



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

STANOVENÍ VISKOZITY PRO RŮZNÉ TYPY SPLAŠKOVÝCH VOD

DETERMINATION OF THE VISCOSITY OF VARIOUS TYPES OF WASTEWATER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PAVLA GLOMBOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. PETR HLUŠTÍK, Ph.D.

BRNO 2015



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 vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant	Bc. Pavla Glombová
Název	Stanovení viskozity pro různé typy splaškových vod
Vedoucí diplomové práce	Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce	31. 3. 2014
Datum odevzdání diplomové práce	16. 1. 2015
V Brně dne 31. 3. 2014	

.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] MALÝ, Josef; MALÁ, Jitka. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: Ardec s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [2] PITTER, Pavel. Hydrochemie. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [3] DRTIL, Miloslav, HUTNAN, Michal. Návrh a prevádzka vybraných technológií čistiarní odpadových vôd. Bratislava : VÚVH, 1999.
- [4] TUČEK, Ferdinand, CHUDOBA Jan, KONÍČEK Zdenek: Základní procesy a výpočty v technologii vody, SNTL 1988, Praha
- [5] Vybraná čísla časopisů SOVAK a Vodní hospodářství vztahujícími se k uvedené problematice

Zásady pro vypracování

Student v rešeršní části práce definuje pojmy viskozita a způsoby jejího stanovení, určí závislosti ve vztahu k navrhování stokových systémů a čistíren odpadních vod. V praktické části práce student odebere odpadní vodu na vytipovaných lokalitách z gravitační, tlakové i podtlakové kanalizace a určí její viskozitu. Vizkozitu graficky i tabelárně vyhodnotí, určí závislosti naměřené viskozity a Reynoldsova čísla pro návrh základních parametrů stoky.

Předepsané přílohy

Licenční smlouva o zveřejňování vysokoškolských kvalifikačních prací

.....
Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKTY A KLÍČOVÁ SLOVA

Cílem diplomové práce je popis viskozity jako fyzikální vlastnosti kapalin, dále popis problematiky navrhování různých typů stokových sítí (tlakové, podtlakové a gravitační kanalizace), experimentální stanovení viskozit odpadních vod a porovnání těchto hodnot s hodnotami v praxi běžně užívanými.

V praktické části byly provedeny odběry vzorků odpadních vod z různých typů kanalizace a různých lokalit. Na nich byl proveden chemicko-biologický rozbor, stanovena hustota a pomocí rotačního viskozimetru určena dynamická viskozita odpadních vod pro různé teploty. Naměřená data jsou zpracována a vyhodnocena. Na závěr je proveden praktický výpočet týkající se navrhování kanalizačních stok s běžně uvažovanými hodnotami viskozit a hustot, dále s naměřenými daty a tyto výpočty jsou vzájemně porovnány.

Klíčová slova

kinematická viskozita, dynamická viskozita, viskozimetr, BSK₅, teplota, voda, splaškové vody,

Abstract

The aim of this diploma thesis is a description of viscosity as a physical characteristic of liquids, next a description of projecting different types of sewer systems (pressure sewer system, vacuum sewer system and gravity sewer system). There was a range of density and viscosity of wastewater experimentally determined. These values were compared with ordinary values used in practice.

The practical part of this work consists of sampling wastewater from different types of sewer systems and various localities. Chemical-biological analysis was realized on those samples with defined density, then dynamic viscosity was measured by the rotary viscometer for various temperatures. Measured data are evaluated. Finally, a calculation related to the design of sewers was made.

Keywords

kinematic viscosity, dynamic viscosity, viscometer, BOD₅, temperature, water, wastewater

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

GLOMBOVÁ, Pavla. *Stanovení viskozity pro různé typy splaškových vod*. Brno, 2015. 88 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Hlušík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 16. 1. 2015

.....

podpis autora
Pavla Glombová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu své diplomové práce, panu Ing. Petru Hlušítkovi, Ph.D., za jeho ochotu, věcné připomínky, podněty a rady při psaní této práce.

Dále bych chtěla poděkovat všem provozovatelům a zaměstnancům čistíren odpadních vod, kteří byli vstřícní a nápomocní při odběrech vzorků odpadních vod. Také děkuji Josefovi Jinkovi za pomoc při získávání vzorků, především za zajištění dopravy do vybraných lokalit.

OBSAH

1	ÚVOD	3
2	LEGISLATIVA A NORMY	4
2.1	Právní předpisy	4
2.1.1	Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, o vodní politice	4
2.1.2	Směrnice rady 91/271/ES, o čištění městských odpadních vod.....	4
2.1.3	Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí	4
2.1.4	Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách.....	4
2.1.5	Zákon č.274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích	5
2.1.6	Nařízení vlády ČR č. 61/2003 Sb.	5
2.2	Technické normy	6
2.2.1	ČSN 75 6101	6
2.2.2	ČSN EN 752	6
2.2.3	ČSN EN 1091 (75 6112).....	6
2.2.4	ČSN EN 1671 (75 3111).....	7
2.2.5	DWA-A 116	7
2.2.6	ČSN s tematikou viskozimetrů	7
3	VISKOZITA KAPALIN	9
3.1	Kapaliny	9
3.1.1	Newtonovské kapaliny.....	9
3.1.2	Nenewtonovské kapaliny	9
3.2	Viskozita newtonovských kapalin	10
3.2.1	Dynamická viskozita	11
3.2.2	Kinematická viskozita	12
3.2.3	Reynoldsovo kritérium	13
3.2.4	Stanovení viskozity – viskozimetry	15
4	ODPADNÍ VODA A STOKOVÉ SÍTĚ	17
4.1	Odpadní voda a její složení	17
4.1.1	BSK ₅	18
4.1.2	CHSK	19
4.2	Obecně o stokových sítích	20
4.2.1	Historie	20
4.2.2	Stoková soustava	21
4.2.3	Materiály stokové sítě a tvary profilu	21
4.3	Gravitační kanalizace	22
4.4	Tlaková kanalizace	23
4.5	Podtlaková (vakuová) kanalizace	26
5	PRAKTICKÁ ČÁST	32
5.1	Postup měření.....	32

5.1.1	Teorie chyb měření [23]	33
5.1.2	Odběry	35
5.1.3	Chemický rozbor	35
5.1.4	Hustota.....	36
5.1.5	Viskozimetr a termostat	37
5.1.6	Dynamická viskozita	40
5.1.7	Kinematická viskozita	40
5.2	Odebrané vzorky	41
5.2.1	Tlaková kanalizace	41
5.2.2	Podtlaková kanalizace	43
5.2.3	Gravitační kanalizace.....	44
5.3	Výsledky a vyhodnocení	45
5.3.1	Hustoty	45
5.3.2	Chemický rozbor	46
5.3.3	Viskozity.....	48
5.3.4	Souvislost dyn. viskozity a BSK ₅	62
5.4	Implementace monitoringu v praxi.....	66
5.4.1	Hustota.....	67
5.4.2	Viskozita.....	68
6	ZÁVĚR.....	72
7	POUŽITÁ LITERATURA	74
	SEZNAM TABULEK.....	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	84
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	86
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	87
	SUMMARY.....	88

1 ÚVOD

Voda je základem života – s touthle větou se již každý z nás určitě setkal, a zřejmě málokdo by ji popíral. Voda spolu s jinými elementy (např. se vzduchem) tvoří základní podmínky pro existenci života na Zemi. Je také základní stavební látkou živých těl. Většina organismů obsahuje cca 60 % vody, některé dokonce až 99 %. [108], [62]

Voda je chemická sloučenina vodíku a kyslíku. Při běžných hodnotách teploty a tlaku se jedná o bezbarvou, čirou kapalinu bez zápachu. V přírodě ji najdeme ve třech skupenstvích: v pevném jako např. led a sníh, v kapalném jako vodu a v plynném jako vodní páru. Mezi základní fyzikální vlastnosti kapalin (a tedy i vody) patří mimo jiné hustota, měrná tíha kapaliny, soudržnost, stlačitelnost, tepelná roztažnost, kapilarita, tepelná vodivost, povrchové napětí a viskozita. [1], [4]

Viskozita je vlastnost, kterou se tato práce převážně zabývá. Jedná se o vnitřní odpor tekutiny (neboť viskozita se může stanovit i u plynů) proti smykové deformaci. Synonymem pro viskozitu je také vazkost. Rozlišujeme dynamickou a kinematickou viskozitu, přičemž kinematická viskozita je závislá na dynamické viskozitě látky a její hustotě. [4]

Studiem vnitřní reakce látek (pevných i tekutých) na působení vnějších sil, resp. jejich deformovatelností a tokovými vlastnostmi, se zabývá vědní obor nazývaný reologie. Stanovování viskozity je také důležité pro mnoho průmyslových oborů, např. potravinářství (převážně v nápojovém odvětví), nebo v chemickém průmyslu – zde uveďme alespoň odvětví adhezních činidel, lepidel, barvy, laky, detergenty, emulze, oleje a kosmetický průmysl. Viskozita je měřena pomocí přístrojů – viskozimetrů. [85]

Nakládají-li lidé s vodami tak, že se mění nejen jakost těchto vod, ale i jejich fyzikální či chemické vlastnosti, kdy může docházet i k jejich znečišťování, vznikají vody odpadní. První zmínky o tom, že se lidé snažili odvádět odpadní vody, nacházíme již r. 2600 př. Kr. u semitských Akadů. Kolem roku 2510 př. Kr. v Mezopotámii dokonce již budovali speciální kanalizační systémy na odvádění odpadních vod. V současné době je obecně zodpovědné hospodaření s vodami jedním z nejdůležitějších úkolů společnosti. Navrhují se různé stokové soustavy a stokové systémy. Neustále se vyvíjejí technologie úpravy i čištění vod. Hledají se optimální způsoby hospodaření s vodami. [35], [36]

V praktické části této práce byla stanovována viskozita odpadních vod při různých teplotách (10 – 80 °C) pomocí rotačního viskozimetru. Byly vyhodnocovány závislosti na teplotě či na BSK₅ – ukazateli obsahu organických biologicky rozložitelných látek ve vodě. Odpadní vody byly odebírány z různých typů kanalizace – gravitační, tlakové a podtlakové. Dále byl proveden jejich chemicko-biologický rozbor a stanoveny jejich hustoty. Cílem této praktické části je určení rozmezí, v jakých se hodnoty viskozit odpadních vod pohybují a jaký mají vliv na navrhování stokových systémů.

Cíle práce

Cílem diplomové práce je tedy popis viskozity jako fyzikální vlastnosti kapalin, dále popis problematiky navrhování různých typů stokových sítí a experimentální stanovení viskozit a hustoty odpadních vod. Dále je cílem tato data vyhodnotit, určit případné závislosti a následně je porovnat s hodnotami v praxi běžně užívanými.

2 LEGISLATIVA A NORMY

Kapitola se zaměří na stručný přehled platné legislativy v České republice (v návaznosti na evropskou) vztahující se obecně k odpadním vodám a k navrhování stokových systémů. Také zde budou zmíněny související technické normy.

Oblast spadá převážně do resortu ministerstev životního prostředí (MŽP), zemědělství (MZe) a zdravotnictví (MZ).

2.1 PRÁVNÍ PŘEDPISY

V této kapitole si přiblížíme základní právní předpisy týkající se dané oblasti. Uvedeme si legislativu předepisovanou EU i konkrétní předpisy ČR.

2.1.1 Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2000/60/ES, o vodní politice

Jedná se o základní právní předpis Evropského parlamentu a Rady ustavující rámec pro činnost Společenství v oblasti vodní politiky členských států. Je implementována do českých právních předpisů, např. zákon č. 254/2001 Sb. (kap. 2.1.4).

2.1.2 Směrnice rady 91/271/ES, o čištění městských odpadních vod

„Tato směrnice se týká odvádění, čištění a vypouštění městských odpadních vod a (...) odpadních vod z určitých průmyslových odvětví.“

„Cílem této směrnice je ochrana životního prostředí před nepříznivými účinky vypouštění výše uvedených odpadních vod.“ [69]

Vymezuje některé termíny, např.:

Městské odpadní vody jsou splašky nebo směs splašků, průmyslových odpadních vod nebo dešťových vod.

Stoková soustava je kanalizační systém shromažďující a odvádějící městské odpadní vody.

Evropské právní předpisy jsou implementovány do českých právních předpisů (viz např. kap. 2.1.5, 2.1.6)

2.1.3 Zákon č. 17/1992 Sb., o životním prostředí

Stanovuje *„základní zásady ochrany životního prostředí a povinnosti právnických a fyzických osob při ochraně a zlepšování stavu životního prostředí a při využívání přírodních zdrojů, vychází přitom z principu trvale udržitelného rozvoje.“ [66]*

2.1.4 Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách

„Účelem zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. (...) též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů.“ [64]

Upravuje právní vztahy (např. k povrchovým a podzemním vodám, vztahy osob k využívání těchto vod). (dle § 1 [64])

Definuje kanalizační stoky a objekty jako vodní díla, věnuje se rozborům a kontrole odpadních vod atd. [64]

2.1.5 Zákon č.274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích

Celým názvem Zákon č. 274/2001 Sb., Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích).

„Zákon upravuje některé vztahy vznikající při rozvoji, výstavbě a provozu vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě, přípojek na ně, jakož i působnost orgánů územních samosprávných celků a správních úřadů na tomto úseku.“ [67]

Zákon se vztahuje na vodovody a kanalizace, které trvale využívá alespoň 50 fyzických osob, nebo kde je dosahována průměrná denní produkce z ročního průměru pitné nebo odpadní vody za den 10 m³ (a více) či provozně související vodovod a kanalizace. [67]

Také definuje některé pojmy [67]:

Kanalizace je provozně samostatný soubor staveb a zařízení zahrnující kanalizační stoky k odvádění odpadních a srážkových vod, kanalizační objekty včetně ČOV, jakož i stavby k čištění OV před jejich vypouštěním do kanalizace.

Provozně související kanalizací je kanalizace, která je propojena s kanalizací jiného vlastníka.

Kanalizační přípojka je samostatnou stavbou tvořenou úsekem potrubí od vyústění vnitřní kanalizace stavby nebo odvodnění pozemku k zaústění do stokové sítě. Není vodním dílem.

Dále se zákon zabývá plánem rozvoje vodovodů a kanalizací, ochrannými pásmy, evidencí, provozováním, a obecnými technickými požadavky na výstavbu. Např. říká, že kanalizace musí být provedena jako vodotěsná konstrukce, která je chráněna proti zamrznutí a proti poškození vnějšími vlivy.

2.1.6 Nařízení vlády ČR č. 61/2003 Sb.

Celým názvem Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.

Je měněno novějším předpisem Nařízením vlády ČR 23/2011 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech, ve znění nařízení vlády č. 229/2007 Sb.

Stanovuje ukazatele a hodnoty přípustného znečištění odpadních vod. Zabývá se náležitostmi povolení k vypouštění OV, stanovuje emisní limity, emisní standardy pro vypouštěné průmyslové vody, četnosti odběrů vzorků vypouštěných OV apod. [68]

Vymezuje termíny jako [68]:

Městské odpadní vody jsou odpadní vody vypouštěné z domácností nebo služeb, které vznikají jako produkt lidského metabolismu a činností v domácnostech (splašky), popřípadě se jedná o směs s průmyslovými odpadními vodami nebo se srážkovými

vodami.

Emisní standardy jsou nejvýše přípustné hodnoty ukazatelů znečištění odpadních vod.

2.2 TECHNICKÉ NORMY

V této kapitole je uveden základní přehled technických norem souvisejících s tématem stokování, stokových systémů a viskozimetrů.

2.2.1 ČSN 75 6101

Celým názvem ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky.

Stanovuje „*podmínky pro navrhování, posuzování, provádění a sanaci gravitačních stokových sítí a kanalizačních přípojek, včetně objektů na nich.*“ [72]

Norma platí především pro kanalizaci pro veřejnou potřebu a odvodnění veřejných komunikací, také pro navrhování a provádění dešťových vpustí sloužících k odvádění srážkových vod z pozemních komunikací a jiných venkovních ploch do stokové sítě. Užívá se i pro navrhování vnitřních příčných profilů a rozměrů stok městských a průmyslových stokových sítí jednotné i oddílné stokové soustavy bez ohledu na stavební materiál a způsob výstavby nebo sanace stok.

2.2.2 ČSN EN 752

Celým názvem ČSN EN 752 odvodňovací systémy vně budov.

„*Stanovuje cíle odvodňovacích systémů vně budov. Stanovuje funkční požadavky k dosažení těchto cílů, jakož i zásady strategie a politiky (postupů) vztahených na plánování, navrhování, provádění, obsluhu a údržbu a sanaci.*“ [73]

Norma platí pro odvodňovací systémy provozované většinou jako gravitační, od místa, kde odpadní vody opouštějí budovu, střešní odvodňovací systém nebo odvodňované zpevněné plochy, do místa, kde jsou odpadní vody vyústěny do ČOV nebo vodního recipientu.

Definuje některé pojmy vztahující se k tématu, např.:

Jednotná stoková soustava je soustava ke společnému odvádění znečištěných a srážkových povrchových vod jednou sběrnou soustavou.

Splaškové (domovní) odpadní vody jsou vody odváděné z koupelen, kuchyní, umyvadel, WC a podobných zařízení.

Odvodnění, odvodňovací systém je přirozený nebo umělý systém sloužící k odvádění vody z daného povodí.

Gravitační systém je odvodňovací systém, kde k proudění dochází vlivem tíže a převážně s volnou hladinou.

Oddílná soustava je systém s obvykle dvěma stokami, jedna odvádí znečištěné a druhá srážkové odpadní vody.

2.2.3 ČSN EN 1091 (75 6112)

Celým názvem ČSN EN 1091 Venkovní podtlakové systémy stokových sítí.

„Stanovuje požadavky na funkci venkovních podtlakových systémů stokových sítí určených pro shromažďování a odvádění splaškových odpadních vod nezávisle na použitých materiálech systémů.“ [70]

Nacházejí se zde doporučení pro navrhování a výstavbu.

Definuje některé pojmy, jako např.:

Sběrná šachta je tvořena sběrnou jímkou a šachtou pro sací ventil.

Sběrná jímka je prostor ve sběrné šachtě, který slouží ke shromažďování přítoku splaškových (domovních) odpadních vod až do takového množství, které otevírá sací ventil.

2.2.4 ČSN EN 1671 (75 3111)

Celým názvem ČSN EN 1671 Venkovní tlakové systémy stokových sítí.

„Stanovuje požadavky na funkci, navrhování, provádění, obsluhu a údržbu venkovních systémů stokových sítí odvádějících odpadní vody a provozovaných pod tlakem, včetně požadavků na postupy přejímek a zkoušek.“ [71]

Norma není určena pro odvádění dešťových vod. Stanovuje pouze minimální požadavky na tlakové sítě, ovšem každá síť musí být navržena zcela individuálně. [71]

Definuje některé pojmy, jako např.:

Sběrná jímka je místo, kde odpadní vody přitékají gravitačně.

Zdrojem tlaku rozumíme čerpadlo, které je osazené u sběrné jímky a které vyvozuje tlak pro dopravu OV potrubním systémem. Na vybraných místech mohou být napojeny automatické tlakové stanice (ATS) pro doplnění tlakového vzduchu do potrubního systému.

Předávací bod je místo, kde celkový průtok z tl. systému při atmosférickém tlaku vytéká, např. ukliďovací kanalizační šachta, gravitační stoka, čerpací jímka.

2.2.5 DWA-A 116

Jedná se o německou normu, s názvem DWA-A 116-1 Besondere Entwässerungssysteme Teil 1: Unterdruck entwässerungssysteme außerhalb von Gebäuden.

Pro dimenzování trubní sítě a podtlakové stanice se v ČR nevyskytují žádné normy či doporučení. Projektanti provádějí výpočty dle interních směrnic firem či je právě možné použít pracovní list DWA-A 116-1. [52]

2.2.6 ČSN s tematikou viskozimetrů

Jedná se o následující soubor platných norem:

- a) ČSN 25 7901 Skleněné kapilární viskozimetry. Společná ustanovení
- b) ČSN 25 7910 Skleněný kapilární viskozimetr podle Ubbelohdeho. Rozměry

Normy „ČSN 25 7911 Skleněný kapilární viskozimetr U pro neprůzračné kapaliny. Rozměry“; „ČSN 25 7912 Skleněný kapilární viskozimetr podle Cannona-Fenskeho. Rozměry“ a „ČSN 25 7913 Skleněný kapilární viskozimetr podle Pinkeviče. Rozměry“ byly zrušeny.

ČSN 25 7901

Norma definuje základní pojmy jako např. dynamická viskozita, kinematická viskozita a způsob jejich výpočtu, dále definuje např. Newtonskou kapalinu. Dále se také zabývá samotnými viskozimetry – požadavky na konstrukci, provedení, označování a zkoušení.

Kupříkladu říká, že označení viskozimetru je tvořeno údaji oddělenými pomlčkami v tomto pořadí: a) etanolový viskozimetr, laboratorní, provozní; b) číselná hodnota jmenovité konstanty v $\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-2}$; c) třídící značka rozměrové normy.

3 VIZKOZITA KAPALIN

3.1 KAPALINY

Kapalina neboli kapalná látka je jedním z typů skupenství látek. Částice kapaliny jsou relativně blízko sebe, ale nejsou vázány v pevných polohách a mohou se pohybovat v celém objemu. [51]

Tedy kapaliny jsou látky, které se účinkem i malé vnější síly trvale deformují – tečou. Nemají vlastní stálý tvar, zaujímají tvar nádoby. Působí na ně gravitační síla, tedy vyplňují spodní část nádoby a vytvářejí v ní hladinu. Rychlost toku kapaliny závisí na vnějších i vnitřních silách. Zrychluje se, zvětšuje-li se vnější síla a jsou-li malé vnitřní síly, které působí proti směru toku. Vnitřní síly (vnitřní tření) vznikají v kapalině jako důsledek tepelného pohybu a mezimolekulárních přitažlivých sil. [51], [10]

Při laminárním proudění reálné tekutiny vzniká v důsledku mezimolekulárních sil ve stykové ploše dvou vrstev pohybujících se různou rychlostí u tečné napětí τ . Podle Newtona je toto tečné napětí přímo úměrné gradientu rychlosti du/dy , více o tomto viz kap. 3.2. [10] Kapaliny, pro něž uvedená přímá úměrnost platí, se nazývají newtonovské, a kapaliny, kde tento Newtonův zákon viskozity neplatí, se nazývají nenewtonovské.

Pro popis reálných kapalin se zavádějí různé zjednodušující předpoklady. Nejrozsáhlejší zjednodušení se uvažují pro model *ideální kapaliny*, která je na rozdíl od skutečných kapalin, zcela nestlačitelná. Dále je objemově stálá při změnách teploty a hlavně neviskózní, tedy v ní nepůsobí žádná smyková napětí. Tyto předpoklady se používají pro zkoumání mechanických vlastností kapalin. [1], [51]

Další idealizací skutečné kapaliny je tzv. *vazká (viskózní) kapalina*. Není stlačitelná, ale existuje v ní vnitřní tření. [51]

U *nestlačitelné kapaliny* zůstává objem i hustota konstantní, u *kapaliny stlačitelné* je hustota závislá na tlaku kapaliny. [51]

3.1.1 Newtonovské kapaliny

Jak již bylo uvedeno výše, jsou to takové kapaliny, pro něž platí tzv. Newtonův zákon viskozity, viz kap. 3.2.

Vykazují vlastnosti reálných kapalin – tedy jsou to kapaliny s vnitřním třením. Toto tření je závislé na teplotě, tlaku a na chemickém složení kapaliny. [11]

Mezi newtonovské kapaliny patří látky jako např. voda, líh, benzen a jiné převážně nízkomolekulární látky.

3.1.2 Nenewtonovské kapaliny

Některé reálné kapaliny reagují na vložení smykové napětí jinak, než jak je popsáno v Newtonově zákoně viskozity. Platí zde analogický vztah se vztahem (3.1), ovšem zavádí se veličina tzv. *zdánlivá viskozita*, která není látkovou konstantou, ale závisí na rychlosti deformace nebo tečném napětí. [15]

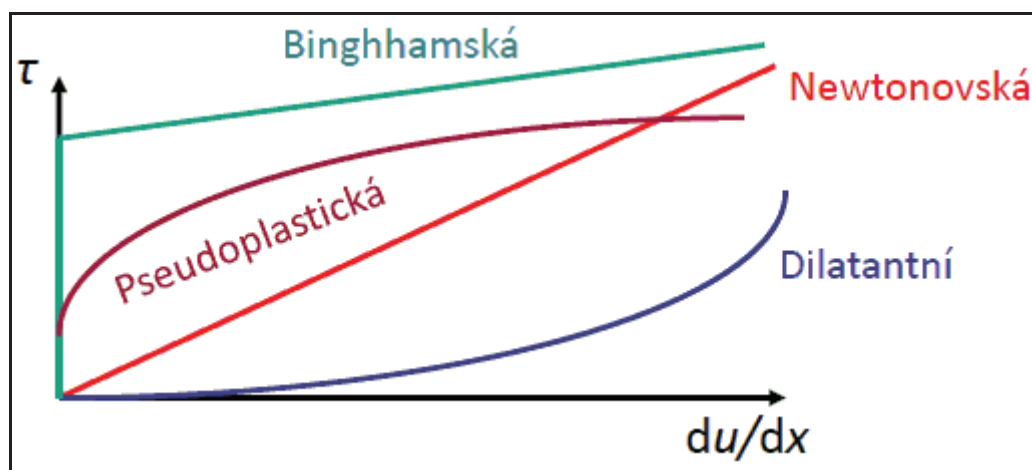
Nenewtonovské viskozitní chování vykazují např. roztoky a taveniny makromolekulárních látek jakými jsou laky, asfalty, různé tělní kapaliny, pasty apod., různé směsi užívané ve stavebnictví a v potravinářství (např. škroby), kaly a řada dalších látek. [13]

Základní dělení těchto kapalin dle [14]:

1. Pseudoplastické kapaliny - zdánlivá viskozita se s rostoucím gradientem rychlosti zmenšuje. Patří zde např. roztoky a taveniny polymerů, roztoky mýdel a detergentů atd.
2. Dilatantní kapaliny – zdánlivá viskozita s rostoucím gradientem rychlosti roste. Chovají se tak některé vysoce koncentrované suspenze např. v PVC plastisolech.
3. Binghamské kapaliny – k toku dochází až po překročení prahové hodnoty smykového napětí, tzv. meze toku. Řadí se zde např. koncentrované odpadní a průmyslové kaly, kašovitě suspenze křídly a vápna aj.

Prahová hodnota smykového napětí se ovšem může vyskytovat i u pseudoplastických a dilatantních kapalin. Typické plastické reakce mají např. zubní pasty, čokoláda.

Zdánlivá viskozita může záviset také na době namáhání. [16]



Obr. 3.1 Newtonské a nenewtonské kapaliny [16]

3.2 VIZKOZITA NEWTONOVSKÝCH KAPALIN

Viskozita je fyzikální veličina, která charakterizuje vnitřní tření částic a vrstev kapaliny při pohybu této kapaliny. V reálných kapalinách totiž vznikají smyková (tangenciální) napětí τ , a to právě v důsledku vnitřního tření elementárních částic. Dle Newtona lze smykové napětí τ vyjádřit vztahem:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad [\text{Pa}] \quad (3.1)$$

kde μ ... součinitel dynamické viskozity [$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$]=[Pa·s]

du ... změna rychlosti mezi 2 vrstvami proudící kapaliny vzdálenými o dy [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

dy ... vzdálenost mezi 2 vedle sebe se pohybujícími vrstvami kapaliny [m]

du/dy ... gradient rychlosti [s^{-1}]

Kapaliny, pro něž platí přímá úměrnost mezi smykovým napětím a gradientem rychlosti (tedy vztah 3.1) se nazývají newtonovské.

Podle Newtona vnitřní tření v kapalinách nezávisí na tlaku v kapalině.

[1], [2], [3], [84]

Čím je větší přitažlivá síla mezi částicemi kapaliny, tím má kapalina větší viskozitu. Větší viskozita zpomaluje pohyb kapaliny nebo těles v kapalině. [8]

Jelikož dochází ke tření, jedná se o mechanismy, kterými se kinetická energie pohybujících se objektů mění na energii tepelnou. Díky viskozitě je vždy zapotřebí určité síly, aby se jedna vrstva tekutiny pohybovala po druhé. Všechny tekutiny, tedy kapaliny a plyny, mají viskozitu, ale kapaliny jsou více viskózní než plyny. [12]

Přehled jednotlivých popisovaných veličin viz Tab. 3.1.

Tab. 3.1 Přehled fyz. veličin

VELIČINA	OZNAČENÍ	JEDNOTKY
Dynamická viskozita	μ (η)	$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$; $\text{Pa}\cdot\text{s}$
Kinematická viskozita	ν	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
Smykové napětí	τ	Pa

3.2.1 Dynamická viskozita

Součinitel dynamické viskozity μ vyjadřuje sílu vnitřního tření na jednotkové dotykové ploše dvou vedle sebe se pohybujících vrstev kapaliny při jednotkovém gradientu rychlosti. [2]

Pro ideální kapalinu by byla viskozita nulová, jelikož v ní nepůsobí smyková napětí. [1], [84]

Jednotkou dynamické viskozity v základních jednotkách soustavy SI je $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$, v odvozených jednotkách SI je to $\text{Pa}\cdot\text{s}$. Dříve se dyn. viskozita udávala také v poisech P nebo centipoisech cP. Platí, že $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P}$. [5]

Dynamická viskozita kapalin je silně závislá na teplotě. Se vzrůstající teplotou se viskozita snižuje, viz Tab. 3.3. [1], [6] (Pozn.: pro plyny toto platí opačně – viskozita se zvětšuje se vzrůstající teplotou.) [12]

Také závisí na tlaku – vzrůstá se vzrůstajícím tlakem, ale tato závislost je tak minimální, že se v praxi zanedbává. [2], [6]

Pro označení dynamické viskozity se v literatuře používá i označení symbolem η .

V Tab. 3.2 můžeme porovnat hodnoty dynamické viskozity pro několik různých kapalin.

