



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍCH STAVEB

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

STANOVENÍ PRACOVNÍHO ROZSAHU A ÚČINNOSTI VODNÍHO TRKAČE

DETERMINATION OF THE WORKING RANGE AND EFFICIENCY OF THE WATER
HAMMER PUMP

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Růžička

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MIROSLAV ŠPANO, Ph.D.

BRNO 2019



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. Jakub Růžička
Název	Stanovení pracovního rozsahu a účinnosti vodního trkače
Vedoucí práce	Ing. Miroslav Špano, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.
Vedoucí ústavu

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

PODKLADY A LITERATURA

Blažek, J.: Vodní trkač. 1985

Boor, B., Patočka, C., Knštátský, J.: Hydraulika pro vodohospodářské stavby, SNTL, 1968.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci práce proveďte laboratorní měření průtoků a dopravovaného množství vody na vybraných konstrukcích vodního trkače. Měření zpracujte a vyhodnoťte pracovní rozsah a účinnost vodního trkače. Dosažené výsledky popište do zprávy.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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

Ing. Miroslav Špano, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Tato práce stanovuje pracovní rozsah a účinnosti vodního trkače experimentálními měřeními v laboratoři. Měření probíhá na třech odlišných dimenzích vodního trkače, které navrhnul a sestavil autor této práce. Zde se také zjišťuje, zdali má závaží na tepacím ventilu vliv na účinnost trkače.

Dále se zabývá porovnáváním dosavadních způsobů dopravy vody na táborech oproti výhodám trkače. Princip vodního trkače vychází z hydraulického rázu, který je zde důkladně rozepsán.

Obsahem jedné z kapitol je návod na umístění vodního trkače na tok a jeho kompletní zapojení. Jelikož do trkače společně s vodou mohou být dopravovány nečistoty, tak se práce zaměřuje na přidání vtokového objektu, který by tomuto problému mohl zabránit. Vtokový objekt byl pouze namodelován v programu Flow 3D, aby se ukázala jeho funkčnost.

KLÍČOVÁ SLOVA

vodní trkač, zpětná klapka, skauting, tábor, vodní ráz, Flow 3D

ABSTRACT

This thesis focuses on setting the range and efficiency of a water ram pump through experimental measurements in a laboratory. The measurements were carried out on three different constructions of water ram pump, each of the designed and assembled by the author of this thesis himself, to find out whether the weight on the pulsating valve has an influence on the water ram pump efficiency.

Further on this thesis aims at the comparison of up to now methods of water transport arrangement used at a summer camp and the usage of the water ram pump and its advantages. The principal of water ram pump originates in hydraulic impact that is being precisely described in a great detail as well.

On of the chapters even includes the placement manual for the water ram pump and its overall assembly and connexion. Because the presence of floating debris is inevitable, this thesis also deals with the possibility to solve the incoming water impurities by adding an inflow gating to prevent such problem. This inflow gating has only been designed in a Flow 3D programme to introduce the idea and functions.

KEYWORDS

hydraulic ram pump, check valve, scouting, camp, hydraulic impact, Flow 3D

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Jakub Růžička *Stanovení pracovního rozsahu a účinnosti vodního trkače*. Brno, 2019. 57 s., Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. Miroslav Špano, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Stanovení pracovního rozsahu a účinnosti vodního trkače* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Jakub Růžička
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Stanovení pracovního rozsahu a účinnosti vodního trkače* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Jakub Růžička
autor práce

Obsah

1	Úvod a cíle práce	2
1.1	Cíle práce	2
2	Motivace	3
2.1	Anketa	3
2.2	Dílčí závěr - srovnání	7
3	Teoretický popis	9
3.1	Hydraulický ráz	9
3.1.1	Odvození základních vztahů pro hydraulický ráz	9
3.1.1.1	Rovnice kontinuity	9
3.1.1.2	Pohybová rovnice	11
3.1.2	Postupová rychlost tlakové vlny	13
3.2	Vodní trkač	14
3.2.1	Cyklus	15
3.2.2	Konstrukce	15
3.2.3	Vodní trkač 3/4"	17
3.2.4	Vodní trkač 1"	19
3.2.5	Vodní trkač 1 1/4"	21
4	Historie a patenty	23
4.1	Historie	23
4.2	Patenty	23
5	Stanovení provozních charakteristik	24
5.1	Metodika	24
5.2	Popis experimentu	25
5.3	Vodní trkač 3/4"	26
5.4	Vodní trkač 1"	27
5.5	Vodní trkač 1 1/4"	28
5.6	Ovlivňování průtoku vodního trkače	29
5.6.1	Vliv závaží na tepacím ventilu	29
5.6.2	Vzduch v přívodním potrubí	30
5.6.3	Délka a tvar přívodního potrubí	30
5.6.4	Ztráty třením po délce	30
6	Umístění vodního trkače na tok	36
6.1	Kam je možné vodní trkač umístit	36
6.2	Jak umístit vodní trkač na tok	37
6.3	Povolení k odběru vod	38
7	Vtokový objekt	39
7.1	Modelování	39
7.2	Výsledky řešení	42
8	Provozní zkušenosti	44
8.1	Léto roku 2016	44
8.2	Léto roku 2017	45
8.3	Léto roku 2018	45
8.4	Opravy a údržba	46
9	Závěr	47

1 Úvod a cíle práce

Tato práce navazuje na mou Bakalářskou práci [13] s tématem *Zásobení skautského tábora vodním trkačem*. V této práci se budu zabývat provozními charakteristikami vodního trkače, jako je účinnost a výtlačná výška. V této práci pojednávám o třech dimenzích mnou sestrojených konstrukcí vodního trkače. Bude se zde stanovovat pracovní rozsah vodního trkače, a to při laboratorním měření provozních charakteristik.

1.1 Cíle práce

Hlavním cílem práce je stanovit pracovní rozsah všech sestrojených dimenzí vodního trkače a v návaznosti na to i jejich účinnosti, výtlačné výšky i čerpané množství a odpadní průtoky. Pracovní rozsah se bude stanovovat pouze pro užití na stanových táborech či podobných lokalitách. Jde nám tedy o získání informací o možnosti dopravy vody při spádové výšce do jednoho metru.

První dílčí cíl je zjistit, zda je možné dosáhnout vyšších účinností při umístění závaží na tepací ventil. Tento cíl vyplývá i ze závěru mé Bakalářské práce [13].

Druhý dílčí cíl je stanovit ztráty ve výtlačném i přívodním potrubí a zjistit, zda mají či nemají vliv na funkci vodního trkače.

Třetí dílčí cíl spočívá v přiblížení tohoto technického prvku provozovatelům dětských táborů. Je důležité přiblížit tuto možnost čerpání vody na ostatní tábory v České republice a zjednodušit tak ostatním táborem problém s čerpáním vody. Cílem je připravit celkový návod na nákup potřebného materiálu, montáž celého systému i získání povolení k provozování vodního trkače.

Dalším cílem je vymyslet a následně namodelovat vtokový objekt, který by měl sloužit pro odvedení hrubých nečistot (především plavenin) od nátoky do přívodního potrubí. Objekt musí být namodelován tak, aby velké rychlosti nemířili přímo do potrubí, ale obtékali ho a zároveň se téměř nesnížila hladina u nátoky.

Posledním cílem je porovnat zkušenosti vzniklé provozem za dobu od vzniku této konstrukce. Následně z těchto zkušeností stanovit možné nedostatky a aspekty, které mohou nastat.

2 Motivace

Vodní trkač je hydraulický stroj, který pracuje na principu hydraulického rázu v potrubí. V české republice se dá vodní trkač koupit komerčně, stojí kolem 4000 Kč a není k němu téměř žádný návod. Tento trkač jsem v praxi viděl, bavil jsem se i s provozovatelem a zjistil jsem určité nedostatky. Vodní trkač se nedodává s přívodním potrubím a je tedy složité k němu připojit Polyethylenovou či jinou trubku. Při delším používání (na co by měl být trkač postaven) vznikají vůle v rameni, které vytváří závaží na tepací ventil a je nutné ho složitě vyměnit. Druhým nepříliš vhodným řešením jsou kožené ventily, které sice fungují skvěle, ale pouze do doby, než se nechají vyschnout. Při vyschnutí se kůže zničí a je nutné ji vyměnit. Takže pokud chceme vodní trkač používat pouze sezónně na tábory, tak musíme každým rokem měnit ventily.

Chtěl jsem tedy sestavit vodní trkač, který by byl jednoduchý na sestavení a byl by přizpůsoben pro umístění na táborech. Při výrobě vlastního vodního trkače jsem vycházel z dostupnosti veškerých dílů v hobby marketech, aby při jakékoli potřebě výměny dané části nebylo potřeba nic složitého na vyrábění a vše šlo koupit při jednom nákupu v hobby marketu. Hlavní výhodou je jednoduché zapojení (viz kapitola 6.2) a také již zmíněná dostupnost náhradních dílů. Další velkou výhodou tohoto stroje je jeho lehká instalace a přenosnost. Systém se dá rozebrat na přívodní potrubí, výtlačné potrubí a vodní trkač.

V mé bakalářské práci [13] jsem se zabýval celou problematikou užitkové vody na konkrétním táboře. V této diplomové práci chci toto téma prohloubit a stanovit pracovní rozsah a účinnosti vodních trkačů různých dimenzí. Vytvořím tak charakteristické křivky pro 3 dimenze trkačů. Také mám snahu o využití trkače k dopravě vody na různých táborech po celé České republice.

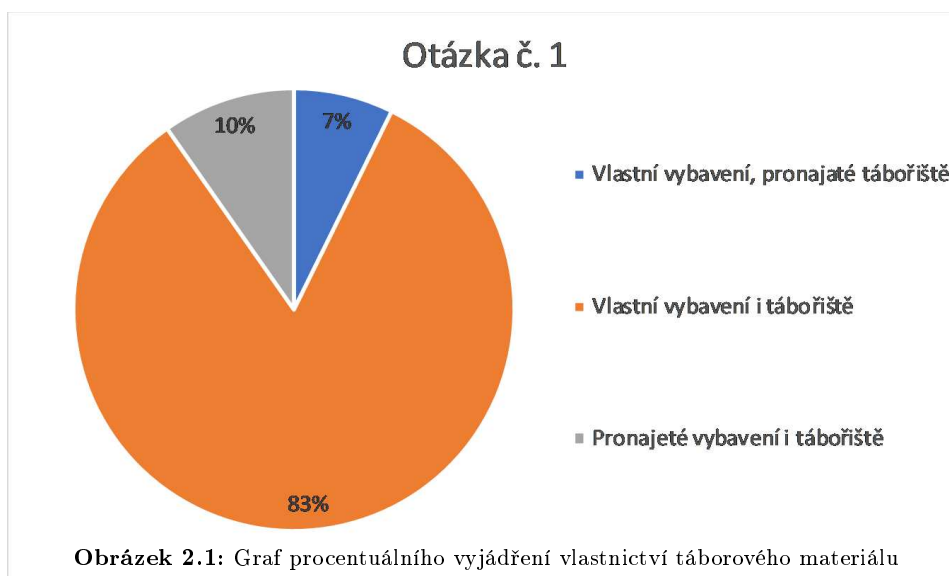
2.1 Anketa

Pro ověření, zda je vodní trkač vhodným nástrojem pro získávání užitkové vody z potoka, byla vytvořena anketa mezi skautskými oddíly v Olomouckém kraji. Anketa obsahovala navíc otázku ohledně pitné vody, aby problematika vody na táborech byla obsažena komplexně. Bylo osloveno 100 respondentů ze kterých odpovědělo 41, což tvoří 41% úspěšnost při odpovězení na dotazník.

Výsledky ankety byli vyhodnoceni do grafů na obrázcích 2.1, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5 a 2.6.

Otázka č. 1: Jezdíte na vlastní tábor s vlastním vybavením, nebo si vybavení pronajímáte i s tábořištěm?

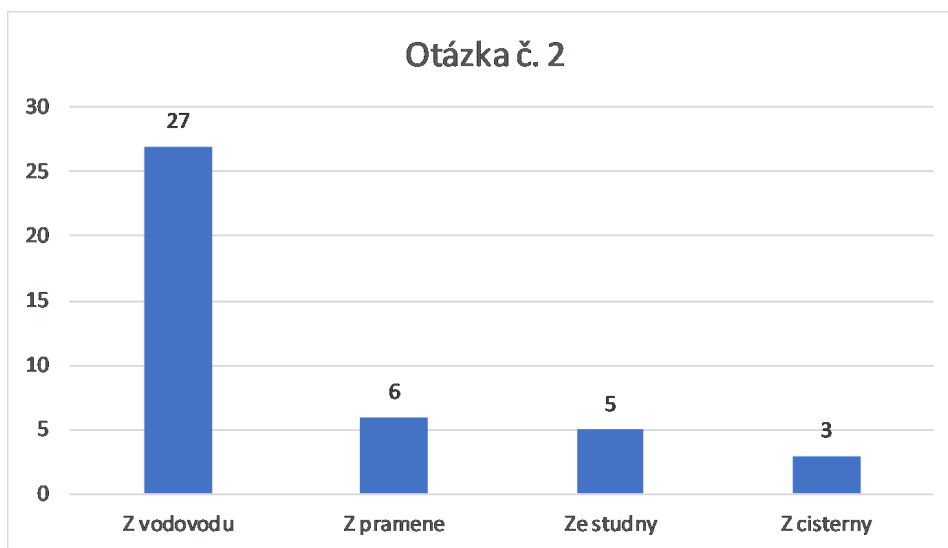
Cílem této otázky bylo zjistit, jestli daný respondent řeší vůbec otázku, jak dostávat vodu do tábora, nebo to za něj řeší pronajímatel tábořiště.



Výsledky ukázaly, že přes 80% dotázaných má vlastní vybavení i tábořiště, což vede k tomu, že si musí sami řešit problém jak dostat užitkovou vodu do tábora. Teoreticky lze tedy říci, že tyto tábory by mohli mít zájem o vodní trkač.

Otázka č. 2: Odkud odebíráte pitnou vodu?

Tato otázka byla do ankety přidána pouze z orientačních důvodů, aby byla problematika vody na táborech komplexně zpracována. S vodním trkačem nemá nic společného, jelikož vodní trkač čerpá pouze užitkovou vodu z vodního toku do zásobní nádrže.

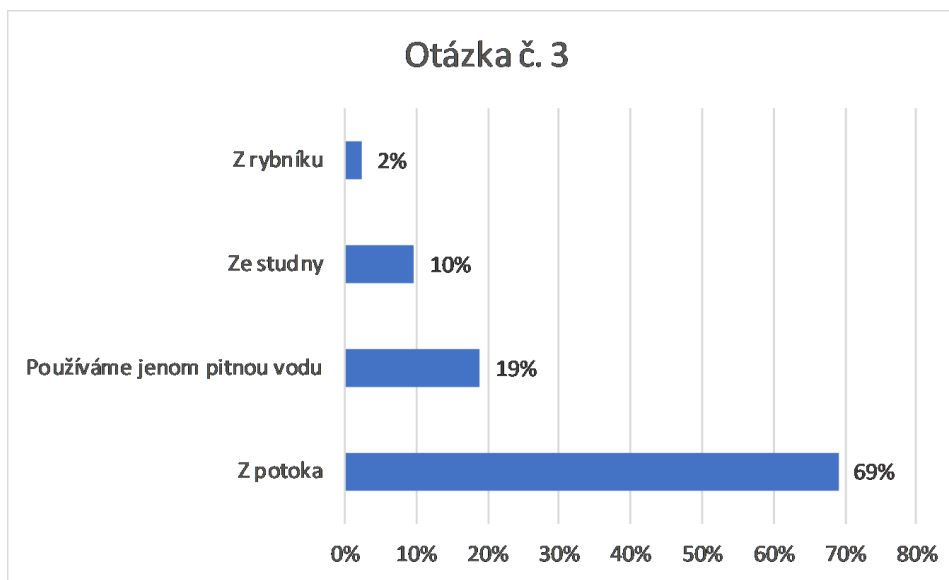


Obrázek 2.2: Graf míst, kde tábory odebírají pitnou vodu

Závěrem lze říci, že 27 táborů vozí pitnou vodu v barelech z místního vodovodu, což je přibližně 66%.

Otázka č. 3: Odkud odebíráte užitkovou vodu?

Otázka číslo tři je jedna z nejdůležitějších otázek v anketě. Na základě této otázky, lze usoudit, jestli má smysl vodní trkač danému táboru nabízet či nikoli. Pokud by anketa ukázala, že tábory odebírají užitkovou vodu z vodního toku, tak by mělo smysl jim nabízet vodní trkač jako nejlepší technické řešení k dopravování užitkové vody do jejich táborů. V opačném případě však nikoli.

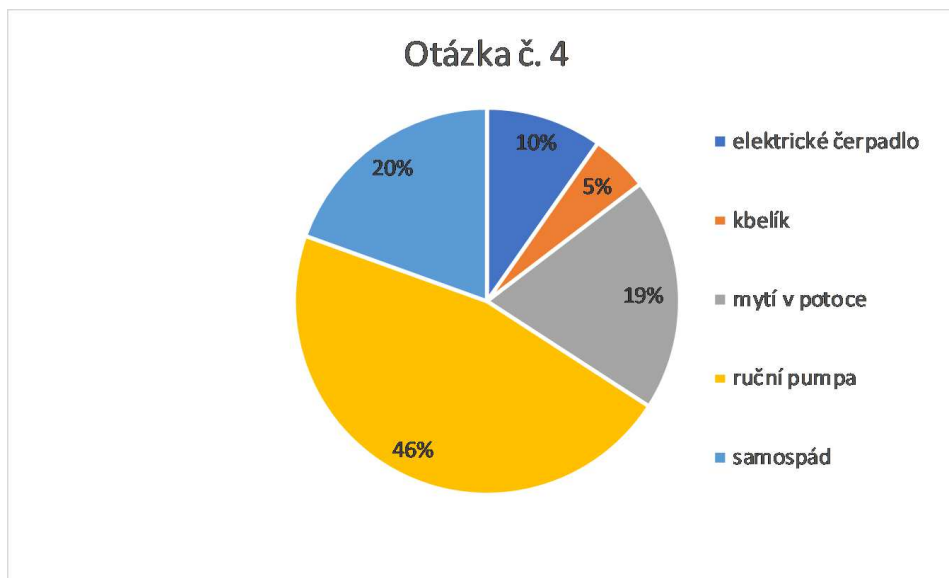


Obrázek 2.3: Graf míst, kde tábory odebírají užitkovou vodu

Na základě ankety bylo zjištěno, že většina táborů (cca 73%) odebírá vodu přímo z vodního toku, a tudíž by zde bylo možné použití vodního trkače. Zásadním zjištěním pro možnost osazení vodního trkače na daný tábor bylo také to, že 19% táborů vůbec nepoužívá užitkovou vodu a tudíž by neměli zájem o vodní trkač.

Otázka č. 4: Jak dostáváte užitkovou vodu do tábora?

Tato otázka je nejdůležitější otázkou v celé anketě. Díky ní jsou získávány údaje o tom, jak daný tábor dostává užitkovou vodu z vodního toku či studny do tábora.



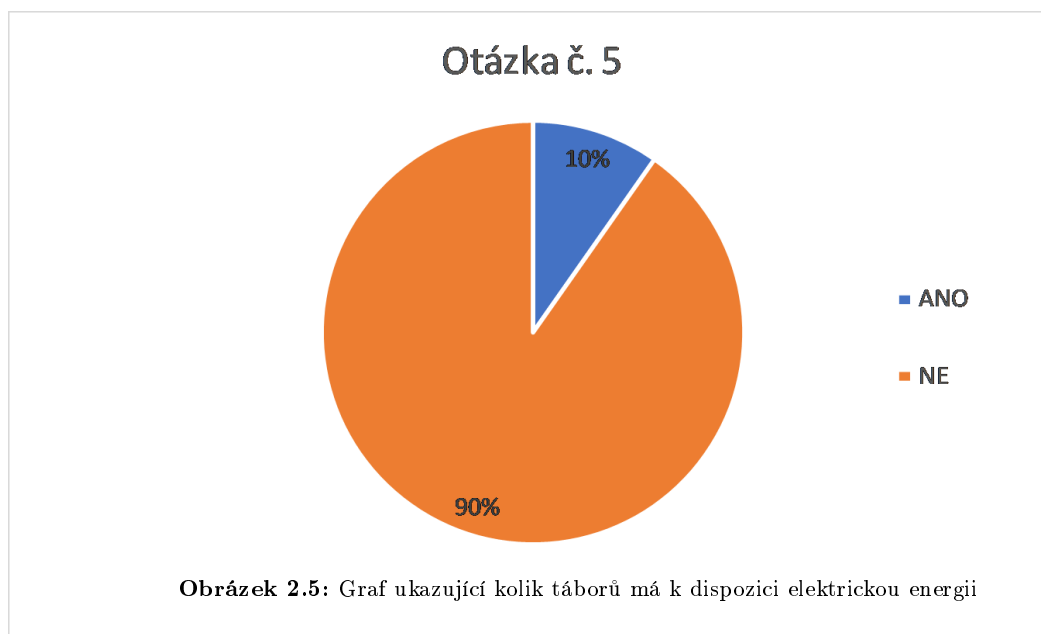
Obrázek 2.4: Graf vyjadřující techniku získávání užitkové vody pro tábor

Bylo zjištěno, že tábory které nepoužívají užitkovou vodu (viz graf 2.3) se myjí pouze v potoce. Ostatní oslovené tábory používají k zásobování tábora užitkovou vodou nějaký technický nástroj,

kterým vodu dopravují do zásobní nádrže. Nejčastějším způsobem dopravování vody do zásobní nádrže je ruční pumpa (46%). Zajímavým zjištěním také bylo to, že 20% táborů má u tábořiště vodní tok s velkým převýšením na to, aby mohli vodu dopravovat přímo z toku do zásobní nádrže pouze pomocí hadice a tzv. samospádu.

