VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB
INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

PROJEKT STROJNĚ-TECHNOLOGICKÉ ČÁSTI HYDRAULICKÉHO OKRUHU LABORATOŘE SPU V NITŘE

PROJECT OF MACHINE PART OF HYDRAULIC CIRCUIT OF LABORATORY SUA NITRA

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Daniel Boháč
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. MICHAL ŽOUŽELA, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2021

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodních staveb

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Daniel Boháč
Název	Projekt strojně-technologické části hydraulického okruhu laboratoře SPU v Nitře
Vedoucí práce	Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2020
Datum odevzdání	15. 1. 2021

V Brně dne 31. 3. 2020

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

[1] JANDORA, J. a ŠULC, J. Hydraulika. Modul 01. Brno: CERM Brno, 2006.

[2] MILLER, D.S. Internal flow system. BHRA, 1971.

[3] KOLÁŘ, V. VINOPAL, S. Hydraulika průmyslových armatur. STNL Praha, 1963.

[4] ŽOUŽELA, M. Návrh hydraulického okruhu laboratoře VOŠ stavební a SŠ stavební Vysoké Mýto. Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2011.

[5] CICHRA, R., ŠNELEROVÁ, M., ŽOUŽELA, M. Inovace čerpací stanice Laboratoře vodohospodářského výzkumu. Prováděcí projekt strojně technologické části, LVV – FAST – VUT v Brně, 2008.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Katedra krajinného inženierstva při Slovenskej poľnohospodárskej univerzitě v Nitre plánuje výraznou rekonstrukci stávající hydrotechnické laboratoře. V rámci diplomové práce bude zpracována dokumentace její strojně-technologické části. Projekt bude obsahovat souhrnnou technickou zprávu, technickou zprávu, strojně-technologické výkresy hydraulického okruhu, hydrotechnické výpočty, elektrotechnologické schéma hydraulického okruhu a způsob vizualizace ovládání čerpací stanice na displeji řídicího systému.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ 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).

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá návrhem hydraulického okruhu v prostorách laboratoře Slovenskej poľnohospodarskej univerzity v Nitře se zaměřením na projekt jeho strojně-technologické části. Součástí práce je popis stávajícího stavu a seznam požadavků investora. Hlavním úkolem práce je zhotovení projektové dokumentace, dle které se bude provádět hydraulický okruh v prostorách konkrétní laboratoře Katedry krajinného inženierstva, která je součástí Fakulty zahradníctva a krajinného inženierstva Slovenskej poľnohospodarskej univerzity v Nitře. Byla zvolena recirkulační koncepce hydraulického okruhu, využívající podzemní zásobní nádrž vody, rozvodná nerezová potrubí a měrné tratě ve formě hydraulických žlabů. Voda je okruhem dopravována pomocí ponorných odstředivých čerpadel. Tento okruh bude sloužit pracovníkům výše zmíněné fakulty k vědeckým i výukovým účelům. Součástí práce jsou i hydrotechnické výpočty a vizualizace ovládání hydraulického okruhu. Výsledný návrh vychází z řady jednání s investorem a odpovídá jeho požadavkům.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hydraulický okruh, hydraulický žlab, strojně-technologická část, SPU Nitra, čerpadla, potrubí, armatury, tvarovky

ABSTRACT

This Master's thesis deals with design of hydraulic circuit of laboratory of the Slovak university of agriculture in Nitra with focus on project of its machine part. The thesis includes a description of current condition of the laboratory and a list of investor's requirements. The main task of this thesis is to complete a project documentation which will be used to build a hydraulic circuit in laboratoty of Department of Water Resources and Environmental Engineering under Faculty of Horticulture and Landscape Engineering of the Slovak University of Agriculture in Nitra. The hydraulic circuit is based on recirculation concept. It consists of an underground water storage tank, stainless steel distribution pipes, measuring flumes and centrifugal submersible pumps. The hydraulic circuit will serve employees of the university for their scientific and educational purposes. Important parts of this thesis are hydrotechnical calculations and circuit control visualisations. The final design is based on a series of negotiations with the investor and suits his requirements.

KEYWORDS

Hydraulic circuit, measuring flume, machine part, Slovak University of Agriculture in Nitra, pump, pipe, fittings

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Daniel Boháč *Projekt strojně-technologické části hydraulického okruhu laboratoře SPU v Nitře.* Brno, 2020. 7 příl., celkem 270 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Michal Žoužela, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Projekt strojně-technologické části hydraulického okruhu laboratoře SPU v Nitře* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Daniel Boháč

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Projekt strojně-technologické části hydraulického okruhu laboratoře SPU v Nitře* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2021

Bc. Daniel Boháč

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval svému vedoucímu diplomové práce Ing. Michalu Žouželovi, Ph.D. za trpělivost, odborné rady a podnětné připomínky, kterými mi výrazně pomohl při vypracování diplomové práce. Současně děkuji projektantům stavební části rekonstrukce laboratoře, Ing. Markovi Šumichrastovi a Ing. arch. Martinovi Dulíkovi za poskytnutí podkladů stavební části.

