

HYDRAULICKÉ OKRUHY LABORATOŘE ÚSTAVU VODNÍCH STAVEB FAKULTY STAVEBNÍ VUT V BRNĚ

Ing. Michal Žoužela, Ph.D.,

**Ústav vodních staveb – Laboratoř vodohospodářského výzkumu, Fakulta
stavební VUT v Brně, Veverí 331/95, 602 00 Brno, Česká republika,
tel. 54114 7286, fax. 54114 7288, e-mail: zouzela.m@fce.vutbr.cz**

Klíčová slova: Fyzikální modelování, výzkum, čerpací stanice, technologie, hydraulika

Anotace: V posledních šesti letech bylo do technologického vybavení laboratoře Ústavu vodních staveb investováno z prostředků Vysokého učení technického (VUT) v Brně přes 22,5 mil. Kč. Jednalo se o výstavby nových hydraulických okruhů nebo o jejich výrazné inovace. Tyto okruhy jsou využívány v oblasti hydraulického a aerodynamického modelování proudění v částech zmenšených hydrotechnických objektů. V současné době laboratoř využívá celkem pět hlavních hydraulických okruhů situovaných ve dvou budovách areálu fakulty. V následujícím příspěvku je předložen popis těchto hydraulických okruhů.

[Hydraulic circles of Laboratory of Institute of Water Structures, Faculty of Civil Engineering, Brno University of Technology](#)

Keywords:

[Physical modelling, pumping station, technology, hydraulics](#)

Annotation:

[During last 6 years, about 22.5 million Kč \(c. 0.82 million EUR\) from funds of Faculty of Civil Engineering or from funds of Brno University of Technology has been invested in the technological instrumentation of the laboratory of Institute of Water Structures. New hydraulic circles or an innovation of old ones are the technological instrumentation. These circles are used in fields of hydraulic and aerodynamic modelling of hydrotechnical structures on their scaled models. There are totally five main hydraulic circles in our laboratories situated in two buildings of our faculty. The paper is dealing with detailed description of the hydraulic circles.](#)

1. Úvod

Výsledky činnosti pracovníků Laboratoře vodohospodářského výzkumu (LVV) Ústavu vodních staveb Fakulty stavební (FAST) VUT v Brně jsou mimo jiné závislé na profesionálním zázemí, které je tvořeno technologickým vybavením laboratoře.

Laboratoř Ústavu vodních staveb pro svoji činnost využívá celkem pět na sobě vzájemně nezávislých hydraulických okruhů. Každý z těchto okruhů umístěných v budovách B a F areálu fakulty je využíván pro specifické účely vyplývající z požadavků výuky, základního nebo aplikovaného výzkumu. Jednotlivé hydraulické okruhy jsou vybaveny vlastní zásobou vody, čerpací stanicí (ČS) a příslušným (různým) počtem hydraulických měrných tratí.

V posledních letech za pomoci investičních prostředků FAST nebo dotací z prostředků VUT v Brně byla převážná část zmíněných hydraulických okruhů z hlediska technického vybavení, měření a regulace zmodernizována na úroveň světových laboratoří. V roce 2003 byl vybudován hydraulický okruh v budově F. V roce 2007 byl instalován systém měření velmi malých průtoků, v roce 2008 proběhla inovace zařízení pro detekci a vznik deformace zemin. V stejném roce došlo k inovaci ČS hydraulického okruhu, který byl založen zakladatelem laboratoře prof. Antonínem

Smrčkem ve 20. letech minulého století. V současné době na dalším z hydraulických okruhů probíhá modernizace.

Po všech uvedených inovacích a modernizacích hydraulických okruhů jsou příslušné čerpací agregáty ovládány měniči frekvence s možností zásahu za pomoci parametrizačních panelů, dotykových displejů, PC, vzdálených počítačů či jejich vzájemné kombinace. V mnoha případech je průtok jednotlivými systémy řízen pomocí PID (proporcionální-integrační-derivační) regulace, což umožňuje u některých okruhů i řízenou simulaci pozvolně se měnícího průtoku.

Následující příspěvek přináší komplexní přehled technických možností všech pěti hydraulických okruhů LVV. Pro rychlejší orientaci čtenáře, byť interně jsou jednotlivé okruhy nazývány jinak, jsou popisované hydraulické okruhy očíslovány od jedné do pěti. Pořadí sleduje i dobu jejich vzniku či jejich výrazné rekonstrukce.

V závěru příspěvku jsou krátce zmíněny i další okruhy včetně aerodynamických, kterými je LVV též vybavena.

Při sestavování příspěvku bylo použito literatury, která je uvedena v kapitole 4. Velké díky patří všem pracovníkům LVV, kteří přispěli svými radami, zkušenostmi a vzpomínkami.

2. Přehled technologického vybavení laboratoře

Jak bylo zmíněno v úvodu příspěvku, nachází se technologické vybavení LVV ve dvou budovách areálu FAST. V budově s označením B se nacházejí první tři hydraulické okruhy, v budově s označením F pak okruh č. 4 a č. 5. V následujících kapitolách bude postupně popsáno všech pět hydraulických okruhů. Zaměříme se jednotlivě vždy na celkovou koncepci hydraulického okruhu, jeho ČS a na možnosti měření a regulace (MaR) neelektrických veličin. Součástí popisu bude vždy i přehled technických možností jednotlivých měrných tratí, které jsou odpovídajícím hydraulickým okruhem napájeny.

