



**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE
KLOKNERŮV ÚSTAV**

Stanovení vybraných a sledovaných technických parametrů
povrchu betonu vnitřních částí konstrukcí
vodohospodářských staveb v rámci plánované sanace
(při zvážení omezujících činitelů při zkoušení)

Determination of the selected technical parameters of the
concrete surface of internal parts of water
management structures within the planned repair
(considering the limiting factors when testing)

Doktorská disertační práce

Ing. Hana Nohelová



Doktorský studijní program: P 3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: Nauka o nekovových materiálech a stavebních hmotách

Školitel: doc. Ing. Tomáš Klečka, CSc.

Praha 2020

Poděkování

Děkuji všem odborným pracovníkům, především mému školiteli doc. Ing. Tomáši Klečkovi, CSc., a řediteli Kloknerova ústavu doc. Ing. Jiřímu Kolískovi, Ph.D., kteří mi svým zájmem a odbornou zkušeností poskytli cenné rady při zpracování této doktorské práce.

Další poděkování patří mým kolegům z brněnské pobočky TZÚS Praha, s.p., za spolupráci v rámci prováděných zkoušek na stavbách a v laboratoři, které byly použity při zpracování této práce.

Obsah

Obsah	3
1. ÚVOD	5
1.1 Předmět výzkumu.....	5
1.2 Zaměření práce.....	6
1.3 Vodohospodářské objekty	7
2. TEORETICKÁ ČÁST.....	9
2.1 Úvod, obecně	9
2.2 Výztuž v betonu, zejména nosná výztuž.....	10
2.2.1 Posuzování a zjišťování stavu výztuže u sledovaných objektů	11
2.2.2 Poloha výztuže, koroze výztuže, měření	12
2.3 Beton konstrukcí	14
2.3.1 Obecně	14
2.3.2 Normové předpisy	15
2.3.3 Vlastnosti betonu, sledované pro posouzení betonu konstrukce	27
2.3.4 Zkoušení jednotlivých uvedených vlastností betonových konstrukcí – normové podklady, přístroje	28
2.4 Povrchová vrstva betonu ve vnitřní části sledovaných konstrukcí	34
2.4.1 Přípravné práce na sanaci.....	35
2.5 Výrobky a systémy pro opravu a ochranu betonových konstrukcí	36
2.5.1 Požadavky	37
2.5.2 Platné normy a jejich použití a určení podle účelu sanace (vybrané normové definice)	39
2.5.3 Normové předpisy pro ověřování vlastností výrobků a systémů pro opravu a ochranu betonových konstrukcí	40
2.5.4 Provádění oprav se statickou funkcí a bez statické funkce	43

3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	44
3.1	Obecně úvodem	44
3.2	Prověřované vodojemy.....	47
3.2.1	Tvary a rozměry vodojemů.....	47
3.2.2	Vnitřní povrchy (stěn, sloupů, stropů) zkoušených vodojemů a jejich úprava.....	53
3.3	Zkoušky prováděné na stavbách v rámci stavebního průzkumu.....	57
3.3.1	Rozsah zkoušek.....	57
3.3.2	Hodnocení zkoušek.....	60
3.4	Vztah mezi pevností v tlaku a pevností v tahu povrchových vrstev.....	66
3.4.1	Obecně	66
3.4.2	Příklady získaných vztahů pevnost v tlaku – pevnost v tahu povrchových vrstev (z provedených zkoušek na stavbě vodojemu a jejich vyhodnocení)	68
3.4.3	Hodnocení pevnosti betonu konstrukce	87
4.	ZÁVĚR.....	89
5.	POUŽITÁ LITERATURA.....	93

1. Úvod

1.1 Předmět výzkumu

Práce je zaměřena na provádění sanací vodohospodářských staveb, zejména vodojemů, s důrazem na stanovení optimální přípravy povrchu betonu těchto objektů pro sanaci. Sanují se především vnitřní povrchy těchto objektů, které jsou na těchto objektech vždy narušeny vlivem dlouhodobého užívání, tj. od pohybu a cirkulace vody při odběru do vodovodních sítí. Vnitřní povrch těchto objektů je v různé míře narušen v závislosti na způsobu stavebního provedení těchto konstrukcí. Aby bylo možno provést kvalitní sanaci konstrukce, splňující jak požadavky platných norem, tak požadavky na užívání konstrukce, je nutno provést řádný stavební průzkum, založený na zkouškách ke zjištění technických parametrů skutečného stávajícího stavu objektu. Výsledky a vyhodnocení výsledků zkoušek slouží jako podklad projektantům ke zpracování projektu sanace. Provedené sanační práce je nutno opět kontrolovat za použití platných zkušebních normových postupů a potvrdit plánovanou předepsanou kvalitu hotového díla.

Úkol vychází z poznatků získaných z prací prováděných v rámci stavebního průzkumu různých typů vodohospodářských objektů, především vodojemů, provedených v poslední dekádě v rámci mého pracovního zaměření v TZÚS Praha, pobočka Brno.

Všechny stavby a konstrukce podléhají času a vlivem používání a povětrnostních podmínek dochází k jejich narušení a opotřebování. Tohoto procesu nejsou ušetřeny ani vodárenské objekty, které slouží jako zásobárny vody pro obyvatelstvo. Voda je nejdůležitější potravinou pro obyvatelstvo, musí splňovat přísná kritéria pro její kvalitu. Aby objekty mohly dále sloužit k účelu, pro který byly zbudovány, je třeba provádět jejich údržbu a objekty sanovat.

Sanace těchto objektů se provádí na základě projektu sanace. Při zpracování projektu sanace projektanti vyžadují současné technické parametry dané konstrukce, tj. požadují zjištění stávajícího technického stavu sledované konstrukce, provedení stavebního průzkumu na podkladě zkoušek na konstrukci a na odebraných vzorcích z konstrukce a jejich vyhodnocení.

Projektanti sanace podle provedeného stavebního průzkumu požadují podklady ke stavu výztuže a stavu betonu, a to v parametrech požadovanými platnými normovými předpisy. Údaje jsou potřebné ke zjištění únosnosti celé konstrukce.

Jako základní parametry betonu sledovaných konstrukcí vodojemů, které byly vyžadovány objednateli v rámci průzkumných prací pro přípravu sanace (s důrazem na sanaci vnitřních povrchů těchto objektů), bylo mj. stanovení narušení povrchu betonu, stav betonu vyjádřený pevností betonu v tlaku a pevnost v tahu vnitřního povrchu betonu. Tyto parametry jsou také podkladem při výběru sanačních hmot.

S ohledem na některé omezující činitele při provádění zkoušek sledovaných objektů, zejména požadavky na snížení počtu odběru vzorků z konstrukce (z důvodu krátké doby odstávky – vypuštění vodojemu, nemožnosti provedení dostatečného počtu vývrtů z konstrukce pro provedení destruktivních zkoušek, aj.) se hledaly i možnosti vytvoření jiných vztahů k doplnění a ke zpřesnění některých požadovaných parametrů (např. vztah mezi pevností v tahu povrchových vrstev betonu a pevností betonu v tlaku).

1.2 Zaměření práce

Se zřetelem na moji hlavní pracovní činnost v rámci mého působení v posledních deseti letech je tato práce zaměřena na sanace betonových konstrukcí, převážně určených pro vodohospodářský účel, jako jsou zejména např. vodojemy, čisticí stanice, velkorozměrová potrubí pro vodu a kanalizaci a jiná obdobná díla podobného určení. Uvedené a sanované stavby jsou betonové, resp. železobetonové konstrukce, jejichž základními složkami je beton a výztužná ocel. Převážnou většinu těchto staveb je nutno sanovat z důvodu narušení betonu (způsobeného dlouhodobým provozem těchto vodohospodářských staveb), proto budou sledovány především vlastnosti betonu, jejichž znalost je potřebná a požadovaná v rámci projektové přípravy pro jejich sanaci a dosažení jejich další plnohodnotné funkčnosti.

Sledované stavby byly zbudovány často před delším časovým obdobím, jsou to konstrukce starší a staré, postavené v době, kdy platily odlišné požadavky na stavbu těchto konstrukcí než dnes. Při projektování a provádění sanací je proto také nutno zajistit a docílit navrženou sanaci, aby vlastnosti objektů po provedené sanaci

odpovídaly hodnotám požadovaným a uvedeným v současně platných normových předpisech.

U sledovaných objektů, které byly nebo jsou v současnosti sanovány, byla zjištěna narušení a poruchy mnohdy velkého rozsahu způsobené korozí jak výztuže, tak betonu. Provedenou sanací se objekty vracejí k novému plnému využití.

Aby bylo možno provést odpovídající projekt sanace, je nutno nejdříve zjistit současný stavební stav sledovaných vodohospodářských objektů, a to na podkladě a využití dostupných zkoušek a přístrojového vybavení. Tato práce je proto zaměřena na konkrétní provádění zkoušek na narušených konstrukcích, tj. prováděním nutných zkoušek betonu, s důrazem zejména na zkoušky povrchu betonu a následnému využití výsledků zkoušek pro přípravu těchto povrchů pro vhodný způsob provedení sanace. Sledují se vnitřní povrchy vodohospodářských objektů. Tyto povrchy jsou vlivem doby používání nejvíce zkorodovány a je třeba průzkumem určit rozsah koroze a navrhnout úpravu povrchu a postup provádění sanačních prací. Povrch betonu, který svými vlastnostmi nesplňuje současné normové požadavky na podklad pro plánovanou sanaci, je nutno připravit a upravit s cílem kvalitně provedené sanace.

1.3 Vodohospodářské objekty

Vodárenské objekty jsou životně důležité objekty, které vyžadují zajištění správné funkčnosti, pro kterou byly zbudovány. Proto se provádějí kontroly jejich stavebního stavu a následně jejich opravy a sanace.

Vlivem dlouhodobého používání dochází ke změně technických parametrů vlastností materiálů, ze kterých byly tyto objekty postaveny, následně případně také ke změně vlastností celé konstrukce. K objektivnímu určení změn vlastností konstrukce a jejich částí je nutno využít všech známých zkušebních normativních metod a předpisů. Na základě průzkumu stavebního stavu, výsledků provedených zkoušek a jejich hodnocení se zpracovává projekt sanace a následná sanace objektu (v přímé spolupráci s kontrolní zkušební organizací na dosažených výsledcích zkoušek a jejich hodnocení).

Ze zkoušených vodohospodářských objektů jsme se zaměřili především na vodojemy. Vodojemy jsou betonové konstrukce, různých objemů a různých tvarů, které vzhledem

ke své důležitosti vyžadují vždy provedení stavebního průzkumu současného stavu pro kvalitní provedenou sanaci objektu.

V experimentální části této zprávy budou uvedeny podrobnější informace o zkoušených vodojemech.

Poznámka:

Jak už bylo zmíněno, stavební průzkumy jsou náplní méj dlouhodobé praxe v tomto oboru. Stavební průzkumy provádíme jako ústav pro požadované a také námi zpracovávané odborné a znalecké posudky, které mj. patří do náplně naší činnosti jako zkušebního a znaleckého ústavu.

2. Teoretická část

2.1 Úvod, obecně

Jak už bylo uvedeno, tato práce je zaměřena na sledování a zjišťování stávajících technických vlastností vodohospodářských objektů (v rámci stavebního průzkumu) určených k sanaci. Sledované objekty, především vodojemy, které jsou předmětem této práce, jsou převážně betonové nebo železobetonové konstrukce. Proto jsme se zaměřili na rozhodující vlastnosti těchto sledovaných betonových objektů, na kterých jsme prováděli podrobný stavební průzkum.

Rozhodující vlastnosti sledované při zkoušení jsou vlastnosti zajišťující únosnost a stabilitu konstrukce. Tyto vlastnosti se stanovují v rámci přípravy rekonstrukce či opravy objektů. Určují se stávající technické parametry základních stavebních materiálů, z nichž je konstrukce tvořena. Je to výztužná ocel, beton, povrchová vrstva vnitřních částí konstrukce – je ve styku s vodou, která povrch narušuje a následně narušuje výztužnou ocel v betonu konstrukcí, narušení výztužné oceli vede ke snížení únosnosti konstrukce, popř. až k její destrukci. V rámci posuzování byl dán důraz na sledování koroze výztuže a betonu a jejich velikosti. S ohledem na důležitost stavu povrchové vrstvy vnitřní části konstrukcí (koroze a následné poruchy jak betonu, tak oceli) také z hlediska návrhu provedení sanačních úprav povrchu a výběru sanačních hmot bylo s důrazem sledováno narušení povrchové vrstvy a povrchové úpravy vnitřní části objektů (stěny, strop, nosné sloupy, dno). Stav narušeného sledovaného vnitřního povrchu ovlivňuje rozsah narušení konstrukčního betonu a použité výztužné oceli v betonu konstrukce.

Materiálové složky vodohospodářských objektů, které vyžadují sanaci

- výztuž v betonu, zejména nosná výztuž,
- beton konstrukce (s důrazem na beton konstrukce ve vnitřní části objektu, části, která je ve styku s vodou nebo betonu pod stávající případnou povrchovou úpravou – pod omítkou, nátěrem, aj.),
- povrchová vrstva a její stav ve vnitřní části objektů, vystavená účinku vody (zejména stav případné omítky, vodotěsného nátěru, aj.).

2.2 Výztuž v betonu, zejména nosná výztuž

Výztužná ocel spolu s betonem jsou nejdůležitější složky sledovaných konstrukcí. Konstrukce, sloužící zejména buď jako zásobárna vody zejména pitné (vodojemy, nádrže) nebo k odvodu vody znečištěné (čističky, kanalizační potrubí, aj.) jsou ve vnitřních částech vystaveny nepřetržitému působení vody (tlakové, průtokové, klidové). Narušení výztuže v betonové konstrukci závisí na způsobu ochrany výztuže před působením korozních vlivů. To znamená, že v těchto konstrukcích prvotní ochranou výztuže před korozí je kvalitní beton, dostatečné krytí výztuže betonem a další následná opatření. Jedná se zejména o provedení kvalitních omítek ve vnitřních částech objektů, popř. následné nátěry (vodonepropustné) vnitřních povrchových ploch. Tato uvedená opatření zabraňují průniku vody do konstrukce, snižují průnik vody do betonu konstrukce, a tedy následně i k výztuži, a snižují tak účinky vody na vznik koroze betonu a následně zmenšují či zabraňují vzniku koroze výztuže. Koroze vnitřní povrchové vrstvy betonu s následnou korozí výztuže, zejména nosné výztuže v betonu, vede ke snížení únosnosti celé konstrukce.

Při prováděném stavebním průzkumu těchto konstrukcí se vždy kontroluje stav výztužné nosné oceli, tj. především velikost koroze výztuže. Na základě zjištěného stavu výztužné oceli se zpracovává návrh a doporučení na způsob jejího sanování k zajištění další dlouhodobé životnosti těchto životně důležitých staveb.

U většiny námi prověřovaných staveb, určených k sanaci, není dostupná projektová dokumentace (vzhledem k době budování těchto staveb), a proto vždy v rámci průzkumu je projektantem sanace požadováno a prováděno určení rozmístění výztuže (především nosné, ale i konstrukční) a její současný stav po dlouhodobém používání objektů.

Protože stav výztuže závisí na stavu ochranné vrstvy betonu, popř. použité vrstvy omítky a další povrchové vnitřní úpravy objektů, je nutno se v první řadě zaměřit na zjištění stávajícího stavu tohoto povrchu.

Poznámka:

V této práci jsme se zaměřili na zjišťování a určení stávajících technických parametrů vnitřních povrchových ploch (omítky, nátěry, povrchové vrstvy betonu) a návrhu jejich úprav k dosažení minimálního průsaku vody do betonu konstrukce a tím zabránění

vzniku či postupu koroze výztuže. Povrchové vlastnosti betonu jsou také rozhodující při výběru sanačních materiálů.

2.2.1 Posuzování a zjišťování stavu výztuže u sledovaných objektů

Sledování výztuže není prvořadým tématem této práce, přesto stav výztuže je zásadní otázkou při rozhodování o způsobu provádění sanace narušených vodojemů. Proto budou dále uvedeny poznatky k tomuto tématu.

Jak už bylo dříve uvedeno, vnitřní plochy vodohospodářských objektů jsou – z důvodu ochrany především nosné výztuže objektů – opatřeny ochrannou vrstvou, omítkou různé tloušťky a nátěry, k zabránění nebo alespoň ke snížení průsaku migrující vody do betonu konstrukce vodojemu. Je třeba, aby krytí jak nosné tak konstrukční výztuže bylo dostatečné, neboť to také podstatně ovlivňuje velikost průsaku vody a následné narušení výztuže.

Sledované objekty vzhledem k době svého vzniku byly stavěny rozdílnou technologií a následně také jsou v různé míře narušeny. V době výstavby, tj. v období zahrnující i začátek 20. století (nejstarší objekty byly stáří dosahující až 100 roků), nebyly normové předpisy s ohledem na druh stavby takové, jak je známe v současnosti, a záviselo značně na zkušenosti projektanta objektu. Lze konstatovat, že se vyskytují objekty, kde:

- konstrukce – nejčastěji se jedná o malé vodní nádrže – je jen **z nevyztuženého** betonu. V tomto případě je beton ve vnitřní části povrchově silně narušen, vzhledem k nepřítomnosti výztuže není třeba korozi sledovat a je třeba zjistit stav a charakteristiky betonu a tento sanovat.
- vnitřní **povrch konstrukce je bez další úpravy** povrchu, tj. bez omítky nebo dokonce i bez nátěru. Tyto objekty, které často mají silnou ochrannou vrstvu výztuže betonem, avšak vzhledem k malé hutnosti betonu voda silně narušila výztuž. Výztuž je následkem vzniklé koroze a vlhkého prostředí prokreslena na vnitřním povrchu objektu (zejména při silné korozi výztuže).

Je třeba zjistit stav výztuže, tj. je vhodné a potřebné v místě naznačené výztuže odstranit krycí vrstvu výztuže, případně odebrat vzorky výztuže a provést zkoušky výztuže v laboratoři. Podle výsledků zjištěného narušení výztuže se navrhuje

způsob úpravy výztuže, její pasivace, doplnění, apod. (podle rozsahu narušení a velikosti a stávajícího zatížení objektu).

- betonová konstrukce s nosnou i nenosnou výztuží je opatřena dostatečnou nebo nedostatečnou ochrannou krycí **betonovou vrstvou, vrstvou omítky** různé tloušťky a povrch vnitřní části ve styku s vodou je opatřen vodovzdorným nátěrem.

U těchto objektů vlivem provozu dochází k různým porušením, jejichž následkem dochází mimo jiné ke korozi nejen konstrukční ale i nosné výztuže. Porušení mohou být tato:

- Narušení **souvislosti omítkové vrstvy** (po předchozí ztrátě nátěru účinkem pohybu vody), následné proniknutí vody pod omítku, čímž je funkce omítky zcela eliminována (omítka je nesoudržná, odpadá v celých plochách), voda proniká do konstrukce a výztuž postupně koroduje.
V tomto případě je nutno omítku celoplošně odstranit a postupovat jako u konstrukcí, které ochrannou vrstvu na povrchu betonu konstrukce nemají. Je nutné posoudit výztuž z hlediska koroze a jejích dalších vlastností rozhodujících pro zjištění únosnosti konstrukce.
- V případě **zkorodované ochranné nátěrové vrstvy** voda proniká do betonu konstrukce a podle doby působení se ve větší nebo menší míře objevují na vnitřních stěnách kresby polohy zkorodované výztuže. Je nutno zjistit hloubku koroze a míru narušení betonu.
- Narušení vnitřního povrchu (s povrchovými úpravami) **trhlinami**. Je nutno zjistit příčinu tvorby trhlin, a pokud nejsou statického charakteru, je nutno zamezit jejich dalšímu zvětšování. Vždy je třeba kontrola výztuže zejména v místech narušení.

2.2.2 Poloha výztuže, koroze výztuže, měření

Poloha výztuže se zjišťuje zejména u objektů starších, u kterých chybí projektová dokumentace, a u objektů zjevně narušených (koroze betonu i výztuže).

Hledání výztuže (poloha, průměr) se stanoví magnetickým indikátorem výztuže (viz Obrázek 1) podle **ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí, přílohy A**.

Příloha A k uvedené normě má název „Stanovení polohy, průměrů a množství výztuže magnetickým indikátorem výztuže (magnetickou sondou)“ a dává návod na zjišťování údajů hledané výztuže pomocí magnetických indikátorů, tj.:

- určení polohy jednotlivých prutů výztuže (citlivost každého přístroje určuje měřitelnou hloubku, jeho dosah), rozmístění jednotlivých prutů (podle dosahu použitého přístroje),
- stanovení tloušťky betonové krycí vrstvy jednotlivých prutů výztuže (krytí výztuže betonem),
- průměr prutů výztuže v betonu [8].

Poznámka:

Příloha A k uvedené normě ČSN 73 2011 je sice informativní, ale nemá žádný jiný alternativní normový předpis, pro praktické využití je nepostradatelná.



Obrázek 1 Magnetický indikátor výztuže

Pokud se jedná o staré konstrukce bez projektové dokumentace, je potřeba ke statickému přepočtu stanovit druh výztuže, který byl u daného objektu použit (výztuž je zcela odlišná od v současné době používaných výztuží). Proveďte se odběr výztuže (v místě staticky nevýznamných) a na vzorcích se zjistí laboratorně (pokud je potřeba)

charakteristiky použité výztuže v betonu konstrukce (destruktivní zkouškou, např. průtažnost, mez kluzu, aj.).

Pokud je nosná výztuž silně zkorodována a má malé krytí betonem, vlivem vlhkosti pronikající do nosného betonu se již na vnitřním povrchu stěn objektů objevují hnědé čáry, sledující korodovanou nosnou výztuž (viz Obrázek 2).



Obrázek 2 Koroze výztuže

2.3 Beton konstrukcí

sledovaných staveb s důrazem na beton konstrukce ve vnitřní části objektu

2.3.1 Obecně

Beton je jeden ze základních a nejrozšířenějších stavebních materiálů, používaný již po několik tisíciletí, nejinak je tomu i v dnešní moderní době. Za dlouhé roky jeho užívání byly zjištěny a prozkoumány podrobně jeho vlastnosti a následně možnosti jeho použití s ohledem na různé charakteristiky a složení betonu se zřetelem na vnější a vnitřní vlivy prostředí, kterému je beton vystaven.