SEZNAM PŘÍLOH

1. **Průvodní zpráva**
2. **Technická zpráva**
3. **Strojně-technologické výkresy hydraulického okruhu**
   - **3.1. Půdorys hydraulického okruhu**
   - **3.2. Řez A-A‘**
   - **3.3. Řez B-B‘**
   - **3.4. Řez C-C‘**
   - **3.5. Řez D-D‘**
   - **3.6. Řez E-E‘**
   - **3.7. Řez F-F‘**
   - **3.8. Řez G-G‘**
   - **3.9. Řez I-I‘**
   - **3.10. Řez J-J‘**
4. **Hydrotechnické výpočty hydraulického okruhu**
   - **4.1. Hydrotechnické výpočty – textová část**
   - **4.2. Hydrotechnické výpočty – tabelární a grafické výstupy**
5. **Elektrotechnologické schéma hydraulického okruhu**
6. **Vizualizace ovládání hydraulického okruhu na displeji řídicího systému**
7. **Výkaz výměr**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VYPRACOVAL :	Bc. DANIEL BOHÁČ	
VEDOUCÍ PRÁCE:	Ing. MICHAL ŽOUŽELA, Ph.D.	
VEDOUCÍ ÚSTAVU:	Prof. Ing. JAN ŠULC, CSc.	

FAKULTA STAVEBNÍ
ústav vodních staveb

AKCE :
PROJEKT STROJNĚ-TECHNOLOGICKÉ ČÁSTI HYDRAULICKÉHO OKRUHU LABORATOŘE SPU V NITŘE

OBSAH:
PRŮVODNÍ ZPRÁVA

FORMÁT:	A4
DATUM:	01/2021
MĚŘÍTKO:	Č. PŘÍLOHY: 1

OBSAH

1 Úvod ..... - 11 -
2 Popis současného stavu a výchozí situace ..... - 12 -
2.1 Stávající sklopný měrný žlab Ž2 ..... - 13 -
2.2 Stávající zásobní a čerpací jímka ..... - 14 -
2.3 Stávající uklidňovací a rozdělovací nádrž ..... - 15 -
2.4 Zhodnocení stávajícího stavu ..... - 16 -
3 Cíle práce ..... - 17 -
4 Popis navrhovaného hydraulického okruhu ..... - 18 -
4.1 Požadavky na hydraulický okruh ..... - 18 -
4.2 Koncepce hydraulického okruhu ..... - 20 -
4.3 Hlavní strojní zařízení hydraulického okruhu ..... - 22 -
5 Závěr ..... - 25 -
6 Seznam použité literatury ..... - 25 -
7 Seznam použitých zkratek a symbolů ..... - 26 -

1 ÚVOD

Katedra krajinného inženierstva (KKI) je součástí Fakulty zahradníctva a krajinného inženierstva (FZKI) Slovenskej poľnohospodarskej univerzity v Nitre (SPU). Součástí areálu KKI je i hydraulická laboratoř, která je v současné době vzhledem k jejímu špatnému stavebnímu a technologickému stavu využívána jen zřídka.

Pracovníci KKI se zaměřují při své činnosti na následující oblasti zájmu:

- protipovodňová ochrana;
- monitoring povrchových a podzemních vod;
- moderní závlahové technologie;
- revitalizace a úpravy vodních toků;
- vodárenství a čištění odpadních vod;
- kvalita ovzduší.

Součástí výuky na KKI je i hydromechanika, která je základem pro rozvoj všech výše uvedených disciplín. Vedle teoretického základu je pro pochopení a praktickou aplikaci znalostí v rámci výuky vhodné využívat i hydrotechnické laboratoře. V nich je možné nejčastěji v hydraulických měrných tratích prezentovat jednotlivá v teorii probíraná témata na modelech zmenšených hydrotechnických objektů. Úspěšně lze tak propojit teoretické znalosti s jejich praktickou vizualizací a zajistit tak u posluchačů FZKI větší míru pochopení daného tématu.

Vzhledem ke stavu, v jakém se v současné době hydraulická laboratoř nachází, však není možné v rámci výukového procesu výše uvedené zajistit. Rovněž tak práce v oblasti výzkumné činnosti pracovníků KKI jsou negativně ovlivněny nevyhovujícím stavem laboratoře. Z těchto důvodů bylo vedením SPU rozhodnuto, že prostory hydraulické laboratoře budou kompletně stavebně a technologicky rekonstruovány tak, aby bylo možné zajistit dostatečně kvalitní zázemí jak v oblasti vědy a výzkumu, tak i v oblasti výuky.

Předložená diplomová práce navazuje na prováděcí projekt [13] stejnojmenné laboratoře, který byl zpracováván autorem této diplomové práce pod vedením vedoucího již v roce 2019. Převážná většina textových a grafických výstupů tak byla z tohoto projektu převzata, případně podrobněji rozpracována či upravena.