Tab. 3.2 Dynamická viskozita některých kapalin [6], [7]

TEPLOTA T [°C]	DYN. VISKOZITA μ [Pa·s] · 10 ⁻³			
	Voda	Benzen	Etanol	Kys. sírová
0	1,79	0,90	1,79	46,45
25	0,90	0,61	1,09	20,06
50	0,55	0,44	0,70	9,86

Vztah (3.1) se dá obecně vyjádřit i pomocí *smykové rychlosti* γ' [s⁻¹] a tedy [6]:

$$\mu = \frac{\tau}{\gamma'} \quad [\text{Pa} \cdot \text{s}] \quad (3.2)$$

3.2.2 Kinematická viskozita

Pro výpočty hydrodynamických vztahů se častěji používá součinitel kinematické viskozity ν . Jedná se o podíl dynamické viskozity μ kapaliny a hustoty kapaliny ρ :

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.3)$$

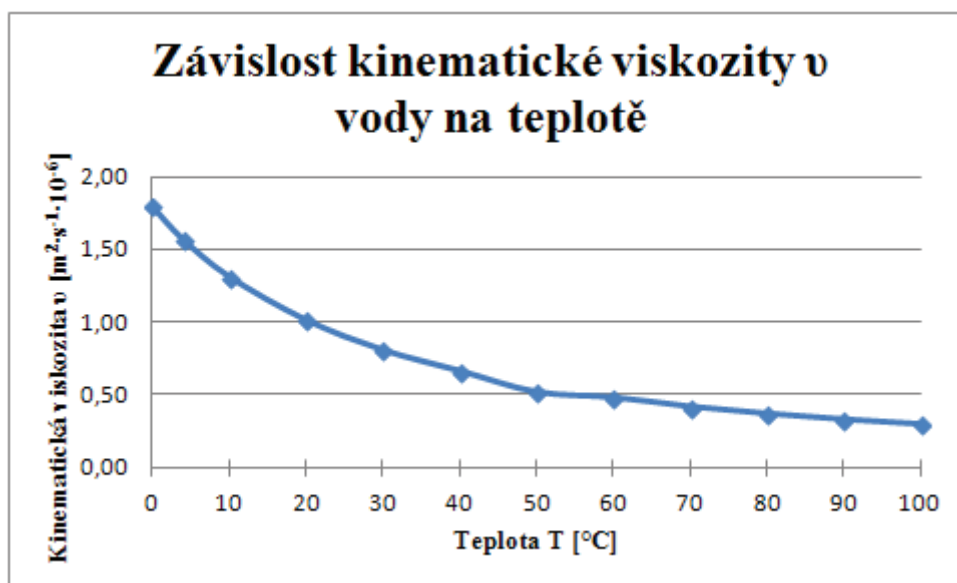
Kinematická viskozita závisí na druhu kapaliny a na její teplotě [1], [3]. Dle [2] se na kinematické viskozitě projeví i vliv tlaku (ovšem až při jeho vysokých hodnotách) a to tak, že kinematická viskozita s rostoucím tlakem klesá.

Jednotkou dynamické viskozity v základních jednotkách soustavy SI je m²·s⁻¹. Užívá se také jednotka Stok St. Platí, že 1 St = 10⁻⁴ m²·s⁻¹. [5]

Hodnoty veličin kinematické a dynamické viskozity vody v závislosti na teplotě se nacházejí v Tab. 3.3. a na Obr. 3.2.

Tab. 3.3 Vlastnosti vody v závislosti na teplotě při tlaku 1,01·10⁵Pa [1] s následně vypočtenou μ dle vztahu (3.3)

TEPLOTA	HUSTOTA	KIN. VISKOZITA	DYN. VISKOZITA
T [°C]	ρ [kg·m ⁻³]	ν [m ² ·s ⁻¹] · 10 ⁻⁶	μ [Pa·s] · 10 ⁻³
0	999,84	1,7938	1,7935
4	999,97	1,5671	1,5671
10	999,70	1,3101	1,3097
20	998,20	1,0105	1,0087
30	995,65	0,8040	0,8005
40	992,36	0,6610	0,6559
50	988,24	0,5150	0,5089
60	983,36	0,4780	0,4700
70	977,99	0,4150	0,4059
80	972,01	0,3670	0,3567
90	965,30	0,3270	0,3157
100	959,69	0,2940	0,2821



Obr. 3.2 Závislost kinematické viskozity vody na teplotě

3.2.3 Reynoldsovo kritérium

Reynolds svým pokusem dokázal, že existují 2 režimy pohybu při proudění vazkých kapalin. A to laminární (vrstevnaté) proudění a turbulentní (vírnaté). [1]

Při **laminárním proudění** se částice pohybují ve vzájemně rovnoběžných vrstvách, aniž by se navzájem mísily. [17] Rychlost kapaliny je různá v různých bodech na průřezu potrubí, skrze které kapalina proudí. U stěny potrubí je rychlost nulová. Největší rychlost se nachází ve středu potrubí. Vrstvy kapaliny po sobě „kloužou“ a kapalina je ve stavu neustálého zvyšování smykového namáhání. [12]

Při **turbulentním proudění** se částice mezi sebou mísí, vykonávají pohyb, který vede ke vzniku vírů a objevuje se zvukový efekt, který u laminárního proudění nenastává. [18]

Pro proudění v trubici je Reynoldsovo číslo (kritérium) Re vyjádřeno následovně [1]:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad [-] \quad (3.4)$$

kde v ... střední rychlost kapaliny v trubici [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

D ... průměr trubice [m]

ν ... kinematická viskozita kapaliny [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]

Vyjádříme-li jej pomocí dynamické viskozity μ a hustoty ρ [6] a tedy pomocí vztahu (3.3):

$$Re = \frac{v \cdot D \cdot \rho}{\mu} \quad [-] \quad (3.5)$$

Pro proudění tekutiny v prostorech obecnějšího tvaru, než je trubice, se nahrazuje průměr trubice D vhodnou charakteristickou délkou L . [19]

Jako hranice laminárního proudění pro všechny kapaliny bylo experimentálně stanoveno Reynoldsovo číslo s hodnotou $Re_{\text{lam}}=2\,320$. Je-li tedy hodnota Re menší než tato hodnota, proudění je laminární. Je-li větší, jedná se o přechodnou oblast, kde může být proudění laminární i turbulentní (laminární proudění zde může na základě nějakého

vnějšího zásahu či vlivu okamžitě přejít na turbulentní režim). Hranice pro turbulentní proudění není tak jednoznačná, obecně se uvažuje, že turbulentní proudění se vyskytuje při hodnotách větších než $Re_{turb} \approx 13\,800$. [1]

Na základě hodnoty Re_{lam} lze určit pro danou tekutinu velikost kritické střední rychlosti v_k , při níž přechází turbulentní proudění na laminární a naopak. [19] Hodnota kritického Reynoldsova čísla Re_{lam} se pro jednotlivá geometrická uspořádání stanovuje na základě pokusů - experimentálně. [20]

Reynoldsovo číslo se využívá v praxi při studiu odporových sil, které vznikají při proudění reálné tekutiny (tedy kapalin a plynů) kolem tělesa. Pro velká tělesa, jako jsou např. automobily a letadla, se stanovuje na modelech. [19] Bezrozměrové Reynoldsovo číslo totiž vystihuje fyzikální podobnost různých proudění a bývá proto nazýváno podobnostním číslem. [20]

Síla odporu F

Jde o odporovou sílu působící na pohybující se těleso v tekutině. Zvětšuje se s rychlostí tělesa v_t dle vztahu [12]:

$$F = \frac{1}{2} C \cdot A \cdot \rho \cdot v_t^2 \quad [\text{N}] \quad (3.6)$$

kde A ... plocha průřezu potrubí kolmá na směr pohybu [m^2]

v_t ... rychlost pohybujícího se tělesa v tekutině [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

C ... součinitel odporu [-]

ρ ... hustota tekutiny [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

Odporová síla F míří ve směru rozdílu rychlosti prostředí a rychlosti obtékaného tělesa. [21]

Stokesův zákon

Je odvozen pro případ, kdy platí, že Reynoldsovo číslo $Re < 1$. V odporu prostředí převládá vliv viskózních smykových sil a jedná se o obtékání kulového tělesa. [21] Při malých rychlostech a hladce obtékaném tvaru tělesa totiž nevznikají víry a proudění je laminární. [23]

Popisuje vztah pro sílu F_s , kterou působí kapalina na kouli o poloměru r . [12]

$$F_s = 6\pi \cdot \mu \cdot r \cdot v_t \quad [\text{N}] \quad (3.7)$$

kde μ ... součinitel dynamické viskozity [$\text{Pa} \cdot \text{s}$]

r ... poloměr koule [m]

v_t ... rychlost pohybující se koule v tekutině [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Existuje i Stokesův viskozimetr (řadí se mezi tělískové viskozimetry, viz kap. 3.2.4). Princip určení kinematické viskozity podle Stokesese spočívá v měření doby pádu kuličky o dané hustotě a poloměru na určené vzdálenosti. Stokesův viskozimetr je naplněn měřenou kapalinou, tato kapalina je zahřátá na určitou teplotu. [22]

3.2.4 Stanovení viskozity – viskozimetry

Viskozita kapalin se měří pomocí přístroje zvaného viskozimetr. Existuje jich několik druhů – např. kapilární (průtokové) viskozimetry, rotační, tělískové (pádové, viz kap. 3.2.3), plovákové, vibrační, ultrazvukové. [78], [79] V dalším textu jsou podrobněji popsány ty z nich, které se používají nejčastěji.

Vibrační viskozimetry jsou založeny na studiu šíření nízkofrekvenčního vlnění v kapalině, tělískové viskozimetry jsou založeny na měření rychlosti pádu nebo naopak vystoupání k hladině zkušebního tělesa (využívá se Stokesův zákon), plovákové viskozimetry jsou vztaženy na unášení plováku proudící kapalinou. [78], [79]

Kapilární (průtokové) viskozimetry

Měří se objemový průtok měřené kapaliny trubicí definovaných rozměrů. Principem je poté Hagen-Poiseuillova rovnice pro laminární výtok ze svisle umístěné kapiláry kruhového průřezu o poloměru r a délce l , kterou za čas t proteče kapalina o objemu V . Poiseuillův zákon platí pro newtonovské kapaliny. [79], [80], [81]

Existuje několik možných druhů těchto viskozimetrů, např. Englerův, Ostwaldův (jedná se o skleněnou trubicí tvaru písmene U, ve které je ryskami přesně vyznačen objem, měří kinematickou viskozitu), Kohlův a Ubbelohdeův. [80]

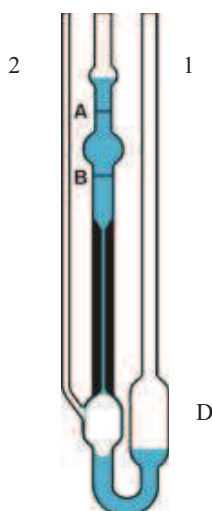
Ubbelohdeův viskozimetr je určen pro měření kinematické viskozity, hlavní částí je svislá měrná kapilára (vyznačená tučně na Obr. 3.3). Kapalina se nechá protékat mezi značkami A, B. Viskozimetr je opatřen pro rychlejší manipulaci nádobkou (D), plnicí trubicí (1) a zavzdušňovací trubicí (2). Po zahřátí vzorku na požadovanou teplotu se na prostřední trubicí nasazuje balonek s hadičkou. Uvolněním stisku balónku se nasává měřená kapalina nad značku A, nejvýše však do poloviny objemu nejsvrchnější baňky. Poté se balónek sejme a uvolní zavzdušňovací otvor trubice 2. Vzorek se nechá volně stékat kapilárou a měří se doba průchodu hladiny kapaliny mezi značkami A, B. [83] Poté se kinematická viskozita vypočte ze vztahu [83]:

$$\nu = k_p \cdot t \quad [\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}] \quad (3.8)$$

kde k_p ... kalibrační konstanta přístroje

t ... doba průtoku kapaliny mezi ryskami A, B.

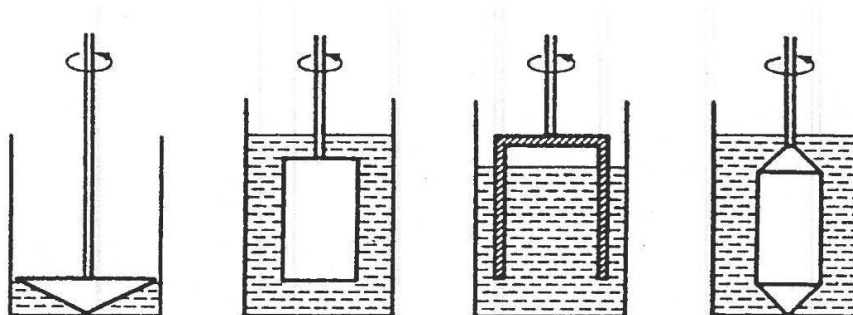
Kapilární viskozimetry jsou přesné (0,01-0,1 %), ovšem nemohou být použity pro nenewtonské kapaliny. Rychlostní gradient totiž není konstantní – roste se vzdáleností od osy kapiláry. [82]



Obr. 3.3 Ubbelohdeův viskozimetr [82]

Rotační viskozimetry

Určování viskozity probíhá na základě měření momentu síly, který překonává rotující těleso ponořené do kapaliny. Tento moment síly je závislý na úhlové frekvenci rotujícího tělesa, dynamické viskozitě a konstantě přístroje, která je závislá na geometrii samotného přístroje. [79] Vzorek je vystaven smyku mezi dvěma definovanými plochami. Jedna z nich vykonává otáčivý pohyb a hodnotí se brzky účinek vzorku při různých rychlostech otáčení. Nejběžnějším typem jsou 2 sousední válce, kde jeden z nich se otáčí (častěji je otáčení vnitřního válce). Jedná se o tzv. uspořádání válec-válec. Dále existují válec-kužel, deska-kužel či deska-deska. [80]



Obr. 3.4 Úpravy měrného prostoru rotačních viskozimetrů [80]

4 ODPADNÍ VODA A STOKOVÉ SÍTĚ

4.1 ODPADNÍ VODA A JEJÍ SLOŽENÍ

Díky antropogenním činnostem, při kterých se nakládá s vodami, se mění nejen jakost těchto vod ale i jejich fyzikální či chemické vlastnosti. Může docházet i ke znečišťování, a poté vznikají vody odpadní. [29] Dle [65] bylo v ČR v r. 2013 do kanalizace vypuštěno 455,3 mil. m³ odpadních vod.

Průměrná roční teplota městských odpadních vod se v našich podmínkách pohybuje od 10 °C do 20 °C. [77]

Odpadní vody můžeme dělit z hlediska jejich **původu** na [29], [30]:

- a) splaškové (splašky) – odpadní vody z domácností, sociálních zařízení, objektů společného stravování a ubytování apod.
- b) městské – vody odtékající veřejnou kanalizací, zahrnuje směs splašků a jiných, převážně průmyslových odpadních vod
- c) průmyslové – vznikají při průmyslové výrobě
- d) zemědělské – ze zemědělské a živočišné výroby
- e) dešťové – atmosférické srážky, které jsou odváděny kanalizací (buď oddílnou nebo smíšenou)
- f) ostatní – chladicí vody, vody z nemocnic atd.

Dle jejich **jakosti** se dělí na [29]:

- a) hnilobné – do této skupiny se řadí odpadní vody obsahující organické látky, podléhající bakteriálnímu rozkladu [31]
- b) infekční – jedná se o odpadní vody z nemocnic, sanatorií apod., u nichž je možný výskyt patogenních mikroorganismů, virů a parazitů. [29]
- c) radioaktivní – voda obsahuje radionuklidy, vznikající přirozenou radioaktivitou (díky prvkům jako např. radium, radon, uran, thorium, polonium, olovo a draslík), nebo umělou – vzniká při pokusech s jadernými zbraněmi, při provozu jaderných reaktorů či těžbě uranových rud (zde se jedná o prvky jako např. stroncium, cesium a tritium) [31]
- d) toxické – vody obsahující látky, které přímo škodí živým organismům (jak vodním, tak suchozemským – např. po požití kontaminované vody) [31]

Dále se práce zabývá pouze složením splaškových vod.

Ty mají poměrně stálé složení, obsahují převážně organické látky. Hlavní podíl znečišťujících látek je z moče a tuhých fekálií.

Orientační složení splaškových odpadních vod viz Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Obecné složení splaškových vod [29], [30]

UKAZATEL	ROZMEZÍ
pH	6,5-8,5 [-]
NL (Nerozpuštěné látky)	200-700 [mg·l ⁻¹]
z toho usaditelné	73 %
neusaditelné	27 %
RL (Rozpuštěné látky)	600-800 [mg·l ⁻¹]
BSK ₅	100-400 [mg·l ⁻¹]
CHSK _{Cr}	250-800 [mg·l ⁻¹]
N _{celk.}	30-70 [mg·l ⁻¹]
NH ₄ ⁺	20-45 [mg·l ⁻¹]
P _{celk.}	5-15 [mg·l ⁻¹]

Podle původu rozlišujeme látky v odpadních vodách na organické a anorganické. Organické látky se vyskytují jako rozpuštěné, koloidní či suspendované, zatímco anorganické látky jsou většinou rozpuštěné. [33]

Z anorganických látek jmenujme například chloridy, sloučeniny fosforu, sloučeniny dusíku a síry. Z organických látek jsou v odpadní vodě zastoupeny zejména sacharidy, bílkoviny, tuky, volné aminokyseliny, vyšší mastné kyseliny, tenzidy, léčiva apod. [30], [33]

4.1.1 BSK₅

BSK₅ (neboli biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní) je nepřímým ukazatelem obsahu organických biologicky rozložitelných látek ve vodě. Udává se nejčastěji v jednotkách mg/l.

Samotná biochemická spotřeba kyslíku (BSK) je definována jako *množství kyslíku spotřebovaného mikroorganismy při biochemických pochodech na rozklad organických látek ve vodě při aerobních podmínkách*. [24]

Ukazatel se začal používat již v r. 1908 a to pro zjišťování znečištění venkovních vod. Je rozšířen ve většině zemí, takže data se mohou dobře porovnávat i v rámci různých států. Anglická zkratka je BOD₅ (biological oxygen demand). [25]

Pro dobře rozložitelné látky platí, že poměr BSK:CHSK je roven 1:2. [25]

Specifická produkce znečištění na 1 ekvivalentního obyvatele činí 40-70 g·os⁻¹·den⁻¹. Tento údaj se používá např. pro výpočet vstupních koncentrací při navrhování ČOV.

Stanovuje se nejčastěji zředovací metodou. Dnes již ovšem existují i přístroje, např. tzv. BOD senzory či tlakové hlavice, které měří BSK₅ automaticky. Měří v 24 hodinových intervalech a hodnota BSK₅ se odečítá přímo z displeje. Přístroje jsou založeny na změně tlaku v kultivační láhvi, díky činnosti mikroorganismů. [27], [28]

Stanovení BSK₅ při ředění vzorku [26]

Používá se u vzorků vod, kde se dá předpokládat větší organické znečištění.

Zřed'ovací voda se připravuje následovně:

Připraví se destilovaná voda nasycená kyslíkem. Použije se ne dlouho skladovaná destilovaná voda, která se provzdušňuje (přibližně 2-4 h) vzdušným kyslíkem. Je vhodné, aby teplota zřed'ovací vody byla 20 °C.

K této destilované vodě nasycené kyslíkem o objemu 1 litru se při teplotě 20 °C přidá 1 ml fosforečnanového tlumivého roztoku, 1 ml roztoku síranu hořečnatého, 1 ml chloridu vápenatého a 1 ml chloridu železitého. Zřed'ovací voda se připravuje v den použití a kontroluje se slepým pokusem. Rozdíl průměrů stanovené koncentrace kyslíku nultý a pátý den nesmí převyšovat 0,5 mg·l⁻¹. Větší hodnota ukazuje na nedodržení předepsaných podmínek při přípravě zřed'ovací vody nebo při stanovení.

Samotný postup stanovení BSK₅:

Promíchaný vzorek se nalije do odměrného válce nebo odměrky. Podle intenzity znečištění se stanoví množství vzorku (např. 500, 300, 200; 100, 50, 20; 10 ml), které se zředí v odměrném válci nebo v odměrné baňce zřed'ovací vodou do 1 litru. Takto naředěný vzorek se promíchá a nalije do lahví pro stanovení BSK. Stanoví se obsah rozpuštěného kyslíku nultý a pátý den (používá se kyslíková sonda). Současně se stanoví i BSK₅ zřed'ovací vody, které nemá být vyšší než 0,5 mg·l⁻¹ (tzv. slepý vzorek).

Dle vztahu (4.1) se vypočte množství BSK₅:

$$BSK_5 = \frac{a - b - c - (1 - R_r)}{R} [\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}] \quad (4.1)$$

kde a ... koncentrace rozpuštěného kyslíku nultý den [mg·l⁻¹]

b ... koncentrace rozpuštěného kyslíku po pěti dnech [mg·l⁻¹]

c ... hodnota slepého pokusu zřed'ovací vody [mg·l⁻¹]

R_r ... ředění - poměr objemu vzorku k objemu připravené směsi vzorku se zřed'ovací vodou [-]

Tab. 4.2 Doporučené ředění [26]

Ředění R	ml vzorku v 1 litru směsi	Předpokládaný rozsah BSK ₅ v mg/l
1	neředěno	0 až 6
0.5	500	4 až 12
0.2	200	10 až 20
0.1	100	20 až 60
0.05	50	40 až 120
0.02	20	100 až 300

4.1.2 CHSK

CHSK (neboli chemická spotřeba kyslíku) je ukazatelem obsahu organických biologicky rozložitelných i biologicky těžko rozložitelných látek ve vodě. Udává se opět v jednotkách mg/l.

Stanovení CHSK se provádí buďto manganometricky (odměrným roztokem KMnO₄) nebo bichromatometricky (odměrným roztokem K₂Cr₂O₇). Pro odpadní vody se však používá metoda CHSK_{Cr}, tedy roztok K₂Cr₂O₇. Výsledky stanovené oběma metodami se liší, je tedy zapotřebí vždy uvést, jaká metoda byla použita. Hodnoty CHSK_{Cr} jsou většinou vyšší než hodnoty CHSK_{Mn}, protože za podmínek stanovení je silnějším oxidovadlem K₂Cr₂O₇. [32]

4.2 OBECNĚ O STOKOVÝCH SÍTÍCH

Tato kapitola se zabývá typy kanalizací pro veřejnou potřebu. Tyto slouží k odvádění odpadních vod z obcí, měst a sídelních útvarů. Tedy se jedná o soubor zdravotně-technických zařízení, kterými jsou odváděny různé druhy odpadních vod, a také zařízení, díky nimž jsou odpadní vody čištěny na požadovanou míru. [30], [34] Stokové sítě jsou součástí integrovaného celku soustavného odkanalizování, který je poplatný urbanistickému rozvoji daného regionu či oblasti. [30]

Kanalizace pro veřejnou potřebu se řídí ustanoveními zákona č. 274/2001 Sb., „Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů“ a příslušnými vyhláškami.

Každý provoz veřejné kanalizace je řízen tzv. kanalizačním řádem. Ten určuje např. nejvyšší přípustnou míru znečištění odpadních vod, které jsou vypouštěny do veřejné kanalizace (obyvatelstvem, průmyslovými provozami). Vypouštění některých látek bývá přímo zapovězeno – jedná se např. o látky, jež jsou vysoce chemicky agresivní (např. sírany – narušování materiálu stokové sítě), odpadní vody o vysoké teplotě, radioaktivní, infekční či jinak zdraví ohrožující látky, látky hořlavé nebo výbušné, jedy, žíraviny, omamné látky apod. [34]

Systémy odkanalizování můžeme rozlišit na „tradiční“ – zde řadíme gravitační kanalizaci, která může být navržena jako jednotná, oddílná příp. modifikovaná stoková soustava – a „netradiční“ (alternativní) způsoby odvádění odpadních vod. Zde se řadí podtlaková (vakuová), tlaková a maloprofilová kanalizace. Maloprofilová kanalizace se v ČR nepoužívá (nejmenší povolený profil pro netlakové proudění je totiž DN 250). U alternativních způsobů se používají jen oddílné systémy. [40]

Alternativní způsoby odkanalizování se používají pro případy rozptýlené zástavby (venkovského či vilového typu), při nevhodné konfiguraci terénu pro gravitační stoky (a obecně pro oblasti s nepříznivými podmínkami pro zakládání těchto stok), pro území s několika samostatnými povodími a společnou ČOV, v oblasti, kde se nachází vysoká hladina podzemní vody. [41], [42] Jako nevýhodné se ovšem na těchto systémech jeví např. absence dlouhodobých zkušeností s provozováním v ČR, jsou kladeny nároky na vyšší kvalifikaci obsluhy, kratší životnost a vyšší četnost provozních poruch, systémy nejsou vhodné pro odvádění dešťových odpadních vod. [61]

Volba způsobu odkanalizování má přímý dopad na volbu technologie a návrh parametrů ČOV. Při návrhu je nutno zohlednit odlišný režim hydraulického a látkového zatížení pro jednotlivé systémy. [48]

4.2.1 Historie

První zmínky o kanalizačním systému jako takovém se vyskytují již v mytologii semitských Akadů, kteří přesídlili do Babylonu okolo roku 2 600 př. Kr. [35]

Další zmínky nacházíme v Mezopotámii. Zde budovali kolem roku 2 510 př. Kr. speciální kanalizační systémy na odvádění odpadních vod. [35] Jako přípojky byly použity hlíněné trouby, někdy byly čtvercového nebo obdélníkového průřezu z pálených cihel a byly přikryty čtverhrannými deskami. Měly značný sklon, aby voda mohla rychle odtéci. Hlavní stoky byly rovněž zděné. Odpadní vody byly odváděny do řek nebo do sběrných jam či rybníků. [36]

Dle archeologických vykopávek učiněných v Knóssu na Krétě byly v r. 1 500 let př. Kr. běžné koupelny a dokonce i oddílná kanalizace. Rovněž vykopávky z Kartága dokladují, že Féniciáné měli zavedenou kanalizaci (kolem roku 800 př. Kr.). [36]

První výstavba kanalizační sítě v ČR započala v druhé polovině 18. století v Praze. Vybudovalo se cca 44 km stok, které byly vyvedeny díky 35 výústím do Vltavy. [34] Do té doby se stavěly výjimečně uzavřené kanalizace, zpočátku mělké, později hlubší, které byly budovány z klasických zděicích materiálů (cihla, kámen). Tyto kanalizace obvykle končily v blízkých vodotečích nebo rybnících. Dále byly kanalizace spíše jen pro měšťanské domy, stoky byly zděné, větší profily měly vejčitý či oválný tvar.

Až po vzniku republiky (1918) se nastartoval velký rozvoj vodovodů a kanalizací. Největší stavební „boom“ byl na počátku třicátých let minulého století. Zastaven však byl hospodářskou krizí a další rozvoj probíhal až po válce. [36]

V současnosti je délka stokové sítě v ČR stanovena na 44 271 km a počet ČOV je 2 674 ks. [65]

4.2.2 Stoková soustava

Stoková soustava - jinými slovy dle [30] - soubor zařízení pro sběr, shromažďování a dopravu tekutých odpadů je tvořena uličními stokami, sběrači, kmenovými stokami a ČOV.

Rozeznáváme 3 druhy těchto soustav [30], [34]:

- a) jednotná – v ČR nejčastější typ, soustavou jsou zároveň odváděny jak vody splaškové, tak dešťové. Dnes se však od navrhování tohoto typu upouští (ekologické, hygienické důvody)
- b) oddílná – jedná se o soustavu, kdy různé druhy odpadních vod jsou odváděny samostatnou trasou (samostatným „potrubím“). Nejčastěji jsou odváděny zvlášť vody srážkové a zvlášť vody splaškové.
- c) modifikovaná – zde se jedná o kombinaci dvou výše uvedených soustav. Splašková stoka je uložena hluboko naopak dešťová mělce, při přívalovém dešti je „nejznečištěnější“ splach z povrchu odváděn splaškovými stokami na ČOV. Dojde-li později k zahlcení, tak „čistší“ dešťové vody jsou odváděny dešťovými stokami přímo do recipientu.

4.2.3 Materiály stokové sítě a tvary profilu

Materiály se volí podle účelu a plánované životnosti díla. [34]

Nejvíce používanými materiály pro jednotné a oddílné stokové soustavy jsou: beton, železobeton, plastové materiály (PE, PP), kamenina, sklolaminát. Pro odvádění chemicky silně znečištěných odpadních vod slouží čedičové potrubí. Mohou se používat i kombinace, např. betonové potrubí s čedičovou výstelkou. [30], [34], [40]

Nejběžněji používané tvary profilů stok jsou: kruhové, vejčité a tlamové potrubí. Z hydraulického posouzení – koncentraci malých průtoků ve dně stoky nejlépe vyhovuje vejčitý tvar a nejméně tlamový, ten se používá ve stísněných poměrech. Kruhový profil se navrhuje ve většině případů (jednoduchá „výroba“ apod.) [40]

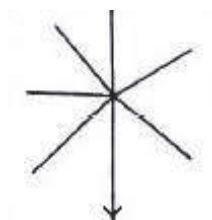
4.3 GRAVITAČNÍ KANALIZACE

Jedná se o typ systému, kde k proudění dochází vlivem tíže a převážně s volnou hladinou. [73] Tedy principem je gravitační doprava odpadních vod do nejnižšího položeného místa. [60]

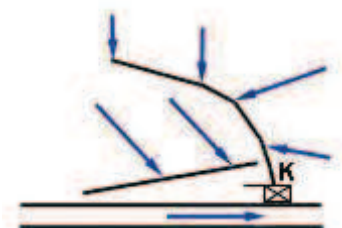
Je vhodná v oblastech soustředěné zástavby, s hlubokou hladinou spodní vody a dobrými geologickými podmínkami. [60]

Dle členitosti terénu a dalších faktorů se navrhují různé systémy uspořádání těchto stokových sítí. Rozlišujeme tyto systémy [30], [34]:

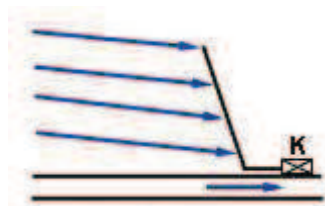
- a) Radiální – vhodný pro odvodňování kotlin, kde nebývá přístup k recipientu. Stoky jsou paprskovitě vedeny do nejnižšího místa, kde se sbíhají. Odtud mohou být přečerpány na ČOV.
- b) Větvový – pro členitý terén, stoky jsou vedeny co nejkratším směrem k nejnižšímu bodu, kde se odpadní vody soustřeďují.
- c) Úchytný – navrhuje se v dlouhých, táhlých údolích, s mírným sklonem. Stoky jsou svedeny do tzv. úchytné stoky, která je většinou vedena podél recipientu. Zřizují se na ní odlehčovací komory.
- d) Pásmový – jsou-li stoky vedeny v různých výškových pásmech – tedy v území s většími výškovými rozdíly. Odpadní vody z nižších řádů jsou odváděny tzv. pásmovými sběrači (stoky „nižších“ řádů).



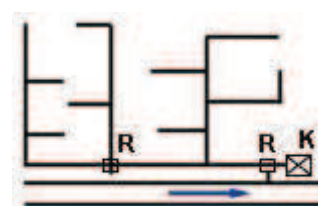
Obr. 4.1 Radiální systém [30]



Obr. 4.2 Větvový systém [38]



Obr. 4.3 Pásmový systém [38]



Obr. 4.4 Úchytný systém [38]

Mezi klady gravitační kanalizace se řadí: dlouhodobě ověřená technologie, jednoduchost provozního systému, minimální nároky na obsluhu při provozu, provozně nedochází často k poruchám, snadná identifikace průběhu trasy kanalizace (díky šachtám), možnost kamerových prohlídek a snazší revize a příp. čištění. [37], [39]

Naopak mezi nevýhody tohoto typu kanalizace patří: I pro překonání drobné terénní nerovnosti se potrubí musí zahlubovat (kvůli dodržování minimálních spádů), a tím se výstavba prodražuje. Často jsou potřeba rozsáhlé zemní práce, hloubky výkopů bývají od 1,5 m, z toho plyne i časově náročnější realizace. Oproti alternativním způsobům

odkanalizování bývají dimenze potrubí větší (DN 250 a více). Také je zde často problém s vodotěsností – vnik balastních vod, či je zde větší nebezpečí vniku jedovatých či výbušných látek. Před samotnou ČOV bývá nutnost vody přečerpávat, dále je pro údržbu nutná pravidelná deratizace. [37], [44]

Na stokové síti se nacházejí různé objekty, např.: revizní šachty, vstupní šachty, spojné komory, spadiště, skluzy, shybky, proplachovací objekty, měrné objekty, odlehčovací komory a separátory, vyústní objekty, čerpací stanice, dešťové nádrže atd. [59]

4.4 TLAKOVÁ KANALIZACE

Tento způsob odkanalizování se hodí pro plochý či mírně zvlněný terén.

