



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

VODNÍ DÍLO LETOVICE – NÁVRH REKONSTRUKCE SYSTÉMU TBD

THE DAM LETOVICE – THE DESIGN OF THE RECONSTRUCTION OF THE TECHNICAL
SURVEILLANCE SYSTEM

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zbyněk Vahalík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. JAROMÍR ŘÍHA, CSc.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Zbyněk Vahalík
Název	Vodní dílo Letovice – návrh rekonstrukce systému TBD
Vedoucí práce	prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.
Datum zadání	30. 11. 2019
Datum odevzdání	22. 5. 2020

V Brně dne 30. 11. 2019

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Manipulační řád VD Letovice

Publikace Vodní dílo Křetínka u Letovic, MLVH.

Výkresová dokumentace VD Letovice

Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem je vypracovat projekt rekonstrukce systému TBD pro přehradu Letovice. Studie bude obsahovat:

1. Technickou zprávu
2. Výkresovou část jednotlivých prvků pro měření a pozorování

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem rekonstrukce systému technickobezpečnostního dohledu (TBD) na vodním díle Letovice. Úvodem je popsáno území přehrady, její okolí a samotné vodní dílo spolu s jednotlivými objekty. Dále je popsán systém měření TBD a výčet stávajících měřicích zařízení s jejich popisem, který je doplněn o výsledky měření TBD z minulých let. Je uveden výčet zařízení, která budou z vodního díla při rekonstrukci odstraněna. V závěrečné části práce je popsán návrh nového systému TBD, seznam nově navrhovaných, popř. rekonstruovaných měřicích zařízení a jejich charakteristika.

KLÍČOVÁ SLOVA

Přehrada Letovice, rekonstrukce přehrady, technickobezpečnostní dohled, měřicí zařízení, měření průsakového režimu, měření deformací

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the design of the reconstruction of the technical surveillance system of the dam Letovice. The introductory part describes the area of the dam, dam's surroundings and the dam itself with the particular objects. The subsequent section describes the technical surveillance system and a list of existing measuring devices with description. This is completed by the measurement results of the technical surveillance system from previous years. Additionally, it also contains the list of devices, which will be removed during the reconstruction. The final part deals with the design of the new technical surveillance system, list of measuring devices and their characteristics.

KEYWORDS

The dam of Letovice, reconstruction of the dam, the technical surveillance system, measuring devices, measuring of leakage mode, measuring of deformation

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Zbyněk Vahalík *Vodní dílo Letovice – návrh rekonstrukce systému TBD*. Brno, 2020. 76 s., 19 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce prof. Ing. Jaromír Říha, CSc.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Vodní dílo Letovice – návrh rekonstrukce systému TBD* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 5. 6. 2020

Zbyněk Vahalík
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Vodní dílo Letovice – návrh rekonstrukce systému TBD* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 5. 6. 2020

Zbyněk Vahalík
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Chci poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu prof. Ing. Jaromírovi Říhovi, CSc. za cenné rady, čas a vlídnost při konzultacích, které mi věnoval a věcné připomínky při psaní této bakalářské práce. Zároveň chci poděkovat panu Ing. Františku Glacovi, za podklady, jeho čas, rady a předané zkušenosti, které mi věnoval při psaní bakalářské práce. V neposlední řadě chci poděkovat svojí rodině a blízkým, kteří mě ve studiu podporují.

OBSAH

OBSAH	1
1 CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE	3
2 POPIS LOKALITY A VODNÍHO DÍLA.....	4
2.1 Všeobecně o území.....	4
2.2 Historie a Účel VD.....	6
2.3 Geologické poměry	6
2.4 Hydrologické poměry.....	8
2.5 Popis VD.....	12
2.5.1 Nádrž.....	13
2.5.2 Hráz.....	14
2.5.3 Výpustný objekt	14
Odběrná věž.....	14
Spodní výpustí.....	15
Potrubí asanačního průtoku	17
Chodba spodních výpustí a strojovna regulačních uzávěrů.....	17
Vývar spodních výpustí.....	18
2.5.4 Bezpečnostní přeliv, skluz, vývar.....	18
2.5.5 Malá vodní elektrárna	20
2.5.6 Koryto toku	23
2.6 Technickobezpečnostní dohled nad vodním dílem	25
2.6.1 Obecně k systému TBD	25
2.6.2 TBD nad vodním dílem Letovice.....	27
Nezávislé veličiny	31
Závislé veličiny	31
2.6.3 Výsledky měření TBD na VD Letovice	47
2.7 Pravidla manipulace	49
3 ZAMÝŠLENÁ REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA.....	51
3.1 Důvod rekonstrukce.....	51

3.2	Popis navrhované úpravy	51
3.3	Dotčená zařízení TBD	52
4	NÁVRH NOVÉHO SYSTÉMU TBD	54
4.1	Nezávislé veličiny	54
4.2	Závislé veličiny	54
5	ZÁVĚR	62
6	POUŽITÁ LITERATURA A PODKLADY	63
7	SEZNAM ZKRATEK	65
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	66
9	SEZNAM TABULEK	68
	PŘÍLOHY	69

1 CÍLE A PŘEDMĚT PRÁCE

Cílem této práce je návrh nového systému technickobezpečnostního dohledu (TBD) na vodním díle (VD) Letovice, které bude procházet rekonstrukcí. Při rekonstrukci přehrady dojde k rozebrání koruny a horní části násypu hráze a zvýšení těsnicího jádra a koruny hráze. Dále dojde k úpravě návodního a také vzdušního svahu, na kterém se nacházejí měřicí zařízení systému TBD – přístroje pro měření průsakového režimu a deformací. Při stavebních pracích a za provozu VD bude muset být zachována funkce systému TBD. Dojde tak ke zrušení některých zařízení stávajícího systému TBD, k doplnění a modernizaci měření (automatizaci) některých zařízení TBD, které zajistí zvýšení bezpečnosti VD a celého území pod ním.

Náplní práce je seznámení se se stávajícím systémem měření TBD na VD, měřicích zařízení, která se na VD aktuálně nacházejí. Dále měřicí zařízení, která budou stavebními a bouracími pracemi odstraněny a návrh nového systému TBD, tj. měřicích zařízení, která budou na VD Letovice nově instalována.

Předmětem práce je:

- popis území a lokality VD,
- popis stávajícího stavu VD,
- popis a rozbor stávajícího měření systému TBD,
- výsledky měření TBD z minulých let,
- popis navrhované rekonstrukce VD,
- návrh nového systému TBD.

Práce obsahuje textovou část a výkresovou dokumentaci. Při podrobném návrhu jednotlivých zařízení TBD se vychází z předchozích stupňů projektové dokumentace [15] a [23]. Výkresová dokumentace v přílohách této práce byla vypracována s využitím dokumentace [23]. Přílohy č. 1 až 4 a č. 19 byly upraveny s využitím předloh dle [23], ostatní přílohy byly vypracovány autorem této práce s využitím poskytnutých vzorů a typů.

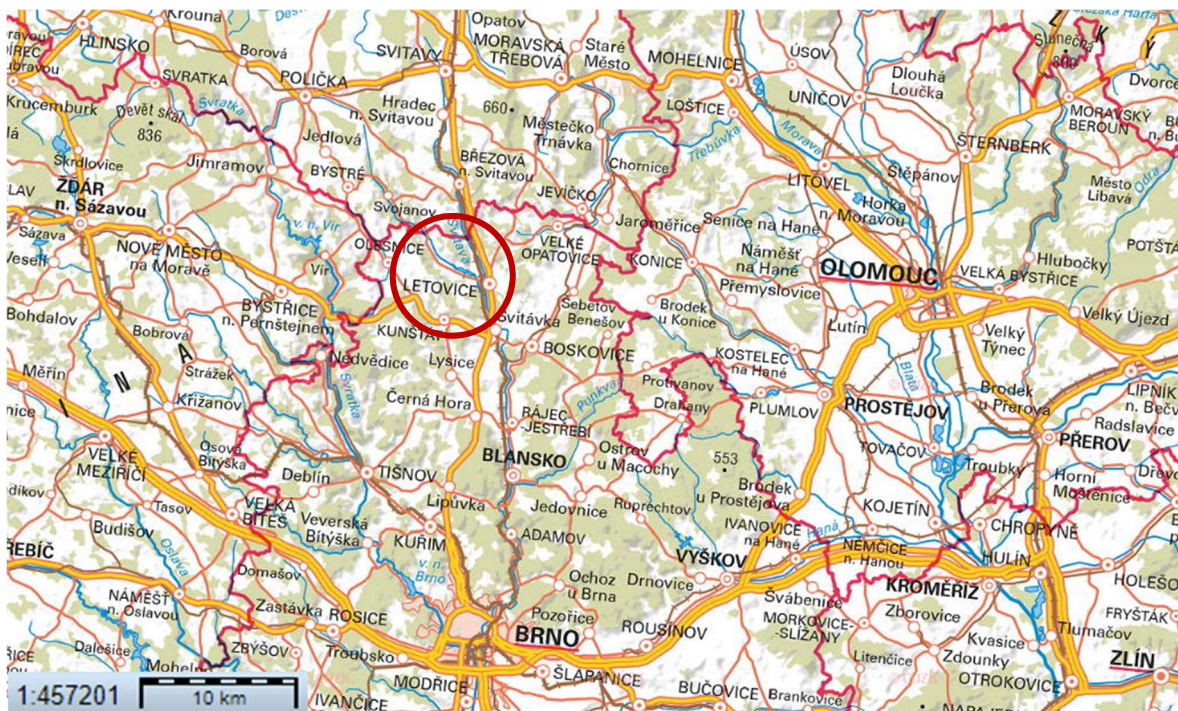
2 POPIS LOKALITY A VODNÍHO DÍLA

2.1 VŠEOBECNĚ O ÚZEMÍ

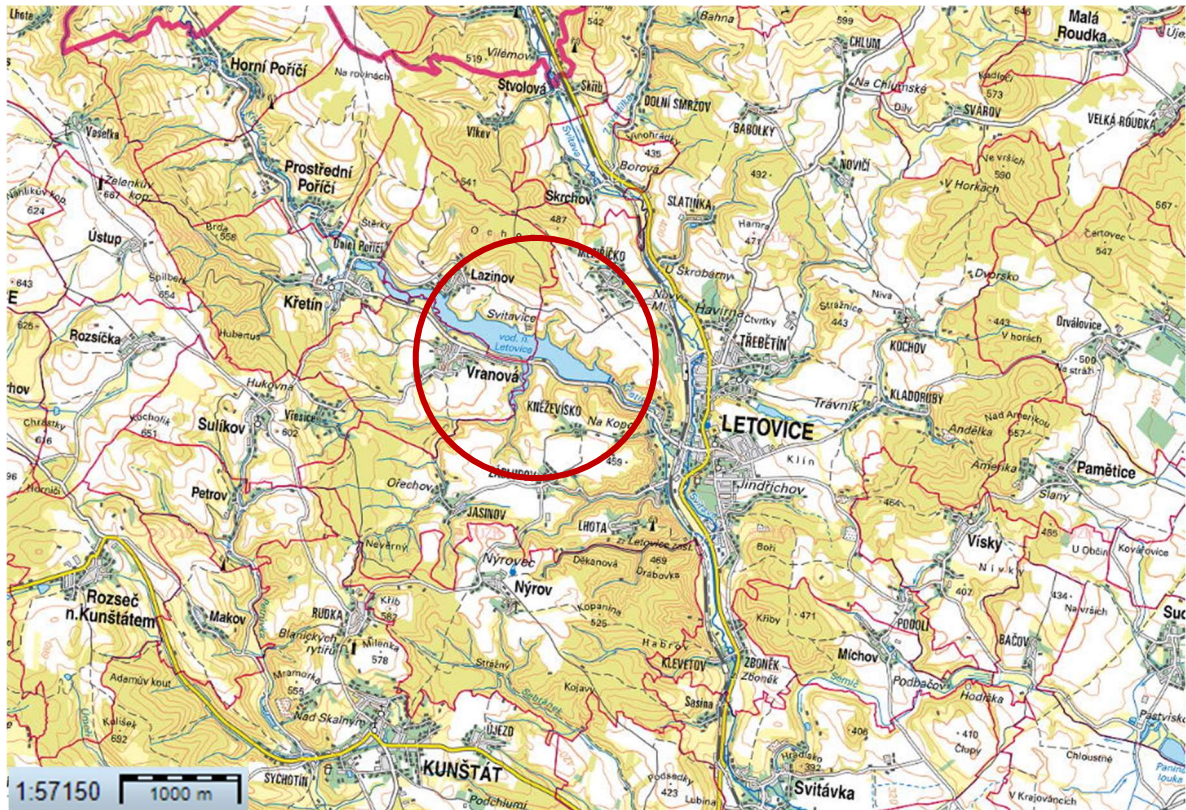
Zájmové území leží v Jihomoravském kraji, na katastrálním území města Letovice, které spadá do okresu Blansko (obr. 2.1 a 2.2). Hráz VD Letovice se nachází na toku Křetínka 2,923 km [2] od soutoku s řekou Svitavou do které se poté Křetínka vlévá. Křetínka pramení v Třebovském meziohří a je dlouhá 29 km. Protéká mezi Svitavskou pahorkatinou a Hornosvrateckou vrchovinou. U soutoku Křetínky se Svitavou se na pravém břehu rozprostírá Boskovická brázda.

Správcem tohoto povodí je státní podnik Povodí Moravy, závod Dyje, který spolu s Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ) území monitorují. Data z limnigrafických stanic (LG) jsou přístupná online. Na toku Svitavy se nachází tři LG. LG, které se podílí na nalepšování průtoků do Svitavy jsou LG Hradec nad Svitavou a LG Letovice, ležící pod soutokem Křetínky se Svitavou. Na řece Křetínce se nachází stejný počet stanic jako na řece Svitavě, tedy tři. Pod VD se nachází LG Letovice pod přehradou a o několik kilometrů proti toku Křetínky LG Prostřední Poříčí [6].

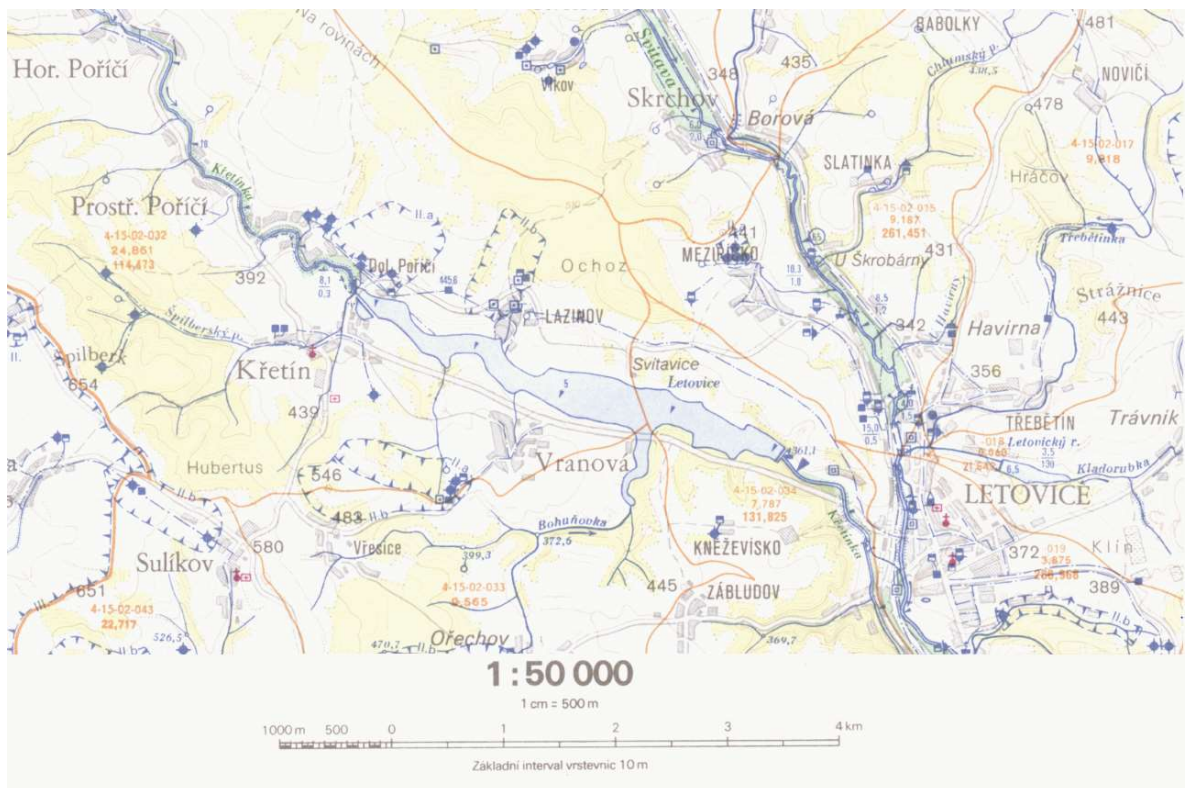
VD a jeho okolí je vidět na vodohospodářské mapě na obr. 2.3.



