

Objednatel:

D-PLUS PROJEKTOVÁ A INŽENÝRSKÁ a. s.

Sokolovská 16/45, 186 00 Praha 8

***Stavebně technický průzkum opěrných stěn
komunikace v ulici Průmyslová***



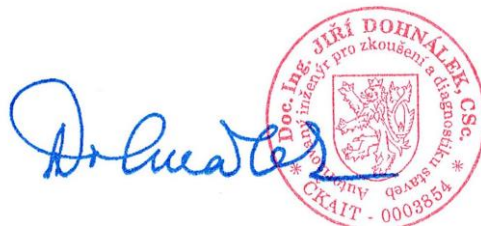
Zpracoval:

Miroslav Gottwald
hlavní technik diagnostiky staveb



Schválil:

Doc. Ing. Jiří Dohnálek, CSc.
autorizovaný inženýr a soudní znalec



Praha, únor 2020

1. Obsah

1. Obsah	2
2. Úvod	3
3. Stručný popis posuzované konstrukce	4
4. Metodika provedených zkoušek a jejich výsledky	5
4.1 Vizualní prohlídka posuzovaných opěrných stěn	6
4.2 Pevnost betonu v tlaku	7
4.3 Pevnost betonu v tahu povrchových vrstev	9
4.4 Korozní stav výztuže uvnitř konstrukce	10
4.5 Mrazuvzdornost betonu	11
4.6 Ověření přítomnosti reakčních gelů ASR	13
4.7 Chemické rozbory	15
5. Celkové zhodnocení výsledků zkoušek a doporučení sanačního zásahu	16
Doporučení sanačního zásahu	17

2. Úvod

Na základě objednávky firmy D – plus Projektová a inženýrská a.s. byl proveden ve dnech 15.1. a 18.1. 2020 stavebně technický průzkum opěrných stěn komunikace v ulici Průmyslová.

Stavebně technický průzkum byl koncipován tak, aby bylo možné předložit poznatky o kvalitě předmětných opěrných stěn jako celku a současně definovat rozsahy poškození zkoumaných konstrukcí s ohledem na jejich rozlehlou plochu.

Stavebně technický průzkum byl tak proveden v tomto znění:

- vizuální prohlídka všech konstrukčních prvků (stěny, římsy), včetně akustického trasování povrchu, korozní úbytky ocelových prvků,
- odběr jádrových vývrtů z povrchu stěny a římsy o průměru 70 mm,
- stanovení pevnosti betonu v tlaku destruktivně na vynesných jádrových vývrtech, včetně objemové hmotnosti betonu,
- podrobná prohlídka a popis pláště jádrových vývrtů s ohledem na možné degradace uvnitř konstrukce, fotodokumentace,
- stanovení pevnosti betonu v tlaku nedestruktivně metodou Maškova špičáku u všech konstrukčních prvků,
- stanovení korozního stavu výztuže uvnitř konstrukcí na základě porovnání souboru tloušťky krycí a zkarbonatované vrstvy betonu,
- ověření přítomnosti alkalické reakce kameniva v betonu uranylacetátovým testem,
- stanovení mrazuvzdornosti betonu podle ČSN 73 1326, metoda A na 75 zmrazovacích cyklů,
- hodnotící zpráva, včetně doporučení pro sanaci objektu a odhadu životnosti sanované konstrukce.

Cílem stavebně technického průzkumu je především popsat co nejpřesněji aktuální stav, kvalitu a rozsah poškození opěrných stěn komunikace v ulici Průmyslová a na základě získaných informací doporučit taková nápravná opatření, která povedou ke stabilizaci objektu jako celku.

Předkládaná zpráva se tak nezabývá pouze aktuálním stavem konstrukce, ale především jeho zbytkovou životností, včetně predikce vývoje poruch pro další plánované bezproblémové provozování objektu. Zpráva ze stavebně technického průzkumu by tak měla být zřetelným vodítkem pro projekt sanace povrchu opěrných stěn.

3. Stručný popis posuzované konstrukce

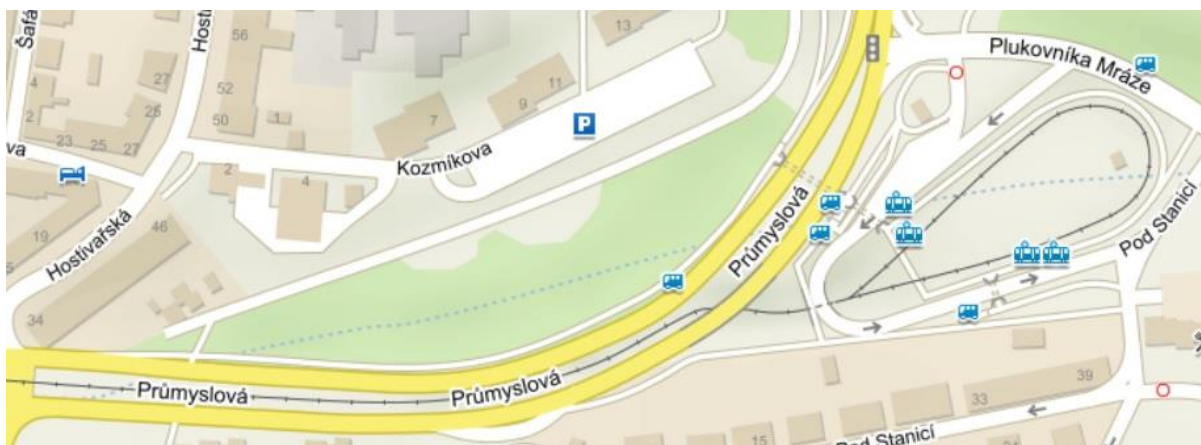
Předmětné opěrné stěny komunikace v ulici Průmyslová jsou součástí tramvajového koridoru Hostivař. Jedná se o monolitické železobetonové konstrukce s proměnnou výškou od cca 1,5 m až do cca 7 m. Povrchové vrstvy vykazují otisky profilovaného bednění po celé výšce. V horní oblasti zhlaví stěn je vytvořena monolitická železobetonová římsa s osazeným ocelovým konstrukčním zábradlím.