Je vhodná pro odkanalizování území do 2000 EO, není ani omezena geologickými podmínkami. [48]

Veškeré odpadní splaškové vody z jednotlivých nemovitostí jsou gravitačně svedeny do čerpacích šachet na pozemku vlastníka každé nemovitosti (popř. může být zřízena veřejná čerpací jímka, do které může být napojeno až cca 10 uživatelů najednou, často používaná při řadové zástavbě). Z těchto domovních čerpacích jímek vedou přípojky tlakové kanalizace (podružné tlakové řady) do veřejné tlakové kanalizace v ulici. V domovní čerpací jímce je osazeno čerpadlo (často s drtičem, řezacím zařízením). Hlavní výtlačná potrubí jsou v dimenzích od DN 50 a výše. Výtlačná potrubí jsou dovedena přímo na ČOV. [43] Tedy je založena na principu tlakové dopravy potrubím až na ČOV.

Mezi hlavní výhody tlakové kanalizace se řadí: malý průměr potrubí, menší objem zemních prací při výstavbě trubních rozvodů (než u gravitační kanalizace), u potrubí není nutno dodržovat jednotný spád, který může být i negativní, tedy pro výstavbu je tento systém (opět oproti gravitační kanalizaci) jednodušší. Díky rychlostem v tlakovém potrubí (min. 0,7 m/s) má kanalizace samočisticí efekt. Tlaková kanalizace umožňuje umístění ČOV velmi variabilně, neboť se zde již nemusí řešit výškové osazení výusti. Splašky jsou provzdušňovány. [43], [45]

Naopak mezi nevýhody patří: Čerpadla jsou závislá na dodávce el. proudu, tedy v době jeho výpadku nejsou z odkanalizovaného území odváděny splaškové odpadní vody. Proto se v domovní čerpací jímce navrhuje havarijní objem, díky kterému se na určitou dobu tento problém eliminuje. Provozní náklady tlakové kanalizace jsou vzhledem ke gravitační kanalizaci vyšší. Dále je nutná pravidelná údržba (očištění tlakovou vodou) a revize čerpadel umístěných v domovních čerpacích jímkách. Je také zapotřebí brát při návrhu v úvahu omezenou životnost technologického vybavení (čerpadel). [43]

Tlak v systému se pohybuje v rozmezí od 20-60 m v. sl. (dle různých zdrojů – [41], [46])

V tlakové kanalizaci se používají 2 systémy:

- a) Systém mechanického předčištění – ten ovšem v ČR není rozšířen. Před DČJ je předřazena sedimentační nádrž. [41], [49]
- b) Mělnicí systém – v DČJ je osazeno kalové čerpadlo (objemové či odstředivé), jehož součástí je řezací zařízení, které je uloženo buď „vevnitř“ (zapuštěné do vstupního hrdla) nebo „vně“ (předsazené před hrdlo). Toto zařízení rozmělnjuje větší částice v OV. [41], [49]



Obr. 4.5 Řezací zařízení [50]

Z hlediska topologie rozlišujeme tlakovou síť větevňovou, liniovou a okružňovou. [61]

Za rozšíření povědomí o tlakové kanalizaci se zasloužily USA. Zde byl vývoj tlakových kanalizací v osmdesátých letech zastřešen vládním programem, na jehož základě byl proveden experimentální průzkum. [44]

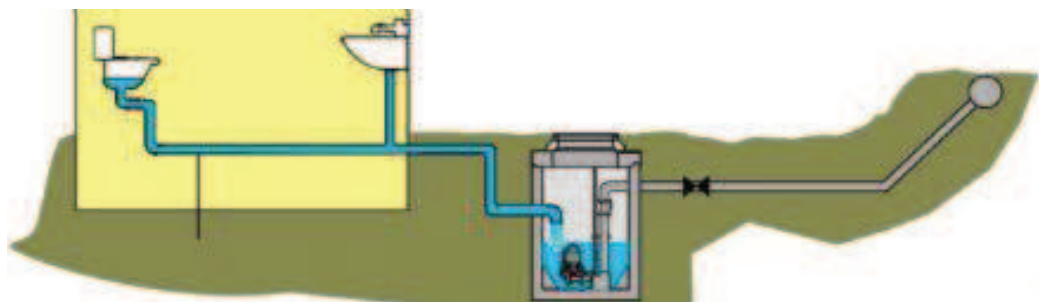
Prvky tlakové kanalizace

Tlaková kanalizace obvykle sestává z těchto prvků a objektů [41]:

- a) Domovní kanalizace a domovní přípojka
- b) Domovní čerpací jímka (DČJ)
- c) Tlaková kanalizační přípojka
- d) Tlakové kanalizační řady

Dále se mohou vyskytovat např. veřejné čerpací stanice, stanice tlakového vzduchu, vzdušníky, kalníky, měřící vstupy atd.

Schematické zobrazení hlavních prvků tlakové kanalizace viz Obr. 4.6.



Obr. 4.6 Domovní gravitační přípojka, DČJ, tlaková přípojka, tlakový řad [9]

Domovní čerpací jímka (DČJ)

Splaškové vody z objektu jsou do DČJ svedeny pomocí gravitační přípojky.

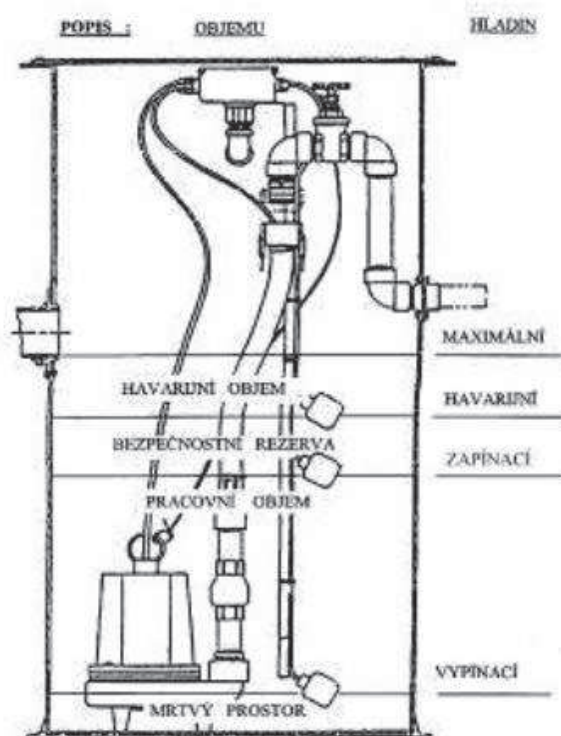
Stavební část tvoří většinou jímka kruhového průměru (cca 1 m), z plastů nebo betonu (případně plastová s obetonováním). Obetonování většinou zajišťuje šachty proti vyplavání vlivem působení spodní vody (vztlak). Jímka je obvykle hluboká 2 m – 3 m. Splaškové vody jsou ze šachty průběžně odčerpávány. Velikost akumulčního, tzv. havarijního prostoru v DČJ umožní zachycení alespoň 2-denní průměrné produkce odpadních vod. Předpokládaná denní spotřeba vody na 1 obyvatele se pohybuje v rozmezí cca 90 – 120 litrů/osoba/den. [46]

Technologickou část (vystrojení jímky) tvoří čerpadlo (s drticím zařízením, pokud není zajištěno předčištění), které čerpá rozmělněné splašky do tlakové sítě. Čerpadlo je připojeno z rozvaděče přes ovládací skříňku. V ovládací skřínce jsou umístěny jističe, kontrolky hladinových snímačů a havarijní signalizace. [41], [46] Tedy každá DČJ je závislá na dodávce el. proudu. Dále jsou zde osazeny armatury (např. kulový uzavěr, zpětná klapka), ovládací automatika a výtláčné potrubí. [47]

Čerpadlo v DČJ je za běžného režimu řízeno dle stavu hladiny OV v jímce. Běh čerpadla je tedy dán „zapínací“ a „vypínací“ hladinou. [48] Mezi těmito hladinami se nachází pracovní objem. Dále je zde bezpečnostní rezerva a havarijní objem – ten se nachází mezi havarijní hladinou a maximální hladinou (či bezpečnostním přepadem). V DČJ se nachází i mrtvý prostor (který čerpadlo neodčerpává). [41] Viz Obr. 4.7.

Platí zde určitá omezení pro složení splaškových vod – do kanalizace se nesmí vypouštět např. látkové předměty, hygienické potřeby (kromě toaletního papíru), odpady z potravin, oleje a tuky, hrubé nečistoty (štěrk, střepy, kovové předměty) apod. [46]

Vybudovanou DČJ lze vidět na Obr. 4.8.



Obr. 4.7 Objemy v DČJ [41]



Obr. 4.8 DČJ [archiv autorky]

Tlakové potrubí

Dle [71] tlakové potrubí může tvořit větevnu síť nebo jeden rozvětvený výtlak, měly by na něm být umístěny odvzdušňovací zařízení a mělo by odolávat provoznímu tlaku nejméně 600 kPa.

Automatická tlaková stanice (ATS)

V případě, že je nutné dodávat tlakový vzduch, osadí se ATS na horním konci (proti proudu) toho úseku, který tento dodatečný vzduch vyžaduje. [71]

ATS může být vybavena kompresory, tlakovými nádobami (větrníky) a přetlakovými ventily nebo kompresory přímo napojenými na tlakové potrubí bez tlakové nádoby. [71]

4.5 PODTLAKOVÁ (VAKUOVÁ) KANALIZACE

Tento způsob odkanalizování se hodí pro rovinné území, odvádí se jím pouze splaškové vody (oddílná kanalizace). [52] (Systém je ovšem používán i v jiných oblastech než jen odvádění komunálních vod, např. v železniční dopravě – odsávání odp. vod vlakových souprav, letištní objekty, přístavy. [54])

Je vhodná pro odkanalizování území do 3000 EO, není ani výrazně omezena geologickými podmínkami, trasa vedení je také bez omezení. Je také vhodná tam, kde je

vysoká hladina podzemní vody či řídká zástavba. Používá se také, dochází-li k omezenému nebo velmi rozdílnému přítoku odpadních vod (např. rekreační oblasti). [52], [54] U podtlakového odkanalizování se používá uzavřený potrubní systém bez možnosti vstupu, tedy jsou eliminovány balastní vody. [41]

Odvodňovaná oblast je napojena na centrální vakuovou stanici. Ta pomocí vakuových čerpadel (vývěv) vytváří ve sběrné podtlakové nádobě podtlak (ve stanici jsou obvykle 1-2 ks těchto nádob). Do této sběrné nádoby jsou při otevření sacího ventilu nasávány splašky. Sací ventil je osazen ve sběrné šachtě, jež je umístěna u každého domu, který je připojen na síť. Sací ventily zajišťují automatické otevření a nasátí odpadní vody (a vysoký obsah vzduchu) z domovní sběrné šachty (akumulačního prostoru) do podtlakové stoky, jakmile je dosaženo určité hladiny splaškové odpadní vody v šachtě. Po jejím vyčerpání se ventily opět uzavřou. Ventil využívá ke své práci rozdílů tlaku – tedy pracuje pneumaticky, k jeho provozu není potřeba el. energie. V kanalizaci se vyvozuje podtlak v rozmezí 0,3 – 0,8 baru. Z vakuové stanice bývají splaškové odpadní vody dopravovány na ČOV buď gravitačně, nebo čerpáním pomocí tlakových čerpadel, což je obvyklejší varianta. [34], [53], [54]

Pro vakuovou kanalizaci se používá potrubí tlakové PVC (min. PN10) s atestem na podtlak nebo PE svařované. [53] Rychlost dopravovaných splašků v podtlakovém potrubí se pohybuje okolo $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (některé zdroje uvádějí $6-8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), a to bez ohledu na spád potrubí. Těchto rychlostí je dosahováno díky přísátému vzduchu. [34], [53] Voda je dopravovaná po jednotlivých dávkách – „porcích“. Ty jsou tvořeny směsí kapek, které jsou unášeny proudícím vzduchem ve směru většího podtlaku. [61]

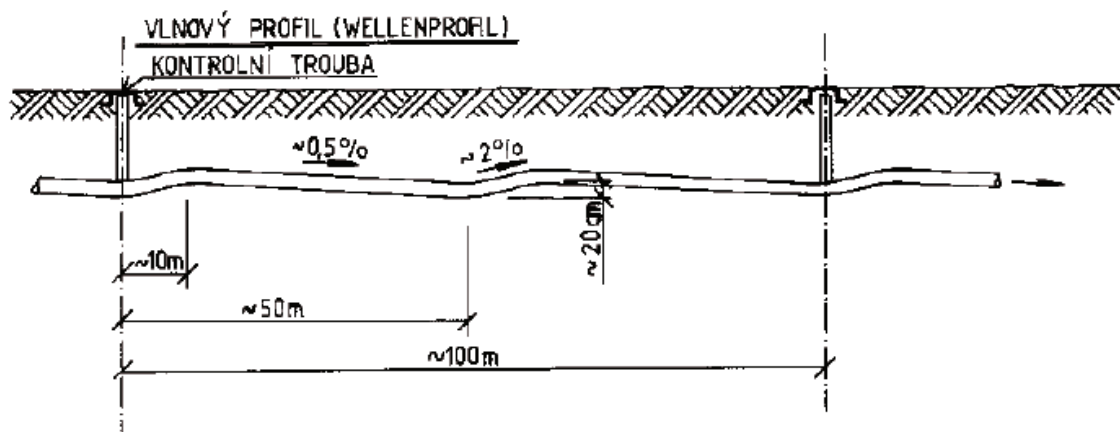
V současné době existuje pět podtlakových systémů (Roediger-Roovac, Schluff, Evac, Iseki a Airvac). [57]

Mezi výhody podtlakové kanalizace řadíme: samočisticí efekt (díky vysoké rychlosti dopravy směsi voda-vzduch, která zabraňuje zrodu usazenin), nezávislost na průběhu terénu, při budování je zapotřebí mělkých a užších výkopů než při budování gravitační kanalizace (menší objem zemních prací), malé dimenze potrubí (DN 65 – 250), systém je uzavřen vůči okolí – nezapáchá, je nepropustný. [41], [53]

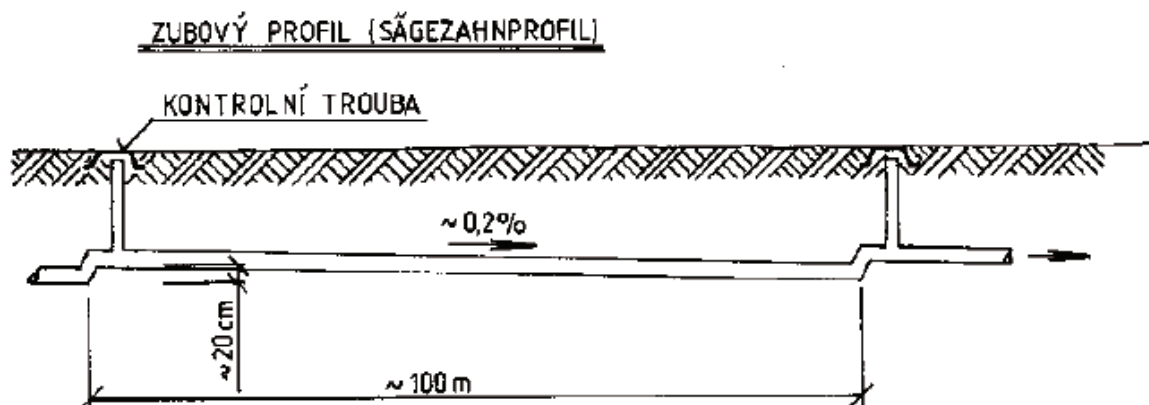
Ovšem i tento podtlakový systém má své nevýhody: závislost na el. proudu – při jeho výpadku musí být zapojen záložní zdroj u podtlakové stanice. Dále hrozí ucpání ventilu, byť je to spíše ojedinělý případ. Oproti tlakové kanalizaci je navržené podtlakové potrubí zejména na vedlejších větvích o dimenzi větší. [52], [55], [56] Také při mělkém uložení sběrných šachet hrozí zamrzání ventilů.

Podélné profily podtlakových stok se navrhují trojího typu (viz Obr. 4.9, Obr. 4.10, Obr. 4.11):

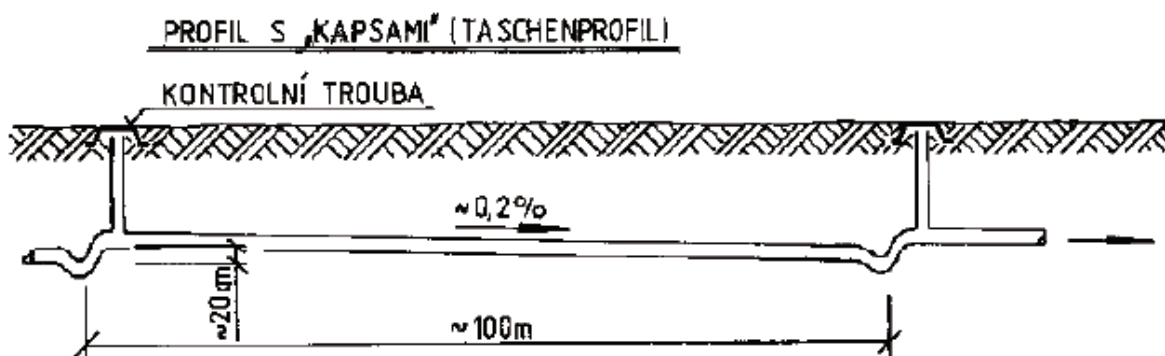
- a) Vlnový profil
- b) Zubový (pilový) profil
- c) Kapsový profil



Obr. 4.9 Vlnový podélný profil [57]



Obr. 4.10 Zubový (pilový) podélný profil [57]



Obr. 4.11 Kapsový podélný profil [57]

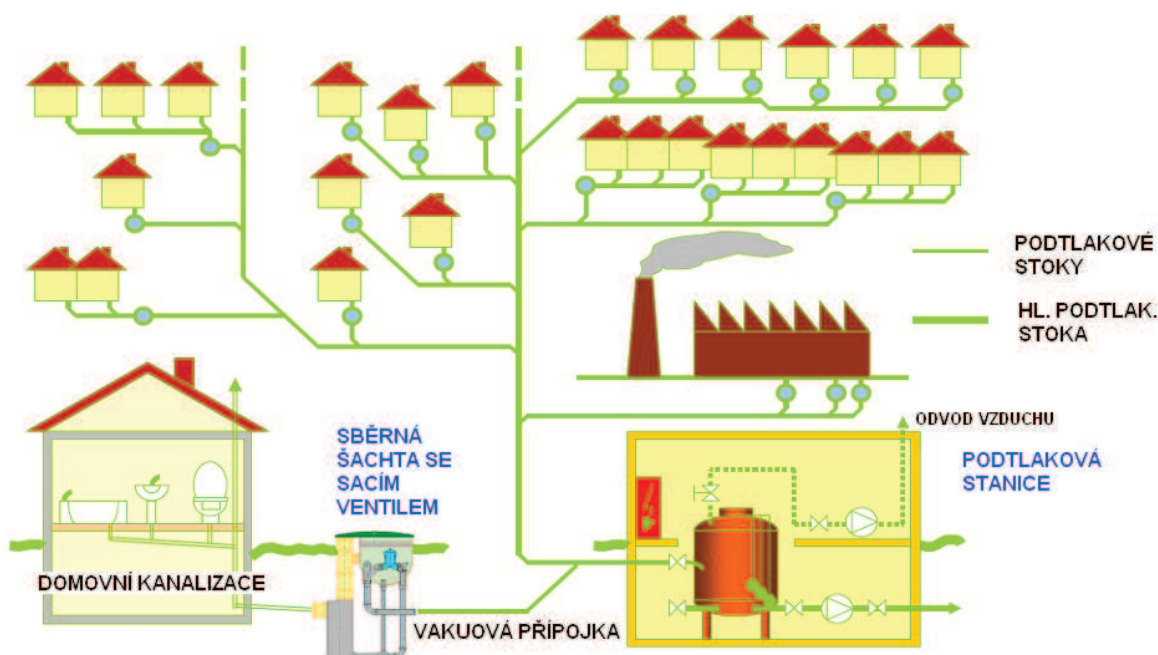
Vlnový profil je vytvářen ohnutím bez tvarovek, zubový profil pomocí tvarovek 45° a kapsový profil je v podstatě zubový profil s předsazenými U-tvarovými kusy). Kapsový profil se používá pro DN <100. [41]

Podtlakový systém byl vymyšlen Nizozemcem kap. Charlesem T. Liernurem. Byl osazen na některých místech v Amsterdamu či Leyden. Ovšem větší rozvoj těchto systémů nastal až v 50. letech 20. stol. ve Švédsku. [52]

Prvky podtlakové kanalizace

- a) Domovní kanalizace a domovní gravitační přípojka
- b) Sběrná šachta se sacím ventilem
- c) Podtlaková kanalizační přípojka
- d) Podtlaková stoka
- e) Podtlaková stanice

Schematické zobrazení prvků vakuové kanalizace viz Obr. 4.12.

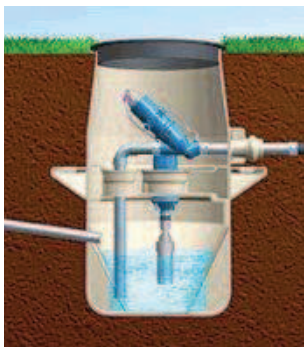


Obr. 4.12 Schéma podtlakové kanalizace [58]

Sběrná šachta

Jejím účelem je akumulovat odpadní vody. Objem akumulace se vypočte dle požadavku na zajištění havarijního stavu při výpadku el. proudu. V šachtě je osazen podtlakový ventil, a to buď v pro něj odděleném prostoru, nebo je přímo umístěn v šachtě. [52]

Do sběrné šachty může být napojena jedna i několik nemovitostí, dokonce lze napojovat i komerční budovy. [61]



Obr. 4.13 Sborná šachta se sacím ventilem [53]

Sací ventil

Podtlak, který je vyvozován ve vakuové stanici, působí prostřednictvím potrubí na sací ventil osazený ve sběrné šachtě. Otevře-li se sací ventil, odpadní voda se nasává společně se vzduchem do potrubí a pak společně putují k podtlakové stanici do podtlakových nádob. Zdrojem energie pro sací ventil je tedy podtlak v systému. [61] Tedy slouží k „otevírání a zavírání“ podtlakového potrubí.

Nezbytná je pravidelná kontrola a údržba sacích ventilů, zhruba po 5 letech je nutná výměna membrán a manžet ve ventilech. [57]

Dle způsobu otevírání se dělí na [41]:

- a) Pneumatické – nejčastější, dále se ještě dělí na membránové a pístové sací ventily
- b) Elektroventily (ovládané plovákem)
- c) Mechanické plovákové ventily

Podtlakový ventil systému AIRVAC viz Obr. 4.14.



Obr. 4.14 Podtlakový ventil AIRVAC i s řídící jednotkou [62]



Obr. 4.15 Řídící jednotka ventilu AIRVAC [archiv autorky]

Podtlaková kanalizační přípojka, podtlačové potrubí

Spojuje sběrnou šachtu s podtlakovým kanalizačním potrubím. Obvykle se ukládají ve sklonu 0,2 % a do délek dosahujících nejvíce 15 m. [61]

Podtlakové potrubí musí mít minimální světlost potrubí DN 65, dále musí mít atest na přetlak PN 10 a na podtlak. Z materiálů se používají hlavně plasty (PVC, PE). Je doporučeno osazovat kontrolní trouby pro zjišťování závad (netěsností). [57]

Podtlaková stanice

Měla by se nacházet uprostřed odkanalizovaného území a neměla by být umístěna výše, než je umístěno nejnižší odkanalizované místo. [41]

Podtlaková stanice se podobá obvyklé čerpací stanici OV, ale nachází se zde ještě dodatečná zařízení jako např. zdroje podtlaku (vývěvy, ejektorová čerpadla), uzavřené podtlakové nádoby nebo sací čerpací jímka. Stoky ústí bezprostředně do podtl. nádob nebo do sací čerpací jímky (to v případě, že jsou užita ejektorová čerpadla). [70]

Součástmi vakuové stanice jsou tedy podtlakové nádoby (nebo sací čerpací jímky), ve kterých je vytvářen podtlak pomocí vývěv (ejektorovými čerpadly). Podle snímačů hladiny je řízen chod čerpadel (výtlačných, které odvádějí vodu na ČOV) či vypouštěcích ventilů. Snímače hladiny také zajišťují to, že nedojde k nasátí kapaliny do vývěvy. Další součástí stanice je záložní zdroj energie. [41], [57]

Bývá také osazen biofiltr, přes který je veden znečištěný vzduch, který vývěvy odsávají z podtlakového systému. Jedná se o konstrukci vyplněnou buď drtí z kůry, z kořenů či kokosových ořechů. Drť z kůry ovšem zhruba po 1 roce používání ztrácí kyprost a je nutné náplň vyměnit. Drť z kořenů má životnost až 5 let. [52]

5 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části diplomové práce byly provedeny odběry vzorků odpadních vod z různých typů kanalizace - gravitační, tlakové, podtlakové.

Na těchto vzorcích proběhlo měření dynamické viskozity (pomocí rotačního viskozimetru) pro 8 různých teplot, měření hustoty, dále byl proveden chemický rozbor jednotlivých vzorků.

Poté proběhlo vyhodnocení naměřených hodnot, posouzení závislosti jednotlivých veličin a vypočítána kinematická viskozita. Na praktických případech byl zhodnocen vliv naměřených výsledků při navrhování různých typů kanalizací.

5.1 POSTUP MĚŘENÍ

Nejdříve proběhly odběry vzorků OV na vytipovaných lokalitách (průběh odběrů viz kap. 5.1.1).

Část objemu odebraných vzorků byla použita k chemickému rozboru, který byl proveden na Ústavu chemie (odborné zaměření Chemie a technologie vody), Fakulty stavební – viz kap. 5.1.3.

Na vzorcích OV bylo provedeno měření jejich hustoty pro 20 °C (viz kap. 5.1.4) a měření dynamické viskozity pro 8 různých teplot v rozmezí 10-80 °C (viz kap. 5.1.6). Měření byla zapisována do předem připravených tabulek. Ukázka jedné z nich je uvedena v Tab. 5.1. Měření probíhala za standardních laboratorních podmínek (při atmosférickém tlaku, při laboratorní teplotě 19,5-21 °C).

Dle výše uvedeného vztahu (3.3) byla následně z naměřených a zpracovaných hodnot vypočtena kinematická viskozita OV.

Tab. 5.1 Zápis měření pro vzorek B – dyn. viskozita při 10 °C, hustota při 20 °C

VZOREK	B			
TEPLOTA		sm. rychl.		
10°C	t [s]	γ' [1/s]	τ [Pa]	n [Pa.s]
B10	5	400	0,47	0,0012
	10	450	0,54	0,0012
	15	500	0,6	0,0012
	20	550	0,66	0,0012
	25	600	0,73	0,0012
	30	650	0,79	0,0012
	35	700	0,85	0,0012
	40	750	0,91	0,0012
	45	800	0,97	0,0012
	50	850	1,03	0,0012
	55	900	1,1	0,0012
	60	950	1,16	0,0012
	65	1000	1,22	0,0012
	70	1050	1,29	0,0012
	75	1100	1,35	0,0012
Pozn.			$\eta_{\text{prům}} =$	0,0012
			$\eta_{\text{medián}} =$	0,0012
			$\eta_{\text{modus}} =$	0,0012

$$m_{1V} = 94,6459 \text{ g}$$

$$m_1 = 9,144225 \text{ g}$$

$$V_1 = 10 \text{ ml}$$

$$m_{2V} = 97,9056 \text{ g}$$

$$m_2 = 12,40393 \text{ g}$$

$$V_2 = 13,5 \text{ ml}$$

$$\rho_1 = 914,4225 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 918,8093 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{prům}} = 916,6159 \text{ kg/m}^3$$

5.1.1 Teorie chyb měření [23]

Při každém experimentálním měření může docházet k chybám. Tato kapitola o nich stručně pojednává.

K experimentálním chybám dochází kvůli nedokonalosti a nepřesnosti měřicích přístrojů, dále kvůli nedostatečnosti a nespolehlivosti našich smyslů (v tomto případě hlavně zraku). Také zde záleží na vyhodnocovacím modelu (vztahu použitým k vyhodnocování). Mohou se vyskytnout i okolní negativní vlivy, které působí na měření a které neregistrujeme.

Pro určování přesnosti měření se chyby dělí na:

- Chyby jednorozměrných měření
- Chyby vícekomponentních měření (zákon šíření chyb)

Jednokomponentní měření

Měří se pouze jedna veličina ze stupnice jednoho přístroje. Z měření provedených v této práci se zde řadí veličina dynamická viskozita (měřená na viskozimetru).

Zde se vyskytují chyby trojího druhu:

- a) Hrubé chyby – vzniknou díky nedbalosti nebo omylem. Hodnoty, u kterých se tyto chyby vyskytují, se často výrazně liší od ostatních, z měření se vypouštějí a při zpracování dat se neuvažují.
- b) Soustavné chyby – jsou to chyby zjednodušeného fyzikálního modelu (zjednodušení během odvozování) nebo chyby strojů či stálé smyslové vady experimentátora. Bývají stěží objevitelné.
- c) Náhodné chyby – vznikají nepravidelně, díky nekontrolovatelným změnám ve způsobu a podmínkách měření.

Pro zpracování těchto měření byl jako přiblížení střední hodnoty použit aritmetický průměr $\bar{x}$:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5.1)$$

kde n ... počet měření

x_i ... naměřené hodnoty veličiny x

Pro výpočet absolutní pravděpodobné chyby $\bar{\vartheta}$ aritmetického průměru byl použit vztah:

$$\bar{\vartheta} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}} \quad (5.2)$$

kde n ... počet měření

x_i ... naměřené hodnoty veličiny x

$\bar{x}$... aritmetický průměr veličiny x

Příslušná relativní chyba $\bar{\rho}$ byla vypočtena dle vztahu:

$$\bar{\rho} = \frac{\bar{\vartheta}}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad [\%] \quad (5.3)$$

kde $\bar{\vartheta}$... absolutní pravděpodobná chyba aritmetického průměru

$\bar{x}$... aritmetický průměr veličiny x

Vícekomponentní měření

Získávají se hodnoty několika veličin ze stupnic několika přístrojů a výsledek se počítá z fyzikálního vztahu, do něhož se naměřené veličiny dosazují. Z měření provedených v této práci se zde řadí veličiny hustota ρ (počítána z naměřených hodnot objemu V a hmotnosti m) a kinematická viskozita ν (počítána z hodnot dynamické viskozity μ a hustoty ρ).

Absolutní chyba vícekomponentní veličiny se skládá z chyb jednotlivých komponent. Je určena tzv. zákonem šíření chyb. Uvedené veličiny (hustota a kinematická viskozita) jsou tzv. speciální algebraickou funkcí, tedy obsahují proměnné pouze v součinu, podílu, mocnině či odmocnině. Dají se zapsat následovně:

$$f(a,b,c,\dots) = konst \cdot a^\alpha \cdot b^\beta \cdot c^\gamma \dots \quad (5.4)$$

kde $a, b, c \dots$ jednotlivé proměnné

Poté může být zákon šíření chyb převeden na tvar, kdy poskytuje relativní chybu výsledku z relativních chyb jednotlivých komponent:

$$\bar{\rho}(X) = \sqrt{[\alpha \cdot \bar{\rho}(a)]^2 + [\beta \cdot \bar{\rho}(b)]^2 + [\gamma \cdot \bar{\rho}(c)]^2 + \dots} \quad [\%] \quad (5.5)$$

5.1.2 Odběry

Vzorky byly odebírány na přítoku surové odpadní vody na ČOV, tedy ještě před jakýmkoli stupněm čištění, předčištění či úpravou.

