



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní
Ústav energetiky

Hydraulické ztráty v plastovém potrubí

Hydraulic losses in plastic pipeline

Bakalářská práce

Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Energetika a procesní technika
Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Melichar, CSc.

Filip Nesvadba

Praha 2016



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: Filip NESVADBA
program: Strojírenství
obor: Energetika a procesní technika

Název tématu: Hydraulické ztráty v plastovém potrubí
Title: Hydraulic losses in plastic pipeline

Zásady pro vypracování:

Práce bude obsahovat:

- 1) Literární rešerše k problematice výpočtu třecích ztrát při proudění čisté vody v přímém potrubí z termoplastů.
- 2) Kritické zhodnocení dostupných metod a vztahů, porovnání výsledků z jejich aplikace.

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy: do 30 stran

Seznam odborné literatury:

Melichar, J., Bláha, J.: Problematika soudobé čerpací techniky - Vybrané partie. 1. vyd. Praha. Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Jan Melichar, CSc.

Konzultant/i: Ing. Pavel Mosler

Datum zadání bakalářské práce: 29. 4. 2016

Datum odevzdání bakalářské práce: 10. 6. 2016

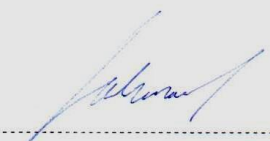
Neodevzdá-li student/ka bakalářskou nebo diplomovou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské nebo diplomové práce. Pokud se však student/ka řádně neomluvil/a nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student/ka zapsat bakalářskou nebo diplomovou práci podruhé.

Posluchač/ka bere na vědomí, že je povinen/povinna vypracovat bakalářskou nebo diplomovou práci samostatně bez cizí pomoci s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské nebo diplomové práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne: 25. 4. 2016

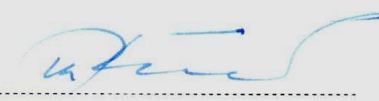


student/ka



doc. Ing. Michal Kolovratník, CSc.
vedoucí Ú 12115





prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 29. 4. 2016

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Melichara, CSc. a že jsem čerpal pouze z uvedené literatury.

V Praze dne 8.6.2016

.....

Filip Nesvadba

Anotační list

Jméno autora:	Filip Nesvadba
Název BP:	Hydraulické ztráty v plastovém potrubí
Anglický název:	Hydraulic losses in plastic pipeline
Akademický rok:	2015/2016
Ústav:	Ústav energetiky
Vedoucí BP:	prof. Ing. Jan Melichar, CSc.
Konzultant:	Ing. Pavel Mosler
Bibliografické údaje:	Počet stran: 48 Počet obrázků: 11 Počet tabulek: 3 Počet příloh: 6
Klíčová slova:	Hydraulické ztráty, termoplast, potrubí
Keywords:	Hydraulic losses, thermoplastic, piping
Anotace:	Práce se zabývá řešením problematiky výpočtu třecích ztrát při proudění čisté vody v přímém potrubí z termoplastu a jejich následném porovnání s hodnotami ztrát udávaných vybranými výrobci.
Abstract:	This work deals with the research of methods of friction loss calculations for a clean water flow in straight thermoplastic piping and their subsequential comparison with losses listed by chosen manufacturers.

Poděkování:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu prof. Ing. Janu Melicharovi, CSc. za poskytnutí důležitých rad a informací k vypracování této bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod	10
2	Plasty	10
2.1	Dělení plastů	11
2.2	Termoplasty používané pro potrubí a jejich vlastnosti:	12
2.3	Výhody a nevýhody použití plastů v potrubních systémech	15
3	Hydraulické ztráty	16
3.1	Třecí ztráty	17
3.2	Místní ztráty	24
3.3	Ekvivalentní délka potrubí	27
4	Volba materiálu potrubí	28
5	Porovnání hydraulických ztrát v potrubí od různých výrobců	29
5.1	Porovnání hydraulických ztrát pro potrubí o rozměru 50 x 4,6	30
5.2	Porovnání hydraulických ztrát pro potrubí o rozměru 63 x 5,8	33
6	Závěr	35
7	Seznam použité literatury	36
8	Seznam obrázků	37
9	Seznam tabulek	38
10	Seznam příloh	38

Seznam použitých symbolů

Symbol	Veličina	Jednotka
c	Rychlost proudění	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
D	Vnější průměr	m
d	Vnitřní průměr	m
H_z	Ztrátová výška	m
k	Absolutní drsnost vnitřních stěn potrubí	m
l	Délka potrubí	m
Q	Objemový průtok	$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$
Δp	Tlaková ztráta	$\text{Pa}\cdot\text{m}^{-1}$
Re	Reynoldsovo číslo	1
S	Průtočná plocha	m^2
t	Tloušťka stěny potrubí	m
Y_z	Měrná ztrátová energie	$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$
ζ	Součinitel vřazeného odporu	1
λ	Součinitel tření	1
ν	Kinematická viskozita	$\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
ρ	Měrná hmotnost	$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Seznam použitých zkratek

ABS	Akrylonitril + butadien + styren
PB	Polybuten
PE	Polyetylén
PP	Polypropylén
PVC	Polyvinylchlorid
PVDF	Polyvinylidenfluorid

1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je obeznámit se s metodami výpočtu hydraulických ztrát v plastových potrubních systémech a rešerše udávaných ztrát od různých výrobců a jejich následné porovnání. Určení velikosti ztrát, a tedy charakteristiky potrubní trasy, je nezbytné ke správnému návrhu potrubní sítě a ke zvolení vhodných komponentů, jako např. čerpadel, armatur, atd.

Úvodní kapitola se věnuje plastům. Jsou zde uvedeny obecné informace o plastech, jejich vzniku a dělení. Dále je zde uveden výčet plastů používaných pro potrubní systémy a jejich mechanické a chemické vlastnosti a také výhody a nevýhody použití plastů oproti oceli.

V dalších kapitolách je čtenář seznámen s hydraulickými ztrátami, jejich dělením na třecí a místní a s metodami jejich výpočtu. Je zde také objasněn termín ekvivalentní délka potrubí.

Praktická část se zabývá srovnáním velikostí tlakových ztrát udávaných výrobcí s vypočtenými ztrátami, kde byl součinitel tření λ určen z empirických vztahů podle Blasia, Advaniho, Macha a Ševeleva.

2 Plasty

Plasty jsou makromolekulární látky, které se získávají chemickou přeměnou přírodních látek nebo syntetickou cestou z organických sloučenin. Organické látky jsou čisté nekovy vyskytující se v přírodě (např. dřevo, uhlí, zemní plyn, ropa). Makromolekuly vznikají seskupením monomerů, jejichž hlavními prvky jsou uhlík a vodík.

Plasty se vyrábí z ropy a zemního plynu. Při zpracování těchto surovin v rafinerii se z nich získává surový benzín, surový petrolej, atd. Tepelným štěpením (tzv. krakováním) se surový benzín dělí na různé sloučeniny uhlíku a vodíku, jako jsou etylen, propylen, buten, atd. Tyto plynné látky jsou pak převedeny do pevného skupenství pomocí tlaku, teploty a katalyzátorů a následně připraveny do práškové nebo granulové podoby, ze kterých se pak vyrábí vlastní prvky. [3][4]

2.1 Dělení plastů

Plasty se dělí do několika skupin podle vlastností a způsobu technologického zpracování na tři základní skupiny, a to: termoplasty, reaktoplasty a elastomery.

Termoplasty

Termoplasty se skládají z vláknitých makromolekul. Tyto molekuly mohou být uspořádány buď v amorfní, nebo v částečně krystalické struktuře. Jejich uspořádání zásadně ovlivňuje vlastnosti vyrobeného plastu. Částečně krystalické plasty bývají houževnaté a dobře ohebné, zatímco amorfní plasty bývají tvrdé a křehké. [4]

Termoplasty lze snadno vratně tepelně zpracovávat a upravovat. S rostoucí teplotou měknou, popřípadě se taví. Ochlazením v novém tvaru tuhnou. Tento proces lze provádět opakovaně, avšak přehřátím taveniny dochází k jejich degradaci. [3] [4]

Termoplasty dále dělíme na: polyolefiny (PE, PP, PB, atd.), vinylchloridy (PVC, PVC-C, PVC-U, atd.) a styroly (PS-polystyren, ABS, atd.) [4]

Reaktoplasty

Reaktoplasty, neboli duroplasty, jsou polymery, obsahující reaktivní skupiny. Přívodem tepla v určitých teplotních mezích a působením tlaku se vytvrzují. Nevyskytují se ale v elastickém nebo v plastickém stavu a po vytvrzení nejsou tavitelné ani svařitelné. Typickými reaktoplasty jsou pryskyřice. [3][4]

Elastomery

U elastomerů jsou chemické vazby slabší než u reaktoplastů a také hustota sítě je nižší než u reaktoplastů. Při mechanickém zatížení se značně deformují (při tahu až na dvojnásobek původní délky) a po jeho ukončení se vracejí do původního stavu. S rostoucí teplotou měknou, aniž by se tavily, tudíž je nelze tepelně tvarovat a jsou nesvařitelné. Typickými představiteli jsou syntetické kaučuky (guma). [3][4]

2.2 Termoplasty používané pro potrubí a jejich vlastnosti:

PVC – polyvinylchloridy jsou amorfní termoplasty, které mají asi 5% krystalický podíl. Jsou recyklovatelné, ale ekologicky závadné. V potrubní technice jsou nejrozšířenějším druhem plastu. Jejich modifikace jsou PVC-U a PVC-C. [3]

- **PVC-U**

Jedná se o neměkčený (tvrdý) polyvinylchlorid. Je nejdéle používaným materiálem při výrobě trubek a tvarovek. Obsah chloru činí 57% a beztlaková teplotní odolnost je do 40 °C. V porovnání s polyolefiny (PP, PE, PB) má vyšší měrnou hmotnost, vysokou tvrdost, nízkou ohebnost a nižší odolnost proti stárnutí. Uplatňuje se při čerpání louhů a koncentrovaných kyselin (např. 98% koncentrované kyseliny sírové) a je částečně recyklovatelný. [3][4]

- **PVC-C**

Tento chlorovaný (obsah chloru je 65-67%) polyvinylchlorid je chemicky velmi odolný (snáší všechny kyseliny o nejvyšších koncentracích, veškeré alkálie, soli a částečně i halogeny), vysoce pevný a tepelně odolný do 100 °C. PVC-C je částečně recyklovatelný, avšak ekologicky závadný. Je také citlivý na ultrafialové záření. [3][4]

PP - polypropylen je částečně krystalický (50 - 70 %) termoplast ze skupiny polyolefinů. Je konstrukčně tuhý a tvrdší než PE a má také vyšší pevnost. Příznivá je jeho relativně vysoká tepelná odolnost až do 70 °C. Polypropylen je materiál recyklovatelný a ekologicky bez rizika. Pro stavbu potrubních tras existují tři druhy polypropylenu s rozdílným chemickým složením.[3][4][5]

- **PP-H nebo PP typ 1**

Jedná se o homopolymer vyráběný v modifikacích: alfa PP a beta PP. Tento materiál je značně tužší než PE a těžko ohebný. Již za teploty +5 °C je křehký a

náchylný k tvorbě mikrotrhlin, proto je manipulace s ním za nízkých teplot problematická. Beztlakovou teplotní odolnost má zhruba do 93 °C, ale nesnáší trvalé tlakové zatížení při teplotách nad 40 °C. Modifikace beta PP-H je velmi pevná a odolná proti alkáliím a organickým kyselinám. [4][5]

- **PP-B nebo PP typ 2**

Je to blokový kopolymer obsahující 20-30% etylenové složky. Ve srovnání s PP-H vykazuje větší ohebnost a houževnatost v oblasti nízkých teplot až do -20 °C. Vůči PP-H má menší tvrdost a nižší beztlakovou teplotní odolnost (75-90 °C). Není tedy vhodný pro použití při vyšších teplotách. [4][5]

- **PP-R**

Je statický random kopolymer. Má vysokou tlakovou odolnost při vyšších teplotách. Trvale snáší 80 °C a beztlaková teplotní odolnost přesahuje 100 °C. Používá se na rozvody studené a horké vody v otopných soustavách. [4][5]

Z hlediska chemické odolnosti aplikujeme PP při čerpání louhů, kyselin, ředidel a tuků. Cílové určení jsou silné alkálie. Polypropylen není odolný vůči oxidačním činidlům. Nesnáší plynný chlór, ani chlornan sodný v malých koncentracích. Pro polypropylen je velmi nebezpečný ozón a také organické peroxokyseliny. Velmi dobře snáší horkou vodu.

[3][5]

PE – polyetylen je semikrystalický termoplast ze skupiny polyolefinů a jeho stavební prvky tvoří pouze vodík a uhlík. Polyetylen je ekologicky nezávadný a je recyklovatelný. Je to nejstarší, nejznámější a nejvíce používaný plast pro stavbu zejména vodovodních a plynových rozvodů. [3][5]

V praxi se setkáváme zejména se dvěma druhy polyetylenu:

- **LDPE, PE-LD, rPE** - nízkohustotní ($920 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), rozvětvený, měkký, vysokotlaký polyetylen. Ve státech EU je z pevnostních důvodů zakázán (mez pevnosti v tahu činí 9-15 N/mm²) [3][4][5]

- **HDPE, PE-HD, IPE** - vysokohustotní ($980 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), tvrdý, nízkotlaký polyetylen.

Teplotní beztlaková odolnost je do $80 \text{ }^\circ\text{C}$. Dnes se používá vysokohustotní polyetylen PE-HD převážně pro tyto aplikace:

PE80 pro tlakové rozvody pitné vody a plynu.

PE100 pro technologická potrubí s odolností vůči hydraulické erozi.[3][5]

PB – polybuten je semikrystalický termoplast ze skupiny polyolefinů. Jeho hustota se pohybuje v rozmezí stejných hodnot jako u PP a PE. Polybuten byl vyvinut na počátku 70. let společností SHELL.