Otázka č. 5: Máte na táboře elektřinu?

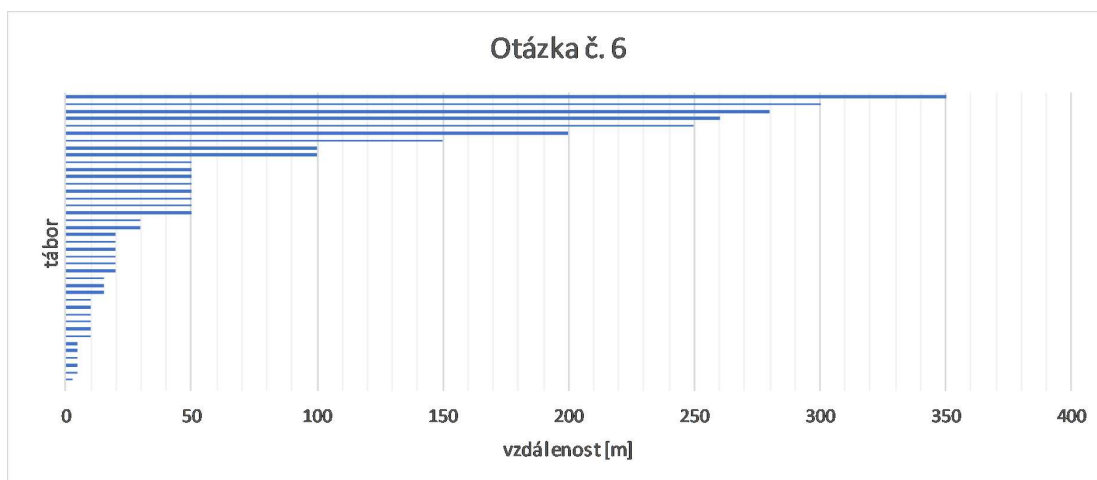
Tato otázka měla za cíl zjistit, zda se na osloveném táboře dá uvažovat o použití elektrického čerpadla. Pokud má tábor přístup k elektrické síti, tak je nejjednodušším způsobem jak dopravovat vodu do stávající zásobní nádrže elektrické čerpadlo. Pokud ale nemají přístup k síti, tak se vodní trkač nabízí jako nová a jednoduchá alternativa.



Anketa ukázala, že 90% táboru nemá přístup k elektrické síti a tudíž je zde eventuální možnost zapojit vodní trkač.

Otázka č. 6: Jak daleko máte vodní tok, nebo jinou vodní plochu od tábora?

Pro upřesnění zda by na daném táboře mohl být trkač umístěn, byla vytvořena tato poslední otázka.



Obrázek 2.6: Graf vzdáleností táborů od vodního toku

Výsledky otázky naznačily, že na téměř všech táborech by mohl být trkač umístěn. U táborů vzdálených více než 200 metrů od vodního toku budou ztráty třením po délce tvořit nezanedbatelný aspekt při návrhu vhodného vodního trkače pro daný tábor.

Z ankety byly tedy odebrány tábory s pronajatým vybavením, jelikož pro ně řeší dopravu vody pronajímatel. Odebrány byly také tábory, které odebírají užitkovou vodu ze studny či používají jen pitnou vodu. Posledním kritériem pro odebrání daného tábora z výsledků byl způsob dopravy vody do zásobní nádrže. Zde byla odebrána odpověď samospád, jelikož tyto tábory nepotřebují změnit jejich způsob dopravy.

Komplexním výsledkem ankety tedy je, že vodní trkač by se dal teoreticky umístit až na 51% táborů, které na anketu odpověděli. Pokud toto procento aplikujeme na celkový počet skautských dětských táborů v České republice, kterých bylo v roce 2018 podle webových stránek [14] 1042, tak můžeme říci, že vodní trkač lze teoreticky umístit až na 530 táborů.

2.2 Dílčí závěr - srovnání

Na základě ankety byly vybrány veškeré technické prvky sloužící k dopravě vody na táborech (i mytí v potoce) a byly vyhodnoceny za pomoci sedmi kritérií. Kritéria jsou: hygienické podmínky, práce s dopravou vody, pořizovací náklady, provozní náklady, nutnost obsluhy, nutnost elektrické energie a nutnost velkých převýšení toku.

Systém hodnocení je založen na záporných bodech. Čím nižší počet bodů, tím je daný technický prvek u určitého kritéria vhodnější. Body jsou v tabulce 2.1 ještě zvýrazněny barvou. Nejvhodnějším technickým prvkem je ten, který získá co nejmenší počet bodů.

Hodnocení kritérií:

- 1 záporný bod (zelená) = vyhověl bez problémů, nic nemusíme řešit
- 2 záporné body (oranžová) = je zde menší problém, měli bychom zvážit jeho řešitelnost
- 3 záporné body (červená) = je zde výrazný problém, je důležité daný problém řešit.

Srovnávané techniky dopravování vody:

- **Mytí v potoce** - nepoužívá se sprcha ani korýtka s výtokovými kohouty. Rozporuje s vyhláškou Ministerstva zdravotnictví 422/2013 Sb. O hygienických požadavcích na zotavovací akce pro děti.
- **Ruční křídlová pumpa** - pomocí ručního čerpání dovádí vodu z vodního toku či studny do zásobní nádrže.

- **Samospád** - voda je do zásobní nádrže dopravována gravitačně. Proti proudu vodního toku je do toku umístěna hadice tak, aby nátok do hadice byl výš než je víko zásobní nádrže. Po instalaci už není nutná obsluha
- **Elektrické čerpadlo** - Většinou jde o ponorné kalové čerpadlo umístěné ve vodním toku nebo ve studni, které při zapnutí vyčerpá vodu do zásobní nádrže.
- **Kbelík** - Zásobní nádrž je plněna vodou z vodního toku pouze nabíráním kbelíkem.
- **Vodní trkač** - voda z vodního toku je dopravována pomocí hydraulických rázů v potrubí vodního trkače do zásobní nádrže. Není nutná obsluha.

Tabulka 2.1: Srovnání technik dopravy vody

	mytí v potoce	technický prvek + zásobní nádrž				
		ruční pumpa	samospád	elektrické čerpadlo	kbelík	vodní trkač
hygienické podmínky	3	1	1	1	1	1
práce s dopravou vody	1	2	1	1	3	1
pořizovací náklady	1	3	1	2	1	3
provozní náklady	1	1	1	3	1	1
nutnost obsluhy	1	3	1	2	3	1
nutnost elektrické energie	1	1	1	3	1	1
nutnost velkých převýšení toku	1	1	3	1	1	1

Celkové zhodnocení	9	12	9	13	11	9
---------------------------	----------	-----------	----------	-----------	-----------	----------

Výsledky z tabulky 2.1 ukazují, že nejlépe vychází mytí v potoce, samospád a vodní trkač.

Mytí v potoce je ale v rozporu s vyhláškou Ministerstva zdravotnictví 422/2013 Sb. a nelze jej tedy uvádět jako vhodný prvek. Vyhláška přímo stanovuje počet sprchových růžic a také počet výtokových kohoutů takto: „(4) Na zotavovacích akcích musí být vytvořeny podmínky pro osobní hygienu. V umývárně musí být na 5 dětí jedno umyvadlo s tekoucí vodou a odtokem nebo jeden výtokový kohout s odvodem použité vody mimo místo osobní očisty a na 30 dětí nejméně jedna sprchová růžice. Sprchy užívají děti odděleně podle pohlaví a musí být zajištěna intimita. Na všech zotavovacích akcích musí být zajištěna možnost koupání nebo osprchování v teplé vodě alespoň jednou za týden.“

Samospád a vodní trkač jsou tedy nejvhodnějšími technickými prvky na dopravu vody na táborech, přičemž samospád nelze použít na táborech, kde není dostatečný spád vodního toku. Zatímco vodní trkač lze použít na všech táborech, a má pouze nevýhodu ve vyšších pořizovacích nákladech. Pořizovací náklady na jednotlivé dimenze trkačů jsou v tabulkách 3.2, 3.3 a 3.4 u jednotlivých trkačů.

Na druhém místě se umístilo plnění zásobní nádrže kbelíkem, zde je ale nutno podotknout, že naplnit celou nádrž v rozmezí 200 - 1000 litrů (podle kapacity tábora) zabere dost času i energie.

Na třetím místě je ruční pumpa, která má největší nevýhodu v nutnosti obsluhy a také má vyšší pořizovací náklady.

Poslední skončilo elektrické čerpadlo, které má největší nevýhodu v nutnosti mít v táboře elektrickou energii a také v jeho provozních i pořizovacích nákladech.

3 Teoretický popis

3.1 Hydraulický ráz

Hydraulický ráz je u trubních systémů považován za nežádoucí efekt, který vzniká při náhlém uzavření ventilu v potrubí s proudící kapalinou. Při tomto uzavření se sníží setrvačnost vody a vznikne tak tlaková vlna, která se šíří protiproudě potrubím až do jejího utlumení. Může dojít k roztžení potrubí při přetlaku, či k jeho zhroucení při podtlaku v potrubí. Dá se tedy mluvit o neustáleném pohybu vody v potrubí.

Náhlým zmenšením či zastavením průtoku se tlak v části potrubí zvýší o přírůstek Δp a kladná tlaková vlna začne postupovat proti proudu až ke vtoku. V nádrži s volnou hladinou se tlak vyrovná na hodnotu hydrostatického tlaku p_h v nádrži [3].

Čas t , za který se šíří tlaková vlna v potrubí o délce L se vyjádří jako:

$$t = \frac{L}{a} \quad (3.1)$$

kde

a postupová rychlost vody, která se přibližně rovná rychlosti šíření zvuku ve vodě.

Po odrazu v nádrži běží záporná vlna zpět k uzávěru, u něhož se odrazí směrem k nádrži a celý cyklus se opakuje s tlumícím účinkem tření v potrubí. Doba, kdy rázová vlna proběhne tam a zpět se nazývá tzv. rázová perioda

$$\mu = 2t = \frac{2L}{a} . \quad (3.2)$$

Je to pouze jedna fáze z celého jevu, který se opakuje s ubývajícím intenzitou. První fáze bude tedy trvat od $t_1 = 0$ do $t_2 = \mu$, druhá fáze od $t_1 = \mu$ do $t_2 = 2\mu$ atd.

Na době T_z , potřebné k úplnému uzavření potrubí, závisí přírůstek tlaku při rázu. Rozeznáváme tedy dva případy hydraulického rázu:

- **Přímý hydraulický ráz** nastane, pokud se odražená vlna vrátí až po skončení manipulace s uzávěrem, a nemůže tak již ovlivnit zvýšení tlaku v místě uzávěru

$$T_z \leq \frac{2L}{a} . \quad (3.3)$$

- **Nepřímý hydraulický ráz** nastane, pokud se odražená vlna vrátí dříve než skončí manipulace s uzávěrem [3]

$$T_z > \frac{2L}{a} . \quad (3.4)$$

3.1.1 Odvození základních vztahů pro hydraulický ráz

Mějme dlouhé tlakové potrubí s konstantním kruhovým průřezem a s konstantní tloušťkou stěn. Allieviho teorie řeší problém rázu v potrubí přes dvě parciální rovnice, a to rovnici kontinuity a pohybovou rovnici [3].

3.1.1.1 Rovnice kontinuity

Mějme část potrubí s kruhovým průřezem $S = \frac{\pi D^2}{4}$, s tloušťkou stěn ϑ a s elementární délkou dx , do kterého voda vstupuje rychlostí $v + \frac{\partial v}{\partial x} dx$ a vystupuje rychlostí $v = f(x, t)$. Za časový úsek dt se rozdíl vstupní a výstupní rychlosti zadrží dle literatury [3] objem vody:

$$dV_1 = S \frac{\partial v}{\partial x} dx \cdot dt . \quad (3.5)$$

Zvýšením tlaku o $\frac{\partial p}{\partial t}dt$ v čase dt na vodní hmotu v elementu dx se dle Hookova zákona element lineárně zkrátí o [3]:

$$\Delta dx = \frac{\frac{\partial p}{\partial t}dt \cdot dx}{K} \quad (3.6)$$

kde

K objemový modul pružnosti vody, který se spočítá dle literatury [3] jako: $K = -V \frac{dp}{dV}$ [$N \cdot m^{-2}$].

Stlačením se objem elementu vodní hmoty zmenší o:

$$dV_2 = S \cdot \Delta dx = S \frac{\frac{\partial p}{\partial t}dt \cdot dx}{K}. \quad (3.7)$$

Přetlakem $\frac{\partial p}{\partial t}dt$ zvětší potrubí (s modulem pružnosti E stěny v tahu) svůj průměr D podle Hookova zákona a literatury [3] o:

$$\Delta D = \frac{\sigma \cdot D}{E} \quad (3.8)$$

kde

σ obvodové napětí v potrubí.

Podle kotlové rovnice dle [3] pro tenkostěnná potrubí, kde je σ rovnoměrně rozděleno, platí:

$$\sigma = \frac{p_h \cdot D}{2 \cdot \vartheta} \quad (3.9)$$

kde

p_h hydrostatický tlak v potrubí

ϑ tloušťka stěn v potrubí.

Pokud dle [3] dosadíme za p_h elementární tlakový přírůstek $\frac{\partial p}{\partial t}dt$ do rovnice 3.9 a tu následně do rovnice 3.8, zvětší se průměr celkem o:

$$\Delta D = \frac{\frac{\partial p}{\partial t}dt \cdot D}{2\vartheta \cdot E} = \frac{\frac{\partial p}{\partial t}dt \cdot D^2}{2\vartheta \cdot E}. \quad (3.10)$$

Z každé strany tedy o $\frac{\Delta D}{2}$. Objem elementu o délce dx se zvětší o:

$$dV_3 = \pi \cdot D \cdot dx \frac{\Delta D}{2} = \frac{\pi D}{2} \cdot \frac{\frac{\partial p}{\partial t}dt \cdot D^2 dx}{2\vartheta \cdot E} = \frac{\pi D^3}{4} \cdot \frac{\partial p}{\partial t}dt \frac{dx}{\vartheta \cdot E}. \quad (3.11)$$

Zadržený objem vody (dV_1) v elementu o délce dx , z a čas dt se rovná součtu zmenšeného objemu elementu vodní hmoty (dV_2) a zvětšeného elementu potrubí (dV_3)

$$dV_1 = dV_2 + dV_3. \quad (3.12)$$

Do této rovnice dosadíme rovnice 3.5, 3.7 a 3.11:

$$\frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial v}{\partial x} dx \cdot dt = \frac{\pi D^2}{4} \frac{\partial p \cdot dx \cdot dt}{K \cdot \partial t} + \frac{\pi D^3}{4} \frac{\partial p \cdot dx \cdot dt}{\partial t \cdot \vartheta \cdot E}, \quad (3.13)$$

a upravíme dle [3] následovně:

$$\begin{aligned}\frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{1}{K} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{D}{\vartheta E} \frac{\partial p}{\partial t}, \\ \frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{\partial p}{\partial t} \left(\frac{1}{K} + \frac{D}{\vartheta E} \right).\end{aligned}\quad (3.14)$$

Výraz v závorce rovnice kontinuity obsahuje vliv pružnosti vody a stěn.

3.1.1.2 Pohybová rovnice

Druhá základní rovnice se odvodí nejprve pro vodorovné potrubí s konstantním průřezem a se zanedbáním tření. Tlaková čára bude vodorovná a v čase $t = 0$ se ztotožní s výškou vodní hladiny. V čase $t > 0$ bude tlaková čára ležet výše, a to o tlakovou výšku $\Delta h = h - h_0$ (rozdíl výšky hydrodynamické h a hydrostatické h_0).

Největší tlakové rázy vznikají na začátku, kde tření nebude mít téměř žádný vliv. Ze tří základních Eulerových rovnic pro pohyb kapalin použijeme dle [3] pouze první, protože proudění je jednorozměrné, rovnoběžné s osou x :

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\gamma}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{dx}{dt} \right), \quad (3.15)$$

složku vnější síly X , tj. zemské tíže, v tomto případě neuvažujeme, takže po dosazení $\frac{dx}{dt} = v$ do rovnice 3.15 dostaneme úpravu:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\gamma}{g} \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \right). \quad (3.16)$$

Výraz $\frac{\partial v}{\partial x}$ vyjadřuje změnu rychlosti za vzdálenost x . Pokud by voda i potrubí byly nepružné hmoty, musela by tato změna být nekonečně velká. Vlivem pružnosti hmot se však změna rychlosti v náhle uzavřeném potrubí neprojeví okamžitě. Jelikož postupová rychlost rázové vlny je asi 1000 m/s, zatímco změna průtočné rychlosti je poměrně malá (cca 5-6 m/s), můžeme výraz $v \frac{\partial v}{\partial x}$ proti výrazu $\frac{\partial v}{\partial t}$ zanedbat. Po zanedbání výrazu bude mít pohybová rovnice dle [3] tvar:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\gamma}{g} \frac{\partial v}{\partial t}. \quad (3.17)$$

Tuto rovnici dále upravíme a integrujeme obě základní diferenciální rovnice neustáleného pohybu. Rovnici 3.14 derivujeme podle t a rovnici 3.17 po přepsání na tvar $\frac{\gamma}{g} = \varrho$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = \frac{1}{\varrho} \frac{\partial p}{\partial x},$$

derivujeme podle x :

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 v}{\partial x \partial t} &= \left(\frac{D}{\vartheta E} + \frac{1}{K} \right) \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}, \\ \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial t} &= \frac{1}{\varrho} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}.\end{aligned}$$

Vyjádřením dle [3] získáme:

$$\left(\frac{D}{\vartheta E} + \frac{1}{K} \right) \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{1}{\varrho} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2},$$

nebo:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \frac{1}{\varrho} \frac{1}{\frac{D}{\vartheta E} + \frac{1}{K}} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}. \quad (3.18)$$

V rovnici 3.18 dosadíme konstantu $a^2 = \frac{1}{\varrho \frac{D}{\vartheta} \frac{1}{E} + \frac{1}{K}}$, takže rovnice 3.18 nabude tvaru:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}. \quad (3.19)$$

Dosadíme za hydrostatický tlak $p = h$

$$\frac{\partial^2 h}{\partial t^2} = a^2 \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}. \quad (3.20)$$

Dle [3] má konstanta a rozměr rychlosti a je to postupová rychlost šíření tlakové vlny v potrubí.

$$a = \sqrt{\frac{\frac{g}{\gamma}}{\frac{1}{K} + \frac{D}{\vartheta \cdot E}}} [m/s]. \quad (3.21)$$

Rovnici kontinuity 3.14 upravíme na konečný tvar zavedením konstanty a^2 a za také dosadíme na hydrostatický tlak $p = h$

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{g}{a^2} \frac{\partial h}{\partial t}. \quad (3.22)$$

Podobně upravíme na konečný stav i pohybovou rovnici 3.17:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g \frac{\partial h}{\partial x}. \quad (3.23)$$

Pro potrubí s nakloněnou osou, která svírá s vodorovnou rovinou úhel α bude dle [3] pohybová rovnice ve směru osy x rozšířena o člen vyjadřující složky tíhy vody v prostoru dx do osy x :

$$\frac{\partial v}{\partial t} = g \cdot \sin \alpha + g \frac{\partial h}{\partial x}. \quad (3.24)$$

Rovnice kontinuity zůstává při naklonění beze změny.

Obě základní diferenciální rovnice (3.22, 3.23) dle [3] zintegrujeme a dostaneme rovnice pro h a v :

$$h = h_0 + F\left(t - \frac{x}{a}\right) + f\left(t + \frac{x}{a}\right), \quad (3.25)$$

$$v = v_0 - \frac{g}{a} \left[F\left(t - \frac{x}{a}\right) + f\left(t + \frac{x}{a}\right) \right]. \quad (3.26)$$

Neznámé funkce F a f se určí z okrajových podmínek. Funkce F má rozměr délky, tedy tlakové výšky. Tlaková výška h a rychlost v jsou dle [3] v těchto rovnicích funkcemi času t a polohy průřezu, mezi nimiž platí lineární vztahy $t - \frac{x}{a}$ nebo $t + \frac{x}{a}$. Druhý postup pro řešení základních diferenciálních rovnic odvodil Allievi a spočívá v tom, že neznámé funkce F a f eliminujeme.