2.1 Hydraulický okruh č. 1

Jedná se o nejstarší hydraulický okruh LVV, který byl vybudován a zprovozněn během první světové války, přesněji v lednu roku 1917. O prosazení zřízení vodohospodářské laboratoře a následně její stavbu se zasloužil především prof. Antonín Smrček se svým kolektivem. Vznikla tak první laboratoř pro hydrauliku s „volnou hladinou“ v zemích Rakousko-uherské monarchie. Od uvedeného data nebyl hydraulický okruh výrazně inovován. Vzhledem k častějším technickým výpadkům některých prvků ČS za poslední období jejího provozu bylo v roce 2006 rozhodnuto o její výraznější rekonstrukci. Ta se vzhledem k požadavkům na současný hydrotechnický výzkum a provoz laboratoře projevila i ve změně její celkové koncepce. V roce 2008 byly z Rozvojového projektu VUT v Brně na rekonstrukci získány příslušné finanční prostředky ve výši 2,2 mil. Kč.



Obr. 1 Protiproudňý pohled na model koryta vodňího toku ve žlabu šířky 3,5 m, vlevo nátok do žlabu šířky 1,0 m

Hydraulický okruh v současném provedení sestává z podzemního zásobníku vody o objemu až 45 m^3 , ČS a tří hydraulických měřných žlabů, jejichž parametry jsou patrné z Tab. 1. Z hlediska nátoky vody do měřných tratí (žlabů) je dodržena pro všechny jedna společná koncepce, kdy jsou před jejich nátoky situovány nádrže s měřnými přelivy Thomsonova typu. Protiprouděně před nimi jsou pak za pomoci ultrazvukových snímačů registrovány hodnoty přepadových výšek, které jsou následně vyhodnocovacími jednotkami transformovány na průtočné množství. ČS je vybavena i tlakovým rezervním výstupem pro připojení volně stojícího modelu. Ten je omezen velikostí prostoru, jehož půdorysné rozměry jsou patrné z Tab. 1.

Inovovanou ČS lze z technologického pohledu rozdělit na část strojně-technologickou a část elektro-technologickou.

Strojně-technologická část ČS zahrnuje dvě ponorná odstředivá čerpadla značky Flygt (instalovaná do původní čerpací jímky), dále nerezová potrubí s šesti klapkovými uzávěry a jedním indukčním průtokoměrem instalovaným na rezervní měřné trati. Každé z čerpadel je na trubní systém napojeno přes patkové koleno a výtláčné potrubí se zpětnou kulovou klapkou. Vedení rozvodných potrubí spolu s osazením uzavíracích klapek je řešeno s ohledem na možnost současného nezávislého provozu až dvou měřných žlabů. Klapky ovládané řídicím systémem jsou osazeny vždy před nátokem do měřné tratí. Pro možnost dopravování velmi malých průtoků do všech čtyř měřných tratí jsou trubní rozvody doplněny o 4 bypassy (obtokové potrubí DN 25 s ručně ovládaným kulovým ventilem). Zbývající dva klapkové uzávěry jsou do systému rozvodů umístěny s ohledem na co největší variabilitu provozu laboratoře. Průměry hlavních rozvodných potrubí se pohybují od DN 150 až k DN 300.

Typ tratě	Šířka [m]	Účinná délka ¹ [m]	Max. průtok [l.s ⁻¹]	Popis konstrukce žlabu	Obvyklé použití
Žlab	3,5	18	160	Nesklopný, neprůhledné stěny, betonová konstrukce	Říční modely, MVE, jezové konstrukce
Žlab	1,0	12	160	Nesklopný, prosklené stěny, ocelová konstrukce	Modely hydrotechnických staveb, metrologická činnost
Žlab	1,0	5	100	Nesklopný, prosklené stěny, ocelová konstrukce	Modely hydrotechnických staveb
Rezervní prostor	2,5	15	190	Připojovací příruba DN 200	Říční modely, modely hydrotechnických staveb

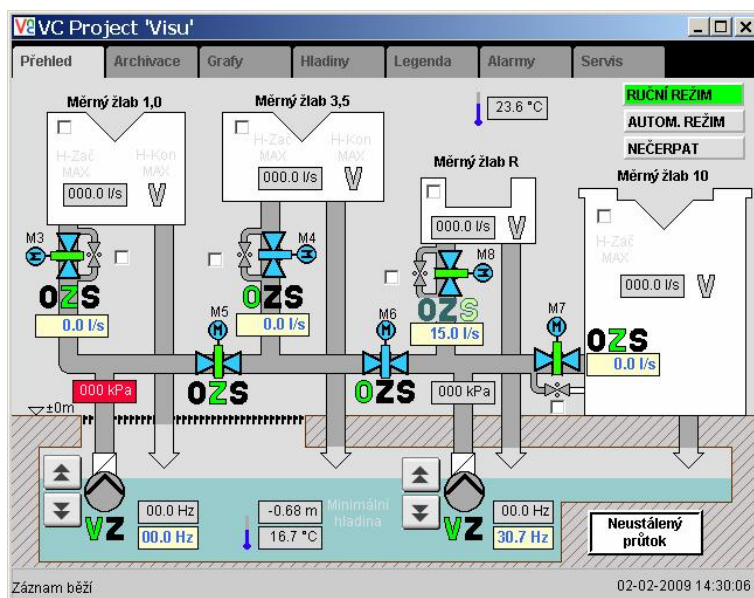
Tab.1 Přehled parametrů měrných tratí hydraulického okruhu č.1



