VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMATIZACE INŽENÝRSKÝCH ÚLOH A INFORMATIKY
INSTITUTE OF COMPUTER AIDED ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE

POKROČILÉ UPLATNĚNÍ BIM PŘI NÁVRHU STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

ADVANCED USE OF BIM IN BUILDING DESIGN

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Michal Nováček
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. JOSEF REMEŠ, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program
Studijní obor	3656T025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Michal Nováček
Název	Pokročilé uplatnění BIM při návrhu stavebních objektů
Vedoucí práce	Ing. Josef Remeš, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

doc. Mgr. Tomáš Apeltauer, Ph.D. Vedoucí ústavu	prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc. Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

(1) Související zákony, vyhlášky, normy ČSN, technické podmínky a předpisy;
(2) Odborné texty, studie a publikace věnující tématu informačního modelování staveb (BIM).

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem diplomové práce je popsat možnosti pokročilého využití informačního modelu stavby (BIM) pro vybranou oblast ve stavebně-inženýrské praxi, které by bylo možné prakticky využít při navrhování staveb. Práce bude zpracována v kontextu konkrétní inženýrské úlohy a bude obsahovat specializovanou část s aplikací, o jejímž zpracování bude rozhodnuto vedoucím práce v průběhu práce studenta na zadaném tématu.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

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

Ing. Josef Remeš, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Práce se zabývá informačním modelem budovy (BIM) a jeho pokročilým využitím ve stavební praxi. Konkrétním tématem je využití BIM modelu pro stanovení tlakových ztrát na vzduchotechnickém potrubí. V rámci práce je zpracována aplikace, která z geometrických parametrů objektů v BIM modelu počítá tlakové ztráty na potrubní větvi.

KLÍČOVÁ SLOVA

Informační model budovy, Revit, tlakové ztráty, programování, vzduchotechnika, CFD, C#, ventilátor, životní fáze budovy, koeficient tlakových ztrát

ABSTRACT

This thesis deals with a Building Information Model (BIM) and its advanced use in construction practice. It focuses on the usage of BIM model in the determination of pressure drop in ventilation pipelines. An application able to calculate the pressure drop in a pipeline branch based on the geometrical parameters of the BIMs of structures was created within the work.

KEYWORDS

Building information model, Revit, preassure drop, programming, ventilation, CFD, C#, ventilator, building life cycle stage, pressure drop ratio

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Michal Nováček *Pokročilé uplatnění BIM při návrhu stavebních objektů.* Brno, 2019. 65 s., 11 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav automatizace inženýrských úloh a informatiky. Vedoucí práce Ing. Josef Remeš, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Pokročilé uplatnění BIM při návrhu stavebních objektů* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Michal Nováček

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Pokročilé uplatnění BIM při návrhu stavebních objektů* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 11. 1. 2019

Bc. Michal Nováček

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

V Brně dne 11. 1. 2019

Michal Nováček

autor práce

Obsah

1 ÚVOD

České stavebnictví zažívá průmyslovou revoluci. S příchodem Průmyslu 4.0 a nových technologií máme potenciál navrhovat efektivní, optimalizované a environmentálně přívětivé budovy. Tento potenciál však často není naplněn. Česká projekční scéna stále využívá technologie, které jsou již dávno překonané bez známek invence. Zastaralé způsoby přetrvávají, protože není vyvíjen významnější tlak na projekční ateliéry v tomto směru. Přesto se projekční společnost začíná transformovat na nové způsoby návrhů, pomalu, leč přece. Vlivu průmyslové revoluce na stavební odvětví a konkrétně na projekci si je vědomo Ministerstvo průmyslu a obchodu společně s dalšími organizacemi, a proto zavádí jisté normativy, zajišťující určitou míru pokroku v projekci.

Tato práce může sloužit (mimo jiné) jako osvěta stavebním projektantům v problematice zefektivňování projekční činnosti. Zejména v oblasti BIM (*Building Information Modeling* neboli *informační model budovy*, podrobněji popsáno v kapitole 2), která je v současné době projektanty v projekční praxi často odmítána, především kvůli své zdánlivé složitosti nebo z důvodu přinášení dynamických změn do dnes již archaických projekčních postupů a metod. Přesto se ubírání touto cestou jeví jako možný krok k tvoření nejenom větších a komplikovanějších budov, ale také pro utváření lepších myšlenek, které mohou povznést nejenom stavebnictví, ale celou společnost drobným krokem k lepší budoucnosti.

Cílem dnešní společnosti je zachovat podmínky života budoucím generacím při zachování uspokojování potřeb generacím nynějším a udržení obecného rozvoje, aniž by ohrožoval podmínky života generací budoucích. (Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon), 2006) Toho lze dosáhnout ohleduplnými zásahy k životnímu prostředí, přičemž stavebnictví zde hraje nezanedbatelnou roli. Návrh ekologicky přívětivých budov spočívá v minimalizaci uhlíkové stopy ve fázi přípravné, realizační, provozní a likvidační neboli v celém životním cyklu stavby.

Práce se zabývá optimalizací návrhu vzduchotechnických potrubních systémů, což má za následek snížení provozních nákladů budovy. Užitím modelu BIM lze při návrhu přesněji (a potenciálně snadněji) stanovit tlakové ztráty na potrubní větvi. Toho lze dosáhnout zejména zpřesněním výpočtu místních tlakových ztrát jednotlivých tvarovek

potrubí, což ovlivní výslednou tlakovou ztrátu větve pro návrh ventilátoru. Z těchto informací lze poté navrhnout ventilátor o příslušném příkonu a účinnosti, bez zbytečného naddimenzování, z čehož plyne snížení spotřebované energie a uhlíkové stopy.

2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 Ventilace

Větrání neboli ventilace hraje významnou roli na poli technických zařízení budov. Výměna vzduchu v budovách je klíčová pro lidské zdraví zejména ve výrobních procesech, továrnách, ale také v obytných budovách, které nucenou ventilací udržují zdravé vnitřní klima.

2.2 Projektování VZT

Projekce vzduchotechniky prochází (stejně jako celé české stavebnictví) změnami, které spočívají zejména v přechodu z 2D výkresového prostoru do třídimenzionálního prostoru. Tento přechod s sebou přináší nové možnosti, zejména pak automatické výpočetní analýzy vzduchotechnických systémů. Snahou moderního stavebnictví však není pouze modelace ve 3D, nýbrž využívání informačního modelu budovy pro komunikaci mezi klíčovými stranami projektu. Jedním z těchto programů je Revit, který jako jediný BIM software nabízí možnost modelace potrubí VZT a jeho následné analýzy.

Jednou z těchto analýz je výpočet tlakových ztrát na potrubí. Z této hodnoty se vychází při navrhování typu ventilátoru (vybírá se ventilátor s daným příkonem, tvarem a velikostí). Moderní technologie umožňují zrychlení a zjednodušení těchto strojových výpočtů. Výsledkem je úspora času, financí a možnost zpřesnění výpočtů.

Tlakové ztráty se v současnosti počítají součtem tlakových ztrát třením po délce v potrubí a tlakových ztrát místních (v ohybech trasy potrubí nebo v armaturách). Místní tlakové ztráty pak pro jednotlivé změny ve vedení trasy jsou vyjádřeny koeficientem popisujícím hodnotu tlakové ztráty dynamického tlaku pro danou tvarovku (koleno, T-kus, redukce atd.). Tyto koeficienty jsou často stanovovány laboratorně, avšak napříč literaturami se značně liší, což může způsobit značné nepřesnosti (rozdíly mezi koeficienty mohou být i několikanásobné).

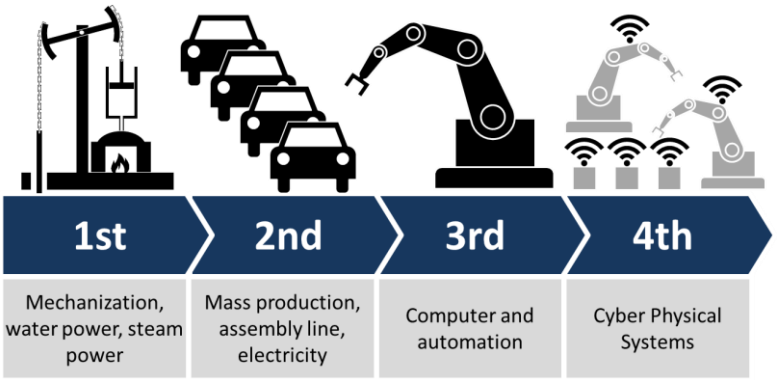
2.3 BIM ve stavebnictví

2.3.1 Historie

Pojem BIM neboli Building Information Modeling (někdy také Building Information Management) zahrnuje vytváření a správu digitálních informací, reprezentujících fyzikální, funkcionální a geometrické vlastnosti objektu. (Building information modeling, 2001) Myšlenka digitální databáze pro stavební účely vznikla již s rozvojem počítačů v sedmdesátých létech minulého století, kdy tuto myšlenku formuloval poprvé Charles M. Eastman, a to v roce 1974. Uvědomoval si, že klasická forma rýsování bez informační databáze elementů není vhodná pro přípravnou část stavby ani pro provozní část. Eastman hovoří o nevhodnosti klasických 2D výkresů, neboť často obsahují redundantní informace (k popisu stavby je potřeba několika výkresů, aby bylo možné si utvořit správnou a reálnou představu o objektu, přičemž výkresy často obsahují tytéž informace). Některé informace navíc mohou chybět. Stejně tak je problematická úprava těchto informací, protože musí být provedena na každém jednotlivém výkresu, který nám dává ve výsledku podobu stavby. Všemu zmíněnému se zle vyhnout pomocí 3D modelování s informační databází. Eastman tyto způsoby projektování nazval Building Description Systém (BDS), dnes známý jako BIM. (Eastman, 1974)

2.3.2 BIM v Česku

V současné době probíhá ve společnosti *4. průmyslové revoluce* (tzv. Průmysl 4.0), neboli nové období změn v průmyslu napříč všemi odvětvími v podobě zejména autonomních strojů. Tyto změny jsou přijímány jako vidina konkurenceschopnosti řady států, a tak se průmysl 4.0 dostává do národních programů. V rámci této revoluce vzniká stavařské odvětví Stavebnictví 4.0, což přináší změny a nové způsoby do stavebnictví obecně. Konkrétně můžeme hovořit o digitalizaci stavebnictví. Digitalizaci stavebnictví můžeme vnímat jako integraci moderních technologií do stavebnictví, které se odráží ve všech životních fázích budovy, zejména pak v plánovací a provozní fázi. Významným prvkem, jenž hraje důležitou roli v průmyslu 4.0 je právě informační model budovy (BIM), který přináší řadu revolučních změn. (Fibiger, 2017)



Obr. 1 Přehled průmyslových revolucí: první – mechanizace, vodní a parní energie; druhá – masová produkce, výrobní linky, elektrifikace; třetí – výpočetní technika, automatizace; čtvrtá – kyberneticko-fyzikální systémy (Roser, 2018)

Ke změnám (v plánovací fázi) patří zejména značná odlišnost v projekčních postupech oproti minulosti. Nyní se BIM v Česku pomalu dostává do projekčních ateliérů, často se značným odporem, neboť přechod od klasického rýsování na BIM není jednoduchý. Co se týká softwarového ovládání, není změna jednoduchá díky nepříliš, na první pohled, uživatelsky přívětivým programům pro vytváření technické dokumentace. Mezi nejvýznamnější nástroje pro modelaci a tvorbu výkresové dokumentace (nejsou uvažovány doplňkové softwary na práci s již hotovými BIM modely) patří Revit od společnosti Autodesk a ArchiCAD od společnosti Graphisoft. (Best 20 Building Information Modeling (BIM) Software in 2018, b.r.)

V Česku je přechod na modelaci pomocí BIM iniciován také českou vládou, která zavádí *Koncepci zavádění BIM v ČR*, jenž byla schválena vládou (2017). Tato koncepce obsahuje plán postupného zavádění BIM v Česku, přičemž klíčovým se zdá být rok 2022, kdy na všechny veřejné nadlimitní zakázky financované z veřejného rozpočtu měl být použit BIM. (Koncepce zavádění metody BIM v ČR schválena vládou, 2018) V roce 2018 se hodnota nadlimitní veřejné zakázky na stavební práce rovnala 149 224 000 Kč. (Nové finanční limity u veřejných zakázek, 2017) Z toho vyplývá značný příslib BIM do budoucna, kdy bude pravděpodobně nevyhnutelným nástrojem pro modelaci budov.

2.4 Energetické úspory při návrhu ventilace

V současné době energetických restrikcí je spotřeba energií a jejích snižování významným tématem. V Česku je omezení spotřeby energií u novostaveb zajištěno průkazem energetické náročnosti budovy (PENB), který do jisté míry zaručuje jistou úroveň energetické náročnosti. V rámci PENB jsou energeticky hodnoceny následující spotřeby:

- Vytápění
- Chlazení
- Větrání
- Úprava vlhkosti
- Ohřev teplé vody
- Osvětlení

Jedním z řešených kritérií je větrání, které ovlivňuje výsledné hodnocení budovy na stupnici A až G. Výsledkem je snaha o dosažení úsporných staveb s nízkou ene

Energetickou náročnost větrání způsobují zejména ventilátory, jakožto pohonné jednotky ventilačních systému. Jejich vhodným návrhem, který je podmíněn několika faktory, lze dosáhnout snížení spotřeby energie na provoz objektu a tím i snížení nákladů provozovatele v provozní fázi stavby.

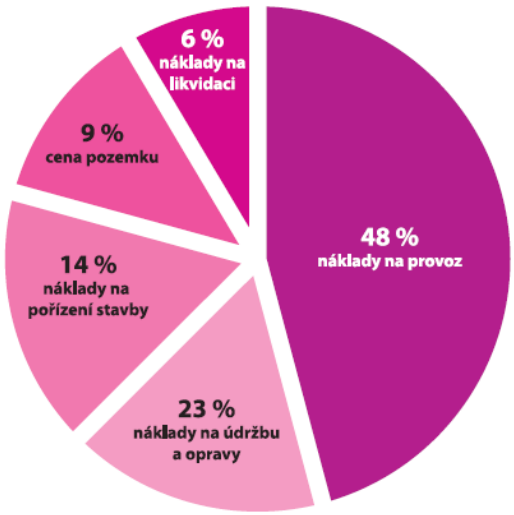
2.5 Finanční úspory při návrhu ventilace

Vhodný návrh vzduchotechniky v objektu není klíčovým pouze pro celkovou funkčnost systému a budovy. Investicí do kvalitního návrhu v plánovací fázi je možno odstranit značnou část nákladů. Nejedná se o náklady pořizovací (v realizační fázi stavby), avšak o náklady v průběhu životnosti stavby, které jsou nezanedbatelné.