Obecné řešení pro tlakové čáry h a průtočné rychlosti v v potrubí je dáno rovnicemi 3.22 a 3.23 s konstantami h_0 a v_0 pro $t = 0$. Odečtením a sečtením rovnic 3.25 a 3.26 dostaneme dle [3] :

$$h - h_0 = \frac{a}{g} (v - v_0) + 2F\left(t - \frac{x}{a}\right), \quad (3.27)$$

$$h - h_0 = -\frac{a}{g} (v - v_0) + 2f\left(t + \frac{x}{a}\right). \quad (3.28)$$

3.1.2 Postupová rychlost tlakové vlny

Tlaková vlna vyvolaná hydraulickým rázem v potrubí se dle [3] šíří rychlostí a (viz rovnice 3.21):

$$a = \sqrt{\frac{\frac{g}{\gamma}}{\frac{1}{K} + \frac{D}{\vartheta \cdot E}}}$$

kde

- g zrychlení zemské tíže,
- γ měrná tíha vody,
- K modul objemové pružnosti vody,
- D průměr potrubí,
- ϑ tloušťka stěn potrubí,
- E modul pružnosti hmoty potrubí.

Hodnoty modulů pružnosti různých hmot jsou v tabulce 3.1.

Pokud má dle [3] potrubí velký průměr, tak je tloušťka stěn ϑ v porovnání s průměrem D velmi malá, a můžeme tedy druhý člen jmenovatele rovnice 3.21 zanedbat. Kdyby byly stěny potrubí absolutně tuhé ($E = \infty$), měla by na rychlost tlakové vlny vliv pouze pružnost vody. Postupová rychlost tlakové vlny má potom hodnotu:

$$a_0 = \sqrt{\frac{K \cdot g}{\gamma}} = 1425 \text{ m/s}, \quad (3.29)$$

což je rychlost šíření zvuku ve vodě při průměrných teplotách. Pokud dosadíme tuto veličinu do rovnice 3.21, tak se rovnice upraví na:

$$a = \frac{1425}{\sqrt{1 + \frac{K \cdot D}{\vartheta \cdot E}}}. \quad (3.30)$$

Z tabulky 3.1 vyplývá, že čím je potrubí tužší, tím rychleji se v něm šíří tlaková vlna. Nejrychleji se vlna šíří ocelovým potrubím a nejpomaleji gumovou zahradní hadicí.

Tabulka 3.1: Rychlost šíření tlakové vlny v potrubí

	K	E	D	ϑ	a
	MPa	MPa	m	m	m/s
Ocel	2030	210000	0,025	0,0023	1355,6
	2030	210000	0,035	0,0030	1350,9
	2030	210000	0,040	0,0037	1355,9
Litina	2030	100000	0,025	0,0023	1289,8
	2030	100000	0,035	0,0030	1281,3
	2030	100000	0,040	0,0037	1290,4
Polyethylen	2030	1200	0,025	0,0023	323,6
	2030	1200	0,035	0,0030	312,9
	2030	1200	0,040	0,0037	324,5
Guma	2030	2	0,025	0,0023	13,6
	2030	2	0,035	0,0030	13,1
	2030	2	0,040	0,0037	13,6

3.2 Vodní trkač

Trkač je samočinný hydraulický stroj, který ke své vykonávané práci potřebuje pouze hnací vodu proudící při určité spádové výšce. Na táborech nejsme schopni dosáhnout vyšší spádovou výšku než 1 metr a na základě tohoto kritéria byl sestrojen vodní trkač, který je dimenzován především pro tábory a také pro další menší odběratele s nízkou spádovou výškou. Vodní trkač přeměňuje kinetickou energii v potenciální přičemž využívá hydraulických rázů v potrubí. Hydraulický ráz je více popsán v kapitole 3.1.

Spádová výška H by se dle [12] měla pohybovat mezi 1 až 5 metry. U spádové výšky $H < 1$ m je dle [12] účinek nejistý nebo je s velmi malou účinností. Vodní trkač, který bychom použili na táboře při spádové výšce $H < 1$ m, by tedy dle [12] neměl fungovat. Vodní trkač sestrojen pouze ze dvou zpětných klapek a tlakové nádoby ale funguje a vykazuje podobné hodnoty účinností jako [12]. Veškeré naměřené hodnoty vodního trkače z laboratoře jsou více popsány v kapitole 5.

Princip vodního trkače vychází z hydraulického rázu v potrubí. Materiál přívodního potrubí je důležitý prvek celého systému, jelikož rychlost šíření tlakové vlny v potrubí je ovlivněna výhradně tuhostí potrubí E . Bylo by tedy vhodné volit materiál přívodního potrubí co nejtuzší a to nejlépe ocel. Při instalaci ocelového potrubí na vodní tok nastává ale podstatný problém v jeho tvarování vzhledem k tvarování vodního toku. Také je zde i druhý negativní vliv na celý systém, který spočívá v koroziivnosti oceli a následně inkrustaci celého potrubí. Z těchto důvodů bylo voleno přívodní potrubí z Polyethylenu. PE trubky sice pomaleji šíří tlakovou vlnu, ale dají se jednoduše umístit do vodního toku a není zde nutná téměř žádná údržba (viz kapitola 8.4).

Vodní trkač má také svou terminologii. Voda, které teče ve vodním toku se nazývá hnací voda Q . Voda, kterou vodní trkač dopravuje do zásobní nádrže se nazývá čerpané množství q . Odpadní průtok je pak rozdílem těchto dvou veličin a tedy $Q - q$. Převýšení mezi vodní hladinou u sacího koše a výtokem odpadního průtoku z tepacího ventilu se nazývá spádová výška H . Výška mezi tepacím ventilem a výtokem čerpaného množství z výtlačné hadice se nazývá výtlačná výška h . Veškerá terminologie je znázorněna na schématu vodního trkače, které je na obrázku 3.1.

Vztah mezi základními veličinami (hnací voda Q , spádová výška H , čerpané množství q , výtlačná výška h) je dle [12]:

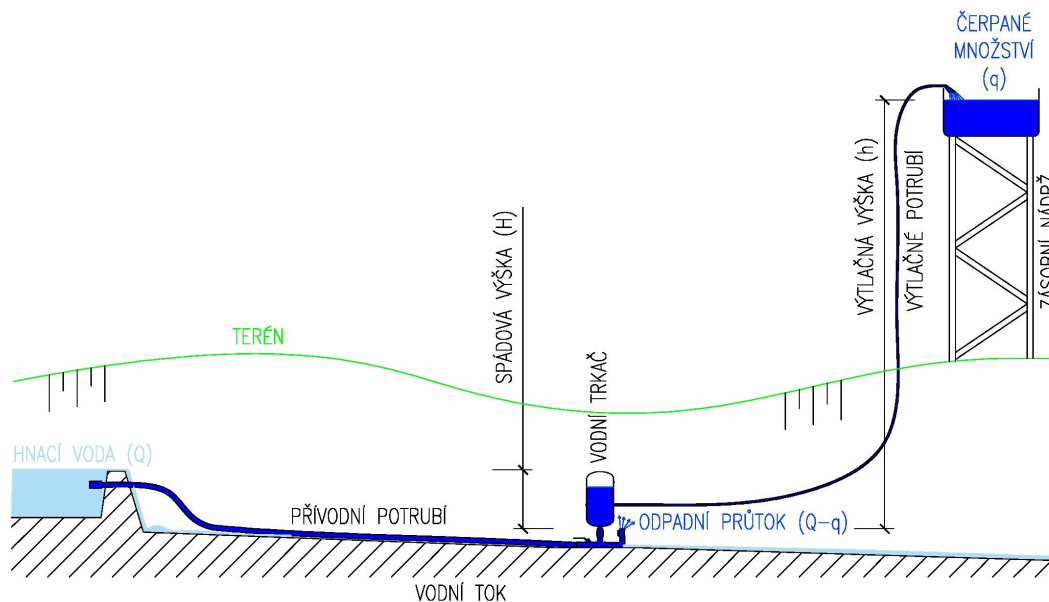
$$q \cdot h = \eta \cdot (Q - q) \cdot H. \quad (3.31)$$

Z tohoto vzorce je odvozena účinnost vodního trkače jako:

$$\eta = \frac{q \cdot h}{(Q - q) \cdot H}. \quad (3.32)$$

Dle [12] je účinnost vodního trkače η velmi nízká (standardně v mezích 0,25 až 0,5) a dosažitelná výtlačná výška h může být až dvacetinásobek spádové výšky H ovšem čerpané množství q je pouze asi 1 % z celkového průtoku hnací vody Q . Pro dosažení vyšší účinnosti doporučuje [12] dodržet poměr $h/H \leq 8$.

Tato teorie byla potvrzena v kapitole 5, kde jsou popsány experimentální zkoušky na jednotlivých trkačích. Kolem poměru $h/H = 8$ můžeme sledovat dosažení maximálních účinností.



Obrázek 3.1: Schéma vodního trkače

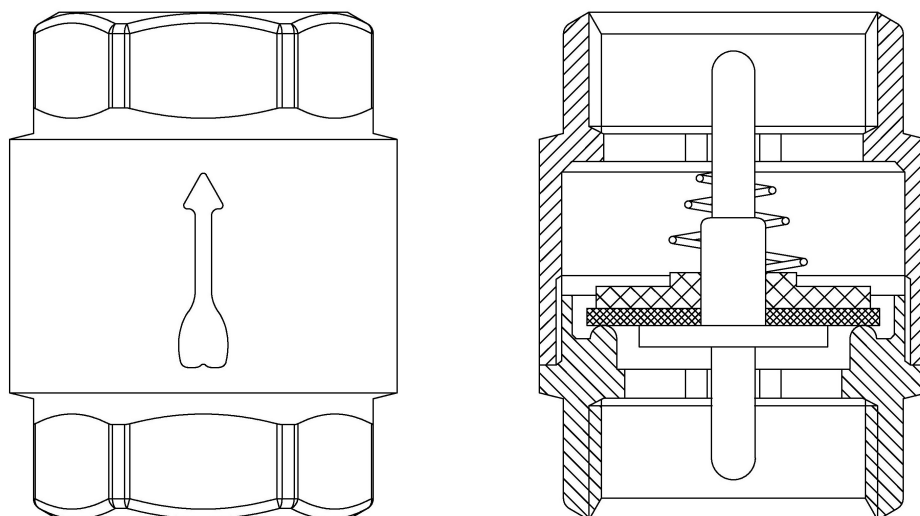
3.2.1 Cyklus

Cyklus vodního trkače se dá popsat následovně. Konstrukce tepacího ventilu je vytvořena tak, aby při malé rychlosti protékala voda do recipientu a při určitém průtoku hnací vody Q se ventil sám uzavřel. Při uzavření klapky tepacího ventilu se průtok hnací vody zbrzdí, čímž se zvýší tlak v těle trkače a část vody nateče přes výtlačný ventil do tlakové nádoby. Tlak vody při nátoce do tlakové nádoby je větší než výtlačná výška se ztrátami $h + h_z$. Tím postupně poklesne tlak v přívodním potrubí (zpětná podtlaková vlna), výtlačný ventil se tlakem shora uzavře a otevře se tepací ventil. Z tlakové nádoby přitom vytéká voda o čerpaném množství q postupně do zásobní nádrže. Celý tento cyklus se bez přerušení opakuje.

3.2.2 Konstrukce

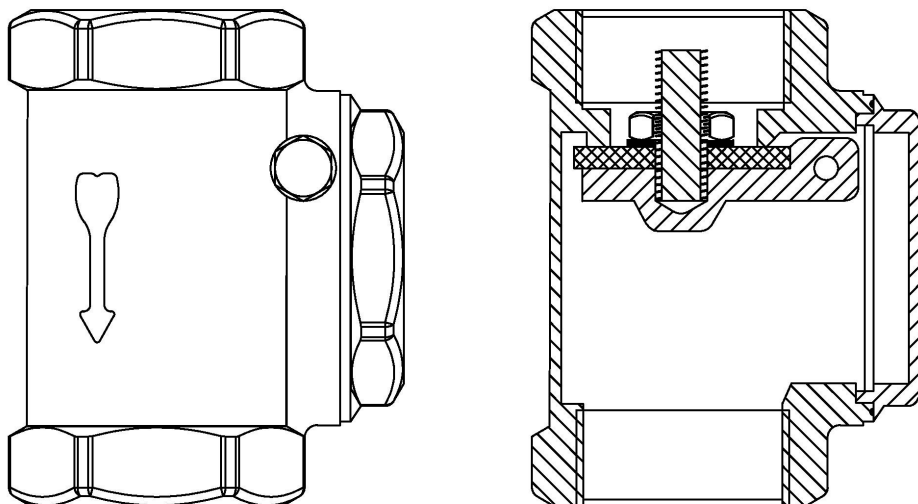
Mé převzaté řešení vodního trkače se skládá z několika částí, které jsou rozepsány zde:

- **Sací koš** - je umístěn na začátku přívodního potrubí. Vytváří mechanické předčištění hnací vody, která vtéká do trkače. Skládá se z drátové konstrukce, na které je navlečen textilní filtr. Konstrukce je na přívodní potrubí přilepena lepicí páskou.
- **Tělo vodního trkače** - skládá se z různých pozinkovaných tvarovek, které mají dimenzi dle tepacího a výtlačného ventilu. Konkrétní tvarovky jsou rozepsány v kapitolách 3.2.3, 3.2.4 a 3.2.5.
- **Výtlačný ventil** - je umístěn mezi tělem vodního trkače a tlakovou nádobou. Je tvořen pružinovou zpětnou klapkou o stejné dimenzi jako tepací ventil. Při uzavření tepacího ventilu propustí část vody do tlakové nádoby.



Obrázek 3.2: Výtlačný ventil

- **Výtlačné potrubí** - slouží k dopravě vody z těla vodního trkače do zásobní nádrže. Používá se zde zahradní 1/2" hadice o délce dle potřeby daného tábora.
- **Tepací ventil** - je to vlastně srdce vodního stroje, které v této verzi není nic jednoduššího než obyčejná vodorovná zpětná klapka. Tato klapka, jak už název napovídá, se standardně umísťuje do vodorovné polohy. U konstrukce vodního trkače je ale nutné klapku umístit svisle tak, aby průtok hnací vody klapku zavíral.



Obrázek 3.3: Tepací ventil

- **Přívodní potrubí** - slouží k dopravě hnací vody do těla vodního trkače. Na základě vhodnosti umístění do vodního toku byly zvoleny PE trubky. Literatura [12] doporučuje délku přívodního potrubí v rozmezí 5 - 15 metrů. Délka byla tedy zvolena jako 10 metrů. Délkou přívodního potrubí se tato práce dále zabývá v kapitole 5.6.3.

- **Tlaková nádoba** neboli vzdušník - nachází se zde pružný vzduchový polštář, který slouží k vyrovnání tlaků. Tlaková nádoba může být koupena již hotová v dané dimenzi nebo se dá vyrobit. Její výroba spočívá z namontování pozinkované zátky a redukce na 2" ocelovou trubku, která má na obou koncích venkovní závit.

Montáž komponentů se šroubovým spojem je popsána v kapitole 8.4. Podrobné rozkreslené výkresy jednotlivých dimenzí vodních trkačů jsou v kapitolách 3.2.3, 3.2.4 a 3.2.5.

Finanční náročnost vodního trkače se odvíjí podle morfologických podmínek na daném táboře a také dle kapacity tábora. Čím je větší kapacita tábora, tak tím musí být větší akumulací nádrž a také dopravované množství vody. Větší průměry trkače dopravují větší množství vody dle kapitoly 5. Taktéž finanční náročnost má přímou úměru. Čím větší dimenze trkače, tím vyšší pořizovací náklady.

Vodní trkače se pohybují od 1500 do 3500 Kč. Nejdražší položkou v rozpočtu jsou hadice a také klapky. Podrobné rozpočty všech třech dimenzí trkačů jsou v tabulkách 3.2, 3.3 a 3.4.

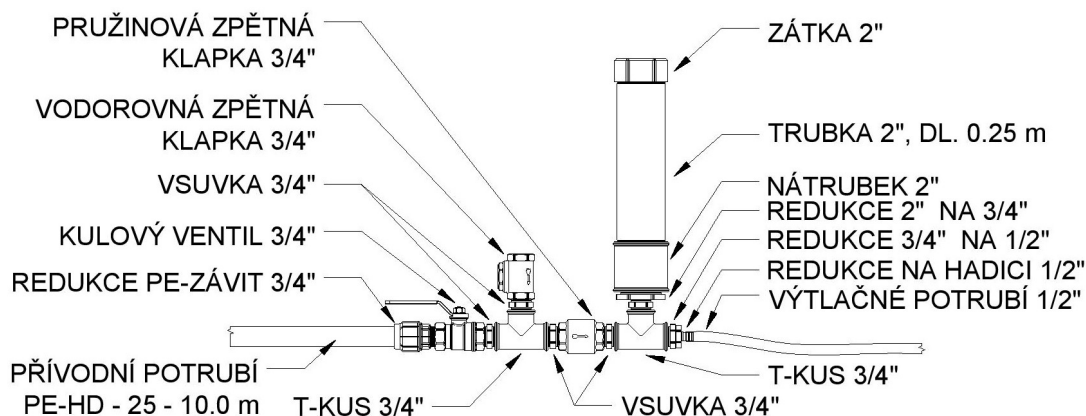
3.2.3 Vodní trkač 3/4"

Tělo a ventily této dimenze se skládají z:

- 2x T-kus 3/4",
- 5x vsuvka 3/4",
- redukce PE-vnější závit 25-3/4",
- kulový ventil 3/4",
- vodorovná zpětná klapka 3/4",
- zpětná klapka pružinová 3/4",
- redukce na hadici 1/2",
- redukce 3/4" na 1/2",
- vyrobená tlaková nádoba (2" trubka, redukce 2" na 3/4", vsuvka 3/4", nátrubek 2" a 2" zátka).

Přívodní potrubí je z Polyethylenu s označením PE-HD 25, což znamená vnější rozměr potrubí 25 mm. Výtlačné potrubí je tvořeno zahradní 1/2" hadicí.

Všechny komponenty jsou rozkresleny a zepsány na obrázku 3.4, který také slouží jako montážní návod. Podle tohoto obrázku lze jednoduše celý trkač sestavit a používat.



Obrázek 3.4: Výkres vodního trkače 3/4"

V tabulce 3.2 jsou dosazené maloobchodní ceny jednotlivých součástí s DPH, platné v roce 2018. Tato tabulka může také sloužit jako seznam pro nákup komponentů k sestrojení trkače o dimenzi 3/4". Celková cena se odvíjí podle délky přívodního potrubí a pohybuje se od cca 1300 Kč do 2100 Kč.

Tabulka 3.2: Rozpočet 3/4" vodního trkače

materiál	rozměr	měrná jednotka	počet jednotek	cena za měr. jedn.	cena celkem
výtlačná hadice	1/2"	m	50	9,00 Kč	450,00 Kč
přívodní hadice PE	25 mm	m	10	16,00 Kč	160,00 Kč
redukce PE-vnější závit	25 na 3/4"	ks	1	33,00 Kč	33,00 Kč
kulový ventil	3/4"	ks	1	140,00 Kč	140,00 Kč
vsuvka	3/4"	ks	3	14,00 Kč	42,00 Kč
T-kus	3/4"	ks	2	22,00 Kč	44,00 Kč
vodorovná zpětná klapka	3/4"	ks	1	235,00 Kč	235,00 Kč
zpětná klapka s pružinou	3/4"	ks	1	160,00 Kč	160,00 Kč
redukce na hadici	1/2"	ks	1	43,00 Kč	43,00 Kč
redukovaná vsuvka	3/4 na 1/2"	ks	1	18,00 Kč	18,00 Kč
tlaková nádoba (2" trubka, redukce 2" na 3/4", vsuvka 3/4", 2" nátrubek a 2" zátka)		ks	1	324,00 Kč	324,00 Kč
				Cena za celý systém	1 649,00 Kč

Na obrázku 3.5 je vodní trkač dimenze 3/4", který byl sestaven a následně i měřen. Tato konstrukce má tepací ventil umístěn před tlakovou nádobou. Tepací ventil je ve svislé poloze, zatímco výtlačný ventil je ve vodorovné poloze.



