

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



**Nejistota měření vzduchotěsnosti budov – vliv
polohy snímače venkovního tlaku – experimentální
analýza**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracoval:

Bc. Martin Široký

Vedoucí práce:

Ing. Jiří Novák, Ph.D.

2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Široký	Jméno: Martin	Osobní číslo: 438435
Zadávací katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb		
Studijní program: (N3649) Budovy a prostředí		
Studijní obor: (3608T006) Budovy a prostředí		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	Nejistota měření vzduchotěsnosti budov - vliv polohy snímače venkovního tlaku - experimentální analýza	
Název diplomové práce anglicky:	Uncertainty of airtightness measurement - influence of the external pressure tap position - experimental analysis	
Pokyny pro vypracování:	Rešerše: princip měření vzduchotěsnosti, nejistoty při měření vzduchotěsnosti, statistické zpracování dat Realizace experimentu: opakované měření vzduchotěsnosti vybrané budovy při současném snímání venkovního tlaku z několika poloh při různých klimatických podmínkách (zejm. různé síly a směru větru) Statistické vyhodnocení naměřených výsledků. Stanovení nejistoty výsledků měření vzduchotěsnosti vlivem různé polohy venkovního snímače tlaku. Formulace praktických doporučení pro snížení této nejistoty.	
Seznam doporučené literatury:	ČSN EN ISO 9972 Ing. Jiří Novák, Ph.D., Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov, Grada 2008 John R. Taylor, An introduction to error analysis, University Science Books 1997	
Jméno vedoucího diplomové práce:	Ing. Jiří Novák, Ph.D.	
Datum zadání diplomové práce:	19.9.2019	Termín odevzdání diplomové práce: 5.1.2020 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry	

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
-----------------------	---------------------

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Martin Široký

Název diplomové práce: Nejistota měření vzduchotěsnosti budov - vliv polohy snímače venkovního tlaku - experimentální analýza

Základní část: KPS (K124) podíl: 100 %

Formulace úkolů: Rešerše: princip měření vzduchotěsnosti, nejistoty při měření vzduchotěsnosti, statistické zpracování dat

Realizace experimentu: opakované měření vzduchotěsnosti vybrané budovy při současném snímání venkovního tlaku z několika poloh při různých klimatických podmínkách (zejm. různé síly a směru větru)

Statistické vyhodnocení naměřených výsledků.

Stanovení nejistoty výsledků měření vzduchotěsnosti vlivem různé polohy venkovního snímače tlaku.

Formulace praktických doporučení pro snížení této nejistoty.

Podpis vedoucího DP: Datum:

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

Poznámka:

Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci. (Vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze, dne 5. 1. 2020

.....

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za výborné vedení, odborné rady a trpělivost při tvorbě mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Univerzitnímu centru energeticky efektivních budov za umožnění provedení experimentálního měření na objektu MORE-CONNECT. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a manželce za podporu.

Abstrakt

Pro účely této diplomové práce je realizován experiment, který spočívá v opakovaném měření vzduchotěsnosti vybrané budovy. Současně je snímán venkovní tlak z několika poloh při různých klimatických podmínkách (zejm. různá síla a směr větru). Je provedeno celkem 53 měření vzduchotěsnosti budovy. Po získání naměřených dat je vytvořen výpočetní nástroj pro vypočtení výsledků měření. Naměřené hodnoty jsou statisticky vyhodnoceny a je stanovena nejistota měření vzduchotěsnosti vlivem různé polohy venkovního snímače tlaku. Jsou formulována doporučení pro snížení této nejistoty.

Klíčová slova

vzduchotěsnost, blower door test, nejistota měření vzduchotěsnosti, experimentální analýza, UCEEB, MORE-CONNECT, vliv větru

Abstract

For the purpose of this thesis, an experiment consisting of repeatedly measuring the airtightness of a selected building, while simultaneously measuring outside pressure from several positions under different climate conditions (especially different wind strength and direction). A total of 53 of these measurements were made on the building. After obtaining all the data, a calculation tool is created to determinate measurement results. The measured values are statistically evaluated and the uncertainty of the airtightness measurement due to the different position of the outdoor pressure sensor is determined. Recommendations are made to reduce this uncertainty.