Základní vlastnosti betonu jsou dány jeho složením, tj. poměrem jeho základních složek (cement, kamenivo, voda), další specifické vlastnosti lze docílit použitím různých přísad a příměsí. Vlastnosti betonu nejsou stálé a mění se vlivem vnějšího popř. vnitřního prostředí, kterému je beton vystaven (týká se speciálně vodohospodářských staveb). Podle účelu použití betonu, dále s ohledem na prostředí, kterému je beton vystaven a se zohledněním požadované životnosti lze v současnosti na základě znalostí a platných dokumentů navrhnout beton tak, aby daným požadavkům vyhověl.

Jak se během vývoje a výzkumu postupně rozšiřovaly znalosti o jednotlivých složkách betonu, o vlivu jejich poměrného složení na vlastnosti betonu, byly následně nové poznatky zakotveny v předpisech a normách. Normy (nejdříve podnikové, oborové, později státní, mezinárodní, dnes hlavně evropské) jsou stále konfrontovány s novými poznatky, jejichž následkem jsou pravidelné revize norem tak, aby stále odpovídaly současnému stavu výzkumu. Normové předpisy jsou jednotné pro všechny výrobce a uživatele. Nestačí však jen beton vyrábět, ale beton je nutno kontrolovat, a to nejen ve výrobnách, ale i na stavbách, aby beton odpovídal těm vlastnostem, na které byl navržen při zohlednění prostředí, kterému je vystaven. Proto je nutno jeho vlastnosti sledovat a ověřovat a to zkouškami, které musí být srovnatelné a tedy normové.

2.3.2 Normové předpisy

Základní normou pro beton je **ČSN EN 206+A1** Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda, která platí pro všechny země sdružené v Evropské unii, tedy i pro Českou republiku.

Tato evropská norma platí pro betony, pro konstrukce betonované na staveništi, montované konstrukce a pro prefabrikované konstrukční dílce pozemních a inženýrských staveb.

Pod definicí „beton“ se zahrnuje jednak beton „čerstvý“ (dříve označovaný jako betonová směs, tj. zamíchaný beton ještě ve stavu, kdy je možno beton vybraným způsobem ztuhnout) a jednak beton „ztvrdlý“ (tj. beton v pevném stavu, s určitou pevností).

Tato norma specifikuje požadavky pro vyjmenované druhy betonu (beton obyčejný s objemovou hmotností $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až $2600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, těžký s objemovou hmotností vyšší než $2600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, lehký s objemovou hmotností $800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ až $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ –

vyráběné na staveništi, ve výrobně betonu, ve výrobně prefabrikátů) včetně samozhutnitelného betonu. Do specifikace požadavků pro betony jsou zahrnuta také mj. kritéria shody a hodnocení shody, čemuž musí předcházet ověřování, tj. zkoušení vlastností čerstvého i ztvrdlého betonu platnými normovými zkušebními postupy [1].

Betonové konstrukce musí vyhovovat účelu, pro který byly postaveny, a také požadované době životnosti, po kterou byly projektem určeny k užívání při zohlednění působení všech možných vnějších i vnitřních vlivů na konstrukci působících. Často se však podmínky užívání změní, dojde k jinému využití, než byla stavba určena, a tak je konstrukce zatížena nebo vystavena vnějším či vnitřním vlivům zcela jinak, než bylo původně předpokládáno.

Aby se zjistil stávající technický stav konstrukce, je nutno provést nové hodnocení technických parametrů původní konstrukce, aby se potvrdily, resp. zjistily její současné vlastnosti, jak z hlediska technického, tak z hlediska bezpečnosti. K tomu je třeba využít platných normových předpisů, z nichž jako důležité a zásadní jsou mj. zejména dále uvedené normové předpisy pro kontrolu jednotlivých požadovaných technických vlastností betonu. Znalost těchto norem je potřebná a nutná pro hodnocení konstrukcí, pro přípravu oprav a sanačních prací, pro výběr vhodných materiálů v rámci rekonstrukce a sanace a také pro kontrolu provedených oprav a sanací.

Pro posuzování hotových betonových konstrukcí, ať již nových, starších, včetně konstrukcí určených k sanaci, je nutno při zjišťování technických parametrů použít všech stávajících normových podkladů, navazujících na základní betonářskou normu ČSN EN 206+A1. Jsou to především tyto normové předpisy:

- ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích,
- ČSN ISO 13822 Hodnocení existujících konstrukcí,
- ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí.

Na tyto uvedené normy navazují další technické normové předpisy, normy, zaměřené na jednotlivé speciální druhy staveb (např. dopravní stavby – zejména vozovky pozemních komunikací, vodní stavby, konstrukce z předpjatého betonu, ocelové konstrukce, aj.), které je nutno dodržovat a které obsahují speciální požadavky na tyto stavby (např. ČSN 73 6242 pro vozovky na mostních komunikacích, a další).

Pro jednotlivé obory staveb jsou tyto normy rozpracovány do podrobně zpracovaných technických návodů, Technických kvalitativních podmínek s podrobnými návody (či

odkazy na další normové předpisy – ČSN EN, ČSN) na zjišťování požadovaných technických parametrů nutných k posouzení konstrukce či jejich jednotlivých částí.

2.3.2.1 K jednotlivým normovým předpisům (v předchozím uvedených) vztahujícím se k betonu a betonu konstrukcí a posuzování vlastností konstrukcí (zásady)

2.3.2.1.1 ČSN EN 206+A1 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

Jak již bylo uvedeno, tato evropská norma platí z hlediska posledních teoretických poznatků pro zhotovení betonu určeného pro konstrukci pozemních a inženýrských staveb.

V této normě jsou specifikovány požadavky na zhotovení betonu (čerstvého betonu), tak aby splňoval po zatvrdnutí požadavky na předem stanovené vlastnosti zatvrdlého betonu, tj. zejména požadavky na složky betonu, mezní hodnoty složení betonu, specifikaci betonu, dodávání čerstvého betonu, vlastnosti čerstvého a ztvrdlého betonu a jejich ověřování. Aby byl beton správně vyroben, jsou zde i pravidla pro postup výroby a stanovené kritéria shody a jejího hodnocení.

Na tuto normu navazují jiné evropské normy, které uvádějí pro speciální aplikace odlišné nebo doplňující požadavky. Jedná se např. o normu ČSN EN 13877-1 pro betonové vozovky a jiné dopravní plochy (cementobetonové kryty) nebo normy pro speciální technologie, jako je např. ČSN EN 14487-1 pro stříkaný beton.

Podle ČSN EN 206+A1 je beton klasifikován třídami pevnosti v tlaku na podkladě charakteristické pevnosti v tlaku ($f_{ck,cyl}$ zjištěná na válcích o průměru 150 mm a výšce 300 mm zjištěné ve stáří 28 dnů nebo $f_{c,cube}$ zjištěná na krychlích o hraně 150 mm ve stáří 28 dnů a tělesa zkoušená podle ČSN EN 12390-3).

Kromě třídy pevnosti je beton dále klasifikován dalšími ukazateli, jako např. stupněm vlivu prostředí, kterému je beton vystaven, stupněm konzistence, popř. objemovou hmotností zejména u lehkého betonu [1].

Jak je z předchozího zřejmé, současná klasifikace betonu podle platných ČSN EN (především ČSN EN 206+A1) je velmi přesná ve smyslu požadavků na beton a nelze ji aplikovat na betonové konstrukce zhotovené v době, kdy platily jiné a velmi jednoduché předpisy po výrobu betonu. Beton se posuzoval převážně jen podle pevnosti betonu v tlaku, dosažené ve stáří betonu 28 dnů.

Vzhledem k mému tématu práce, tj. posuzování konstrukcí starších a starých, nebudu dále uvádět další předepsané požadavky této základní betonářské normy, ale budou uvedeny potřebné normy používané pro hodnocení stávajících konstrukcí.

2.3.2.1.2 ČSN EN 13791 Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích

Pevnost betonu v tlaku patří mezi nejdůležitější vlastnosti, které se sledují a zjišťují na hotových konstrukcích, a proto je tato evropská norma ČSN EN 13791 vedle národní normy ČSN 73 2011 důležitým předpisem při hodnocení pevnosti betonu konstrukcí a následného zařazení betonu konstrukce do pevnostní třídy ve smyslu ČSN EN 206+A1.

Norma uvádí různé způsoby stanovení pevnosti v tlaku v konstrukci a v prefabrikovaných dílcích.

Stanovení pevnosti betonu v tlaku je požadováno zejména v těchto případech:

- je-li třeba posoudit konstrukci nebo její část z důvodu pochybnosti o pevnosti betonu v tlaku v konstrukci (v souladu s projektem) v důsledku poškození betonu (přetížení konstrukce, požár, vlivy počasí, apod.) nebo nevhodného provádění (při výstavbě),
- když konstrukce má být upravena nebo funkčně změněna (jedná se především o konstrukce staré, kdy se hledá jiné jejich využití),
- při výstavbě konstrukce, když je třeba pevnost betonu posoudit (při provedených nevhodných změnách provádění oproti technologickému projektu),
- když dojde k neshodě mezi výsledky pevnosti betonu v tlaku stanovené na normových zkušebních tělesech (před výstavbou a během výstavby objektu podle ČSN EN 206+A1 je nutno provádět normou předepsanou kontrolu pevnosti betonu v tlaku),
- když je posouzení shody pevnosti betonu v tlaku požadováno projektem (specifikací).

V normě jsou uvedeny:

- metody a postupy pro posuzování pevnosti v tlaku betonu v konstrukcích,
- norma zahrnuje i možnosti využití nepřímých – nedestruktivních metod zkoušení pevnosti, uvádí zásady a postupy pro stanovení vztahů mezi výsledky nedestruktivních a výsledků zkoušek na vývrtech,
- doporučené postupy pro posouzení pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích při použití jen nedestruktivních nebo kombinovaných metod.
- Pro případy, které norma nezahrnuje (např. používání nepřímých metod bez korelačních vztahů k pevnosti vývrty, vývrty menšího průměru, apod.), odkazuje tato norma na ustanovení platná v místě použití [7].
- Poznámka: V naší republice (v Československé a návazně i v České) normalizace zkušebních metod je na vysoké úrovni, systém ČSN zahrnuje celou oblast nedestruktivních metod a doplňuje chybějící zkoušky, které nejsou podchyceny evropskými normami.

Platné normy ČSN nejsou v rozporu s obdobnými normami EN (byly dány do souladu s EN obdobně náplně při provádění revizí těchto norem) a je možno podle nich stanovit i ty parametry, které nelze stanovit podle EN. Jedná se o především o řadu norem ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1372, ČSN 73 1373, ČSN 73 2011, zahrnující oblast nedestruktivního zkoušení betonu a betonových konstrukcí, takže všechny tyto uvedené ČSN lze použít pro hodnocení betonových konstrukcí.



Obrázek 3 Ultrazvuková impulzová metoda

Podle zkouškami stanovené pevnosti betonu v tlaku, podle druhu provedených zkoušek a počtu výsledků se stanovuje **charakteristická pevnost betonu** v konstrukci $f_{ck, is}$ pomocí rovnic uvedených v normě [7]:

Postup A

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \cdot s$$

nebo

$$f_{ck, is} = f_{is, nejmenší} + 4,$$

kde s je směrodatná odchylka výsledků zkoušek nebo $2,0 \text{ N/mm}^2$, dle toho, která je větší hodnota; k_2 je uvedena v národních předpisech a pokud není uvedena, uvažuje se hodnota 1,48.

Postup B

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k$$

nebo

$$f_{ck, is} = f_{is, nejmenší} + 4$$

Hodnota k závisí na počtu n výsledků zkoušek a lze použít hodnotu uvedenou v tabulce 2 této normy.

Postup A se použije, když je k dispozici nejméně 15 vývrtů.

Postup B se použije, když jsou k dispozici 3 až 14 vývrtů.

U obou postupů se bere v úvahu pro odhad charakteristické pevnosti betonu v tlaku ve zkoušené oblasti vždy zjištěná nižší hodnota z uvedených dvou hodnot.

Charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci (in-situ) je definovaná normou jako hodnota pevnosti betonu v tlaku, pod kterou může být nejvýše 5% všech možných výsledků pevnosti základního souboru daného objemu betonu (příčemž by základní soubor měl být stejný, jako se používá ke stanovení shody čerstvého betonu, uvedený v ČSN EN 206+A1).

Je nutno zdůraznit, že jako referenční metoda stále zůstává posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukci ze zkoušení na odebraných vzorcích z konstrukce, tj. ze zkoušek na provedených vývrtech (ČSN EN 12504-1). Jako doplňující metody jsou uváděny také metody nepřímé – nedestruktivní, vztahující se na zkoušení betonu

v konstrukcích (např. metodou zkoušení odrazovým tvrdoměrem, ultrazvukovou impulzovou metodou, zkouškou stanovení síly na vytržení) a opírající se o zkušební normy ČSN EN 12504-2, ČSN EN 12504-4, ČSN EN 12504-3.

ČSN EN 13791 je důležitá při zařazení zkoušené konstrukce na pevnost v tlaku, což je závazné při stanovení pevnostní třídy betonu, odpovídající ustanovení ČSN EN 206+A1. Pokud se zkouškami a výpočtem stanoví minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku na konstrukci, pak lze stanovit pevnostní třídu betonu konstrukce podle ČSN EN 206+A1 (která je projektantem požadována) tak, jak uvádí následující tabulka [7].

Tabulka 1 – Minimální charakteristická pevnost betonu v tlaku v konstrukci pro pevnostní třídy betonu podle EN 206-1.

Pevnostní třída betonu podle EN 206-1	Poměr charakteristické pevnosti betonu v konstrukci k charakteristické pevnosti betonu normových těles	Minimální charakteristická pevnost betonu v konstrukci N/mm ²	
		$f_{ck, is, cyl}$	$f_{ck, is, cube}$
C 8/10	0,85	7	9
C 12/15	0,85	10	13
C 16/20	0,85	14	17
C 20/25	0,85	17	21
C 25/30	0,85	21	26
C 30/37	0,85	26	31
C 35/45	0,85	30	38
C 40/50	0,85	34	43
C 45/55	0,85	38	47
C 50/60	0,85	43	51
C 55/67	0,85	47	57
C 60/75	0,85	51	64
C70/85	0,85	60	72
C 80/95	0,85	68	81
C90/105	0,85	77	89
C 100/115	0,85	85	98

POZNÁMKA 1 Pevnost betonu v tlaku v konstrukci může být menší než je stanovena na zkušebních tělesech odebraných ze stejné záměsi betonu.

POZNÁMKA 2 Poměr 0,85 je část γ_c v EN 1992-1-1:2004.

Při porovnání předepsaných minimálních charakteristických hodnot pevností pro zařazení do pevnostních tříd betonu ($f_{ck, cyl}$ a $f_{ck, cube}$) a betonu v konstrukci ($f_{ck, is, cyl}$ a $f_{ck, is, cube}$) jsou předepsané minimální hodnoty pevnosti v tlaku v konstrukci pro zařazení do pevnostních tříd podle ČSN EN 206 sníženy o 15% oproti předepsaným hodnotám pro třídy pevnosti betonu (obyčejného, těžkého) tak, jak uvádí ČSN EN 206+A1 (tab.12).

2.3.2.1.3 ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí

Tato česká norma, která byla zpracována již před 50 lety a užívána pro hodnocení konstrukcí, byla několikrát revidována a doplňována o nejnovější technické poznatky získané rozsáhlým výzkumem (výzkum byl prováděn zejména na pracovišti TZÚS pobočka Brno ve spolupráci s dalšími vědeckými ústavy). Nové poznatky byly postupně zapracovány při pravidelných revizích. Poslední revize proběhla v roce 2012, kdy byla již v platnosti ČSN EN 13791. Poněvadž ČSN EN 13791 nezahrnuje všechny možnosti zkoušení a zjišťování vlastností konstrukcí a často se odvolává na možnost použití ověřených národních předpisů, bylo rozhodnuto TNK o úpravu normy ČSN 73 2011 tak, aby nebyla v rozporu s ČSN EN 13791.

ČSN 73 2011 tedy navazuje na ČSN EN 13791, a proto je uvedeno v preambuli této normy: Tato norma stanoví ověřené národní postupy pro nedestruktivní zkoušení betonových stavebních konstrukcí, částí konstrukcí a dílců. Podle této normy lze stanovit vlastnosti betonu konstrukce a vlastnosti betonové konstrukce a dílců. Tato norma uvádí postupy a měření, které nejsou obsahem ČSN EN 13791, a které jsou na úrovni národních předpisů přípustné [8].

Poněvadž se jedná o národní předpis, používá se ke zkoušení a hodnocení nejen předpisů ČSN EN (jak jsou použity v ČSN EN 13791), ale také dalších národních předpisů pro zkoušení a hodnocení i dalších vlastností betonu a betonové konstrukce. Týká se to především ČSN pro zkoušení betonu nedestruktivními metodami, na které se ČSN 73 2011 odkazuje a které jsou tyto (nejsou v rozporu s ČSN EN obdobné tematiky):

ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení

ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu. Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení

ČSN 73 1372 Nedestruktivní zkoušení betonu. Rezonanční metoda zkoušení betonu

ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu. Tvrdoměrné metody zkoušení betonu

ČSN 73 1375 Radiometrické zkoušení objemové hmotnosti a vlhkosti

ČSN 73 1376 Radiografie betonových konstrukcí a dílců

Podle normy ČSN 73 2011 a norem návazných, na které se tato norma odkazuje, lze posoudit beton konstrukce a stanovit nejen **pevnost** betonu konstrukce, ale i některé

další vlastnosti, které nelze jinými normami určit. Jedná se o často objednatelům průzkumu požadované vlastnosti jako modul pružnosti betonu, rovnoměrnost betonu, objemová hmotnost betonu, vlhkost betonu, aj. Ke stanovení těchto doplňujících vlastností lze použít národních normových podkladů v předchozím uvedených (ČSN 73 1370, ČSN 73 1371, ČSN 73 1372, ČSN 73 1373, ČSN 73 1375, ČSN 73 1376).

Pevnost betonu se vyjadřuje charakteristickou pevností stejně jako v ČSN EN 13791 při zohlednění rovnoměrnosti betonu konstrukce.

Rovnoměrnost betonu lze stanovit podle různých sledovaných vlastností (pevnosti v tlaku, pevnosti v tahu, rychlosti šíření impulzů podélných ultrazvukových vln, objemové hmotnosti) a vždy se vyjadřuje variačním součinitelem souboru zjištěných vlastností (%) a současně se stanoví rozdíl sousedních vlastností na sledovaných místech vedle sebe a nad sebou. Kritéria rovnoměrnosti jsou dána normou v závislosti na zkoušené vlastnosti tak, jak uvádí níže uvedená tabulka 3 z ČSN 73 2011.

Tabulka 3 (Informativní)

Zkoušená vlastnost betonu	Třída betonu	Statistické vyhodnocování	
		σ_{V^*} %	Δ^* %
Pevnost v tlaku	C 12/15	16	30
	C 16/20	16	30
	C25/30	14	30
	C 30/37 až C 50/60	12	30
Pevnost v tahu	C 12/15	22	40
	C 16/20	20	40
	C 25/30	18	30
	C 30/37 až C 50/60	16	30
Rychlost šíření impulzů podélných ultrazvukových vln	C 12/15	4	7,5
	C 16/20	4	7,5
	C 25/30	3,5	7,5
	C 30/35 až C 50/60	3	7,5
Objemová hmotnost	všechny třídy betonu	2,5	4,0

Rovnoměrný beton [8]

Charakteristická pevnost betonu v tlaku konstrukce nebo její části $f_{ck, is}$ se vypočítá podle vztahu:

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - \beta_n \cdot s_r \quad (1),$$

kde

- $f_{m(n),is}$ je aritmetický průměr pevností betonu v tlaku vypočtený z pevností zjištěných na jednotlivých měřených místech (upřesněné pevnosti),
- β_n součinitel odhadu 5% kvantilu. Tento součinitel závisí na velikosti výběru a na šikmosti základního souboru. Pokud nejsou známy přesnější hodnoty, berou se hodnoty z tabulky 4 uvedené v normě.
- s_r je výběrová směrodatná odchylka.

Modul pružnosti betonu konstrukce E_c konstrukce v MPa se stanoví ze zjištěných dynamických modulů pružnosti na zkušebních místech nebo na odebraných vzorcích z konstrukce podle použité metody a odpovídající normy (při ultrazvukové metodě $E_{cu,i}$ – ČSN 73 1371, při rezonanční metodě na odebraných vzorcích $E_{cr,i}$ – ČSN 73 1372). Přepočítací koeficienty dynamických modulů na statické jsou udány v normě v tabulce 5 v závislosti na použité nedestruktivní metodě a dosažené pevnosti betonu v tlaku (třídy betonu) [8].

Tabulka 5

Třída betonu	Zmenšovací koeficient κ_U	Zmenšovací koeficient $\kappa_{U,i}$
C 8/10	0,62	0,81
C 12/15	0,71	0,86
C 16/20	0,76	0,88
C 25/30	0,81	0,90
C 30/37	0,83	0,91
C 35/45	0,86	0,93
C 40/50	0,88	0,94
C 45/55	0,90	0,95

Objemová hmotnost betonu konstrukce se nejlépe a nejrychleji stanoví radiometricky podle ČSN 73 1375 (popř. ultrazvukem podle ČSN 73 1371) na zkušebních místech rovnoměrně rozložených na povrchu betonu konstrukce.

Počet míst, rovnoměrně rozložených na povrchu betonu konstrukce, je odvislý od velikosti povrchu nebo objemu a je uveden v normě doporučenými tabulkovými hodnotami (v závislosti na předpokládané velikosti objemu jedné záměsi čerstvého betonu).

ČSN 73 2011 poskytuje také návod a postup ke zjišťování **vad a poruch** konstrukce nedestruktivními metodami (zejména při použití ultrazvukové nebo radiografické metody (např. vady povrchových vrstev: nerovnoměrnost, trhliny; vnitřní vady: cizí hmoty v betonu, vadný beton, aj.).

2.3.2.1.4 ČSN ISO 13822 Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí

Tato norma se vztahuje také na konstrukce, u nichž se jedná o prodloužení jejich životnosti, poskytuje však pouze obecné požadavky a postupy hodnocení stávajících konstrukcí. Důvody, proč je třeba prodloužit jejich životnost, jsou definovány stejně jako již v předešlých citovaných normách, tj v ČSN 73 2011 a ČSN EN 13791, které poskytují podrobné návody postupů pro zkoušení a vyhodnocení požadovaných vlastností konstrukce.

Dále se proto pro naše zaměření touto normou nebudeme zabývat.