Obr. 2 Pohled na inovovanou ČS – dvě výtlačná potrubí, napájení čtyř měrných tratí

Elektro-technologickou část inovované ČS je z technického hlediska možné rozdělit na systém kabelových tras elektrické energie (EE), kabelů MaR a na vlastní řídicí a vizualizační systém. Ten je instalován ve dvou polích skříňového rozvaděče, ve kterém jsou umístěny i měniče frekvence ponorných čerpadel s příslušenstvím. Řídicí systém od firmy B&R, který je součástí vizualizačního dotykového 10" panelu, slouží ke kompletnímu řízení, monitoringu i archivaci všech neelektrických provozních veličin, celkem je jich systémem registrováno 15. Patří mezi ně měření úrovní hladin ve všech měrných tratích (žlabech), měření a regulace průtoků vody hydraulickým okruhem, měření tlaků na výtlačných potrubích čerpadel, měření teploty vody a okolí, záznam výstupní frekvence měničů čerpadel.

¹ Jedná se o délku využitelnou pro vlastní realizaci výzkumných prací. Není v ní zahrnuta délka pro primární uklidnění přitékajícího proudu a délka odtokové části žlabu. Vlastní konstrukce žlabu je tedy delší.



Obr. 3 Pracovní plocha na 10" dotykovém displeji zobrazující hydraulický okruh

Inovace zajistila nezávislý provoz i dvou měrných tratí současně, kdy každou z nich je možné jedním z čerpadel zásobovat maximálním čerpaným množstvím cca 75 l.s^{-1} . Při provozu pouze jedné měrné trati lze dosáhnout maximální kapacity ČS ve smyslu Tab. 1 a to při podstatně nižší spotřebě EE oproti původní ČS. Příkon obou na maximum provozovaných čerpadel se pohybuje okolo $2 \times 9,5 \text{ kW}$. K ovládání řídicího systému ČS je možné použít zmíněný 10" dotykový displej či vzdálený počítač.

Pracovní plocha tohoto displeje zobrazuje zjednodušené schéma ČS a laboratoře, ve kterém je možno zvolit režim provozu (automatický či ruční), vybrat provozované měrné žlaby, zadávat požadované průtoky či provozní frekvenci čerpadel pomocí numerické klávesnice. Umožněna je i kontrola úrovní hladin, práce s grafy, parametry systému či provedení servisních nastavení tak, jak je patrné z Obr. 3. Při provozu pak vlastní řízení čerpání zajišťují a regulují měniče frekvence s PID regulační zpětnou vazbou na skutečné průtočné množství před měrnou tratí. Použití PID regulace dovoluje v hydraulickém okruhu simulovat i pozvolně se měnící průtok, např. průběh povodňové vlny.

2.2 Hydraulický okruh č. 2

Tento hydraulický okruh je situován v bývalém nezastřešeném dvorním traktu budovy B areálu fakulty, který byl pravděpodobně na vodohospodářskou laboratoř přeměněn v období kolem druhé světové války. Následně pak při rekonstrukci budovy B v roce 1998 byl okruh koncepčně, z hlediska strojně technologického, upraven do současné podoby. V tomto roce, což bylo zmíněno i v úvodu příspěvku, dochází k jeho inovaci z hlediska ovládání a vizualizace parametrů ČS.

Okruh byl a v současné době je určen především pro výukovou činnost ve všech stupních studijního programu FAST. Vedle tohoto primárního významu je část jeho měrných tratí využívána i pro potřeby základního (národní a mezinárodní projekty) a aplikovaného výzkumu v rámci spolupráce s praxí.

Hydraulický okruh je opět založen na cirkulačním principu. Pomocí čtyř čerpadel je voda z podzemní zásobní akumulární nádrže objemu 30 m^3 čerpána ocelolitinovým potrubím do celkem čtyř měrných tratí, na jejichž konci přepadá zpět. Přehled napájených hydraulických měrných tratí je uveden v Tab. 2. Současně je rozvod vody uzpůsoben tak, že na třech jeho místech jsou realizovány odbočky, na které je možné se v případě potřeby operativně připojit. Tato odbočení se užívají zpravidla pro napájení větších modelů, které lze umístit a provozovat na volné ploše zkušebny.