Vzorky byly naplněny do suchých plastových lahví, v nichž předtím byla uchovávána pitná voda (neochucená, neslazená). Objem odebraných vzorků činil 2 l, z toho 1,5 l bylo zapotřebí na chemický rozbor, 0,5 l bylo poté použito na měření viskozity.

Odebrané vzorky byly převáženy a uchovány v chladícím zařízení.



Obr. 5.1 Odběr vzorků [archiv autorky]

5.1.3 Chemický rozbor

Chemický rozbor byl proveden na Ústavu chemie (odborné zaměření Chemie a technologie vody), Fakulty stavební, VUT v Brně.

Sledovány byly následující parametry: Amoniakální dusík $N-NH_4$ ($mg \cdot l^{-1}$), obsah fosforu P_{celk} ($mg \cdot l^{-1}$), obsah dusíku N_{celk} ($mg \cdot l^{-1}$), nerozpuštěné látky NL ($g \cdot l^{-1}$), chemická spotřeba kyslíku CHSK ($mg \cdot l^{-1}$), biochemická spotřeba kyslíku pětidenní BSK_5 ($mg \cdot l^{-1}$), pH a zákal (ZF).

5.1.4 Hustota

Postup stanovení hustoty byl následující. Několikrát se zvážila hmotnost suchého odměrného válce a hodnoty byly zapsány. Poté do něj byla nalita odpadní voda a ze stupnice na odměrném válci byl odečten příslušný objem. (Voda neobsahovala sedimentující částice – písek apod., aby nedošlo k poškození viskozimetru. Nicméně orientačním výpočtem množství písku, které doputuje na ČOV, bylo zjištěno, že hustotu ovlivní jen velice nepatrně.) Následně se válec s vodou zvážil. Od takto stanovené hmotnosti válce s vodou se odečetla průměrná hmotnost suchého válce, tím se získala hmotnost odpadní vody. Jedná se ovšem o ne zcela přesnou metodu, což bylo měřením potvrzeno, viz dále.

Hustota byla počítána ze vztahu:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [kg \cdot m^{-3}] \quad (5.6)$$

kde m ... hmotnost OV [kg]

V ... objem OV [m^3]

Objem odpadních vod byl měřen ve velice malých množstvích (12 – 15 ml). Díky kontrolním vzorkům vody bylo zjištěno, že při těchto množstvích vzniká obrovská nepřesnost, hustota vody pro 20 °C vypočtená z těchto objemů vycházela výrazně menší, než jsou její tabulkové hodnoty, a i naměřené hodnoty se od sebe navzájem velice lišily. Proto bylo pro kontrolní vzorek vody zpracováno ještě jedno měření, kdy se zjišťovala hustota vody z různě velkých objemů a jejich hmotností. Z tohoto měření vyplynula zajímavá závislost – hustota vody s měřeným množstvím narůstala a příslušné tabulkové hodnoty v podstatě dosáhla až při množství 2 l, dále již pak zůstávala konstantní. Naměřenými hodnotami byla proložena regresní polynomická funkce 3. stupně, jejíž hodnota spolehlivosti je $R^2=0,9348$. Viz Obr. 5.2. Jedná se o následující funkci, kde y je hustota [$kg \cdot m^{-3}$] a x je objemové množství [ml]:

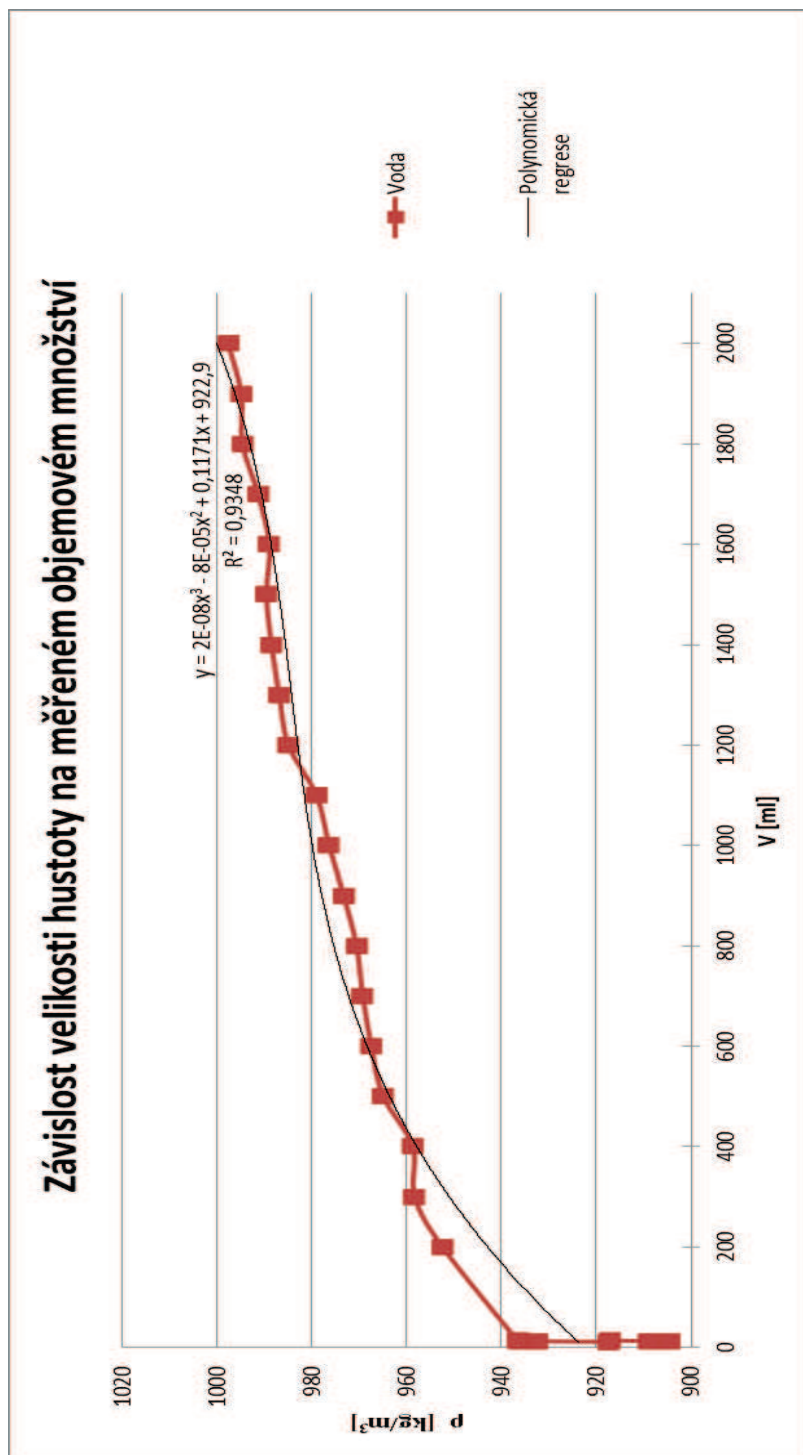
$$y = 2 \cdot 10^{-8} x^3 - 8 \cdot 10^{-5} x^2 + 0,1171x + 922,9 \quad (5.7)$$

Jelikož hustota odpadních vod byla měřena pouze v těchto malých množstvích a také vycházela překvapivě velice nízká, byl v této práci zaveden předpoklad, že zde bude platit stejná závislost přesnosti hustoty OV na měřeném množství. Tedy předpokládal se stejný průběh polynomické křivky, která byla zjištěna pro obyčejnou vodu, ovšem počátek této křivky je posunut do naměřeného průměru OV. Za výslednou hustotu je pak považována hodnota odečtená z křivky při objemu 2050 ml.

Pomůcky

Digitální elektrické váhy, vážící na 0,0001 g, max. vážená hmotnost 100 g; skleněný odměrný válec o objemu 50 ml; vzorky OV

Pro měření kontrolního vzorku vody byly použity ještě odměrné válce o objemech 800 ml a 2 l; digitální kuchyňská váha vážící na přesnost jednotek gramů, max. vážená hmotnost 5 kg.



Obr. 5.2 Závislost hustoty na měřeném objemovém množství

5.1.5 Viskozimetr a termostát

Dynamická viskozita vzorků byla měřena na přístroji – rotačním viskozimetru RheolabQC. Přístroj je určen k měření reologických vlastností kapalin a pastovitých hmot.

Je využíván v široké škále průmyslových oblastí, např. v potravinářství, hlavně v nápojích (pivo, vína, lihoviny, nealkoholické nápoje), či v chemickém průmyslu (adhezní činidla, lepidla, barvy, laky apod.) [85]

Přístroj se ovládal manuálně. Na displeji lze zobrazovat následující veličiny: Smykové napětí (Pa), smyková rychlost (s^{-1}), čas (s), teplota ($^{\circ}\text{C}$), torze ($\text{mN}\cdot\text{m}$), viskozita ($\text{mPa}\cdot\text{s}$).

Hlavními součástmi přístroje je samotný RheolabQC včetně stojanu, temperační komora, měřicí systém (sestavující z měřicího válce a měřicí nádoby). Viz Obr. 5.4 a Obr. 5.5.

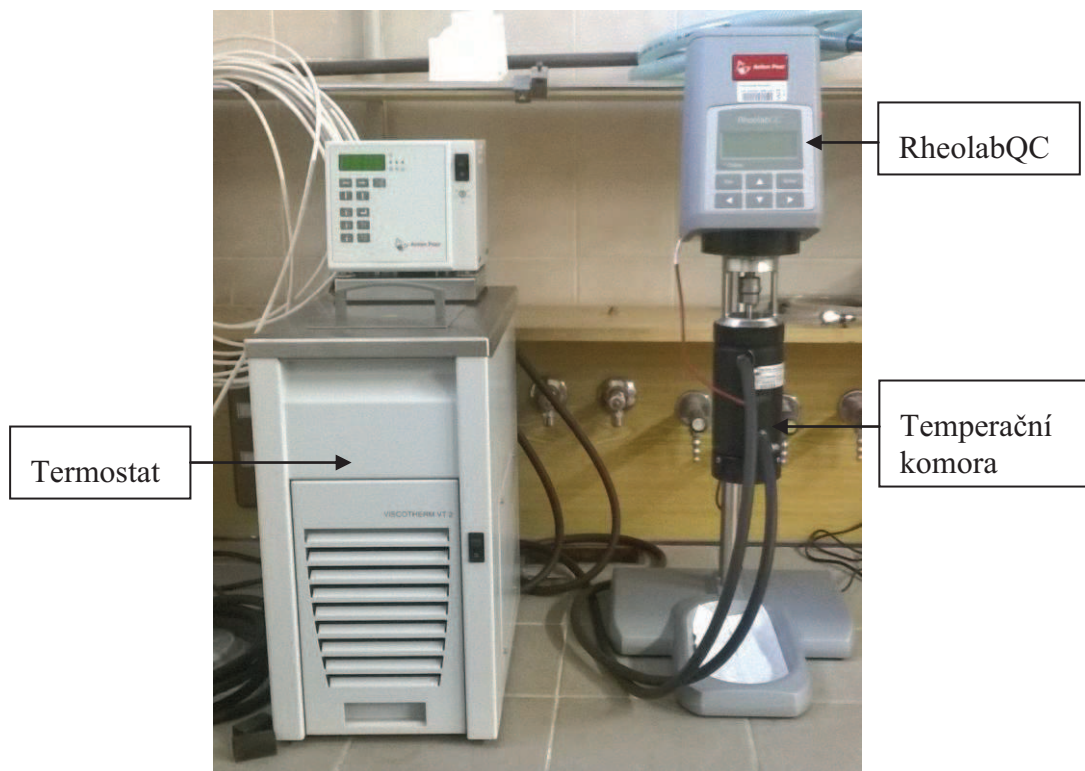
Byl použit měřicí systém typu DG42, viz Obr. 5.3 - DG42 je umístěný nejvýše. Temperační komora nese označení C-LTD80/QC.

Měřicí tělíska jsou vyrobena z oceli, nádoby měřicího systému jsou z tvrdého eloxovaného hliníku nebo oceli. [86]

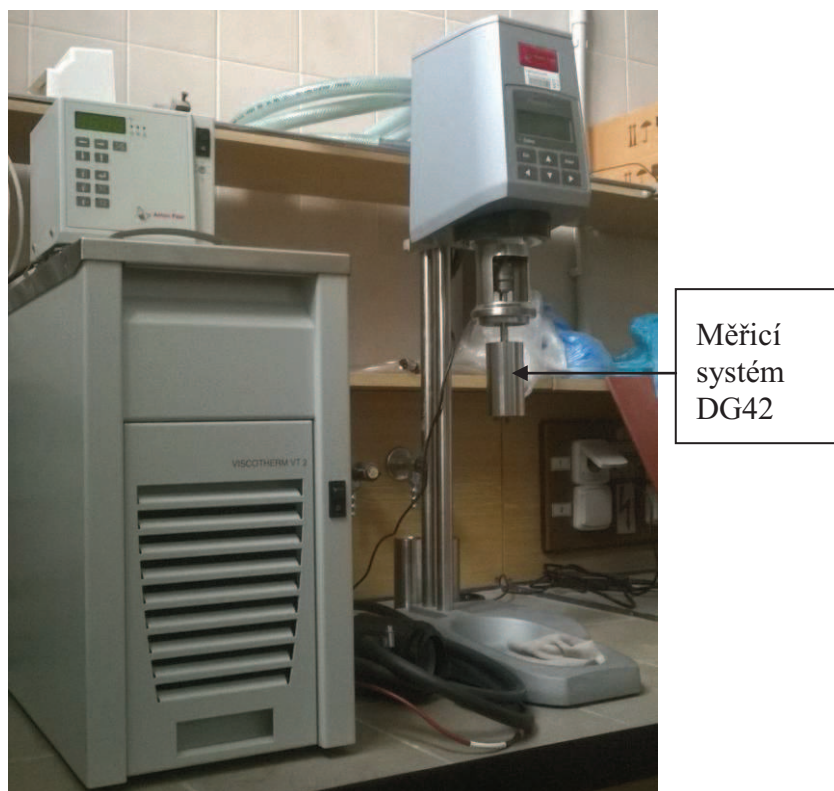
Z technických dat o viskozimetru a měřicím systému DG42 uvedme, že následující hodnoty se pohybují v rozsazích: Torze $0,25\text{--}75 \text{ mN}\cdot\text{m}$, smyková rychlost $0,1\text{--}4000 \text{ s}^{-1}$, viskozita $10^{-4}\text{--}5000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, rozsah teploty pro použitou temperační komoru $(-20)\text{--}(+80) ^{\circ}\text{C}$, hmotnost přístroje cca 14 kg. [86]



Obr. 5.3 Typy měřicích systémů pro RheolabQC [85]



Obr. 5.4 Viskozimetr a termostát [archiv autorky]



Obr. 5.5 Viskozimetr s obnaženým měřicím systémem [archiv autorky]

K viskozimetru byl připojen termostát, jenž udržuje v temperační komoře požadovanou teplotu. Byl použit typ VISCOTHERM VT2. Jedná se o chladicí oběhový termostát, který se skládá z temperovací jednotky a chladicího agregátu s chladicí lázní a je určen

k teplotě kapalných médií. Dalšími hlavními funkčními elementy jsou ohřívač, oběhové čerpadlo a elektronická část. [87]

V termostatu lze používat silikonový olej s nízkou viskozitou, silikonový olej a deionizovanou vodu jako temperační kapaliny. Při měření popsaném v této práci byla užitá deionizovaná voda, která se dá aplikovat pro teplotní rozsah +5 až +80 °C.

Z technických dat o termostatu uvedme, že mezní teplotní rozsah přístroje je (-28) °C až (+200) °C, teplotní konstanta $\pm 0,02$ °C, teplota okolí se může pohybovat v rozmezích 5-40 °C, objem lázně 3-4,5 l, hmotnost 30 kg. [87]

5.1.6 Dynamická viskozita

Dynamická viskozita vzorků při různých teplotách byla měřena pomocí rotačního viskozimetru a termostatu, podrobněji jsou oba přístroje popsány v kap. 5.1.5.

Měření viskozity proběhlo pro každý vzorek při 8 různých teplotách – 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 a 80 °C. Pro každou teplotu byla vzata nová část objemu vzorku, tedy že odpadní voda, na které byla měřena viskozita např. při 10 °C, nebyla použita pro měření při dalších teplotách (20, 30 °C atd.), ale vždy byla odlita „čerstvá“ část vzorku OV.

Měření probíhalo následovně: do měřicí nádoby byla nalita OV o objemu cca 24 ml, bez hrubých nerozpuštěných částic, které byly schopny sedimentace. Měřicí nádoba se zasunula do temperační komory a upevnila se k přístroji. Na termostatu byla nastavena požadovaná teplota pro měření. Vyčkalo se, než vzorek v temperační komoře dosáhne dané teploty – tato je zobrazována na displeji viskozimetru. Bylo-li dosaženo požadované teploty vzorku, mohlo se spustit samotné měření přístroje.

Navolil se program měření. Jeho parametry byly nastaveny na dobu měření 75 s; měřicí bod vždy po 5 sekundách, tedy celkem 15 měřicích bodů; byla zvolena možnost „shear ramp“, tedy že smyková rychlost se v průběhu měření mění, a to od 400 do 1100 (1/s). Toto rozpětí bylo zvoleno proto, že hlavně při vyšších teplotách vzorků přístroj měřil viskozitu až od vyšších hodnot smykové rychlosti (např. pro teplotu 50 °C měření započalo až kolem 700 s⁻¹).

Po skončení měření se výsledky zapsaly do připravených tabulek (viz Tab. 5.1). Pro každý měřicí bod se zapisoval čas od počátku měření t , smyková rychlost γ' , smykové napětí τ a dynamická viskozita μ (η).

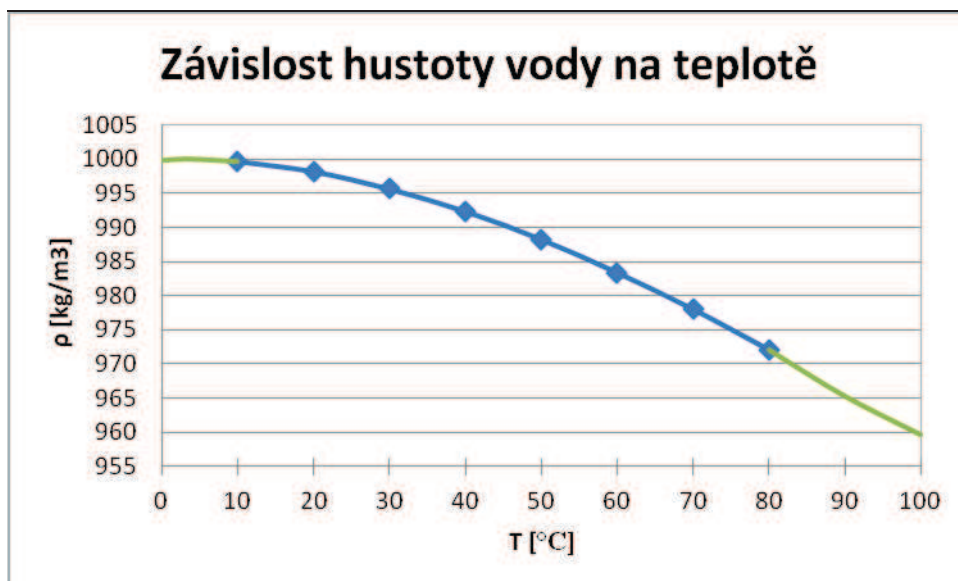
Pomůcky

Rotační viskozimetr RheolabQC a příslušenství, termostat Viscoterm VT2, vzorky OV

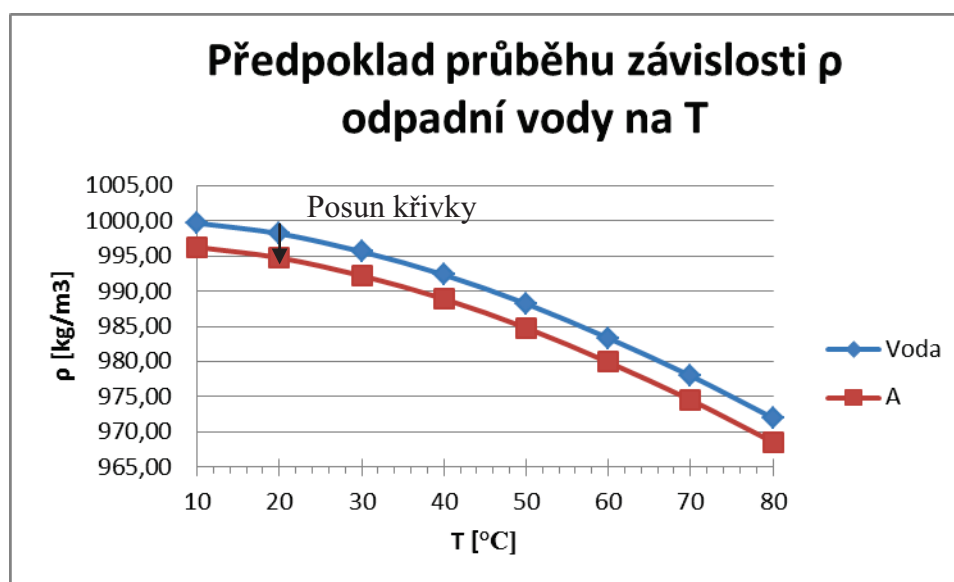
5.1.7 Kinematická viskozita

Kinematická viskozita nebyla zjišťována experimentálně. Vychází však ze vztahu (3.3) uvedeného v kap. 3.2.2, tedy z měřených hodnot hustoty a dynamické viskozity odpadní vody, a dle tohoto vztahu byla výpočtem stanovena.

Jelikož však hustota OV byla stanovována jen při teplotě 20 °C, je v této práci zaveden předpoklad, že grafický průběh závislosti hustoty odpadní vody na teplotě od 10 °C do 80 °C je zcela totožný s průběhem této závislosti u vody obecně, jen je posunut do bodu průměrné hustoty daného vzorku OV při 20 °C. Jsou použity údaje z Tab. 3.3 [1]. Viz Obr. 5.6 a Obr. 5.7.



Obr. 5.6 Závislost hustoty vody na teplotě



Obr. 5.7 Předpoklad průběhu závislosti hustoty odpadní vody (vzorek A) na teplotě

5.2 ODEBRANÉ VZORKY

Celkem bylo odebráno 13 vzorků. 5 vzorků z tlakové kanalizace, 4 vzorky z podtlakové a 4 vzorky z gravitační kanalizace.

Jednotlivé vzorky jsou označeny písmeny A až M.

5.2.1 Tlaková kanalizace

Odběr vzorků z tlakové kanalizace proběhl dne 15. 10. 2014. Lokality se nacházejí v Olomouckém okrese.

Vzorek „A“

Vzorek A byl odebrán na ČOV ve Štěpánově, v cca 8:20 hod SELČ.

Štěpánov je obec nacházející se v Olomouckém kraji, cca 9 km severně od města Olomouce. Zástavba se rozkládá v nadmořských výškách 220-224 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel 3 440. [74], [75]

V obci je vybudována tlaková kanalizace z potrubí PE DN 50-200. Celková délka potrubí je asi 16 000 m. Je vystavěna mechanicko-biologická ČOV, která byla otevřena v r. 2006. Recipientem je řeka Oskava. [74], [76]

Vzorek „B“

Vzorek B byl odebrán na ČOV v Újezdě, v cca 7:30 hod SELČ.

Újezd leží v severní části okresu Olomouc, cca 25 km severně od města Olomouce. Bližšími městy vyššího významu jsou Uničov a Šternberk. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel 1381. [75], [89]

V obci proběhla v r. 2004 výstavba tlakové kanalizace. Splaškové vody jsou zachycovány v čerpacích jímkách a systémem tlakové kanalizace jsou dopraveny na ČOV umístěnou jižně pod obcí, na levém břehu potoku Teplička. ČOV má kapacitu 1 584 EO, $170 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. V r. 2014 je navržena intenzifikace ČOV na 1 905 EO z důvodu látkového přetížení a nárůstu obyvatel. Dále bude doplněna technologie k odstraňování sirovodíku, k redukci fosforu a zlepšení účinnosti biologické části čištění. Celková délka tl. kanalizace (včetně místních částí) je 19 784 m. V částech obce jsou položeny krátké úseky dešťové kanalizace (5 x zaústění jednotlivých větví do Tepličky, která obcí protéká). Jatka ZD mají vybudovány vlastní ČOV. ZD má jímky na vyvážení.

Vzorek „C“

Vzorek C byl odebrán z domovní čerpací jímky v Hlušovicích, v přibližně 9:30 hod SELČ.

Tento vzorek však nebyl do vyhodnocování zařazen, neboť nebyl odebrán na ČOV a také přívod do jímky je gravitační, tedy nepochází z tlakové kanalizace. Byl pouze ponechán pro chemicko-biologický rozbor. Do jímky byly napojeny 3 nemovitosti.

Vzorek „D“

Vzorek D byl odebrán na ČOV v Náklu, v cca 10:45 hod SELČ. Voda byla odebrána z nádrže, kde se soustřeďují vody z tlakové kanalizace z obcí Náklo a Příkazy.

Příkazy leží v severní části okresu Olomouc, cca 10 km severozápadně od města Olomouc. Stávající zástavba se rozkládá v nadmořských výškách 223-229 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel 1 275. [75], [90]

Náklo sousedí s obcí Příkazy. Stávající zástavba se rozkládá v nadmořských výškách 224-230 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel 1 526. [75], [91]

Jedná se o mechanicko-biologickou ČOV v obci Náklo, která byla v letech 2013 - 2014 zintenzifikována, tedy její současná kapacita je 3 000 EO. Byla přestavěna na klasický systém čištění s oběhovou aktivací a dosazovací nádrží. Její součástí je i nové kalové

hospodářství, které je vybaveno pásovým lisem. ČOV je určená pro obce Náklo, Mezice a Příkazy. Odtok z ČOV je zaústěn do pravostranného přítoku Cholinky. V obcích je vybudovaná tlaková kanalizace. Dešťové vody jsou odváděny samostatnou starší dešťovou kanalizací. Délka tlakové kan. sítě v Příkazech je 5400 m, světlosti potrubí jsou DN 50-80. Délka tlakové kan. sítě pro obec Náklo je 5 890 m, světlosti jsou opět DN 50-80. [90], [91], [92]

Vzorek „E“

Vzorek E byl odebrán na ČOV v Dubčanech, v cca 12 hod SELČ.

Obec Dubčany leží cca 15 km severozápadně od města Olomouc. Stávající zástavba se rozkládá v nadmořských výškách 238-243 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel 224. [75], [93]

V obci je vybudovaná tlaková kanalizace PRESSKAN z polyetylénu DN 63–90. Odpadní vody jsou svedeny na místní ČOV (MINICLAR 250 EO) s kapacitou 30 m³/den. Délka kan. sítě tlakové o světlostech DN 50 – 80 je 2 004 m. Délka výtlaku DN 80 je 1109 m. [93]

5.2.2 Podtlaková kanalizace

Odběr vzorků z podtlakové kanalizace proběhl dne 30. 10. 2014. Lokality se nacházejí v okrese Šumperk.

Vzorek „F“

Vzorek F byl odebrán na ČOV v Postřelmově, v cca 9 hod SELČ.

Postřelmov se nachází v šumperském okrese, leží cca 8 km jihozápadně od města Šumperk. Nachází se zcela v rovinném terénu a leží mezi městy Zábřeh a Bludov. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 3 194. [75], [94]

Vzhledem k rovinnému charakteru terénu v obci byla zvolena vakuová kanalizace systém Roevak. Na síti je vybudována jedna podtlaková stanice. Splašková kanalizace je vybudována v délce 14 600 m. Vakuová splašková kanalizace odvádí odpadní vody na ČOV s dlouhodobou aktivací a chemickým srážením fosforu o kapacitě 840 m³/den. Znečištění odpovídá 4 000 EO. Na čistírnu odpadních vod v Postřelmově jsou odváděny odpadní splaškové vody z obce Sudkov splaškovou kanalizací vybudovanou v návaznosti na splaškovou kanalizaci v Postřelmově. [94]

Vzorek „G“

Vzorek G byl odebrán na ČOV ve Zvoli, v cca 10 hod SELČ.

Zvole leží v okrese Šumperk, cca 7 km severně od města Mohelnice a cca 15 km jihozápadně od Šumperku. Průměrná nadmořská výška je 262 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 853. [75], [95]

Vzhledem ke špatným spádovým poměrům je vybudována podtlaková splašková kanalizace. Je provedena z plastových trub profilů DN 100 v délce 4 460 m a DN 150 v délce 1 292 m. Pro čištění splaškových OV je vybudována aktivací ČOV s kapacitou 120 m³/den. V době odběru vzorku zrovna probíhala její intenzifikace, kapacita by

po dokončení měla být 1050 EO. Vyprodukovaný kal je vyvážen na zemědělské pozemky. Recipientem vyčištěných odpadních vod je řeka Morava. [96]

Vzorek „H“

Vzorek H byl odebrán na ČOV Bohuslavice v cca 10:30 SELČ.

Bohuslavice leží na levém břehu řeky Moravy pod jejím soutokem s Moravskou Sázavou, mezi městy Mohelnicí a Zábřehem. Nadmořská výška se pohybuje kolem 258-260 m n. m., tedy se jedná o velice rovinaté území. Obec se rozprostírá na vydatných ložiscích štěrkopísků a zvláštní pozornost zasluhují vydatné podzemní zdroje velice kvalitní pitné vody. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 525. [75], [97]

V r. 1995 počala výstavba splaškové podtlakové kanalizace. Její celková délka je 4216 m a je ukončena v mechanicko-biologické ČOV (mechanicko-biologická čistírna Bokan-Wolfbauer s jemnobublinnou aerací v aktivační nádrži, simultánní nitrifikací, denitrifikací a stabilizací kalu) s kapacitou $80 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$. Recipientem odpadních vod je Lužní potok a meliorační odpad „H“. [97], [98]

Vzorek „I“

Vzorek I byl odebrán na ČOV Dubicko v cca 11:30 SELČ.

Dubicko leží v okrese Šumperk, sousedí s Bohuslavicemi, leží od nich východním směrem. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 1 061. [75]

V obci je dobudován oddílný kanalizační systém. Splašková kanalizace je dlouhá 3 912 m. V obci je vzhledem k morfologii terénu vybudován kombinovaný systém podtlakové kanalizace v západní části obce a gravitační systém ve východní části. Obě kanalizační soustavy odvádějí odpadní vodu na místní ČOV o kapacitě $160,41 \text{ m}^3 \cdot \text{den}^{-1}$ a 1 095 EO. Vyčištěné odpadní vody jsou vypouštěny do Lužního potoka. [99]

5.2.3 Gravitační kanalizace

Odběr vzorků z podtlakové kanalizace proběhl dne 5. 11. 2014. Všechny lokality se nacházejí v okrese Blansko.

Vzorek „J“

Vzorek J byl odebrán na ČOV Rudice v cca 8:00 hod SEČ.

