

**STAVEBNĚ TECHNICKÝ PRŮZKUM
OBJEKTU REICHŮV JEZ VALAŠSKÉ MEZIŘÍCÍ**

ZPRÁVA č. 115 / 2020

Objednatel: **Povodí Moravy, s.p.**
Dřevařská 932/11
602 00 Brno

Spolupracovali: **Doc. Ing. Jiří Brožovský, CSc.**
Ing. Zdeněk Šnirch, Ph.D.
Ing. Roman Kepák
Ing. Tomáš Žlebek

V Brně dne 30.8.2020

Ing. Roman Kepák
vedoucí sekce diagnostika staveb

Prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr.h.c.
vedoucí znaleckého ústavu

OBSAH

1.	ÚVOD.....	4
1.1.	ROZSAH STP	4
2.	POPIS A IDENTIFIKACE KONSTRUKCE	5
2.1.	LOKALIZACE	10
2.2.	ROZDĚLENÍ OBJEKTU	11
3.	METODIKA ZKOUŠEK	12
3.1.	POPIS STAVU ŽELEZOBETONOVÝCH PRVKŮ A OSTATNÍCH POSUZOVANÝCH KONSTRUKCÍ	12
3.2.	ROZSAH PORUŠENÍ POVRCHOVÉ VRSTVY BETONU	12
3.3.	ROZSAH OBNAŽENÍ A MÍRA KOROZE VÝZTUŽNÉ OCELI	12
3.4.	POPIS STAVU JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ	13
3.5.	PEVNOST BETONU V TLAKU	13
3.6.	PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU	13
3.7.	HLOUBKA KARBONATACE FENOLFTALEINOVÝM TESTEM	13
3.8.	TLOUŠŤKA KRYCÍ BETONOVÉ VRSTVY	13
3.9.	VODOTĚSNOST BETONU	13
3.10.	MRAZUVZDORNOST BETONU	14
3.11.	MÍRA DEGRADACE BETONU	14
3.11.1.	CHEMICKÝ ROZBOR	16
3.11.2.	RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA (XRF ANALÝZA)	16
3.11.3.	DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA	16
3.11.4.	STANOVENÍ HODNOTY PH	16
3.12.	FOTODOKUMENTACE	17
4.	VÝSLEDKY PRŮZKUMU A ZKOUŠEK	18
4.1.	PEVNOST BETONU V TLAKU	18
4.2.	PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU	23
4.3.	HLOUBKA KARBONATACE	24
4.4.	TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY BETONU NAD VÝZTUŽÍ	24
4.5.	MRAZUVZDORNOST BETONU	24
4.6.	VODOTĚSNOST BETONU	25
4.7.	MÍRA KOROZE VÝZTUŽE	25
4.8.	VÝSLEDKY FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝCH ZKOUŠEK BETONŮ	26
4.8.1.	CHEMICKÝ ROZBOR	26
4.8.2.	RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA	26
4.8.3.	DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA	27
4.8.4.	STANOVENÍ pH BETONU VE VÝLUHU	27
4.8.5.	ZAŘAZENÍ VZORKŮ BETONU DO ETAPY KARBONATACE	27

4.8.6. POSOUZENÍ MÍRY DEGRADACE BETONU	28
4.9. ROZSAH POŠKOZENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ.....	29
5. ZHODNOCENÍ STAVEBNĚ TECHNICKÉHO STAVU KONSTRUKCÍ	35
5.1. PEVNOSTI BETONU V TLAKU	35
5.2. HLOUBKA KARBONATACE BETONU A TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY BETONU NAD VÝZTUŽÍ.....	35
5.3. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU.....	35
5.4. MRAZUVZDORNOST BETONU	35
5.5. VODOTĚSNOST BETONU.....	36
5.6. MÍRA KOROZE VÝZTUŽE.....	36
5.7. ROZSAH POŠKOZENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ.....	36
5.8. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝCH ANALÝZ.....	37
6. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	38
6.1. POSOUZENÍ ŽIVOTNOSTI, ZÁVAŽNOSTI VAD A NUTNOSTI SANACE ..	38
6.2. NÁVRH OPTIMÁLNÍ TECHNOLOGIE A ROZSAHU SANACE.....	38
6.3. EKONOMICKÁ ROZVAHA OPRAV	40

1. ÚVOD

Na základě smlouvy uzavřené mezi Povodí Moravy, s.p. a Stavexis s.r.o. provedl znalecký ústav Stavexis s.r.o. stavebně technický průzkum (dále jen STP) objektu Reichova Jezů ve Valašském Meziříčí. STP byl proveden v srpnu 2020..

1.1.ROZSAH STP

Rozsah STP je uveden v následující tabulce.

Tabulka č.1.

TYP ZKOUŠKY	rozsah zkoušek	
Akustické trasování, kontrola trhlin, vizuální posouzení, vady s vlivem na statiku, prověření stavu dna vpichem do dna (výmoly, kaverny) u paty pod žebry a tělesem jezu, geometrické imperfekce, fotodokumentace	1	ks
Stanovení pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu	15	ks
Odběr jádrových vývrtů průměru 100mm - stanovení pevnosti betonu v tlaku	6	ks
Nedestruktivní stanovení pevnosti betonu v tlaku	36	ks
Stanovení hloubky karbonatace - FF test	12	ks
Tloušťky krycí vrstvy nad výztuží	12	ks
Stanovení mrazuvzdornosti betonu	3	ks
Odběr jádrových vývrtů průměru 150mm - Stanovení vodotěsnosti betonu	3	ks
Stanovení rozsahu, obnažení a míry koroze výztužné oceli	6	ks
Fyzikálně chemický rozbor degradace betonu	3	ks

Rozsah prací STP obsahoval i zapravení destruktivních zásahů do konstrukce. Zapravení bylo provedeno vodostavebním rychle tuhoucím betonem.

2. POPIS A IDENTIFIKACE KONSTRUKCE

Název vodního díla:	Reichův jez
Vodní tok:	Rožnovská Bečva
Číslo HM:	HM221503
Kategorie díla z hlediska dohledu:	IV.
Katastrální území:	Krásno nad Bečvou
Kraj:	Zlínský

Reichův jez na Rožnovské Bečvě ř. km 3,025 ve Valašském Meziříčí byl vybudován v roce 1928. Jedná se o vodní dílo IV. kategorie. Přepadová hrana pevného železobetonového jezu provedená v oblouku vzepnutém proti vodě má délku 49,7 m a vzdálenost lícních zdí křídel jezu činí 48 m. Jez je deskové konstrukce s příčnými žebry s 18 otevřenými komorami - tzv. typ Ambursen. Jednotlivé komory jsou odděleny železobetonovými žebry tloušťky 60 cm, délky 4 m. Osová vzdálenost jednotlivých žebů je 3 m. Čelní stěnu jezu proti vodě tvoří železobetonová deska tloušťky 50 cm. Horní železobetonová nosná deska jezu tloušťky 25 cm je šikmá se sklonem 1:4, na okrajích je provedeno zesílení náběhem. Přelivná plocha je železobetonová, šikmá se sklonem 1:4, s povrchovou úpravou z 15 cm betonu s příměsí čedičové drti odolné proti obrusu, vyztužení je pomocí kari sítí. Těsnění objektu zajišťuje od opravy v roce 1975 larsenová stěna délky 6 m zaražená v předprsí jezu. Výška jezu je 2,5 m. Podjezí nemá zpevněný vývar. Lícní zdi jsou provedeny z betonu a horní hrana na pravém břehu je o 40 cm níže než na levém břehu. Při pravém břehu je vtokový objekt do bývalého náhonu (dnes využíván pro MVE p. Kubeša) se šterkovou a jalovou propustí o světlé šířce 4,00 m s uzavíratelnými stavidly (2x 2,0 m a výškou 1,5 m). Horní hrana stavidel je uložena do stejné výšky jako horní hrana jezové koruny. Před vtokem z řeky do pravobřežního nápusného objektu jsou osazeny česle - čtyři kusy, o rozměrech 1,4 m (šířka) x 1,3 m (výška). Vtok do náhonu je uzavřen stavidlem o světlé šířce 3,0 m (2x 1,5 m, světlá výška okenice činí 1,4 m). Na levém břehu je opera jezu s betonovými křídly v délce 7,8 m od lícní stěny měřeno šikmo a proti vodě (8,1 m od lícní stěny šikmo měřeno po vodě v oblouku), na pravém břehu je to opera s betonovým křídlem šikmo proti vodě na délku 30,2 m od středu struhy. Pravý břeh pod jezem je dlážděn od jalové propusti na délku 17,1 m. Protože se jedná o pevný jez, manipulační řád se nezpracovává.

Popis současného stavu a provedených oprav v posledních letech:

Jak bylo výše zmíněno, v roce 1975 byla provedena larsenová stěna s dobetonováním prostoru předprsí pro zamezení průsaků. V roce 2012 byla provedena pomístní oprava přelivné plochy jezu (cca 20%). V rámci této opravy byly také opraveny zdi pravobřežní propusti jezu.

V roce 2019 při TBD prohlídce byly zjištěny následující závady:

Pomístní porušení přelivné plochy průchodem šterků při povodňové situaci květnu 2019. Pomístní praskliny v nosné desce nad žebry a v žebrech, zjištěné v květnu 2019.

Nánosy šterků v podjezí, naplavené při povodňové situaci v květnu 2019.

Níže z dostupných podkladů a na kopiích dostupné projektové dokumentace jsou uvedeny základní tvary konstrukce. Rozdělení na jednotlivé konstrukční celky a jejich části je uvedeno v následujících kapitolách.



Schéma č.1: Katastrální situace jezu

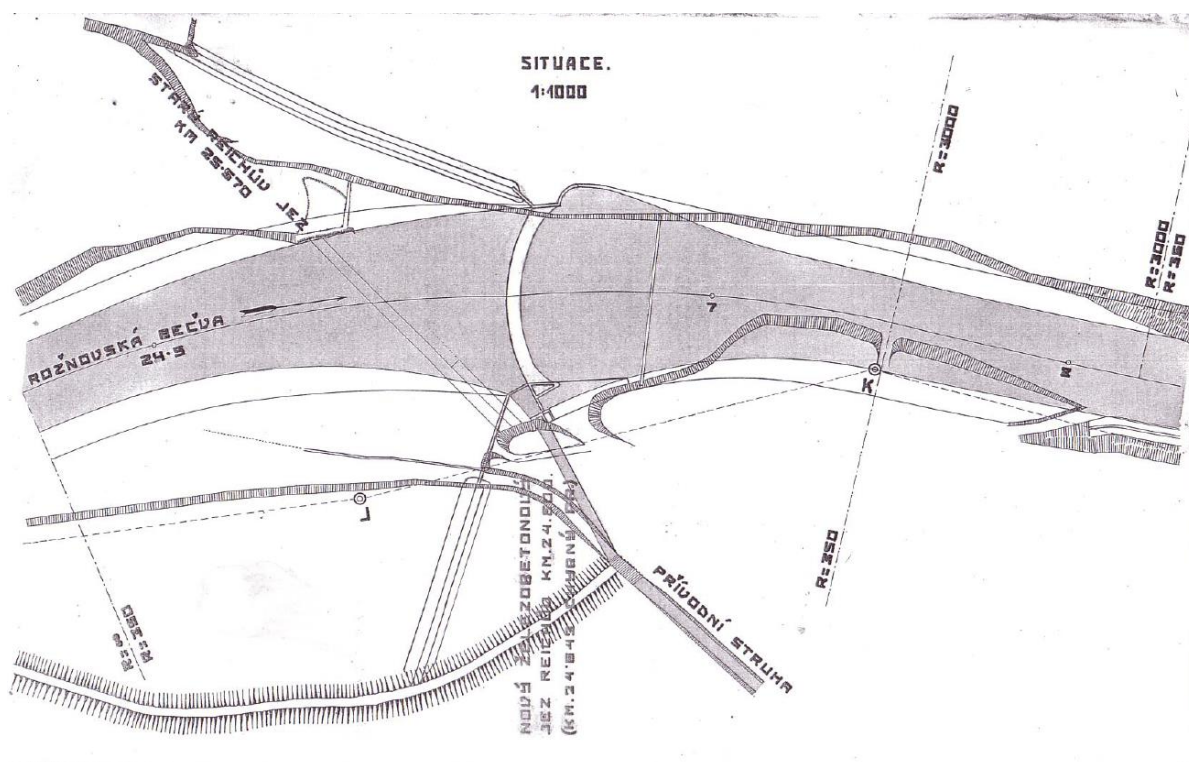


Schéma č.2: Situace z původní dokumentace jezu.