Jeho beztlaková teplotní odolnost přesahuje $100 \text{ }^\circ\text{C}$, tlaková teplotní odolnost je ještě za teplot $95 \text{ }^\circ\text{C}$. Je snadno zpracovatelný, má dobré mechanické vlastnosti, dlouhou životnost a rozměrovou stálost. Je také odolný proti UV záření. Obsahuje pigmentaci zamezující růstu řas. Vyznačuje se vysokou pružností i za nízkých teplot (křehne při $-18 \text{ }^\circ\text{C}$). Je také hygienicky nezávadný. [4][5]

ABS - Jsou amorfní termoplasty, jejichž zkratku ABS tvoří tři hlavní komponenty, které mají v konečném produktu tento specifický účinek:

1. **Akrylonitril** - chemická stálost, chemická slepitelnost
2. **Butadien** - houževnatost, konstrukční tuhost, nízké teploty
3. **Styren** - pevnost, otěruvzdornost, obrobiteľnosť, tvárnost

V podstatě se jedná o kaučuk kopolymerovaný styrenem. Základní strukturální řetězec tohoto materiálu obsahuje rozptýlené drobné částice styren-butadienového kaučuku. Tyto částice rozhodují o jeho mechanických vlastnostech, například schopnosti tlumit chvění a zvuk. Základní surovinou pro výrobu terpolymerů ABS je ropa. Energetická náročnost jeho výroby je nízká. ABS je ekologický, netoxický a recyklovatelný a neobsahuje další příměsi. Z chemického hlediska jsou vhodné pro styk se solemi a glykoly všeho druhu, solankami, suspenzemi, vlákny a procesní technologickou vodou. Nevhodné jsou pro koncentrované kyseliny, solné alkálie, organická rozpouštědla a aromatické uhlovodíky. [3][4][5]

PVDF - Polyvinylidenfluorid je vysoce krystalický termoplastický fluoroplast ze skupiny teflonů. Je to naprosto čistý polymer, zpracováváný bez jakýchkoliv zbytkových částí monomerů. Neobsahuje žádná aditiva, stabilizátory, pigmenty ani jiné přísady.

PVDF je fyziologicky inertní a vyznačuje se mimořádně nízkými hodnotami výluhů organických i anorganických látek. Jeho mez pevnosti je poměrně vysoká ($54 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$). Svou chemickou odolností a tepelným zatížením zaujímá mezi materiály pro stavbu potrubních rozvodů nezastupitelné místo. Jeho mezní hodnoty jsou $140 \text{ }^\circ\text{C}/3,5 \text{ bar}/25 \text{ let}$.

PVDF má zrcadlově hladký povrch a nízký výluh, čímž vyniká nad kovy a sklem v případech čerpání vysoce čistých tekutin, např. ve farmacii, potravinářství, kosmické technice a ve výrobě polovodičů. [3][5]

2.3 Výhody a nevýhody použití plastů v potrubních systémech

Použití plastů místo oceli v potrubních systémech má své výhody, ale i určité nevýhody a rizika. Mezi nejvýznamnější výhody patří:

- *Větší hladkost hydraulicky činných stěn*
- *Vysoká elastičnost, respektive nízká hodnota objemové pružnosti, která vede ke snížení rychlosti šíření zvuku kapalinou, tedy k pomalejšímu šíření tlakových vln v kapalině při hydrodynamickém rázu a k jeho intenzivnějšímu útlumu*
- *Korozivzdornost a odolnost proti účinku bludných proudů*
- *Prakticky zanedbatelná tvorba usazenin na stěnách potrubí, respektive zachování hydraulické hladkosti stěn během životnosti*
- *Nižší měrná hmotnost potrubního materiálu a s tím související snazší manipulace*
- *Snadné spojování trub, tvarovek, armatur a dalších potrubních komponent lepením, chemickým svařováním za studena, metodami tepelného svařování, přírubovými, závitovými a svěrnými spoji a dalšími způsoby*
- *Rychlá a čistá montáž*
- *Snadný vstup do potrubí při opravě*
- *V současnosti již dostupná cena*

Mezi nevýhody a rizika použití plastů místo ocelových potrubí patří zejména:

- Horší mechanické vlastnosti oproti kovům
- Omezené nasazení pro vyšší tlaky a teploty
- Zhoršení fyzikálních vlastností působením UV záření
- Pokles mechanických vlastností v závislosti na provozní teplotě, době exploatace a cyklickém namáhání
- Větší délková tepelná roztažnost
- Přísnější podmínky při uložení potrubí

[3]

3 Hydraulické ztráty

Při proudění reálných kapalin dochází ke tření o vnitřní povrch průtočného kanálu a obtékaných těles i ke tření uvnitř kapaliny (tzv. vnitřní tření), jehož příčinou je viskozita kapaliny. Z důvodu vnitřního tření a tření kapaliny o vnitřní stěny průtočného kanálu dochází k disipaci mechanické energie na teplo, neboli k hydraulickým ztrátám. Důsledkem hydraulických ztrát je pokles tlaku podél potrubní trasy ve směru proudění kapaliny. Při dopravě kapalin se příliš nemění jejich měrná hmotnost, proto se vychází z teorií pro nestlačitelnou kapalinu, především z Bernoulliho rovnice.

Pro výpočet tlakové ztráty je potřeba určit velikost ztrátové měrné energie Y_z [$\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$] příslušné určitému průtoku Q [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$] v daném potrubním systému čerpacího zařízení nebo závislosti $Y_z = f(Q)$ pro dané potrubí. [1]

V hydraulice rozlišujeme dva druhy ztrát, a to třecí ztráty vznikající v rovných částech potrubního systému a ztráty místními odpory (např. armaturami, koleny, změnami průtočného průměru, filtry, měřidly, atd.).

Celková tlaková ztráta je součtem třecí a všech místních ztrát.

$$Y_z = Y_{z\text{ tř}} + \Sigma Y_{z\text{ m}} \quad [\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (3.1.)$$

3.1 Třecí ztráty

Třecí ztráty, neboli délkové, vznikají třením kapaliny o vnitřní stěny potrubí a vzájemným třením částic při jejich rozdílných rychlostech. Vznikají po celé délce potrubí a v celém průtočném průřezu. Závisí na vlastnostech kapaliny a na délce, vnitřním průměru a drsnosti trubek. Pro výpočet délkových ztrát se nejčastěji používá Darcy-Weisbachův vztah: [1]

$$Y_{z\ tř} = \zeta_{tř} \cdot \frac{c^2}{2} = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3.1.1)$$

Kde:

$\zeta_{tř}$ - korekční součinitel kinetické měrné energie kapaliny [1]

λ - součinitel tření [1]

c - střední rychlost proudění [m.s⁻¹]

d - průměr průtočného průřezu [m]

l – délka potrubí [m]

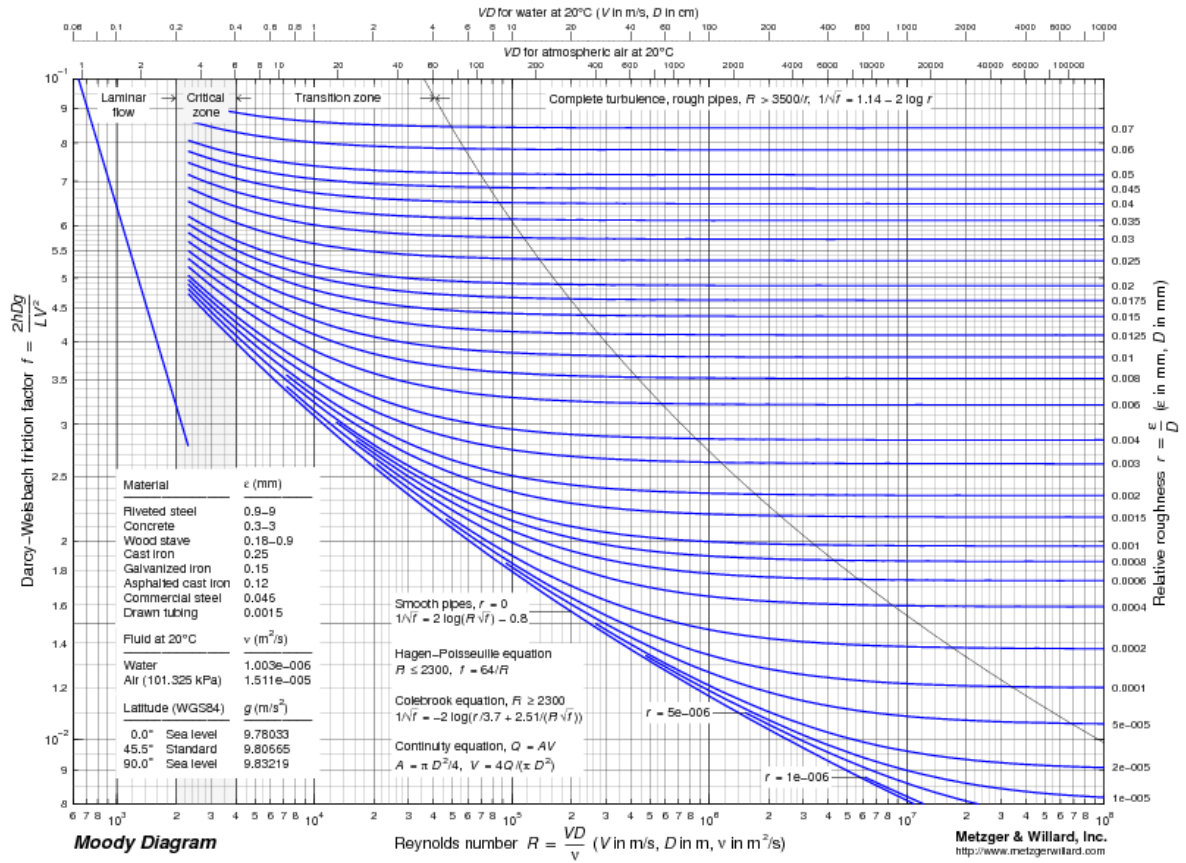
Zavedením objemového průtoku Q (m³.s⁻¹), vyjádřeného rovnicí kontinuity pro potrubí kruhového průřezu do vztahu pro výpočet třecích ztrát, získáme následující vztah.[1]

$$Y_{z\ tř} = \lambda \cdot l \cdot \frac{8}{\pi^2 \cdot d^5} \cdot Q^2 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (3.1.2)$$

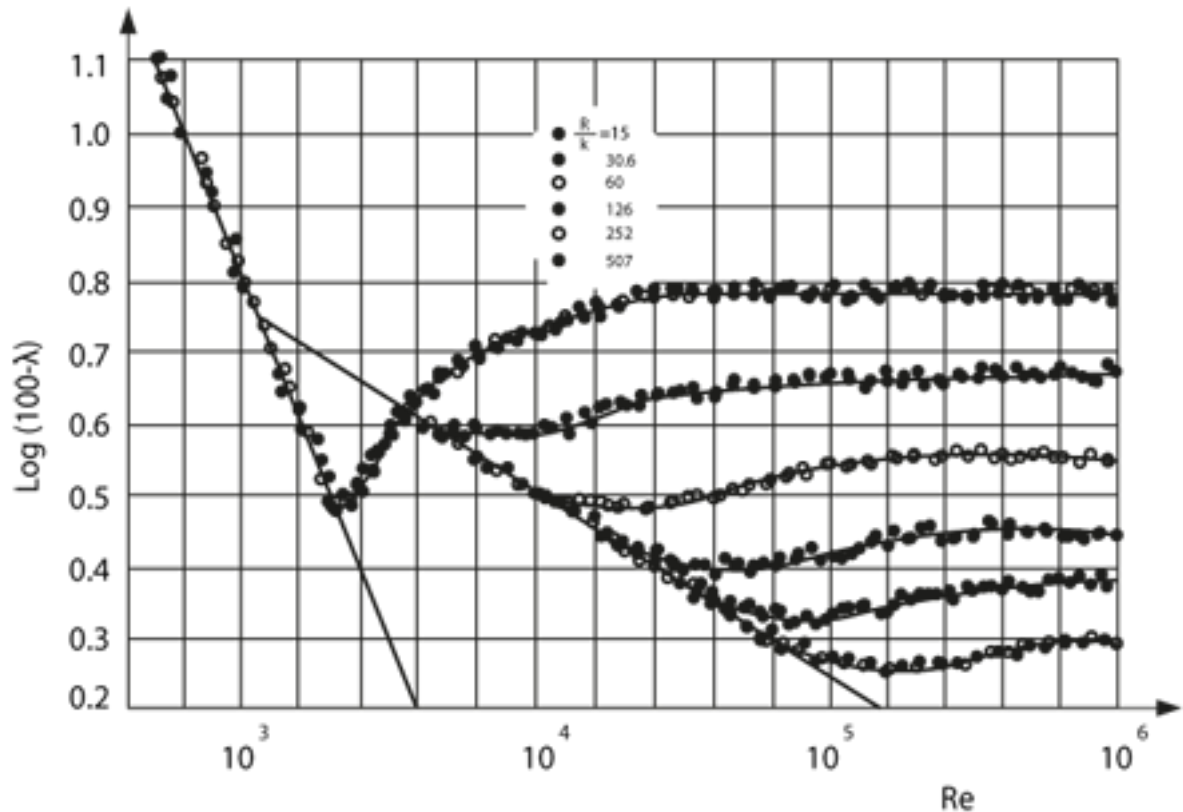
Z tohoto vztahu je patrné, že se zmenšujícím se průměrem výrazně rostou délkové ztráty, a proto je důležitá volba vhodného vnitřního průměru potrubí pro daný průtok.

Součinitel tření λ obecně závisí na Reynoldsově čísle Re , absolutní drsnosti stěn potrubí k a vnitřním průměru d . Lze jej určit buď experimentálně měřením rozdílů tlaků na určitém úseku potrubí, kterým proudí daná kapalina, nebo výpočtem dle empirických vztahů. V praxi se součinitel λ určuje spíše z empirických vztahů jak početně, tak pomocí diagramů. [1]

Na Obr. 1 je znázorněn Nikuradseho diagram v interpretaci Moodyho, pro přirozenou (technologickou) drsnost potrubí. Na Obr. 2 je znázorněn Nikuradseho diagram pro umělou drsnost potrubí.



Obr. 1 - Moodyho diagram pro technologickou drsnost potrubí [8]



Obr. 2 - Nikuradseho diagram pro umělou drsnost potrubí [9]

Empirických vztahů pro výpočet součinitele λ je celá řada. Jejich užití je omezeno určitými hodnotami Re , případně drsnosti stěn k . Při určování λ musíme rozlišit, o jaký druh proudění se jedná – tedy zjistit velikost Reynoldsova čísla. Podle velikosti Re můžeme rozlišit druhy proudění na následující:

- Laminární proudění
- Přechodné proudění z laminárního na turbulentní ($Re = 2000$ až 4000)
- Turbulentní proudění v hydraulicky hladkém potrubí (hydraulicky hladké proudění)
- Turbulentní proudění v přechodové oblasti mezi prouděním v hydraulicky hladkém potrubí a prouděním v drsném potrubí v kvadratické odporové oblasti (přechodné mezi prouděním hydraulicky hladkým a drsným v kvadratické odporové oblasti)
- Turbulentní proudění v drsném potrubí v kvadratické odporové oblasti (turbulentní drsné proudění)

Při laminárním proudění a při turbulentním proudění v hydraulicky hladkém potrubí je součinitel λ funkcí pouze Reynoldsova kritéria:

$$\lambda = f(Re)$$

V přechodové oblasti mezi turbulentním prouděním v hydraulicky hladkém potrubí a turbulentním prouděním v kvadratické odporové oblasti, je součinitel λ závislý jak na velikosti Reynoldsova kritéria, tak na drsnosti obtékaného povrchu stěn potrubí k , respektive na poměrné drsnosti d/k :

$$\lambda = f(Re, d/k)$$

V oblasti turbulentního proudění v kvadratické odporové oblasti (oblast vysokých hodnot Re) se výrazně projevuje vliv drsnosti obtékaného povrchu stěn k . Velikost součinitele λ už nezávisí na velikosti Reynoldsova kritéria, ale pouze na poměrné drsnosti d/k :

$$\lambda = f(d/k)$$

[1]

V následující tabulce (Tab. 1) je uvedeno několik empirických vztahů pro výpočet součinitele λ .