Poznámky k různému označení betonu konstrukcí podle pevnosti v tlaku (s ohledem na normové předpisy platné v době výstavby)

V rámci zjišťování technických parametrů stávajících konstrukcí je často mj. třeba posoudit konstrukce starší a staré, které byly navrženy podle platných předpisů v době jejich výstavby. Normové předpisy se během minulého století měnily, označení betonu konstrukcí podle pevnosti betonu v tlaku bylo různé podle doby výstavby a v té době platných technických norem. Např.:

- ČSN 73 1201-67 Navrhování betonových konstrukcí, platná od roku 1967, předepisovala označení tříd 0I až VI, dále
- ČSN 73 2001-70 Projektování betonových staveb, vydaná v roce 1970, požadovala označení betonu podle pevnosti značkami 60 až 600, další norma
- ČSN 73 2400 Provádění a kontrola betonových konstrukcí, platná od roku 1986 předepisovala označování betonu podle pevnosti třídou B a připojenou hodnotou požadované pevnosti v tlaku v MPa pro jednotlivou třídu.
- V současnosti podle ČSN EN 206+A1 je beton dle pevnosti zařazen do tříd označených C s číslem požadované pevnosti v tlaku – válcové / krychelné v MPa.

Také požadavky na pevnost betonu dřívějších tříd byly poněkud odlišné. Převod starších označení tříd je uveden v ČSN 73 2400 tab. 9 – Požadavky na pevnost betonu dřívějších tříd tak, jak uvádí následující tabulka převzatá z uvedené normy [20]:

Tabulka 9 – ČSN 73 2400

Třída podle ČSN 73 1201-67	Značka ČSN 73 201-70	Odpovídající třída betonu v tab 10 ¹⁾	Požadavky na pevnost betonu v MPa				
			krychelná pevnost			pevnost v tahu	
			zaručená pevnost	kontrolní pevnost	horní mez průměrné pevnosti	zaručená pevnost	kontrolní pevnost
			R _{bg}	R _{b,cn}	R _{b,max}	R _{btg}	R _{bt,cn}
0I	60	(B 3,5)	3,5	5,5	9,5	0,45	0,65
–	80	B 5	5	7,5	12	0,55	0,80
0	105	B 7,5	7,5	10,5	16	0,70	1,00
I	135	B 10	10	13,5	20	0,85	1,20
II	170	(B 13,5)	13,5	17,5	25	1,05	1,40
III	250	B 20	20	25	33	1,40	1,80
IV	330	(B 28)	28	33	42	1,75	2,15
–	400	B 35	35	40	50	1,95	2,35
V	–	B 40	40	45	56	2,10	2,50
–	500	B 45	45	50	62	2,20	2,65
VI	–	B 50	50	55	67	2,30	2,75
–	600	B 55	55	60	73	2,40	2,85

1) Hodnoty uvedené v závorkách jsou informativní a odpovídají třídám popř. značkám uvedeným v tab. 10 (nejsou uvedeny v ČSN 73 1205)

(Tato tabulka je potřebná při hodnocení starých a starších konstrukcí, jejichž pevnostní zařazení se liší od dnešního)

- Při námi prováděných zkouškách pevnosti betonu v tlaku na odebraných vzorcích – válcích z konstrukce je naší snahou provádět zkoušky na válcích o průměru 100 mm a stejné výšky, neboť podle ČSN EN 13791 čl.7, je-li pevnost betonu v tlaku v konstrukci stanovena z vývrtů, pak
 - **zkoušením vývrtu s jmenovitým průměrem 100 mm stejné délky se získají hodnoty pevnosti ekvivalentní hodnotám při zkoušce krychle o hraně 150mm, vyrobené a ošetřované stejně,**
 - zkoušením vývrtu s jmenovitým průměrem nejméně 100 mm a ne větším než 150 mm a poměrem délky k průměru 2,0 se získají hodnoty pevnosti ekvivalentní hodnotám pevnosti při zkoušce válce o průměru 150 mm a délky 300 mm, vyrobeného a ošetřovaného stejně,
 - převedení výsledků zkoušek z vývrtů o průměrech 50 mm až 150 mm a jiných poměrech délek k průměru musí být založeno na vhodně stanovených převodních součinitelích (národní předpisy) [7].

2.3.3 Vlastnosti betonu, sledované pro posouzení betonu konstrukce

Při posouzení betonových konstrukcí určených k sanaci se zpravidla požaduje vypracování odborného posudku betonové konstrukce na základě provedených zkoušek na konstrukci a odběru vzorků ze stavby ke zjištění základních vlastností betonu konstrukce. Nejčastěji požadované a zkouškami zjišťované vlastnosti:

- pevnost betonu v tlaku (pro zařazení betonu konstrukce do pevnostních tříd ve smyslu požadavků ČSN EN 206+A1, ČSN EN 13791, ČSN 73 2011),
- objemová hmotnost betonu,
- pevnost betonu v tahu, pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu konstrukce,
- modul pružnosti betonu stávající konstrukce,
- karbonatace povrchové vrstvy betonu.

Uvedené vlastnosti jsou rozhodující pro výběr sanačního materiálu a sanačních systémů. Často se stanovují další technické parametry, jejichž znalost je potřebná a požadovaná zejména pro přesnější volbu sanačního materiálu (objemová hmotnost

betonu, nasákavost). Podle druhu prostředí, kterému je konstrukce vystavena, je možno požadovat stanovení i dalších vlastností, např. vodotěsnost, mrazuvzdornost, odolnost vůči působení chemických rozmrazovacích látek, aj.

2.3.4 Zkoušení jednotlivých uvedených vlastností betonových konstrukcí – normové podklady, přístroje

2.3.4.1 Pevnost betonu v tlaku konstrukce

Pevnost betonu v tlaku v konstrukci lze stanovit různými způsoby (při užití platných ČSN, ČSN EN), a to:

- referenční metoda posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukci je zkouška na **odebraných vzorcích** z konstrukce podle ČSN EN 12504-1 a zkoušených dle ČSN EN 12390-3 (počet odebraných těles a způsob vyhodnocení je dán ČSN EN 13791). Stanoví se charakteristická pevnost betonu konstrukci,
- při stanovení a posuzování pevnosti betonu v konstrukci na odebraných vzorcích – **vývrtech** z konstrukce lze postupovat alternativní metodou podle národního předpisu dle **ČSN 73 2011**. Počet odebraných těles z konstrukce je předepsán s ohledem na velikost předpokládané záměsi čerstvého betonu, vyhodnotí se **zaručená pevnost betonu** konstrukce s ohledem na zjištěnou rovnoměrnost či nerovnoměrnost betonu konstrukce (nebo jejich částí),
- pevnost betonu konstrukce lze stanovit **nepřímými – nedestruktivními** metodami postupy uvedenými v ČSN EN 13791, vždy je však třeba korelace výsledků nedestruktivních zkoušek s pevností na odebraných vzorcích z konstrukce. Uvedená norma doporučuje užití zejména doplňujících nedestruktivních – nepřímých metod, které jsou normami ČSN EN podchyceny a na které se ČSN EN 13791 také odvolává.

Je to: metoda stanovení odrazovým tvrdoměrem dle ČSN EN 12504-2, metoda stanovení síly na vytržení dle ČSN EN 12504-3, metoda šíření ultrazvukového impulzu dle ČSN EN 12504-4. Jinak lze užití národních ověřených předpisů, které nejsou v rozporu s ČSN EN 13791 a které jsou uváděny dále.

- Pevnost betonu konstrukce lze spolehlivě určit postupem podle dlouhodobě v technické praxi ověřeným národním předpisem ČSN 73 2011, o kterém bylo

zmíněno již dříve (ČSN 73 2011 není v rozporu s ČSN EN 13791, metoda vyšetřování a vyhodnocení pevnosti betonu konstrukce podle ČSN 73 2011 je jinou alternativní ověřenou národní metodou). ČSN 73 2011 se opírá o nedestruktivní zkoušky, které jsou normalizovány v národním systému norem. Jedná se o tyto metody a normy, navazující na ČSN 73 2011, do kterých byly zapracovány a zohledněny normy ČSN EN pro obdobné nedestruktivní metody:
ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu – Společná ustanovení
ČSN 73 1371 Nedestruktivní zkoušení betonu – Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu
ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu

Poznámka:

Ve všech těchto normách je (oproti obdobným normám ČSN EN pro nepřímé – nedestruktivní metody ČSN EN 12504-2, ČSN EN 12504-3, ČSN EN 12504-4) uveden postup na zkoušení a vyhodnocení, tj. výpočet pevnosti v tlaku.

V ČSN 73 1370 je důležité ustanovení v čl.3.8 pro upřesněnou zkoušku, která je touto normou definována takto:

„**Upřesněná zkouška** je nedestruktivní zkouška, provedená normalizovaným způsobem a vyhodnocená pomocí určujícího kalibračního vztahu nebo podle směrného popř. obecného kalibračního vztahu upřesněného součinitelem alfa. **Výsledek upřesněné nedestruktivní zkoušky provedené na jednom zkušebním místě je rovnocenný výsledku destruktivní zkoušky na jednom zkušebním tělese odebraném z tohoto místa**“ [21].

Pro hodnocení pevnosti betonu konstrukce při využití nedestruktivních metod (tvrdoměrné metody, ultrazvukové, ...) se vždy použije upřesněných zkoušek.

- Podle stanovené charakteristické pevnosti betonu konstrukce se beton konstrukce zařazuje **do příslušné pevnostní třídy** podle ČSN EN 13791 (pro zařazení do příslušné pevnostní třídy musí být hodnota stanovené charakteristické pevnosti betonu konstrukce minimálně 85% hodnoty charakteristické pevnosti pro danou třídu betonu podle ČSN EN 206+A1).

Pro stanovení pevnosti betonu konstrukce lze použít tohoto **zkušebního zařízení**:

- pro odběr vzorků z konstrukce vrtné soupravy, brusné zařízení pro úpravu těles, tlačné přístroje pro destruktivní zkoušky pevnosti betonu

- pro nedestruktivní zkoušky pevnosti v tlaku tvrdoměrné přístroje (např. Schmidtovy tvrdoměry), ultrazvukové přístroje, aj.



Obrázek 4 Zkouška Schmidtovým tvrdoměrem

2.3.4.2 Objemová hmotnost betonu konstrukce

Ke stanovení objemové hmotnosti betonu konstrukce je nejvhodnější a nejrychlejší metoda radiometrická s ohledem na dostupný radiometrický přístroj pro měření objemové hmotnosti a vlhkosti (ČSN 73 1375), popř. metoda ultrazvuková (ČSN 73 1371).

Měření se provede na jednotlivých zkušebních místech, četnost měření je dána podle rozměru nebo objemu konstrukce ČSN 73 2011.

Při odběru zkušebních těles z konstrukce pro zkoušky pevnosti v tlaku betonu se současně stanovuje objemová hmotnost betonu.

2.3.4.3 Modul pružnosti betonu konstrukce

Modul pružnosti je zjišťován v rámci průzkumu staveb a je požadován pro výpočet přetvoření konstrukce. Je možno jej stanovit postupem podle ČSN 73 2011, a to z měření:

- nedestruktivní ultrazvukovou impulzovou nebo rezonanční metodou na odebraných vzorcích z konstrukce postupem a výpočtem dle příslušných norem (dle ČSN 73 1371, ČSN 73 1372)
- pokud se stanovuje pevnost betonu v jednotlivých zkušebních místech (nedestruktivně tvrdoměry, na odebraných vzorcích z konstrukce), pak lze informativně podle zjištěné pevnosti odečíst příslušnou hodnotu modulu z ČSN 73 2011.

Při odběru zkušebních těles z konstrukce lze stanovit modul pružnosti betonu podle ČSN ISO 1920-10.

2.3.4.4 Pevnost betonu v tahu, pevnost v tahu povrchových vrstev betonu

Pevnost betonu v tahu lze stanovit zkouškou na odebraných zkušebních vzorcích v laboratoři dle ČSN 73 1318. U vodohospodářských objektů je rozhodující pevnost v tahu povrchových vrstev (sanované plochy). Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu (po očištění povrchu stěn) je rozhodující pro volby sanačních hmot a je požadovaná a předepsaná TKP 31 (Opravy betonových konstrukcí).

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu na konstrukci se stanovuje zkouškou podle ČSN 73 6242. Tato norma je předpisem na stanovení soudržnosti jednotlivých vrstev, ale také pro zjištění vlastností povrchových vrstev betonu, především pevnosti v tahu zkoušené povrchové vrstvy.

Poznámka:

Pevnost v tahu povrchových vrstev se zkouší po zjištění, že beton není narušen statickými trhlinami, ohrožujícími bezpečnost konstrukce.

Pokud jsou na povrchu betonu trhliny ohrožující statiku konstrukce, je nutno konstrukci nejdříve staticky zajistit.



Obrázek 5 Odtrhoměr pro provedení odtrhových zkoušek

2.3.4.5 Karbonatace betonu konstrukcí

Tloušťku zkarbonatované povrchové vrstvy betonu je nutno určit při zkoušení starších a starých konstrukcí. Je to důležité zejména při použití nedestruktivních tvrdoměrných metod zkoušení pevnosti. Důvodem je skutečnost, že zkarbonatovaná povrchová vrstva betonu konstrukcí vykazuje vyšší tvrdost oproti betonu karbonatací nedotčeného, tedy zkresluje ukazatel nedestruktivního tvrdoměrného zkoušení v neprospěch bezpečnosti (získávají se vyšší pevnosti betonu, než ve skutečnosti jsou). Takto narušená povrchová vrstva betonu se při sanaci odstraňuje při předúpravách současně i s povrchem betonu konstrukce narušeným jiným vlivem, tj. při přípravě povrchu k jejímu obnovení vlastností.

Vrstva zkarbonatovaného betonu se zjišťuje na odebraných vzorcích z konstrukce (v laboratoři – chemické metody, roztokem fenolftaleinu).

Karbonatace je narušení povrchu betonu vystaveného účinkům oxidu uhličitého a jeho reakcí s vodou a hydroxidu vápenatého. Dochází tak ke snižování alkality povrchové vrstvy betonu, což má za následek snížení nebo dokonce ztráty pasivace výztuže v betonu, dochází ke korozi výztuže a následně ke snižování bezpečnosti konstrukce (oslabení průřezu výztužných prutů, snížení únosnosti). Při karbonataci klesá hodnota pH v povrchových vrstvách betonu z původní hodnoty pH = 11 a vyšší na pH = 9 (a nižší). Dochází tak ke zvyšování rizika koroze výztuže [30, 36].

Podle dlouhodobých zkušeností je nutno podotknout, že karbonatace u vodojemů není hlavní příčinou porušení vnitřních stěn z důvodu situování těchto staveb převážně pod úroveň terénu a neustálému pohybu vody v objektech.

2.4 Povrchová vrstva betonu ve vnitřní části sledovaných konstrukcí

Povrchová část ve vnitřní části vodohospodářských konstrukcí, především vodojemů, je při stavebním průzkumu jednou z nejsledovanější částí těchto objektů. Sleduje se narušení těchto ploch (koroze betonu, koroze výztuže, poruchy), neboť stav vnitřních povrchů betonu vlivem dlouhodobého provozu těchto objektů je rozhodující pro projektovou sanační přípravu.

Vlivem dlouholetého užívání těchto konstrukcí jsou vnitřní plochy ve většině těchto zkoušených objektů silně narušeny.

Povrchová vrstva vnitřní části konstrukce sledovaných vodohospodářských staveb, zejména vodojemů, má různě provedenou konečnou úpravu (je ovlivněna také stářím a dobou, kdy byly tyto konstrukce budovány), která je ve styku s vodou. A to:

- Povrch betonu není nijak upravován, je to vrstva, která odpovídá povrchu použitého bednění a hutnění. Takto viditelné jsou vnitřní plochy zejména u konstrukcí menších a starších. U takových objektů vlivem narušení často prokvétá výztuž – pokud byla použita – koroze výztuže je patrna už na povrchu betonu, narušení betonu je zjevné (např. pórovitost betonu povrchové vrstvy, popř. trhliny). Často odpadá vrstva betonu až k výztuži (v celých plochách), nastává koroze betonu do hloubky. Výztuž je zkorodována a dokonce narušena tak, že průřez výztuže je korozí oslaben, či dokonce přerušen (koroze výztuže vlivem zvětšujícího se průřezu způsobuje korozi betonu nejen ochranné krycí vrstvy, ale jde často i do hloubky betonu).
- Povrch betonu při výstavbě (po případě po některé z menších oprav) je opatřen omítkou různé tloušťky. Pokud omítka zůstala soudržná, pak narušení povrchové vrstvy konstrukce je menší a často i koroze výztuže je menší vlivem její vyšší ochrany větší povrchovou (krycí) vrstvou. Omítka však většinou nebývá takové kvality, aby ochránila beton a vydržela bez porušení pohyb vody v objektu. Často je na vnitřním povrchu omítka nižší kvality než by vyžadovalo vodní prostředí. V omítce vznikají trhliny, jimi prosakuje voda, která se dostává jednak k výztuži konstrukce a také způsobuje separaci vrstvy omítky od povrchu betonu konstrukce. Následkem je špatná přídržnost omítky k betonu konstrukce a její odpadávaní od podkladu, čímž je tento problém a účinek vlhkosti obdobný jako u

povrchu bez omítky. Pokud byla použita pálená cementová omítka, narušení bývá menší za předpokladu kvalitního podkladu, tj. kvalitního konstrukčního betonu dostatečně zhutněného.

- Povrch betonu je opatřen nejen omítkou, ale i vodotěsným nátěrem – tento systém je většinou u konstrukcí mladších. Pokud je však nátěr proveden na omítce nedostatečné kvality, pak v případě jeho narušení dochází k proniknutí vody do omítky a dále do konstrukce a nátěr nevyhovuje účelu, ke kterému byl použit.

Povrchy vnitřní části vodojemu jsou pro sanaci zásadní. Podle stavu stávající povrchové vrstvy betonu se rozhoduje o způsobu sanace, o výběru sanačního materiálu. Každý sanační materiál, aby dostatečně přilnul k podkladnímu betonu, má požadavky na určité technické parametry povrchu betonu konstrukce, která se má sanovat.

2.4.1 Přípravné práce na sanaci

V rámci sanačních prací, již při jejich přípravě, je nutno narušenou povrchovou vrstvu ve vnitřní části konstrukce odstranit a připravit tak dobrý požadovaný podklad pro úpravu povrchu k vytvoření nového kvalitního povrchu schopného přenášet zatížení dané konstrukce. To znamená, musí se odstranit narušené povrchové vrstvy (často i narušená omítka s nátěrem), vrstvy nesoudržného betonu, vrstvy zkarbonatované nebo jinak chemicky narušené (podle způsobu užití konstrukce a vystavení různým chemickým vlivům) pro vytvoření únosného podkladu pro nanášení sanačních hmot. V případě, že došlo ke korozi výztuže a následnému uvolnění krycí vrstvy betonem (vlivem zvětšení objemu korozních produktů výztuže), je třeba odstranit celou vrstvu krytí výztuže betonem a nejprve sanovat a doplnit a ošetřit výztuž.

Všechny postupy pro provádění předúprav povrchu, pro zjištění tloušťky narušené vrstvy, kterou je třeba odebrat, způsob a postup jejího odstraňování, úprava výztuže, aj. jsou předepsány v projektu sanace (údaje v projektu sanace se opírají o provedený stavebně technický průzkum konstrukce, tj. zkouškami stanovené a zjištěné technické parametry současného stavu vnitřního povrchu konstrukce).

Zkoušky, které se v této přípravné fázi nejvíce uplatňují, jsou zkoušky pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu dle ČSN 73 6242. Tento parametr je jedním z rozhodujících údajů pro výběr sanačního materiálu, či sanačního systému.

2.5 Výrobky a systémy pro opravu a ochranu betonových konstrukcí

Účelem použití těchto výrobků a systémů je oprava narušených povrchových vrstev konstrukcí, tj. oprava a úprava po odstranění narušených povrchových vrstev do původního stavu, tj. reprofilace povrchu. Často v rámci těchto prací se provádějí další úpravy za účelem zvýšení trvanlivosti – zejména za účelem zvýšení krycí vrstvy výztuže betonem, popřípadě za účelem zesílení konstrukce a tím zvýšení statické funkce konstrukce (na základě výsledků provedeného stavebnětechnického průzkumu a také podle požadavků na další využití konstrukce). Z těchto důvodů je proto třeba, aby tyto hmoty vytvořily s betonovým podkladem soudržnou pevnou vrstvu navzájem staticky spolupůsobící a měly i další ověřené vlastnosti, které je třeba opravovanému povrchu dodat či zvýšit (např. vodotěsnost, malé objemové změny, odolnost vůči vzniku trhlin, u některých konstrukcí s ohledem na jejich použití také je požadavek odolnosti vůči agresivním látkám, aj.). Na tyto hmoty jsou proto z uvedených důvodů kladeny vysoké technické požadavky jak normovými předpisy (ČSN EN), tak i dalšími ustanoveními (Směrnice, aj.)

Pro opravy betonových konstrukcí je proto třeba použít výrobky a systémy, které kvalitativně musí odpovídat betonovému podkladu, na který se nanášejí. Musí s daným betonovým podkladem vytvořit jednolitou vrstvu s minimálně obdobnými technickými vlastnostmi, jak byl původní podklad, na který se sanační hmota nanáší.

Sanační materiály a systémy se většinou nanášejí na betonový podklad a svými účinky a vlastnostmi kvalitativně zlepšují povrchovou vrstvu dané betonové konstrukce.

Podstatou těchto opravných hmot a systémů jsou

- cementové malty a betony,
- cementové malty a betony s různými přísadami k zajištění požadovaných vlastností,
- malty a betony s použitím jiných pojiv (pryskyřice aj.) [29]

Funkční vlastnosti výrobků pro opravy betonových konstrukcí se rozlišují podle druhu oprav, a jejich určení. Požadavky na vlastnosti jsou rozdílné podle toho, zda se jedná o opravy se statickou funkcí či opravy bez statické funkce.

2.5.1 Požadavky

Základní požadavky na funkční vlastnosti výrobků (podle tohoto rozlišení v předchozím uvedeném) jsou dány normovými předpisy, především ČSN EN 1504-3. Z požadovaných funkčních vlastností výrobků pro opravy (se statickou funkcí a bez statické funkce) je nutno uvést zejména tyto:

- pevnost v tlaku
- obsah chloridových iontů
- soudržnost
- vázané smršťování a rozpínání
- odolnost proti karbonataci (opravy bez statické funkce bez požadavku)
- modul pružnosti (opravy bez statické funkce bez požadavku)
- tepelná slučitelnost: a) zmrazování a tání
b) náporové skrápění
c) cyklování za sucha

Poznámka:

Tyto vlastnosti se ověřují po provedené zkoušce tepelné slučitelnosti a následné zkoušce soudržnosti sanační vrstvy s podkladem.