Keywords

airtightness, blower door test, uncertainty of airtightness measurement, experimental analysis, UCEEB, MORE-CONNECT, influence of wind

Obsah

1. Motivace	10
2. Cíle práce.....	11
3. Rešerše.....	11
4. Postup řešení práce.....	14
4.1. Volba vhodného objektu.....	14
4.2. Postup měření.....	17
4.2.1. Příprava budovy	17
4.2.2. Příprava měřicího zařízení.....	18
4.2.3. Vlastní měření	22
4.2.4. Závěr.....	23
4.3. Práce s naměřenými daty/Vyhodnocení měření	24
4.3.1. Příprava výpočetního nástroje pro výpočet posuzovaných veličin.....	24
4.3.2. Statistická analýza větru a teploty vzduchu	28
4.3.3. Kontrola platnosti dat	31
4.3.3.1. Úvod	31
4.3.3.2. Metoda.....	31
4.3.3.3. Vlastní hodnocení.....	32
4.3.3.4. Závěr.....	33
4.3.4. Základní přehled – popisné statistiky.....	34
4.3.4.1. Úvod	34
4.3.4.2. Metoda.....	34
4.3.4.3. Vlastní hodnocení.....	34
4.3.4.4. Závěr.....	36
4.3.5. Vliv polohy snímače na nejistotu q_{50}	37
4.3.5.1. Úvod	37
4.3.5.2. Metoda.....	37
4.3.5.3. Vlastní hodnocení.....	39
4.3.5.4. Závěr.....	47
4.3.6. Závislost q_{50} na rychlosti větru	48
4.3.6.1. Úvod	48
4.3.6.2. Metoda.....	48
4.3.6.3. Vlastní hodnocení.....	49
4.3.6.4. Závěr.....	51
5. Shrnutí a doporučení.....	52
Literatura:.....	55

Přílohy:

Příloha 1:	Vzorové zpracování výsledků a grafů pro jednotlivé testy.....	57
Příloha 2:	Souhrnné grafy po jednotlivých senzorech.....	59
Příloha 3:	Platnost dat – výpočty podle Chauvenetova kritéria.....	64
Příloha 4:	Popisná statistika a histogramy četností.....	70
Příloha 5:	Posouzení vlivu polohy snímače na měření – ‘‘2x směrodatná odchylka od průměru’’	83
Příloha 6:	Tabulka C [1].....	84
Příloha 7:	Porovnání rozsahu q_{50} v rámci testu s rychlostí větru.....	85
Příloha 8:	Grafy prokazující nezávislost rozsahu hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých snímačů na venkovní teplotě a na teplotním rozdílu interiéru a exteriéru.....	88
Příloha 9:	Grafy závislosti q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s].....	89
Příloha 10:	Grafy závislosti rozdílu v absolutní hodnotě mezi q_{50+} a q_{50-} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s].....	93

Tabulka 1: Legenda značek [2]

Značka	Veličina	Jednotka
C_{env}	součinitel proudění skrz obálku budovy	$m^3/(h.Pa^n)$
C_L	součinitel proudění netěsnostmi	$m^3/(h.Pa^n)$
n_{pr}	intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu	h^{-1}
n_{50}	intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa	h^{-1}
p	tlak	Pa
p_{bar}	neopravený barometrický tlak	Pa
p_v	částečný tlak vodní páry	Pa
p_{vs}	částečný tlak nasycené vodní páry	Pa
q_{pr}	průtok vzduchu netěsnostmi při referenčním tlakovém rozdílu	m^3/h
q_{50}	průtok vzduchu netěsnostmi při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa	m^3/h
q_m	změřený průtok vzduchu	m^3/h
q_r	odečtený průtok vzduchu	m^3/h
V	vnitřní objem vzduchu	m^3
Δp	vyvolaný tlakový rozdíl	Pa
Δp_0	tlakový rozdíl při nulovém průtoku vzduchu (průměr)	Pa
$\Delta p_{0,1}; \Delta p_{0,2}$	tlakový rozdíl při nulovém průtoku vzduchu před a po zkoušce (ventilátor uzavřený)	Pa
$\Delta p_{0+}; \Delta p_{0-}$	průměr kladných a záporných hodnot tlakového rozdílu při nulovém průtoku vzduchu (+ a – značí kladný a záporný tlak na obálku budovy)	Pa
Δp_m	změřený tlakový rozdíl	Pa
Δp_r	referenční tlakový rozdíl	Pa
φ	relativní vlhkost	%
φ_e	relativní vlhkost v exteriéru	%
φ_{int}	relativní vlhkost v interiéru	%
T_0	absolutní teplota při standardních podmínkách	K
T_e	absolutní teplota venkovního vzduchu	K
T_{int}	absolutní teplota vnitřního vzduchu	K
θ	Celsiova teplota	$^{\circ}C$
θ_e	Celsiova teplota venkovního vzduchu	$^{\circ}C$
θ_{int}	Celsiova teplota vnitřního vzduchu	$^{\circ}C$
ρ	hustota vzduchu	kg/m^3
ρ_0	hustota vzduchu při standardních podmínkách	kg/m^3
ρ_e	hustota venkovního vzduchu	kg/m^3
ρ_{int}	hustota vnitřního vzduchu	kg/m^3
Δp_{fan}	tlakový rozdíl na ventilátoru	Pa