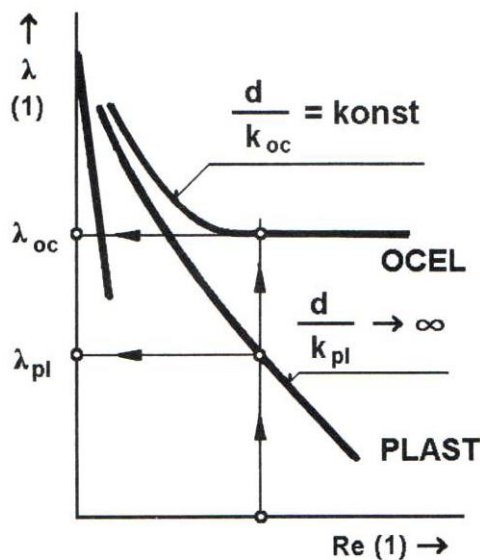
LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ		
$\lambda = \frac{64}{Re}$	Hagen-Poiseuille	$Re < 2300$
TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ		
Hydraulicky hladké potrubí		
$\lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$	Blasius	$2300 < Re \leq 8 \cdot 10^4$ $(4000 < Re \leq 2 \cdot 10^5)$
$\lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237}$	Advani (Nikuradze)	$Re \geq 6 \cdot 10^4$ $(2 \cdot 10^4 \leq Re \leq 8 \cdot 10^4)$

		$(6 \cdot 10^4 \leq Re \leq 1 \cdot 10^8)$
$\lambda = 0,25 \cdot Re^{-0,226}$	Ševelev	$4000 \leq Re \leq 2 \cdot 10^5$
$\lambda = 0,08 \cdot Re^{-0,25}$ $\lambda = 0,0008 + 0,055 \cdot Re^{-0,237}$	Addison	$3000 \leq Re \leq 1,5 \cdot 10^5$ $3000 \leq Re \leq 30 \cdot 10^6$
$\lambda = 0,0054 + 0,395 \cdot Re^{-0,3}$	Herrman	$1 \cdot 10^4 \leq Re \leq 1 \cdot 10^8$
$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log(Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0,8$ $= 2 \cdot \log \frac{Re \cdot \sqrt{\lambda}}{2,51}$	Kármán, Prandtl	$5 \cdot 10^4 \leq Re \leq 3 \cdot 10^6$
Přechodová oblast		
$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,74 - 2 \cdot \log\left(\frac{2 \cdot k}{d} + \frac{18,7}{Re \cdot \sqrt{\lambda}}\right)$	Colebrook, White	$0,34 \leq \frac{k \cdot Re \cdot \sqrt{\lambda}}{32,5 \cdot d} \leq 6,2$
$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log\left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{k}{3,7 \cdot d}\right)$		
Kvadratická odporová oblast		
$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \cdot \log \frac{d}{2 \cdot k}\right)^2}$	Prandtl, Kármán	$Re \cdot \frac{k}{d} \cdot \sqrt{\lambda} \geq 200$
$\lambda = \frac{1}{\left(1,138 + 2 \cdot \log \frac{d}{k}\right)^2}$	Nikuradze	$Re > 4 \cdot 10^4$

Tab. 1 - Empirické vztahy pro výpočet λ [1][2]

Protože se střední geometrická drsnost vnitřních stěn potrubí z plastu pohybuje v řádu setin až tisícín milimetru, můžeme plastové potrubí považovat za hydraulicky hladké, tudíž součinitel λ bude pouze závislý na Reynoldsově čísle. Na Obr. 3 je znázorněno porovnání součinitele tření λ potrubí ocelového a plastového při $Re = \text{konst}$ a $d = \text{konst}$. Potrubí lze považovat za hydraulicky hladké, je-li při rovnoměrné drsnosti stěn

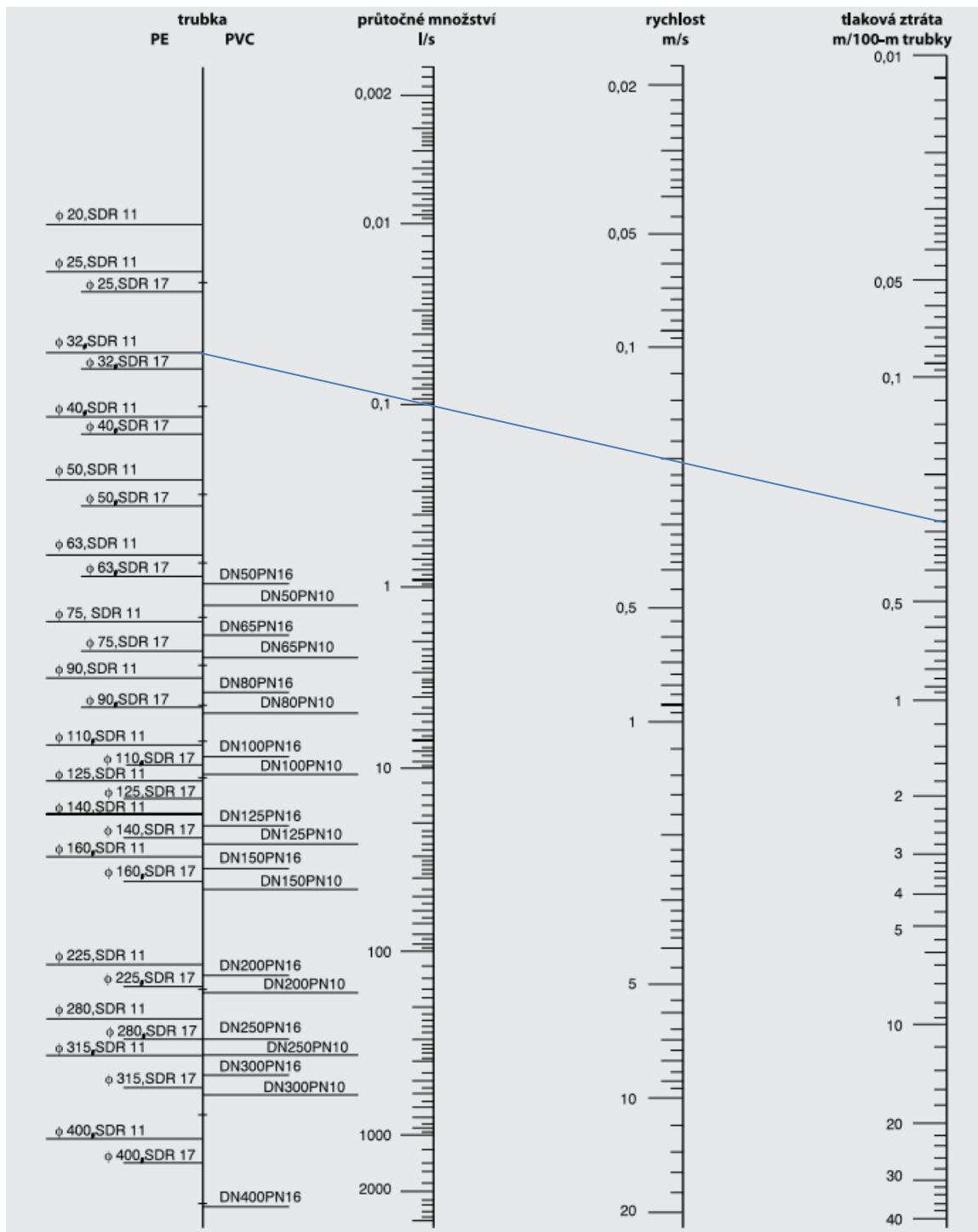
splněna podmínka $17,85 \cdot Re^{-0,875} \geq k \cdot d^{-1}$. Tato podmínka ovšem nemusí platit obecně. Experimentálně bylo prokázáno, že např. trouby z polyetylénu nemají při nižších Reynoldsových číslech stejné vlastnosti jako potrubí hydraulicky hladké. [1]



Obr. 3 - Porovnání součinitele třecích ztrát λ potrubí ocelového a plastového [3]

Výrobci plastových potrubních systémů udávají délkové ztráty buď ve formě tabulky, nebo ve formě nomogramu. V nomogramech, i jiných podkladech od výrobců bývají ztráty udávány i v jiných jednotkách, než je ztrátová měrná energie $Y_{z\ tr}$ [$J \cdot kg^{-1}$]. Jako příklady můžeme uvést ztrátovou výšku H_z [m], případně je-li vztažena na určitou délku potrubí H_z [$mm \cdot m^{-1}$] nebo H_z [m/100m], příp. tlakovou ztrátu Δp [$Pa \cdot m^{-1}$] nebo v Δp [$mbar \cdot m^{-1}$], jestliže je vztažena na 1 metr délky potrubí, atd. [1]

Obr. 4 je příklad nomogramu od firmy Pipe Life pro potrubí z PE a PVC při dopravě vody. Ke správnému odečtení požadovaných hodnot je třeba znát dvě ze čtyř uvedených. Následně se jimi proloží přímka, která protne zbylé dvě osy, a tím získáme požadované hodnoty.



Obr. 4 - Nomogram od firmy Pipe Life [6]

Příklad použití nomogramu:

„1. Zjistit tlakovou ztrátu vody na 100 metrů PE potrubí SDR 11, průměr 32mm při transportu $0,1 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ vody: Spojí se 32, SDR 11 s bodem na ose průtočného množství

$0,1 \text{ l.s}^{-1}$ a na průsečíku prodloužení této spojnice s osou tlakové ztráty se odečte asi $0,28 \text{ m}/100\text{m}$ trubky. Tlaková ztráta tedy bude $0,28\text{m}$ vodního sloupce ($0,028 \text{ baru}$). Na ose rychlosti odečteme průtokovou rychlost cca $0,2 \text{ m.s}^{-1}$.

2. Posoudit vhodnost instalovaného potrubí: V místě s malým tlakem vodovodu je instalováno potrubí 32mm , SDR 17, o délce 80m . Současný průtok je $0,2\text{l}$, ale nové instalace vyžadují 1 l.s^{-1} . Bude potrubí stačit? Spojí se $32 \text{ SDR}17$ s 1 l.s^{-1} na ose průtoku a na ose tlakové ztráty lze odečíst $12 \text{ m}/100\text{m}$ potrubí. Pokles na daném úseku by dosáhl $12 \times 80/100$, tj. $9,6 \text{ m}$ (asi $0,96 \text{ baru}$).

Protože je v potrubí malý tlak, mohl by jeho další úbytek být nepříjemný. Rozvod bude vhodné vyměnit. Z nomogramu zjistíme vhodný průměr potrubí, v tomto případě 50 nebo 63 mm ." [6]

3.2 Místní ztráty

Potrubní síť ve většině případů nebývá přímočará a je tvořena tvarovými potrubními prvky (odbočky, oblouky, zúžení), filtry, armaturami, měřidly a dalšími průtočnými částmi. V těchto částech potrubních systémů se mění směr proudění nebo průřez. V důsledku těchto změn dochází ve vazké kapalině ke vzniku vírů a posléze k jejich útlumu, což se projeví přeměnou jejich energie na teplo. Prvky způsobující místní tlakové ztráty se nazývají místní (lokální) odpory. Obecně místní ztráty závisí na vlastnostech kapaliny, geometrii protékaného prostoru a drsnosti jeho obtékaných stěn i na režimu proudění.

Vztah pro výpočet místních ztrát:

$$Y_{zm} = \zeta \cdot \frac{c^2}{2} \quad (3.2.1)$$

Kde:







Y_{zm} – místní tlaková ztráta [J.kg⁻¹]

ζ - součinitel vřazeného odporu [1]

c – střední rychlost proudění ve vztažném průřezu o průměru d [m.s⁻¹]

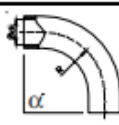
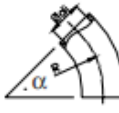
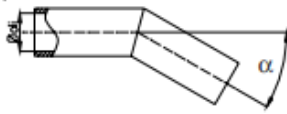
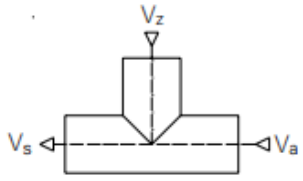
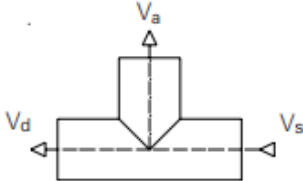
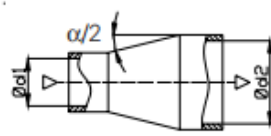
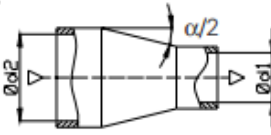
Součinitel ζ se určuje výhradně experimentálně. Ztráta energie kapaliny $Y_{z,m}$ při jejím průtoku lokálním odporem se projeví jako rozdíl tlaku měřeného před a za odporem. Při turbulentním proudění jeho hodnota nezávisí na Reynoldsově číslu a uvádí se pouze jeho závislost na geometrii příslušného potrubního prvku. [1]

Následující tabulka (Tab. 2) ukazuje hodnoty součinitele odporu ζ pro tvarovky firmy Georg Fischer. Firma Georg Fischer uvádí stejné součinitele odporu pro různé dodávané materiály (PP, PE, PVDF, PB, ABS).

Vnější ϕ trubky d mm	20	32	50	≥ 63
Tvar, kus Typ	Součinitel odporu ζ			
	1.5	1.0	0.6	0.5
	2.0	1.7	1.1	0.8
	0.3			
	1.5			
 vtlékání	0.5			
 vytékání	1.0			

Tab. 2 - Hodnoty součinitele odporu pro tvarovky podle Georg Fischer [10]

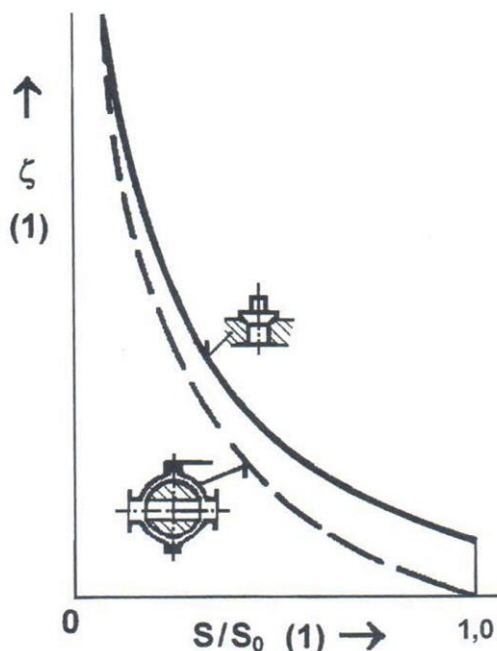
V Tab. 3 jsou zobrazeny hodnoty součinitele odporu ζ pro tvarovky od firmy Agru. Oproti firmě Georg Fischer jsou hodnoty součinitele ζ podrobněji zpracovány v závislosti na geometrii a typu tvarovky.