Vlastní ČS je vybavena celkem čtyřmi čerpadly značky Zenit odstředivého typu, která jsou upevněna přírubovým spojem na výtlačné příruby rozvodných potrubí. Ze čtyř čerpadel jsou dvě „malá“ o kapacitě $2 \times 12 \text{ l.s}^{-1}$ ($2 \times 2,7 \text{ kW}$) a dvě „velká“ s kapacitou $2 \times 95 \text{ l.s}^{-1}$ ($2 \times 16,4 \text{ kW}$).

Elektro-technologická část ČS hydraulického okruhu je řešena velmi podobným způsobem jako v případě ČS okruhu č.1. Veškeré elektro prvky jsou instalovány ve skříňovém rozvaděči o dvou polích, kde jsou umístěny i dva měniče frekvence a vlastní řídicí systém, který je v tomto případě integrován do 6" vizualizačního dotykového panelu firmy B&R, jehož plocha je zobrazitelná i na vzdáleném počítači.



Obr. 4 Pohled na ČS – rozvodná potrubí, regulační armatury, čtyři výtlačná potrubí od čerpadel

Typ tratě	Šířka [m]	Účinná délka [m]	Max. průtok [l.s^{-1}]	Popis konstrukce žlabu	Obvyklé použití
Žlab	1,0	6	160	Nesklopný, výšky 1,5 m, jedna stěna průhledná, ocelová konstrukce	Stabilita zemních a kamenitých hrází a jejich přelivů
Žlab	1,0	6	65	Sklopný do + 9 %, prosklené stěny, ocelová konstrukce	Výuková činnost, modely hydrotechnických staveb
Žlab	0,5	4	80	Sklopný od -2 ² % až do + 20 % , stěny průhledné, ocelová konstrukce	Modely hydrotechnických staveb
Výuková	-	-	15	Celkem 3 funkční hydraulické modely – Reynoldsův pokus, ztráty mechanické energie, výtok otvorem	

Tab.2 Přehled parametrů měrných tratí hydraulického okruhu č.2

Celkem čtyři čerpadla jsou ovládána dvěma měniči frekvence tak, aby bylo možné pokrýt celý rozsah požadavků na průtok. Prvotním výběrem jednoho malého, resp. jednoho velkého čerpadla, která jsou ovládána přes měnič frekvence, je možné dosáhnout možných provozních kombinací. Dvě zbývající (nevybraná) čerpadla jsou pak provozována „na přímo“.

² Jedná se o protiproudání sklon.

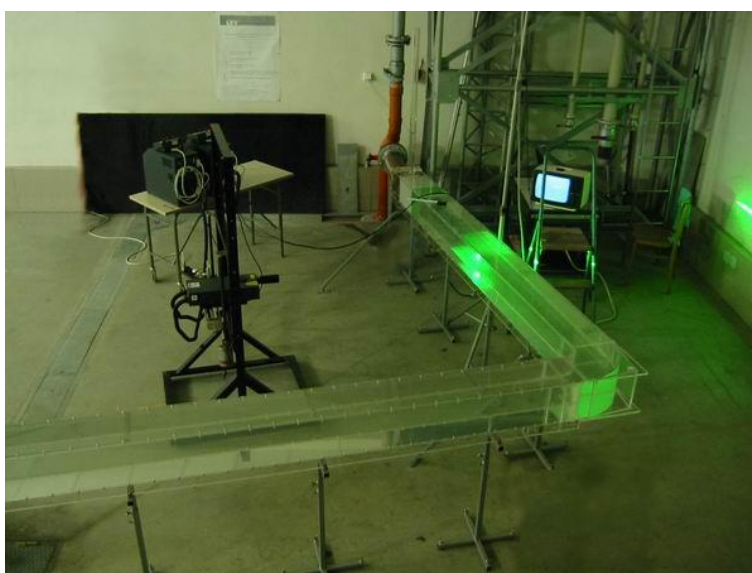


Obr. 5 Pohled na tři měrné žlaby hydraulického okruhu č.2

Informace o měřených průtocích jednotlivými měrnými tratěmi, které jsou vybaveny na svých přítocích indukčními průtokoměry nebo v případě proskleného žlabu Thomsonovým přelivem, jsou vizualizovány za pomoci nástěnných digitálních zobrazovačů.

2.3 Hydraulický okruh č. 3

Hydraulický okruh č. 3 se nachází v hale budovy B, v prostoru kde jsou instalovány i okruhy aerodynamické, o kterých bude blíže pojednáno v kapitole 2.6 příspěvku.



Obr. 6 Pohled na měrnou trať určenou pro získávání kalibračních a verifikačních dat pro matematické modely, měření metodou rovinné laserové anemometrie

Technologické zázemí toho okruhu vzniklo při rekonstrukci budovy B v roce 1998. Okruh je opět založen na cirkulačním principu. V tomto případě je použito monoblokového horizontálního čerpadla značky Calpeda osazeného v suché jímce. Sání z podzemní zásobní plastové nádrže o objemu max. $2,5 \text{ m}^3$ je axiální, výtlak je radiální. Příkon motoru čerpadla je $18,5 \text{ kW}$ což umožňuje dosáhnout při maximálních otáčkách průtok až $120 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Výtlačné potrubí DN 150 situované těsně pod podlahou v délce cca 8 m je vybaveno indukčním průtokoměrem DN 100. Vystupující potrubí

nad podlahu zkušebny je opatřeno rozbočovacím kusem s uzavěry. Tato odbočení 2 x DN 150 a 1 x DN 100 jsou prostorově přizpůsobitelná tak, aby na ně bylo možné připojit libovolné modely. Ty lze situovat na ploše (7 x 6) m, přičemž je třeba přizpůsobit místo odtoku z nich zpět do zásobní nádrže. Realizace měření na jednom z modelů je patrná z Obr. 6.