Součástí komplexu opěrných stěn jsou také dva mostní objekty, které jsou situovány v místě vyústění tramvajové smyčky.

S ohledem na rozlehlost konstrukce, jejíž celková délka je cca 1.020 m. Bylo nezbytné v rámci provedeného stavebně technického průzkumu jejich hodnocení a prohlídku etapizovat.

V rámci provedeného souboru zkoušek také bylo zjištěno, že tloušťka stávajících opěrných stěn se pohybuje v intervalu od 450 mm až do 600 mm. Jedná se pouze o čtyři provedené lokálně vrtané sondy. Tloušťka stěn může být v některých oblastech výrazně proměnlivá.

Na níže uvedených obrázcích je zřejmá situace předmětného tramvajového koridoru včetně opěrných stěn.



4. Metodika provedených zkoušek a jejich výsledky

Posuzovaná oblast opěrných stěn komunikace Průmyslová je součástí tramvajového koridoru Hostivař. Viditelné povrchové vrstvy konstrukcí byly s ohledem na plošnou výměru předmětných stěn záměrně rozděleny na dílčí úseky staničení. Celkem byly opěrné stěny v koridoru rozděleny na 36 úseků a jejich celková délka je tak cca 1020 m.

Na posuzovaných stěnách byly dále provedeny jak nedestruktivní zkoušky s cílem zachytit aktuální kvalitu a homogenitu konstrukce, tak i odběr jádrových vývrtů, na jejichž vynesení tělesech byly bezprostředně provedeny zkoušky pevnosti betonu v tlaku destruktivně a ověření mrazuvzdornosti betonu.

Stavebně technický průzkum se tak výhradně zaměřil na prognózu životnosti konstrukce a její možné další využití, včetně doporučení potřebných sanačních kroků pro plánovanou revitalizaci objektu jako celku. K tomuto bylo také využito ověření mrazuvzdornosti betonu, která je pro konstrukce v exteriérovém prostředí zcela podstatnou a odvíjí se od ní následný typ sanačního zásahu.

Provedené zkoušky probíhaly v souladu s českými normami, popř. s harmonizovanými tzv. evropskými normami. Některé zkoušky vycházejí z Technických podmínek pro sanace železobetonových konstrukcí TP SSBK III s využitím dlouhodobých zkušeností zpracovatelů stavebně technického průzkumu. Výsledky zkoušek jsou uvedeny v příložených tabulkách.

4.1 Vizualní prohlídka posuzovaných opěrných stěn

Předmětné opěrné stěny jsou co do plochy velice rozměrné, proto bylo z těchto důvodů přistoupeno k jejich rozdělení na 36 staničených úseků. Ve většině případů je délka dílčích úseků na úrovni cca 30 m. Celková délka zkoumaného ostění opěrných stěn je na úrovni cca 1.020 m.

V níže uvedené tabulce jsou zaznamenány veškeré defekty, zjištěné na povrchu konstrukce, a to na základě provedené vizualní prohlídky. Z níže uvedených poznatků tedy jednoznačně vyplývá, že konstrukce je natolik rozsáhlá (co do plošných rozměrů), že zjištěné defekty jsou ve většině případů lokálního charakteru a lze je pomocí cíleného sanačního zásahu alespoň stabilizovat.

Staničení		1 - 36 (cca 1020 m)
Rozsah porušení betonu /m²/	0 - 5 mm	144
	5-30 mm	214
	nad 30 mm	133
Trhliny do 0,4 mm	/m/	925
Trhliny nad 0,4 mm	/m/	37
Rozsah koroze výztuže	odhalená výztuž /m/	104
Úbytek materiálu	/mm/	1 - 14
Dutiny	/m ² /	493
Průsaky	/m ² /, Aktivní /Neaktivní	9A
Výluhy	m ²	151

Vizuální prohlídka tak zachytila především rozsáhlejší korozi výztuže s hloubkovým poškozením, což je ovlivněno především působením volných chloridových iontů v konstrukci. Ty jsou do ní vnášeny především v zimním období, a to v podobě rozmrazovacích prostředků – solí. Negativně však působí zvýšený obsah chloridových iontů především na samotnou výztuž, kde vzniká tzv. důlková koroze a postupně dochází k poškozování, resp. k přerušení samotných výztužných prutů.