Kind of Fitting	Parameter	Resistance coefficient ζ			Drawing \leftrightarrow Flow direction
Bend $\alpha = 90^\circ$	$R = 1,0 \times OD$	0,51			
	$= 1,5 \times OD$	0,41			
	$= 2,0 \times OD$	0,34			
	$= 4,0 \times OD$	0,23			
Bend $\alpha = 45^\circ$	$R = 1,0 \times OD$	0,34			
	$= 1,5 \times OD$	0,27			
	$= 2,0 \times OD$	0,20			
	$= 4,0 \times OD$	0,15			
Elbow	$\alpha = 90^\circ$	$\sim 1,20$			
	45°	0,30			
	30°	0,14			
	20°	0,05			
	15°	0,05			
	10°	0,04			
Tee 90° (flow collection)	$V_z/V_s=0,0$	ζ_z	ζ_s		
		-1,20	0,06		
		-0,40	0,20		
		0,10	0,30		
		0,50	0,40		
		0,70	0,50		
0,90	0,60				
Tee 90° (flow separation)	$V_A/V_S=0,0$	ζ_a	ζ_d		
		0,97	0,10		
		0,90	-0,10		
		0,90	-0,05		
		0,97	0,10		
		1,10	0,20		
1,30	0,35				
Reducers concentric (pipe extension)	Angle α	4 ... 8°	16°	24°	
	$d_2/d_1=1,2$	0,10	0,15	0,20	
		0,20	0,30	0,50	
		0,50	0,80	1,50	
		1,20	1,80	3,00	
		1,90	3,10	5,30	
Reducers concentric (pipe throat)	Angle α	4°	8°	20°	
	$d_2/d_1=1,2$	0,046	0,023	0,010	
		0,067	0,033	0,013	
		0,076	0,038	0,015	
		0,031	0,041	0,016	
		0,034	0,042	0,017	

Tab. 3 - Hodnoty součinitele odporu pro tvarovky podle firmy Agru [11]

U armatur s proměnlivým průtokovým průřezem závisí součinitel ζ na otevření armatury. Při plném otevření je hodnota ζ minimální nebo téměř nulová a při uzavírání roste s exponenciální charakteristikou. Při zcela uzavřené armatuře nabývá hodnota ζ nekonečna. Závislost tlakové difference Δp na otevření armatury vyjadřuje tzv. odporová charakteristika armatury (viz Obr. 5). Otevření armatury se udává např. jako poměrná

hodnota S/S_0 , kde S [m²] je průtokový průřez armaturou daný polohou hradícího prvku a S_0 [m²] je plný průtokový průřez při zcela otevřené armatuře. Poměrný průtokový průřez S/S_0 lze nahradit poměrným zdvihem z/z_0 , tedy vysunutím vřetena armatury. [1]



Obr. 5 - Odporová charakteristika ventilu s kuželovým uzavíracím orgánem a kulového kohoutu [1]

3.3 Ekvivalentní délka potrubí

Při výpočtech charakteristiky potrubí se někdy místní odpor nahrazuje přímým potrubím o vnitřním průměru d [m] určité délky, na které by byla hydraulická ztráta stejná jako ta, kterou by způsobil daný místní odpor. Hydraulické ztráty v systému se pak počítají jako ztráty délkové v potrubí složeného pouze z přímých úseků. Při určení ekvivalentní délky potrubí l_{ekv} [m] můžeme vycházet z podmínky $Y_{ztr} = Y_{zm}$:

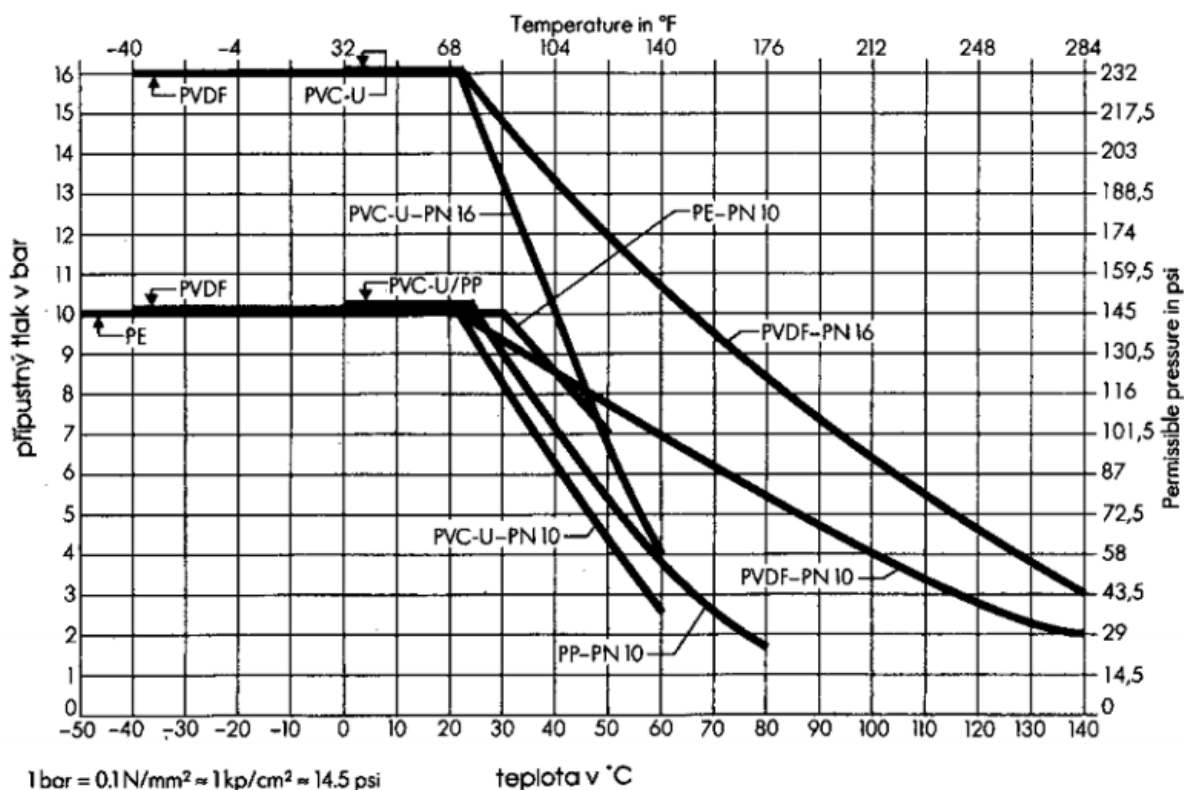
$$\lambda \cdot \frac{l_{ekv}}{d} \cdot \frac{c^2}{2} = \zeta \cdot \frac{c^2}{2} \rightarrow l_{ekv} = \frac{\zeta}{\lambda} \cdot d \quad [\text{m}] \quad (3.3.1)$$

Při montáži polyetylénových či polypropylénových potrubních systémů se trubky a tvarovky nejčastěji spojují svařováním na tupo. Svařování na tupo je v praxi spolehlivý a poměrně levný způsob spojování potrubních komponent z termoplastu. Tato technologie spojování spočívá v ohřevu konců spojovaných dílů a v jejich následném přitlačení k sobě. Tím ale vznikají svalky v potrubí, které pokud nejsou odstraněny, představují poměrně významné lokální odpory. Například u potrubí z PP o rozměru 90 x 8,2 vychází při

proudění vody v oblasti $6 \cdot 10^4 < Re < 4,6 \cdot 10^5$ rozmezí ekvivalentních délek $l_{ekv} = (2,15 \text{ až } 3,46) \text{ m}$. [1]

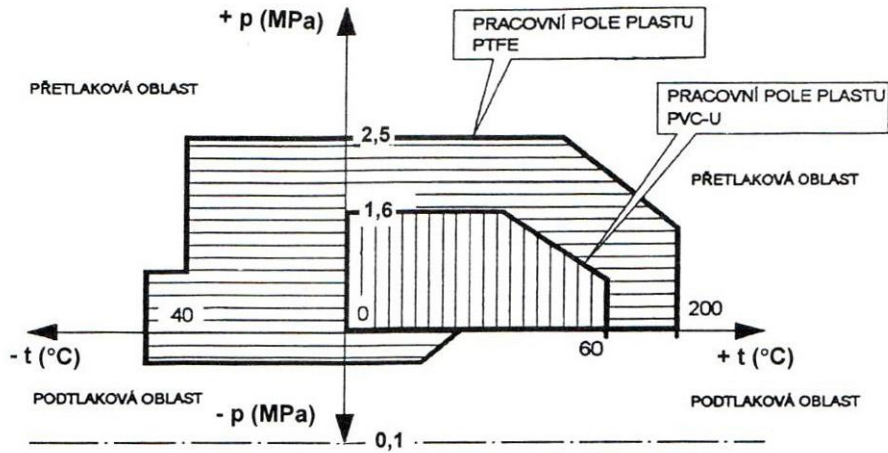
4 Volba materiálu potrubí

Pro bezpečnost provozu a dosažení minimální doby upotřebitelnosti má volba výchozího materiálu a tlakové třídy částí potrubí rozhodující význam. Mezi hlavní ovlivňující faktory patří: provozní tlak, provozní teplota, dopravované médium a doba namáhání. Mezní hodnoty se u příslušných plastů uvádějí graficky samostatně pro trubky, tvarovky a armatury. Následující diagram (**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) od firmy eorg Fischer je dimenzován na dobu upotřebitelnosti 25 let a jsou na něm vidět různé oblasti použitelnosti daných plastových materiálů. [7]



Obr. 6 - Oblasti použitelnosti vybraných plastových materiálů podle firmy Georg Fischer [7]

Na Obr. 7 je znázorněno provozní pole tlaků a teplot pro materiály PTFE a PVC-U.



Obr. 7 - Provozní pole tlaků a teplot PTFE a PVC-U pro vodu [3]

5 Porovnání hydraulických ztrát v potrubí od různých výrobců

V této kapitole bude provedeno porovnání ztrát udávaných různými výrobci plastových potrubí se ztrátami, kde byl součinitel tření λ vypočítán pomocí empirických vztahů podle Blasia, Macha, Advaniho a Ševeleva. Výpočet bude proveden pro různé průměry potrubí. Porovnání bude provedeno pro materiály PP a PE od daných výrobců.

Při výpočtech bylo uvažováno rovné vodorovné potrubí, dlouhé 200 metrů, bez žádných vřazených odporů. Zanedbané byly i místní odpory teoretických svarů. Potrubím proudí voda o teplotě 10 °C.

5.1 Porovnání hydraulických ztrát pro potrubí o rozměru 50 x 4,6

Nejprve bylo řešeno potrubí o vnějším průměru 50 mm SDR11, jehož rozměry jsou:

$$\text{Vnější průměr: } D = 50 \text{ mm}$$

$$\text{Tloušťka stěny: } t = 4,6 \text{ mm}$$

$$\text{Vnitřní průměr: } d = 40,8 \text{ mm}$$

Průtok potrubím Q byl uvažován v rozmezí $(0 \div 4) \text{ l.s}^{-1}$, ze kterého byly pomocí rovnice kontinuity $Q = S \cdot c$ vypočítané hodnoty rychlostí proudění c [m.s^{-1}].

Z vypočítaných hodnot rychlostí c a hodnoty kinematické viskozity $\nu = 1,307 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2\text{s}^{-1}$ byly poté vypočítané příslušné hodnoty Reynoldsova čísla Re , podle vzorce:

$$Re = \frac{c \cdot d}{\nu} \quad (5.1.1)$$

Vypočítaná Reynoldsova čísla byla poté dosazena do empirických vztahů pro výpočet součinitele tření λ podle Blasia, Macha, Advaniho a Ševeleva:

$$\text{Blasius: } \lambda = \frac{0,3164}{Re^{0,25}} \quad (5.1.2)$$

$$\text{Mach: } \lambda = 0,783 \frac{d^{0,068}}{Re^{0,3}} \quad (5.1.3)$$

$$\text{Advani: } \lambda = 0,0032 + 0,221 \cdot Re^{-0,237} \quad (5.1.4)$$

$$\text{Ševelev: } \lambda = 0,25 \cdot Re^{-0,226} \quad (5.1.5)$$

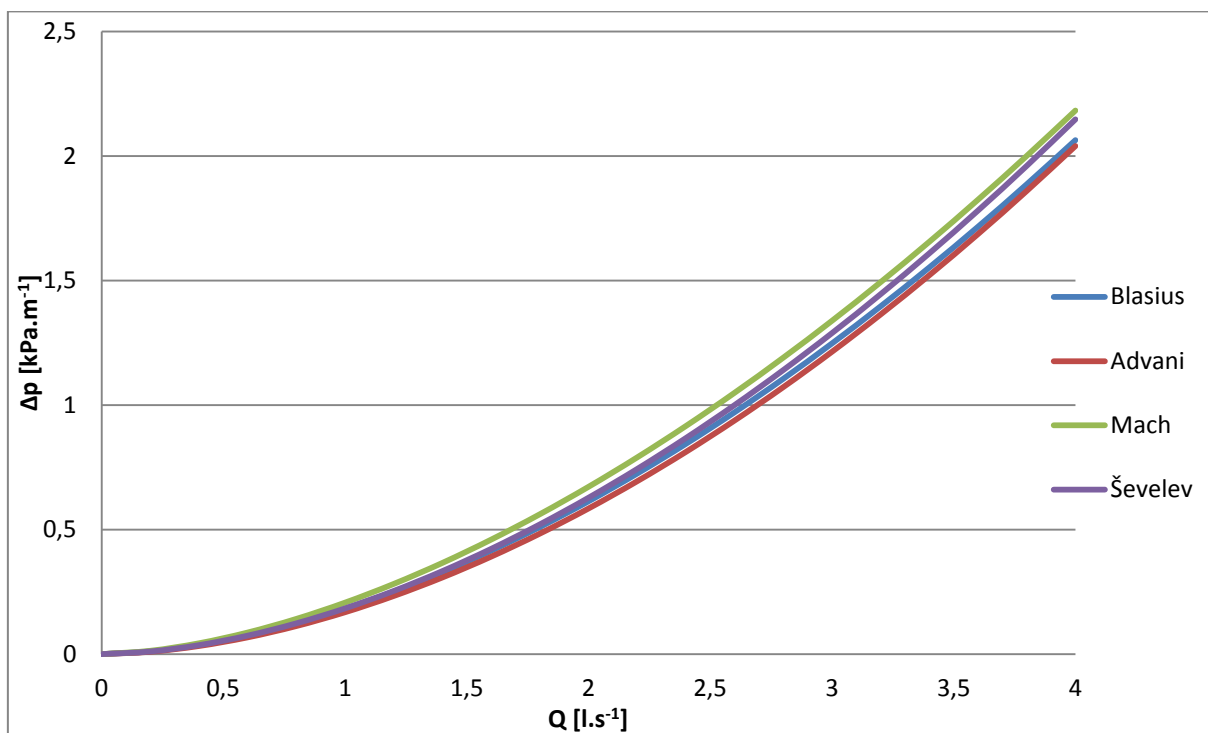
Vypočítané hodnoty součinitele tření λ byly následně dosazeny spolu s hodnotami d , l , a c do vztahu (3.1.1.) pro výpočet ztrátové měrné energie. Aby byl výsledek porovnatelný s daty od výrobců, bylo nutné jej převést z $Y_{z \text{ tr}} [\text{J.kg}^{-1}]$ na Δp [kPa.m^{-1}]. Výsledek byl proto násoben podílem hustoty ρ (pro vodu o teplotě $10 \text{ }^\circ\text{C}$ je $\rho = 999,6 \text{ kg.m}^{-3}$) a délky potrubí l a dělen 1000 (převod z Pa na kPa):

$$\Delta p = \frac{Y_{z \text{ tr}} \cdot \rho}{1000} = \frac{\lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{c^2}{2} \cdot \rho}{1000} \quad (5.1.6)$$