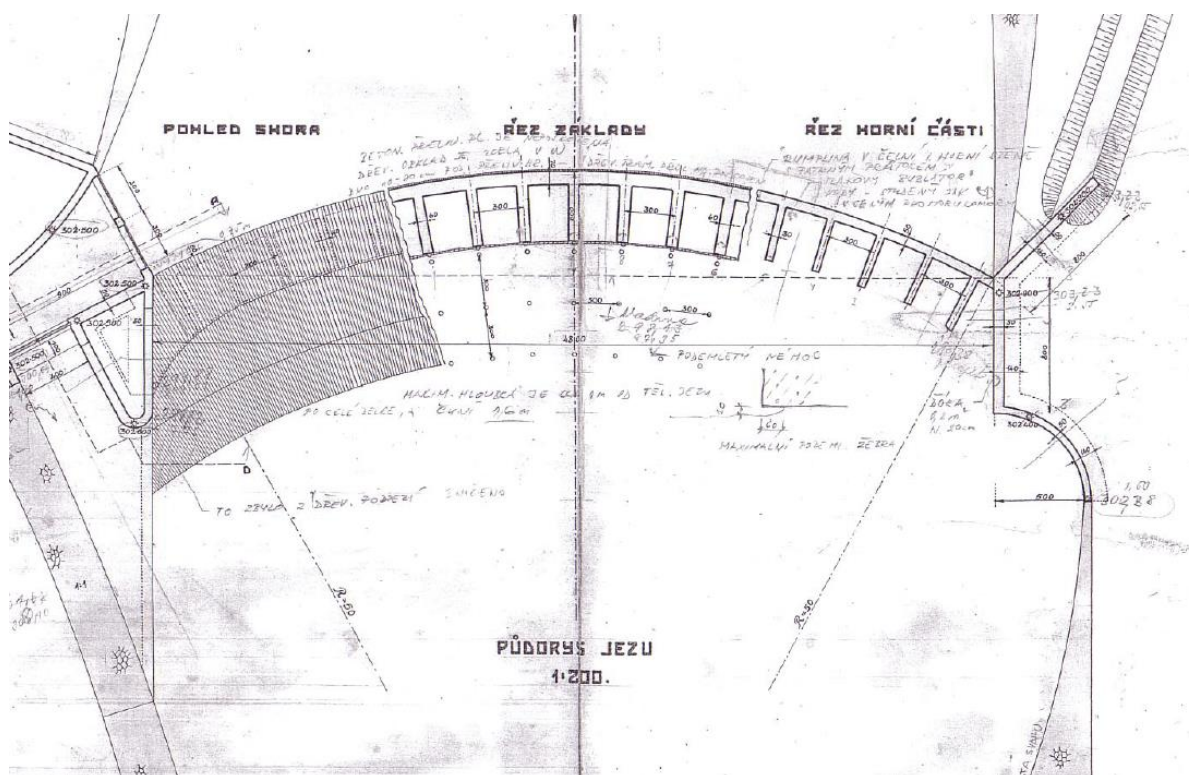


Schéma č.3: Půdorys z původní dokumentace jezů.

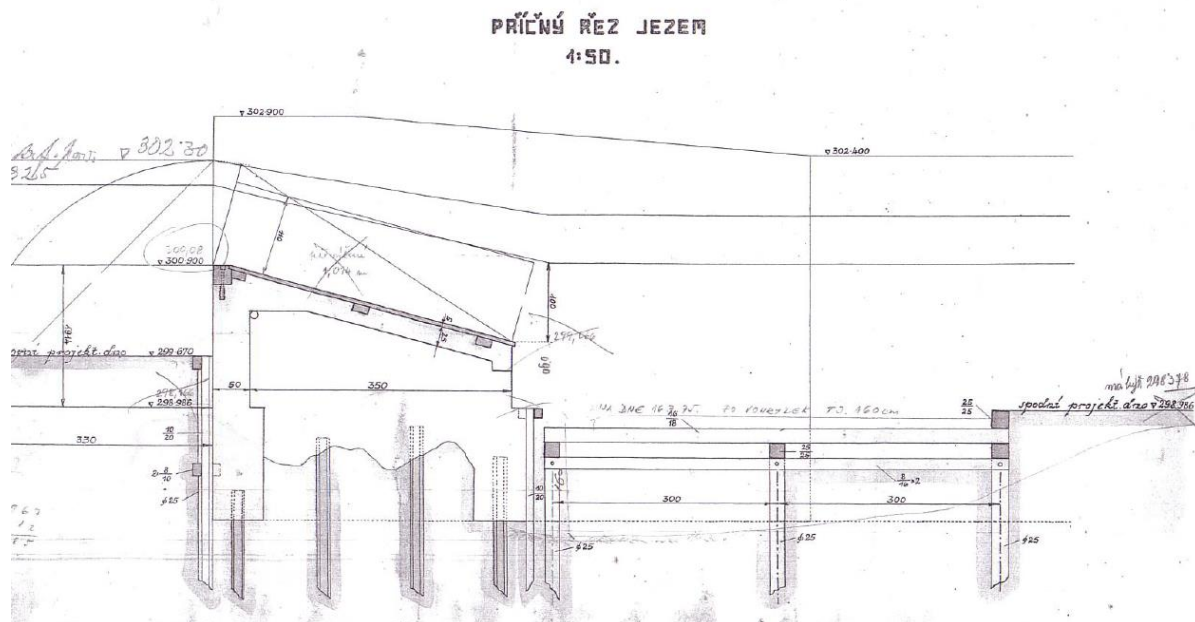


Schéma č.4: Příčný řez z původní dokumentace jezů

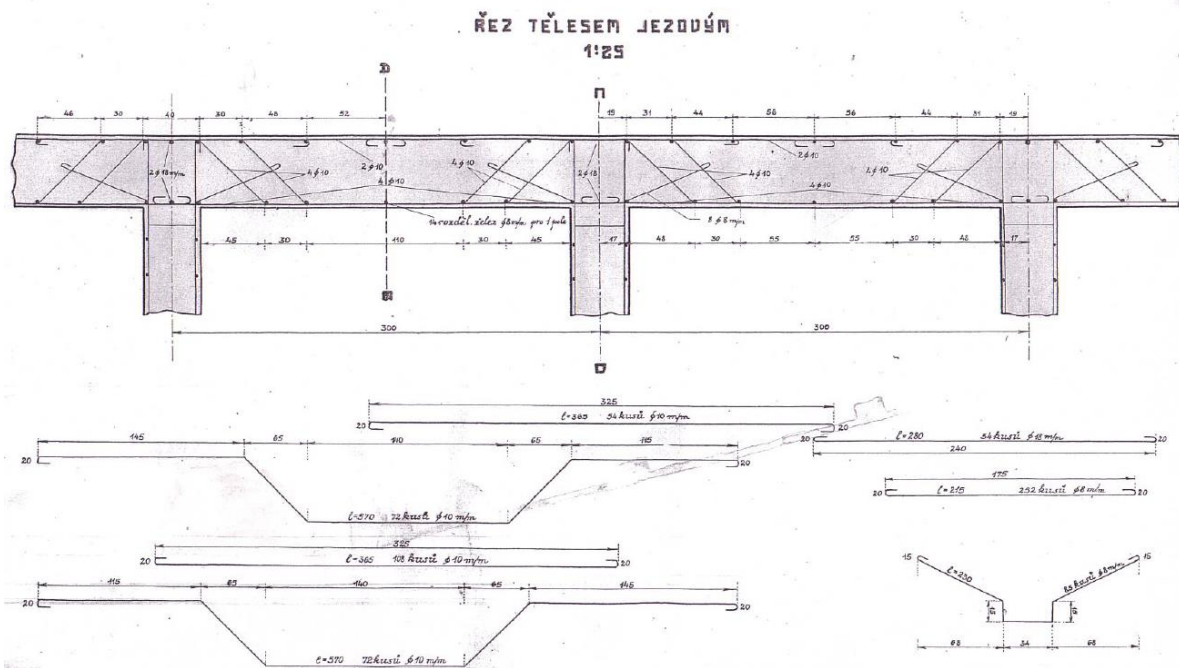


Schéma č.5: Řez tělesem stěny a žebér z původní dokumentace jezu.

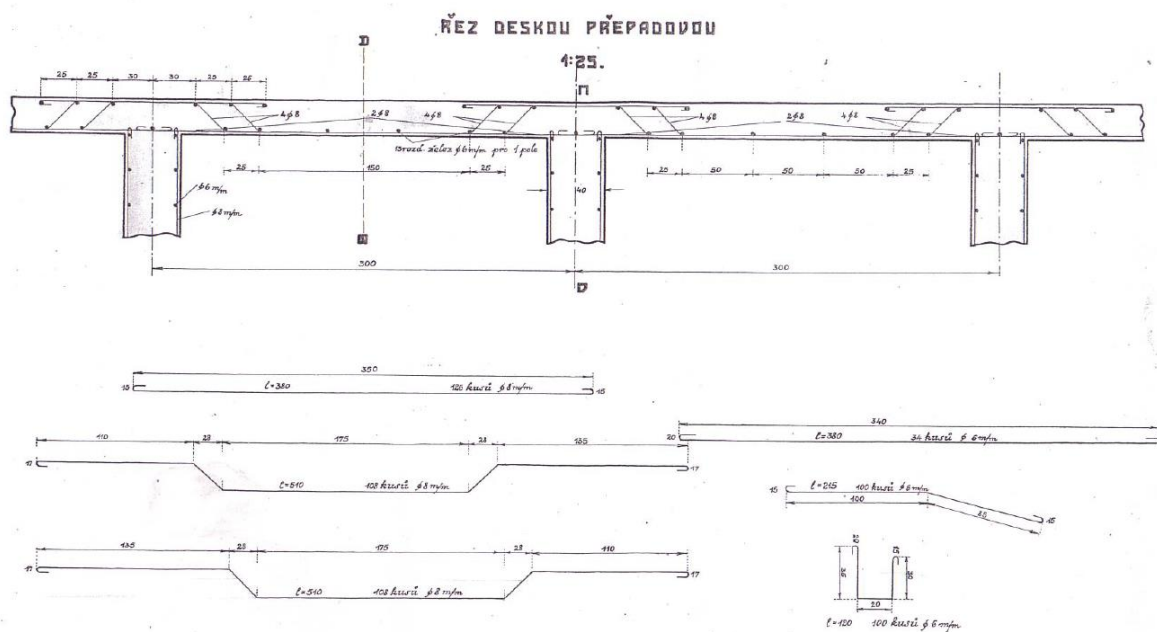
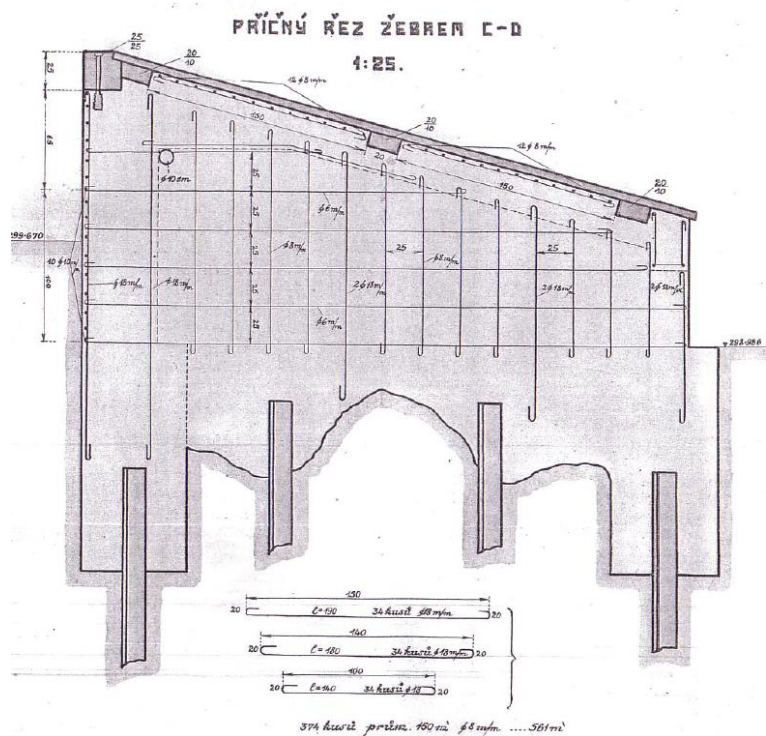


Schéma č.6: Řez přepadovou deskou z původní dokumentace jezu.