- protismykové vlastnosti
- kapilární absorpce

Uvedené vlastnosti (požadované a zkouškami ověřované) výrobků a systémů jsou svými hodnotami nastaveny tak, aby s podkladem vytvořily kvalitní jednotný celek, který by splňoval požadované nároky na vlastnosti konstrukce po sanaci s ohledem na vnější a vnitřní vlivy na ni působící.

Následující tabulka z ČSN EN 1504-3 uvádí technické požadavky na sanační hmoty [12]:

Tabulka 3 – Požadavky na funkční vlastnosti výrobků pro opravy se statickou funkcí
a bez statické funkce

Položka č.	Funkční vlastnost	Referenční podklad (EN 1766)	Zkušební metoda	Požadavek			
				Se statickou funkcí		Bez statické funkce	
				Třída R4	Třída R3	Třída R2	Třída R1
1	Pevnost v tlaku	Žádný	EN 12190	≥ 45 MPa	≥ 25 MPa	≥ 15 MPa	≥ 10 MPa
2	Obsah chloridových iontů	Žádný	EN 1015-17	≤ 0,05 %		≤ 0,05 %	
3	Soudržnost	MC(0,40)	EN 1542	≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
4	Vázané smršťování/ rozpínání ^{b,c}	MC(0,40)	EN 12617-4	Soudržnost po zkoušce ^{d,e}			Žádný požadavek
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
5	Odolnost proti karbonataci ^f	Žádný	EN 13295	$d_k \leq$ kontrolní beton (MC(0,45))		Žádný požadavek ^g	
6	Modul pružnosti	Žádný	EN 13412	≥ 20 GPa	≥ 15 GPa	Žádný požadavek	
7	Tepelná slučitelnost ^{fh} Část 1, Zmrazování a tání	MC(0,40)	EN 13687-1	Soudržnost po 50 cyklech ^{d,e}			Vizuální prohlídka po 50 cyklech ^e
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa	
8	Tepelná slučitelnost ^{fh} Část 2, Náporové skrácení	MC(0,40)	EN 13687-2	Soudržnost po 30 cyklech ^{d,e}			Vizuální prohlídka po 30 cyklech ^e
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
9	Tepelná slučitelnost ^{fh} Část 4, Cyklování za sucha	MC(0,40)	EN 13687-4	Soudržnost po 30 cyklech ^{d,e}			Vizuální prohlídka po 30 cyklech ^e
				≥ 2,0 MPa	≥ 1,5 MPa	≥ 0,8 MPa ^a	
10	Protismykové vlastnosti	Žádný	EN 13036-4	Třída I: > 40 jednotek při zkoušce mokrého povrchu Třída II: > 40 jednotek při zkoušce suchého povrchu Třída III: > 55 jednotek při zkoušce mokrého povrchu	Třída I: > 40 jednotek při zkoušce mokrého povrchu Třída II: > 40 jednotek při zkoušce suchého povrchu Třída III: > 55 jednotek při zkoušce mokrého povrchu		
11	Součinitel teplotní roztlačnosti ^c	Žádný	EN 1770	Jsou-li provedeny zkoušky 7, 8 nebo 9, není vyžadován. V opačném případě deklarovaná hodnota.		Jsou-li provedeny zkoušky 7, 8 nebo 9, není vyžadován. V opačném případě deklarovaná hodnota.	
12	Kapilární absorpce	Žádný	EN 13057	≤ 0,5 kg m ⁻² h ^{-0,5}		≤ 0,5 kg m ⁻² h ^{-0,5}	Žádný požadavek

2.5.2 Platné normy a jejich použití a určení podle účelu sanace (vybrané normové definice)

Pro výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí platí skupina norem, které je nutno dodržovat při sanačních pracích. Pomůckou při užití příslušné normy jsou základní normové definice k použití a požadovaných účinků sanačních materiálů.

Dále jsou uvedeny základní normové definice a definované normové oblasti použití, tj. hlavní skupiny výrobků a systémů podle **ČSN EN 1504-1**, které v této zprávě jsou použity [10]:

Výrobek – hmoty navržené pro opravy nebo ochranu betonových konstrukcí (čl. 3.1.7)

Systémy – dva nebo více výrobků, které se používají společně nebo postupně pro provedení oprav nebo pro ochranu betonových konstrukcí (čl. 3.1.8)

Technologie – použití výrobku nebo systému určitým zařízením nebo způsobem (např. injektáž trhlin) (č. 3.1.9)

Výrobky a systémy pro kotvení – výrobky a systémy, které:

- kotví výztuž do betonu tak, aby bylo zajištěno její odpovídající statické působení s betonem
- zaplňují dutiny tak, aby se zajistila soudržnost mezi ocelovými a betonovými prvky (čl. 3.2.1.)

Výrobky a systémy pro injektáž – výrobky a systémy, které po injektáži do betonové konstrukce obnovují její konstrukční celistvost a/nebo trvanlivost (čl. 3.2.2)

Výrobky a systémy pro opravy bez statické funkce – výrobky a systémy, které se aplikují na povrch betonu za účelem obnovení geometrického tvaru nebo estetického vzhledu konstrukce (čl. 3.2.3)

Výrobky a systémy pro ochranu výztuže – výrobky a systémy, které se aplikují na nechráněnou výztuž za účelem její ochrany proti korozi (čl. 3.2.4)

Výrobky a systémy pro staticky nosné spojování – výrobky a systémy, které se aplikují na beton za účelem vytvoření trvanlivého staticky nosného spoje s následně aplikovaným materiálem (čl. 3.2.5)

Výrobky a systémy pro opravy se statickou funkcí – výrobky a systémy, které se aplikují na betonovou konstrukci za účelem náhrady vadného betonu a obnovení statické integrity a trvanlivosti konstrukce (čl. 3.2.6)

Výrobky a systémy pro povrchovou ochranu – výrobky a systémy, které po aplikaci prodlužují trvanlivost konstrukcí z betonu a z vyztuženého betonu

2.5.3 Normové předpisy pro ověřování vlastností výrobků a systémů pro opravu a ochranu betonových konstrukcí

Pro výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí je závazná skupina **ČSN EN 1504, část 1 až část 10**, týkající se všeobecně témat, která souvisejí s uvedenou problematikou, a druhu prováděné opravy (včetně norem návazných). Do této skupiny náleží tedy normové předpisy, které je nutno akceptovat při provádění jednotlivých speciálních oprav v rámci určených betonových staveb.

Jsou to tyto normy, které jsou součástí ČSN EN 1504 jako jednotlivé části:

Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody –

Část 1: Definice – definuje pojmy, týkající se výrobků a systémů pro opravy, pro použití při údržbě a pro ochranu, obnovu a zesílení betonových konstrukcí [10].

Část 2: Systémy ochrany povrchu betonu – specifikuje požadavky na identifikaci, vlastnosti včetně životnosti, bezpečnost a hodnocení shody výrobků a systémů, použitelných pro povrchovou ochranu betonu, zvýšení trvanlivosti betonových a železobetonových konstrukcí a též pro nový beton a sanační práce. Metody ochrany povrchů uváděné v tomto dokumentu jsou následující:

- hydrofobní impregnace
- impregnace
- nátěry [11].

Podlahové systémy staveb, které nejsou určeny pro ochranu nebo obnovu celistvosti betonové konstrukce, jsou uvedeny v EN 13813.

Část 3: Opravy se statickou funkcí a bez statické funkce – specifikuje požadavky na identifikaci, na funkční vlastnosti – včetně trvanlivosti a na bezpečnost výrobků a systémů užívaných pro opravy betonových konstrukcí a to opravy se statickou funkcí a bez statické funkce.

Tato EN 1504-3 platí pro správkové malty a betony, použitelné společně s dalšími výrobky a systémy, určené k obnově a/nebo nahrazení narušeného betonu a k ochraně výztuže, pokud je to nutné k prodloužení doby životnosti betonové konstrukce vykazující projevy degradace.

Ve shodě s ČSN EN 1504-9 pokrývá tato norma výrobky a systémy pro následující oblasti použití:

- obnova betonu (zásada 3)
 - Metoda 3.1 nanášení malty ručně
 - Metoda 3.2 dobetonování
 - Metoda 3.3 nástřík betonu nebo malty
- zesílení konstrukce (zásada 4) Metoda 4.4 doplnění malty nebo betonu – reprofilace
- ochrana nebo obnovení pasivace (zásada 7)
 - Metoda 7.1 Zvětšení tloušťky krycí vrstvy výztuže dodatečně nanesenou cementovou maltou nebo betonem
 - Metoda 7.2 Náhrada kontaminovaného nebo karbonatovaného betonu [12].

Odolnost sanačních materiálů proti karbonataci se zkouší podle ČSN EN 13295 (Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení odolnosti proti karbonataci).

Dále jsou uvedeny názvy dalších částí ČSN EN (část 4,5,6,7) týkající se speciálních sanačních prací (nevztahují se přímo k námi řešené problematice).

Část 4: Konstrukční spojování

Část 5: Injektáž betonu

Část 6: Kotvení výztužných ocelových prutů

Část 7: Ochrana výztuže proti korozi

Část 8: Kontrola kvality a posuzování a ověřování stálosti vlastností (AVCP) – tato část evropské normy popisuje postupy kontroly kvality a

hodnocení shody, včetně označení a značení štítkem u výrobků a systémů pro ochranu a opravy betonu podle EN 1504, části 2 až 7 [17].

Část 9: Obecné zásady pro používání výrobků a systémů

Tato evropská norma definuje principy pro provádění ochrany a oprav betonových konstrukcí, které jsou poškozeny nebo mohou mít poruchy. Tato norma uvádí pokyny a doporučení pro výběr výrobků a systémů, které jsou vhodné pro určené použití. Tato evropská norma identifikuje klíčová místa v procesu oprav:

- hodnocení stavu konstrukce;
- identifikace příčin poškození;
- možnosti provedení ochrany a oprav;
- výběr možných principů ochrany a oprav;
- výběr metod;
- definice vlastností výrobků a systémů;
- specifikace požadované údržby po provedené ochraně a opravě [18].

Část 10: Použití výrobků a systémů a kontrola kvality provedení – tato část ČSN EN 1504 obsahuje požadavky na podklad před a během nanášení včetně nosnosti, uložení, přípravy a nanášení výrobků a systémů pro ochranu a opravu betonových konstrukcí, včetně kontroly kvality, údržby, ochrany zdraví, bezpečnosti práce a ochrany životního prostředí [19].

Požadavky na funkční vlastnosti výrobků pro opravy se statickou funkcí a bez statické funkce jsou uvedeny v ČSN EN 1504-3. Při provádění sanace objektů je nutno často zohledňovat, popř. doplňovat způsob sanace podle druhu a velikosti poškození. Je třeba brát v úvahu i požadavky na výrobky a systémy, které v rámci zjištěného poškození a následných oprav je vhodné použít pro opravu objektu a jeho navrácení do původního stavu. Pro každé výrobky a systémy se speciálním určeným použitím platí příslušná část ČSN EN 1504 (uvedeno v předchozí části).

2.5.4 Provádění oprav se statickou funkcí a bez statické funkce

Sanace vodárenských objektů náleží ve smyslu v předchozím uvedených definicích oprav k opravám, kdy se používají výrobky a systémy pro opravy buď

- bez statické funkce v případě mladších a méně narušených objektů, u kterých je zpravidla v menší míře narušen vnitřní povrch staveb (např. povrchová vrstva ve vnitřní části vodojemu, přivaděčů vody, stok, aj.). Narušená vrstva povrchu betonu je menší tloušťky než vrstva krytí výztuže betonem (výztuž není narušena vlivem koroze povrchové vrstvy betonu), popř. se jedná o opravy lokálně narušeného povrchu a je třeba obnovit geometrický tvar nebo estetický vzhled konstrukce, nebo
- se statickou funkcí, kdy je narušení těchto objektů značné. Především se jedná o vodárenské objekty, které byly dlouhé roky v provozu bez kontroly jejich stavu narušení, nebyl kontrolován ani vnitřní povrch objektů (z důvodu nepřetržitého provozu bez odstávky pro kontrolu). Vnitřní povrch je degradován účinkem kapalin, které v těchto objektech cyklují. Důvodem nízké kontroly objektů je potřeba stálého používání, což má často důsledek velkého (nejen) povrchového narušení vlivem naprosté absence sanace konstrukce.

Poznámka: Sledované vodárenské objekty jsou často v provozu 50 a více roků a po dobu provozu nebyla provedena žádná kontrola stavu, a došlo tak k většímu poškození betonu (nejen v povrchové vrstvě, ale i do větší hloubky, často s větším narušením výztuže). V takto narušených objektech se musí nahradit vadný beton, ošetřit a doplnit výztuž, obnovit statika a trvanlivost sledované konstrukce.

Při sanaci vodárenských objektů často vzhledem k jejich narušení a poškození (zjištěné podle výsledků stavebního průzkumu) je nutno použít – v rámci opravy a uvedení do takového stavu, aby objekt nadále mohl plnit funkci, ke které byl určen – i ostatní speciální výrobky a systémy, definované v ČSN EN 1504-1 (např. výrobky a systémy určené pro injektáž, pro ochranu výztuže, pro konstrukční spojování, pro povrchovou ochranu, popř. pro injektáž).

3. Experimentální část

3.1 Obecně úvodem

Zaměření experimentální části této práce na vodohospodářské stavby, zejména vodojemy, jak už bylo dříve zmíněno, vyplývá z mé dlouhodobé pracovní činnosti v rámci našeho ústavu, tj. Technického a zkušebního ústavu stavebního Praha, s.p.

Současný stav vodojemů a zvyšující se nároky a požadavky na ně se dostával do popředí v devadesátých letech minulého století se zvyšujícím se technickým rozvojem a často se zvyšujícími se nároky na spotřebu a kvalitu vody.

Stávající vodojemy, stavby budované většinou v průběhu celého minulého století, musí i v současnosti plnit nejen funkci, ke které byly určeny v době výstavby, ale jsou potřebné z funkčního hlediska i po dlouhém svém provozu. Tyto stavby byly stavěny na určitou předpokládanou životnost a nebyly často nebo jen v nepatrné míře v průběhu užívání, tak jako ostatní stavby, kontrolovány nebo zásadně opravovány.

Vodojemy v převážné míře byly budovány jako částečně nebo zcela podzemní konstrukce, určené k hospodaření jednou s nejdůležitější pro člověka surovinou, tj. s pitnou nebo i užitkovou vodou. Jejich údržba byla v průběhu provozu těchto konstrukcí minimální. V devadesátých letech s vyššími nároky na spotřebu vody a společenskou změnou dochází k postupným opravám a sanacím jednotlivých vodojemů, především velkoobjemových vodojemů. Jejich stav to také vyžadoval.

Jako všechny stavby, tak i tyto konstrukce pro vodní hospodářství, je nutno v průběhu užívání kontrolovat, opravovat a sanovat. Vlivem dlouhodobého používání dochází často ke změně technických parametrů nejen vlastností materiálů, ze kterých byl objekt postaven, případně také ke změně užívání a tím ke změně vlastností celé konstrukce. Proto všem chystaným stavebním činnostem k zajištění plné funkčnosti těchto konstrukcí musí předcházet podrobný stavební průzkum současného stavu objektů při využití stávající zkušební techniky a platných normových metod k měření a zkoušení, popř. dalších předpisů, tj. ke zjištění všech dostupných stávajících technických parametrů sledované konstrukce a jejich zhodnocení a využití pro další postup prací k zajištění plné funkčnosti objektů pro jejich další užití.

Při opravách a sanacích vodojemů se rozlišuje několik případů rozsahu porušení. Nejméně narušené jsou tyto stavby malého stáří, kdy se jedná jen o malé narušení většinou povrchové, které nevyžaduje nákladné stanovení současných technických parametrů.

U vodojemů starších a starých se posuzuje současný technický stav i z hlediska statiky konstrukce. Jedná se o konstrukce ze statického hlediska ještě vyhovující, ale konstrukce již vykazuje takové znaky narušení (zejména např. viditelnou začínající korozi výztuže), které by v brzké době při zanedbání ošetření mohly vést ke snížení bezpečnosti, tj. únosnosti (je nutno zastavit pokračování koroze nosné výztuže). Často jsou konstrukce vlivem dlouhodobé koroze tak narušeny, že je nebezpečí snížení statické únosnosti a je třeba rychlého sanačního zásahu k zajištění stability konstrukce vzhledem k dalšímu provozu (zastavení postupující koroze výztuže, doplnění výztuže s ohledem na zatížení a velikost koroze, apod.).

Poznámka: Pokud je příčný průřez výztužných prutů oslaben o více než 20%, je nutno výztuž doplnit tak, aby konstrukce byla staticky vyhovující při zohlednění velikosti zatížení.

V další části jsme se zaměřili na zjišťování nezákladnějších technických parametrů těchto konstrukcí in situ, u kterých již probíhá ve větší či menší míře koroze výztuže a následně i koroze betonu, a to i za stavu určitých omezujících činitelů v rámci probíhajících zkoušek.

Experimentální práce byly prováděny v rámci prováděných průzkumů vodohospodářských staveb. Při prováděných průzkumech a zkouškách jsme využívali dostupné normové předpisy pro tento obor staveb a jejich zkoušení. Na podkladě zkoušek na stavbě a následně provedených zkoušek v laboratoři na odebraných vzorcích (byly nutné k posouzení konstrukce a předání podkladů pro zpracování projektu sanace), byly stanoveny vztahy mezi pevností betonu v tlaku a pevností v tahu povrchových vrstev.

K hledání uvedeného vztahu nás vedly i omezující činitelé k našemu požadovanému rozsahu zkoušek, které zejména byly tyto:

- Požadovaná nejnižší doba výluky sledovaného vodojemu (doba vypuštění a výluky omezuje množství zkoušek, které by bylo nutno provést v rámci splnění normových požadavků).

- Často požadované nižší finanční náklady na stavební průzkum (ovšem při optimalizaci zkoušek s výsledky srovnatelnými s jinými časově i finančně nákladnějšími metodami).
- Požadavek minimálního zásahu do konstrukce (zejména u požadavku na odběr většího počtu vzorků – vývrtů zejména tam, kde konstrukce má poměrně nižší tloušťku).
- K tomu přistupují další omezující další faktory, jako je nedostatečná přístupnost některých stavebních částí k provedení odběru vzorků, nedostatečné podklady o sledovaném vodojemu, zjištěné nepředvídatelné vady, popř. poruchy, apod.

Na podkladě předchozího pak byly hledány vhodné doplňující metody, aby výsledky provedených zkoušek byly optimální ke sledované vlastnosti.

Při nejlepší snaze splnit požadavky norem je nutno často improvizovat, aby se získalo co nejvíce podkladů a výsledků k celkovému hodnocení stavebního stavu sledovaného vodojemu.

3.2 Prověřované vodojemy

Každý prověřovaný vodojem má svá specifika, vyplývající z doby stáří, způsobu a doby výstavby a časové délky užívání objektu. Všechny vodojemy byly postaveny za posledních sto let, nejstarší námi prověřované již před první světovou válkou. Prvním podkladem pro provádění průzkumu je dokumentace objektu. S ohledem však na dobu výstavby objektů často nebyla žádná technická dokumentace z doby výstavby k dispozici, zejména u nejstarších sledovaných objektů a nebyla prováděna ani zdokumentována žádná oprava po celou dobu provozu objektu. Proto je u těchto objektů náročné a velmi nutné zjišťování všech sledovaných současných technických parametrů pro plánovanou rekonstrukci a sanaci.

Ale i u mladších vodojemů, kdy je k dispozici dostupná projektová dokumentace, je potřeba vždy znát současný technický stav, tj. skutečné technické parametry vodojemu neboť vlivem stáří a doby užívání se původní technické parametry mění (vlivem změn v rámci provozu a užívání) a při plánované sanaci je nutno znát skutečný stav za účelem správného návrhu a provedení plánu sanace zajišťující prodloužení životnosti stavby.

3.2.1 Tvary a rozměry vodojemů

Zkoušené vodojemy jsou všechny betonové konstrukce, postavené v rozmezí minulého století. Jsou různé velikosti z hlediska rozměru a objemu, tedy jsou to stavby s různou kapacitou akumulace vody. Vodojemy jsou nejčastěji tvaru válce nebo hranolu (v následujícím textu jsou přiloženy obrázky různých tvarů).

- Válcové vodojemy jsou převážně vodojemy menších objemů, stavěné v první polovině minulého století, obsah vody je max. do 500 m³. Tyto stavby jsou v menších obcích, kdy požadavky na spotřebu vody s ohledem na dobu výstavby nebyly tak vysoké jako v současnosti. Většinou se jedná o stavby nadzemní, s jednou komorou, většinou bez sloupů, s rovným stropem (železobetonová deska).



Obrázek 6 Ukázka akumulční komory kruhového půdorysu

- Vodojemy ve tvaru hranolu, stavěné v dalším období (rozvoj měst, rozvoj techniky, zvýšená spotřeba vody) jsou nejčastěji tvaru hranolu čtyřbokého nebo pětibokého s různou velikostí půdorysných stran a různé výšky. Kubatura vody ve vodojemu je různá. Vodojemy postavené v první polovině minulého století se většinou prováděly jako jednokomorové a v dnešní době jsou často technickou památkou s ohledem na tvar jejich konstrukčních částí a je nutno zachovat jejich původní stav. Takovými stavbami jsou např. některé jednokomorové vodojemy v Brně, které mají zajímavé technické klenuté řešení stropní konstrukce a sloupů, s kubaturou vody 5000 m³ i více.



Obrázek 7 Ukázka posuzovaných vodojemů (Kráví Hora 5000 m³)



Obrázek 8 Ukázka posuzovaných vodojemů (VDJ Bílá Hora
5000 m³ po provedené sanaci)

Se zvyšující se spotřebou vody bylo nutno stavět vodojemy **dvoukomorové** – vodojemy se dvěma akumulacími nádržemi, symetricky umístěnými podle půdorysné podélné nebo příčné osy symetrie. Tato osa je dělicí stěnou mezi dvěma komorami (musí být dimenzována na toto zatížení). Obsah vody ve vodojemu je tedy např. $2 \times 1\,500\text{ m}^3$ (každá komora obsahuje $1\,500\text{ m}^3$ vody), častěji jsou vodojemy stavěny – zejména ve velkých městech – na větší kubaturu vody. Námi prověřovaný nejvíce kapacitní byl vodojem v Brně obsahu vody $2 \times 17\,500\text{ m}^3$ vody. Takové vodojemy byly stavěny ve druhé polovině minulého století, jsou konstrukčně náročné, většinou jsou opatřeny řadou vnitřních sloupů, nesoucími stropní konstrukci (monolitický strop, stropní panely).