Po úpravě:

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot c^2 \cdot \rho}{1000 \cdot d \cdot 2} \quad [\text{kPa.m}^{-1}] \quad (5.1.7)$$

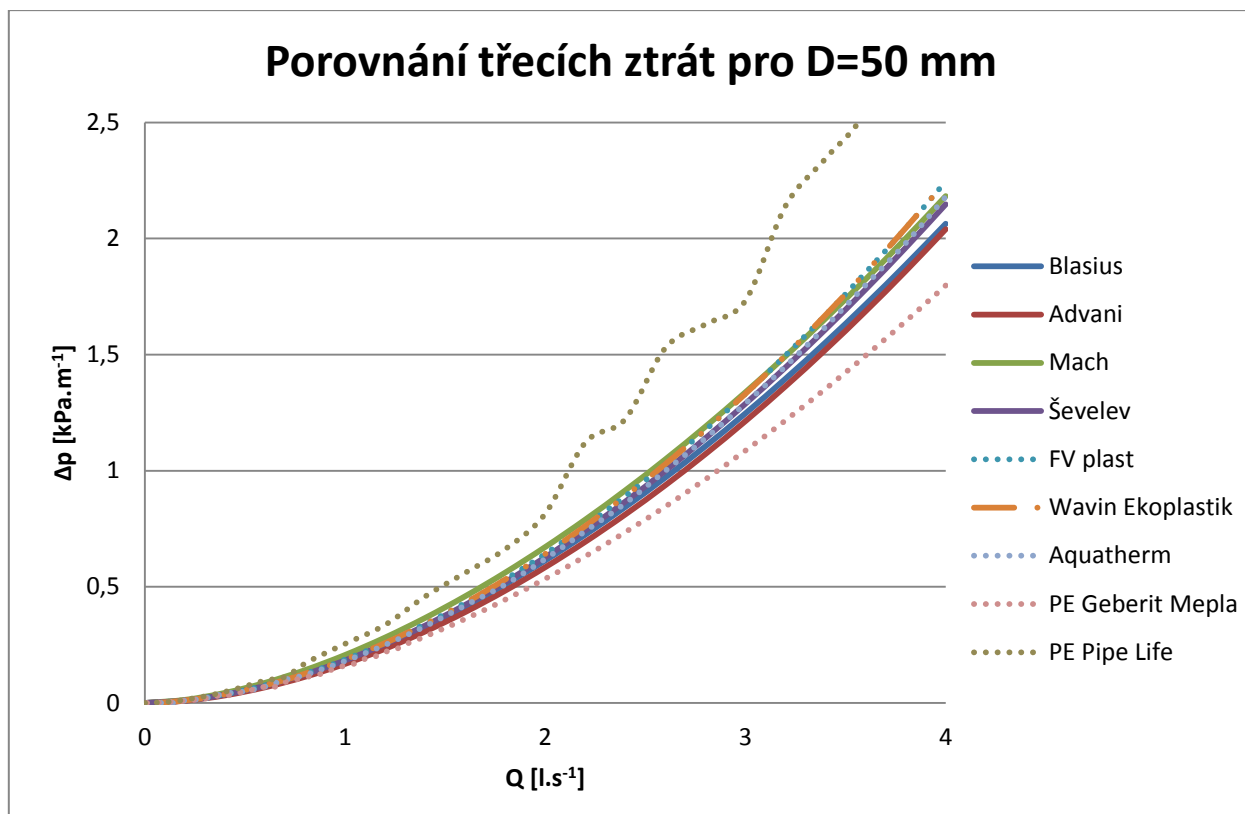
V následujícím grafu (Obr. 8) jsou zobrazeny ztráty podle Blasius, Macha, Advaniho a Ševeleva v závislosti na průtoku Q . Pro přehled vypočítaných tlakových ztrát viz příloha 1.



Obr. 8 - Hydraulické ztráty dle empirických vztahů pro $D=50\text{mm}$

Z grafu je patrné, že hodnoty Δp , počítané podle jednotlivých empirických vzorců, jsou si velmi podobné. Můžeme také očekávat, že hodnoty ztrát od výrobců se nebudou příliš odchylovat od těchto hodnot.

V následujícím grafu (Obr. 9) je zobrazeno porovnání ztrát uváděných výrobcí FV Plast (PP), Wavin Ekoplastik (PP), Aquatherm (PP), Geberit (PE) a Pipe Life (PE), se ztrátami vypočítanými dle empirických vzorců.



Obr. 9 - Porovnání třecích ztrát udávaných jednotlivými výrobci

Z tohoto grafu je patrné, že udávané hydraulické ztráty v trubkách z PP se příliš neliší. Firmy FV Plast a Wavin Ekoplastik dokonce udávají totožné údaje. Křivka ztrát trubek PP firmy Aquatherm se kryje s křivkou ztrát podle Ševeleva. Trubky z PE od firmy Geberit mají výrazně menší ztráty v oblasti průtoku $Q > 1,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ než ostatní zkoumané, což může znamenat, menší drsnost jejich vnitřních stěn. Naopak PE trubky od firmy Pipe Life mají ztráty výrazně větší. Firma Pipe Life udává ztráty v podobě nomogramu (viz str. 22), což může způsobit ne zcela přesné odečtení hodnoty hydraulické ztráty. Ostatní porovnávané firmy udávají hydraulické ztráty v tabulkách (viz přílohy 3, 4, 5, 6).

5.2 Porovnání hydraulických ztrát pro potrubí o rozměru 63 x 5,8

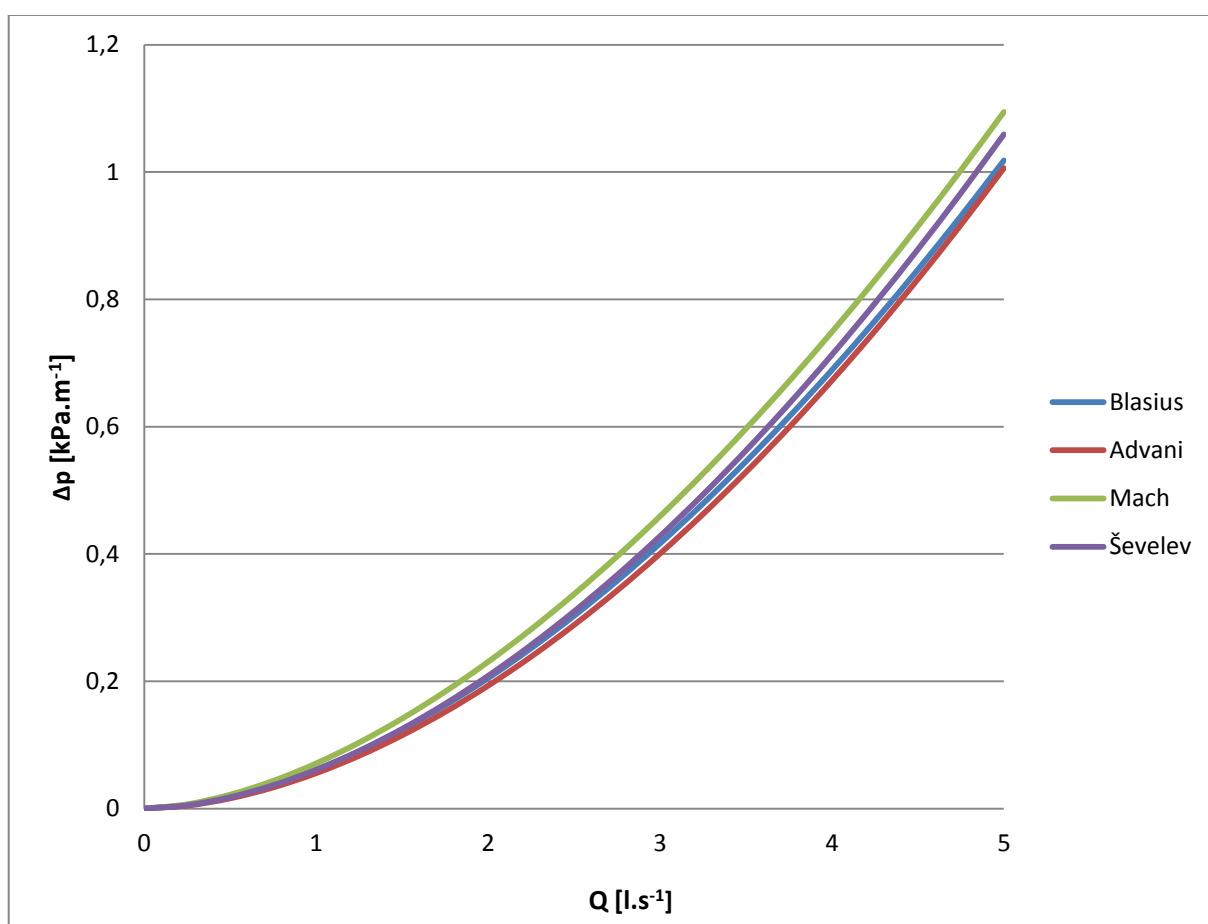
Porovnání hydraulických ztrát bylo také provedeno pro potrubí SDR 11 o vnějším průměru 63 mm, jehož rozměry jsou:

Vnější průměr: $D = 63 \text{ mm}$

Tloušťka stěny: $t = 5,8 \text{ mm}$

Vnitřní průměr: $d = 51,4 \text{ mm}$

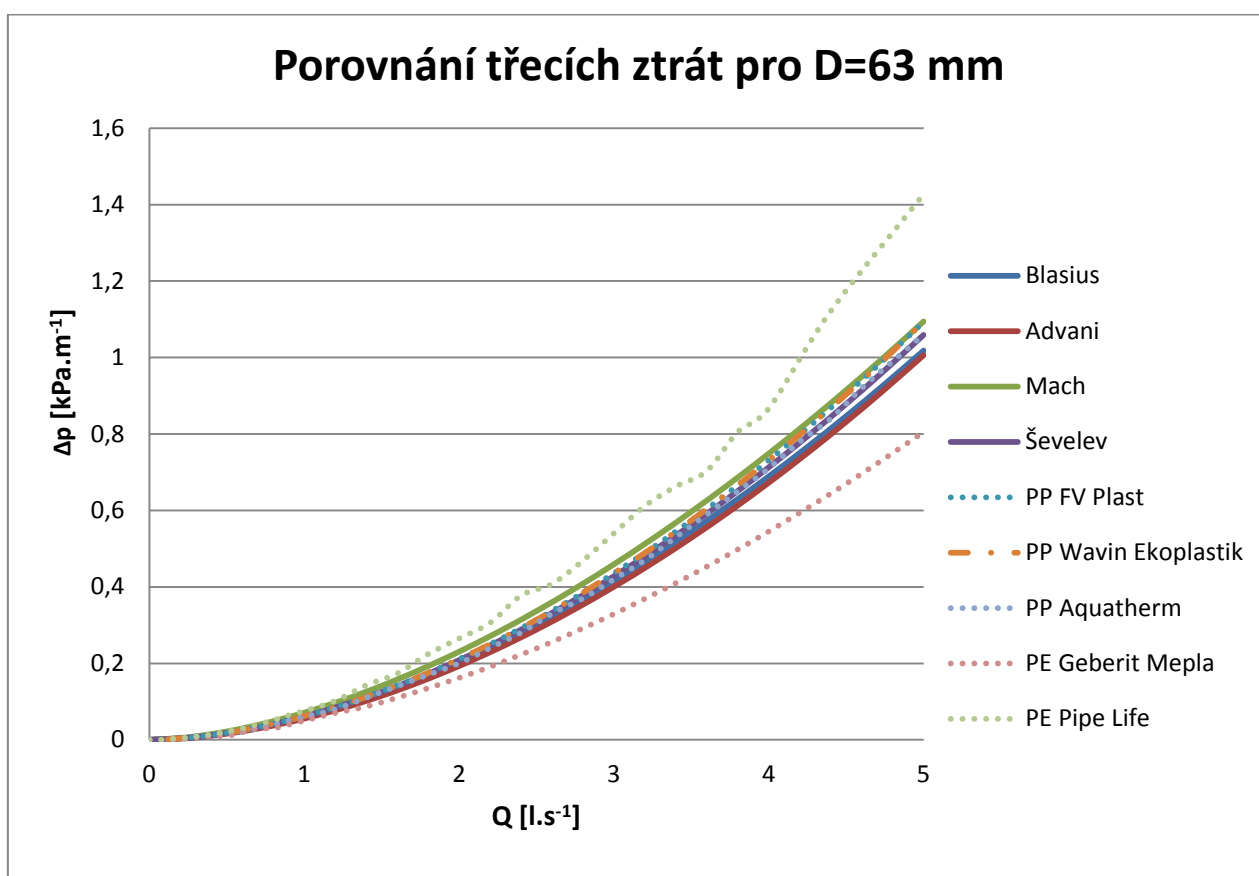
Průtok byl uvažován v rozmezí $(0 \div 5) \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Součinitele tření λ byly spočítány opět podle empirických vztahů (5.1.2), (5.1.3), (5.1.4) a (5.1.5). Výsledné hodnoty třecích ztrát byly vypočítány dle rovnice (5.1.7). Přehled vypočtených hodnot třecích ztrát dle empirických vztahů pro toto potrubí je v příloze 2. V následujícím grafu (Obr. 10) jsou zobrazeny hodnoty třecích ztrát vypočítaných dle empirických vztahů.



Obr. 10 - Hydraulické ztráty dle empirických vztahů pro $D=63\text{mm}$

Z tohoto grafu je patrné, že hodnoty jednotlivých ztrát se opět příliš neliší. Oproti průměru 50 mm nabývají ale nižších hodnot pro stejné průtoky, což je dáno větším průtočným průměrem. Tato závislost na průměru průtočného kanálu je patrná ze vztahu (3.1.2).