2 POPIS SOUČASNÉHO STAVU A VÝCHOZÍ SITUACE

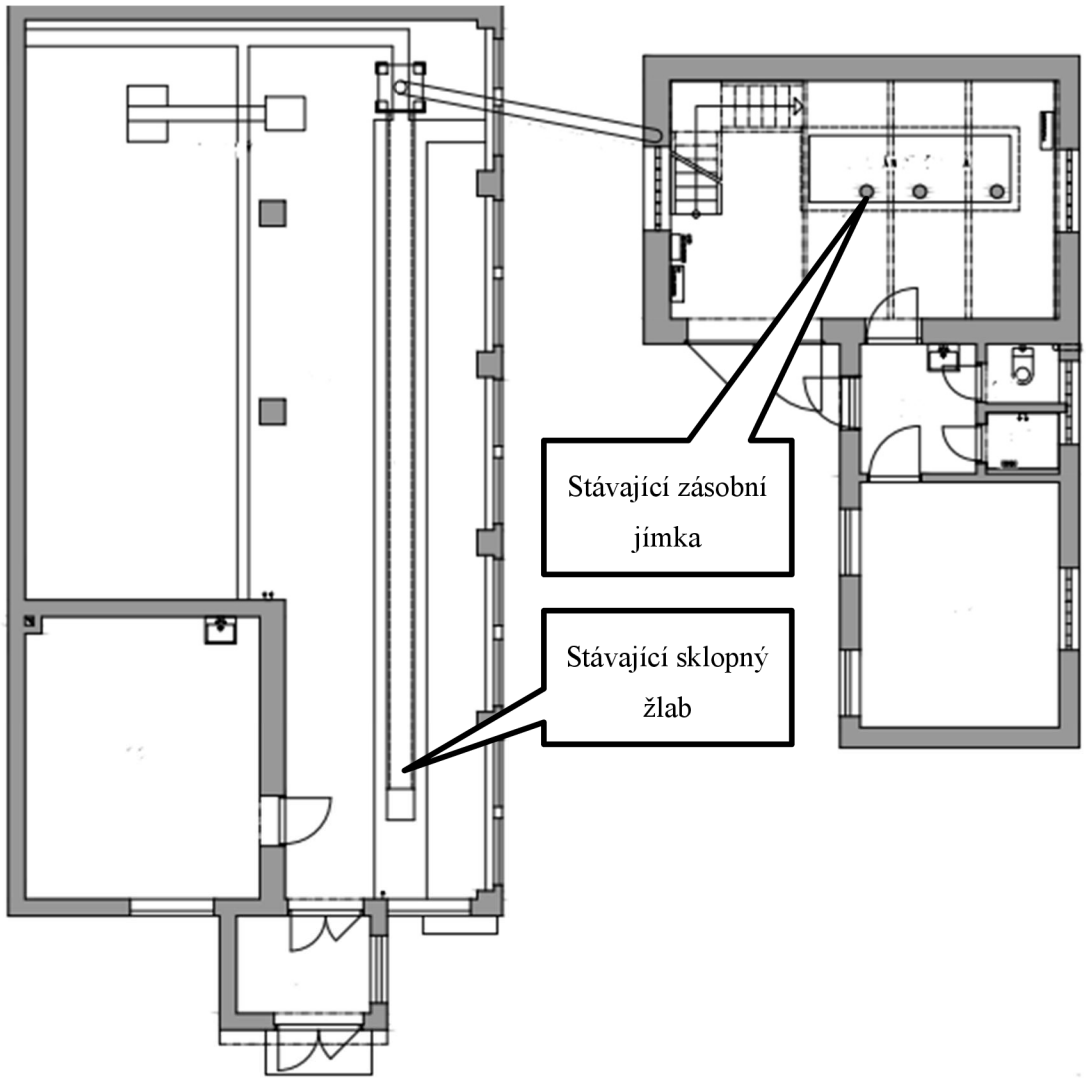
Stávající prostory laboratoře jsou dislokovány ve dvou samostatných budovách. Jedna z budov je jednopodlažní se sedlovou střechou, druhá budova je dvoupodlažní se střechou rovnou tak, jak je zřejmé z obr. 1.

Obr. 1 Stávající stav dvou budov tvořící hydraulickou laboratoř

V jednopodlažní budově je v současné době instalován sklopný hydraulický měrný žlab konstrukční délky 12,5 m a jmenovité šířky 0,40 m. Způsob instalace je patrný z obr. 3 a z dokumentace stavební části dodané projektantem [12].

Ve dvoupodlažním objektu, který je ve výrazně lepším stavebním stavu, je v prvním nadzemním podlaží umístěna zásobní jímka vody se čtyřmi ponornými čerpadly a ve druhém nadzemním podlaží pak horní uklidňovací a rozdělovací nádrží tak, jak je patrné z obr. 4 a obr. 5.

Půdorys přízemí obou stavebních objektů lze vidět na obr. 2. Následující text je zaměřen především na technologické vybavení stávajícího hydraulického okruhu laboratoře.



Obr. 2 Půdorys přízemí stavebních objektů – vlevo jednopodlažní budova, vpravo dvoupodlažní budova [12]

2.1 Stávající sklopný měrný žlab Ž2

Stávající sklopný měrný žlab je v předložené dokumentaci označován jako Ž2. Žlab vychází z klasické koncepce dříve budovaných hydraulických laboratoří. Před vlastním měrným prostorem je instalována uklidňovací a měřicí nádrž, ke které je voda přivedena ocelolitinovým potrubím DN 200. Toto potrubí je přivedeno z dvoupodlažního objektu a připojeno na horní uklidňovací a rozdělovací nádrž. Pro měření průtoku žlabem je využito Thomsonova přelivu, odhadovaná reálná kapacita měrného žlabu je okolo (40 – 50) l/s. Pro regulaci průtoků je před měrným žlabem instalováno šoupě, jež je vybaveno obtokem pro simulaci výrazně malých průtoků. Odtok ze žlabu je realizován potrubím, které je zaústěno do kanálu s prouděním o volné hladině. Tento kanál je dále veden zpět do dvoupodlažní budovy, kde se nachází zásobní a čerpací jímka.

Zvedací mechanismus žlabu je realizován jedním šroubovým bez převodovky manuálně ovládaným zvedákem za pomoci velkého ručního klíče. Toto ovládání je naprosto nevyhovující, jakákoliv změna sklonu žlabu vyžaduje velké úsilí a extrémně dlouhý čas. Pro jednoho člověka je změna sklonu žlabu v reálně dostupném čase prakticky nerealizovatelná.

Stav omočených povrchů přívodní a měrné nádrže je relativně zachovalý. Taktéž hlavní nosný prvek žlabu je v dobrém stavu. Těsnění skel měrného žlabu je nevyhovující. V rámci renovace žlabu, by měla být provedena výměna stávajících skel, úprava připojení uklidňovací nádrže na nový hydraulický okruh a výměna zvedacího mechanismu za zdvižnou manuálně nebo elektricky ovládanou převodovku.

Vzhledem ke změně koncepce hydraulického okruhu současně dojde po domluvě s investorem i k přemístění hydraulického žlabu do jiného místa laboratoře.