TABULKA NOSNÉ ARMATURY

Druh armatury	Ukázka	h v m	kusů	délka v m	celkem
Armatura nosná	v čele jezu	10 mm	182	à 3.65	1.412 m
		10 mm	144	à 5.70	
	v přepravní části	8 mm	126	à 3.80	1.581 m
			216	à 5.10	
	v žebrech	18 mm	102	prům. 1.50	153 m
		8 mm	374	" 1.50	561 m
	v převlaku náhonovém	18 mm	4	à 4.00	16 m
		10 mm	35	à 1.30	72 m
Armatura vpuštěná	v převlaku vpuštěném	18 mm	4	à 7.00	28 m
		10 mm	41	à 7.00	186 m
			75	à 1.40	
	v káse nad řek. propustí	8 mm	6	à 6.50	50 m
			5	à 2.10	
Uložena			1274		4.059 m

Schéma č.7: Příčný řez žebrem z původní dokumentace jezu.

2.1. LOKALIZACE

Přesná poloha jezu: Řeka Bečva, říční km 3,025, Povodí Moravy. GPS: 49.4741872N, 17.9934156E



Schéma č.8: Lokalizace jezu

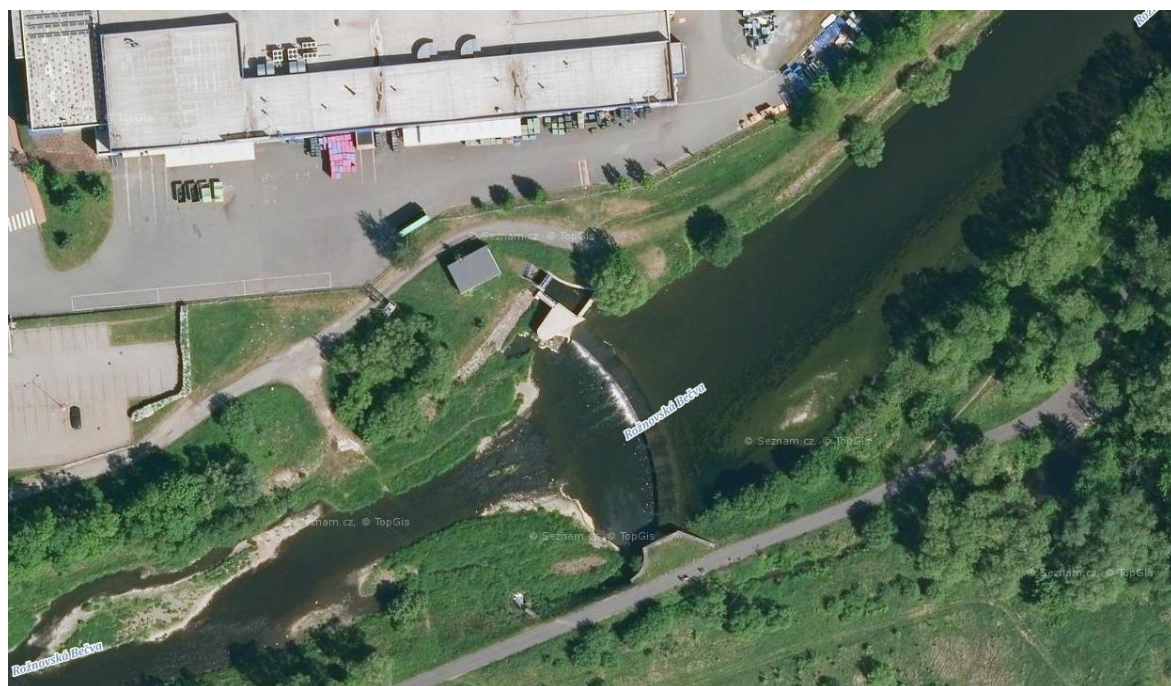


Schéma č.9: Lokalizace objektu Reichův Jez – letecký pohled.

Níže je pro potřeby STP provedeno na schématu č. 10. rozdělení objektu jezu na celkem 19 komor mezi jednotlivými žebry jezu.

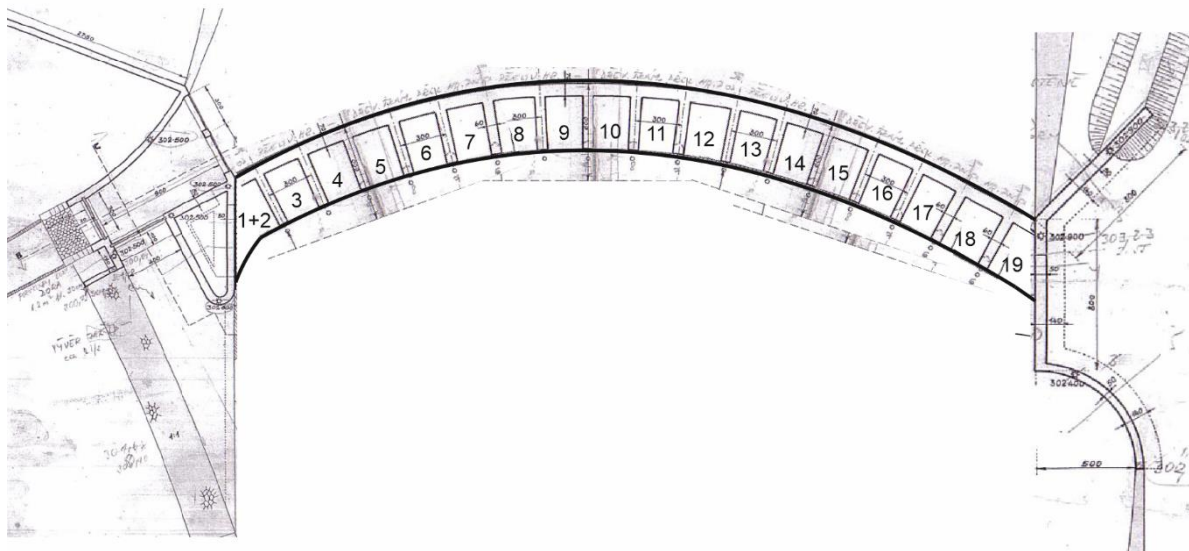


Schéma č.10: Rozdělení objektu jezu na 19 komor.

3. METODIKA ZKOUŠEK

Níže jsou uvedeny metodické postupy stanovení jednotlivých charakteristik na konstrukci a v laboratoři na odebraných vzorcích, jež byly provedeny v rámci podrobného stavebně technického průzkumu předmětného objektu.

3.1. POPIS STAVU ŽELEZOBETONOVÝCH PRVKŮ A OSTATNÍCH POSUZOVANÝCH KONSTRUKCÍ

Zjišťuje se vizuálně, akustickým trasováním a v sondách, na celé ploše povrchu vyšetřovaných částí konstrukcí. Podstata akustického trasování spočívá ve zjišťování lokalit s narušenou povrchovou vrstvou betonu. Po vyšetřované ploše se přejíždí trasovačem na konci opatřeným ocelovou koulí o průměru cca 45 mm. V místě narušení je při trasování zvuk dutý. Touto metodou lze identifikovat poškozená místa o minimální ploše 0,05 m². V případě pochybnosti o hloubce narušení byla tato ověřena odsekáním porušené vrstvy betonu pláště.

3.2. ROZSAH PORUŠENÍ POVRCHOVÉ VRSTVY BETONU

Pro stanovení vhodného způsobu sanace se porušení povrchové vrstvy betonu rozděluje podle jeho hloubky do čtyř kategorií:

- *M - hloubka porušení $H_p = 0 - 10 \text{ mm}$
- *S - $H_p = 10 - 20 \text{ mm}$
- *Z - $H_p = 20 - 40 \text{ mm}$
- *E - $H_p > 40 \text{ mm}$

Dále je sledován výskyt akustických dutin, průsaků vody skrz konstrukci či rozpad dílčích částí konstrukcí. Pro vyšetřované části konstrukce se určuje v %.

Pod konstrukcí jezu byl mechanickým dotykem kontrolován reliéf dna, výskyt kaveren či podemletí konstrukce jezu.

3.3. ROZSAH OBNAŽENÍ A MÍRA KOROZE VÝZTUŽNÉ OCELI

Rozsah obnažení a koroze výztuže jednotlivých prvků vyšetřované konstrukce byla zjišťována vizuálně a v sondách.

Výstupem je údaj o množství korozi narušené a obnažené výztužné oceli ve vyšetřovaných částech železobetonové konstrukce. Množství obnažené a korodované výztužné oceli je udáváno %. Mezi obnaženou výztuž je zahrnována výztuž, která není ještě vidět, ale jsou nad ní trhliny vzniklé v důsledku objemových změn produktů koroze výztužné oceli.

Rozeznáváme 3 typy korozního narušení výztuže:

- **povrchová koroze (P)** : koroze povrchu výztužných prutů bez výrazného úbytku profilu, u žebírkové výztuže dosud zřetelně patrná jednotlivá žebírka výztuže
- **hloubková koroze (S)**: odlupování korozních zplodin po vrstvách, výrazný úbytek profilu
- **extrémní narušení (E)** : oslabení profilu o více než 50 %, případně přerušení výztužného prutu.

3.4. POPIS STAVU JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ

Jedná se o podrobnou vizuální prohlídku a popis stavu všech betonových, železobetonových a ocelových konstrukcí.

3.5. PEVNOST BETONU V TLAKU

Pevnost betonu v tlaku betonu byla zjišťována v laboratoři na válcových zkušebních tělesech upravených z jádrových vývrtů o \varnothing 100 mm odebraných z konstrukce. Při zkoušení cementového betonu se vychází z ustanovení ČSN 73 2011 "Nedeštruktivne skúšanie betonových konštrukcií", a s nimi souvisejících ČSN EN 12390-7, ČSN ISO 4012, ČSN 73 1317 a ČSN 73 1373.

3.6. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu R_t byla zjišťována přímo na konstrukci postupem, který vychází z ČSN 73 1318, pomocí odtrhového zkušebního přístroje. Zkušební terč byl použit kruhový terč s $d = 50$ mm. Pro zkoušku byl beton pod zkušebním terčem obroušen do hloubky cca 1 - 2 mm a kolem terče oříznut průměrně do hloubky 20 - 25 mm.

3.7. HLOUBKA KARBONATACE FENOLFTALEINOVÝM TESTEM

Hloubka karbonatce betonu h_{karb} byla zjišťována na betonovém prachu získaném vrtáním ruční vrtačkou do různé hloubky betonu konstrukce. Na čerstvě vyvrtaný prach byl nanesen roztok fenolftaleinu a pomocí hloubkoměru s přesností 1 mm byla zjišťována hloubka karbonatce.