V následujícím grafu (Obr. 11) je zobrazeno porovnání ztrát uváděných výrobci FV Plast (PP), Wavin Ekoplastik (PP), Aquatherm (PP), Geberit (PE) a Pipe Life (PE), se ztrátami vypočítanými dle empirických vztahů.



Obr. 11 - Porovnání třecích ztrát udávaných jednotlivými výrobci

Z tohoto grafu je patrné, že ztráty v trubkách z PP se od sebe opět téměř neliší. Firmy FV Plast a Wavin Ekoplastik opět udávají totožné hodnoty ztrát. Křivka pro PP trubky firmy Aquatherm se při vyšších průtocích překrývá s křivkou určenou podle Ševeleva. Pro trubky z PE platí podobný vývoj jako v předchozím případě (Obr. 9). Křivka ztrát pro trubky od firmy Pipe Life se v tomto případě výrazněji odchyluje od křivek dle empirických vztahů až při průtocích $> 3,5 \text{ l.s}^{-1}$.

6 Závěr

Tato práce se zabývá rešerší metod výpočtů hydraulických ztrát v potrubí z termoplastu. V teoretické části jsou shrnuty informace o plastech. Dále je zde uveden výčet termoplastů používaných pro potrubní systémy a jejich vlastnosti a také výhody a nevýhody použití plastů oproti oceli. Výpočet hydraulických ztrát probíhá podobně jako u ocelového potrubí s tím rozdílem, že součinitel tření λ se určuje podle vztahů pro hydraulicky hladké potrubí. Délkové ztráty u plastových potrubí tedy obecně nabývají nižších hodnot než délkové ztráty potrubí ocelových. Při plánování potrubního systému z termoplastu je několik rozhodujících faktorů, podle kterých volíme materiál – dopravované médium, teplota média a tlak.

Praktická část se zabývá porovnáním délkových ztrát, kde součinitel tření λ byl vypočítán podle empirických vztahů podle Blasia, Advaniho, Macha a Ševeleva, se ztrátami danými výrobci. Zkoumané rozměry trubek byly 50x4,6 a 63x5,8. Trubky z polypropylénu byly od výrobců FV Plast, Wavin Ekoplastik a Aquatherm. Tyto se od charakteristik určených empirickými vztahy téměř nelišily. FV Plast a Wavin Ekoplastik dokonce udávaly stejné hodnoty, což může být způsobeno použitím stejného empirického vztahu pro výpočet součinitele λ . Trubky z polyetylénu byly Geberit Mepla a Pipe Life. Tyto se od charakteristik určených empirickými vztahy lišily s rostoucím průtokem Q poměrně značně. Ztráty v trubkách od firmy Pipe Life byly vyšší než ztráty dané empirickými vztahy. Naopak ztráty v trubkách od firmy Geberit se ukázaly jako nejnižší ze všech zkoumaných. Průběhy tlakových ztrát v závislosti na průtoku byly u obou zkoumaných rozměrů velmi podobné, takže lze očekávat, že podobný by byl i vývoj u ostatních rozměrů.

Všichni zkoumaní výrobci udávají ztráty ve formě tabulky, až na firmu Pipe Life, která ztráty udává ve formě nomogramu. Dostupnost materiálů s hydraulickými ztrátami je i přes velké množství výrobců poměrně nízká.

Firmy zabývající se výrobou potrubí z termoplastů jsou např. Georg Fischer, Pipe-Life, Kupon, Agru, Nibco, Geberit, FV Plast, Aquatherm, Wavin Ekoplastik.

7 Seznam použité literatury

- [1] MELICHAR, Jan. *Úvod do čerpací techniky*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2012. ISBN 978-80-01-05056-9.
- [2] KOLÁŘ, Václav a Stanislav VINOPAL. *Hydraulik průmyslových armatur: Příručka praktických výpočtů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963.
- [3] MELICHAR, Jan a Jaroslav BLÁHA. *Problematika soudobé čerpací techniky: Vybrané partie*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03719.
- [4] KOPÁČKOVÁ, Dagmar, Tomáš ZÁBOJ a Miroslav HARTL. *Potrubí z plastů: Pro učební obor instalatér*. Praha: Informatorium, spol. s.r.o., 1996.
- [5] *Kupen - plastové materiály* [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <http://www.kupen.cz/georg-fischer/plastove-materialy/>
- [6] *PIPE LIFE Tlakové potrubí PE 100 a PE 100RC: Vodovodní potrubí, tlaková a podtlaková kanalizace* [online]. 2014, 13-14 [cit. 2016-04-05]. Dostupné z: http://www.pipelife.cz/media/cz/pdf_products/TLAKOVE_POTRUBI_PE100_PE100RC_2014.pdf
- [7] *GEORG FISCHER Základy pro plánování PP* [online]. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: http://www.titan-plastimex.cz/Produkty/soubory_ke_stazeni/navody%20tabulky/technicka%20prirucka%20OPP.pdf
- [8] *Reynolds pipe flow* [online]. [cit. 2016-05-17]. Dostupné z: <https://engineering.purdue.edu/AE/Academics/Courses/aae3331/Reynolds%20Pipe%20Flow/moody.si.pdf>
- [9] Determination of Head Loss for a Turbulent Flow. *Tankönyvtár* [online]. 2014 [cit. 2016-05-15]. Dostupné z: http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011_0059_SCORM_MFKGT5051-EN/sco_05_02.scorm
- [10] *GEORG FISCHER Technická příručka PP* [online]. [cit. 2015-12-03]. Dostupné z: http://www.titan-plastimex.cz/images/Produkty/technicka_prirucka_PE.pdf

- [11] *AGRU Industrierohsysteme* [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: http://www.agru.at/fileadmin/user_upload/Prospekte/INDUSTRIEROHRSYSTEME/Industrie_TI_2016_e.pdf
- [12] *FV Plast Technický manuál* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.fv-plast.cz/ke-stazeni/katalogy-letaky-navody>
- [13] *Wavin Ekoplastik Tabulky tlakových ztrát* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.wavinekoplastik.com/cz/tabulky-tlakovych-ztrat>
- [14] *Aquatherm Pipe friction loss* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: https://issuu.com/aquathermuk/docs/pipe_friction_loss_2013-mbar-meter
- [15] *Product Information Geberit Mepla Pressure loss tables* [online]. [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: http://www.geberit.no/media/local_media/_imported/Mepla_trykktapstabeller.pdf

8 Seznam obrázků

Obr. 1 - Moodyho diagram pro technologickou drsnost potrubí [8]	18
Obr. 2 - Nikuradseho diagram pro umělou drsnost potrubí [9]	19
Obr. 3 - Porovnání součinitele třecích ztrát λ potrubí ocelového a plastového [3]	22
Obr. 4 - Nomogram od firmy Pipe Life [6]	23
Obr. 5 - Odporová charakteristika ventilu s kuželovým uzavíracím orgánem a kulového kohoutu [1]	27
Obr. 6 - Oblasti použitelnosti vybraných plastových materiálů podle firmy Georg Fischer [7]	28

Obr. 7 - Provozní pole tlaků a teplot PTFE a PVC-U pro vodu [3].....	29
Obr. 8 - Hydraulické ztráty dle empirických vztahů pro D=50mm	31
Obr. 9 - Porovnání třecích ztrát udávaných jednotlivými výrobci.....	32
Obr. 10 - Hydraulické ztráty dle empirických vztahů pro D=63mm	33
Obr. 11 - Porovnání třecích ztrát udávaných jednotlivými výrobci.....	34

9 Seznam tabulek

Tab. 1 - Empirické vztahy pro výpočet λ [1][2]	21
Tab. 2 - Hodnoty součinitele odporu pro tvarovky podle Georg Fischer [10].....	25
Tab. 3 - Hodnoty součinitele odporu pro tvarovky podle firmy Agru [11]	26

10 Seznam příloh

PŘÍLOHA 1: *Tabulka vypočítaných tlakových ztrát Δp [$\text{kPa}\cdot\text{m}^{-1}$] pro potrubí 50 x 4,6 podle Blasia, Advaniho, Macha a Ševeleva v závislosti na průtoku Q [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$].*

PŘÍLOHA 2: *Tabulka vypočítaných tlakových ztrát Δp [$\text{kPa}\cdot\text{m}^{-1}$] pro potrubí 63 x 5,8 podle Blasia, Advaniho, Macha a Ševeleva v závislosti na průtoku Q [$\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$].*

PŘÍLOHA 3: *Tabulka tlakových ztrát podle firmy FV Plast*

PŘÍLOHA 4: *Tabulka tlakových ztrát podle firmy Wavin Ekoplastik*

PŘÍLOHA 5: *Tabulka tlakových ztrát podle firmy Aquatherm*

PŘÍLOHA 6: *Tabulka tlakových ztrát podle firmy Geberit*

PŘÍLOHA 1

Tabulka vypočítaných tlakových ztrát Δp [kPa.m⁻¹] pro potrubí 50 x 4,6 podle Blasia, Advaniho, Macha a Ševeleva v závislosti na průtoku Q [l.s⁻¹].

Q [l.s⁻¹]	Δp [kPa.m⁻¹] (Blasius)	Δp [kPa.m⁻¹] (Advani)	Δp [kPa.m⁻¹] (Mach)	Δp [kPa.m⁻¹] (Ševelev)
0	0	0	0	0
0,2	0,011	0,009	0,013	0,011
0,4	0,037	0,033	0,044	0,036
0,6	0,075	0,067	0,087	0,074
0,8	0,123	0,113	0,142	0,124
1	0,182	0,168	0,207	0,184
1,2	0,251	0,233	0,282	0,254
1,4	0,329	0,308	0,366	0,333
1,6	0,415	0,391	0,460	0,423
1,8	0,510	0,484	0,562	0,521
2	0,614	0,585	0,672	0,628
2,2	0,725	0,694	0,790	0,744
2,4	0,844	0,812	0,916	0,868
2,6	0,971	0,938	1,049	1,000
2,8	1,106	1,072	1,190	1,140
3	1,247	1,214	1,338	1,289
3,2	1,397	1,364	1,494	1,445
3,4	1,553	1,522	1,656	1,609
3,6	1,716	1,687	1,825	1,781
3,8	1,887	1,860	2,000	1,961
4	2,064	2,040	2,183	2,147

PŘÍLOHA 2

Tabulka vypočítaných tlakových ztrát Δp [kPa.m⁻¹] pro potrubí 63 x 5,8 podle Blasia, Advaniho, Macha a Ševeleva v závislosti na průtoku Q [l.s⁻¹].

Q [l.s⁻¹]	Δp [kPa.m⁻¹] (Blasius)	Δp [kPa.m⁻¹] (Advani)	Δp [kPa.m⁻¹] (Mach)	Δp [kPa.m⁻¹] (Ševelev)
0	0	0	0	0
0,25	0,005	0,005	0,007	0,005
0,5	0,018	0,016	0,022	0,018
0,75	0,037	0,033	0,044	0,037
1	0,061	0,056	0,071	0,061
1,25	0,090	0,083	0,104	0,091
1,5	0,124	0,115	0,141	0,125
1,75	0,162	0,152	0,184	0,164
2	0,205	0,193	0,230	0,208
2,25	0,252	0,239	0,282	0,257
2,5	0,303	0,288	0,337	0,310
2,75	0,358	0,342	0,396	0,367
3	0,416	0,400	0,459	0,428
3,25	0,479	0,463	0,526	0,493
3,5	0,545	0,529	0,597	0,563
3,75	0,615	0,599	0,671	0,636
4	0,689	0,673	0,749	0,713
4,25	0,766	0,750	0,830	0,794
4,5	0,847	0,832	0,915	0,879
4,75	0,931	0,917	1,003	0,967
5	1,018	1,006	1,094	1,059

PŘÍLOHA 3

Tabulka tlakových ztrát podle firmy FV Plast [12]

Q		16 x 2,0	20 x 2,0	25 x 2,3	32 x 3,0	40 x 3,7	50 x 4,6	63 x 5,8	75 x 6,9	90 x 8,2
0,01	R	0,019	0,005							
	v	0,09	0,05							
0,02	R	0,065	0,017	0,005						
	v	0,18	0,10	0,06						
0,03	R	0,133	0,034	0,011	0,003					
	v	0,27	0,19	0,09	0,06					
0,04	R	0,221	0,056	0,016	0,006					
	v	0,36	0,19	0,12	0,08					
0,05	R	0,327	0,083	0,026	0,008	0,003				
	v	0,44	0,24	0,15	0,09	0,06				
0,06	R	0,451	0,114	0,036	0,011	0,004				
	v	0,53	0,29	0,18	0,11	0,07				
0,07	R	0,592	0,150	0,047	0,015	0,005	0,002			
	v	0,62	0,34	0,21	0,13	0,08	0,05			
0,08	R	0,749	0,190	0,059	0,019	0,006	0,002			
	v	0,71	0,39	0,24	0,15	0,10	0,06			
0,09	R	0,923	0,233	0,073	0,023	0,008	0,003			
	v	0,80	0,44	0,28	0,17	0,11	0,07			
0,10	R	1,112	0,281	0,087	0,028	0,009	0,003			
	v	0,88	0,49	0,31	0,19	0,12	0,08			
0,12	R	1,537	0,387	0,121	0,038	0,013	0,004	0,001		
	v	1,06	0,58	0,37	0,23	0,14	0,09	0,06		
0,14	R	2,022	0,509	0,159	0,049	0,017	0,006	0,002	0,001	
	v	1,24	0,68	0,43	0,26	0,17	0,11	0,07	0,05	
0,16	R	2,566	0,644	0,202	0,062	0,022	0,007	0,002	0,001	0,001
	v	1,41	0,78	0,49	0,30	0,19	0,12	0,08	0,05	0,04
0,18	R	3,167	0,794	0,246	0,076	0,027	0,009	0,003	0,001	0,001
	v	1,59	0,87	0,55	0,34	0,22	0,14	0,09	0,06	0,04
0,20	R	3,824	0,957	0,299	0,094	0,032	0,011	0,004	0,002	0,001
	v	1,77	0,97	0,61	0,38	0,24	0,15	0,10	0,07	0,05
0,30	R	7,932	1,971	0,613	0,192	0,063	0,022	0,007	0,003	0,001
	v	2,65	1,46	0,92	0,57	0,36	0,23	0,14	0,10	0,07
0,40	R	13,37	3,300	1,022	0,319	0,108	0,037	0,012	0,005	0,002
	v	3,54	1,94	1,22	0,75	0,48	0,31	0,19	0,14	0,09
0,50	R		4,932	1,522	0,474	0,160	0,055	0,018	0,008	0,003
	v		2,43	1,53	0,94	0,60	0,38	0,24	0,17	0,12
0,60	R		6,861	2,110	0,655	0,221	0,076	0,025	0,011	0,004
	v		2,91	1,84	1,13	0,72	0,46	0,29	0,20	0,14
0,70	R		9,080	2,784	0,863	0,291	0,099	0,033	0,014	0,006
	v		3,40	2,14	1,32	0,84	0,54	0,34	0,24	0,16
0,80	R			3,542	1,095	0,369	0,126	0,042	0,017	0,007
	v			2,45	1,51	0,96	0,61	0,39	0,27	0,19
0,90	R			4,384	1,352	0,455	0,155	0,051	0,021	0,009
	v			2,75	1,7	1,08	0,69	0,43	0,31	0,21