Obrázek 9 Ukázka posuzovaných vodojemů (Palackého vrch $2 \times 17\,500\text{ m}^3$)

Vodojemy z hlediska umístění jsou buď nadzemní, týká se to vodojemů menších kubatur stavěných uprostřed zástavby na začátku rozvoje vodárenství. Převážná většina moderních vodojemů jsou vodojemy tzv. zemní, umístěné pod úrovní terénu (nebo alespoň částečně – se vstupem nad úrovní terénu a akumulacími nádržemi pod úrovní terénu při využití skutečného svahovitého terénu při stavbě těchto objektů).

Dvoukomorové vodojemy mají výhodu zejména při opravách – lze vypustit jednu komoru při zachování provozu ve druhé komoře.



Obrázek 10 Zemní vodojem



Obrázek 11 Ukázka posuzovaných vodojemů (Kohoutovice věžový 750 m³)

Z hlediska materiálu stavby jsou provedeny z betonu, nejčastěji z monolitického betonu, s výztuží u staveb většího rozsahu, u staveb malých z prostého betonu. Ojedinele byly stavěny a námi zkoušeny také vodojemy, kde ke stavbě stěn akumulčních nádrží bylo použito železobetonových staveništních prefabrikátů se zámky, které byly utěsněny pružným vodoizolačním materiálem.



Obrázek 12 Dilatace stěny akumulční nádrže

3.2.2 Vnitřní povrchy (stěn, sloupů, stropů) zkoušených vodojemů a jejich úprava

Vnitřní části sledovaných vodojemů (stěny, strop, sloupy) jsou nejvíce exponované části těchto konstrukcí, jsou neustále v kontaktu s vodou, která svou činností ovlivňuje jejich stav z hlediska narušení.

Tak jak už bylo uvedeno, vnitřní povrchy sledovaných objektů jsou většinou narušené, velikost porušení je odvislá od jejich povrchové úpravy. Vyskytují se následné úpravy vnitřních povrchů:

- povrch betonu byl opatřen jen vodoizolačním nátěrem, který je již vlivem pohybu vody velmi narušen (často jsou patrný jen zbytky tohoto nátěru), popř. zcela stráven, nebo
- je provedena povrchová úprava betonu pálenou omítkou nebo
- je provedena úprava betonových stěn vrstvou omítky (mnohdy v tloušťce až 4 cm) buď s nátěrem, nebo bez nátěru (u většiny sledovaných objektů je v současnosti povrch s omítkou velmi narušen – z původního nátěru jsou patrné jen jeho zbytky na povrchu).

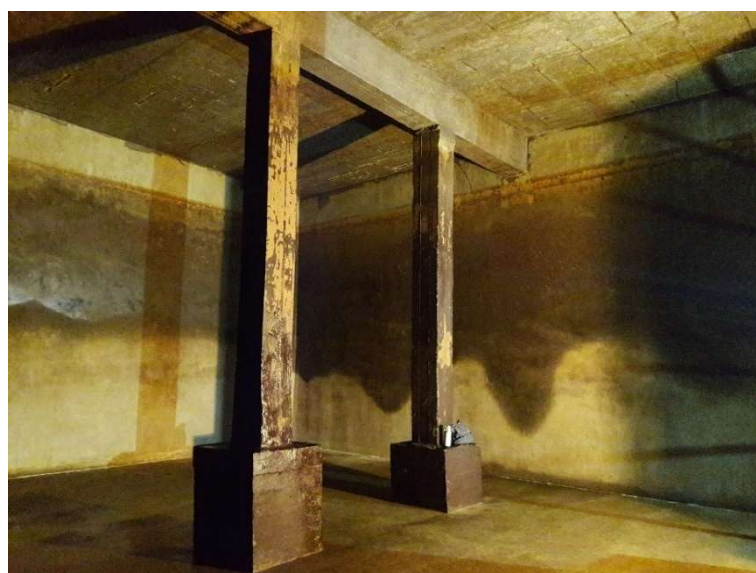
Povrchová úprava má rozhodující vliv na velikost porušení povrchu vnitřních částí objektů. Podle způsobu vnitřní povrchové úpravy dochází k většímu či menšímu narušení, vzniku koroze betonu a koroze výztuže různého rozsahu.

Voda v těchto konstrukcích vlivem neustálého pohybu, cirkulace, změny hladiny způsobuje narušení povrchové úpravy. Toto narušení se projevuje především trhlinami, následkem je pronikání vody pod původní úpravy povrchu (např. nesoudržnost omítkové úpravy s podkladním betonem) a dále dochází k narušení betonu nosné konstrukce, pronikání vody k výztuži a její korozi. U sledovaných vodojemů s vnitřní omítkovou povrchovou úpravou byly omítkové vrstvy narušené trhlinami, omítky na stěnách měly často jen minimální přídržnost k podkladnímu betonu, vlivem trhlin a mikrotrhlin voda pronikla do betonu a dále k nosné výztuži. Koroze výztuže způsobila další korozi betonu, odpadávání omítky, místy též krycí vrstvy betonu. Poloha výztuže v konstrukci je tak v mnohých objektech vlivem její koroze zjevná i bez měření a hledání příslušnými přístroji (na vnitřním povrchu jednotlivých konstrukčních částí vlivem vlhkosti a následné koroze výztuže jsou zjevné rezavé čáry sledující polohu narušené výztuže).



Obrázek 13 Koroze výztuže stěny akumulční nádrže

Ke vzniku a rozvoji koroze výztuže přispívá často nedostatečné zabezpečení objektů proti vnikání vody z okolního terénu (žádná nebo nedostatečné izolace vnějších stěn).



Obrázek 14 Průsak do akumulční nádrže vlivem nedostatečné izolace

Pokud je vodojem opatřen vnitřními sloupy, pak nedostatečná ochrana povrchu sloupů je častou příčinou odpadávání betonové krycí vrstvy výztužné oceli, dochází ke korozi nosné výztuže sloupů s následným snížením statické únosnosti sloupů (je velmi nebezpečné především u sloupů menších rozměrů s nedostatečným krytím oceli betonem).

Při přípravě sanace je nutná předúprava povrchů, pod kterou se zahrnuje odstranění narušených povrchových vrstev a vytvoření hutného podkladu pro nanesení sanačních hmot či systémů.

Podklad musí splňovat požadavky dané příslušnými normovými a jinými příslušnými technickými podklady zejména pro pevnost betonu v tahu povrchové vrstvy (požadovaná hodnota pevnosti v tahu povrchové vrstvy je v rozmezí od 1,0 MPa do 1,5 MPa). Pevnost v tahu je zkouškami zjišťována v rámci přípravy podkladu pro sanaci. Tloušťka narušené nevyhovující povrchové vrstvy, kterou je třeba odstranit, se stanoví v rámci stavebního průzkumu zkouškami (pevnost v tahu povrchových vrstev dle ČSN 73 6242).

Narušenou nevyhovující povrchovou vrstvu je třeba odstranit vhodným způsobem tak, aby nebyla ohrožena statika konstrukce. V současnosti je osvědčeno několik vhodných metod, které umožňují vytvoření podkladu požadované kvality bez případného narušení stability konstrukce (podle druhu a rozměru konstrukčních částí např. vodní paprsek, vysokotlaký vodní paprsek, pískování, ruční odsekávání, broušení, aj.)

V rámci přípravy podkladu pro sanaci tj. při odstraňování narušené zkorodované povrchové vrstvy se provádí očištění výztuže od koroze, případně doplnění výztuže, pasivace výztuže a reprofilace do původního stavu.

Pokud je konstrukce opatřena vnitřními sloupy, je příprava pro sanaci u těchto sloupů náročnější. Sloupy ve větší míře bývají narušeny (vzhledem k působení vody po celém obvodu příčného průřezu dochází ke korozi betonu i výztuže). Je často nutné z hlediska únosnosti při odstraňování korozních produktů výztuž doplňovat tak, aby konstrukce sloupů vyhověla zatížení, kterému jsou nebo mají být vystaveny.

Většina vodojemů má konstrukci stropu tvořenou staveništními prefabrikáty, u kterých je vlivem nedostatečného krytí výztuže betonem zvýšená koroze výztuže, především koroze výztuže příčné (prostředí s vysokou vlhkostí, nedostatečná ochrana spodního povrchu panelů proti vnikání vlhkosti). Výztuž stropů je proto nutno převážně všude

ošetřit obdobně jako u sloupů a stěn (tj. odstranit narušenou krycí vrstvu výztuže betonem, výztuž očistit od koroze, pasivovat a provést reprofilaci do původního stavu).

Tato příprava je rozhodující pro kvalitní sanaci a správnou volbu sanačního materiálu.

Poznámka:

Sanační materiály a sanační systémy doporučené k použití na stavbě vodojemů musí mít normou požadované ověřené vlastnosti a podléhají jako všechny stavební výrobky kontrole ve smyslu Nařízení Evropského Parlamentu a Rady (EU) č. 305/2011, kterým se stanoví harmonizované podmínky pro uvádění stavebních výrobků na trh.

3.3 Zkoušky prováděné na stavbách v rámci stavebního průzkumu

Dále se uvádějí nejdůležitější a nejčastější nutné a požadované zkoušky námi prováděné v rámci stavebního průzkumu a hodnocení jejich výsledků.

3.3.1 Rozsah zkoušek

U každého vodojemu je nejprve třeba se seznámit s dosažitelnou projektovou a další technickou dokumentací ke zjištění všech základních technických parametrů z doby výstavby sledovaného objektu, tj. zejména

- projektová dokumentace,
- údaje o vlastnostech betonu a výztuže,
- údaje o technologii výstavby konstrukce,
- záznamy o přestavbách, opravách konstrukce, změny zatížení konstrukce, popř. údaje o dalších skutečnostech, kterým byla konstrukce vystavena ať již během její výstavby nebo při jejím užívání.

Po shromáždění uvedených podkladů (pokud existují) se provede podrobná prohlídka konstrukce a zjišťují se vizuálně vady a poruchy konstrukce, především její technický stav, tj. především trhliny (povrchové, do hloubky, trhliny ohrožující stabilitu, aj.), místa nezhotoveného či narušeného betonu, krytí výztuže – sledují se místa odkryté a zkorodované výztuže, aj.

Pokud se zjistí již při prohlídce narušení takové, že ohrožuje statickou bezpečnost, je nutno statikem navrhnout kontrolu a zásahy k opravě a zajištění bezpečnosti, pokud je to z technického i ekonomického hlediska přijatelné. Pokud narušení, tj. koroze betonu i výztuže nemá dopad na nosnost konstrukce, v další etapě se provádějí zkoušky ke zjištění konkrétních technických parametrů stávající konstrukce ve sledovaném čase.

Při našich průzkumech starých konstrukcí vodojemů v některých případech nebylo možno zjistit některé požadované údaje konstrukce z doby její výstavby (chybějící dokumentace, nedostatečné údaje, aj.). V těchto případech byly prováděny podrobné zkoušky současného technického stavu za účasti specialisty statika a jeho požadavků na zkoušky.

Po vizuální prohlídce konstrukce včetně podrobného záznamu všech zjištěných skutečností se provede plán zkoušek a jejich rozsah.

Zkoušky na stavbě jsme prováděli převážně v následujícím rozsahu, které zahrnují zejména zkoušky ke stanovení technických parametrů nutných a požadovaných v rámci zpracování projektu sanace:

- rozměry konstrukce a jejích částí (nutné u konstrukce bez dokumentace),
- odběr vzorků, tj. vývrty pro zkoušky pevnosti v tlaku, popř. i v tahu, objemové hmotnosti, zjištění struktury, karbonataci, stanovení modulu pružnosti aj.
- zkoušky povrchové úpravy – přídržnost k podkladu,
 - pevnost v tahu povrchové vrstvy úpravy,
 - pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu,
 - opakované zkoušky pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu ke zjištění degradované vrstvy betonu, kterou je nutno odstranit (degradovaná vrstva se odstraňuje při předúpravě povrchu ve vnitřní části vodojemu, tloušťka nutná k odstranění se určuje opakovanými zkouškami pevnosti v tahu povrchové vrstvy po postupném očišťování povrchu a je nutným a požadovaným údajem při zpracování projektu sanace),
- odběr vzorků – vývrty pro zkoušky (pevnost v tlaku, objemová hmotnost, struktura, aj.),
- zkoušky výztuže (poloha, profil, krytí výztuže, koroze, odběr vzorků pro zkoušky výztuže v laboratoři),
- nedestruktivní zkoušky (pevnosti betonu, aj.).

Na odebraných vzorcích z konstrukce se provádějí především následující uvedené zkoušky v laboratoři, tj.

- pevnost betonu v tlaku na odebraných vzorcích z konstrukce,
- objemová hmotnost betonu,
- pevnost v tahu povrchových vrstev betonu (na válcích),
- modul pružnosti (pokud je požadován),
- hloubka karbonatace.

Postup zkoušení na stavbě a na odebraných vzorcích:

- Nejprve je nutno provést přídržnost povrchové úpravy vnitřních povrchů objektu.
- Podle výsledků přídržnosti povrchové úpravy se rozhodne o odstranění či ponechání povrchové úpravy.
- V případě odstranění celé povrchové úpravy se po očištění povrchu podkladu stanoví pevnost v tahu povrchových vrstev podkladu.
- Při zkouškou zjištěných nízkých hodnotách R_t je nutno povrch podkladu dále upravit (např. broušením, vodním paprskem apod.) ke zvýšení hodnoty R_t . Tento postup se opakuje, až se odstraní zkorodovaná povrchová vrstva a dosáhne se příznivé R_t (výška odstraněné povrchové vrstvy se dokumentuje).
- Vždy je nutno provést alespoň minimální počet odebraných vzorků pro destruktivní zkoušku pevnosti betonu v tlaku v laboratoři.
- V místě odběru vzorků pro zkoušku pevnosti betonu v tlaku se provede před odběrem zkouška pevnosti v tahu povrchové vrstvy (doporučuje se minimálně tři zkoušky kolem místa odběru jednoho vzorku).
- Na odebraných vzorcích – válcích se provede (destruktivní) zkouška pevnosti betonu v tlaku podle ČSN EN 12390-3.
- V případě možnosti je možno provést současně i zkoušku pevnosti v tlaku nedestruktivní metodou Schmidovým tvrdoměrem.
- V laboratoři se provede na vývrtnu na povrchu válce zkouška pevnosti v tahu povrchové vrstvy před zkouškou pevnosti v tlaku.
- Místa odběru je vhodné zvolit v místech minimální, maximální a průměrné dosažené pevnosti v tahu betonu konstrukce.
- Na odebraných válcích zjistit hloubku karbonatace (na stavbě).
- V případě požadavku stanovení modulu pružnosti betonu konstrukce se vyčlení vzorky (vývrty) pro zkoušku podle ČSN ISO 1920-10.

3.3.2 Hodnocení výsledků zkoušek

Při hodnocení výsledků zkoušek (ze stavby, ze zkoušek v laboratoři) se zejména uvádí:

- kvalita povrchové úpravy zejména omítky (míra narušení, rozhodnutí o ponechání, resp. odstranění, její pevnostní charakteristiky, doporučení tloušťky vrstvy k odstranění),
- hodnota pevnosti v přídržnosti povrchových úprav (omítka, ochranná vrstva),
- pevnost v tlaku - třída betonu jednotlivých částí, popř. celé konstrukce (podle ČSN EN 206+A1, ČSN EN 13791 a ČSN 73 2011),
- hodnoty pevnosti v tahu betonu podkladu (po odstranění povrchové úpravy – pokud se odstraňuje, popř. opakování zkoušky pevnosti betonu v tahu se zjištěním tloušťky zkorodované povrchové vrstvy),
- modul pružnosti betonu konstrukce na odebraných vzorcích betonu (pokud je požadován), stanovený a vyhodnocený podle ČSN ISO 1920-10,
- poloha výztuže, krytí, koroze (popř. poloha odběru vzorků výztuže pro zkoušky v laboratoři),
- vlastnosti výztuže zjištěné zkouškami v laboratoři (pokud se provádí),
- hloubka karbonatace betonu,
- koroze betonu,
- tloušťka vrstvy degradovaného povrchu podkladního betonu (po odstranění povrchové úpravy), která je třeba před sanací odstranit,
- popř. jiné požadované a zkoušené vlastnosti (např. vlastnosti povrchové úpravy při jejím ponechání, atd.).

3.3.3 Zkušební metody a postupy použité ke zjištění některých vybraných technických parametrů

3.3.3.1 Pevnost v přídržnosti (omítky, povrchové úpravy) – **pevnost v tahu** povrchových vrstev betonu

a) Přídržnost povrchové úpravy vnitřních částí konstrukce vodojemu se zkouší v případech, že stávající úprava je dosud souvislá a pohledově nenarušená, a to dle ČSN 73 2577 a ČSN EN 1015-12. Pokud je úprava nepřilnutá ke konstrukčnímu betonu (odtržení povrchové vrstvy při minimální síle), povrchová úprava se odstraňuje bez provádění zkoušek přídržnosti.

V případě, že stávající povrchová úprava vykazuje vyhovující přídržnost k podkladu, ale je místy narušená, např. trhlinami, úpravu je nutno odstranit pro zajištění přilnutí sanační hmoty. Pokud je úprava větší tloušťky, je neporušená (např. kvalitní omítky tloušťky 5 cm) a je vyhovující přídržnost i pevnost v tahu povrchu, stávající povrchová úprava se ponechá (povrch se očistí a upraví vhodným způsobem s ohledem na sanační materiál a jeho požadavky na podkladní vrstvu).

b) Pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu (po odstranění povrchové úpravy) se stanovuje podle ČSN 73 6242.

c) Zkoušky pro stanovení tloušťky zkorodované vrstvy betonu

Vrstva zkorodovaného betonu se určuje zkouškou stanovení pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu. Pokud jsou získané hodnoty nižší než požadované, je nutno provést opakované zkoušky (nutno vždy zaznamenat tloušťku odtržené vrstvy) ke zjištění, jakou další ještě zkorodovanou vrstvu betonu je nutno odstranit, aby byl podklad vhodný pro sanaci. Tyto hodnoty lze zkouškami zjistit i na odebraných vzorcích v laboratoři.

Z výsledku zkoušek se stanoví celková tloušťka vrstvy, kterou je nutno odstranit, aby podkladní vrstva splňovala požadované technické parametry (normové, požadavek objednatele).

Zkoušky se provádějí na jednotlivých částech konstrukce (např. sloupy, stěny, strop, dno) a také v laboratoři na odebraných vzorcích z těchto částí konstrukce – vývrtech. Zjištěná zkorodovaná vrstva betonu na jednotlivých sledovaných částech se odstraňuje v rámci předúpravy povrchů (před sanací).

Dále je uveden příklad určování narušené vrstvy (k odstranění) z prováděných zkoušek na objektu vodojemu Nový Lískovec.

V tabulce jsou uvedeny hodnoty ze zkoušek R_t na sloupech.

Příklad určení tloušťky narušené vrstvy na sloupech je v následující tabulce:

V tabulce jsou uvedeny hodnoty R_t postupně změřené na čtyřech sloupech (1, 2, 3, 4).

- na povrchu povrchové úpravy – omítky (po jejím očištění) – údaje R_t v 1. sloupci,
- po odstranění povrchové vrstvy – omítky, očištění podkladu po odstranění omítky v tloušťce 3 mm, zbavení povrchu podkladu 2 mm – 2. sloupec.
Zjištěné výsledky R_t odpovídají narušené vrstvě podkladu.
- Podklad byl dále obroušen o celkovou vrstvu 5 mm a po očištění a zbavení prашných částí opět provedena zkouška R_t – údaje ve 3. sloupci,
- ke zjištění možnosti zvýšení R_t bylo provedeno obroušení o celkovou tloušťku 10 mm a poté provedena zkouška R_t – údaje ve 4. sloupci.

Sloupy	Pevnost v tahu povrchové vrstvy [N/mm^2] (obroušení celkem)							Poznámka
	Omítka	V/N	PV 2 mm	V/N	Obroušeno 5 mm	V/N	Obroušeno 10 mm	
1	0,146	N	0,545	N	1,021	N	1,406	V
	0,111		0,625		1,345		1,521	
	0,214		0,595		1,258		1,498	
2	0,328	N	0,637	N	1,204	N	1,515	V
	0,229		0,768		1,920		2,214	
	0,227		0,404		1,370		1,613	
3	0,315	N	0,723	N	1,321	N	1,642	V
	0,360		0,815		1,365		1,841	
	0,315		0,720		1,298		1,599	
4	0,209	N	0,883	N	1,298	N	1,704	V
	0,237		0,795		1,208		1,647	
	0,243		0,654		1,172		1,662	

Poznámky:

- N – nevyhovující, V – vyhovující podklad.
- Tloušťka omítky 3 mm byla odstraněna.
- Doporučení pro předúpravu: odstranění povrchové vrstvy betonu na sloupech 10 až 12 mm (provede se reprofilace povrchu + sanační vrstva).
- U všech provedených odtrhových zkoušek došlo k porušení v podkladním betonu.
- Pro sloupy byla požadována pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu min. 1,5 MPa.
- Zkoušky byly provedeny na jednotlivých částech konstrukce vodojemu Brno – Nový Lískovec.
- Stejným způsobem se stanovila tloušťka zkorodované vrstvy povrchu stěn. U stěn bylo doporučeno ponechání omítky – původní tloušťka omítky 50 mm byla snížena o 5 mm dle výsledků R_t a doplněna sanační vrstvou. Pro stěny byla požadována R_t povrchové vrstvy 1,0 MPa.
- Strop zkoušeného vodojemu byl tvořený z panelů s pálenou cementovou omítkou. Strop byl bez koroze výztuže i betonu vlivem kvalitní omítky (hodnota přídržnosti cementové pálené omítky k podkladnímu betonu byla vyšší než 2,5 MPa). Nebylo třeba provádět úpravy odstraněním povrchové vrstvy (bylo provedeno očištění tlakovou vodou a stávající povrch opatřen sanační omítkou).
- Po provedení sanačních prací se v určitém časovém období podle druhu použitého sanačního materiálu provádějí zkoušky přídržnosti ke kontrole dosažených vlastností ve vztahu k požadovaným hodnotám.
- Při použití kvalitních sanačních hmot (ze zjištění zkoušek na vodojemech v průběhu posledních roků) dochází často ke zlepšení povrchových vlastností podkladního betonu (vlivem průniku do betonu se zvyšuje jeho pevnost v tahu v povrchových vrstvách).