Dále se vizuální prohlídka zaměřila na zjištění aktuálního stavu římsy, situované v oblasti zhlaví stěn. Rozptyl výsledků je různorodý a zkoumané úseky byly podrobeny již provedenému staničení ve spodních oblastech stěn. Z toho tedy vyplývá, že některé části konstrukce římsy opěrných stěn (zhlaví) jsou poškozeny v rozsahu 100 %. Jiné naopak s nižšími procentuálními čísly poškození.

Celkově lze tedy konstatovat, že poškození římsy v rozsahu 30 % bylo zaznamenáno v počtu 9 kusů. Nejvíce poškozených říms se nachází v intervalu poruch od 30 do 90 % poškození, a to v přímém rozsahu 23 kusů. Již u čtyř ze zkoumaných říms lze konstatovat stoprocentní poškození konstrukce, nebo její rozsáhlé poškození, které je v delším časovém horizontu prakticky nevyhovující.

Celkově však lze hodnotit aktuální stav stávajících stěn jako vyhovující, který bude podléhat lokálním opravám v místě poškození. Zcela jiná situace je však v případě říms, které lze celkově považovat za nevyhovující. Jejich poškození je natolik rozsáhlé, že stabilizace této oblasti konstrukce je z dlouhodobého hlediska prakticky nemožná.

4.2 Pevnost betonu v tlaku

V rámci provedeného stavebně technického průzkumu byly z povrchu vnitřního líce stěn koridoru a římsy odebrány jádrové vývrtky v počtu 11 kusů.

Z vnesených jádrových vývrtů byla řezáním zhotovena zkušební válcová tělesa, která byla následně změřena a zvážena tak, aby na nich mohla být stanovena objemová hmotnost. Tělesa byla vyřezána z podpovrchových partií vnesených jádrových vývrtů. Následně byla okoncována speciální rychletuhnoucí sírovou směsí a odzkoušena na pevnost betonu v tlaku destruktivně v elektronicky řízeném hydraulickém zkušebním stroji EDT 1600.

Uvedené výsledky zkoušek se dle normativních odkazů běžně stanovují na válci o průměru 150 mm a výšce 300 mm. S ohledem na skutečnost, že takto velká tělesa nelze v mnoha případech vůbec odebírat, jsou u menších těles pomocí souboru výše uvedených

zkoušek tyto výsledky kalibrovány a zařídovány a současně hodnoceny dle ČSN EN 13 791, postupu B, pro určení minimální charakteristické pevnosti betonu v tlaku v konstrukci dle ČSN EN 206.

Povrchové vrstvy všech zkoumaných konstrukčních prvků byly podrobeny nedestruktivnímu stanovení pevnosti betonu v tlaku metodou Maškova špičáku.

V níže uvedené tabulce jsou zapsány průměry jednotlivých zkoušek pevnosti betonu v tlaku v předmětné zkoumané oblasti.

Konstrukce - povrch	Nedestruktivně stanovená pevnost	Odpovídající třída betonu	Destruktivně stanovená pevnost	Odpovídající třída betonu	Průměrná objemová hmotnost
	[MPa]		[MPa]		
Stěna -staničení 3 (poškozená)	17,8	C 12/15	26,37	C 20/25	2276
Stěna -staničení 7	35,2	C 25/30			
Stěna -staničení 12	18,1	C 12/15			
Stěna -staničení 20 (nepoškozená)	34,5	C 25/30			
Římsa -staničení 3 (poškozená)	27,5	C 25/30	17,68	C 20/25	2330
Římsa -staničení 20 (nepoškozená)	28,5	C 20/25			

Upozorňujeme, že z dlouhodobých zkušeností víme, že při vyhodnocování výsledků pevnosti betonu v tlaku v konstrukci jsou výsledky u menších průměrů těles mírně podhodnocovány v řádu cca 15 %. Je to dáno především tím, že s kumulací zrn kamene uvnitř jádrového vývrtu v lokálních oblastech dochází ke zvýšení, resp. ke zpevnění konstrukce. Naopak oblasti, kde kamenivo téměř absentuje, mají velmi nízké hodnoty pevnosti betonu v tlaku. Důležitým parametrem při stanovení pevnosti betonu v tlaku je tak i minimální rozměr kameniva vůči průměru tělesa. Jednotlivé zkoušky jsou pak kalibrovány v rámci souboru provedených zkušebních postupů.

Z výše uvedených výsledků zkoušek jednoznačně vyplývá, že jádrový beton je nadále vyhovující. Po dobu expozice zkoumaných opěrných stěn došlo k mírnému

snížení mechanických vlastností betonu povrchových vrstev. Avšak konstrukce jsou z hlediska pevnosti betonu v tlaku nadále využitelné.

4.3 Pevnost betonu v tahu povrchových vrstev

Pevnost v tahu povrchové vrstvy byla ověřována odtrhovou zkouškou. Na očištěný povrch (nejlépe obroušený diamantovým brusným kotoučem) se nalepí zkušební terč o velikosti 5 cm x 5 cm epoxidovým lepidlem. Po vytvrzení lepidla se ke zkušebnímu terči připojí hydraulická aparatura Dyna Z 16, která vyvozuje tahovou sílu kolmou k podkladu a registruje její úroveň na mezi porušení. Důležitým parametrem jsou jednak zjištěné výsledky v MPa a dále lomová plocha zkoumaná na zkušebním terči.

