



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

HODNOCENÍ HISTORICKY CENNÉ ŽELEZOBETONOVÉ KONSTRUKCE

EVALUATION OF A HISTORICALLY VALUABLE REINFORCED CONCRETE STRUCTURE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jitka Uchytlová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. PETR CIKRLE, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Jitka Uchytlová
Název	Hodnocení historicky cenné železobetonové konstrukce
Vedoucí práce	doc. Ing. Petr Cíkrle, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Balaysac, J.P., Garnier, V. Non-destructive Testing and Evaluation of Civil Engineering Structures. 1st Edition Amsterdam, ISTE Press - Elsevier, 2017.

Bechyně, Stanislav. Stavitelství betonové. Díl I, Vlastnosti složek a zásady vyztužování. V Praze: Česká Matice technická s podporou ministerstva školství a národní osvěty, 1934.

Cikrle, P. a kol. NDT zkoušení ve stavebnictví. Příručka kurzu ČŽV. VUT v Brně, 2010.

Cikrle, P., Anton, O. Vývoj nedestruktivních metod pro zkoušení betonu za posledních 25 let, článek v Beton TKS, ISSN 1213-3116, Praha, 2015.

Cikrle, P., Anton, O. Betonové konstrukce památek a hodnocení na základě užití NDT metod, článek v TZB-info, 2016.

Holický, M. a kol. Příručka pro hodnocení existujících konstrukcí. 1. vydání Praha: ČVUT, 2007. Normy ČSN ISO 13822, ČSN 730038, ČSN EN 206, ČSN EN 1992-1-1, ČSN 732011, a další.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Teoretická část:

Rešerše pramenů se zaměřením na historický vývoj betonových a železobetonových konstrukcí z hlediska vlastností složek, návrhu, technologie výroby betonu a provádění konstrukcí v Československu do 2. světové války, porovnání se současností.

Specifika hodnocení betonových konstrukcí vykazující prvky památkové ochrany.

Přehled diagnostických a laboratorních metod pro existující železobetonové konstrukce, zásady pro navrhování průzkumů.

Praktická část:

Předběžná prohlídka vybrané konstrukce, zpracování dokumentace, návrh diagnostiky.

Provedení vybraných zkoušek betonu (ultrazvuk, přidržnost povrchových vrstev, odběr jádrových vývrtů, test karbonatace) a lokalizace vyztuže (elektromagnetický indikátor, radar) na vybrané historické konstrukci.

Laboratorní zkoušky na odebraných vzorcích betonu.

Vyhodnocení výsledků zkoušek.

Závěrečné zhodnocení stavu konstrukce, ideový návrh sanace.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Petr Cikrle, Ph.D.

Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

V teoretických kapitolách bakalářské práce je shrnut historický vývoj železobetonového stavitelství, včetně vlastností jednotlivých složek betonu. Dále je zpracována problematika hodnocení historicky cenných konstrukcí a používané diagnostické metody. V praktické kapitole je zpracován diagnostický průzkum vybrané historické konstrukce včetně ideového návrhu sanace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Vývoj železobetonu, historické konstrukce, průzkum, diagnostické metody, jádrové vývrty, bazén.

ABSTRACT

In the theoretical chapters of the bachelor thesis is summary of the historical development of reinforced concrete construction, including individual components of concrete. Furthermore, the issue of the evaluation of historically valuable structures and used diagnostic methods is processed. In the practical chapter there is a diagnostic survey of the selected historical structure including the conceptual design of rescue.

KEYWORDS

Development of reinforced concrete, historical structures, exploration, diagnostic methods, the cores, swimming pool.

.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Jitka Uchytlová *Hodnocení historicky cenné železobetonové konstrukce*. Brno, 2019. 72 s., 1 s. příl.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví.
Vedoucí práce doc. Ing. Petr Cikrle Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Hodnocení historicky cenné železobetonové konstrukce* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2019

Jitka Uchytlová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Hodnocení historicky cenné železobetonové konstrukce* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

Jitka Uchytlová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu doc. Ing. Petru Cikrlovi, Ph.D, za odborné vedení, poskytnuté podklady, rady, ochotu a čas který mi věnoval. Dále bych chtěla poděkovat své rodině za veškerou podporu při mém studiu.

OBSAH

1 ÚVOD	10
1.1 Úvodní část	10
1.2 Cíle práce	10
2 VÝVOJ BETONOVÉHO STAVITELSTVÍ	11
2.1 Složky betonu	11
2.1.1 Pojiva.....	11
2.1.2 Plniva.....	13
2.1.3 Voda	15
2.2 Výztuž.....	17
2.2.1 Druhy ocelí v 1. pol. 20. století	17
2.2.2 Betonářská výztuž 1. pol. 20. století.....	17
2.2.3 Výztuž používaná v současnosti.....	19
2.3 Železobeton.....	20
2.3.1 Zásady návrhu železobetonových konstrukcí v 1. pol. 20. století.....	22
2.3.2 Technologie železobetonových konstrukcí v 1. pol. 20. století.....	22
2.3.3 Systémy vyztužování.....	23
2.3.4 Znaky betonových konstrukcí z 1. pol. 20. století.....	24
3 HODNOCENÍ HISTORICKÝCH KONSTRUKCÍ	25
3.1 Specifika hodnocení historicky cenných betonových konstrukcí.....	25
3.1.1 Zásady hodnocení konstrukcí památek	25
3.1.2 Průzkumy betonových konstrukcí památek.....	25
3.2 Diagnostické metody	27
3.2.1 Rozsah diagnostických metod	27
3.3 Metody pro diagnostiku stavu betonu.....	28
3.3.1 Metody nedestruktivní a semidestruktivní	28
3.3.3 Metody destruktivní.....	31
3.3.4 Metody laboratorního vyhodnocení	31
3.4 Metody pro diagnostiku stavu výztuže	34
3.4.1 Metody nedestruktivní.....	34
3.4.2 Metody destruktivní.....	35
3.5 Zatěžovací zkoušky	36
4 HODNOCENÍ VYBRANÉ KONSTRUKCE	37
4.1 Úvod	37
4.1.1 Historie zámku a zámeckého parku.....	37
4.1.2 Specifikace zadání	37

4.2	Popis vyšetřované konstrukce.....	39
4.2.1	Celkové provedení konstrukce	39
4.2.2	Současný stav konstrukce	41
4.2.3	Předběžné zhodnocení konstrukce	44
4.3	Stanovení plánu průzkumu	45
4.4	Zkoušky IN SITU	46
4.4.1	Reálné rozmístění zkušebních míst	46
4.4.2	Lokalizace výztuže	48
4.4.3	Stanovení krytí a polohy výztuže elektromagnetickým indikátorem	49
4.4.4	Provedení sekaných sond v místě výztuže	50
4.4.5	Stanovení karbonatace betonu	51
4.4.6	Sekaná sonda v místě napojení dna a svislé stěny.....	52
4.4.7	Odebrání a popis jádrových vývrtů	53
4.4.8	Stanovení tloušťky stěny a dna pomocí ultrazvuku.....	55
4.4.9	Průvrt stěny.....	56
4.4.10	Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu	57
4.5	Laboratorní zkoušky odebraných vzorků	59
4.5.1	Popis zkušebních těles	59
4.5.2	Charakteristiky zkušebních těles	60
4.5.3	Vyhodnocení ultrazvukového měření.....	60
4.5.4	Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku	61
4.5.5	Vyhodnocení charakteristické pevnosti podle ČSN 73 0038	62
4.5.6	Vyhodnocení pevnosti dle ČSN EN 13791	62
4.6	Vyhodnocení výsledků průzkumu	63
4.7	Možné využití	64
4.7.1	Ideový návrh sanace	64
5	ZÁVĚR.....	65
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	66
	SEZNAM TABULEK	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	71

1 ÚVOD

1.1 Úvodní část

Betonové stavitelství prošlo historickým vývojem od dob starověku přes průmyslovou revoluci po současnost. První železobetonové stavby vznikaly na území Čech, Moravy a Slezka již na přelomu 19. a 20. století. Šlo převážně o průmyslové objekty a mosty. Po první světové válce se však železobeton začal uplatňovat i v obytné výstavbě. Tyto stavby jsou samy o sobě mementem této doby. Jsou ukázkou architektonických a konstrukčních kvalit neustále se rozvíjející technologie železobetonu. Jakožto doklad historického vývoje jsou některé tyto stavby brány jako kulturní památky a podléhají zákonu č. 20/1987 Sb., o státní památkové péči. Samy železobetonové objekty tedy mohou být památkami, ale může se jednat i objekty které jsou součástí území nemovité kulturní památky.

Potřeba záchrany těchto historických objektů může mnohdy vést na technologicky a finančně velmi nákladná řešení, přičemž řada problémů je odhalena až při samotné rekonstrukci. Je třeba si uvědomit že železobetonové konstrukce postavené v 1. pol. 20. století jsou dnes na konci své životnosti a je tedy na místě, aby byla provedena kompletní diagnostika stavby.

Objektivní zhodnocení konstrukce může ušetřit řadu nákladů spojených s opravami, které ve výsledku požadovanou bezpečnost a funkčnost ani nemohou zajistit. Při hodnocení památkových objektů je zapotřebí postupovat systematicky a volit takové diagnostické metody, které výrazně nenaruší celistvost konstrukce. Ideální je použití nedestruktivních diagnostických metod doplněných pro upřesnění destruktivními metodami v malém rozsahu.

1.2 Cíle práce

Cílem teoretické části bakalářské práce je zmapování historického vývoje betonového stavitelství, od jeho počátku do období 2. světové války. Dalším cílem teoretické části je zpracování podkladu pro hodnocení historických konstrukcí včetně přehledu používaných diagnostických metod.

Cílem praktické části je dokumentace stávajícího stavu vybrané historické konstrukce, provedení diagnostického průzkumu v malém rozsahu a následně jeho vyhodnocení. Na základě výsledků průzkumu je také cílem posouzení možného využití konstrukce a ideový návrh sanace.

2 VÝVOJ BETONOVÉHO STAVITELSTVÍ

Protože se tato bakalářská práce zabývá hodnocením historických konstrukcí a rovněž v praktické části je proveden průzkum vybrané historické konstrukce, je tato teoretická kapitola věnována vývoji jednotlivých složek betonu a vývoji železobetonového stavitelství od jeho počátku do období 2. světové války.

2.1 Složky betonu

Hlavními složkami betonu jsou pojiva, plniva a voda. Dále mohou být do betonu přidávány různé příměsi a přísady. Každá složka betonu prošla svým historickým vývojem a jejich způsob použití byl dán dobovými předpisy.

2.1.1 Pojiva

Základním pojivem betonu je cement. Obecně jsou však pojiva dělena na vzdušná (vápno, sádra) a hydraulická (cement, hydraulické vápno).

Historický vývoj cementů

Použití hydraulických pojiv jako stavebního materiálu je zaznamenáno již ve starověku kolem roku 1000 př. n. l., kdy Féničané budovali na území Jeruzaléma vodní nádrže a vodovodní přivaděče. V Evropě je rozvoj hydraulických pojiv spjat s průmyslovou revolucí a následným rozmachem stavební činnosti. V 18. století byly jako pojiva používány tufové horniny sopečného původu, ty byly následně nahrazovány uměle vyráběnými hydraulickými pojivy. Prvním hydraulickým pojivem, které neslo označení cement, byl románský cement. Jeho technologie výroby byla patentována koncem 18. století v Anglii. V podstatě šlo o hydraulické vápno, které rychle tuhlo a mělo dobré hydraulické vlastnosti. Výroba probíhala při mírném pálení, tedy pod mezí slinutí [1].

Významným mezníkem bylo přihlášení patentu Angličana J. Aspdina. Ten založil roku 1825 továrnu na výrobu portlandského cementu, který měl svojí barvou připomínat portlandský vápenec. Teprve roku 1844 byl I. Ch. Johnsonem učiněn poznatek o nutnosti pálení surovin až nad mez slinutí, takto vyráběné cementy byly již podobné těm, které používáme v dnešní době [1] [2].

V druhé polovině 19. století u nás vznikaly první cementárny v Bohosudově u Teplic, Podolí a Radotíně. Kvalita tehdejších cementů značně kolísala, což bylo následkem nižší teploty pálení a hrubšího mletí. Nejčastější bylo použití pomalu tuhoucích cementů [1].

Cementy 1. pol. 20. stol.

Na počátku 20. století byly, z dnešního hlediska, používány hrubě mleté cementy. Betony s takto hrubými cementy mohou vykazovat dlouhodobý nárůst pevnosti. Ovšem na konci 20. let minulého století byly konstrukce již zhotoveny z jemně mletých cementů, a tudíž nevykazují dlouhodobý nárůst pevnosti [3].

V předpisech z první poloviny 20. století jsou uváděny tyto druhy cementů [4]:

- **portlandský cement** – nejčastěji používaný,
- **tavený cement** – lišil se způsobem výroby a vysokým obsahem oxidu hlinitého Al_2O_3 ,
- **vysokohodnotný cement** – vyznačoval se rychlým počátečním tuhnutím,
- **železportlandský cement** – obsahoval přísadu vysokopecní strusky,
- **vysokopecní cement** – převládal podíl vysokopecnostní strusky,
- **zvláštní cementy** – byly zhotovovány pro zvláštní účely (vodotěsnost, chemická odolnost apod.).

V 1. pol. 20. století byly při běžné výstavbě používán především portlandský cement, vysokohodnotný cement a tavený cement. Srovnání dosahovaných pevností těchto cementů je uvedeno v tab. 1. Je patrné že u taveného cementu, který je dnes označován jako hlinitanový cement, byly dosahovány velmi vysoké počáteční pevnosti.

Tab. 1 Srovnání nejpoužívanějších cementů v 1. pol. 20. století [5].

Pevnost v tlaku [kg/cm^2] ¹			
Při střídavém uložení po:	Cement:		
	portlandský	šlechtěný (vysokohodnotný)	tavený
1 dnu	75	-	434
3 dnech	190	349	535
14 dnech	420	601	665
28 dnech	477	651	680
90 dnech	510	677	689

Použití taveného (hlinitanového) cementu mělo mnoho výhod jako vysoké jednodenní pevnosti, velké hydratační teplo, odolnost proti síranům a proti vysokým teplotám. Beton zhotovený z tohoto cementu je nápadný svým okrovým odstínem. Později se ukázalo, že konstrukce zhotovené z těchto cementů vykazují konverzi (přeměnu) termodynamicky nestálých hydratovaných slínekových materiálů CAH_{10} na termodynamicky stálé složky C_3AH_6 a AH_3 . Přeměněná složka má mnohem menší objem, což vede ke snížení původní pevnosti až na třetinu [6].

V dnešní době je použití hlinitanových cementů v nosných konstrukcích zakázáno. Pokud je při průzkumu lokalizováno použití tohoto pojiva je nutné provést okamžité konstrukční opatření případně zvažít stržení stavby.

¹ Uváděnou pevnost v tlaku lze přibližně převést z $1 kg/cm^2$ na $0,1 MPa$.

Současné cementy

V současnosti je cement dělen dle ČSN EN 197-1² do 5 skupin značených **CEM I – CEM V** (viz tab. 2). Jednotlivé cementy jsou pak vyráběny v třídách pevnosti **32,5; 42,5 a 52,5 MPa** a dále se mohou lišit dle nárůstu pevnosti na normálně tuhnoucí **N** a rychle tuhnoucí **R** [7].

Tab. 2 Přehled dnešních cementů [7].

Označení	Název	Poznámka
CEM I	portlandský cement	Vyroben z čistých slínek, dosahuje velkých pevností a velkého hydratačního tepla.
CEM II	portlandský cement směsný	Je dále dělen dle přidávaných přísad kterými mohou být - struska, křemičitý úlet, pucolán, popílek, kalcinová břidlice, vápenec.
CEM III	vysokopecní cement	Hlavní přísadou je vysokopecní struska, je částečně odolný vůči agresivnímu prostředí.
CEM IV	pucolánový cement	Obsahují přírodní pucolány, cement je odolný vůči mořské vodě.
CEM V	směsný cement	Hlavními složkami je struska a popílek.

Srovnání

Velkým rozdílem dnešních cementů a cementů z 1. pol. 20. století je způsob mletí. Dnes se jedná o cementy jemně mleté stejné frakce, dříve byly cementy hrubě mlety s nejednotnou frakcí. Dále jsou dnes do cementů přidávány nejrůznější příměsi, takže výsledné cementy mají rychlý náběh pevností, ale dlouhodobě již nárůst pevnosti nevykazují. Pevnosti cementových malt z 1. pol. 20. stol. jsou téměř srovnatelné s běžnými normovými pevnostmi cementových malt používaných v současnosti. Z původních názvů zůstal pouze cement portlandský a vysokopecní.

2.1.2 Plniva

Plniva tvoří nosnou kostru každého betonu. Na jejich kvalitě závisí dosažená pevnost a celková kvalita betonové konstrukce.

Dělení

- dle původu: přírodní, umělá, těžená, drcená
- dle velikosti zrn: kamenivo, písek
- dle objemové hmotnosti: lehké, hutné, těžké
- dle frakce: úzká, široká

Plniva v 1. pol. 20. století

Kamenivo tvořící nosnou kostru betonu bylo zvlášť definováno pro prostý a vyztužený beton. Pro prostý beton bylo limitováno rozměry od 7 mm do 70 mm, pro železobeton pak rozměry od 7 mm do 30 mm. Při provádění masivních konstrukcí byly vkládány velké kusy

² ČSN EN 197-1 ed. 2: Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití.

kamenů, ty však neměly svým objemem přesáhnout 25 % celkového objemu. Písek, který doplňuje čáru zrnitosti, nastavuje cement a hutní cementový tmel byl limitován maximální velikost zrna 7 mm [4] [5].

