou:

- vzhledové změny;
- rozměrové změny.

Aby bylo možné na základě vizuálního hodnocení stanovit aktuální míru poškození korozí, je nutné, aby toto poškození bylo doprovázeno korozními produkty. Právě korozní produkty jsou pro hodnocení klíčové, protože díky jejich různému barevnému spektru je možné barevně (vizuálně) rozeznat „zdravý“ patentovaný drát, resp. kabel, od toho napadeného, u které je nutné v případě započitatelnosti redukovat jeho vlastnosti (geometrické, mechanické), případně jej ze statického výpočtu zcela vyloučit.

Nevýhodou běžného vizuálního způsobu hodnocení je fakt, že je závislé především na zkušenosti osoby, která provádí diagnostický průzkum předpínací výztuže a je tak do jisté míry hodnocením subjektivním.

Také je nutné zmínit, že vizuální hodnocení je méně vhodné pro nerovnoměrné formy koroze (např. jsou-li v okolí PV přítomny chloridy).

Pro vizuální hodnocení je klíčové zajištění dobrého osvětlení předmětu hodnocení. Pro běžné hodnocení lze použít buď umělé nebo přirozené denní světlo. Je ovšem třeba mít na paměti, že vlastnosti přirozeného denního světla nejsou konstantní a vyhodnocování v přirozeném světle tak může být tímto vlivem ovlivněno [24]. Pro robustní vizuální vyhodnocení je ideální rozptýlené denní světlo charakteru světla dopadajícího z částečně zatažené oblohy na zkušební místo a zároveň je nutné se vyvarovat přímého slunečního světla. Ideální osvětlení by mělo být rovnoměrné s intenzitou cca 2 000 lx. Tyto ideální podmínky přirozeného osvětlení není v praxi často možné u SDT vrtaných sond v betonu dosáhnout, proto se přistupuje k hodnocení stavu předpínací výztuže při umělém osvětlení pomocí svítidel. SDT sonda by měla být umělým světlem osvětlena intenzitou cca 750 lx [24].

Protokol o hodnocení SDT sondy by měl být doplněn o informace týkající se typu osvětlení, při kterém bylo vyhodnocení prováděno a v případě umělého osvětlení se doporučuje uvádět podrobné údaje o zdroji světla.

V současné době neexistuje jednotný standardizovaný postup, podle kterého by vizuální hodnocení korozního stavu předpínací výztuže bylo prováděno napříč diagnostickými skupinami. Tento fakt vnáší do problematiky ještě větší míru neobjektivnosti. Diagnostické skupiny standardně používají pro popis stavu vlastní zpravidla pěti nebo šestistupňové škály. Pětistupňová základní klasifikační stupnice je následující:

- předpínací výztuž bez známek;
- povrchová koroze předpínací výztuže;

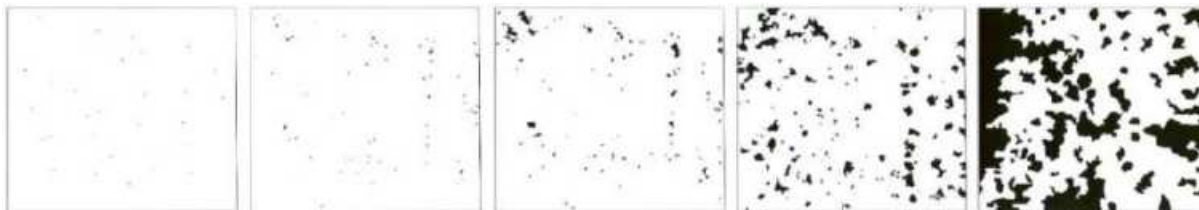
- koroze předpínací výztuže;
- hloubková koroze předpínací výztuže;
- korozivní rozpad předpínací výztuže.

Obdobná šestistupňová klasifikační stupnice byla publikovaná zaměstnanci Kloknerova ústavu v Praze na konferenci 26. Betonářské dny v roce 2019 [25]:

- Stupeň 1 Výztuž bez jakékoli známky koroze [25].
- Stupeň 2 Výztuž se začínající lokalizovanou povrchovou korozí. Lze zaznamenat původní nekorodující povrch. Nemá vliv na změnu průřezu [25].
- Stupeň 3 - Plošně rozvinutá povrchová koroze výztuže bez odlupujících se korozních zplodin. Vliv na zmenšení plochy výztuže a mechanické parametry není významný [25].
- Stupeň 4 - Plošně rozvinutá povrchová koroze výztuže. Korozní zplodiny se odlupují. Není však patrná zjevná změna tvaru průřezu a zmenšení plochy průřezu. Změna plochy však již nastává v úrovni %. Tento typ koroze je hraniční z hlediska míry negativního vlivu na mechanické vlastnosti výztuže [25].
- Stupeň 5 - Plošně rozvinutá povrchová koroze výztuže. Masivní odlupování korozních zplodin. Na povrchu drátů se tvoří rovnoměrná důlková struktura typu „pomerančová kůra“. Místy zjevná změna a zmenšení tvaru a průřezu drátu. Úbytek plochy je výrazný a dosahuje již řádu několika desítek % původní plochy [25].
- Stupeň 6 - Masivní odlupování korozních zplodin. Výrazná a zjevná změna tvaru drátů. Některé mohou být i porušené nebo překorodované. Výrazné zmenšení plochy výztuže, úbytek plochy na úrovni 50 % i více z původní plochy [25].

Nevýhodou vizuálního hodnocení je skutečnost, že osoba provádějící hodnocení podle klasifikační škály nemá možnost porovnat své výroky s „kalibračním“ zobrazením jednotlivých stupňů korozního napadení výztuže.

V oboru korozního inženýrství se lze setkat s vizuálním hodnocením rovnoměrné koroze pomocí tzv. stupně pokrytí korozními produkty podle technické normy [26]. V této normě [26] je uvedena metodika hodnocení na základě obrazových standardů pro klasifikaci jednotlivých stupňů prorezavění R_i , které se porovnávají s posuzovaným objektem zasaženým korozí. Obrazové standardy definují přibližné velikosti ploch s výskytem koroze, které odpovídají jednotlivým stupňům prorezavění R_i .



Obr. 82 Ukázka obrazových standardů podle [26] pro hodnocení stupně pokrytí korozními produkty Ri 1 až Ri 5

Stupeň prorezavění	Plocha s výskytem rzi %
Ri 0	0
Ri 1	0,05
Ri 2	0,5
Ri 3	1
Ri 4	8
Ri 5	40 to 50 ^a

Tab. 4 Tabulka stupně prorezavění a plocha s výskytem rzi podle [26]

Metodiku posuzování podle [26] by šlo do jisté míry adaptovat a aplikovat i pro hodnocení korozního stavu odhalené předpínací výztuže v SDT sondě, kdy porovnáním obrazového standardu s pozorovaným stavem předpínací výztuže v sondě, může osoba provádějící hodnocení stav koroze klasifikovat.

Pro sestavení obrazových standardů pro využití během SDT diagnostiky předpínací výztuže složené z předpínacích drátů je nutné nejprve stanovit geometrické předpoklady, vyplývající z provádění SDT vrtaných sond. Tyto sondy jsou zpravidla vytvořeny vrtáním tvrdokovovým vrtákem jmenovitého průměru 40 mm. Za předpokladu provádění sondy k předpínací výztuži typu Pz 4,5 (předpínacích kabelů složených z patentovaných drátů profilu 4,5 mm, jedná se o nejběžnější typ předpínacích drátů tyčových prefabrikátu z 60-90 let.) je maximální pozorovaná plocha jednoho drátu 179,7 mm² (viz Obr. 83).

Jednotlivé stupně pokrytí koroze Ri 0 až Ri 5 byly převzaty z [26] a přepočítány podle maximální viditelné plochy drátu v otevřené SDT sondě (Tab. 5).

stupeň pokrytí	plocha [mm ²]	%
Ri 0	0.00	0.00 %
Ri 1	0.09	0.05 %
Ri 2	0.90	0.50 %
Ri 3	1.80	1.00 %
Ri 4	14.38	8.00 %
Ri 5	71.88	40.00 %

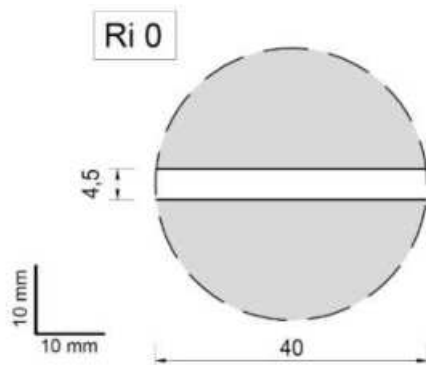
Tab. 5 Stupně pokrytí koroze Ri 0 až Ri 5 pro patentovaný drát Pz 4,5

Obrazové standardy jsou vytvořeny v měřítku 1:1 a představují vždy daný stupeň pokrytí drátu rovnoměrnou koroze obdobně, jako je tomu v případě hodnocení plošných prvků podle normy [26].

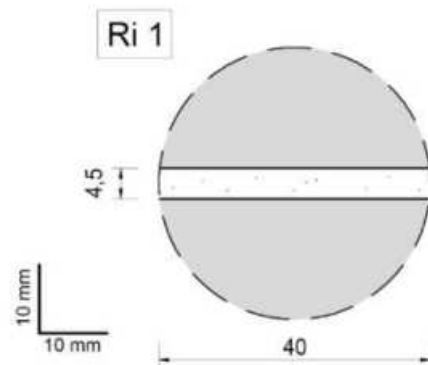


Obr. 83 Ukázka obrazového standardu patentovaného drátu Pz 4,5

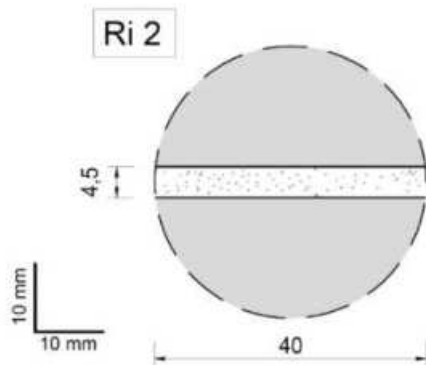
Níže jsou uvedeny obrazové standardy pro stupně pokrytí korozí podle Tab. 5 pro patentované dráty Pz 4,5. Černé plochy zobrazují plochy pokryté korozí.



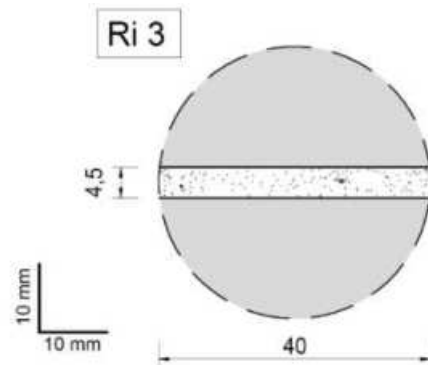
Obr. 84 Obrazový standard Ri 0 (Pz 4,5)



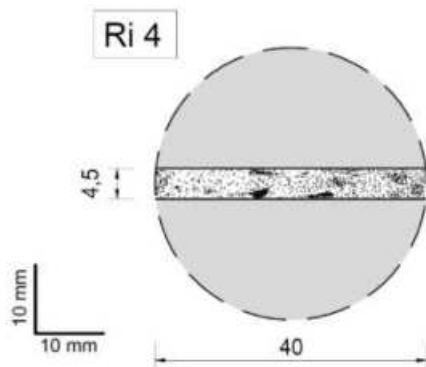
Obr. 85 Obrazový standard Ri 1 (Pz 4,5)



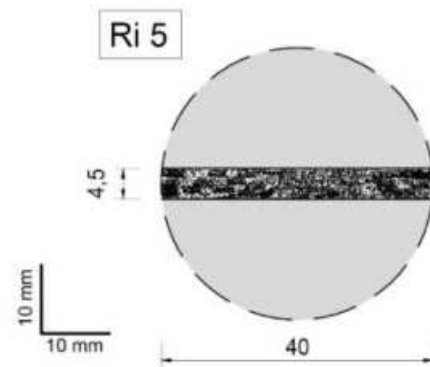
Obr. 86 Obrazový standard Ri 2 (Pz 4,5)



Obr. 87 Obrazový standard Ri 3 (Pz 4,5)



Obr. 88 Obrazový standard Ri 4 (Pz 4,5)



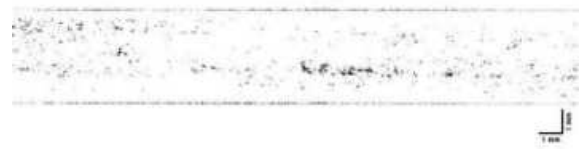
Obr. 89 Obrazový standard Ri 5 (Pz 4,5)

Jak již bylo zmíněno, pro vizuální hodnocení stavu koroze je nezbytná změna vzhledu, která je způsobena přítomností korozních produktů, nejčastěji rzi (FeOOH). V kapitole 3 jsou uvedeny stabilní korozní produkty oceli, které jsou kromě chemického vzorce také definovány svojí barvou (např. rez: lepidokrokrit – sytě oranžová, goethit – červenohnědá, akagenit – hnědá; a další: maghemit – hnědá, hematit – červenohnědá, magnetit – černá) a toho lze využít pro pokročilější vyhodnocení koroze předpínacích drátů pomocí post-processingu obrazových dat z SDT sond.

Níže jsou uvedeny ukázky (Obr. 90 až Obr. 97) skutečných patentovaných drátů Pz 4,5 v různých stupních koroze, které byly následně v post-processingu filtrovány a upraveny do binárního zobrazení na základě zvolené barevné škály korozních produktů. Tímto způsobem lze přímo porovnávat stupeň korozního pokrytí s obrazovými standardy Ri.



Obr. 90 Drát Pz 4,5 01



Obr. 91 Drát Pz 4,5 01 (binární zobrazení)



Obr. 92 Drát Pz 4,5 02



Obr. 93 Drát Pz 4,5 02 (binární zobrazení)



Obr. 94 Drát Pz 4,5 03



Obr. 95 Drát Pz 4,5 03 (binární zobrazení)



Obr. 96 Drát Pz 4,5 04



Obr. 97 Drát Pz 4,5 04 (binární zobrazení)

Na Obr. 98 až Obr. 103 jsou zobrazeny ukázky skutečných SDT vrtaných sond k předpínací výztuži v různých stádiích napadení korozí a jejich binární zobrazení po provedeném post-processingu na základě barevné škály korozních produktů.



Obr. 98 SDT sonda 01



Obr. 99 SDT sonda 01 (binární zobrazení)



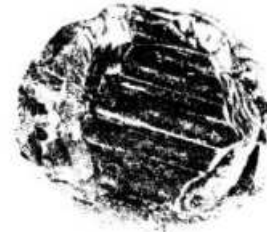
Obr. 100 SDT sonda 02



Obr. 101 SDT sonda 02 (binární zobrazení)



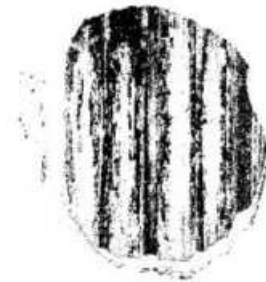
Obr. 102 SDT sonda 03



Obr. 103 SDT sonda 03 (binární zobrazení)



Obr. 104 SDT sonda 04



Obr. 105 SDT sonda 04 (binární zobrazení)

Tento přístup k hodnocení koroze patentovaných drátů může být dále rozvíjen a v budoucnosti může být plně digitalizován a automatizován.

V procesu výsledného vyhodnocování podrobné diagnostiky metodou SDT vrtaných sond se jedná o multikriteriální hodnocení a je nutné brát v úvahu níže uvedené faktory:

- podmínky, ve kterých byl prováděn diagnostický průzkum (roční období, teplota, srážky, vlhkost apod.);
- statické působení mostní konstrukce;
- umístění a provedení konstrukčních detailů;
- viditelné poruchy a závady předpjaté mostní konstrukce (trhliny, zatékání);
- deformační a jiné projevy mostní konstrukce (např. dynamická odezva);
- stav předpínací výztuže v místech provedených SDT sond;
- faktory ovlivňující aktivaci oceli a inicializaci koroze (okolní prostředí, typ koroze, korozní produkty atd.);
- umístění předpínací výztuže v objemu konstrukce (projektová dokumentace);
- spolehlivost injektáže (směr injektování);

- tzv. lidský rozměr koroze, poruch a závad;
- výstupy dalších metod (NDT, endoskop atd.).

4.2 Diagnostika předpínací výztuže v kotevní oblasti

4.2.1 Vizualní endoskopie

Vizuální endoskopická defektoskopie je velice efektivní semi-destruktivní metoda pro vizuální průzkum a kontrolu běžně nepřístupných prostor zejména dutin např. nezainjektovaných kabelových kanálků, nedobetonovaných dutin (kaveren) apod. za předpokladu, že dutiny jsou přiměřeně tenkým endoskopem přístupné a za předpokladu, že vůbec existují.



Obr. 106 Odhalené kotevní oblasti předpjatých prefabrikovaných nosníků I-73

Vizuální endoskopická prohlídka se realizuje především za účelem identifikace případných skrytých vad či poruch nosných konstrukcí. Vizualně se hodnotí zejména aktuální stav materiálů z hlediska koroze, výskyt staticky významných trhlin a mechanických poškození [23].