Tahová pevnost povrchové vrstvy betonu umožňuje identifikovat její aktuální kvalitu a současně některé degradační procesy, probíhající v těsných podpovrchových partiích, které nejsou vizuálně zřetelné.

Současně je tato metoda využívána v rámci souboru zkoušek, neboť postihuje a následně vypovídá o stavu a hutnosti povrchové vrstvy jako celku.

V níže uvedené tabulce jsou uvedené průměrné hodnoty pevnosti betonu v tahu.

Konstrukce - povrch	Průměrná pevnost betonu v tahu
Stěna -staničení 3 (poškozená)	3,57
Stěna -staničení 7	4,02
Stěna -staničení 12	4,41
Stěna -staničení 20 (nepoškozená)	4,33

S ohledem na tyto skutečnosti lze zjištěné průměrné hodnoty pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu charakterizovat jako zcela vyhovující, plně v souladu se zjištěnými výsledky zkoušek pevnosti betonu v tlaku.

Uvážíme-li, že poměr mezi pevností betonu v tahu k pevnosti betonu v tlaku, stanovené na vynesných jádrových vývrtech, je u běžného konstrukčního betonu na úrovni 1:15, můžeme z uvedených tahových pevností přepočtem odvodit pevnosti tlakové (orientačně).

Uvedené výsledky zkoušek spolehlivě odpovídají zjištěným hodnotám, stanoveným jak nedestruktivně na povrchu konstrukce, tak i na jádrových vývrtech. Soubor těchto informací dokládá, že hutnost povrchu betonu je vyhovující.

Zkoušky pevnosti v tahu betonu potvrzují, že za celou dobu expozice posuzovaných opěrných stěn v tomto prostředí sice došlo k nějakému mírnému snížení mechanických vlastností betonu, resp. jeho povrchových vrstev, avšak nejedná se o dramatické poškození, které by ohrožovalo životnost konstrukce. Zjištěné tahové pevnosti lze považovat za mimořádné.

4.4 Korozní stav výztuže uvnitř konstrukce

V dostupných oblastech bylo posuzovaných konstrukcí opěrných stěn provedeno stanovení tloušťky krycí vrstvy betonu nad výztuží. Ke stanovení byl použit magnetický indikátor výztuže Profoscope (Proceq, Švýcarsko), který umožňuje stanovit tloušťku krycí vrstvy betonu nad výztuží s přesností ± 1 mm.

Tloušťka zkarbonatované vrstvy byla stanovována kolorimetrickým testem tak, že na prach vynášený při příklepovém vrtání bylo sprejem aplikováno kolorimetrické činidlo – fenolftalein. Tloušťka zkarbonatované vrstvy je indikována stavem, kdy dojde k barevnému přechodu vynášeného prachu na temně fialovou. V tomto okamžiku je zastaveno vrtání a hloubka návrtu je považována za tloušťku zkarbonatované vrstvy.

Porovnáním souboru tloušťky krycí a zkarbonatované vrstvy betonu je možné posoudit, zda se výztuž nachází již ve zkarbonatované oblasti či je dosud hluboko v alkalickém betonu, jehož alkalitou je pasivována a chráněna před rozběhem elektrochemické koroze. Porovnání obou souborů tedy umožňuje posoudit korozní stav výztuže i v oblastech, které nejsou dosud vizuálně poškozeny oddělením povrchových vrstev.

Tato metoda umožňuje prognózovat vývoj koroze výztuže uvnitř konstrukce i v oblastech, které nejsou dosud vizuálně poškozeny oddělením krycích vrstev.

Konstrukce - povrch	Veličina	min	max	Průměrná hodnota	Stav ochrany výztuže alkalitou betonu
		[mm]	[mm]	[mm]	
Stěna -staničení 3 (poškozená)	krytí	15	37	27,2	Výztuž není chráněna
	karbonatace	42	85	73,7	
Stěna -staničení 7	krytí	24	43	31,2	Výztuž není chráněna
	karbonatace	40	60	51	
Stěna -staničení 12	krytí	14	30	21,4	Výztuž není chráněna
	karbonatace	37	58	46,7	
Stěna -staničení 20 (nepoškozená)	krytí	13	43	28,1	Výztuž není chráněna
	karbonatace	19	34	25,8	
Římsa -staničení 3 (poškozená)	krytí	22	57	42,4	Výztuž není chráněna
	karbonatace	25	31	28	
Římsa -staničení 20 (nepoškozená)	krytí	10	31	23,4	Výztuž není chráněna
	karbonatace	15	24	19,7	

Z výše uvedených výsledků zkoušek vyplývá, že výztuže je již situována ve zkarbonatované části betonu, kde není jeho alkalitou již pasivována a chráněna před rozběhem koroze. Ztráta pasivační schopnosti vede k expanzi korozních zplodin na povrchu výztuže a následně k oddělení krycích vrstev betonu nad výztuží. Toto je také podporováno zvýšeným obsahem chloridových iontů v betonu, jež jsou v zimním období vnášeny do konstrukce v podobě rozmrazovacích prostředků. Vizualní prohlídka v postižených oblastech odhalila korodující výztuž.