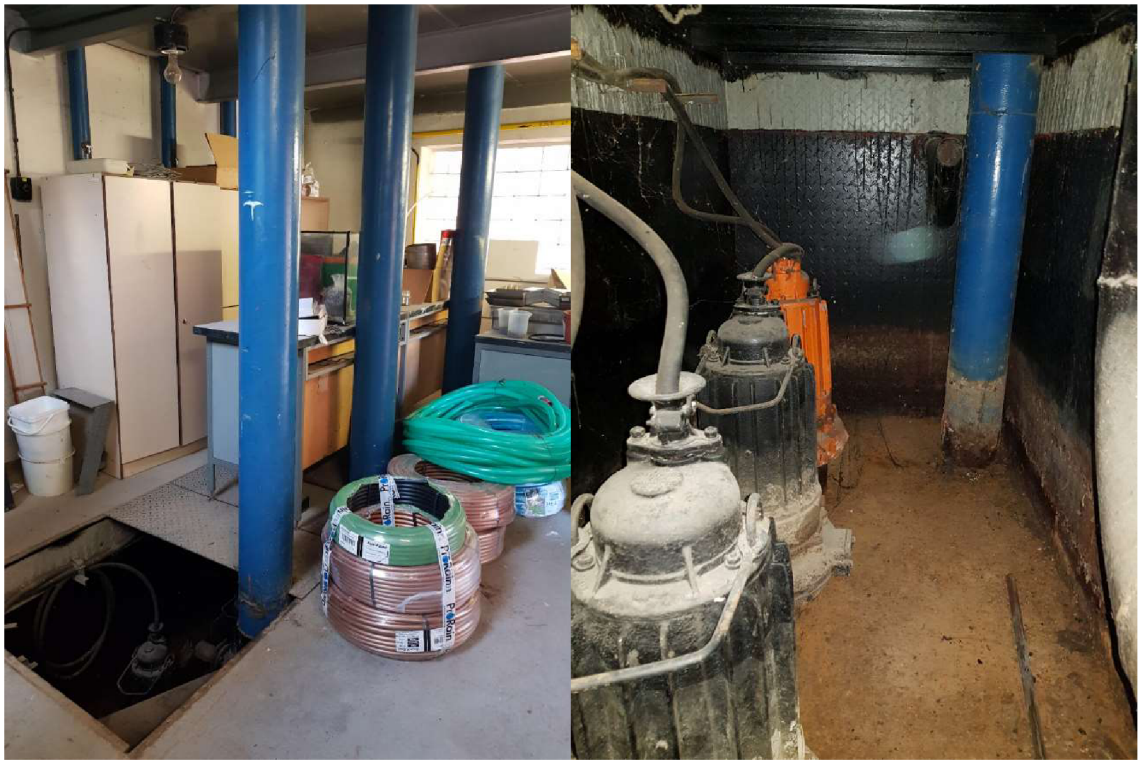
Obr. 3 Pohled na stávající sklopný měrný žlab v jednopodlažním objektu laboratoře

2.2 Stávající zásobní a čerpací jímka

Zásobní jímka, ve které jsou současně instalována čtyři 2,5 kW čerpadla, současně tvoří celkovou zásobu vody pro stávající hydraulický okruh. Tato zásoba odpovídající asi 6,5 m^3 je

dostačují na naplnění horní uklidňovací a rozdělovací nádrže, měřicí nádrže před měrným žlabem a naplnění objemu měrného žlabu. Pro napájení jakýchkoliv jiných modelů instalovaných mimo měřicí prostor měrného žlabu je zásoba vody nedostatečná. Čerpadla, která pocházejí z 80. let minulého století, nebyla pravidelně udržována, jsou jak provozně, tak především morálně zastaralá. Hydraulická účinnost těchto čerpadel v porovnání se současnými identickými typy může být až o 25 % nižší. [13]

Stěny zásobní jímky jsou realizovány z ocelových plechů, které jsou především v místech koutů a spojů výrazně korodovány. Stěny jímky jsou prakticky neopravitelné a musely by být kompletně vyměněny.



Obr. 4 Pohled na stávající čerpací jímku, čerpadla, přívodní a odpadní výrazně zkorodované potrubí

2.3 Stávající uklidňovací a rozdělovací nádrž

Uklidňovací a rozdělovací nádrž s dlouhou přelivnou hranou je instalována nad čerpací jímkou a je tvořena ocelovou konstrukcí. Voda do nádrže přitéká čtyřmi výtlačnými potrubími od předmětných čerpadel s tím, že tato potrubí jsou zcela nezvykle vyústěna shora do prostoru uklidňovací nádrže. Běžně dochází k zaústění přítokových potrubí do dna nádrže tak, aby bylo zajištěno co nejlepší uklidnění vody v prostoru nádrže a ničím nerušený odtok přes dlouhou hranu jalového přelivu. Nádrž, pokud by měla být využita pro nový hydraulický okruh,

absolutně neodpovídá svým provedením, velikostí a vystrojením trendům moderních laboratoří a musela by být výrazně přebudována.

Odpadní potrubí od jalového přelivu jsou v místě zaústění do čerpací jímky výrazně zkorodována a musela by být v případě využití nádrže nahrazena novými.

Obr. 5 Horní uklidňovací a rozdělovací nádrž, přívodní shora zaústěné potrubí od čerpadel

2.4 Zhodnocení stávajícího stavu

Z výše uvedených odstavců je patrné, že převážná část stávajícího technologického vybavení laboratoře je pro nový hydraulický okruh vzhledem ke stáří, velikosti či vystrojení nevyhovující. Po provedeném místním průzkumu a několika jednáních se zástupci investora a projektanta stavební části bylo rozhodnuto, že pro nově navrhovaný okruh se počítá s využitím stávajícího sklopného žlabu Ž2, který ovšem bude renovován. S využitím zásobní a čerpací nádrže, horní uklidňovací a rozdělovací nádrže se nepočítá.