Evropská unie bojuje s uhlíkovými emisemi prostřednictvím Kyotského protokolu, který podepsalo i Česko. V rámci tohoto protokolu a jeho plnění prostřednictvím nařízení evropské komise 640/2009 je cílem snížit emise skleníkových plynů vyjádřených v množství oxidu uhličitého do roku 2020 o 20 % oproti hodnotám oxidu uhličitého

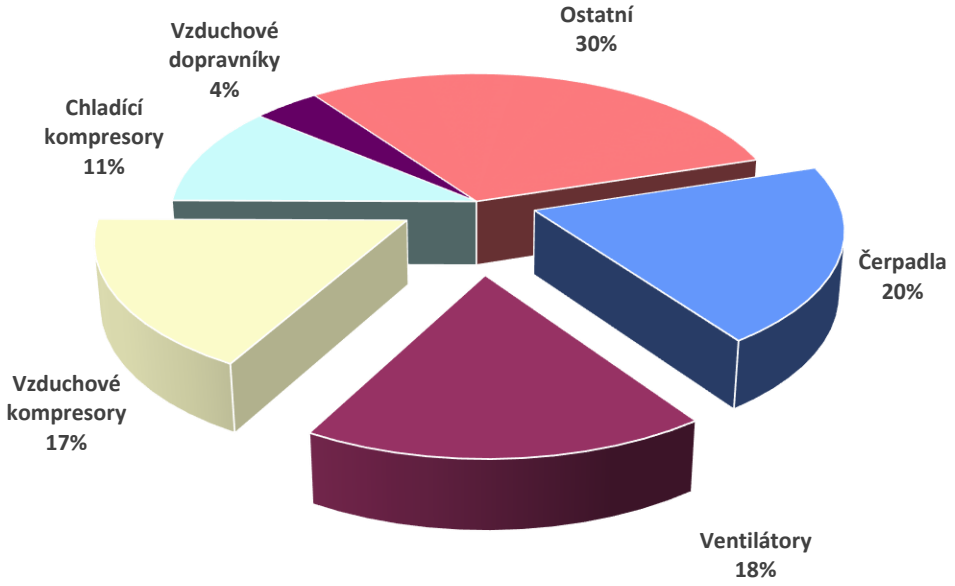
z roku 1990. (Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu, ©2008-2018) Do tohoto snížení emisí jsou začleněny i veškeré ventilátory (s drobnými výjimkami, např. kromě ventilátorů pracujících v teplotách nad 400 °C apod.) s příkonem od 125 W do 500 kW. (Commission regulation (EU) No 327/2001, b.r.)

Obecně provozní fáze v životním cyklu objektu je fází nejnákladnější. Což představuje celkovou sumu vynaloženou na správu budovy během této fáze. Celkové náklady na provozní fázi představují přibližně tři čtvrtiny celkových výdajů během celého životního cyklu budovy. Tato hodnota představuje náklady na provoz a náklady na údržbu a opravy. Samotné náklady na provoz budovy (kam spadají i náklady na provoz vzduchotechnických jednotek) tvoří přibližně polovinu z celkových nákladů na životní cyklus objektu. (Beránková, 2013)



Obr. 2 Podíl dílčích nákladů životního cyklu budovy (Beránková, 2013)

Náklady na provoz ventilátorů jsou relativně vysoké kvůli vysoké spotřebě elektrické energie. V roce 2000 tvořila spotřeba elektrické energie pohonu ventilátorů 18 % celkové spotřebované energie na pohon vzduchových systémů v EU (ostatními porovnávanými prvky poháněnými motory byly vzdušné kompresory, čerpadla, chladící kompresory, vzduchové dopravníky a ostatní) (Radgen, 2001).



Obr. 3 Spotřeba elektrické energie pohonných motorů podle vzduchotechnického zařazení, (Radgen, 2001), (přeloženo)

Zejména v zemích chladnějšího podnebného pásu, kde zimní období často trvá třetinu roku, jsou náklady významně vyšší než ke průměr. V porovnání s celkovou spotřebou elektrické energie v typické skandinávské administrativní budově, je spotřeba na ventilátory téměř pětinová. (Schild, 2014)

3 CÍLE PRÁCE

Práce si bere za cíl usnadnit a zefektivnit projekční činnost jak vzhledem k projektantovi, tak vzhledem ke společnosti tak, aby výsledný návrh respektoval požadavky na užitnost výsledného návrhu a aby výsledné řešení bylo efektivní a environmentálně blízké. Jinými slovy se práce snaží o využití moderních technologií v projekci pro návrh budov a jejich vnitřních systémů příznivých pro jejich uživatele a zároveň dostatečně efektivních, aby návrh byl schopný zredukovat náklady na provozní část budovy a tím zmírnil dopad na životní prostředí v podobě menších energetických, materiálových i finančních nákladů.

Vše zmíněné tato práce vysvětluje a řeší na odvětví vzduchotechniky. Zde práce zefektivňuje návrh potrubních systémů v budovách pomocí doplňku pro BIM modelování v aplikaci Revit. Konkrétně se jedná o výpočet tlakových ztrát na potrubí ze základních geometrických rozměrů jednotlivých tvarovek prostřednictvím zjednodušených vztahů pro výpočet místních tlakových ztrát. Pomocí Revitu lze nyní tlakové ztráty počítat automaticky, avšak značně nepřesně (místní tlaková ztráta je značně nepřesná). Práce řeší tento problém prostřednictvím výpočetní aplikace.

Software Revit byl vybrán z důvodu jeho komplexnosti, široké uživatelské základně, jeho hodnotou jakožto BIM softwaru v rámci mezinárodních benchmarků a také pro jeho vlastnost analýzy tlakových ztrát v potrubí.

Konkrétním výstupem práce je pak porovnání klíčových hodnot pro výpočet tlakových ztrát z různých zdrojů literatury a jejich zakomponování do aplikace, externě přistupující do programu Revit. Tato aplikace je přílohou diplomové práce a slouží jako ukázka možnosti aplikovat výpočetní technologie v projekční praxi.

Současně práce přistupuje k otázce zefektivňování projekční práce a zejména zpřesňování matematických úloh. Cílem je najít optimální řešení pro výpočet tlakových ztrát na potrubní síti v programu Revit.

4 METODY ZPRACOVÁNÍ

4.1 Sběr dat

Metodou pro stanovení validních koeficientů místních tlakových ztrát je sběr dat z již publikovaných prací a případná CFD analýza chybějících prvků. Jedná se o sběr dat z technické literatury, národního standardu a vědeckých článků, ale také z formulářů webových stránek a obecně literatury, jenž je běžně využívána v praxi. Záměrně je vybraná literatura (nebo zmíněna; viz Idelchik, zmínka v kap. 6). Konkrétně se jedná o následující prameny:

- *Principles of HVAC*, což je dokument ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) (Howell, 2005),
- internetový portál *TZB-Info*, vedený jako portál s články pro odbornou veřejnost se zaměřením na technická zařízení budov,
- kniha *Větrání a Klimatizace* jakožto Technický průvodce, jejíž první vydání vzniklo již v první polovině minulého století (Chyský, 1993),
- internetový portál *qpro*, soukromý portál TZB projekce, na jejíž stránkách se nachází hojně projektanty využívaný formulář pro stanovení součinitelů tlakových ztrát a
- vědecký článek *Stanovení součinitelů místních ztrát* z dílny Českého vysokého učení technického v Praze (Schwarzer, 2010).

Srovnáním tabelárních hodnot je dosaženo vizuálního zhodnocení odchylek hodnot z jednotlivých zdrojů. Tyto hodnoty jsou ještě porovnány s vyčíslenými vztahy, které aproximačně vyjadřují závislost koeficientu tlakových ztrát na základní geometrii potrubní tvarovky. Zmíněné porovnání proběhne tabelárně na elementárních tvarovkách, kterými jsou oblouk hladký kulatý a oblouk hladký s obdélníkovým profilem.

4.2 Průzkum možností využití aplikace Revit pro účely výpočtu tlakových ztrát na potrubí

Pro využití moderních BIM technologií v projekci je jedním z lídrů software Revit od společnosti Autodesk. Tento software je podroben možnostmi zabývat se tlakovými ztrátami na potrubní síti a následnými závěry obecnými, i závěry pro českou projekční komunitu.

Aplikace je zkoumána z pohledu projektanta, tedy jak dokáže plnit nároky projekce, jak je uživatelsky přístupná a zdali je použitelná pro český trh, popřípadě jaké změny by mohly být vhodné pro plnohodnotné využití v praxi.

4.3 Tvorba Add-In dopňku do aplikace Revit

V závěru bude vytvořen program, který bude externími příkazy přistupovat do aplikace Revit a pokusí se odstranit některé nedostatky současného stavu. Konkrétně se jedná o skript na automatizované rozpoznání typu potrubní tvarovky a přidělení konkrétní hodnoty koeficientu tlakových ztrát z hodnot z textového souboru.

Součástí je také ponechání fungujících nativních výpočtů tlakových ztrát třením po délce v potrubí a jejich sloučení s novými hodnotami tlakových ztrát dané tvarovky pro dosažení výsledné sumy celkové tlakové ztráty na větvi (resp. výběru).

Aplikace je programována v developerském rozhraní Microsoft Visual Basic, konkrétně programovacím jazykem C#. Program přistupuje k Revitu externě ve formě doplňku tzv. Add-In. Aplikace je koncipována jako ukázka možnosti využití základních programovacích schopností k dosažení automatizace inženýrských úloh v praxi, nikoli jako kompletní plnohodnotná aplikace.

5 TEORETICKÝ ZÁKLAD

5.1 Proudění vzduchu

Vzduch je pro projekční účely považován za nestlačitelnou viskózní kapalinu. Rychlost proudění v profilu potrubí je nerovnoměrná, přičemž spojitě roste od stěny potrubí směrem k jeho ose, kde je rychlost maximální. Proudění si můžeme rozdělit na množství jednotlivých vrstev, které proudí daným směrem. Mezi těmito vrstvami pak vzniká třecí síla, což je způsobeno viskozitou vzduchu. (Chyský, 1993)

V závislosti na rychlosti proudícího vzduchu, jeho viskozitě a typu (průměru) potrubí, můžeme proudění rozdělit na laminární, nebo turbulentní. Tento jev popisuje Reynoldsovo číslo. Reynoldsovo číslo je bezrozměrné číslo, které udává typ proudění tekutiny laminární, přechodné nebo turbulentní, přičemž v potrubí se na rovných úsecích setkáváme s prouděním laminárním, avšak v úsecích se změnou směru trasy nebo díky armaturám se proudění často mění na turbulentní. Výpočet Reynoldsova čísla je následující:

$$Re = \frac{wd}{\nu}, \qquad [1]$$

kde w je rychlost proudění vzduchu, d je průměr potrubí a ν je kinematická viskozita tekutiny.

Limitní hodnoty Reynoldosva čísla pro laminární, přechodové nebo turbulentní proudění závisí na tvaru potrubí a stavu proudící tekutiny. (Vlček, 2014) Přesto lze uvažovat, že laminární proudění nastává přibližně při hodnotě Reynoldsova čísla Re < 2300. Hodnoty větší než 2300 přísluší přechodnému a následně turbulentnímu proudění. (Chyský, 1993) Hodnoty limitního Reynoldsova čísla se napříč literaturami rozcházejí, jedná se tedy o přibližnou hodnotu. Například Vlček (2014) udává limitní hodnotu Re = 2000.

5.1.1 Laminární proudění

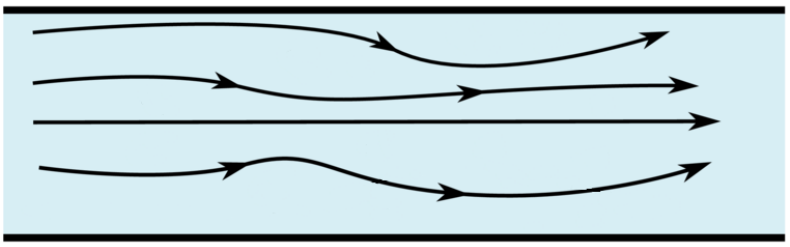
Laminární proudění představuje tekutinu, kterou lze rozdělit na jednotlivé vrstvičky, které se pohybují rovnoběžně ve směru proudění a vzájemně se nemísí. Částice

proudění nemění svoji vzájemnou polohu. (Vlček, 2014) Tento jev doprovází nejmenší tlakové ztráty a je tedy energeticky velmi výhodný, proto se s ním můžeme setkat často v přírodě, například v krevních cévách organismů. Nastává při hodnotě Reynoldsova čísla přibližně Re < 2300. (Chyský, 1993)

Obr. 4 Laminární proudění (Laminar vs. Turbulent Flow, b.r.)

5.1.2 Přechodové proudění

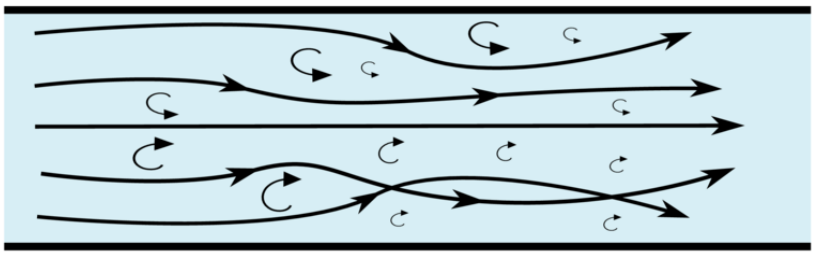
Přechodové proudění vzniká na hranici mezi laminárním a turbulentním prouděním. Jednotlivé vrstvičky si zachovávají svoji kontinuitu, avšak již se nepohybují rovnoběžně se směrem proudění. (Bernard, 2014)



Obr. 5 Přechodové proudění (Laminar vs. Turbulent Flow, b.r.), (upraveno)

5.1.3 Turbulentní proudění

Turbulentní proudění nastává po přechodovém proudění. Mezi jednotlivými vrstvičkami tekutiny vzniká smykové tření a tekutina se začíná promíchávat, přičemž vzniká víření tekutiny. Pro tento typ proudění jsou charakteristické větší tlakové ztráty díky pulzaci tlaku. (Vlček, 2014)



Obr. 6 Turbulentní proudění (Laminar vs. Turbulent Flow, b.r.)

5.2 Faktory ovlivňující návrh ventilační jednotky

Náklady na provoz ventilačního systému obecně určuje jeho účinnost. Pro optimalizovaný návrh ventilátoru, je tedy potřeba tuto účinnost znát. Čím vyšší účinnost, tím menší jsou energetické ztráty. Účinnost ventilátoru lze vypočítat z rovnice

$$\eta_{tot} = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \eta_{vsd} \cdot \eta_{motor} \cdot \eta_{transf} \cdot \eta_{fan}, \qquad [2]$$

kde η_{vsd} je účinnost pohonu s proměnnými otáčkami (ventilátor reaguje na aktuální změny v objemovém průtoku vzduchu a tím přizpůsobuje otáčky), η_{motor} je účinnost motoru $\eta_{transfer}$ je účinnost přenosu energie prostřednictvím řemenů, ložisek apod., η_{fan} je aerodynamická účinnost ventilátoru. Dále P_{out} je užitný výkon ventilátoru a P_{in} je příkon odebíraný systémem z elektrické sítě. Z toho

$$P_{out} = \Delta p_{tot} \cdot q, \qquad [3]$$

kde Δp_{tot} je dopravní tlak ventilátoru [Pa] a q je objemový průtok vzduchu [m^3/s].