Ve 30. letech panovala neshoda, zda používat kamenivo drcené nebo oblé, některé výzkumy prokazovaly vyšší pevnosti betonů při použití oblého kameniva. Použití drceného či těženého plniva tedy záviselo spíše na dostupnosti v dané lokalitě. Stavební plnivo bylo děleno na [4]:

- říční písek a oblázkový štěrk,
- kopaný písek a štěrk,
- drcený písek a štěrk,
- pemzový písek,
- umělé písky a štěrky – vysokopecní strusky, škváry, cihelná drť.

Vedle přírodních plniv byly používány i umělé složky jako byly úlomky kabřinců, šamotek, betonové drti, vysokopecní strusky, umělé pemzy, nebo škváry [5].

Současná plniva

Dnes je kamenivo určené pro použití do betonu dle normy ČSN EN 12620+A1³ (721502) děleno na 3 třídy A, B, C podle nároků na vlastnosti daného betonu. Kontrolovány jsou fyzikální, fyzikálně mechanické a geometrické vlastnosti kameniv. Je dbáno na dodržení plynulé čáry zrnitosti, na obsah jemných částic a na minimální hodnoty tvarového indexu kameniva [8].

Při standartní výstavbě jsou upřednostňovány přírodní druhy kameniva. Rovněž se rozvíjí použití lehčeného umělého kameniva jako plniva do lehkých betonů.

Srovnání

V dnešní době je používáno převážně drcené kamenivo tříděné, jehož použití nebylo v 1. pol. 20. století běžné. Pokud je použito kamenivo těžené je vždy prané, což v 1. pol. 20. století nebylo obvyklé. Technologické požadavky na kamenivo jsou dnes mnohem přísněji hlídány a při výrobě betonu jsou prováděny průběžné zkoušky vlastností daného kameniva (např. tvarový index). Použití umělých kameniv je neustále rozvíjeno a dnešní technologie které používají lehké umělé kamenivo jsou již na velmi dobré úrovni.

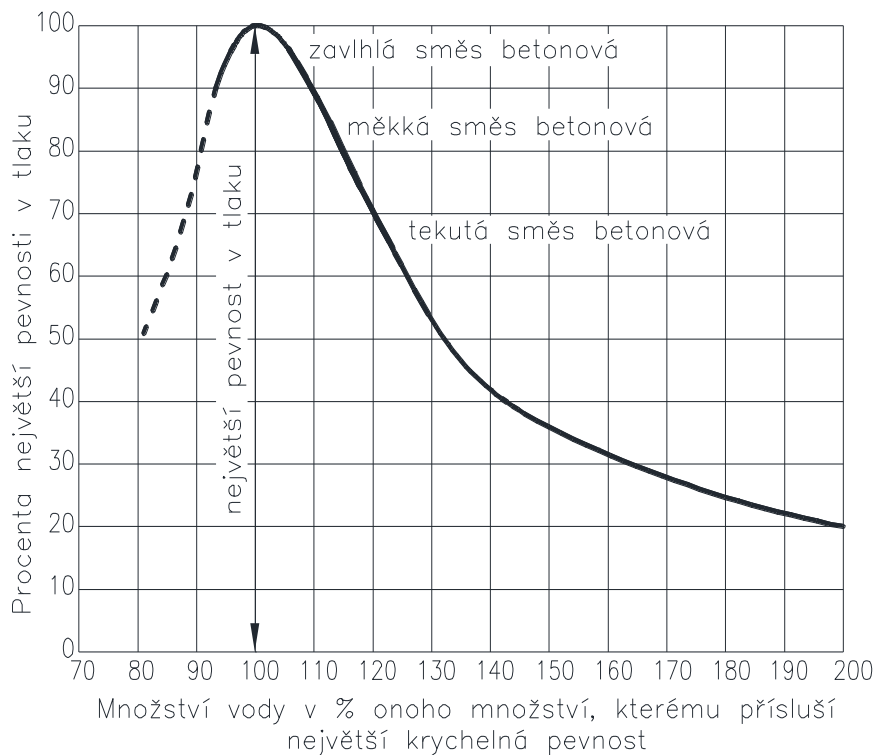
³ ČSN EN 12620 +A1 (721502): Kamenivo do betonu

2.1.3 Voda

Vodu používanou při betonáži lze rozdělit na záměsovou a ošetřovací. Záměsová voda ovlivňuje konzistenci betonové směsi a následně výslednou pevnost betonu v tlaku. Ošetřovací voda zabraňuje rychlému vysoušení povrchu a vzniku následných nechtěných trhlin.

Záměsová voda v 1. pol. 20. století

V 1. pol. 20. století byly rozeznávány 3 druhy směsi a to: zavlhlá, měkká a tekutá. Jejich vliv na výslednou pevnost je uveden na grafu 1 [9].



Obr. 1 Závislost pevnosti betonu na množství vody uváděna v roce 1929 [9].

Na kvalitu používané záměsové vody byl kladen důraz v 1. pol. 20. stol. stejně jako dnes. Voda musí být čistá a nezávadná. Pokud je používána jiná, než pitná voda jsou posuzovány následující vlastnosti:

- vzhled
- zápach
- kyselost (pH)
- obsah organických látek
- obsah sirných sloučenin (sulfidů a síranů)

Záměsová voda v současnosti

Dnes se při návrhu složení betonu vychází z požadavků normy ČSN EN 206+A1 (732403)⁴. Ke každé pevnostní třídě je v normě uvedeno minimální množství cementu a maximální vodní součinitel. Množství vody m_v závisí na modulu zrnitosti kameniva k . Ze zadaného vodního součinitele a navrženého množství vody se následně vypočítá množství cementu.

Dnešní technologie výroby betonu a použití plastifikačních přísad umožňuje snižovat množství záměsové vody tak, aby bylo dosaženo nejvyšších možných pevností betonu.

Každá voda, která je použita pro přípravu betonu musí splňovat požadavky normy ČSN EN 1008⁵.

Srovnání

Požadavky na kvalitu použité záměsové vody se dnes příliš neliší od požadavků v 1. pol. 20. století. Rovněž při stanovení množství záměsové vody je postupováno obdobně – rozhodující je modul zrnitosti kameniva a požadovaná konzistence.

⁴ ČSN EN 206+A1 (732403): Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

⁵ ČSN EN 1008: Záměsová voda do betonu - Specifikace pro odběr vzorků, zkoušení a posouzení vhodnosti vody, včetně vody získané při recyklaci v betonárně, jako záměsové vody do betonu

2.2 Výztuž

2.2.1 Druhy ocelí v 1. pol. 20. století

Ocelová výztuž je v literatuře označována jako železo. Parametry používaných ocelových výztuží vychází z postupného vývoje ocelových konstrukcí v 18. století, na který navázala průmyslová revoluce v 19. století. Pro vyztužování ve stavebnictví se používalo technické železo svárkové, plávkové a litina. Rozdíl jednotlivých želez spočíval v obsahu uhlíku a v různém způsobu výroby.

Svárkové železo

Jde o nejstarší druh železa, které se vyrábělo takzvaným pudlováním v pudlovacích pecích, přičemž nebyla dosažena tavící teplota. Díky tomuto postupu výroby bylo vytvořeno železo prostoupené struskou. Ve stavebnictví bylo svárkové železo používáno do konce 19. století [10].

Plávkové železo

Jde o slitinu železa s uhlíkem, řadíme je mezi železa kujná s obsahem uhlíku nižším než 1,7 % a bez obsahu strusky. V první polovině 20. století se pro vyztužování konstrukcí již převážně používalo plávkové železo [5].

Litina

Jde o surové železo zpracované ve vysokých pecích. Obsah uhlíku byl uváděn v rozmezí 1,7 až 3,6 %. Pomocí litiny byly vyztužovány tlačené prvky [5].

2.2.2 Betonářská výztuž 1. pol. 20. století

Normově se železo značilo C, číslo ve značce pak udávalo pevnost v tahu v kg/mm^2 (viz tab. 3). Běžně používaná betonářská ocel byla značena Cb. Betonářská ocel byla dobře zpracovatelná za studena a vyznačovala se velkou tažností [5].







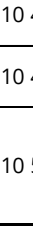

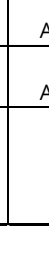


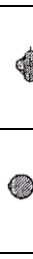

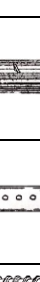

Tab. 3 Pevnosti výztužných ocelí z 1. pol. 20. stol [11].

Druh výztuže	Návrhová hodnota pevnosti oceli pro betony pevnostní třídy C12/15 a vyšší		Charakteristická hodnota oceli		Svařitelnost
	tah	tlak	mez kluzu	mez pevnosti	
Cc, C34	180	180	-	min. 340	-
Cb	180	180	-	min. 350	-
C37, C38	180	180	-	min. 370	-
C52	250	250	min. 340	min. 520	-
10 002	180	180	210	320 až 500	-
10 370	180	180	210	370 až 450	dobrá
10 372	190	190	230	370 až 450	dobrá
10 452	230	230	270	-	obtížná
10 472 (Isteg)	320	0	360	min. 400	nesvařitelná
10 492 (Toros)	340	340	400	min. 440	nesvařitelná
10 512 (Roxor)	340	340	400	min. 500	dobrá

Tvary výztuží

Z počátku byly používány převážně železa hladká průměru 5–50 mm. Pro zajištění lepší soudržnosti výztuže s betonem byla postupně používána železa tvarovaná. U konstrukcí zhotovených do druhé světové války se setkáme převážně s výztuží hladkou, popřípadě s výztuží typu Isteg, Toros nebo Roxor. Zatřídění betonářské výztuže je uvedeno v normě ČSN ISO 13822 (730038)⁶ – viz tab. 4.

Tab. 4 Zatřídění betonářské výztuže [11].

Tvary betonářských výztuží								
Druh	Označení	Tvar	Dokument	Druh	Označení	Tvar	Dokument	
	C 34		ČSN 1016:1926	10 492 (TOROS)	T, Tor30		ČSN 41 0492 ČSN 42 6560	
	Cc		ČSN 1090:1931	10 512 (ROXOR)	R		ČSN 42 5537	
	C 38		ČSN 1090:1931	10 513 (ROXOR)	R _s			
	Jakostní		ČSN 1090:1931	10 512 (LAROS)	L		-	
	Cb		ČSN 1091:1935	10 513 (LAROS)	L _s			
	C 37		ČSN 1230:1937	10 300	A - II R 30		ČSN 41 0300 ČSN 42 5538	
	C 52		ČSN 1230:1937	10 400 10 400 A	R _s 40 A _s - III		ČSN 41 0401 ČSN 42 5539	
	Beton speciál		-	10 401 10 400 B	R 40 A - III			
10 000				ČSN 41 0000 ČSN 42 5510	10 402	Tor 40 RK 40		ČSN 41 0402
10 002	A			ČSN 41 0002	11 373	EZ		ČSN 41 1373 ČSN 42 5539
10 210	A-0			ČSN 41 0210	10 245	K		ČSN 41 0245 ČSN 42 5529
10 216	E			ČSN 41 0216 ČSN 42 5512	10 335	J		ČSN 41 0335 ČSN 42 5533
10 372	B A-0			ČSN 41 0373	10 338	T A - II		ČSN 41 0338 ČSN 42 5534
10 373	B _s			ČSN 41 0373	10 302	B II Tor 30		ČSN 41 0302 ČSN 42 6560
10 452	C			ČSN 41 0452 ČSN 42 5513	10 425	V A - III		ČSN 41 0425 ČSN 42 5535
10 453	C _s				10 426	W A - III		ČSN 42 5535
10472 (ISTEG)	I			-	10 505	R		ČSN 41 0505 ČSN 42 5538

⁶ ČSN ISO 13822 (730038): Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí

2.2.3 Výztuž používaná v současnosti

Dnes se použití betonářské výztuže řídí normou ČSN 42 0139⁷ a ČSN EN 10080⁸. Veškerá používaná výztuž má žebírkový povrch zajišťující soudržnost výztuže s betonem. Běžně používané průměry výztuže jsou v sudých násobcích v rozmezí 6–32 mm, řada je doplněna průměrem 25 mm. Přehled parametrů dnešní výztuže je uveden v tab. 5 [12] [13].

Tab. 5 Charakteristiky současné výztuže [12] [13].

Značení dle EN	Minimální mez kluzu f_{yk} [MPa]	Minimální pevnost v tahu f_{tk} [MPa]	Třída tažnosti
B420B	400	460	B
B500B	500	550	B
B550B	550	620	B
B500A	500	550	A
B550A	550	620	A

Pozn.: první písmeno udává že se jedná o betonářskou ocel, číslo je hodnotnou minimální meze kluzu a druhé písmeno značí třídu tažnosti (A – normální, B – vysoká, C – velmi vysoká) [14] [15].

⁷ ČSN 42 0139 (420139): Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel žebírková a hladká

⁸ ČSN EN 10080 (421039): Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně

2.3 Železobeton

Původně byl beton uplatňován převážně pro své dobré izolační vlastnosti při výstavbě vodních děl a při zakládání v oblastech s vysokou hladinou podzemní vody. Nejvíce byl prostý beton používán do tlačných masivních konstrukcí. Potřeba zajištění pevnosti i v tahu vedla k použití betonu s vloženou výztuží. Za průkopníka železobetonu je považován Francouz J. Moniér. Ten v 60. letech 19. století zhotovil první vyztužené betonové květináče, přitom bez ohledu na statiku výztuž umístil do osy průřezu. Následný vývoj vedl v 80. letech 19. století k prvním teoriím o spolupůsobení betonu s ocelovou výztuží. Princip železobetonu (jeho spolupůsobení a způsob vyztužení) byl patentován Françoisem Coignetem roku 1855 [1] [2].

Zprvu byly ze železobetonu zhotovovány převážně desky s uplatněním Moniérova způsobu vyztužení, zlomem bylo použití železobetonového rámu, který jako první použil a nechal si patentovat Belgičan F. Henebique. Princip rámu spočíval v uceleném technickém řešení a celkové tuhosti konstrukce [16].

Jako celo železobetonové konstrukce, systém deska, trám, průvlak a sloup byly na počátku 20. století zhotovovány převážně průmyslové objekty. V běžné výstavbě bytových a městských domů byl železobeton použit jen tam kde byl výhodnější oproti klasickým materiálům (převážně stropy). Vlastní konstruování vycházelo nejprve z jednoduchých principů – konstrukce jako spojitě a staticky neurčité. K nim se pak později přidal princip rámové konstrukce – rámy jednoduché, sdružené a později i patrové. Patrové rámy jsou typické pro objekty bývalých textilek a jiný lehký průmysl. Použití rámové konstrukce zaznamenalo svůj vrchol v době funkcionalismu, díky níž bylo dosahováno volné dispozice jak u jednopodlažních objektů, tak u vyšších budov [17].

Základními materiálovými charakteristikami betonu jsou pevnost v tlaku, pevnost v tahu a modul pružnosti. Pevnost betonu byla zkoušena po 28 dnech na krychlích o hraně 20 cm. Dle norem z 30. let 20. století byl beton rozdělen do kategorií *a* až *g*, přičemž pro železobeton byly používány třídy *d* až *g* [18].

Modul pružnosti betonu v tlaku byl v 1. pol. 20. stol. uvažován 140 000 kg/cm² což činí zhruba 14 GPa v porovnání s moduly dnešních betonů (C 12/15 – E_{cm}= 26 GPa) se jedná o poměrně nízkou hodnotu [5].

Tab. 6 Pevnosti betonů dané předpisem z roku 1907 [16].

Hmotnost portlandského cementu na 1m ³ směsi písku a štěrku [kg]	Poměr míšení podle objemu	Požadovaná pevnost [kg/cm ²]	Dovolená namáhání ŽB za centrického tlaku [kg/cm ²]	Dovolená namáhání ŽB v excentrickém tlaku za ohybu [kg/cm ²]
470	1:3	170	28	40
350	1:4	150	25	36
280	1:5	130	22	32

Při zatřídění posuzovaných betonů z 1. pol. 20. stol. lze vycházet z převodu značení uvedeného v normě ČSN 73 0038⁹. Dnešní betony se řídí normou ČSN EN 206+A1 (732403)¹⁰. Díky technologii výroby a používání příměsí je dosahováno vysokohodnotných betonů.

Tab. 7 Zatřídění betonu dle ČSN 73 0038.

Beton				
druh	značka	třída	třída	pevnostní třída
ČSN 1090:1931 ČSN 1230:1937	ČSN 73 2001:1956 ČSN 73 6206:1971	ČSN 73 1201:1967	ČSN 731201:1986	ČSN EN 206 ČSN EN 1992-1-1
a	60	1		(C3/3,5)
b	80		B5	(C4/5)
c	105	0	B7,5	(C6/7,5)
d	135	I	B10	C8/10
			B12,5	(C9/12,5)
e	170			(C10/13,5)
			B15	C12/15
f	250	III	B20	C16/20
			B25	C20/25
g	330	IV		(C23/28)
			B30	C25/30
	400		B35	(C28/35)
				C30/37
		V	B40	(C30/40)
	500		B45	C35/45
		VI	B50	C40/50
	600		B55	C45/55
			B60	C50/60
Pevnostní třídy uvedené v závorkách nejsou v příslušné normě uvedeny				

⁹ ČSN 73 0038: Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplňující ustanovení

¹⁰ ČSN EN 206+A1 (732403): Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

2.3.1 Zásady návrhu železobetonových konstrukcí v 1. pol. 20. století

V minulosti vycházely dílčí rozměry konstrukcí ze zavedených stavebních předpisů, třeba obvodové zdi v suterénu se zhotovovaly tloušťky 63 cm a příčky tloušťky 32 cm, obvodové zdi v přízemí tloušťky 47 cm a příčky 15-20 cm. Tyto řady vycházely z použití tradičních materiálů, jako byly cihly, kámen, dřevo. S použitím železobetonu jakožto nového stavebního materiálu byly pro návrh staveb zpracovány nové předpisy. Například v předpisech z roku 1931 byla nutná tloušťka pro dělicí příčky z jiných materiálů, než cihel stanovena na pouhých 5 cm. V předpise je rovněž provádění nosných konstrukcí novými způsoby podmíněno statickými výpočty a případnými zkouškami. Jako podklad statického výpočtu byly uváděny konkrétní postupy návrhu, dovolená namáhání a konstrukční zásady vyztužování [1] [19].