Zásobní a čerpací nádrž je výrazně zkorodována, čerpadla jsou technicky a morálně zastaralá, většina rozvodných potrubí je zkorodována a výrazně by znehodnocovala kvalitu vody v hydraulickém okruhu.

Horní uklidňovací a rozdělovací nádrž je navržena z koncepčního hlediska chybně a pro využití v novém hydraulickém okruhu by musela být výrazně přebudována. V nových světových laboratořích se budují horní uklidňovací a rozdělovací nádrže jen u velkých hydraulických okruhů, u kterých se předpokládá pravidelný souběžný provoz např. na třech či více měrných tratích (modelech) tak, aby změna požadavku na průtok u jednoho modelu nezpůsobila změnu průtoku u tratí souběžně provozovaných. V nově navrhované laboratoři se se souběžným měřením na více tratích neuvažuje. [13]

Dalším podstatným důvodem využívání horních nádrží byla nemožnost změny čerpaného množství za pomocí měničů frekvence otáček čerpadel. Muselo tak dojít k „odřezání“ přebytečného průtoku na dlouhé přelivné hraně. S využitím moderních měničů frekvence je čerpání vody do horních nádrží menších laboratoří prakticky zbytečné. V minulosti se horní nádrže taktéž budovaly z důvodu nestabilního průtoku dodávaného čerpadly ať už z důvodu jejich vlastní konstrukce nebo nestability frekvence elektrické energie v síti. V nově navrhované laboratoři se uvažuje s čerpadly, která budou řízena měniči frekvence. [13]

Z výše uvedených důvodů tak není pro potřeby nově navrhovaného hydraulického okruhu horní nádrž potřeba.

3 CÍLE PRÁCE

Diplomová práce se zabývá konkrétním návrhem hydraulického okruhu v rekonstruovaných prostorách laboratoře KKI a navazuje na výkresy stavební části [12]. Cílem diplomové práce, která vznikla společně s tvorbou prováděcí projektové dokumentace [13], je návrh strojně-technologické části hydraulického okruhu laboratoře. Současně má splnit požadavky uvedené dále v kapitole 4.1.

V uvažovaném prostoru pro situování hydraulického okruhu bude třeba:

- umístit zásobní a čerpací podzemní jímku s ponornými čerpadly;
- zvolit typ a počet čerpadel;
- navrhnout trasy a posoudit dimenze rozvodných potrubí navazujících na tato čerpadla;
- vhodně umístit konstrukce měrných žlabů;
- navrhnout způsob ovládání hydraulického okruhu;
- zajistit vizualizaci měřených neelektrických veličin.

Projektová dokumentace obsahuje celkem sedm samostatných příloh. Jedná se o tuto průvodní zprávu, technickou zprávu a strojně-technologické výkresy hydraulického okruhu. Důležitou součástí projektu strojně-technologické části hydraulického okruhu laboratoře jsou

hydrotechnické výpočty a jeho elektrotechnologické schéma. Na tyto přílohy navazuje vizualizace ovládání hydraulického okruhu na displeji řídicího systému a výkaz výměr.

V hydraulické laboratoři se budou nacházet dva hydraulické žlaby. Jedná se o stávající k rekonstrukci navržený sklopný měrný žlab s označením Ž2 a nesklopný měrný žlab Ž1. Výkresy a požadavky na oba tyto žlaby nejsou součástí diplomové práce. Také dokumentace elektrotechnologické části nebyla v rámci předložené diplomové práce zpracována, je však součástí dokumentace [13].

Stavební a strojně-technologická část rekonstrukce hydraulické laboratoře KKI spolu úzce souvisí. V důležitých místech, ve kterých musí být zajištěna koordinace prvků navrhované technologie s novými stavebními konstrukcemi, jsou v předložené dokumentaci uvedeny odkazy či poznámky.

4 POPIS NAVRHOVANÉHO HYDRAULICKÉHO OKRUHU

Původním záměrem zástupců investora bylo založit koncepci laboratoře na stávajícím technologickém vybavení. Po zhodnocení stavu těchto prvků však bylo rozhodnuto, že není třeba na navržené koncepci trvat a je možné příslušné pro laboratoř vyčleněné prostory využít lépe. Taktéž stávající umístění žlabu Ž2 není pro návrh nového okruhu limitujícím faktorem a ten tak může být v rámci rekonstrukce přemístěn.

V následujících kapitolách budou popsány požadavky na provoz nového hydraulického okruhu laboratoře a popsána jeho celková koncepce. Ta vychází z řady jednání a několika návrhů, které byly v rámci zpracování projektové dokumentace [13] průběžně se všemi účastníky konzultovány. Na základě jednání se zástupci investora byl zvolen způsob ovládání a realizace průtoku v hydraulickém okruhu. Způsob ovládání je poloautomatický, volba průtoku a nasměrování vody do příslušné části hydraulického okruhu je realizována manuálně uživatelem.

4.1 Požadavky na hydraulický okruh

S odkazem na v úvodu zmíněné zaměření KKI, resp. FZKI, jejíž studenti budou moci nově vybudovanou laboratoř taktéž využívat, byly výše uvedenými postupy formulovány a sestaveny základní požadavky na nově budovanou laboratoř, resp. její hydraulický okruh. Tyto požadavky jsou následující.