3.3.3.2 Pevnost v tlaku betonu (konstrukce)

Zkouška stanovení pevnosti betonu v tlaku je vedle stanovení vlastností povrchové vrstvy nutná a požadovaná pro hodnocení konstrukce a jako základní technický parametr při zpracování projektu sanace.

Současné platné normové předpisy a ustanovení umožňují stanovení pevnosti betonu v tlaku několika způsoby, jejichž volba použití je odvislá od stavu prověřované konstrukce, možnosti zkoušení (s ohledem na požadavky jednotlivých zkušebních metod a přístrojů), požadavky investora, ekonomické důvody a jiné.

Zkouškami se stanovuje pevnost v tlaku v jednotlivých zkušebních místech. Z jednotlivých výsledků pevnosti v tlaku zkušebních míst se stanovuje pevnost v tlaku konstrukce při použití výpočtových postupů uvedených v příslušných technických dokumentech.

Podle platných norem (ČSN EN, ČSN) lze pevnost v tlaku na konstrukcích (in situ) stanovit:

- Na odebraných zkušebních tělesech z konstrukce (krychle, válce – vývrty), odebraných z konstrukce podle ČSN EN 12504-1 a zkoušené podle ČSN EN 12390-3. Stanovená pevnost destruktivní zkouškou je základní a rozhodčí pevností. Ze stanovených pevností v tlaku v jednotlivých zkušebních místech se vypočte charakteristická pevnost betonu konstrukce při použití vzorců uvedených v ČSN EN 13791 a ČSN 73 2011. Tyto normy předepisují počet požadovaných výsledků pevnosti (popř. počet zkušebních míst, který je závislý na velikosti konstrukce dle m^3 , m^2).
- Nepřímými – nedestruktivními metodami, upřesněnými zkouškami na odebraných vzorcích z konstrukce. Pro hodnocení betonu v konstrukcích ČSN EN 13791 uvádí také možnost zjištění pevnosti v tlaku při použití nepřímé metody:
 - Schmidtova odrazového tvrdoměru dle ČSN EN 12504-2 Stanovení tvrdosti odrazovým tvrdoměrem,
 - stanovení síly na vytržení dle ČSN EN 12504-3,
 - stanovení rychlosti šíření ultrazvukového impulzu dle ČSN EN 12504-4.

Poznámka:

Jak uvádějí již názvy uvedených předchozích norem ČSN EN 12504-2, ČSN EN 12504-3, ČSN EN 12504-4 pro nepřímé metody, nelze podle těchto norem stanovit pevnost v tlaku zkušebního místa. ČSN obdobného zaměření oproti uvedeným EN uvádějí postup nejen pro zkoušení, ale i pro vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku. Jsou to především následující normy:

ČSN 73 1370 Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení

ČSN 73 1373 Nedestruktivní zkoušení betonu. Tvrdoměrné metody
zkoušení betonu

ČSN 73 2011 Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí

ČSN 73 2011 Uvádí postupy pro stanovení pevnosti betonu konstrukce při
použití normových metod ČSN 73 1370, ČSN 73 1373, ČSN 731371 (při revizi
těchto ČSN v r. 2011 byly upřednostněny požadavky EN stejného zaměření).

Použití a ustanovení norem ČSN není také v rozporu s ČSN EN 13791 (tato
norma odkazuje na ověřené národní předpisy v místě použití, které nejsou s ní
v rozporu).

3.4 Vztah mezi pevností v tlaku a pevností v tahu povrchových vrstev

3.4.1 Obecně

Vztah mezi pevností betonu v tlaku a pevností betonu v tahu povrchových vrstev není v platných normových i jiných předpisech uveden. Praxe při zkoušení vodojemů ukazuje, že není možno vždy odebrat takové množství vzorků pro zkoušku pevnosti, které by teoreticky bylo třeba při zohlednění velikosti konstrukce (m^3 , m^2) podle platných norem (ČSN EN 13791, ČSN 73 2011). Pro stanovení pevnosti v tlaku je zkouška na odebraných vzorcích zkouška referenční, je nutné vždy provést alespoň minimální počet zkoušek pevnosti v tlaku na odebraných tělesech a provést další nepřímé – nedestruktivní zkoušky tak, aby stanovená pevnost byla co nejpřesněji vyjádřena.

Důvody, které se vyskytly při námi prováděných zkouškách a omezily odebrání vyššího počtu zkušebních těles k určení pevnosti, byly různé, z nichž nejčastější byly:

- provozní (vodojemy není možno odstavit na delší dobu, potřebnou pro provedení odběru vzorků),
- konstrukční (velkým počtem vývrtů by mohlo dojít k většímu zásahu do konstrukce a jejímu narušení),
- ekonomické (příliš velké finanční náklady na odběr vzorků),
- jiné (např. nedostatečná přístupnost některých stavebních částí konstrukce k provedení odběru vzorků, nepředvídatelné poruchy apod.).

Aby byla zvýšena spolehlivost určení pevnosti v tlaku sledované konstrukce (pro zařazení betonu konstrukce do příslušné třídy podle platných ČSN EN, např. ČSN EN 13791) hledal se způsob získání více údajů pro vyhodnocení této sledované vlastnosti při znalosti jiných technických parametrů, stanovených v rámci stavebního průzkumu.

Ve vodojemech se provádí velký počet zkoušek přídržnosti povrchových úprav k podkladu (ke zjištění ponechání či odstranění povrchové úpravy nebo jejich zbylých zkorodovaných částí) a dále po jejich odstranění (nebo tehdy, kdy povrch betonu je bez speciálních úprav) se provádějí zkoušky pevnosti v tahu povrchových vrstev (ke zjištění narušené vrstvy, kterou je třeba odstranit při předúpravách povrchu k dosažení dobré

spojitosti podkladního betonu a sanačního materiálu). Je tedy k dispozici velký počet výsledků zkoušek pevností v tahu povrchových vrstev betonu a mnohdy omezený počet odebraných zkušebních těles pro zkoušky pevnosti v tlaku.

Jak už bylo uvedeno, vztah pevnosti betonu v tlaku a pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu není v normových předpisech deklarován, v rámci získaných našich zkoušek na stavbách vodojemů jsme hledali využití těchto zkouškou stanovených technických parametrů (pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu) ke zvýšení přesnosti stanovení pevnosti betonu v tlaku konstrukce při omezeném či nízkém počtu odebraných zkušebních těles z konstrukce. Zjišťovali jsme vztah mezi pevností v tlaku (zjištěnou destruktivně na odebraných tělesech) a pevností v tahu povrchové vrstvy. Tuto závislost jsme se snažili vyjádřit graficky, závislost jsme sledovali u jednotlivých sledovaných vodojemů.

Poznámka:

V dříve platné ČSN 73 2400 byla uvedena pro každou pevnostní třídu betonu předepsaná zaručená a kontrolní pevnost v tahu, která se ověřovala na zkušebních tělesech při kontrolních zkouškách betonu (tabulka 9 je uvedena na straně 26 této práce). V současných normových předpisech pevnost betonu v tahu vztažená k pevnostní třídě betonu není uváděna.

3.4.2 Příklady získaných vztahů pevnost v tlaku – pevnost v tahu povrchových vrstev (z provedených zkoušek na stavbě vodojemu a jejich vyhodnocení)

Pro získání vztahu pevnost betonu v tlaku – pevnost v tahu povrchové vrstvy byly použity výsledky provedených zkoušek na stavbě vodojemů (v rámci stavebních průzkumů).

Pro uvedený vztah byly vzaty výsledky při zkouškách těchto vodojemů, kde byl proveden velký počet odebraných a zkoušených těles na pevnost v tlaku tak i zkoušek pevností v tahu povrchových vrstev podkladního betonu.

Podle našich zkušeností se při zkoušení doporučuje postupovat následujícím způsobem:

- Pokud je vnitřní povrch vodojemu (stěny, sloupy, strop) opatřen ochrannou vrstvou (omítka, nátěr), nejprve se provedou zkoušky přídržnosti ochranné vrstvy k podkladnímu betonu.
- Pokud již při vizuální prohlídce je zřejmé, že povrchová úprava je zcela nevyhovující (poruchy, odpadávání, aj.), je ji nutno bez zkoušek přídržnosti odstranit. V případě, že se ochranná vrstva ponechá (v ojedinělých případech), tento vztah se neprovádí (beton konstrukce je chráněn ochrannou vrstvou a zřejmě není konstrukce narušena).
- Při narušené a nevyhovující povrchové úpravě je nutno ji vždy odstranit. Odstranění je nutno provést současně s narušenou zkorodovanou povrchovou vrstvou betonu (často až ke zkorodované výztuži) opatrně, aby nedošlo k narušení kvalitního betonu konstrukce.
- Po odstranění zkorodované vrstvy betonu se ověřuje pevnost v tahu povrchové vrstvy. Pokud beton vykazuje dle ukazatele zkoušky nízké hodnoty na vybraných plochách (z hlediska požadavků sanačních materiálů či systémů), provede se dodatečné čišťení (obroušení) a zkoušky pevnosti v tahu se opakují (zjištěná tloušťka odstraněné narušené vrstvy je nutným údajem v projektu sanace). Tento postup se opakuje z důvodu získání kvalitní podkladové vrstvy betonu pro kvalitní sanaci.
- Při vyhovující stanovené pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu se provedou zkoušky v počtu zkušebních míst odvislých od velikosti sanovaného povrchu.

- V místech zjištěné minimální, maximální a průměrné pevnosti v tahu povrchové vrstvy se odeberou min. tři vzorky pro destruktivní zkoušku pevnosti v tlaku betonu (pokud nelze odebrat vyšší počet těles z konstrukce v souladu s normovými požadavky a odzkoušet je na pevnost v tlaku).
- V místech odběru vzorků nebo v těsné blízkosti se provedou pro zvýšení přesnosti min. tři zkoušky pevnosti v tahu povrchových vrstev (průměr se vztahuje k jednomu vývrtnu).
- Vytvoří se součinitel k_t pro přepočítání pevnosti v tahu povrchové vrstvy na pevnost v tlaku.
- Stanoveným součinitelem k_t lze pak v místech jen stanovené pevnosti v tahu povrchové vrstvy stanovit pevnost v tlaku.

U některých zkoušených vodojemů byl odebrán z konstrukce větší počet vzorků, které byly podrobeny následujícím zkouškám v laboratoři.

- Opakovaně se provedly zkoušky pevnosti v tahu povrchové vrstvy (na tělesech odebraných z konstrukce) a sledovala se změna tohoto parametru s postupným odebráním zkorodovaného betonu. Při dosažení kvalitního betonu se provedla zkouška pevnosti v tlaku.
- Z dosažených výsledků byl vypracován vztah pevnost v tlaku – pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu.
- Vypracovaný vztah byl použit pro kontrolu pevnosti betonu v tlaku tam, kde byla provedena jen zkouška pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu.
- Takto byly vytvořeny grafy v případě, kdy bylo k dispozici více odebraných zkušebních vzorků z konstrukce.
- Pevnost v tahu povrchové vrstvy odpovídá přibližně hodnotě 1/15 až 1/10 pevnosti v tlaku betonu konstrukce (v závislosti na složení betonu a jeho způsobu zpracování).
- Ze stanovených výsledků pevnosti v tlaku byl beton konstrukce zařazen do příslušné třídy a sledován vliv počtu odebraných a zkoušených vzorků na stanovenou třídu betonu.

3.4.2.1 Vodní dílo Výrovce

a) Popis konstrukce a provedených zkoušek

Jedná se o vodní dílo vybudované v letech 1979 až 1983 na řece Jevišovce, severovýchodně od Znojma. Hlavním účelem díla bylo vytvořit zásobní odběr vody k zavlažování okolních ovocných sadů, zajištění provozní vody pro cukrovar v Hrušovanech, zajištění minimálního průtoku v Jevišovce a transformace povodňových průtoků. Další využití spočívá ve výrobě elektrické energie a rekreaci.

Hráz je přímá, sypaná zemní se středním širokým těsnicím jádrem z místních sprašových hlín a stabilizačními částmi ze štěrkopískových zemin. Kolmo na osu hráze, u levého břehu, je vybudován dvoupatrový železobetonový manipulační objekt, který slouží k vypouštění vody spodními výpustmi, převádění povodňových průtoků a odběru vody závlahovým potrubím [43].

Vodní dílo je železobetonová konstrukce.

Sestává ze tří částí:

- a) Horní část: mostovka, pilíř, uložení lávky
- b) Střední část: skluz, krytý skluz, spadiště
- c) Spodní část (odpadní chodba)



Obrázek 15 VD Výrovce

b) Postup zkoušení

Z konstrukce vodního díla bylo záměrně odebráno (za účelem zjištění závislosti v předchozím uvedených) 24 vzorků - vývrtů.



Obrázek 16 Vývrtů z konstrukce vodního díla Výrovce

- Ve vnitřní části konstrukce byly provedeny zkoušky pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu v blízkosti vývrtů. Z výsledků zjištěných pevností v tahu byla stanovena tloušťka narušené vrstvy, kterou je nutno při předúpravě odstranit. Tyto zkoušky byly konfrontovány se stejnou opakovanou zkouškou pevnosti v tahu povrchové vrstvy v laboratoři na vývrtech (ke stanovení požadované tloušťky nutné k odběru narušené části v rámci předúpravy). Vývrtů byly podrobeny zkoušce pevnosti v tlaku dle ČSN EN 12390-3.
- U každého vzorku – vývrtu byly stanoveny následující technické parametry:
 - rozměry, hmotnost
 - objemová hmotnost,
 - pevnost v tahu povrchové vrstvy a
 - pevnost v tlaku.



*Obrázek 17 Způsob přípravy vzorků ke zkouškám pevnosti v tahu
povrchových vrstev betonu a pevnosti betonu v tlaku*

K jednomu odebranému výtvrto bylo vztaženo několik výsledků pevnosti v tahu povrchové vrstvy (v blízkosti výtvrto, zahrnující plochu cca 1 m²)

Výsledky provedených zkoušek jsou v Tabulce 1.

c) Výsledky zkoušek

Tabulka 1.: Pevnosti – Vodní dílo Výrovice

Číslo vzorku	Objemová hmotnost betonu kg.m ⁻³	Pevnost betonu v tlaku R _{c,cube} MPa	Pevnost v tahu povrchových vrstev R _t MPa	Poměr R _t /R _{c,cube}	Odvozená pevnost betonu v tlaku MPa
1	2180	33,6	3,075	0,092	32,8
2	2050	17,1	2,228	0,130	20,7
3	2120	23,5	2,557	0,109	25,4
4	2180	19,0	1,934	0,102	16,5
5	2190	28,8	2,602	0,090	26,1
6	2260	24,4	2,420	0,099	23,4
7	2270	24,1	2,450	0,102	23,9
8	2080	19,9	2,204	0,111	20,3
9	2190	22,3	2,581	0,116	25,8
10	2250	31,3	3,018	0,096	32,0
11	2230	35,2	3,394	0,097	37,4
12	2130	26,3	2,473	0,094	24,2
13	2230	27,3	2,672	0,098	27,1
14	2270	33,4	3,067	0,092	32,7
15	2300	33,6	2,977	0,089	31,4
16	2260	34,7	3,249	0,094	35,3
17	2260	24,3	2,436	0,100	23,7
18	2170	23,0	2,490	0,108	24,5
19	2180	27,9	2,806	0,101	29,0
20	2260	27,5	2,946	0,107	31,0
21	2260	20,9	2,134	0,102	19,3
22	2100	19,7	2,085	0,106	18,6
23	2110	20,9	2,064	0,099	18,3
24	2150	20,5	2,131	0,104	19,3

Poznámky k Tabulce 1:

V uvedené tabulce jsou tyto údaje:

- Označení vzorků odebraných z konstrukce po úpravě ke zkoušce pevnosti betonu v tlaku.
- Objemová hmotnost betonu [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$] jednotlivých zkušebních těles.
- Pevnost betonu v tlaku [MPa].
- Pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu R_t (na odebraných vzorcích z konstrukce, zkoušeno v laboratoři po odstranění zkorodované vrstvy betonu).
- Poměr $R_t/R_{c,cube}$
- Odvozená pevnost betonu v tlaku MPa (z výsledků R_t)

d) Hodnocení betonu konstrukce

Tabulka 2.: Výpočet charakteristické pevnosti podle ČSN EN 13791 (VD Výrovice)

Počet vzorků	Výběr vzorků	Charakteristická pevnost dle 7.3 MPa				Zařazení do třídy	Poznámka
		A (7.3.2)		B (7.3.3)			
		1	2	1	2		
24	1-24	<u>17,7</u>	21,1			C 16/20	1)
15	1-15	<u>18,0</u>	21,1			C 16/20	
3	4, 7, 11			<u>19,2</u>	23,0	C 16/20	2) Dle R_t
3 (náh.)	4, 23, 5			<u>15,9</u>	23,0	C 12/15	
3 (náh.)	21, 7, 12			<u>16,7</u>	24,9	C 12/15	
3 (náh.)	1, 13, 16			<u>24,9</u>	31,3	C 20/25	
24	1-24	<u>17,1</u>	20,5			C 16/20	3) $s = 5,84$

Hodnocení betonu konstrukce bylo provedeno podle ČSN EN 13791.

Postup A – při počtu vzorků > 15

$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \cdot s \quad \text{nebo} \quad f_{ck, is} = f_{is, nejmenší} + 4,$$

kde s je směrodatná odchylka výsledků zkoušek nebo $2,0 \text{ N/mm}^2$, dle toho, která je větší hodnota; k_2 uvedena v národních předpisech a pokud není uvedena, uvažuje se hodnota 1,48.

Postup B při počtu vzorků < 15

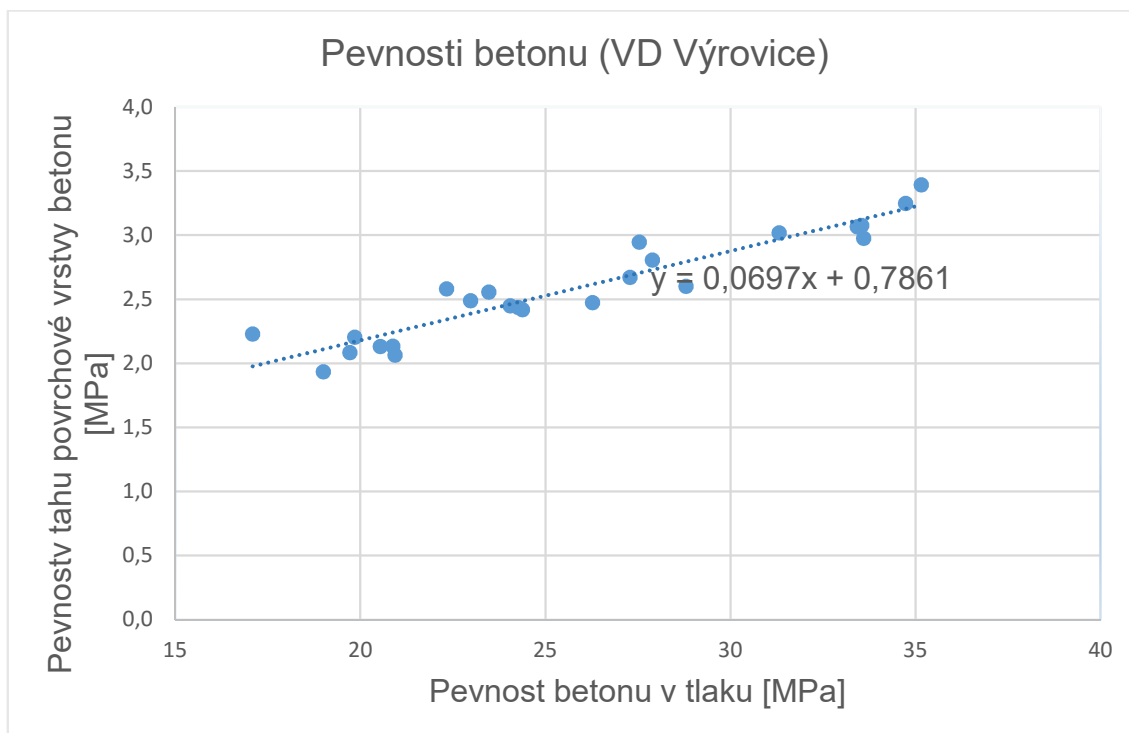
$$f_{ck, is} = f_{m(n), is} - k_2 \quad \text{nebo} \quad f_{ck, is} = f_{is, nejmenší} + 4$$

Poznámky (vysvětlivky k Tabulce 2):

- 1) $k_2 = 1,48$, $s = 5,51$
- 2) výběr vzorků dle R_t : minimální, maximální, průměrná hodnota R_t
- 3) Charakteristická pevnost betonu v tlaku v MPa stanovená z odvozené pevnosti ($k_2 = 1,48$, $s = 5,84$)
 - Při výpočtu charakteristické pevnosti byl vzat do úvahy různý počet vzorků a jejich výběr (z hlediska umístění v konstrukci)
 - Byly provedeny výpočty stanovené při různém počtu vzorků, tj. 24, 15 pro výpočet dle postupu A čl. 7.3.2 ČSN EN 13791 a při minimálním počtu 3 vzorků (vybraných jednak náhodně, jednak podle stanovené R_t) dle postupu B čl. 7.3.3 ČSN EN 13791.

e) **Grafické vyjádření – Graf 1**

(vztah pevnost betonu v tlaku – pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu)



Graf 1: VD Výrovice, vztah pevnost betonu v tlaku - pevnost v tahu povrchových vrstev

f) **Hodnocení vlivu počtu zkoušených vzorků** na zařazení betonu konstrukce podle vypočtené charakteristické pevnosti – podle ČSN EN 13791 – je společné pro uvedené příklady v části 3.4.3.