1. Motivace

Vzduchotěsnost je v současnosti velice důležitým parametrem budov. Vzduchotěsnost má velký vliv na tepelné ztráty [3]. V nově navrhovaných budovách je téměř nutností větrání s rekuperací. Pro správné fungování rekuperace je důležitá vzduchotěsnost. Pokud teplý znečištěný vzduch unikne netěsnostmi v obálce budovy, tak nedojde k předání tepelné energie v rekuperátoru. [3]

Se zvyšujícím se tlakem na udržitelnou výstavbu se zvyšuje i podíl dřevostaveb na trhu. Pro dřevostavby jsou z hlediska vzduchotěsnosti důležité především detaily. Měřením vzduchotěsnosti v průběhu výstavby je možné odhalit netěsnosti a případné chyby napravit.

V České republice je možnost získat dotaci na výstavbu rodinného nebo bytového domu. Pro získání dotace je potřeba, aby intenzita výměny vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu 50 Pa nepřesáhla hodnotu $n_{50} = 0,6$. [4] Je tedy žádoucí, aby byly výsledky měření stanoveny s maximální možnou přesností.

Při měření průvzdušnosti, resp. vzduchotěsnosti obálky budovy vstupují do měření určité nejistoty. Abychom mohli měřit přesně, tak je potřeba se těchto nejistot zbavit nebo je alespoň co nejvíce snížit. Je potřeba znát zdroje těchto nejistot. Musíme vědět, jak nejistoty fungují, co na ně má vliv.

Nejistoty mohou být způsobeny chybami měřiče. Tyto chyby je možné odstranit dodržováním správného měřicího postupu podle příslušné normy [2] a pokynů výrobce zvoleného měřičského zařízení [5].

Nejistoty způsobené měřicím zařízením je možné redukovat pravidelnou údržbou a kalibrací všech součástí měřicího zařízení.

Zdroje nejistot mohou být způsobeny klimatickými podmínkami. Velký vliv na přesnost měření má především vítr působící na měřenou budovu a teplotní rozdíl. Teplotní rozdíl může mít velký vliv na přesnost především u vysoké budovy. [2] [3]

Během měření vzduchotěsnosti v praxi je málokdy absolutní bezvětří. Vítr působí na téměř každé měření vzduchotěsnosti budovy. Je tedy důležité stanovit, jestli má vítr vliv na výsledky vzduchotěsnosti. Pokud vítr ovlivňuje výsledky měření, tak je žádoucí zjistit, jak výrazně. Je potřeba zjistit, jakou nejistotu měření vítr způsobuje, jak tato nejistota funguje a jak ji můžeme eliminovat.

2. Cíle práce

Při měření vzduchotěsnosti mi vyvstávají tyto otázky, na které se pokusím odpovědět.

Závisí změřený výsledek na poloze snímače a na rychlosti větru? Pokud ano, jak výrazně? Je tato nejistota měření předvídatelná podle rychlosti větru? Mohu umístěním tlakového snímače podstatně ovlivnit výslednou hodnotu? Je nějaká závislost q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru? Je odchylka způsobena vlivem polohy snímačů větší než případné ostatní systematické i nesystematické chyby měření?

Cílem práce je nejprve provést rešerši na téma princip měření vzduchotěsnosti, nejistoty při měření vzduchotěsnosti a statistické zpracování dat.

Další fází je realizace experimentu, který spočívá v opakovaném měření vzduchotěsnosti vybrané budovy při současném snímání venkovního tlaku z několika poloh při různých klimatických podmínkách. Je potřeba se naučit používat zařízení blower door. Při měření vzduchotěsnosti je potřeba současně měřit teploty a rychlost větru.

Po získání naměřených dat je potřeba vytvořit vlastní výpočetní nástroj. Pomocí výpočetního nástroje budou vypočítány veličiny potřebné pro další analýzy.

Naměřené výsledky budou statisticky vyhodnoceny. Budou stanoveny základní popisné statistiky.

Bude stanovena nejistota výsledků měření vzduchotěsnosti vlivem různé polohy venkovního snímače tlaku.

Nakonec budou formulována praktická doporučení pro snížení této nejistoty.