Některé konstrukční zásady z 1. pol. 20. století [20]:

- nejmenší průměr výztuže 5 mm,
- tažená výztuž ukončena polokruhovými háky,
- při nastavení výztuže činila kotevní délka minimálně čtyřiceti násobek průměru,
- mezery mezi výztuží rovna průměru výztuže, min. 2 cm,
- vzdálenost vrchních ploch výztuže od líce plochy betonu (krytí výztuže) pro desky činila nejméně 1 cm, u trámů pak 2 cm, u větších průměrů jak 2 cm byla krycí vrstva tvořena alespoň průměrem výztuže,
- minimální tloušťka prostě podepřené desky činila 1/25 rozpětí,
- maximální vzdálenost nosné výztuže u desky 20 cm, rozdělovací výztuže 35 cm,
- minimální tloušťka sloupu 25 cm.

Je zřejmé že některé dřívější konstrukční zásady jsou z hlediska dnešních požadavků zcela nevyhovující, třeba. minimální velikost krycí vrstvy dnes začíná na 2 cm a dále je ovlivněna řadou faktorů [21].

2.3.2 Technologie železobetonových konstrukcí v 1. pol. 20. století

Při zhotovování železobetonových konstrukcí byl rovněž kladen důraz i na technologii provádění, pro představu je uveden seznam některých pravidel.

Pravidla provádění stavby dle předpisu z roku 1911 [19]:

- nosné konstrukce ze železobetonu jsou oprávněni provádět pouze vyškolení dělníci a za stálého dozoru osob které jsou obeznámeny s daným způsobem výstavby,
- betonáž má probíhat ve vrstvách nejvýše po 20 cm a vrstvy mají být průběžně pěchovány
- nosné konstrukce mají být betonovány souvisle,
- betonáž při teplotách nižších jak 0 °C smí probíhat pouze za předpokladu předehřívání kameniva, následná betonáž může probíhat pouze pokud je teplota povrchu konstrukce dostatečně zahřáta,
- po skončení betonáže udržovat konstrukci v přirozeně vlhkém stavu,

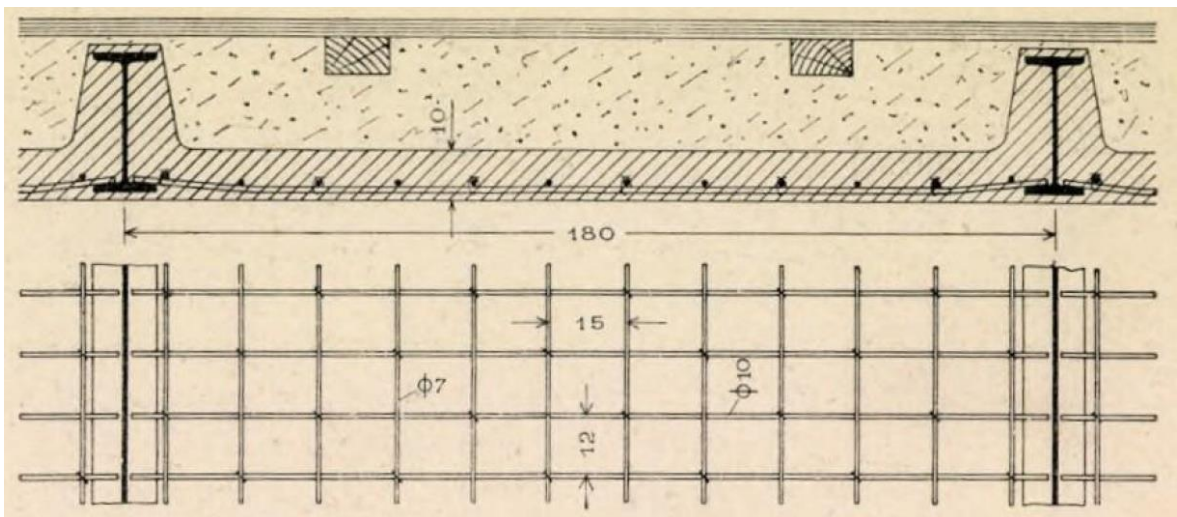
- betonová konstrukce smí být pochozí (zatížena stavební činností) po 4 dnech,
- odbednění se smí provést po 4 týdnech.

Jak je vidět zásady technologie betonáže se od dnešních postupů příliš nelišily, ovšem na počátku 20. století ještě stavební firmy na území Čech neměly potřebné zkušenosti. Beton byl míchán ručně, na stavbě mohla panovat technologická nekázeň, používané kamenivo bylo převážně z místních zdrojů s rozdílnou kvalitou a kvalita cementů kolísala. Toto jsou faktory, které vedly ke značným kvalitativním rozdílům zhotovovaných železobetonových konstrukcí [3].

2.3.3 Systémy vyztužování

Vedle klasického způsobu vyztužování tak jak ho známe dnes se můžeme u konstrukcí z 1. pol. 20. století setkat i s různými atypickými způsoby vyztužení.

Základem vyztužování byla klasická Moniérova armatura (viz obr. 2), která byla složena z hlavní nosné výztuže a rozdělovací výztuže. Dimenze a rozteče výztuží se řídily rozpětím a zatížením. Na počátku 20. století vznikla řada dalších systémů vyztužování. Některé byly dále rozvíjeny jiné byly použity párkrát a již se více neuplatnily. Od Moniérových armatur se lišily tím, že byla vynechána soustava rozdělovací výztuže. Jednalo se o systém Ransomeův, Koenův, nebo Hennebiqův. V dobové literatuře jsou uváděny i způsoby vyztužení plechovou mřížovinou, nebo lany, která vytvořila desku po celém obvodu zavěšenou – tzv. systém Matrai [16].



Obr. 2 Deska Monierova [16].

2.3.4 Znaký betonových konstrukcí z 1. pol. 20. století

Při posuzování betonových konstrukcí z 1. pol. 20. století lze vycházet z dohledatelných výkresů, může se jednat o zadávací plány, výkresy pro stavební řízení nebo výkresy pro betonářské práce jako jsou výkresy tvarů a výztuže. V případě že není původní výkresová dokumentace dochována lze vycházet ze zhodnocení vnějších znaků konstrukce jako jsou například [21]:

- stopy prknového bednění na neomítnutých površích betonu,
- profily sloupů z desátých a dvacátých let mohou být pravoúhlé, kruhové ale i osmiboké,
- pro sloupy z budované do dvacátých let jsou typické sražené hrany a tvarování po výšce,
- náběhy trámů a průvlaků, buď pod úhlem 45° , nebo v poměru 1:3 až 1:4,
- hlavice na sloupech v podobě komolých jehlanů, méně často v podobě komolých kuželů, bez hlavicové stropy se v tomto období téměř nevyskytují,
- stropní desky byly rovné malých tloušťek (od 60 mm),
- častým prvkem jsou stropy se ztracenými bedničkami, či jinými vloženými tvarovkami, pro datování lze použít dobové katalogy a ceníky daných výrobků.

3 HODNOCENÍ HISTORICKÝCH KONSTRUKCÍ

3.1 Specifika hodnocení historicky cenných betonových konstrukcí

Při hodnocení existujících konstrukcí z 1. pol. 20. století se můžeme setkat s konstrukcemi, která podléhají památkově ochranně. Vždy je tedy zapotřebí zdokumentovat stávající stav konstrukce a následně posoudit její spolehlivost. Jedná-li se o zvláště historicky či umělecky cennou konstrukci je zapotřebí volit šetrné metody zkoušení [22].

3.1.1 Zásady hodnocení konstrukcí památek

Zásady hodnocení existujících konstrukcí jsou uvedeny v ČSN ISO 13 822 (73 0038)¹¹, problematika konstrukcí kulturních památek je zpracována v příloze I.

Při hodnocení stavu kulturních památek zohledňujeme tři hlediska – **bezpečnost, funkční způsobilost a památkovou hodnotu**. Bezpečnost konstrukce je na prvním místě a musí být splněna vždy, funkční způsobilost zajišťuje smysluplné využití konstrukce a hodnota památky spočívá v její autenticitě a celistvosti. Pokud to je možné je doporučeno zachovat původní materiály a původní konstrukční uspořádání. Při hodnocení stavebních materiálů památek, s ohledem na dnešní standarty, může dojít k neobjektivnímu posouzení konstrukce které může vést ke zbytečným konstrukčním zásahům, následně ke změně charakteru, ztrátě celistvosti a zbytečným nákladům [11].

3.1.2 Průzkumy betonových konstrukcí památek

Dílčí průzkumy konstrukce tvoří podklad pro její analýzu. Průzkumy se vzájemně ovlivňují a doplňují, je tedy důležité vytvoření jednotného konceptu průzkumů navrhovatelem stavby. Ten nejlépe zhodnotí potřebný rozsah, podrobnost, kvalitu a vzájemnou koordinaci všech prováděných průzkumů [17].

Důvody diagnostického průzkumu:

- Výskyt staticky závažných poruch,
- plánovaná rekonstrukce (přestavba, nástavba, změna využití),
- změna vlastníka objektu.

Cíle průzkumu [17]:

- popis konstrukčního systému, jeho definici a dimenzi jednotlivých prvků,
- zjištění dodatečných zásahů,
- zjištění konstrukčních závad a poruch,
- zjištění kvality materiálu.

¹¹ ČSN ISO 13822 (730038): Zásady navrhování konstrukcí - Hodnocení existujících konstrukcí

Fáze průzkumů [17]:

- průzkum pro návrh využití – studie nebo investiční záměr,
- průzkum pro řešení konstrukce – projekt pro stavební povolení – zjištění dimenzí a stavu nosných konstrukcí,
- průzkum při realizaci stavby – upřesnění detailů, rozsahu zásahů, vytvoření přesné dokumentace skutečného stavu.

Druhy průzkumů:

- **stavebně historický** – zpracovává historii stavby, včetně zásahů do konstrukce a stanoví kulturní hodnotu konstrukce [23],
- **archeologický** – upřesňuje historii konstrukce, veškeré nálezy jsou chráněny mezinárodní evropskou úmluvou o ochraně dědictví Evropy, která je součástí právního řádu ČR [23],
- **inženýrsko geologický** – zkoumá stav základových a hydrogeologických podmínek,
- **materiálový** – výstupem je aktuální stav stavebních materiálů, zjištění příčin poškození a návrh vhodného technologického řešení obnovy [11],
- **stavebně technický** – v přiměřeném rozsahu se provádí vždy, podle rozsahu je dělen na předběžný, podrobný a doplňkový.

Stavebně technický průzkum (STP)

V rámci STP se provádí terénní a laboratorní průzkum. Součástí je zjištění všech deformací a přetvoření konstrukcí. STP obsahuje [3]:

- rešerše dostupných informací o objektu, analýzu stavby,
- vlastnosti a parametry použitých materiálů,
- dokumentaci zjištěných vad a poruch a identifikaci jejich příčin, dokumentaci statických poruch a degradací, dokumentaci neodborných zásahů do konstrukce,
- záznam přítomnosti vegetace, biotického napadení, znečištění apod.
- vyhodnocení terénních a laboratorních průzkumů,
- vyhodnocení výsledků měření, sledování, monitoringu,
- aktuální životnost,
- objektivní zhodnocení celkového stavu.

Čemu věnovat pozornost při průzkumu železobetonových konstrukcí [24]:

- Struktura povrchové vrstvy betonu,
- rozsah koroze,
- rozměry jednotlivých prvků,
- poloha a velikost trhlin,
- velikost přetvoření jednotlivých prvků.

3.2 Diagnostické metody

Při STP železobetonových konstrukcí lze obecně použít diagnostických metod nedestruktivních či destruktivních. Při návrhu průzkumů historických a památkově chráněných objektů je vhodné upřednostnit nedestruktivní metody zkoušení a následně je doplnit destruktivními metodami.

Metody nedestruktivní a semidestruktivní

Obecně se jedná o metody nepřímé, daná charakteristika je stanovována nepřímo na základě kalibračních vztahů. Nedestruktivní metody lze rozdělit na metody vizuální, metody pro stanovení pevnosti betonu a metody pro určení polohy výztuže. Jejich výhodou je především cenová dostupnost, zachování konstrukce a velký počet naměřených dat pro statistické vyhodnocení. Nevýhodou pak je poměrně malá přesnost a nebezpečí vzniku hrubých chyb [25].

Metody destruktivní

Obecně lze o destruktivních metodách hovořit jako o metodách přímých, které mohou posloužit k následné kalibraci nedestruktivních metod. Řadíme sem provádění sekaných sond, jádrové vývrtky a metody místního porušení. Výhodou je jejich přesnost a přímá vizuální kontrola stavu konstrukce. Nevýhodou je především poškození konstrukce, problematika odběru a finanční nákladnost.

3.2.1 Rozsah diagnostických metod

Při stanovení plánu průzkumu a potřebného rozsahu jednotlivých zkoušek je zapotřebí vycházet z platných norem. Nedestruktivní zkoušky se obecně řídí normou ČSN 73 2011¹². Počty zkoušek jsou stanoveny na základě objemu a plochy konstrukce, v závislosti na velikosti jedné záměsi respektive dodávky betonu. Například [26]:

- pro jakoukoliv konstrukci, která má objem větší jak 1 m^3 a plochu větší jak 5 m^2 je předepsáno odzkoušení 16 míst nedestruktivně,
- pokud je plocha menší jak 5 m^2 nebo objem menší než 1 m^3 (může se jednat o samostatný prvek, jeden rám apod.) stačí 6 nedestruktivních zkoušek.

Norma ČSN 73 2011 rovněž stanovuje množství jádrových vývrtů pro upřesnění nedestruktivních zkoušek. U menších konstrukcí do 10 m^3 předepisuje odebrání 3 jádrových vývrtů [26].

Vedle normy počty zkoušek také stanovují technické podmínky, které vydává Sdružení pro sanace betonových konstrukcí. Tyto podmínky počty zkoušek především pro velké objekty zpřísnují.

¹² ČSN 73 2011: Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí.

3.3 Metody pro diagnostiku stavu betonu

Při diagnostice stavu betonu jde především o stanovení jeho materiálových charakteristik jako je pevnost betonu v tlaku, popřípadě v tahu a stanovení modulů pružnosti. Dále je posuzována jeho kvalita, rozsah a hloubka poškození. Pro zkoušení betonu přímo v konstrukci jsou normovány čtyři metody, jde o metodu jádrových vývrtů, tvrdoměrné metody, ultrazvukové metody a metody lokálního porušení. Četnost diagnostických metod je volena v závislosti na velikosti objektu, respektive na objemu zabudovaného betonu [25] [27].

Pozn.: Všechny dále uváděné rozsahy jsou brány dle TP SSBK III pro podrobný STP objektů malé velikosti (objem zabudovaného betonu do 50 m³).

3.3.1 Metody nedestruktivní a semidestruktivní

Vizuální metody

Vizuální metody využívají lidských smyslů jako je zrak, sluch, hmat a čich. Přehled vizuálních metod je uveden v tab. 8. Tyto metody jsou součástí pečlivé vizuální prohlídky konstrukce, která umožňuje kontrolu geometrického tvaru jednotlivých konstrukčních prvků, lokalizaci poruch a jiných odchylek [25].

Tab. 8 Přehled používaných vizuálních metod [25].

Typ metody	Způsob metody	Rozsah	Účel
Vizuální metody	Akustické trasování	Veškerý přístupný povrch konstrukce.	Zjištění míry porušení povrchových vrstev.
	Stanovení hloubky narušení povrchových vrstev	Veškerý přístupný povrch konstrukce.	Záznam chybějících (odpadlých) vrstev konstrukce.
	Zkouška fenoftaleinem	Na plochu 50m ² 6 zkoušek, za každých dalších 50m ² 1 zkouška.	Zjištění hloubky karbonatace.
	Zjištění šířky trhlin	Veškerý přístupný povrch konstrukce.	Záznam polohy a šířky (maximální, průměrná) trhlin.

Metody pro stanovení fyzikálně – mechanických vlastností betonu

Daná pevnost betonu se stanovuje z naměřených veličin pomocí kalibračních vztahů, či normových přepočtů. Celkový přehled a rozsah těchto metod je uveden v tab. 9.

Tab. 9 Metody pro stanovení fyzikálně – mechanických vlastností betonu [25].

Typ metody	Rozsah	Účel
Odrazové metody	16 zkoušek při objemu < 30 m ³ , při dalších započatých 10m ³ přidání 8 zkoušek.	Zjištění pevnosti v tlaku.
Ultrazvuková impulsová metoda	–	Zjištění rovnoměrnosti betonu, stanovení modulů pružnosti, nebo tloušťky konstrukce
Odrhová zkouška	Při ploše povrchu < 25 m ² 3 zkoušky, za každých dalších i započatých 50m ² další 3 zkoušky	Stanovení pevnosti v tahu zkoušené vrstvy

Odrazové metody – metoda Schmidtova tvrdoměru – postup zkoušení a hodnocení mechanických vlastností je uveden v normě ČSN 73 1373¹³. Tato nedestruktivní metoda patří díky svojí jednoduchosti mezi nejpoužívanější. Na základě ukazatele tvrdosti (odraz úderníku, nebo koeficient vrácené energie) je možné stanovit krychelnou pevnost betonu v tlaku. Nevýhodou této metody je to, že odraz probíhá na povrchu konstrukce a výsledná pevnost může být ovlivněna současným stavem povrchu. Není proto vhodná pro použití u starších konstrukcí, tvrdší vrstva betonu musí být obroušena, což ovlivní konečný vzhled konstrukce [27].