Účinnost celého ventilačního systému je vztažena k danému pracovnímu bodu, tzn. účinnost se v různých časech mění na základě množství proudícího vzduchu a odebírané elektrické energie. V projekční praxi je hodnotnou informací tlaková ztráta potrubí, a to pro návrh vzduchotechnického ventilátoru. Tento příkon, nazývaný také jako *měrný příkon ventilátoru* (SFP) je směrodatnou hodnotou pro návrh pracovního bodu ventilátoru, tedy i pro návrh ventilátoru jako takového. Z příkonu ventilátoru lze zjistit jeho dopravní tlak. (Schild, 2014)

$$SFP = \frac{\sum P}{q_v}, \qquad [4]$$

kde $\sum P$ je součet příkonů všech ventilátorů a q_v je celkový objemový průtok vzduchu.

$$[SFP] = \frac{kW}{\frac{m^3}{s}} = \frac{W}{\frac{l}{s}} = \frac{kJ}{m^3} = \frac{kN}{m^2} = kPa \qquad [5]$$

Návrh ventilátoru je komplexní záležitostí, kterou, jak vidno z výše uvedeného, ovlivňuje více dílčích faktorů spojené s ventilátorem, které lze ovlivnit ze strany projektanta. Kromě samotného ventilátoru, který je ovlivněn účinností svých dílčích pohonných prvků, patří mezi další vlivy výběr vhodného typu ventilátoru a rozměry ventilátoru (aktivní části). Faktory, které ovlivní návrh ventilátoru, avšak nejsou přímo spojeny s ventilátorem jako zařízením, jsou vlastnosti ventilačního systému, zejména pak tlakové ztráty na systému. Tyto ztráty způsobují vzduchotechnická zařízení a jednotlivé tvarovky na potrubní větvi, které vytváří tlakové ztráty *místní* a *třením po délce* potrubí. (Schild, 2014) (Schild, 2014)

5.2.1 Typ ventilátoru

Rozlišujeme čtyři typy ventilátorů:

- radiální,
- axiální,
- diagonální,
- tangenciální.

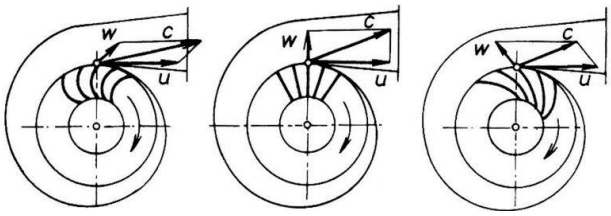
Každý z těchto typů má jinou účinnost.

5.2.1.1 Radiální ventilátory

Radiální ventilátory vypouští vzduch kolmo k ose otáčení lopatkového kola, odkud je otáčením kola vzduch odstředivě vysílán k okraji válcovité komory a následně ven přes výtlačné hrdlo. Lopatky mohou být zahnuté dopředu ve směru otáčení kola nebo dozadu nebo mohou být rovné, kolmé k ose otáčení kola viz Obr. 1. Dopředu zahnuté lopatky dávají malý dopravní tlak a velkou rychlost proudění na výstupu z ventilátoru. Naopak u dozadu zahnutých lopatek je výsledkem nízká rychlost proudění a vysoký dopravní tlak. Ventilátory s dozadu zahnutými lopatkami jsou energeticky nejúčinnější z řad radiálních ventilátorů. (Schild, 2014)

Radiální ventilátory jsou také nejběžnější používané ventilátory. Jejich zastoupení na trhu Evropské unie tvoří 49 % všech ventilátorů (studie z roku 2000). Na druhém místě jsou axiální ventilátory s 21 %. (Radgen, 2001)

Obr. 7 Radiální ventilátor (RADIÁLNÍ VENTILÁTOR S VNĚJŠÍM ROTOREM, b.r.)



Obr. 8 Typy radiálních ventilátorů podle zakřivení lopatek (dopředu zakřivené, dozadu zakřivené, rovné), (Schéma lopatek a rychlosti vzduchu u radiálního ventilátoru, b.r.)

5.2.1.2 Axiální ventilátory

Axiální ventilátory přivádí a vypouští vzduch rovnoběžně s osou rotace lopatkového kola. Tyto ventilátory jsou nejvhodnější pro případy, kde se nenachází vysoké tlakové ztráty, ale je potřeba značné objemové množství proudícího vzduchu. (Schild, 2014)

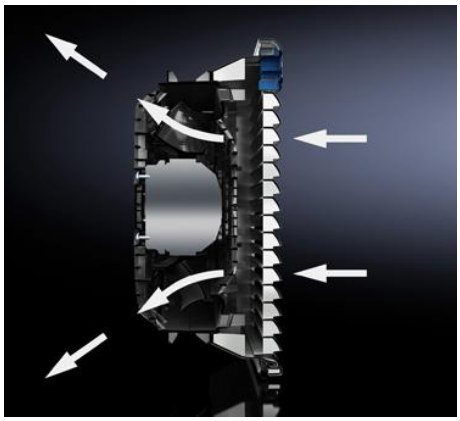
Obr. 9 Axiální ventilátor (Axiální ventilátor, b.r.)

Axiální ventilátory nacházejí často využití zejména v průmyslových a zemědělských prostorách.

5.2.1.3 Diagonální ventilátory

Diagonální ventilátory jsou relativně novým druhem ventilátorů. Kombinují v sobě to nejlepší z obou předchozích typů ventilátorů, vysoký dopravní tlak a velké množství dopravovaného vzduchu. Jedná se o přechod mezi radiálním a axiálním typem.

Nasávání vzduchu do ventilátoru je ve směru stejném jako osa otáčení kola s lopatkami. Výtlak vzduchu je však ve směru menším než 90° od směru nasávaného vzduchu. (Schild, 2014)



Obr. 10 Diagonální ventilátor-průběh proudění (Ventilátor s diagonální technologií, b.r.)

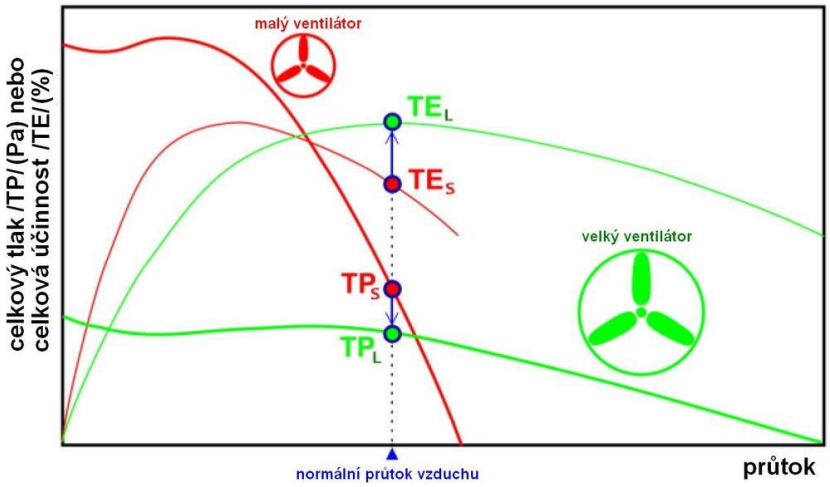
Diagonální ventilátory jsou často optimálním řešením pro návrh vzduchotechniky, ačkoli jejich energetická účinnost se nevyrovná účinnosti radiálním ventilátorům s dozadu zahnutými lopatkami. (Schild, 2014)

5.2.2 Specifikace ventilátoru

K dalšímu významnému faktoru, který ovlivňuje účinnost je specifikace rotační části ventilátoru. Jedná se zejména o lopatky, kdy jejich materiál nebo tvar může mít značný vliv. Dalším významným atributem je rozměr neboli průměr rotační části.

Velikost ventilátoru je nezanedbatelnou součástí návrhu vzduchotechnického systému. Cílem návrhu by měla být situace, kdy ventilátor distribuuje nejčastěji se

vyskytující průtok vzduchu (tento průtok vzduchu je charakterizován jako dopravní tlak, potřebný k distribuci vzduchu s překonáním tlakových ztrát) při jeho nejvyšší možné účinnosti. Podle toho je nutné zvolit velikost ventilátoru s příhodnou charakteristickou křivkou. Na obrázku Obr 9. můžeme vidět porovnání dvou charakteristických křivek ventilátorů s různými diametry, přičemž každá z křivek má vrchol své účinnosti při jiném objemovém průtoku vzduchu.



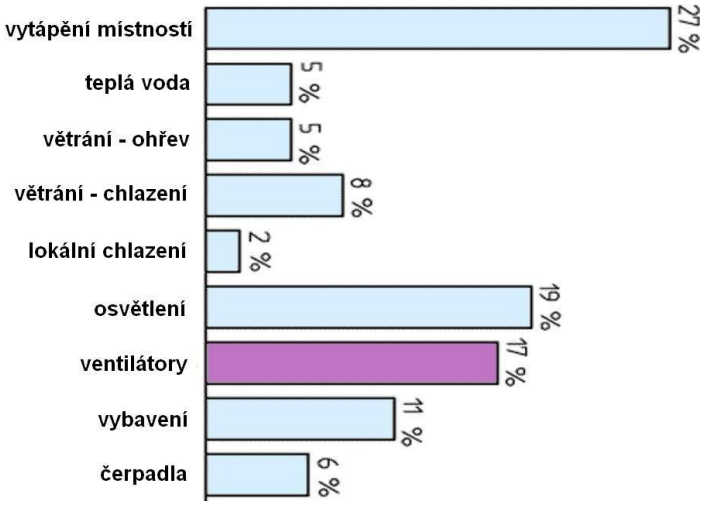
Obr. 11 Nejvyšší účinnost ventilátoru při normálním průtoku vzduchu (Schild, 2014)

V praxi jsou ventilátory běžně navrhovány účinností na nejvyšší možný průtok vzduchu, čímž je značně předimenzován často. To může mít za následek zvýšenou hlučnost ventilátoru při nízkých průtocích vzduchu. Tento typ hluku je pak špatné a nákladné eliminovat. Při nastavení nejvyšší účinnosti na nejběžnější průtoky může ventilátor způsobovat hluk při vyšších průtocích s nižší účinností. Tento hluk je však snadněji ovlivnitelný. (Schild, 2014)

5.2.3 Tlakové ztráty

Tlakové ztráty na vzduchotechnickém potrubí jsou nejvýznamnějším faktorem, ovlivňujícím návrh ventilátoru. Tlakové ztráty mohou být rozděleny do více kategorií: tlakové ztráty vzduchotechnických armatur, tlakové ztráty tvarovek potrubí a tlakové ztráty třením po délce.

Návrhem potrubní větve dimenzujeme ventilátor o takovém výkonu, aby dokázal distribuovat vzduch do všech místností na dané potrubní větvi, přičemž jeho výkon musí být dostatečný, aby dokázal překonat tlakové ztráty vytvářené v potrubní síti. Tyto ztráty jsou součtem ztát třením po délce a místních ztrát jednotlivých tvarovek.



Obr. 12 Podíl ventilátorů na celkové provozní spotřebě elektrické energie v typické budově ve Skandinávii (Schild, 2014)

Náklady na provoz ventilátorů jsou tedy nezanedbatelné v porovnání s celkovými provozními náklady budovy. Potenciál pro zlepšení situace je značný. Potenciál pro zlepšení efektivity celkového vzduchotechnického systému je větší než potenciál pro zlepšení efektivity samotného ventilátoru. Podle Radgena v roce 2000 byl potenciál energetických úspor samotného ventilátoru mez 3,5 a 8,3 % v závislosti na typu výrobního sektoru. Na druhé straně možnostmi zahrnujícími optimalizaci vzduchotechnického systému lze uspořit 17,5 % elektrické energie. (Radgen, 2001)

Tab. 1 Potenciál úspory elektrické energie ventilátorů a ventilačních systémů v EU (Radgen, 2001), (přeloženo)

	Faktor zvýšení efektivity (ventilátory)	**Faktor průniku na trh (MPF)**	**Potenciální úspory (ventilátory)**	**Řídící možnosti (včetně optimalizace)**	**Úspory celkem**
Průmysl					
Železo a ocel	15 %	55 %	8,3 %	17,5 %	24,3 %
Barevné kovy	10 %	35 %	3,5 %	17,5 %	20,4 %
Chemický	10 %	40 %	4,0 %	17,5 %	20,8 %
Sklo, keramika a stavební materiál	13 %	50 %	6,5 %	17,5 %	22,9 %
Důlní	10 %	30 %	3,0 %	17,5 %	20,0 %
Potraviny, nápoje, tabák	15 %	40 %	6,0 %	17,5 %	22,5 %
Textil, oblečení, kůže	10 %	45 %	4,5 %	17,5 %	21,3 %
Papírnictví a tisk	10 %	40 %	4,0 %	17,5 %	20,8 %
Strojírenství a další kovová výroba	15 %	35 %	5,3 %	17,5 %	21,9 %
Ostatní	15 %	40 %	6,0 %	17,5 %	20,4 %
Doprava	10 %	35 %	3,5 %	17,5 %	20,4 %
Terciální sektor					
Služby	15 %	40 %	6,0 %	17,5 %	22,5 %
Domácnosti	15 %	30 %	4,5 %	17,5 %	21,3 %
Zemědělství	10 %	45 %	4,5 %	17,5 %	21,3 %

5.3 Tlakové ztráty

Při pohybu částic vzduchu vzduchovody se část jejich energie mění na teplo, jakožto důsledek tření. To se projeví jako pokles statického tlaku.

5.3.1 Tlakové ztráty třením po délce

Tlakové ztráty třením po délce vznikají třením jednotlivých vrstev vzduchu o stěny vzduchotechnického potrubí. Tím vzniká nerovnoměrný rychlostní profil, přičemž rychlost na stěnách potrubí je nulová a rychlost v ose potrubí je maximální.

Tlakové ztráty třením na přímém úseku lze spočítat pomocí Darcy-Weisbachovy rovnice. Rovnice vychází z Bernoulliho rovnice, přičemž jsou zohledněny třecí síly působící proti směru proudícího vzduchu.

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l}{D} \cdot \frac{\rho w^2}{2}, \qquad [6]$$

kde λ je součinitel ztráty třením, l je délka přímého úseku potrubí, D je hydraulický průměr potrubí, ρ je objemová hmotnost vzduchu, w je rychlost proudícího vzduchu.