Rudice leží ve střední části Moravského krasu v nadmořské výšce 490 až 530 m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 932. [75]

Jedná se o mechanicko-biologickou ČOV s nitrifikací a denitrifikací, projektovaná kapacita 1 500 EO. Recipientem vyčištěné OV je Jedovnický potok. Ve výhledu je ovšem tuto ČOV zrušit a kanalizace obce Rudice se napojí na ČOV Jedovnice. [101], [102], [104]

Vzorek „K“

Vzorek K byl odebrán na ČOV Křtiny v cca 8:40 hod SEČ.

Městys Křtiny, leží na horním okraji krasového Josefovského údolí, asi 15 km severovýchodně od Brna. Nacházejí se v bezprostředním sousedství Moravského krasu.

Nadmořská výška se pohybuje od 400 do 500 metrů. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 806. [75], [103]

Systém obecní kanalizace je založen na ČOV, vybudované v devadesátých letech v horním ústí Josefovského údolí, v oblasti Babické křižovatky, uvedená do provozu byla v r. 1996. Jedná se o mechanicko-biologickou ČOV s nitrifikací a denitrifikací, projektovaná kapacita 1 136 EO. Na vybudovanou čistírnu navázalo v několika etapách budování gravitační kanalizační sítě, která dnes již pokrývá většinu obce. Recipientem vyčištěných OV je Křtinský potok. [100], [101], [102]

Vzorek „L“

Vzorek L byl odebrán na ČOV Ostrov u Macochy v cca 9:15 hod SEČ.

Městys Ostrov u Macochy leží v CHKO Moravský kras. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí cca 470-510 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 1 128. [75]

Jedná se o mechanicko-biologickou ČOV s nitrifikací a denitrifikací. ČOV byla intenzifikována a nyní je projektovaná kapacita 2000 EO. Kanalizační síť je tvořena z trub plastových DN 300, 250 a 150 v celkové délce 5 988 m. Dále jsou vystavěny 3 čerpací stanice a 3 výtlaky z PE DN 63. [102], [106]

Vzorek „M“

Vzorek M byl odebrán na ČOV Sloup v cca 10 hod SEČ.

Městys Sloup leží v CHKO Moravský kras. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí cca 470-540 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 980. [75]

Obec Šošůvka sousedí s městysem Sloup, na jeho jihovýchodní straně. Nadmořská výška obce je udávána jako 575 m n. m. K 1. 1. 2014 byl počet obyvatel obce 696. [75]

V r. 2012 došlo k otevření ČOV a kanalizace obcí Sloup a Šošůvka. Jde o klasickou mechanicko-biologickou čistírnu pro 2100 EO s intenzivním terciálním dočištěním. V obci Šošůvka byla vybudována kompletní nová splašková kanalizace, kde jsou na síti zabudovány 3 čerpací stanice. [107]

5.3 VÝSLEDKY A VYHODNOCENÍ

Celkem bylo do vyhodnocování zahrnuto 12 vzorků (z 13 odebraných, vyřazen byl vzorek „C“), a to 4 z tlakové kanalizace, 4 z podtlakové a 4 z gravitační. Na každém vzorku byla měřena dynamická viskozita pro 8 různých teplot (10 °C – 80 °C). Pro každý vzorek bylo naměřeno 16 hodnot hustoty odpadní vody při „pokoje“ teplotě v laboratoři, tedy v rozmezí 20 – 21,5 °C.

Naměřené hodnoty jsou zpracovány tabelárně a vyneseny v závislostech do grafů.

5.3.1 Hustoty

Ze zpracovaných hodnot (tzn. aplikování předpokladu uvedeného v kap. 5.1.4) vyplývá, že hustota OV se víceméně pohybuje okolo tabulkových hodnot obyčejné vody. Průměrná hodnota hustoty OV (aritmetický průměr) se pohybovala kolem hodnoty 989 kg·m⁻³.

Je ovšem nutno zdůraznit, že v podstatě u každého vzorku se naměřená data pohybují ve velkém rozmezí hodnot, např. u vzorku A se zpracované hodnoty hustoty pohybovaly

od $983\text{--}1013\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Je to zřejmě dáno tím, že odpadní voda je heterogenní (různorodá) směs, ve které se nacházejí látky různých fází, složení a vlastností.

Tab. 5.2 Zpracované hustoty vzorků

	Vzorek	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	ρ_6	ρ_7	ρ_8	Celkový průměr	Absolutní chyba	Relativní chyba [%]
$\rho_{\text{prům}}$ [kg/m^3]	A	983,3	966,3	997,3	994,1	988,7	1013,3	1002,0	1013,2	994,8	± 21,2	2,1
	B	992,8	964,2	988,3	1001,9	975,0	993,7	964,8	968,4	981,1	± 27,6	2,8
	D	974,3	959,9	976,3	962,0	1015,9	993,6	978,0	961,7	977,7	± 18,7	1,9
	E	1003,2	981,7	980,4	957,5	969,3	992,8	987,6	966,9	979,9	± 13,1	1,3
$\rho_{\text{prům}}$ [kg/m^3]	F	991,1	978,0	996,1	1006,9	976,3	1020,5	976,7	1012,6	994,8	± 23,1	2,3
	G	989,1	977,1	990,3	996,8	971,9	977,7	996,3	1060,2	994,9	± 19,2	1,9
	H	994,8	994,7	992,9	1020,2	974,3	1023,4	984,8	974,5	994,9	± 21,9	2,2
	I	987,4	969,6	974,7	996,4	949,8	988,6	995,3	965,1	978,3	± 24,6	2,5
$\rho_{\text{prům}}$ [kg/m^3]	J	1007,7	989,6	974,2	992,0	975,8	972,3	1009,8	986,1	988,4	± 20,2	2,0
	K	995,3	982,4	1011,7	995,4	1006,6	989,4	987,5	991,0	994,9	± 25,4	2,6
	L	988,0	964,3	979,6	1000,9	991,9	982,9	996,2	1023,7	991,0	± 24,1	2,4
	M	997,4	1025,9	1010,6	992,3	995,8	978,7	983,9	1025,2	1001,2	± 22,7	2,3

Tab. 5.3 Průměrné hodnoty hustot OV a jejich rozmezí dle absolutních chyb

[$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	Tlak	Podtlak	Gravitační	Celkově
$\rho_{\text{prům}}$	983,4	990,8	993,9	989,3
min.	953,5	953,7	966,8	953,5
max.	1016,0	1017,9	1023,9	1023,9

5.3.2 Chemický rozbor

Rozbor byl proveden na všech vzorcích, je tedy pro zajímavost uveden i rozbor pro vzorek C, který je jinak ovšem z veškerého vyhodnocování vyřazen.

Dle naměřených dat výrazně vybočuje vzorek K, kde byly zjištěny oproti ostatním vzorkům minimální hodnoty znečištění. (Může to být dáno tím, že došlo k naředění splaškových vod buď srážkovými či balastními vodami.)

Tab. 5.4 Chemický rozbor vzorků

	Vz.	N-NH ₄ [mg·l ⁻¹]	P _{celk.} [mg·l ⁻¹]	NL [g·l ⁻¹]	CHSK [mg·l ⁻¹]	pH	zákal	BSK ₅ [mg·l ⁻¹]	N _{celk.} [mg·l ⁻¹]
Tlaková	A	122,9	11,7	0,4	452,6	8,0	>5 ZF	203,4	242,1
	B	125,1	11,7	1,7	465,1	7,8	>5 ZF	298,9	131,9
	C	111,9	8,4	0,2	268,0	8,1	>5 ZF	132,4	154,1
	D	124,6	11,5	0,5	471,9	7,7	>5 ZF	213,9	131,1
	E	116,6	1,0	0,8	499,2	7,8	>5 ZF	294,4	131,2
Podtlaková	F	130,1	14,2	0,8	270,7	8,2	>5 ZF	114,9	151,0
	G	164,2	16,6	0,6	500,8	8,2	>5 ZF	254,4	153,8
	H	127,5	8,7	1,3	228,9	7,8	>5 ZF	102,4	115,5
	I	147,4	15,1	0,4	459,1	8,5	>5 ZF	215,9	150,2
Gravitační	J	138,9	14,6	0,3	469,3	7,9	> 5 ZF	215,9	155,6
	K	28,2	3,2	0,1	73,5	7,6	> 5 ZF	33,8	133,7
	L	133,9	13,8	0,5	459,8	8,0	> 5 ZF	216,4	179,2
	M	40,5	5	0,2	354,4	7,5	> 5 ZF	184,4	135,9

Vysvětlivky: N-NH₄ ... Obsah amoniakálního dusíku
 NL ... Obsah nerozpuštěných látek
 CHSK ... Chemická spotřeba kyslíku
 BSK₅ ... Biologická spotřeba kyslíku

Tab. 5.5 Hodnoty BSK₅ a CHSK v rámci všech vzorků

	BSK ₅ [mg·l ⁻¹]	Vzorek	CHSK [mg·l ⁻¹]	Vzorek
Min	33,8	K	73,5	K
Max	298,9	B	500,8	G
Medián	214,9	-	459,5	-
Průměr	195,7	-	392,1	-

Tab. 5.6 Průměrné hodnoty BSK₅ a CHSK dle typu kanalizace

Průměrné hodnoty	BSK ₅ [mg·l ⁻¹]	CHSK [mg·l ⁻¹]
Tlaková	252,7	472,2
Podtlaková	171,9	364,9
Gravitační	162,6	339,3

Uvedené vzorky v podstatě nevybočují z běžného rozsahu organického znečištění stanoveného pomocí metod BSK₅ a CHSK (viz

Tab. 4.1 Obecné složení splaškových vod [29], [30]). Jedinou výjimkou je již zmíněný vzorek K.

5.3.3 Viskozity

V této kapitole jsou stanoveny vyhodnocené výsledky.

V tabulkách jsou rozepsány dynamické viskozity v závislosti na teplotě. Jsou zde uvedeny 3 statistické hodnoty, a to aritmetický průměr naměřených viskozit, medián a modus.

Za předpokladu, že měřená OV bez nerozpuštěných částic, které jsou schopny sedimentace, je Newtonská kapalina, platí, že součinitel dynamické viskozity je konstantní. Ovšem při měření, zejména při vyšších teplotách, se vyskytly vzorky, v nichž se naměřené hodnoty velice mírně lišily, proto bylo použito toto statistické zpracování.

Kinematické viskozity byly vypočteny dle vztahu (3.3) s použitím hustot dle předpokladu průběhu hustot jednotlivých vzorků v závislosti na teplotě uvedeného v kap. 5.1.7.

Průběhy průměrných dynamických viskozit OV v závislosti na teplotě jsou vyneseny do grafů, je zde vložen pro srovnání i průběh tabulkových hodnot viskozity čisté vody.

Tlaková kanalizace

Z tlakové kanalizace byly odebrány vzorky A, B, D, E.

Ze získaných hodnot lze ověřit, že viskozita se stoupající teplotou klesá. Hodnoty odpadních vod se pohybují v podstatě ve stejných mezích, přičemž nejvíce vybočuje vzorek E, jehož kinematická i dynamická viskozita je nejvyšší. Největší rozdíl v rámci hodnot OV byl naměřen při teplotě 20 °C, a poté ve 30 a 40 °C.

Intervaly mezních rozsahů viskozity odpadních vod ze všech vzorků OV z tlak. kanalizace (tedy ze vzorků A, B, D, E) lze zhlédnout v Tab. 5.11. Barevně je v tabulce označeno, kde se naměřená data nejvíce od sebe navzájem lišila (největší rozdíl naměřených hodnot).

Porovnají-li se tabulkové hodnoty dynamické viskozity vody s naměřenými daty odpadních vod, zjistí se, že do 30 °C je dyn. viskozita čisté vody vyšší, ve 40 °C jsou na stejné úrovni a od 50 °C je naopak viskozita vody nejnižší. Viz Obr. 5.8.

Taktéž u kinematické viskozity vody zjistíme, že do 30 °C jsou hodnoty OV nižší než hodnoty čisté vody (kromě vzorku E), ve 40 °C jsou čistá voda a OV přibližně stejné, ovšem od 50 °C je opět kin. viskozita vody výrazně nižší než viskozita OV. Viz Obr. 5.9.

V Tab. 5.12 jsou průměrné hodnoty viskozit uvedeny s jejich absolutními a relativními chybami.

Tab. 5.7 Vzorek A - viskozity v závislosti na teplotě

Vzorek A		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,20000	0,90000	0,73846	0,70000	0,60000	0,52500	0,48750	0,41667
$\mu_{\text{medián}}$		1,20000	0,90000	0,70000	0,70000	0,60000	0,50000	0,50000	0,40000
μ_{modus}		1,20000	0,90000	0,70000	0,70000	0,60000	0,50000	0,50000	0,40000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,20450	0,90473	0,74425	0,70784	0,60926	0,53575	0,50023	0,43018
$\nu_{\text{medián}}$		1,20450	0,90473	0,70549	0,70784	0,60926	0,51024	0,51305	0,41298
ν_{modus}		1,20450	0,90473	0,70549	0,70784	0,60926	0,51024	0,51305	0,41298

Tab. 5.8 Vzorek B - viskozity v závislosti na teplotě

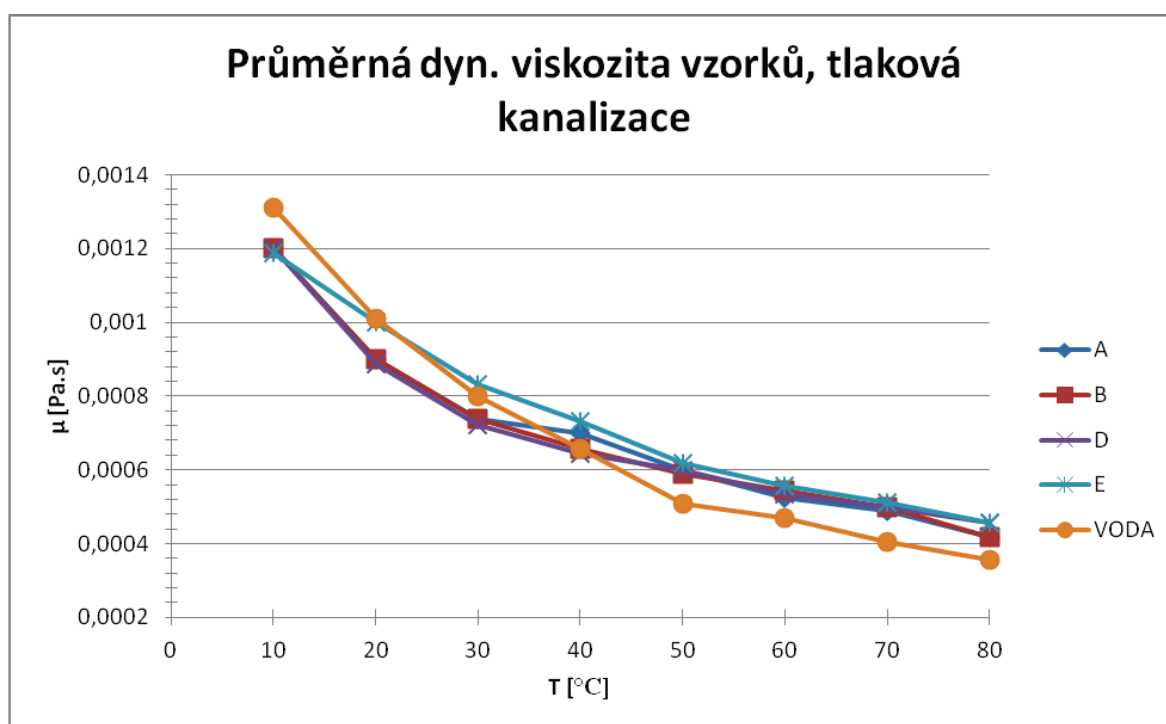
Vzorek B		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,20000	0,90000	0,73846	0,65833	0,58889	0,54444	0,50000	0,41667
$\mu_{\text{medián}}$		1,20000	0,90000	0,70000	0,65000	0,60000	0,50000	0,50000	0,40000
μ_{modus}		1,20000	0,90000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000	0,40000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,22121	0,91731	0,75462	0,67501	0,60637	0,56344	0,52033	0,43633
$\nu_{\text{medián}}$		1,22121	0,90473	0,71532	0,66647	0,61781	0,51744	0,52033	0,41887
ν_{modus}		1,22121	0,90473	0,71532	0,61520	0,61781	0,51744	0,52033	0,41887

Tab. 5.9 Vzorek D - viskozity v závislosti na teplotě

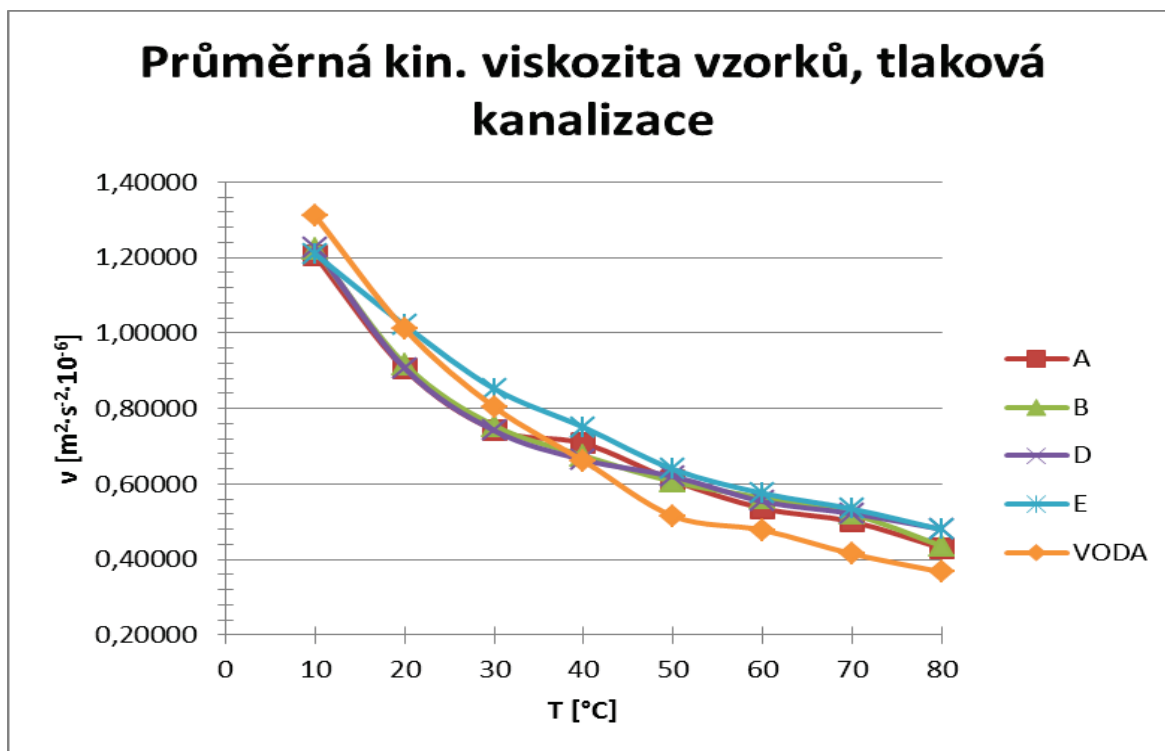
Vzorek D		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,20000	0,88667	0,72308	0,64545	0,60000	0,53333	0,50000	0,45714
$\mu_{\text{medián}}$		1,20000	0,90000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000	0,50000
μ_{modus}		1,20000	0,90000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000	0,50000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,22546	0,90687	0,74148	0,66413	0,61998	0,55389	0,52218	0,48043
$\nu_{\text{medián}}$		1,22546	0,92050	0,71782	0,61736	0,61998	0,51927	0,52218	0,52547
ν_{modus}		1,22546	0,92050	0,71782	0,61736	0,61998	0,51927	0,52218	0,52547

Tab. 5.10 Vzorek E - viskozity v závislosti na teplotě

Vzorek E		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	[Pa·s·10 ⁻³]	1,18667	1,00000	0,83333	0,73077	0,62000	0,55556	0,51250	0,45714
$\mu_{\text{medián}}$		1,20000	1,00000	0,80000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
μ_{modus}		1,20000	1,00000	0,80000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
$\nu_{\text{průměr}}$	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,20914	1,02050	0,85264	0,75022	0,63921	0,57566	0,53402	0,47933
$\nu_{\text{medián}}$		1,22273	1,02050	0,81853	0,71863	0,61859	0,62172	0,52100	0,52426
ν_{modus}		1,22273	1,02050	0,81853	0,71863	0,61859	0,62172	0,52100	0,52426



Obr. 5.8 Průběhy dyn. viskozit vzorků tlakové kanalizace



Obr. 5.9 Průběhy kin. viskozit vzorků tlakové kanalizace

Tab. 5.11 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV z tlakové kanalizace

Teplota		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$ [Pa·s·10 ⁻³]	min	1,18667	0,88667	0,72308	0,64545	0,58889	0,52500	0,48750	0,41667
	max	1,20000	1,00000	0,83333	0,73077	0,62000	0,55556	0,51250	0,45714
$\nu_{\text{průměr}}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	min	1,20450	0,90473	0,74148	0,66413	0,60637	0,53575	0,50023	0,43018
	max	1,22546	1,02050	0,85264	0,75022	0,63921	0,57566	0,53402	0,48043

Tab. 5.12 Průměrné hodnoty viskozit, jejich absolutní a relativní chyby (pro tlakovou kan.)

		Teplota [°C]							
Vz.	Viskozita	10	20	30	40	50	60	70	80
A	$\bar{\mu}$ [Pa·s·10 ⁻³]	1,2000	0,9000	0,7385	0,7000	0,6000	0,5250	0,4875	0,4167
	chyba ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0000	0,0120	0,0131	0,0111	0,0109	0,0083	0,0111
		$\bar{\rho}$ [%]	0,0	0,0	1,6	1,9	1,9	2,1	2,7
	$\bar{\nu}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,2045	0,9047	0,7443	0,7078	0,6093	0,5358	0,5002	0,4302
	chyba ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0257	0,0193	0,0200	0,0201	0,0172	0,0159	0,0137	0,0147
		$\bar{\rho}$ [%]	2,1	2,1	2,7	2,8	2,8	3,0	2,7
B	$\bar{\mu}$ [Pa·s·10 ⁻³]	1,2000	0,9000	0,7385	0,6583	0,5889	0,5444	0,5000	0,4167
	chyba ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0000	0,0120	0,0129	0,0134	0,0117	0,0000	0,0111
		$\bar{\rho}$ [%]	0,0	0,0	1,6	2,0	2,3	2,2	0,0
	$\bar{\nu}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,2212	0,9173	0,7546	0,6750	0,6064	0,5634	0,5203	0,4363
	chyba ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0344	0,0258	0,0245	0,0231	0,0219	0,0200	0,0146	0,0169
		$\bar{\rho}$ [%]	2,8	2,8	3,3	3,4	3,6	3,5	2,8
D	$\bar{\mu}$ [Pa·s·10 ⁻³]	1,2000	0,8867	0,7231	0,6455	0,6000	0,5333	0,5000	0,4571
	chyba ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0061	0,0081	0,0105	0,0111	0,0111	0,0000	0,0135
		$\bar{\rho}$ [%]	0,0	0,7	1,1	1,6	1,9	2,1	0,0
	$\bar{\nu}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,2255	0,9069	0,7415	0,6641	0,6200	0,5539	0,5222	0,4804
	chyba ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0235	0,0185	0,0165	0,0167	0,0165	0,0157	0,0100	0,0169
		$\bar{\rho}$ [%]	1,9	2,0	2,2	2,5	2,7	2,8	1,9
E	$\bar{\mu}$ [Pa·s·10 ⁻³]	1,1867	1,0000	0,8333	0,7308	0,6200	0,5556	0,5125	0,4571
	chyba ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0061	0,0000	0,0084	0,0089	0,0133	0,0117	0,0083	0,0135
		$\bar{\rho}$ [%]	0,5	0,0	1,0	1,2	2,2	2,1	1,6
	$\bar{\nu}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,2091	1,0205	0,8526	0,7502	0,6392	0,5757	0,5340	0,4793
	chyba ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0174	0,0137	0,0143	0,0136	0,0162	0,0144	0,0113	0,0155
		$\bar{\rho}$ [%]	1,4	1,3	1,7	1,8	2,5	2,5	2,1

Podtlaková kanalizace

Z podtlakové kanalizace byly odebrány vzorky F, G, H, I.

Ze získaných hodnot lze opět ověřit, že viskozita se stoupající teplotou klesá. Hodnoty odpadních vod se pohybují v podstatě ve stejných mezích. Největší rozdíl v rámci

hodnot OV byl naměřen při teplotě 40 °C. V této teplotě (40 °C) lze vidět zřejmé „vybočení“ vzorku „I“.

Intervaly mezních rozsahů viskozity odpadních vod ze všech vzorků OV z podtlak. kanalizace (tedy ze vzorků F, G, H, I) lze zhlédnout v Tab. 5.17. Barevně jsou v tabulce označeny sloupce, kde se naměřená data navzájem od sebe nejvíce lišila (největší rozdíl naměřených hodnot).

Porovnájí-li se tabulkové hodnoty dynamické viskozity vody s naměřenými daty odpadních vod, zjistí se, že do 40 °C jsou si velmi podobné, od 50 °C je však viskozita čisté vody výrazně nižší. Viz Obr. 5.10.

Při porovnání kinematických viskozit zjistíme, že hodnoty čisté vody do 40 °C jsou si také velmi podobné, ovšem od 50 °C je opět rozdíl mnohem výraznější a kin. viskozita čisté vody je nižší. Viz Obr. 5.11.

V Tab. 5.18 jsou průměrné hodnoty viskozit uvedeny s jejich absolutními a relativními chybami.

Tab. 5.13 Vzorek F - viskozity v závislosti na teplotě

Vzorek F		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,32000	0,98000	0,81429	0,65455	0,61111	0,55556	0,51250	0,43333
$\mu_{\text{medián}}$		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,60000	0,60000	0,50000	0,40000
μ_{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,60000	0,60000	0,50000	0,40000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,32491	0,98513	0,82065	0,66186	0,62052	0,56692	0,52587	0,44738
$\nu_{\text{medián}}$		1,30484	1,00523	0,80625	0,60670	0,60924	0,61227	0,51304	0,41297
ν_{modus}		1,30484	1,00523	0,80625	0,60670	0,60924	0,61227	0,51304	0,41297

Tab. 5.14 Vzorek G - viskozity v závislosti na teplotě

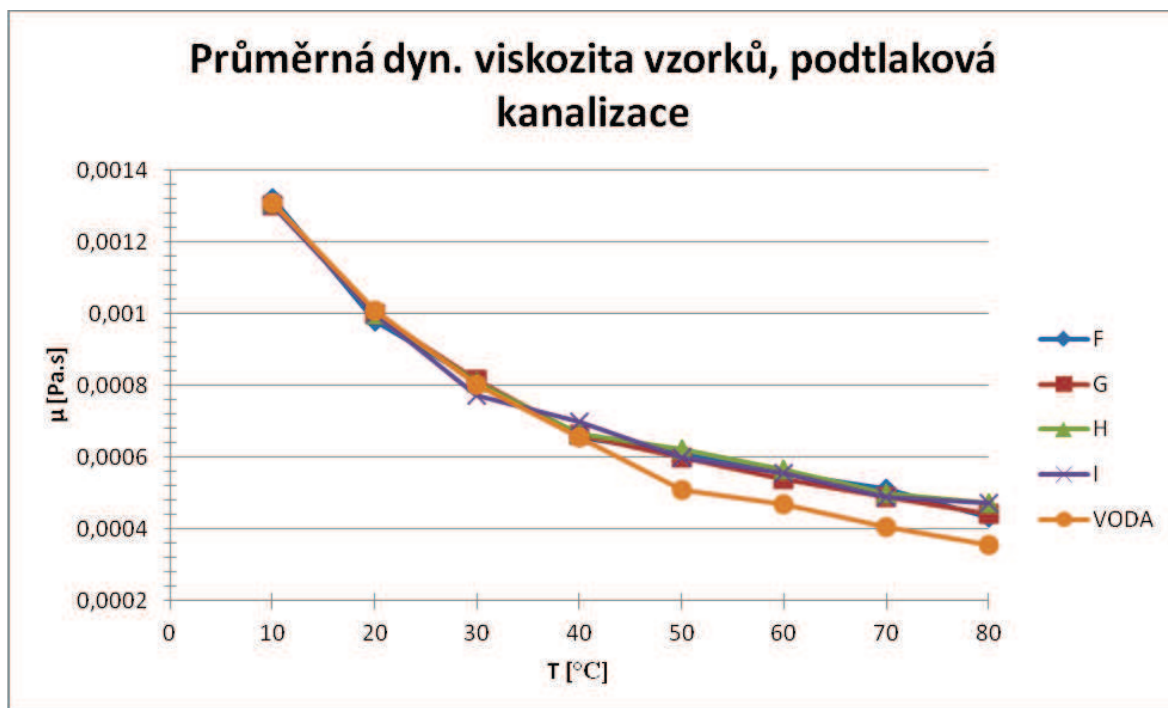
Vzorek G		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,30000	1,00000	0,81429	0,66364	0,60000	0,53750	0,48750	0,44286
$\mu_{\text{medián}}$		1,30000	1,00000	0,80000	0,70000	0,60000	0,50000	0,50000	0,40000
μ_{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000	0,40000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,30465	1,00509	0,82054	0,67095	0,60915	0,54842	0,50014	0,45715
$\nu_{\text{medián}}$		1,30465	1,00509	0,80614	0,70772	0,60915	0,51016	0,51297	0,41291
ν_{modus}		1,30465	1,00509	0,80614	0,60662	0,60915	0,51016	0,51297	0,41291

Tab. 5.15 Vzorek H - viskozity v závislosti na teplotě

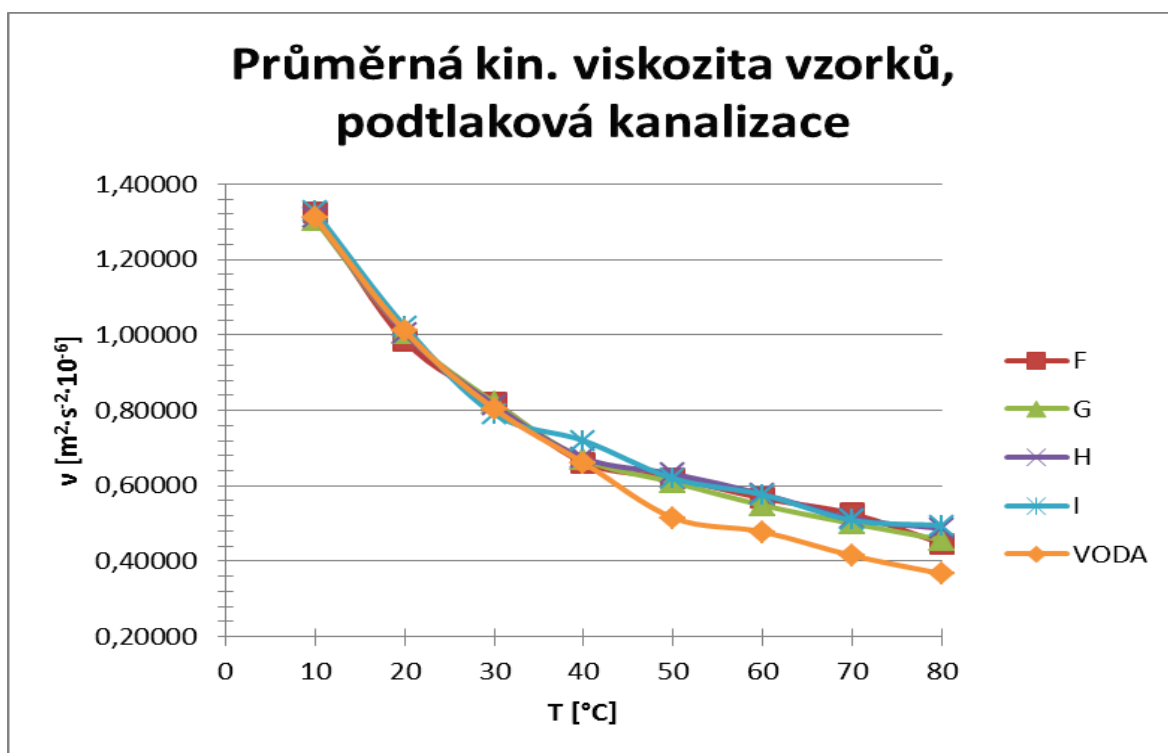
Vzorek H		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,30667	1,00000	0,80714	0,66667	0,62222	0,56667	0,50000	0,47143
$\mu_{\text{medián}}$		1,30000	1,00000	0,80000	0,65000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
μ_{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,31133	1,00508	0,81333	0,67401	0,63171	0,57817	0,51296	0,48663
$\nu_{\text{medián}}$		1,30464	1,00508	0,80613	0,65716	0,60915	0,61218	0,51296	0,51613
ν_{modus}		1,30464	1,00508	0,80613	0,60661	0,60915	0,61218	0,51296	0,51613

Tab. 5.16 Vzorek I - viskozity v závislosti na teplotě

Vzorek I		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,30000	1,00000	0,77143	0,70000	0,60000	0,55556	0,48750	0,47143
$\mu_{\text{medián}}$		1,30000	1,00000	0,80000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
μ_{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,32674	1,02213	0,79056	0,71979	0,61959	0,57660	0,50880	0,49512
$\nu_{\text{medián}}$		1,32674	1,02213	0,81984	0,71979	0,61959	0,62273	0,52185	0,52512
ν_{modus}		1,32674	1,02213	0,81984	0,71979	0,61959	0,62273	0,52185	0,52512



Obr. 5.10 Průběhy dyn. viskozit vzorků podtlakové kanalizace



Obr. 5.11 Průběhy kin. viskozit vzorků podtlakové kanalizace

Tab. 5.17 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV z podtlakové kanalizace

Teplota		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$ [Pa·s·10 ⁻³]	min	1,30000	0,98000	0,77143	0,65455	0,60000	0,53750	0,48750	0,43333
	max	1,32000	1,00000	0,81538	0,70000	0,62222	0,56667	0,51250	0,47143
$\nu_{\text{průměr}}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	min	1,30465	0,98513	0,79056	0,66186	0,60915	0,54842	0,50014	0,44738
	max	1,32674	1,02213	0,82176	0,71979	0,63171	0,57817	0,52587	0,49512

Tab. 5.18 Průměrné hodnoty viskozit, jejich absolutní a relativní chyby (pro podtlakovou kan.)