Semi-destruktivní charakter provedení vizuální endoskopie spočívá ve skutečnosti, že není nutno otevírat velké průzkumné sondy nebo demontáž lokálních částí konstrukce. Pro realizaci endoskopie stačí vyvrtat malý sondážní vrt o min. průměru cca 8 až 12 mm (průměr vrtu závisí na typu endoskopu). Pro stavební diagnostickou endoskopii se zpravidla používají technické, resp. průmyslové endoskopy. Jedná se o optické přístroje pro vizuální kontrolu obtížně přístupných či nepřístupných míst. Pomocí snímacího zařízení, které je umístěno na pevném či ohebném kabelu, se přenáší obraz z místa pozorování k pozorovateli. V dnešní době se nejčastěji využívají tzv. videoskopy, které spočívají v digitalizaci obrazu kamerou a jeho zobrazení přímo na displeji přístroje ve formě videosekvencí nebo fotografií. Data z průzkumu lze zpravidla uložit do paměti přístroje nebo přímo na externí uložení (nejčastěji micro SDXC karty apod.). Po dokončení prohlídky jsou tyto otvory jednoduše zapraveny [23].



Obr. 107 Ukázka fotografie z vizuální endoskopie

Závěry z endoskopického průzkumu jsou poté vytvářeny na základě vizuálního vyhodnocení obrazových dat z endoskopu (další ukázky jsou uvedeny na Obr. 108 až Obr. 111).



Obr. 108 Ukázka fotografie z endoskopie



Obr. 109 Ukázka fotografie z endoskopie



Obr. 110 Ukázka fotografie z endoskopie



Obr. 111 Ukázka fotografie z endoskopie

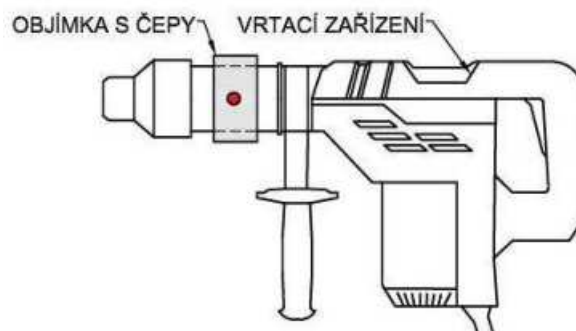
4.3 Mechanické pomůcky pro provádění SDT sond

V rámci řešení projektu č. CK01000042, zabývajícího se mimo jiné experimentálním ověřením diagnostických postupů a navrhovaného měření vyvstal požadavek na vývoj některých specifických pomocných zařízení, umožňujících dosažení požadovaných úkonů pomocí standardního vybavení. Jedním z těchto zařízení je „Přípravek pro mechanické provádění semi-destruktivní diagnostiky“ a druhým je „Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou“. Oba přípravky jsou popsány níže.

4.3.1 Přípravek pro mechanické provádění semi-destruktivní diagnostiky

Přípravek pro mechanické provádění semi-destruktivní diagnostiky umožňuje snížení fyzické náročnosti pro prováděcí pracovníky a současně zvýšení intenzity přítlaku na břity při navrtávání sond pro kontrolu předpínací výztuže v kabelových kanálcích. Vlastní konstrukce přípravku sestává ze třech samostatných částí. Objímky, závěsu a teleskopické páky.

Objímka zajišťuje přenos sil z páky na vrtací zařízení. Sestává z vlastní objímky ve tvaru prstence a čepů. Objímka se upevní k tělu vrtacího zařízení v blízkosti rychloupínacího sklíčidla (Obr. 112). K objímce jsou upevněny dva čepy, ležící na jednom paprsku. Jsou tedy vůči sobě pootočené o 180° se středem otáčení v ose objímky. Průměr čepů činí 16 mm a jejich délka od vnějšího povrchu objímky je cca 30 mm. Objímka se skládá z dvou protikusů rozříznuté trubky. Na každém okraji je navařena z ploché oceli příruba s otvorem. Sevření objímky umožňují šrouby, procházející skrz otvory v navařených přírubách.



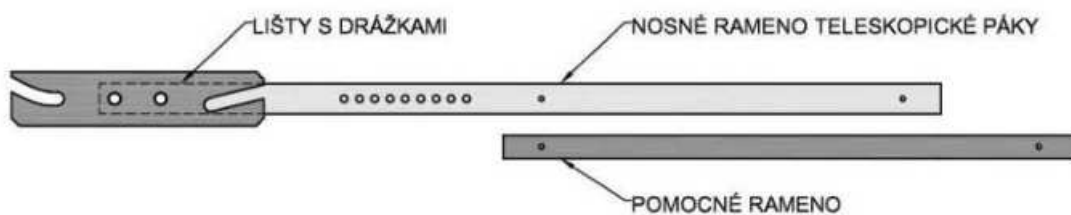
Obr. 112 Objímka s čepy umístěná na vrtacím zařízení

Pro uchycení páky je nutné instalovat do vhodné polohy ocelový závěs. Závěs je tvořen paralelně uspořádanou dvojicí pásové oceli průřezu 35/5 mm, na konci spojenou navařením úhelníku 50/50/5 (Obr. 113). Z opačné strany úhelníku vystupuje dřík šroubu M12 x 25. Do pásů oceli jsou vyvrtány otvory Ø 10 mm po vzdálenosti 50 mm. Celkem je zhotoveno 11 otvorů v podélné ose závěsu s celkovou délkou 750 mm. Poslední otvor je využitý pro spojení pásů na volném okraji, světlá vzdálenost mezi pásy je vyplněna trubičkou a celé je to staženo pomocí šroubu M10 x 50.

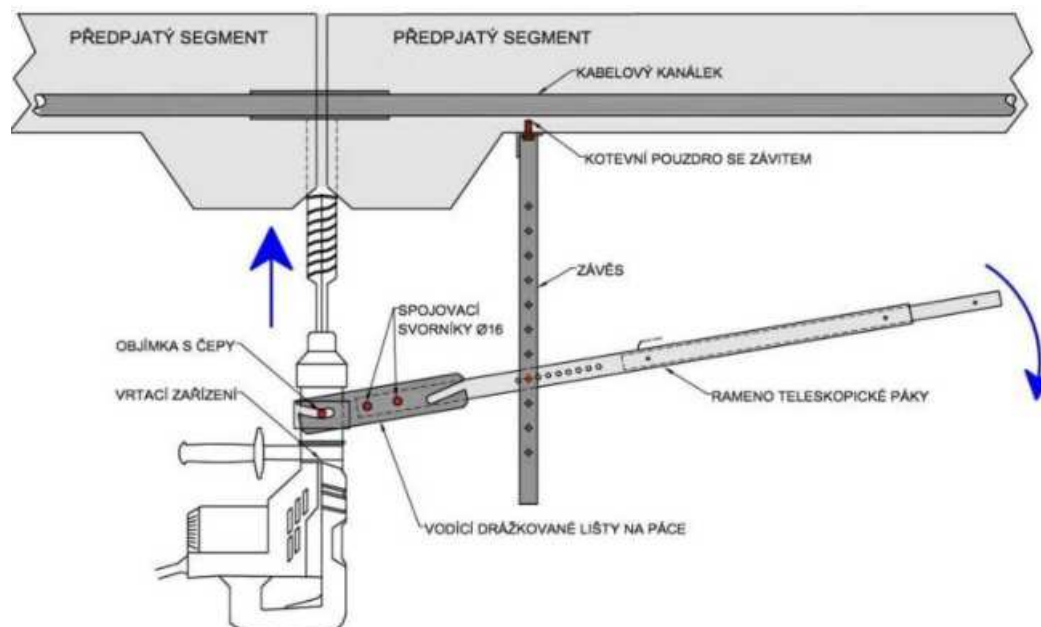


Obr. 113 Ocelový závěs

Vlastní páka sestává ze dvou částí, ramene teleskopické páky a vodících drážkovaných lišt (Obr. 114). Lišty na konci páky se nasazují na čepy objímky, připevněné k vrtacímu zařízení. K páce jsou upevněny pomocí dvojice svorníků $\varnothing 16$ mm s možností regulace vzdálenosti od osy rotace vrtáku. V případě použití masivnějšího případně subtilnějšího těla za upínací hlavou na vrtacím zařízení, lze použít objímku jiného průměru a na páce se pouze upraví vzájemná vzdálenost lišt dle potřeby. Páku lze tedy využít univerzálně. Samotné lišty jsou vyrobeny z ploché oceli 70/5 mm dl. 330 mm. Z každé strany je vyřezána drážka šířky 18 mm pro vedení čepů. Délka drážky činí přibližně 75 mm a byla navržena na základě kinematické analýzy. Teleskopické rameno páky je zhotoveno z dvojice profilů Jakl. Na nosném rameni délky 1100 mm o průřezu 40/20/3 jsou upevněny lišty a ve střední části je řada z devíti otvorů $\varnothing 10$ mm s osovou roztečí 20 mm. Do tohoto nosného ramene se zasouvá, z opačné strany, než jsou lišty, pomocné rameno profilu 30/10/2 s délkou 750 mm. Fixace pomocného ramena proti vyklouznutí je možná přes otvory na koncích obou ramen s vložením zajišťovacího šroubu M6. Při zajištění tímto šroubem je tak efektivní délka prodloužení 650 mm (100 mm tvoří velikost zásuvu pomocného Jaklu do Jaklu nosného ramene).



Obr. 114 Páka přípravku pro zvýšení intenzity přitlaku při vrtání



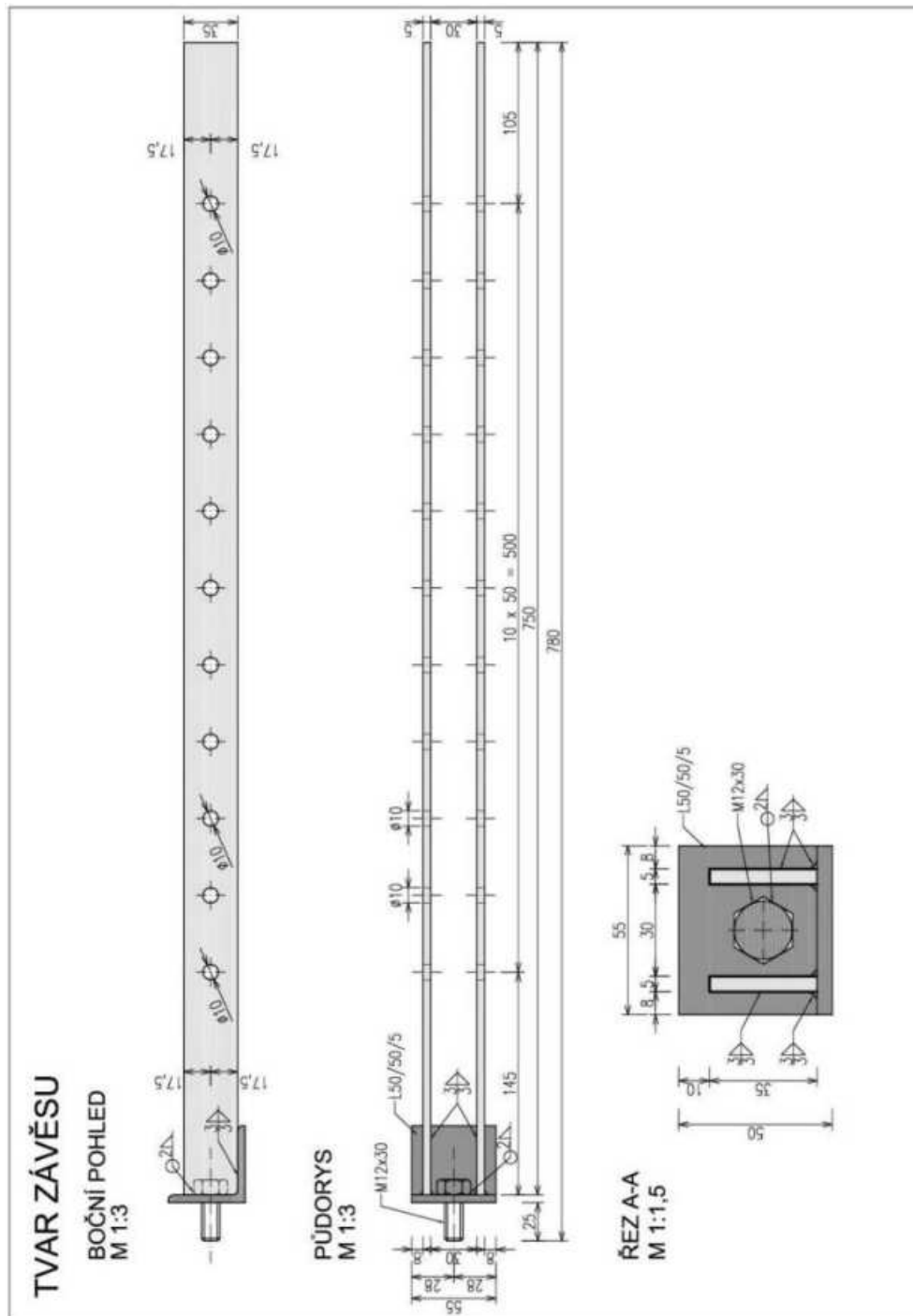
Obr. 115 Kompletní sestava – vrtací zařízení a přípravku pro zvýšení intenzity přitlaku

Na diagnostikované konstrukci se definují oblasti, kde budou provedeny sondážní vrty. Pro tento typ průzkumu se volí zpravidla použití vrtáků $\varnothing 40$ mm a více, s tvrdokovovými břity

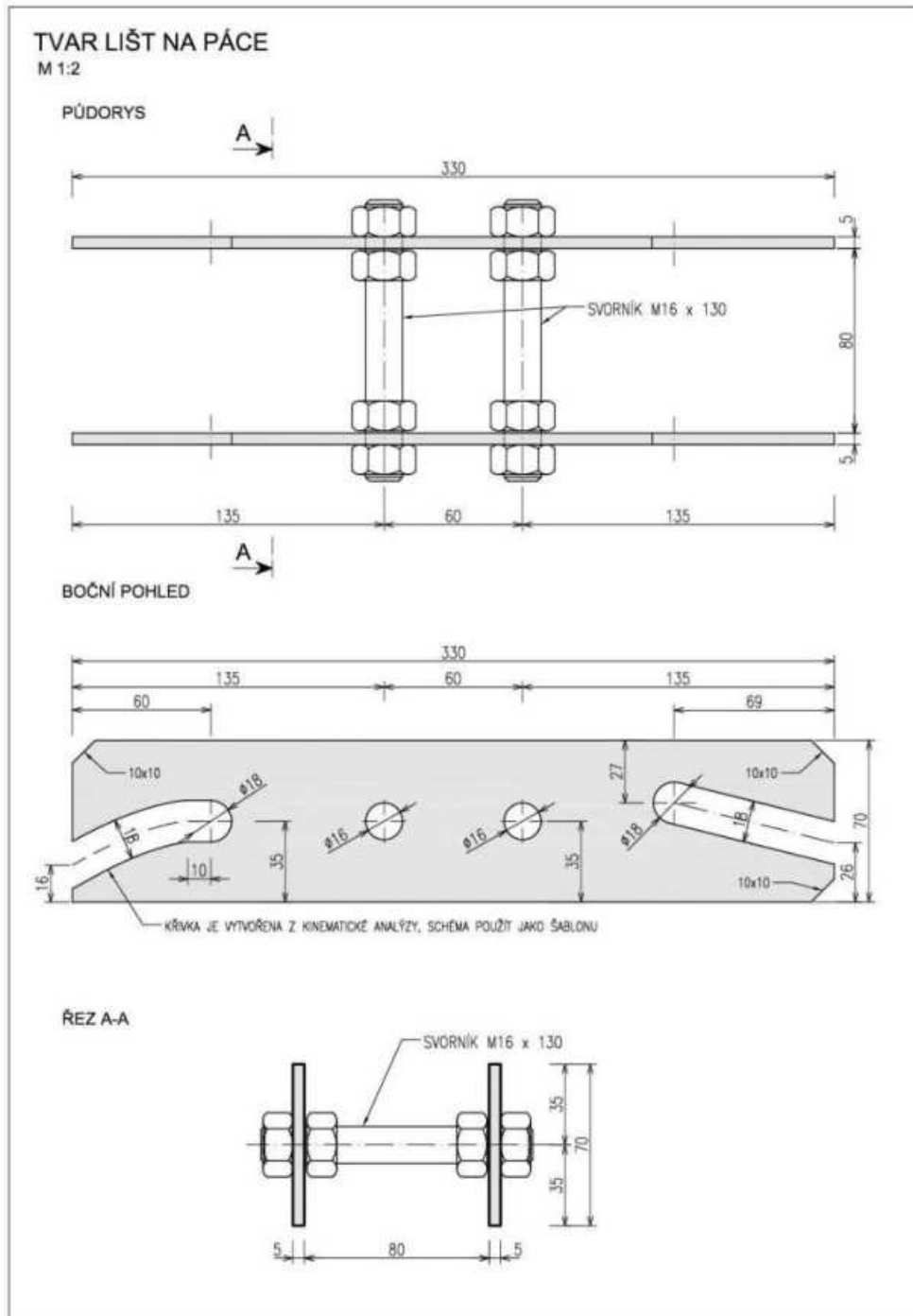
a upínáním do sklíčidla SDS max. V konkretizované oblasti se pak stanoví vzdálenost vrtů a to tak, aby bylo možné z jednoho postavení popisovaného přípravku zajistit pomocný přitlak u více vrtů. Vzhledem k časovým nákladům na vlastní instalaci se doporučuje využití jednoho postavení pro zhotovení dvou a více průzkumných vrtů. Pokud se jedná o nasazení u jednoho vrtu, má tento přípravek přínos, pokud se očekává délka vrtů v řádu desítek centimetrů. Po zaznačení polohy vrtů se stanoví bod pro upevnění závěsu, a to takovým způsobem, aby dosahovaly drážky v lištách na páce do úrovně svislých os vrtů (postačuje přibližné odměření přiložením teleskopického ramene v horizontální poloze). Drobnější korekce lze provést posunem ramene v závěsu a zajištěním pomocí šroubu v libovolném otvoru. Do určeného bodu se upevní mechanická kotva s vnitřním závitem M12. Do kotvy se upevní závěs, který tak bude podvěšen pod nosnou konstrukcí. Následně se již do závěsu vsadí teleskopické rameno a nastaví se přesná vzdálenost vůči ose zamýšleného sondážního vrtu. Rameno se zajistí vůči závěsu vsunutím šroubu do otvorů v místě jejich křížení. Na vrtací zařízení se upevní objímka s čepy a následně se provede navrtání otvoru do hloubky cca 5–10 mm. Jakmile je definována poloha vrtu s absencí možnosti náhodného posunu vrtáku vůči zamýšlené poloze vrtu, je možné vsunout čepy na objímce do drážek v lištách na teleskopické páce. Obsluha vrtacího zařízení v této chvíli již nemusí zajišťovat vyžadovaný přitlak do vrtu, vše přebírá přes páku pomocný pracovník (Obr. 115). Obsluha tak má prostor k řádné korekci požadovaného náklonu osy vrtání. Protože pákový převod mění směr silového působení pracovníka a současně snižuje jeho vyžadovanou zátěž, má i tento pomocný pracovník možnost jemnější korekce přitlaku zejména v oblastech přechodu jednoho materiálu do druhého. Tím je docíleno omezení nežádoucí nepřiměřené destrukce samotných kabelových kanálků.