Jednou z výhod tohoto okruhu je celkově malý objem vody v něm, který umožňuje dávkování relativně malého počtu cenově drahých odrazných částic, jejichž přítomnost ve vodě je třeba v případech využití některých bezkontaktních optoelektronických metod (PIV – rovinná laserová anemometrie).

Hydraulické modely, které byly v této hale budovy B doposud zkoušeny, byly zaměřeny především na zkoumání vývoje proudění v kanálech pravoúhlých a kruhových průřezů při proudění tlakovém či s volnou hladinou. Důležitým faktorem pro tato měření je samozřejmě i požadavek na regulaci a časovou stabilitu průtoku. Tyto funkce zajišťuje měnič frekvence instalovaný ve skříňovém rozvaděči, který je ovládán parametrizačním panelem. Motor čerpadla je běžně provozován už od 12 Hz. Maximální průtočná kapacita příslušných modelů je pak dána jejich konstrukcí a velikostí ztrát mechanické energie, které se v celém hydraulickém okruhu vyskytnou.

2.4 Hydraulický okruh č. 4

Na podzim roku 1951 byly zahájeny práce na výstavbě výzkumného areálu vodohospodářského oboru pod přehradou v Brně – Kníničkách. Výzkum na hydraulických a aerodynamických modelech v tomto areálu probíhal až do roku 1999, kdy byl realizován přesun části pracovníků bývalého Ústavu vodohospodářského výzkumu do areálu FAST na ulici Veveří. Vzniká tak Laboratoř vodohospodářského výzkumu Ústavu vodních staveb. Tyto změny se dotkly i přesunu části technologického vybavení opouštěného areálu, ze kterého byly převezeny sklopné žlaby šířek 2,5 m a 0,4 m. V roce 2003 tak byl zbudován praktický největší hydraulický okruh LVV v budově F areálu fakulty. Celkové náklady na zbudování této zkušebny dosáhly 19 mil. Kč.

Stejně jako předešlé hydraulické okruhy je i tento založen na existenci podzemní zásobní nádrže o objemu až 80 m³ vody, která je částečně půdorysně situována mimo vlastní budovu zkušebny. V prohloubené části podzemní nádrže je sací jímka se čtyřmi ponornými odstředivými čerpadly značky Flygt. Dvě malá o kapacitě 2 x 11 l.s⁻¹ (2 x 2,4 kW) a dvě velká 2 x 85 l.s⁻¹ (2 x 13,5 kW). Voda od těchto čerpadel je dopravována potrubími se zpětnými klapkami do výše ležící armaturní komory, kde dochází k přerozdělování průtoků. Konceptně je možné hydraulický okruh provozovat dvěma způsoby – v gravitačním nebo tlakovém provozu. Gravitační přístup spočívá ve využití v nejvyšší části objektu situovaných nádrží, které jednoznačným způsobem zajistí velikost a stabilitu požadovaného průtoku. Systém tlakový je založen na přímém propojení výtlačných potrubí s přívody k jednotlivým měrným tratím. Voda je tak až k začátku konkrétní měrné tratě dopravena pod tlakem. V tomto režimu lze dosáhnout maximálního průtoku až 230 l.s⁻¹. Hlavní rozvody vody jsou realizovány v nerezovém provedení v průměrech DN 200 až DN 350. Potrubí je vystrojeno celkem 12 uzavíracími klapkami a 5 regulovatelnými šoupaty. V obou případech jsou uzavěry ovládány servopohony. K měření průtoku jsou užívány indukční průtokoměry, v gravitačním režimu je průtok stanoven měrným Thomsonovým přelivem.

Typ tratě	Šířka [m]	Účinná délka [m]	Max. průtok [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$]	Popis konstrukce žlabu	Obvyklé použití
Žlab	2,5	13	220	Sklopný do + 8 %, prosklené stěny, ocelová konstrukce	Modely hydrotechnických staveb, hydrodynamické účinky proudu na plavidla, šíření povrchových vln v zátopovém území
Žlab	0,4	10	40	Sklopný od -1,2 % až do + 4,6 % , stěny průhledné, ocelová konstrukce	Modely hydrotechnických staveb, metrologická činnost
Vnitřní prostor	2,3	13	140	Připojovací příruba DN 250	Modely hydrotechnických staveb
Venkovní prostor	5	11	230	Připojovací příruba DN 300	Modely hydrotechnických staveb

Tab.3 Přehled parametrů měrných tratí hydraulického okruhu č.4

ČS hydraulického okruhu napájí celkem čtyři měrné tratě, jejichž popis je patrný z Tab. 3. Vnitřní a venkovní prostory slouží pro výstavbu největších modelů, které není v rámci mezních podmínek modelovatelnosti možné umístit do hydraulických měrných žlabů. Za zmínku stojí možnost měření velmi malých průtoků před nátokem do žlabu šířky 0,4 m. Prakticky je možné dosáhnout minimálních hodnot okolo $0,1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.