Součinitel ztráty třením λ je klíčovým prvkem celého výpočtu. Jedná se o součinitel, závislý na drsnosti potrubí, jehož hodnoty jsou proměnné a jsou obtížně vypočitatelné. Současně se liší výpočty λ pro laminární a turbulentní proudění, přičemž pro laminární proudění lze použít vztah

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \qquad [7]$$

Pro turbulentní a přechodové proudění je nejčastěji využívána Colebrookova-Whitova rovnice, která je kombinací rovnice pro výpočet součinitele tlakové ztráty třením λ v hladkém potrubí

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2\log\left(Re\sqrt{\lambda}\right) - 0{,}08 \qquad [8]$$

a rovnice pro výpočet v drsném potrubí

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1{,}14 - 2\log(\varepsilon), \qquad [9]$$

přičemž implicitně vyjadřuje λ následovně:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{2{,}51}{Re\sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3{,}7\,D}\right), \qquad [10]$$

kde ε je absolutní drsnost potrubí, D je průměr potrubí a Re je Reynoldsovo číslo. (Genić, 2011)

Součinitel λ lze explicitně dostat pomocí numerických aproximací Colebrookovy rovnice. Existuje celá řada těchto aproximací. Můžeme zmínit například aproximace od autorů Moody, Altshul, Tsal, Haaland nebo Brkić. Často používaná (v BIM softwaru Revit jsou zastoupeny právě tyto rovnice včetně Colebrookovy-Whitovy rovnice) je Altshusova-Tsalova rovnice (Genić, 2011)

$$\lambda = 0{,}11\left(\frac{68}{Re} + \varepsilon\right)^{0{,}25} \qquad [11]$$

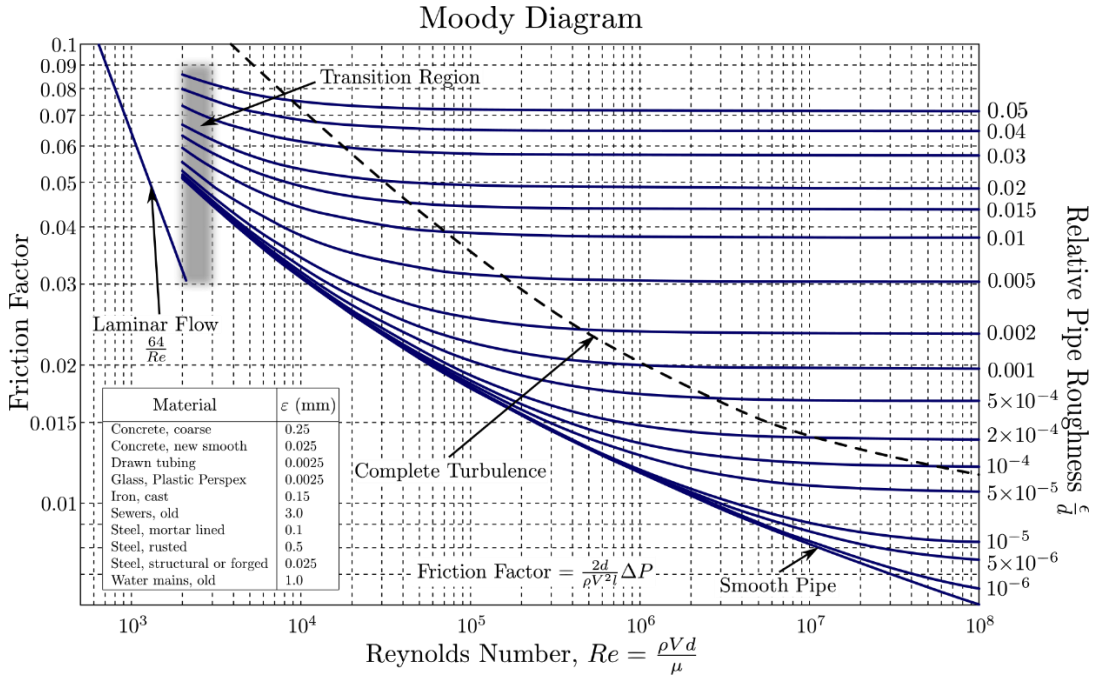
a Haalandova rovnice (Genić, 2011)

$$\lambda = \left\{-1{,}8\log\left[\left(\frac{\varepsilon}{3{,}7}\right)^{1{,}11} + \frac{6{,}9}{Re}\right]\right\}^{-2}. \qquad [12]$$

Z výše uvedeného je patrné, že součinitel tlakových ztrát třením λ je závislý na absolutní drsnosti potrubí ε a Reynoldsově čísle Re

$$\lambda = f(Re, \varepsilon). \qquad [13]$$

Pro praktické účely byl sestaven diagram, který právě tuto závislost zachycuje. Diagram se nazývá Moodyho diagram, Obr. 13. V tomto zobrazení je vykreslen průběh součinitele tlakových ztrát třením i v hodnotách Reynoldsova čísla odpovídajících laminárnímu proudění, můžeme si tedy všimnout, že v této oblasti (Re < 2000) je průběh odlišný (graficky by se mohlo zdát, že se jedná o lineární funkci, ovšem jedná se o část hyperboly). Na vodorovné ose se nachází Reynoldsovo číslo, na vedlejší svislé ose se nachází relativní drsnost potrubí vyjádřená jako podíl absolutní drsnosti potrubí ε ku vnitřnímu průměru potrubí d a na hlavní svislé ose je vyobrazen součinitel tlakových ztrát třením po délce λ.



Obr. 13 Moodyho diagram

5.3.2 Tlakové ztráty místní

Místní tlakové ztráty vznikají lokálně v místech změn směru trajektorie potrubí nebo v místech umístění potrubních tvarovek. Tyto ztráty vycházejí na první pohled z jednoduchého vztahu, pro výpočet změny tlaku (Chyský, 1993)

$$\Delta p = \xi \rho \frac{w^2}{2}, \qquad [14]$$

kde ρ je hustota vzduchu, w je rychlost proudění a ξ je ztrátový součinitel. Tento součinitel však je těžko vyjádřitelný. Literatura jej vyjadřuje často tabelárně jako koeficienty na základě experimentálních zkoušek pro dané potrubní tvarovky. Tento způsob definování koeficientu je náročný vzhledem k počtu druhů tvarovek a jejich velikostním variacím. V praxi se často vychází z hodnot zjištěných před 40 a více léty, jedná se tedy o hodnoty často dost nepřesné, které se mohou ve více zdrojích lišit. (Schwarzer, 2010)

Možností, jak řešit místní tlakové ztráty exaktně, jsou laboratorní zkoušky měření tlakové ztráty daných tvarovek daných výrobců. Tento způsob je přesný, avšak v praxi náročný na zhotovení. Existuje mnoho druhů tvarovek o rozličných velikostech,

s různými tvarovými profily a od různých výrobců. Řešením může být využití analýzy CFD (Computational Fluid Dynamics), která využívá numerické metody Navier-Stokesových rovnic (FVM metoda konečných objemů) k řešení tlakových ztrát geometrických prvků s danými vstupními a okrajovými podmínkami. (Schwarzer, 2010) Tato metoda (CFD) je také využívána při vytváření nových vzduchotechnických zařízení ve výrobě pro zdokumentování tlakových ztrát daného prvku (například konkrétní větrací mřížky).

Z analýzy CFD můžeme získat pro daný potrubní prvek hodnotu klíčového součinitele místních tlakových ztrát ξ. Při vstupní tlakové hodnotě do analyzovaného prvku p_{in} a výstupní vypočtené hodnotě p_{out} je tlaková ztráta rovna rozdílu těchto hodnot

$$\Delta p = p_{in} - p_{out}. \qquad [15]$$

Vyjádřením ξ ze vztahu [14] dostaneme

$$\xi = \frac{2\Delta p}{\rho w^2} \qquad [16]$$

Následným dosazením rovnice [15] do rovnice [16] dostáváme

$$\xi = \frac{2(p_{in} - p_{out})}{\rho w^2}, \qquad [17]$$

což je hledaný koeficient místních tlakových ztrát pro daný analyzovaný prvek, popřípadě úsek.

6 ŘEŠENÍ

6.1 Hodnoty místních tlakových ztrát

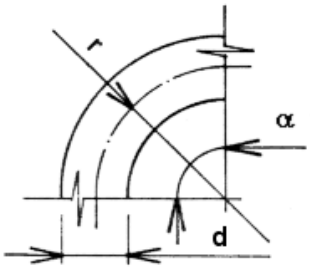
6.1.1 Tabelární hodnoty

Hodnoty koeficientů jsou zjišťovány laboratorně, pomocí CFD analýz, jejichž výsledky jsou pro projekční účely často transformovány do obecných vztahů pro obecné tvarovky, vycházejících ze základních geometrických rozměrů tvarovek. Kromě výpočetních vztahů koeficientů místních tlakových ztrát jsou často prezentovány tabelární hodnoty součinitelů pro dané tvarovky daných geometrických vlastností. Tyto hodnoty se však napříč literaturami více či méně liší, což může způsobovat značné nepřesnosti ve výpočtech v závislosti na druhu zdroje, ze kterého projektant vychází. Zdroje často zmiňují odlišné parametry geometrie tvarovek, z nichž vychází tabelární hodnoty součinitele, což často znemožňuje jejich porovnávání.

Pro názornost jsou níže uvedeny pouze základní vzduchotechnické tvarovky a jejich tabelární hodnoty součinitelů místních tlakových ztrát. Hodnoty jsou uvedeny ze tří zdrojů; americká literatura od ASHRAE (Howell, 2005), česká literatura Technický průvodce Větrání a klimatizace (Chyský, 1993) a odborný internetový portál pro stavebnictví a technické zařízení budov TZB-info. (Laboutka, ©2001-2019) U některých vybraných prvků je doplněn ještě čtvrtý zdroj; internetový portál *qpro*, který je hojně využíván projektanty právě díky snadnému dohledání koeficientů místních tlakových ztrát rozličných potrubních prvků.

Americká literatura od ASHRAE často vychází v hodnotách koeficientů z ruské literatury z 60. let 20. století, jejímž autorem byl I. E. Idelchik. (Idelchik, 1960)

Oblouk 90° kruhový průřez

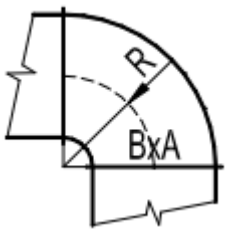


Obr. 14 Oblouk 90° kruhový průřez

Tab. 2 Koeficient místních tlakových ztrát pro hladký kruhový oblouk 90°

Oblouk 90°-koeficient místních tlakových ztrát ξ								
R/d	**0,5**	**0,75**	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**	**4,0**
Principles of HVAC	0,71	0,33	0,22	0,15	0,13	0,12	-	-
TZB-info	-	-	0,40	0,30	-	-	0,20	0,15
Větrání a klimatizace[1]	-	-	0,21	0,26	0,30	0,39	0,33	0,42
qpro[2]	1,29	0,27	0,21	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16

Oblouk 90° obdélníkový průřez



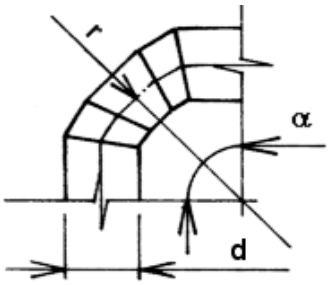
Obr. 15 Oblouk 90° obdélníkový průřez

[1] Hodnoty pocházejí z odvozených vztahů. V hodnotách nejsou zahrnuty ztráty třením.
[2] Hodnoty z portálu qpro byly získány interpolací hodnot největších možných rozměrů a nejmenších možných rozměrů tvarovek při zachování stejného poměru geometrie r/D. Bylo použito proudění o rychlosti 5 m / s.

Tab. 3 Koeficient místních tlakových ztrát pro hladký oblouk s obdélníkovým průřezem

Oblouk 90°-koeficient místních tlakových ztrát ξ					
R/B	**0,5**	**0,75**	**1,0**	**1,5**	**2,0**
Větrání a klimatizace[3]	0,15	0,18	0,21	0,26	0,30
qpro[4]	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14

Oblouk segmentový (5 segmentů)



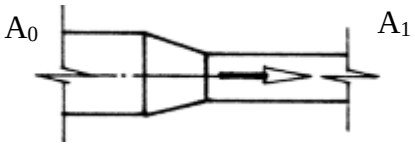
Obr. 16 Oblouk segmentový 90°

Tab. 4 Koeficient místních tlakových ztrát pro segmentový oblouk 90°

Oblouk 90° segmentový-koeficient místních tlakových ztrát ξ						
R/d	**0,75**	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**3,0**	**4,0**
Principles of HVAC	0,46	0,33	0,24	0,19	-	-
TZB-info	-	0,45	0,35	-	0,30	0,25
Větrání a klimatizace	0,42	0,34	0,25	0,2	0,15	0,12

[3] Hodnoty pocházejí z odvozených vztahů. V hodnotách nejsou zahrnuty ztráty třením.
[4] Pro tabelární hodnoty byly použity parametry průřezu A/B = 1 a rychlosti proudění = 5 m / s.

Redukce ve směru proudění vzduchu



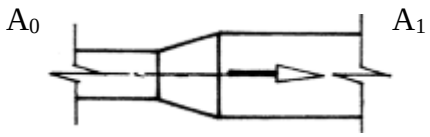
Obr. 17 Redukce ve směru proudění vzduchu

Tab. 5 Koeficient místních tlakových ztrát pro zúžení

Redukce ve směru proudění vzduchu-koeficient místních tlakových ztrát ξ									
	Úhel θ								
A_0/A_1	**10**	**15**	**20**	**30**	**45**	**60**	**90**	**120**	**150**
2	0,20[5] 1,50[6] 0,06[7]	0,20 1,50 0,05	0,20 1,50 0,05	0,20 1,50 0,05	0,22 1,50 0,05	0,24 1,50 0,05	0,48 1,50 0,05	0,72 1,50 0,05	0,96 1,50 0,05
4	0,80[2] 1,50[3] 0,07[4]	0,64 1,50 0,05	0,64 1,50 0,05	0,64 1,50 0,05	0,88 1,50 0,05	1,10 1,50 0,05	2,70 1,50 0,05	4,30 1,50 0,05	5,60 1,50 0,05
6	1,80[2] 1,50[3] 0,07[4]	1,40 1,50 0,05	1,40 1,50 0,05	1,40 1,50 0,05	2,00 1,50 0,05	2,50 1,50 0,05	6,50 1,50 0,05	10,00 1,50 0,05	13,00 1,50 0,05
10	5,00[2] 1,50[3] 0,08[4]	5,00 1,50 0,05	5,00 1,50 0,05	5,00 1,50 0,05	6,50 1,50 0,05	8,00 1,50 0,05	19,00 1,50 0,05	29,00 1,50 0,05	37,00 1,50 0,05

[5] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z literatury Principles of HVAC (Howell, 2005)
[6] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z webového portálu TZB-info (Laboutka, ©2001-2019)
[7] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z literatury Větrání a klimatizace (Chyský, 1993)

Rozšíření ve směru proudění vzduchu



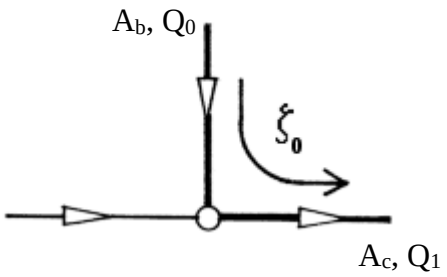
Obr. 18 Rozšíření ve směru proudění vzduchu

Tab. 6 Koeficient místních tlakových ztrát pro rozšíření

Redukce ve směru proudění vzduchu-koeficient místních tlakových ztrát ξ									
	Úhel θ								
A_0/A_1	**10**	**15**	**20**	**30**	**45**	**60**	**90**	**120**	**150**
0,06	0,21[8] 0,30[9] -[10]	0,29 0,30 0,43	0,38 0,30 0,59	0,60 0,30 0,89	0,84 0,30 -	0,88 0,30 -	0,88 0,30 -	0,88 0,30 -	0,88 0,30 -
0,1	0,21[5] 0,20[6] -[7]	0,28 0,20 0,40	0,38 0,20 0,54	0,59 0,20 0,82	0,76 0,20 -	0,80 0,20 -	0,83 0,20 -	0,84 0,20 -	0,83 0,20 -
0,25	0,16[5] 0,10[6] -[7]	0,22 0,10 0,28	0,30 0,10 0,38	0,46 0,10 0,57	0,61 0,10 -	0,68 0,10 -	0,64 0,10 -	0,63 0,10 -	0,62 0,10 -

[8] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z literatury Principles of HVAC (Howell, 2005)
[9] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z webového portálu TZB-info (Laboutka, ©2001-2019)
[10] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z literatury Větrání a klimatizace (Chyský, 1993)

T-kus proudění z odbočky do přímého směru



Obr. 19 T-kus sací typ, proudění z odbočky do přímého směru

Tab. 7 Koeficient místních tlakových ztrát pro T-kus sacího typu

T-kus ve směru proudění vzduchu-koeficient místních tlakových ztrát ξ							
	A_b/A_c						
Q_0/Q_1	**0,1**	**0,2**	**0,3**	**0,4**	**0,6**	**0,8**	**1,0**
0	-1,00[11] 1,50[12 13]	-1,00 1,50	-1,00 1,50	-0,90 1,50	-0,90 1,50	-0,90 1,50	-0,90 1,50
0,1	0,40[8] 1,50[9 10]	-0,37 1,50	-0,51 1,50	-0,46 1,50	-0,50 1,50	-0,51 1,50	-0,52 1,50
0,2	3,80[8] 1,50[9 10]	0,72 1,50	0,17 1,50	-0,02 1,50	-0,14 1,50	-0,18 1,50	-0,24 1,50
0,3	9,20[8] 1,50[9 10]	2,30 1,50	1,10 1,50	0,44 1,50	0,21 1,50	0,11 1,50	-0,08 1,50
0,4	16,00[8] 1,50[9 10]	4,30 1,50	2,10 1,50	0,94 1,50	0,54 1,50	0,40 1,50	0,32 1,50
0,5	26,00[8] 1,50[9 10]	6,80 1,50	3,20 1,50	1,10 1,50	0,66 1,50	0,49 1,50	0,42 1,50

[11] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z literatury Principles of HVAC (Howell, 2005)
[12] Hodnoty v daném řádku jsou převzaty z webového portálu TZB-info (Laboutka, ©2001-2019)
[13] Na portálu TZB-info se nachází i podrobnější koeficienty, vycházející z geometrie T-kusu, ovšem geometrické parametry, ze kterých vychází jsou neporovnatelné s parametry v ostatní literatuře, proto jsou zde uvedeny hodnoty ze strohého přehledu koeficientů.