		Teplota [°C]							
Vz.	Viskozita	10	20	30	40	50	60	70	80
F	μ [Pa·s·10 ⁻³]	1,3200	0,9800	0,8143	0,6545	0,6111	0,5556	0,5125	0,4333
	chyba $\mathfrak{F}$ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0071	0,0071	0,0065	0,0138	0,0174	0,0117	0,0083	0,0141
	ρ [%]	0,5	0,7	0,8	2,1	2,8	2,1	1,6	3,2
	ν [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,3249	0,9851	0,8207	0,6619	0,6205	0,5669	0,5259	0,4474
	chyba $\mathfrak{F}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0316	0,0239	0,0201	0,0208	0,0228	0,0178	0,0149	0,0178
	ρ [%]	2,4	2,4	2,5	3,1	3,7	3,1	2,8	4,0
G	μ [Pa·s·10 ⁻³]	1,3000	1,0000	0,8143	0,6636	0,6000	0,5375	0,4875	0,4429
	chyba $\mathfrak{F}$ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0000	0,0065	0,0136	0,0157	0,0122	0,0083	0,0135
	ρ [%]	0,0	0,0	0,8	2,0	2,6	2,3	1,7	3,0
	ν [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,3047	1,0051	0,8205	0,6710	0,6092	0,5484	0,5001	0,4571
	chyba $\mathfrak{F}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0252	0,0194	0,0171	0,0188	0,0198	0,0163	0,0129	0,0165
	ρ [%]	1,9	1,9	2,1	2,8	3,3	3,0	2,6	3,6
H	μ [Pa·s·10 ⁻³]	1,3067	1,0000	0,8071	0,6667	0,6222	0,5667	0,5000	0,4714
	chyba $\mathfrak{F}$ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0044	0,0000	0,0085	0,0150	0,0148	0,0111	0,0000	0,0123
	ρ [%]	0,3	0,0	1,0	2,2	2,4	2,0	0,0	2,6
	ν [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,3113	1,0051	0,8133	0,6740	0,6317	0,5782	0,5130	0,4866
	chyba $\mathfrak{F}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0292	0,0221	0,0198	0,0212	0,0205	0,0171	0,0113	0,0166
	ρ [%]	2,2	2,2	2,4	3,1	3,2	2,9	2,2	3,4
I	μ [Pa·s·10 ⁻³]	1,3000	1,0000	0,7714	0,7000	0,6000	0,5556	0,4875	0,4714
	chyba $\mathfrak{F}$ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0000	0,0129	0,0099	0,0157	0,0117	0,0083	0,0123
	ρ [%]	0,0	0,0	1,7	1,4	2,6	2,1	1,7	2,6
	ν [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,3267	1,0221	0,7906	0,7198	0,6196	0,5766	0,5088	0,4951
	chyba $\mathfrak{F}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0334	0,0257	0,0239	0,0208	0,0225	0,0189	0,0155	0,0179
	ρ [%]	2,5	2,5	3,0	2,9	3,6	3,3	3,0	3,6

Gravitační kanalizace

Z gravitační kanalizace byly odebrány vzorky J, K, L, M.

Ze získaných hodnot opět vyplývá, že viskozita se stoupající teplotou klesá. Hodnoty odpadních vod se pohybují v podstatě ve stejných mezích. Největší rozdíl v rámci hodnot OV byl naměřen při teplotě 10 °C.

Intervaly mezních rozsahů viskozity odpadních vod ze všech vzorků OV z gravitační kanalizace (tedy ze vzorků J, K, L, M) lze zhlédnout v Tab. 5.23. Barevně jsou v tabulce označeny sloupce, kde se naměřená data od sebe navzájem nejvíce lišila (největší rozdíl naměřených hodnot).

Porovnají-li se tabulkové hodnoty dynamické viskozity vody s naměřenými daty odpadních vod, zjistí se, že opět do 40 °C jsou si velmi podobné, od 50 °C je však viskozita čisté vody výrazně nižší, tak jako při průběhu viskozit z tlakové a podtlakové kanalizace. Viz Obr. 5.12.

Při porovnání kinematických viskozit zjistíme, že hodnoty čisté vody jsou od 10 °C do 40 °C velmi obdobné pro hodnoty OV (stejně tak jako v podtlakové kanalizaci), ovšem opět od 50 °C je rozdíl výrazný – kin. viskozita čisté vody je nižší. Viz Obr. 5.13.

V Tab. 5.24 jsou průměrné hodnoty viskozit uvedeny s jejich absolutními a relativními chybami.

Tab. 5.19 Vzorek J - viskozity v závislosti na teplotě

Vzorek J		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,34667	0,98000	0,77143	0,67273	0,61000	0,55556	0,50000	0,45714
$\mu_{\text{medián}}$		1,30000	1,00000	0,80000	0,70000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
μ_{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,36036	0,99147	0,78248	0,68465	0,62342	0,57063	0,51641	0,47508
$\nu_{\text{medián}}$		1,31322	1,01170	0,81146	0,71240	0,61320	0,61628	0,51641	0,51962
ν_{modus}		1,31322	1,01170	0,81146	0,61063	0,61320	0,61628	0,51641	0,51962

Tab. 5.20 Vzorek K - viskozity v závislosti na teplotě

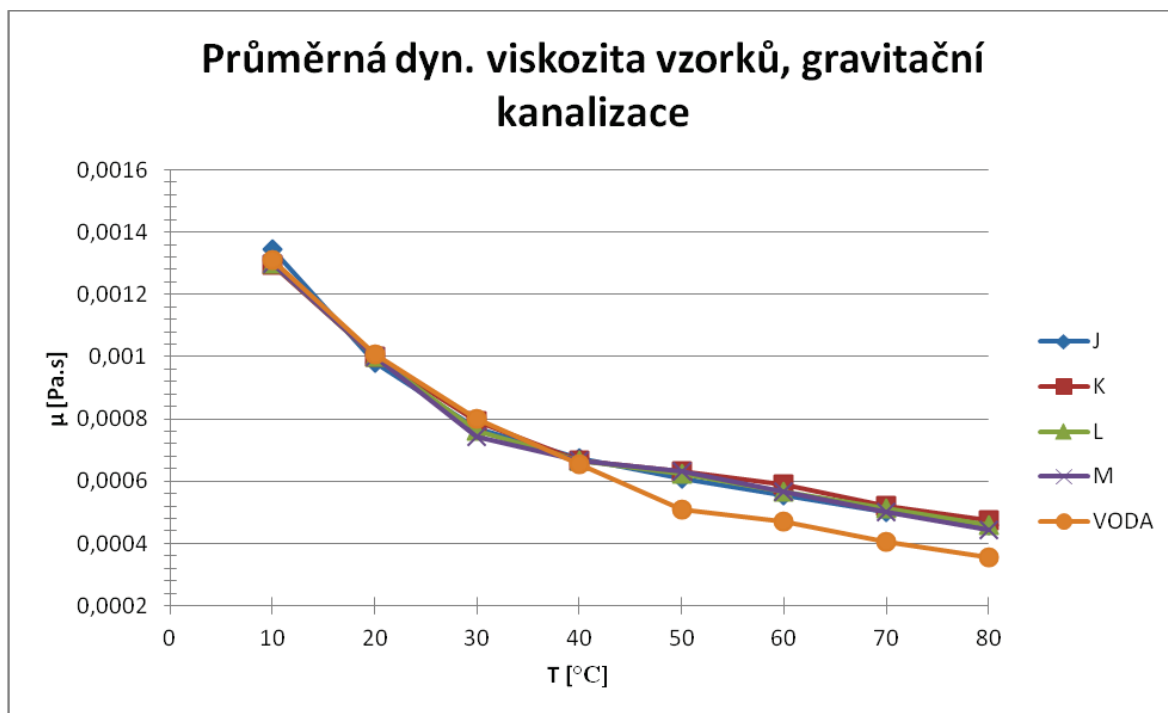
Vzorek K		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$	$[\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot 10^{-3}]$	1,29333	1,00000	0,79286	0,66667	0,63000	0,58889	0,52222	0,47500
$\mu_{\text{medián}}$		1,30000	1,00000	0,80000	0,65000	0,65000	0,60000	0,50000	0,50000
μ_{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,70000	0,60000	0,50000	0,50000
$\nu_{\text{průměr}}$	$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,29799	1,00511	0,79896	0,67403	0,63963	0,60086	0,53578	0,49034
$\nu_{\text{medián}}$		1,30468	1,00511	0,80616	0,65718	0,65993	0,61220	0,51298	0,51614
ν_{modus}		1,30468	1,00511	0,80616	0,60663	0,71069	0,61220	0,51298	0,51614

Tab. 5.21 Vzorek L - viskozity v závislosti na teplotě

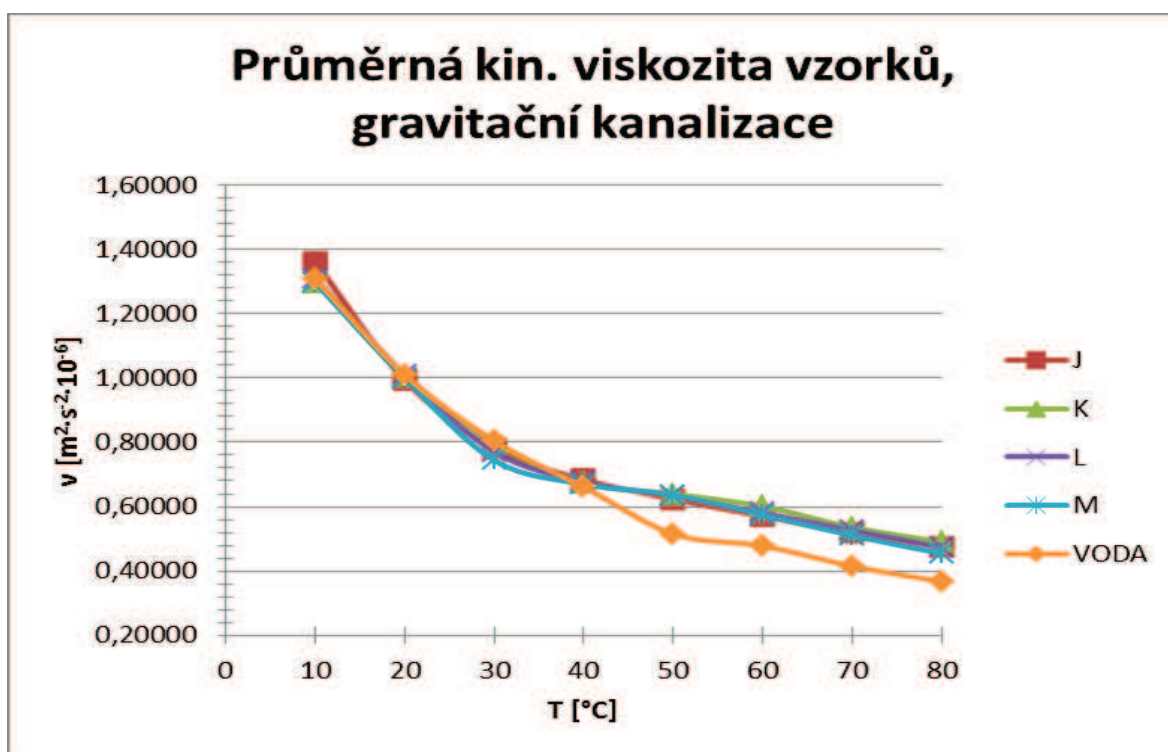
Vzorek L		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
μ _{průměr}	[Pa·s·10 ⁻³]	1,30000	1,00000	0,76429	0,66667	0,62222	0,56667	0,51111	0,45714
μ _{medián}		1,30000	1,00000	0,80000	0,65000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
μ _{modus}		1,30000	1,00000	0,80000	0,60000	0,60000	0,60000	0,50000	0,50000
ν _{průměr}	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,30989	1,00913	0,77325	0,67674	0,63428	0,58053	0,52652	0,47384
ν _{medián}		1,30989	1,00913	0,80939	0,65982	0,61163	0,61468	0,51507	0,51826
ν _{modus}		1,30989	1,00913	0,80939	0,60907	0,61163	0,61468	0,51507	0,51826

Tab. 5.22 Vzorek M - viskozity v závislosti na teplotě

Vzorek M		Teplota							
		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
μ _{průměr}	[Pa·s·10 ⁻³]	1,30000	1,00000	0,74286	0,66667	0,63000	0,56667	0,50000	0,44286
μ _{medián}		1,30000	1,00000	0,70000	0,65000	0,60000	0,60000	0,50000	0,40000
μ _{modus}		1,30000	1,00000	0,70000	0,60000	0,60000	0,60000	0,50000	0,40000
v _{průměr}	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,29647	0,99878	0,74384	0,66976	0,63555	0,57449	0,50968	0,45420
v _{medián}		1,29647	0,99878	0,70093	0,65302	0,60529	0,60828	0,50968	0,41024
v _{modus}		1,29647	0,99878	0,70093	0,60278	0,60529	0,60828	0,50968	0,41024



Obr. 5.12 Průběhy dyn. viskozit vzorků gravitační kanalizace



Obr. 5.13 Průběhy kin. viskozit vzorků gravitační kanalizace

Tab. 5.23 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV z gravitační kanalizace

Teplota		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$ [Pa·s·10 ⁻³]	min	1,29333	0,98000	0,74286	0,66667	0,61000	0,55556	0,50000	0,44286
	max	1,34667	1,00000	0,79286	0,67273	0,63000	0,58889	0,52222	0,47500
$\nu_{\text{průměr}}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	min	1,29647	0,99147	0,74384	0,66976	0,62342	0,57063	0,50968	0,45420
	max	1,36036	1,00913	0,79896	0,68465	0,63963	0,60086	0,53578	0,49034

Tab. 5.24 Průměrné hodnoty viskozit, jejich absolutní a relativní chyby (pro gravitační kan.)

			Teplota [°C]							
Vz.	Viskozita		10	20	30	40	50	60	70	80
J	$\bar{\mu}$	[Pa·s·10 ⁻³]	1,3467	0,9800	0,7714	0,6727	0,6100	0,5556	0,5000	0,4571
	chyba	ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0128	0,0071	0,0129	0,0158	0,0156	0,0117	0,0000	0,0135
		$\bar{\rho}$ [%]	0,9	0,7	1,7	2,3	2,6	2,1	0,0	2,9
	$\bar{\nu}$	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,3604	0,9915	0,7825	0,6846	0,6234	0,5706	0,5164	0,4751
	chyba	ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0306	0,0215	0,0207	0,0213	0,0204	0,0167	0,0105	0,0170
		$\bar{\rho}$ [%]	2,3	2,2	2,6	3,1	3,3	2,9	2,0	3,6
K	$\bar{\mu}$	[Pa·s·10 ⁻³]	1,2933	1,0000	0,7929	0,6667	0,6300	0,5889	0,5222	0,4750
	chyba	ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0044	0,0000	0,0085	0,0150	0,0174	0,0134	0,0098	0,0109
		$\bar{\rho}$ [%]	0,3	0,0	1,1	2,2	2,8	2,3	1,9	2,3
	$\bar{\nu}$	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,2980	1,0051	0,7990	0,6740	0,6396	0,6009	0,5358	0,4903
	chyba	ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0335	0,0257	0,0221	0,0229	0,0240	0,0205	0,0170	0,0169
		$\bar{\rho}$ [%]	2,6	2,6	2,8	3,4	3,8	3,4	3,2	3,4
L	$\bar{\mu}$	[Pa·s·10 ⁻³]	1,3000	1,0000	0,7643	0,6667	0,6222	0,5667	0,5111	0,4571
	chyba	ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0000	0,0113	0,0150	0,0148	0,0111	0,0074	0,0135
		$\bar{\rho}$ [%]	0,0	0,0	1,5	2,2	2,4	2,0	1,4	2,9
	$\bar{\nu}$	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,3099	1,0091	0,7733	0,6767	0,6343	0,5805	0,5265	0,4738
	chyba	ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0319	0,0246	0,0220	0,0224	0,0216	0,0182	0,0149	0,0181
		$\bar{\rho}$ [%]	2,4	2,4	2,8	3,3	3,4	3,1	2,8	3,8
M	$\bar{\mu}$	[Pa·s·10 ⁻³]	1,3000	1,0000	0,7429	0,6667	0,6300	0,5667	0,5000	0,4429
	chyba	ϑ [Pa·s·10 ⁻³] ±	0,0000	0,0000	0,0115	0,0150	0,0142	0,0111	0,0000	0,0135
		$\bar{\rho}$ [%]	0,0	0,0	1,5	2,2	2,3	2,0	0,0	3,0
	$\bar{\nu}$	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	1,2965	0,9988	0,7438	0,6698	0,6356	0,5745	0,5097	0,4542
	chyba	ϑ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶] ±	0,0294	0,0226	0,0204	0,0214	0,0203	0,0172	0,0116	0,0172
		$\bar{\rho}$ [%]	2,3	2,3	2,7	3,2	3,2	3,0	2,3	3,8

Celkové porovnání

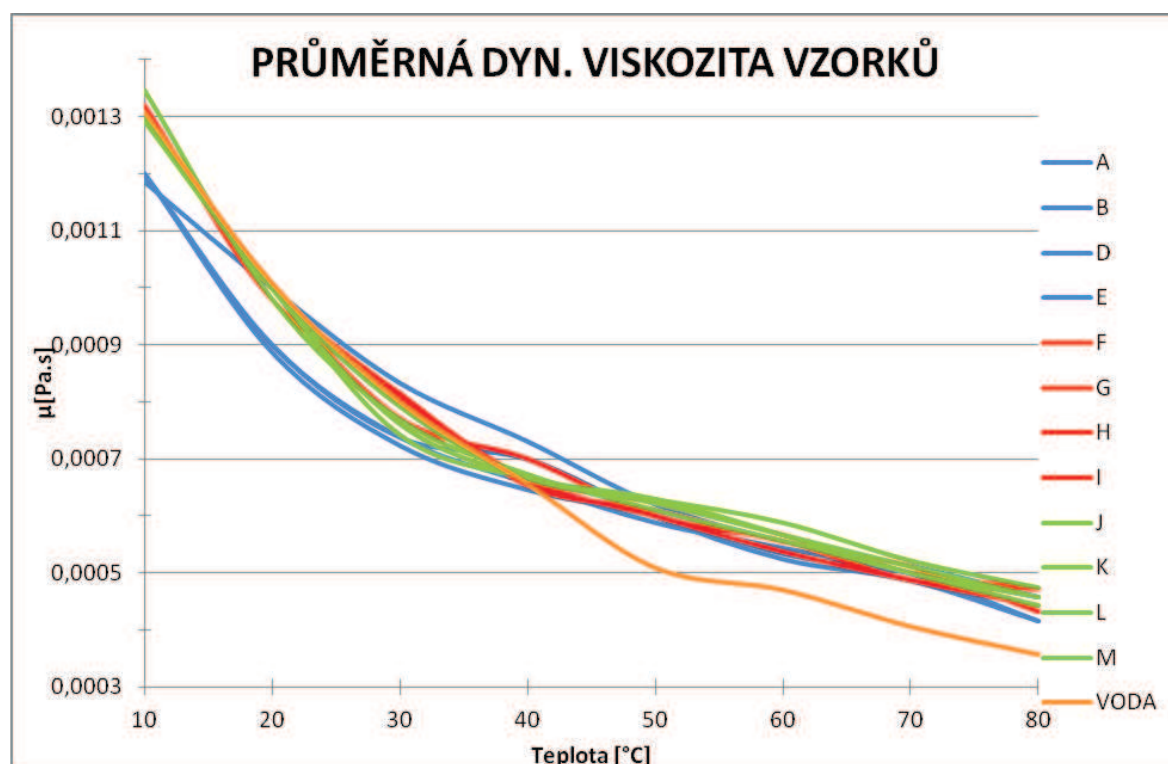
Z následující tabulky Tab. 5.25 a grafů (Obr. 5.14 a Obr. 5.15) lze vyčíst, v jakých mezích se celkově vzorky pohybovaly. Největší rozmezí hodnot jak pro kinematickou, tak pro dynamickou viskozitu, bylo naměřeno při teplotě 10 °C.

Lze říci, že pro teploty od 50 °C výše jsou hodnoty kin. i dyn. viskozit čisté vody výrazně nižší než hodnoty OV. Do 50 °C se hodnoty pohybují relativně ve stejných mezích. Pro navrhování stokových systémů jsou nejdůležitější hodnoty viskozity odpadních vod pro 10 °C a 20 °C.

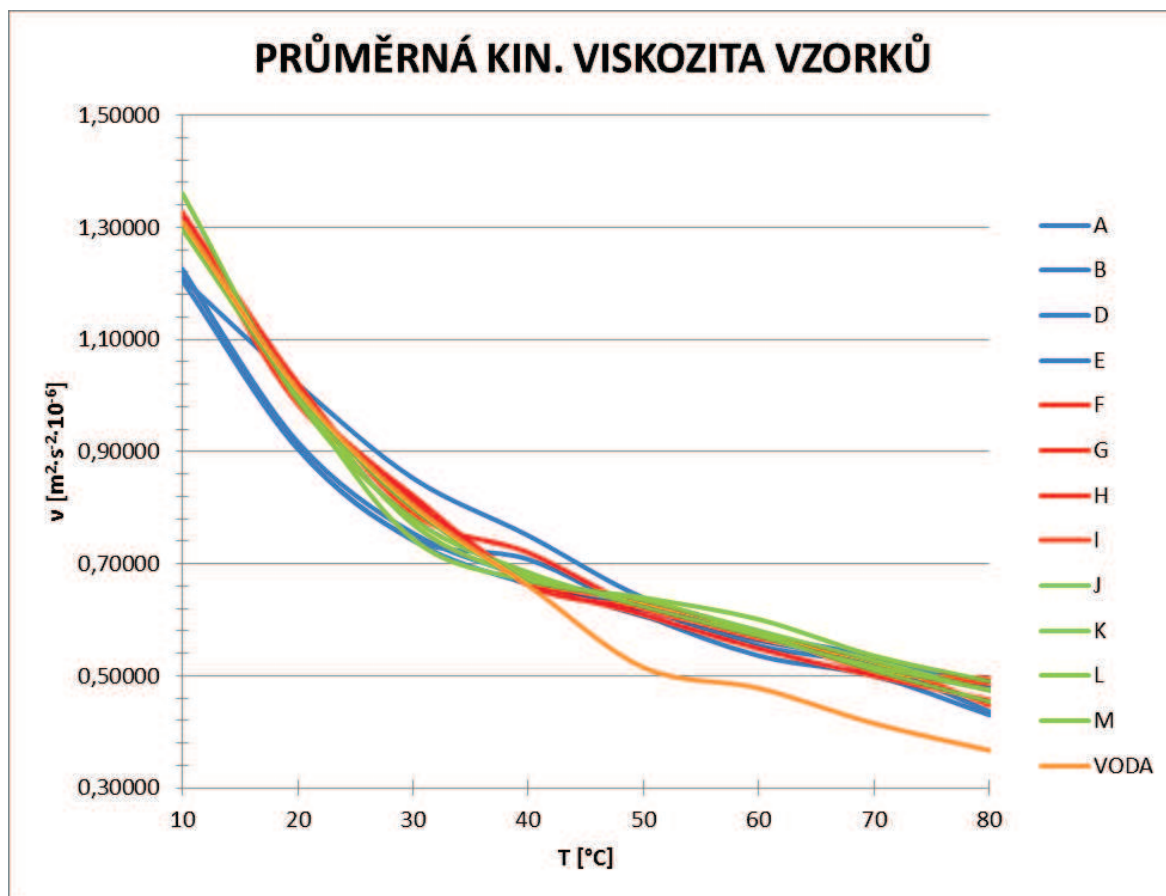
Průměrné hodnoty viskozit pro jednotlivé typy kanalizací pro teploty 10 °C a 20 °C viz Tab. 5.26 a Tab. 5.27.

Tab. 5.25 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV v rámci všech vzorků

Teplota		10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	70 °C	80 °C
$\mu_{\text{průměr}}$ [Pa·s·10 ⁻³]	min	1,18667	0,88667	0,72308	0,64545	0,58889	0,52500	0,48750	0,41667
	max	1,34667	0,98000	0,77143	0,66667	0,61000	0,55556	0,50000	0,44286
$\nu_{\text{průměr}}$ [m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	min	1,20450	0,90473	0,74148	0,66186	0,60637	0,53575	0,50014	0,43018
	max	1,36036	1,02213	0,85264	0,75022	0,63963	0,60086	0,53578	0,49512



Obr. 5.14 Průběhy dyn. viskozit všech vzorků



Obr. 5.15 Průběhy kin. viskozit všech vzorků

Tab. 5.26 Celkové průměrné hodnoty dyn. viskozity pro různé typy kanalizace při teplotě 10 °C

10 °C	$\nu_{\text{prům,tlak}}$	$\nu_{\text{prům,podtlak}}$	$\nu_{\text{prům,grav}}$	$\nu_{\text{prům,celk}}$
$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	1,215	1,317	1,316	1,283

Tab. 5.27 Celkové průměrné hodnoty dyn. viskozity pro různé typy kanalizace při teplotě 20 °C

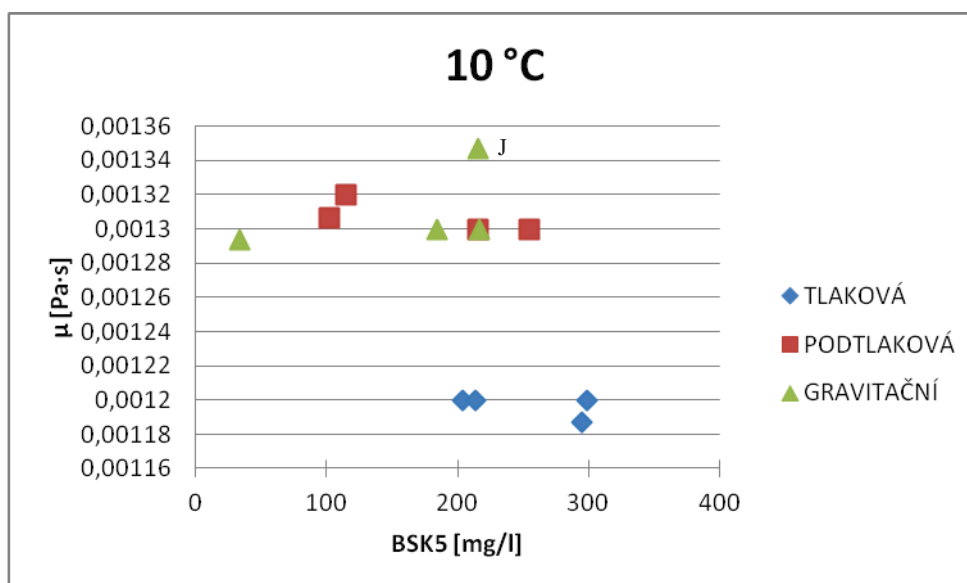
20 °C	$\nu_{\text{prům,tlak}}$	$\nu_{\text{prům,podtlak}}$	$\nu_{\text{prům,grav}}$	$\nu_{\text{prům,celk}}$
$[\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \cdot 10^{-6}]$	0,922	0,995	0,995	0,971

5.3.4 Souvislost dyn. viskozity a BSK_5

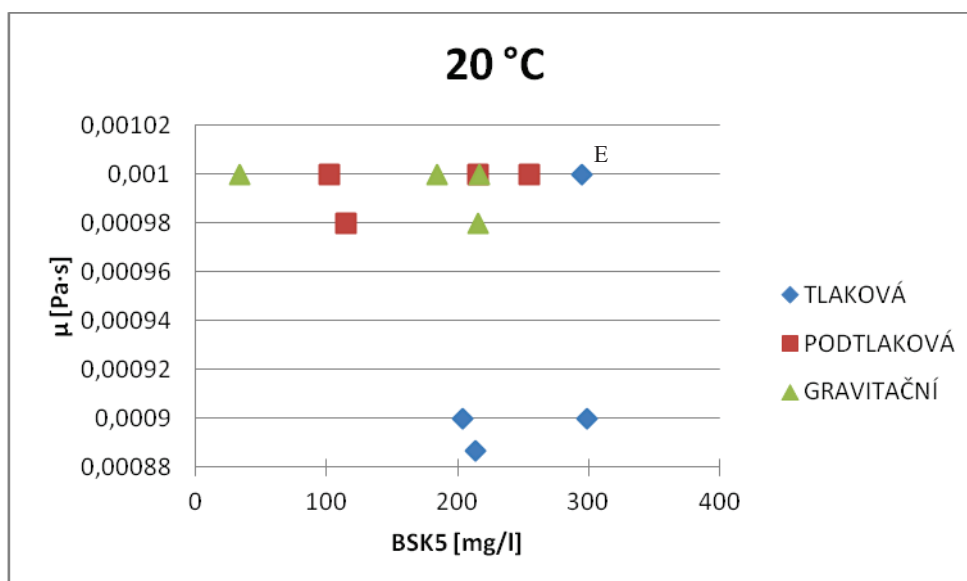
Z naměřených dat se nedá usuzovat na určitou závislost mezi dyn. viskozitou a obsahem BSK_5 . Vzorky s přibližně stejnými hodnotami BSK_5 dosahovaly v rámci jedné měřené teploty různorodých hodnot viskozity. Určitou podobnost viskozit lze spatřovat snad dle typu kanalizace, ale to pouze při nižších měřených teplotách (10, 20 a 30 °C).