Obr. 2.1 Situace širších vztahů [21] (souřadnicový systém S-JTSK)



Obr. 2.2 Přibližná situace širších vztahů [21] (souřadnicový systém S-JTSK)



Obr. 2.3 Vodohospodářská mapa VD Letovice a jeho okolí [24]

2.2 HISTORIE A ÚČEL VD

Původní záměr vybudovat nádrž Letovice přichází již na začátku 20. století, kdy v roce 1911 byla projektována za účelem zadržení velkých vod a zabránění škodám, které by mohly způsobit povodně. Tehdy měla mít celkový objem 5,8 mil. m³. Ideová studie byla zpracována na konci dvacátých let minulého století v roce 1929, kdy se objem nádrže zvětšil o 3,4 mil. m³ tedy na 9,2 mil. m³ a uvažuje se v ní i s využitím energie ve vodní elektrárně. Hlavní význam a účel nádrže přišel po druhé světové válce a ve Státním vodohospodářském plánu v roce 1954 jako kompenzační zlepšení průtoků v řece Svitavě. Ze Svitavy se začala po vybudování Březovského vodovodu jímat pitná voda pro město Brno z pramenišť u Muzlova, a to mělo za následek úbytek vodnosti ve Svitavě [1]. Zpracovaná projektová dokumentace byla schválena v roce 1970 a o rok později bylo vydáno stavební povolení. Výstavba přehrady trvala čtyři roky (1972-1976). Po dokončení stavby probíhal jeden rok zkušební provoz (1976-1977). VD bylo do trvalého provozu uvedeno na podzim v roce 1979 [6].

Jak již bylo zmíněno, hlavní účelem nádrže je kompenzační zlepšování vody s cílem zajistit minimální průtok ve Svitavě $Q_{min} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v profilu pod soutokem Svitavy s Křetínkou. Druhým účelem Letovické nádrže je zajištění minimálního zůstatkového průtoku pod hrází MZP = $0,100 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Třetím účelem je využití vodní energie z odtoků z nádrže v malé vodní elektrárně (MVE). Čtvrtým je rekreace, pátým účelem chov ryb pro sportovní rybářství a šestým účelem je snížit povodňové průtoky přes bezpečnostní přeliv neovladatelným retenčním prostorem [3].

2.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

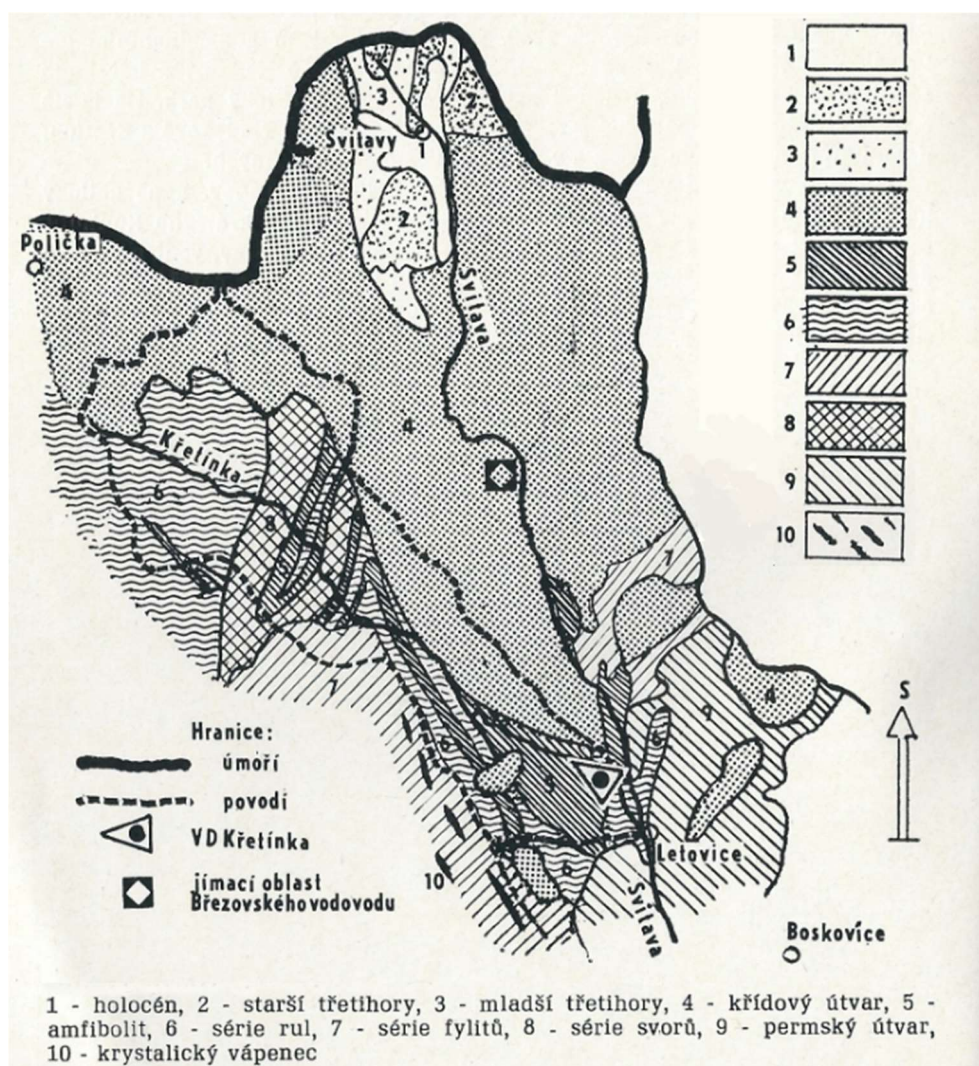
Níže uvedený text této kapitoly byl převzat z [1]. Geologická mapa širší oblasti VD je vidět na obr. 2.4. Horní oblast Svitavy je složena z několika tektonických jednotek, kterými jsou moravika, moldanubika, svrchnokřídové tabule a Boskovická brázda. Přes Vysoké Mýto od Hradce Králové vede jihovýchodním směrem česká křídová tabule, která zasahuje do okolí toku Svitavy. Vlivem vhodně soustředěných proudů představují vodonosné prvky české křídly, skládající se z vrstev středního a spodního turonu a cenomanu o dosahující mocnosti přes 200 m, vydatnou nádrž podzemních vod. Pískovci a rozpukanými opukami velmi dobře procházejí atmosférické srážky, které se následně shromažďují ve vráse na nepropustném podloží. Toto místo leží kolem jižní části ústecké vrásky, tedy v místě nejsoustředěnějšího

proudění podzemní vody a prameny jsou zde nejbohatší. Právě odtud čerpá vodu Březovský vodovod [1].

V oblasti Letovic se nalézají kovy, především železné rudy, které se na několika místech těžily. Podzemní voda infiltruje do půdy přes srážky dopadající na povrch, i povrchovými toky. Infiltrační území kolem Svitavy je velmi rozlehlé – uvádí se plocha cca 250 km².

Přehrada a území, na kterém se nachází, leží na místě letovického krystalinika. Skalní podloží tvoří rula a amfibolit. Amfibolit je pevný a odolný proti zvětrávání. Rula je v povrchových polohách a při styku s amfibolitem značně navětralá až rozpadavá [1].

V oblasti zátopy se vyskytují skalní horniny křídového stáří. Ty však do přehradního profilu nezasahují. Území kolem přehrady má komplikované tektonické poměry. Těleso amfibolitu v prostoru hráze a přehradního profilu se nachází na podložních rulách. Pokryv kvartéru ve dně údolí tvoří diluviální a fluviální sedimenty [1].



Obr. 2.4 Geologická mapa širší oblasti [1]

2.4 HYDROLOGICKÉ POMĚRY

Povodí Moravy, s.p. sleduje hydrologické poměry pomocí svých LG stanic, které má rozmístěné rovnoměrně po celém povodí. Využívá také data z měřicích stanic ČHMÚ. V této kapitole jsou uvedeny tabulky hydrologických poměrů v oblasti VD Letovice.

Základní hydrologické údaje jsou uvedeny v tabulce 2.1, limity pro stupně povodňové aktivity jsou k zapsány v tab. 2.2. Dále jsou k dispozici průtoky m-denní (tab. 2.3) a N-leté kulminační (tab. 2.4). Jako poslední je v tabulce 2.5 uvedena transformace povodní nádrží Letovice.

Tab. 2.1 Základní hydrologické údaje

	Tok	Profil	Plocha povodí A [km ²]	Specifický odtok q [l.s ⁻¹ /km ²]	Průměrný dlouhodobý roční průtok Q_a [m ³ .s ⁻¹]	Průměrný roční úhrn srážek [mm]
Data z roku 1981 [1]	Křetínka	VD Letovice hráz	123,83	5,06	0,65	644
	Svitava	Letovice pod Křetínkou	411,03	5,01	2,14	648
Data z roku 2009 [2]	Křetínka	Prostřední Poříčí	101,46	5,72	0,556	696
	Křetínka	VD Letovice hráz	126,32	5,10	0,644	686
	Křetínka	Letovice pod přehradou	126,52	5,09	0,645	686
	Svitava	Rozhraní	225,17	5,58	1,257	679
	Svitava	Letovice	419,31	5,39	2,263	673
Data z roku 2009 [5]	Letovice	VD Letovice hráz	126,46	-	0,644	686

Tab. 2.2 Limity pro stupně povodňové aktivity

Tok	Křetínka [7]	Svitava [8]
Profil	Letovice pod přehradou	Letovice
1. stupeň povodňové aktivity	80 cm	100 cm
2. stupeň povodňové aktivity	95 cm	130 cm
3. stupeň povodňové aktivity	140 cm	170 cm
3. stupeň povodňové aktivity (extrémní ohrožení)	170 cm	283 cm

Tab. 2.3 M-denní průtoky

Tok	Profil	m-denní průtoky Q_m [dny]						
		30 _d	90 _d	180 _d	270 _d	330 _d	355 _d	364 _d
		m ³ .s ⁻¹						
Data z roku 1981 [1]								
Původní stav (po uvedení I. březovského vodovodu do provozu)								
Křetínka	Přehradní profil	1,55	0,77	0,41	0,25		0,08	0,04
Křetínka	Letovice	1,66	0,80	0,43	0,26		0,09	0,05
Svitava	Letovice nad Křetínkou	2,09	1,58	1,27	1,05		0,76	0,57
Svitava	Letovice pod Křetínkou	3,75	2,38	1,70	1,31		0,85	0,62
Stav po odběru podzemní vody pro II. březovský vodovod								
Svitava	Letovice nad Křetínkou	1,35	0,89	0,68	0,54		0,31	0,19
Svitava	Letovice pod Křetínkou	2,9	1,66	1,09	0,79		0,39	0,23
Stav po nalepšení průtoků z VD								
Svitava	Letovice pod Křetínkou	2,86	1,61	0,88	0,86		0,86	0,86
Svitava	Nad jímacím územím II. březovského vodovodu	0,3	0,23	0,19	0,15		0,1	0,07
Svitava	Pod jímacím územím II. březovského vodovodu	1,23	0,96	0,76	0,62		0,45	0,34
Data z roku 1976-2006 [2]								
Křetínka	Celkový přítok do VD	1,521	0,878	0,582	0,370	0,238	0,146	0,077
Křetínka	VD pod hrází	1,440	0,674	0,454	0,176	0,101	0,091	0,077
Křetínka	Rozhraní	1,230	0,805	0,579	0,420	0,271	0,199	0,140
Svitava	Letovice	2,990	1,750	1,200	0,926	0,739	0,558	0,449

Tab. 2.4 N-leté kulminační průtoky

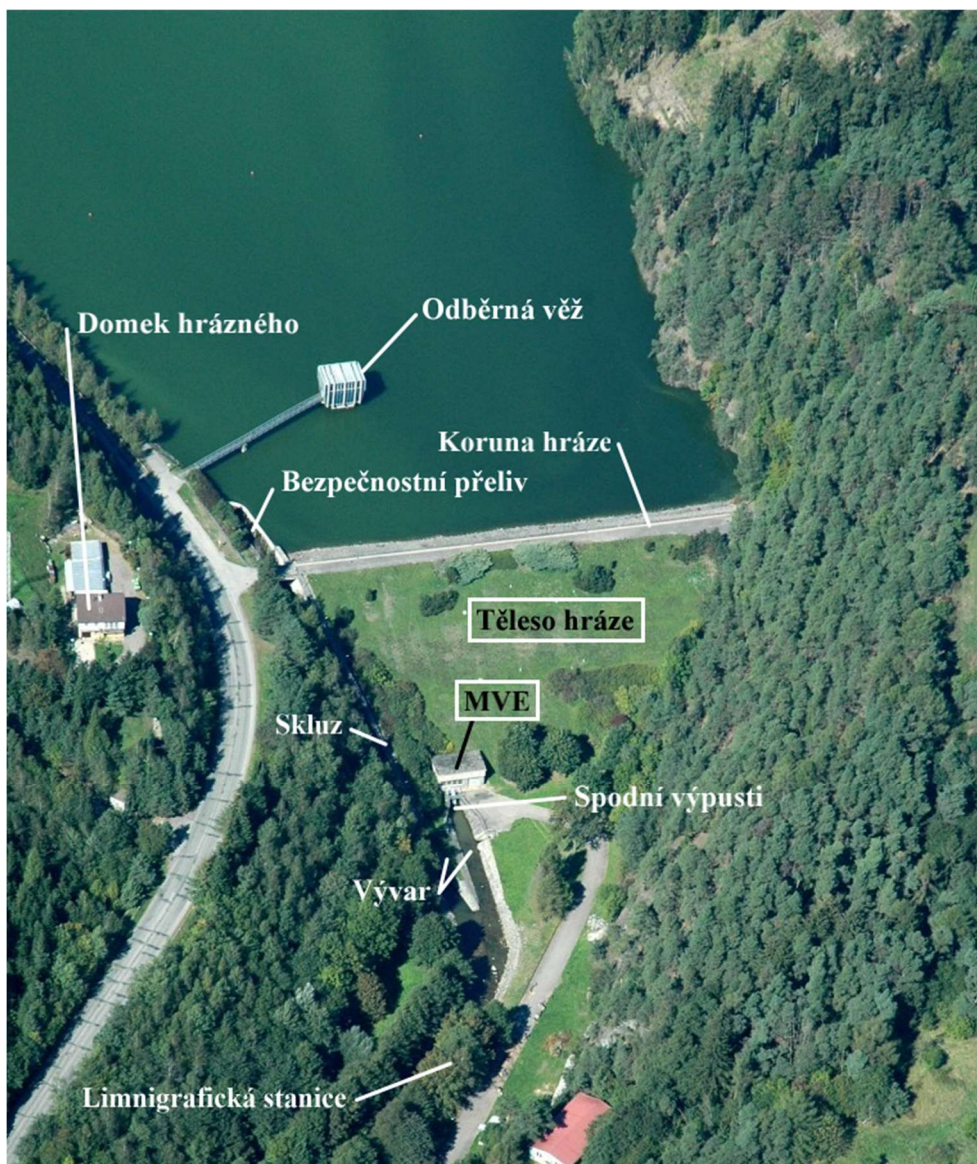
Tok	Data z roku 1981 [1]						Data z roku 2008 [2]						Data z roku 2009 [5]		
	Kulminační průtok						Kulminační průtok						Kulminační průtok		Objem povodňové vlny
	Křetínka	Svitava		Pod jímácím územím II. břez. vod.		Prostřední Poříčí	Křetínka	VD Letovice hráz	Svitava	VD Letovice hráz	Křetínka	VD Letovice hráz (klasická metodika)	VD Letovice hráz (modelové řešení)	Objem povodňové vlny	
N [roky]	Q_N [m ³ .s ⁻¹]						Q_N [m ³ .s ⁻¹]						Q_N [m ³ .s ⁻¹]		W_N [10 ⁶ m ³]
Q_1	7,0	17,0	18,0	5,0	7,0	4,7	7,5	14,5	7,5	1,2	7,5	7,5	1,2	1,2	
Q_2					10,5	7,8	11,5	22,0	10,8	1,8	10,8	10,8	1,8	1,8	
Q_5	20,0	23,0	51,0	17,0	16,5	13,3	18,0	34,5	16,6	2,9	16,6	16,6	2,9	2,8	
Q_{10}	22,0	33,0	66,0	25,0	22,0	18,6	24,0	45,5	22,4	3,8	22,4	22,4	3,8	3,7	
Q_{20}	28,0	43,0	75,0	32,0	28,0	24,8	30,5	58,5	29,2	4,7	29,2	29,2	4,7	4,7	
Q_{50}	34,0	47,0	83,0	43,0	37,5	34,7	41,0	78,0	40,2	6,2	40,2	40,2	6,2	6,2	
Q_{100}	40,0	70,0	90,0	52,0	46,0	43,5	50,0	95,0	50	7,5	50	49,1	7,5	7,5	
Q_{200}						68,7	58,0			8,6	61,3	65,2	8,6	8,9	
Q_{500}						82,2	68,0			10,0	78,8	92,5	10,0	11	
Q_{1000}						97,1	76,0			11,6	94,1	114,3	11,6	12,7	
Q_{2000}											111,3	140,8		14,6	
Q_{5000}											137,5			17,4	
Q_{10000}											160	212		19,7	
						103,0				16,6					

Tab. 2.5 Transformace povodňní nádrží Letovice [2]

	Var. a)		Var. b)		Var. c)		Var. d)	
	Transformace při využití retenčního objemu nad kótou 360,10 m n. m. spodní výpusti v provozu		Transformace při využití retenčního objemu nad kótou 360,10 m n. m. spodní výpusti mimo provoz		Transformace při využití části zásob. objemu od kóty 358,60 m n. m. spodní výpusti v provozu		Transformace při využití části zásob. objemu od kóty 355,00 m n. m. spodní výpusti v provozu	
N	Q_{Ntrans}	Max. dosažená hladina	Q_{Ntrans}	Max. dosažená hladina	Q_{Ntrans}	Max. dosažená hladina	Q_{Ntrans}	Max. dosažená hladina
roky	$m^3 \cdot s^{-1}$	m n. m.	$m^3 \cdot s^{-1}$	m n. m.	$m^3 \cdot s^{-1}$	m n. m.	$m^3 \cdot s^{-1}$	m n. m.
Q_1	7,0	360,10						
Q_5	13,9	360,50	15,3	360,55	7,0	359,41		
Q_{10}	19,0	360,62	20,7	360,65	7,0	359,97		
Q_{20}	25,4	360,73	27,2	360,76	10,0	360,44		
Q_{50}	34,2	360,87	35,6	360,89	19,6	360,63		
Q_{100}	41,8	360,98	42,5	360,99	26,6	360,75	7,0	359,48
Q_{200}	49,9	361,09	50,6	361,10	33,6	360,86	7,0	360,28
Q_{500}	59,6	361,22	60,5	361,23	42,5	360,99	14,8	360,55
Q_{1000}	64,8	361,28	65,7	361,29	47,7	361,05	19,5	360,63
Q_{10000}			93,8	361,57				

2.5 POPIS VD

VD Letovice je komplex několika objektů (obr. 2.5), které tvoří vlastní specifickou funkci. Objekty VD jsou tvořeny vzdouvacím objektem (hráz), výpustními zařízeními (odběrná věž, spodní výpusti, aj.), bezpečnostním přelivem, skluzem s vývarem, MVE a dalšími.