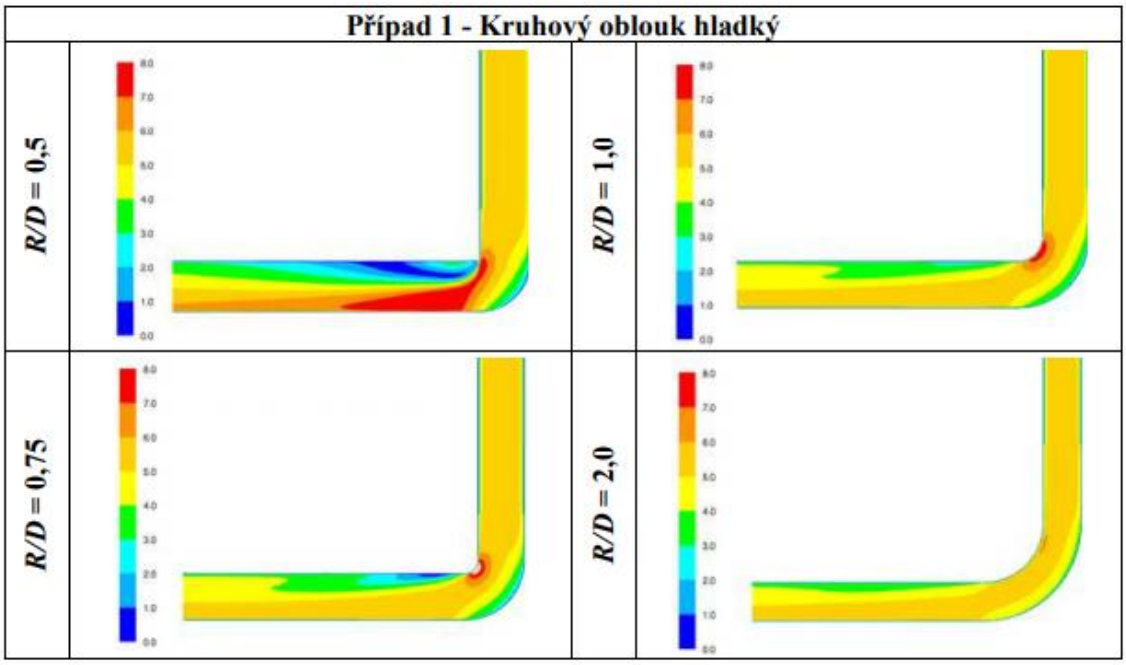
0,6	37,00[8] 1,50[9 10]	9,70 1,50	4,70 1,50	1,60 1,50	0,92 1,50	0,69 1,50	0,57 1,50
0,7	43,00[8] 1,50[9 10]	13,00 1,50	6,30 1,50	2,10 1,50	1,20 1,50	0,88 1,50	0,72 1,50
0,8	65,00[8] 1,50[9 10]	17,00 1,50	7,90 1,50	2,70 1,50	1,50 1,50	1,10 1,50	0,86 1,50
0,9	82,00[8] 1,50[9 10]	21,00 1,50	9,70 1,50	3,40 1,50	1,80 1,50	1,20 1,50	0,99 1,50
1,0	101,00[8] 1,50[9 10]	26,00 1,50	12,00 1,50	4,00 1,50	2,10 1,50	1,40 1,50	1,10 1,50

6.1.2 Computational Fluid Dynamics (CFD) hodnoty

Vzhledem k široké nabídce tvarů potrubních prvků a zařízení a jejich vývoji, není vhodné získávat koeficienty tlakových ztrát laboratorně. Na místo toho lze pro tyto prvky udělat analýzu CFD. I zde je problém vzhledem k rozmanitosti sortimentu, avšak základní tvary jsou analyzovány a jsou z nich vyvozeny i vztahy. Například na ČVUT v Praze proběhlo měření několika základních typů tvarovek, ze kterých vzešly vztahy pro výpočet koeficientu tlakových ztrát na základě základní geometrie. (Schwarzer, 2010) Kromě toho řada jiných odvozených vztahů. Pro představu zde bude porovnání se vztahy od pánů Chyského a Hemzala (Chyský, 1993) u vybraných prvků.

6.1.2.1 Oblouk kruhový hladký

Porovnávanými prvky budou kruhové a obdélníkové oblouky se vztahy, které vedly k následnému vyčíslení. Prvním případem je oblouk hladký kruhový.



Obr. 20 Průběh tlakových ztrát v hladkém kruhovém oblouku (Schwarzer, 2010)

Pro hladké koleno podle pana Schwarzera platí vztah:

$$\xi = \frac{R}{d}\left[9{,}69\frac{R}{d} - 4{,}24\right]^{-1} \qquad [18]$$

Podle pánů Chyského a Hemzala je odvozený vztah pro výpočet součinitele místních tlakových ztrát následující:

$$\xi = \frac{0{,}21}{\sqrt{R/d}}\ pro\ d \leq 0{,}2\ m, R/d \geq 1 \qquad [19]$$

Podle Pro porovnání s tabelárními hodnotami uvedenými výše můžeme posoudit rozdílnou míru výsledků.

Tab. 8 Koeficient místních tlakových ztrát pro hladký oblouk s obdélníkovým průřezem

Oblouk 90°-koeficient místních tlakových ztrát ξ								
R/d	**0,5**	**0,75**	**1,0**	**1,5**	**2,0**	**2,5**	**3,0**	**4,0**
Principles of HVAC	0,71	0,33	0,22	0,15	0,13	0,12	-	-
TZB-info	-	-	0,40	0,30	-	-	0,20	0,15

qpro[14]	1,29	0,27	0,21	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16
Větrání a klimatizace	-	-	0,21	0,26	0,30	0,39	0,33	0,42
Schwarzer, 2010	0,68	0,23	0,17	0,14	0,13	0,12	0,12	0,11

6.1.2.2 Oblouk hladký obdélníkový

Druhým prvkem pro porovnání výpočtových vztahů je hladký oblouk 90° s obdélníkovým profilem. Pro větší náročnost výpočtů byly tabulky sestaveny pro hodnoty A/B = 1,0.

Podle pana Schwarzera je vztah pro výpočet koeficientu místních tlakových ztrát následující:

$$\xi = C_1 \left(\frac{R}{B}\right)^{-1} + C_2^{C_3\left(\frac{R}{B}\right)^{-1}}, \qquad [20]$$

kde

$$C_1 = \frac{A}{B}\left(-0{,}069 - 3{,}458\left(\frac{A}{B}\right)^2\right)^{-1}, \qquad [21]$$

$$C_2 = 0{,}092\left(\frac{A}{B}\right)^{-1} + 0{,}046\,, \qquad [22]$$

$$C_3 = 1{,}247 + 0{,}177 ln\left(\frac{A}{B}\right). \qquad [23]$$

Kdežto podle pánů Chyského a Hemzala jsou vztahy následující:

$$\xi = C_{ab}\xi_1, \qquad [24]$$

kde

$$\xi_1 = \frac{0{,}21}{\sqrt{R/B}}\,, \qquad [25]$$

$$C_{ab} = 1{,}228 - 2{,}15\frac{B}{A} + 4{,}09\left(\frac{A}{B}\right)^2 - 3{,}03\left(\frac{A}{B}\right)^3 + 0{,}983\left(\frac{A}{B}\right)^4 -$$

$$0{,}112\left(\frac{A}{B}\right)^5, pro\,\frac{A}{B} < 1, \qquad [26]$$

$$C_{ab} = 0{,}765 + 0{,}275\frac{A}{B} - 0{,}0352\left(\frac{A}{B}\right)^2, pro\ A/B \geq 1\,. \qquad [27]$$

Tab. 9 Koeficient místních tlakových ztrát pro hladký oblouk s obdélníkovým průřezem

R/B	**0,5**	**0,75**	**1,0**	**1,5**	**2,0**

[14] Hodnoty z portálu qpro byly získány interpolací hodnot největších možných rozměrů a nejmenších možných rozměrů tvarovek při zachování stejného poměru geometrie r/D

qpro[15]	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
Větrání a klimatizace	0,15	0,18	0,21	0,26	0,30
Schwarzer, 2010	-0,56	0,62	0,72	0,81	0,86

Z výše uvedených hodnot můžeme vidět, že hodnoty se mohou významně lišit. Můžeme zde také pozorovat mírnou složitost vztahů, ovšem je nutné dodat, že vychází ze základních geometrických vlastností prvků. To může významně ulehčit práci při automatizaci výpočetních úloh na poli tlakových ztrát. Je jednodušší při hledání koeficientu vycházet z geometrie prvku a pomocí vztahu jej dopočítat než vyhledávat tabelární hodnoty pro dané geometrické parametry. Dodatkem je dobré zmínit, že uvedené výpočetní vztahy dělí časové rozmezí přibližně 50 let.

6.2 Tlakové ztráty v softwaru Revit

BIM software Revit od společnosti Autodesk disponuje, kromě možnosti modelace TZB zařízení, také možností analyzovat tyto modely (například konkurenční software ArchiCAD od společnosti Graphisoft neumožňuje analyzovat TZB sítě, přestože je s pomocí aplikačního balíčku možné je modelovat). Jednou z analýz je právě výpočet tlakových ztrát na dané potrubní větvi. Pro tyto účely je nutné vymodelovat kompletní potrubní větev včetně zdroje proudění (anemostatu).

6.2.1 Tlakové ztráty třením po délce

Revit respektuje veškeré zákonitosti v této práci uvedené. Rozlišuje laminární (Re < 2000), přechodové (Re ∈ <2000; 4000)) a turbulentní proudění (Re =< 4000). Pro každý typ proudění také rozlišuje rozličné vztahy pro výpočet koeficientu tlakových ztrát třením λ. Pro laminární proudění uvažuje vztah [7], ovšem pro turbulentní a přechodné proudění je nutné vybrat metodu výpočtu. Program nabízí 3 výpočtové rovnice; Colebrookovu implicitní rovnici (vztah [10]) a dále explicitní rovnice Altshulovu-Tsalovu rovnici (vztah [11]) a Haalandovu rovnici (vztah [12]). Rozdíly mezi hodnotami těchto výpočtových metod se pohybují řádově mezi setinami a tisícinami pascalů na metr přímého potrubí.

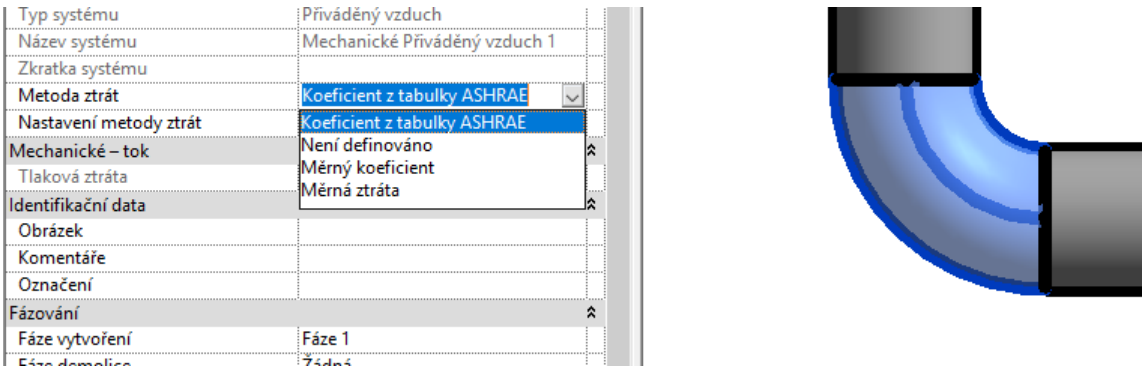
[15] Hodnoty pocházejí z odvozených vztahů. V hodnotách nejsou zahrnuty ztráty třením.

6.2.2 Tlakové ztráty místní

Revit dokáže do výpočtu celkové tlakové ztráty větve zahrnout také místní tlakové ztráty vzniklé s místech potrubních armatur a zalomení vedení trasy. V tomto případě je možné postupovat čtyřmi možnými výpočty.

- Není definováno
- Měrný koeficient
- Měrná ztráta
- Koeficient z tabulky ASHRAE

První možností, *není definováno*, je zanedbání místních ztrát, což znamená, že každá změna vedení trasy nebo armatura budou mít tlakovou ztrátu rovnou nule. Druhá možnost, *měrný koeficient*, znamená tradiční možnost výpočtu, kdy každé potrubní tvarovce může uživatel přiřadit koeficient místních tlakových ztrát ξ. Tyto koeficienty uživatel zadává ručně ze zdrojů, které si sám zvolí. Třetí výpočet pomocí *měrné ztráty* umožňuje uživateli zadat každé tvarovce konkrétní hodnotu tlakové ztráty v pascalech. Poslední možností je využití defaultně zakomponované tabulky ASHRAE, která je součástí základního balíčku Revit, avšak není nativně dostupná (Autodesk, 2017) (její hodnoty jsou přijímány přes internetové prostředí). Tato tabulka vychází z velké škály potrubních tvarů, pro které na základě jejich geometrických parametrů je vybrán koeficient tlakové ztráty podle ASHRAE.