Obrázek 3.5: Vodní trkač 3/4"

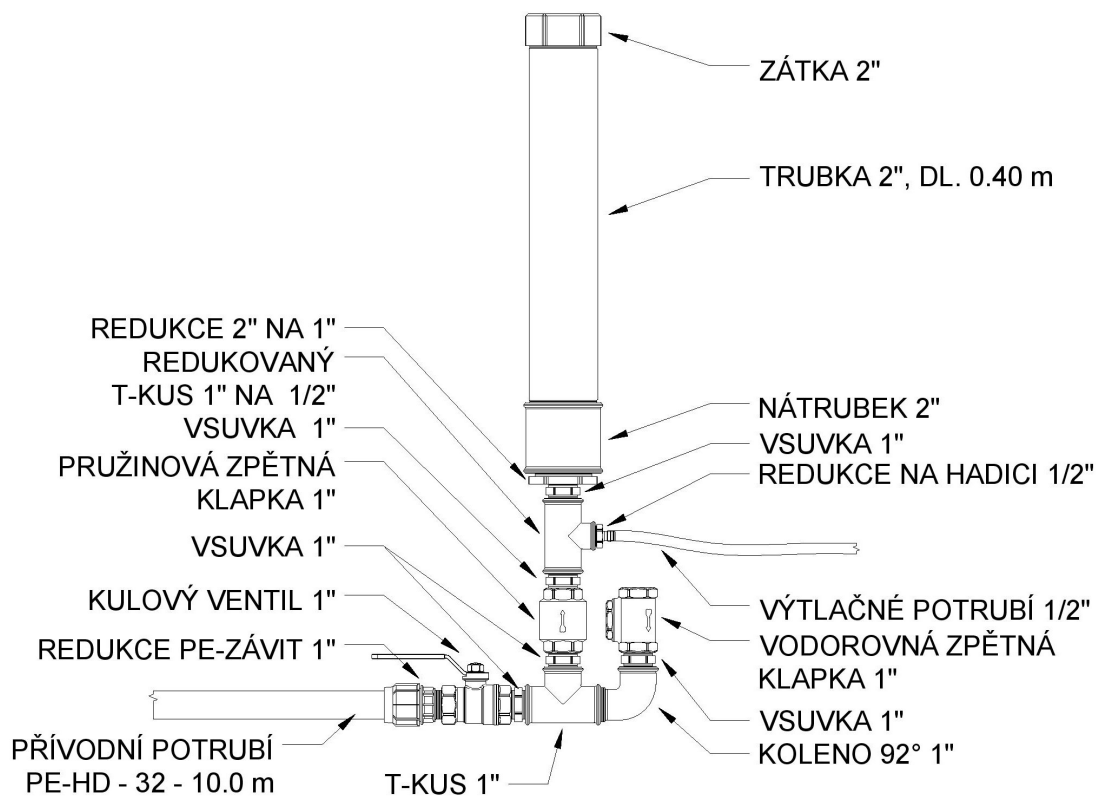
3.2.4 Vodní trkač 1"

Tělo a ventily této dimenze se skládají z:

- redukce PE-vnější závit 32 na 1",
- kulový ventil 1",
- 4x vsuvka 1",
- T-kus 1",
- koleno 92° 1",
- vodorovná zpětná klapka 1",
- zpětná klapka s pružinou 1",
- T-kus redukovaný 1" na 1/2",
- redukce na hadici 1/2",
- vyrobená tlaková nádoba (2" trubka, redukce 2" na 1", nátrubek 2", vsuvka 1" a 2" zátka).

Přívodní potrubí je z Polyethylenu s označením PE-HD 32, což znamená vnější rozměr potrubí 32 mm. Výtlačné potrubí je tvořeno zahradní 1/2" hadicí.

Veškeré komponenty jsou rozkresleny a rozepsány na obrázku 3.6, který také slouží jako montážní návod. Podle tohoto obrázku lze jednoduše celý trkač sestavit a používat.



Obrázek 3.6: Výkres vodního trkače 1"

V tabulce 3.3 jsou dosazené maloobchodní ceny jednotlivých součástí s DPH, platné v roce 2018. Tato tabulka může také sloužit jako seznam pro nákup komponentů k sestrojení trkače o dimenzi 1". Celková cena se odvíjí podle délky přívodního potrubí a pohybuje se od cca 2000 Kč do 2800 Kč.

Tabulka 3.3: Rozpočet 1" vodního trkače

materiál	rozměr	měrná jednotka	počet jednotek	cena za měř. jedn.	cena celkem
výtlačná hadice	1/2"	m	50	9,00 Kč	450,00 Kč
přívodní hadice PE	32 mm	m	10	25,00 Kč	250,00 Kč
redukce PE-vnější závit	32 na 1"	ks	1	43,00 Kč	43,00 Kč
kulový ventil	1"	ks	1	285,00 Kč	285,00 Kč
vsuvka	1"	ks	5	18,00 Kč	90,00 Kč
T-kus	1"	ks	1	32,00 Kč	32,00 Kč
koleno 92°	1"	ks	1	25,00 Kč	25,00 Kč
vodorovná zpětná klapka	1"	ks	1	342,00 Kč	342,00 Kč
zpětná klapka s pružinou	1"	ks	1	268,00 Kč	268,00 Kč
redukovaný T-kus	1" na 1/2"	ks	1	42,00 Kč	42,00 Kč
redukce na hadici	1/2"	ks	1	43,00 Kč	43,00 Kč
tlaková nádoba (2" trubka, redukce 2" na 1", vsuvka 1" a 2" zátka)		ks	1	428,00 Kč	428,00 Kč
Cena za celý systém					2 298,00 Kč

Na obrázku 3.7 je vodní trkač dimenze 1", který byl sestrojen a následně i měřen. Tato konstrukce má tepací ventil umístěn za tlakovou nádobou. Oba ventily jsou ve svislé poloze. Chybí zde ale kulový ventil, a je lehce odlišná konstrukce tlakové nádoby než ve výkresu na obrázku 3.6. Ve výkresu je doporučena jednodušší konstrukce tlakové nádoby, která je i praktičtější k sestrojení, jelikož není zapotřebí svařovat nádobu.



Obrázek 3.7: Vodní trkač 1"

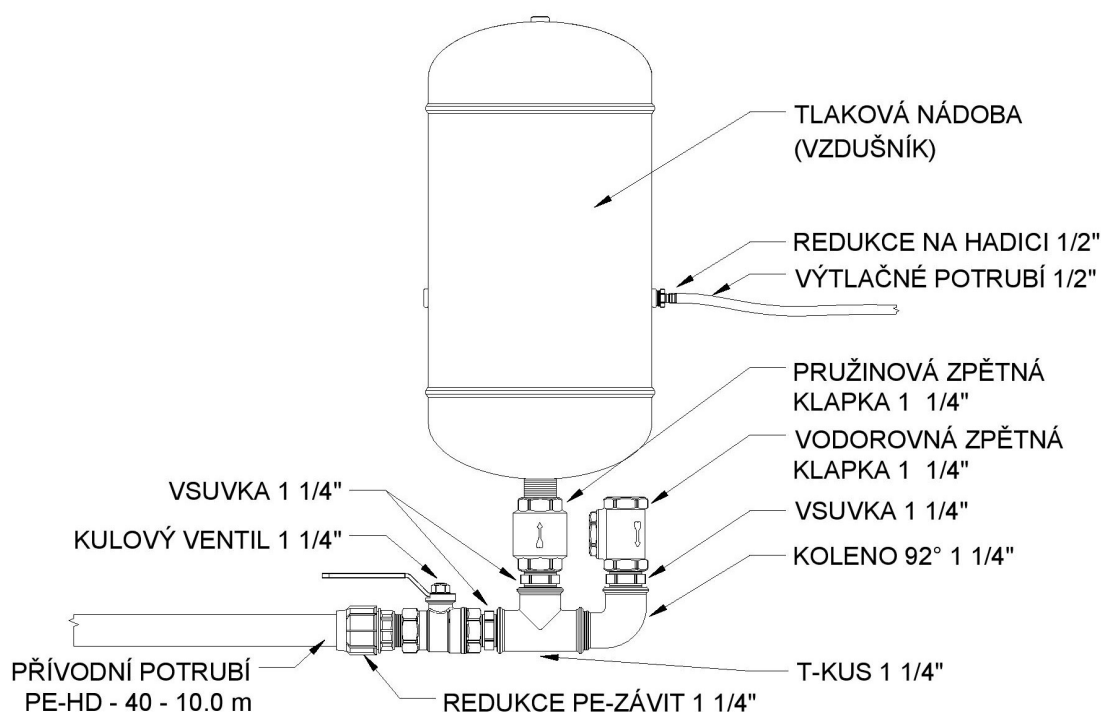
3.2.5 Vodní trkač 1 1/4"

Tělo a ventily této dimenze se skládají z:

- redukce PE-vnější závit 40 na 1 1/4",
- kulový ventil 1 1/4",
- 3x vsuvka 1 1/4",
- T-kus 1 1/4",
- koleno 92° 1 1/4",
- vodorovná zpětná klapka 1 1/4",
- zpětná klapka s pružinou 1 1/4",
- redukce na hadici 1/2",
- hotová tlaková nádoba.

Přívodní potrubí je z Polyethylenu s označením PE-HD 40, což znamená vnější rozměr potrubí 40 mm. Výtlačné potrubí je tvořeno zahradní 1/2" hadicí.

Veškeré komponenty jsou rozkresleny a rozepsány na obrázku 3.8, který také slouží jako montážní návod. Podle tohoto obrázku lze jednoduše celý trkač sestavit a používat.



Obrázek 3.8: Výkres vodního trkače 1 1/4"

V tabulce 3.4 jsou dosazené maloobchodní ceny jednotlivých součástí s DPH, platné v roce 2018. Tato tabulka může také sloužit jako seznam pro nákup komponentů k sestavení trkače o dimenzi 1 1/4". Celková cena se odvíjí podle délky přívodního potrubí a pohybuje se od cca 3000 Kč do 3800 Kč.

Tabulka 3.4: Rozpočet 1 1/4" vodního trkače

materiál	rozměr	měrná jednotka	počet jednotek	cena za měř. jedn.	cena celkem
výtlačná hadice	1/2"	m	50	9,00 Kč	450,00 Kč
přívodní hadice PE	40 mm	m	10	38,00 Kč	380,00 Kč
redukce PE-vnější závit	40 na 1 1/4"	ks	1	75,00 Kč	75,00 Kč
kulový ventil	1 1/4"	ks	1	440,00 Kč	440,00 Kč
vsuvka	1 1/4"	ks	3	26,00 Kč	78,00 Kč
T-kus	1 1/4"	ks	1	50,00 Kč	50,00 Kč
koleno 92°	1 1/4"	ks	1	38,00 Kč	38,00 Kč
vodorovná zpětná klapka	1 1/4"	ks	1	468,00 Kč	468,00 Kč
zpětná klapka s pružinou	1 1/4"	ks	1	377,00 Kč	377,00 Kč
redukce na hadici	1/2"	ks	1	43,00 Kč	43,00 Kč
hototvá tlaková nádoba		ks	1	908,00 Kč	908,00 Kč
Cena za celý systém					3 307,00 Kč

Na obrázku 3.9 je vodní trkač dimenze 1 1/4", který byl sestaven a následně i měřen. Tato konstrukce má tepací ventil umístěn za tlakovou nádobou. Oba ventily jsou ve svislé poloze. Chybí zde kulový ventil, který však nemá vliv na funkci trkače. Kulový ventil slouží pouze pro lepší manipulaci při spouštění a uzavírání systému.



Obrázek 3.9: Vodní trkač 1 1/4"

4 Historie a patenty

4.1 Historie

Předchůdcem trkače byl ručně ovládaný pulsní motor, který vynalezl roku 1772 Johnem Whitehurstem. Svůj nápad si nenechal patentovat a tudíž se nedochovaly ani žádné výkresy či jiné spisy o této konstrukci.

Vodní trkač vynalezl a zkonstruoval roku 1796 francouzský vynálezce Joseph Michel Montgolfier. Dlouhé měsíce se snažil vymyslet a zkonstruovat tepací ventil, a lidé ho považovali za blázna. Montgolfier ale věděl, o co se snaží, a nakonec když svůj vynález zkoušel ve své papírně, se ukázalo, že jeho výzkum měl smysl. V roce 1797 Montgolfierův přítel Matthew Boulton nechal princip trkače patentovat a patent později zdělili jeho synové.

Až roku 1820 získal patent spolu s Whitehurstovým návrhem inženýr Josiah Easton, který vlastnil specializovanou firmu na vodárenské zařízení. Firmu zdělil syn James, pod jehož vedením firma vzkvétala a postupně se stala jedním z nejvýznamnějších strojírenských podniků v Anglii. Na trh dodával trkače, které zásobovaly domy, farmy i celé obce.

Firma byla uzavřena roku 1909, ale ve výrobě trkačů pokračoval James R. Easton sám. V roce 1929 převzala výrobu společnost Green & Carter, která dodnes vyrábí proslulé trkače *Vulcan* a *Vacher* [4].

Do českých zemí dorazil první trkač roku 1834 z Paříže. Přivezl ho obchodník Prudent Voizot pro Luise Rohana. Byl určen pro zásobování zámku Sychrov. Měl sloužit pro čerpání vody z říčky Mohelky do místního vodovodu [9].

4.2 Patenty

Vodní trkač má mnoho patentů, ale každý má jinou konstrukci či slouží k něčemu jinému. Mnou sestrojený vodní trkač se nepochybně liší od žádné konstrukce z dostupných patentů, ale je zřejmé, že byl už dávno vymyšlen.

Nejstarší patent s názvem *Vodní trkač s nárazným ventilem, obráceným dolů* pojednává o konstrukci, která má tepací ventil směřující dolů do nádoby s vodou. Tepací ventil nepotřebuje žádné seřizování. Tento patent má autorství u PFISTER & LANGHANSS Aktien Gesellschaft z Norimberku [11].

Patent z roku 1935, jehož autorem je Zavadil Eduard z Prahy, má název pouze *Vodní trkač*. Tento trkač má tepací ventil i sedlo umístěné v těsné vybijející komoře, od které je odváděna spotřebovaná voda. Trkač využívá celou pohonnou výšku hnací vody bez jakýchkoliv ztrát [16].

Dalším autorem patentu je Blažek Jan z Gottwaldova, který roku 1987 vynalezl svoji konstrukci *vodního trkače*. Účelem vynálezu je snížení hydraulických ztrát vznikajících v těle vodního trkače, které vedou ke zvýšení účinnosti. Tohoto účelu se dosáhne uspořádáním průtokové trouby a sedla tepacího ventilu v jedné rovině [1].

Trkač s odděleným čerpáním vynalezl roku 1988 Vevera Jiří z Letovic. Tento trkač je složen z přívodního potrubí ukončeného tepacím ventilem, kde je k přívodnímu potrubí připojena pracovní komora se sacím a výtlačným ventilem. Mezi přívodním potrubím a pracovní komorou je uložen odpružený oddělující posuvný prvek (membrána) [15].

Posledním z dostupných patentů je *Rotační trkač*, který roku 2011 vynalezl Mára Jan z Tábora. Technické řešení tohoto trkače obsahuje rotační lopatkové kolo, obtokový kanál, uzavírací šoupata s ovládním a expanzní nádrž tlumící rázy ve výtlačovém kanálu. Proud vody tekoucí vtokovým kanálem roztáčí lopatkové kolo a také proudí obtokovým kanálem. Při náhlém uzavření výtlačového šoupěte prudce vzroste tlak vody, otevře se výtlačové šoupě a voda je pod tlakem a setrvačností rotačního kola vytlačena do výtlačového kanálu. Hradící šoupě slouží k oddělení vtokové a výtlačové větve, otevírá se pouze pro průchod lopatky rotačního kola. Při následném otevření výtlačového šoupěte a současném uzavření výtlačového šoupěte se ustálí odtok vody odtokovým kanálem, proud vody znovu získá energii a současně lopatkové kolo hybný moment. Pro správnou funkci a snížení ztrát je nezbytné, aby štěrba mezi skříní trkače a ramenem lopatkového kola byla co nejmenší [10].

5 Stanovení provozních charakteristik

Provozní charakteristiky byly stanovovány v laboratoři F, která spadá pod Ústav vodních staveb VUT FAST. Bylo zapotřebí stanovit ovlivnění tepacího ventilu při různé hmotnosti klapky. Jako přídavné závaží byly použity matice závitů M5. Na klapky tepacích ventilů byly namontovány namísto stávajících šroubů ocelové závitové tyče s metrickým závitem M5, které slouží jako nosiče závaží. Rozdíl před a po namontování závitové tyče je na obrázku 5.1.



Obrázek 5.1: Tepací ventil bez úpravy (vlevo) a se závitovou tyčí na klapce (vpravo)

5.1 Metodika

Měrná trať se skládá z výškově stavitelné nádrže sloužící k regulaci spádové výšky H , přívodního potrubí, vodního trkače a výtlačného potrubí. Voda je do nádrže dopravována čerpadlem, které čerpá vodu z velké zásobní nádrže pod žlabem, kam také ústí čerpané množství vody q z výtlačné hadice vodního trkače i odpadní průtok trkače $Q - q$.

Nejprve bylo potřeba zanivelovat polohu tepacího ventilu a zásobní nádrže, aby bylo možné nastavit spádovou výšku. Zvolená srovnávací rovina byla 0,47 m pod tepacím ventilem. Poté byly také vytyčeny úrovně na zásobní nádrži, pro které bude realizováno měření. Hodnoty byly nastaveny od 0,4 do 1,0 metru, a to vždy po 0,1 metru. Jako poslední bylo potřeba stanovit výtlačné výšky. Laboratoř je vysoká pouze 4,5 metru a tak se vyšší hodnoty měřili na střeše budovy. Vzdálenosti jednotlivých měření byly 1 metr a to od 1,5 metru do 8,5 metru. Hodnota 4,5 metru se neměřila, jelikož toto měření bylo v úrovni stropu budovy.

Měřeny byly dva průtoky, a to na výtoku z trkače $Q - q$ a na výtoku z výtlačného potrubí q . Průtoky byly měřeny objemovou metodou. Každé měření bylo provedeno třikrát a následně byl aritmetickým průměrem stanoven střední průtok. Pro výpočty čerpaného množství vody q a odpadního průtoku $Q - q$ byly použity tyto vztahy:

$$q = \frac{V(q)}{t(q)}, \quad (5.1)$$

$$Q - q = \frac{V(Q - q)}{t(Q - q)}, \quad (5.2)$$

kde

$V(q)$ měřený objem vody vyčerpané trkačem za čas $t(q)$,

$V(Q - q)$ objem vody vyteklý z trkače za čas $t(Q - q)$.

Po naměření všech hodnot byly údaje zpracovány do několika tabulek, kde se dopočítalo čerpané množství dle rovnice (5.1), odpadní průtok dle rovnice (5.2) a také účinnosti dle rovnice (3.32) pro poměry h/H a q/Q . Vyhodnocené výsledky jsou zpracovány v kapitolách 5.3, 5.4 a 5.5.

5.2 Popis experimentu

Samotné měření probíhalo tak, že se nejprve závaží oddělalo úplně, nastavila se prvotní spádová výška 40 centimetrů a poté se postupně měnila výtlačná výška. Po odměření se spádová výška zvětšila o 10 centimetrů a měření probíhalo znovu. Po odměření všech spádových výšek, se přidalo závaží (matice) a měření proběhlo znovu.

Měřil se objem vody za čas, přičemž objem výtlačného množství byl stanoven na 1 litr, objem odpadního množství byl stanoven na 10 litrů a čas byl změřen pomocí stopky. Výsledkem celého měření jsou grafy na obrázcích 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, 5.7, 5.8 u jednotlivých dimenzí trkačů.

Výpočty účinností mohou být zkreslené, jelikož přesné měření stříkající odpadní vody do odměrné nádoby je složité, a může se stát, že ne všechna voda spadne do odměrné nádoby.



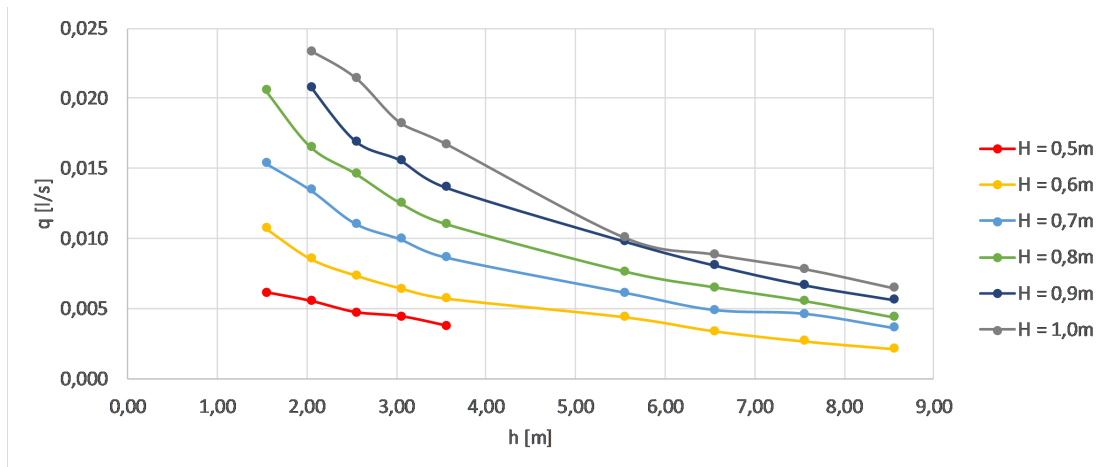
Obrázek 5.2: Laboratorní měření

Dostupná literatura [12] uvažuje se spádovou výškou nad 1 metr. Tento trkač je ale zkonstruován tak, aby sloužil na táborech, kde se spádová výška pohybuje maximálně do jednoho metru. Z grafů je patrné, že tato konstrukce vodního trkače funguje i se spádovou výškou $H < 1,0$ m. Lze také pozorovat zvyšující se účinnost se zvyšující se spádovou výškou, přičemž u hodnot $H = 1,0$ m a $H = 0,9$ m jsou křivky účinností téměř totožné. Měření vyšších spádových výšek by nemělo smysl, jelikož na většině táborů nelze takovou spádovou výšku dosáhnout a také jsme se dostali na maximální možnou výšku v laboratoři.