- Hydraulický okruh bude umožňovat napájení vodou dvou hydraulických měrných žlabů Ž1 a Ž2;
- v návrhu bude využit stávající renovovaný sklopný měrný žlab Ž2, který bude možné provozovat i v tzv. odděleném režimu se znečištěnou vodou;
- hydraulický okruh bude vybaven nesklopným měrným žlabem Ž1 v účinné délce minimálně 6,5 m se jmenovitou šířkou minimálně 0,36 m;
- hydraulický okruh bude umožňovat napájení vodou volně v laboratoři situovaných modelů hydrotechnických staveb prostřednictví připojovacích bodů označovaných R – tyto budou umístěny v přízemí v úrovni podlahy laboratoře a jeden z připojovacích bodů bude vyústěn v druhém nadzemním podlaží;
- hydraulický okruh bude umožňovat dopravu vody i mimo prostory laboratoře směrem ven přes montážní přírubu R instalovanou a schovanou ve zdi,
- pro výše uvedené účely bude okruh vybaven minimálně dvěma shodnými čerpadly, jež budou řízena měniči frekvence;
- čerpadla bude možné opravovat či podrobovat pravidelnému servisu bez potřeby vypouštění vody z akumulační jímky;
- pro výše uvedené účely bude okruh vybaven dostatečně velkou zásobní a čerpací jímkou;
- kapacita obou měrných žlabu při použití jednoho čerpadla musí být minimálně 40 l/s;
- kapacita ostatních přípojných míst při chodu obou čerpadel musí být minimálně 75 l/s;
- průtoky hydraulickým okruhem musí být měřeny s dostatečnou přesností a příslušnou metrologickou návazností v rozsahu realizovatelných průtoků od prakticky nulových hodnot až do průtoků maximálních;
- provoz a řízení hydraulického okruhu musí být relativně jednoduché, bezpečné a provozně nenáročné, okruh bude vybaven bezpečnostními prvky zabraňujícími spuštění čerpadel při překročení nebo podkročení některých hodnot měřených neelektrických veličin;
- hydraulický okruh musí být provozovatelný, mimo čerpání ven z prostoru laboratoře, celoročně;
- ovládání čerpadel bude realizováno měniči frekvence, jež budou instalovány v elektrickém rozváděči;
- součástí dveří rozváděče bude dotykový display, který bude sloužit k ovládání a vizualizaci všech měřených neelektrických veličin;
- součástí měření neelektrických veličin bude sběr a vizualizace dostatečného množství dat o průtocích, tlacích, teplotách a hloubkách v různých místech měrných žlabu a prostorách laboratoře.

Celá řada ostatních a neméně důležitých parametrů bude definována níže, případně v dalších přílohách předložené projektové dokumentace.

4.2 Koncepce hydraulického okruhu

Návrh hydraulického okruhu byl proveden ve smyslu v kapitole 4.1 uvedených nejdůležitějších požadavků a na základě dispozičního řešení stavebního objektu. Veškeré tvary a rozměry konstrukcí a technologických prvků jsou patrné z dalších příloh předložené projektové dokumentace.

Celková koncepce laboratoře je založena na recirkulačním okruhu, který využívá podzemní zásobní nádrž vody, ponorná odstředivá čerpadla a rozvodná nerezová potrubí s manuálně ovládanými uzávěry. Nerezová potrubí byla navržena ve výrobních řadách v souladu s odbornou literaturou [7] [8] [14]. Přehledné znázornění všech prvků hydraulického okruhu je zřejmé z přílohy 5. Z ní je patrné, že hydraulický okruh je vystrojen dvěma měrnými žlaby Ž1 a Ž2 a celkem šesti připojovacími body s označením R1 až R6, které jsou vyústěné v různých místech prostoru laboratoře.

Podzemní akumulační nádrž vody s celkovým objemem 21 m^3 je situována tak, aby bylo možné do ní zaústit odpadní potrubí z obou měrných žlabů. Současně musí akumulační nádrž dostatečně půdorysně „pokrývat“ celý prostor laboratoře tak, aby do ní bylo možné zaústit odpady z případných modelů, které mohou být v prostoru přízemí laboratoře postaveny. Odpad z měrného žlabu Ž2 je od akumulační nádrže možno oddělit stavidlem S1 a tím žlab provozovat v případě potřeby i mimo hydraulický okruh, v tzv. odděleném režimu.

Na konci akumulační nádrže je zřízena prohloubená čerpací jímka, ve které jsou instalována dvě ponorná čerpadla odstředivého typu za pomocí spouštěcího zařízení, jež umožňuje vyzvednutí čerpadel bez potřeby vypuštění vody z prostoru akumulační nádrže. Čerpadla jsou shodného typu, každé o výkonu 3,1 kW.

Výtlačná potrubí DN 150 od obou čerpadel jsou vyústěna do výtlačné předlohy DN 200, jež je umístěna souběžně s jednou ze zdí laboratoře. Následně je výtlačná předloha zredukována zpět na průměr DN 150 pro potřeby instalace magneticko-indukčního průtokoměru, za ním je potrubí opět rozšířeno na průměr DN 200. Magneticko-indukční průtokoměr DN 150 umožní dostatečnou měřicí schopnost v rozsahu (7 – 100) l/s; nižší průtoky budou vedeny přes obtok DN 40, jenž bude opatřen shodným typem průtokoměru DN 40 s rozsahem od (0 – 12) l/s. Na obtoku DN 40 je realizován jeden z připojovacích bodů R6 s bajonetovou koncovkou C52.