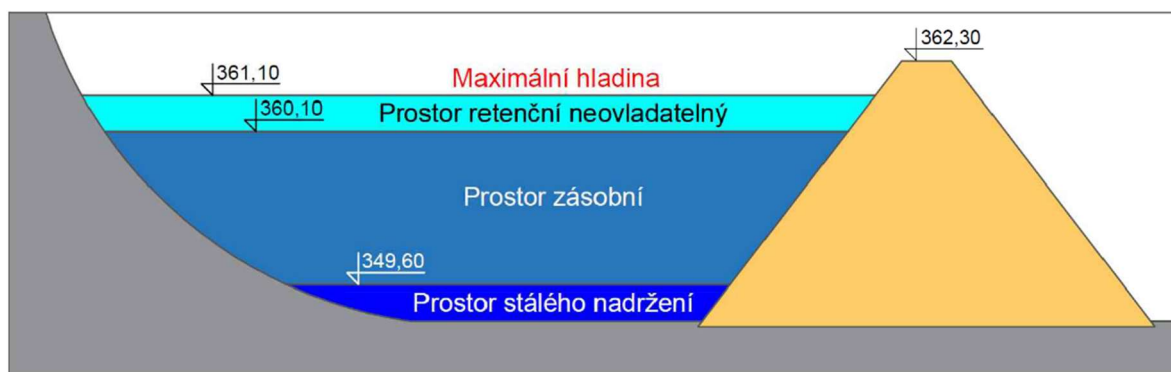


Obr. 2.5 Letecký snímek na přehradu [20]

2.5.1 Nádrž

Nádrž je rozdělena na tři funkční prostory. Každý slouží ke svému účelu. Prostory nádrže se dělí na prostor stálého nadržení, zásobní prostor a prostor retenční neovladatelný (obr. 2.6). Rozdělení prostorů s konkrétními výškami a objemy je patrný z tabulky 2.6.

Maximální hladina je na kótě 361,10 m n. m. Celkový objem nádrže je 11,644 mil. m³ a zatopená plocha čítá 110,90 ha. Maximální délka záplavy je 4,70 km o maximální hloubce vody 27,30 m [2].



Obr. 2.6 Funkční prostory nádrže

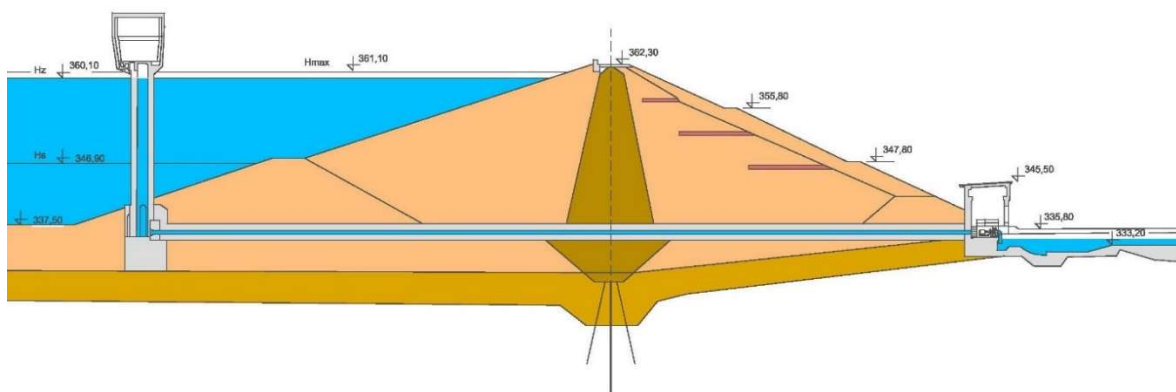
Tab. 2.6 Rozdělení prostorů nádrže

Prostor nádrže	Výšková kóta [m n. m.]	Objem [10 ⁶ m ³]	Zatopená plocha [ha]
Data z roku 1981 [1]			
Prostor stálého nadržení	334,20 – 347,30	1,500	-
Prostor zásobní	347,30 – 360,50	9,024	-
Prostor retenční neovladatelný	360,50 – 361,50	1,046	-
Data z roku 2009 [2]			
Prostor stálého nadržení	333,80 – 346,90	1,560	37,5
Prostor zásobní	346,90 – 360,10	9,015	104,6
Prostor retenční neovladatelný	360,10 – 361,10	1,068	110,9

2.5.2 Hráz

Hráz je nehomogenní sypaná z hlinitokamenité sutě se středním jílovým těsnicím jádrem, vysoká 28,5 m nad terénem a široká v koruně 5,0 m. Návodní svah má sklon 1:3 a je zpevněn vrstvou živičného makadamu v tloušťce 25 cm uloženého na 30 cm šterkopískového filtru a 30 cm filtru pískového. V místě vlnobití je doplněn drátokamennými matracemi. Vzdušní svah je zatravněn a má sklon 1:2,25. Jsou na něm provedeny dvě bermy na kótách 347,60 m n. m. a 355,60 m n. m. Těsnění podloží je provedeno jednořadou injekční clonou dlouhou 174,0 m z injekčního betonového bloku, který navazuje na těsnicí jádro. Jádro i injekční clona jsou v ose hráze. Blok je široký 5,0 m a vysoký min. 2,0 m. Před injekční clonou a za ní je provedena fortifikační injektáž. Kóta koruny hráze je v průměrné výšce 362,30 m n. m. (min. 362,10 m n. m. a max. 362,36 m n. m.). Dno nádrže v místě hráze je na kótě 333,80 m n. m. Hráz je v koruně dlouhá 126,0 m a je po ní vedena účelová vozovka výhradně pro potřeby správce VD. Po celé délce je u návodního svahu veden vlnolam, jehož koruna je na kótách min. 362,90 m n. m. a max. 363,05 m n. m. Celkový objem násypu hráze činí 165 255 m³ [1, 2].

Schematický příčný řez hrází a spodní výpustí je vidět na obr. 2.7.



Obr. 2.7 Schematický příčný řez hrází [16]

2.5.3 Výpustný objekt

Výpustná zařízení jsou tvořena odběrnou věží s uzávěry a krytou strojovnou, výpustnou chodbou, strojovnou spodních výpustí s uzávěry a vývařištem.

Odběrná věž

Odběrná mokrá věž je železobetonová, obdélníkového půdorysu o rozměrech 9,0 x 6,4 m s krytou strojovnou na kótě 362,60 m n. m., opláštěnou panely z tvrdého skla (obr. 2.8). Věž

je vysoká 31,5 m a její dřík má půdorysné rozměry 4,15 x 6,40 m. Ve věži jsou dvě oddělené manipulační šachty s půdorysnými rozměry 2,00 x 2,20 m a mezi šachtami je umístěn plovákový hladinoměr. Přístup do věže je umožněn pomocí ocelové obslužné lávky vedené z pravého břehu nádrže. Lávka má délku 47,0 m a světlou šířku 1,5 m [2].



Obr. 2.8 Odběrná mokrá věž

Spodní výpusti

Spodní výpusti tvoří dvě potrubí DN 700 mm o celkové délce 130 m uložená na betonových blocích umístěných v chodbě spodních výpustí (obr. 2.9). Vtok do spodních výpustí chrání vytahovatelný česlicový rám o rozměru 2,0 x 2,5 m. Kóta osy vtoku je 335,85 m n. m. a kóta osy výtoku 335,20 m n. m. Potrubí asanačního průtoku jsou připojena k hlavnímu potrubí výpusti. Voda prosáklá mezi zahrazeným stavidlem se vypouští potrubím DN 200 mm. Obě potrubí jsou vybavená šoupaty a jsou vyvedená do suché chodby [2].

Na každé spodní výpusti jsou osazeny tři funkčně nezávislé uzávěry. Stavidlové tabule o rozměru 2,0 x 1,4 m s těsněním po vodě, slouží v případě havárie uzávěrů nebo potrubí jako provozní neregulační uzávěry a jsou zavěšeny na závěsné konstrukci. Otvírání tabulí je umožněno jen když jsou tlaky vyrovnané, zavírání je naopak možné při plném průtoku. Ovládány jsou ručně i elektricky. Tabulové uzávěry o rozměru stejném jako uzávěry provozní 2,0 x 1,4 m s těsněním proti vodě, slouží jako revizní uzávěry a jsou zavěšeny na

závěsné konstrukci pomocí táhel (obr. 2.10). Otevírání revizních uzávěrů je možno provádět pouze při vyrovnaných tlacích, stejně tak i zavírání. V případě revize zařízení šachty, včetně potrubí výpusti, se užívá revizních uzávěrů. Kuželové uzávěry slouží jako provozní regulační uzávěry a jsou konstruovány pro tlak 26 m vodního sloupce. Jsou umístěny ve strojovně pod hrází a ovládají se z místa nebo dálkově z domku hrázného [2].

Kapacita spodních výpustí je závislá na velikosti vodního sloupce, tedy výšce hladiny v nádrži, který způsobuje tlak vody. Kapacita spodních výpustí při maximální hladině 361,10 m n. m. je $2 \times 3,59 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (celkem $7,18 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), při maximální zásobní hladině ve výšce 360,10 m n. m. je $2 \times 3,51 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (celkem $7,02 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) a při výšce hladiny stálého nadržení 346,90 m n. m. je kapacita $2 \times 2,17 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ (celkem $4,34 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) [2].



Obr. 2.9 Chodba spodních výpustí s výpustným potrubím



Obr. 2.10 Soutyči revizních uzávěrů spodních výpustí

Potrubí asanačního průtoku

Potrubí asanačního průtoku tvoří dvě potrubí DN 150 mm s regulačními klapkami, která jsou připojena na hlavní potrubí spodních výpustí. Kapacita potrubí asanačního průtoku při maximální zásobní hladině je pro levou výpust $0,180 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, pro pravou výpust $0,204 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ [2].

Chodba spodních výpustí a strojovna regulačních uzávěrů

Chodba spodních výpustí je dlouhá 121,0 m a navazuje na zadní stěnu věže. Má podélný sklon 0,3 % směrem ke strojovně spodních výpustí. Chodba je zaklenutá půlkruhově s výškou v ose 2,5 m a s šířkou při podlaze 3,0 m. V chodbě je mezi potrubím spodních výpustí zbudována kolejová dráha. Na chodbu navazuje strojovna regulačních uzávěrů, která je zapuštěna ve vzdušní patě hráze. Vnitřní půdorysné rozměry strojovny jsou 10,5 x 4,9 m s podlahou na kótě 336,00 m n. m. [2].

Vývar spodních výpustí

Vývařiště spodních výpustí (obr. 2.11) je dlouhé 15,4 m, široké 3,0 m a hluboké 1,4 m. Má betonové zdi provedené ve sklonu 5:1, obložené lomovým kamenem. Lomovým kamenem je obloženo i dno v délce 7,0 m. Samotné dno vývaru leží na kótě 331,80 m n. m. a práh vývaru je na kótě 333,20 m n. m. [2].



Obr. 2.11 Vývar spodních výpustí

2.5.4 Bezpečnostní přeliv, skluz, vývar

Na pravém břehu se nachází konstrukce bezpečnostního objektu. Na boční přeliv navazuje spadiště s podélným sklonem 5 % a šířkou 4,3 m (obr. 2.12). Sklon skluzu je proměnný. Za spadištěm se sklon zvětšuje až do zaústění do vývaru, které je pod sklonem 40 % (obr. 2.13). Osy vývařiště a skluzu jsou v jedné přímce (obr. 2.14). Délka přelivné hrany je 26,60 m a kóta koruny přelivu je 360,10 m n. m. Skluz je betonový o celkové délce 89,90 m, šířce ve dně 4,00 m a v křížení s korunou hráze je přemostěn železobetonovými nosníky. Šířka skluzu v místě přemostění je 4,50 m. Vývar pod přelivem je dlouhý 18,00 m, široký ve dně 4,00 m a hluboký 3,10 m [2]. Kapacita přelivu při maximální hladině 361,10 m n. m. je $58,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a kapacita při mezní bezpečné hladině 361,55 m n. m. je $81,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Při dosažení hladiny na kótě koruny 362,05 m n. m. je kapacita přelivu $92,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a při hladině na kótě koruny vlnolamu 362,82 m n. m. je kapacita přelivu $110,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ [5].



Obr. 2.12 Bezpečnostní přeliv se spadištěm



Obr. 2.13 Skluz pod spadištěm



Obr. 2.14 Protivodní pohled na hráz s funkčními objekty

2.5.5 Malá vodní elektrárna

MVE provozuje Povodí Moravy, s.p. Využívá tak množství vody vypouštěné z VD k výrobě elektrické energie pomocí turbogenerátorů (TG), a to v množství maximálně $1,090 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, při spádu 25 m. Původně byly v MVE instalovány dvě turbíny Bánki 2,5 B2 x 232 a turbína Francis F 30 H. Bánkiho turbíny byly v roce 2002 nahrazeny druhou Francisovou turbínou a čerpadlem v turbínovém provozu (TG3) [2]. V roce 2017 došlo k další výměně turbín. Původní Francisova turbína z roku 1988 byla nahrazena novou výkonnější turbínou Francis (TG1), Francisova turbína z roku 2002 byla nahrazena novou turbínou Francis (TG2) a čerpadlo v turbínovém provozu (TG3), instalované na MVE v roce 2002, bylo kompletně repasováno. Nové jsou také všechny generátory.

MVE je rozdělena na dvě části. V první části MVE se nachází turbína Francis (TG1). Umístěna je ve strojovně spodních výpustí pod hrází a v případě nepotřeby vytvářet elektrickou energii funguje pro jalové vypouštění vody do koryta toku. Přívodní potrubí má průměr DN 400 mm a její přivaděč je napojen na potrubí spodní výpusti. Ze savky je voda přiváděna do ukliďňovací nádrže. Odtud je vedena odpadním potrubím o průměru DN 1000 mm, délce 16 m a sklonu 3 % až do výtokového objektu. Minimální provozní hladina je na kótě 355,60 m n. m. Kóta minimální provozní spodní hladiny je na kótě 333,90 m n. m. a kóta minimální klidové spodní hladiny je 333,60 m n. m. [2]. Druhá část MVE obsahuje

turbínu Francis (TG2) a repasované čerpadlo v turbínovém provozu (TG3). Jejich savky ústí do vývaru hned za objektem MVE.