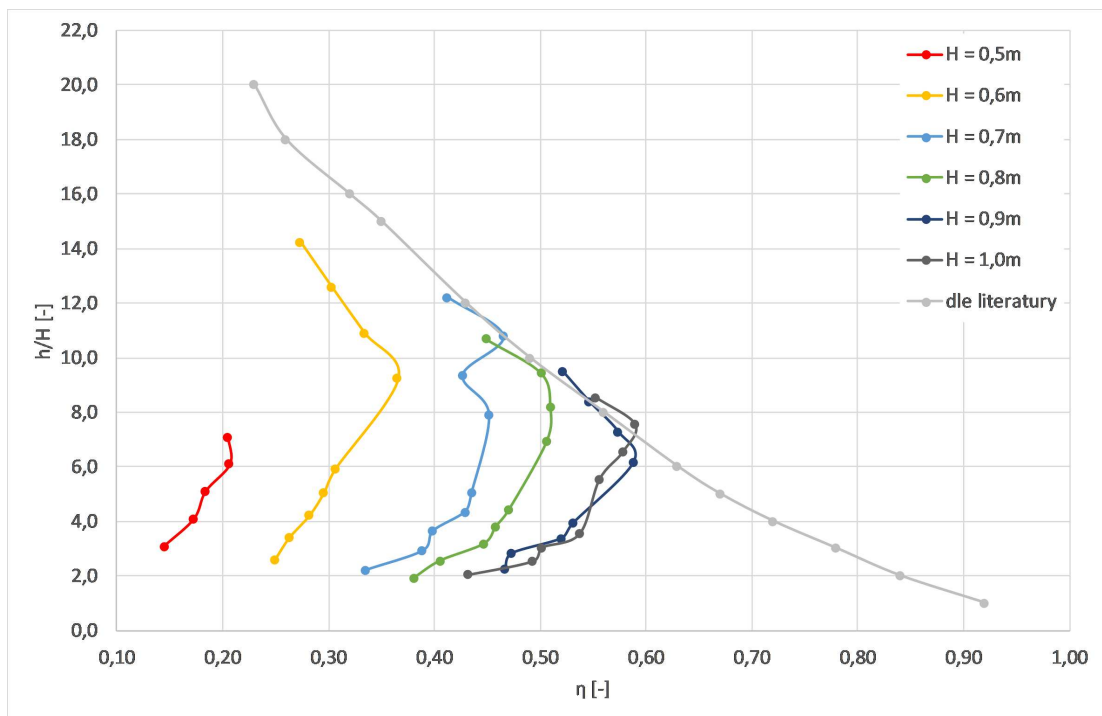
Z grafů účinností je patrný fakt, že při zvyšující se dimenzi vodního trkače narůstá i jeho účinnost.

5.3 Vodní trkač 3/4"

Z experimentálních měření vodního trkače o dimenzi 3/4" vyšly měrné křivky při různých spádových výškách (viz obrázek 5.3). Čerpané množství tohoto trkače je v rozmezí 0,005 - 0,021 l/s což odpovídá přibližně 0,30 až 1,26 l/min. Vodu dokáže dopravovat při spádové výšce od 0,6 metru do 1 metru, kde měření končí z důvodu neefektivnosti využití na táborech. Výtlačná výška čerpané vody je v rozsahu 1,5 až 8,5 metru, měření zde končí z důvodu neefektivnosti využití na táborech a také maximální výšky v laboratoři.



Obrázek 5.3: Graf závislosti množství čerpané vody na výtlačné výšce při různých spádových výškách na trkači o dimenzi 3/4"



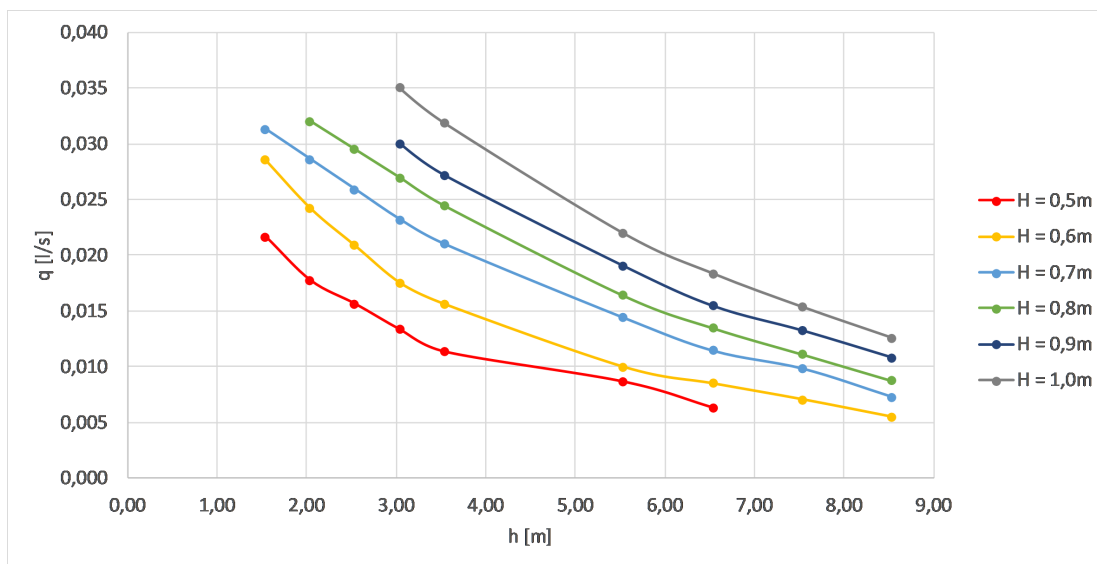
Obrázek 5.4: Graf závislosti účinnosti trkače o dimenzi 3/4" na poměru výšek

Účinnosti tohoto trkače narůstají se zvětšujícím se poměrem výtlačné výšky ku spádové výšce až

do zvratu okolo $h/H = 8$. Poté zase postupně klesají. Maximální naměřená účinnost je 0,589 a nachází se na křivce spádové výšky 1,0 metru i 0,9 metru. Všechny křivky účinností jsou na grafu 5.4.

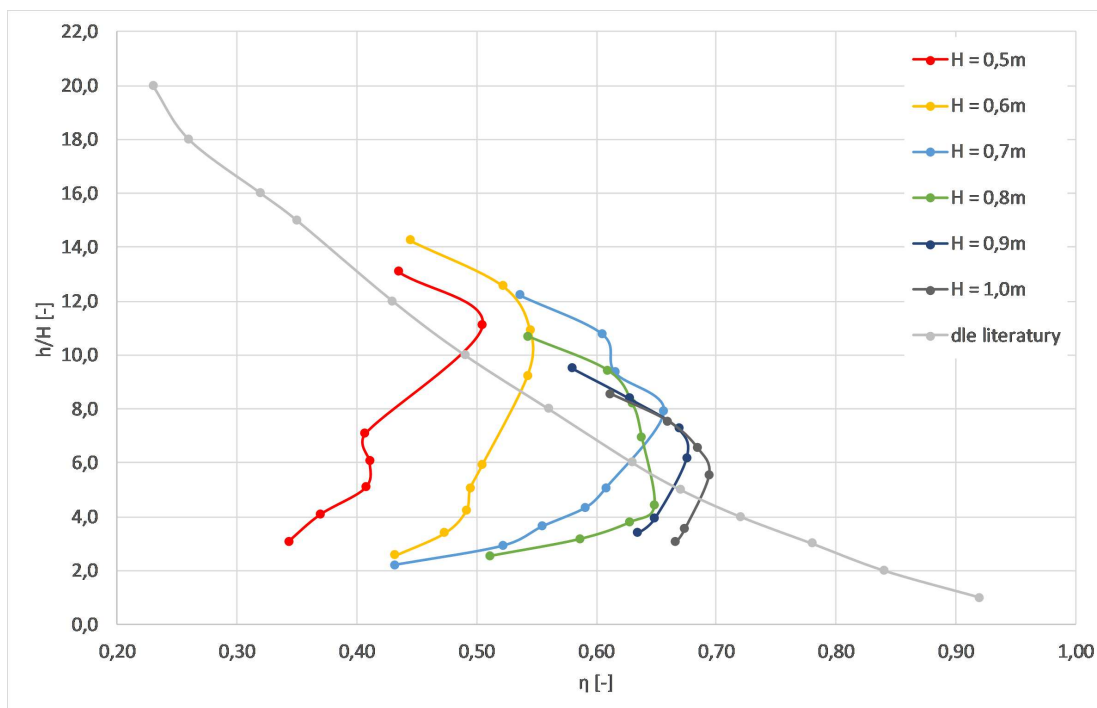
5.4 Vodní trkač 1"

Z experimentálních měření vodního trkače o dimenzi 1" vyšly měrné křivky při různých spádových výškách (viz obrázek 5.5). Čerpané množství tohoto trkače je v rozmezí 0,007 - 0,035 l/s což odpovídá přibližně 0,42 až 2,10 l/min. Vodu dokáže dopravovat při spádové výšce od 0,5 metru do 1 metru, kde měření končí z důvodu neefektivnosti využití na táborech. Výtlačná výška čerpané vody je v rozsahu 1,5 až 8,5 metru, měření zde končí z důvodu neefektivnosti využití na táborech a také maximální výšky v laboratoři.



Obrázek 5.5: Graf závislosti množství čerpané vody na výtlačné výšce při různých spádových výškách na trkači o dimenzi 1"

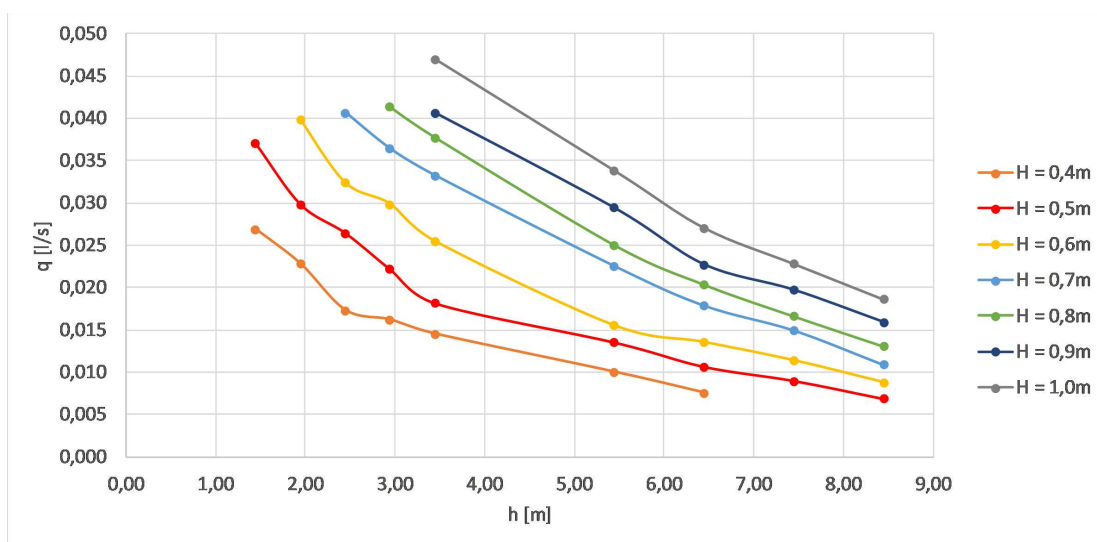
Účinnosti tohoto trkače narůstají se zvětšujícím se poměrem výtlačné výšky ku spádové výšce. Zvrat zde nastává už od poměru $h/H = 6$, až do poměru cca $h/H = 11$. Po svém zvratu zase postupně účinnosti klesají. Maximální naměřená účinnost je 0,693 a nachází se na křivce spádové výšky 1,0 metru. Všechny křivky účinností jsou na grafu 5.6.



Obrázek 5.6: Graf závislosti účinnosti trkače o dimenzi 1" na poměru výšek

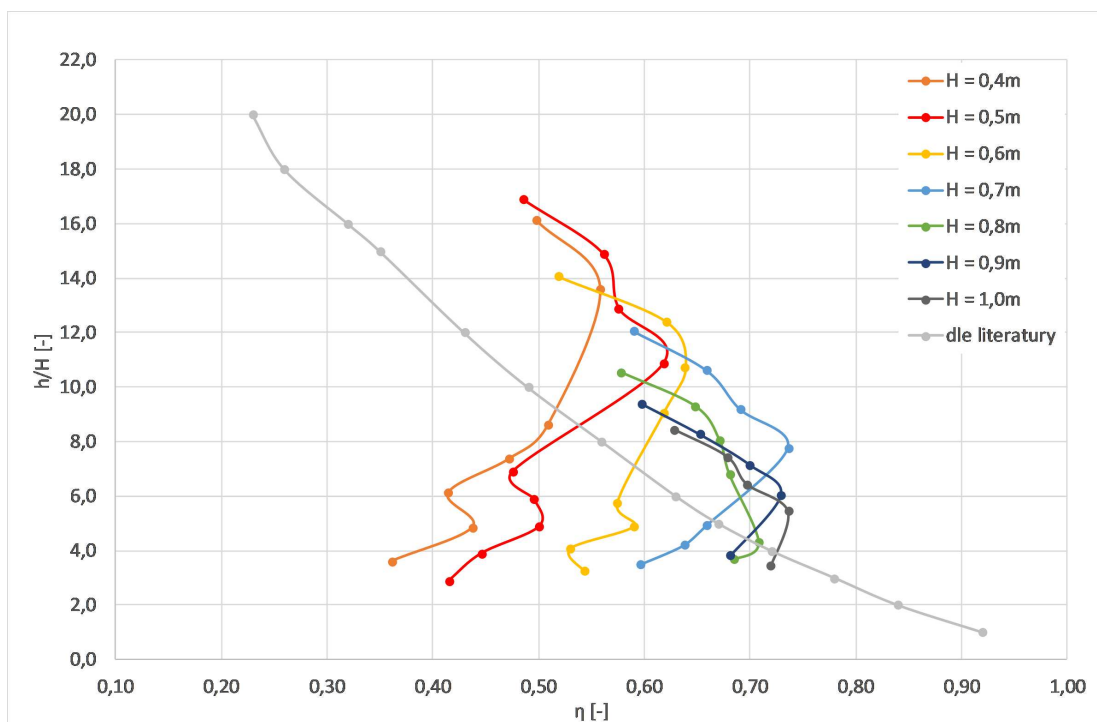
5.5 Vodní trkač 1 1/4"

Z experimentálních měření vodního trkače o dimenzi 1 1/4" vyšly měrné křivky při různých spádových výškách (viz obrázek 5.7). Čerpané množství tohoto trkače je v rozmezí 0,007 - 0,041 l/s což odpovídá přibližně 0,42 až 2,46 l/min. Vodu dokáže dopravovat při spádové výšce od 0,4 metru do 1 metru, kde měření končí z důvodu neefektivnosti využití na táborech. Výtlačná výška čerpané vody je v rozsahu 1,5 až 8,5 metru, měření zde končí z důvodu neefektivnosti využití na táborech a také maximální výšky v laboratoři.



Obrázek 5.7: Graf závislosti množství čerpané vody na výtlačné výšce při různých spádových výškách na trkači o dimenzi 1 1/4"

Účinnosti tohoto trkače narůstají se zvětšujícím se poměrem výtlačné výšky ku spádové výšce. Zvrat zde nastává v rozmezí poměrů h/H 5 až 11. Po svém zvratu zase postupně účinnosti klesají. Maximální naměřená účinnost je 0,736 a nachází se na křivce spádové výšky 1,0 metru a také 0,7 metru. Všechny křivky účinností jsou na grafu 5.8.



Obrázek 5.8: Graf závislosti účinnosti trkače o dimenzi $1\ 1/4''$ na poměru výšek

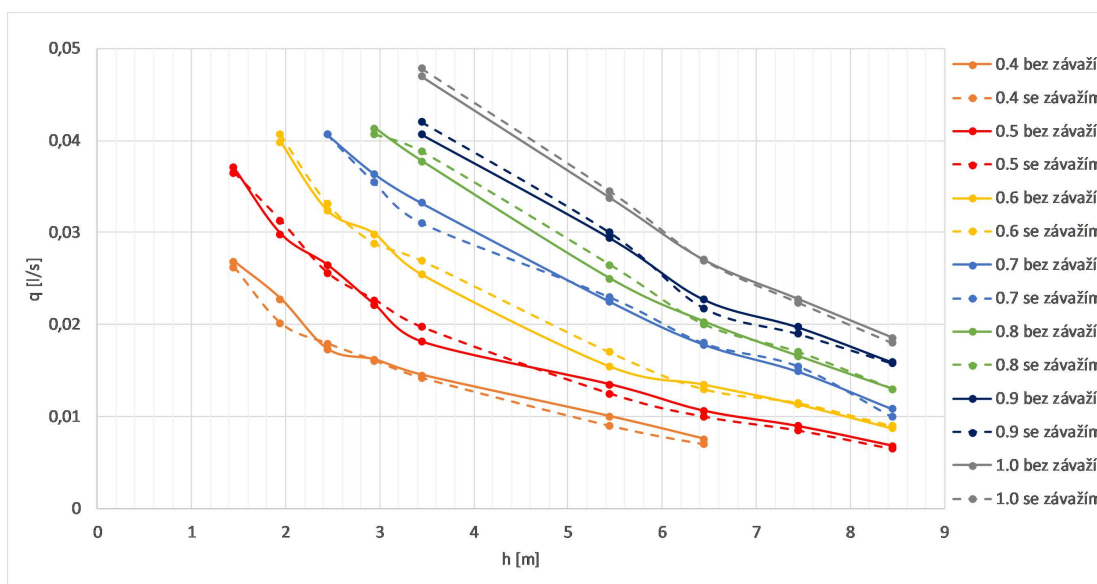
5.6 Ovlivňování průtoku vodního trkače

5.6.1 Vliv závaží na tepacím ventilu

Z mé bakalářské práce [13] vyplynula hypotéza, že pokud chceme zvýšit výkon trkače, tak je zapotřebí navýšit rychlost vytékající vody těsně před zavřením tepacího ventilu. Rychlost v potrubí by se měla dát zvětšit prodloužením doby otevření tepacího ventilu, a to tedy navyšováním váhy tepacího ventilu.

Tato hypotéza byla odzkoušena při laboratorním stanovení provozních charakteristik vodního trkače. Porovnání hodnot se závažím a bez závaží je na obrázku 5.9. Jsou zde patrné různé výkyvy které jsou přisuzovány nepřesnostem při laboratorním měření. Bylo prokázáno, že u použitého přívodního potrubí o délce deseti metrů nemá smysl řešit závaží na tepacím ventilu. Vznikla zde ale druhá hypotéza o tom, že pokud by bylo přívodní potrubí delší, tak by dle [2] vznikla i větší rázová vlna u které by mohlo mít smysl nechat ji doběhnout a nabrat plnou rychlost při zavření tepacího ventilu. Pak by dle hypotézy bylo nutné umístit na tepací klapku závaží, a vyladit funkci vodního trkače tak, aby jeho výkon byl co největší.

Hypotéza o délce potrubí není tedy součástí této práce, jelikož tato práce pojednává o konkrétním systému vodního trkače s přívodním potrubím o délce 10 metrů. U tohoto systému vliv závaží na tepacím ventilu nebyl experimentálně potvrzen.



Obrázek 5.9: Porovnání čerpaného množství 1 1/4" vodního trkače s použitím závaží a bez něj

5.6.2 Vzduch v přívodním potrubí

Při zapojování trkače je velice důležité systém pořádně odvzdušnit. Pokud nedojde k odvzdušnění, tak se rázová vlna vyvolaná zavřením tepacího ventilu utlumí o vzduch v přívodním potrubí. Tlumením rázů v potrubí klesá účinnost i celková funkčnost trkače. Vzduch bývá uzavřen ve výškovém lomu potrubí, v žádném případě nesmí vzduch v potrubí zůstat.

Průběh odvzdušňování:

1. přívodní potrubí i s trkačem nadzvedneme tak, aby bylo ve stejném spádu a netvořilo výškové lomy
2. prstem stlačíme tepací ventil
3. voda se vzduchem začne vytékat tepacím ventilem
4. čekáme dokud voda nepřestane „prskat“ a průtok bude zcela plný
5. povolíme tepací ventil a trkač se rozběhne.

5.6.3 Délka a tvar přívodního potrubí

Délka přívodního potrubí by měla být mezi 100 - 1000 násobkem dimenze trkače, což navržené 10-ti metrové hadice splňují. U přívodního potrubí je důležité, aby jeho vedení bylo co nejpřímější a s konstantním spádem. Pokud na potrubí vznikne lom, tak se rázová vlna od něj odrazí a vrací se zpět. Ve výsledku je to stejné, jako bychom měli potrubí o délce pouze přímého úseku. Čím delší je přímý úsek na potrubí, tím vznikne rázová vlna o vyšším tlaku, který je uvolněn do tlakové nádoby. U delšího potrubí by mohlo docházet k ničení tepacího ventilu či jiné části systému. Naopak u kratších potrubí by rychlost proudění v přívodním potrubí mohla být tak malá, že by ani nenastal hydraulický ráz.

5.6.4 Ztráty třením po délce

Ztráta třením po délce byla spočítána z důvodu zjištění, zda tato ztráta ovlivní či neovlivní výkon vodního trkače.