Obr. 21 Možnosti výpočtu místních tlakových ztrát (výřez z programu Revit)

6.2.3 Kolizní situace při využívání Revitu

6.2.3.1 Variabilita prvků při analýze tlakových ztrát

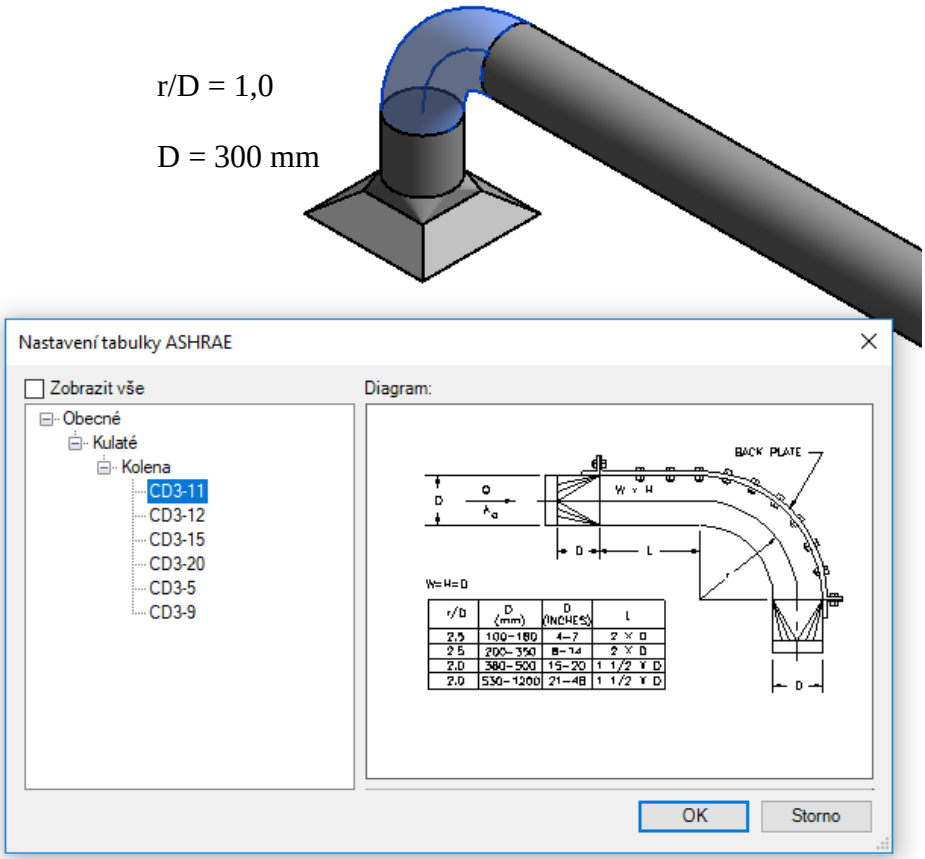
Problémem v ASHRAE tabulce v Revitu je její striktnost, nepružnost a jistá nekompatibilita s potrubními výrobky. Výpočet místních tlakových ztrát pomocí ASHRAE tabulky hledá příslušné typy tvarovek v těchto tabulkách, které nejsou uživatelsky fyzicky dostupné. Dle geometrických parametrů použitých tvarovek v modelu vybírá Revit příslušné tvarovky ve výpočetní tabulce, ze kterých čerpá hodnoty koeficientů tlakových ztrát pro výpočet místní tlakové ztráty. Může nastat situace, kdy tvarovka v modelu neodpovídá typově tvarovce v tabulce, jejíž hodnoty by se měly přejímat. To je důsledek toho, že vymodelovaný prvek neodpovídá přesným parametrům tabelárního prvku (liší se například v průměru potrubí).

Revit analyzuje potrubní tvarovky pomocí XML databáze (dostupná na C:/Autodesk/WI/Autodesk Revit 2018/x64/RVT/Program Files/Common Files/Autodesk Shared/Revit Shared/Ashrae/ASHRAE.xml), která určuje vlastnosti tvarovek pro možnost použití v celkové tlakové analýze. Pokud parametry instance (konkrétního prvku rodiny v Revitu) nespadají, nejsou prvku přiřazeny hodnoty koeficientu.

```
<ASHRAETableSelectionData>
  - <Table SequenceNumber="1" Category="3" Geometry="D" Function="C">
        CD3-1
      - <SubTable Dimensions="1" Number="1" Result="Co">
            CD3-1 Elbow, Die Stamped, 90 Degree, r/D = 1.5 (UMC 1985, Report SRF785)
            <SubTableData1D X="D"/>
            <Formula>Theta == 90</Formula>
            <Formula>r/D == 1.5</Formula>
            <Formula>3.0 <= D && D <= 10.0</Formula>
        </SubTable>
    </Table>
```

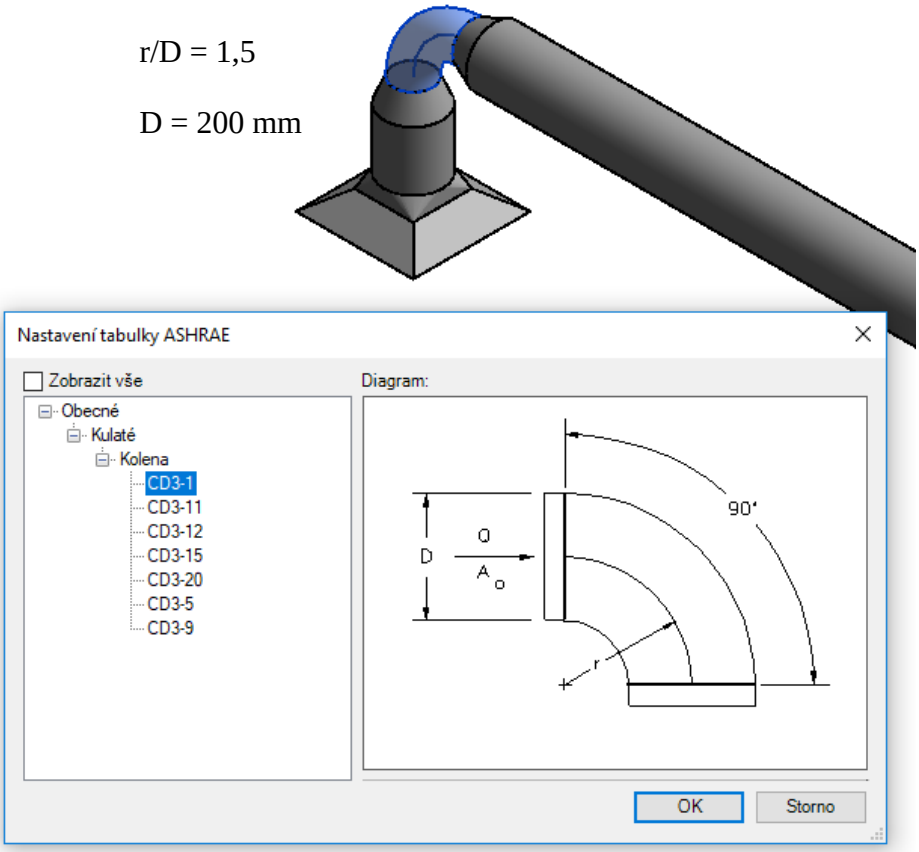
Obr. 22 Výňatek z XML souboru, zahrnující geometrické požadavky na prvky

Pro každou instanci vzduchotechnické tvarovky je možno ovlivnit výběr koeficientu do jisté míry. Po vybrání instance je v panelu vlastností možnost upravení *Nastavení metody ztrát*. Zde je možné si zvolit z možných typů tvarovek, jejichž parametry obsažené v XML souboru souhlasí s danou instancí viz. Obr. 21.



Obr. 23 Koleno s poměrem r/D = 1,0 a průměrem 300 mm neodpovídá příslušnému typu v ASHRAE tabulce

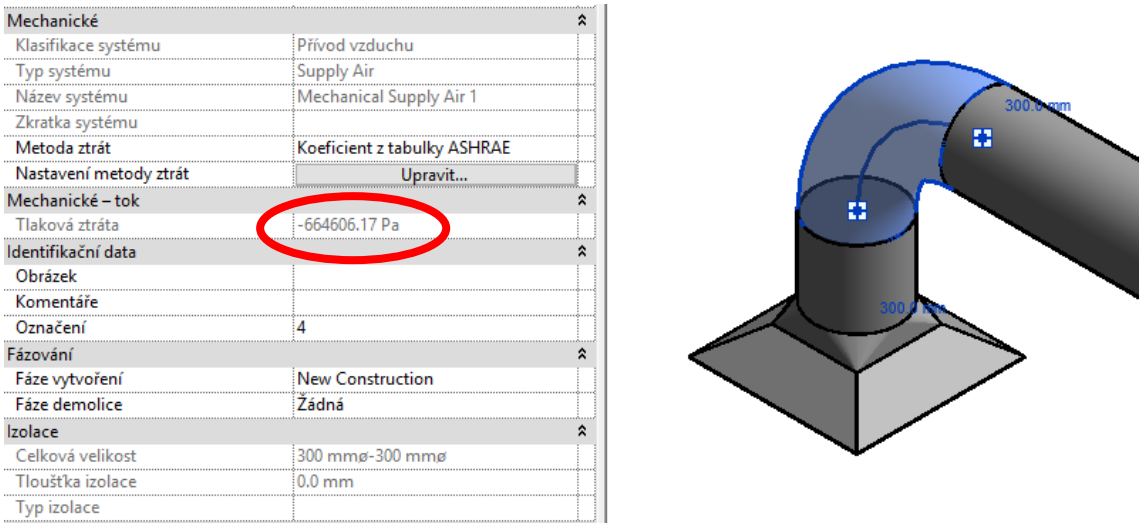
Tyto problémy vznikají díky, již zmíněným, pevně daným parametrům tvarovek v ASHRAE tabulce, kdy například koleno 90° hladké je uvedeno pouze s geometrickým parametrem r/D = 1,5 (podíl poloměru oblouku ku vnitřnímu průměru potrubí) (Obr. 20). Pokud tedy reálně v modelu použijeme hladké koleno 90° s parametrem r/D = 1,0, pak neproběhne žádná asociace s hodnotami hladkého kolene, neboť se liší klíčové geometrické parametry. Řešením může být doplnění tabulky o další prvky, ovšem jak již bylo zmíněno, tabulka s hodnotami není fyzicky dostupná.



Obr. 24 Koleno s poměrem r/D = 1,5 a průměrem 200 mm již odpovídá hladkému 90° koleni CD3-1 v tabulce ASHRAE

6.2.3.2 Záporná hodnota místní tlakové ztráty

Po správném nastavení modelové tvarovky s typem tvarovky v tabulce však nemusí Revit vracet validní hodnoty, neboť při běžném proudění ve vzduchovodech s tvarovkami, program vrací hodnoty až o pět řádů odlišné, než jaké mohou reálně nastat. Revit v těchto případech použije součinitel místních tlakových ztrát $\xi = -99\,999$, viz **Příloha 1**. Celková tlaková ztráta tvarovky vychází záporně řádově ve statisících nebo milionech pascalů.



Obr. 25 Chybně spočítaná tlaková ztráta kolene z důvodu nekompatibilního desetinného oddělovače

Tato situace nastává v českém prostředí z důvodu nastavení desetinného oddělovače jako čárky v operačním systému počítače. Po změně oddělovače na desetinnou tečku již Revit počítá se reálnými koeficienty. Pro operační systém Windows 10 lze nastavení desetinného oddělovače zajistit v *Ovládacích panelech*, položka *Hodiny a oblast*, *Změnit formáty čísel* a pod tlačítkem *Další nastavení* lze provést změnu.

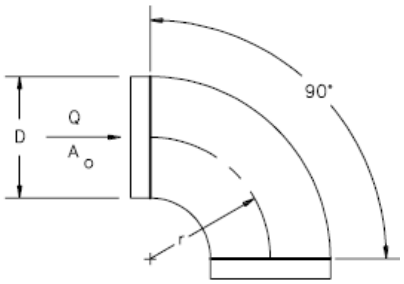
6.2.4 Rozsah tabulky ASHRAE v aplikaci Revit

Ačkoli není tabulka příliš přizpůsobivá ani uživatelsky dostupná, přesto má značné výhody. Efektivně asociuje vymodelované prvky na základě pouhé výchozí geometrie prvků. Množství typových prvků v tabulce je úctyhodné. Tabulka je hodnotami podrobná, pro typy, které popisuje. Tzn., že například ačkoli nelze změřit tlakovou ztrátu oblouku s parametrem R / D, hodnoty koeficientů jsou zaznamenány pro kolena o různých světlých průměrech s vzájemnými rozdíly mezi 25 a 30 mm na průměr potrubí. Na Obr. 24 jsou znázorněny hodnoty koeficientů místních tlakových ztrát C_o pro hladký oblouk, se kterými kalkuluje Revit. Jsou to hodnoty amerických standardů *Duct Fitting Database*.

ROUND FITTINGS

CD3-1 Elbow, Die Stamped, 90 Degree, r/D = 1.5

D, mm	75	100	125	150	180	200	230	250
C_o	0.30	0.21	0.16	0.14	0.12	0.11	0.11	0.11



Obr. 26 Hladké koleno s koeficienty tlakových ztrát podle amerických standardů od ASHRAE. Tyto hodnoty koeficientů používá Revit.

6.3 Revit Add-In automatizovaný výpočet tlakových ztrát na potrubí

Autodesk Revit se (zejména) v českém prostředí netěší velké oblibě v oblasti analýz tlakových ztrát na potrubí. Důvodem jsou často špatné výsledné hodnoty při analýze prostřednictvím ASHRAE tabulky, přičemž hodnoty pro některé prvky zcela chybí. Ruční vkládání dat do instancí modelu (čili nejsou parametrizované a s vymazáním prvku zmizí, přičemž s novým vloženým prvkem se žádná hodnota nevloží) je zdlouhavé a popírá myšlenku Průmyslu 4.0 a informačního modelu budovy.

Možností je automatizace přidělování koeficientů tlakových ztrát jednotlivým tvarovkám a následný výpočet celkové tlakové ztráty potrubní větve z informací v modelovaném objektu.

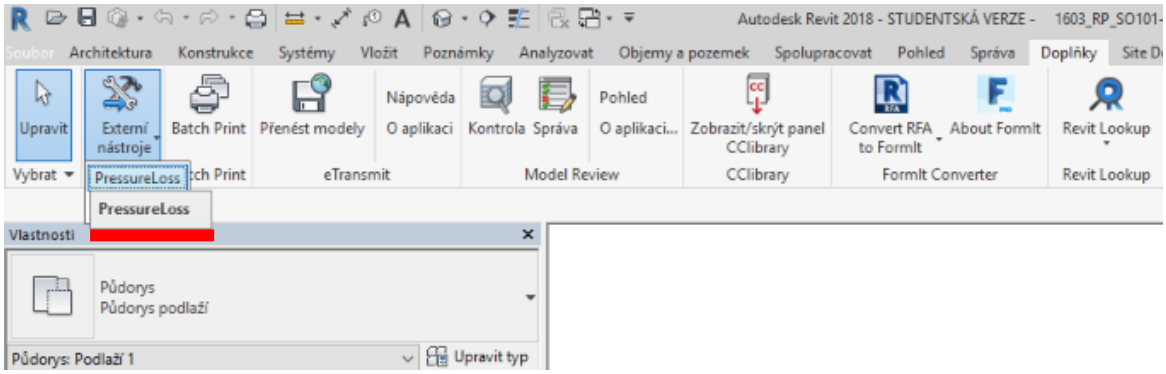
Metody pro zautomatizování těchto úloh nejsou snadné. Zejména se jedná o nespojitost dat, která by byla potřeba pro výpočet tlakových ztrát (hodnoty koeficientů se často liší), přičemž vytváření a parametrizování databáze pro přidělování těchto hodnot bez nutnosti značných uživatelských zásahů je náročné (i díky množství vzduchotechnických zařízení, které nejsou běžná nebo jsou atypická). Zpřesňování této výpočetní úlohy je díky moderním technologiím a nekonzistentnosti dat v současné době pouze teoretické.