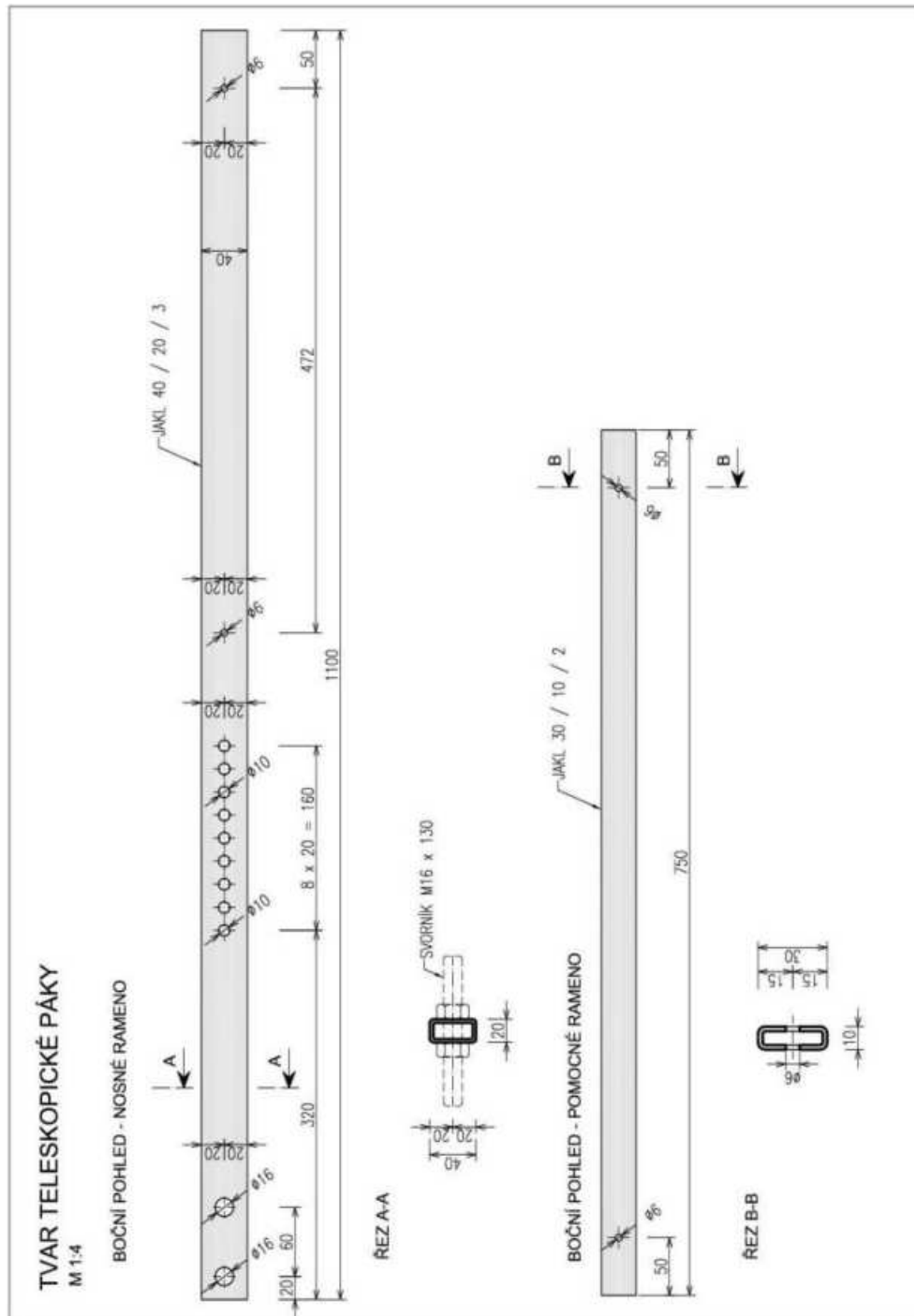
Obr. 116 Pohled na závěs s teleskopickou pákou



Obr. 117 Tvar závěsu



Obr. 118 Tvar lišt na páce



Obr. 119 Tvar teleskopické páky



Obr. 120 Pohled na závěs vlevo, vpravo detail lišt s drážkami



Obr. 121 Objímka s čepem pro uchycení vrtacího zařízení



Obr. 122 Celkový pohled na přípravek



Obr. 123 Detail styku hlavy lafety a stojanu



Obr. 124 Detail bodu uchycení vzpěry ke stojanu

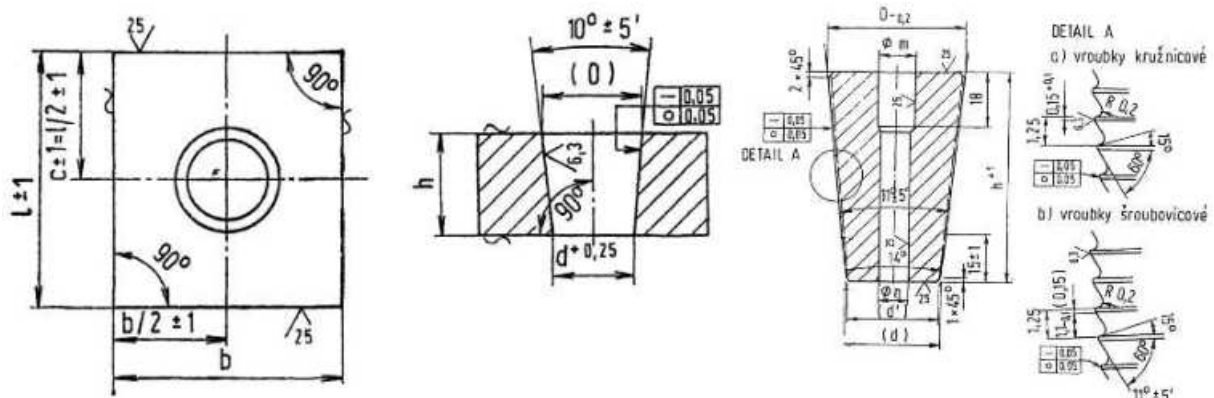


Obr. 125 Napojení vzpěry na lafetu

4.3.2 Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou

Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou umožňuje upnutí magnetického vrtacího zařízení pro definované otevření SDT vrtané sondy skrze kotvení předpínacích systémů z 60-90 let minulého století pro diagnostiku souběžně sdružených hladkých patentovaných drátů kruhového průřezu jmenovitého průměru 4,5 mm nebo 7 mm tvořící předpínací kabel (ozn. 13 ϕ P 4,5, 20 ϕ P 4,5, 12 ϕ P 7).

U těchto systémů bylo kotvení předpínacích kabelů realizováno dle normy ČSN 74 2870 „Ocelové kotvy pro kotvení kabelů konstrukcí z dodatečně předpjatého betonu“, kdy kotevní systém se skládá z kotevní desky a jednoho nebo více kotevních kuželíků. Podle počtu kotvených kabelů se rozeznávají kotvy jednoduché, anebo kotvy sdružené. Jednoduchá kotva se skládá ze čtvercové nebo obdélníkové kotevní desky s kuželovitou hladkou dírou a z příčně vroubkovaného kotevního kuželíku. Sdružená kotva se skládá z obdélníkové desky se dvěma nebo více kuželovitými děrami. Jednotlivé patentované dráty procházejí kuželovitou dírou v kotevní desce a rovnoměrně rozložené po jejím obvodu jsou k jejímu povrchu přitlačovány kotevním kuželíkem. Předpínací síla se z kabelu přenáší do kotvy třením mezi dráty a povrchem kuželovité díry kotevní desky. Kotvení se tak nazývá samosvorné [27].



Obr. 126 Kotevní deska jednoduché kotvy a kotevní kuželík podle [27]

Kotevní desky se vyráběly z ocelových rovnaných plochých tyčí obvykle válcovaných za tepla z konstrukční oceli 11600.1 podle normy ČSN 41 1600. Kotevní kuželíky se vyráběly z ocelových kruhových tyčí tažených za studena nebo válcovaných za tepla z chromové oceli 14100.3 (podle norem ČSN 41 4109 a ČSN 41 4100) nebo z ušlechtilé uhlíkové oceli 12060.1 válcované za tepla nebo z ušlechtilé uhlíkové oceli 12060.2 tažené za studena (podle normy ČSN 41 2060) [27].

V současnosti jediný způsob diagnostického průzkumu předpínací výztuže v oblasti před kotvou, kde dochází vlivem sednutí injektáže k častým poruchám předpínacích kabelů, je otevření SDT vrtané sondy skrze kotevní systém pro protažení endoskopické kamery (průměr čočky cca 4 mm) a následná vizuální kontrola stavu injektáže a koroze předpínací výztuže na základě získaných obrazových materiálů, tak jak je ukázáno na Obr. 129 a Obr. 130.



Obr. 127 Sdružená kotva (kuželíky s otvorem)



Obr. 128 Sdružená kotva (kuželíky bez otvoru)



Obr. 129 Snímek z endoskopu

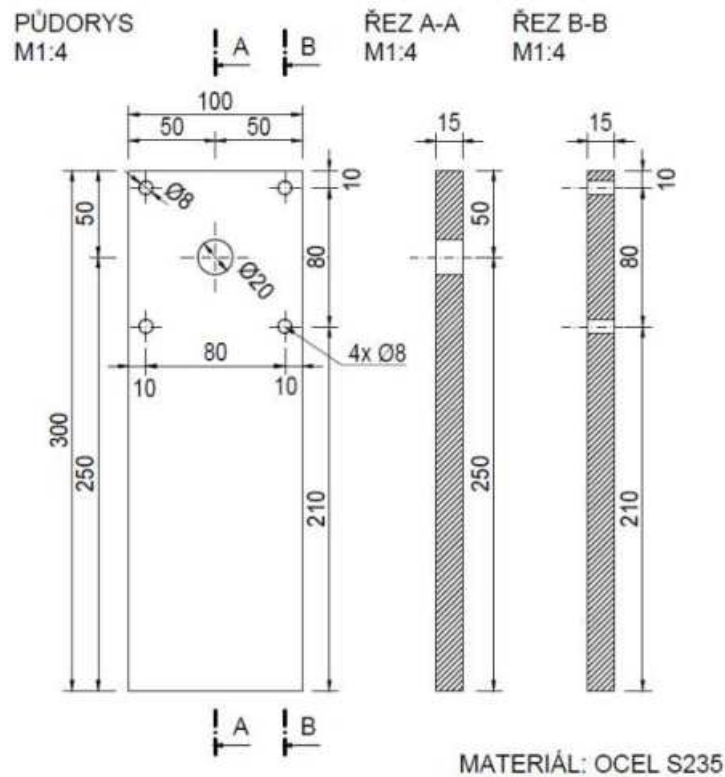


Obr. 130 Snímek z endoskopu

Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou je navržen pro upnutí vrtacího zařízení a pro definované vedení vrtáku, omezení námahy a zajištění bezpečnosti obsluhy při provádění vrtané sondy. Vrtaná sonda se zpravidla vede skrze podélný průběžný otvor kuželíku průměru 8 až 10 mm (Obr. 127), který se využíval jako plnicí injektážní otvor, je-li tento typ kuželíku využit. V častých případech kotevní kuželíky průběžný otvor neobsahují (Obr. 128), a proto je nutné zbudovat otvor do materiálu kuželíku dodatečně za využití prezentovaného funkčního vzorku. Materiál kotevních kuželíků je kalen na tvrdost podle Rockwella $H_{RC} = 58$, proto je nutné zvolit pro vrtání tohoto materiálu vhodné vrtací zařízení (vysoké otáčky vrtání cca 2000 ot/min) s vrtákem umožňujícím vrtání kalené oceli (např. monolitní karbidové vrtáky).

Přípravek se pomocí čtyř závitových šroubů připevní ke stávající kotevní desce (která může být umístěna kdekoliv v objemu betonu) do předem předvrtaných otvorů se zhotoveným vnitřním závitem M6, které jsou umístěny podle rastru 80x80 mm otvorů profilu 8 mm (viz Obr. 131). Závitové šrouby zároveň umožňují nastavení roviny kolmé k vedenému vrtu sondy, která může být pod různým úhlem skloněná. Následně se pomocí středového otvoru profilu 20 mm může vycentrovat vrták vůči kotevnímu kuželíku pro provedení sondážního vrtu.

TVAR PŘÍPRAVKU PRO OVĚŘENÍ INJEKTÁŽE A KOROZE
V OBLASTI PŘED KOTVOU



Obr. 131 Výkresová dokumentace funkčního vzorku V7



Obr. 132 Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou – fotografie

Přípravek byl testován v rámci diagnostického průzkumu předpínací výztuže předpjatého nosníku I-73 z roku cca 1980, tak jak je zachyceno na Obr. 133 až Obr. 136.



Obr. 133 Čelní pohled na uchycený přípravek pro vrtání



Obr. 134 Boční pohled na uchycený přípravek pro vrtání



Obr. 135 Boční pohled na uchycení magnetického vrtacího zařízení a provádění sondážního vrtu



Obr. 136 Detailní pohled na uchycení magnetického vrtacího zařízení a provádění sondážního vrtu

5. ZAPOČITATELNOST PŘEDPÍNACÍ VÝZTUŽE NA ZÁKLADĚ PROVEDENÉ DIAGNOSTIKY

5.1 Kotevní délky přerušené předpínací výztuže

Kotevní délka přerušené předpínací výztuže byla měřena na skutečném nosníku I-73 během řízeného přerušování předpínacích kabelů a současného sledování pokluzů přerušených drátů. Experimentálním měřením a následným rozbořem získaných obrazových dat (digital image correlation) byly získány číselné výsledky pokluzů jednotlivých přerušených drátů předpínacího kabelu v otevřených sondách na přímých kabelech a na zvedaném kabelu, na základě kterých byla experimentálně stanovena skutečná kotevní délka předpínací výztuže a to nalezením místa s nulovým pokluzem, ve kterém došlo k plnému překotvení předpínací síly.

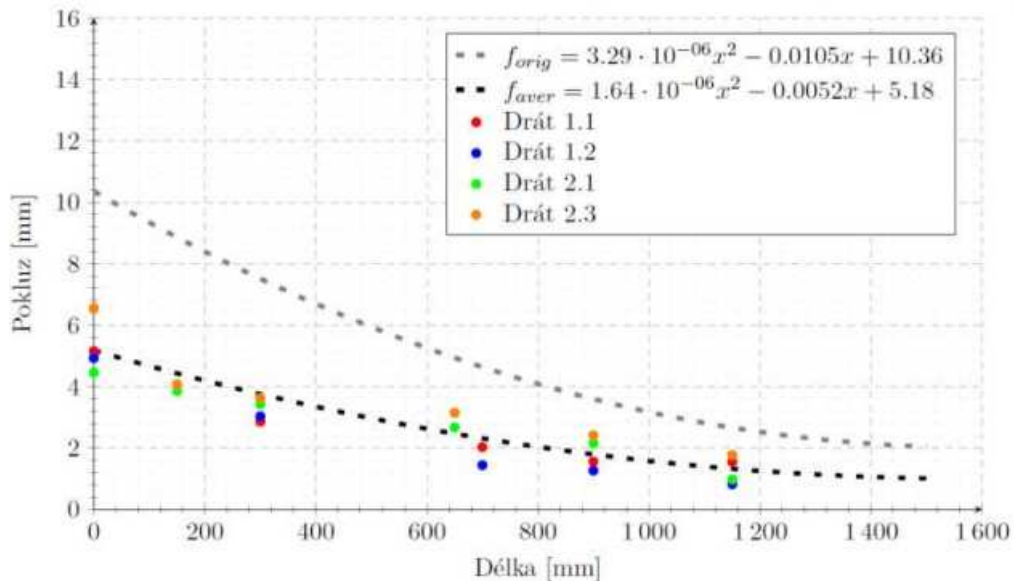
Podrobný popis provedeného experimentu je uveden v přílohouvé části této metodiky v příloze: Příloha 3: Experimentální ověření míry soudržnosti předpínacích drátů s injektáží kabelového kanálku.



Obr. 137 Plně zainjektovaný kabelový kanálek s předpínací výztuží

Na Obr. 138 je vyobrazen výsledný graf změřených pokluzů drátů přímého kabelu (označ. experiment EXP1 a EXP2). Matematickým proložením změřených hodnot křivkou druhého stupně bylo možné určit kotevní délku přímého kabelu, která dle experimentálně změřených hodnot pokluzů dosahuje délky 1,9 m.