Ztráta třením vychází z Chézyho rovnice 5.3, který svou rovnici odvodil původně pro otevřená koryta roku 1775. Chézyho rovnice dle literatury [5]:

$$v = C\sqrt{Ri}; \quad Q = Av = AC\sqrt{Ri}. \quad (5.3)$$

kde:

- A plocha potrubí
- v rychlost vody
- i sklon potrubí
- C Chézyho rychlostní součinitel
- R hydraulický poloměr, který se pro kruhové potrubí vypočítá jako:

$$R = \frac{A}{O} = \frac{\pi r^2}{2\pi r} = \frac{r}{2} = \frac{D}{4}. \quad (5.4)$$

Dosazením rovnice 5.4 do Chézyho rovnice 5.3 a její následnou úpravou obdržíme:

$$i = \frac{4}{C^2} \frac{1}{D} v^2. \quad (5.5)$$

Zavedeme li dle literatury [5] označení $\frac{4}{C^2} = \frac{\lambda}{2g}$, vyjádříme hydraulický sklon i a ztrátu h_z ve vztahu k rychlosti výšce $\frac{v^2}{2g}$ a stanovíme součinitel λ jako bezrozměrné číslo, tak obdržíme Darcy-Weisbachovu závislost:

$$i = \lambda \frac{1}{D} \frac{v^2}{2g}; \quad h_z = iL = \lambda \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}. \quad (5.6)$$

Rovnice 5.6 je základním vztahem pro výpočet ztráty třením v potrubí při rovnoměrném proudění vody.

Dále je potřeba stanovit součinitel tření λ , který závisí na drsnosti potrubí Δ , průměru potrubí D a na hodnotě Reynoldsova kritéria Re . Výpočet součinitele tření se dle literatury [5] dělí na několik oblastí s různými zákonitostmi:

1. **Laminární režim proudění** - součinitel tření závisí pouze na hodnotě Reynoldsova kritéria a vyjádří se jako: $\lambda = \frac{64}{Re}$
2. **Přechodová oblast** - je oblast mezi koncem laminárního proudění a plně vyvinutým turbulentním prouděním. Platí zde Colebrook-Whiteova rovnice, kde má na součinitele tření vliv především Reynoldsovo kritérium ale i drsnost potrubí.
3. **Turbulentní proudění** - v této oblasti platí také Colebrook-Whiteova rovnice, ale odpadá závislost na Reynoldsovu kritériu a součinitel tření závisí pouze na drsnosti potrubí.

Pro stanovení součinitele tření λ u technických potrubí v přechodové i turbulentní oblasti platí Colebrook-Whiteova rovnice:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{2,51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,7D} \right) \quad (5.7)$$

kde

- Δ absolutní drsnost stěn [m]
- Re hodnota Reynoldsova kritéria

Colebrook-Whiteova rovnice 5.7 je graficky znázorněna v Moodyho diagramu, který umožňuje odečtení součinitele tření λ na základě Reynoldsova kritéria a absolutní drsnosti.

Tato teorie by nám měla stačit pro stanovení ztrát třením při známém průtoku, který jsme stanovili v kapitole 5. Abychom spočítali celý rozsah možných ztrát, tak si stanovíme maximální a minimální průtok ve výtlačném i přívodním potrubí. Pro tyto hodnoty spočítáme rychlost proudění

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}. \quad (5.8)$$

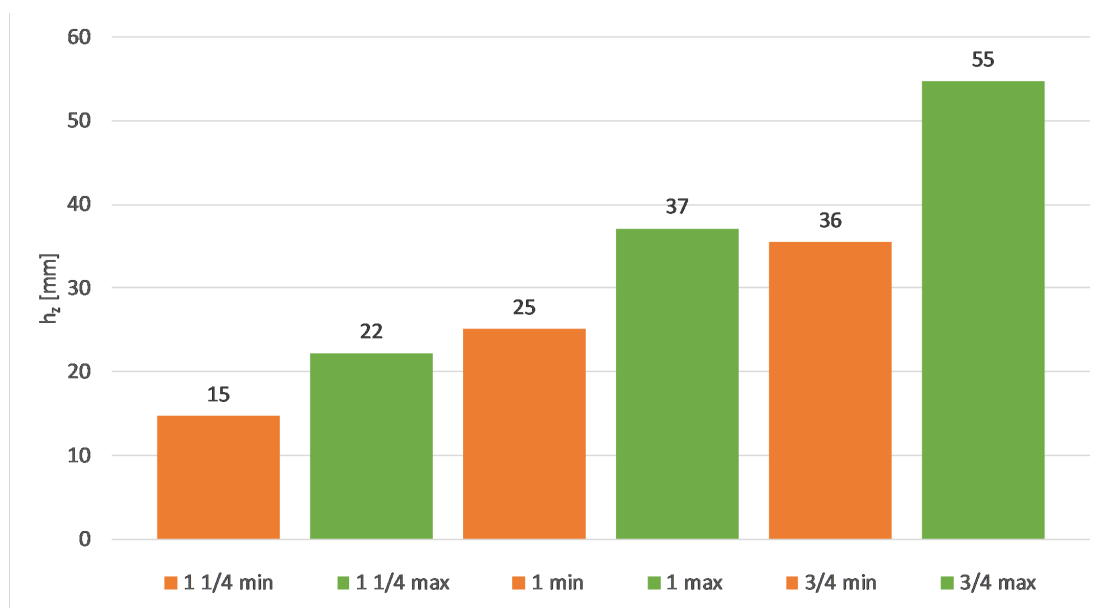
Stanovíme kinematickou viskozitu kapaliny $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ a následně spočítáme Reynoldsovo kritérium jako:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}. \quad (5.9)$$

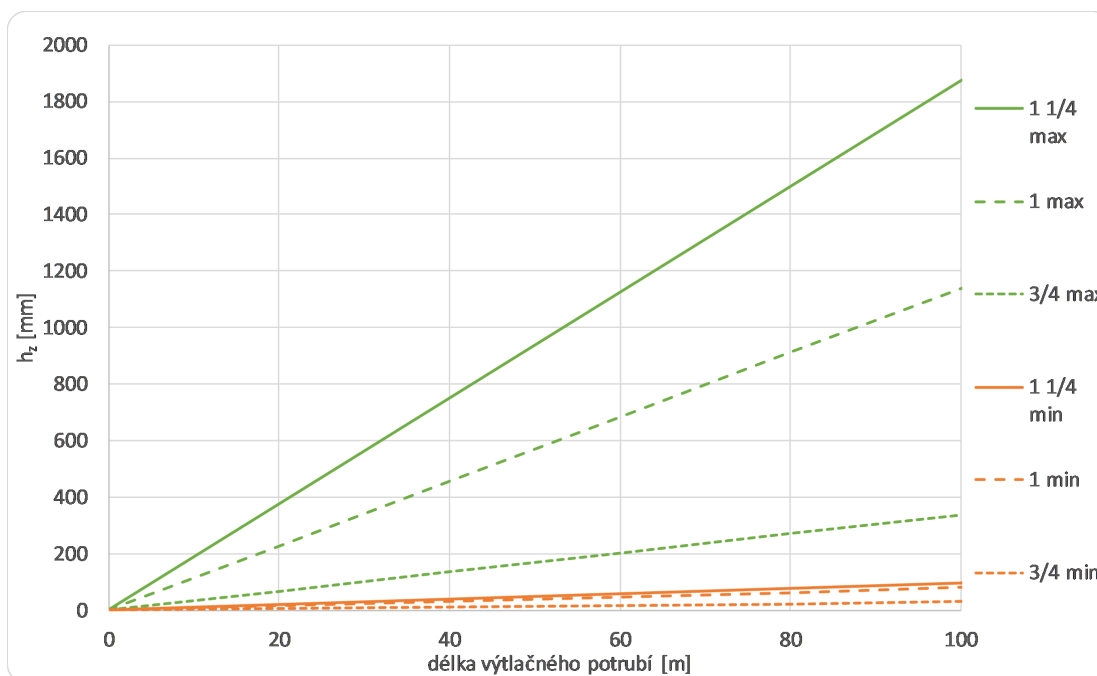
Pokud Reynoldsovo kritérium je pod hodnotou 2320 bude v potrubí probíhat laminární proudění, pokud výsledky jsou nad touto hodnotou, tak se pohybujeme v přechodové oblasti či v turbulentním proudění. Zjednodušeně lze tedy počítat tak, že pokud je $Re < 2320$, tak součinitel tření vypočteme jako: $\lambda = \frac{64}{Re}$. Pokud hodnota Reynoldsova kritéria bude nad 2320 můžeme pro výpočet součinitele tření použít Colebrook-Whiteovu rovnici 5.7. Colebrook-Whiteova rovnice je rovnicí iterační. První hodnotu λ určíme a následně z této hodnoty počítáme nové hodnoty součinitele tření. Výpočet končí většinou po čtyřech iteracích, kdy se hodnota součinitele ustálí.

Posledním krokem je výpočet ztráty třením podle rovnice 5.6. Zde je důležité dosadit správnou hodnotu součinitele tření podle hodnoty Reynoldsova kritéria.

Výsledkem těchto výpočtů jsou grafy na obrázcích 5.10 a 5.11, které znázorňují velikost ztrát u přívodního potrubí délky 10 metrů a u výtlačného potrubí různých délek.



Obrázek 5.10: Ztráta třením na přívodním potrubí



Obrázek 5.11: Ztráta třením na výtlačném potrubí

Výsledná ztráta třením v přívodním potrubí je v řádu několika milimetrů přičemž se zmenšuje se zvětšující se dimenzí vodního trkače. Tuto ztrátu je určitě možné zanedbat. Ztráta ve výtlačném potrubí je značně vyšší, se zvětšující se dimenzí vodního trkače tato ztráta narůstá. Při minimálních průtocích jsou tyto ztráty v řádu desítek milimetrů zatímco u maximálních průtoků výtlačným potrubím jsou ztráty v řádu stovek milimetrů, což značně ovlivňuje výkon vodního trkače.

Je tedy důležité, aby vodní trkač byl umístěn co nejbliže k zásobní nádrži do které dopravuje vodu.

Následně za užití Bernoulliho rovnice, byly spočteny teoretické charakteristické křivky průtoků při délce výtlačného potrubí 100 m. Nejprve se z Bernoulliho rovnice odvodila tlaková výška u vodního trkače jako:

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} = h_2 + \lambda \frac{L}{D} \frac{v_2^2}{2g} . \quad (5.10)$$

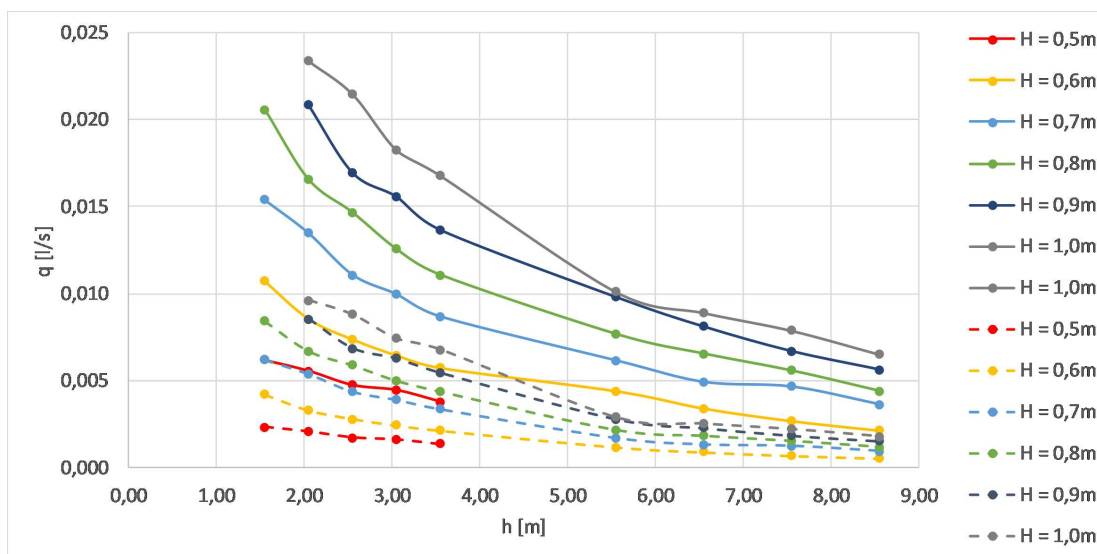
Tlaková výška se spočítala pro každý průtok v trkači. Usoudil jsem, že tato tlaková výška bude konstantní i při změně délky potrubí. S tímto tvrzením byla dále spočítána nová rychlost v potrubí při délce 100 m jako:

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g \left(\frac{p_1}{\rho \cdot g} - h_2 \right)}{\lambda \frac{L}{D}}} . \quad (5.11)$$

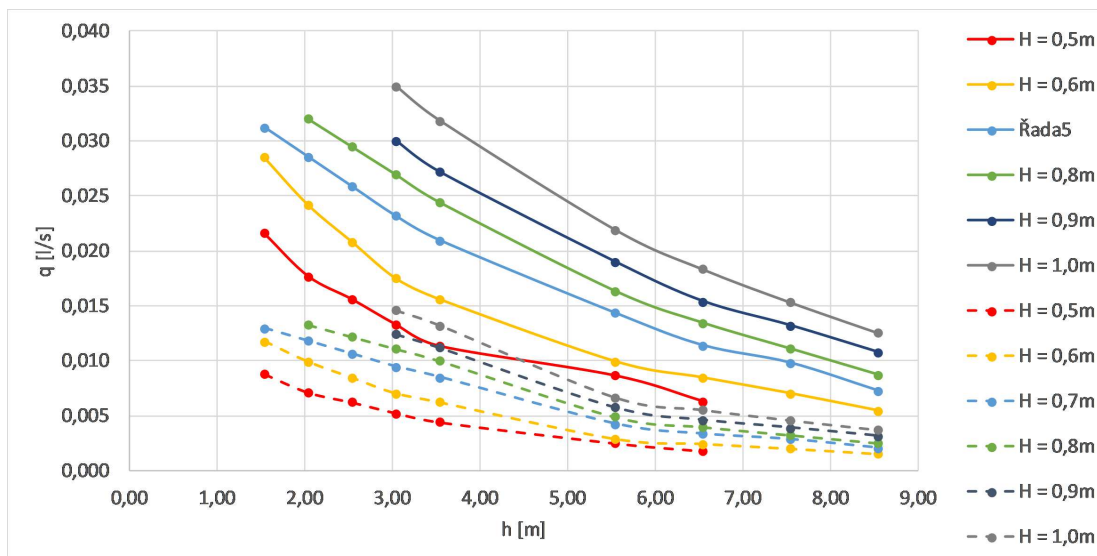
Dále se spočítaly nové hodnoty Reynoldsova kritéria, součinitele tření a následně i nová rychlost. Tento postup se několikrát iteračně opakoval až do finální hodnoty rychlosti. Součinitel tření λ se počítal pouze z rovnice 5.7 Colebrook - White, jelikož při použití rovnice pro laminární proudění $\lambda = \frac{64}{Re}$ se výpočet neustaloval i po patnácté iteraci. Tento jev nastal z důvodu, že se iterační výpočet pohybuje v rozmezí přechodové oblasti součinitele tření λ . Po ustálení výpočtu se finální rychlost přepočítala na průtok.

Hodnoty průtoků byly vyneseny do stejného grafu jako jsou grafy na obrázcích 5.3, 5.5 a 5.7.

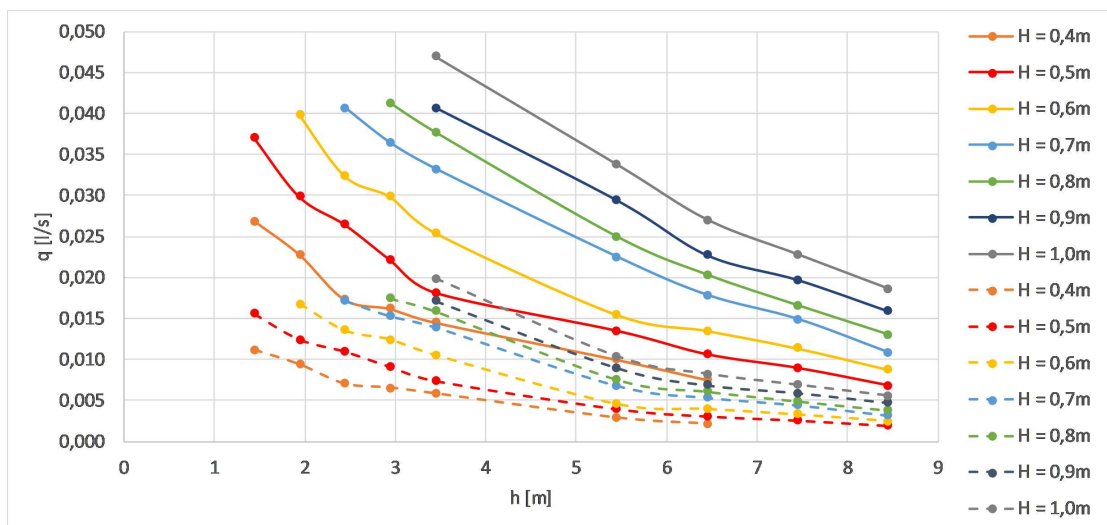
Výsledné grafy změny ztrát při délce 20 a 100 metrů jsou na obrázcích 5.12, 5.13 a 5.14, kde plné čáry q/h křivek značí průtok při měřené ztrátě v laboratoři (10 a 20 m potrubí) a čárkované značí průtok při vypočtené ztrátě (100 m potrubí).



Obrázek 5.12: Teoretická ztráta třením na výtlačném potrubí trkače dimenze 3/4"



Obrázek 5.13: Teoretická ztráta třením na výtlačném potrubí trkače dimenze 1"



Obrázek 5.14: Teoretická ztráta třením na výtlačném potrubí trkače dimenze 1 1/4"

6 Umístění vodního trkače na tok

6.1 Kam je možné vodní trkač umístit

Vodní trkač lze umístit na téměř jakýkoli vodní tok, přičemž na toku musí být přirozený nebo umělý spád minimálně 40 centimetrů na délce deseti metrů. Vodní trkač většinou umísťujeme na menší vodní toky.

Přirozený spád je takový, kdy dno vodního toku klesne o potřebný spád na potřebné délce. Tento jev se většinou vyskytuje na horních bystřinných tocích nebo středních tocích. Také sem řadíme místa s výskytem větších terénních zlomů, kde voda přepadá přes skalnaté podloží a vytváří vodopád. Tímto vznikne velké převýšení na krátké vzdálenosti, což je pro vodní trkač ideální varianta. Příklad malého vodopádu je na obrázku 6.1.



Obrázek 6.1: Vodopád na menším toku [7]

Umělý spád je tvořen překážkou, či jiným technickým prvkem ve vodním toku. Mezi takové technické prvky řadíme například spádový stupeň, přehrážku, výtok z propustky či menší hrádku z kamení. Také sem může patřit dnový práh, který slouží primárně pro stabilizaci dna. Za určitých podmínek lze práh využít pro vytvoření tohoto potřebného spádu.

Nejčastěji lze v bystřinných tocích nalézt právě spádový stupeň, který snižuje podélný profil dna toku. Spádový stupeň může být dřevěný, betonový či kamenný. V bystřinných tocích bývá také často umístěn stabilizační práh.

Příklad kombinace dřevěného dnového prahu a spádového stupně je na obrázku 6.2.

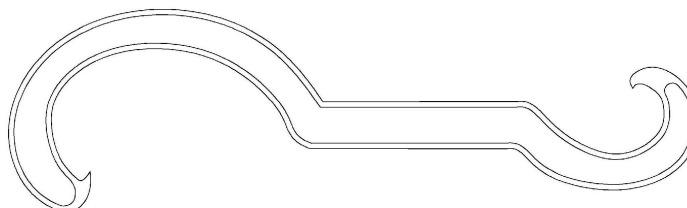


Obrázek 6.2: Dřevěný spádový stupeň [8]

6.2 Jak umístit vodní trkač na tok

Zařízení se skládá ze čtyř rozebiratelných částí (sací koš, přívodní potrubí, vodní trkač a výtlačné potrubí).

Nejprve je potřeba umístit sací koš na přívodní potrubí. Sací koš se skládá z drátěné konstrukce, na které je navlečena tkanina sloužící k filtraci hrubých nečistot. Konstrukce se k přívodnímu potrubí přilepí lepící páskou. Po namontování sacího koše se přívodní potrubí připevní přes PE spojku do samotného trkače. Při upevňování spojky je nutné spojku rozebrat a veškeré komponenty nasunout na přívodní potrubí v pořadí jak byly smontovány (tzn. nejprve převlečnou maticí, poté plastovou svorku a nakonec těsnění). Potrubí s komponenty se nasune na zbytek PE spojky a převlečnou maticí se dotáhne. Při dotahování je nutné používat originální nářadí. Je tedy potřeba mít dva PE utahovací klíče 16-63 mm, klíč je na obrázku 6.3.



Obrázek 6.3: PE utahovací klíč 16-63 mm

Dalším krokem je umístění přívodního potrubí se všemi komponenty do vodního toku. Sací koš ponoříme do toku, a potrubí vedeme vodním tokem tak, aby pořád klesal jeho spád a vedení bylo co nejrovnější. Potrubí postupně zatěžujeme kameny, aby bylo rovné, jelikož polyetylenová trubka

má tendenci se kroutit do původního smotaného stavu. Na konci potrubí máme tedy umístěn vodní trkač, jehož tepací ventil (obr. 3.3) musí být minimálně o 40 centimetrů níž než je sací koš. Přesným stanovením této spádové výšky můžeme z kapitoly 5 vyčíst dopravované množství vody do určené výtlačné výšky při daném typu vodního trkače. Vodní trkač je nutné taktéž stabilizovat velkými kameny, aby při průchodu větší vody nedošlo k jeho poškození či posunutí dále po toku.