Ultrazvuková metoda – měřeným parametrem je čas šíření UZ impulsů daným prvkem. Různorodost beton značně ovlivňuje dosažené výsledky, metoda je tedy vhodná například pro stanovení rovnoměrnosti betonu. Dále dochází na rozhraní dvou fází k odrazu a lomu UZ vlnění. Rozhraním dvou fází rozumíme například místní porušení či výztuž. Ultrazvukové metody jsou používány ve dvou modifikacích – echo metody a příčné prozvučování. Při echo metodě není nutný přístup z obou stran konstrukce a dochází k prozvučení celé konstrukce, je možné stanovit tloušťku prvku a výskyt dutin. Při příčném prozvučování jsou použity dvě protilehlé sondy, výsledek závisí na umístění sond, vlastnosti použitého vazebného materiálu, velikosti přtlaku apod. Velkou výhodou při měření in-situ je, že není nutné brousit povrch až na strukturu betonu. Při laboratorních zkouškách, kdy lze zachovat konstantní okrajové podmínky, jsme schopni na základě zjištěné doby průchodu stanovit rychlost šíření UZ vln a dále vypočítat dynamický modul pružnosti a provést odhad statického modulu pružnosti [25] [27].

¹³ ČSN 73 1373 (731373): Nedestruktivní zkoušení betonu – Tvrdoměrné metody zkoušení betonu



Obr. 3 Echo metoda prozvučování konstrukce.

Odtrhové zkoušky – cílem zkoušky je stanovení pevnosti betonu v tahu. Na náhodně vybrané zkušební místo se přilepí odtrhové terče. Zkušební místo se nejdříve povrchově očistí a srovná, následně se provede proříznutí povrchové vrstvy jádrovým vrtákem s vhodným průměrem. Před nalepením se místo znovu důkladně očistí a zkušební terč se pomocí speciálního lepidla celoplošně přilepí na střed návrtnu. Samotný odtrh se provádí pomocí odtrhové aparatury po vytvrzení lepidla [25].



Obr. 4 Provádění odtrhové zkoušky.

3.3.2 Metody destruktivní

Jádrové vývrty

Jede o odebrání válcového tělesa z konstrukce pomocí jádrového vrtáku. Pomocí vývrtů lze zjistit skladbu konstrukce a získat tělesa pro laboratorní vyhodnocení. Nejmenší průměr činí 50 mm, na základě velikosti kameniva je nejčastěji prováděn odběr vzorků průměru 75 mm nebo 100 mm [27].

Odběr vývrtů je stanoven normou ČSN EN 12504-1¹⁴. Před samotným odběrem jádrového vývrtu je zapotřebí stanovit místo odběru tak, aby nebyla převrtána výztuž, která by odebraný vzorek znehodnotila.

Při objemu betonu konstrukce do 30 m³ jsou odebírány 3 vývrty o průměru 100 mm a za každých dalších započatých 10 m³ je přidán 1 vývrt. Při použití menších průměrů je doporučováno dvojnásobné množství odběrů [25].



Obr. 5 Jádrové vrtání – stojanový vrtací systém Hilti DD120.

3.3.3 Metody laboratorního vyhodnocení

Zkoušky in-situ bývají zpravidla doplněny laboratorními zkouškami na odebraných vzorcích. Jedná se především o:

- stanovení objemové hmotnosti,
- stanovení pevnosti v tlaku na jádrových vývrtech,
- stanovení modulu pružnosti,
- chemická analýza betonu.

V kapitole jsou dále rozepsány metody, které byly použity v praktické části bakalářské práce.

¹⁴ ČSN EN 12504-1 (731303): Zkoušení betonu v konstrukcích - Část 1: Vývrty - Odběr, vyšetření a zkoušení v tlaku

Stanovení objemové hmotnosti

Objemová hmotnost betonu se nejčastěji stanovuje na pravidelných zkušebních tělesech, která jsou připravena z odebraných jádrových vývrtů. Nejčastěji se jedná o tvar válce. Pro tento případ norma umožňuje stanovení objemu na základě změřených rozměrů tělesa. Těleso je změřeno, zváženo a následně je dle rovnice 3.1 vypočtena objemová hmotnost. Výsledek je zaokrouhlován na nejbližších 10 kg/m³ [28].

$$D_r = \frac{V}{m} \quad (3.1)$$

kde: D_r [kg/m³] – objemová hmotnost (v přirozeně vlhkém stavu),

V [m³] – objem zkušebního tělesa,

m [kg] – hmotnost zkušebního tělesa.

Stanovení pevnosti v tlaku na jádrových vývrtech

Zkušební těleso je upnuto do lisu a je zatěžováno konstantní silou až do porušení. Následně je provedeno posouzení způsobu porušení dle požadavků ČSN EN 12390-3¹⁵.

Při diagnostice existujících konstrukcí jsou zkušební tělesa zhotovována z odebraných jádrových vývrtů a mají tedy válcový tvar. Pevnost betonu v tlaku na válcích se stanoví dle rovnice 3.2. Krychelná pevnost je následně stanovena pomocí převodního součinitele $k_{cyl,cube}$ (rovnice 3.4), hodnoty součinitele $k_{cyl,cube}$ jsou předepsány normou ČSN EN 12390-3 a jsou závislé na hodnotě válcové pevnosti v tlaku [29].

$$f_{c,cyl} = K_{c,cube} \cdot K_{c,cyl} \cdot \frac{F}{A_c} \quad (3.2)$$

kde: $f_{c,cyl}$ [MPa] – válcová pevnost v tlaku,

$K_{c,cube}$ [-] – opravný součinitel příčného rozměru tělesa jiného než 150 mm (lze uvažovat $K_{c,cube} = 0,95$ pro $d = 100$ mm, $K_{c,cube} = 0,91$ pro $d = 50$ mm),

$K_{c,cyl}$ [-] – opravný součinitel štíhlosti válce λ , je-li $1,0 < \lambda < 2,0$,

$$K_{c,cyl} = 0,80 + \sqrt{\frac{\lambda - 0,933}{26,667}} \quad (3.3)$$

$$f_{c,cube} = K_{cyl,cube} \cdot f_{c,cyl} \quad (3.4)$$

$f_{c,cube}$ [MPa] – krychelná pevnost betonu v tlaku,

$K_{cyl,cube}$ [-] – součinitel pro přepočítání válcové pevnosti na krychelnou.

¹⁵ ČSN EN 12390-3 (731302): Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles.

Vyhodnocení charakteristické pevnosti betonu v tlaku

Vyhodnocení charakteristické pevnosti lze provést dle ČSN ISO 13822¹⁶ a ČSN 730038¹⁷, v normách je uveden postup stanovení následovně [30]:

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n} \quad (3.5)$$

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n - 1} \quad (3.6)$$

$$V_x = \frac{s_x}{m_x} \quad (3.7)$$

$$X_k = m_x \cdot (1 - k_n \cdot V_x) \quad (3.8)$$

kde: m_x – průměrná hodnota,

x_i – dílčí hodnoty,

n – počet zkoušek,

s_x – směrodatná odchylka,

V_x – variační koeficient,

X_k – charakteristická hodnota (dolní 5% kvantil, za předpokladu normálního rozdělení),

k_n – součinitel pro stanovení 5% kvantilu (dán normou ČSN 73 0038 a liší se pro V_x známý a neznámý).

Další způsob vyhodnocení charakteristické pevnosti je možný dle normy ČSN EN 13791¹⁸. Podle počtu vzorků rozeznává norma dvě kritéria. Kritérium A je uvažováno máme-li 15 a více vzorků, kritérium B máme-li 3 až 14 vzorků. Vyhodnocení podle kritéria B probíhá následovně:

$$f_{ck,is} = f_{m(n),is} - k \quad (3.9)$$

$$f_{ck,is} = f_{is,nejmenší} + 4 \quad (3.10)$$

kde: $f_{ck,is}$ [MPa] – charakteristická pevnost betonu v tlaku in-situ (uvažována je nižší hodnota z rovnic 3.9 a 3.10),

$f_{m(n),is}$ [MPa] – průměrná pevnost betonu v tlaku z n odebraných vývrtů,

$f_{is,nejmenší}$ [MPa] – nejmenší pevnost zjištěná na odebraných vývrtech,

k [-] – součinitel závislý na počtu vývrtů n (pro n 3-6 $k=7$).

¹⁶ ČSN ISO 13822 (730038): Zásady navrhování konstrukcí – Hodnocení existujících konstrukcí.

¹⁷ ČSN 73 0038: Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí – Doplnující ustanovení.

¹⁸ ČSN EN 13791 (731303): Posuzování pevnosti betonu v tlaku v konstrukcích a v prefabrikovaných betonových dílcích.

3.4 Metody pro diagnostiku stavu výztuže

Při diagnostice výztuže lze stanovovat její polohu, korozní poškození a mechanické vlastnosti.

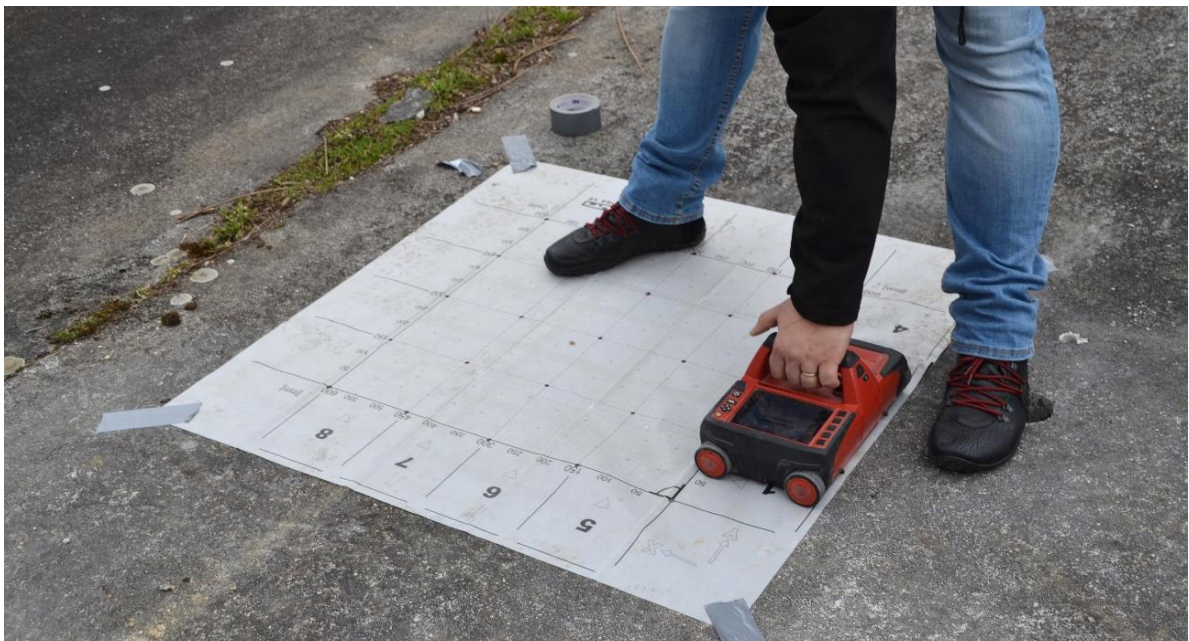
3.4.1 Metody nedestruktivní

Radiografie

Jedná se o nejpřesnější metodu pro zjištění polohy výztuže. Metoda využívá gama záření, které má schopnost pronikat hmotou a v závislosti na její hustotě je zeslabováno, u železobetonu je výrazně zeslabeno ocelovou výztuží. Míra tohoto zeslabení je zaznamenána na citlivý radiografický film. Použití metody je závislé na oboustranném přístupu ke konstrukci, popřípadě je možné prozařování přes roh. Výhodou metody je její přesnost lokalizace výztuže včetně průměru. Nevýhodou je náročnost metody na aparátní vybavení, proškolení personálu, dodržení bezpečnostních opatření (nebezpečné záření) a vysoká cena měření [25].

Lokalizace výztuže georaderem

Jedná se o progresivní metodu pro lokalizaci výztuže. Základním principem metody je záznam odrazu vysokofrekvenčních elektromagnetických pulzů. Výhodou je přesnost, hloubka dosahu měření a možnost zobrazení více objektů (např. více vrstev výztuže) nad sebou. Například u přístroje PS 1000 od firmy Hilti je hloubka detekce 300 mm, přesnost lokalizace ± 10 mm a přesnost určení hloubky ± 10 mm. Hlavními nevýhodami přístroje je že neumožňuje určit průměr výztuže, poskytuje nejednoznačné určení druhu lokalizovaného objektu a závislost na stavu povrchu [31].



Obr. 6 Záznam plošného radarového skenu přístrojem Hilti PS1000.

Metoda elektromagnetických indikátorů výztuže

Jedná se o klasickou metodu pro zjištění polohy výztuže. Metody využívají feromagnetického jevu nebo vířivých proudů, které mění charakteristiky magnetického pole sondy při přiblížení k prutům výztuže. Výhodou této metody je možnost odhadu průměru výztuže, rychlost a jednoduchost zjištění polohy výztuže. Zásadní nevýhodou je hloubkový dosah, který se pohybuje od 60 do 220 mm v závislosti na druhu přístroje. Další nevýhodami je nemožnost lokalizovat více vrstev výztuže, velké zkreslení výsledků v případech hustého vyztužení [31].



Obr. 7 Pořízení záznamu pomocí Profometru PM-630.

3.4.2 Metody destruktivní

Sekané sondy

Jedná se o přímý způsob zhodnocení stavu výztuže a tloušťky krytí. Krycí vrstva betonu je mechanicky odstraněna a dojde tak o odhalení výztuže. Touto metodou jsme schopni zhodnotit její polohu, druh, průměr a míru korozního poškození. Z pravidla se provádí 3 sekané sondy při ploše konstrukce do 50 m². Za každých dalších i započatých 200 m² je přidáno provedení 1 sekané sondy [25].

Odběr a trhací zkoušky vzorku výztuže

Každý odběr výztuže představuje velký zásah do konstrukce a vždy je třeba jej konzultovat se statikem. Odebraný vzorek by měl mít délku 20x průměr nebo minimálně 400 mm. Zkoušky na odebraných vzorcích probíhají dle normy ČSN EN ISO 15630-1¹⁹, stanovovány jsou mechanické vlastnosti jako například pevnost v tahu, mez kluzu, tažnost apod. [25].

¹⁹ ČSN EN ISO 15630-1 (420365): Ocel pro výztuž a předpínání do betonu – Zkušební metody – Část 1: Tyče, válcovaný drát a drát pro výztuž do betonu

3.5 Zatěžovací zkoušky

Samostatnou skupinu diagnostických metod tvoří zatěžovací zkoušky. U stávajících konstrukcí nemusíme být schopni na základě dílčích diagnostických zkoušek prokázat statickou bezpečnost a přesně charakterizovat její chování. Je umožněno provést zatěžovací zkoušku která částečně nebo úplně nahrazuje statický výpočet. Zatěžovací zkoušky se řídí normami ČSN 73 2030²⁰ a ČSN 73 6209²¹ [25].

²⁰ ČSN 73 2030: Statické zatěžovací zkoušky stavebních konstrukcí

²¹ ČSN 73 6209: Zatěžovací zkoušky mostů

4 HODNOCENÍ VYBRANÉ KONSTRUKCE

V praktické části bakalářské práce je zpracován diagnostický průzkum vybrané historické konstrukce. Jedná se o konstrukci bazénu z konce 30. let 19. století na území nemovité kulturní památky – areál zámku ve městě Napajedla.

4.1 Úvod

Cílem diagnostiky bazénu je zhodnocení současného stavu a ideový návrh sanace. Areál zámku je v památkovém katalogu Národního památkového ústavu veden pod číslem 39781/7-2001 [32].

4.1.1 Historie zámku a zámeckého parku

Barokní zámek v Napajedlích byl postaven ve druhé polovině 18. století. Zámek je obklopen parkem, ve kterém se nachází barokní kašna, altán, bazén a další dekorativní prvky.

Roku 1886 Aristides Baltazzi založil v Napajedlích hřebčín. Panství společně s hřebčínem a zámkem bylo spravováno rodem Baltazziů až do roku 1935, tehdy ve veřejné dražbě získala zámek i hřebčín společnost Baťa [33].