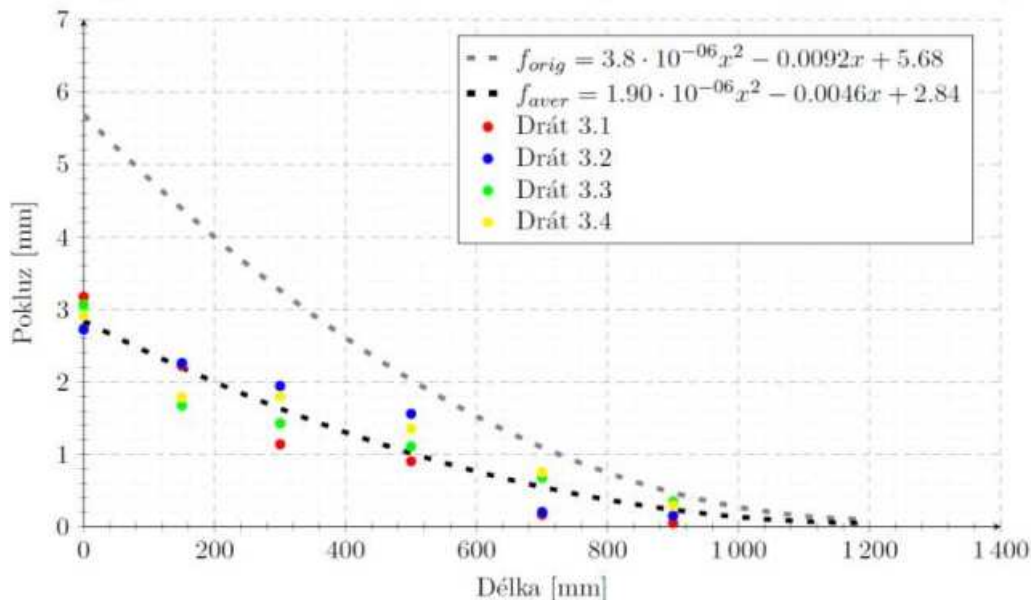
Experimentální měření kotevní délky přímého kabelu (EXP1, EXP2)



Obr. 138 Výsledný graf průměrných pokluzů přímého kabelu (EXP1 a EXP2)

Na Obr. 139 je vyobrazen výsledný graf změřených pokluzů drátů zvedaného kabelu (označ. experiment EXP3). Proložení změřených hodnot byla kotevní délka zvedaného kabelu určena hodnotou 1,2 m. Takto experimentálně stanovaná kotevní délka je u zvedaných kabelů výrazně kratší, než v případě přímých kabelů – projevuje se zde vliv zakřivené trajektorie kabelu, která přispívá k jeho „dokotvení“.

Experimentální měření kotevní délky zvedaného kabelu (EXP3)

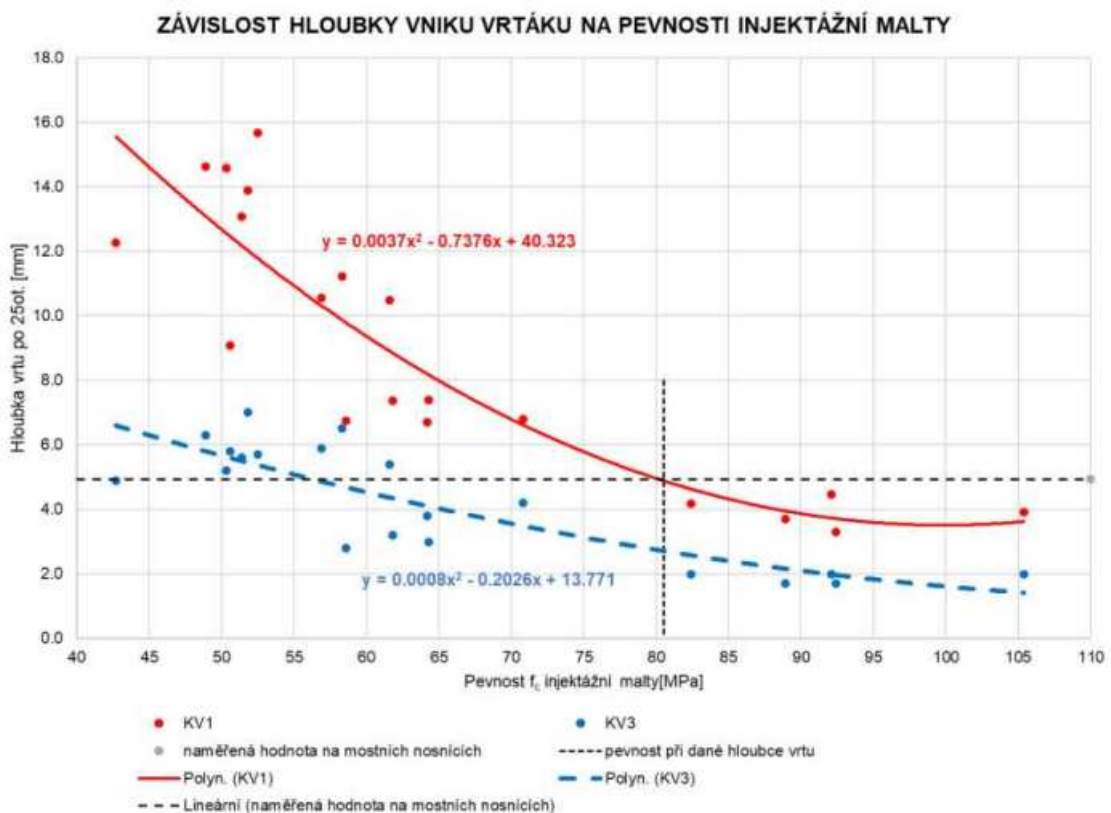


Obr. 139 Výsledný graf průměrných pokluzů zvedaného kabelu (EXP3)

Experimentálně stanované kotevní délky plně zainjektovaných kabelů lze ve statických výpočtech uvažovat pouze v případě prokázání dostatečných mechanických parametrů injektážní malty.

Pro ověření kvality injektážní malty byla sestavena v rámci experimentálního stanovení kotevní délky přerušené předpínací výztuže i kalibrační křivka pevnosti injektáže, za pomoci které lze prakticky ověřit pevnost injektážní malty pomocí Kučerovy vrtačky 1. generace (KV1) anebo Kučerovy vrtačky 3. generace (KV3), viz Obr. 140.

Použití experimentálně zjištěné kotevní délky v rámci započitatelnosti porušené předpínací výztuže je podmíněno umístěním PV v plně zainjektovaných kabelových kanálcích, přičemž injektážní malta musí splňovat kritérium vyhovující pevnosti, aby bylo zajištěno zachycení předpínací síly injektážní maltou (tzv. efekt překotvení). Pevnost injektážní malty nesmí být nižší než 80 MPa, což odpovídá hloubce vniku vrtáku Kučerovy vrtačky 1. generace (KV1) 4,9 mm do injektáže. Při použití 3. generace Kučerovy vrtačky (KV3) tato pevnost odpovídá hloubce vniku vrtáku 2,4 mm do injektáže kabelového kanálku.



Obr. 140 Graf závislosti hloubky vniku vrtáku Kučerovy vrtačky KV1 a KV3 na pevnosti injektážní malty

Realizovaná experimentální měření kotevních délek a její výsledky prokázaly použitelnost navržené metodiky měření pro zkoumání skutečné kotevní délky předpínací výztuže tyčových prefabrikovaných nosníků z let 1960-1990. Provedenými experimenty lze také potvrdit hypotézu o tzv. překotvení předpínací výztuže a zachycení předpínací síly kvalitně provedenou injektáží, která tvoří základní předpoklad stanovení únosnosti předpjatých tyčových prefabrikátů v mezním stavu únosnosti.

Pro přímé kabely byla kotevní délka stanovena hodnotou 1,9 m, pro zvedané kabely pak hodnotou 1,2 m.

V případě plně zainjektovaných kabelů složených z patentovaných drátů, lze experimentálně stanovené kotevní délky po započítání bezpečnostního součinitele ($\gamma = 2,00$) uvažovat ve statických výpočtech zbytkové únosnosti předpjatých mostů následovně:

- pro přímé kabely $2,00 \times 1,9 = 3,80$ m;
- pro zvedané kabely $2,00 \times 1,2 = 2,40$ m.

Znalost reálné kotevní délky plně zainjektované předpínací výztuže je tak jedním ze základních předpokladů pro upřesnění zbytkové únosnosti předpjatých tyčových prefabrikovaných nosníků.

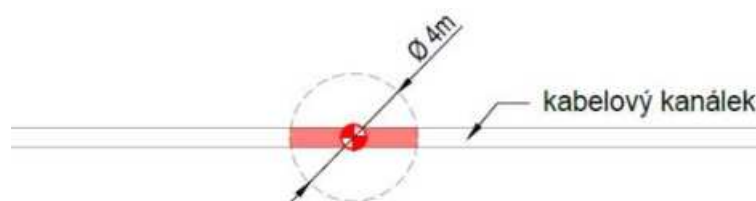
5.2 Grafické vyhodnocení započitatelnosti výztuže

Výsledkem diagnostického průzkumu předpínací výztuže může být při dostatečném počtu provedených SDT sond souhrnné grafické vyhodnocení započitatelnosti výztuže na základě výsledků SDT sond pro následný výpočet zbytkové únosnosti. Po vyhodnocení SDT sondáže a po přihlídnutí k ostatním kritériím (viz kap. 4.1.5) lze aktuální stav započitatelnosti předpínací výztuže graficky zobrazit pomocí předem stanovené barevné hodnotící škály jednotlivých možných výsledků.

Pro zjednodušení bude pro popis grafického vyhodnocení níže použita třístupňová barevná škála reprezentující posuzovanou veličinu aktuální započitatelnosti předpínací výztuže – plně započitatelná (zelená barva), částečně započitatelná podle plochy výztuže zasažené korozí (oranžová barva) a nezapočitatelná výztuž (červená barva).

V úvahu je nutné brát tzv. lidský rozměr případného poškození, což znamená, že SDT sonda reprezentuje stav posuzované veličiny až do vzdálenosti cca 2 m od místa provedení sondy za předpokladu, že v tomto okolí neexistují žádné jiné známky poškození konstrukce, než které jsou v místě provedené SDT. Dalším důležitým faktorem pro vyhodnocení započitatelnosti výztuže je také znalost směru provádění injektáže kabelového kanálku v době výstavby.

Na Obr. 141 je zobrazeno grafického vyhodnocení jedné SDT sondy, která byla na konstrukci umístěna podle velikosti míry rizika ohrožení výztuže korozí v daném místě (viz kap. 4.1.1). Jedná se tak o místo, které je z hlediska probíhající koroze nejrizikovější. Stav pozorovaný v této SDT sondě je z pohledu započitatelnosti negativní (hloubková koroze, rozpad výztuže). Pozorovaný stav v bodové sondě je přisuzován celému kabelu v okolí sondy o průměru 4 m.



Obr. 141 Grafické vyhodnocení jedné SDT sondy

Pro podrobnější popis započitatelnosti je nutné provést na posuzovaném předpínacím kabelu další SDT sondy tak, aby bylo možné upřesnit jeho stav po délce se zohledněním

případného překotvení výztuže podle kotevních délek přerušené výztuže (kap. 5.1). Posuzovatel je pak schopen rozhodnout o plné započitatelnosti kabelu či o vyřazení kabelu z výpočtu zbytkové únosnosti, případně o jeho částečném započítání.

Na Obr. 142 je zobrazena situace, kdy byl získán stejný (negativní) výsledek i u druhé sondy na stejném předpínacím kabelu.



Obr. 142 Grafické vyhodnocení dvou SDT sond

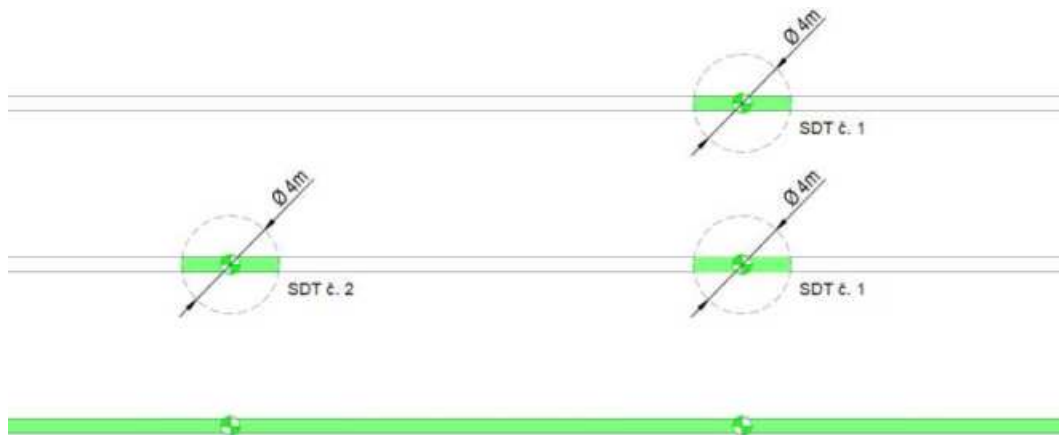
Detailního vyhodnocení stavu předpínacího kabelu lze dosáhnout dalším zvyšováním počtu SDT sond po jeho délce, což může vést až k situaci, kdy pro podrobné vyhodnocení by bylo potřeba provádět sondy každé cca 4 m. Tento přístup by přinesl velmi přesné výsledky, ale za cenu vysokých nákladů a neúměrné časové náročnosti průzkumu. Proto je v těchto situacích účelné přihlídnout i k dalším rozhodujícím skutečnostem (jedná se o multikriteriální hodnocení), jako je např. vztah získaného výsledku k posuzovaným statickým veličinám, směr injektování injektážní směsi, vzepětí nosníku apod.

Je-li výsledek dvou SDT sond na jednom posuzovaném předpínacím kabelu negativní, můžeme tento negativní výsledek přisoudit celému předpínacímu kabelu (Obr. 143) a takový kabel považovat za nezapočitatelný. Je-li druhá SDT sonda s negativním výsledkem vedena po směru provádění injektáže je zřejmé, že obdobný výsledek z pohledu započitatelnosti výztuže bude i mezi provedenými sondami.

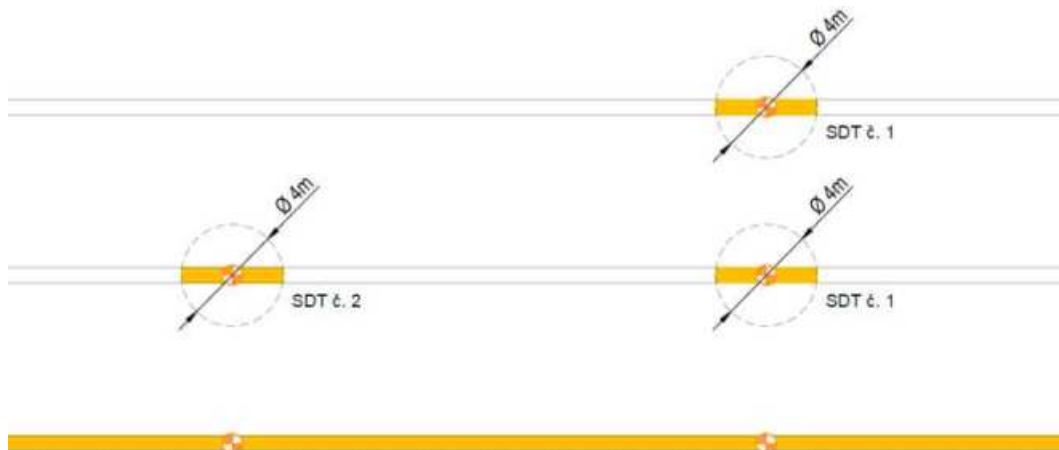


Obr. 143 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – nezapočitatelná výztuž

Obdobně lze uvažovat i případy, kdy obě SDT sondy předpínacího kabelu byly vyhodnoceny pozitivně (bez poškození) nebo s částečným poškozením (započitatelnost výztuže závisí na velikosti poškození koroze). S uvážením směru injektáže a umístění sond ve vypovídajících místech na konstrukci lze rozhodnout o plné nebo částečné započitatelnosti daného předpínacího kabelu (Obr. 144 a Obr. 145).

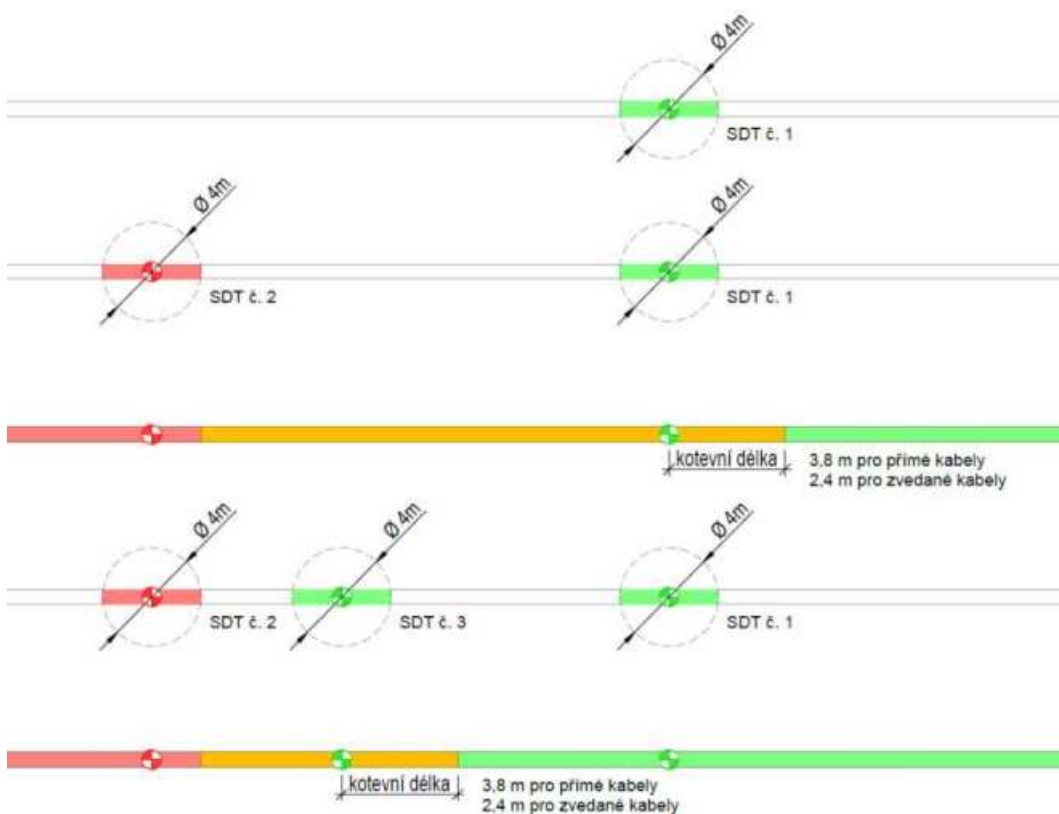


Obr. 144 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – plně započitatelná výztuž



Obr. 145 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – částečně započitatelná výztuž

Na Obr. 146 je ukázána aplikace kotevní délky pro upřesnění započitatelnosti předpínací výztuže a také je ukázán proces možné precizace výsledků SDT sond na jednom kabelu, kdy dalším prováděním sond lze výsledek započitatelnosti více zpřesnit.