Obr. 7 Vlevo část armaturní komory, vpravo pohled do prvního pole skříňového rozvaděče na tři měniče frekvence

Hydraulický okruh je kompletně ovládán elektro-technologickým vybavením, které sestává z kabelových rozvodů EE, kabelů MaR a ze skříňového rozvaděče o celkem čtyřech polích. V nich jsou mimo jiné umístěny měniče frekvence motorů dvou velkých čerpadel a jednoho malého. Druhé malé čerpadlo jede vždy „na přímo“. V rozvaděči je umístěn i vlastní řídicí systém firmy SIEMENS

Simatik S7 – 300, který je propojen s ovládacím a vizualizačním PC, jehož plochu lze zobrazit i na vzdáleném počítači. Ovládání laboratoře je možné realizovat i ze dvou parametrizačních panelů. Systém registruje celkem asi 70 údajů elektro-technologických veličin, z nichž 24 převážně neelektrického charakteru je s pravidelnou vzorkovací periodou 15 s archivováno.

Stejně jako v případě řízení hydraulického okruhu č.1 je možné zvolit automatický nebo ruční režim provozu. Na jednotlivých záložkách vizualizace ovládacího systému lze vybírat detailní pohledy na jednotlivé měrné tratě, prohlížet grafy či vstupovat do servisního režimu. Regulace průtoku do jednotlivých měrných tratí je v automatickém režimu řízena PID regulátorem, přičemž dosažení požadovaného průtoku je očekávatelné v tlakovém provozu zpravidla do 1,5 min. Díky této „pružné“ regulaci systému je možné stejně jako v případě hydraulického okruhu č.1 simulovat pozvolně se měnící průtok. Systém umožňuje v tlakovém režimu napájení současně až tří měrných tratí. V tomto případě však vyregulování systému trvá delší dobu a při změně požadavku na průtok do jedné z tratí dojde k ovlivnění průtoku na tratích zbývajících.



Obr. 8 Pohled do jedné z hal budovy F na měrný žlab šířky 2,5 m s modelem bezpečnostního objektu

2.5 Hydraulický okruh č.5

Pátým hydraulickým okruhem, který se nachází v jednom z traktů budovy F areálu fakulty, je systém určený pro experimentální část hydrauliky podzemních vod. Jedná se o relativně malý hydraulický okruh, který byl v roce 2008 podstatným způsobem inovován. Tento hydraulický okruh slouží pro vizualizaci jevů souvisejících s filtračními deformacemi materiálů (soudržných či nesoudržných) a pro stanovení jejich vybraných hydraulických charakteristik. Nejčastěji se jedná o stanovení součinitele hydraulické vodivosti zkoušeného materiálu. Nověji se též pracovníci LVV zabývají problematikou časové změny tohoto parametru při deformaci vnitřní struktury materiálu či proudění v nenasycené zóně.



Obr. 9 Vlevo pohled na hydraulický okruh, lavice s testovacími válci, v rohu polohovatelná gravitační nádrž, vpravo pohled na čerpadla Vogel s regulačními jednotkami HYDROVAR

Hydraulický systém se skládá ze zásobní nádrže vody, horní polohovatelné gravitační nádrže, dvou čerpadel, lavice s testovacími válci a ostatního nutného zařízení, které je třeba pro řízení a vyhodnocení prováděných experimentů. Systém lze provozovat ve dvou režimech – v režimu gravitačním a tlakovém. V případě gravitačního režimu je voda vyčerpána do výškově polohovatelné horní gravitační nádrže, odkud je pak dopravena k vlastnímu zkoušenému vzorku materiálu. V případě, že jsou při experimentu požadovány tlaky vyšší, je nutné systém provozovat v režimu tlakovém. V tomto případě lze dosáhnout přetlaku až 60 m v. sl.

Řízení čerpaného množství je vždy dáno požadavkem na konstantní hodnotu přetlaku před zkoušeným vzorkem. Toho lze dosáhnout manuálním škrcením na výtlaku z čerpadla nebo v ručním režimu, kdy jsou otáčky příslušného čerpadla řízeny jednou v čase neměnnou frekvencí. Využit lze i režimu plně automatického. Ten je založen na využití regulační jednotky HYDROVAR ovládající čerpadla značky Vogel. Maximální možné čerpané množství může dosáhnout prakticky od 0 l.s^{-1} až $3,3 \text{ l.s}^{-1}$.

Celý systém, který je ovládán parametrizačním panelem, je možné využít i pro pouhé řízené čerpání vody. ČS stanice tak může být použita k čerpání vody na některý z modelů umístěných v budově F. Velmi často se tak stává v případech, kdy je třeba model zásobovat z většího počtu přítoků.