Možností, jak vytvářet návrhy, které budou automatizovány, je analýza CFD, jenž odbourává potřebu vytvářet databázové aplikace pro projekční prvky, které se obměňují

nebo jsou rozličných tvarů a velikostí. Zároveň odbourává dilema ve výběru vhodných relevantních dat.

CFD analýza může být vhodná pro jakoukoli geometrii a může tak zpřesnit celkové výpočty. Je však v současné době náročná na výpočetní systémy i jejich obsluhu.

Přes to byla v rámci této práce zpracována aplikace pro Revit, která funguje jako pilotní možnost rámcového zautomatizování práce s tlakovými koeficienty v BIM modelu. Aplikace je vytvořena jako doplněk neboli tzv. Add-In v programovacím jazyce C# a rozhraní Microsoft Visual Studia. Aplikace je spouštěna příkazem vyvolaným z hlavního ribbonu Revitu.



Obr. 27 Umístění a spuštění naprogramovaného doplňku

Aplikace pomocí oblastního výběru (obdélníkový výběr tažením kurzoru) vybere pouze prvky potrubí. Je nutné vybírat pouze kruhové potrubí a kruhová kolena. Aplikace počítá tlakové ztráty na přímých úsecích dle zvoleného způsobu v Revitu na kartě *Správa*, v položce *Nastavení TZB*, *Mechanická nastavení* v řádku *Výpočet*. Tlakové ztráty u potrubních tvarovek (kruhových oblouků) počítá podle tabelárních hodnot umístěných v textovém souboru *Koeficienty.txt*, který je společně se souborem *PressureLoss_v1.addin* a *PressureLoss_v1.dll* a také hlavním spouštěčem třídou *Class1.cs*.

Je nutné si otevřít tuto relaci **.sln* ve Visual Studio, kde je potřeba přepsat část cesty k textovému souboru na řádku 21. Bez této úpravy nebude fungovat hledání hodnot v textovém souboru.

Aplikaci lze spustit jako externí příkaz v Revitu pouze pokud přiložené soubory *.dll a *.addin vložíme do složky k Revitu:

C:\Users\XXXX\AppData\Roaming\Autodesk\Revit\Addins\201X

Aplikace využívá pro výpočet tlakových ztrát dvou meto. Jednou je hledání hodnoty v textovém přiloženém souboru a druhá je přímý výpočet pomocí aproximační rovnice, které je závislá na základních geometrických rozměrech tvarovek. Při porovnání obou hodnot si můžeme všimnout, že se liší pouze velmi málo.

Tabelární hodnoty byly převzaty z literatury *Principles of HVAC*, tedy od společnosti ASHRAE (Howell, 2005).

7 SHRNUTÍ VÝSLEDKŮ

Výsledky práce lze shrnout jako nekompaktní. Cílem práce bylo porovnání hodnot vstupujících do výpočtu místních tlakových ztrát na potrubí z různých zdrojů odborné literatury. Výsledky dopadly podle prvotních předpokladů; hodnoty se napříč zdroji významně liší, zejména pak tabelární hodnoty koeficientů místních tlakových ztrát. Lepší je to u výpočetních vztahů, odvozených na základě měření. Zde, ačkoli datem vzniku jsou zdroje od sebe daleko, můžeme pozorovat jistou vzájemnou závislost neboli předpoklad, že zmíněné vztahy stojí na společných základech geometrie prvku.

Mezi další, dílčí, části práce patřilo zhodnocení BIM softwaru Revit od společnosti Autodesk. Hodnocení proběhlo subjektivně na projekční rovině. Tento program se právem řadí mezi špičkové BIM softwary. Nevýhodou může být národní zaměření softwaru, které se v jistých ohledech neslučuje s českými nároky a zvyklostmi. Přesto tyto negativní věci hodnotím jako zanedbatelné nuance, které mohou českou profesní společnost, buď odradit, nebo posunout vývojově dál. Podílení se na tvorbě nových inovativních produktů, může být prospěšné.

Závěrečným zaměřením byla tvorba doplňku do softwaru Revit, která externími příkazy přistupuje to modelového prostoru, aby sbírala data modelu a následně je předávala do výstupů ve formě výpočtů tlakových ztrát. Bylo zjištěno, že současná metoda výpočtu tlakových ztrát v Revitu pomocí ASHRAE tabulky je sofistikovaná a kvalitní. Bohužel není uživatelsky přístupná k editaci. Krok k zpřístupnění této databáze a vyhledávacího skriptu by mohla značně posunout stavebnictví. Navržená aplikace není pro přijatelné fungování v projekci. Slouží jako pilotní projekt, který se může rozvíjet, ovšem s vynaložením značného úsilí, neboť množství prvků, které by aplikace měla zohledňovat jakožto elementy místních tlakových ztrát, je hodně.

Aplikace je jednoduchou kalkulačkou operující s objekty informačního modelu. Přistupuje k datům v textovém souboru. Vhodnějším řešením může být například XML databáze pro volání jednotlivých hodnot.

8 ZÁVĚR

V době moderních technologií stále ještě jisté prvky ekonomiky působí archaicky. Tak můžeme občas hovořit právě o stavebnictví. Naštěstí zastaralé způsoby a techniky mizí s procesem postupné implementace informačního modelu budovy do projekčních ateliérů.

Zejména ve specializovaných profesích českého stavebnictví je tato proměna pomalá. To může být způsobeno zejména špatnou adaptací modelačních softwarů na české prostředí. Změna často znamená nepříjemné nové věci, které však ve výsledku jsou oceněny. Snahou této práce bylo přinést něco nového. Vytvářet a konkretizovat věci, které mohou být obecně přínosné všem stranám, vstupujícím do stavebního řízení. Snahou bylo přizpůsobit obecný nástroj požadavkům uživatele.

Pokud se budou obecné věci personalizovat na cílovou skupinu uživatelů, může být práce příjemnější a efektivnější. To vše nám může přinést informační model budovy. Může přinést pokrok a posun.

Ve stavebním odvětví technických zařízení budov se nacházejí projekční postupy, které můžeme rozvíjet, optimalizovat a zpřesňovat. Tato práce nedokázala významně zpřesnit výpočty tlakových ztrát na potrubí, avšak vnesla pohled na možnost změn, které se mohou stát v případě, že vykročíme.

9 POUŽITÉ ZDROJE

[1] AUTODESK, , 2017. It's not possible to modify ASHRAE Table in Revit. In: *Autodesk Knowledge Network* [online]. Autodesk Inc. [cit. 2019-01-05]. Dostupné z: https://knowledge.autodesk.com/support/revit-products/troubleshooting/caas/sfdcarticles/sfdcarticles/It-s-not-possible-to-modify-ASHRAE-Table-in-Revit.html

[2] Axiální ventilátor, b.r. In: *ELEKTRODESIGN* [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/tbt-2-400-axialni-ventilator

[3] BERÁNKOVÁ, Eva, 2013. Životní cyklus staveb. In: *TZB-info* [online]. Praha [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/udrzba-budov/10219-zivotni-cyklus-staveb

[4] BERNARD, Jiří, 2014. *Hydraulika potrubních sítí ve vzduchotechnice*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

[5] Best 20 Building Information Modeling (BIM) Software in 2018, b.r. *Finances Online* [online]. Polsko [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: https://financesonline.com/building-information-modeling/?fbclid=IwAR3TFK3_Yr6J6nW1Y6FErBSLn_wj4fsrCbIqWWjPraZ6eMZUzdF2rzRnMeI

[6] Building information modeling, 2001. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Building_information_modeling

[7] *Commission regulation (EU) No 327/2001* [online], b.r. In: . [cit. 2018-11-28].

[8] EASTMAN, Charles, 1974. An Outline of the Building Description System. *Institute of.* (50), 5-7.

[9] FIBIGER, Jan, 2017. Stavebnictví 4.0. In: *TZB-info* [online]. Praha [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: https://stavba.tzb-info.cz/15752-stavebnictvi-4-0

[10] GENIć, Srbislav, Ivan ARANDJELOVIć, Petar KOLENDIć, Marko JARIć, Nikola BUDIMIR a Vojislav GENIć, 2011. *A Review of Explicit Approximations of Colebrook's Equation*. Belegrad. Posudek. University of Belegrade.

[11] HOWELL, Ronald, Harry SAUER a William COAD, 2005. *Principles of Heating, Ventilating, and Air Conditioning*. Ilustrované vydání. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers. ISBN 1931862923.

[12] CHYSKÝ, Jaroslav a Karel HEMZAL, 1993. *Větrání a klimatizace*. Třetí, zcela přepracované. Praha: B press Brno. ISBN 80-901574-0-8.

[13] IDELCHIK, I.E., D. GRUNAER, ed., A. BAROUCH, 1960. *Handbook od Hydraulic Resistance*. X/5. Moskva-Leningrad: Gosudarstvennoe Energeticheskoe Izdatel'stvo. ISBN 6630. AEC-tr.

[14] Kjótský protokol k Rámcové úmluvě OSN o změně klimatu, ©2008-2018. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/kjotsky_protokol

[15] Koncepce zavádění metody BIM v ČR schválena vládou, 2018. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. Praha [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/cz/stavebnictvi-a-suroviny/bim/koncepce-zavadeni-metody-bim-v-cr-schvalena-vladou--232136/

[16] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK, ©2001-2019. Hodnoty součinitelů místních ztrát - zdroje tepla a základní tvarovky potrubí. In: *TZB-info* [online]. Praha [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/21-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-zdroje-tepla-a-zakladni-tvarovky-potrubi

[17] LABOUTKA, Karel a Tomáš SUCHÁNEK, ©2001-2019. Hodnoty součinitelů místních ztrát - T-kusy a křížení - přehled. In: *TZB-info* [online]. Praha [cit. 2019-01-03]. Dostupné z: https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/23-hodnoty-soucinitelu-mistnich-ztrat-t-kusy-a-krizeni-prehled

[18] Laminar vs. Turbulent Flow, b.r. In: *CFD support* [online]. Praha [cit. 2019-01-02]. Dostupné z: https://www.cfdsupport.com/OpenFOAM-Training-by-CFD-Support/node334.html

[19] Nové finanční limity u veřejných zakázek, 2017. *Stavební online* [online]. Brno [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: http://www.stavebnionline.cz/default.asp?Typ=1&ID=2&Pop=2&IDm=2271786&Menu=Limity&NazevM=

[20] RADGEN, Peter, 2001. *Market Study for Improving Energy Efficiency for Fans*. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag. ISBN 3-8167-6137-2.

[21] RADIÁLNÍ VENTILÁTOR S VNĚJŠÍM ROTOREM, b.r. In: *Ventishop* [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: https://www.ventishop.cz/specialni-radialni-ventilatory-cbm/

[22] ROSER, Christoph, 2018. Industrial revolutions and future view. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2018-11-25]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Industry_4.0#/media/File:Industry_4.0.png

[23] Schéma lopatek a rychlosti vzduchu u radiálního ventilátoru, b.r. In: *ELUC* [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1930

[24] SCHILD, P.G. a M. MYSEN, 2014. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických systémů – III. *TZB-info* [online]. Praha:

Jícha [cit. 2018-11-21]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/11135-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnickych-systemu-iii

[25] SCHILD, P.G. a M. MYSEN, 2014. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických systémů – I. In: *TZB-info* [online]. Praha: Jícha [cit. 2018-11-26]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/uspory-energie-vetrani-klimatizace/11079-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnickych-systemu-i

[26] SCHILD, P.G. a M. MYSEN, 2014. Doporučení pro měrný příkon ventilátoru (SFP) a účinnost vzduchotechnických syslémů - IV. In: *TZB-info* [online]. Praha: Jícha [cit. 2018-11-28]. Dostupné z: https://vetrani.tzb-info.cz/vzduchotechnicka-zarizeni/11170-doporuceni-pro-merny-prikon-ventilatoru-sfp-a-ucinnost-vzduchotechnickych-systemu-iv

[27] SCHWARZER, Jan a Vladimír ZMRHAL, 2010. *Stanovení součinitelů místních ztrát s využitím CFD*. Praha. Vědecký článek. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní.

[28] Ventilátor s diagonální technologií, b.r. In: *Elektrika.cz* [online]. [cit. 2018-11-22]. Dostupné z: https://elektrika.cz/data/clanky/rittal-nova-rada-ventilatoru-s-filtrem-vybavena-ec-motory

[29] VLČEK, Josef, 2014. *Vliv turbulentního modelu na simulace proudění vzduchu v okolí průtokoměru*. Brno. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.

[30] *Zákon o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*, 2006. In: . Praha: Česká republika, ročník 2006, číslo 183.

10 SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

10.1 Zkratky

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning
BDS	Building Description Systém (systém pro popis objektu)
BIM	Building Information Modeling (informační model budovy)
CFD	Computational Fluid Dynamics
EU	Evropská unie
FVM	Finite Volume Method (metoda konečných objemů)
MPF	Market Penetration Factor (Faktor průniku na trh)
OSN	Organizace spojených národů
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
SFP	Specific Fan Power (měrný příkon ventilátoru)
TZB	Technické zařízení budovy

10.2 Symboly

A	Výška Obdélníkového potrubí
A_0	Průřezová plocha potrubí na vstupu
A_1	Průřezová plocha potrubí na výstupu
B	Šířka obdélníkového potrubí
C_1	Pomocná proměnná
C_2	Pomocná proměnná

C_3 Pomocná proměnná

C_{ab} Pomocná proměnná

d Průměr potrubí

D Hydraulický průměr potrubí

l Délka

p_{in} Tlak na vstupu

p_{out} Tlak na výstupu

Δp Rozdíl tlaku

Δp_{tot} Dopravní tlak ventilátoru

P_{in} Příkon ventilátoru

P_{out} Užitný výkon ventilátoru

R Poloměr potrubního zaoblení

Re Reynoldsovo číslo

q Objemový průtok vzduchu

Q_0 Objemový průtok vzduchu na vstupu

Q_1 Objemový průtok vzduchu na výstupu

w Rychlost proudění vzduchu

ε Absolutní drsnost potrubí

η_{tot} Účinnost ventilátoru

η_{vsd} Účinnost pohonu ventilátoru s proměnnými otáčkami

η_{motor} Účinnost motoru ventilátoru

η_{transf}	Účinnost přenosu energie
η_{fan}	Aerodynamická účinnost ventilátoru
λ	Součinitel ztráty třením po délce
ρ	Hustota vzduchu
ξ	Součinitel místních tlakových ztrát
θ	Úhel svírající stěny rozšíření s osou potrubí
ν	Kinematická viskozita

11 SEZNAM OBRÁZKŮ

12 SEZNAM TABULEK

13 SEZNAM PŘÍLOH

Textové přílohy

Příloha 1 Vyhodnocení tlakových ztrát na vzduchotechnické větvi programem Revit

Příloha 2 Strukturovaný kód aplikace

Digitální přílohy

Příloha 3 Aplikace *PressureLost_v1*

Příloha 4 Textový soubor s tabelárními daty

PŘÍLOHA 1

Výkaz tlakové ztráty v potrubí

Název projektu	Název projektu
Datum vydání projektu	Datum vydání
Stav projektu	Stav projektu
Jméno klienta	Vlastník
Adresa projektu	Zde zadejte adresu
Číslo projektu	0001
Název organizace	
Popis organizace	
Název budovy	
Projektant	
SR Document GUID	0d262d70-603a-4ac8-b32e-cb27be3d67a1
Doba spuštění	11.01.2019 17:51:28