4.5 Mrazuvzdornost betonu

Mrazuvzdornost betonu je mimořádně podstatným parametrem nejen z hlediska jeho životnosti, ale především v případě, má-li být povrch betonu jakkoliv sanován – reprofilován.

Reprofiláčn vrstva totiř podstatným způsobem omezí transport vlhkosti v sanovaném konstrukcnm prvku a velmi často dochází pod hutnou, nov provedenou reprofiláčn vrstvou ke zvyřen kumulaci vody v kapilárním provm systému betonu. Pokud tento podklad není mrazuvzdorn, dochází velmi záhy k postupn delaminaci nov provedených reprofiláčnch vrstev a k jejich odpadávání. Obecn tedy platí, ře pokud podklad není mrazuvzdorn, nelze reprofiláčn vrstvy k stvjcmu podkladu spolehliv a dlouhodob kotvit adhezí a je nezbytné provést kotven mechanick.

Zkouřka byla provedena metodou podle ČSN 73 1376, metoda A na 75 zmrazovacích cyklů. Zkouřka se provádí tak, ře z čela vyneseno jádrového vývrtu se odřízne 50 mm tlust povrchové vrstva, která se eln stranou ponoří do 5 mm vrstvy tříprocentního roztoku chloridu sodného ve vodě. Takto exponovan těleso se vystaví vřdy 25 zmrazovacím cyklům v automatick zmrazovací aparatuře. Po ukonen 25 zmrazovacích cyklů se roztok slije a odpad, který se z povrchu tělesa oddlil, se vysuř a nsledn zvěří. Odpad se přepočtů v g/m². Standardním kritériem pro mrazuvzdorn beton je, ře jeho odpad po 75 zmrazovacích cyklech musí být menř neř 1.000 g/m². Betony s odpadem vřřm jsou ve smyslu citovan normy povařovny za nemrazuvzdorn.

Zkouřce mrazuvzdornosti bylo podrobeno celkem řest těles, a to tyř tělesa ze stěny a dva vzorky z římsy. Nře uveden tabulka uvádí zjiřřen hodnoty odpadu po 75 zmrazovacích cyklech.

Konstrukce - povrch	Odpad po 75 cyklech [g/m²]
Stěna -staničení 24	397,57
Stěna -staničení 26	1354,6
Stěna -staničení 32	696,79
Stěna -staničení 6	1274,75
Římsa -staničení 35	1406,88
Římsa -staničení 3	559,6

Rozptyl a různorodost jednotlivých výsledků zkouřek je zcela pochopiteln s ohledem na skutečnost, ře betony nebyly navrhovány jako mrazuvzdorn. Mrazuvzdornost je odvisl

od konfigurace kapilárního pórového systému v betonu, který může být náhodně nastaven lépe či hůře, takže i míra mrazuvzdornosti u starších betonů je mimořádně proměnná. Přesto je třeba zdůraznit, že mechanické vlastnosti betonu, tedy i vysoká kvalita betonu v řádném případě neindikují a nekorelují s vysokou mrazuvzdorností. Obecně platí, že mimořádně hutné a pevné betony jsou nemrazuvzdorné a naopak betony nižších tříd, přiměřeně provzdušněné, mají vynikající mrazuvzdornost.

Dalším podstatným parametrem je i vysoká hutnost nově zbudované povrchové vrstvy (správkové prefabrikované malty), kde v podkladním betonu dojde zcela zásadním způsobem k omezení transportu vlhkosti, která je však již v sanovaném prvku přítomna. Tento proces opět vede k oddělení povrchové vrstvy a následně jejímu odpadnutí.

Z výše uvedených výsledků tedy jednoznačně vyplývá, že konstrukce jsou vystavěny z nemrazuvzdorného betonu. To dokládají jednak výsledky monolitického stěny, tak i římsy.

Při plánování sanačního zásahu je nezbytné na výše uvedené skutečnosti brát dostatečný zřetel a v žádném případě nelze ke stávajícímu povrchu kotvit jakkoliv nově zbudované povrchové vrstvy adhezí. Reprofilační vrstvy tak lze ke stávajícímu povrchu kotvit výhradně mechanicky.

4.6 Ověření přítomnosti reakčních gelů ASR

Degradační procesy betonu také mohou probíhat v jeho mikrostruktuře. Za tímto účelem byly na odebraných vzorcích provedeny ověřovací testy na působení alkalické reakce kameniva v betonu, jejíž expanzní účinky jsou pro betony destruktivní.

Obsah alkálií (obsah sodíku a draslíku) v betonu je jedním z rozhodujících faktorů, který ovlivňuje riziko vzniku alkalické reakce kameniva v betonu. Reálné stanovení obsahu alkálií v betonu však komplikuje celá řada skutečností. Tam, kde je beton vystaven působení jakýchkoliv zdrojů vody, může být obsah alkálií výrazně snížen dlouhodobým vyluhováním. Podobně, pokud byl beton vystaven transportu vlhkosti na jedné straně a na protilehlé spíše vysoušen, může dojít v jedné oblasti k redukci obsahu alkálií, naopak ve druhé k jejímu zvýšení.