3.4.2.2 Vodojem Brno – Lesná

a) Popis konstrukce a provedených zkoušek

- Vodojem Brno, ČS Lesná, AN 2 x 1500 m³ je vodojem se dvěma akumulacími komorami, situované jako stavba převážně pod úrovní venkovního terénu. Akumulační komory jsou symetrické podle společné dělicí stěny.
- Pravá i levá akumulacími komora jsou obdélníkového půdorysu.
- Sloupy ve vnitřní části jsou prefabrikované symetricky půdorysně rozmístěné v podélném směru AK, jsou opatřeny patkami (patky zhotoveny na stavbě), jsou bez hlavic.
- Strop je železobetonový deskový, uložený na průvlacích. Celá plocha stropu, je opatřena vrstvou omítky.
- Průvlaky jsou ve směru kratšího rozměru AK (tj. v kolmém směru na dělicí stěnu), jsou uloženy na sloupech a na obvodových stěnách (v kratším směru). Jsou to prefabrikáty. Povrch průvlaků je opatřen omítkou.
- Mezi jednotlivými sloupy a stěnami A, C (v podélném směru AK) jsou ztužující průvlaky.
- Stěny jsou z monolitického betonu.
- Strop je železobetonový deskový, opatřený cementovou omítkou, která není narušena.
- Povrchová úprava: strop, sloupy, průvlaky, stěny – cementová omítka.

b) Postup zkoušení

Z konstrukce tohoto vodojemu bylo odebráno 15 vývrtů.

Na konstrukci - ve vnitřní části byly provedeny zkoušky pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu (v blízkosti vývrtů), které byly konfrontovány se stejnou opakovanou zkouškou v laboratoři na vývrtech (ke stanovení požadované tloušťky nutné k odběru narušené části v rámci předúpravy – postup zkoušení je uveden v části 3.3.3.).

Vývrty byly podrobeny zkoušce pevnosti v tlaku dle ČSN EN 12390-3.

U každého vzorku – vývrty byly stanoveny následující technické parametry:

- rozměry, hmotnost
- objemová hmotnost,
- pevnost v tahu povrchové vrstvy a
- pevnost v tlaku.



Obrázek 18 Vývrty odebrané při průzkumu konstrukce pro
laboratorní zkoušky (z jedné AK)



Obrázek 19 Pohled do akumulční komory VDJ Brno Lesná

c) Výsledky zkoušek

Tabulka 3.: Pevnosti VDJ Brno – Lesná

Číslo vzorku	Objemová hmotnost betonu kg.m^{-3}	Pevnost betonu v tlaku $R_{c,cube}$ MPa	Pevnost v tahu povrchových vrstev R_t MPa	Poměr $R_t/R_{c,cube}$	Odvozená pevnost betonu v tlaku MPa
1	2280	17,8	1,451	0,081	15,6
2	2240	16,5	1,388	0,084	14,4
3	2220	18,6	1,690	0,091	20,0
4	2230	28,4	2,149	0,076	28,5
5	2070	20,6	1,814	0,088	22,3
6	2100	21,5	1,868	0,087	23,3
7	2160	26,0	2,047	0,079	26,6
8	2190	28,8	2,112	0,073	27,8
9	2040	22,8	1,685	0,074	19,9
10	2100	26,0	1,989	0,077	25,6
11	2060	20,0	1,858	0,093	23,1
12	2190	25,3	2,065	0,082	27,0
13	2190	25,0	1,877	0,075	23,5
14	2160	24,1	1,985	0,082	25,5
15	2220	27,0	2,112	0,078	27,8

Poznámky k Tabulce 3:

V uvedené tabulce jsou tyto údaje:

- Označení vzorků odebraných z konstrukce po úpravě ke zkoušce pevnosti betonu v tlaku.
- Objemová hmotnost betonu [kg.m^{-3}] jednotlivých zkušebních těles.
- Pevnost betonu v tlaku [MPa].
- Pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu R_t (na odebraných vzorcích z konstrukce, zkoušeno v laboratoři po odstranění zkorodované vrstvy betonu).
- Poměr $R_t/R_{c,cube}$
- Odvozená pevnost betonu v tlaku MPa (z výsledků R_t)

d) Hodnocení betonu konstrukce

Hodnocení betonu konstrukce bylo provedeno podle ČSN EN 13791

- Při hodnocení je postup stejný jako u VD Výrovice (zde bylo 15 vzorků).
- V Tabulce 4 je vypočítaná charakteristická pevnost podle ČSN 13791 při uvažování různého počtu odebraných vzorků a jeho vlivu na zařazení betonu do pevnostní třídy.

Tabulka 4.: Výpočet charakteristické pevnosti podle ČSN EN 13791 (VDJ Brno – Lesná)

Počet vzorků	Výběr	Výběr vzorků	Charakteristická pevnost dle 7.3 MPa				Zařazení do třídy	Poznámka
			A (7.3.2)		B (7.3.3)			
			1	2	1	2		
15		1-15	<u>17,5</u>	20,5			C 16/20	1)
3		1,2, 5			<u>13,0</u>	20,5	C 12/15	
3	Náh.	4, 8, 12			<u>20,5</u>	29,3	C 16/20	
3	Náh.	3, 5, 11			<u>12,8</u>	20,6	C 8/10	
3	Dle R_t	2, 8, 9			<u>15,7</u>	21,5	C 12/15	2)
6	Náh.	1, 2, 8, 4, 9, 6			<u>15,6</u>	20,4	C 12/15	
15		1-15	<u>17,0</u>	18,4			C 16/20	3)

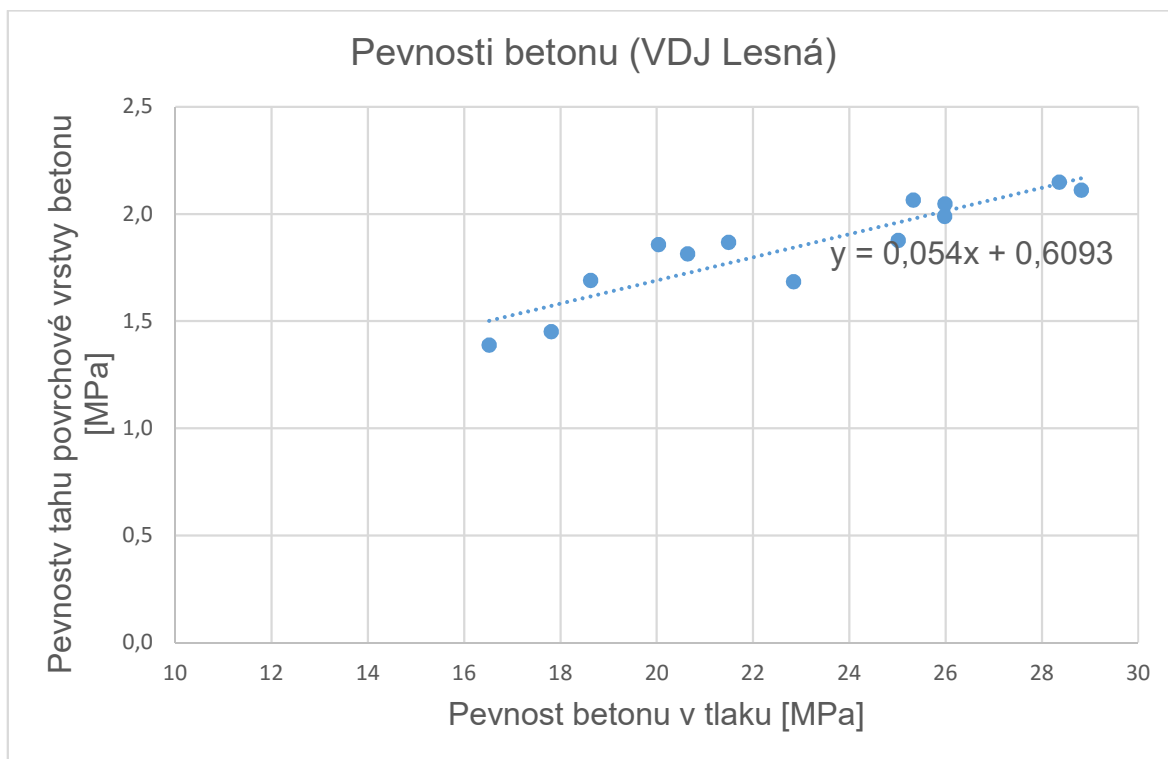
Poznámky (vysvětlivky k Tabulce 4):

1) $k_2 = 1,48$, $s = 3,88$

2) výběr dle R_t : minimální, maximální, průměrná hodnota R_t

3) charakteristická pevnost betonu v tlaku je vypočtená z grafu výsledků zkoušek R_t ($k_2 = 1,48$, $s = 4,34$)

e) **Grafické vyjádření – Graf 2**



Graf 2: VDJ Brno – Lesná, vztah pevnost betonu v tlaku -
pevnost v tahu povrchových vrstev

f) **Hodnocení vlivu počtu zkoušených vzorků** na zařazení betonu konstrukce podle vypočtené charakteristické pevnosti – podle ČSN EN 13791 – je společné pro uvedené příklady v části 3.4.3.

3.4.2.3 Vodojem Brno Nový Lískovec

a) Popis konstrukce

Vodojem Brno, Nový Lískovec, ČS AN 2 x 1500 m³ je vodojem se dvěma akumulacími komorami, situované jako stavba převážně pod úroveň venkovního terénu (konstrukce vodojemu je umístěna ve svahu). Akumulační komory jsou symetrické podle společné dělicí stěny (dělicí stěna je uprostřed, rovnoběžná s delší obvodovou stěnou).

Pravá i levá akumulacími komora jsou obdélníkového půdorysu.

Sloupy ve vnitřní části jsou prefabrikované symetricky půdorysně rozmístěné v podélném směru AK, jsou opatřeny patkami.

Strop je železobetonový deskový, uložený na průvlacích.

Průvlaky jsou ve směru menšího rozměru AK (tj. v kolmém směru na dělicí stěnu), jsou uloženy na sloupech a na obvodových stěnách (v kratším směru). Jsou to prefabrikáty. Povrch průvlaků je bez povrchové úpravy, je patrná značná koroze, zejména na podhledu.

Mezi jednotlivými sloupy a stěnami A, C (v podélném směru AK) jsou ztužující průvlaky.

Stěny jsou z monolitického betonu. Strop je železobetonový deskový.

V tomto vodojemu nebyla použita povrchová úprava jednotlivých konstrukčních částí. Byla patrná značná koroze výztuže zejména ve stěnách i průvlacích.

b) Postup zkoušení

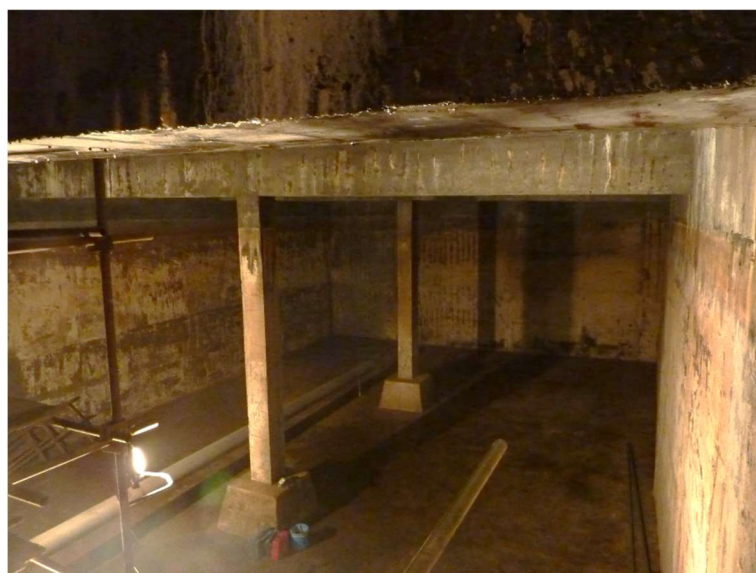
Z konstrukce tohoto vodojemu bylo odebráno 20 vývrtů. Na konstrukci - ve vnitřní části bylo provedeno zkoušky pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu (v blízkosti vývrtů), které byly konfrontovány se stejnou opakovanou zkouškou v laboratoři na vývrtech (ke stanovení požadované tloušťky nutné k odběru narušené části v rámci předúpravy). Vývrty byly podrobeny pevnosti v tlaku dle ČSN EN 12390-3.

U každého vzorku – vývrtu byly stanoveny následující technické parametry:

- rozměry, hmotnost,
- objemová hmotnost,
- pevnost v tahu povrchové vrstvy a
- pevnost v tlaku.



*Obrázek 20 Vývrty odebrané při průzkumu konstrukce pro
laboratorní zkoušky (část)*



Obrázek 21 Pohled do akumulční komory VDJ Nový Lískovec

c) Výsledky zkoušek

Tabulka 5.: Pevnosti VDJ Brno –Nový Lískovec

Číslo vzorku	Objemová hmotnost betonu kg.m ⁻³	Pevnost betonu v tlaku R _{c,cube} MPa	Pevnost v tahu povrchových vrstev R _t MPa	Poměr R _t /R _{c,cube}	Odvozená pevnost betonu v tlaku MPa
1	2310	39,3	3,31	0,084	42,1
2	2250	32,9	2,68	0,081	31,3
3	2240	34,2	2,74	0,080	32,2
4	2210	25,6	2,17	0,085	22,4
5	2250	33,2	2,90	0,087	35,0
6	2210	28,0	2,62	0,094	30,3
7	2160	19,3	1,96	0,102	18,8
8	2170	19,9	2,09	0,105	21,0
9	2270	17,1	1,93	0,113	18,2
10	2190	24,2	2,31	0,096	24,9
11	2190	25,5	2,41	0,094	26,5
12	2200	18,3	2,03	0,111	20,0
13	2170	22,4	2,15	0,096	22,2
14	2170	33,8	2,76	0,082	32,6
15	2280	39,5	3,37	0,085	43,3
16	2260	29,5	2,29	0,078	24,5
17	2220	34,7	2,67	0,077	31,1
18	2180	20,4	2,28	0,112	24,3
19	2220	23,2	1,94	0,084	18,4
20	2240	33,3	2,93	0,088	35,6

d) Hodnocení betonu konstrukce

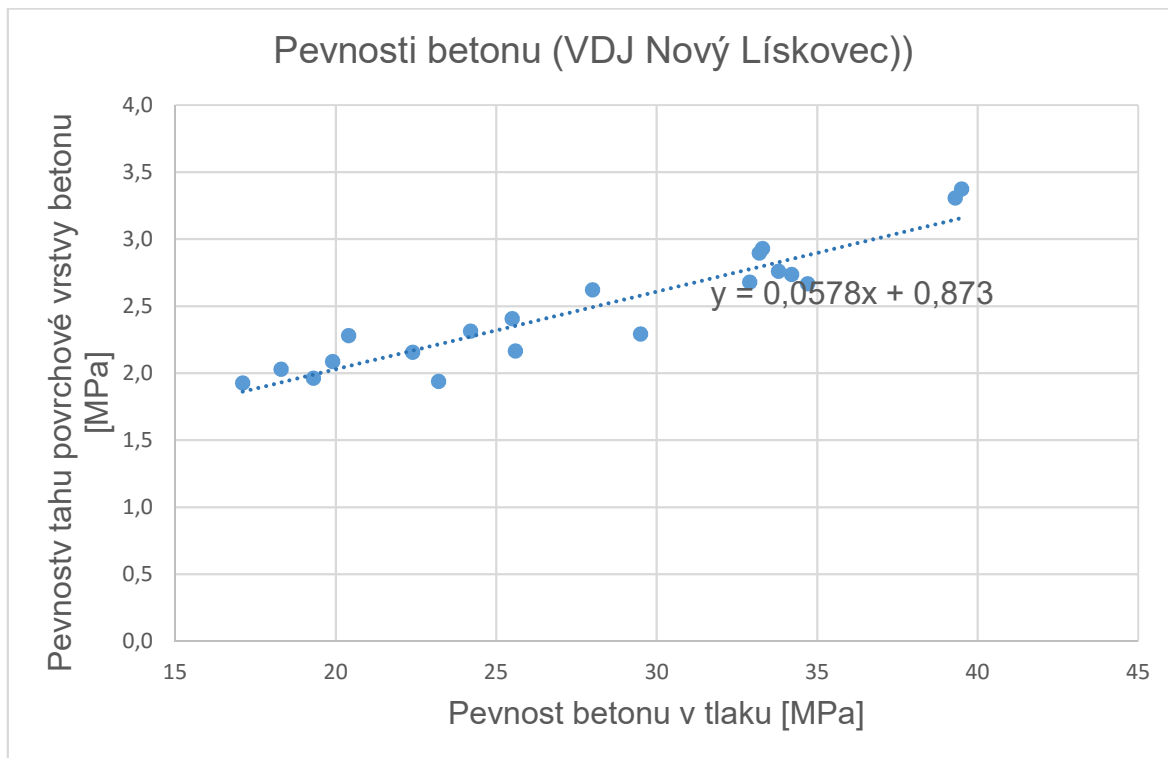
Tabulka 6.: Výpočet charakteristické pevnosti podle ČSN EN 13791 (VDJ Brno – Nový Lískovec)

Počet vzorků	Výběr	Výběr vzorků	Charakteristická pevnost dle 7.3 MPa				Zařazení do třídy	Poznámka
			A (7.3.2)		B (7.3.3)			
			1	2	1	2		
20	všechny	1-20	<u>17,3</u>	21,4			C 16/20	1)
3	Dle R_t	6, 9, 15			21,2	<u>21,1</u>	C 20/25	2)
6	Náh.	1, 2, 6, 9, 15, 19			<u>21,1</u>	23,0	C 20/25	
3	Náh.	4, 10, 15			<u>21,8</u>	28,2	C 20/25	
3	Náh.	9, 13, 18			<u>13,0</u>	21,0	C 12/15	
20	všechny	1-20	<u>16,8</u>	22,2			C 16/20	3)

Poznámky (vysvětlivky k Tabulce 6):

- 1) $k_2 = 1,48$, $s = 7,7$
- 2) výběr dle R_t : minimální, maximální, průměrná hodnota R_t
- 3) Charakteristická pevnost betonu v tlaku z odvozené pevnosti ($k_2 = 1,48$, $s = 7,38$)

e) **Grafické vyjádření – Graf 3**



Graf 3: VDJ Brno – Nový Lískovec, vztah pevnost betonu
v tlaku – pevnost v tahu povrchových vrstev

f) **Hodnocení vlivu počtu zkoušených vzorků** na zařazení betonu konstrukce podle vypočtené charakteristické pevnosti – podle ČSN EN 13791 – je společné pro uvedené příklady v části 3.4.3.

3.4.3 Hodnocení pevnosti betonu konstrukce

Postup hodnocení pevnosti betonu konstrukce je shodný pro všechny tři zkoušené v předchozím uvedené vodohospodářské konstrukce a je následující:

- Ze zjištěných pevností v tlaku byla stanovena charakteristická pevnost betonu konstrukce na podkladě vzorců uvedených v ČSN EN 13791.
- Při výpočtu charakteristické pevnosti byl vzat v úvahu počet odebraných těles z konstrukce se zřetelem na jejich pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu. Záměrně byl snižován počet výsledků uvažovaných do výpočtu (nahodilý výběr, dále vybírány vzorky podle stanovené pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu). Toto bylo prováděno z důvodu zjištění vlivu počtu vzorků a míst jejich výběru na stanovenou třídu betonu podle ČSN EN 206+A1 (zařazení betonu konstrukce).
- Výpočet charakteristické pevnosti byl proveden dle ČSN EN 13791 (kap.7.3) takto – s ohledem na počet a místo odebraných vzorků: Do výpočtu byly uvažovány vzorky betonu (v různém počtu a různých výsledcích) v několika alternativách, přičemž do výpočtu byly zahrnuty:
 - Všechny odebrané vzorky.
 - Libovolně náhodně vybrané tři, popř. šest vzorků (několik alternativ).
 - Vybrané tři vzorky podle stanovené pevnosti v tahu povrchové vrstvy (vybrány vývrty příslušné k minimální, maximální a průměrné pevnosti v tahu povrchové vrstvy).

Výsledky stanovené charakteristické pevnosti vypočtené podle předchozích uvedených alternativ jsou v tabulkách u příslušných objektů.

Z výsledků a jejich vyhodnocení vyplývá:

- Počet odebraných vzorků z konstrukce má zásadní vliv na stanovenou charakteristickou pevnost.
- Jako základní údaj je třeba mít zařazení betonu do třídy stanovené ze zkoušek pevnosti v tlaku na všech odebraných zkušebních tělesech.
- Při provedení odběru jen tří vzorků z konstrukce bez podrobného výběru může být beton zařazen podle vypočtené charakteristické pevnosti do tříd velmi rozdílně (v našem případě v rozmezí tří pevnostních tříd) oproti zařazení při odebrání 24 těles.
- Při výběru tří vzorků, vybraných na podkladě znalosti jejich pevnosti v tahu povrchové vrstvy, jejich zkoušení a vyhodnocení se dosáhne stejného či o třídu nižšího zařazení (místa maximální, minimální a průměrné pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu), tj. ve prospěch bezpečnosti.
- Pevnost v tahu povrchové vrstvy betonu u zkoušených vývrtů je cca jedna patnáctina až desetina jejich pevnosti v tlaku.

4. Závěr

- Práce je zaměřena na zjišťování požadovaných technických parametrů vnitřních povrchů vodohospodářských staveb, především vodojemů, v průběhu jejich přípravy pro sanaci. Příprava těchto povrchů pro sanaci závisí na určení narušené tloušťky povrchové vrstvy a jejích vlastností – zejména pevnost v tahu povrchové vrstvy (v případě povrchové úpravy její přídržnost k podkladu), pevnost v tlaku podkladního betonu. Tyto vlastnosti jsou určující a rozhodující pro volbu sanačních hmot a pro kvalitní provedenou obnovu vnitřních narušených ploch. Pro práci byly provedeny zkoušky na objektech vodohospodářských staveb, jejichž technický stav byl zjišťován při námi prováděných průzkumech pro plánovanou sanaci. Do práce byly zahrnuty i naše dlouhodobé zkušenosti a poznatky.
- Pro návrh sanačních prací, provádění zkoušek, jejich hodnocení při diagnostice staveb a posuzování betonových konstrukcí je potřebná a nutná znalost normových podkladů tohoto oboru. Proto byla zpracována ke sledované problematice rešeršní studie normových podkladů.
- S ohledem na často vyskytující se omezující podmínky při provádění zkoušek sledovaných objektů, především požadavek na snížení počtu vzorků odebraných z konstrukce (z důvodu nepřístupnosti některých zkoušených částí a zkrácení odstávky vodojemu) jsme hledali možnosti zpřesnění zjišťovaných požadovaných technických parametrů (především pevností) využitím technických vlastností, které byly a mohly být zkouškami stanoveny.
- V této práci jsou uvedeny poznatky řešené problematiky, tj. provedené zkoušky, výsledky měření, hodnocení jako příklady u tří vodohospodářských staveb, kde nebyla časová tíseň z hlediska odstávky a kde jsem se aktivně účastnila (jako řešitel úkolu) provádění a řízení zkoušek v rámci stavebního průzkumu a při provádění sanačních prací. Zde byla možnost v rámci stavebního průzkumu odebrat dostatečný počet vývrtů pro provedení zkoušek. Na základě zpracovaných výsledků bylo možno vyhodnotit, jakých výsledků lze dosáhnout při větším či menším omezení odběru zkušebních těles – vývrtů z konstrukce. (Tyto poznatky byly využity při naší práci na průzkumu dalších objektů, kde byl odebrán menší počet vzorků z konstrukce).