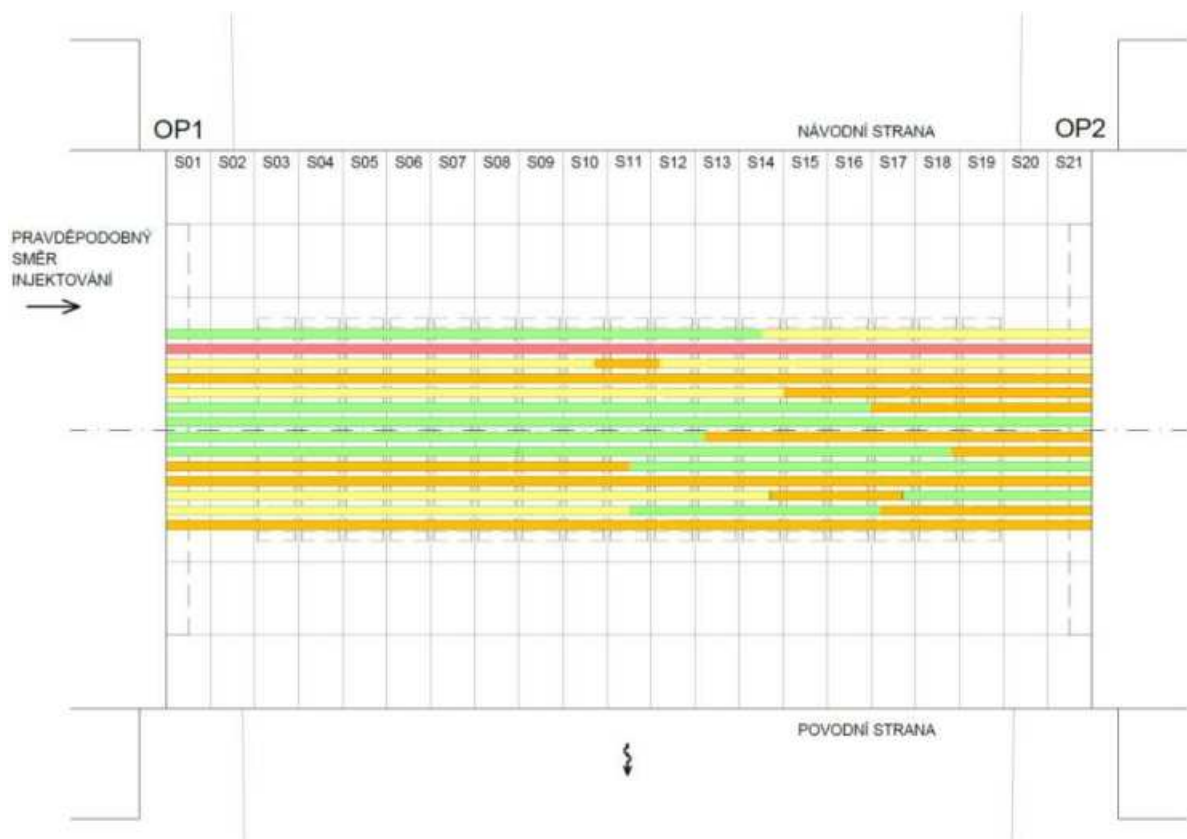
Obr. 146 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – aplikace kotevní délky

V situacích, kdy na stejném předpínacím kabelu jsou v SDT sondách zastiženy rozdílné skutečnosti (Obr. 146), jsou s ohledem na započitatelnost výztuže možné dva scénáře:

1. v případě omezeného počtu SDT sond, kdy není možné provést další upřesnění po délce je celkový stav kabelu přisuzován podle nejvíce negativního výsledku získaného z SDT sondy (tzv. na „stranu bezpečnou“);

- prováděním dalších SDT sond po délce na stejném kabelu lze vyhodnocení zpřesnit nalezením místa, ve kterém dochází ke změně stavu předpínacího kabelu s uvažováním kotevní délky podle kap. 5.1 je možné tento kabel částečně započítat do zbytkové únosnosti předpjatého prvku. Kotevní délka je nanášena vždy na stranu odvrácenou od SDT sondy, ve které bylo zjištěno poškození výztuže (opět podle principu uvažování na „stranu bezpečnou“)

Na Obr. 147 je schematicky vyobrazen půdorys předpjatého mostu, na kterém bylo provedeno podrobné vyhodnocení započitatelnosti předpínací výztuže na základě výsledků SDT sondáže. Pro sestavení celkové mapy započitatelnosti bylo provedeno celkem 80 SDT sond o průměru 40 mm. Podle této mapy započitatelnosti byla následně určena aktuální zbytková únosnost celého mostu.



Obr. 147 Ukázka výsledku diagnostického průzkumu započitatelnosti výztuže za pomoci SDT sond

V Tab. 6 jsou uvedeny možné výsledky hodnocení započitatelnosti předpínací výztuže na základě pozorovaného stavu předpínací výztuže, vlhkosti a injektáže v SDT sondě.

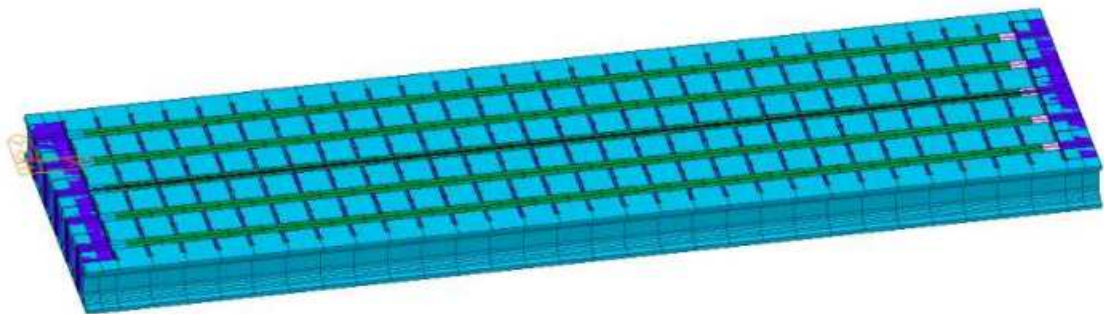
Vyplnění kanálku injektáží	Vlhkostní stav uvnitř kanálku	Přítomnost chloridů	Koroze předpínací výztuže	Aktuální započítatelnost předpínací výztuže
Plně zainjektovaný kanálek	Suchá injektáž	Bez chloridů	PV bez koroze	Plně započítatelná PV
	Vlhká injektáž	Bez chloridů	Koroze PV	Započítatelnost plochy PV dle koroze
Částečně zainjektovaný kanálek	Suchá injektáž	S chloridy	Koroze PV*	Započítatelnost plochy PV dle koroze s časovým omezením
		Bez chloridů	PV bez koroze	Plně započítatelná PV
	Vlhká injektáž	Bez chloridů	Koroze PV	Započítatelnost plochy PV dle koroze
		S chloridy	PV bez koroze	Plně započítatelná PV
	Vodní nálev	Bez chloridů	Koroze PV	Započítatelnost plochy PV dle koroze
		S chloridy	Koroze PV*	Nezapočítatelná PV
Kanálek bez injektáže	Sucho	Bez chloridů	Koroze PV	Započítatelnost plochy PV dle koroze
		S chloridy	Koroze PV*	Nezapočítatelná PV
	Vlhko	Bez chloridů	PV bez koroze	Plně započítatelná PV
		S chloridy	Koroze PV	Započítatelnost plochy PV dle koroze
	Vodní nálev	Bez chloridů	PV bez koroze	Plně započítatelná PV
		S chloridy	Koroze PV	Započítatelnost plochy PV dle koroze

pozn. všechny S.D.T. sondy splňují podmínky silového pákového testu - dráty jsou pod napětím
 *významně zvýšené riziko budoucího porušení PV, i když aktuálně nemusí být koroze PV

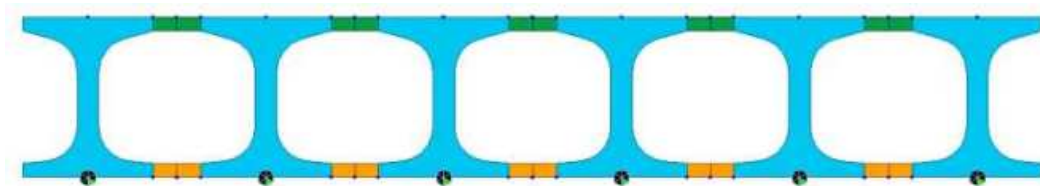
Tab. 6 Tabulka vyhodnocení započítatelnosti výztuže na základě SDT sondáže

5.3 Aplikace kotevních délek v numerickém modelu

Zahrnutím skutečné kotevní délky do numerických výpočtů únosnosti nosníků lze stanovit vliv přerušení předpínací výztuže v kotevních oblastech na celkovou zbytkovou únosnost. Pro tyto účely je vhodné vytvořit podrobný prutový model mostu s rozdělením na jednotlivé předpjaté nosníky. Tyto nosníky jsou v příčném směru propojeny po metru prutovými prvky představující horní a dolní podélnou spáru mezi nosníky. Tento postup modelování umožní reálnější interpretaci chování jednotlivých nosníků a ovlivnění konkrétních a přilehlých nosníků různým stupněm porušení předpínací výztuže.



Obr. 148 Pohled na numerický model pole mostu



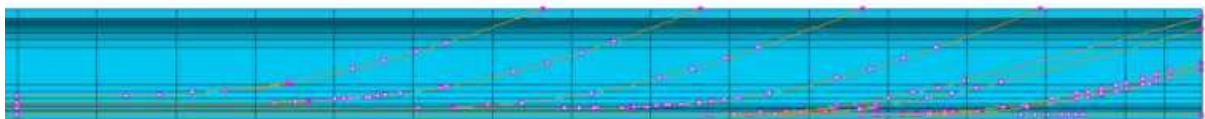
Obr. 149 Příčný řez numerickým modelem

Na základě vyhodnocení SDT sondáže a rozmístění sond dle kapitoly 4 je stanoven rozsah porušení předpínací výztuže. Tato porušení se týkají nejčastěji zvedané výztuže z důvodu neúplné či sednuté injektáže. V případě mostů bez injektáže a s potvrzeným lokálním nálezem koroze je vhodné daný kabel ve výpočtu plně vynechat.

Níže je uvedeno několik častých případů porušení předpínací výztuže na základě vyhodnocení SDT sondáže a aplikace v numerickém modelu.

5.3.1 Předpínací výztuž bez porušení

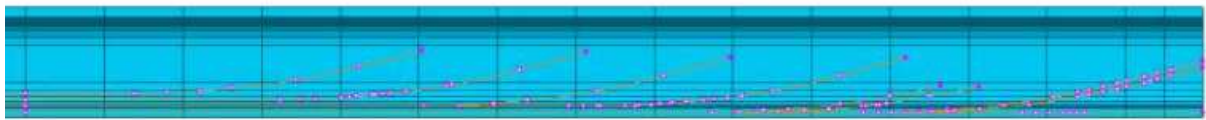
Jedná se o výchozí stav, předpínací výztuž je namodelována v plném rozsahu dle typového podkladu.



Obr. 150 Pohled na předpínací výztuž – bez porušení

5.3.2 Předpínací výztuž porušena za kotvami

Předpínací výztuž porušena za kotvou s kotevní délkou cca 2,4 m.



Obr. 151 Pohled na předpínací výztuž – porušení za kotvami

5.3.3 Předpínací výztuž porušena na počátku oblouku

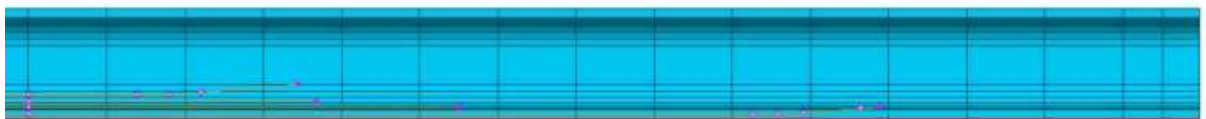
V případě sednutí injektáže nebo neproinjektování zvedané části kabelu dochází k zadržování vody v oblasti počátku oblouku zvedaného kabelu a jeho překorodování. Po odečtení kotevní délky cca 2,4 m zůstává funkční pouze přímá část kabelu.



Obr. 152 Pohled na předpínací výztuž – porušení na počátku oblouku

5.3.4 Rozsáhlé porušení zvedané i přímé předpínací výztuže

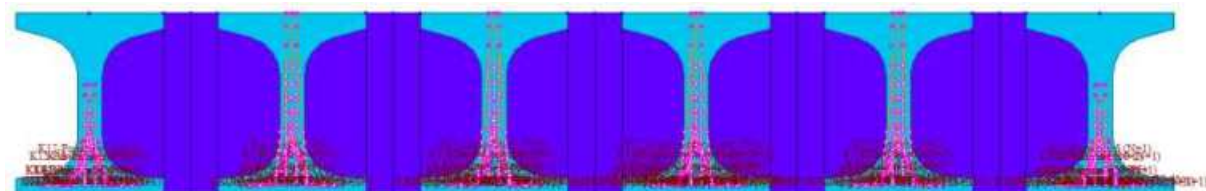
V případě rozsáhlého porušení předpínací výztuže je vhodné použít částečné účinky plně započitatelné předpínací výztuže, nicméně s ohledem na rozsah porušení pouze pro krátkodobé využití mostní konstrukce v omezeném provozu v závislosti na poměru zasažených nosníků a nosníků bez poruchy.



Obr. 153 Pohled na předpínací výztuž – rozsáhlé porušení

5.3.5 Aplikace porušení na celé konstrukci

Nejběžnějším případem v případě mostů z tyčových prefabrikátů dochází k porušení zvedané, zejména neprůběžné, výztuže vnějších nosníků z důvodu zatékání do kotevních sklípků vlivem nevhodného odvodnění a porušené izolace mostu. V těchto případech je nejvhodnější aplikovat částečné účinky plně započitatelné výztuže. Aplikace částečného předpětí umožní stanovit aktuální skutečnou únosnost a zatížitelnost mostu.



Obr. 154 Příklad porušení zvedané předpínací výztuže krajních nosníků

6. MONITORING KONSTRUKCE S VYUŽITÍM SDT SOND

6.1 Způsob osazení senzoru pro trvalé sledování vlastností injektážní malty

V minulosti byla postavena řada mostních konstrukcí s betonovou mostovkou v podobě dodatečně předpjatých montovaných nebo monolitických nosných prvků, kterými procházejí předpínací kabely (ve starších konstrukcích tvořeny svazky drátů) ukotvenými na obou koncích konstrukce. Tyto nosné předpínací kabely jsou v lepším případě vedeny v kovových nebo plastových kanálcích, které jsou následně vyplněny injektážní maltou. Pokud se v injektážní maltě obklopující předpínací lana trvale udržuje pro beton obvyklá vlhkost do 6 % hmotnosti, nedochází ke korozi kabelů. Pokud však ke kabelům proniká voda, zejména jsou-li v ní rozpuštěny korozivní soli, např. posypové soli, jsou kabely po čase napadeny korozí. V důsledku koroze dochází ke zhoršení stavebního stavu mostu, případně k jeho havárii. Obdobné problémy se týkají i jiných konstrukcí, jako jsou táhla zavěšených mostů tvořená kabely uloženými v trubkách následně zalitými injektážní maltou.

V důsledku koroze předpínací výztuže došlo v poslední době k několika destrukcím předpjatých mostů a visutých lávek. To vede jejich správce k periodické kontrole výztuže, která se provádí tak, že se v místě předpokládané polohy výztuže do konstrukce vyvrtá, nejčastěji zespodu, otvor neboli SDT sonda, která výztuž a její okolí obnaží. Provedená SDT sonda umožní opticky vyhodnotit aktuální stav předpínací výztuže. Poté se otvor, sonda, uzavře maltou. Provádění těchto diagnostik je však poměrně nákladné a časově náročné, což vede k odkládání kontrol a prodlužování intervalů.

Navrhované řešení monitoringu s využitím provedených SDT sond si klade za úkol navrhnout zařízení, jehož použití by podstatně omezilo obtíže dosavadních kontrolních prací a umožnilo indikovat nebezpečně zvýšenou vlhkost injektážní malty o mnoho let až desítek let dříve. Po technické stránce se jedná o zařízení, které umožní sledovat v SDT sondě stav předpínací výztuže zainjektované v dodatečně předpjatých betonových konstrukcích, zejména ve vodorovných dílcích mostních konstrukcí.