Současně je nezbytné upozornit, že obsah alkálií mohou zvyšovat alkálie, obsažené v různých typech kameniva, např. v živici. Pokud existuje podezření, že alkálie mohou být

přítomny v minerálech kameniva, doporučuje se, aby bylo z hlediska obsahu alkálií analyzováno separátně kamenivo, a to zejména jemné frakce. Naopak některé typy kameniva mohou alkálie absorbovat. Výrazný vliv a obsah alkálií v betonu mohou mít dále přísady popílku a jemně mleté vysokopevnostní strusky v betonu.

Posouzení vlivu těchto příměsí vyžaduje, aby byl k dispozici jejich hmotnostní podíl, obsažený v betonu a stanovený obsah alkálií se s ohledem na tyto skutečnosti mohl redukovat.

Současně je nezbytné si uvědomit, že alkálie se v betonu vyskytují od prvopočátku. Identifikace reakčního gelu je tak nezbytné provádět porovnáním výsledků ověřovací fluorescenční metody s výsledky laboratorních zkoušek.

Ověření přítomnosti alkalicko-křemičitých reakčních gelů se provádí jednocílovou speciální metodou, která umožňuje detekci gelů, které vznikají jako produkt alkalicko-křemičité reakce kameniva v betonu. Metoda využívá fluorescence uranylacetátu, navázaného na gel, který lze tak identifikovat ještě v době, než dojde k závažnějšímu poškození betonu. U konstrukcí, u kterých v minulém období (v řádu desetiletí) probíhala alkalická reakce kameniva v betonu, může nastat situace, že veškeré gely, které jsou produkty této reakce, již byly z konstrukce vymyty a jejich detekce touto metodou je neúspěšná, přestože konstrukce byla, resp. je alkalickou reakcí kameniva v betonu postižena a poškozena.

Posouzení přítomnosti alkalické reakce kameniva v betonu bylo provedeno fluorescenční metodou podle AASHTO-T-299-93. Test se provádí na odebraných vzorcích z konstrukce a to tak, aby vznikla čerstvá lomová plocha zkoumaného vzorku. Tento je opláchnut vodou a na něj je nanesen roztok octanu uranilu, kterým je možné detekovat reakční produkty alkalické reakce kameniva, tzv. reakční gely. Potom se nechá roztok reagovat po dobu 3 až 5 minut. Následně jsou tělesa opláchnuta vodou a vzorek je nasvícen UV lampou se světlem vlnové délky 254 nm. Přítomnost ASR gelu se projeví žlutozelenou fluorescencí.

Testu ověření přítomnosti alkalicko-křemičitých produktů – gelů fluorescenční metodou bylo podrobena celkem šest vzorků nejen ze stěny, ale i z římsy opěrných stěn. Identifikace reakčních gelů alkalické reakce kameniva byla u všech zkoumaných těles negativní. Předmětné konstrukce tak nejsou reakčními gely kontaminovány.

4.7 Chemické rozbory

Pro stanovení aktuálního stavu konstrukce, resp. její predikce životnosti je významnou informací i obsah volných chloridových iontů v betonu. Testu obsahu volných chloridových iontů v betonu bylo podrobena celkem šest vzorků z opěrných stěn (z vnesených vývrtů). Jednotlivé obsahy chloridů byly stanovovány především na povrchu konstrukce, ale i v hlubších partiích s cílem, zjistit rozsah kontaminace a hloubku jejího působení.

Jednotlivé podíly obsažených složek byly stanovovány u betonových vzorků potenciometrickou titrací na eluátu, který byl získán zkušebním postupem SOP D 06 07-23 (ČSN EN 4080-10) laboratoře ALS Czech Republic, s.r.o.

Depasivace ocelové výztuže, tedy ztráta ochrany vlastnosti tenké vrstvy oxidu železa na povrchu oceli, může být hloubkově poškozena působením volných chloridových iontů na povrchu výztuže. Hlavní rozdíl mezi korozí, podporovanou působením CO₂ (karbonatace betonu), spočívá v hloubce zkorodované vrstvy. V případě CO₂ má tato vrstva pravidelnou hloubku, zatímco v případě chloridových iontů je hloubka poškození výrazně nepravidelná a vyskytují se zde velmi hluboké defekty např. přerušení výztuže apod. Látky v podobě chloridů (solí – NaCl, obsažené v provozních látkách), jsou do konstrukce transportovány absorpcí, resp. kapilární elevací pórového systému betonu.

Matrice: BETON				Název vzorku		020/20-JV7/1 ST 3 - opěrná stěna (koridor) - ČELO	020/20-JV7/2 ST 3 - opěrná stěna (koridor) - STŘED	022/20-JV9/1 ST 11 - opěrná stěna (mezi mosty) - ČELO	
Identifikace vzorku				Datum odběru/čas odběru		PR2006720-001	PR2006720-002	PR2006720-003	
Datum odběru/čas odběru				[23.1.2020]		[23.1.2020]		[23.1.2020]	
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	Výsledek	NM	Výsledek	NM
fyzikální parametry									
sušina při 105 °C	S-DRY-GRCI	0.10	%	98.2	± 6.0%	95.0	± 6.0%	97.9	± 6.0%
anorganické parametry									
chloridy	S-CL-TIT	40	mg/kg suš.	9120	± 10.0%	64	± 43.2%	<40	---