Za rozšířením měřicí tratě zpět na DN 200 jsou realizovány dvě odbočení vedoucí k připojovacím bodům R1 a R2. R1 je odbočení DN 200, které přivádí vodu do 2. NP do míst, ve kterých se v současnosti nachází uklidňovací a rozdělovací nádrž. V těchto místech tak může být instalován model, jehož odpad bude zaústěný až do úrovně přízemí laboratoře. Může jít např. o model nádrže s bezpečnostním přelivem a navazujícím skluzem a vývarem. Vyústění R2 v dimenzi DN 200 je určeno pro připojení volně stojícího modelu.

Ve směru toku vody následují odbočení DN 200 do obou měrných žlabů Ž1 a Ž2. Na konci laboratoře je následně realizováno odbočení k připojovací přírubě R4 v dimenzi DN 200. Ukončení potrubí DN 200 je realizováno prostupem přes zeď tak, aby bylo možné případně napájet ve venkovním prostoru instalované modely. Toto připojení je označeno R3.

Hydraulický okruh budou tvořit nerezová potrubí světlostí DN 40, DN 50, DN 150 a DN 200. Důležitou součástí potrubí budou také armatury nutné k plnohodnotnému provozu hydraulického okruhu. Jedná se o zpětné klapky, uzavírací kulové ventily a uzavírací ručně ovládaná nožová šoupátka. Ta zajistí požadovanou těsnost a současně i případnou možnost předregulace průtoku vody hydraulickým okruhem. Jak bylo uvedeno výše, pro měření průtoku byly zvoleny magneticko-indukční průtokoměry dostatečných dimenzí.

Elektrický rozváděč se dvěma měniči frekvence pro řízení otáček motorů čerpadel bude instalován pod schodištěm vedoucím do druhého nadzemního podlaží v blízkosti čerpací stanice. Na jeho dveřích bude instalován 9“ dotykový displej umožňující řízení čerpací stanice a vizualizaci měřených neelektrických veličin. Dokumentace elektrotechnologické části zahrnující ovládání pohonů, vizualizaci, monitoring neelektrických veličin, vystrojení elektrického rozváděče a požadavky na trasy a přívod elektrické energie je uvedena v jiné dokumentaci [13].

Na hydraulický okruh budou připojeny potrubím DN 200 oba měrné žlaby (Ž1 a Ž2). Měrný žlab Ž1 bude mít celkovou délku 8,50 m a minimální jmenovitou šířku 0,36 m. Přesná specifikace hydraulického žlabu Ž1, stejně jako návrh možností renovace stávajícího sklopného žlabu Ž2 byly zpracovány v rámci prováděcí dokumentace [13] a nejsou součástí této diplomové práce. Detailní požadavky na opravu a rekonstrukci žlabu Ž2 pak budou zajištěny samostatnou dokumentací pověřenými pracovníky FZKI.

Koncepce hydraulického okruhu je navržena pro poloautomatický provoz. Plně pod kontrolou řídicího systému jsou tak obě čerpací soustrojí s tím, že uživatel si vhodným otevřením příslušných uzávěrů volí směr toku vody. Velikost měřeného okamžitého průtoku je

následně nastavena změnou frekvence otáček motoru čerpadla prostřednictvím dotykového displeje. Jde o jeden z nejrychlejších a relativně levných způsobů moderního řízení čerpacích stanic hydraulických okruhů hydrotechnických laboratoří. Vzhledem k tomu, že jsou pro uzavírání průtoku zvolena nožová šoupátka, lze je dočasně použít i pro předregulaci průtoku v případě, že by bylo nutné provozovat dvě měrné tratě současně (exkurze, dny otevřených dveří, vizualizace proudění na více měrných tratí současně, apod.).

4.3 Hlavní strojní zařízení hydraulického okruhu

Čerpací stanice bude vybavena dvěma ponornými odstředivými čerpadly instalovanými pomoci spouštěcího zařízení. Celkový koncept je patrný z obr. 5. Tato čerpadla budou instalována na pevně ukotvená výtlačná kolena. Každé z ponorných čerpadel bude schopno samostatně dopravovat podle typu zvolené tratě až 50 l/s. Předpokládané hodnoty průtoku podle zvolené řídicí frekvence motorů čerpadel a zvolené tratě jsou patrné z přílohy 4.

Obr. 5 Ponorné čerpadlo instalované na patkovém koleně pomocí spouštěcího zařízení

Aktuální průtočné množství hydraulickým okruhem bude měřeno pomocí magneticko-indukčních průtokoměrů, které budou nainstalovány na potrubí DN 40 a DN 150. Indukční

průtokoměry budou v kompaktním provedení (obr. 6), což umožní jejich lepší manipulaci při demontáži pro potřeby jejich pravidelné kalibrace.

Obr. 6 Indukční průtokoměr v kompaktním provedení

Obr. 7 Ručně ovládané nožové šoupátko [13]

Jako uzavírací armatury byly zvoleny ručně ovládaná nožová šoupátka v dimenzích DN 150 a DN 200 v celkovém počtu 11 ks. Tyto armatury zajistí jednoznačné uzavření potrubí

a díky jejich způsobu montáže je možné je využít jako koncové uzávěry bez nutnosti použití protipříruby tak, jak je patrné z obr. 7.

Na trubním systému hydraulického okruhu jsou před vtokem do každého z měrných žlabů Ž1, Ž2, navrženy pryžové kompenzátory. Tyto eliminují přenos hluku a vibrací po potrubí a vyrovnají možné montážní nepřesnosti a teplotní dilatace.

Obr. 8 Pryžový kompenzátor osazený na výtlačné větvi čerpadla

Důležitou součástí hydraulického kruhu je řídicí systém, jenž bude součástí elektrického rozváděče. Jak je uvedeno výše, řídicí systém bude ovládán prostřednictvím 9“ dotykového

displeje a to přímo v laboratoři nebo vzdáleným počítačem po zadání přístupového klíče. Způsob provozování čerpací stanice při poloautomatickém řízení lze vidět v příloze 6.