Monitorovací systém je založen na vlhkostních senzorech, které jsou dodatečně osazeny do betonu nosné konstrukce, nejlépe ze spodního povrchu, pod stávající hydroizolační systém. Cílem je získat údaje o případném pronikání vlhkosti do mostní konstrukce výrazně dříve před tím, než by se toto zatékání mohlo projevit vizuálními znaky na povrchu konstrukce (krápníky, výluhy nebo podobné projevy), což jediné lze pozorovat při provádění běžných a hlavních prohlídek mostu.

Vlhkostní senzory mohou být aplikovány jako součásti monitorovacích systémů mostních konstrukcí.

Specifickou úlohou je pak zařízení umožňující osazení senzoru pro sledování vlhkosti injektážní malty v betonových konstrukcích, které je tvořeno trubkou na jednom konci otevřenou, na druhém konci opatřenou vodotěsným odnímatelným uzávěrem s vlhkostním

čidlem. Trubka je na vnějším plášti uzpůsobena k ukotvení v SDT otvoru v betonové konstrukci.

6.1.1 Popis zvolené metody

Pro stanovení vlhkosti betonu je možné využít destruktivní i nedestruktivní metody. Standardní a referenční metodou je destruktivní metoda gravimetrická dle ČSN EN ISO 12570, kdy je odebrán vzorek materiálu a vlhkost vzorku se stanovuje z poklesu jeho hmotnosti po vysušení při 105°C. Další, již méně používanou destruktivní metodou je metoda karbidová. Její výhodou je rychlost, nevýhodou nižší přesnost.

Nedestruktivní metody využívají nepřímého měření vlhkosti betonu odvozeného ze vzdušné vlhkosti odpovídající rovnovážnému stavu vodní páry v parotěsném prostoru nad betonem, případně změny dielektrických parametrů betonu. Tyto nedestruktivní metody jsou popsány např. v předpisech ASTM:

- ASTM F2170 "Standard Test Method for Determining Relative Humidity in Concrete Floor Slabs Using in situ Probes"
- ASTM F1869 „Measuring Moisture Vapor Emission Rate of Concrete Subfloor Using Anhydrous Calcium Chloride“
- ASTM D4263 „Indicating Moisture in Concrete by the Plastic Sheet Method“
- ASTM F2420 „Determining Relative Humidity on the Surface of Concrete Floor Slabs Using Relative Humidity Probe Measurement and Insulated Hood“
- ASTM F2659 „Preliminary Evaluation of Comparative Moisture Condition of Concrete, Gypsum Cement and Other Floor Slabs and Screeds Using a Non-Destructive Electronic Moisture Meter

Poslední uvedená nedestruktivní metoda dle ASTM F2659 se od předchozích liší, měří se přímo vlhkost betonu příložným kapacitním elektrodovým systémem a ke stanovení vlhkosti betonu se využívá měření nárůstu kapacity díky vysoké hodnotě relativní permeability vody ve srovnání se suchým betonem.

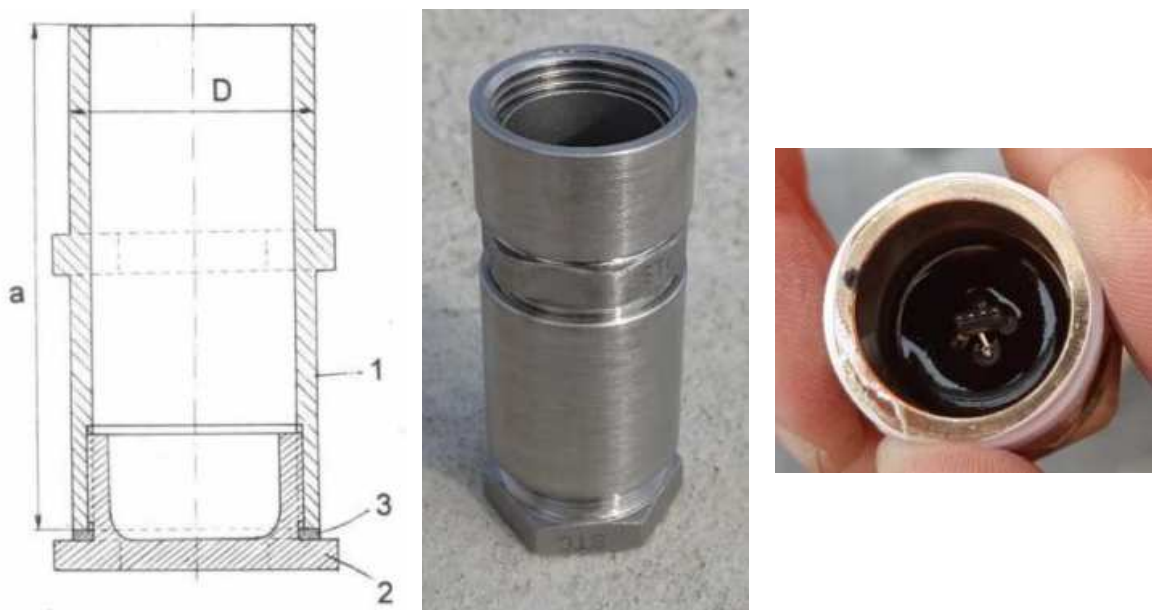
Pro stanovení vlhkosti injektáže v rámci monitoringu s využitím SDT sond byla zvolena metoda měření vzdušné vlhkosti v modifikaci dle ASTM F2170. Původní metoda popsána v ASTM F2170 předpokládá vývrt v měřeném betonu, na jehož dno se umístí snímač vzdušné vlhkosti a vývrt se parotěsně uzavře. Po ustálení vzdušné vlhkosti se provede odečet. Doporučená doba ustálení je alespoň 24 hod.

Základní problém nepřímé metody měření vlhkosti je stanovení závislosti mezi měřenou relativní vlhkostí vzduchu v rovnovážném stavu a skutečnou relativní vlhkostí betonu. Tuto závislost popisují sorpční izotermy, které je nutné pro jednotlivé materiály empiricky získat měřeními. Jejich tvar je závislý na chemickém složení a velikosti a tvaru pórů v materiálu. Sorpční křivky betonu (adsorpční, desorpční) rovněž vykazují výraznou hysterezi. Existuje velké množství publikovaných prací s naměřenými sorpčními křivkami, jako referenční lze považovat např. křivky uvedené v publikaci [28].

6.1.2 Technické řešení, použité přístroje a způsob měření

Vyvinuté zařízení k osazení senzoru pro sledování vlastností injektážní malty podle Obr. 155 je tvořeno ocelovou trubicou 1 průměru 40 mm na jednom konci otevřenou, na druhém konci opatřenou kovovou zátkou 2 s vnějším závitem zašroubovanou do dutiny trubky 1. Délku trubky 1 je možné upravit podle vzdálenosti kabelu od povrchu konstrukce, a to s takovou rezervou, aby část trubky 1 s kovovou zátkou 2 vyčnívala nad povrch konstrukce. Mezi trubicou 1 a zátkou 2 je sevřeno těsnění 3. Trubka 1 je na vnějším plášti uzpůsobena k pevnému zalepení do otvoru vyvrtanému v betonové konstrukci. S výhodou lze použít šestihranný lem bránící vytažení a pootočení při manipulaci.

Vnitřek trubky monitorovacího zařízení doléhá otevřeným koncem na kabel, resp. na injektážní maltu kabelu. Představuje tak vzduchovou komoru, která přejímá vlhkost injektážní malty. Vlhkost vzduchu, která se může pohybovat v rozmezí 20 až 100 %, proporcionálně odpovídá vlhkosti malty v rozmezí 4 až 10 % hmotn. K provádění odečtu hodnoty vlhkosti vzduchu je do trubky 1 před jejím uzavřením vložen senzor vlhkosti vzduchu, který v pokročilém provedení může být opatřen zařízením k periodickému odesílání snímaných dat. Senzor umístěný v zátku trubky proto může průběžně sledovat, do jaké míry je kabel ohrožen korozí.



Obr. 155 Technické řešení osazení senzoru vlhkosti

K měření vzdušné vlhkosti uzavřeného prostoru může být použit snímač vlastní konstrukce. V prezentovaném provedení byl v mosazné zátku upevněn konektor Amphenol M12D04-04PMMS s krytím IP68, na který byl naletován snímač vlhkosti Honeywell HumidCon HIH8121. Šroubení mezi vsuvkou a víčkem bylo utěsněno anaerobní těsnící hmotou Loxeal 54-03, konektor byl utěsněn zalévací polyuretanovou pryskyřicí Electrolube UR5041. Těsnění závitu zátky při montáži snímače do trubky bylo provedeno teflonovou páskou. Konstrukce snímače a způsob montáže je zřejmý také z fotografií uvedených dále.

Snímač Honeywell HumidCon HIH8121 měří vlhkost s přesností $\pm 2\%$ RH a teplotu s přesností $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Výstup snímače je na digitální sběrnici I2C, zobrazení měřených hodnot

je možné na bateriově napájeném přístroji vlastní výroby s využitím vývojové platformy Texas Instruments MSP-EXP430FR6989 Launchpad.

V pokročilém provedení může být senzor opatřen zařízením k periodickému odesílání snímaných dat, jehož kabeláž je vyvedena přes utěsněný malý otvor v zátce a je zakončena konektorem s uzavíratelným krytem.

6.1.3 Postup instalace

Z povrchu betonové konstrukce, např. ze spodní strany mostovky, se k předpínacím kabelům vyvrtá otvor o průměru větším, než je průměr D trubky 1 a do něj se osadí a vlepí, nejlépe chemickou maltou, trubka 1 s vyčnívající kovovou zátkou 2. Do trubky 1 lze před jejím uzavřením vložit senzor vlhkosti případně opatřený zařízením k periodickému odesílání snímaných dat, jehož kabeláž je vyvedena přes utěsněný malý otvor v zátce a je zakončena konektorem s uzavíratelným krytem.



Obr. 156 Ocelové pouzdro se zátkou určené pro vlepění do konstrukce



Obr. 157 Snímač vlhkosti Honeywell HIH8121 a utěsnění konektoru polyuretanovou zalévací hmotou



Obr. 158 Pouzdro se snímačem vlhkosti zalepeným v zátce a vloženým konektorem pro sběr dat



Obr. 159 Pouzdro se snímačem vlhkosti zalepeným v zátce a vloženým konektorem pro sběr dat

Na následujících fotografiích je dokumentován postup osazení senzoru vlhkosti do betonové konstrukce.



Obr. 160 Rozkreslení polohy senzoru s ohledem na vyztužení, vrtání SDT sondy



Obr. 161 Hloubka otvoru se odvíjí od požadované hloubky (poloha předpínací výztuže)



Obr. 162 Vlepení pouzdra senzoru vlhkosti do vrtaného otvoru použitím chemické kotvy



Obr. 163 Možnost uzavření pouzdra před vložením senzoru vlhkosti



Obr. 164 Ukázka vlepeného pouzdra na lávce pro pěší v Kroměříži



Obr. 165 Ukázka vlepeného pouzdra na lávce pro pěší v Kroměříži



Obr. 166 Pouzdro s osazeným snímačem vlhkosti zapojeným do online monitoringu



Obr. 167 Pouzdro s osazeným snímačem vlhkosti zapojeným do online monitoringu

7. ZÁVĚR

Představenou metodiku pro posouzení zbytkové únosnosti předpjatých mostů lze uplatnit u předpjatých mostů obecně, avšak její prvky jsou hlouběji rozpracovány do oblasti předpjatých mostů sestavených z dodatečně předpínaných typizovaných tyčových prefabrikátů. Těmi jsou deskové převážně prosté mostní desky sestavené z dodatečně předpjatých nosníků MPD, KA a zejména I.

Metodika vychází z upřesněného stanovení započitatelnosti předpínací výztuže na základě vnějších znaků působení předpětí, přítomnosti chloridů, stavu předpínací výztuže z hlediska napadení korozí, jejího napjatostního stavu a úrovně vyplnění kabelových kanálků injektážní maltou.

Potvrzení metodiky se opírá o návrh, provedení a náležité vyhodnocení semi-destruktivního testování (SDT) předpínacích kanálků a předpínací výztuže, o experimentální stanovení kotevnic délek drátových kabelů a o výsledky experimentů, které přinesly nové a originální poznatky. Z nich nejzávažnější byly výsledky korozních pokusů a zatěžovací zkoušky původního předpjatého nosníku I-73 z let 1970-1972.

Metodika má potenciál být zpodrobnována a selektivně dále rozvíjena na základě postupně shromažďovaných výsledků jejího uplatňování jednotlivými uživateli (zejména ŘSD ČR, SŽ, kraje).

Použití metodiky může přinést významné úspory státních finančních prostředků, které jsou řádově (10x) větší, než rozpočtové náklady na okamžité snesení původních předpjatých mostů a jejich bezprostřední nahrazení novými konstrukcemi.

Předpokládané využití se očekává u správců mostů, které mají ve vlastnictví nebo správě předpjaté mosty. Těmi mohou být Ředitelství silnic a dálnic České republiky, Správa železnic, Správy a údržby silnic působící v jednotlivých krajích České republiky a města, případně obce.

8. DEDIKACE

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu č. CK01000042 „Upřesnění zbytkové únosnosti předpjatých mostů“ realizovaného s finanční podporou TA ČR v Programu aplikovaného výzkumu, experimentálního vývoje a inovací v oblasti dopravy – DOPRAVA 2020+.

9. SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1 Graf počtu předpjatých mostů v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018.....	6
Obr. 2 Graf stavebního stavu předpjatých mostů v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018	7
Obr. 3 Graf počtu mostů z předpjatých tyčových prefabrikátů typu KA a I v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018.....	7
Obr. 4 Graf stavebního stavu předpjatých mostů z předpjatých tyčových prefabrikátů typu KA a I v ČR dle databáze ŘSD k 8/2018	8
Obr. 5 Seznam nejpoužívanějších předpjatých prefabrikovaných nosníků v letech 1950-2010	9
Obr. 6 Typové délky nosníků I-62	10
Obr. 7 Průřezové charakteristiky vybraných nosníků I-62	10
Obr. 8 Pohled na čelo nosníku I-62.....	10
Obr. 9 Průřezové charakteristiky vybraných nosníků KA-61	11
Obr. 10 Uložení nosníků KA-61 dl. 16,6 m na úložném prahu opěry.....	11
Obr. 11 Pohled na demolici původní konstrukce mostu z prefabrikovaných nosníků I-73	14
Obr. 12 Korozní proces na povrchu oceli [5].....	24
Obr. 13 Celkový pohled na destruktivní sondy k předpínací výztuži [6].....	26
Obr. 14 Detail DT sondy [6].....	27
Obr. 15 Oslabení profilu lávky po provedené DT sondáži [6] o 11 %	27
Obr. 16 Pohled na provedené semidestruktivní sondy k předpínací výztuži před zapravením	28
Obr. 17 Detail sondy S4 (viz. Obr. 16). Viditelná kompaktní injektáž a předpínací drát bez koroze. ...	29
Obr. 18 Oslabení profilu předpjaté lávky po provedené SDT sondáži o 2 %.....	29
Obr. 19 Ukázka výstupu z georadaru – identifikace prázdné kabelového kanálku [10]	30
Obr. 20 Výstup z GPR radaru – rozlišení jednotlivých vrstev [11]	30
Obr. 21 Ukázka výstupu metody IRT – segmentový komorový nosník [13]	31
Obr. 22 Ukázka výstupu metody IRT – kotevní oblast [14].....	32
Obr. 23 Ukázka výstupu MMM metody z diagnostiky potrubí [15].....	33
Obr. 24 Ukázka typického použití EM metody [14]	33
Obr. 25 Ukázka vykonturované mapy změřených potenciálů [17].....	34
Obr. 26 Ukázka výstupu metody UST [9].....	35
Obr. 27 Ukázka vybavení pulse echo metody [9].....	36
Obr. 28 Ukázka výstupu IE metody na kabelovém kanálku [9].....	37
Obr. 29 Ukázka použití metody AE pro detekci porušení předpínací výztuže [20].....	38
Obr. 30 Ukázka zařízení metody XR pro použití ve stavebnictví [22].....	38
Obr. 31 Ukázka výstupu metody radiační defektoskopie při použití na předpínací výztuži [9]	39
Obr. 32 Ukázková tabulka T1 – rozložení korozního rizika stálého	44
Obr. 33 Ukázková tabulka T2 – rozložení korozního rizika nahodilého	45
Obr. 34 Ukázková tabulka W3 – váhová funkce vyspádování konstrukce	45
Obr. 35 Ukázková tabulka W4 – váhová funkce pozice na mostě vzhledem k ohybovému namáhání	46
Obr. 36 Ukázková tabulka W5 – váhová funkce pozice na mostě vzhledem k smykovému namáhání	46
Obr. 37 Ukázková tabulka XA- – expertní hledisko nepříznivé	47
Obr. 38 Ukázková tabulka XA+ – expertní hledisko příznivé	47
Obr. 39 Ukázková tabulka R1 – výsledková tabulka	48
Obr. 40 Ukázková tabulka R2 – normalizovaná výsledková tabulka	48
Obr. 41 Ukázková škála korozního rizika 0-7	49
Obr. 42 Ukázkový graf výsledného stanovení míry rizika koroze v ploše mostní konstrukce	49
Obr. 43 Provádění SDT sondáže z horního (vlevo) nebo spodního (vpravo) povrchu konstrukce	50
Obr. 44 Označení místa pro otevření diagnostického přístupového otvoru.....	50