3. Rešerše

Princip měření vzduchotěsnosti

Nejběžnější princip měření vzduchotěsnosti budovy je pomocí metody tlakového spádu s externím či vnitřním ventilátorem. Princip spočívá ve vytvoření určitých tlakových rozdílů v budově za pomoci ventilátoru, přičemž je měřen objemový průtok vzduchu. Velikost tlakových rozdílů je volena tak, aby byly vyšší než tlakové rozdíly vyvolané klimatickými vlivy. Obvykle měřené tlakové rozdíly jsou v rozmezí cca 20 až 80 Pa. Výsledky měření jsou vyneseny jako body do grafu závislosti objemového toku vzduchu na vyvolaném tlakovém rozdílu. Při vykreslení grafu v logaritmickém měřítku má závislost objemového toku vzduchu na tlakovém rozdílu tvar přímky, jejíž rovnice se získá zlogaritmováním empirické rovnice proudění. Nejpoužívanější zařízení s externím ventilátorem je tzv. blower door. [3]

Další princip měření vzduchotěsnosti využívá metoda harmonicky proměnného tlakového rozdílu. V budově je vyvoláván harmonicky proměnný tlakový rozdíl a sleduje se odezva na tyto změny uvnitř budovy. Z charakteru této odezvy se odvozují údaje o vzduchotěsnosti obvodového pláště. Harmonická změna tlakového rozdílu je vyvolána pohybem pístu, který periodicky stlačuje objem vzduchu uvnitř budovy se známou frekvencí. Měří se amplituda rozdílu vyvolaného pístem a fázový posun mezi změnou tlaku v budově a polohou pístu. Z těchto dvou veličin se vypočítá objemový tok vzduchu netěsnostmi. Měření probíhá při nízkých tlakových rozdílech a není tedy možné měřit budovy s výraznými netěsnostmi. [3]

Další princip měření vzduchotěsnosti využívá metoda tlakového impulzu. Tlakový rozdíl v objektu vyvolaný tlakovým impulzem v čase klesá. Rychlost poklesu tlaku závisí na vzduchotěsnosti obálky objektu. Je porovnáván teoretický průběh poklesu tlaku s naměřenými daty. Tímto je možno odvodit údaje o vzduchotěsnosti obálky. [3]

Nejistoty při měření vzduchotěsnosti

Nejistoty při měření mohou být způsobeny měřičem a měřicím zařízením. Z tohoto důvodu je důležité, aby byl dodržován měřicí postup stanovený příslušnou normou. [2] Měřicí zařízení musí být schopno měřit s požadovanou přesností a být kalibrováno ve stanovených intervalech. [2]

Při pomnutí nejistoty způsobené chybami měřiče a měřicím zařízením jsou největší nejistoty při měření jsou způsobeny klimatickými podmínkami.

Největší tlakový rozdíl v exteriéru a měřené budově způsobuje rychlost větru, teplotní rozdíl a skutečnost, jak je měřená budova vysoká. Tyto faktory tedy mají vliv na nejistotu měření. [3]

Nejistota měření může být způsobena dynamickým tlakem uvnitř budovy. Pokud je snímač tlaku umístěn například blízko ventilátoru, v úzkých prostorech (např. chodbě) nebo otvorech (např. dveře) nebo v blízkosti velkých netěsností v obálce. [6]

Když fouká vítr, kolem objektu vzniká tlakové pole, takže ve všech místech okolo budovy není stejný statický tlak, který je měřen při blower door testu. [6] Je tedy rozdíl ve výsledku měření vzduchotěsnosti při různém umístění tlakových snímačů.

Na téma: „Vliv polohy vnějšího snímače na výsledky testu vzduchotěsnosti“ [7] byla provedena vědecká studie. V rámci této studie byla změřena celkem devětkrát vzduchotěsnost rodinného domu v Koberovech. Během každého testu byly umístěny čtyři vnější tlakové snímače ve vzdálenosti 5 až 8 m od fasád. Z každého testu bylo vypočteno pět hodnot q_{50} [m^3/h]. Během všech devíti testů byly bohužel velice

podobné podmínky větru. Rozsah hodnot q_{50} vyplývající ze stejného testu a odpovídající čtyřem různým polohám vnějšího tlakového snímače je velmi nízký. Přes očekávání rozsah výsledků klesá s rychlostí větru. [7]

Z výše zmíněné studie plyne, že je potřeba provést více měření. Při navázání na studii bude mimo jiné ověřeno, zda rozsah výsledků klesá s rychlostí větru.