5 ZÁVĚR

Předložená projektová dokumentace umožní vybudovat hydraulický okruh, jenž bude tvořit hlavní část rekonstruované hydraulické laboratoře KKI FKZI SPU v Nitře. Tato laboratoř bude umožňovat simulaci proudění na zmenšených modelech a měření v oblasti hydrauliky a hydrologie pro potřeby výuky, vědy a výzkumu.

V zájmovém prostoru byla ve spolupráci se zástupci investora a projektantem stavební části navržena celková koncepce hydraulické laboratoře. Ta je založena na recirkulačním principu, jenž využívá podzemní akumulační nádrž, ponorná čerpadla, rozvodná potrubí a měrné tratě ve formě hydraulických žlabů, případně prostory, ve kterých je možné vybudovat volně stojící modely hydrotechnických staveb. Navržená koncepce je založena na poloautomatickém provozu hydraulického okruhu. Čerpadla jsou ovládaná měniči frekvence, uzávěry na potrubí jsou ovládána ručně. Měniče frekvence jsou součástí elektrického rozváděče, na jehož dveřích bude instalován 9“ dotykový displej. Ten umožní řízení a vizualizaci všech měřených neelektrických veličin [13].

6 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] JANDORA, J. a ŠULC, J. *Hydraulika*. Modul 01. Brno: CERM Brno, 2006.

[2] MILLER, D.S. *Internal flow system*. BHRA, 1971.

[3] KOLÁŘ, V. VINOPAL, S. *Hydraulika průmyslových armatur*. STNL Praha, 1963.

[4] ŽOUŽELA, M. *Návrh hydraulického okruhu laboratoře VOŠ stavební a SŠ stavební Vysoké Mýto.* Výzkumná zpráva, LVV – FAST – VUT v Brně, 2011.

[5] CICHRA, R., ŠNELEROVÁ, M., ŽOUŽELA, M. *Inovace čerpací stanice Laboratoře vodohospodářského výzkumu*. Prováděcí projekt strojně technologické části, LVV – FAST – VUT v Brně, 2008.

[6] Products: Flygt N-Technology Pumps. *Xylem: Let's solve water* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://www.xylem.com/en-us/products-services/pumps-packaged-pump-systems/pumps/submersible-pumps/wastewater-pumps/n-technology-pumps/n-3102

[7] *Akros, s.r.o.: Nerezový spojovací materiál* [online]. 2020 [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://www.akros.cz/

[8] Produkty. *Nerezový materiál* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://www.nerezmaterial.cz/

[9] *VAG s.r.o* [online]. Katalog výrobků. 2018. [vid. 27.11.2020]. Dostupné z: https://www.vag-group.com/Resources/Czechia/PDF/VAG-Cenik-2018_CZ.pdf

[10] Ponorná čerpadla. *IVAR CS spol. s.r.o* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://www.ivarcs.cz

[11] Magneticko indukční průtokoměry. *ELA: přístroje pro měření hladiny a průtoku* [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: http://www.elabrno.cz/cs/

[12] ŠUMICHRAST, M., DULÍK, M. *Hydraulické laboratorium KKI SPU v Nitre*, architektonická studie – digitální verze. Nitra 07/2017.

[13] ŽOUŽELA, M., BOHÁČ, D. Prístavba a stavebné úpravy hydraulického laboratoria KKI FZKI SPU v Nitre. Strojní a elektrotechnologická část hydraulického okruhu laboratoře. Prováděcí projekt, LVV – FAST – VUT v Brně, 2019

[14] *TRIVAL* [online]. Katalog nerezových materiálů. 2015. [vid. 27.11.2020]. Dostupné z: http://www.trival.cz/produkty/nerezovy-program

[15] Laboratoř vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně: LVV [online]. [cit. 2020-12-09]. Dostupné z: https://www.fce.vutbr.cz/vst/lvv/index.html

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SEZNAM ZKRATEK:

M1	Čerpadlo označené číslem 1
M2	Čerpadlo označené číslem 2
Š1 – Š11	Nožová šoupátka 1 až 11
K1 – K2	Kulové uzávěry 1 a 2
S1	Stavidlový uzávěr
Ž1	Měrný žlab nesklopný
Ž2	Měrný žlab sklopný
R1 – R6	Připojovací bod 1 až 6
KKI	Katedra krajinného inženierstva
FZKI	Fakulta zahradníctva a krajinného inženierstva
SPU v Nitre	Slovenská poľnohospodarska univerzita v Nitre
VUT v Brně	Vysoké učení technické v Brně
VJ	Vyhodnocovací jednotka
Z1 – Z3	Zobrazovací panely průtoku
EE	Elektrická energie
MaR	Měření a regulace

SEZNAM SYMBOLŮ:

Označení	Popis	Jednotka
DN	průměr potrubí	[m]
g	gravitační zrychlení	[m/s^2]
h	výška vodního sloupce	[m]
h_m	ztráty místní	[m]
h_{max}	maximální statická výška	[m]
h_{min}	minimální statická výška	[m]
h_t	ztráty třením po délce	[m]
h_m	ztráty místní	[m]
Δ	drsnost potrubí	[m]
l	délka potrubí	[m]
n	otáčky čerpadla	[1/min]
Označení	Popis	Jednotka
P	příkon čerpadla	[kW]
Q	průtok	[m^3/s]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
S	průřezová plocha	[m^2]
v	průřezová rychlost	[m/s]
α	Coriolisovo číslo	[-]
λ	součinitel ztráty třením	[-]
ν	kinematická viskozita	[m^2/s]
ζ	součinitel místních ztrát	[-]