Q		16 x 2,0	20 x 2,0	25 x 2,3	32 x 3,0	40 x 3,7	50 x 4,6	63 x 5,8	75 x 6,9	90 x 8,2
1,00	R			5,306	1,634	0,549	0,187	0,062	0,026	0,011
	v			3,06	1,88	1,20	0,76	0,48	0,34	0,24
1,20	R				2,269	0,760	0,258	0,085	0,036	0,015
	v				2,26	1,44	0,92	0,58	0,41	0,28
1,40	R				2,998	1,001	0,340	0,112	0,047	0,019
	v				2,64	1,68	1,07	0,67	0,48	0,33
1,60	R				3,819	1,273	0,431	0,142	0,059	0,025
	v				3,01	1,92	1,22	0,77	0,54	0,38
1,80	R					1,574	0,532	0,175	0,073	0,030
	v					2,16	1,38	0,87	0,61	0,42
2,00	R					1,903	0,642	0,211	0,088	0,036
	v					2,40	1,53	0,96	0,68	0,47
2,20	R					2,262	0,762	0,250	0,104	0,043
	v					2,64	1,68	1,06	0,75	0,52
2,40	R					2,649	0,891	0,292	0,122	0,050
	v					2,88	1,84	1,16	0,82	0,56
2,60	R					3,064	1,029	0,337	0,140	0,058
	v					3,11	1,99	1,25	,88	0,61
2,80	R						1,176	0,385	0,160	0,066
	v						2,14	1,35	0,95	0,66
3,00	R						1,332	0,436	0,181	0,075
	v						2,29	1,45	1,02	0,71
3,20	R						1,497	0,489	0,204	0,084
	v						2,45	1,54	1,09	0,75
3,40	R						1,671	0,545	0,227	0,093
	v						2,60	1,64	1,16	0,80
3,60	R						1,854	0,604	0,252	0,104
	v						2,75	1,73	1,22	0,85
3,80	R						2,045	0,666	0,277	0,114
	v						2,91	1,83	1,29	0,89
4,00	R						2,246	0,731	0,304	0,125
	v						3,06	1,93	1,36	0,94
4,20	R							0,798	0,332	0,136
	v							2,02	1,43	0,99
4,40	R							0,868	0,361	0,148
	v							2,12	1,50	1,03
4,60	R							0,940	0,391	0,161
	v							2,22	1,56	1,08
4,80	R							1,016	0,423	0,173
	v							2,31	1,63	1,13
5,00	R							1,093	0,455	0,187
	v							2,41	1,70	1,18
5,20	R							1,138	0,488	0,200
	v							2,51	1,77	1,22
5,40	R							1,219	0,523	0,214
	v							2,60	1,84	1,27
5,60	R							1,303	0,559	0,229
	v							2,70	1,90	1,32
5,80	R							1,389	0,595	0,244
	v							2,80	1,97	1,36
6,00	R							1,477	0,633	0,259
	v							2,89	2,04	1,41

PŘÍLOHA 4

Tabulka tlakových ztrát podle firmy Wavin Ekoplastik [13]

PPR S 5 (PN10) teplota vody = 10 °C

k≈0,01	20 × 2,3 mm		25 × 2,5 mm		32 × 3,0 mm		40 × 3,7 mm		50 × 4,6 mm		63 × 5,8 mm		75 × 6,9 mm		90 × 8,2 mm		110 × 10 mm		125 × 11,4 mm		
Q l/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	R kPa/m	v m/s	
0,01	0,006	0,1																			
0,02	0,020	0,1	0,006	0,1																	
0,03	0,041	0,2	0,012	0,1	0,003	0,1															
0,04	0,067	0,2	0,019	0,1	0,006	0,1															
0,05	0,099	0,3	0,029	0,2	0,008	0,1	0,003	0,1													
0,06	0,137	0,3	0,039	0,2	0,011	0,1	0,004	0,1													
0,07	0,180	0,4	0,052	0,2	0,015	0,1	0,005	0,1	0,002	0,1											
0,08	0,227	0,4	0,065	0,3	0,019	0,2	0,006	0,1	0,002	0,1											
0,09	0,280	0,5	0,080	0,3	0,023	0,2	0,008	0,1	0,003	0,1											
0,10	0,337	0,5	0,097	0,3	0,028	0,2	0,009	0,1	0,003	0,1											
0,12	0,465	0,6	0,133	0,4	0,038	0,2	0,013	0,1	0,004	0,1	0,001	0,1									
0,14	0,611	0,8	0,175	0,4	0,050	0,3	0,017	0,2	0,006	0,1	0,002	0,1									
0,16	0,774	0,9	0,222	0,5	0,063	0,3	0,022	0,2	0,007	0,1	0,002	0,1	0,001	0,1							
0,18	0,954	1,0	0,273	0,6	0,078	0,3	0,027	0,2	0,009	0,1	0,003	0,1	0,001	0,1							
0,20	1,150	1,1	0,329	0,6	0,094	0,4	0,032	0,2	0,011	0,2	0,004	0,1	0,002	0,1							
0,30	2,370	1,6	0,674	1,0	0,192	0,6	0,085	0,4	0,022	0,2	0,007	0,1	0,003	0,1	0,001	0,1					
0,40	3,971	2,1	1,124	1,3	0,319	0,8	0,108	0,5	0,037	0,3	0,012	0,2	0,005	0,1	0,002	0,1	0,001	0,1			
0,50	5,939	2,7	1,675	1,6	0,474	0,9	0,160	0,6	0,055	0,4	0,018	0,2	0,008	0,2	0,003	0,1	0,001	0,1			
0,60	8,266	3,2	2,322	1,9	0,655	1,1	0,221	0,7	0,076	0,5	0,025	0,3	0,011	0,2	0,005	0,1	0,002	0,1			
0,70			3,064	2,2	0,863	1,3	0,291	0,8	0,099	0,5	0,033	0,3	0,014	0,2	0,006	0,2	0,002	0,1			
0,80			3,900	2,5	1,095	1,5	0,369	1,0	0,126	0,6	0,042	0,4	0,018	0,3	0,008	0,2	0,003	0,1	0,002	0,1	
0,90			4,826	2,9	1,352	1,7	0,455	1,1	0,155	0,7	0,051	0,4	0,022	0,3	0,009	0,2	0,004	0,1	0,002	0,1	
1,00			5,844	3,2	1,634	1,9	0,549	1,2	0,187	0,8	0,062	0,5	0,027	0,3	0,011	0,2	0,004	0,2	0,002	0,1	
1,20					2,269	2,3	0,760	1,4	0,258	0,9	0,085	0,6	0,037	0,4	0,015	0,3	0,006	0,2	0,003	0,1	
1,40					2,998	2,6	1,001	1,7	0,340	1,1	0,112	0,7	0,049	0,5	0,020	0,3	0,008	0,2	0,004	0,1	
1,60					3,819	3,0	1,273	1,9	0,431	1,2	0,142	0,8	0,062	0,5	0,026	0,4	0,010	0,3	0,005	0,2	
1,80					4,732	3,4	1,574	2,2	0,532	1,4	0,175	0,9	0,076	0,6	0,031	0,4	0,012	0,3	0,006	0,2	
2,00							1,903	2,4	0,642	1,5	0,211	1,0	0,092	0,7	0,038	0,5	0,014	0,3	0,008	0,2	
2,20							2,262	2,6	0,762	1,7	0,250	1,1	0,108	0,7	0,045	0,5	0,017	0,3	0,009	0,3	
2,40							2,649	2,9	0,891	1,8	0,292	1,2	0,126	0,8	0,052	0,6	0,020	0,4	0,010	0,3	
2,60							3,064	3,1	1,029	2,0	0,337	1,3	0,146	0,9	0,060	0,6	0,023	0,4	0,012	0,3	
2,80							3,507	3,4	1,176	2,1	0,385	1,3	0,166	1,0	0,069	0,7	0,026	0,4	0,014	0,3	
3,00									1,332	2,3	0,436	1,4	0,188	1,0	0,078	0,7	0,030	0,5	0,016	0,4	
3,20									1,497	2,4	0,489	1,5	0,211	1,1	0,087	0,8	0,033	0,5	0,018	0,4	
3,40									1,671	2,6	0,545	1,6	0,235	1,2	0,097	0,8	0,037	0,5	0,019	0,4	
3,60									1,854	2,8	0,604	1,7	0,260	1,2	0,107	0,8	0,041	0,6	0,022	0,4	
3,80									2,045	2,9	0,666	1,8	0,287	1,3	0,118	0,9	0,045	0,6	0,024	0,5	
4,00									2,246	3,1	0,731	1,9	0,314	1,4	0,129	0,9	0,049	0,6	0,026	0,5	
4,20									2,454	3,2	0,798	2,0	0,343	1,4	0,141	1,0	0,054	0,7	0,028	0,5	
4,40									2,672	3,4	0,868	2,1	0,373	1,5	0,153	1,0	0,058	0,7	0,031	0,5	
4,60									2,898	3,5	0,940	2,2	0,404	1,6	0,166	1,1	0,063	0,7	0,034	0,6	
4,80											1,016	2,3	0,436	1,6	0,179	1,1	0,068	0,8	0,037	0,6	
5,00											1,093	2,4	0,469	1,7	0,193	1,2	0,073	0,8	0,039	0,6	
5,20													0,492	1,8	0,203	1,2	0,078	0,8	0,041	0,6	
5,40													0,523	1,8	0,218	1,3	0,083	0,9	0,045	0,7	
5,60													0,560	2,0	0,234	1,3	0,088	0,9	0,048	0,7	
5,80													0,598	2,0	0,247	1,4	0,094	0,9	0,051	0,7	
6,00													0,637	2,0	0,264	1,4	0,099	0,9	0,054	0,7	
6,20													0,672	2,1	0,281	1,5	0,105	1,0	0,058	0,8	
6,40													0,714	2,2	0,295	1,5	0,113	1,0	0,061	0,8	
6,60													0,757	2,2	0,313	1,6	0,119	1,0	0,064	0,8	
6,80													0,801	2,3	0,332	1,6	0,125	1,1	0,068	0,8	
7,00													0,831	2,4	0,351	1,7	0,132	1,1	0,071	0,9	

k - drsnost potrubí | Q - průtok vody | R - tlaková ztráta třením | v - rychlost proudění vody

PŘÍLOHA 5

Tabulka tlakových ztrát podle firmy Aquatherm [14]

Außendurchmesser - outside diameter		20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm	110mm	125mm	160mm
Innendurchmesser - inside diameter		16,2 mm	20,4 mm	26,2 mm	32,6 mm	40,8 mm	51,4 mm	61,4 mm	73,6 mm	90,0 mm	102,2 mm	130,8 mm
Durchflussmenge - flow rate												
0,03l/s	R	0,3										
1,8l/min	v	0,1m/s										
0,04l/s	R	0,5	0,2									
2,4l/min	v	0,2m/s	0,1m/s									
0,05l/s	R	0,8	0,3									
3,0l/min	v	0,2m/s	0,2m/s									
0,06l/s	R	1,1	0,4	0,1								
3,6l/min	v	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s								
0,07l/s	R	1,4	0,5	0,1								
4,2l/min	v	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s								
0,08l/s	R	1,7	0,6	0,2								
4,8l/min	v	0,4m/s	0,2m/s	0,1m/s								
0,09l/s	R	2,1	0,7	0,2	0,1							
5,4l/min	v	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s							
0,10l/s	R	2,6	0,9	0,3	0,1							
6,0l/min	v	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s							
0,12l/s	R	3,5	1,2	0,4	0,1							
7,2l/min	v	0,6m/s	0,4m/s	0,2m/s	0,1m/s							
0,16l/s	R	5,9	1,9	0,6	0,2	0,1						
9,6l/min	v	0,8m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s						
0,18l/s	R	7,2	2,4	0,7	0,3	0,1						
10,8l/min	v	0,9m/s	0,6m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s						
0,20l/s	R	8,7	2,9	0,9	0,3	0,1						
12,0l/min	v	1,0m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,2m/s	0,2m/s						
0,30l/s	R	17,8	5,9	1,8	0,6	0,2	0,1	0,0				
18,0l/min	v	1,5m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,2m/s	0,1m/s	0,1m/s				
0,40l/s	R	29,8	9,8	3,0	1,0	0,4	0,1	0,1				
24,0l/min	v	1,9m/s	1,2m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s				
0,50l/s	R	44,5	14,6	4,4	1,5	0,5	0,2	0,1	0,0			
30,0l/min	v	2,4m/s	1,5m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,2m/s	0,2m/s	0,1m/s			
0,60l/s	R	61,8	20,2	6,1	2,1	0,7	0,2	0,1	0,0			
36,0l/min	v	2,9m/s	1,8m/s	1,1m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s			
0,70l/s	R	81,8	26,7	8,0	2,8	1,0	0,3	0,1	0,1	0,0		
42,0l/min	v	3,4m/s	2,1m/s	1,3m/s	0,8m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,2m/s	0,1m/s		
0,80l/s	R	104,3	34,0	10,1	3,5	1,2	0,4	0,2	0,1	0,0		
48,0l/min	v	3,9m/s	2,4m/s	1,5m/s	1,0m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s		
0,90l/s	R	129,4	42,0	12,5	4,4	1,5	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0	
54,0l/min	v	4,4m/s	2,8m/s	1,7m/s	1,1m/s	0,7m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s	0,1m/s	
1,00l/s	R	156,9	50,9	15,1	5,3	1,8	0,6	0,3	0,1	0,0	0,0	
60,0l/min	v	4,9m/s	3,1m/s	1,9m/s	1,2m/s	0,8m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,2m/s	0,1m/s	
1,20l/s	R	219,5	70,9	21,0	7,3	2,5	0,8	0,4	0,1	0,1	0,0	
72,0l/min	v	5,8m/s	3,7m/s	2,2m/s	1,4m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s	
1,40l/s	R	292,0	94,1	27,8	9,6	3,3	1,1	0,5	0,2	0,1	0,0	0,0
84,0l/min	v	6,8m/s	4,3m/s	2,6m/s	1,7m/s	1,1m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,2m/s	0,1m/s
1,60l/s	R	374,1	120,2	35,4	12,3	4,2	1,4	0,6	0,2	0,1	0,1	0,0
96,0l/min	v	7,8m/s	4,9m/s	3,0m/s	1,9m/s	1,2m/s	0,8m/s	0,5m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s