Statistické zpracování dat

Odvozené veličiny budou vypočteny a odhad jejich nejistot bude proveden dle normy ČSN EN ISO 9972. Bude použita příloha C. [2]

Pro statistickou kontrolu platnosti dat je použito Chauvenetovo kritérium [1]. Kontrola je provedena tak, že se nejprve ze souboru N naměřených hodnot určí průměr \bar{x} , výběrová směrodatná odchylka σ_x a nejodlehlejší hodnota x_{sus} . Dále je podle vzorce (1) určeno, o kolik směrodatných odchylek se od průměru nachází nejodlehlejší hodnota (značeno t_{sus}). [1]

$$t_{sus} = \frac{|x_{sus} - \bar{x}|}{\sigma_x} \quad (1)$$

Podle hodnoty t_{sus} je určena z tabulky A [1] pravděpodobnost (značeno $Prob(\text{within } t\sigma)$), že je nejodlehlejší hodnota měření blíže, než počet směrodatných odchylek. Po odečtení této pravděpodobnosti od jedné a vynásobením počtem hodnot N je získána hodnota n . Parametr n říká, jaký počet vzdálených hodnot jako x_{sus} je možno očekávat. Pokud je tato hodnota n nižší než 0,5, je možné nejvzdálenější hodnotu uvažovat jako odlehlé pozorování. [1]

Zda jsou dvě veličiny na sobě závislé, je možné zjistit pomocí korelačního koeficientu r [-]. V závislosti na tom, kolik je provedeno měření a jaký je korelační koeficient, je možné v příloze 6 zjistit, jaká je pravděpodobnost, že veličiny nejsou závislé. Tuto pravděpodobnost stačí odečíst od 100 % a tím je zjištěno, jaká je pravděpodobnost, že jsou veličiny závislé. [1]

4. Postup řešení práce

Pro měření vlivu umístění tlakového senzoru a vlivu větru na vzduchotěsnost budovy je použito zařízení blower door. Běžně je při blower door testu měřen tlakový rozdíl mezi venkovním a vnitřním prostředím pomocí jednoho snímače umístěného vně budovy a druhého uvnitř budovy. V prováděném experimentu jsou čtyři snímače tlaku uvnitř budovy a čtyři snímače vně budovy. Vnější čtyři snímače jsou rozmístěny do určité vzdálenosti od fasád objektu. Vnitřní snímače jsou umístěny na shodném místě uvnitř budovy. Z jednoho testu budou tedy získány čtyři tlakové rozdíly, a navíc bude vypočtena jejich průměrná hodnota. Jedním testem je získáno pět výsledků.

Práce spočívá v tom, že je měřena vždy stejná budova, je provedena vždy stejná příprava budovy, je použito stejné zařízení a stejný měřicí postup. Jedinou proměnnou jsou klimatické podmínky, především rychlost a směr větru.

Je provedeno velké množství testů. Hodnocení jsou založena především na statistické analýze. Podrobnosti jsou rozebrány v následujících kapitolách.

4.1. Volba vhodného objektu

Pro objektivní provedení experimentu je klíčové vhodné zvolení posuzovaného objektu. Experimentální měření zařízením blower door probíhá v objektu MORE-CONNECT v areálu Univerzitního centra energeticky efektivních budov.



Obrázek 1: Experimentální objekt MORE-CONNECT

Objekt se nachází na rovinatém pozemku. Ideální by bylo, kdyby byla měřená budova na zelené louce bez jakékoliv stínící překážky.



Obrázek 2: Areál UCEEB [8]

Předpokládaný převažující směr větru je od jihozápadu. Návětrná strana objektu tedy není chráněna před větrem.

Objekt se nesmí během jednotlivých měření konstrukčně měnit. Budova je dokončena a během testů nebude měněna způsobem, který by měl vliv na vzduchotěsnost objektu.

Příprava budovy a veškerého měřicího zařízení zabere mnoho času, je tedy vhodné, aby bylo během jednoho měřicího dne bylo provedeno více testů. Pro měření je potřeba mít výhradní přístup do měřeného objektu.

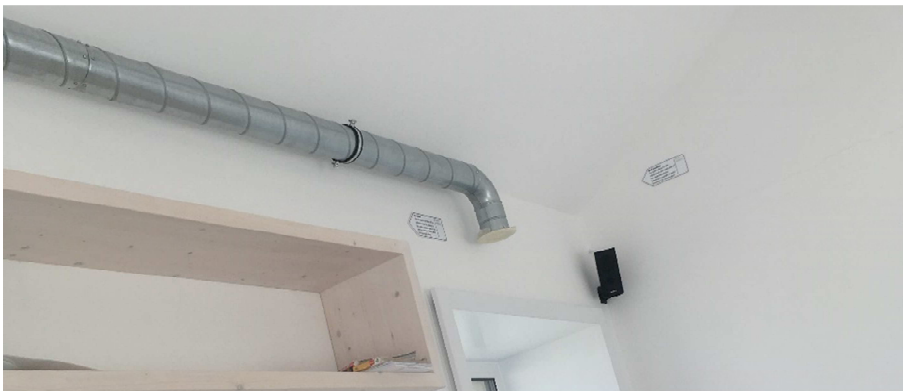
Měřená budova má jednoduchý tvar obdélníka o jedné místnosti. Budova má sedlovou střechu. Objekt je v porovnání s běžným rodinným domem menší. Budova má vnější rozměr přibližně 7,6 x 4,4 m. Vnitřní objem měřené místnosti je 45,1 m³. Objekt je výrazně menší než běžný rodinný dům, ale vzhledem k tomu, že obsahuje pouze jednu místnost, je předpoklad, že bude reagovat jako jedna zóna.