Zajímavostí je, že při 10 °C a 20 °C byly hodnoty viskozity z tlakové kanalizace výrazně nižší oproti hodnotám z gravitační a podtlakové kanalizace, kde se hodnoty držely

v přibližně stejných mezích. (Výjimku tvořil tlakový vzorek E při 20 °C, který se nacházel ve stejných hodnotách jako gravitační a podtlakové vzorky.) Viz Obr. 5.16 a Obr. 5.17.



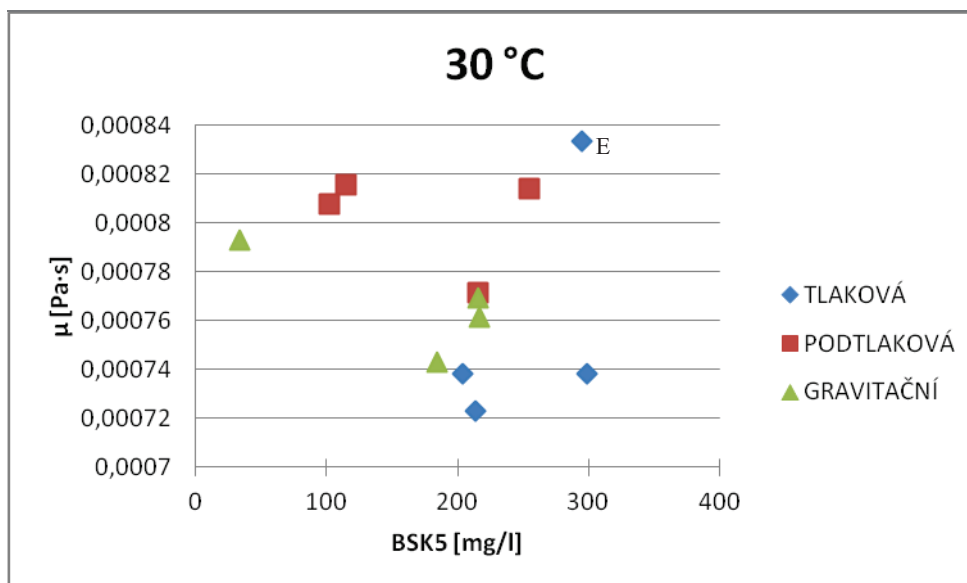
Obr. 5.16 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 10 °C



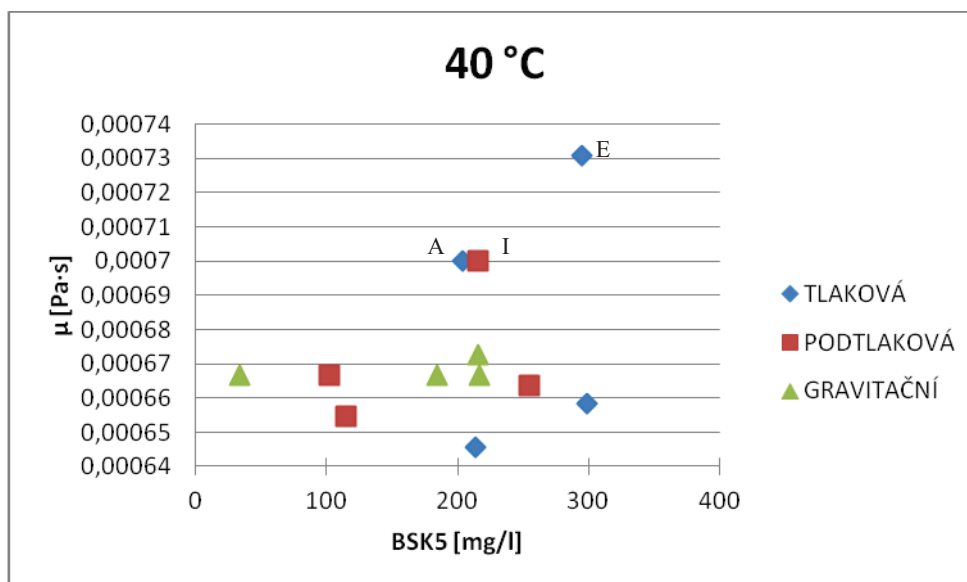
Obr. 5.17 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 20 °C

Při 30 °C opět dosahoval nevyšší viskozity vzorek E, ostatní tlakové vzorky v rámci posuzovaného souboru vykazovaly její nejnižší hodnoty. Podtlakové vzorky dosahovaly vyšších mezí než ostatní. Viz Obr. 5.18.

Při 40 °C opět značně vybočoval vzorek E s jasně nejvyšší viskozitou. Vyšších hodnot dosáhly i vzorky I a A, ostatní vzorky se držely v mezích 0,000645 až 0,000675 Pa·s. Viz Obr. 5.19.



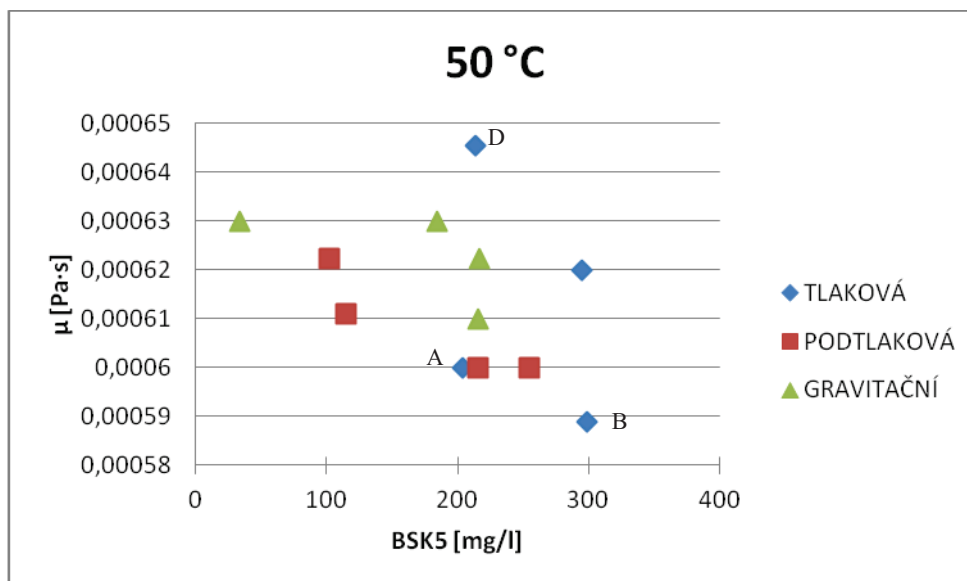
Obr. 5.18 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 30 °C



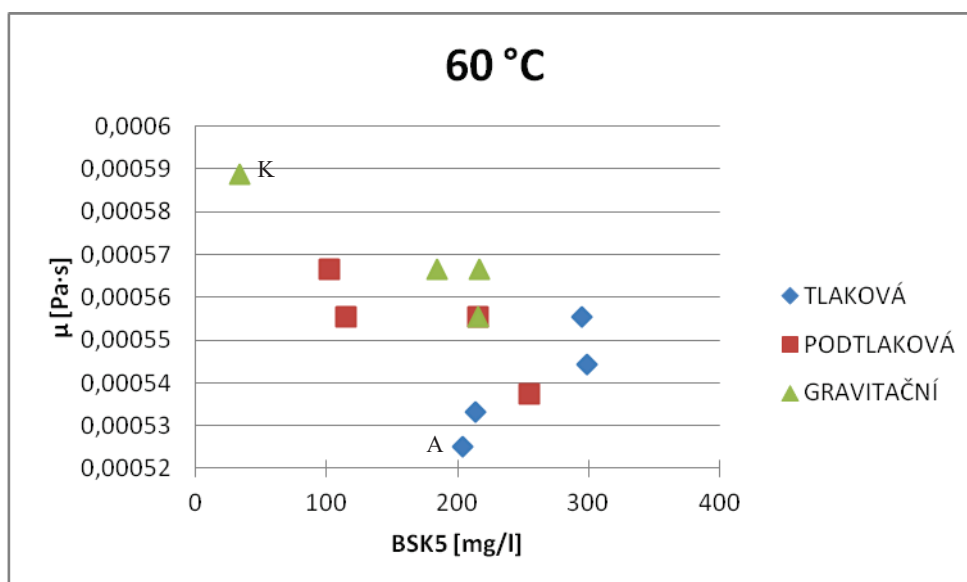
Obr. 5.19 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 40 °C

Při 50 °C dosáhl největší dyn. viskozity tlakový vzorek D, nejnižší tlakový vzorek B. Ostatní vzorky se pohybují v mezích 0,00060 až 0,00063 Pa·s. Vzorek D a A mají přibližně stejnou hodnotu BSK₅ a jsou oba z tlakové kanalizace, přesto měly výrazně rozdílné viskozity. Viz Obr. 5.20.

Při 60 °C dosáhl největší dyn. viskozity gravitační vzorek K, který má nejnižší hodnotu BSK₅ ze všech měřených vzorků, nejmenší viskozitu vykazoval tlakový vzorek A. Ostatní vzorky se pohybovaly v rozmezích 0,00053 až 0,00057 Pa·s. Viz Obr. 5.21.



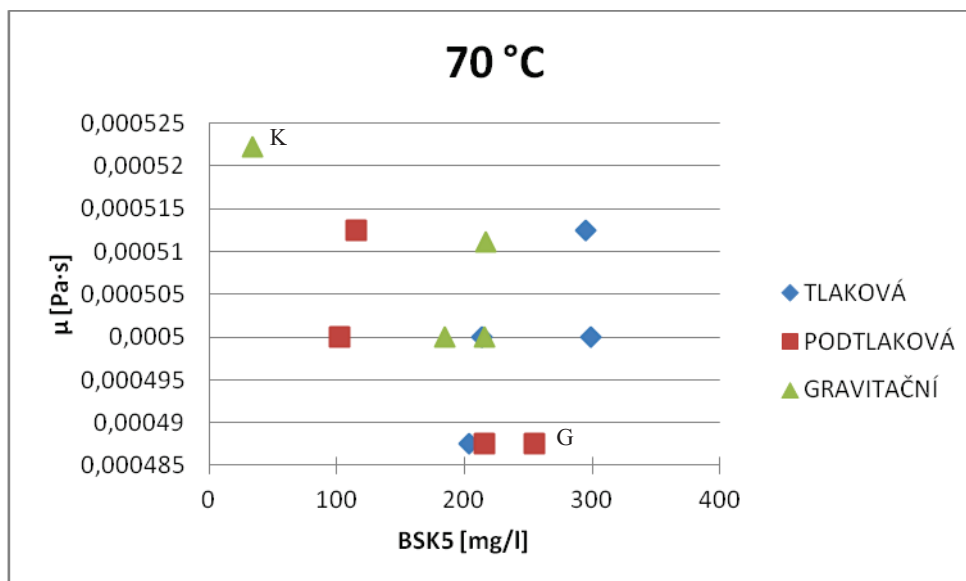
Obr. 5.20 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 50 °C



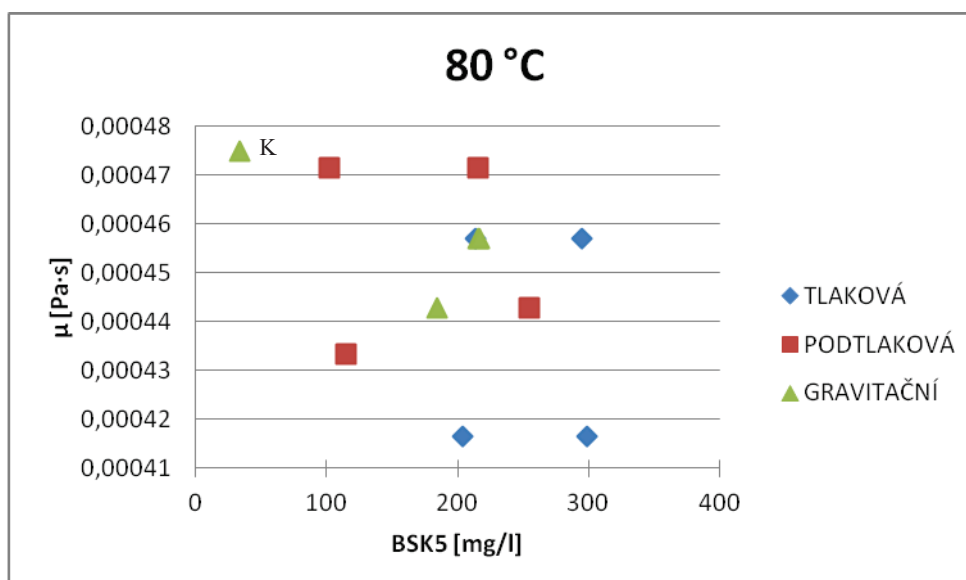
Obr. 5.21 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 60 °C

Při 70 °C dosáhl opět největší dyn. viskozity gravitační vzorek K. Zajímavostí je, že ostatní vzorky se potom pohybovaly v rámci tří „vrstev“ – okolo hodnot 0,0004855; 0,0005 a 0,0005125 Pa·s. Viz Obr. 5.22.

Při 80 °C měl opět největší dyn. viskozitu gravitační vzorek K. Ostatní vzorky byly různorodě rozprostřeny v mezích 0,00041 až 0,00047 Pa·s. Viz Obr. 5.23.



Obr. 5.22 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 70 °C



Obr. 5.23 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK₅ při 80 °C

5.4 IMPLEMENTACE MONITORINGU V PRAXI

Měřené veličiny se užívají v praxi při návrhu tlakových sítí – při výpočtu ztrát po délce třením či při posuzování tečného napětí v gravitačních kanalizacích. Jak již bylo zmíněno dříve, pro dimenzování trubní vakuové sítě a podtlakové stanice se v ČR nevyskytují žádné normy či doporučení. Projektanti provádějí výpočty dle interních směrnic firem či používají pracovní list DWA-A 116-1.

Dále se data dají použít pro výpočtové softwary, např. pro určení závislosti viskozity a Reynoldsova čísla při tvorbě CFD modelování pro softwarové prostředí Flow 3D. FLOW 3D je univerzální CFD (Computational Fluid Dynamics) software, pro výpočet

proudění tekutin v ustáleném i neustáleném režimu. Tento software se využívá převážně pro výpočty hydrauliky kapalin, proudění plynů a pro výpočty přenosů tepla. [63] Další CFD softwary jsou např. Fluent (Ansys) či freeware OpenFOAM.

5.4.1 Hustota

Využití v navrhování – gravitační stoky

S hustotou odpadní vody se počítá při zjišťování tečného napětí (unášecí síly) U . Vypočte se ze vztahu [72]:

$$U = \rho \cdot g \cdot R \cdot I \quad [\text{Pa}] \quad (5.8)$$

kde ρ ... hustota OV [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]

g ... gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

R ... hydraulický poloměr [m]

I ... sklon čáry energie [-]

Dle [72] musí být nejmenší sklon gravitační stoky jednotné a oddílné soustavy takový, aby hodnota dešťového průtoku vyvolala v kanalizačním profilu tečné napětí U – pro plastové a sklolaminátové potrubí $U \geq 3 \text{ Pa}$, pro ostatní materiály musí být $U \geq 4 \text{ Pa}$.

Výpočet

Velikost hustoty má při navrhování gravitační kanalizace vliv na minimální sklon potrubí. Vychází se z výše uvedeného vztahu (5.8). Je-li naměřená hustota OV menší než hodnota, se kterou se počítá v praxi ($\rho_{\text{prax}} = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$), zvyšuje se minimální sklon I . Je-li hustota větší, sklon se snižuje. Jeho změny probíhají v řádu desetin promile. Viz výpočet a porovnání v následujících tabulkách: Tab. 5.28, Tab. 5.29, Tab. 5.30.

Tab. 5.28 Minimální sklon potrubí při hustotě OV dle praxe

ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	U [Pa]	g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	DN [m]	A [m^2]	O [m]	R [m]	$I_{\text{min},\text{‰}}$
1000,0	4,0	9,81	0,3	0,07	0,94	0,08	5,44
			0,4	0,13	1,26	0,10	4,08
			0,5	0,20	1,57	0,13	3,26

Tab. 5.29 Minimální sklon potrubí při největší hustotě OV z gravitační kan.

ρ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]	U [Pa]	g [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]	DN [m]	A [m^2]	O [m]	R [m]	$I_{\text{min},\text{‰}}$
1023,9	4,0	9,81	0,3	0,07	0,94	0,08	5,31
			0,4	0,13	1,26	0,10	3,98
			0,5	0,20	1,57	0,13	3,19

Tab. 5.30 Minimální sklon potrubí při nejmenší hustotě OV z gravitační kan.

ρ [kg·m ⁻³]	U [Pa]	g [m·s ⁻²]	DN [m]	A [m ²]	O [m]	R [m]	I _{min} ,‰
966,8	4,0	9,81	0,3	0,07	0,94	0,08	5,62
			0,4	0,13	1,26	0,10	4,22
			0,5	0,20	1,57	0,13	3,37

Pro větší profily výpočet není proveden, neb sklon vychází menší než 3 ‰ a ve většině městských standardů je požadavek na minimální sklon 3 ‰.

5.4.2 Viskozita

Vliv kinematické viskozity uvažujeme při navrhování tlakových potrubí.

Zadání a postup výpočtu ukázkového příkladu

V ukázkovém příkladu jsou počítány ztráty po délce třením pro návrh tlakového potrubí popř. tlakové čerpací stanice v závislosti na kinematické viskozitě odpadní vody a délce potrubí.

Zadány jsou následující parametry: Návrhový průtok $Q_{\text{náv}} = 5,62 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1} = 20,232 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$, průměr potrubí $D_p = 90 \text{ mm}$, absolutní drsnost stěn potrubí pro plastový materiál $k = 0,25 \text{ mm}$.

Ve výpočtu se mění délka potrubí L a kinematická viskozita ν .

Postup je následující: Nejdříve je určena rychlost ν v potrubí při daném průtoku $Q_{\text{náv}}$:

$$\nu = \frac{Q_{\text{náv}}}{S} = \frac{Q_{\text{náv}}}{\pi \cdot \frac{D_p^2}{4}} = \frac{20,232}{\pi \cdot \frac{0,09^2}{4} \cdot 3600} = 0,883 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (5.9)$$

Rychlost splňuje podmínku, že má být větší než $0,7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což je minimální rychlost pro výtlak (Doporučeno je však uvažovat spíše s minimálními hodnotami $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, což je také splněno).

Teď jsou již známy všechny veličiny potřebné k výpočtu Reynoldsova kritéria dle vztahu (3.4), které je tedy stanoveno.

Dále se přistoupí k určení součinitele tření λ . Jelikož Reynoldsovo kritérium vychází v tomto příkladu vždy výrazně nad hodnotu 13 800, předpokládá se, že je nastolen turbulentní režim, a tedy λ se počítá iterací z Colebrook-Whiteovy rovnice [1]:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3,71 \cdot D_p} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \quad [-] \quad (5.10)$$

kde λ ... součinitel tření [-]

k ... absolutní drsnost stěn potrubí [mm]

D_p ... průměr potrubí [mm]

Re ... Reynoldsovo kritérium [-]

Na závěr se spočítají ztráty třením po délce H_z dle Darcy-Weisbachova vztahu [1]:

$$H_z = \lambda \cdot \frac{L}{D_p} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad [\text{m}] \quad (5.11)$$

kde λ ... součinitel tření [-]

L ... délka potrubí [m]

D_p ... průměr potrubí [m]

v ... rychlost v potrubí [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

g ... gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$]

Výpočet

Velikost kinematické viskozity má při navrhování tlakové kanalizace vliv na hodnotu Reynoldsova čísla, to ovlivňuje součinitel tření λ , který má přímý vliv na velikost ztrát třením po délce H_z .

V uvedeném příkladu byly použity hodnoty kinematické viskozity vody pro 10 °C až 80 °C, kinematická viskozita naměřená pro OV z tlakové kanalizace také pro 10 °C až 80 °C. Splaškové vody se pohybují cca v rozmezí teplot 10 – 20 °C, proto jsou výsledky v rámci těchto teplot při navrhování pro běžné komunální vody nejzajímavější. Vyšší teploty se uplatní spíše v odvádění průmyslových odpadních vod.

Dále se ve výpočtu měnily délky potrubí L . Lze říci, že pro stejné délky potrubí se díky různé viskozitě měnily hodnoty ztrát v řádech jednotek centimetrů, což bývá pro praxi v podstatě zanedbatelné. Ztráty v řádu desítek centimetrů se projeví až od větších délek potrubí (cca 5000 m). Při nižší viskozitě jsou ztráty také menší. Viskozita odpadní vody byla do 30°C menší než viskozita čisté vody, od 40 °C naopak větší, a tedy ztráty H_z byly oproti čisté vodě také větší. Viz tabulky Tab. 5.31 až Tab. 5.38.

Tab. 5.31 Vliv viskozity při 10 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	10	5,62	90	0,883	1,310	60692	0,0278
Odp. voda (OV)					1,215	65433	0,0276
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	1,227	6,133	12,266	18,399	61,329	122,659
	OV	1,220	6,102	12,204	18,305	61,018	122,036

Tab. 5.32 Vliv viskozity při 20 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	20	5,62	90	0,883	1,011	78681	0,0273
Odp. voda (OV)					0,922	86264	0,0272
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,112	6,033	12,066	18,099	60,331	120,662
	OV	2,101	6,003	12,005	18,008	60,026	120,051

Tab. 5.33 Vliv viskozity při 30 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	30	5,62	90	0,883	0,804	98889	0,0270
Odp. voda (OV)					0,758	104844	0,0269
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,086	5,961	11,923	17,884	59,614	119,228
	OV	2,081	5,945	11,890	17,836	59,452	118,904

Tab. 5.34 Vliv viskozity při 40 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	40	5,62	90	0,883	0,661	120283	0,0267
Odp. voda (OV)					0,684	116299	0,0268
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,069	5,910	11,820	17,731	59,102	118,205
	OV	2,071	5,918	11,837	17,755	59,184	118,369

Tab. 5.35 Vliv viskozity při 50 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	50	5,62	90	0,883	0,515	154382	0,0265
Odp. voda (OV)					0,602	132022	0,0266
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,050	5,857	11,713	17,570	58,566	117,132
	OV	2,061	5,889	11,778	17,666	58,888	117,777

Tab. 5.36 Vliv viskozity při 60 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	60	5,62	90	0,883	0,478	166332	0,0264
Odp. voda (OV)					0,540	147348	0,0265
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,045	5,843	11,686	17,528	58,428	116,856
	OV	2,053	5,866	11,732	17,597	58,658	117,315

Tab. 5.37 Vliv viskozity při 70 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	70	5,62	90	0,883	0,415	191582	0,0263
Odp. voda (OV)					0,500	159013	0,0265
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,037	5,819	11,638	17,457	58,190	116,381
	OV	2,048	5,851	11,702	17,553	58,510	117,021

Tab. 5.38 Vliv viskozity při 80 °C na návrh tlakové kanalizace

Kapalina	T	Qnáv	DN	v	v	Re	λ
	[°C]	[l·s ⁻¹]	[mm]	[m·s ⁻¹]	[m ² ·s ⁻¹ ·10 ⁻⁶]	[-]	[-]
Voda	80	5,62	90	0,883	0,367	216640	0,0263
Odp. voda (OV)					0,437	181977	0,0264
L [m]		100	500	1000	1500	5000	10000
Hz [m]	Voda	2,030	5,801	11,601	17,402	58,007	116,015
	OV	2,040	5,827	11,655	17,482	58,273	116,547

6 ZÁVĚR

Hlavním tématem, kterým se tato práce zabývá, je viskozita odpadních vod.

Odpadní vody jsou takové vody, u nichž byla nakládáním s nimi změněna nejen jakost ale i jejich fyzikální či chemické vlastnosti, a tedy dochází k jejich znečišťování. V r. 2013 bylo v ČR do kanalizace vypuštěno 455,3 mil. m³ odpadních vod. Z hlediska původu se odpadní vody dělí na splaškové (splašky), průmyslové, zemědělské, dešťové, ostatní a městské (komunální). Městské odpadní vody mohou být v podstatě zkombinované všechny právě vyjmenované druhy, převážně se však do nich řadí vody splaškové a průmyslové. Průměrná roční teplota městských odpadních vod se v našich podmínkách pohybuje od 10 °C do 20 °C.

Pro odvádění odpadních vod se využívá různých stokových soustav (jednotná, oddílná, modifikovaná), různých typů kanalizace (např. gravitační, podtlaková, tlaková) a různých materiálů pro jejich výstavbu (např. beton, železobeton, plastové materiály – PE, PP, kamenina, sklolaminát). Kanalizací se odpadní vody dovedou na čistírnu odpadních vod, kde předtím, než se vypustí do recipientu, probíhá jejich čištění.

Viskozita je jednou ze základních vlastností kapalin (stejně jako např. hustota, měrná tíha kapaliny, soudržnost, stlačitelnost, tepelná roztažnost, kapilarita, tepelná vodivost, povrchové napětí a viskozita). Kapalina neboli kapalná látka je jedním z typů skupenství látek. Částice kapaliny jsou relativně blízko sebe, ale nejsou vázány v pevných polohách a mohou se pohybovat v celém objemu. Kapaliny mohou být newtonovské nebo nenewtonovské. Mezi newtonovské kapaliny patří látky jako např. voda, líh, benzen a jiné převážně nízkomolekulární látky. Platí pro ně Newtonův zákon viskozity.

Viskozita, neboli také vazkost, je tedy fyzikální veličina, která charakterizuje vnitřní tření částic a vrstev kapaliny při jejím pohybu. Rozlišujeme viskozitu dynamickou a kinematickou, přičemž ta kinematická je závislá na dynamické viskozitě látky a na její hustotě. Dynamická viskozita kapalin je silně závislá na teplotě. Se vzrůstající teplotou se viskozita snižuje. Pro měření viskozity se používají přístroje – viskozimetry. Existuje jich několik druhů – např. kapilární (průtokové), rotační, tělískové (pádové), plovákové či ultrazvukové.

S kinematickou viskozitou souvisí i Reynoldsovo kritérium. Reynolds totiž svým pokusem dokázal, že existují 2 režimy pohybu při proudění vazkých kapalin. A to laminární (vrstevnaté) proudění a turbulentní (vířnaté). Jako hranice laminárního proudění v trubici pro všechny kapaliny bylo experimentálně stanoveno Reynoldsovo číslo s hodnotou $Re_{lam}=2\,320$. Je-li tedy hodnota Re menší než tato hodnota, proudění je laminární. Je-li větší, jedná se o přechodnou oblast, kde může být proudění laminární i turbulentní. Hranice pro turbulentní proudění není tak jednoznačná, obecně se uvažuje, že turbulentní proudění se vyskytuje při hodnotách větších než $Re_{turb}\approx 13\,800$.

V praktické části byly na vybraných čistírnách odpadních vod dle různých typů kanalizace (tlaková, podtlaková, gravitační) odebrány vzorky odpadních vod. Vzorky byly odebrány na přítoku na čistírnu, tedy před jakýmkoli stupněm čištění. Do zpracování bylo zahrnuto celkem 12 odběrů (4 z tlakové kan., 4 z podtlakové a 4 z gravitační). Následně byl na vzorcích proveden biochemický rozbor, který určil vlastnosti odpadních vod.

Následovalo měření hustoty a dynamické viskozity vzorků vod, kde se ponechaly odsedimentovat nejhrubší částice. Měření probíhalo pomocí rotačního viskozimetru, pro teploty od 10 °C do 80 °C. Data byla následně zpracována a zhodnocena.

Z měření hustot vyplynulo, že odpadní vody jsou velmi různorodé směsi a jejich hustota je značně proměnlivá. Pohybuje se v rozmezích cca $950 - 1025 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pro podtlakovou a tlakovou kanalizaci vycházely průměrné hodnoty hustoty přibližně stejné, pro gravitační kanalizaci byly mírně zvýšené. Tato veličina se v praxi projeví např. při posuzování tečného napětí v gravitačních stokách, kdy ovlivňuje minimální sklony. Rozdíly těchto sklonů pro uvedené hustoty se však mění v řádu desetin promile, tedy v praxi běžně užívaná hodnota 1000 kg/m^3 pro toto posouzení se jeví jako poměrně vhodně zvolená.

Dle chemicko-biologického rozboru vzorků hodnoty rozsahu organického znečištění stanoveného pomocí metod BSK₅ a CHSK v podstatě nevybočují z běžně uváděných rozmezí těchto ukazatelů. Vyskytla se pouze jediná výjimka, kde hodnoty byly výrazně nižší, to je dáno pravděpodobně výskytem balastních vod, které vodu ředí.

Viskozity všech vzorků pro jednotlivé teploty se pohybovaly ve velice podobných rozmezích. Největší rozdíl rozmezí hodnot jak pro kinematickou, tak pro dynamickou viskozitu byl naměřen při teplotě 10°C . Lze říci, že v porovnání s tabulkovými hodnotami vody pro teploty od 50°C a výše je kin. i dyn. viskozita čisté vody výrazně nižší než hodnoty OV. Do 50°C se hodnoty pohybují relativně ve stejných mezích. Pro navrhování stokových systémů jsou nejdůležitější hodnoty viskozity odpadních vod pro 10°C a 20°C .

Kinematická viskozita se používá při návrhu tlakových potrubí. V praktickém výpočtu ztrát po délce třením pro tlakové potrubí byly porovnávány výsledky mezi použitím kinematické viskozity vody a mezi naměřenou viskozitou odpadní vody. Rozdíly hodnot ztrát se pohybovaly v řádech jednotek centimetrů, což bývá pro praxi v podstatě zanedbatelné. Ztráty v řádu desítek centimetrů se projeví až od větších délek potrubí (cca 5000 m). Splaškové vody se pohybují cca v rozmezí teplot $10 - 20^\circ\text{C}$, proto jsou výsledky v rámci těchto teplot při navrhování pro běžné komunální vody nejzajímavější. Vyšší teploty se uplatní spíše v odvádění průmyslových odpadních vod.

Dle získaných hodnot nebyla prokázána žádná závislost ani souvislost mezi obsahem BSK₅ a viskozitou odpadních vod. Určitou podobnost viskozit lze spatřovat snad dle typu kanalizace, ale to pouze při nižších měřených teplotách ($10, 20$ a 30°C).

Dále se získaná data dají použít pro výpočtové softwary, např. pro určení závislosti viskozity a Reynoldsova čísla při tvorbě CFD modelování pro softwarové prostředí Flow 3D, či pro jiné CFD softwary (Fluent, openFOAM atd.)