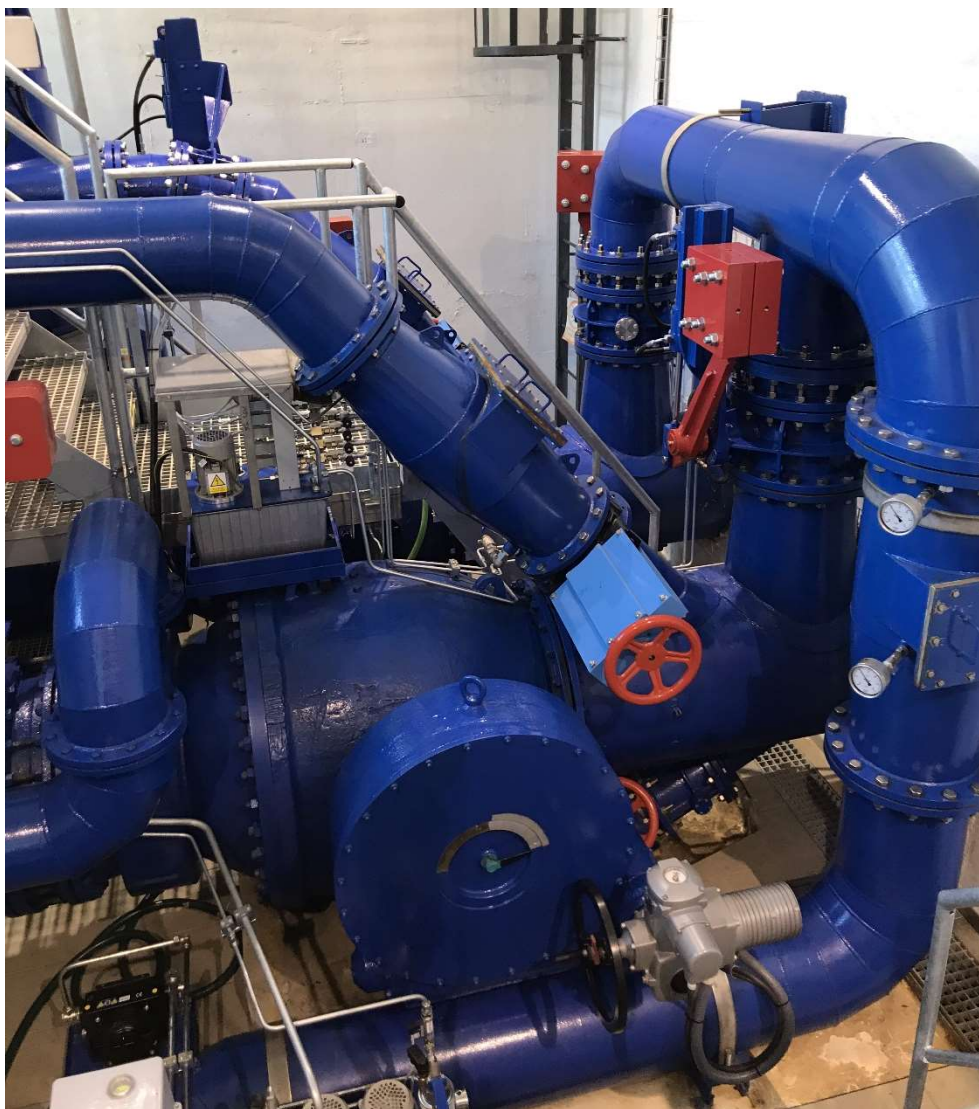
Objekt MVE je vidět na obr. 2.15 a turbíny, které se v MVE nacházejí, jsou k vidění na obr. 2.16. Parametry turbín MVE jsou uvedeny v tabulce 2.7.

Tab. 2.7 Parametry MVE a jejího vybavení [2]

Část MVE	1	2	2
Turbína	TG1	TG2	TG3
Typ	Francis	Francis	300-QVDR-415
	horizontální	horizontální	vertikální odstředivé spirální čerpadlo s dvoutokovým oběžným kolem
Rok instalace	2017	2017	2002 (2017 repas)
Potrubí přivaděče	DN 400	DN 300	DN 300
Spád	max. 25,7 m	max. 25 m	max. 25 m
	min. 16 m	min. 16 m	min. 16 m
Hltnost turbíny	max. 0,500 m ³ .s ⁻¹	max. 0,250 m ³ .s ⁻¹	max. 0,340 m ³ .s ⁻¹
	min. 0,250 m ³ .s ⁻¹	min. 0,100 m ³ .s ⁻¹	min. 0,220 m ³ .s ⁻¹
Průměr oběžného kola	345 mm	230 mm	415 mm
Maximální výkon	112 kW	55 kW	70 kW
Otáčky	2000 ot./min.	3000 ot./min.	1010 ot./min.
Ostatní technické parametry			
Kóta podlahy strojovny	334,40 m n. m.	334,80 m n. m.	334,80 m n. m.
Kóta výtokového prahu	333,60 m n. m.	333,60 m n. m.	333,60 m n. m.



Obr. 2.15 Objekt MVE spolu se strojovnou spodních výpustí



Obr. 2.16 Turbíny MVE

2.5.6 Koryto toku

Po přehrazení řeky Křetíanky a zbudování hráze bylo třeba upravit odpadní koryto pod hrází a na stávající koryto napojit funkční zařízení přehrady, tj. spodní výpusti a přeliv. Koryto je upraveno v délce 142,6 m v podélném sklonu 4 % a je zkapacitněno na cca 40 m³.s⁻¹. Sklon svahů koryta je 1:2 [2]. Nedaleko za vývazy se nachází LG Letovice pod hrází, kde se v korytě toku pozoruje výtokové množství z nádrže.

Upravené koryto toku pod hrází s LG jsou vidět na obr. 2.17 a 2.18. Záznamové zařízení nacházející se v LG je ukázáno na obr. 2.19.



Obr. 2.17 LG Letovice pod hrází a upravené koryto toku



Obr. 2.18 Koryto toku s vodočetnou latí u LG



Obr. 2.19 Záznamové zařízení LG

2.6 TECHNICKOBEZPEČNOSTNÍ DOHLED NAD VODNÍM DÍLEM

2.6.1 Obecně k systému TBD

Definice TBD zní následovně: „TBD nad vodními díly je monitorování a vyhodnocování technického stavu díla z hlediska jeho bezpečnosti, provozní spolehlivosti, možných příčin poruch a jejich následků. Jeho součástí je i návrh efektivních nápravných opatření. Napomáhá předcházet poruchám a možným hospodářským škodám nejen na vlastních dílech, ale i v přilehlém území pod nimi. Hlavním cílem je zabránit ohrožení lidských životů a majetku v důsledku havárie díla a vzniku zvláštní povodně. TBD je proto také nedílnou součástí systému komplexní protipovodňové ochrany a prevencí před vznikem zvláštních povodní, které mohou vzniknout při provozu vodních děl“ [11].

Dle zákona č.254/2001 Sb., o vodách [13] musí žadatel o povolení nového, či změnu dokončeného VD, které je určeno ke vzdouvání nebo zadržování vody, povinen k žádosti o povolení předložit posudek o potřebě, popř. návrhu podmínek provádění TBD, a to včetně návrhu na zařazení VD do jedné ze čtyř kategorií TBD. VD Letovice se řadí do II. kategorie. Tyto kategorizace VD z hlediska TBD zpracovávají pouze osoby odborně způsobilé a pověřené ministerstvem zemědělství. Na území České republiky zajišťuje tuto činnost společnost Vodní díla – TBD, a.s. [12, 14].

Kritéria pro zařazení VD do II. kategorie jsou následující:

- ohroženy řádově stovky až tisíce lidí a předpokládány ztráty na lidských životech,
- značné škody na určeném vodním díle, jeho následná obnova je složitá a nákladná,
- v území na vodním toku pod určeným vodním dílem vzniknou škody na obytné a průmyslové zástavbě, dopravní síti, ohrožena jsou další určená vodní díla nebo jiná vodní díla,
- ztráty způsobené vyřazením určeného vodního díla z provozu, z přerušení průmyslové výroby, dopravy nebo jiné ztráty jsou značné,
- škody na životním prostředí překračují význam vyššího územního samosprávného celku.

Pro VD II. kategorie se sledují všechny jevy a skutečnosti, které mohou signalizovat a znamenat překročení stupně stability VD, popřípadě pokles významné části VD pod přípustnou hranici, která je dána technickými normami. Není však třeba pozorovat jevy a skutečnosti, jejichž výskyt a změnu lze odvodit z jevu jiného. Jedná se například o celkové průsaky, deformace nebo posuny. Toto měření se provádí v charakteristických profilech. Sledují se a zjišťují povětrnostní a provozní poměry, bezprostředně objasňující právě sledované jevy a skutečnosti. V případě nejistoty o spolehlivém způsobu pozorování jevů a skutečností bude pověřenou osobou stanoveno více metod k měření [14].

Při provádění dohledu přehrady se sleduje zejména [14]:

- statická a dynamická stabilita hráze a objektů přehrady,
- deformace VD, vzájemné posuny jednotlivých částí konstrukcí a trhliny v konstrukčním materiálu,
- deformace podloží,
- režim podzemních a průsakových vod: tlak vody, spojitosti, směr a rychlost proudění vody v prostoru VD,
- funkce ochranných, těsnících, filtračních a drenážních prvků přehrady a jejího podloží,
- hydraulický spád v konstrukčních a podložních materiálech a jejich filtrační stabilita,
- vlivy prostředí na technický stav VD a jeho technologická zařízení: povětrnostní podmínky (mráz a vlnobítí), sesuv břehů nádrže a sesuv v blízkém okolí přehrady, agresivní účinky vzduchu a vody v nádrži, vliv podzemní a průsakové vody, účinky stavebních a trhacích prací v okolí VD, zemětřesení, poddolování, provozních a dopravních otřesů, vegetace, živočichů a nepovolených zásahů třetích osob,
- vliv provozu na technický stav VD a jeho technologických zařízení: účinky manipulace s vodou v nádrži, mechanické a jiné účinky vypouštěné vody a vodou unášených materiálů, opotřebení a poruchy uzávěrů a hradic konstrukce výpustí, přelivu a odběrného zařízení,
- stav a funkce bezpečnostního a výpustného zařízení, jejich ovládání a kapacita zařízení a jiné jevy a skutečnosti, které mohou podle místních poměrů ovlivnit bezpečnost, stabilitu a mechanickou pevnost VD.

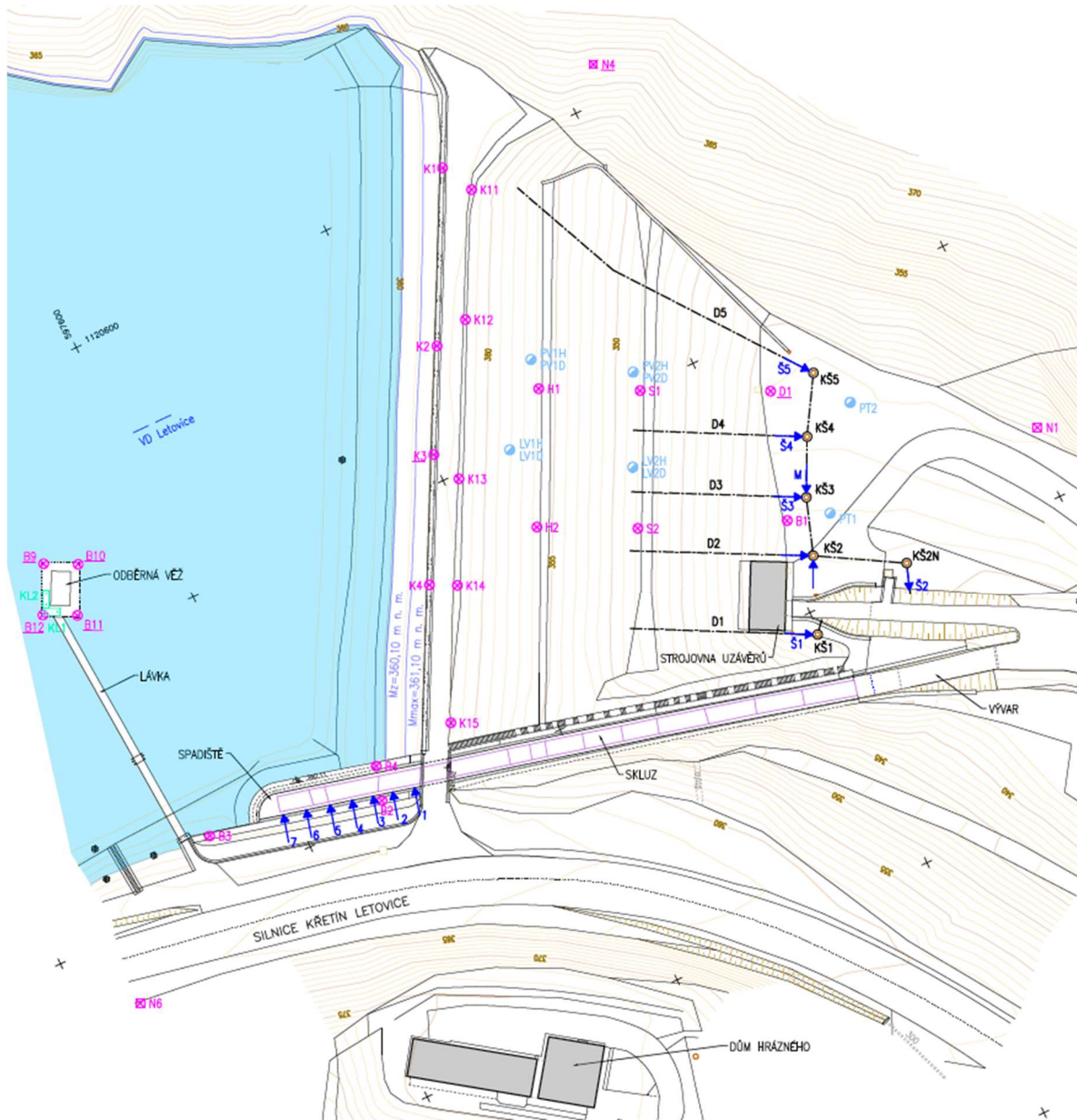
2.6.2 TBD nad vodním dílem Letovice

Dle ohrožení lidských životů, eventuálních škod na majetku a ztrát z omezení funkcí a užitků ve veřejném zájmu, je z hlediska bezpečnosti VD Letovice zařazeno do II. kategorie. Technickobezpečnostní prohlídky se konají jednou za dva roky podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách § 62 [13] a jsou při ní účastni příslušníci vodoprávního úřadu. TBD na VD Letovice provádí společnost Vodní díla – TBD, a.s., Brno [2].

Vodní díla – TBD, a.s. v prosinci roku 1998 vypracovala pro pozorování a měření tzv. Program TBD (PTBD). Ten předepisuje rozsah a četnost měření a dále i mezní hodnoty sledovaných jevů a skutečností. PTBD předepisuje i pokyny pro obsluhu VD, která bude vykonávat obchůzky [2].

Na VD jsou měřeny tzv. veličiny nezávislé a veličiny závislé. Veličiny nezávislé jsou jevy spojené s vnějšími vlivy (provozní poměry a povětrnostní podmínky – meteorologický vliv). Veličiny závislé jsou reakce na zatížení, které působí na podloží (deformace a průsakové poměry).

Text následujících podkapitol byl čerpán ze 17. etapové zprávy TBD [10]. Aktuální umístění a poloha všech měřicích zařízení je zaznamenána ve výkresové dokumentaci 4. souhrnné etapové zprávy TBD [22] a to na situaci hráze (obr. 2.20), v příčném řezu hrází (obr. 2.21) a v podélném řezu chodbou spodních výpustí (obr. 2.22).



LEGENDA MĚŘIČIHO ZAŘÍZENÍ TBD :

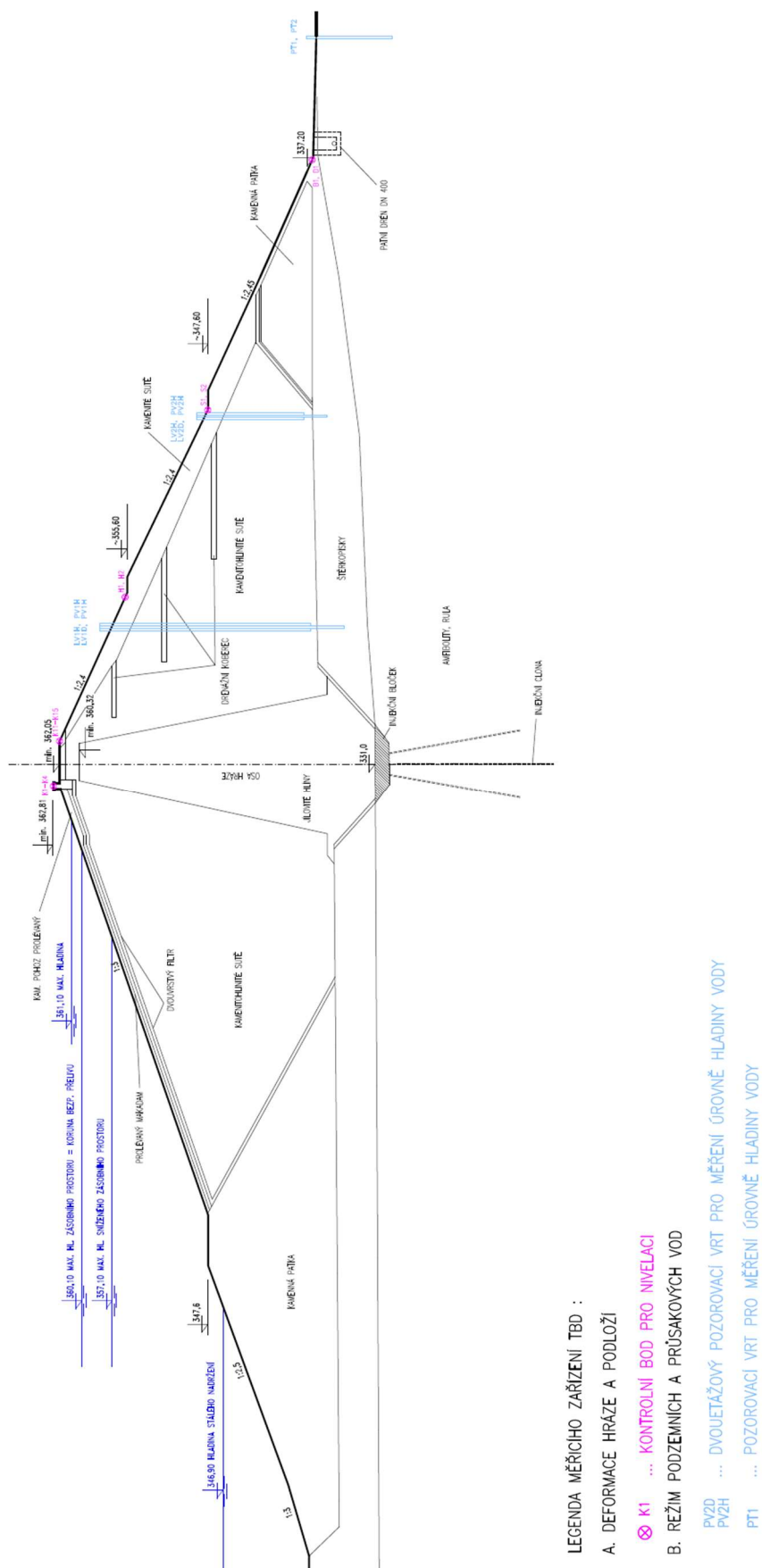
A. DEFORMACE HRÁZE A PODLOŽÍ

- ⊙ K1 ... KONTROLNÍ BOD PRO NIVELACI
- ⊙ K3 ... KONTROLNÍ BOD PRO NIVELACI – ORIENTAČNÍ UMÍSTĚNÍ
- ⊙ N1 ... VZTAŽNÝ BOD PRO NIVELACI
- ⊙ N4 ... VZTAŽNÝ BOD PRO NIVELACI – ORIENTAČNÍ UMÍSTĚNÍ
- ⊙ KL2 ... KLINOMETRICKÁ ZÁKLADNA VE STROJOVNÉ VĚŽE