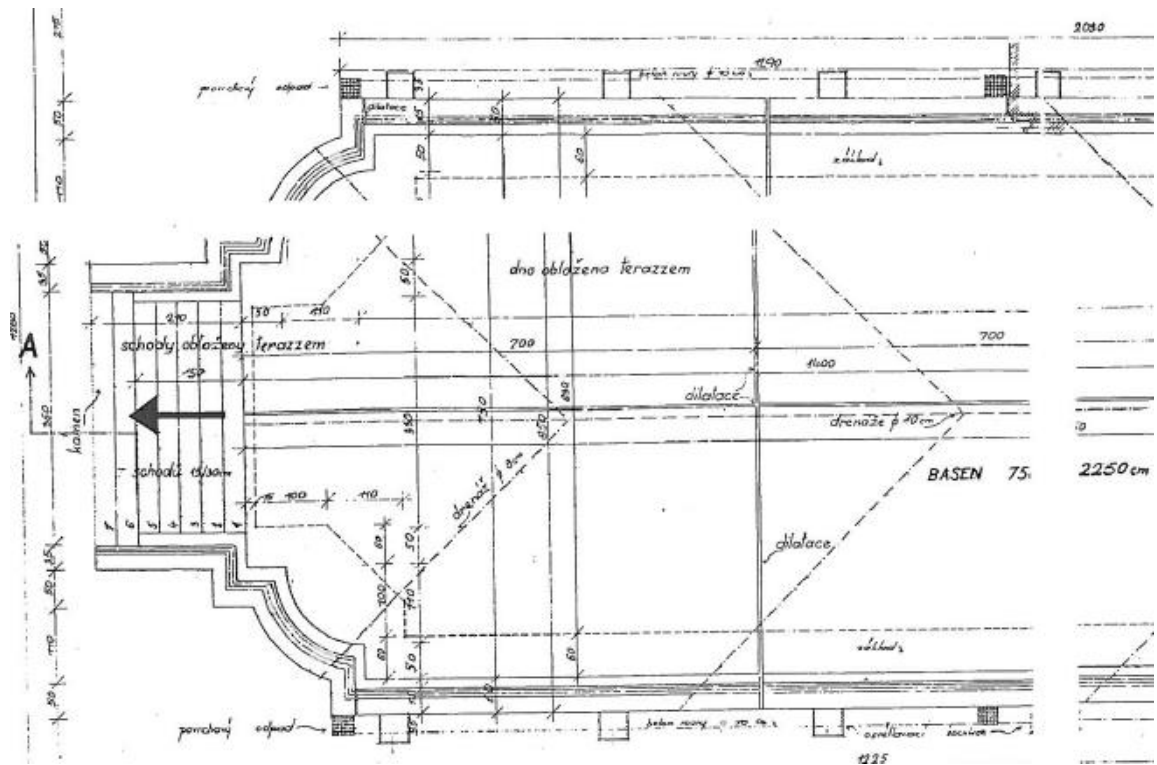
Roku 1935 byl v Napajedlích společností Baťa založen podnik Fatra, který se zabýval výrobou plynových masek a dalších gumárenských výrobků. S rozvojem podnikání v Napajedlích vyvstala potřeba zřídit reprezentativní sídlo. Společnost Baťa tedy začala s úpravami barokního zámku. Roku 1938 byla zhotovena projektová dokumentace k bazénu, který je předmětem průzkumu. Dokumentace je datována k 25.10.1938 je tedy pravděpodobné, že bazén byl vybudován ještě před druhou světovou válkou. Po válce byl zámek zestátněn a přestavěn na byty, které měly pokrýt bytovou potřebu zaměstnanců továrny Fatra [33].

V současné době je v prostorách zámku provozována Zámecká kavárna a během roku je možné navštívit prohlídku zámku. Opravená část zámku je rovněž využívána jako hotel. Bazén, nacházející se v zámeckém parku, není od poloviny 20. století využíván a je ve velmi špatném stavu.

4.1.2 Specifikace zadání

Od objednavatele, současného majitele zámku, vznikl požadavek na zhodnocení stávajícího stavu historicky cenné konstrukce bazénu. Hodnocení slouží jako podklad pro naplánování možné rekonstrukce a konzervace kulturně historické hodnoty bazénu.

Areál zámku se nachází na parcele č. 459 v k. ú. 701572 – Napajedla a je veden jako menší chráněné území. K průzkumu bazénu, který se nachází v tomto areálu byla poskytnuta původní dokumentace z roku 1938. Původní dokumentace je součástí přílohy.



Obr. 8 Výřez původní dokumentace bazénu [37].



Obr. 9 Situace areálu zámku s vyznačením polohy bazénu [36].

4.2 Popis vyšetřované konstrukce

Jedná se o monolitickou konstrukci postavenou na konci 30. let minulého století. Svým tvarem bazén připomíná barokní kartuše, zapadá tak do kompozice barokního zámku a přilehlého parku. V době výstavby bazénu byly použity moderní materiály. Nosnou hmotu bazénu tvoří železobeton. Povrch bazénu je opatřen teracovou vrstvou imitující kámen a celkový vzhled bazénu je doplněn římsou z cementové malty. Celková délka bazénu činí zhruba 24,6 m a šířka 8,5 m.



Obr. 10 Celkový pohled na bazén.

4.2.1 Celkové provedení konstrukce

Bazén se skládá z monolitických stěn a dna které se svažuje směrem na jih, od budovy zámku. V nejnižším místě hloubka bazénu činí zhruba 2,5 m. V nejvyšším místě je hloubka 0,9 m. Tloušťka svislých stěn dle původní projektové dokumentace činila 60 cm.

Konstrukce je rozdělena jak ve stěnách, tak ve dně příčnými spárami vyplněnými asfaltovým tmelem. Dno bazénu je rozděleno na 5 dilatačních celků a stěny bazénu jsou rozděleny čtyřmi spárami na 8 dilatačních celků.

Ve stěnách bazénu se nachází osvětlovací šachtice. Šachtice jsou pravidelně rozmístěny po delších stranách bazénu, 7 šachtic na každé straně a jedna šachtice v zadní stěně bazénu.



Obr. 11 Pohled na osvětlovací šachtice a svislé dilatační spáry.

V zadní části bazénu se nachází po obou stranách výstupní žebřík, který je proveden zapuštěnými betonovými stupadly.



Obr. 12 Zapuštěný žebřík – pohled na celek a detail.

Povrchová úprava stěn bazénu i dna je původně tvořena světlým teracem které svou zrnitostí připomíná mrákotínskou žulu.



Obr. 13 Povrchová vrstva – vyleštěné světlé teraco.

Horní hrana bazénu je opatřena betonovou římsou, která plynule navazuje na betonovou dlažbu v okolí bazénu. Tvarově římsa imituje barokní kamenné prvky. V minulosti byla zřejmě římsa zbarvena do světle žlutého tónu tak, aby imitovala pískovec.



Obr. 14 Detail provedení okrajové římsy.

4.2.2 Současný stav konstrukce

Vlivem dlouhodobé degradace způsobené vypuštěním bazénu a zanedbáním údržby začala konstrukce vykazovat řadu poruch, jedná se zejména o poruchy:

- dilatačních spár,
- teraca stěn,
- teraca dna,
- okrajových říms,
- osvětlení.

V kapitole je dále zdokumentován stav jednotlivých konstrukčních částí.

Stav dilatačních spár

Spáry jak ve dně bazénu, tak ve stěnách jsou zaneseny a uchycuje se náletová vegetace, původní pružné asphaltové výplně jsou již strávené a nemohou tedy plnit původní účel.



Obr. 15 Celkový pohled na stav dilatační spáry.



Obr. 16 Stav dilatační spáry – detail.

Stav teraca stěn

Na svislých stěnách je povrchová úprava teraca prostoupena řadou trhlin širokých i několik milimetrů. V choulostivých místech jako jsou rohy, nebo spáry se teraco již odlupuje a odpadá. V jiných částech konstrukce byl při poklepu odezvou dutý zvuk značící oddělení povrchové vrstvy od nosné konstrukce.



Obr. 17 Degradace teraca na svislé stěně.

Stav teraca dna

Na dně bazénu jsou z rozdílu barevností teraca patrné pozdější vysprávký. V rozích a spárách prorůstá vegetace. Celkově je teracová vrstva dna bazénu porušena řadou drobných povrchových trhlin.



Obr. 18 Dno bazénu – vysprávký z druhé pol. 20. stol.



Obr. 19 Dno bazénu – vysprávký.

Stav okrajových říms

Římsa hrany bazénu zajišťující přechod svislé stěny a betonové dlažby v úrovni terénu je porostlá vegetací. Místy se vrchní dekorativní hrana odlupovala od monolitické části bazénu, či při poklepu zněla dutě. Poškození je v místě pracovní spáry. Spára vznikla způsobem výstavby, kdy byl nejdříve zhotoven oblý povrch zakončení stěny, na kterém byl patrně následně zhotoven finální tvar římsy.



Obr. 20 Poškozená římsa bazénu.

Stav osvětlení

Všech 15 šachtic je opatřeno kovovými rámy, které jsou zkorodovány. Vnitřek šachtic byl zanesen.



Obr. 21 Celkový pohled na vnější stav osvětlovacích šachtic.

4.2.3 Předběžné zhodnocení konstrukce

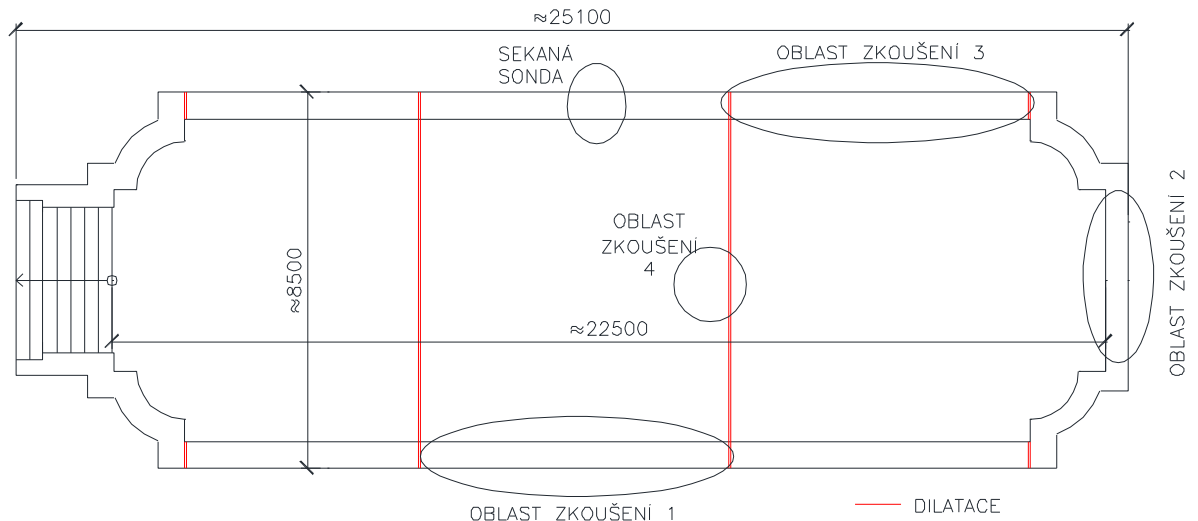
Po prvotní prohlídce byl stav konstrukce klasifikován jako poškození velkého rozsahu. Jako vážnější porucha se jevila poškozená povrchová vrstva, která by mohla zapříčinit degradaci betonu a korozi výztuže. Závažnou vadou s vlivem na funkci bazénu pak bylo prorůstání vegetace, které degraduje dilatační spáry.

Scénáře využití stávající konstrukce:

- I. Konstrukce je v dobrém stavu, pro zajištění funkčnosti bazénu postačí povrchová sanace.
- II. Konstrukce je ve špatném stavu, možné sanace by nezajistili funkčnost bazénu, část konstrukce lze využít jako ztracené bednění.
- III. Konstrukce je ve velmi špatném (havarijním) stavu, nelze ji v budoucnu jakkoliv využít a je zapotřebí ji zcela odstranit.

4.3 Stanovení plánu průzkumu

Na základě prvotní prohlídky, historické hodnotě konstrukce a finančních prostředků objednatele byl pro posouzení stávajícího stavu naplánován stavebně technický průzkum malého rozsahu. Pro provedení stanovených zkoušek a odebrání vzorků byly výtýpovány tři oblasti zkoušení ve stěnách a jedno místo ve dně bazénu. Oblasti zkoušení byly zvoleny na základě dispozice bazénu tak, aby získané výsledky zkoušek byly dostatečně reprezentativní.



Obr. 22 Situace plánu průzkumu – oblasti zkoušení.

Navrhnuté zkoušky a úkony:

- lokalizace výztuže georadarem,
- stanovení krytí a polohy výztuže elektromagnetickým indikátorem,
- provedení 3 sekaných sond v místě výztuže,
- stanovení rozsahu karbonatace betonu,
- provedení sekané sondy napojení dna a svislé stěny,
- odebrání 3 jádrových vývrtů průměru 75 mm ve stěnách bazénu,
- odebrání jednoho jádrového vývrtu průměru 75 mm ve dně bazénu,
- stanovení tloušťky stěny a dna pomocí ultrazvuku,
- průvrt stěny bazénu,
- provedení odtrhových zkoušek pro stanovení přídržnosti na stěnách bazénu – 3x3 terče,
- vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku a jeho zařídění.

Zkoušky in-situ byly navrhnuty v minimálním možném rozsahu, tak aby stávající stav konstrukce mohl být objektivně zhodnocen.

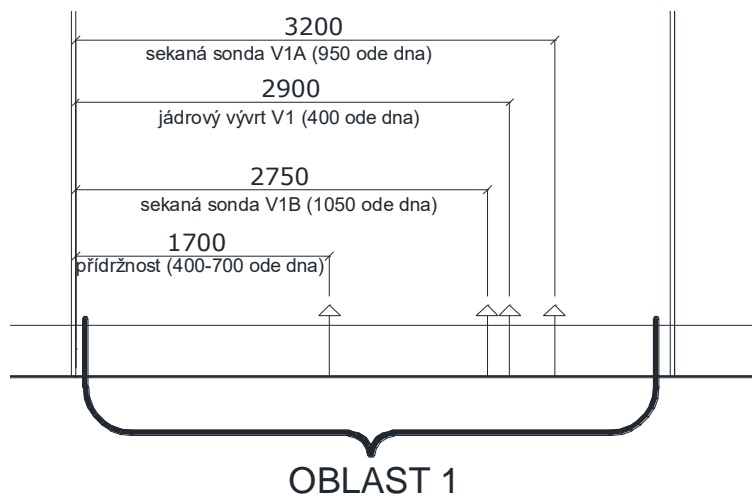
4.4 Zkoušky IN SITU

4.4.1 Reálné rozmístění zkušebních míst

Zkušební oblast 1

- Lokalizace výztuže pomocí elektromagnetického indikátoru a georadaru,
- odběr jádrového vývrtnu V1,
- odtrhové zkoušky přídržnosti P1,
- stanovení tloušťky stěny ultrazvukem, ověření průvrtem v místě vývrtnu V1,
- provedení sekaných sond pro ověření výztuže S1A, S1B,

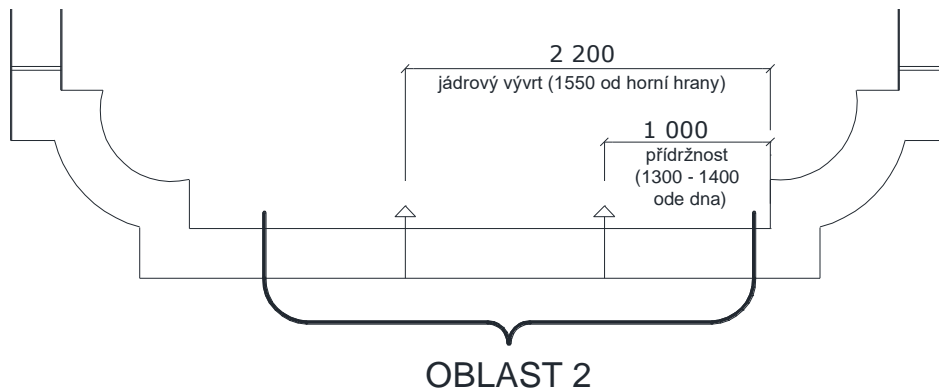
zjištění hloubky karbonatace betonu pomocí roztoku fenolftaleinu.



Obr. 23 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 1.

Zkušební oblast 2

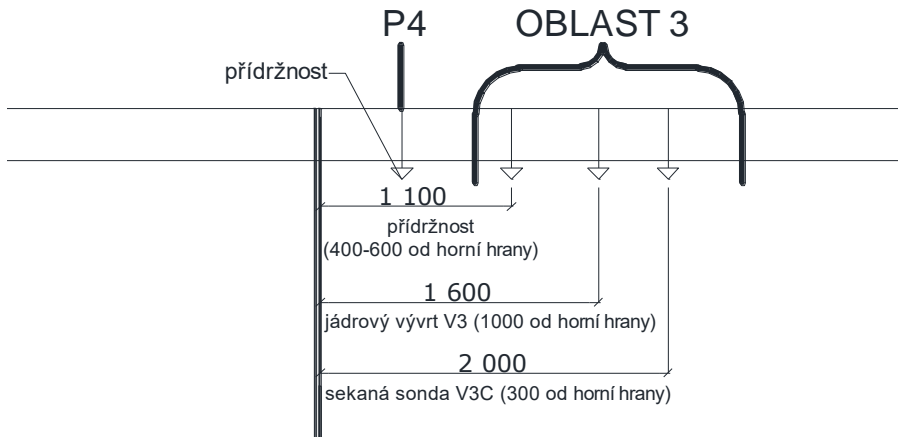
- Lokalizace výztuže pomocí elektromagnetického indikátoru a georadaru,
- odběr jádrového vývrtnu V2,
- odtrhové zkoušky přídržnosti P2,
- stanovení tloušťky stěny ultrazvukem, ověření vrtem v místě vývrtnu V2.



Obr. 24 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 2.