Objekt je vybaven VZT jednotkou s rekuperací tepla. Rozvody budou vhodným způsobem zatěsněny.



Obrázek 3: VZT jednotka DUPLEX 170 EC5 umístěná v suterénu, na fotce je vidět utěsnění přívodu čerstvého vzduchu

Nevýhodou zvoleného objektu je komplikovaný vzduchotechnický systém. Po délce celé místnosti probíhá VZT potrubí, které pravděpodobně není dokonale těsné. Výustky a ústí do VZT jednotky bude zatěsněno nejlepším možným způsobem, ale i tak bude při měření nejspíše měřena i těsnost tohoto VZT systému.



Obrázek 4: Vzduchotechnické potrubí a výustka

Druhou nevýhodou budovy je skutečnost, že má suterén. Suterén je přístupný z exteriéru viz. obrázek 1. Je tedy možné, že netěsnosti mezi suterénem a měřenou místností mohou ovlivnit celý test. Pokud by byly netěsnosti mezi suterénem a měřenou místností výrazné, nemusel by se projevit zkoumaný vliv větru na výsledek měření vzduchotěsnosti.

4.2. Postup měření

4.2.1. Příprava budovy

Nejprve je provedena vizuální kontrola budovy. Je zkontrolováno, zda není porušena obálka budovy. Jsou zkontrolována okna, zda jsou zavřena.

V suterénu je pomocí jističe vypnut přívod elektrické energie ke vzduchotechnické jednotce. Je utěsněn přívod čerstvého vzduchu z VZT jednotky viz. obrázek 3. Ze VZT jednotky je vyjmut filtr a zatěsněn odvod vzduchu z interiéru do VZT jednotky.



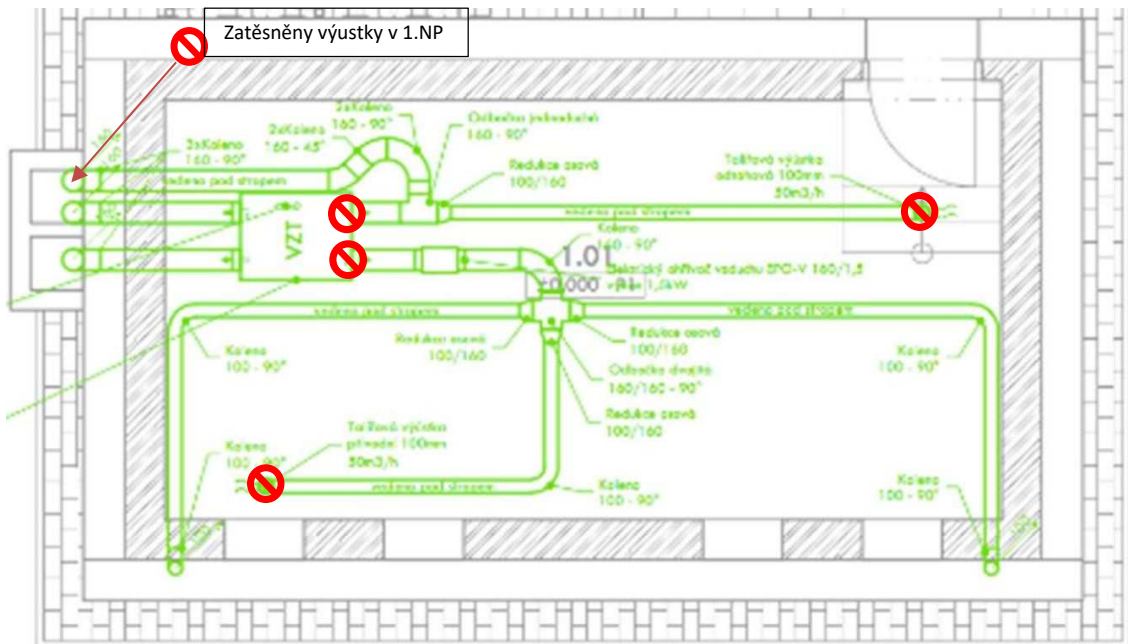
Obrázek 5: Zatěsnění odvodu vzduchu z interiéru do VZT jednotky

V suterénu a měřené místnosti jsou zatěsněny výstky vzduchotechniky a připravené trubky vytápění.