3.8. TLOUŠŤKA KRYCÍ BETONOVÉ VRSTVY

Byla stanovena přímým měřením v destruktivních sondách do vyšetřované konstrukce nebo s využitím elektromagnetické sondy podle ČSN 73 2011.

3.9. VODOTĚSNOST BETONU

Stanovení vodotěsnosti bylo provedeno na vzorcích připravených z jádrových vývrtů o průměru 150 mm odebraných přímo z předmětné konstrukce. Zkouška byla provedena dle ČSN EN 12390-8 Zkoušení ztvrdlého betonu – část 8: Hloubka průsaku tlakovou vodou. Podstatou zkoušky je kontinuální působení tlakové vody (500 ± 50 kPa) po dobu 72 ± 2 hodin na povrch ztvrdlého betonu. Zkušební těleso se následně rozlomí a měří se max. hloubka průsaku vody. Během zkoušení se pravidelně pozoruje stav povrchů těles, které jsou vystaveny vodnímu tlaku, zda se neobjevují stopy průsaku. Pokud dojde k průsakům vody, je třeba uvážit platnost výsledku zkoušky a tuto skutečnost zaznamenat.

3.10. MRAZUVZDORNOST BETONU

Zkoušku mrazuvzdornosti stanovuje norma ČSN 73 1322 Stanovení mrazuvzdornosti betonu.

Zmrazování a rozmrazování zkušebních těles se koná ve zmrazovacích cyklech, při kterých musí být teplota mrazicího prostředí v rozmezí -15°C až -23°C . Jeden zmrazovací cyklus se skládá ze 4 hodin zmrazování a dvou hodin rozmrazování. Při zmrazování se zkušební tělesa ukládají do prostoru, který musí mít předem požadovanou teplotu, při rozmrazování se zkušební tělesa ukládají do vody $+20^{\circ}\text{C}$ teplé. V mimopracovní době jsou zkušební tělesa uložena v mrazícím prostoru požadované teploty. Vzorky se přeměřují a váží po etapách, přičemž každá etapa má 25 cyklů.

Jako výsledek zkoušky se uvádějí hodnoty zjištěných úbytků hmotnosti zkoušených zmrazovaných těles v % hmotnosti pro každou ukončenou etapu a pro celou zkoušku zmrazování.

3.11. MÍRA DEGRADACE BETONU

Pro posouzení míry degradace železobetonových konstrukčních prvků konstrukce jezu byly v rámci podrobného stavebně technického průzkumu odebrány vzorky betonu. Vzorky byly odebírány z různých vzdáleností („hloubek“) od povrchu hodnocených konstrukčních prvků jezu. Tento přístup umožnil na základě komparace výsledků jednotlivých analýz hodnotit míru degradace betonu v průřezu konstrukčního prvku.

Tyto vzorky byly podrobeny fyzikálně chemickým analýzám, jejichž výsledky umožňují pregnančně posoudit stav betonu a určit míru jeho korozního narušení.

Principy degradace betonu

Beton, jehož matrice je tvořena hydratačními produkty cementu, patří mezi látky silně bazické. Je-li beton vystaven působení látek s nízkou hodnotou pH dochází v podstatě k neutralizačním reakcím, které mohou být příčinou poklesu užitečných parametrů konstrukce.

Vzhledem k podmínkám, ve kterých je beton konstrukce jezu exploatován lze předpokládat, že jedním z dominantních agresivních médií, které na železobetonové konstrukce nad hladinou vody působí je plynný oxid uhličitý. Degradace betonu v důsledku působení plynného oxidu uhličitého se nazývá karbonatace.

Proces karbonatace lze u betonů na bázi portlandského cementu dle prof. M. Matouška rozdělit do čtyř navazujících etap. Zařazení betonu do etapy karbonatace se realizuje dle výpočtu stupně karbonatace a stupně modifikační přeměny. Tyto se určí postupem uvedeným v dalším textu.

Stupeň karbonatace $^{\circ}\text{K}$ se určí výpočtem z obsahu CaO zjištěného chemickým rozbořem a z obsahu CaO vázaného na jemnozrnný a hrubozrnný CaCO_3 stanoveným derivatografickým rozbořem.

Obsah zkarbonatovaného CaO_{karb} se vypočítá ze vztahu:

$$\text{CaO}_{\text{karb}} = 1,273 \cdot (\text{CO}_{2j} + \text{CO}_{2h}) \quad [\%]$$

kde:

CaO_{karb} je obsah zkarbonatovaného CaO [%]

CO_{2j} je obsah CO_2 vázaného na jemnozrnný $CaCO_3$ [%]

CO_{2h} je obsah CO_2 vázaného na hrubozrnný $CaCO_3$ [%]

Stupeň karbonatace

Stupeň karbonatace se vypočítá ze vztahu:

$$^0K = \frac{CaO_{\text{karb}}}{CaO} \cdot 100 \quad [\%]$$

CaO - obsah CaO zjištěný chemickým rozbořem [%]

Stupeň modifikační přeměny

Stupeň modifikační přeměny 0MP se určí výpočtem z obsahu CO_2 vázaného na jemnozrnný a hrubozrnný $CaCO_3$ dle vztahu:

$$^0MP = \frac{CO_{2h}}{CO_{2j}} \quad [-]$$

V případě betonu, který je při exploataci konstrukce pod hladinou vody, může být stav resp. životnost betonu ovlivňován agresivními látkami obsaženými v protékající vodě.

Jednotlivé fyzikálně chemické analýzy

Koncepce fyzikálně chemických analýz byla volena tak, aby bylo možno exaktně posoudit míru degradace betonu. Pro posouzení míry korozního narušení byly vzorky podrobeny fyzikálně chemickým stanovením umožňujícím analyzovat jejich mikrostrukturu. Konkrétně bylo nutné provést tato stanovení:

- Chemická analýza,
- Rentgenová difrakční analýza,
- Diferenční termická analýza,
- Stanovení pH ve výluhu.

Podrobný postup stanovení kvality resp. míry degradace betonu byl proveden podle metodického postupu VUT FAST, č.30-33/1 a dle metodiky Matoušek, Drochytka: "Stanovení atmosférické koroze betonu" uvedené v publikaci obou autorů "Atmosférická koroze betonů", IKAS Praha, 1998, která podává přehled o mikrostruktuře daného materiálu.

3.11.1. CHEMICKÝ ROZBOR

Chemickým rozbohem byl v odebraných vzorcích betonu zjišťován v souladu s ustanovením ČSN 72 0100 "Základní postup rozboru silikátů. Všeobecná ustanovení" a souvisejících ČSN resp. ČSN EN obsah těchto složek:

- Nerozpustný zbytek
- Oxid vápenatý CaO
- Sírany
- Chloridy
- Oxid manganatý

3.11.2. RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA (XRF ANALÝZA)

Difrakční metody strukturální analýzy jsou založeny na interferenci rentgenového záření a vycházejí z toho, že se v pevné, krystalické, látce nacházejí vzájemně rovnoběžné roviny, které jsou od sebe vzdáleny o tzv. mezimřížkovou vzdálenost (d). Na těchto rovinách za určitých podmínek dochází k interferenci (zesílení) rentgenova záření. Každá krystalická látka obsahuje mnoho různých rovin o mezimřížkových vzdálenostech d , na kterých vzrostou hodnoty intenzit záření. Tyto hodnoty jsou zcela charakteristické pro každou krystalickou látku. Identifikace přítomných krystalických fází se provádí porovnáním hodnot odečtených z difraktogramu s hodnotami v uvedených v knihovnách (databázích) jednotlivých minerálů.

Ve struktuře betonu lze XRF analýzou identifikovat například fáze vznikající hydratací cementu (např. portlandit, kalciumhydrosilikátové fáze, ettringit, monosulfát apod.), fáze vznikající jejich následnou karbonatací (zejména klacit, aragonit, vaterit) a minerály pocházející z kameniva (zejména křemen, živce atd.) V případě, že je beton degradován působením agresivních látek z vnějšího prostředí, lze v jeho struktuře prokázat přítomnost produktů korozních reakcí probíhajících mezi cementovou maticí a agresivní látkou (např. sekundární ettringit, sádrovec, Friedlova sůl apod.).

3.11.3. DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA

Diferenční termická analýza (DTA analýza) je dynamická, tepelně analytická metoda. Je založena na měření rozdílů teplot mezi zkoušeným materiálem a inertním standardem (u moderních přístrojů je tento standard virtuální) současně zahřívány v peci. Tepelné zbarvení reakcí, ke kterým ve vzorku při zahřívání dochází, se projeví maximy a minimy v exotermní a endotermní oblasti. Současně je sledována změna hmotnosti doprovázející jednotlivé reakce. Výstupem analýzy je pak stanovení obsahu jednotlivých složek v hodnoceném betonu. DTA analýza se tedy zpravidla využívá jako doplněk RTG analýzy právě pro přesnější kvantifikaci obsahu jednotlivých složek cementové matrice. Zásadní význam mají poznatky získané DTA analýzou například při hodnocení míry karbonatace betonu apod.

3.11.4. STANOVENÍ HODNOTY PH

Přesně určené množství odebraného vzorku se ponechá vyluhovat v alikvotním množství destilované vody danou dobu. V roztoku výluhu se pomocí pH-metru stanoví hodnota pH.

3.12. FOTODOKUMENTACE

Z posuzovaných míst, detailů charakteristických poškození byla provedena fotodokumentace, která je součástí zprávy a přílohové části zprávy na CD.

4. VÝSLEDKY PRŮZKUMU A ZKOUŠEK

Výsledky STP na jednotlivých konstrukcích jezu jsou uvedeny v následujících kapitolách.

4.1 PEVNOST BETONU V TLAKU

V rámci STP byly na konstrukci provedeny vrty V1 – V6 pro stanovení kvality betonu. Lokalizace odběru vrtu V1 až V6 je uvedena na následujícím schématu.

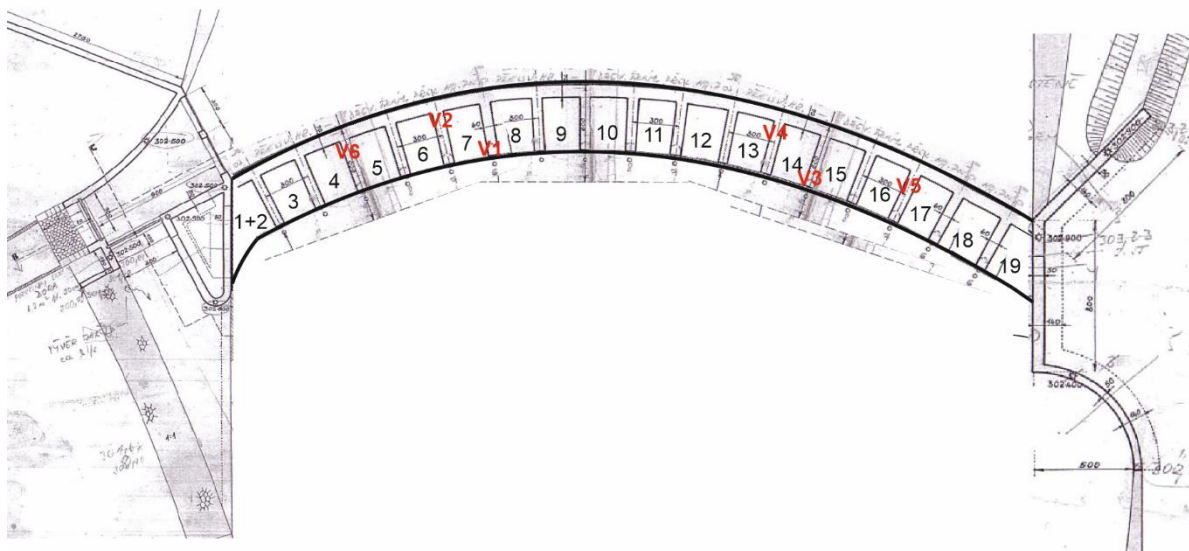


Schéma č.11: Lokalizace odběru vrtů.