Zkušební oblast 3

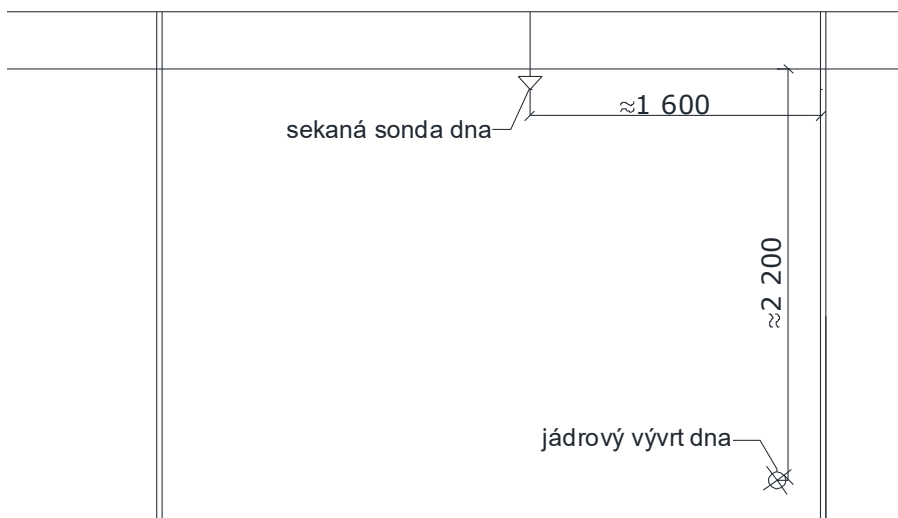
- Lokalizace výztuže pomocí elektromagnetického indikátoru a georadaru,
- odběr jádrového vývrtnu V3,
- odtrhové zkoušky přídržnosti P3, P4,
- stanovení tloušťky stěny ultrazvukem, ověření průvrtem v místě vývrtnu V3,
- provedení sekané sondy pro ověření výztuže S3,
- zjištění hloubky karbonatace betonu pomocí roztoku fenolftaleinu.



Obr. 25 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 3.

Zkušební oblast 4

- Lokalizace výztuže pomocí elektromagnetického indikátoru a georadaru,
- odběr jádrového vývrtnu V4,
- stanovení tloušťky stěny ultrazvukem, ověření vývrtem V4,
- provedení sekané sondy v místě napojení stěny a dna.



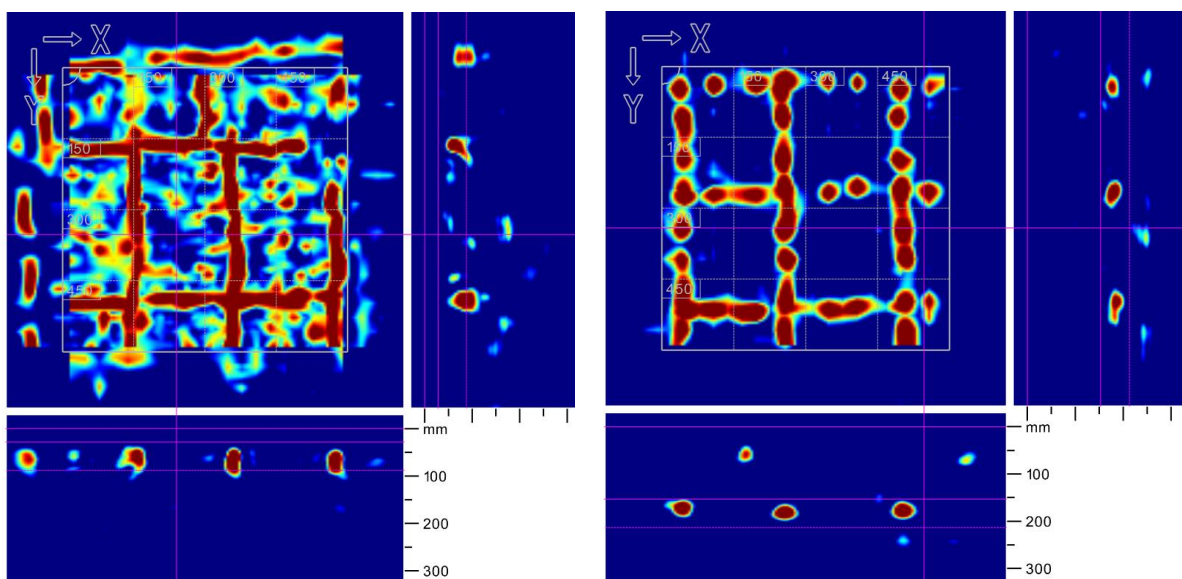
Obr. 26 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 4.

4.4.2 Lokalizace výztuže

Při prvotní prohlídce byl pro předběžné zjištění způsobu vyztužení použit georadar Hilti PS1000. Měřením byly zjištěny dvě vrstvy výztuže.

Na obr. 27 je plošný radarový sken formátu 600 x 600 mm který byl proveden na levé straně bazénu, bezprostředně pod vrcholem stěny. Na skenu je zachycen rastr vodorovné a svislé výztuže. V horní části se nachází ohnuté pruty z vrcholu stěny [34]

Na obr. 28 je plošný radarový sken formátu 600 x 600 mm který byl proveden ve dně bazénu. Na skenu je rovněž zachycen rastr vodorovné a svislé výztuže, rozteče svislých výztuží (výztuže rovnoběžné s podélnou osou bazénu) činí 235 mm, rozteče vodorovných (kolmé na podélnou osu bazénu) činí zhruba 240 mm. Pruty rovnoběžné s podélnou osou bazénu jsou blíže povrchu a jejich krytí je zhruba 170 mm [34].

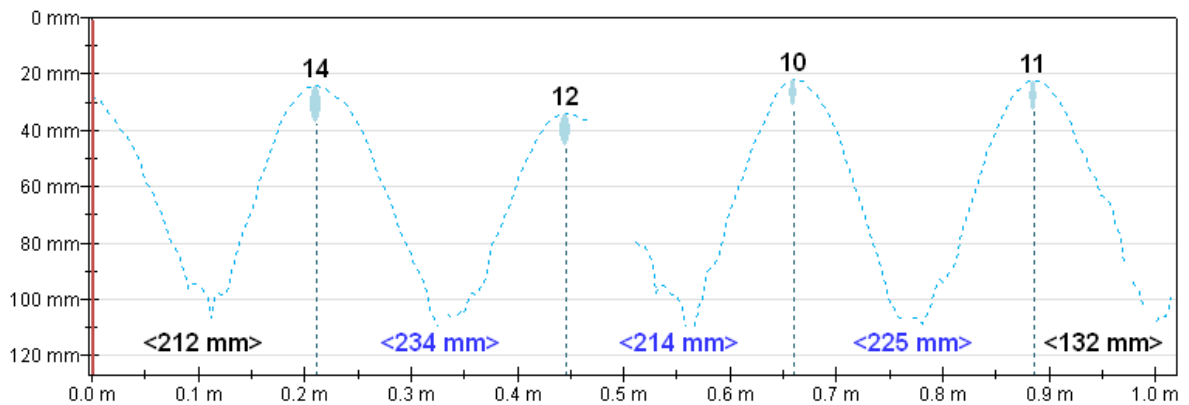


Obr. 27 Plošný radarový sken stěny bazénu [34]. Obr. 28 Plošný radarový sken dna bazénu [34].

4.4.3 Stanovení krytí a polohy výztuže elektromagnetickým indikátorem

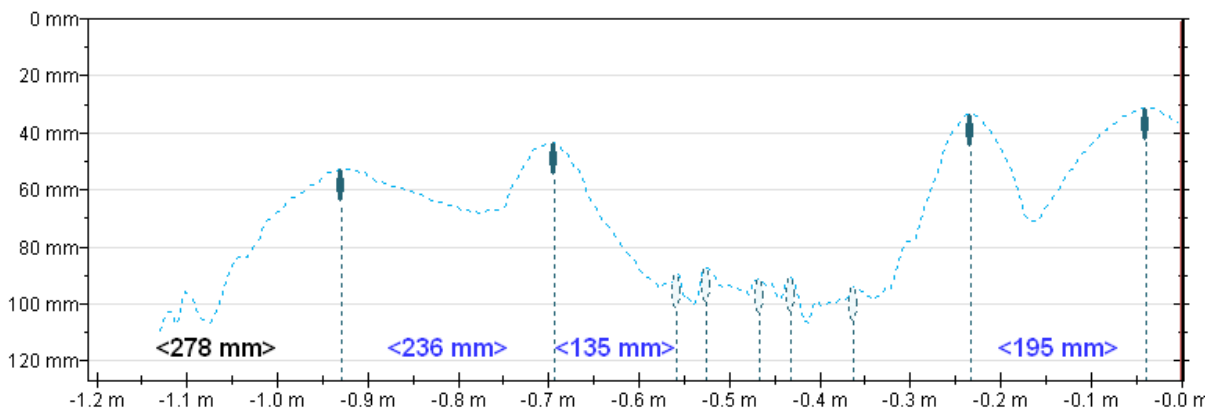
Pro měření byl použit Profometr PM-630. Zjištěny byly svislé a vodorovné výztuže ve stěnách bazénu. Svislá výztuž byla detekována blíže povrchu, krytí 23 mm a více, průměr výztuže kolísá okolo 12 mm. Vodorovná výztuž byla detekována v hloubce 30 mm a více.

Jako první byl stanoven průběh svislé výztuže v oblasti 1 (viz obr. 29). Rozteč výztuže činila 214 mm až 234 mm, průměr výztuže 10 mm a více. Hodnota krytí včetně teraca byla stanovena na 23 mm.



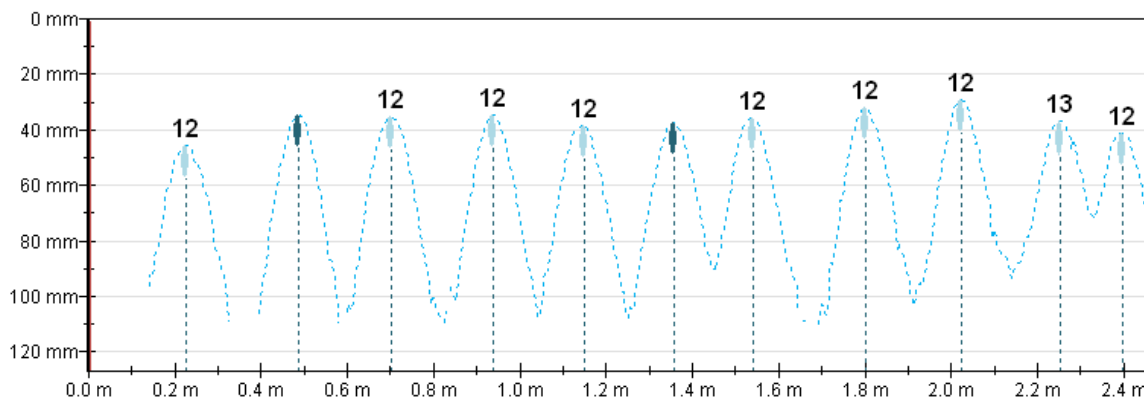
Obr. 29 Průběh svislé výztuže v oblasti 1 - krytí, rozteč, průměr.

Dále byl stanoven průběh vodorovné výztuže v oblasti 1 (viz obr. 30). Ze záznamu je patrné že měření bylo ovlivněno hloubkou a nepravidelností uložení výztuže



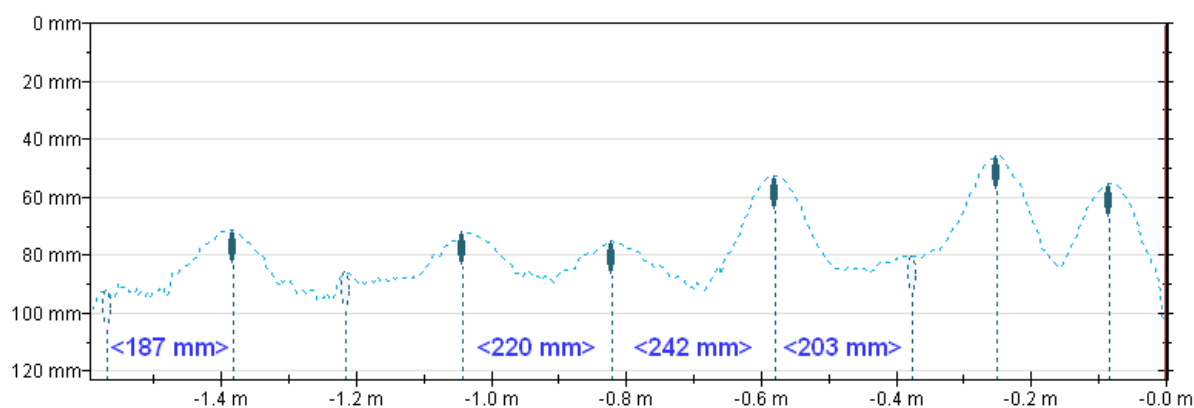
Obr. 30 Průběh vodorovné výztuže v oblasti 1 - krytí, rozteč.

Při měření v oblasti 3 (viz obr. 31) byl průměr výztuže výrazněji nadhodnocen ze skutečných 8 mm na 12 mm. Rozteč výztuží se rovněž, jako v oblasti 1, pohybovala okolo 200 mm. Krytí výztuže se pohybovalo od 25 mm až do 40 mm. Nadhodnocení mohlo být způsobeno například zdvojením prutů.



Obr. 31 Průběh svislé výztuže v oblasti 3 - krytí, rozteč, průměr.

Vodorovná výztuž se v oblasti 3 nacházela ve hloubce 45 mm až 80 mm od povrchu, rozteč výztuží se rovněž pohybovala okolo 200 mm a průměr byl opět nadhodnocen na 10 mm (viz obr. 32).



Obr. 32 Průběh vodorovné výztuže v oblasti 3 - krytí, rozteč.

4.4.4 Provedení sekaných sond v místě výztuže

Drobné sekané sondy byly provedeny ve vytypovaných místech s výztuží tak, aby bylo možno ověřit průměr výztuže a její krytí. Místa sekaných sond byla po provedení detekce výztuže elektromagnetickým indikátorem zvolena tak, aby odhalila „zvláštní“ výztuž.

V oblasti zkoušení 1 byly provedeny 2 sekané sondy V1A a V1B. Sonda V1A byla zvolena v místě kde elektromagnetický indikátor ukazoval průměr výztuže 12 mm. Odsekáním bylo zjištěno, že se jednalo o zdvojení prutů. Výztuž byla hladká průměru 8 mm. Celkové krytí výztuže bylo 22 mm, z toho 8 mm betonu a 14 mm teraco. Sonda V1B byla zvolena v místě křížení svislé a vodorovné výztuže. Taktéž se jednalo o hladké výztuže

průměru 8 mm. Krytí svislé výztuže činilo 24 mm, z toho 14 mm teraco a 10 mm beton. Krytí vodorovné výztuže činilo v součtu 33 mm.

V oblasti zkoušení 3 byla provedena třetí sekaná sonda označena V3C. Sonda V3C se nacházela 30 cm od horní hrany bazénu. Svislá výztuž byla průměru 10 mm, krytí svislé výztuže činilo 31 mm z toho 15 mm teraco 16 mm beton. Vodorovná výztuž byla průměru 8 mm, celkové krytí vodorovné výztuže činilo 42 mm. V místě sondy V3C byla zjištěna v horní části sondy pomocná svislá výztuž průměru 5,5mm, jejíž krytí bylo 44 mm.



Obr. 35 Sekaná sonda V1A.



Obr. 34 Sekaná sonda V1B



Obr. 33 Sekaná sonda V3C

4.4.5 Stanovení karbonatace betonu

Na všech třech sekaných sondách byla provedena zkouška pro stanovení karbonatace betonu. Po nanesení fenolftaleinového roztoku se beton v okolí výztuže okamžitě zbarvil do sytě fialové barvy, což značí zásadité pH. Znamená to, že ke karbonataci betonu a následné korozi výztuže nedošlo.



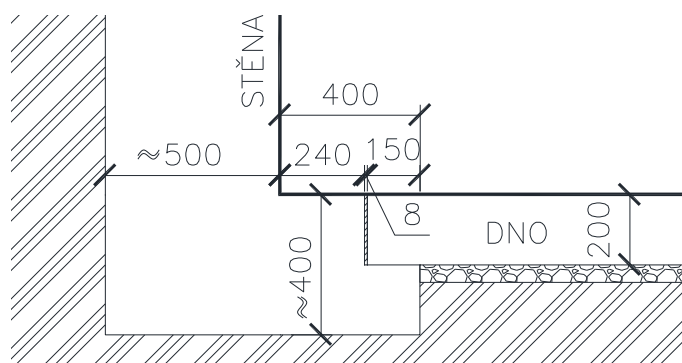
Obr. 36 Karbonatace sonda V1A. Obr. 37 Karbonatace sonda V1B. Obr. 38 Karbonatace sonda V3C.

4.4.6 Sekaná sonda v místě napojení dna a svislé stěny

Tato sekaná sonda byla provedena v druhém dilatačním celku na levé straně bazénu. Hloubka sondy činila celkem 127 mm v této hloubce byla odkryta výztuž dna, a to hladká výztuž průměru 8 mm. Ve skladbě konstrukce bazénu se nacházel jako izolace asfaltový tmel tloušťky 8 mm, izolace se nacházela 240 mm od svislé stěny. Pro zjištění celkové tloušťky dna v tomto místě byl proveden maloprofilový vrt, který pravděpodobně prošel deskou dna a základem do hloubky 400 mm.



Obr. 39 Sekaná sonda dna – celkový pohled a detail.



Obr. 40 Schéma napojení stěny a dna.

4.4.7 Odebrání a popis jádrových vývrtů

Pro odběr vzorků byl použit stojanový vrtací systém značky Hilti, model DD 120. Šlo o jádrové vrtání chlazené vodou. Odebrány byly 4 vývrty průměru 75 mm, 3 vývrty ze stěn a 1 ze dna bazénu. Materiál odebraných vývrtů byl v celé konstrukci stejnorodý. Jedná se o obyčejný hutný beton s těžným kamenivem s póry do 5 mm.

Vývrty odebrané ze stěn bazénu byly porušeny trhlinami, které probíhají konstrukcí svisle, rovnoběžně s jejím povrchem. Trhliny byly viditelné i v otvorech po odebraných jádrových vývrtech (viz obr. 41).



Obr. 41 Dokumentace trhliny v otvoru po jádrovém vrtání.

Jádrový vývrt V1

Jádrový vývrt V1 o celkové délce 29 cm byl odebrán v oblasti 1. Tloušťka teraca na povrchu činila 1 cm. Vývrt byl porušen příčnými trhlinami, rovnoběžnými s povrchem konstrukce, na tři části. Příčné trhliny procházely v hloubkách 6 a 20 cm.