Obrázek 6: Zatěsnění odtahu vzduchu a připravených trubek vytápění

Odtah znečištěného vzduchu je zatěsněn ve VZT jednotce a na všech výustkách. Přívod čerstvého vzduchu je zatěsněn ve VZT jednotce. Štěrbínové výustky čerstvého vzduchu vedle okenních otvorů nebyly zatěsněny.



Obrázek 7: VZT rozvod v suterénu s označením zatěsnění [9]

4.2.2. Příprava měřicího zařízení

Do dveřního rámu je osazen instalační rám s plachtou. Netěsnosti mezi dveřním rámem a plachtou na instalačním rámu jsou z vnější strany přelepeny po celém obvodu lepicí páskou. Z vnitřní strany je přelepena plachta v horních rozích a v místě horní příčky rámu.



Obrázek 8: Osazený instalační rám ve vchodových dveřích - z exteriéru a interiéru

V exteriéru a interiéru je umístěn snímač teploty a relativní vlhkosti. Exteriérový snímač je umístěn v blízkosti severní fasády domu. Interiérový snímač je umístěn uprostřed místnosti na stole. Oba snímače jsou chráněny před přímým slunečním zářením. Tyto snímače zaznamenávají data v intervalu jedné minuty po celou dobu měření.



Obrázek 9: Poloha vnitřního (vlevo) a vnějšího (vpravo) snímače teploty a relativní vlhkosti

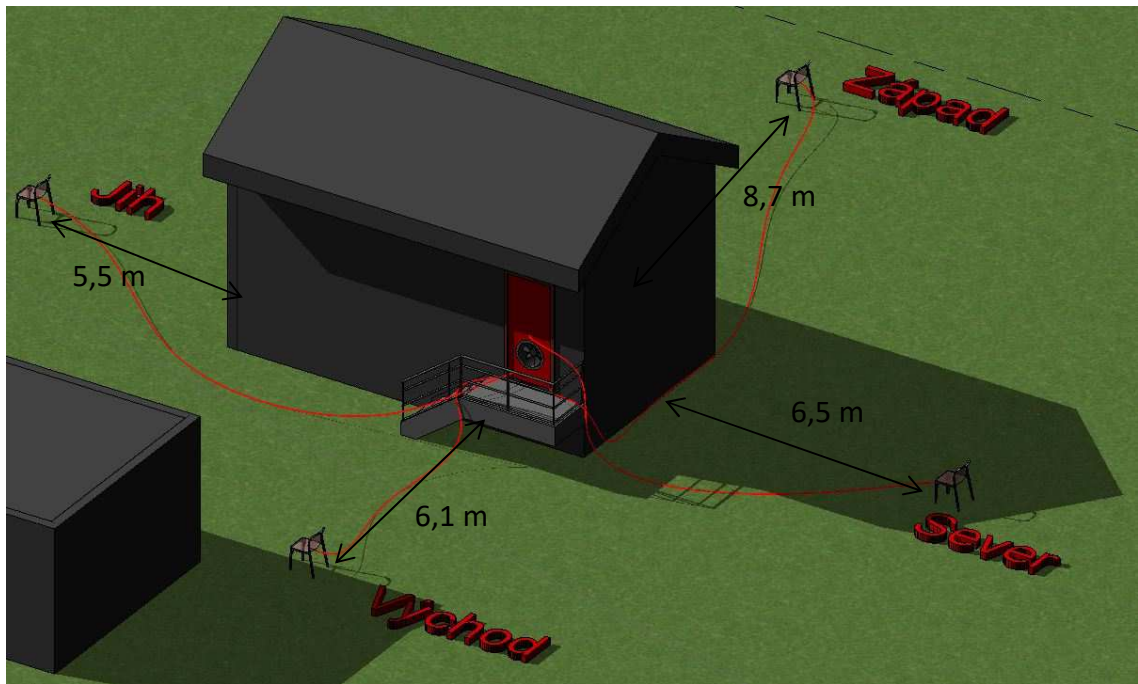
Anemometr je umístěn přibližně 3,6 m od jihozápadního rohu domu. Měřicí vrtulka anemometru je umístěna přibližně ve výšce 1,8 m nad terénem. Tento anemometr zaznamenává rychlost větru po celou dobu měření. Data z anemometru jsou zaznamenávána v intervalu jedné vteřiny.