B. REŽIM PODZEMNÍCH A PRŮSAKOVÝCH VOD

- ⊙ PV2D ... DVOUETÁŽOVÝ POZOROVACÍ VRT PRO MĚŘENÍ ÚROVNĚ HLADINY VODY
- ⊙ PV2H ... POZOROVACÍ VRT V PODHRÁZI PRO MĚŘENÍ ÚROVNĚ HLADINY VODY
- ⊙ PT1 ... POZOROVACÍ VRT V PODHRÁZI PRO MĚŘENÍ ÚROVNĚ HLADINY VODY
- ⊙ S1 ... MĚRNÉ MÍSTO PRŮSAKŮ
- D1 ... DRENÁŽNÍ POTRUBÍ
- ⊙ KŠ ... KONTROLNÍ ŠACHTA NA DRENÁŽNÍM POTRUBÍ

Obr. 2.20 Situace hráze – aktuální umístění měřicího zařízení TBD [22]



LEGENDA MĚŘICÍHO ZÁŘÍZENÍ TBD :
 A. DEFORMACE HRÁZE A PODLOŽÍ

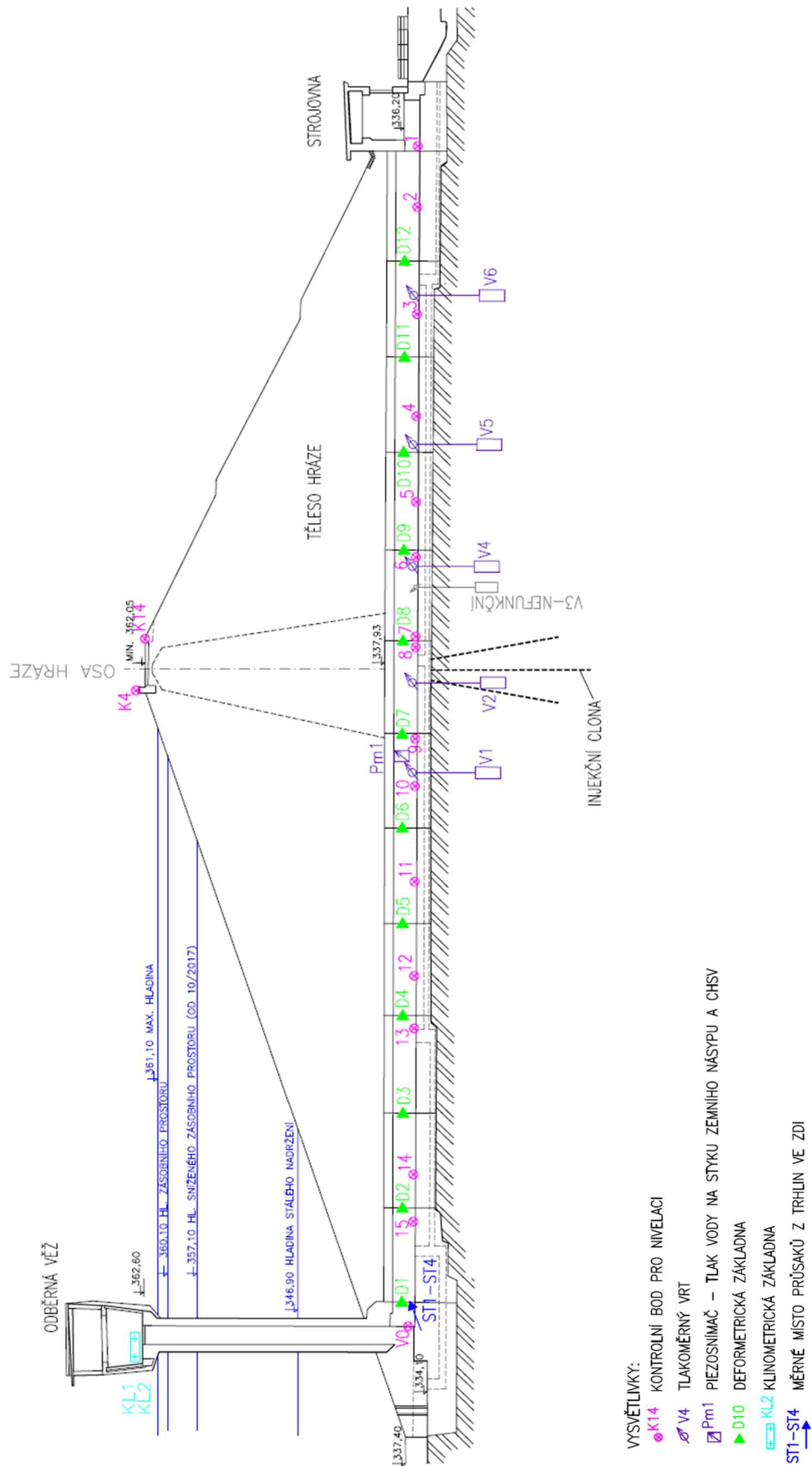
⊗ K1 ... KONTROLNÍ BOD PRO NIVELACI
 B. REŽIM PODZEMNÍCH A PRŮSAKOVÝCH VOD

PV2D ... DVOUČTĚŽOVÝ POZOROVACÍ VRT PRO MĚŘENÍ ÚROVNĚ HLADINY VODY

PV2H

PT1 ... POZOROVACÍ VRT PRO MĚŘENÍ ÚROVNĚ HLADINY VODY

Obr. 2.21 Příčný řez hrází – aktuální umístění měřicích zařízení TBD [22]



Obr. 2.22 Podélný řez chodbou spodních výpustí – aktuální zařízení systému TBD [22]

Nezávislé veličiny

Provozní a meteorologické poměry neboli také povětrnostní podmínky sleduje hrázný každodenní obchůzkou VD. V rámci obchůzky sleduje [2]:

- celé VD a okolí,
- průtoky (ve strojovně spodních výpustí, v LG, v odběrné věži),
- správný chod všech mechanismů,
- výskyt trhlin a viditelných deformací,
- posuny a sesuvy materiálu,
- prosakující či vyvěrající vodu (v pozorovacích a tlakoměrných vrtech, v kontrolních šachtách patního drénu, v chodbě spodních výpustí – vodu prosakující dilatačními spárami a další),
- vlivy provozu a prostředí na technický stav objektů.

Závislé veličiny

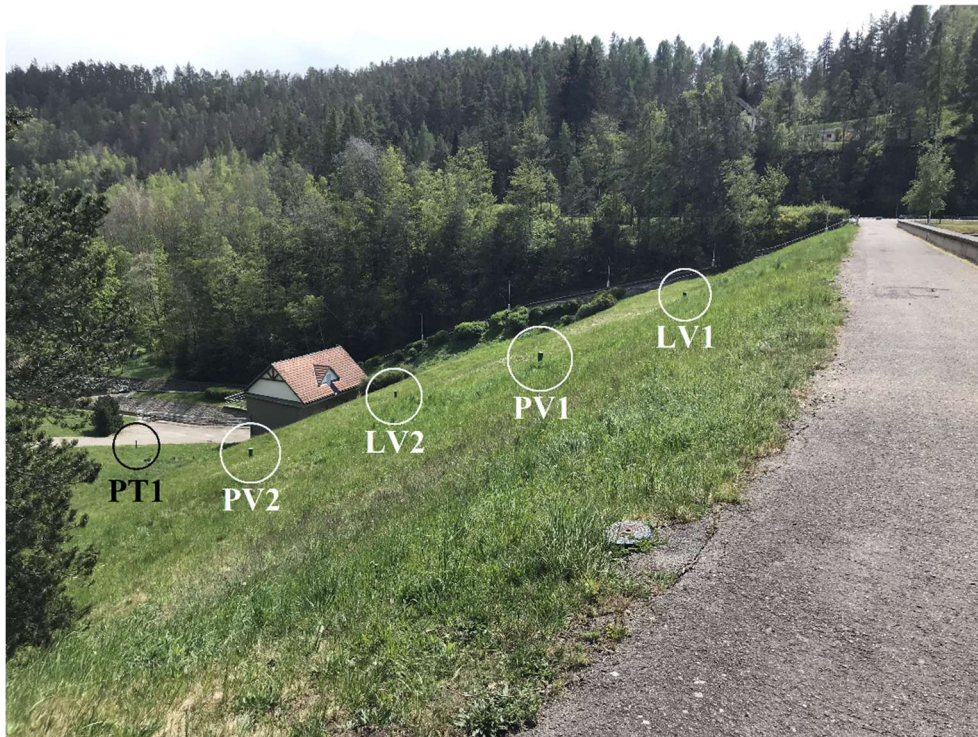
Průsakové poměry, které jsou na VD Letovice měřeny, se dělí na:

- 1) hladinu podzemní vody v tělese a podloží hráze – pozorovací vrty na vzdušném svahu (obr. 2.20 a 2.21),
- 2) průsaková množství z tělesa a podloží hráze – průsaky do drénů (obr. 2.20 a 2.21), chodby spodních výpustí (obr. 2.22) a bezpečnostního přelivu,
- 3) hydrodynamické tlaky – tlakoměrné vrty v chodbě spodních výpustí (obr. 2.22).

Tyto poměry se sledují pomocí pozorovacích a tlakoměrných vrtů, nacházejících se na vzdušném svahu hráze a v chodbě spodních výpustí. Dále v kontrolních šachtách, do kterých ústí drény a na dalších místech, do kterých voda prosakuje. Konkrétněji rozepsané jsou níže v jednotlivých odrážkách.

ad 1) Hladina podzemní vody v tělese a podloží hráze je sledována čtyřmi dvouetážovými pozorovacími vrty (obr. 2.23 a 2.24), které jsou umístěny ve dvou měrných profilech: pravý profil hráze (LV1 a LV2) a levý profil (PV1 a PV2). Přičemž vrty s označením 1 (LV1 a PV1) se nachází na horní bermě vzdušního svahu, zatímco vrty s označením 2 (LV2 a PV2) se nachází na dolní bermě. Vrty se pak dělí dle etáže na horní (H) a dolní (D) podle toho, kterou hladinu vody sledují. V září roku 2010 byly v podhráží doplněny pozorovací vrty PT1 a PT2 (obr. 2.25). Měření hladiny podzemní vody se provádí jednou týdně. Tyto jednotlivé pozorovací vrty měří:

- hladinu vody prosakující tělesem hráze (pozorovací vrty LV1H, PV1H, LV2H a PV2H),
 - Vrtu u horní bermy LV1H a PV1H jsou velmi málo propustné, zatímco vrtu u dolní bermy LV2H a PV2H jsou propustné velmi dobře. Propustnost vrtů je ovlivněna jejich umístěním a materiálem, do kterého jsou vrtu vedeny. Dna vrtů při dolní bermě (LV2H a PV2H) jsou umístěna v propustném prostředí. Pravděpodobně v propustné části stabilizačního násypu hráze nebo ve filtru kamenné patky.
- hladinu vody v podloží hráze (pozorovací vrty LV1D, PV1D, LV2D a PV2D),
 - Všechny vrtu jsou dobře propustné a zasakování je rychlé. Vrtu na horní bermě LV1D a PV1D jsou však trochu více propustnější než vrtu na dolní bermě LV2D a PV2D. Dna pozorovacích vrtů jsou umístěna v podložní štěrkové vrstvě (mezi hlinitokamenitou vzdušní stabilizační částí hráze a skalním podlozím).
- hladinu vody v podhrázi (PT1 a PT2).
 - U pozorovacích vrtů PT1 a PT2 je výška hladiny podzemní vody vázána na výšku hladiny v nádrži. Vrtu jsou umístěny až za patním drénem a sledují hladinu podzemní vody v podložní štěrkové vrstvě.



Obr. 2.23 Vzdušní svah s pozorovacími vrtu



Obr. 2.24 Dvouetážový pozorovací vrt LV2 (identický s LV1, PV1 a PV2)



Obr. 2.25 Pozorovací vrt PT1 (identický s PT2)

ad 2) Průsaky tělesem hráze a podložím jsou sledovány v drénu v patě návodního svahu hráze. Na drenáži jsou osazeny kontrolní šachty, do kterých ústí dílčí výtoky z drénů z tělesa hráze (obr. 2.26 a 2.27). Vzhledem k umístění jednotlivých drénů je drenážní soustava rozdělena na levobřežní a pravobřežní část. Do chodby spodních výpustí prosakuje voda dilatačními spárami v betonu na pravé straně chodby (obr. 2.28). Výtoky přes spáry jsou měřeny. Ve spadišti bezpečnostního přelivu je také měřena prosakující voda a jelikož průsaky byly vysoké, bylo v roce 2011 provedeno zatěsnění těchto dilatačních a pracovních spár a trhlin spolu s přetěsněním dna spadiště. Měření výtokového množství prosakujícího VD se provádí jednou týdně a je rozděleno na měření:

- průsaků do drénů (pravobřežní část – KŠ1, levobřežní část – KŠ2, KŠ3, KŠ4 a KŠ5),
 - V šachtě KŠ2 jsou zaústěny výtoky levobřežní části patního drénu a také do ní vedou průsaky z chodby spodních výpustí. Úsek mezi šachtami KŠ2 a KŠ3 tvoří 80-100 % celkových výtoků z levobřežní části hráze. V KŠ4 a KŠ5 není dlouhodobě žádný výtok a drenáž je suchá.
- průsaků do chodby spodních výpustí (ST1, ST2, ST3, ST4),
 - Měření se provádí ručně a celkové množství je dlouhodobě ustálené.
- průsaků do spadiště přes bezpečnostní přeliv.
 - Provedeným zatěsněním došlo ke snížení průsaku vody přibližně o 80 %.



Obr. 2.26 Kontrolní šachta KŠ3



Obr. 2.27 Pohled do kontrolní šachty KŠ3



Obr. 2.28 Místo průsaku ST1 dilatační spárou do chodby spodních výpustí

ad 3) Hydrodynamické tlaky se pozorují v chodbě spodních výpustí, a to v podloží v rámci sledování účinnosti injekční clony tlakoměrnými vrty (obr. 2.29 a 2.30) a na stropě pomocí piezosnímače, který sleduje tlak vody pod návodní stabilizační částí v blízkosti těsnicího jádra hráze. Tlakoměrné vrty V1 a V2 byly v roce 2001 doplněny o další vrty V4, V5 a V6, které nahradily nefunkční tlakoměrný vrt V3. Měření se provádí jednou týdně. Vrty jsou hluboké přibližně 6 m a pozoruje se v nich tlak v jednotlivých úsecích chodby:

- v podloží před clonou (vrt V1 – cca 10 m před clonou),
- v podloží ve cloně (vrt V2),
- v podloží za clonou (vrt V4 – cca 10 m za clonou, V5 – cca 23 m za clonou a V6 – cca 38 m za clonou),
 - Celkově tlaky reagují na změnu hladiny vody v nádrži téměř okamžitě a jejich hodnoty jsou přijatelné. Při zkouškách se vrty blíž návodní straně hráze (V1, V2 a V4) natlakují na původní hodnoty téměř okamžitě, zatímco u vrtů na vzdušné straně hráze (V5 a V6) natlakování na původní hodnoty trvá déle – v řádu minuty.
- na stropě (piezosnímač Pm1).
 - Tlak zde reaguje na změnu hladiny vody v nádrži pomaleji, přibližně jeden až dva měsíce. Styk betonu a zemního násypu je tedy dost těsný.



Obr. 2.29 Zhlaví tlakoměrného vrtu V6 v chodbě spodních výpustí



Obr. 2.30 Tlakoměrný vrt V5 s manometrem

Seznam jednotlivých zařízení pro měření průsakového režimu na VD Letovice s jejich označením a umístěním je uveden v tabulce 2.8.