Obr. 45	Postupné vybourávání spáry mezi nosníky.....	51
Obr. 46	Hotový diagnostický přístupový otvor ve spáře.....	51
Obr. 47	Pracovník v diagnostickém přístupovém otvoru ve spáře.....	52
Obr. 48	Lokalizace výztuže v podélném směru konstrukce.....	53
Obr. 49	Lokalizace výztuže v příčném směru konstrukce.....	53
Obr. 50	Výběr vhodného místa pro provedení SDT vrtu z hlediska okolní výztuže.....	53
Obr. 51	Stabilizační závrt do hloubky cca 5 mm.....	54
Obr. 52	Postupné vrtání SDT sondy profilem 40 mm do úrovně kabelového kanálku.....	54
Obr. 53	Vizuální kontrola stavu injektáže.....	55
Obr. 54	Kontrola injektáže v SDT sondě.....	55
Obr. 55	Kontrola injektáže v SDT sondě.....	55
Obr. 56	Vrtání SDT sondy až na úroveň předpínací výztuže.....	55
Obr. 57	Citlivé mechanické rozvolnění injektáže kolem předpínací výztuže.....	56
Obr. 58	Vizuální kontrola stavu předpínací výztuže.....	56
Obr. 59	Ukázka SDT sondy.....	56
Obr. 60	Ukázka SDT sondy.....	56
Obr. 61	Ukázka SDT sondy.....	56
Obr. 62	Ukázka SDT sondy.....	56
Obr. 63	Ukázka SDT sondy.....	57
Obr. 64	Ukázka SDT sondy.....	57
Obr. 65	Mechanická kontrola napětí v předpínací výztuži.....	57
Obr. 66	Očištění stěn vrtu SDT sondy.....	58
Obr. 67	Provádění zapravení SDT sondy pomocí přípravku s pístem.....	58
Obr. 68	Zapravená SDT sonda.....	58
Obr. 69	Ukázka zapravení SDT sondy tixotropní malta.....	59
Obr. 70	Ukázka zapravení SDT sond tixotropní maltou.....	59
Obr. 71	Stupnice pH pro orientační zkoušku pomocí pH indikátoru (Rainbow Indicator) <i>Zdroj:</i> <i>http://germann.org/products-by-application/carbonation/deep-purple-and-rainbow-indicator</i>	61
Obr. 72	Ukázka orientační zkoušky pH v otevřené sondě k výztuži.....	61
Obr. 73	Ukázka č. 1 protokolu SDT sondy.....	62
Obr. 74	Ukázka č. 1 protokolu SDT sondy – pokračování.....	63
Obr. 75	Ukázka č. 1 protokolu SDT sondy – pokračování.....	64
Obr. 76	Ukázka č. 2 protokolu SDT sondy.....	65
Obr. 77	Ukázka č. 2 protokolu SDT sondy – pokračování.....	66
Obr. 78	Ukázka č. 2 protokolu SDT sondy – pokračování.....	67
Obr. 79	Ukázka č. 3 protokolu SDT sondy.....	68
Obr. 80	Ukázka č. 3 protokolu SDT sondy – pokračování.....	69
Obr. 81	Ukázka č. 3 protokolu SDT sondy – pokračování.....	70
Obr. 82	Ukázka obrazových standardů podle [26] pro hodnocení stupně pokrytí korozními produkty Ri 1 až Ri 5.....	73
Obr. 83	Ukázka obrazového standardu patentovaného drátu Pz 4,5.....	74
Obr. 84	Obrazový standard Ri 0 (Pz 4,5).....	74
Obr. 85	Obrazový standard Ri 1 (Pz 4,5).....	74
Obr. 86	Obrazový standard Ri 2 (Pz 4,5).....	74
Obr. 87	Obrazový standard Ri 3 (Pz 4,5).....	74
Obr. 88	Obrazový standard Ri 4 (Pz 4,5).....	75
Obr. 89	Obrazový standard Ri 5 (Pz 4,5).....	75
Obr. 90	Drát Pz 4,5 01.....	75
Obr. 91	Drát Pz 4,5 01 (binární zobrazení).....	75

Obr. 92 Drát Pz 4,5 02	75
Obr. 93 Drát Pz 4,5 02 (binární zobrazení)	75
Obr. 94 Drát Pz 4,5 03	75
Obr. 95 Drát Pz 4,5 03 (binární zobrazení)	75
Obr. 96 Drát Pz 4,5 04	76
Obr. 97 Drát Pz 4,5 04 (binární zobrazení)	76
Obr. 98 SDT sonda 01	76
Obr. 99 SDT sonda 01 (binární zobrazení)	76
Obr. 100 SDT sonda 02	76
Obr. 101 SDT sonda 02 (binární zobrazení)	76
Obr. 102 SDT sonda 03	77
Obr. 103 SDT sonda 03 (binární zobrazení)	77
Obr. 104 SDT sonda 04	77
Obr. 105 SDT sonda 04 (binární zobrazení)	77
Obr. 106 Odhalené kotevní oblasti předpjatých prefabrikovaných nosníků I-73	78
Obr. 107 Ukázka fotografie z vizuální endoskopie	79
Obr. 108 Ukázka fotografie z endoskopie	79
Obr. 109 Ukázka fotografie z endoskopie	79
Obr. 110 Ukázka fotografie z endoskopie	79
Obr. 111 Ukázka fotografie z endoskopie	79
Obr. 112 Objímka s čepy umístěná na vrtacím zařízení	80
Obr. 113 Ocelový závěs	80
Obr. 114 Páka přípravku pro zvýšení intenzity přítlaku při vrtání	81
Obr. 115 Kompletní sestava – vrtací zařízení a přípravku pro zvýšení intenzity přítlaku	81
Obr. 116 Pohled na závěs s teleskopickou pákou	82
Obr. 117 Tvar závěsu	83
Obr. 118 Tvar lišt na páce	84
Obr. 119 Tvar teleskopické páky	85
Obr. 120 Pohled na závěs vlevo, vpravo detail lišt s drážkami	86
Obr. 121 Objímka s čepy pro uchycení vrtacího zařízení	86
Obr. 122 Celkový pohled na přípravek	87
Obr. 123 Detail styku hlavy lafety a stojanu	87
Obr. 124 Detail bodu uchycení vzpěry ke stojanu	87
Obr. 125 Napojení vzpěry na lafetu	87
Obr. 126 Kotevní deska jednoduché kotvy a kotevní kuželík podle [27]	88
Obr. 127 Sdružená kotva (kuželíky s otvorem)	89
Obr. 128 Sdružená kotva (kuželíky bez otvoru)	89
Obr. 129 Snímek z endoskopu	89
Obr. 130 Snímek z endoskopu	89
Obr. 131 Výkresová dokumentace funkčního vzorku V7	90
Obr. 132 Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou – fotografie	90
Obr. 133 Čelní pohled na uchycený přípravek pro vrtání	91
Obr. 134 Boční pohled na uchycený přípravek pro vrtání	91
Obr. 135 Boční pohled na uchycení magnetického vrtacího zařízení a provádění sondážního vrtu ..	92
Obr. 136 Detailní pohled na uchycení magnetického vrtacího zařízení a provádění sondážního vrtu	92
Obr. 137 Plně zainjektovaný kabelový kanálek s předpínací výztuží	93
Obr. 138 Výsledný graf průměrných pokluzů přímého kabelu (EXP1 a EXP2)	94
Obr. 139 Výsledný graf průměrných pokluzů zvedaného kabelu (EXP3)	94

Obr. 140 Graf závislosti hloubky vniku vrtáku Kučerovy vrtačky KV1 a KV3 na pevnosti injektážní malty	95
Obr. 141 Grafické vyhodnocení jedné SDT sondy	96
Obr. 142 Grafické vyhodnocení dvou SDT sond	97
Obr. 143 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – nezapočitatelná výztuž	97
Obr. 144 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – plně započitatelná výztuž	97
Obr. 145 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – částečně započitatelná výztuž	98
Obr. 146 Grafické vyhodnocení započitatelnosti předpínacího kabelu – aplikace kotevní délky	98
Obr. 147 Ukázka výsledku diagnostického průzkumu započitatelnosti výztuže za pomoci SDT sond	99
Obr. 148 Pohled na numerický model pole mostu	101
Obr. 149 Příčný řez numerickým modelem	101
Obr. 150 Pohled na předpínací výztuž – bez porušení	101
Obr. 151 Pohled na předpínací výztuž – porušení za kotvami	102
Obr. 152 Pohled na předpínací výztuž – porušení na počátku oblouku	102
Obr. 153 Pohled na předpínací výztuž – rozsáhlé porušení	102
Obr. 154 Příklad porušení zvedané předpínací výztuže krajních nosníků	102
Obr. 155 Technické řešení osazení senzoru vlhkosti	105
Obr. 156 Ocelové pouzdro se zátkou určené pro vlepění do konstrukce	106
Obr. 157 Snímač vlhkosti Honeywell HIH8121 a utěsnění konektoru polyuretanovou zalévací hmotou	107
Obr. 158 Pouzdro se snímačem vlhkosti zalepeným v zátce a vloženým konektorem pro sběr dat ..	107
Obr. 159 Pouzdro se snímačem vlhkosti zalepeným v zátce a vloženým konektorem pro sběr dat ..	107
Obr. 160 Rozkreslení polohy senzoru s ohledem na vyztužení, vrtání SDT sondy	108
Obr. 161 Hloubka otvoru se odvíjí od požadované hloubky (poloha předpínací výztuže)	108
Obr. 162 Vlepění pouzdra senzoru vlhkosti do vrtaného otvoru použitím chemické kotvy	109
Obr. 163 Možnost uzavření pouzdra před vložením senzoru vlhkosti	109
Obr. 164 Ukázka vlepění pouzdra na látce pro pěší v Kroměříži	110
Obr. 165 Ukázka vlepění pouzdra na látce pro pěší v Kroměříži	110
Obr. 166 Pouzdro s osazeným snímačem vlhkosti zapojeným do online monitoringu	111
Obr. 167 Pouzdro s osazeným snímačem vlhkosti zapojeným do online monitoringu	111
Tab. 1 Hodnocení varianty A. úplné stržení mostu a jeho kompletní nová výstavba	16
Tab. 2 Hodnocení varianty B. rekonstrukce mostu při zachování kyvadlového provozu	17
Tab. 3 Porovnání jednotlivých diagnostických metod	41
Tab. 4 Tabulka stupně prorezavění a plocha s výskytem rzi podle [26]	73
Tab. 5 Stupně pokrytí korozí Ri 0 až Ri 5 pro patentovaný drát Pz 4,5	73
Tab. 6 Tabulka vyhodnocení započitatelnosti výztuže na základě SDT sondáže	100

10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] „Systém hospodaření s mosty,“ VARS BRNO a.s., 6 leden 2022. [Online]. Available: <https://www.vars.cz/system-hospodareni-s-mosty-bridge-management-system--sdruzeni-pontex-vars-viapont>.
- [2] F. Ochrana, Veřejné výdajové programy, veřejné projekty a zakázky: jejich tvorba, hodnocení a kontrola, Praha: Wolters Kluwer, 2011.
- [3] B. Mikušová Meričková a J. Stejskal, Teorie a praxe veřejné ekonomiky, Praha: Wolters Kluwer, 2014.
- [4] ČSN EN ISO 8044 Koroze kovů a slitin - slovník, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [5] P. Novák, Koroze kovů, Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze.
- [6] Lávka pro pěší přes Ohři v obci Radonice. Diagnostický průzkum, Praha: Pontex, spol. s r.o., 2010.
- [7] J. Hoła, J. Bien, L. Sadowski a K. Schabowicz, Non-Destructive and Semi-Destructive Diagnostics of Concrete Structures in Assessment of Their Durability, Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences, 2015.
- [8] L. Klusáček a A. Svoboda, „Diagnostika předpínacích kabelů semidestruktivní metodou,“ v *MOSTY 2019 24. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM sborník příspěvků*, Brno, 2019.
- [9] S. Hurlbaeus, M. Hueste, M. Karthik a T. Terzioglu, Condition Assessment of Bridge Post-tensioning and Stay Cable Systems Using NDE Methods: Final Report. . National Cooperative Highway Research Program (NCHRP), Texas, USA: Transportation Research Board of The National Academies, 2016.
- [10] A. Giannopoulos, P. Macintyre, S. Rodgers a M. C. Forde, GPR Detection of Voids in Post-Tensioned Concrete Bridge Beams, 2002.
- [11] GSSI, GSSI Handbook For RADAR Inspection of Concrete, New Hampshire: Geophysical Survey Systems Inc., 2006.
- [12] S. Hong, H. Wiggerhauser, R. Helmerich, B. Dong, P. Dong a F. Xing, „Long-term monitoring of reinforcement corrosion in concrete using ground penetrating radar,“ *Corrosion Science*, 2017.

- [13] D. G. Pollock, K. J. Dupuis, B. Lacour a K. R. Olsen, Detection of voids in prestressed concrete bridges using thermal imaging and ground-penetrating radar, Olympia, WA: Transportation Research Board, 2008.
- [14] A. Ghorbanpoor a N. Benish, Non-destructive testing of wisconsin highway bridge: Final Report. Wisconsin Highway Research Program, Wisconsin Department of Transportation, 2003.
- [15] V. Svoboda a Z. Olmr, Metoda magnetické paměti materiálu, Ostrava: Czech Society for Nondestructive Testing, 2011.
- [16] H.-J. Wichmann, A. Holst a H. Budelmann, Magnetoelastic Stress Measurement and Material Defect Detection in Prestressed Tendons Using Coil Sensors, Proc., NDTCE'09, Non-Destructive Testing in Civil Engineering 6, 2009.
- [17] L. Sadowski, Methodology for Assessing the Probability of Corrosion in Concrete Structures on the Basis of Half-Cell Potential and Concrete Resistivity Measurements, Hindawi Publishing Corporation, 2013.
- [18] Y. Tinkey a L. D. Olson, Sensitivity Studies of Grout Defects in Posttensioned Bridge Ducts Using Impact Echo Scanning Method, Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2007.
- [19] V. M. Malhotra a N. J. Carino, Handbook on Nondestructive Testing of Concrete, CRC Press, 2004.
- [20] S. Fricker a T. Vogel, Site Installation and Testing of a Continuous Acoustic Monitoring, Construction and Building Materials, 2007.
- [21] L. Hobst, Zkušebnictví a technologie, Radiační defektoskopie, Brno: Vysoké učení technické v Brně.
- [22] Q. Global, SENTINEL™ 880 SERIES. GAMMA-RAY SOURCE PROJECTOR & TRANSPORT CONTAINER, Burlington, MA: QSA Global, Inc. ♣, 2019.
- [23] L. Hobst, J. Adámek, P. Cíkrle a P. Schmid, Diagnostika stavebních konstrukcí, Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2005.
- [24] ČSN EN ISO 13076 Nátěrové hmoty - Osvětlení a postup pro vizuální hodnocení nátěrů, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [25] J. Kolísko, V. Vacek, P. Pokorný a M. Kostecká, „Vliv koroze na vlastnosti ocelové předpínací výztuže,“ v 26. *Betonářské dny 2019*, Hradec Králové, 2019.

- [26] ČSN EN ISO 4628-3 Nátěrové hmoty - Hodnocení degradace nátěrů - Klasifikace množství a velikosti defektů a intenzity jednotlivých změn vzhledu - Část 3: Hodnocení stupně prorezavění, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [27] ČSN 74 2870 Ocelové kotvy pro kotvení kabelů konstrukcí z dodatečně předpjatého betonu, Praha: Český normalizační institut, 1973.
- [28] K. K. Hansen, Sorption isotherms: A catalogue, Technical University of Denmark, 1986.
- [29] ČSN EN ISO 11463 Koroze kovů a slitin - Směrnice pro hodnocení bodové koroze, Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [30] L. Klusáček, R. Nečas, J. Kolářek, J. Strnad, A. Svoboda a O. Martin, *Statické zajištění visuté lávky v Kroměříži, projektová dokumentace*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2018.

11. SEZNAM SOUVISEJÍCÍ LITERATURY

- TP 72 Diagnostický průzkum mostů PK, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2008. 36 p.
- TP 120 Údržba, opravy a rekonstrukce betonových mostů PK, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2010. 50 p.
- TP 144 Doporučení pro navrhování, posuzování a sledování betonových mostů PK, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2010. 51 p.
- TP 183 Diagnostický průzkum mostů PK postupy monitorování a vyhodnocení koroze výztuží v betonu metodou akustické emise, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2007. 40 p.
- TP 200 Stanovení zatížitelnosti mostů PK navržených podle norem a předpisů platných před účinností EN, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2008. 83 p.
- TP 215 Využití modální analýzy pro návrh, posouzení, opravy, kontrolu a monitorování mostů pozemních komunikací, Praha: Ministerstvo dopravy České republiky, 2009. 79 p.
- ČSN 73 6200. Mosty – Terminologie a třídění. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 48 p.
- ČSN 73 6201. Projektování mostních objektů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008. 76 p.
- ČSN 73 6209. Zatěžovací zkoušky mostních objektů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 20 p.
- ČSN 73 6214. Navrhování betonových mostních konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 16 p.
- ČSN 73 6220. Evidence mostních objektů pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 32 p.
- ČSN 73 6221. Prohlídky mostů pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 64 p.
- ČSN 73 6222. Zatížitelnost mostů pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 32 p.
- ČSN 73 6242. Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010. 56 p.
- ČSN ISO 13822. Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 44 p.
- ČSN 73 0038. Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – doplňující ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019. 60 p.
- ČSN EN 1504-1. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí – Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 1: Definice. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 12 p.

ČSN EN 1504-2. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 48 p.

ČSN EN 1504-3. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 3: Opravy se statickou funkcí a bez statické funkce. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 32 p.

ČSN EN 1504-4. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 4: Konstrukční spojování. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 28 p.

ČSN EN 1504-5. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 5: Injektáž betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 36 p.

ČSN EN 1504-6. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 6: Kotvení výztužných ocelových prutů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 20 p.