Obr. 42 Jádrový vývrt V1.

Jádrový vývrt V2

Jádrový vývrt V2 o celkové délce 32 cm byl odebrán v oblasti 2. Tloušťka teraca na povrchu činila 1,2 cm. Vývrt byl porušen příčnými trhlinami na 4 části. Příčné trhliny procházely konstrukcí v hloubkách 7,5, 11 a 21,5 cm.



Obr. 43 Jádrový vývrt V2.

Jádrový vývrt V3

Jádrový vývrt V3 o celkové délce 30 cm byl odebrán v oblasti 3. Tloušťka teraca na povrchu činila 1,6 cm. Byl porušen na tři části příčnými trhlinami ve 4 a 8,5 cm. V odebraném vzorku se dále nacházela hustší síť trhlín, která vývrt ale neporušila.



Obr. 44 Jádrový vývrt V3.

Jádrový vývrt dna

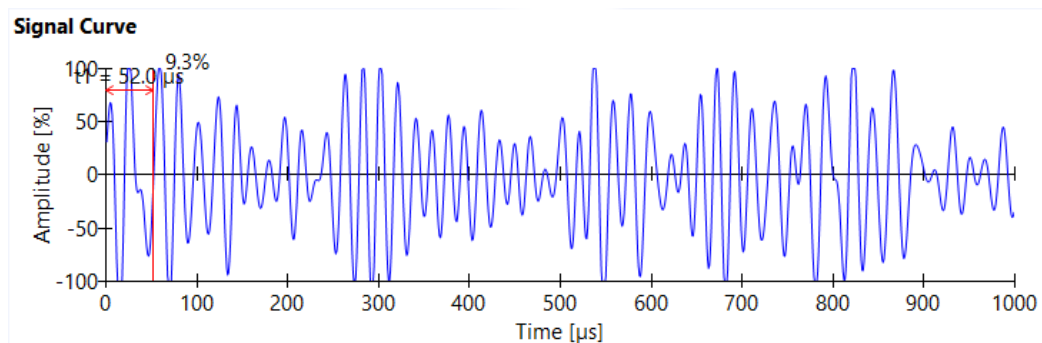
Jádrový vývrt dna byl odebrán v oblasti 4 a byl označen jako V4. Vývrt sloužil pro ověření celkové tloušťky a skladby dna. Délka odebraného vývrtu činila 21 cm. Tloušťka teraca na povrchu činila 1,2 cm. Společně s vývrtem byla odebrána i část podkladní vrstvy z hrubého kameniva.



Obr. 45 Jádrový vývrt dna V4.

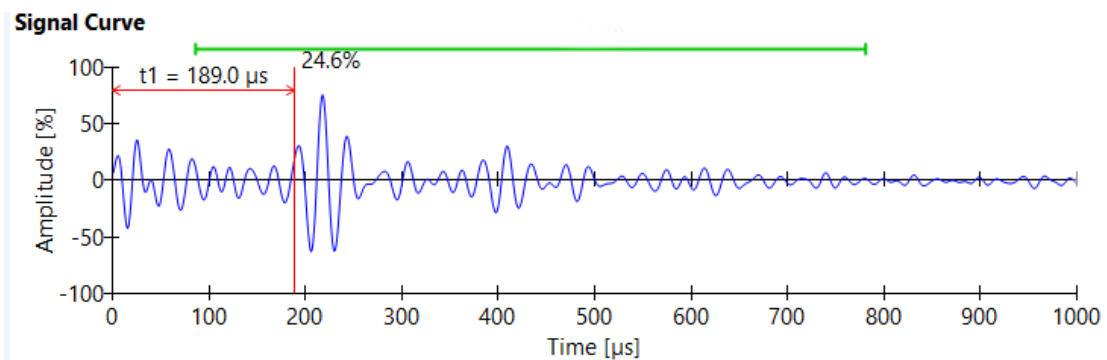
4.4.8 Stanovení tloušťky stěny a dna pomocí ultrazvuku

Pro stanovení tloušťky stěny byl použit ultrazvukový přístroj Pundit PL – 200 Pulse Echo. Při stanovení tloušťky svislé stěny bazénu se použití této metody ukázalo jako nevhodné. Měření nepříznivě ovlivnila povrchová vrstva teraca, která má jinou dobu průchodu než samotný beton, který tvoří zbytek konstrukce. Dále bylo měření znehodnoceno delaminací stěn.



Obr. 46 Záznam ultrazvukového měření stěny v oblasti 1.

Při stanovení tloušťky dna výsledky z ultrazvuku odpovídaly skutečné tloušťce, která byla zjištěna průvrtem dna. Rychlost ultrazvuku byla 2150 m/s, doba průchodu 189 μ s z toho vyplývá tloušťka konstrukce 0,203 m.



Obr. 47 Záznam ultrazvukového měření dna v oblasti 4.

4.4.9 Průvrt stěny

V oblasti 1 byl proveden průvrt stěny pro stanovení celkové tloušťky konstrukce. Průvrt byl proveden maloprofilovým vrtem průměru 20 mm pomocí vrtacího kladiva. Tloušťka konstrukce zjištěná průvrtem činila 49 cm.



Obr. 48 Hodnota průvrtu stěny vyznačená na použitém vrtáku.

4.4.10 Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu

Pro stanovení pevnosti povrchových vrstev v tahu byly provedeny zkoušky přídržnosti pomocí přístroje Proceq DYNA DY-216. Zkoušky byly provedeny v oblastech 1, 2 a 3. Zkoušky byly provedeny na obroušeném a očištěném povrchu teraca. Pro doplnění bylo stanoveno čtvrté místo – stěna bez teraca.



Obr. 49 Přehled zkušebních míst P1 – P4.



Obr. 50 Zkušební místa po odtrhu.

Z naměřených hodnot odtrhové síly v jednotlivých zkušebních místech byla stanovena průměrná pevnost v tahu (viz tab. 10).

Základní požadavek pevnosti povrchových vrstev betonu v tahu je $f_u \geq 1,4$ MPa a to u 80 % zjištěných hodnot, u zbývajících hodnot je požadavek pevnosti betonu v tahu $f_u \geq 0,8$ MPa [25].

Průměrná pevnost v tahu povrchové vrstvy teraca činila 1,25MPa, u podkladního betonu to bylo 1,02MPa. Výše zmíněný požadavek není dodržen a povrchové vrstvy nelze tedy pokládat za vhodné pro klasické sanační postupy.

Tab. 10 Výsledky pevnosti v tahu povrchových vrstev

Zkušební místo	Povrchová vrstva	Hl. vrstvy od původního povrchu [mm]	Pevnsot v tahu f_u [MPa]			Průměrná pevnost v tahu f_u [MPa]
			Zkušební místa:			
			1	2	3	
P1-T	Teraco	5	1,14	0,44	0,22	0,60
P2-T	Teraco	5	1,57	1,95	2,06	1,86
P3	Teraco	5	0,80	2,30	0,78	1,29
Průměr	Teraco					1,25
P1-B	Podkaldní beton	20	1,11	1,26	1,09	1,15
P4	Podkaldní beton	15	0,79	0,83	0,38	0,67
P4	Podkaldní beton	20	1,20	1,42	1,09	1,23
Průměr	Podkladní beton					1,02

4.5 Laboratorní zkoušky odebraných vzorků

Z odebraných jádrových vývrtů bylo zhotoveno 6 zkušebních těles průměru 75 mm a výšky 76 mm. Zkušební tělesa byla dále laboratorně zkoušena.

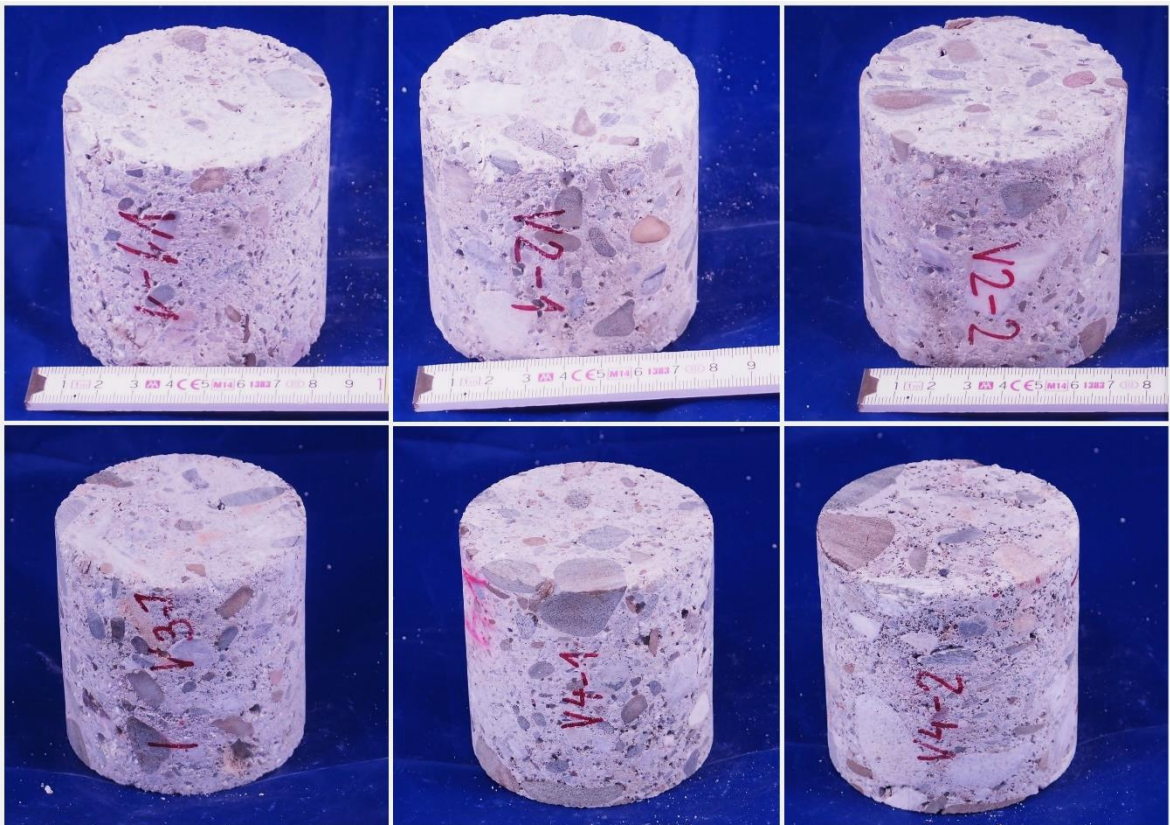
4.5.1 Popis zkušebních těles

Posouzení kameniva

Jedná se o těžné kamenivo poměrně velkého zrna. Největší rozměr zrna na povrchu vzorku byl 5 cm, jednalo se o zkušební těleso V4-1. Kamenivo bylo po výšce stejnoměrně rozloženo.

Zhutnění betonu – póry

Póry na povrchu těles byly do 5 mm.



Obr. 51 Přehled zkušebních těles o průměru 75 mm.

4.5.2 Charakteristiky zkušebních těles

Připravená zkušební tělesa byla v laboratoři zvážena a změřena digitálním posuvným měřítkem. Z naměřených hodnot byla stanovena objemová hmotnost těles v přirozeném stavu vlhkosti (viz tab.11).

Tab. 11 Charakteristiky zkušebních těles v přirozeném stavu vlhkosti.

Označení zkušebního tělesa	Průměr d [mm]	Výška h [mm]	Hmotnost m_r [g]	Přirozená objemová hmotnost D_r [kg/m ³]
V1-1	74,8	76,8	685,7	2032
V2-1	74,8	71,7	677,8	2151
V2-2	74,9	76,3	728,3	2166
V3-1	74,9	76,7	722,8	2139
V4-1	74,8	76,7	741,2	2199
V4-2	74,9	76,5	723,5	2146
Průměr:				2140

Výsledná přirozená objemová hmotnost činila v průměru 2140 kg/m³, což splňuje obecný požadavek minimální objemové hmotnosti 2000 kg/m³, který je dán normou ČSN EN 206²².

4.5.3 Vyhodnocení ultrazvukového měření

Na každém zkušebním tělese byla změřena doba průchodu impulzů ultrazvukových vln, následně byl vyhodnocen dynamický modul pružnosti a stanoven odhad statického modulu pružnosti. Změřené a stanovené hodnoty jsou uvedeny v tab.12.

Tab. 12 Stanovení modulu pružnosti.

Označení zkušebního tělesa	Doba průchodu pulsů UV vln [μs]				Rychlost ultrazvuku	Dynamický modul E_{cu}	Odhad statického modulu E_{cm}
	1	2	3	průměr	[m/s]	[GPa]	[GPa]
V1-1	20,4	20,1	19,9	20,1	3815	26,6	18,89
V2-1	19,7	19,8	18,6	19,4	3702	26,5	18,82
V2-2	18,0	17,9	18,0	18,0	4247	35,2	24,99
V3-1	19,2	19,6	19,6	19,5	3940	29,9	21,23
V4-1	17,9	18,1	17,8	17,9	4277	36,2	25,70
V4-2	18,6	18,5	18,7	18,6	4113	32,7	23,22
Průměr:					4016	31	22
Směrodatná odchylka:					±214	±4	±3

²² ČSN EN 206 +A1: Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda

Průměrná rychlost ultrazvukových pulzů činila 4016 m/s což značí, že se jedná o beton poměrně dobré kvality.

4.5.4 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku

Po stanovení základních charakteristik byla jednotlivá válcová tělesa upnuta v lisu a zatěžována konstantní silou, následně byla odečtena maximální síla při rozdrčení F . Tělesa se porušila do charakteristického tvaru přesýpacích hodin.



Obr. 52 Zkušební těleso v lisu, před zatížením a po zatížení.

Při vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku bylo postupováno dle ČSN EN 12390-3²³. Pro jednotlivá tělesa byl dle normy stanoven opravný součinitel štíhlosti $K_{c,cyl}$, opravný součinitel pro průměr válce 75 mm $K_{c,cube}$ a součinitel pro přepočet na krychelné pevnosti betonu v tlaku $K_{cyl,cube}$. Hodnoty jednotlivých součinitelů a výsledná krychelná pevnost jsou uvedeny v tab.13.

Tab. 13 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku.

Označení tělesa	Max. síla F [kN]	Štíhlost λ [-]	Koeficient štíhlosti $K_{c,cyl}$ [-]	Koeficient průměru $K_{c,cube}$ [-]	Válcová pevnost $f_{c,cyl}$ [MPa]	Koeficient krychelný $K_{cyl,cube}$ [-]	Krychelná pevnost $f_{c,cube}$ [MPa]
V1-1	96	1,03	0,86	0,93	17,5	1,252	21,9
V2-1	108	0,96	0,83	0,93	19,0	1,251	23,7
V2-2	135	1,02	0,86	0,93	24,5	1,249	30,6
V3-1	117,5	1,02	0,86	0,93	21,3	1,251	26,7
V4-1	158,5	1,03	0,86	0,93	28,8	1,247	36,0
V4-2	137	1,02	0,86	0,93	24,9	1,249	31,1
Průměr							28,3

²³ ČSN EN 12390-3, Zkoušení ztvrdlého betonu - Část 3: Pevnost v tlaku zkušebních těles.

4.5.5 Vyhodnocení charakteristické pevnosti podle ČSN 73 0038

Při vyhodnocení charakteristické pevnosti byl vyřazen vzorek V4-1. Ve vzorku se nacházelo velké zrno kameniva, které výsledek pevnosti nadhodnotilo.

Průměr:

$$m_x = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{133,2}{5} = 26,6 \text{ MPa} \quad (4.1)$$

Směrodatná odchylka:

$$s_x^2 = \frac{\sum (x_i - m_x)^2}{n - 1} = \frac{60,4}{5 - 1} = 15,1 \rightarrow s_x = 3,89 \quad (4.2)$$

Variační součinitel:

$$V_x = \frac{s_x}{m_x} = \frac{3,89}{26,6} = 0,146 \rightarrow V_x = 14,6\% \quad (4.3)$$

Charakteristická hodnota (dolní 5%kvantil):

Součinitel $k_{n,x}$ (pro V_x neznámý) je roven 2,33

$$X_k = m_x \cdot (1 - k_n \cdot V_x) = 26,6 \cdot (1 - 2,33 \cdot 0,15) = 17,6 \text{ MPa} \quad (4.4)$$

Zatřídění:

Pevnostní třída betonu dle ČSN EN 206: **C12/15**

Pevnostní třída dle ČSN 10901931-1956: **e**

4.5.6 Vyhodnocení pevnosti dle ČSN EN 13791

$f_{m(n),is,cube} = 26,6 \text{ MPa}$; $f_{is,cube,nejmenší} = 21,6 \text{ MPa}$; $n = 5$

$$f_{ck,is,cube} = f_{m(n),is} - k = 26,6 - 7 = \mathbf{19,6 \text{ MPa}} \quad (4.5)$$

$$f_{ck,is,cube} = f_{is,nejmenší} + 4 = 21,6 + 4 = 25,6 \text{ MPa} \quad (4.6)$$

Zatřídění:

Pevnostní třída betonu je **C15/20**.

Vyhodnocení dle ČSN EN 13791, která je primárně určena pro nové konstrukce, výslednou pevnost betonu in-situ mírně nadhodnotilo.

4.6 Vyhodnocení výsledků průzkumu

Na základě výsledků provedeného průzkumu lze konstatovat že konstrukce bazénu je ve velmi špatném stavu.

Při průzkumu byl stanoveny charakteristiky jako je pevnost betonu v tlaku a pevnost povrchových vrstev v tahu, dále byla posouzena míra karbonatace betonu, zjištěn způsob vyztužení a tloušťka konstrukce.