2.6 Ostatní okruhy LVV

Pracovníci laboratoře ke své činnosti používají i další okruhy mobilního charakteru, o nichž bude vhodné se v předkládaném příspěvku zmínit. Jedná se především o hydraulický okruh pro kalibraci vodoměrných vrtulí a o dva okruhy pro aerodynamické modelování.



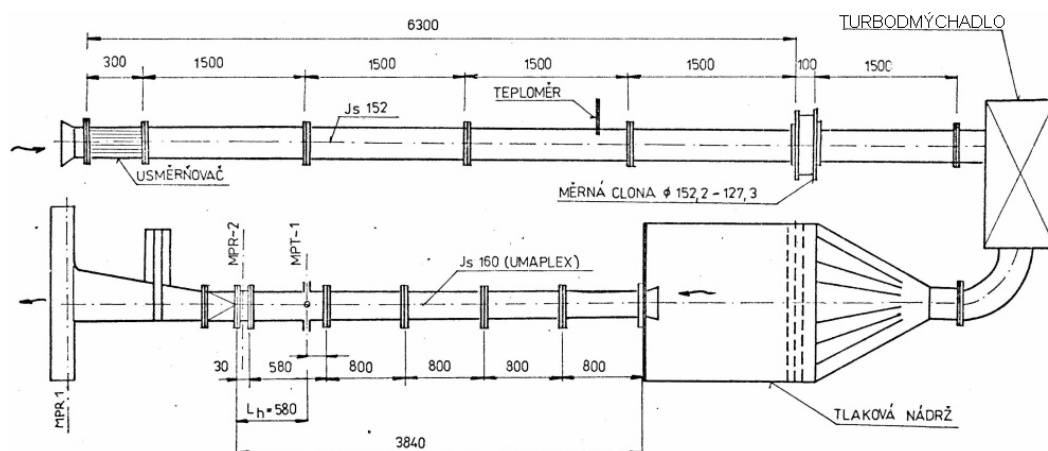
Obr. 10 Kalibrační trať vodoměrných vrtulí

Na Obr. 10 je pohled na hydraulický okruh pro kalibraci vodoměrných vrtulí, přičemž metrologická návaznost na etalon rychlosti proudu je dosahována za použití laserového dopplerovského anemometru. Okruh je zhotoven z plastového potrubí a tvarovek s vnitřním průměrem 150 mm. Měrný prostor má z důvodu dobré přístupnosti optickou měřicí metodou svislé rovinné boční stěny ze skla. K pohonu je použito odstředivé oběhové čerpadlo Calpeda o příkonu 1,5 kW řízené měničem frekvence. Měrný prostor umožňuje upnout tělo vodoměrné vrtule OTT C-2 s výměnnými propelery v ose kanálu pomocí nosné tyče o průměru 9 mm. Měrný prostor má odnímatelný strop. V okruhu je možné dosáhnout kalibračních rychlostí prakticky od nulové hodnoty až do $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. V popsaném okruhu je možné regulovat teplotu vody. Okruh se nyní používá v oblasti základního výzkumu stanovení přesnosti měření průtoku při užití vodoměrných vrtulí. Současně slouží ke kontrole charakteristik vodoměrných vrtulí, které jsou užívány k úřednímu měření průtoku v rámci autorizace LVV udělené Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví. V rámci metrologického systému ČR je trať užívána i v procesu mezilaboratorního porovnávání akreditovaných kalibračních laboratoří vodoměrných vrtulí.

Před rokem 1965 z iniciativy doc. Skaličky a jeho spolupracovníků byly v rámci vodohospodářských kateder zahájeny práce na využívání aerodynamického modelování proudění uvnitř hydrotechnických objektů. Tyto metody byly později značným způsobem rozšířeny, posuzování energetické účinnosti hydraulických a zátěžových charakteristik funkčních celků hydrotechnických objektů zejména s tlakovým režimem proudění se stalo běžnou a spolehlivou metodou.

K těmto účelům lze využít především aerodynamickou trať, která stejně jako trať druhá – aerodynamický tunel, je situována v budově B areálu fakulty.

Aerodynamická trať se rozkládá na ploše (9 x 2) m a její schéma je patrné z Obr. 11. Hlavním prvkem trati je vzduchové turbodmychadlo o maximálním průtoku $0,6 \text{ m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ a výkonu 5,5 kW. Průtok je měřen clonou při odpovídající teplotní, vlhkostní a tlakové kompenzaci v souladu s normou.