V1 a V3 – žebro u hrany jezu

V2 a V4 – žebro u zadní stěny jezu

V5 a V6 – horní konstrukční deska jezu včetně horné krycí desky (vrty označené H)

Výsledky destruktivního stanovení pevnosti betonu v tlaku jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č.2. Pevnosti betonu v tlaku stanovené destruktivně.

ŽEBRA A HORNÍ DESKA								
OZNAČ. VÝVRTU	d [mm]	L [mm]	L / d [-]	D [kg/m³]	f ⁰ _{c,cy} [MPa]	f _{c,cy} [MPa]	f _{c,cu} [MPa]	f _{ce} [MPa]
V1	99,0	99,9	1,01	2280	41,6	41,6	41,6	38
V2-1	98,9	99,0	1,00	2300	35,3	35,3	35,3	37
V2-2	98,8	88,8	0,90	2300	38,8	37,2	37,2	
V3	98,9	99,1	1,00	2250	30,6	30,6	30,6	35
V4-1	98,6	98,1	0,99	2220	28,3	28,3	28,3	36
V4-2	98,7	99,3	1,01	2250	31,9	31,9	31,9	
V5	99,0	80,4	0,81	2350	36,1	33,2	33,2	-
V6	98,7	97,2	0,98	2240	26,9	26,9	26,9	-
						Σ	138,6	146
						$\alpha = 0,949$		

HORNÍ BETONOVÝ KRYT								
OZNAČ. VÝVRTU	d [mm]	L [mm]	L / d [-]	D [kg/m³]	f ⁰ _{c,cy} [MPa]	f _{c,cy} [MPa]	f _{c,cu} [MPa]	f _{ce} [MPa]
V5-H	98,9	98,9	1,00	2320	32,8	32,8	32,8	50
V6-H	98,9	99,2	1,00	2190	17,7	17,7	17,7	32
						Σ	50,5	82
						$\alpha = 0,616$		

Použité symboly

L	délka vývrtu
d	průměr válcového zkušebního tělesa
L/d	štíhlost válcového zkušebního tělesa
D	objemová hmotnost betonu v době zkoušení
f ⁰ _{c,cy}	válcová pevnost na tělese s d = 68-75-100-150 mm a L/d ∈ {0,64-1,419}
f ¹ _{c,cy}	válcová pevnost na tělese s d = 68-75-100-150 mm a L/d ∈ {1,0}
f _{c,cy}	válcová pevnost na vývrtu d=100mm, L/d = 1,0
f _{c,cu}	pevnost v tlaku na vývrtu d=100mm a L/d = 1,0, která odpovídá pevnosti v tlaku ze zkoušky krychle o hraně 150mm

Výsledky nedestruktivního stanovení pevnosti betonu v tlaku jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č.3. Pevnosti betonu v tlaku stanovené nedestruktivně.

ŽEBRA														
Zkušební místo	jednotlivé hodnoty odskoků a přiřazené hodnoty pevnosti v tlaku											C P	f _{be} [MPa]	f _b [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1 – K7	a _i	30	37	34	38	37	32	39	40	37	39	10	36	34
	f _{be.i}	**))	35	30	37	35	**))	39	**))	35	39	7		
2 – K7	a _i	32	34	34	32	31	36	34	34	35	33	10	29	28
	f _{be.i}	27	30	30	27	25	33	30	30	32	28	10		
3 – K2	a _i	33	35	34	35	33	39	40	33	36	40	10	30	28
	f _{be.i}	28	32	30	32	28	**))	**))	28	33	**))	7		
4 – K4	a _i	36	36	38	38	38	37	39	40	38	40	10	37	35
	f _{be.i}	33	33	37	37	37	35	39	41	37	41	10		
5 – K11	a _i	40	40	40	35	38	35	40	38	39	40	10	38	36
	f _{be.i}	41	41	41	32	37	32	41	37	39	41	10		
6 – K12	a _i	40	40	38	37	36	39	40	36	37	38	10	37	35
	f _{be.i}	41	41	37	35	33	39	41	33	35	37	10		
7 – K14	a _i	42	39	36	37	36	37	32	36	33	32	10	31	29
	f _{be.i}	**))	**))	33	35	33	35	27	33	28	27	8		
8 – K14	a _i	35	36	36	37	36	37	36	35	40	40	10	35	33
	f _{be.i}	32	33	33	35	33	35	33	32	41	41	10		
9 – K15	a _i	39	32	32	31	32	34	30	30	34	35	10	27	26
	f _{be.i}	**))	27	27	25	27	30	24	24	30	32	9		
10 – K17	a _i	40	40	40	36	38	32	36	39	32	34	10	37	35
	f _{be.i}	41	41	41	33	37	**))	33	39	**))	30	8		
11 – K18	a _i	42	37	37	38	38	42	39	36	36	34	10	37	35
	f _{be.i}	44	35	35	37	37	44	39	33	33	30	10		
12 – K19	a _i	36	35	36	34	34	36	34	35	36	36	10	32	30
	f _{be.i}	33	32	33	30	30	33	30	32	33	33	10		

K – lokalizace provedených zkoušek v komorách K1 – K19

Zkušební místo	jednotlivé hodnoty odskoků a přiřazené hodnoty pevnosti v tlaku											C P	f _{be} [MPa]	f _b [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
STĚNA														
13 – K2	a _i	41	42	37	37	39	38	40	40	40	40	10	40	38
	f _{be.i}	42	44	35	35	39	37	41	41	41	41	10		
14 – K4	a _i	45	42	47	51	45	49	46	46	47	45	10	52	49
	f _{be.i}	50	44	53	61	50	57	52	52	53	50	10		
15 – K7	a _i	42	40	40	41	41	42	38	38	40	40	10	41	39
	f _{be.i}	44	41	41	42	42	44	37	37	41	41	10		
16 – K10	a _i	42	43	43	40	39	42	46	42	44	42	10	45	43
	f _{be.i}	44	46	46	41	39	44	52	44	48	44	10		
17 – K12	a _i	40	40	40	38	38	43	43	42	40	43	10	42	40
	f _{be.i}	41	41	41	37	37	46	46	44	41	46	10		
18 – K14	a _i	43	44	46	45	46	45	46	42	46	46	10	50	47
	f _{be.i}	46	48	52	50	52	50	52	44	52	52	10		
19 – K17	a _i	45	45	46	45	46	46	47	48	46	46	10	52	49
	f _{be.i}	50	50	52	50	52	52	53	55	52	52	10		
20 – K18	a _i	43	43	40	40	45	46	40	40	42	44	10	45	43
	f _{be.i}	46	46	41	41	50	52	41	41	44	48	10		
DESKA														
21 – K2	a _i	46	46	47	48	46	47	47	46	42		9	52	49
	f _{be.i}	52	52	53	55	52	53	53	52	44		9		
22 – K4	a _i	50	51	50	53	53	52	49	47	48	49	10	53	50
	f _{be.i}	52	54	52	58	58	56	51	47	49	51	10		
23 – K7	a _i	40	45	46	40	45	42	46	45	40	44	10	40	38
	f _{be.i}	34	43	45	34	43	37	45	43	34	41	10		
24 – K7	a _i	52	50	49	49	49	50	50	50	52	50	10	52	49
	f _{be.i}	56	52	51	51	51	52	52	52	56	52	10		
25 – K8	a _i	50	50	51	52	53	54	52	50	49		9	55	52
	f _{be.i}	52	52	54	56	58	60	56	52	51		9		
26 – K11	a _i	49	48	52	52	50	50	50	50	52		9	53	50
	f _{be.i}	51	49	56	56	52	52	52	52	56		9		
27 - K14	a _i	46	47	49	50	44	44	50	45	45	45	10	46	44
	f _{be.i}	45	47	51	52	41	41	52	43	43	43	10		
28 – K14	a _i	46	47	48	45	45	50	52	46	47	47	10	47	45
	f _{be.i}	45	47	49	43	43	52	56	45	47	47	10		
29 – K15	a _i	52	50	52	47	49	50	46	45	45	46	10	49	46
	f _{be.i}	56	52	56	47	51	52	45	43	43	45	10		
30 – K18	a _i	49	48	48	43	43	42	43	46	43	43	10	43	41
	f _{be.i}	51	49	49	39	39	37	39	45	39	39	10		
31 – K18	a _i	45	45	46	46	46	42	40	40	44	47	10	41	39
	f _{be.i}	43	43	45	45	45	37	34	34	41	47	10		

K – lokalizace provedených zkoušek v komorách K1 – K19

HORNÍ BETONOVÝ KRYT														
Zkušební místo	jednotlivé hodnoty odskoků a přiřazené hodnoty pevnosti v tlaku											C P	f _{be} [MPa]	f _b [MPa]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
32 – K4	a _i	39	40	45	46	40	42	43	44	45	44	10	50	31
	f _{be.i}	44	46	54	56	46	49	51	52	54	52	10		
33 – K6	a _i	45	45	40	45	42	44	45	43	42	44	10	52	32
	f _{be.i}	54	54	46	54	49	52	54	51	49	52	10		
34 – K8	a _i	30	32	35	35	34	30	31	33	31		9	32	20
	f _{be.i}	29	32	37	37	35	29	30	33	30		9		
34 – K10	a _i	40	35	36	38	42	33	36	38	39	35	10	41	25
	f _{be.i}	46	37	39	42	49	33	39	42	44	37	10		
36 – K12	a _i	35	35	39	40	38	37	39	40	40	40	10	43	26
	f _{be.i}	37	37	44	46	42	40	44	46	46	46	10		
37 – K14	a _i	40	42	44	45	40	36	38	37	41	44	10	47	29
	f _{be.i}	46	49	52	54	46	39	42	40	47	52	10		
38 – K16	a _i	42	42	40	39	39	39	39	40	40	42	10	46	28
	f _{be.i}	49	49	46	44	44	44	44	46	46	49	10		
38 – K18	a _i	42	46	46	40	38	39	44	42	43	43	10	50	31
	f _{be.i}	49	56	56	46	42	44	52	49	51	51	10		

K – lokalizace provedených zkoušek v komorách K1 – K19

Zařazení betonů do pevnostní tříd

Při stanovení **pevnostní třídy betonu** se postupovalo dle čl. 4.2.5. ČSN 73 0038 : 2019, kdy byla vypočítána charakteristická pevnost betonu v konstrukci, postup je následující :

- Z jednotlivých hodnot pevnosti v tlaku betonu se vypočítá průměr f_{cx} - vztah (1), směrodatná odchylka s_x - vztah (2) a variační koeficient V_x - vztah (3).

$$f_{cx} = \frac{\sum f_{ci}}{n} \quad (1) \quad s_x^2 = \frac{\sum (f_i - f_{cx})^2}{n - 1} \quad (2) \quad V_x = \frac{s_x}{f_{cx}} \quad (3)$$

kde : n – počet hodnot pevností v tlaku v hodnoceném souboru

f_{ci} – jednotlivá hodnota pevnosti v tlaku v hodnoceném souboru

- Charakteristická hodnota pevnosti betonu v tlaku f_{ck} vypočítá za vztahu (4) :

$$f_{ck} = f_{cx}(1 - k_n V_x) \quad (4)$$

kde : k_n – součinitel pro stanovení 5% kvantilu závisející od počtu hodnot v souboru

Část konstrukce nebo prvky	n	f _{cx}	s _x	V _x	k _n	f _{ck,cu}	Třída betonu
	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]	
ŽEBRA	12	32,0	3,5	0,1094	1,89	25,4	C 20/25 (B25)
STĚNA + DESKA	19	44,8	4,6	0,1027	1,78	36,6	C 28/35 (B 35)
HORNÍ BETONOVÝ KRYT	8	27,8	4,0	0,1439	2,00	19,8	C 12/15 (B 15)