Z uvedené studie (i z mých dosavadních zkušeností při provádění stavebních průzkumů vodohospodářských objektů) vyplývají **následující poznatky:**

- Základním a nutným předpokladem správné volby způsobu sanace, přípravy vnitřních povrchů objektů, výběru sanačních hmot je stavební průzkum staveb určených k sanaci.
- Při stavebním průzkumu se zjišťuje rozsah narušení z hlediska trvanlivosti a životnosti konstrukce a efektivity sanovaného díla.
- Pokud porušení stavby nesnižuje statiku a bezpečnost konstrukce, v případě průzkumu vnitřních povrchů vodojemů, které jsou nejvíce vystaveny vnějším účinkům vody, přistupuje se ke zjištění povrchových vlastností konstrukce (beton, omítka, nátěry) a kontrole stavu výztuže, především nosné (koroze, krytí výztuže betonem).
- Příprava povrchu pro sanaci se odvíjí od znalosti technických parametrů vnitřního povrchu vodojemu.
- Povrchy vnitřní části vodojemu jsou pro sanaci zásadní. Podle stavu stávající povrchové vrstvy betonu se rozhoduje o způsobu sanace, o výběru sanačního materiálu. Každý sanační materiál, aby dostatečně přilnul k podkladnímu betonu, má požadavky na určité technické parametry povrchu betonu konstrukce, která se má sanovat.
- Základní zkouškou při zjišťování technických vlastností vnitřních povrchů je zkouška přídržnosti povrchové úpravy, pevnost v tahu povrchové vrstvy (omítky, betonu).
- Ze zkoušek pevnosti v tahu povrchových vrstev se stanoví ponechání či odstranění povrchové úpravy jednotlivých konstrukčních částí (nejčastěji nutnost odstranění povrchové úpravy až ke konstrukčnímu betonu).
- Narušenou nesoudržnou povrchovou úpravu, zejména omítku s nízkou přídržností k podkladnímu betonu, je třeba odstranit.
- Tloušťka narušeného betonu (i po odstranění kvalitativně nevyhovující povrchové úpravy) se stanovuje z výsledků zkoušek pevnosti v tahu povrchové vrstvy podle ČSN 73 6242.
- Zkorodovanou tloušťku betonu povrchové vrstvy, kterou je nutno při předúpravě odebrat, lze určit in situ na konstrukci nebo na odebraných zkušebních tělesech v laboratoři (opakovanou zkouškou při sledování tloušťky vrstvy, která se postupně odebírání). Zkouškou pevnosti v tahu povrchové vrstvy betonu se stanoví se tloušťka vrstvy, kterou je třeba

- odstranit v jednotlivých konstrukčních částech jako např. u sloupů, stěn, stropu, dna.
- Stanovená tloušťka narušeného betonu, která musí být odstraněna, je základním údajem při přípravě objektu k sanaci. Podle stanovené tloušťky se volí metoda k dosažení kvalitního podkladu (broušení, tryskání, pískování, vysokotlaký vodní paprsek, aj.).
 - Stanoví se pevnost betonu v tlaku jednotlivých konstrukčních částí objektu a beton se zařadí do příslušné třídy podle ČSN EN 13791 (na odebraných vzorcích).
 - V případě požadavku se stanoví i jiné parametry betonu objektu nebo některých konstrukčních částí (např. modul pružnosti betonu v tlaku – nejčastěji na odebraných vzorcích – vývrtech z konstrukce).
 - Určuje se poloha výztuže, tloušťka jejího krytí betonem, koroze, popř. vlastnosti výztuže (v případě potřeby na odebraných vzorcích z konstrukce zkoušených v laboratoři).
 - Na základě výsledků provedených zkoušek se zpracovává projekt sanace.
 - Ke zvýšení spolehlivosti stanovení pevnosti betonu v tlaku konstrukce a jejího zařazení do příslušné pevnostní třídy lze při omezeném počtu odebraných vzorků z konstrukce využít velkého počtu výsledků zkoušek pevnosti v tahu povrchových vrstev k vytvoření grafu (závislost pevnost v tlaku – pevnost v tahu povrchové vrstvy) a spolehlivěji tak stanovit charakteristickou pevnost betonu v tlaku konstrukce i jednotlivých částí. To může při omezených podmínkách na stavbě vést ke zjednodušení a snížení nákladů na průzkum stavební konstrukce.
 - Při omezeném počtu odebraných vzorků z konstrukce a dostatečném počtu výsledků zkoušek pevnosti v tahu povrchové vrstvy ve vnitřní části objektu lze pevnost v tlaku také vyhodnotit stanovením součinitele pro převedení R_t na R_c (při zohlednění míst maximální, minimální a průměrné pevnosti).
 - Pevnost v tlaku R_c betonu ve zkoušeném místě lze také orientačně odhadnout z pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu. Hodnota R_t povrchových vrstev betonu (po předúpravě) z provedených zkoušek je cca 1/10 pevnosti v tlaku (z našich zkoušek 8% až 12%).
 - Zjišťování pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu ve vnitřní části objektu je základní zkouškou pro dosažení správné předúpravy povrchu a následné kvalitní provedení sanace.

- Při provádění sanace je třeba zkouškami ověřit splnění projektových technických parametrů (mj. pevnost v tahu povrchových vrstev, přídržnost k podkladu sanační úpravy,...). Kontrola se provádí nezávislou odbornou zkušební laboratoří většinou za účasti objednatele sanačních prací. Výsledky provedených zkoušek jsou součástí předávacího protokolu o provedených sanačních pracích.
- U prověřovaných vodohospodářských objektů dochází sanačními pracemi ve vnitřních částech objektů ke zvýšení jejich vodotěsnosti a zlepšení jejich povrchových vlastností, především
 - k obnově zejména statické funkčnosti povrchových degradovaných vrstev konstrukčních prvků,
 - k zastavení koroze výztuže (očištění od koroze, pasivace výztuže, často se výztuž doplňuje),
 - k obnově tvaru a rozměrů průřezů do původního stavu,
 - ke zvýšení trvanlivosti a prodloužení životnosti stávajících, dobou používání narušených, konstrukcí.

5. Použitá literatura

- [1] ČSN EN 206 + A1. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [2] ČSN EN 1015-12. *Zkušební metody malt pro zdivo - Část 12: Stanovení přídržnosti zatvrdlých malt pro vnitřní a vnější omítky k podkladu*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [3] ČSN EN 1542. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Zkušební metody - Stanovení soudržnosti odtrhovou zkouškou*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000.
- [4] ČSN 73 2577. *Zkouška přídržnosti povrchové úpravy stavebních konstrukcí k podkladu*, 1982
- [5] ČSN 73 6242 + Opr.1, 2011. *Navrhování a provádění vozovek na mostech pozemních komunikací*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [6] ČSN ISO 13822. *Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014
- [7] ČSN EN 13791. *Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích*. Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [8] ČSN 73 2011. *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
- [9] ČSN EN 12504-1. *Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [10] ČSN EN 1504-1. *Výrobky a systémy pro ochranu a opravy betonových konstrukcí - Definice, požadavky, kontrola kvality a hodnocení shody - Část 1: Definice*. Praha, Česká republika: Český normalizační institut, 2006.
- [11] 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, Česká republika: Český normalizační institut, 2006.
- [12] 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, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2003.

- [13] 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, Česká republika: Český normalizační institut, 2006.
- [14] 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, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [15] 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, Česká republika: Český normalizační institut, 2007.
- [16] 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, Česká republika: Český normalizační institut, 2007.
- [17] ČSN EN 1504-8 ed. 2 *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, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [18] 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, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [19] 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, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [20] ČSN 73 2400. *Provádění a kontrola betonových konstrukcí*, Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1987 (zrušena 2004).
- [21] ČSN 73 1370. *Nedestruktivní zkoušení betonu. Společná ustanovení*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [22] ČSN 731371. *Nedestruktivní zkoušení betonu - Ultrazvuková impulzová metoda zkoušení betonu*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [23] ČSN 73 1372. *Nedestruktivní zkoušení betonu. Rezonanční metoda zkoušení betonu*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [24] ČSN 73 1373. *Nedestruktivní zkoušení betonu. Tvrdoměrné metody zkoušení betonu*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [25] ČSN 73 1375. *Radiometrické zkoušení objemové hmotnosti a vlhkosti*. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971.
- [26] ČSN 73 1376. *Radiografie betonových konstrukcí a dílců*. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1975.

- [27] TKP 31, *Opravy betonových konstrukcí* [online]. Ministerstvo dopravy ČR, 2009. [cit. 15. 04 2017]. Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_6_TKP/TKP_31.pdf.
- [28] COLLEOPARDI, M. *Moderní beton*. Praha: Informační centrum ČKAIT, 2009. ISBN 978-80-87093-75-7.
- [29] DROCHYTKA, R. a kol. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III*. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [30] PYTLÍK, P. *Technologie betonu*. Brno: Vysoké Učení Technické v Brně, Nakladatelství VUTIUM, Brno, 2000. ISBN 80-214-1647-5.
- [31] PAVLÍK, A., DOLEŽEL, J., FIEDLER, K. *Technologie betonu*. 1. vydání. Praha: SNTL, 1973.
- [32] PAVLÍK, A., DOLEŽEL, J. *Nedestruktivní vyšetřování betonových konstrukcí*. 1. vydání. Místo vydání: SNTL, 1977.
- [33] SVOBODA, L. a kol. *Stavebné materiály*. Bratislava: Jaga Group, s.r.o., 2006.
- [34] Kolektiv autorů (Odborná skupina pro jakost a zkušebnictví stavební společnost ČSVTS – PAVLÍK, A., VEJCHODA, J., KŇÁZE, P., ZAPLETAL, V., NOHELOVÁ, A.) *Nedestruktivní zkoušení ve stavebnictví*. České Budějovice: Dům technicky ČSVTS České Budějovice, 1983.
- [35] HABARTA, J. *Nedestruktivní zkoušení ve stavebnictví NZS (Studijní testy pro kvalifikační kurs)*. Brno: Školící středisko Brno, 2001.
- [36] COLLEOPARDI, M. *Il degrado del calcestruzzo*. Milano: ENCO – Engineering concrete, 2017.
- [37] COLLEOPARDI, M. *Diagnosi del degrado nelle strutture in calcestruzzo*. Milano: ENCO – Engineering concrete, 2017.
- [38] COLLEOPARDI, M. *Diagnosi del degrado – Prescrizione ed interpretazione delle prove in situ ed in laboratorio*. Milano: ENCO – Engineering concrete, 2017.
- [39] ČSN EN 12390-3. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [40] ČSN 73 1318. *Stanovení pevnosti betonu v tahu*. Praha, ČSSR: Úřad pro normalizaci a měření, 1986.
- [41] ČSN EN 12390-1. *Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 1: Tvar, Rozměry a jiné požadavky na zkušební tělesa a formy*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [42] ČSN ISO 1920-10. *Zkoušení betonu - Část 10: Stanovení statického modulu pružnosti v tlaku*. Praha, Česká republika: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
- [43] POVODÍ MORAVY. *VD Výrovice* [online]. 2010 – 2019. [cit. 15. 04 2019]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/vyrovice/>

- [44] AKPINAR, P.; UWANUAKWA, I. D. Investigation of the parameters influencing progress of concrete carbonation depth by using artificial neural networks. *MATERIALES DE CONSTRUCCION*, 2020, Volume: 70, Issue: 337, Article Number: e209. Published: JAN-MAR 2020.
- [45] HELAL, J.; SOFI, M.; MENDIS, P. Non-Destructive Testing of Concrete: A Review of Methods. *Electronic Journal of Structural Engineering*, 2015.
- [46] PAN, X.; SHI, Z.; SHI, C.; LING, T.; LI, N. A review on surface treatment for concrete - Part 2: Performance. *Construction and Building Materials*, 2017.
- [47] KORDATOS, E. Z.; STRANTZA, M.; SOULIOTI, D. V.; MATIKAS, T. E.; AGGELIS, D. G. Combined NDT methods for characterization of subsurface cracks in concrete. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering* [online]. 2011. Dostupné z: <https://doi.org/10.1117/12.881025>.
- [48] SALVOLDI, B.G., BEUSHAUSEN, H., ALEXANDER, M.G. Oxygen permeability of concrete and its relation to carbonation. *Construction and Building Materials* [online]. 2015, roč. 85, s. 30-37 [cit. 29. 06. 2015]. Dostupné z: [doi:10.1016/j.conbuildmat.2015.02.019](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.019).

Znalecké a odborné posudky (TZÚS Praha, s.p., pobočka Brno):

(číslo dokumentu, posuzovaný objekt, datum vydání posudku)

- 060-027366 VDJ Kníničky 400 m³, 29.2.2008
- 060-031515 VDJ Žebětín, 2 x 2500 m³, pravá AK, 18.3.2010
- 060-031516 VDJ Žebětín, 2 x 2500 m³, levá AK, 18.3.2010
- 060-031517 VDJ Barvičova 2314 m³, 26.3.2010
- 060-031518 VDJ Palackého vrch, 300 m³, 1.4.2010
- 060-032179 VDJ Špindlerův mlýn – Dívčí lávky, 2 x 1500 m³, levá AK, 10.6.2010
- 060-032180 VDJ Špindlerův mlýn – Dívčí lávky, 2 x 1500 m³, pravá AK, 10.6.2010
- 060-033186 VDJ Březová nad Svitavou 5000 m³, 23.2.2011
- 060-042132 VDJ Lesná 1.p., 2 x 650m³,pravá AK, 21.12.2012
- 060-042133 VDJ Lesná 1.p., 2 x 650 m³, levá AK, 21.12.2012
- 060-037825 VDJ Humpolec 2x 1500 m³, pravá AK, 10.4.2013
- 060-037826 VDJ Humpolec 2x 1500 m³, levá AK, 10.4.2013
- 060-038475 Vodojem Háj, 2 x 1500 m³, pravá AK, 9.12.2013
- 060-038477 Vodojem Háj, 2 x 1500 m³, levá AK, 9.12.2013
- 060-039034 VDJ Nový Lískovec 1893 m³, 31.7.2014
- 060-039251 AN pro ČS č.2 Nový Lískovec 2 x 1500 m³ (nová), levá AK, 31.7.2014
- 060-039253 AN pro ČS č.2 Nový Lískovec 2 x 1500 m³ (nová), pravá AK, 31.7.2014
- 060-039458,VDJ Nový Lískovec, 2 x 2500 m³, pravá AK, 5.12.2014
- 060-039460 VDJ Nový Lískovec, 2 x 2500 m³, levá AK, 5.12.2014
- 060-039958 VDJ Bystrc 1000 m³ přerušovací, 15.1.2015
- 060-040208 VDJ Pelhřimov 2 x 1500 m³, levá AK, 15.12.2014

-
- 060-042460 VDJ Barvičova 3 x 635 m³ – pravá AK, 10.2.2016
 - 060-042461 VDJ Barvičova 3 x 635 m³ – levá AK, 10.2.2016
 - 060-042462 VDJ Barvičova 3 x 635 m³ – střední AK, 10.2.2016
 - 060-043029 VDJ Líšeň (levý), I. pásmo, 2 x 2500 m³, levá AK, 13.5.2016
 - 060-043030 VDJ Líšeň (levý), I. pásmo, 2 x 2500 m³, pravá AK, 13.5.2016
 - 060-044503 VDJ Lesná AN 2 x 1500 m³, pravá AK, 7.2.2017
 - 060-044505 VDJ Lesná AN 2 x 1500 m³, levá AK, 7.2.2017
 - 060-044525 VDJ Lesná 2 x 1000 m³, pravá AK, 7.3.2017
 - 060-044528 VDJ Lesná 2 x 1000 m³, levá AK, 7.3.2017
 - 060-044871 VDJ Cimbál Semily 2 x 650 m³, pravá AK, 30.3.2017
 - 060-045118 VDJ Kamenný vrch 2 x 1000 m³, pravá AK, 29.6.2017
 - 060-045120 VDJ Kamenný vrch 2 x 1000 m³, levá AK, 29.6.2017
 - 060-045284 VDJ Kohoutovice věžový 750 m³, 29.6.2017
 - 060-046277 VDJ Bílá hora, 5000 m³, 31.1.2018
 - 060-047854 VDJ Kraví hora 5000 m³, 4.2.2019
 - 060-047943 VDJ Malá Skála Libentiny 2 x 50 m³, 14.12.2018
 - 060-046896 Vodní dílo Výrovce, 18.6.2018
 - 060-048922 Dosazovací nádrž ČOV Devro Semily, 20.6.2019
 - 060-049647 Usazovací nádrž ČOV Turnov, 25.10.2019

Seznam obrázků:

Obrázek 1	Magnetický indikátor výztuže	13
Obrázek 2	Koroze výztuže	14
Obrázek 3	Ultrazvuková impulzová metoda	19
Obrázek 4	Zkouška Schmidovým tvrdoměrem	30
Obrázek 5	Odrhoměř pro provedení odtrhových zkoušek.....	32
Obrázek 6	Ukázka akumulční komory kruhového půdorysu	48
Obrázek 7	Ukázka posuzovaných vodojemů (Kraví Hora 5000 m ³).....	49
Obrázek 8	Ukázka posuzovaných vodojemů (VDJ Bílá Hora 5000 m ³ po provedené sanaci)	49
Obrázek 9	Ukázka posuzovaných vodojemů (Palackého vrch 2 x 17 500 m ³)....	50
Obrázek 10	Zemní vodojem	51
Obrázek 11	Ukázka posuzovaných vodojemů (Kohoutovice věžový 750 m ³)	51
Obrázek 12	Dilatace stěny akumulční nádrže	52
Obrázek 13	Koroze výztuže stěny akumulční nádrže	54
Obrázek 14	Průsak do akumulční nádrže vlivem nedostatečné izolace	54
Obrázek 15	VD Výrovice	70
Obrázek 16	Vývrty z konstrukce vodního díla Výrovice	71
Obrázek 17	Způsob přípravy vzorků ke zkouškám pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu a pevnosti betonu v tlaku	72
Obrázek 18	Vývrty odebrané při průzkumu konstrukce pro laboratorní zkoušky (z jedné AK)	78
Obrázek 19	Pohled do akumulční komory VDJ Brno Lesná.....	78
Obrázek 20	Vývrty odebrané při průzkumu konstrukce pro laboratorní zkoušky (část).....	83
Obrázek 21	Pohled do akumulční komory VDJ Nový Lískovec.....	83

Seznam tabulek z experimentální části:

Tabulka 1.: Pevnosti VD Výrovice	73
Tabulka 2.: Výpočet charakteristické pevnosti podle ČSN EN 13791 (VD Výrovice) ..	74
Tabulka 3.: Pevnosti VDJ Brno – Lesná	78
Tabulka 4.: Výpočet charakteristické pevnosti podle ČSN EN 13791 (VDJ Brno – Lesná).....	80
Tabulka 5.: Pevnosti VDJ Brno – Nový Lískovec.....	84
Tabulka 6.: Výpočet charakteristické pevnosti podle ČSN EN 13791 (VDJ Brno – Nový Lískovec)	85

Seznam grafů:

Graf 1:	VD Výrovice, vztah pevnost betonu v tlaku – pevnost v tahu povrchových vrstev	76
Graf 2:	VDJ Brno – Lesná, vztah pevnost betonu v tlaku – pevnost v tahu povrchových vrstev	81
Graf 3:	VDJ Brno – Nový Lískovec, vztah pevnost betonu v tlaku – pevnost v tahu povrchových vrstev	86

Seznam příspěvků

- Převzaté evropské normy pro stříkaný beton
Nové betonářské normy 2007 (ČBS), Anna Nohelová, Hana Nohelová
- Připravované evropské normy pro stříkaný beton
Materiály pro stavbu 1/2008, Hana Nohelová
- Převzaté evropské normy pro vlákna do betonu (EN 14889-1, EN 14489-2,
EN 14845-1, EN 14845-2)
Nové betonářské normy 2008 (ČBS), Anna Nohelová, Hana Nohelová
- Změny v prokazování shody betonových stropních vložek a betonových
bednicích tvárnic
Zkoušení a jakost 2009 (VUT Brno), Hana Nohelová
- Nové ČSN EN pro betonové stropní vložky a bednicí tvárnice, Zkoušení a
prokazování shody
Materiály pro stavbu 9/2009, Hana Nohelová
- Stavební průzkum – základní předpoklad pro správné provedení sanace
železobetonové konstrukce
Sanace 2010 (ČSBK), Anna Nohelová, Jiří Habarta, Hana Nohelová
- Zkoušení malt a omítek s ohledem na jejich určení a platné normově předpisy
Zkoušení a jakost 2010 (VUT Brno), Hana Nohelová
- Sanace konstrukcí z pohledu výběru a vhodnosti použitých sanačních materiálů
Symposium Sanace 2011, Hana Nohelová
- Stříkaný beton a požadavky na jeho použití při sanaci konstrukcí
Symposium Sanace 2011, Hana Nohelová, Jiří Habarta, Anna Nohelová
- Ke změnám v provedených revizích českých norem platných v oboru
nedestruktivní zkoušení betonu
Zkoušení a jakost 2011 (VUT Brno), Hana Nohelová
- Normové podklady pro provádění nedestruktivních zkoušek v rámci sanačních
prací
Symposium Sanace 2012, Anna Nohelová, Jiří Habarta, Hana Nohelová
- Sanace vodárenských objektů
Symposium Sanace 2014, Hana Nohelová
- Certification of Concrete, Concrete products and additives
Training / seminar, (IMS Belgrade 2/06-3/06 2014), Hana Nohelová
- Importance of correct dowel Positions in Transversal
Sborník Concrete roads 2015, Pavel Juránek, Hana Nohelová