Obr. 11 Schéma aerodynamické trati při zkouškách vtokového a výtokového objektu dolní nádrže PVE Dlouhé Stráně za turbínového provozu

Vedle popsané aerodynamické tratě byl pod vedením prof. Daňka v roce 1989 dokončen stavebnicový aerodynamický tunel, který byl koncipován pro výzkum dynamického zatížení obtékaných povrchů konstrukcí a objektů větrem. Později byl též používán pro stanovení zatěžovacích charakteristik působících na vyořenou část lodí od účinků větru. Velikost měřicího prostoru modelu je proměnná, přičemž maximální rozměr šířkový je 0,6 m, výškový 0,45 m. Při této konfiguraci a použitém důlním axiálním ventilátoru s průtokem až $5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ vzduchu je možné dosáhnout rychlostí $18 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Při zmenšení měrného prostoru předřazením difuzorového prvku lze dosáhnout rychlostí až $80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Pro měření zatěžovacích charakteristik (sil a momentů) ve všech osách posuzovaného prvku je tunel vybaven šestikomponentními dynamickými váhami, které jsou schopné automatizovaného měření s vzorkovací frekvencí do 200 Hz.

Pro úplnost dodejme, že pracoviště LVV je vybaveno několika dalšími samostatnými funkčními modely, které slouží pro vizualizaci proudění vody na hydrotechnických stavbách a jsou užívány pro potřeby výuky či prezentace činnosti a výsledků LVV.

3. Závěr

V příspěvku je popsáno celkem pět hlavních hydraulických okruhů, které jsou situovány ve dvou budovách Fakulty stavební. Všechny hydraulické okruhy, respektive jejich čerpací stanice, jsou ovládány moderními technologickými prvky, které jsou srovnatelné s vybavením světových laboratoří.

Realizace těchto hydraulických okruhů, respektive jejich inovace v posledních letech by nebyla možná bez finanční podpory Fakulty stavební a VUT v Brně. Důležitým faktorem při rozhodování o směru rozvoje technologického vybavení laboratoře jsou i konkrétní požadavky na základní a především aplikovaný výzkum. Mezi hlavní zákazníky laboratoře z aplikační sféry patří podniky správ jednotlivých povodí ČR a řada subjektů podnikajících v oboru vodního hospodářství a energetiky. Tato spolupráce se zpětně promítá do kvality výuky na fakultě a vedle teoretického potenciálu přináší studentům i ukázkou konkrétních praktických aplikací.

Do budoucna je již plánováno několik dalších úprav stávajících hydraulických okruhů, které by měly rozšířit především nabídku možností laboratorního výzkumu a zkvalitnění služeb pro naše zákazníky.

4. Literatura

- [1] Daněk, M., Zubík, P.: Stavebnicový aerodynamický tunel se šestikomponentními dynamickými vahami. Dílčí závěrečná zpráva úkolu státního plánu základního výzkumu III – 5 – 6/05. VVÚVSH – VUT v Brně, 1989

- [2] Kratochvíl, J., Maleňák, J., Stara, V.: Historie Ústavu vodních staveb. Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT v Brně. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno. 2004. ISBN 80-7204-355-2
- [3] Smrček, A.: Laborator of Water-Works on the Czechoslovak high technical school at Brno. Special copyprint from No 1-3 of the official review "Zprávy veřejné služby technické". Ministry of Public Labour. Praha 1923
- [4] Šulc, J.: Experimentální výzkum výtokového objektu dolní nádrže přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně. Závěrečná zpráva o výzkumu. VVÚVSH – VUT v Brně, 1982
- [5] Šulc, J., Zubík, P.: Rozvoj bezkontaktních optoelektronických měřicích metod v hydromechanice. Výzkumná zpráva. LVV – FAST – VUT v Brně, 2004
- [6] Šulc, J.: Současné metody stanovení charakteristik proudící kapaliny a jejich aplikace při fyzikálním a matematickém modelování v hydrotechnice. Habilitační práce. LVV – FAST – VUT v Brně, 2003
- [7] Zchoval, Z.: Filtrační deformace v zeminách – inovace stávajícího zařízení, možnosti detekce, kritéria vzniku. Projekt vnitřního grantového systému FAST VUT v Brně. LVV – FAST – VUT v Brně, 2008
- [8] Žoužela, M., Šnelerová, M.: Inovace čerpací stanice laboratoře Ústavu vodních staveb Fakulty stavební VUT v Brně. Sborník příspěvků z XII. Mezinárodní konference. VUT v Brně, 2009, str. 217-220, ISBN 978-80-7204-629-4
- [9] Žoužela, M. Výstavba a provoz nové laboratoře Ústavu vodních staveb. Sborník příspěvků ze 3. Vodohospodářské konference 2003, Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT v Brně, 2003, str. 341-351, ISBN 80-86433-26-9
- [10] Žoužela, M., Fejfarová, M.: Měření průtoku za pomoci ostrohranných přelivů v podmínkách ovlivnění dolní vodou. Projekt vnitřního grantového systému FAST VUT v Brně. LVV – FAST – VUT v Brně, 2007
- [11] Žoužela, M.: Modernizace čerpací stanice laboratoře Ústavu vodních staveb. Projekt vnitřního grantového systému FAST VUT v Brně. LVV – FAST – VUT v Brně, 2009
- [12] Žoužela, M., Zubík, P.: Přípravná studie výzkumu problematiky vlivu extrémních teplot na vykazovanou rychlost kapaliny měřenou vodoměrnou vrtulí. Program MŽP ČR 3604 – přesnost měření kvantitativních parametrů hydrosféry. Výzkumná zpráva. LVV – FAST – VUT v Brně, 2005