4.2. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Zjištěné hodnoty pevnosti v tahu povrchových vrstev betonu jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka č.4. Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu

Číslo zkoušky	kce	Pevnost v tahu [MPa]	Místo porušení od povrchu betonu ochozu
1	ŽEBRO	1,4	Beton v hloubce 2 mm
2		1,0	Beton v hloubce 2 mm
3		1,5	Beton v hloubce 2 mm
4		2,1	Beton v hloubce 5 mm
5		1,2	Beton v hloubce 2 mm
6	STĚNA	2,3	Beton v hloubce 2 mm
7		2,0	Beton v hloubce 2 mm
8		2,6	Beton v hloubce 3 mm
9		2,1	Beton v hloubce 2 mm
10	DESKA	1,6	Beton v hloubce 2 mm
11		1,4	Beton v hloubce 5 mm
12		1,0	Beton v hloubce 2 mm
Průměrná hodnota souboru zkoušek		1,7	
Minimální hodnota souboru zkoušek		1,0	
Maximální hodnota souboru zkoušek		2,6	
13	HORNÍ KRYT	0,5	Beton v hloubce 8 mm
14		1,5	Beton v hloubce 5 mm
15		0,8	Beton v hloubce 2 mm
Průměrná hodnota souboru zkoušek		0,9	
Minimální hodnota souboru zkoušek		0,5	
Maximální hodnota souboru zkoušek		1,5	

4.3. HLOUBKA KARBONATACE

Výsledky stanovení hloubky karbonatce betonu jsou uvedeny v tabulce číslo 5:

Tabulka č.5. Hloubka karbonatce betonu

Vyšetřovaná část stavby		Počet měření	Hloubka karbonatce betonu h_{kar}		
			průměrná [mm]	minimální [mm]	maximální [mm]
Pevná část jezu	Žebro	4	0	0	0
	Stěna	4	0	0	0
	Deska	4	1	0	2
	Horní kryt desky	4	0	0	0

4.4. TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY BETONU NAD VÝZTUŽÍ

Hodnoty tloušťky krycí betonové vrstvy jsou uvedeny v tabulce číslo 6.

Tabulka č.6. Tloušťka krycí vrstvy betonu

Vyšetřovaná část stavby		Počet měření	Tloušťka krycí vrstvy betonu t_b		
			průměrná [mm]	minimální [mm]	maximální [mm]
Pevná část jezu	Žebro	4	24	21	52
	Stěna	4	49	21	74
	Deska	4	39	30	52
	Horní kryt desky	4	121	112	135

4.5. MRAZUVZDORNOST BETONU

Hodnoty mrazuvzdornosti betonu jsou uvedeny v tabulce číslo 7. Vzorky byly upraveny z odebraných jádrových vývrtů z jednotlivých částí konstrukce.

Tabulka č.7. Mrazuvzdornost betonu.

Vyšetřovaná část stavby		Odpad po cyklech [g/m ²]			
		25	50	75	100
Pevná část jezu	Žebro	259,4	359,5	425,6	547,3
	Stěna	302,5	405,6	554,7	702,4
	Deska	159,4	259,4	401,5	625,4

Vzorky byly provedeny v vývrtů vždy z cca 10 mm hloubky od povrchu konstrukce.

4.6. VODOTĚSNOST BETONU

Hodnoty vodotěsnosti betonu jsou uvedeny v tabulce číslo 8. Vzorky byly upraveny z odebraných jádrových vývrtů z jednotlivých částí konstrukce.

Tabulka č.8. Vodotěsnost betonu.

Vyšetřovaná část stavby		Výsledky vodotěsnosti betonu			
		Ozn.	Výška vzorku [mm]	Hloubka průsaku [mm]	Průsak bokem vzorku
Pevná část jezu	Žebro	1	90	55	ne
	Stěna	2	120	40	ne
	Deska	3	145	31	ne

Dle ČSN EN 206-1/Z3(Z4), je maximální průsak brán jako parametr odolnosti. Dále dle požadavků TP ČBS 02 je maximální průsak 50 mm. Za nevyhovující výsledek je tedy považován maximální průsak více jak 50mm či průsak tlakové vody bokem vzorku kdykoliv v průběhu zkoušek.

4.7. MÍRA KOROZE VÝZTUŽE

Na celé konstrukci jezu bylo evidováno odhalení ocelové výztuže ve větší míře pouze u průvlaků na přepadové hraně. Výsledky měření míry koroze výztuže jsou uvedeny v tabulce číslo 9.

Tabulka č.9. Korozní úbytek průměru výztuže

Vyšetřovaná část stavby	Počet měření	Korozní úbytek průměru výztuže (%)		
		průměrný [%]	minimální [%]	maximální [%]
ŽEBRA*	3	0	0	PK
DESKA	3	0	0	PK
PRŮVLAKY	3	15	PK	30

PK – povrchová koroze bez úbytku profilu

*jedná se o hodnoty evidované na ocelové výztuži v odebraných jádrových vývrtech.

**jedná se o hodnoty ne odhalené ocelové výztuži

V jednotlivých odebraných jádrových vrtech byly evidovány následující výztuže:

- V1 – hladká výztuž, Ø 6mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 35 mm, bez koroze
- V2 – hladká výztuž, Ø 8mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 30 mm, bez koroze
- V3 – hladká výztuž, Ø 6mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 20 mm, bez koroze
- hladká výztuž, Ø 18mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 28 mm, bez koroze
- V5 – hladká výztuž, Ø 8mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 50 mm, bez koroze
- V6 – hladká výztuž, Ø 8mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 90 mm, bez koroze
- hladká výztuž, Ø 8mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 100mm, bez koroze
- hladká výztuž, Ø 8mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 120 mm, bez koroze
- V5H – hladká, Ø 4mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 145 mm, bez koroze
- V6H – hladká, Ø 4mm, Tloušťka krycí vrstvy betonu nad výztuží 200 mm, bez koroze

4.8. VÝSLEDKY FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝCH ZKOUŠEK BETONŮ

Fyzikálně chemické analýzy byly provedeny na vzorcích, jejichž popis a lokalizace místa odběru je uveden v následující tabulce. Vzorky byly připravovány z odebraných jádrových vývrtů (pak první písmena vzorku značí označení vrtu) či z výřezů úhlovou bruskou.

Tabulka č.10. Popis a lokalizace vzorků pro fyzikálně chemické analýzy

Ozn.	Hloubka* [mm]	Část konstrukce	Materiál	Úroveň	Popis
V1	20	ŽEBRO	Beton	nad vodou	Povrch bez poruch a vad
V4	02		Beton		
V6	20	DESKA	Beton	pod vodou	Povrch bez poruch a vad

*) Pozn.: „Hloubka“ v tomto případě znamená vzdálenost vzorku od líce hodnoceného vzorku.

4.8.1. CHEMICKÝ ROZBOR

Výsledky chemického rozboru vzorků betonu jsou uvedeny v tabulce číslo 11.

Tabulka č.11. Chemický rozbor

Označení vzorku	Nerozp. zbytek [%]	CaO [%]	SO ₄ ²⁻ [%]	MnO [%]
V1	72,22	10,26	0,33	0,040
V4	72,82	9,42	0,39	0,039
V6	74,42	8,22	0,42	0,037

4.8.2. RENTGENOVÁ DIFRAKČNÍ ANALÝZA

Výsledky rentgenové difrakční analýzy vzorků betonu jsou uvedeny v následující tabulce č.12.

Tabulka č.12. Výsledky rentgenové difrakční analýzy

Označení vzorku	Identifikovaný minerál
V1	Kalcit, portlandit, kalciumhydrosilikát II, β křemen, živce
V4	Kalcit, kalciumhydrosilikát II, β křemen, živce, biotit, jílové minerály
V6	Kalcit, portlandit, kalciumhydrosilikát II, β křemen, živce, biotit

4.8.3. DIFERENČNÍ TERMICKÁ ANALÝZA

Výsledky diferenční termické analýzy vzorků betonu jsou uvedeny v následující tabulce č.13.

Tabulka č.13. Výsledky diferenční termické analýzy

Označení vzorku	Ztráta žháním [%]	Uhličitán vápenatý jemnozrný [%]	Uhličitán vápenatý hrubozrný [%]	Uhličitán vápenatý celkový [%]
V1	8,1	6,2	4,1	10,3
V4	7,4	5,4	3,0	8,4
V6	8,2	5,5	3,4	8,9

4.8.4. STANOVENÍ pH BETONU VE VÝLUHU

Výsledky stanovení pH betonu ve výluhu jsou uvedeny v následující tabulce č.14.

Tabulka č.14. Výsledky stanovení pH

Označení vzorku	pH [-]
V1	11,1
V4	10,4
V6	11,1

4.8.5. ZAŘAZENÍ VZORKŮ BETONU DO ETAPY KARBONATACE

Vypočtené hodnoty stupně karbonatace °K, stupně modifikační přeměny °MP a zařazení vzorků betonu do etapy karbonatace jsou uvedeny v následující tabulce č. 15.

Tabulka č.15.

Označení vzorku	Stupeň karbonatace °K [%]	Stupeň modifikační přeměny °MP [-]	pH [-]	Etapa karbonatace
V1	50,9	0,75	11,1	I.
V4	57,7	0,44	10,4	II.
V6	52,1	0,62	11,1	I.

4.8.6. POSOUZENÍ MÍRY DEGRADACE BETONU

Na základě výsledků provedených fyzikálně chemických analýz lze uvést následující:

V první etapě karbonatace je v mikrostruktuře betonu oxidem uhličitým atakován především portlandit, přičemž produktem těchto reakcí je uhličitán vápenatý krystalizující především v relativně velkých krystalech kalcitu. Ve druhé etapě karbonatace pak primárně dochází k reakcím mezi oxidem uhličitým a kalciumhydrosilikátovými gely, přičemž dochází ke vzniku aragonitu a vateritu. Fyzikálně mechanické vlastnosti betonu v důsledku reakcí probíhajících v první resp. ve druhé etapě karbonatace dosud neklesají. Z hlediska životnosti konstrukce je podstatné, že beton je dosud schopen díky vysoké alkalitě účinně pasivovat výztuž vůči korozi. Toto konstatování platí ovšem pouze pro výztuž, která je chráněna dostatečně silnou a kompaktní krycí vrstvou betonu.

4.9. ROZSAH POŠKOZENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ

Rozsah porušení jednotlivých částí konstrukcí je zpracován v následující tabulce č.16.

Tabulka č.16. Rozsah porušení jednotlivých částí konstrukcí jezu

Vyšetřovaná část konstrukce	Rozsah porušení povrchu do hloubek							Koroze výztuže			
	0–10 mm	10–25 mm	25–40 mm	nad 40 mm	Clk.	Pr.	Tr.	Obn	PK	HK	EK
	%	%	%	%	%	[ks]	[m]	[m]	%		
Žebra	10	5	5	10	30	10	15	4	80	20	0
Stěna	10	5	5	5	25	20	5	2	90	10	0
Deska	5	5	5	5	20	20	62				
Průvlaky desky	10	10	10	10	40	0	10	35	30	30	30
Horní kryt desky	5	40	40	15							

Clk. – celkové porušení povrchu

Pr. – počet průsaků na konstrukci

Tr. – délka trhlin na konstrukci

Obn. – rozsah obnažené ocelové výztuže

Koroze výztuže – jedná se o hodnoty rozsahu koroze (PK, HK, EK) z celkového rozsahu výztuže na dané části konstrukce.

Pasportizace poruch evidovaných na konstrukci je uvedena na následujícím schématu. Popis evidovaných poruch je uveden v textu níže.