ČSN EN 1504-7. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 7: Ochrana výztuže proti korozi. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 20 p.

ČSN EN 1504-9. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 9: Obecné zásady pro používání výrobků a systémů. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 28 p.

ČSN EN 1504-10. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 10: Použití výrobků a systémů a kontrola kvality provedení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 68 p.

ČSN EN 1504-8. Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a AVCP - Část 8: Kontrola kvality a posuzování a ověřování stálosti vlastností (AVCP). Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016. 20 p.

ČSN EN 1991-2. Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 2: Zatížení mostů dopravou. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 152 p.

ČSN EN 1992-1-1. Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2006. 210 p.

ČSN EN 13791. Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 36 p.

ČSN EN 12504-1. Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 12 p.

ČSN EN 12504-2. Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 2: Nedestruktivní zkoušení - Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023. 12 p.

ČSN EN 12504-3. Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 3: Stanovení síly na vytržení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 12 p.

ČSN EN 12504-4. Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 4: Stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulsu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021. 20 p.

ČSN 73 1328. Stanovení soudržnosti oceli s betonem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1990. 12 p.

ČSN 73 1333. Zkoušení soudržnosti předpínací výztuže s betonem. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1990. 16 p.

ČSN EN 13577. Chemické působení na beton - Stanovení obsahu agresivního oxidu uhličitého ve vodě. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 12 p.

ČSN 73 1370. Nedestruktivní zkoušení betonu - Společná ustanovení. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 12 p.

ČSN 73 1371. Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 12 p.

ČSN 73 1372. Nedestruktivní zkoušení betonu - Rezonanční metoda zkoušení betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 16 p.

ČSN 73 1373. Nedestruktivní zkoušení betonu - Tvrdoměrné metody zkoušení betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 20 p.

ČSN 73 1375. Radiometrické zkoušení objemové hmotnosti a vlhkosti. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1973. 28 p.

ČSN 73 1376. Radiografie betonových konstrukcí a dílců. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1978. 28 p.

ČSN 73 1380. Zkoušení odolnosti betonu proti zmrazování a rozmrazování - Porušení vnitřní struktury. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007. 32 p.

FIB 17: Management, maintenance and strengthening of concrete structures, Lausanne: FIB - The International Federation for Structural Concrete (fib - fédération internationale du béton), 2002. 176 p.

12. SEZNAM PUBLIKACÍ PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODIKU

MUROŇ, V.; KLUSÁČEK, L. Reliability of the grouting of tendons under consideration of uncertainties under on-site conditions. MATEC Web Conf. vol. 385, 01004, 2023

KLUSÁČEK, L.; ZICH, M.; NEČAS, R.; POŽÁR, M.; SVOBODA, A.; OLŠÁK, M.; ŠIMEK, O.; KOLÁČEK, J.; BOBEK, L.; STRNAD, J. Hodnocení stavu prefabrikované předpjaté střešní konstrukce. 29. Betonářské dny 2023, sborník ke konferenci, Hradec Králové: Česká betonářská společnost ČSSI, 2023. s. 170-181. ISBN: 978-80-908943-0-3.

KLUSÁČEK, L.; ZICH, M.; NEČAS, R.; POŽÁR, M.; OLŠÁK, M.; SVOBODA, A.; ŠIMEK, O.; KOLÁČEK, J.; BOBEK, L.; STRNAD, J. Hodnocení stavu prefabrikované předpjaté střešní konstrukce. Zborník příspěvků z 12. seminára Sanácia betónových konštrukcií (pp. 73–81). Spektrum STU, 2023.

MUROŇ, V.; KLUSÁČEK, L. Spolehlivost injektáže kabelových kanálků s přihlédnutím k nejistotám na stavbách. Juniorstav 2023 Sborník příspěvků. Brno: ECON publishing, s.r.o., 2023. s. 299-304. ISBN: 978-80-86433-80-6.

KLUSÁČEK, L.; SVOBODA, A.; BUREŠ, J. Prestressed footbridge over Morava River in Kroměříž – strengthening, rehabilitation and measurement using geodetic method in combination with advanced optical methods. 5. Brückenkolloquium. Esslingen: Technische Akademie Esslingen e. V., 2022. ISBN: 978-3-8169-3549-0.

SVOBODA, A.; KLUSÁČEK, L. Experimental measurement of the anchorage length of interrupted prestressing reinforcement. 5. Brückenkolloquium. Esslingen: Technische Akademie Esslingen e. V., 2022. ISBN: 978-3-8169-3549-0.

OLŠÁK, M.; KLUSÁČEK, L.; SVOBODA, A.; NEČAS, R. Long-term Behavior of Prestressed Bridge After Reconstruction & Strengthening by P-T. 18th International Conference: Structural Faults + Repair-2022. Edinburgh: 2022. ISBN: 0-947644-88-1.

SVOBODA, A.; KLUSÁČEK, L.; OLŠÁK, M. Method of Repairing Old Concrete Bridges. 18th International Conference: Structural Faults + Repair-2022. Edinburgh: 2022. ISBN: 0-947644-88-1.

KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; SVOBODA, A.; OLŠÁK, M.; POŽÁR, M. Oprava lávky přes Moravu v Kroměříži – diagnostika, zesílení, rehabilitace, sledování. MOSTY 2022 27. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM sborník příspěvků. Brno: SEKURKON s.r.o., 2022. s. 238-245. ISBN: 978-80-86604-84-8.

BEZRUČOVÁ, K.; NEČAS, R. Stanovenie miery oslabenia závesu pomocou dynamického merania. Juniorstav 2022, 24. odborná konferencia doktorského studia s mezinárodní účastí – Sborník příspěvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2022. s. 224-230. ISBN: 978-80-86433-76-9.

SVOBODA, A.; KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; STRNAD, J.; OLŠÁK, M. Anchorage length of patented wire cables in prestressed bridge girders. Koroze a ochrana materiálů, 2021, roč. 65, č. 3, s. 92-96. ISSN: 0452-599X.

STRÁSKÝ, J.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J. Minto Island pedestrian bridge, Salem, Oregon, USA. Structural Concrete, 2021, roč. 22, č. 6, s. 3200-3201. ISSN: 1464-4177.

SVOBODA, A.; KLUSÁČEK, L. Dodatečné předpínání historických železobetonových mostů. MOSTY 2021 26. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM sborník příspěvků. Brno: SEKURKON s.r.o., 2021. s. 176-181. ISBN: 978-80-86604-86-2.

NEČAS, R.; KLUSÁČEK, L.; KOLÁČEK, J.; SVOBODA, A.; OLŠÁK, M. Diagnostický průzkum lanových závěsů. MOSTY 2021 26. MEZINÁRODNÍ SYMPOZIUM sborník příspěvků. Brno: SEKURKON s.r.o., 2021. s. 169-175. ISBN: 978-80-86604-86-2.

KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; POŽÁR, M.; PĚKNÍK, R.; SVOBODA, A. Transverse prestressing and reinforced concrete as the key to restoration of masonry arch bridges. ENGINEERING STRUCTURES, 2021, roč. 245, č. 1, s. 1-20. ISSN: 0141-0296.

KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; SVOBODA, A.; OLŠÁK, M. Podrobný diagnostický průzkum lanových závěsů. Silnice a železnice, 2021, roč. 16, č. 3/2021, s. 95-98. ISSN: 1801-822X.

BEZRUČOVÁ, K. Experimentálne stanovenie síl v závesoch lávky pre peších. Juniorstav 2021, 23. odborná konferencie doktorského studia s mezinárodní účastí – Sborník příspěvků. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2021. s. 237-242. ISBN: 978-80-86433-75-2.

KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; SVOBODA, A.; OLŠÁK, M. Diagnostický průzkum závěsů mostu s ověřením rektifikace. 27. Betonářské dny, sborník ke konferenci. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2020. s. 127-132. ISBN: 978-80-907611-3-1.

SVOBODA, A.; KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; STRNAD, J.; OLŠÁK, M.; BOBEK, L. Experimentální měření kotevní délky předpínací výztuže mostního prefabrikovaného nosníku I-73. 27. Betonářské dny, sborník ke konferenci. Praha: Česká betonářská společnost ČSSI, 2020. s. 133-139. ISBN: 978-80-907611-3-1.

13. SEZNAM PRODUKTŮ PŘEDCHÁZEJÍCÍ METODIKU

KLUSÁČEK, L.; SVOBODA, A.; NEČAS, R.; KOLÁČEK, J.; OLŠÁK, M.: CK01000042-V14; Vysoké učení technické v Brně, Antonínská 548/1, 602 00 Brno, Veveří, Česká republika: *Zařízení k osazení senzoru pro sledování vlastností injektážní malty*. 37011, užitečný vzor Fuzit. 2023

KLUSÁČEK, L.; SVOBODA, A.: CK01000042-V7; *Přípravek pro ověření injektáže a koroze v oblasti před kotvou*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 601 00 Brno. (funkční vzorek Gfunk). 2023

KLUSÁČEK, L.; STRNAD, J.; SVOBODA, A.: CK01000042-V2; *Přípravek pro mechanické provádění semi-destruktivní diagnostiky*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 601 00 Brno. (funkční vzorek Gfunk). 2023

KLUSÁČEK, L.; SVOBODA, A.: CK01000042-V13; *Způsob rozmístění semi-destruktivních sond pro náležité vystižení stavu předpínacích kabelů v konstrukci*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 601 00 Brno. (funkční vzorek Gfunk). 2023

KLUSÁČEK, L.; NEČAS, R.; SVOBODA, A.; OLŠÁK, M.: CK01000042-V12; *Způsob osazení senzoru pro trvalé sledování vlastností injektážní malty*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Veveří 331/95, 601 00 Brno. (funkční vzorek Gfunk). 2023



Vysoké učení technické v Brně

Antonínská 548/1, 602 00 Brno

&



Link projekt s.r.o.

Makovského náměstí 3147/2, 616 00 Brno

Metodika pro posouzení zbytkové únosnosti předpjatých mostů

Příloha 1

Katalog typických poruch a závad předpjatých mostů

Identifikační č.:

CK01000042-V1

Datum:

6. 12. 2023

OBSAH:

1.	Úvod.....	3
2.	Popis typických závad	3
2.1	Soubor závad – průnik vlhkosti a zatékání.....	5
2.2	Soubor závad – trhliny	17
2.3	Soubor závad – deformace.....	33
2.4	Soubor závad – rozpad betonu.....	35
2.5	Soubor závad – zaplavení	41
2.6	Soubor závad – ostatní.....	45
3.	Závěr	49
4.	Seznam obrázků a tabulek	50

1. ÚVOD

Tato příloha schválené metodiky je zaměřena na zefektivnění procesu prvotního výběru předpjatých mostů pro podrobnou diagnostiku pomocí definování souborů typických závad, které mohou indikovat zvýšené riziko probíhající koroze předpínací výztuže. Popis typických závad je zaměřen především na jejich vizuální projev, možnou příčinu vzniku a další vývoj, a tudíž lze s tímto souborem pracovat zejména během provádění mostních prohlídek.

2. POPIS TYPICKÝCH ZÁVAD

Z důvodu vysokého počtu předpjatých mostů je nejen nereálné, ale i neekonomické provádět diagnostiku předpínacích jednotek jako součást systému hlavních, resp. mimořádných, případně dalších prohlídek mostů. Nejprve by měla proběhnout etapa mimořádných prohlídek mostů s cílem vyselektovat ty mosty, u nichž jsou shledány takové závady (poruchy), které indikují zvýšené riziko koroze předpínací výztuže. A teprve následně by měly být zadávány diagnostiky předpínací výztuže u takto vybraných mostů.

Pro zefektivnění procesu prvotního výběru předpjatých mostů pro podrobnou diagnostiku byl sestaven soubor typických závad, které mohou indikovat zvýšené riziko probíhající koroze předpínací výztuže. Popis typických závad je zaměřen především na jejich vizuální projev, možnou příčinu vzniku a další vývoj, a tudíž lze s tímto souborem pracovat zejména během provádění mostních prohlídek. Tímto použitím může soubor závad přispět k ekonomickému hodnocení stavu prohlížených konstrukcí a současně se vyhnout dvěma extrémním polohám:

- první lze nazvat rizikově přemrštěnou, kdy prohlídky budou paušálně doporučovat podrobnou diagnostiku předpínací výztuže jen proto, aby se vykázala činnost, a protože se již vyskytly havárie, aniž by na mostní konstrukci byly jakékoliv projevy indikující riziko koroze;
- druhou lze označit za rizikově podhodnocenou, kdy se následná diagnostika nenavrhne, i když je možné vizuální projevy potenciální koroze pozorovat, např. pro menší zkušenost pracovníka, který do systému prohlídek vstoupil teprve nedávno apod.

Popis typických závad a poruch je zpracována s využitím archivních materiálů autorů a s přihlédnutím k výsledkům diagnostického zkoumání předpínací výztuže, které autoři a někteří jejich kolegové z odborné komunity následně prováděli. Tato diagnostická zjištění poskytla účinnou zpětnou vazbu pro zpětné hodnocení vizuálních nebo i jiných projevů rizika koroze předpínací výztuže a vůbec umožnila kvalifikovaně vyjádřit možné následky pozorovaných závad nebo poruch. A to včetně v řadě případů značné neurčitosti ve vztahu k zatížitelnosti mostu apod., protože dosažení vyšší určitosti lze dosáhnout v odůvodněných případech právě jen až po etapě diagnostického průzkumu.

Jednotlivé závady jsou řazeny do souborů dle typu závady:

- průnik vlhkosti a zatékání;
- trhliny;
- deformace;
- rozpad betonu;
- zaplavení;
- ostatní.

Soubory uvedených závad jsou otevřeným systémem, tzn. v rámci řešení výzkumného projektu bude možné závady doplňovat, případně zpřesňovat, a to na základě dalšího vývoje řešení projektu, provedených prohlídek a následných diagnostik.

2.1 Soubor závad – průnik vlhkosti a zatékání

VLHKÁ MÍSTA NA POVRCHU BETONU

Příčinou zatékání vody do nosné konstrukce může být porušený nebo zcela nefunkční izolační systém, nevhodně řešené detaily napojení konstrukčních celků (např. římsy, mostní závěry) nebo odvodňovacích systémů. V některých případech může být příčinou i porucha vodovodu, který most převádí přes překážku. K zatékání na povrch nosné konstrukce může docházet taky v důsledku poruchy odvodňovacího systému nebo z důvodů nekvalitně prováděné údržby (nepřůchodné odvodňovače nebo odvodňovací trubičky, zanesené mostní závěry apod.).

Jakmile je umožněn přístup vlhkosti (resp. vody) k povrchu betonu, dochází k zatékání do nosné konstrukce nebo stékání vody po vnějších lících betonu. V případě dlouhodobého zatékání vody na povrch betonu nosné konstrukce dochází k vymílání cementového tmele a k rozrušování povrchové struktury betonu. Beton postupně ztrácí svoji pasivační schopnost, dochází k oslabování betonové krycí vrstvy, která zajišťuje primární ochranu předpínací výztuže. Voda a chemické sloučeniny, které jsou v ní rozptýleny tak mohou způsobit korozivní proces předpínací výztuže.



Obr. 1 Viditelné stopy po zatékání (tmavé skvrny) na povrchu betonu předpjatého tyčového prefabrikátu typu I (nejčastěji I-67, I-73). Zatékání se nejčastěji objevuje na povrchu betonu pod mostními římsami nebo v prostoru uložení prefabrikátu (zatékání skrze mostní závěry).

VÝLUHY VÁPENITÝCH SOLÍ NA POVRCHU BETONU (POVLAKY)

Příčinou trvalého zatékání agresivního roztoku nasyceného kyselinami a solemi (a jinými chemickými sloučeninami např. v důsledku nevhodné údržby v zimních měsících) do nosné konstrukce je zejména porušený nebo zcela nefunkční izolační systém, nevhodně vyřešené detaily napojení konstrukčních celků (římsy, mostní závěry, odvodňovače apod.). Chemické procesy na povrchu betonu mají poté za následek vysrážení (krystalizace rozpuštěných látek roztoku) povlaků na povrchu betonu, rozrušování betonu a dochází k oslabení jeho pasivační schopnost.

Chemické procesy na povrchu betonu mají za následek vysrážení (krystalizace rozpuštěných látek roztoku) povlaků na povrchu betonu, rozrušování struktury betonu a dochází tak k postupnému oslabování betonové krycí vrstvy. Beton postupem času ztrácí ochrannou pasivační schopnost a dochází ke zvýšenému riziku vzniku koroze předpínací výztuže.



Obr. 2 Viditelné bílé povlaky a výluhy na povrchu betonu v místech stékání vody. Na obrázku jsou zobrazeny typické bílé mapy na povrchu tyčových předpjatých prefabrikátů typu I (nejčastěji I-67, I-73).



Obr. 3 Viditelné bílé výluhy a povlaky po zatékání uvnitř komory předpjatého mostu. Příčina zatékání – nefunkční hydroizolační systém a nevhodně vyřešená pracovní spára.

KRÁPNÍKY NA POVRCHU BETONU

Příčinou vzniku krápníků je dlouhodobé zatékání do nosné konstrukce (viz předchozí závady) s následnou chemickou reakcí alkalického roztoku hydroxidu vápenatého a oxidu uhličitého z ovzduší, který má za následek vysrážení uhličitanu vápenatého (kalcit) a tvorbu krápníků na povrchu betonu. Chemické sloučeniny obsažené ve vodě zvyšují riziko koroze předpínací výztuže.

Beton vystavený agresivnímu prostředí (chemické sloučeniny obsažené ve vodě) postupně ztrácí svoji ochrannou pasivační schopnost a tím jsou vytvořeny podmínky pro možný vznik korozivního procesu předpínací výztuže. Závada může vyústit až k odpukávání betonové krycí vrstvy.