Außendurchmesser - outside diameter		20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	63mm	75mm	90mm	110mm	125mm	160mm
Innendurchmesser - inside diameter		16,2 mm	20,4 mm	26,2 mm	32,6 mm	40,8 mm	51,4 mm	61,4 mm	73,6 mm	90,0 mm	102,2 mm	130,8 mm
Durchflussmenge - flow rate												
1,80l/s	R	466,0	149,3	43,9	15,2	5,1	1,7	0,7	0,3	0,1	0,1	0,0
108,0l/min	v	8,7m/s	5,5m/s	3,3m/s	2,2m/s	1,4m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s
2,00l/s	R	567,5	181,4	53,2	18,4	6,2	2,0	0,9	0,4	0,1	0,1	0,0
120,0l/min	v	9,7m/s	6,1m/s	3,7m/s	2,4m/s	1,5m/s	1,0m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,2m/s	0,1m/s
2,20l/s	R	678,6	216,4	63,3	21,8	7,4	2,4	1,0	0,4	0,2	0,1	0,0
132,0l/min	v	10,7m/s	6,7m/s	4,1m/s	2,6m/s	1,7m/s	1,1m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s	0,3m/s	0,2m/s
2,40l/s	R	799,3	254,4	74,3	25,6	8,6	2,8	1,2	0,5	0,2	0,1	0,0
144,0l/min	v	11,6m/s	7,3m/s	4,5m/s	2,9m/s	1,8m/s	1,2m/s	0,8m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s
2,60l/s	R	929,5	295,2	86,1	29,6	10,0	3,3	1,4	0,6	0,2	0,1	0,0
156,0l/min	v	12,6m/s	8,0m/s	4,8m/s	3,1m/s	2,0m/s	1,3m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s
2,80l/s	R	1069,2	339,0	98,7	33,9	11,4	3,7	1,6	0,7	0,3	0,1	0,0
168,0l/min	v	13,6m/s	8,6m/s	5,2m/s	3,4m/s	2,1m/s	1,3m/s	0,9m/s	0,7m/s	0,4m/s	0,3m/s	0,2m/s
3,00l/s	R	1218,4	385,7	112,1	38,4	12,9	4,2	1,8	0,8	0,3	0,2	0,0
180,0l/min	v	14,6m/s	9,2m/s	5,6m/s	3,6m/s	2,3m/s	1,4m/s	1,0m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,4m/s	0,2m/s
3,20l/s	R	1377,1	435,3	126,3	43,3	14,5	4,7	2,0	0,8	0,3	0,2	0,1
192,0l/min	v	15,5m/s	9,8m/s	5,9m/s	3,8m/s	2,4m/s	1,5m/s	1,1m/s	0,8m/s	0,5m/s	0,4m/s	0,2m/s
3,40l/s	R	1545,3	487,7	141,3	48,3	16,2	5,3	2,2	0,9	0,4	0,2	0,1
204,0l/min	v	16,5m/s	10,4m/s	6,3m/s	4,1m/s	2,6m/s	1,6m/s	1,1m/s	0,8m/s	0,5m/s	0,4m/s	0,3m/s
3,60l/s	R	1723,0	543,1	157,1	53,7	18,0	5,9	2,5	1,0	0,4	0,2	0,1
216,0l/min	v	17,5m/s	11,0m/s	6,7m/s	4,3m/s	2,8m/s	1,7m/s	1,2m/s	0,8m/s	0,6m/s	0,4m/s	0,3m/s
3,80l/s	R	1910,1	601,3	173,7	59,3	19,8	6,6	2,7	1,1	0,4	0,2	0,1
228,0l/min	v	18,4m/s	11,6m/s	7,0m/s	4,6m/s	2,9m/s	1,8m/s	1,3m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,5m/s	0,3m/s
4,00l/s	R	2106,7	662,3	191,1	65,2	21,8	7,1	3,0	1,3	0,5	0,3	0,1
240,0l/min	v	19,4m/s	12,2m/s	7,4m/s	4,8m/s	3,1m/s	1,9m/s	1,4m/s	0,9m/s	0,6m/s	0,5m/s	0,3m/s
4,20l/s	R	2312,7	726,3	209,3	71,3	23,8	7,8	3,3	1,4	0,5	0,3	0,1
252,0l/min	v	20,4m/s	12,8m/s	7,8m/s	5,0m/s	3,2m/s	2,0m/s	1,4m/s	1,0m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s
4,40l/s	R	2528,2	793,0	228,3	77,7	25,9	8,4	3,6	1,5	0,6	0,3	0,1
264,0l/min	v	21,3m/s	13,5m/s	8,2m/s	5,3m/s	3,4m/s	2,1m/s	1,5m/s	1,0m/s	0,7m/s	0,5m/s	0,3m/s
4,60l/s	R	2753,1	862,7	248,0	84,4	28,1	9,2	3,9	1,6	0,6	0,3	0,1
276,0l/min	v	22,3m/s	14,1m/s	8,5m/s	5,5m/s	3,5m/s	2,2m/s	1,6m/s	1,1m/s	0,7m/s	0,6m/s	0,3m/s
4,80l/s	R	2987,4	935,2	268,6	91,3	30,4	9,9	4,2	1,7	0,7	0,4	0,1
288,0l/min	v	23,3m/s	14,7m/s	8,9m/s	5,8m/s	3,7m/s	2,3m/s	1,6m/s	1,1m/s	0,8m/s	0,6m/s	0,4m/s
5,00l/s	R	3231,2	1010,5	289,9	98,5	32,8	10,6	4,5	1,9	0,7	0,4	0,1
300,0l/min	v	24,3m/s	15,3m/s	9,3m/s	6,0m/s	3,8m/s	2,4m/s	1,7m/s	1,2m/s	0,8m/s	0,6m/s	0,4m/s

PŘÍLOHA 6

Tabulka tlakových ztrát podle firmy Geberit [15]

Table 2: Pressure loss sanitary applications cold water, in relation to volume flow, d 40 - d 75

d [mm]	40		50		63		75	
	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]
0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.02	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
0.04	0.05	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
0.05	0.06	0.03	0.04	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00
0.06	0.07	0.04	0.04	0.01	0.03	0.00	0.02	0.00
0.07	0.08	0.05	0.05	0.02	0.03	0.00	0.02	0.00
0.08	0.09	0.06	0.06	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00
0.09	0.11	0.07	0.06	0.02	0.04	0.01	0.03	0.00
0.10	0.12	0.09	0.07	0.03	0.04	0.01	0.03	0.00
0.15	0.18	0.18	0.11	0.06	0.07	0.02	0.04	0.01
0.20	0.23	0.30	0.14	0.10	0.09	0.03	0.06	0.01
0.25	0.29	0.44	0.18	0.14	0.11	0.04	0.07	0.02
0.30	0.35	0.61	0.22	0.19	0.13	0.06	0.09	0.02
0.35	0.41	0.8	0.25	0.3	0.15	0.1	0.10	0.0
0.40	0.47	1.0	0.29	0.3	0.17	0.1	0.12	0.0
0.45	0.53	1.2	0.32	0.4	0.20	0.1	0.13	0.0
0.50	0.58	1.5	0.36	0.5	0.22	0.1	0.15	0.1
0.55	0.64	1.8	0.40	0.6	0.24	0.2	0.16	0.1
0.60	0.70	2.0	0.43	0.7	0.26	0.2	0.18	0.1
0.65	0.76	2.4	0.47	0.7	0.28	0.2	0.19	0.1
0.70	0.82	2.7	0.51	0.9	0.31	0.3	0.21	0.1
0.75	0.88	3.0	0.54	1.0	0.33	0.3	0.22	0.1
0.80	0.94	3.4	0.58	1.1	0.35	0.3	0.24	0.1
0.85	0.99	3.8	0.61	1.2	0.37	0.4	0.25	0.1
0.90	1.05	4.2	0.65	1.3	0.39	0.4	0.26	0.2
0.95	1.11	4.6	0.69	1.5	0.41	0.4	0.28	0.2
1.00	1.17	5.0	0.72	1.6	0.44	0.5	0.29	0.2
1.05	1.23	5.4	0.76	1.7	0.46	0.5	0.31	0.2
1.10	1.29	5.9	0.79	1.9	0.48	0.6	0.32	0.2
1.15	1.34	6.4	0.83	2.0	0.50	0.6	0.34	0.2
1.20	1.40	6.9	0.87	2.2	0.52	0.7	0.35	0.3
1.25	1.46	7.4	0.90	2.3	0.55	0.7	0.37	0.3
1.30	1.52	7.91	0.94	2.52	0.57	0.76	0.38	0.30
1.35	1.58	8.45	0.97	2.69	0.59	0.81	0.40	0.32
1.40	1.64	9.01	1.01	2.86	0.61	0.87	0.41	0.34
1.45	1.70	9.58	1.05	3.05	0.63	0.92	0.43	0.37
1.50	1.75	10.16	1.08	3.23	0.65	0.98	0.44	0.39
1.55	1.81	10.76	1.12	3.42	0.68	1.04	0.46	0.41
1.60	1.87	11.38	1.15	3.62	0.70	1.10	0.47	0.43
1.65	1.93	12.01	1.19	3.82	0.72	1.16	0.49	0.46
1.70	1.99	12.65	1.23	4.02	0.74	1.22	0.50	0.48
1.75	2.05	13.31	1.26	4.23	0.76	1.28	0.51	0.51
1.80	2.10	13.98	1.30	4.45	0.79	1.35	0.53	0.53

d [mm]	40		50		63		75	
\dot{V} [l/s]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]
1.85	2.16	14.67	1.34	4.67	0.81	1.41	0.54	0.56
1.90	2.22	15.37	1.37	4.89	0.83	1.48	0.56	0.59
1.95	2.28	16.08	1.41	5.12	0.85	1.55	0.57	0.61
2.00	2.34	16.81	1.44	5.35	0.87	1.62	0.59	0.64
2.05	2.40	17.55	1.48	5.58	0.90	1.69	0.60	0.67
2.10	2.46	18.31	1.52	5.82	0.92	1.77	0.62	0.70
2.15	2.51	19.08	1.55	6.07	0.94	1.84	0.63	0.73
2.20	2.57	19.86	1.59	6.32	0.96	1.91	0.65	0.76
2.25	2.63	20.66	1.62	6.57	0.98	1.99	0.66	0.79
2.30	2.69	21.47	1.66	6.83	1.00	2.07	0.68	0.82
2.35	2.75	22.29	1.70	7.09	1.03	2.15	0.69	0.85
2.40	2.81	23.13	1.73	7.36	1.05	2.23	0.71	0.88
2.45	2.86	23.98	1.77	7.63	1.07	2.31	0.72	0.92
2.50	2.92	24.84	1.80	7.90	1.09	2.39	0.74	0.95
2.55	2.98	25.72	1.84	8.18	1.11	2.48	0.75	0.98
2.60	3.04	26.61	1.88	8.46	1.14	2.56	0.76	1.02
2.65	3.10	27.51	1.91	8.75	1.16	2.65	0.78	1.05
2.70	3.16	28.42	1.95	9.04	1.18	2.74	0.79	1.09
2.75	3.22	29.35	1.98	9.34	1.20	2.83	0.81	1.12
2.80	3.27	30.29	2.02	9.63	1.22	2.92	0.82	1.16
2.85	3.33	31.24	2.06	9.94	1.24	3.01	0.84	1.19
2.90	3.39	32.21	2.09	10.24	1.27	3.11	0.85	1.23
2.95	3.45	33.19	2.13	10.56	1.29	3.20	0.87	1.27
3.00	3.51	34.18	2.17	10.87	1.31	3.29	0.88	1.31
3.05	3.57	35.18	2.20	11.19	1.33	3.39	0.90	1.34
3.10	3.62	36.20	2.24	11.51	1.35	3.49	0.91	1.38
3.15	3.68	37.23	2.27	11.84	1.38	3.59	0.93	1.42
3.20	3.74	38.27	2.31	12.17	1.40	3.69	0.94	1.46
3.25	3.80	39.32	2.35	12.51	1.42	3.79	0.96	1.50
3.30	3.86	40.38	2.38	12.84	1.44	3.89	0.97	1.54
3.35	3.92	41.46	2.42	13.19	1.46	4.00	0.99	1.58
3.40	3.98	42.55	2.45	13.53	1.48	4.10	1.00	1.63
3.45	4.03	43.65	2.49	13.88	1.51	4.21	1.01	1.67
3.50	4.09	44.76	2.53	14.24	1.53	4.32	1.03	1.71
3.55	4.15	45.89	2.56	14.59	1.55	4.42	1.04	1.75
3.60	4.21	47.02	2.60	14.96	1.57	4.53	1.06	1.80
3.65	4.27	48.17	2.63	15.32	1.59	4.64	1.07	1.84
3.70	4.33	49.33	2.67	15.69	1.62	4.76	1.09	1.89
3.75	4.38	50.51	2.71	16.06	1.64	4.87	1.10	1.93
3.80	4.44	51.69	2.74	16.44	1.66	4.98	1.12	1.98
3.85	4.50	52.89	2.78	16.82	1.68	5.10	1.13	2.02
3.90	4.56	54.10	2.81	17.21	1.70	5.21	1.15	2.07
3.95	4.62	55.31	2.85	17.59	1.72	5.33	1.16	2.11
4.00	4.68	56.55	2.89	17.98	1.75	5.45	1.18	2.16
4.05	4.74	57.79	2.92	18.38	1.77	5.57	1.19	2.21

d [mm]	40		50		63		75	
\dot{V} [l/s]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]	v [m/s]	Δp [mbar/m]
4.10	4.79	59.04	2.96	18.78	1.79	5.69	1.21	2.26
4.15	4.85	60.31	3.00	19.18	1.81	5.81	1.22	2.30
4.20	4.91	61.59	3.03	19.59	1.83	5.94	1.24	2.35
4.25	4.97	62.87	3.07	20.00	1.86	6.06	1.25	2.40
4.30	5.03	64.18	3.10	20.41	1.88	6.19	1.26	2.45
4.35	5.09	65.49	3.14	20.83	1.90	6.31	1.28	2.50
4.40	5.14	66.81	3.18	21.25	1.92	6.44	1.29	2.55
4.45	5.20	68.14	3.21	21.67	1.94	6.57	1.31	2.60
4.50	5.26	69.49	3.25	22.10	1.96	6.70	1.32	2.66
4.55	5.32	70.85	3.28	22.53	1.99	6.83	1.34	2.71
4.60	5.38	72.21	3.32	22.97	2.01	6.96	1.35	2.76
4.65	5.44	73.59	3.36	23.41	2.03	7.09	1.37	2.81
4.70	5.50	74.98	3.39	23.85	2.05	7.23	1.38	2.87
4.75	5.55	76.39	3.43	24.30	2.07	7.36	1.40	2.92
4.80	5.61	77.80	3.46	24.74	2.10	7.50	1.41	2.97
4.85	5.67	79.22	3.50	25.20	2.12	7.64	1.43	3.03
4.90	5.73	80.66	3.54	25.65	2.14	7.78	1.44	3.08
4.95	5.79	82.10	3.57	26.11	2.16	7.91	1.46	3.14
5.00	5.85	83.56	3.61	26.58	2.18	8.05	1.47	3.19