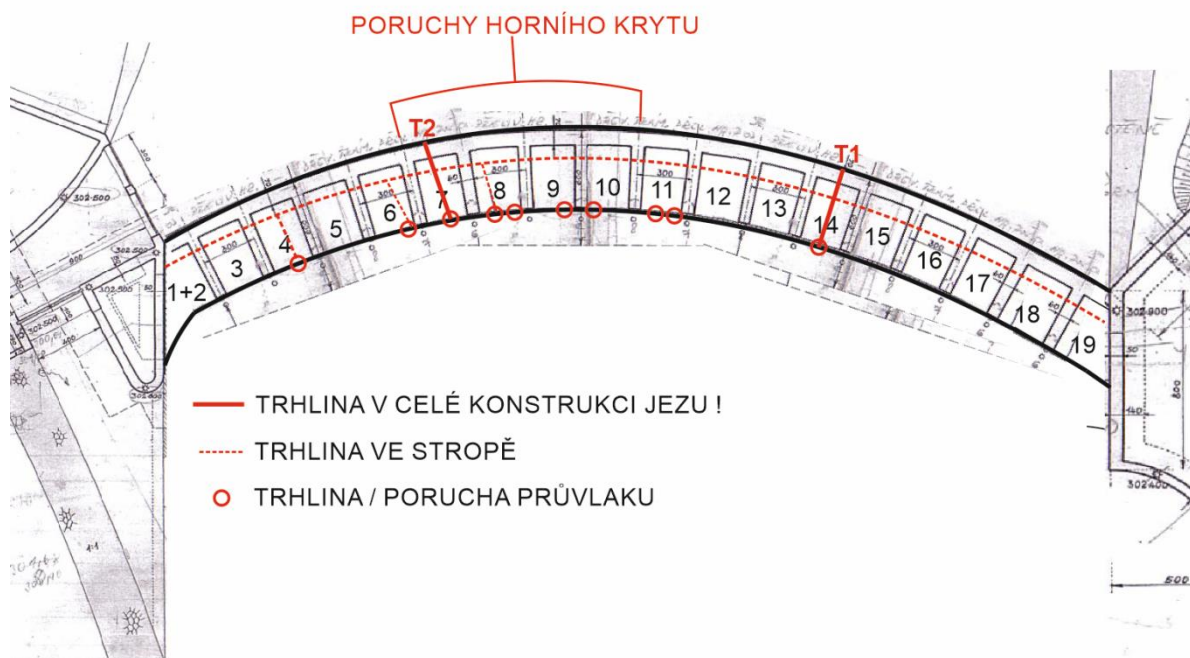


Schéma č.12: Pasportizace poruch.

CELÁ KONSTRUKCE JEZU:

V komorách K7 a K14 (trhliny T1 a T2 – schéma č.12) je **celá konstrukce jezu „zlomená“, přes celou konstrukci jezu vede výrazná trhлина!** V těchto místech však nejsou evidovány žádné pohyby celé konstrukce či geometrické imperfekce, ani výrazné průsaky v trhlinách.

Trhlina T1 je viditelná i na horním krytu desky. Trhlina T2 není prokreslená na horním krytu desky.

ŽEBRA:

U žeber jezu bylo evidováno podemletí základů žeber u komor K11 – K18 (viz schéma č.13). Hloubka podemletí byla naměřena 0,2 – 0,6m a délka podemletí 1,0 – 2,0m vždy od venkovní strany směrem k návodní stěně (viz schéma č. 14).

U ostatních žeber byl prostor pod základem žeber vyplněn velkými balvany, velmi pravděpodobně dodatečně pro vyplnění podemletých prostor pod základy.

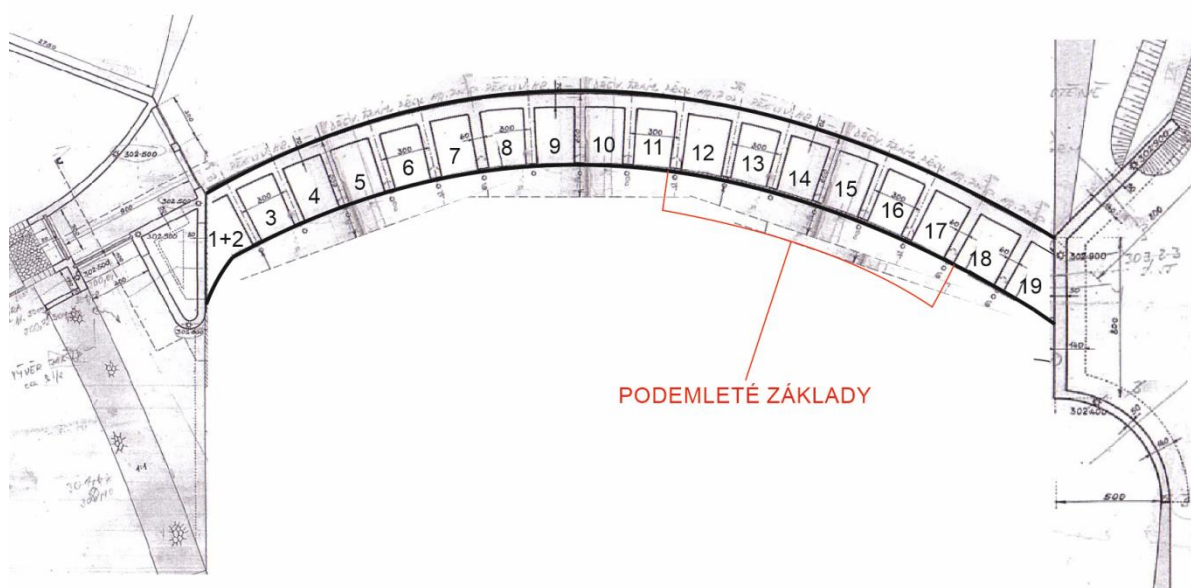


Schéma č.13: Lokalizace podemletých základů.

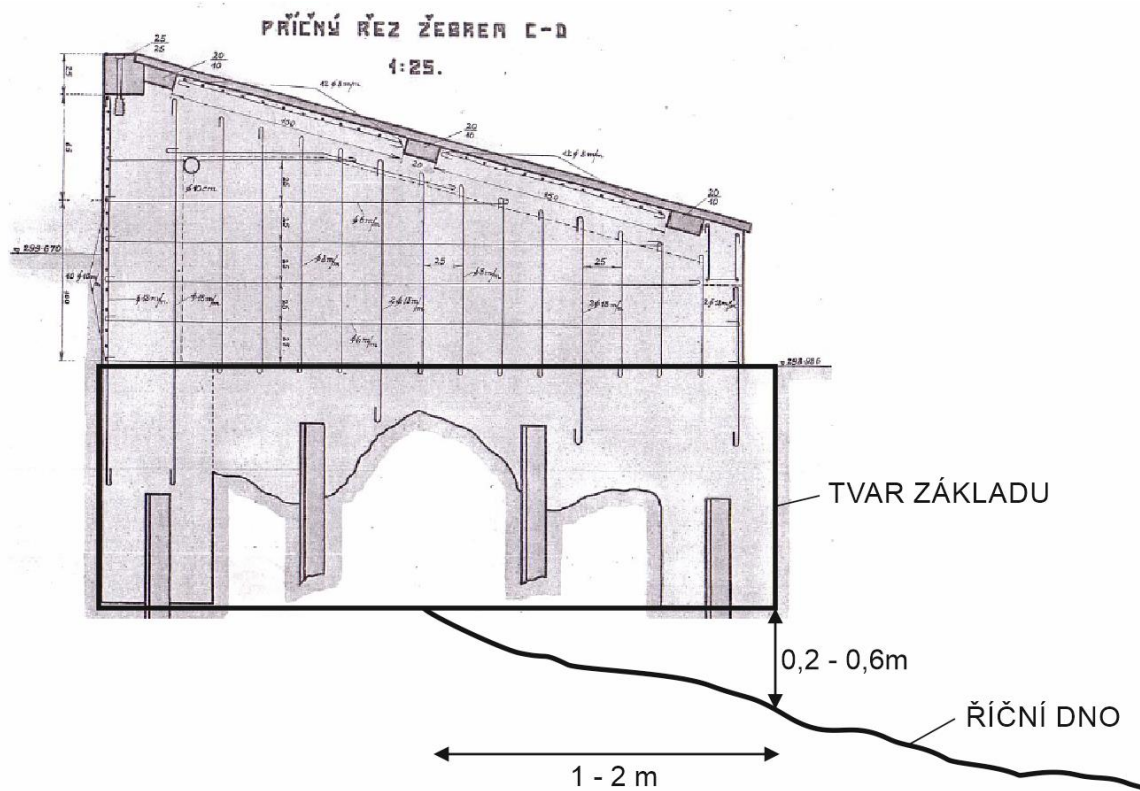


Schéma č.14: Tvar podezletí základů.

STĚNA:

Na návodní stěně byly evidovány pouze lokální průsaky, drobné trhliny a trhliny T1 a T2 viz text výše.

DESKA:

Na stropu desky byla evidována průběrná trhlina, či pracovní spára vedoucí podél návodní stěny a to po celé délce jezu. V trhlíně jsou viditelné průsaky středního rozsahu.

Na desce byly evidovány v interiéru evidovány trhliny ve směru toku. Jedná se o trhliny, jež vždy vedou od trhlín v průvlaku kolmo po podélnou trhlínu ve stropě - viz odstavec výše.

PRŮVLAK:

Nad komoru K1+2 je průvlak 100% opraven (nový beton).

Na průvlaku ztužujícím přepadovou hradu desky byly evidovány trhliny přes celý průvlak. V těchto místech (10 ks – viz schéma č.12) dochází již k degradaci povrchu betonu nad 50 mm, odhalení výztuže a extrémní korozi výztuže. Tyto lokality byly na konstrukci označeny oranžovou barvou.

Nad komoru K11 je porucha průvlaku tak výrazná, že lze hovořit o zlomení profilu průvlaku s reálným rizikem kolapsu této části průvlaku.

HORNÍ BETONOVÝ KRYT DESKY:

Kryt nad komoru K6 je 100% opraven

Kryt nad komoru K1+2 je z 10% opraven

Kryt nad komoru K8 je 30% opraven

Nad komorami K7 – K10 je kryt výrazně mechanicky opotřeben až do hloubek do 400 mm.



Foto č. 1:



Foto č. 2:



Foto č. 3:



Foto č. 4:



Foto č. 5:



Foto č. 6:



Foto č. 7:



Foto č. 8:



Foto č. 9:



Foto č. 10:



Foto č. 11:



Foto č. 12:



Foto č. 13:



Foto č. 14:

5. ZHODNOCENÍ STAVEBNĚ TECHNICKÉHO STAVU KONSTRUKCÍ

Stavebně technickým průzkumem zjištěné poznatky o stavebně technickém stavu konstrukcí jezu jsou shrnuty v následujících kapitolách.

5.1. PEVNOSTI BETONU V TLAKU

Hodnoty pevnostní třídy betonu v tlaku jednotlivých konstrukčních částí jsou uvedeny v následující tabulce.

Část konstrukce nebo prvky	n	f _{cx}	s _x	V _x	k _n	f _{ck,cu}	Třída betonu
	[-]	[MPa]	[MPa]	[-]	[-]	[MPa]	
ŽEBRA	12	32,0	3,5	0,1094	1,89	25,4	C 20/25 (B25)
STĚNA + DESKA	19	44,8	4,6	0,1027	1,78	36,6	C 28/35 (B 35)
HORNÍ BETONOVÝ KRYT	8	27,8	4,0	0,1439	2,00	19,8	C 12/15 (B 15)

5.2. HLOUBKA KARBONATACE BETONU A TLOUŠŤKA KRYCÍ VRSTVY BETONU NAD VÝZTUŽÍ

Z porovnání výsledků hloubky karbonatce betonu a tloušťky krycí vrstvy betonu nad výztuží je zřejmé, že pruty výztužné oceli se na vyšetřovaných konstrukcích jezu nenachází v zóně zkarbonatované vrstvy betonu. Výztuž je tedy stále chráněna proti působení koroze vlastní pasivační schopností betonu.