Tab. 2.8 Seznam zařízení pro měření průsakového režimu nacházejících se na VD

Název	Označení	Umístění
Kontrolní šachta	KŠ1	Drenáž v podhráží – pravobřežní část
Kontrolní šachta	KŠ2	Drenáž v podhráží – levobřežní část
Kontrolní šachta	KŠ2N	Drenáž v podhráží – levobřežní část
Kontrolní šachta	KŠ3	Drenáž v podhráží – levobřežní část
Kontrolní šachta	KŠ4	Drenáž v podhráží – levobřežní část
Kontrolní šachta	KŠ5	Drenáž v podhráží – levobřežní část
Piezosnímač	Pm1	Chodba spodních výpustí – strop
Pozorovací vrt	LV1	Vzdušný svah – horní berma
Pozorovací vrt	PV1	Vzdušný svah – horní berma
Pozorovací vrt	LV2	Vzdušný svah – dolní berma
Pozorovací vrt	PV2	Vzdušný svah – dolní berma
Pozorovací vrt	PT1	Vzdušný svah – podhráží
Pozorovací vrt	PT2	Vzdušný svah – podhráží
Průsak	ST1	Chodba spodních výpustí
Průsak	ST2	Chodba spodních výpustí
Průsak	ST3	Chodba spodních výpustí
Průsak	ST4	Chodba spodních výpustí
Tlakoměrný vrt	V1	Chodba spodních výpustí – před clonou
Tlakoměrný vrt	V2	Chodba spodních výpustí – ve cloně
Tlakoměrný vrt	V4	Chodba spodních výpustí – za clonou
Tlakoměrný vrt	V5	Chodba spodních výpustí – za clonou
Tlakoměrný vrt	V6	Chodba spodních výpustí – za clonou

Deformace, které na VD Letovice mohou nastat jsou:

- 1) deformace bezpečnostního přelivu a spadiště – nivelační značky na bezpečnostním přelivu (obr. 2.20),
- 2) deformace tělesa hráze – nivelační značky na koruně hráze, návodním svahu a vzdušním svahu (obr. 2.20 a 2.21),
- 3) deformace chodby spodních výpustí a skalního podloží pod ní – nivelační značky v podlaze chodby a deformetrické základny na dilatačních spárách (obr. 2.22),
- 4) deformace odběrné věže a jejího podloží – nivelační značky a klínometrické základny (obr. 2.20 a 2.22).

Tyto deformace se sledují a kontrolují ze vztažných bodů (obr. 2.31) umístěných na pravém a levém břehu přehrady a jejího okolí. Vztažné body jsou založené na skalním podloží mimo těleso hráze z důvodu, aby nedošlo k sedání podloží vztažného bodu a tím nedocházelo k ovlivnění měření v průběhu let. Vztažné body jsou na VD umístěny na:

- levém břehu – vztažný bod N1 (pod hrází), N2 a N3 (podél koryta toku), N4 (u koruny hráze)
- pravém břehu – vztažný bod N5 (u příjezdové cesty k domku hrázného) a N6 (u domku hrázného)

Vztažné body N1, N4 a N6 jsou uvedeny v situaci hráze na obr. 2.20. Body N2, N3 a N5 jsou umístěny mimo situaci.



Obr. 2.31 Vztažný bod pro nivelaci N6

ad 1) Deformace bezpečnostního přelivu a spadiště se měří zaměřením kontrolních bodů, které jsou umístěny v konstrukci bezpečnostního přelivu. Zařízení, která se zde nahází:

- nivelační značky (B2, B3 a B4).

ad 2) Deformace tělesa hráze se měří metodou velmi přesné nivelace a pomocí zaměření výškových bodů se pozorují její svislé posuny. K tomu slouží kontrolní body, které jsou umístěny na:

- koruně hráze – na vlnolamu (K1, K2, K3 a K4) a jsou k vidění na obr. 2.32,
- koruně hráze – při vzdušné straně (K11, K12, K13, K14 a K15) a jsou k vidění na obr. 2.33,
- návodním svahu hráze (B5 a B6 – poškozeny, B7 a B8 – nejsou zaznačeny v situaci na obr. 2.20),
 - Nivelační body B6 a B7 nacházející se v nižší části návodního svahu byly při pokládání drátokamenných matrací na návodní svah v rámci zpevnění návodního svahu v místě vlnobití poškozeny. Dvojice zbylých nivelačních bodů B5 a B8 se nachází v horní části návodního svahu.
- vzdušným svahu hráze – při horní bermě (H1 a H2), při dolní bermě (S1 a S2) a při patě hráze (B1 a D1).



Obr. 2.32 Kontrolní nivelační bod K1 na vlnolamu



Obr. 2.33 Poklop nivelačního bodu K12 při vzdušní straně

ad 3) Deformace chodby spodních výpustí a skalního podloží pod ní se měří pomocí kontrolních nivelačních bodů, které jsou osazené v podlaze chodby (obr. 2.34 a 2.35). Deformetrem na deformetrických základnách, které jsou umístěné na dilatačních spárách betonových bloků chodby spodních výpustí (obr. 2.36), se měří jednou za čtvrt roku. Měření posunů, které se provádí v chodbě spodních výpustí, se dělí na:

- svislý posun – nivelační body (1 až 15),
- relativní vodorovný a svislý posun – deformetrické základny (D1 až D12).
 - U všech základen lze prokázat závislost na teplotě vzduchu a vody v nádrži, tedy na sezónním průběhu a vratných deformacích hráze.



Obr. 2.34 Poklop nivelačního bodu 12 v chodbě spodních výpustí



Obr. 2.35 Nivelační bod 12 v chodbě spodních výpustí bez poklopu



Obr. 2.36 Deformetrická základna D7

ad 4) Deformace odběrné věže a jejího podloží se měří na kontrolních bodech nivelací a čtyřikrát za rok zaměřením dvou klínometrických základen umístěných ve věži (obr. 2.37 a 2.38). Měření posunů, které se na odběrné věži a jejího podloží provádí, se dělí na:

- svislý posun – v chodbě spodních výpustí (V0) a na odběrné věži (B9, B10, B11 a B12),
- náklon věže – klínometrické základny (KL1 a KL2).
 - Zastižené náklony jsou vratné a jsou ovlivněné teplotou vody v nádrži.



Obr. 2.37 Klínometrická základna KL1 v odběrné věži se zakrytými body



Obr. 2.38 Klínometrická základna KL2 – bod bez krytky

Seznam jednotlivých zařízení pro měření deformací na VD Letovice s jejich označením a umístěním je uveden v tabulce 2.9.

Tab. 2.9 Seznam zařízení pro měření deformací nacházejících se na VD

Název	Označení	Umístění
Deformetrická základna	D1	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D2	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D3	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D4	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D5	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D6	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D7	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D8	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D9	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D10	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D11	Chodba spodních výpustí
Deformetrická základna	D12	Chodba spodních výpustí
Klínometrická základna	KL1	Vtokový objekt – odběrná věž
Klínometrická základna	KL2	Vtokový objekt – odběrná věž
Nivelační značka	K1	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K2	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K3	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K4	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K11	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K12	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K13	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K14	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K15	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	H1	Vzdušní svah – horní berma
Nivelační značka	H2	Vzdušní svah – horní berma
Nivelační značka	S1	Vzdušní svah – dolní berma
Nivelační značka	S2	Vzdušní svah – dolní berma
Nivelační značka	D1	Vzdušní svah – pata hráze
Nivelační značka	B1	Vzdušní svah – pata hráze
Nivelační značka	B2	Bezpečnostní přeliv
Nivelační značka	B3	Bezpečnostní přeliv
Nivelační značka	B4	Bezpečnostní přeliv
Nivelační značka	B5	Návodní svah – horní část
Nivelační značka	B6	Návodní svah – dolní část – POŠKOZENO

Název	Označení	Umístění
Nivelační značka	B7	Návodní svah – dolní část – POŠKOZENO
Nivelační značka	B8	Návodní svah – horní část
Nivelační značka	B9	Vtokový objekt – odběrná věž
Nivelační značka	B10	Vtokový objekt – odběrná věž
Nivelační značka	B11	Vtokový objekt – odběrná věž
Nivelační značka	B12	Vtokový objekt – odběrná věž
Nivelační značka	V0	Chodba spodních výpustí – u odběrné věže
Nivelační značka	1	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	2	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	3	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	4	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	5	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	6	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	7	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	8	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	9	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	10	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	11	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	12	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	13	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	14	Chodba spodních výpustí
Nivelační značka	15	Chodba spodních výpustí
Vztažný bod	N1	Levý břeh – pod hrází
Vztažný bod	N2	Levý břeh – podél koryta toku
Vztažný bod	N3	Levý břeh – podél koryta toku
Vztažný bod	N4	Levý břeh – koruna hráze
Vztažný bod	N5	Pravý břeh
Vztažný bod	N6	Pravý břeh

2.6.3 Výsledky měření TBD na VD Letovice

Následující výsledky byly čerpány ze 17. etapové zprávy TBD [10] a vyhodnocují měření a stav VD v období dvou let od 1. 4. 2013 do 31. 3. 2015. V celém tomto období byl dohled vykonáván dle platného PTBD, který byl vydán v květnu 1999.

Nezávislé veličiny:

Provozní a povětrnostní poměry:

- Hladina vody v nádrži kolísala ve výšce od 355,61 m n. m. do 360,15 m n. m., v průměru byla na kótě 358,26 m n. m.
- Největší přítok vody do nádrže byl naměřen v září roku 2014 v hodnotě $4,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a největší odtok z nádrže byl naměřen v červnu roku 2013 v hodnotě $3,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.
- Úhrn srážek v hodnoceném dvouletém období byl dohromady 1016 mm.
- Srážkově se jednalo o období podprůměrné.
- Teplotně se jednalo o období nadprůměrné.
- VD v hodnoceném období převedlo průtok jednoleté vody a byl dosažen jen I. stupeň povodňové aktivity.

Závislé veličiny:

Průsakový režim:

- Hladina vody v nádrži nemá vliv na velikost hladin vody ve vrtech, ale zřejmě souvisí s výškou hladiny podzemní vody v podložní vrstvě hráze.
- Hladiny prosakující vody jsou dlouhodobě ustálené a jejich kolísání je minimální.
- Od roku 1986, kdy se s měřením začínalo, kolísala hladina vody v rozmezí 1,0 m. Od roku 1999 se kolísání snížilo na rozmezí 0,5 m (je však nutné brát na vědomí sníženou funkci vrtů na horní bermě vzdušního svahu).
- Hladina prosakující vody tělesem hráze se zachytává v propustné vrstvě ze štěrkopísku pod násypem hráze. Průsaky se díky propustné vrstvě snižují a ustálí.
- Hladiny vody v pozorovacích vrtech na vzdušném svahu hráze se pohybují ve stejných výškách jako v minulých letech. V hodnoceném období byly ve štěrkopískové vrstvě hydraulické sklony hladiny vody maximálně 2,8 %. Kritické hodnoty jsou v tomto případě 15-20 %.

- Celkový průsak tělesem hráze byl v hodnoceném období naměřen v průměru $0,40 \text{ l.s}^{-1}$ ($0,32 \text{ l.s}^{-1}$ až $0,54 \text{ l.s}^{-1}$). Výtok z drénu na pravé části břehu byl naměřen v průměru $0,04 \text{ l.s}^{-1}$ a na levé části břehu byl průměrně $0,37 \text{ l.s}^{-1}$.
- V chodbě spodních výpustí je průsakové množství přibližně $0,06 \text{ l.s}^{-1}$ a dle TBD není nutno provést těsnění těchto spár, protože průsaky jsou velmi malé.
- Průsakové množství přes konstrukci bezpečnostního přelivu do spadiště je $0,01$ až $0,02 \text{ l.s}^{-1}$.
- Hydrodynamické tlaky vody v podloží chodby spodních výpustí jsou ustálené. Od návodního svahu směrem k vzdušnému svahu tlaky rovnoměrně klesají.
- Tlakoměrné vrty umístěné před injekční clonou (V1), v injekční cloně (V2) a za injekční clonou (V4) prokazovaly účinek tlaku od výšky hladiny vody v nádrži. Mezi vrtem V4 a V2 byl pozorován úbytek hydrodynamického tlaku o 30 %. Vzhledem k předchozím obdobím jsou sledované hodnoty srovnatelné. Dle úsudku TBD lze konstatovat, že snížení tlaků vody je dostačující a injekční clona je funkční.

Deformace:

- Všechny vodorovné posuny, tedy míry rozevření dilatačních spár, byly dosud na základnách velmi nízké ($0,11 \text{ mm}$ až $0,69 \text{ mm}$).
- Všechny svislé posuny byly na všech základnách velmi nízké ($0,03 \text{ mm}$ až $0,11 \text{ mm}$).
- Bylo potvrzeno, že bloky a jejich dilatační spáry pracují dle ročního období a mají vratnou povahu.
- Od roku 2001 do roku 2015 byla u odběrné věže maximální odchylka náklonů od základního měření u sledovaných klínometrických základů $5,0 \text{ mm}$ a $6,4 \text{ mm}$, a to při výšce věže $31,5 \text{ m}$.

Zhodnocení:

Všechny měřené hodnoty a veličiny se pohybovaly v přípustných mezích. Mezní hodnoty nebyly dosaženy ani překročeny. Veškeré průsakové poměry byly ustálené, deformace hráze, objektů a jejich podloží byly velmi nízké. Veškeré výsledky a poznatky TBD v období 04/2013 až 03/2015 značí, že VD je bezpečné a jakékoli funkční závady nejsou zřejmé. Z výsledků ovšem vyplývá, že dle posouzení VD za povodní není VD Letovice zabezpečeno na převedení kontrolní povodňové vlny KPV_{10000} [10].

Aby dle platné vyhlášky o technických požadavcích pro vodní díla [18] byla tato kontrolní povodeň KPV_{10000} bezpečně převedena a VD i s celým územím pod ním bylo chráněno, bylo rozhodnuto, že VD Letovice bude rekonstruováno. Po dokončení rekonstrukce bude odpovídat nejnovějším požadavkům na zabezpečení a stav vodních nádrží [19].

2.7 PRAVIDLA MANIPULACE

Pravidla manipulace a hospodaření s vodou musí být za normálních provozních podmínek a okolností voleny tak, aby byly dodržovány v povolené toleranci hladin, které rozdělují prostor nádrže (prostor stálého nadržení, zásobní prostor a prostor ochranný). Nesmí při ní dojít k ohrožení bezpečnosti jak samotného VD, tak i území pod ním. Hospodaření s vodou a manipulace se řídí podle zpracovaného čtyřstupňového dispečerského grafu, který dle výšky hladiny stanovuje, jak velké budou odběry vody pro kompenzační nalepšení průtoků v řece Svitavě. Aby byl zajištěn bezpečný provoz, musí se dodržovat provozní předpisy a všechna ustanovení provozního a manipulačního řádu a ustanovení TBD. Veškeré pravidla o manipulaci s vodou jsou uvedena v manipulačním řádu pro přehradu Letovice na toku Křetínka [2].

Pro provoz nádrže byly zpracovány varianty hospodaření s vodou se čtyřmi regulačními stupni, kterými se řídí odběry vody a kompenzace průtoků. Jejich velikost se odvozuje výškou hladiny v nádrži.

Varianta č. 3/1999 je zavedena dle čtyřstupňového dispečerského grafu:

1. regulační stupeň – $Q_{K1} = 1,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
2. regulační stupeň – $Q_{K2} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
3. regulační stupeň – $Q_{K3} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $0,600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v cyklickém provozu v poměru 2:1 v průběhu měsíce (přepočítáno na průměrný měsíční průtok $0,770 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
4. regulační stupeň – $Q_{K4} = 0,600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $0,300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v cyklickém provozu v poměru 2:1 v průběhu měsíce (přepočítáno na průměrný měsíční průtok $0,500 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Varianta č. 2/1999 při stejných regulačních křivkách jako varianta 3:

1. regulační stupeň – $Q_{K1} = 1,000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
2. regulační stupeň – $Q_{K2} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,
3. regulační stupeň – $Q_{K3} = 0,860 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $0,600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v cyklickém provozu v poměru 1:2, to znamená, že v delším provozu je menší průtok (přepočítáno na průměrný měsíční průtok $0,690 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$),
4. regulační stupeň – $Q_{K4} = 0,600 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ a $0,300 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ v cyklickém provozu v poměru 1:2 (přepočítáno na průměrný měsíční průtok $0,400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Zabezpečení dle variant 2 a 3 z manipulačního řádu [2] jsou uvedeny v tabulce 2.10.

Tab. 2.10 Zabezpečení dle trvání v řadě 1931-1994 [2]

	Varianta 3/1999		Varianta 2/1999	
Počet řešených měsíců	768	100,00 %	768	100,00 %
Počet měsíců s plnou nádrží	572	74,47 %	572	74,47 %
Počet měsíců v 1. regulaci	102	13,28 %	105	13,67 %
Počet měsíců ve 2. regulaci	57	7,42 %	61	7,94 %
Počet měsíců ve 3. regulaci	34	4,42 %	30	3,90 %
Počet měsíců ve 4. regulaci	2	0,26 %	0	0,00 %
Úplné selhání nádrže	1	0,13 %	0	0,00 %

Z porovnání variant 2 a 3 můžeme určit, že varianta 2 více šetří nádrž, proto se pro manipulační řád doporučuje režim hospodaření dle varianty 2/1999. Je také možné, aby se v případě hygienické závady na toku Svitavy, nebo při nedostatku průtoků pro odběratele na Svitavě v období omezených odtoků operativně odtoky zvýšily, popř. aby se přešlo na kompenzaci dle varianty 3/1999, protože i tento režim je pro nádrž přijatelný [2].

3 ZAMÝŠLENÁ REKONSTRUKCE VODNÍHO DÍLA

3.1 DŮVOD REKONSTRUKCE

Rekonstrukce a navržené stavební úpravy jsou prováděny z důvodu zvýšit bezpečnost VD za povodňových situací, tj. schopnost a spolehlivost bezpečně převést návrhovou povodňovou vlnu Q_{1000} a kontrolní povodňovou vlnu Q_{10000} . Dále v souladu s platnými předpisy je třeba zvýšit provozní spolehlivost VD, tedy snížit riziko poruch konstrukcí přehrady, jak za samotného provozu, tak i s v případě povodní. Současně dojde ke zvýšení retenční funkce nádrže. Těmito opatřeními se zajistí bezpečnost jak samotného VD, tak i území pod ním, přesněji toto navržené opatření ochrání plochu o velikosti přibližně 1472 ha [9].