Vyhodnocením pevnosti betonu v tlaku byl beton zařazen do třídy C12/15, na dobu výstavby se jedná o běžnou pevnostní třídu. Dnes by však tato třída vzhledem k vlivu prostředí nebyla dostačující, ale stávající konstrukce může být využita jako ztracené bednění.

Povrchová vrstva teraca je poškozena jak trhlinami, tak i dutinami mezi teracem a nosnou konstrukcí. Trhliny procházejí povrchovou vrstvou až do nosné konstrukce. Zkoušky přídržnosti prokázaly nevhodnost povrchu teraca i samotného betonu k běžným sanacím.

Při odběru jádrových vývrtů bylo zjištěno porušení nosné konstrukce. Stěny jsou porušeny v různých hloubkách (zejména 40, 80 a 120 mm) a dochází k jejich separaci na jednotlivé části.

Zkouška fenolftaleinem prokázala, že nedocházelo ke karbonataci betonu a ocelová výztuž je stále pasivně chráněna proti korozi.

Byla ověřena tloušťka konstrukce, která u stěn činí 49 cm a u dna 21 cm, oproti původní dokumentaci jsou provedené stěny zhruba o 10 cm tenčí a deska dna o 5 cm tlustší.

Vyztužení je provedeno dle tehdejších způsobů a požadavků. Vyztuž je umístěna poměrně pravidelně ve formě pravoúhlého rastru s roztečemi zhruba 220 mm. Průměr výztuže činí 8 a 10 mm. Tento způsob vyztužení je z hlediska dnešních požadavků nevyhovující – velké rozteče, malé průměry, nevhodný typ výztuže.

Výplně spár, které dělí konstrukci na jednotlivé dilatační celky, jsou degradované. Tento způsob provedení konstrukce není pro její účel vhodný.

Římsa, která tvoří přechod stěn a přilehlého terénu je značně poškozena, jde především o její oddělení od podkladní vrstvy.

4.7 Možné využití

Stávající stav konstrukce komplikuje jakýkoliv návrh oprav. Stěžejními problémy jsou:

- separace stěn,
- nedostatečná tahová pevnost povrchových vrstev,
- poškození povrchových vrstev trhlinami,
- nevhodný způsob vyztužení.

Případné opravy by musely zahrnovat:

- odstranění celé povrchové vrstvy teraca
- odstranění a nahrazení nesoudržných vrstev betonu až do hloubky trhlin (včetně náhrady výztuže),
- zhotovení nového teraca jako povrchové vrstvy,
- zhotovení nové římsy.

Je patrné že provedené opravy by zasáhly do celé konstrukce a bazén by tak ztratil veškerou svoji historickou hodnotu. Případné opravy by byly velmi nákladné, technologicky náročné až nereálné. Otázkou také je, zda by stejné provedení konstrukce jako v roce 1938 vůbec udrželo vodu a zda by nová povrchová vrstva teraca vyhovovala dnešním hygienickým požadavkům na konstrukce bazénů.

4.7.1 Ideový návrh sanace

Stávající konstrukci lze využít jako základ, nebo bednění pro zhotovení nové konstrukce. Konstrukce nového bazénu by byla zhotovena ze současných materiálů. Například by se jednalo o vytvoření nerezové vany, která by byla osazena do stávající konstrukce a přesně by kopírovala její tvar. Korunní římsa by byla provedena z pískovce ve tvaru a barvě původní římsy z 1. pol. 20. století. Tvarově by byl zachován barokní styl a nový bazén by nenarušoval okolí zámku a přilehlého zámeckého parku.



Obr. 53 Vizualizace sanace bazénu od firmy Euro Wellness.

5 ZÁVĚR

Bakalářská práce se v obecné rovině zabývala problematikou hodnocení historických železobetonových konstrukcí postavených před druhou světovou válkou, v praktické části je zpracován vybrané historické železobetonové konstrukce

Teoretická část bakalářské práce je rozdělena do dvou kapitol. V první kapitole byl zpracován přehledný vývoj jak betonového stavitelství, tak jednotlivých složek železobetonu od počátku stavitelství do období 2. světové války. Pro srovnání s dnešními materiály byly uvedeny některé parametry materiálů z 1. poloviny 20. století. K jejich charakterizaci byla využita jak dobová literatura, tak i platné normy ČSN ISO 13822 a ČSN 73 0038. V druhé kapitole teoretické části byla uvedena některá specifika hodnocení historických konstrukcí, včetně druhů průzkumů a používaných diagnostických metod, včetně jejich rozsahu nutného pro stavebně technické průzkumy dle Technických podmínek SSBK.

Na rešeršní část navazuje ryze praktická část práce. V té byl zdokumentován stávající stav a proveden diagnostický průzkum architektonicky cenné konstrukce bazénu z konce 30. let 20. století. Bazén je dlouhodobě nevyužívaný a nachází se ve velmi špatném stavu. Vzhledem k charakteru konstrukce a finančním možnostem investora byl naplánován diagnostický průzkum v nejmenším možném rozsahu. Při průzkumu byly použity jak nedestruktivní, tak destruktivní metody a dále bylo provedeno laboratorní vyhodnocení odebraných vzorků. Všechny provedené zkoušky in-situ byly v práci popsány a vyhodnoceny. Z destruktivních metod šlo o odběr jádrových vývrtů a provedení sekaných sond. Z nedestruktivních metod bylo použito ultrazvukové měření, elektromagnetický indikátor a georadar. Pomocí nedestruktivní a destruktivní lokalizace výztuže byl zjištěn způsob a stav vyztužení, který je dnes zcela nevyhovující. Na základě vyhodnocení laboratorních zkoušek byla zjištěna dle normy ČSN EN 12390-3 krychelná pevnost betonu v tlaku, která v průměru činila 28,3 MPa. po zatřídění pomocí normy ČSN 73 0038 byl beton vyhodnocen jako beton třídy C 12/15. Na základě výsledků průzkumu bylo provedeno jeho vyhodnocení, posouzení možného využití a uveden byl i ideový návrh sanace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] SEIDLEROVÁ, Irena a Jiří DOHNÁLEK. *Dějiny betonového stavitelství*. 1. vydání. Praha: Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě, 1999. Betonové stavitelství. ISBN 80-863-6401-1.
- [2] VORLÍK, Petr. *Dějiny architektury dvacátého století*. 1. vydání. Praha: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04517-6.
- [3] WITZANY, Jiří, Richard WASSERBAUER, Tomáš ČEJKA, Klára KROFTOVÁ a Radek ZIGLER. *Obnova a rekonstrukce staveb: poruchy, degradace, sanace*. 2. přepracované vydání. V Praze: České vysoké učení technické, 2018. ISBN 978-80-01-06360-6.
- [4] KAZDA, Jaromír, Jan LACINÝ a Zdeněk SCHWARZ. *Železový beton*. Praha: O. Pyšvejc, 1931. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:bee77500-26fd-11e6-b821-5ef3fc9bb22f>.
- [5] BECHYNĚ, Stanislav. *Stavitelství betonové: Díl I, Vlastnosti složek a zásady vyztužování*. V Praze: Česká matice technická s podporou ministerstva školství a národní osvěty, 1934. Spisy České matice technické.
- [6] ROVNANÍKOVÁ, Pavla, Patrik BAYER a Lubomír VÍTEK. Hlinitanový cement jako pojivo konstrukčního betonu - stav betonu z konstrukce mostu po padesáti letech. *BETON - technologie, konstrukce, sanace* [online]. 2007, 2007(3), 1-2 [cit. 2018-11-18]. Dostupné z: http://www.betontks.cz/sites/default/files/2007-3-48_0.pdf
- [7] ČSN EN 197-1: Cement - Část 1: Složení, specifikace a kritéria shody cementů pro obecné použití. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [8] ČSN EN 12620+A1 (721502) A Kamenivo do betonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [9] BREBERA, Antonín. *Stavební kontrola při betonových stavbách*. V Praze: A. Brebera, 1929.
- [10] FAKTOR, František a Julius JANOVSKÝ. *Kronika práce, osvěty, průmyslu a nálezů*. V Praze: I. L. Kober, 1908. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:ac2f2d9c-cfe8-4820-bdae-627bd3be9ddb>

- [11] ČSN 73 0038 (730038) *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení*. b.r.
- [12] ČSN 42 0139: *Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel žebírková a hladká*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [13] ČSN EN 10080: *Ocel pro výztuž do betonu - Svařitelná betonářská ocel - Všeobecně*. Praha: Český normalizační institut, 2005. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [14] ČSN EN 10027-1 (420011): *Systémy označování ocelí - Část 1: Stavba značek oceli*. 2. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [15] ČSN EN 1992-1-1: *Eurokód 2: Navrhování betonových konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby*. Praha: Český normalizační institut, 2006. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [16] KLOKNER, František a Jaroslav FIDLER. *Vyztužený beton.: Jeho upotřebení a výpočty hlavně k účelům pozemního stavitelství*. 1. vydání. Praha: Nakladatelství F. Šimáčka, 1909.
- [17] CZUMALO, Vladimír, Ivana MAXOVÁ a Karel KIBIC. *Péče o architektonické dědictví: sborník prací : vybrané kapitoly k tématu*. 1. vydání. Praha: Idea servis, 2008. Památková péče. ISBN 978-80-85970-67-8.
- [18] BREBERA, Antonín. *Navrhování betonových staveb podle československé normy ČSN 1090-1931: Zvláštní otisk z přílohy „Beton“ časopisu „Zprávy veřejné služby technické“*. Praha: Nákladem vlastním, 1932.
- [19] *Stručný výtah ze stavebního řádu a stavební předpisy*. 2., rozmn. vyd. Praha: Oldřich Pyšvejc, 1932.
- [20] *Navrhování betonových staveb podle československé normy ČSN 1090-1931*. Praha: Nákladem vlastním, 1932.
- [21] ZICH, Miloš. *Příklady posouzení betonových prvků dle eurokódů*. Praha: Dashöfer, 2010. ISBN 978-80-86897-38-7.
- [22] *Obnova památek: sborník příspěvků k ... ročníku konference na téma ..* Praha: Studio Axis, spol. s r.o, 2001. ISBN 978-80-904081-7-3.
- [23] *Betonové konstrukce památek a hodnocení na základě užití NDT metod - TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/14612-betonove-konstrukce-pamatek-a-hodnoceni-na-zaklade-uziti-ndt-metod>

- [24] MENCL, Vojtěch. *Stavebně technické průzkumy: MP 8.1 : metodická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2012. Metodické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-80-87438-27-5.
- [25] HOLICKÝ, Milan. *Základy hodnocení existujících konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, Kloknerův ústav, 2013. ISBN 978-80-01-05419-2. Dostupné také z:
https://www.spsstavcb.cz/download2/235_1862_cs_zaklady_hodnoceni_existujících_konstrukci_cb.pdf
- [26] DROCHYTKA, Rostislav. *Technické podmínky pro sanace betonových konstrukcí TP SSBK III*. Brno: Sdružení pro sanace betonových konstrukcí, 2012. ISBN 978-80-260-2210-7.
- [27] ČSN 73 2011 (732011) *Nedestruktivní zkoušení betonových konstrukcí*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [28] STRAKOŠ, Martin. *Nádraží Ostrava - Vítkovice: historie, architektura, památkový potenciál*. Praha: Národní památkový ústav, 2017. ISBN 978-80-87967-14-0.
- [29] ČSN EN 12390-7 (731302) *A Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 7, Objemová hmotnost ztvrdlého betonu = Testing hardened concrete. Part 7, Density of hardened concrete*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [30] ČSN EN 12390-3 (731302) *A Zkoušení ztvrdlého betonu. Část 3, Pevnost v tlaku zkušebních těles = Testing hardened concrete. Part 3, Compressive strength of test specimens*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>
- [31] ČSN 73 0038: *Hodnocení a ověřování existujících konstrukcí - Doplnující ustanovení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [32] ANTON, Ondřej, Petr CIKRLÉ a Věra HEŘMÁNKOVÁ. *Zkušenosti s georadarem při stavebně technických průzkumech - TZB-info* [online]. b.r. [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/beton-malty-omitky/10800-zkusenosti-s-georadarem-pri-stavebne-technicky-pruzkumech>
- [33] Památkový katalog. *Národní památkový ústav* [online]. Praha, 2015 [cit. 2019-02-28]. Dostupné

z:<https://pamatkovykatalog.cz?element=12406173&action=element&presenter=ElementsResults>

- [34] UNGER, Josef a Metoděj ZEMEK. *Napajedla: minulost a současnost města*. 1. vydání. Napajedla: Městský národní výbor, 1972.
- [35] ANTON, Ondřej. *Vyhodnocení radarového snímku*. Brno, 2018.
- [36] Marushka - Mapový aplikační server... *Nahlížení do katastru nemovitostí* [online]. Praha: Český úřad zeměměřický a katastrální, c 2014-2019 [cit. 2019-03-26]. Dostupné z: <https://nahlizenidokn.cuzk.cz/>
- [37] KEBRLOVÁ, Eva. *Stavebněhistorický průzkum zámku v Napajedlích*. Břeclav, 1997.

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Srovnání nepoužívanějších cementů v 1. pol. 20. století [5].	12
Tab. 2 Přehled dnešních cementů [7].	13
Tab. 3 Pevnosti výztužných ocelí z 1. pol. 20. stol [11].	17
Tab. 4 Zatřídění betonářské výztuže [11].	18
Tab. 5 Charakteristiky současné výztuže [12] [13].	19
Tab. 6 Pevnosti betonů dané předpisem z roku 1907 [16].	20
Tab. 7 Zatřídění betonu dle ČSN 73 0038.	21
Tab. 8 Přehled používaných vizuálních metod [25].	28
Tab. 9 Metody pro stanovení fyzikálně – mechanických vlastností betonu [25].	29
Tab. 10 Výsledky pevnosti v tahu povrchových vrstev	58
Tab. 11 Charakteristiky zkušebních těles v přirozeném stavu vlhkosti.	60
Tab. 12 Stanovení modulu pružnosti.	60
Tab. 13 Vyhodnocení pevnosti betonu v tlaku.	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Závislost pevnosti betonu na množství vody uváděna v roce 1929 [9].	15
Obr. 2 Deska Monierova [16].	23
Obr. 3 Echo metoda prozvučování konstrukce.	30
Obr. 4 Provádění odtrhové zkoušky.	30
Obr. 5 Jádrové vrtání – stojanový vrtací systém Hilti DD120.	31
Obr. 6 Záznam plošného radarového skenu přístrojem Hilti PS1000.	34
Obr. 7 Pořízení záznamu pomocí Profometru PM-630.	35
Obr. 8 Výřez původní dokumentace bazénu [37].	38
Obr. 9 Situace areálu zámku s vyznačením polohy bazénu [36].	38
Obr. 10 Celkový pohled na bazén.	39
Obr. 11 Pohled na osvětlovací šachtice a svislé dilatační spáry.	40
Obr. 12 Zapuštěný žebřík – pohled na celek a detail.	40
Obr. 13 Povrchová vrstva – vyleštěné světlé teraco.	40
Obr. 14 Detail provedení okrajové římsy.	41
Obr. 15 Celkový pohled na stav dilatační spáry.	42
Obr. 16 Stav dilatační spáry – detail.	42
Obr. 17 Degradace teraca na svislé stěně.	42
Obr. 18 Dno bazénu – vysprávký z druhé pol. 20. stol.	43
Obr. 19 Dno bazénu – vysprávký.	43
Obr. 20 Poškozená římsa bazénu.	43
Obr. 21 Celkový pohled na vnější stav osvětlovacích šaachtic.	44
Obr. 22 Situace plánu průzkumu – oblasti zkoušení.	45
Obr. 23 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 1.	46
Obr. 24 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 2.	46
Obr. 25 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 3.	47
Obr. 26 Schéma rozmístění zkoušek – oblast 4.	47
Obr. 27 Plošný radarový sken stěny bazénu [34].	48
Obr. 28 Plošný radarový sken dna bazénu [34].	48
Obr. 29 Průběh svislé výztuže v oblasti 1 - krytí, rozteč, průměr.	49
Obr. 30 Průběh vodorovné výztuže v oblasti 1 - krytí, rozteč.	49
Obr. 31 Průběh svislé výztuže v oblasti 3 - krytí, rozteč, průměr.	50
Obr. 32 Průběh vodorovné výztuže v oblasti 3 - krytí, rozteč.	50
Obr. 33 Sekaná sonda V3C	51
Obr. 34 Sekaná sonda V1B	51
Obr. 35 Sekaná sonda V1A.	51
Obr. 36 Karbonatace sonda V1A.	51
Obr. 37 Karbonatace sonda V1B.	51
Obr. 38 Karbonatace sonda V3C.	51

Obr. 39 Sekaná sonda dna – celkový pohled a detail.....	52
Obr. 40 Schéma napojení stěny a dna.	52
Obr. 41 Dokumentace trhliny v otvoru po jádrovém vrtání.....	53
Obr. 42 Jádrový vývrt V1.....	53
Obr. 43 Jádrový vývrt V2.....	54
Obr. 44 Jádrový vývrt V3.....	54
Obr. 45 Jádrový vývrt dna V4.....	55
Obr. 46 Záznam ultrazvukového měření stěny v oblasti 1.....	55
Obr. 47 Záznam ultrazvukového měření dna v oblasti 4.	56
Obr. 48 Hodnota průvrtu stěny vyznačená na použitém vrtáku.....	56
Obr. 49 Přehled zkušebních míst P1 – P4.	57
Obr. 50 Zkušební místa po odtrhu.....	57
Obr. 51 Přehled zkušebních těles o průměru 75 mm.	59
Obr. 52 Zkušební těleso v lisu, před zatížením a po zatížení.....	61
Obr. 53 Vizualizace sanace bazénu od firmy Euro Wellness.....	64