Výjimkou jsou odhalené ocelové výztuže zejména průvlaku v místě poruch.

5.3. PEVNOST V TAHU POVRCHOVÝCH VRSTEV BETONU

Pevnost v tahu povrchových vrstev betonu dosahovala hodnot na konstrukcích jezu hodnot v rozmezí 1,0 – 2,6 MPa s průměrnou hodnotou 1,7 MPa.

Na horním betonovém krytu pak hodnot 0,5 -1,5 MPa s průměrnou hodnotou 0,9MPa.

Z průměrných hodnot je zřejmé, že betony na povrchu konstrukcí vykazují hodnot korespondujících s evidovanou pevností betonu v tlaku. Kromě horného betonového krytu s jedná se o dostačující hodnoty pro požadavek na pevnosti podkladu v tahu pro řádnou aplikaci sanačních materiálů.

5.4. MRAZUVZDORNOST BETONU

Hodnoty mrazuvzdornosti betonu – odpad v [g/m²] po 100 cyklech vykazoval u všech konstrukcí hodnoty v intervalu 159,4 – 702,4 g/m².

Hodnoty pod 1000 g/m² jsou jednoznačně považovány (ČSN EN 206-1/Z3 - VP XF2 svislé plochy) jako hodnoty vyhovujícím na mrazuvzdornost betonu.

Jedná se tedy o hodnoty odpovídající výše uvedeným vlastnostem betonů (pevnostem v tlaku) jednotlivých částí konstrukce jezu. Dále o hodnoty nadstandardní vzhledem k stáří a míře zatížení dané konstrukce.

5.5. VODOTĚSNOST BETONU

Dle ČSN EN 206-1/Z3(Z4), je maximální průsak brán jako parametr odolnosti. Dále dle požadavků TP ČBS 02 [8] je maximální průsak 50 mm. Za nevyhovující výsledek je tedy považován maximální průsak více jak 50mm či průsak tlakové vody bokem vzorku kdykoliv v průběhu zkoušek.

Vzorek z betonu žeber tedy těsně nevyhověl na požadavky vodotěsnosti. Vzorky ze stěny a desky pak vyhověly výše uvedeným požadavkům. Opět lze tyto výsledky považovat za nadstandardní vzhledem k stáří a míře zatížení dané konstrukce.

5.6. MÍRA KOROZE VÝZTUŽE

Na celé konstrukci jezu bylo evidováno odhalení ocelové výztuže ve větší míře pouze u průvlastu na přepadové hraně. Zde byla koroze ocelové výztuže velmi výrazná. U ostatních konstrukčních celků je koroze výztuže nulová či v bezvýznamné míře.

5.7. ROZSAH POŠKOZENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ

Podrobný popis a fotodokumentace stavu jednotlivých částí konstrukcí jezu je uveden v kapitole 4.9. ROZSAH POŠKOZENÍ JEDNOTLIVÝCH KONSTRUKCÍ.

Za výrazné vady konstrukce jsou považovány:

- V komorách K7 a K14 (trhliny T1 a T2 – schéma č.12) je **celá konstrukce jezu „zlomená“, přes celou konstrukci jezu vede výrazná trhлина!** V těchto místech však nejsou evidovány žádné pohyby celé konstrukce či geometrické imperfekce, ani výrazné průsaky v trhlínách. Trhлина T1 je viditelná i na horním krytu desky. Trhлина T2 není prokreslená na horním krytu desky.
- U žeber jezu bylo evidováno podezření základů žeber u komor K11 – K18 (viz schéma č.13). Hloubka podezření byla naměřena 0,2 – 0,6m a délka podezření 1,0 – 2,0m vždy od venkovní strany směrem k návodní stěně (viz schéma č 14).
- Na průvlastu ztužujícím přepadovou hradu desky byly evidovány trhliny přes celý průvlast. V těchto místech (10 ks – viz schéma č.12) dochází již k degradaci povrchu betonu nad 50 mm, odhalení výztuže a extrémní korozi výztuže. Tyto lokality byly na konstrukci označeny oranžovou barvou.
Nad komoru K11 je porucha průvlastu tak výrazná, že lze hovořit o zlomení profilu průvlastu s reálným rizikem kolapsu této části průvlastu.

5.8. SHRUTÍ VÝSLEDKŮ FYZIKÁLNĚ CHEMICKÝCH ANALÝZ

Na základě komplexu fyzikálně chemických analýz lze stav hodnocených konstrukčních prvků tvořících těleso jezu popsat následujícím způsobem:

Beton vyšetřovaných konstrukce není nikterak výrazně zasažen atmosférickou degradací.

V první etapě karbonatace je v mikrostruktuře betonu oxidem uhličitým atakován především portlandit, přičemž produktem těchto reakcí je uhličitán vápenatý krystalizující především v relativně velkých krystalech kalcitu. Ve druhé etapě karbonatace pak primárně dochází k reakcím mezi oxidem uhličitým a kalciumhydrosilikátovými gely, přičemž dochází ke vzniku aragonitu a vateritu. Fyzikálně mechanické vlastnosti betonu v důsledku reakcí probíhajících v první resp. ve druhé etapě karbonatace dosud neklesají. Z hlediska životnosti konstrukce je podstatné, že beton je dosud schopen díky vysoké alkalitě účinně pasivovat výztuž vůči korozi. Toto konstatování platí ovšem pouze pro výztuž, která je chráněna dostatečně silnou a kompaktní krycí vrstvou betonu.

6. ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Na základě výše uvedeného a na základě výsledků provedené diagnostiky konstrukce jezu, při zohlednění technických ale i ekonomických faktorů je možno provést následující hodnocení:

6.1. POSOUZENÍ ŽIVOTNOSTI, ZÁVAŽNOSTI VAD A NUTNOSTI SANACE

V rámci posouzení životnosti a funkčnosti předmětné konstrukce jezu je nutné konstatovat následující:

- I přes stáří konstrukce 92let na žádné z vyšetřovaných částí předmětné konstrukce jezu nebyly zjištěny vlastnosti svědčící o konci životnosti či havarijním stavu konstrukce.
- **Konstrukcí tedy není nutné kompletně demolovat a vystavět zcela nově pro zachování životnosti a funkčnosti celé konstrukce jezu.**
- Doporučujeme provést základní sanaci konstrukce a následně provádět pravidelné prohlídky až do konce životnosti konstrukce.

6.2. NÁVRH OPTIMÁLNÍ TECHNOLOGIE A ROZSAHU SANACE

Návrhy optimální technologie a rozsahu sanace jsou rozděleny dle priorit uvedených výše, a jednotlivých částí konstrukce, u kterých je rozdílná závažnost porušení konstrukcí a tedy i náročnost a technologie sanačního zásahu.

Priorita 1 – sanace v horizontu 1 – 3let

Náklady na níže uvedené práce je možno odhadnout v intervalu 2 až 2,5 milionu Kč bez DPH.

Celá konstrukce

- Statické sešití konstrukčních trhlin T1 a T2 helikální vyztuží. U desky z obou stran po odstranění horního betonového krytu.
- Injektáž a sanace trhlin.

Průvlaky

- Kompletní demolice průvlaku.
- Betonáž nového průvlaku z konstrukčního vodostavebního betonu v původním profilu. Napojení na původní konstrukci pomocí mechanicky kotvených ocelových trnů spojených s výztužným armokošem průvlaku profilu (rozsah dle dostupné PD).

Horní ochranný betonový desky

- Kompletní demolice betonového krytů.
- Betonáž nového vodostavebního betonového krytů v původním profilu (rozsah dle dostupné PD).

Základy žeber

- Podbetonování podemletých základů žeber (rozsah dle schématu č. 14 a dostupné PD).

- Alternativně lze provést zasyp kaveren pod žebry kamennou sutí (kameny o velikosti min 300x300mm). Následně provést dodatečné zalití prostor mezi balvany betonem.
- U ostatních žeber kde byl prostor pod základem žeber vyplněn velkými balvany, velmi pravděpodobně dodatečně pro vyplnění podemletých prostor pod základy – doporučujeme provést dodatečné zalití prostor mezi balvany betonem.

Priorita 2 – sanace v horizontu 3 – 5 let

Náklady na níže uvedené práce je možno odhadnout v intervalu 3 až 3,5 milionu Kč bez DPH.

Ostatní části konstrukce

- Předúprava betonu pomocí kombinace mechanického sekání a hydrodemolice.
- Očištění betonové výztuže od korozních produktů pokud dojde k odhalení betonové výztuže.
- Celoplošná či lokální (dle stavu výztuže) antikorozi ochrana odhalené výztuže.
- Reprofilace povrchu pomocí kombinace strojového a ručního nanášení reprofilačních malt.
- Provedení celoplošné ochranné vrstvy (cca 10 - 20 mm) sanační maltou určenou pro sanaci vodních děl.

Rozsah sanačního zásahu u jednotlivých částí jezu pak plyne z určeného rozsahu poškození jednotlivých konstrukcí viz. kapitola 4.9. Dále pak z dostupné PD (v rámci STP byly kontrolovány skutečné základní rozměry s dostupnou PD a bylo potvrzeno, že dostupná PD odpovídá skutečnosti).

Vzhledem k typu konstrukce a náročnosti zpřístupnění konstrukce doporučujeme provést opravy priorit 1 i 2 v jednom termínu.

6.3. EKONOMICKÁ ROZVAHA OPRAV

Komplexní rozpočet sanačního zásahu celé konstrukce jezu není předmětem STP. V celkové ceně bude výraznou část činit položka za přípravné práce pro zpřístupnění konstrukcí, jež jsou při běžném provozu pod vodou.

Jedná se pouze o ideový návrh, který bude nutné přizpůsobit provozu jezu, množství průtoku vody i klimatickým podmínkám.

Níže je tedy uvedena ekonomická rozvaha obsahující odborný odhad jednotkových cen sanačních prací, jež jsou nutné pro řádnou sanaci konstrukcí plynoucí z výsledků z výše uvedeného STP.

Tabulka č.17. Odborný odhad jednotkových cen sanačních prací

Popis prací	Jednotka	Cena Bez DPH
Demolice železobetonové konstrukce	m ³	8 500
Vyztužení železobetonové konstrukce (2x kari sítě či armovací koš z výztuže o Ø do 10mm)	m ²	600 950 s kotvením
Reprofilace povrchu stěn do původního profilu stříkaným vodostavebním betonem	m ³	18 000
Betonáž vodostavebního betonu do bednění	m ³	6 000
Reprofilace pomocí betonáže do bednění za použití konstrukčního betonu min pevnostní třídy C25/30	m ³	15 000
Provedení celoplošné ochranné vrstvy (10–20 mm) sanační maltou určenou pro sanaci vodních děl	m ²	2 000
Očištění ocelové výztuže od korozních produktů	bm	50
Aplikace antikorozní ochrany výztuže	bm	40
Předúprava betonu pomocí kombinace mechanického sekání a hydrodemolice	m ²	800 – 2 500 (dle tloušťky)
Reprofilace pomocí kombinace strojového a ručního nanášení reprofilačních malt do hloubky 0 – 10mm.	m ²	1 200
Reprofilace pomocí kombinace strojového a ručního nanášení reprofilačních malt do hloubky 10 – 20mm.	m ²	1 500
Reprofilace pomocí kombinace strojového a ručního nanášení reprofilačních malt do hloubky 20 – 40mm.	m ²	3 200
Reprofilace pomocí kombinace strojového a ručního nanášení reprofilačních malt do hloubky nad 40 mm.	m ²	6 000
Statické sešití konstrukčních trhlin T1 aT2 helikální vyztuží. Injektáž a sanace trhlin.	bm	6 000

Přílohy:

1 - Fotodokumentace v elektronické podobě.

V Brně dne 30.8. 2020

Ing. Zdeněk Šnirch, Ph.D.
zodpovědný zpracovatel