Mechanické Přiváděný vzduch 1

Informace o systému	
Klasifikace systému	Přívod vzduchu
Typ systému	Přiváděný vzduch
Název systému	Mechanické Přiváděný vzduch 1
Zkratka	

Výpočty celkové ztráty tlaku podle řezů

Řez	Prvek	Průtok	Velikost	Rychlost	Dynamický tlak	Délka	Koeficient ztrát	Tření	Celková ztráta tlaku	Ztráta tlaku v řezu
1	Potrubí	100.0 L/s	100 mmø	12.7 m/s	-	7600	-	21.84 Pa/m	165.9 Pa	19495736.6 Pa
	Tvarovky	100.0 L/s	-	12.7 m/s	97.5 Pa	-	-199998	-	-19495916.5 Pa	
	Vyústka klimatizace	100.0 L/s	-	-	-	-	-	-	14.0 Pa	

Kritická trasa : ; Celková ztráta tlaku : 0.0 Pa

Detailní informace o přímém úseku podle řezů

Řez	ID prvku	Průtok	Velikost	Rychlost	Dynamický tlak	Délka	Ztráta tlaku	Celková ztráta tlaku
1	311653	100.0 L/s	100 mmø	12.7 m/s	97.5 Pa	3050	66.6 Pa	165.9 Pa
	311663	100.0 L/s	100 mmø	12.7 m/s	97.5 Pa	2600	56.8 Pa	
	311674	100.0 L/s	100 mmø	12.7 m/s	97.5 Pa	1950	42.6 Pa	

Souhrn koeficientů ztrát u tvarovek a příslušenství podle řezů

Řez	ID prvku	Metoda ztrát	Tabulka ASHRAE	Koeficient ztrát	Ztráta tlaku	Celková ztráta tlaku
1	311672	Koeficient z tabulky ASHRAE	CD3-11	-99999	-9747958.3 Pa	-19495916.5 Pa
	311682	Koeficient z tabulky ASHRAE	CD3-11	-99999	-9747958.3 Pa	

PŘÍLOHA 2

```
using System;

using System.Collections.Generic;

using System.Linq;

using System.Text;

using System.IO;


using Autodesk.Revit.DB;

using Autodesk.Revit.DB.Mechanical;

using Autodesk.Revit.UI;

using Autodesk.Revit.Attributes;

using Autodesk.Revit.UI.Selection;


namespace PressureLoss_v1

{

    [Transaction(TransactionMode.Manual)]

    public class PressureLoss : IExternalCommand

    {


/************************************************** CESTA K SOUBORU .TXT
**************************************************/


        string path =
@"C:\Users\micha\AppData\Roaming\Autodesk\Revit\Addins\2018\Koeficienty.txt";    // ZDE
ZMĚNIT CESTU K SOUBORU


/************************************************** CESTA K SOUBORU .TXT
**************************************************/


        public class VZTFilter : ISelectionFilter

        {

            //Ošetření, že nelze vybrat jiný elemnt než PŘÍMÉ POTRUBÍ a POTRUBNÍ TVAROVKA

            public bool AllowElement(Element elem)

            {

                if
(elem.Category.Id.IntegerValue.Equals((int)BuiltInCategory.OST_DuctCurves) ||
elem.Category.Id.IntegerValue.Equals((int)BuiltInCategory.OST_DuctFitting))

                {
```

```
                return true;
            }
            else return false;
        }

        public bool AllowReference(Reference reference, XYZ position)
        {
            return false;
        }
    }

    public string CalculatePressure (string RD)
    {
        double RDdbl = double.Parse(RD);
        double helpcoef = (9.69 * RDdbl);
        double helpcoef2 = helpcoef - 4.24;

        double helpcoef3 = Math.Pow(helpcoef2, -1);
        double Eta = RDdbl * helpcoef3;
        return Eta.ToString();
    }

    public string GetLine (string partType, string RD, string path)
    {

        int counter = 1;
        string coefOutput;
        string line;

        // Read the file and display it line by line.
        StreamReader file = new StreamReader(path);
        while ((line = file.ReadLine()) != null)
        {
            if (line.Contains(partType))
            {
                string linePositionInput =
File.ReadLines(path).Skip(counter).Take(5).First();
```

```
                    int charPositionInput = linePositionInput.IndexOf(RD);


                    if (linePositionInput.Contains(RD))

                    {

                        string linePositionOutput = File.ReadLines(path).Skip(counter +
1).Take(5).First();

                        coefOutput = linePositionOutput.Substring(charPositionInput, 4);

                        return coefOutput;

                    }

                    else

                    {

                        TaskDialog.Show("Chyba vstupního parametru", "Pro daný poměr R/D
nebyla nalezena odpovídající hodnota koeficientu. R/D je mimo tabelární hodnoty");

                    }

                }

                counter++;

                TaskDialog.Show("Chyba vstupního parametru", "Textový soubor neobsahuje
příslešnou vzduchotechnickou tvarovkou (nenalezen PartType)");

                return null;

            }

            TaskDialog.Show("Chyba souboru", "Textový soubor Koeficienty.txt je prázdný");

            return null;

        }


        public Result Execute(ExternalCommandData commandData, ref string message,
ElementSet elements)

        {

            UIApplication uiApp = commandData.Application;

            TaskDialog.Show("Aplikace PressureLoss Loss", "Oblastním výběrem vyberte prvky
VZTm u nichž chcete zjistit tlakovou ztrát. Aplikace je takovým pilotním projektem, umí
tedy počítat tlakové ztráty na kruhovém potrubí a kruhových kolenech.");


            try

            {

                // Nastavení vybírání objektů. Můžou se vybírat jenom VZT potrubí a pouze
čtvercovým výběrem

                IList<Element> pickedRef = null;

                Document doc = uiApp.ActiveUIDocument.Document;

                Selection sel = uiApp.ActiveUIDocument.Selection;
```

```
                VZTFilter selFilter = new VZTFilter();

                pickedRef = sel.PickElementsByRectangle(selFilter, "Vyberte potrubní
systém").Select(a => doc.GetElement(a.Id)).Cast<Element>().ToList();


                // Pro každý vybraný element se zjistí hodnota jeho parametru, která se
uloží do Listu pressureDuct a rozdělí se na číselnou část (bez jednotky Pa) a změní se
desetinná tečka za čárku, aby mohl systém sčítat tyto čísla

                // z LookUp bylo zjištěno, že parametr má hodnotu String (AsValueString),
proto se hodnoty ukládají do stringového Listu

                List<string> pressureDuct = new List<string>();

                List<double> pressureDuctFitting = new List<double>();

                List<double> pressureDuctFittingEquation = new List<double>();

                List<Connector> lcon;


                Connector c0;

                Connector c1;


                double velocityPressure0;

                double velocityPressure1;


                foreach (Element elem in pickedRef)

                {

                    try

                    {

                        if (elem is FamilyInstance fi)

                        {

                            if (fi.MEPModel is MechanicalFitting)

                            {

                                // Získání hodnoty PartType z instance

                                MechanicalFitting mfit = fi.MEPModel as MechanicalFitting;

                                PartType pt = mfit.PartType;


                                // Získání parametru "CR" jakožto Central Radius. Takto
pojmenovaný musí být v rodině Elbow, aby kalkulus fungoval

                                // Získání parametru vnitřního průměru

                                string radius =
fi.LookupParameter("CR").AsValueString().Replace(".", ",").Split(' ')[0];

                                string diameter =
elem.get_Parameter(BuiltInParameter.RBS_CALCULATED_SIZE).AsString().Split(' ')[0];
```

```
                                // Získání VelocityPressure z Connector instance

                                lcon = (fi.MEPModel as
MechanicalFitting).ConnectorManager.Connectors.Cast<Connector>().ToList();

                                c0 = lcon[0];

                                c1 = lcon[1];


                                velocityPressure0 = c0.VelocityPressure;

                                velocityPressure1 = c1.VelocityPressure;


                                // Výpočet R/D a získání hodnot z textového souboru

                                decimal RDdbl = decimal.Round(decimal.Parse(radius) /
decimal.Parse(diameter), 2, MidpointRounding.AwayFromZero);

                                string RDstr = RDdbl.ToString();


                                try

                                {

                                        // HODNOTY Z TEXŤÁKU

                                    double num =
double.Parse(GetLine(Enum.GetName(typeof(PartType), pt), RDstr, path));

                                    double pressureLosss = num * velocityPressure0;


                                    pressureDuctFitting.Add(pressureLosss);

                                }

                                catch

                                {

                                    TaskDialog.Show("Něco je špatně", "Textový soubor nebyl
nalezen, ve Visual Studiu prosím vyplňte na řádku 21 správnou cestu k souboru a pomocí
tlačítka 'Sestavit' a 'Sestavit řešení' vytvoříte nový *.dll soubor, který vožíte do
C:\\Users\\XXXXX\\AppData\\Roaming\\Autodesk\\Revit\\Addins\\201Y");

                                }


                                // HODNOTY ZE VZTAHU

                                double num2 = double.Parse(CalculatePressure(RDstr));

                                double pressureLosss2 = num2 * velocityPressure0;


                                pressureDuctFittingEquation.Add(pressureLosss2);

                            }

                        }
```

```
                        else
                        {
                            if (elem is Duct d)
                            {
pressureDuct.Add(elem.get_Parameter(BuiltInParameter.RBS_PRESSURE_DROP).AsValueString().Rep
lace(".", ",").Split(' ')[0]);
                            }
                        }
                    }
                    catch
                    {
                        TaskDialog.Show("Něco je špatně", "Nebyly vybrány elementy
odpovídající vzduchotechnickýcm prvkům s parametry RBS_PRESSURE_DROP a PartType, nebo bylo
vybráno čtvercové potrubí");
                    }
                }


                // Získaný parametr nemá vhodný tvar, je potřeba z něj oddělit jednotku a
převést na double pro další výpočty + kontrola zdali není List prázdný
                List<double> pressureDuctDbl = new List<double>();
                if (pressureDuct.Count != 0)
                {
                    for (int i = 0; i < pressureDuct.Count; i++)
                    {
                        double split = double.Parse(pressureDuct[i]);
                        pressureDuctDbl.Add(split);
                    }
                }
                else
                {
                    pressureDuctDbl.Add(0);
                }


                // Sečtení hodnot v čísleném Listu a vypsání do textového řetězce
                StringBuilder st = new StringBuilder();
                string strlossFitting;
                string strlossFitting2;
```

```
                string strLossDuct = Math.Round(pressureDuctDbl.Sum(), 3).ToString();


                // Ošetření proti prázdnému Listu
                if (pressureDuctFitting.Count != 0)
                {
                    st.AppendLine("Hodnoty z textového souboru");
                    st.AppendLine("Tlaková ztráta přímých úseků: " + strLossDuct + " Pa");
                    strlossFitting = Math.Round(pressureDuctFitting.Sum(), 3).ToString();
                    st.AppendLine("Tlaková ztráta tvarovek: " + strlossFitting + " Pa");
                    double dbllossCelk = double.Parse(strLossDuct) +
double.Parse(strlossFitting);
                    st.AppendLine("Celková tlaková ztráta: " + dbllossCelk.ToString() + "
Pa");


                    if (pressureDuctFittingEquation.Count != 0)
                    {
                        st.AppendLine();
                        st.AppendLine("Hodnoty z rovnice");
                        st.AppendLine("Tlaková ztráta přímých úseků: " + strLossDuct + "
Pa");
                        strlossFitting2 = Math.Round(pressureDuctFittingEquation.Sum(),
3).ToString();
                        st.AppendLine("Tlaková ztráta tvarovek: " + strlossFitting2 + "
Pa");
                        double dbllossCelk2 = double.Parse(strLossDuct) +
double.Parse(strlossFitting2);
                        st.AppendLine("Celková tlaková ztráta: " + dbllossCelk2.ToString()
+ " Pa");
                    }
                    else
                    {
                        pressureDuctFittingEquation.Add(0);
                        st.AppendLine();
                        st.AppendLine("Hodnoty z rovnice");
                        st.AppendLine("Tlaková ztráta přímých úseků: " + strLossDuct + "
Pa");
                        strlossFitting2 = Math.Round(pressureDuctFittingEquation.Sum(),
3).ToString();
                        st.AppendLine("Tlaková ztráta tvarovek: " + strlossFitting2 + "
Pa");
```

```
                        double dbllossCelk2 = double.Parse(strLossDuct) +
double.Parse(strlossFitting2);

                        st.AppendLine("Celková tlaková ztráta: " + dbllossCelk2.ToString()
+ " Pa");

                    }

                }

                else

                {

                    pressureDuctFitting.Add(0);

                    st.AppendLine("Hodnoty z textového souboru");

                    st.AppendLine("Tlaková ztráta přímých úseků: " + strLossDuct + " Pa");

                    strlossFitting = Math.Round(pressureDuctFitting.Sum(), 3).ToString();

                    st.AppendLine("Tlaková ztráta tvarovek: " + strlossFitting + " Pa");

                    double dbllossCelk = double.Parse(strLossDuct) +
double.Parse(strlossFitting);

                    st.AppendLine("Celková tlaková ztráta: " + dbllossCelk.ToString() + "
Pa");


                    if (pressureDuctFittingEquation.Count != 0)

                    {

                        st.AppendLine();

                        st.AppendLine("Hodnoty z rovnice");

                        st.AppendLine("Tlaková ztráta přímých úseků: " + strLossDuct + "
Pa");

                        strlossFitting2 = Math.Round(pressureDuctFittingEquation.Sum(),
3).ToString();

                        double dbllossCelk2 = double.Parse(strLossDuct) +
double.Parse(strlossFitting2);

                        st.AppendLine("Celková tlaková ztráta: " + dbllossCelk2.ToString()
+ " Pa");

                    }

                    else

                    {

                        pressureDuctFittingEquation.Add(0);

                        st.AppendLine();

                        st.AppendLine("Hodnoty z rovnice");

                        st.AppendLine("Tlaková ztráta přímých úseků: " + strLossDuct + "
Pa");

                        strlossFitting2 = Math.Round(pressureDuctFittingEquation.Sum(),
3).ToString();
```

```
                        double dbllossCelk2 = double.Parse(strLossDuct) +
double.Parse(strlossFitting2);

                        st.AppendLine("Celková tlaková ztráta: " + dbllossCelk2.ToString()
+ " Pa");

                    }

                }


                // Zobrazení okna s textovým řetězcem výsledku

                // Podmínka, aby byl vybrán alespon jeden prvek, jinak systém jede dál
(ukončí příkaz)

                if (pickedRef.Count != 0)

                {

                    TaskDialog.Show("Pressure loss", st.ToString());

                }

                else

                {

                    return Result.Cancelled;

                }


            return Result.Succeeded;

            }


            // Jednání v případě, že příkaz bude ukončen

            catch (Autodesk.Revit.Exceptions.OperationCanceledException)

            {

                TaskDialog.Show("Dvojka", "Dvojka");

                return Result.Cancelled;

            }


            // Jednání v případě, že nastane chyba

            catch (Exception ex)

            {

                TaskDialog.Show("Trojka", "Trojka");

                message = ex.Message;

                return Result.Failed;

            }

        }
```

```
    }
}
```