Posledním krokem je připojení výtlačného potrubí na hadičník umístěný na těle vodního trkače. Jako výtlačné potrubí používáme zahradní půlcoulovou hadici, kterou připevníme na hadičník pomocí dotažení ocelové objímky. Druhou stranu výtlačného potrubí umístíme do zásobní nádrže v táboře.

Před rozběhnutím trkače je nutné systém odvědušnit. Popis jak odvědušnit potrubí je v kapitole 5.6.2. Poté stačí už jen párkrát stačit tepací ventil dolů, aby se hydraulický ráz v trkači nastartoval. Vodní trkač bude běžet sám, bez nutnosti jeho další obsluhy. Je vhodné jednou za týden pročistit sací koš a zkontrolovat zda tepání vodního trkače probíhá stejně jak při zapojení.

6.3 Povolení k odběru vod

Dle vodního zákona 254/2001 je vodní trkač technickým zařízením, které umožňuje čerpání vody z vodního toku a tudíž je potřeba na jeho provozování *povolení k nakládání s povrchovými vodami*, které vydává příslušný vodoprávní úřad.

Pro podání žádosti o *povolení k nakládání s povrchovými vodami* je potřeba:

1. **Vyplněný formulář** - ke stažení na většině internetových stránek městských úřadů (odbor životního prostředí).
2. **Situace širších vztahů** - zakreslení místa odběru vody do mapového podkladu v měřítku 1:10 000 až 1:50 000.
3. **Kopie katastrální mapy** - zakreslení místa odběru vody do katastrální mapy.
4. **Stanovisko správce povodí** - k požadovanému nakládání s vodami, včetně ověření orientační polohy místa nakládání s vodami v souřadnicích X, Y určených v souřadnicovém systému S-JTSK (Jednotné trigonometrické síť katastrální).

Ve formuláři se vyplňuje:

1. **Žadatel** - informace o žadateli (nejčastěji provozovatel tábora)
2. nic
3. **Druh nakládání s vodami** - a) bod 1 - k jejich odběru
4. **Popis nakládání s vodami** - Odběr vody pomocí vodního trkače pro užitkovou vodu na skautský tábor. Vodní trkač je jednoduché technické zařízení, který využívá k dopravě vody hydraulický ráz vznikající v přívodním potrubí.
5. **Údaje o místu nakládání s vodami** - obec, katastr, parcela, poloha (S-JTSK), název vodního toku, ID toku,
6. **Údaje o množství vod** - počet měsíců, hodnoty odběrů viz odečtení z grafů v kapitole 5.
7. **Doba, na kterou je nakládání s vodami žádáno** - Záleží podle toho jestli tábor jezdí každý rok na stejné místo nebo místa střídá. Maximálně je doporučováno žádat na 5 let.
8. nic
9. nic
10. **Seznam a adresy účastníků vodoprávního řízení** - dotčený vodoprávní úřad daného městského úřadu, žadatel, správce povodí.

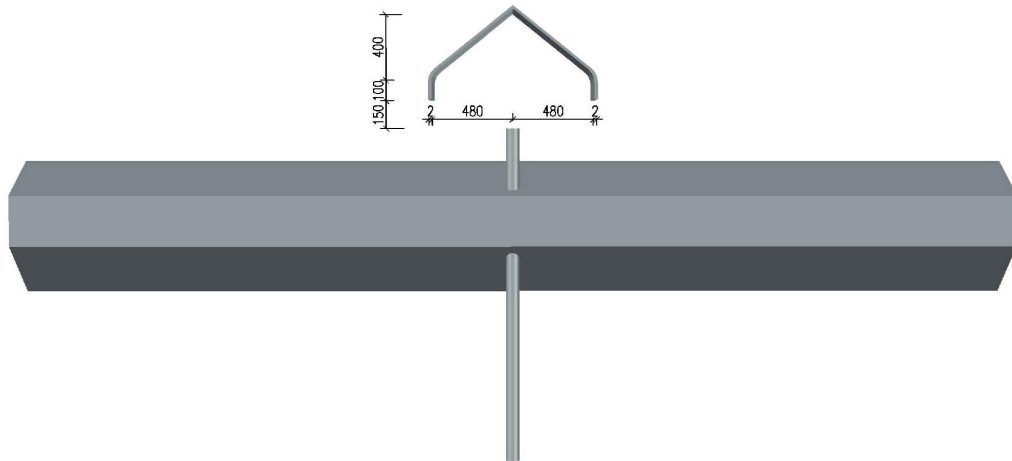
Kompletní žádost se odevzdává v tištěné formě na dotčený vodoprávní úřad daného městského úřadu osobně nebo poštou.

7 Vtokový objekt

Vhodným návrhem vtokového objektu chceme omezit natékání plavenin i splavenin do přívodního potrubí a zároveň zachovat stav hladiny (a tlaku) u nátoku na přívodním potrubí. Rychlostní pole by se mělo odklonit od nátoku do přívodního potrubí a do samotného trkače by měla natékat čistější voda, jelikož hlavní rychlosti povedou kolem potrubí a dále přes hrázku či jiný hradící prvek.

7.1 Modelování

Nejprve bylo nutné navrhnout vhodný objekt, který by mohl splňovat podmínky na vtoku. Byl navržen ocelový rozražeč tvaru „V” s prodlouženými křídly. Výška rozražeče je 55 cm, což je 10 cm nad ustálenou hladinou vody. Délka objektu je 964 mm a délka každého z křídel je 100 mm. Rozražeč bude z ocelového plechu tloušťky 2 mm. Vtokový objekt je na obrázku 7.1.



Obrázek 7.1: Vtokový objekt

Po návrhu tvaru byl objekt nakreslen v softwaru AutoCad 2017 v režimu 3D modelování. K objektu byla také přidána hrázka a přívodní potrubí trkače. Všechny objekty byly převedeny do formátu .stl, který je podporován v softwaru Flow 3D, kde probíhal další postup.

Software Flow 3D slouží pro modelování chování vody v určitém prostředí. Do programu byla přidána geometrie objektů ve formátu .stl a následně byly vytvořeny 3 meshbloky.

Byly použity následující **zjednodušující předpoklady**:

- Simulace probíhala při ustáleném proudění.
- Nebylo uvažováno s vlivem provzdušnění vody a také s turbulencí.
- Kapalina je uvažována jako neviskózní.
- Tekutina byla uvažována jako čistá voda bez sedimentů.

Vlastnosti simulované kapaliny jsou:

- teplota 20°C,
- hustota $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$
- nestlačitelná kapalina

V modelu vznikne 5 hledaných **neznámých**. Jsou to vektory rychlostí v_x, v_y, v_z , také tlak p a objemová frakce f .

Těchto 5 neznámých musíme vyjádříme pomocí následujících rovnic:

1. **Zákon zachování hmotnosti** (rovnice kontinuity) je dle [6]:

$$\frac{\partial(\rho \cdot v_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho \cdot v_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho \cdot v_z)}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0, \quad (7.1)$$

pro nestlačitelnou kapalinu ($\rho = \text{konst.}$) nabude rovnice 7.1 tvaru:

$$\frac{\partial v_x}{\partial x} + \frac{\partial v_y}{\partial y} + \frac{\partial v_z}{\partial z} = 0. \quad (7.2)$$

2. **Zákon zachování hybnosti** - Eulerovy rovnice jsou dle [6]:

$$f_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial v_i}{\partial t} + v_j \frac{\partial v_i}{\partial x_j}, \quad (7.3)$$

v rozepsaném stavu:

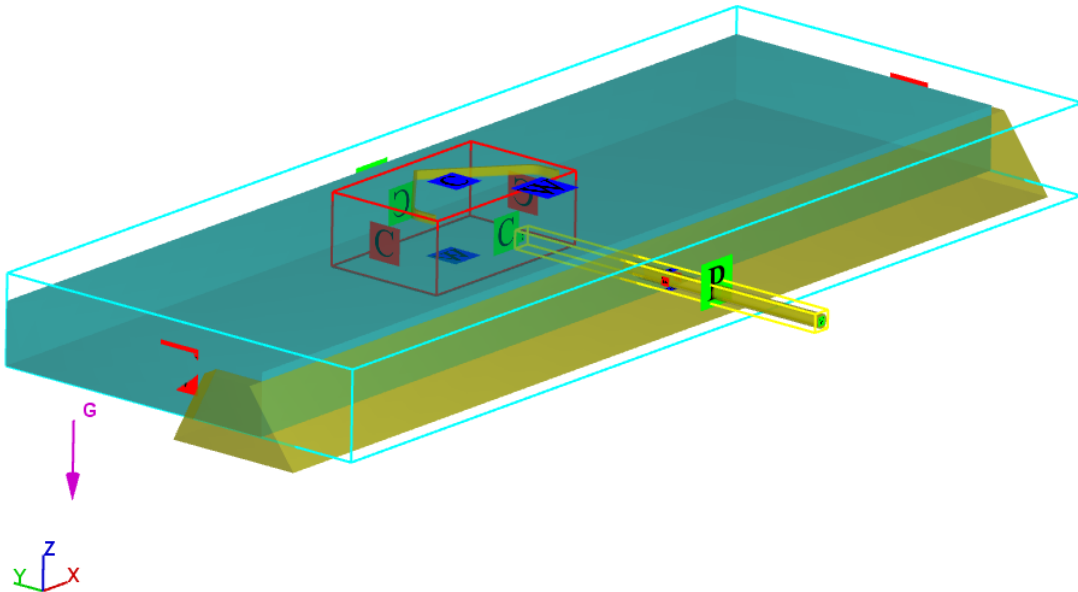
$$\begin{aligned} f_x - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial v_x}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_x}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_x}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_x}{\partial z}, \\ f_y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} &= \frac{\partial v_y}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_y}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_y}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_y}{\partial z}, \\ f_z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} &= \frac{\partial v_z}{\partial t} + v_x \frac{\partial v_z}{\partial x} + v_y \frac{\partial v_z}{\partial y} + v_z \frac{\partial v_z}{\partial z}. \end{aligned}$$

3. **Rovnice „volume fraction“** (transportní rovnice)

$$0 = \frac{\partial f}{\partial t} + v_x \frac{\partial f}{\partial x} + v_y \frac{\partial f}{\partial y} + v_z \frac{\partial f}{\partial z}. \quad (7.4)$$

Nahoře, dole i na stranách hlavního meshbloku jsou **okrajové podmínky** zvoleny na tzv. „Wall“, neboli stěny, přes které nemůže voda projít. Tvoří tak tedy pevnou hranici. Okrajová podmínka na nátoce (před hrázkou) je zvolena jako známý hydrostatický tlak a je zde zadána hodnota 0,45 m, což odpovídá výšce vody před hrázkou. Na výtoku (za hrázkou) je okrajová podmínka nastavena také na známý hydrostatický tlak o hodnotě 0,1 m, což odpovídá výšce vody v korytě potoka.

Poslední okrajová podmínka na výtoku z druhého meshbloku, který ohraničuje přívodní potrubí do trkače, je nastavená rychlost vytékající vody a to na hodnotu 0,29 m/s. Tato hodnota je volena jako maximální naměřená hodnota na největším trkači (1 1/4"). Okrajové podmínky jsou na obrázku 7.2.



Obrázek 7.2: Okrajové podmínky

Počáteční podmínka je zvolena jako zadaný hydrostatický tlak na určité ploše. Zvolena je plocha před hrázkou, která by měla být plná vody a je zde tak nastaven hydrostatický tlak na hodnotu 0,45 m a $f = 1$.

Cílem modelování je dosáhnout nezanášení přívodního potrubí za podmínky, že vtok zůstane pod hladinou natolik, aby nedocházelo k přísávání vzduchu. Čím méně se sníží hladina oproti situaci bez vtokového objektu, tak tím méně se sníží i spádová výška a čerpané množství vody do zásobní nádrže. Pro nezanášení vtokového objektu je důležité stanovit maximální rychlost, při které částice ještě stihnou sedimentovat.

Nejprve je nutné stanovit sedimentační rychlost pro hrubé disperze u_{sed} , která se stanoví ze Stokesovi rovnice pro kulovité částice jako:

$$u_{sed} = \frac{h}{t} = \frac{2}{9} \cdot \frac{(\rho - \rho_0)}{\eta_0} \cdot g \cdot r^2 \quad (7.5)$$

kde

g	zrychlení zemské tíže,
h	výška sloupce vody nad vtokovým potrubím,
t	doba sedimentace,
ρ_0	hustota disperzního prostředí,
ρ	hustota sedimentující částice,
η_0	viskozita disperzního prostředí,
r	poloměr kulovité částice.

Hustota disperzního prostředí je 1000 kg/m^3 , hustota sedimentující částice je 2650 kg/m^3 , viskozita disperzního prostředí (vody při 20° C) je $1,002 \cdot 10^{-3} \text{ Pa}\cdot\text{s}$, zrychlení zemské tíže je $9,81 \text{ m/s}^2$ a poloměr kulovité částice je zvolen na $0,0001 \text{ m}$. Po dosazení hodnot do Stokesovi rovnice 7.5 obdržíme sedimentační rychlost:

$$u_{sed} = \frac{2}{9} \cdot \frac{(2650 - 1000)}{0,001002} \cdot 9,81 \cdot 0,0001^2 = 0,0359 \text{ m/s}.$$

V návrhu objektu jsme stanovili výšku možného zanášení h na hodnotu $0,1 \text{ m}$, a tak jsme schopni dopočítat čas usazování t a z něho dále odvodit i maximální unášecí rychlost v_{max} . Čas usazování se spočítá:

$$t = \frac{h}{u_{sed}} = \frac{0,1}{0,0359} = 2,7857 \text{ s}.$$

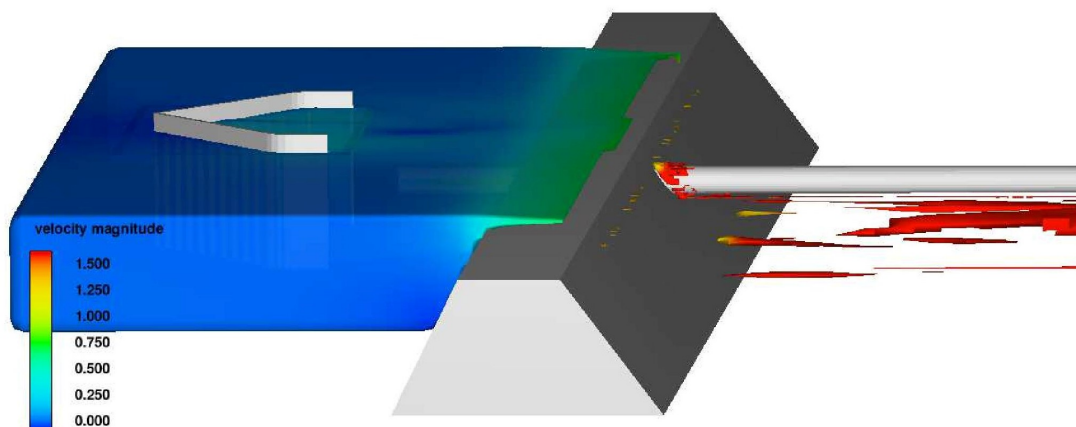
Délku zanášení L jsme v modelování objektu stanovili na hodnotu $0,5 \text{ m}$, což je délka mezi středem přívodního potrubí a krajem vtokového objektu. Maximální unášecí rychlost vody, která proudí do potrubí, se tedy spočítá jako

$$v_{max} = \frac{L}{t} = \frac{0,5}{2,7857} = 0,1795 \text{ m/s}.$$

Úspěšný cíl je dosažení menší hodnoty unášecí rychlosti v než je spočtená maximální unášecí rychlost v_{max} , která proudí do přívodního potrubí. A také dosažení maximálního snížení hladiny o hodnotu 1 cm oproti původní hodnotě hladiny. Voda o určité unášecí rychlosti v přepadající přes hrázkou neovlivní transport splavenin do přívodního potrubí.

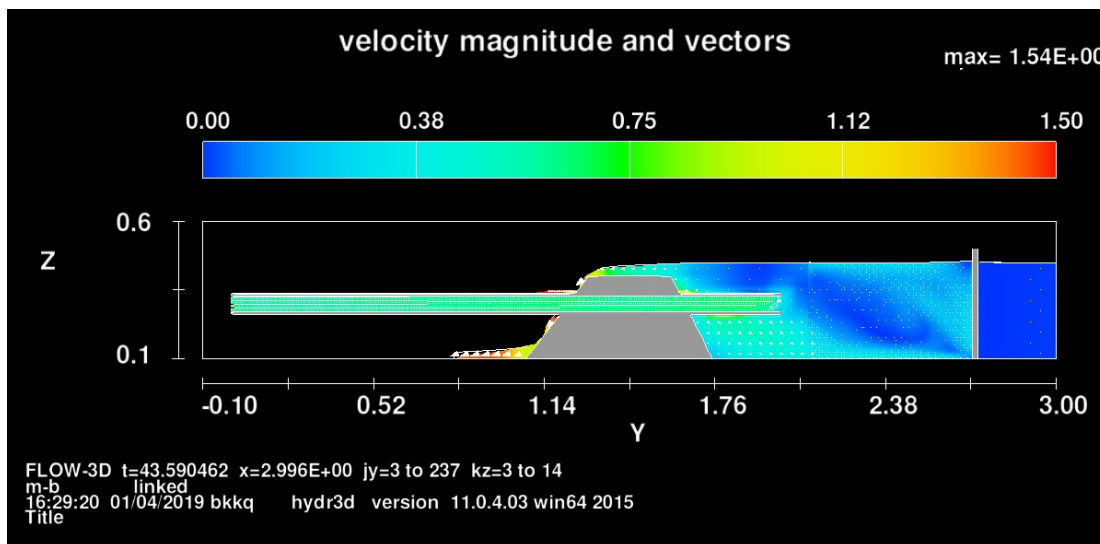
7.2 Výsledky řešení

Obrázek 7.3 vytváří 3D pohled na řešenou oblast, kde jsou graficky zobrazeny rychlosti proudění vody v nádrži i mimo ni.



Obrázek 7.3: 3D pohled - rychlosti proudění

Prvním výsledkem řešení je vertikální řez hladinou v ose přívodního potrubí, který je na obrázku 7.4. Je zde patrné rychlostní pole ve vtokovém objektu.



Obrázek 7.4: Řez hladinou v ose Y-Z

Druhým výsledkem je rychlostní pole v horizontálním řezu osou přívodního potrubí, které je na obrázku 7.5. Zde je patrné navýšení rychlostí podél vtokového objektu.

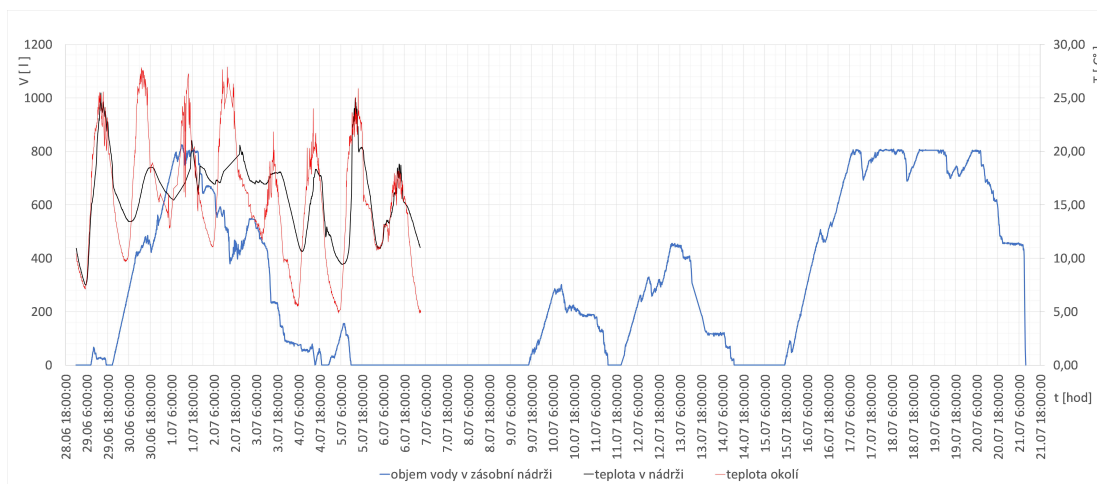
8 Provozní zkušenosti

8.1 Léto roku 2016

V roce 2016 proběhla první instalace vodních trkačů mé navržené konstrukce. Instalace proběhly na třech táborech, kde trkače fungovaly v plném provozu. Tábory byly v Olomouckém kraji, konkrétně u obcí Horní Loděnice, Velký Újezd a Vysoké Žibřidovice.