3.2 POPIS NAVRHOVANÉ ÚPRAVY

Stavba a opatření na VD Letovice byly rozděleny na deset stavebních objektů (SO) a to konkrétně na [4]:

- SO 01 – koruna hráze,
- SO 02 – opevnění návodního svahu hráze,
- SO 03 – bezpečnostní přeliv a spadiště,
- SO 04 – skluz,
- SO 05 – přemostění skluzu,
- SO 06 – vývar,
- SO 07 – opevnění odpadního koryta za vývarem,
- SO 08 – systém TBD,
- SO 09 – ostatní úpravy,
- SO 10 – opevnění koryta Křetínky pod VD.

Při provádění rekonstrukce dojde k odstranění a odtěžení dřívějších konstrukcí koruny hráze (SO 01) a také stávajícího opevnění návodního svahu hráze (SO 02). K tomu, aby bylo možné rozšířit směrem do svahu bezpečnostní přeliv se spadištěm (SO 03), skluz (SO 04), přemostění skluzu (SO 05), vývar (SO 06) a odpadní koryto za vývarem (SO 07), budou vykáčeny dřeviny a odlámána skála v prostoru pravé strany stávajícího skluzu. Dále bude vykáčeno a vybouráno stávající břehové opevnění v korytě Křetínky pod VD (SO 10). Také

dojde k bourání drobných konstrukcí, jako lávky k odběrné věži, schodiště podél skluzu a jiných, a to v rámci ostatních úprav (SO 09) [3].

3.3 DOTČENÁ ZAŘÍZENÍ TBD

Stavební zásahy při rekonstrukci VD se dotknou i některých částí stávajícího systému TBD. Při bourání a odtěžení materiálu z koruny hráze k těsnicímu jádru dojde k ukončení funkce a odstranění některých zařízení systému TBD. Při následném zvyšování těsnicího jádra a koruny a opevňování návodního svahu budou zřízeny nové měřicí zařízení TBD a některá stávající zařízení budou doplněna o nová. Předmětem těchto stavebních prací na systému TBD bude celková rekonstrukce systému měření doplněná systémem automatického přenosu dat. Do SO 08 je přiřazena také rekonstrukce patního drénu, jehož technický stav je špatný [3].

Ze všech zařízení, která budou na VD bouracími pracemi poškozena a odstraněna, jsou převážně zařízení pro měření deformací. Jedná se především o zařízení (nivelační značky) nacházející se na místech nejvíce poškozených pracemi – koruna hráze, návodní svah a bezpečnostní přeliv. Jmenovitě se jedná o body na vlnolamu koruny hráze (K1, K2, K3 a K4), na hraně vzdušního svahu a koruny hráze (K11, K12, K13, K14 a K15). Dále budou odstraněny kontrolní body z návodního svahu B5 a B8 (body B6 a B7 již byly poškozeny při pokládání drátokamenných matrací na návodní svah v rámci zpevnění návodního svahu v místě vlnobití). Odstraněny budou i nivelační body z bezpečnostního přelivu B2, B3 a B4. Ze zařízení pro měření průsakového režimu budou ze vzdušního svahu z dolní bermy odstraněny dva dvouetážové pozorovací vrty LV2 a PV2 [15].

Seznam jednotlivých zařízení pro měření TBD odstraněných z VD při rekonstrukci s jejich označením a umístěním je uveden v tabulce 3.1. Všechna tato odstraněná zařízení budou po dokončení stavebních prací nahrazena novými.

Tab. 3.1 Seznam zařízení TBD odstraněných z VD při rekonstrukci

Název	Označení	Umístění
Zařízení pro sledování deformací		
Nivelační značka	K1	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K2	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K3	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K4	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	K11	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K12	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K13	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K14	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	K15	Koruna hráze – u vzdušní části
Nivelační značka	B2	Bezpečnostní přeliv
Nivelační značka	B3	Bezpečnostní přeliv
Nivelační značka	B4	Bezpečnostní přeliv
Nivelační značka	B5	Návodní svah – horní část
Nivelační značka	B6	Návodní svah – dolní část – POŠKOZENO
Nivelační značka	B7	Návodní svah – dolní část – POŠKOZENO
Nivelační značka	B8	Návodní svah – horní část
Zařízení pro sledování průsakového režimu		
Pozorovací vrt	LV2	Vzdušní svah – dolní berma
Pozorovací vrt	PV2	Vzdušní svah – dolní berma

4 NÁVRH NOVÉHO SYSTÉMU TBD

Návrh a cíl nového systému TBD je vybavit VD tak, aby bezpečně sloužilo v následujících obdobích. K tomu budou použity zařízení pro měření TBD na úrovni dnešních znalostí a technologií [3]. Na VD nebudou odstraněna všechna zařízení, ale jen zařízení, kterých se dotkly stavební a bourací práce. Také budou nahrazena některá stávající zařízení a budou tak modernizována. Některá zařízení systému TBD však zůstanou beze změn. V této kapitole bude pojednán a popsán návrh nového systému TBD. Všechna zařízení nepopsána a nezmíněna v této kapitole jsou popsána v kapitole 2.6.2.

4.1 NEZÁVISLÉ VELIČINY

Provozní a meteorologické poměry (povětrnostní podmínky) zůstanou na VD sledovány beze změny. Měření budou vykonávána hrázným, a to obchůzkou VD jedenkrát denně. Hrázný bude na své obchůzce sledovat [2]:

- celé VD a okolí,
- průtoky (ve strojovně spodních výpustí, v LG, v odběrné věži),
- správný chod všech mechanismů,
- výskyt trhlin a viditelných deformací,
- posuny a sesuvy materiálu,
- prosakující či vyvěrající vodu (v pozorovacích a tlakoměrných vrtech, v kontrolních šachtách patního drénu, v chodbě spodních výpustí – vodu prosakující dilatačními spárami a dalších),
- vlivy provozu a prostředí na technický stav objektů.

4.2 ZÁVISLÉ VELIČINY

Mezi závislé veličiny, které na VD Letovice budou pozorovány, jsou deformace a průsakový režim. Při rekonstrukci dojde k automatizaci některých zařízení, především zařízení pro měření průsakového režimu. U měření deformací se automatizace nepředpokládá.

Mezi **deformace** patří:

- 1) posun tělesa hráze – nivelační značky na koruně hráze, návodním a vzdušným svahu (přílohy č. 4 až 9),
- 2) deformace bezpečnostního přelivu a spadiště – nivelační značky ve zdi přelivu, spadiště a skluzu (příloha č. 7), extensometry a náklonoměry,
- 3) deformace chodby spodních výpustí a její podloží – nivelační značky v podlaze chodby a deformetrické základny na dilatačních spárách (příloha č. 3),
- 4) deformace odběrné věže a její podloží – nivelační značky a klínometrické základny (příloha č. 3).

Poloha a umístění jednotlivých zařízení pro měření deformace jsou zakresleny v situaci v příloze č. 1. Jsou zde zakreslena měřicí zařízení původní, odstraněná a nová.

V levém a pravém břehu budou v ose hráze zbudovány dva vztažné body. Ty se budou zaměřovat metodou paralytického úhlu. Vztažné body budou zabetonovány v pilíři, do jehož dřívku budou nainstalovány čepové nivelační značky (příloha č. 7), do každého pilíře jedna. Nivelačními značkami bude kontrolováno sedání vztažných bodů. Umístění vztažných bodů je zakresleno v situaci v příloze č. 1. Body budou instalovány v:

- levém břehu (vztažný bod VB-61-01 s nivelační značkou NI-64-71 v ose hráze),
- pravém břehu (vztažný bod VB-62-02 s nivelační značkou NI-64-72 v ose hráze a vztažný bod VB-64-01 – ten bude sloužit k výškovému měření).

ad 1) Deformace tělesa hráze se budou pozorovat pomocí metody velmi přesné nivelace, kterou se budou zaměřovat nivelační body instalované na:

- koruně hráze – vlnolamu (devět značek NI-61-01 až NI-61-09) a jsou zakresleny v příloze č. 7,
- koruně hráze – uprostřed vozovky (devět značek NI-61-11 až NI-61-19) a jsou zakresleny v přílohách č. 5 a 8,
 - Jedná se o hloubkové sružené body, které budou pozorovat sedání jádra. Tato zařízení budou sloužit k sledování horizontálních posunů. Horní část nivelační značky bude obsahovat směrový terčík a bude demontovatelná.
- vzdušným svahu hráze – při horní bermě – nivelační značky NI-60-31 (původně ozn. jako H1), NI-60-32 (původně ozn. jako H2) a NI-60-33 (nová značka v profilu nad chodbou spodních výpustí),

- vzdušným svahu hráze – při dolní bermě – nivelační značky NI-60-21 (původně ozn. jako S1), NI-60-22 (původně ozn. jako S2) a NI-60-23 (nová značka v profilu nad chodbou spodních výpustí),
- vzdušným svahu hráze – při patě – nivelační značky NI-60-11 a NI-60-12 (s původním označením D1 a B1),
- vzdušným svahu hráze – při hraně s korunou (čtyři značky NI-61-41 až NI-61-44) a jsou zakresleny v příloze č. 9,
 - Značky leží na kótě 360,55 m n. m. a budou sledovat sedání během stavby.
- návodním svahu hráze – pozorovací body NI-62-51 až NI-62-53 a jsou zakresleny v příloze č. 6.

ad 2) Svislé posuny bezpečnostního přelivu a spadiště se budou pozorovat pomocí metody velmi přesné nivelace, kterou se budou zaměřovat nivelační body (příloha č. 7). Náklon a posuny se budou dále měřit extenzometry a náklonoměry. Měřicí zařízení budou instalována na:

- přelivné hraně (tři značky NI-63-61 až NI-63-63),
- zdi spadiště (tři značky NI-63-64 až NI-63-66),
- zdi skluzu – za most (dvě značky NI-63-67 a NI-63-68),
- levé opěře mostu – dva extensometry (EX-63-01 a EX-63-02) a šest náklonoměrů (KL-63-01 až KL-63-06).

ad 3) Deformace chodby spodních výpustí a jejího podloží se bude měřit stávajícím zařízením (kapitola 2.6.2). Systém TBD je beze změn. Nivelační značky a deformetrické základny jsou zaznačeny v příloze č. 3.

ad 4) Deformace odběrné věže a její podloží se měří na stávajících kontrolních bodech a náklon věže pomocí klínometrických základen. Strojovna věže obsahuje dvě klínometrické základny KL1 a KL2 a bude doplněna o další dvě klínometrické základny KL3 a KL4. Nivelační značky a klínometrické základny jsou zaznačeny v příloze č. 3.

Všechny nivelační značky, které nemají závit, budou ukotveny pomocí chemické kotvy do předem vyvrtaných a vyfoukaných otvorů, pokud nebude uvedeno jinak.

Seznam nových zařízení pro měření a sledování deformací, která se budou nacházet na VD Letovice s jejich označením a umístěním, je uveden v tabulce 4.1.

Tab. 4.1 Seznam nových měřicích zařízení pro sledování a měření deformací

Název	Označení	Umístění
Extensometr	EX-63-01	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Extensometr	EX-63-02	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Klínometrická základna	KL3	Vtokový objekt – odběrná věž
Klínometrická základna	KL4	Vtokový objekt – odběrná věž
Náklonoměr	KL-63-01	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Náklonoměr	KL-63-02	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Náklonoměr	KL-63-03	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Náklonoměr	KL-63-04	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Náklonoměr	KL-63-05	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Náklonoměr	KL-63-06	Bezpečnostní přeliv – levá opěra mostu
Nivelační značka	NI-60-11	Vzdušný svah – pata hráze (původní ozn. D1)
Nivelační značka	NI-60-12	Vzdušný svah – pata hráze (původní ozn. B1)
Nivelační značka	NI-60-21	Vzdušný svah – dolní berma (původní ozn. S1)
Nivelační značka	NI-60-22	Vzdušný svah – dolní berma (původní ozn. S2)
Nivelační značka	NI-60-23	Vzdušný svah – dolní berma
Nivelační značka	NI-60-31	Vzdušný svah – horní berma (původní ozn. H1)
Nivelační značka	NI-60-32	Vzdušný svah – horní berma (původní ozn. H2)
Nivelační značka	NI-60-33	Vzdušný svah – horní berma
Nivelační značka	NI-61-01	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-02	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-03	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-04	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-05	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-06	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-07	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-08	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-09	Koruna hráze – vlnolam
Nivelační značka	NI-61-11	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-12	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-13	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-14	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-15	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-16	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-17	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-18	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-19	Koruna hráze – ve vozovce
Nivelační značka	NI-61-41	Vzdušný svah – na kótě 360,55 m n. m.

Název	Označení	Umístění
Nivelační značka	NI-61-42	Vzdušní svah – na kótě 360,55 m n. m.
Nivelační značka	NI-61-43	Vzdušní svah – na kótě 360,55 m n. m.
Nivelační značka	NI-61-44	Vzdušní svah – na kótě 360,55 m n. m.
Nivelační značka	NI-62-51	Návodní svah
Nivelační značka	NI-62-52	Návodní svah
Nivelační značka	NI-62-53	Návodní svah
Nivelační značka	NI-63-61	Bezpečnostní přeliv – přelivná hrana
Nivelační značka	NI-63-62	Bezpečnostní přeliv – přelivná hrana
Nivelační značka	NI-63-63	Bezpečnostní přeliv – přelivná hrana
Nivelační značka	NI-63-64	Bezpečnostní přeliv – zeď spadiště
Nivelační značka	NI-63-65	Bezpečnostní přeliv – zeď spadiště
Nivelační značka	NI-63-66	Bezpečnostní přeliv – zeď spadiště
Nivelační značka	NI-63-67	Bezpečnostní přeliv – zeď skluzu
Nivelační značka	NI-63-68	Bezpečnostní přeliv – zeď skluzu
Nivelační značka	NI-64-71	Vztažný bod – levé zavázání
Nivelační značka	NI-64-72	Vztažný bod – pravé zavázání
Vztažný bod	VB-61-01	Levý břeh
Vztažný bod	VB-61-02	Pravý břeh
Vztažný bod	VB-64-01	Pravý břeh

Mezi měření **průsakových poměrů** patří:

- 1) hladina podzemní vody v tělese a podloží hráze – pozorovací vrty na vzdušném svahu (přílohy č. 11 a 12),
- 2) průsakové množství z tělesa a podloží hráze – průsaky do drénů (přílohy č. 13 až 18), chodby spodních výpustí a bezpečnostního přelivu,
- 3) hydrodynamické tlaky – tlakoměrné vrty v chodbě spodních výpustí (přílohy č. 3 a 10).

Poloha a umístění jednotlivých zařízení pro měření průsakového režimu jsou zakreslena v situaci v příloze č. 2. Jsou zde zakreslena měřicí zařízení původní, odstraněná a nová. Průsaky do drénů spolu s kontrolními šachtami jsou zakresleny v situaci v příloze č. 19.

V levém závazání je navrženo odvedení povrchové vody žlabem dále od hráze, aby při odvodnění nebyl ovlivněn průtok v drenáži. Žlab (příloha č. 2) je navržen z betonových odvodňovacích žlabových tvárnic (žlabovek) širokých 600 mm [15].

ad 1) Hladina podzemní vody v tělese hráze a násypu se bude měřit pozorovacími vrty. Původní vrty jsou zakresleny v příloze č. 11 a nové vrty jsou zakresleny v příloze č. 12. Jednotlivé vrty budou vystrojeny plastovou výpažnicí, která bude v dolní části v délce 4 m perforovaná. Měrná etáž bude opatřena filtračním návlekm a obsypána pískem, zakryta zátkou z bentonitu a prostor, který vznikne mezi ostěním vrtu a výpažnicí na měrnou etáž, bude zaplněn jílocementovou zálivkou. Vrty budou osazeny uzavíratelným zhlavím z ocelového pozinkovaného plechu ve výšce 1 m nad zemí [15]. Pozorovací vrty jsou navrženy v různých úrovních vzdušného svahu:

- na kótě 360,50 m n. m. – dva vrty pro pozorování podloží hráze o hloubce cca 36 m (HY-60-01 a HY-60-03) a tři vrty pro pozorování násypu hráze o hloubce cca 28 m (HY-60-02, HY-60-04 a HY-60-05),
- na horní bermě – stávající pozorovací vrty LV1 a PV1 budou doplněny o tři nové vrty pro sledování průsaků tělesem hráze o hloubce cca 20 m (HY-60-06 až HY-60-08),
- na dolní bermě – tři vrty pro pozorování tlaku v podloží hráze o hloubce cca 15 m (HY-60-09 až HY-60-11).

ad 2) Průsaky z tělesa a podloží hráze budou ústít do patních drénů. Nový drén bude z plastových kanalizačních trub o velikosti DN 300 mm a bude z horní strany ze dvou třetin perforovaný a opatřený filtrační mřížkou. Potrubí bude obsypáno pískem frakce

4-8 mm a 0-22 mm a bude tvořit dvouvrstvý filtr. Drenážní pozorovací šachty (Š2, Š3, Š4 a Š5) budou plastové o průměru 1,0 m s výkopem šířky 1,2 m. Šachta Š2a bude betonová o průměru 1,2 m s výkopem šířky 1,4 m. Trubky budou do drenážních šachet ústit s přesahem 100 mm [15]. Na drenáž se budou instalovat měrné přepážky, které budou průsakové množství sledovat jako:

- přítoky do drénu MP-60-05 (v šachtě Š5), MP-60-04 (Š4), MP-60-03 (Š3), MP-60-02 (Š2a) a MP-60-01 (Š1),
 - V šachtě Š1 bude osazena měrná přepážka z nerezů s trojúhelníkovým přeapadem.
- průtoky v drénu MP-60-12 (v šachtě Š2a) a MP-60-11 (Š2).
 - V šachtách bude pro měření průtoku osazen Parshallův žlab s ultrazvukovým snímačem.