Matrice: BETON				Název vzorku		022/20-JV9/2 ST 11 - opěrná stěna (mezi mosty) - STŘED	023/20-JV10/1 ST 12 - opěrná stěna (před mostem) - ČELO	023/20-JV10/2 ST 12 - opěrná stěna (před mostem) - STŘED	
Identifikace vzorku				Datum odběru/čas odběru		PR2006720-004	PR2006720-005	PR2006720-006	
Datum odběru/čas odběru				[23.1.2020]		[23.1.2020]		[23.1.2020]	
Parametr	Metoda	LOQ	Jednotka	Výsledek	NM	Výsledek	NM	Výsledek	NM
fyzikální parametry									
sušina při 105 °C	S-DRY-GRCI	0.10	%	93.7	± 6.0%	95.2	± 6.0%	93.1	± 6.0%
anorganické parametry									
chloridy	S-CL-TIT	40	mg/kg suš.	50	± 54.3%	1890	± 10.1%	578	± 11.0%

Uvážíme-li při dávce cementu 380 kg/m³, je limitní hranicí volných chloridových iontů v betonu dávka na úrovni 0,4 %. Je tedy zřejmé, že výsledky, zjištěné na odřezcích z vnesených jádrových vývrtů ze staničení 11 jsou vyhovující. U vzorku JV 9/1 byla zjištěna

nejmenší měřitelná hodnota 40 mg/kg. Konstrukce v této oblasti není v přímém kontaktu s vozovkou, odkud dochází k transportu chloridových iontů. V případě vzorku JV 9/2(střed opěrné stěny) byla zjištěna hodnota 64 mg/kg s nejistotou měření $\pm 43,2$ %. Jedná se o podlimitní hodnoty.

Naopak u vzorků ze staničení 3 a 11 byly prokázány zvýšené hodnoty chloridů, které do jisté míry ohrožují stav povrchu betonu, především urychlují rozvoj koroze výztuže.

Z hlediska uvedených výsledků zkoušek je možné konstatovat, že konstrukce jsou kontaminovány zvýšeným obsahem chloridových iontů, který je ve středně dobém časovém horizontu může výrazněji poškodit.

5. Celkové zhodnocení výsledků zkoušek a doporučení sanačního zásahu

Na základě provedeného stavebně technického průzkumu opěrných stěn komunikace v ulici Průmyslová jsou níže uvedeny souhrny výsledků zkoušek a současně doporučení nápravných opatření pro jejich stabilizaci.

Přehledová tabulka z vizuální prohlídky ostění všech staničení

Staničení		1 - 36 (cca 1020 m)
Rozsah porušení betonu /m²/	0 - 5 mm	144
	5-30 mm	214
	nad 30 mm	133
Trhliny do 0,4 mm	/m/	925
Trhliny nad 0,4 mm	/m/	37
Rozsah koroze výztuže	odhalená výztuž /m/	104
Úbytek materiálu	/mm/	1 - 14
Dutiny	/m ² /	493
Průsaky	/m ² /, Aktivní /Neaktivní	9A
Výluhy	m ²	151

Přehledová tabulka z vizuální prohlídky říms

Rozsah poškození	Počet
do 30 %	9
od 30 % do 90 %	23
od 90 % do 100 %	4

- Výsledky pevnosti betonu v tlaku stanovené destruktivně u obou zkoumaných prvků (stěna, římsa) odpovídá pevnostní třídě C 20/25, dle ČSN EN 206. Nedestruktivně stanovená pevnost betonu v tlaku se u stěny odpovídá pevnostním třídám C 12/15 a C 25/30, dle ČSN EN 206. Nižší hodnoty byly zjištěny v poškozených oblastech. V případě římsy pevnosti betonu v tlaku zjištěné nedestruktivně odpovídají pevnostním třídám, resp. Jejich rozhraní C 20/25 až C 25/30.
- Tahové pevnosti zjištěné na stěnách lze považovat za zcela vyhovující.
- Z hlediska predikce koroze výztuže lze konstatovat, že u vnitřního líce opěrných stěn a u římsy probíhá koroze výztuže.
- Při plánování sanačního zásahu je nezbytné brát dostatečný zřetel na skutečnost, že jsou konstrukce vystavěny z nemrazuvzdorného betonu.
- Provedené ověření přítomnosti alkalické reakce kameniva v betonu prokázalo, že konstrukce není kontaminována reakčními gely.
- Z hlediska kontaminace konstrukce chemickými procesy (zvýšený obsah chloridů) jsou zjištěné hodnoty nevyhovující.

Doporučení sanačního zásahu

Na základě provedeného stavebně technického průzkumu a vizuální prohlídky opěrných stěn včetně zhlaví konstrukce lze jednoznačně konstatovat, že svislé opěrné stěny jsou zasaženy jednak oblastmi, které jsou poškozeny mrazovou degradací a probíhající korozí výztuže, současně však i v některých oblastech aktivními průsaky a trhlinami. Výše uvedené degradační procesy jsou také základním parametrem pro stanovení další životnosti konstrukce jako celku. Lze tedy předpokládat, že konstrukce může být v tomto stavu dále cíleně kontrolována až do stadia dožití, což lze předpokládat na úrovni cca 12 let. Plánovaný sanační zásah by měl být tedy koncipován tak, aby obnovení poškozených oblastí umožnilo prodloužení životnosti stávajícího konstrukčního celku v minimálním řádu cca 25 let.