Tábor u Horní Loděnice byl zásobován trkačem o dimenzi 1 1/4", voda do tábora byla přiváděna z blízkého Trusovického potoka. Umístění trkače bylo jednoduché, jelikož se zde nachází stávající hrázka z kamenní. Naměřené čerpané množství zde bylo 0,47 l za minutu, což odpovídá přibližně 680 l za den. Čerpání zde neprobíhalo kontinuálně, jelikož nastávali různé problémy na přívodním potrubí i na těle trkače. Ve své bakalářské práci [13] popisují některé poruchy, ale největší zanedbanou poruchou bylo zavzdušnění systému. V té době, jsem si myslel, že je vše v pořádku, ale následující měření ukázalo, že odpadní průtoky byly mnohem menší než při řádném odvzdušnění a proměření v laboratoři roku 2018. Odvzdušnění přívodního potrubí je tedy velice důležité. Dalším problémem, který tu nastával bylo špatné upevnění sacího koše a následné zanášení těla trkače.

Bylo zde také instalováno ultrazvukové měření hladiny v zásobní nádrži. Systém měřil dobu odezvy při odrazu od hladiny, a to vždy třikrát po sobě. Byly zde také instalovány čidla na teplotu vzduchu v nádrži a v okolí. Výsledky jsou uvedeny v grafu na obrázku 8.1.



Obrázek 8.1: Graf skutečného plnění a prázdnění zásobní nádrže (Trusovický potok 2016)

Tábor u obce Velký Újezd byl zásobován trkačem o dimenzi 1 1/4", který čerpal vodu z malého potoka s názvem Kyjanka. Trkač zde byl také umístěn do stávající hrázky, pod kterou bylo koryto toku sníženo a vznikla tak dostatečná spádová výška. Čerpané množství bylo přibližně 560 l za den. Trkač zde fungoval kontinuálně měsíc a půl, než se vlivem silné bouřky uvolnila přívodní hadice a trkač se zavzdušnil. Tábor už se chýlil ke konci a tak nebylo nutné trkač znovu umisťovat na tok.

Poslední tábor byl u obce Vysoké Žibřidovice, kde byl umístěn menší trkač o dimenzi 1". U tábora protéká horská bystrina s názvem Prudký potok. Na tomto táboře není problém se spádovou výškou (0,6 metru na 10 metrech) ani s čistotou vody, jelikož se jedná o horní tok. Trkač tedy mohl být umístěn přímo do toku, bez nutnosti přehrazení toku. Čerpané množství zde bylo zbytečně velké a to kolem 1500 l za den. Tento údaj odpovídá měření z roku 2018 (viz kapitola 5.5), kdy při spádové výšce 0,6 metru a výtláčné výšce cca 3 metry je čerpané množství 1,05 l za minutu (cca 1500 l za den). Za celé dva měsíce tu nevznikl žádný problém s čerpáním vody.

8.2 Léto roku 2017

V roce 2017 byl trkač umístěn na dvou táborech.

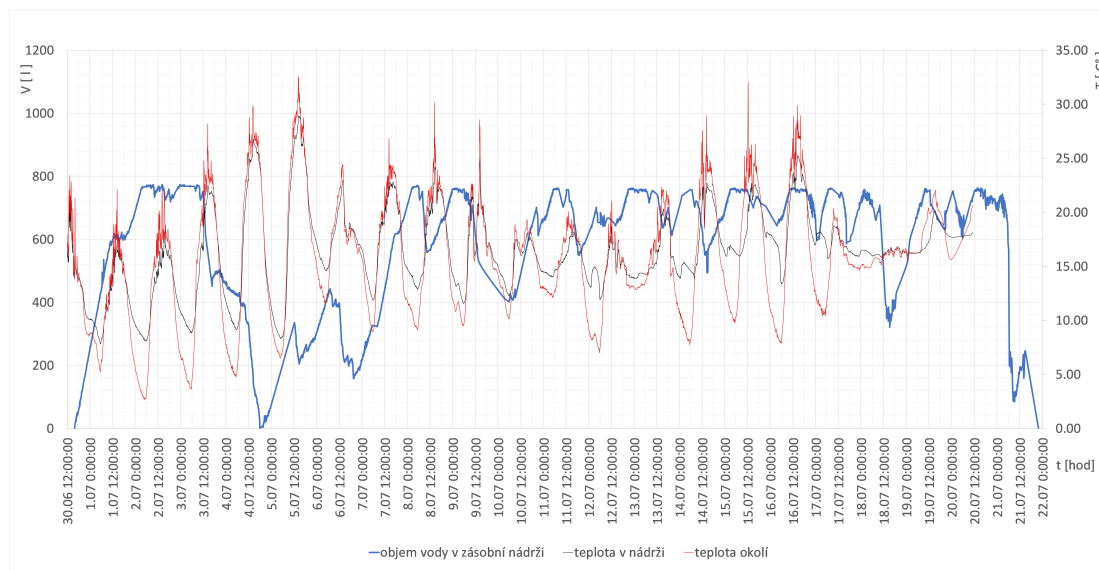
První byl na Trusovickém potoce, asi dva kilometry od obce Horní Loděnice. Zde proběhla stejná instalace jako minulý rok. Potrubí zůstalo také zavzdušněné a čerpané množství se tedy také nezměnilo.

Druhý tábor byl na Prudkém potoce u obce Vysoké Žibřidovice, kde se instalovala menší 3/4" dimenze vodního trkače. Tato menší dimenze měla vliv na čerpané množství, které se pohybovalo kolem 600 l za den, což tábora zcela dostačovalo. Tento výsledek také odpovídá měření v laboratoři v kapitole 5.3.

8.3 Léto roku 2018

Rok 2018 byl podobný roku 2017, jelikož se trkač také instaloval pouze na dvou táborech.

První tábor byl tedy na Trusovickém potoce. Zde se umístil stejný trkač, ale s upraveným tepacím ventilem (viz kapitola 5). Zkoušelo se zde přidávání závaží, ale nevykazovalo to žádné měřitelné rozdíly v čerpaném množství. Více o vlivu závaží na tepacím ventilu je v kapitole 5.6.1. Výsledné čerpané množství je ale i přesto větší, jelikož se přívodní potrubí oproti jiným rokům řádně odvzdušnilo. Pohybovalo se kolem 0,51 l za minutu, což odpovídá přibližně 740 l za den. Znovu zde bylo provedeno ultrazvukové měření hladiny. Výsledky jsou v grafu na obrázku 8.2.



Obrázek 8.2: Graf skutečného plnění a prázdnění zásobní nádrže (Trusovický potok 2018)

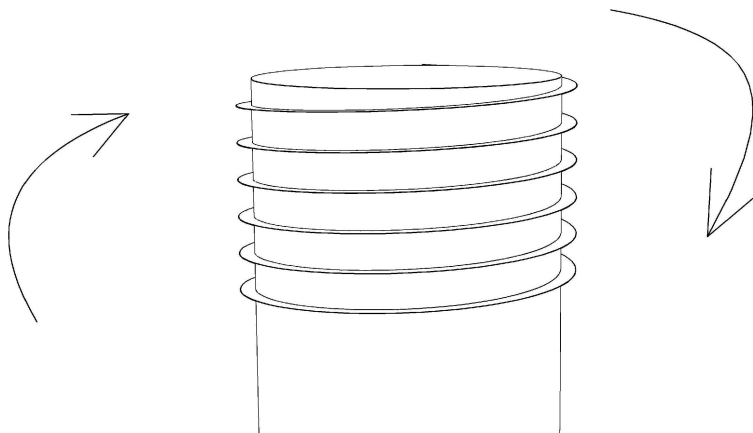
Při ultrazvukovém měření hladiny probíhá také měření teploty v zásobní nádrži a mimo ni. Při vyhodnocování mé bakalářské práce [13] v roce 2016 čidla fungovala pouze týden, a tak nevznikly téměř žádné výsledky. Při měření v roce 2018 čidla měřila téměř celou dobu, tudíž se data dají využít k dalším poznatkům. Například je zde patrná teplotní akumulace vody či jsou zde patrné výkyvy teploty ve stínu měřené v údolí. Teplotní rozdíl mimo nádrž je až 20° C za den, přičemž v nádrži je tento rozdíl pouze cca 15° C.

Druhý tábor byl znovu na Prudkém potoce. Proběhla zde stejná instalace jako minulý rok, tedy trkač o dimenzi 3/4". Zajímavé ale je, že trkač si vedoucí tábora instaloval sám bez mého vědomí. Zvládl to i bez jakékoli informace ode mne, jelikož já sám jsem nevěděl, že si budou trkač znovu zapojovat. Nemám tedy přesnou informaci o čerpaném množství, ale bylo mi sděleno, že trkač fungoval stejně jako v roce 2017.

8.4 Opravy a údržba

Jak už bylo napsané v kapitole 3.2.2, tak veškeré součásti lze snadno vyměnit a také hlavně koupit v téměř jakémkoli instalatérském obchodě či hobby marketu. Toto byla jedna ze základních myšlenek při výrobě vodního trkače. Na rozmontování a smontování celého systému jsou zapotřebí dva stavitelné klíče typu hasák a jeden až dva PE utahovací klíče 16-63 mm viz obrázek 6.3.

Při výměně klapky či jiného komponentu se šroubovým spojem je nutné při instalaci obalit závit teflonovou páskou či těsnicí nití a to po směru utahování, viz obrázek 8.3. Počet omotání se liší s daným výrobcem a hlavně dimenzí potrubí, ale obecně lze říci že 10 omotání bude stačit.



Obrázek 8.3: Směr těsnění šroubového spoje

Pokud vodní trkač instalujeme na krátkou dobu (pár měsíců) například na tábor, je nutné po jeho odstavení provést údržbu před uklizením do skladu. Nejprve trkač opláchneme pitnou vodou a také provedeme výplach celého systému pitnou vodou. Poté odmontujeme přívodní i výtlačné potrubí a trkač osušíme. Jako poslední důležitou věcí je namazání gumových komponentů a také pružiny ve výtlačném ventilu. K mazání gumových sedel, které jsou v tepacím i výtlačném ventilu se používá silikonový olej.

9 Závěr

Závěrem této práce lze říci, že tuto konstrukci vodního trkače ve všech třech zkoušených dimenzích má smysl umísťovat a dále používat na letních táborech.

Pracovní rozsah sestrojených trkačů je měřen při spádové výšce od 0,4 m do 1,0 m, kde už měření končí z důvodu nevyužití na táborech. Tato práce se zabývá využitím trkačů při nízkých spádových výškách do 1,0 m. Pracovní rozsah je podstatně ovlivněn ztrátou třením po délce. Při navrhování je tedy důležité umístit trkač co nejblíže zásobní nádrži.

Čerpané množství vodního trkače o dimenzi 3/4" se pohybuje od 0,005 do 0,021 l/s, u dimenze 1" je to od 0,007 do 0,035 l/s a u trkače 1 1/4" je čerpané množství 0,007 do 0,041 l/s. Z grafů 5.3, 5.5 a 5.7 je patrné, že čerpané množství roste při zvětšující se dimenzi i spádové výšce trkače. Naopak se zvětšující se výtlačnou výškou čerpané množství výrazně klesá.

Účinnosti trkačů narůstají se zvětšujícím se poměrem výtlačné výšky a spádové výšky h/H až do bodu zvratu, který se pohybuje od hodnoty 5 do hodnoty 11. Křivky účinností jednotlivých dimenzí trkačů jsou na grafech v obrázcích 5.4, 5.6 a 5.8. V literatuře [12] je doporučováno dodržet poměr $h/H < 8$. Kolem tohoto poměru byly naměřeny účinnosti trkačů o nejvyšších hodnotách, takže by se dalo říci, že tato teorie byla ověřena laboratorním měřením. Maximální účinnost naměřená na trkači dimenze 3/4" je 0,589, u dimenze 1" je to 0,693 a u trkače dimenze 1 1/4" je účinnost 0,736. Je zde tedy také patrná zvyšující se tendence při růstu dimenze trkače.

Zarážejícím ale je fakt, že u trkačů dimenze 1" a 1 1/4" přesahují křivky účinností účinnost danou literaturou [12], tento jev si nedokáži úplně vysvětlit. Může se jednat o správné výsledky, které jsou avšak lepší než udává literatura [12], nebo by to také mohly být chyby v měření. Jelikož je hodnot tolik, tak si myslím že měření proběhlo v pořádku, a bude se jednat o správné hodnoty účinností. Zůstává tedy otázkou proč jsou tyto účinnosti lepší než udává literatura? Domnívám se, že hodnoty jsou odlišné z důvodu, odlišnosti konstrukce oproti literatuře. Přímo v literatuře [12] se píše, že trkač se spádovou výškou pod 1 m má účinek nejistý, či bude fungovat s velmi malou účinností. To u této konstrukce určitě neplatí, jelikož měření probíhá pouze pod hranicí spádové výšky 1 m a účinnosti jsou ještě lepší než dostupná literatura udává.

Z experimentálního měření nebylo potvrzeno, že použití závaží na tepacím ventilu ovlivní účinnost či čerpané množství vodního trkače. Z grafu na obrázku 5.9 jsou patrné různé odchylky křivek (se závaží, bez závaží), ale tyto odchylky jsou přisuzovány pouze nepřesnostem experimentálního měření. Znamená to tedy, že při použití desetimetřové hadice, nemá umístění závaží na tepací ventil žádný význam.

Při výpočtu ztrát v potrubí bylo zjištěno, že délka výtlačného potrubí má velký vliv na výsledné čerpané množství. Je tedy nutné s tímto aspektem počítat a při volbě lokality pro umístění trkače uvažovat i o délce výtlačného potrubí tak, aby bylo co nejkratší.

Z výsledků ankety v kapitole 2.1 je patrné, že by se vodní trkač dal umístit až na 530 táborů v České republice. Je tedy vhodné tento technický prvek určený k čerpání vody doporučit mezi skautskými středisky v celé republice. Tato práce by sama o sobě mohla sloužit právě k jeho rozšíření, jelikož jsou zde popsány všechny konstrukce, problémy i instalace systému. Celá problematika dopravy vody na konkrétním táboře by se dala vyřešit pomocí této práce a také získáním dalších informací z mé bakalářské práce [13] na téma *Zásobení skautského tábora vodním trkačem*.

Jelikož modelování vtokového objektu je už nad rámec této práce, a modelování objektu by bylo vhodné téma na téměř celou diplomovou práci, tak jsem se touto kapitolou zaobíral jen okrajově. Vtokový objekt byl namodelován v programu Flow 3D, kde byl navržen pouze jeden typ konstrukce. Výsledky této konstrukce naznačují, že u trkačů osazených v nádrži nemá velký smysl dělat vtokový objekt, jelikož voda v nádrži proudí pouze malou rychlostí a většina částic se usadí už v nádrži a k potrubí se vůbec nedostane. Snížení hladiny taktéž nenastane. Takto navržená konstrukce je pro řešení tohoto konkrétního vtoku vhodná. Další rozšíření této problematiky by se mohlo zabývat modelováním různých tvarů vtokových objektů umístěných na různých lokalitách a stanovovat tak, jak dané parametry ovlivní zanášení trkače a dopravované množství vody. Rozvoj by také mohl pokračovat v navržení filtrace před zásobní nádrží.

O vodní trkače se zajímám už téměř 3 roky, a tak jsem schopný objektivně porovnat a zhodnotit jejich funkčnost. Myslím si že, vodní trkač je velice vhodné zařízení pro dopravu vody na táborech i jinde v přírodě. Hlavní problémy mohou nastat při zavzdušnění systému, tomuto se dá ale předejít

při správném odvzdušnění. Popis jak odvzdušnit systém je v kapitole 5.6.2. Z grafů na obrázcích 8.1 a 8.2 lze zpozorovat zlepšení v roce 2018 oproti roku 2016. Toto výrazné zlepšení je přisuzované právě zavzdušnění systému. Další nedostatky by se daly odstranit použitím vymodelovaného vtokového objektu, jelikož by do přírodního potrubí nenatékalo tolik nečistot a trkač by tak fungoval lépe a hlavně by čerpal čistější vodu. Důležité je se o trkač řádně starat a vždy před použitím prohlédnout jeho stav.

Budu velice rád, když se technický prvek typu vodní trkač rozšíří na více táborů v České republice a bude tam řádně fungovat a odvádět svou práci. Rád bych i nadále pokračoval v pozorování tohoto zajímavého technického vynálezu a zkoušel jej dále zdokonalovat a šířit do povědomí mezi ostatní lidi.

Seznam obrázků

2.1	Graf procentuálního vyjádření vlastnictví táborového materiálu	3
2.2	Graf míst, kde tábory odebírají pitnou vodu	4
2.3	Graf míst, kde tábory odebírají užitkovou vodu	5
2.4	Graf vyjadřující techniku získávání užitkové vody pro tábor	5
2.5	Graf ukazující kolik táborů má k dispozici elektrickou energii	6
2.6	Graf vzdáleností táborů od vodního toku	7
3.1	Schéma vodního trkače	15
3.2	Výtlačný ventil	16
3.3	Tepací ventil	16
3.4	Výkres vodního trkače 3/4"	17
3.5	Vodní trkač 3/4"	18
3.6	Výkres vodního trkače 1"	19
3.7	Vodní trkač 1"	20
3.8	Výkres vodního trkače 1 1/4"	21
3.9	Vodní trkač 1 1/4"	22
5.1	Tepací ventil bez úpravy (vlevo) a se závitovou tyčí na klapce (vpravo)	24
5.2	Laboratorní měření	25
5.3	Graf závislosti množství čerpané vody na výtlačné výšce při různých spádových výškách na trkači o dimenzi 3/4"	26
5.4	Graf závislosti účinnosti trkače o dimenzi 3/4" na poměru výšek	26
5.5	Graf závislosti množství čerpané vody na výtlačné výšce při různých spádových výškách na trkači o dimenzi 1"	27
5.6	Graf závislosti účinnosti trkače o dimenzi 1" na poměru výšek	28
5.7	Graf závislosti množství čerpané vody na výtlačné výšce při různých spádových výškách na trkači o dimenzi 1 1/4"	28
5.8	Graf závislosti účinnosti trkače o dimenzi 1 1/4" na poměru výšek	29
5.9	Porovnání čerpaného množství 1 1/4" vodního trkače s použitím závaží a bez něj	30
5.10	Ztráta třením na přívodním potrubí	32
5.11	Ztráta třením na výtlačném potrubí	33
5.12	Teoretická ztráta třením na výtlačném potrubí trkače dimenze 3/4"	34
5.13	Teoretická ztráta třením na výtlačném potrubí trkače dimenze 1"	34
5.14	Teoretická ztráta třením na výtlačném potrubí trkače dimenze 1 1/4"	35
6.1	Vodopád na menším toku [7]	36
6.2	Dřevěný spádový stupeň [8]	37
6.3	PE utahovací klíč 16-63 mm	37
7.1	Vtokový objekt	39
7.2	Okrajové podmínky	40
7.3	3D pohled - rychlosti proudění	42
7.4	Řez hladinou v ose Y-Z	42
7.5	Rychlostní pole kolem vtokového objektu v ose X-Y	43
8.1	Graf skutečného plnění a prázdnění zásobní nádrže (Trusovický potok 2016)	44
8.2	Graf skutečného plnění a prázdnění zásobní nádrže (Trusovický potok 2018)	45
8.3	Směr těsnění šroubového spoje	46

Seznam tabulek

2.1	Srovnání technik dopravy vody	8
3.1	Rychlost šíření tlakové vlny v potrubí	13
3.2	Rozpočet 3/4" vodního trkače	18
3.3	Rozpočet 1" vodního trkače	20
3.4	Rozpočet 1 1/4" vodního trkače	22

Literatura

- [1] Blažek, J.: *Vodní trkač*. patent č. 241295, 1985.
- [2] Boor, B.; Patočka, C.; Kunštátský, J.: *Hydraulika pro vodohospodářské stavby: Celost. učebnice pro vys. školy*. SNTL, 1968.
- [3] Čestmír Štoll, M. H., Sanislav Kratochvíl: *Využití vodní energie*. SNTL, 1977.
- [4] Green&Carter: A brief history. 2013.
URL http://www.greenandcarter.com/main/about_us.htm
- [5] Jan Jandora, M. S., Vlastimil Stara: *Hydraulika a hydrologie*. Akademické nakladatelství cerm, s.r.o. Brno, 2011.
- [6] Jandora, J.: *Matematické modelování ve vedním hospodářství*. VUT v Brně, 2008.
- [7] Janoška, M.: Velkolepé přírodní divadlo Nýznerovských vodopádů. Tip na hezký výlet. 2012.
URL https://www.idnes.cz/cestovani/tipy-na-vylet/nyznerovske-vodopady.A121107_111802_tipy-na-vylet_tom
- [8] Knap, J.: Práh dřevěný. 2016.
URL <https://www.zachranme-lipana.cz/prah-dreveny-01-21>
- [9] Laika, V.: Vodní trkač.
URL <http://mve.energetika.cz/jineturbiny/trkac.htm>
- [10] Mára, J.: *Rotační trkač*. patent č. 22165, 2011.
- [11] PFISTER&LANGHANSS: *Vodní trkač s nárazným ventilem, obráceným dolu*. patent č. 21894, 1925.
- [12] Pivoda, B.: *Čerpací stanice*. SNTL, 1978.
- [13] Růžička, J.: *Zásobení skautského tábora vodním trkačem*. Diplomová práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb, 2017.
- [14] Junák český skaut, z. s.: Fakta a čísla. 2018.
URL <https://www.skaut.cz/skauting/fakta-a-cisla/>
- [15] Vevera, J.: *Trkač s odděleným čerpáním*. patent č. 250440, 1988.
- [16] Zavadil, E.: *Vodní trkač*. patent č. 54683, 1934.