7 POUŽITÁ LITERATURA

[1] JANDORA, Jan. *Hydraulika: modul 01*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007, 178 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 978-80-7204-512-9.

[2] CERHA, Josef. *Hydraulické a pneumatické mechanismy I*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2006, 317 s. ISBN 80-7372-067-1.

[3] PECH, Pavel. *Speciální případy hydrauliky podzemních vod*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze ve Výzkumném ústavu vodohospodářském T.G. Masaryka, 2010, 103 s. ISBN 978-80-87402-04-7.

[4] KOLÁŘ, Václav, Jiří BÉM a Cyril PATOČKA. *Hydraulika*. 1. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1983, 474 s.

[5] VAJDA, Drahošlav. *URČENIE KOEFICIENTU DYNAMICKEJ VISKOZITY TELIESKOVÝMI VISKOZIMETRAMI*. Dostupné z: fyzika.utc.sk/praktika/Ulohy/Viskozita/Viskozita.pdf

[6] WEISSBERGER, Arnold a Bryant W ROSSITER. *Physical methods of chemistry*. Incorporating 4th completely rev. and augm. ed. of Technique of organic chemistry, v. 1: Physical methods of organic chemistry. New York: Wiley-Interscience, 1977, xi, 323 s.

[7] CHARVÁTOVÁ, Hana. *Termofyzikální vlastnosti vybraných látek: (doporučeno pro výuku předmětu Procesní inženýrství studijního programu Procesní inženýrství)*. Vyd. 1. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2009, 122 s. ISBN 978-80-7318-787-3.

[8] Viskozita. In: *Slovník fyziologie* [online]. [2014] [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: <http://wiki.lfp-studium.cz/index.php/Viskozita>

[9] Separate sewer system with pressure sewers. *ClimateChangeAdaptation* [online]. 5.2.2014 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://en.klimatilpasning.dk/technologies/normal-rainfall-and-cloudbursts/separate-sewer-system-with-pressure-sewers.aspx>

[10] Stanovení viskozity roztoků – teoretická část. *Návody k laboratorním cvičením: Multimediální výukový projekt* [online]. [2. 12. 2008] [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/res_stanoveni_viskozity_roztoku/teorie.htm

[11] PROSSER, Václav. *Experimentální metody biofyziky: celostátní vysokoškolská učebnice pro studující matematicko-fyzikálních a přírodovědných fakult oboru 11-66-8 Biofyzika a chemická fyzika*. 1. vyd. Praha: Academia, 1989, 712 s. ISBN 80-200-0059-3.

[12] VESELÁ, Eva a Václav VACEK. *Handbook of laboratory experiments in physics*. 2., přeprac. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2010, 169 s. ISBN 978-80-01-04593-0.

[13] Vztah mezi napětím a rychlostí deformace, viskózní látky. *Matematicko-fyzikální fakulta: Univerzita Karlova v Praze* [online]. [c 2013] [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/2_2

[14] NeNEWTONOVSKÁ KAPALINA. *FYZMATIK.píše* [online]. 18.11.2008 [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/711-nenewtonovska-kapalina.html>

[15] AMBROŽOVÁ, Klára, Alena JURÁSKOVÁ a Eva SEDLÁČKOVÁ. Dokumentace: nenewtonovska_kapalina. In: *Katedra didaktiky fyziky: Matematicko-*

fyzikální fakulta UK v Praze [online]. [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: kdf.mff.cuni.cz/tabor/2010/odborny/nenewtonovska_kapalina.pdf

[16] *Tekutiny: Charakteristika, proudění tekutin* [online]. [c 2000-2010] [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: <http://tresen.vscht.cz/kot/wp-content/uploads/2010/charakteristika-a-chovani-tekutin/2010-07-charakteristika-a-chovani-tekutin-3x2.pdf>

[17] Laminární proudění. In: *WikiSkripta* [online]. [cit. 2014-09-17]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/Lamin%C3%A1rn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD

[18] Turbulentní proudění. In: *Slovník fyziologie* [online]. [2014] [cit. 2014-09-17]. Dostupné z: http://wiki.lfp-studium.cz/index.php/Turbulentn%C3%AD_proud%C4%9Bn%C3%AD

[19] REICHL, Jaroslav. Reynoldsovo číslo. In: *Encyklopedie fyziky* [online]. c 2006-2014 [cit. 2014-09-18]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/555-reynoldsovo-cislo>

[20] Laminární a turbulentní proudění. *Matematicko-fyzikální fakulta: Univerzita Karlova v Praze* [online]. [c 2013] [cit. 2014-09-18]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/4_5

[21] Odpor prostředí. *Matematicko-fyzikální fakulta: Univerzita Karlova v Praze* [online]. [c 2013] [cit. 2014-09-18]. Dostupné z: http://physics.mff.cuni.cz/kfpp/skripta/kurz_fyziky_pro_DS/display.php/kontinuum/4_6

[22] George Gabriel Stokes. BUREŠ, Jiří. *ConVERTER* [online]. c 2002 [cit. 2014-09-27]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/fyzici/stokes.htm>

[23] FICKER, Tomáš. *Fyzikální praktikum I*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 58 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-720-4459-1.

[24] BSK5. In: *ABZ slovník cizích slov* [online]. c 2005-2014 [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://slovník-cizich-slov.abz.cz/web.php/slovo/bsk5>

[25] BSK. In: *Enviwiki* [online]. 13.3.2011 [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.enviwiki.cz/wiki/BSK>

[26] *Stanovení BSK5* [online]. [c2000-2014] [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/navody/BSK5.pdf

[27] Měření BSK tlakovými hlavicemi. *Pavel Kovanda - Váš dodavatel laboratorních potřeb* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: http://www.p-kovanda.cz/merici_pristroje/mereni_bsk.htm

[28] BOD Sensor set pro stanovení BSK. *Unimed* [online]. [cit. 2014-11-22]. Dostupné z: <http://www.unimed.cz/bod-sensor-set-pro-stanoveni-bsk>

[29] Odpadní vody. In: *Úprava a čištění vody: Multimediální učební texty zaměřené na problematiku úpravy a čištění vody* [online]. Prosinec 2010 [cit. 2015-01-08]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/hgf/546/Materialy/Radka_2010/ov.html

[30] HLAVÍNEK, Petr, Petr PRAX, Petr HLUŠTÍK a Radim MIFEK. *Stokování a čištění odpadních vod: Modul 1 Stokování* [intranet]. 2006.

[31] Samočišticí schopnost toků. *Hornicko-geologická fakulta: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava* [online]. [2007] [cit. 2014-11-23]. Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/Ekologicke%20aspekty/loticky_system/4_samocistici/cistici.htm

- [32] CHSK. [c 2008]. Dostupné z: ach.upol.cz/user-files/files/01-chsk.pdf
- [33] FRINTOVÁ, Karolína. *Čištění odpadních vod*. Brno, 2007. Diplomová práce. Masarykova univerzita v Brně. Vedoucí práce Doc. PhDr. Josef Budiš.
- [34] 8. Základy kanalizace pro veřejnou potřebu. In: SVATOŠOVÁ, Irena. *TZB I* [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/tzb-1/8.html>
- [35] Historie kanalizace. In: *NašeInfo.cz - návody, rady...* [online]. [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://www.naseinfo.cz/stavby-a-stavebnictvi/technicke-zarizeni/kanalizace/historie-kanalizace>
- [36] Odvádění a čištění odpadních vod. *Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.* [online]. c 2005-2014 [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://www.bvk.cz/o-spolecnosti/odvadeni-a-cistení-odpadnich-vod/>
- [37] Kanalizace. In: *Oficiální stránky Města Blšany* [online]. [c2014] [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: www.blsany.cz/_data/upload/File/kanalizace.pdf
- [38] Terminology. *UNITRACC - Underground Infrastructure Training and Competence Center* [online]. c 2014 [cit. 2014-11-27]. Dostupné z: <http://www.unitracc.com/know-how/fachbuecher/rehabilitation-and-maintenance-of-drains-and-sewers/structure-and-limiting-conditions-of-sewer-systems-historical-outline/terminology-en>
- [39] PATERA, Josef. *STUDIE SROVNÁNÍ DRUHŮ KANALIZACE: obec Hudlice* [online]. 13.4.2008 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: www.ijpsoft.cz/files/SROVNANI_internet.pdf
- [40] Přednášky předmětu BP02 Stokování a čištění odpadních vod., vyučovaného na Fakultě stavební, Vysoké učení technické v Brně.
- [41] RACLAVSKÝ, Jaroslav a Petr HLUŠTÍK. *Vybrané statě ze stokování a ČOV: Modul 01* [intranet]. Brno, 2009.
- [42] Tlaková kanalizace. *Sigmont Praha s.r.o* [online]. [2011] [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.sigmontpraha.cz/tlakova-kanalizace>
- [43] Výhody a nevýhody spádové a tlakové kanalizace Více zde: <http://www.obecvendoli.cz/news/vyhody-a-nevyhody-spadove-a-tlakove-kanalizace/>. *Obec Vendolí* [online]. 26.3.2014 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: <http://www.obecvendoli.cz/news/vyhody-a-nevyhody-spadove-a-tlakove-kanalizace/>
- [44] Informace o systému. *PRESSKAN system, a. s., tlaková kanalizace* [online]. c 2005 [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.presskansystem.cz/index.php?page=system>
- [45] Tlaková kanalizace. In: *Sigma 1868* [online]. [c 2009] [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.sigma1868.cz/data/pdf/SIGMAPRESS/SIGMAPRESS-prospekt.pdf>
- [46] VYKYDAL, Lukáš. Jak funguje systém tlakové kanalizace?. In: *Hradec nad Svitavou: oficiální internetové stránky* [online]. 27.5.2013 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.hradecnadsvitavou.cz/component/search/?searchword=tlakov%C3%A1+kanalizace&ordering=&searchphrase=all>
- [47] Čerpací šachty - tlaková kanalizace: Princip tlakové kanalizace. *MABA EUROBETON* [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.mabacz.cz/maba/produkty/cerpaci-sachty-tlakova-kanalizace>
- [48] Návrh hodnocení technických ukazatelů pro stokové systémy. In: KUDRNOVÁ, Eliška a Petr HLUŠTÍK. *TZBinfo* [online]. 27.1.2014 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z:

<http://voda.tzb-info.cz/kanalizacni-pripojky/10805-navrh-hodnoceni-technickych-ukazatelu-pro-stokove-systemy>

[49] KRŇANSKÝ, Karel. VLIV TLAKOVÉ KANALIZACE NA KVALITU OV S VAZBOU NA ČOV. In: *Juniorstav 2008* [online]. [2008] [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: http://www.fce.vutbr.cz/veda/juniorstav2008_sekce/pdf/3/Krnansky_Karel_CL.pdf

[50] Kalové čerpadlo KSB AMAREX N S s řezákem. *Sigmont Praha s.r.o* [online]. c 2014 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.sigmontpraha.cz/prodej-cerpadel/kalove-cerpadlo-ksb-amarex-n-s-s-rezakem>

[51] Kapalina. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kapalina>

[52] Přednášky předmětu CP56 Vybrané statě ze stokování a ČOV, vyučovaného na Fakultě stavební, Vysoké učení technické v Brně.

[53] ROEVAC: Venkovní podtlakové systémy - popis. *Vacuum Global, s.r.o* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: http://www.vacuumglobal.cz/roevac_venkovni_popis.html

[54] STOHR, Zdeněk a Dalibor ŠEBEK. Podtlakové kanalizace. *VHOS, a. s.* [online]. [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: http://stary_web.vhos.cz/telo/podtlak/podtlak.html

[55] Stokování. In: *Katedra hydrauliky a hydrologie - K141* [online]. Poslední změna 21.11.2014 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Stokovani.pdf

[56] MIFEK, Radim. Vliv kanalizační sítě na kvantitu a kvalitu dopravené odpadní vody na ČOV. In: *TZBinfo* [online]. 12.9.2011 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: <http://voda.tzb-info.cz/kanalizace-splaskova/7813-vliv-kanalizacni-site-na-quantitu-a-kvalitu-dopravene-odpadni-vody-na-cov>

[57] Zneškodňování odpadních vod v obcích do 2 000 ekvivalentních obyvatel: Metodická příručka. In: *Ministerstvo životního prostředí České republiky* [online]. březen 2009 [cit. 2014-12-02]. Dostupné z: www.opzp.cz/soubor-ke-stazeni/18/5691-04102009_zneskodnovani_odpadnich_vod_do_2000eo.pdf

[58] STAUFFER, Beat. Vacuum Sewers. *SSWM: Sustainable sanitation and water management* [online]. [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.sswm.info/content/vacuum-sewers>

[59] KOLEKTIV, Vladimír Pytl a. *Příručka provozovatele čistírny odpadních vod*. 2. vyd. Líbeznice: Medim pro SOVAK ČR, 2012. ISBN 978-808-7140-260.

[60] VYORALOVÁ, Zuzana a Petr HRDLÍČKA. *Technická infrastruktura měst a sídel*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013, 155 s. ISBN 978-80-01-05202-0.

[61] HLAVÍNEK, Petr. *Příručka stokování a čištění*. Vyd. 1. Brno: NOEL 2000 s.r.o., 2001, vi, 251 s. ISBN 80-860-2030-4.

[62] Voda. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Voda>

[63] PAVLÍK, Ondřej. *Matematické modelování retenčních objektů městského odvodnění*. Brno, 2013. 103 s., Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Petr Prax, Ph.D.

[64] Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách. In: www.zakonyprolidi.cz. 2001, 98/2001. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>

[65] ODBOR VODOVODŮ A KANALIZACÍ. *VODOVODY KANALIZACE ČR 2013: Ekonomika ceny Informace* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2014 [cit. 2014-12-06]. ISBN 978-80-7434-162-5. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/voda/osveta-a-publikace/publikace-a-dokumenty/vodovody-a-kanalizace/vodovody-a-kanalizace-ceske-republiky-4.html>

[66] Zákon č. 17/1992 Sb. o životním prostředí. In: www.zakonyprolidi.cz. 1991, 4/1992. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/1992-17>

[67] Zákon č. 274/2001Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů. In: www.zakonyprolidi.cz. 2001, č. 274, 104/2001. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>

[68] Předpis č. 61/2003 Sb. Nařízení vlády o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. In: www.zakonyprolidi.cz. 2003, 24/2003. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-61>

[69] Směrnice Rady 91/271/EHS ze dne 21. května 1991 o čištění městských odpadních vod. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 1991. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:31991L0271&from=CS>

[70] ČSN EN 1091. *Venkovní podtlakové systémy stokových sítí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

[71] ČSN EN 1671. *Venkovní tlakové systémy stokových sítí*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

[72] ČSN 75 6101. *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.

[73] ČSN EN 752. *Odvodňovací systémy vně budov*. Praha: Český normalizační institut, 2008.

[74] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Štěpánov. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7107_037_01_16343.pdf

[75] Tab. 3 Počet obyvatel v obcích České republiky k 1.1.2014. In: *Český statistický úřad* [online]. 30.4.2014, Aktualizováno dne 13.5. 2014 [cit. 2014-11-12]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/p/130072-14>

[76] Štěpánov – tlaková kanalizace, ČOV a vodovod: Obec Štěpánov. *OHL ŽS* [online]. c 2001-2014 [cit. 2014-12-11]. Dostupné z: <http://www.ohlzs.cz/nase-stavby/vodohospodarske-stavby/reference/stepanov-tlakova-kanalizace-cov-a-vodovod/>

[77] ROZDĚLENÍ ODPADNÍCH VOD. In: *Základní fyzikálně-chemický rozbor vod* [online]. Datum poslední aktualizace 15.5.2009 [cit. 2014-12-16]. Dostupné z: <http://www.rybarstvi.eu/dok%20rybari/chemie/rozdeleni%20odpadnich%20vod.doc>

- [78] Viskozita. *AV-EQUEN.cz* [online]. [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: <http://www.av-equen.cz/viskozita1/>
- [79] Měření viskozity. In: *WikiSkripta* [online]. [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/M%C4%9B%C5%99en%C3%AD_viskozity
- [80] PIRKL, Slavomír. Základy reologie a reometrie kapalin. In: *Ústav aplikované fyziky a matematiky* [online]. [cit. 2014-08-22]. Dostupné z: http://kf.upce.cz/st_literatura.html
- [81] Fyzika proudění krve - Poiseuillův zákon. *FYZMATIK.píše* [online]. 21.5.2012 [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: <http://fyzmatik.pise.cz/1318-fyzika-proudeni-krve-poiseuilluv-zakon.html>
- [82] Měření viskozity. *Co je co v povrchové a koloidní chemii* [online]. 2005 [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_es-001/hesla/mereni_viskozity.html
- [83] JANUŠ, P. *Studium viskozity kapalných materiálů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. 48 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Martin Frk, Ph.D.
- [84] Viskozita. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2014-07-09]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Viskozita>
- [85] Rotační viskozimetr Rheolab QC. *Anton Paar* [online]. [cit. 2014-12-27]. Dostupné z: http://www.anton-paar.cz/?p=produkt&lng=cs&pid=rheolab_qc
- [86] ANTON PAAR GERMANY GMBH. *RheolabQC: Návod k použití*. Rakousko, 2008.
- [87] ANTON PAAR. *Viscotherm VT2: Operating manual*. Germany, 8.8.2013.
- [88] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Újezd. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7112_008_01_17375.pdf
- [89] Obec Újezd - Rybníček - Haukovice. *Obec Újezd* [online]. c2014 [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: <http://www.obec-ujezd.cz/>
- [90] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Příkazy. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7107_031_01_13600.pdf
- [91] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Nákle. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7105_013_01_10140.pdf
- [92] Čistírna odpadních vod v Nákle. *Náklo: oficiální stránky obce* [online]. c2014 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://www.naklo.cz/odpadove-hospodarstvi/cov/>
- [93] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Dubčany. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7105_005_01_05234.pdf
- [94] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Postřelmov. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-10-22]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7105_005_01_05234.pdf

- 2014-12-28]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7113_018_01_12617.pdf
- [95] Statistické údaje. *Obec Zvole* [online]. c2014 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.obec-zvole.cz/informace-o-obci/statisticke-udaje/>
- [96] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Postřelmov. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/PDF/KARTY/7113_028_01_19409.pdf
- [97] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Bohuslavice. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: [http://mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/isapi.dll?GEN=LSTD&MAP=bilance&CF_SXX=0&CF_SZO=0&Z=4e-6&CF_SQY=R\[ICOB%401\]525880%0A&LANG=CS-CZ&TMPL=TabIX&DETAIL=0](http://mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/isapi.dll?GEN=LSTD&MAP=bilance&CF_SXX=0&CF_SZO=0&Z=4e-6&CF_SQY=R[ICOB%401]525880%0A&LANG=CS-CZ&TMPL=TabIX&DETAIL=0)
- [98] ČOV Bohuslavice. *Nízkotepelné Systémy* [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.nsystemy.cz/Cov-bohuslavice.8.html>
- [99] Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje: Dubicko. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Olomouckého kraje* [online]. Aktualizováno 30.6.2004 [cit. 2014-12-28]. Dostupné z: <http://mapy.kr-olomoucky.cz/prvk/>
- [100] Voda a kanalizace. *Městys Křtiny* [online]. c2012 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.krtiny.cz/voda-a-kanalizace/>
- [101] Křtinský potok po ústí do toku Svitava. In: *Průvodní list útvaru povrchových vod Plánu oblasti povodí Dyje 2010-2015* [online]. [c2009] [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: www.pmo.cz/pop/2009/Dyje/end/inf_listy/prilohy/D060.pdf
- [102] Příloha č. 4 Stávající ČOV. In: *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Jihomoravského kraje: Územní celek Blansko* [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: http://www.kr-jihomoravsky.cz/archiv/ozp/PRVK_JMK/PRVK%20Blansko/Default.htm
- [103] O Křtinách. *Městys Křtiny* [online]. c2012 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.krtiny.cz/o-krtinach/>
- [104] *Věstník veřejných zakázek* [online]. c2012 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.vestnikverejnychzakazek.cz/cs/Form/Display/535254>
- [105] *Rudice: Geografický střed Moravského krasu* [online]. [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.rudice.cz/index.php?page=turistika>
- [106] Výstavba ČOV a kanalizace, Ostrov u Macochy. In: *VHS Brno, a.s.* [online]. [2008] [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: vhs-brno.cz/wp-content/uploads/2008/02/05_kanalizace_ostrov.pdf
- [107] Slavnostní otevření ČOV Sloup v pátek dne 26.10.2012. *Vodárenská akciová společnost, a.s.* [online]. c2009 [cit. 2014-12-29]. Dostupné z: <http://www.vodarenska.cz/divize-boskovice/slavnostni-otevreni-cov-sloup-v-patek-dne-26-10-2012-1>
- [108] Voda - základ života. *Envic.cz* [online]. [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://www.envic.cz/voda-zaklad-zivota.htm>

[109] AIRVAC Products. *WaterCon: Design, Construction & Maintenance Services to the Water & Wastewater Industry* [online]. c 2014 [cit. 2014-12-03]. Dostupné z: <http://www.watercon.net.au/products-airvac.php>

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Přehled fyz. veličin	11
Tab. 3.2 Dynamická viskozita některých kapalin [6], [7]	12
Tab. 3.3 Vlastnosti vody v závislosti na teplotě při tlaku $1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ [1] s následně vypočtenou μ dle vztahu (3.3)	12
Tab. 4.1 Obecné složení splaškových vod [29], [30].....	18
Tab. 4.2 Doporučené ředění [26]	19
Tab. 5.1 Zápis měření pro vzorek B – dyn. viskozita při 10 °C, hustota při 20 °C	33
Tab. 5.2 Zpracované hustoty vzorků	46
Tab. 5.3 Průměrné hodnoty hustot OV a jejich rozmezí dle absolutních chyb	46
Tab. 5.4 Chemický rozbor vzorků	47
Tab. 5.5 Hodnoty BSK ₅ a CHSK v rámci všech vzorků	47
Tab. 5.6 Průměrné hodnoty BSK ₅ a CHSK dle typu kanalizace	47
Tab. 5.7 Vzorek A - viskozity v závislosti na teplotě	49
Tab. 5.8 Vzorek B - viskozity v závislosti na teplotě	49
Tab. 5.9 Vzorek D - viskozity v závislosti na teplotě	49
Tab. 5.10 Vzorek E - viskozity v závislosti na teplotě	50
Tab. 5.11 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV z tlakové kanalizace	51
Tab. 5.12 Průměrné hodnoty viskozit, jejich absolutní a relativní chyby (pro tlakovou kan.)	52
Tab. 5.13 Vzorek F - viskozity v závislosti na teplotě	53
Tab. 5.14 Vzorek G - viskozity v závislosti na teplotě	53
Tab. 5.15 Vzorek H - viskozity v závislosti na teplotě	54
Tab. 5.16 Vzorek I - viskozity v závislosti na teplotě	54
Tab. 5.17 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV z podtlakové kanalizace ..	56
Tab. 5.18 Průměrné hodnoty viskozit, jejich absolutní a relativní chyby (pro podtlakovou kan.)	56
Tab. 5.19 Vzorek J - viskozity v závislosti na teplotě	57
Tab. 5.20 Vzorek K - viskozity v závislosti na teplotě	57
Tab. 5.21 Vzorek L - viskozity v závislosti na teplotě	58
Tab. 5.22 Vzorek M - viskozity v závislosti na teplotě	58
Tab. 5.23 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV z gravitační kanalizace	60
Tab. 5.24 Průměrné hodnoty viskozit, jejich absolutní a relativní chyby (pro gravitační kan.)	60
Tab. 5.25 Mezní intervaly průměrných hodnot viskozit OV v rámci všech vzorků	61

Tab. 5.26 Celkové průměrné hodnoty dyn. viskozity pro různé typy kanalizace při teplotě 10 °C	62
Tab. 5.27 Celkové průměrné hodnoty dyn. viskozity pro různé typy kanalizace při teplotě 20 °C	62
Tab. 5.28 Minimální sklon potrubí při hustotě OV dle praxe.....	67
Tab. 5.29 Minimální sklon potrubí při největší hustotě OV z gravitační kan.	67
Tab. 5.30 Minimální sklon potrubí při nejmenší hustotě OV z gravitační kan.	68
Tab. 5.31 Vliv viskozity při 10 °C na návrh tlakové kanalizace	69
Tab. 5.32 Vliv viskozity při 20 °C na návrh tlakové kanalizace	70
Tab. 5.33 Vliv viskozity při 30 °C na návrh tlakové kanalizace	70
Tab. 5.34 Vliv viskozity při 40 °C na návrh tlakové kanalizace	70
Tab. 5.35 Vliv viskozity při 50 °C na návrh tlakové kanalizace	70
Tab. 5.36 Vliv viskozity při 60 °C na návrh tlakové kanalizace	71
Tab. 5.37 Vliv viskozity při 70 °C na návrh tlakové kanalizace	71
Tab. 5.38 Vliv viskozity při 80 °C na návrh tlakové kanalizace	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3.1 Newtonské a nenewtonské kapaliny [16]	10
Obr. 3.2 Závislost kinematické viskozity vody na teplotě.....	13
Obr. 3.3 Ubbelohdeův viskozimetr [82]	16
Obr. 3.4 Úpravy měrného prostoru rotačních viskozimetrů [80]	16
Obr. 4.1 Radiální systém [30]	22
Obr. 4.2 Větevný systém [38]	22
Obr. 4.3 Pásmový systém [38]	22
Obr. 4.4 Úchytný systém [38].....	22
Obr. 4.5 Řezací zařízení [50]	24
Obr. 4.6 Domovní gravitační přípojka, DČJ, tlaková přípojka, tlakový řad [9].....	24
Obr. 4.7 Objemy v DČJ [41].....	25
Obr. 4.8 DČJ [archiv autorky]	26
Obr. 4.9 Vlnový podélný profil [57].....	28
Obr. 4.10 Zubový (pilový) podélný profil [57]	28
Obr. 4.11 Kapsový podélný profil [57].....	28
Obr. 4.12 Schéma podtlakové kanalizace [58]	29
Obr. 4.13 Sběrná šachta se sacím ventilem [53].....	30
Obr. 4.14 Podtlakový ventil AIRVAC i s řídicí jednotkou [62].....	30
Obr. 4.15 Řídicí jednotka ventilu AIRVAC [archiv autorky]	31
Obr. 5.1 Odběr vzorků [archiv autorky]	35
Obr. 5.2 Závislost hustoty na měřeném objemovém množství.....	37
Obr. 5.3 Typy měřících systémů pro RheolabQC [85].....	38
Obr. 5.4 Viskozimetr a termostat [archiv autorky]	39
Obr. 5.5 Viskozimetr s obnaženým měřicím systémem [archiv autorky]	39
Obr. 5.6 Závislost hustoty vody na teplotě	41
Obr. 5.7 Předpoklad průběhu závislosti hustoty odpadní vody (vzorek A) na teplotě ...	41
Obr. 5.8 Průběhy dyn. viskozit vzorků tlakové kanalizace	50
Obr. 5.9 Průběhy kin. viskozit vzorků tlakové kanalizace	51
Obr. 5.10 Průběhy dyn. viskozit vzorků podtlakové kanalizace	55
Obr. 5.11 Průběhy kin. viskozit vzorků podtlakové kanalizace	55
Obr. 5.12 Průběhy dyn. viskozit vzorků gravitační kanalizace	59
Obr. 5.13 Průběhy kin. viskozit vzorků gravitační kanalizace	59
Obr. 5.14 Průběhy dyn. viskozit všech vzorků	61

Obr. 5.15 Průběhy kin. viskozit všech vzorků.....	62
Obr. 5.16 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 10 °C	63
Obr. 5.17 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 20 °C	63
Obr. 5.18 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 30 °C	64
Obr. 5.19 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 40 °C	64
Obr. 5.20 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 50 °C	65
Obr. 5.21 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 60 °C	65
Obr. 5.22 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 70 °C	66
Obr. 5.23 Závislost dyn. viskozity na hodnotě BSK_5 při 80 °C	66

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

ATS ... Automatická tlaková stanice

BSK₅ ... Biochemická spotřeba kyslíku za 5 dní

ČOV ... Čistírna odpadních vod

ČR ... Česká republika

DČJ ... Domovní čerpací jímka

EO ... Ekvivalentní obyvatel

EU ... Evropská unie

CHSK ... Chemická spotřeba kyslíku

MZ ... Ministerstvo zdravotnictví

MZe ... Ministerstvo zemědělství

MŽ ... Ministerstvo životního prostředí

OV ... Odpadní vody

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

γ'	... smyková rychlost [s^{-1}]
λ	... součinitel tření [-]
μ nebo η	... součinitel dynamické viskozity [$\text{Pa}\cdot\text{s}$]
$\bar{\vartheta}$	... absolutní pravděpodobná chyba aritmetického průměru
ν	... součinitel kinematické viskozity [$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$]
ρ	... hustota tekutiny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
$\bar{\rho}$	... relativní chyba [%]
τ	... smykové napětí [Pa]
A	... plocha průřezu potrubí kolmá na směr pohybu [m^2]
a	... koncentrace rozpuštěného kyslíku nultý den [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
b	... koncentrace rozpuštěného kyslíku po pěti dnech [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
c	... hodnota slepého pokusu zřed'ovací vody [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]
C	... součinitel odporu [-]
D	... průměr trubice [m]
D_p	... průměr potrubí [m]
g	... gravitační zrychlení [$\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]
H_z	... ztráty třením po délce [m]
I	... sklon čáry energie [-]
k	... absolutní drsnost stěn potrubí [mm]
m	... hmotnost [kg]
n	... počet měření ve statistickém souboru
R	... hydraulický poloměr [m]
R_r	... poměr objemu vzorku k objemu připravené směsi vzorku se zřed'ovací vodou [-]
Re	... Reynoldsovo číslo (kritérium) [-]
t	... čas [-]
U	... tečné napětí [Pa]
v	... střední rychlost kapaliny v trubici [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
v_t	... rychlost pohybujícího se tělesa v tekutině [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$]
V	... objem [m^3]
x_i	... naměřené hodnoty veličiny x
$\bar{x}$	... aritmetický průměr veličiny x

SUMMARY

This thesis is divided into two parts – a research and a practical part.

The first part describes viscosity as a physical characteristic of liquids, these two kinds – dynamic (shear) viscosity and kinematic viscosity, describes Newton's law of viscosity, measuring devices as viscometers, the importance of determination of viscosity in practice – for example food industry or chemical industry. Next are described different types of sewer systems (pressure sewer system, vacuum sewer system and gravity sewer system), their advantages and disadvantages, and introduction to issue of project those sewer systems. Deals with wastewater, types of wastewater and their composition, especially deals with indicators of the amount of organic pollution - biochemical oxygen demand (BOD_5) and chemical oxygen demand (COD).

The practical part of this work consists of sampling wastewater from different types of sewer systems and various localities (mainly from Olomouc region and South Moravian region). Chemical-biological analysis was realized on those samples, their density was defined, and dynamic viscosity was measured by the rotary viscometer RheolabQC for various temperatures. Based on these data and known reliances (equations) the kinematic viscosity was calculated. Measured data are graphical and tabular treatment and evaluated. Finally, a calculation related to the design of sewers was made. For the gravity sewer systems the shear stress in the pipeline was assessed. For the pressure sewer system was computed friction loss lengthways. In the example were used ordinary values of viscosity and density used in practice, then the values from measurement were used, and both results were compared.

Thanks to this thesis, a range of density and viscosity of wastewater was experimentally determined. Those values and data could be used in practice, for example in the compute and modelling software, for example FLOW 3D or OpenFOAM etc.