Podélný profil drénu je zakreslen v příloze č. 13 a jednotlivé kontrolní šachty Š2, Š2a, Š3, Š4 a Š5 jsou zaznačeny v přílohách č. 14 až 18.

ad 3) V chodbě spodních výpustí sledují účinnost injekční clony a tlak v podloží hráze stávající tlakoměrné vrty. Ty budou doplněny o dva nové vrty V7 a V8 (hluboké cca 6 m s obdobným vystrojením jako u pozorovacích vrtů). Měrná etáž bude dlouhá 5,5 m. Zhlaví nových pozorovacích vrtů bude provedeno a upraveno tak, aby bylo možné vložit do něj čidlo a bude osazeno manometrem z nerezové oceli. U stávajících tlakoměrných vrtů bude zhlaví upraveno pro osazení automatického měření [15]. Tlakoměrný vrt je zakreslen v příloze č. 10.

Data z automatického měření z tlakoměrných a pozorovacích vrtů a z měření průtoků v drenáži budou vedena do dataloggeru, který bude instalován v rozvodné skříně ve strojovně spodních výpustí. Vrty budou obsahovat strunová čidla pro měření tlaku a v drenážním systému budou osazena ultrazvuková čidla. Rozvaděč dataloggeru bude napájen ze sítě, vyhříván proti vlhkosti a bude vybaven baterií v případě výpadku proudu. Datalogger bude umožňovat také měření s proudovým a digitálním výstupem [15].

Na vzdušném svahu bude nově zbudována kabelová trasa pro vedení kabelů do strojovny spodních výpustí. Kabelová trasa bude osazena na pískovém loži, dvou chráničkách DN 63 mm a bude opatřena signalizační folií. Kabely budou uloženy min. 600 mm hluboko [15].

Seznam nových zařízení pro měření a sledování průsakového režimu, která se budou nacházet na VD Letovice s jejich označením a umístěním, je uveden v tabulce 4.2.

Tab. 4.2 Seznam nových měřicích zařízení pro sledování a měření průsakového režimu

Název	Označení	Umístění
Pozorovací vrt	HY-60-01	Vzdušný svah – na kótě 360,50 m n. m.
Pozorovací vrt	HY-60-02	Vzdušný svah – na kótě 360,55 m n. m.
Pozorovací vrt	HY-60-03	Vzdušný svah – na kótě 360,55 m n. m.
Pozorovací vrt	HY-60-04	Vzdušný svah – na kótě 360,55 m n. m.
Pozorovací vrt	HY-60-05	Vzdušný svah – na kótě 360,55 m n. m.
Pozorovací vrt	HY-60-06	Vzdušný svah – horní berma
Pozorovací vrt	HY-60-07	Vzdušný svah – horní berma
Pozorovací vrt	HY-60-08	Vzdušný svah – horní berma
Pozorovací vrt	HY-60-09	Vzdušný svah – dolní berma
Pozorovací vrt	HY-60-10	Vzdušný svah – dolní berma
Pozorovací vrt	HY-60-11	Vzdušný svah – dolní berma
Měření přítoků	MP-60-01	Vzdušný svah – šachta Š1
Měření přítoků	MP-60-02	Vzdušný svah – šachta Š2a
Měření přítoků	MP-60-03	Vzdušný svah – šachta Š3
Měření přítoků	MP-60-04	Vzdušný svah – šachta Š4
Měření přítoků	MP-60-05	Vzdušný svah – šachta Š5
Měření průtoků	MP-60-11	Vzdušný svah – šachta Š2
Měření průtoků	MP-60-12	Vzdušný svah – šachta Š2a
Tlakoměrný vrt	V7	Chodba spodních výpustí
Tlakoměrný vrt	V8	Chodba spodních výpustí

5 ZÁVĚR

Cílem práce byl návrh nového systému TBD na VD Letovice, která bude procházet rekonstrukcí, a jelikož rozsah stavebních prací bude i v místech, na kterých se nachází zařízení systému TBD, je nutné jejich nové zřízení a instalace. Zařízení, kterých se stavební práce netýkají, budou buď ponechána beze změny, nebo budou modernizována (automatizována).

Vycházelo se z projektových dokumentací DÚR (dokumentace pro územní rozhodnutí) a DVZ (dokumentace pro výběr zhotovitele). Fáze zpracování je realizační dokumentace.

V práci byl proveden výčet zařízení nacházejících se aktuálně na VD Letovice a jejich popis spolu s fotodokumentací. Byly zde uvedeny výsledky měření TBD za uplynulá období a závěr pracovníků TBD, důvod rekonstrukce a výčet zařízení, kterých se týkají stavební a demoliční práce, a která zařízení budou těmito pracemi poškozena a odstraněna. Dále byl v práci popsán návrh nového systému TBD a všech zařízení, která budou na VD po dokončení stavebních prací nově instalována a zřizována, jejich kompletní výčet a popis. Součástí práce jsou výkresové dokumentace (přílohy).

6 POUŽITÁ LITERATURA A PODKLADY

- [1] Tálská, E., Chlum, A., Krčmář, A. Vodní dílo Křetínka u Letovic: zásobování Brna pitnou vodou. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1981.
- [2] Manipulační řád pro přehradu Letovice na toku Křetínky v km 2,923. Povodí Moravy, s.p., 03/2009.
- [3] VD Letovice, rekonstrukce VD. Souhrnná technická zpráva. DÚR. HG partner s.r.o., 05/2016
- [4] VD Letovice – studie návrhu opatření k bezpečnému převedení KPV₁₀₀₀₀. Studie. PÖYRY Environment, a.s., 4/2013
- [5] VD Letovice, Posouzení VD za povodní. Vodní díla – TBD, a.s., 06/2009.
- [6] VD Letovice [online]. Povodí Moravy, s.p., [cit. 11/02/2020]. Dostupné z: <http://www.pmo.cz/cz/o-podniku/vodni-dila/letovice/>
- [7] Hlásná a předpovědní povodňová služba [online]. VD Letovice (Křetínka). Český hydrometeorologický ústav, [cit. 17/03/2020]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/popup_hpps_prfdyn.php?seq=2505250
- [8] Hlásná a předpovědní povodňová služba [online]. Letovice (Svitava). Český hydrometeorologický ústav, [cit. 17/03/2020]. Dostupné z: http://hydro.chmi.cz/hpps/popup_hpps_prfdyn.php?seq=306987
- [9] VD Letovice, rekonstrukce VD. Průvodní zpráva. DÚR. HG partner s.r.o., 05/2016
- [10] VD Letovice. 17. etapová zpráva TBD. Vodní díla – TBD, a.s., 05/2015
- [11] Bezpečnost vodních děl [online]. Technickobezpečnostní dohled. Vodní díla – TBD, a.s., [cit. 03/04/2020]. Dostupné z <http://www.vdtbd.cz/bezpecnost-vodnich-del/2-technickobezpecnostni-dohled-tbd>
- [12] Bezpečnost vodních děl [online]. Kategorizace vodních děl. Vodní díla – TBD, a.s., [cit. 03/04/2020]. Dostupné z <http://www.vdtbd.cz/bezpecnost-vodnich-del/4-kategorizace-vodnich-del>
- [13] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- [14] Vyhláška č. 471/2001 Sb., o technickobezpečnostním dohledu nad vodními díly
- [15] VD Letovice, rekonstrukce VD. Technická zpráva. Systém TBD. Sweco Hydroprojekt, a.s., 11/2019
- [16] Charakteristika vodního díla. VD Letovice – rekonstrukce [online]. Povodí Moravy, s.p, [cit. 06/05/2020]. Dostupné z: <http://vdletovice.pmo.cz/cz/stranka/charakteristika-vodniho-dila/>

- [17] VD Letovice. 3. souhrnná etapová zpráva o TBD v trvalém provozu. Vodní díla – TBD, a.s., 06/2009
- [18] Vyhláška č. 590/2002 Sb., o technických požadavcích pro vodní díla (novelizována vyhláškou č. 367/2005 Sb.)
- [19] Aktuální informace. VD Letovice – rekonstrukce [online]. Povodí Moravy, s.p, [cit. 09/05/2020]. Dostupné z: <http://vdletovice.pmo.cz/cz/stranka/aktualni-informace/>
- [20] Fotogalerie, letecké. VD Letovice – rekonstrukce [online]. Povodí Moravy, s.p, [cit. 13/05/2020]. Dostupné z: <http://vdletovice.pmo.cz/cz/foto/letecke/>
- [21] Základní mapy ČR. Geoportál ČÚZK [online]. ČÚZK, [cit. 13/05/2020]. Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [22] VD Letovice. 4. souhrnná etapová zpráva TBD. Vodní díla – TBD, a.s., 05/2019
- [23] VD Letovice, rekonstrukce VD. Dokumentace objektů D.8. DÚR. HG partner s.r.o., 05/2016
- [24] Mapové listy ke stažení: 24-12 Letovice. Listy ZVM 1:50 000 [online]. Základní vodohospodářská mapa ČR 1:50 000: mapové listy (archiv 1986-1999). Hydroekologický informační systém VÚV TGM. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, [cit. 03/06/2020]. Dostupné z: [https://heis.vuv.cz/data/spusteni/pgstart.asp?pg=HTML_HEIS\\$ZVM50LN\\$stazeni&pgload=1&ico=icoopenid1.png&nadpis1=Z%20E1kladn%20vodohospod%20E1%F8sk%20E1%20mapa%20%20C8R%201:50%20000:%20mapov%20E9%20listy%20\(archiv,%201986%20-%201999\)&nadpis2=Informa%20E8n%20str%20E1nky%20a%20data%20ke%20sta%20E9Een%20ED&pagenavig=%20DAvodn%20str%20E1nka%20%20%203E%20%20Dat%20ab%20E1ze%20%20%203E%20%20Mapy%20a%20data%20%20%203E%20%20%203E%20%20%203E%20%20%203E%20%20Z%20E1kladn%20vodohospod%20E1%F8sk%20E1%20mapa%20%20C8R%201:50%20000:%20mapov%20E9%20listy%20\(archiv,%201986%20-%201999\)%20%203E%20Informa%20E8n%20str%20E1nky%20a%20data%20ke%20Osta%20E9Een%20ED%20%20%203E%20](https://heis.vuv.cz/data/spusteni/pgstart.asp?pg=HTML_HEIS$ZVM50LN$stazeni&pgload=1&ico=icoopenid1.png&nadpis1=Z%20E1kladn%20vodohospod%20E1%F8sk%20E1%20mapa%20%20C8R%201:50%20000:%20mapov%20E9%20listy%20(archiv,%201986%20-%201999)&nadpis2=Informa%20E8n%20str%20E1nky%20a%20data%20ke%20sta%20E9Een%20ED&pagenavig=%20DAvodn%20str%20E1nka%20%20%203E%20%20Dat%20ab%20E1ze%20%20%203E%20%20Mapy%20a%20data%20%20%203E%20%20%203E%20%20%203E%20%20Z%20E1kladn%20vodohospod%20E1%F8sk%20E1%20mapa%20%20C8R%201:50%20000:%20mapov%20E9%20listy%20(archiv,%201986%20-%201999)%20%203E%20Informa%20E8n%20str%20E1nky%20a%20data%20ke%20Osta%20E9Een%20ED%20%20%203E%20)

7 SEZNAM ZKRATEK

ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
LG	Limnigrafická stanice
MVE	Malá vodní elektrárna
PTBD	Program technickobezpečnostního dohledu
SO	Stavební objekt
TBD	Technickobezpečnostní dohled
TG	Turbogenerátor
VD	Vodní dílo

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 2.1 Situace širších vztahů [21] (souřadnicový systém S-JTSK)</i>	4
<i>Obr. 2.2 Přibližná situace širších vztahů [21] (souřadnicový systém S-JTSK)</i>	5
<i>Obr. 2.3 Vodohospodářská mapa VD Letovice a jeho okolí [24]</i>	5
<i>Obr. 2.4 Geologická mapa širší oblasti [1]</i>	7
<i>Obr. 2.5 Letecký snímek na přehradu [20]</i>	12
<i>Obr. 2.6 Funkční prostory nádrže</i>	13
<i>Obr. 2.7 Schematický příčný řez hrází [16]</i>	14
<i>Obr. 2.8 Odběrná mokrá věž</i>	15
<i>Obr. 2.9 Chodba spodních výpustí s výpustným potrubím</i>	16
<i>Obr. 2.10 Soutyčí revizních uzávěrů spodních výpustí</i>	17
<i>Obr. 2.11 Vývar spodních výpustí</i>	18
<i>Obr. 2.12 Bezpečnostní přeliv se spadištěm</i>	19
<i>Obr. 2.13 Skluz pod spadištěm</i>	19
<i>Obr. 2.14 Protivodní pohled na hráz s funkčními objekty</i>	20
<i>Obr. 2.15 Objekt MVE spolu se strojovnou spodních výpustí</i>	22
<i>Obr. 2.16 Turbíny MVE</i>	22
<i>Obr. 2.17 LG Letovice pod hrází a upravené koryto toku</i>	23
<i>Obr. 2.18 Koryto toku s vodočetnou latí u LG</i>	24
<i>Obr. 2.19 Záznamové zařízení LG</i>	24
<i>Obr. 2.20 Situace hráze – aktuální umístění měřicího zařízení TBD [22]</i>	28
<i>Obr. 2.21 Příčný řez hrází – aktuální umístění měřicích zařízení TBD [22]</i>	29
<i>Obr. 2.22 Podélný řez chodbou spodních výpustí – aktuální zařízení systému TBD [22]</i> ..	30
<i>Obr. 2.23 Vzdušní svah s pozorovacími vrty</i>	32
<i>Obr. 2.24 Dvouetážový pozorovací vrt LV2 (identický s LV1, PV1 a PV2)</i>	33
<i>Obr. 2.25 Pozorovací vrt PT1 (identický s PT2)</i>	33

<i>Obr. 2.26 Kontrolní šachta KŠ3</i>	<i>34</i>
<i>Obr. 2.27 Pohled do kontrolní šachty KŠ3</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 2.28 Místo průsaku ST1 dilatační spárou do chodby spodních výpustí</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 2.29 Zhlaví tlakoměrného vrtu V6 v chodbě spodních výpustí</i>	<i>36</i>
<i>Obr. 2.30 Tlakoměrný vrt V5 s manometrem</i>	<i>37</i>
<i>Obr. 2.31 Vztažný bod pro nivelaci N6</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 2.32 Kontrolní nivelační bod K1 na vlnolamu</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 2.33 Poklop nivelačního bodu K12 při vzdušní straně</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 2.34 Poklop nivelačního bodu 12 v chodbě spodních výpustí</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 2.35 Nivelační bod 12 v chodbě spodních výpustí bez poklopu</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 2.36 Deformetrická základna D7</i>	<i>43</i>
<i>Obr. 2.37 Klínometrická základna KL1 v odběrné věži se zakrytými body</i>	<i>44</i>
<i>Obr. 2.38 Klínometrická základna KL2 – bod bez krytky</i>	<i>44</i>

9 SEZNAM TABULEK

Tab. 2.1 Základní hydrologické údaje	8
Tab. 2.2 Limity pro stupně povodňové aktivity	8
Tab. 2.3 M-denní průtoky	9
Tab. 2.4 N-leté kulminační průtoky	10
Tab. 2.5 Transformace povodní nádrží Letovice [2]	11
Tab. 2.6 Rozdělení prostorů nádrže	13
Tab. 2.7 Parametry MVE a jejího vybavení [2]	21
Tab. 2.8 Seznam zařízení pro měření průsakového režimu nacházejících se na VD	38
Tab. 2.9 Seznam zařízení pro měření deformací nacházejících se na VD	45
Tab. 2.10 Zabezpečení dle trvání v řadě 1931-1994 [2]	50
Tab. 3.1 Seznam zařízení TBD odstraněných z VD při rekonstrukci	53
Tab. 4.1 Seznam nových měřicích zařízení pro sledování a měření deformací	57
Tab. 4.2 Seznam nových měřicích zařízení pro sledování a měření průsakového režimu..	61

PŘÍLOHY

1. Situace – měření posunů
2. Situace – měření průsakového režimu
3. Řez hrázovou chodbou
4. Řez korunou hráze
5. Hloubková nivelační značka
6. Nivelační značka – návodní svah
7. Nivelační značka 1/Z, 2/Z, 3/Z, 9/Z
8. Nivelační značka 4/Z, 5/Z
9. Nivelační značka – vzdušní svah
10. Tlakoměrný vrt
11. Pozorovací vrt – původní
12. Pozorovací vrt – nový
13. Podélný řez drénem
14. Šachta Š2
15. Šachta Š2a
16. Šachta Š3
17. Šachta Š4
18. Šachta Š5
19. Situace – drén