Standardně se tento krok provádí tak, že oblast postižená defekty (degradací, korozí či mrazovým poškozením) bude citlivě vypreparována vysokotlakým vodním paprskem a ohraničena do geometrického obrazce. Minimální účinnost vysokotlakého vodního paprsku by měla být na úrovni 800 barů. Účinnost předúpravy povrchu doporučujeme ověřit na předem připravených referenčních plochách. Podstatou předúpravy povrchu je „otevření struktury betonu“ tak, aby byly zlepšena adheze nově zbudovaných vrstev k podkladu, nikoliv však jeho celkové poškození.

S ohledem na skutečnost, že konstrukce je vystavěna z nemrazuvzdorného betonu, je třeba počítat s tím, že nově zbudované povrchové vrstvy by k podkladu měly být kotveny výhradně mechanicky. Tento krok se provádí pomocí subtilních KARI sítí, které jsou k podkladu fixovány pomocí ocelových vlepených trnů, nebo pomocí ocelových nerezových kotev. Minimální tloušťka nově zbudovaných vrstev by měla být na úrovni 30 mm.

Nelze si asi zcela jednoznačně představit, že by konstrukce byly reprofilovány jako celek. To je z hlediska rozměrů i finančních nákladů prakticky nereálné. Lze si však představit, že některé konstrukce budou lokálně opraveny a v provedených opravách budou přesně stanovené geometrické obrazce vystouplé z povrchové vrstvy v požadované tloušťce minimálně 30 mm. Tím by bylo zajištěno také posílení aktuálního stavu realkalizace prostředí výztuže. Samotná výztuž je postižena v mnoha případech elektrochemickou korozí, která probíhá na povrchu výztuže nejen vlivem působení vnějšího CO_2 , ale především působením volných chloridových iontů, jejichž obsah v betonu je zvýšen. V místech, která jsou poškozena korozí výztuže, bude nezbytné provést citlivé mechanické obourání v okolí výztuže a následně odhalenou výztuž zbavit korozních zplodin. Na očištěnou výztuž se doporučuje aplikovat vhodný antikorozi ochranný nátěr, nebo adhezní můstek s inhibitory koroze. Současně v místě probíhající koroze se doporučuje aplikovat nejen nově zbudované povrchové vrstvy, ale především kombinaci s migrujícími inhibitory koroze. Tyto podpůrné prostředky umožní zajistit stabilitu prostředí výztuže tak, aby dále nedocházelo k rozsáhlejšímu rozvoji koroze výztuže. Jednoznačně je však nezbytné konstatovat, že korozní procesy jsou nezvratné a nelze je vhodným sanačním zásahem jakkoliv zastavit, ale pouze je výrazněji zpomalit.

Co se týká reprofilačních malt, doporučuje se, aby vybraná správková malta byla čistě na cementové bázi bez výraznějších přísad polymerních přísad. Tím by bylo zabráněno uzavírání vlhkosti v podpovrchových partiích. Reprofilační vrstva totiž podstatným způsobem omezí transport vlhkosti v sanovaném konstrukčním prvku a pod hutnou neprodyšnou nově

zbudovanou povrchovou vrstvou dochází ke zvýšené kumulaci vody v kapilárním pórovém systému betonu. To je s ohledem na jeho nemrazuvzdornost zcela nevyhovující a pod nově zbudovaným povrchem by nadále docházelo k chátření stávajícího betonu (mrazovému poškození).

Za nejvíce problematické však lze považovat zajištění stability aktuálně poškozené římsy zhlaví stěn. Z hlediska prognózy životnosti nemá plánovaný sanační zásah žádnou možnost delšího časového trvání. Jeho úspěšnost bude odvislá od mnoha faktorů, které již před samotným zahájením sanačního kroku jsou velmi nepříznivé. V tomto případě se tedy jeví jako nejúčinnější a zcela nejfunkčnější provedení obourání části zhlaví římsy až po horní osnovu výztuže a provést novou nabetonávku především z mrazuvzdorného betonu. I tyto kroky lze etapizovat a provést prozatím opravy pouze výrazně poškozených oblastí. Současně si umím představit, že některé oblasti poškozených říms budou lokálně vyspraveny, ovšem s jasnou představou, že tyto opravy nemají delšího trvání než cca 5 let.

Pokud by měly být jakýmkoliv způsobem stabilizovány povrchové vrstvy nově zbudovaných betonů či reprofilačních vrstev, nedoporučuje se na jakkoliv aplikovat žádné ochranné nátěrové systémy. Nejúčinnějším a současně nejprodyšnějším povrchem, který umožní zpomalit vsakování srážkové vody do konstrukce či tajícího sněhu, je jeho hloubková hydrofobizace.

Výše uvedená doporučení sanačního zásahu umožní stabilizovat stávající opěrné prvky opěrné stěny v delším časovém horizontu, a to na úrovni cca 30 let. Lokální opravy v případě říms, jak již bylo výše uvedeno, mají pouze omezenou časovou životnost. Přesto je nelze opomenout a je možné některé oblasti i takto opravit.