Obrázek 10: Poloha anemometru - jihozápadní roh

Čas ve všech použitých měřicích zařízeních je synchronizován s časem počítače.

Celkem čtyři snímače vnějšího tlaku jsou umístěny v určité vzdálenosti od fasád domu. Snímač na východní straně domu (zn. V) je vzdálen 6,1 m od fasády. Snímač na západní straně domu (zn. Z) je vzdálen 8,7 m od fasády. Snímač na jižní straně domu (zn. J) je vzdálen 5,5 m od fasády. Snímač na severní straně domu (zn. S) je vzdálen 6,5 m od fasády. Konce snímačů (hadiček) jsou opatřeny T-kusem. T-kus by měl chránit před dynamickým účinkem větru [2]. Konce hadiček jsou připevněny na spodní straně židliček ve výšce přibližně 30 cm nad terénem. Tímto způsobem jsou konce snímačů chráněny před vniknutím vody při dešti.



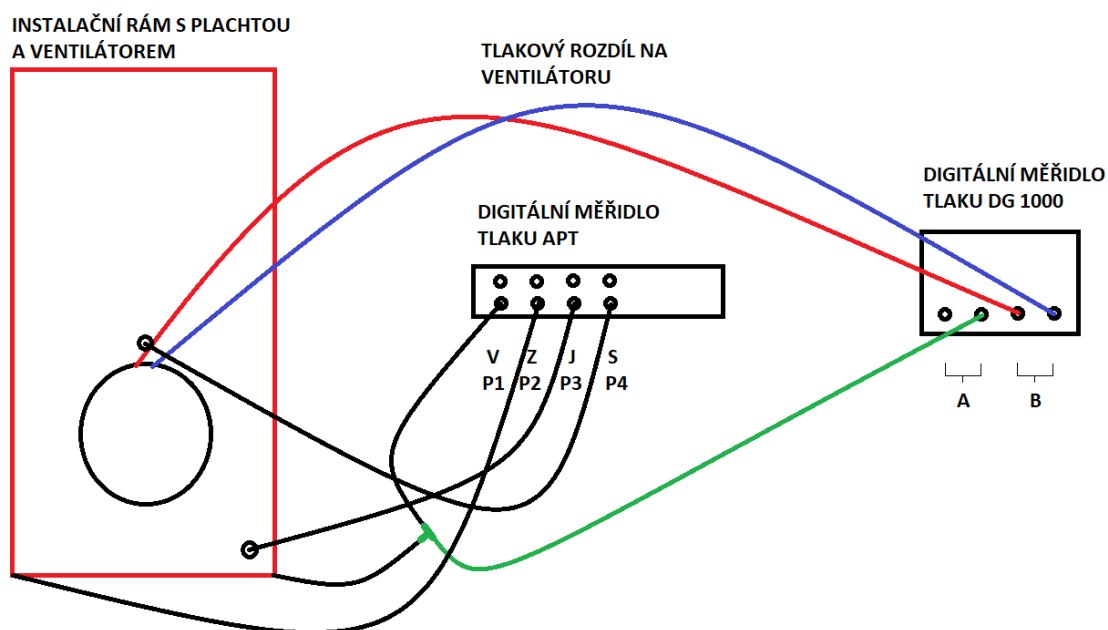
Obrázek 11: Schematické rozmístění vnějších snímačů tlaku

Hadička S je napojena skrz průchodku plachty nad ventilátorem. Hadička J je napojena skrz průchodku plachty pod ventilátorem. Hadičky V a Z prochází spodními rohy mezi plachtou a dveřním rámem. Tímto hadičky pomáhají zlepšit těsnou montáž instalačního rámu.



Obrázek 12: Osazený ventilátor Minneapolis BlowerDoor model 4 a napojení venkovních snímačů tlaku

Čtyři hadičky V, Z, J, S jsou napojeny na čtyři kanály APT. Pomocí zařízení pro měření tlaku APT jsou měřeny čtyři tlakové rozdíly P1-V, P2-Z, P3-J, P4-S. Na hadičku V je nasazen T-kus. Od T-kusu je napojeno měřicí zařízení tlaku APT a DG1000. Tlakový rozdíl na ventilátoru je měřen pomocí měřidla DG 1000. Zařízení DG 1000 je připojeno k regulátoru otáček ventilátoru. Zařízení pro měření tlaku APT a DG 1000 jsou připojena k počítači. Test je řízen přes počítač pomocí zařízení DG 1000. Pomocí programu TECLOG 4 jsou zaznamenávány tlakové rozdíly ze čtyř kanálů zařízení APT P1-V, P2-Z, P3-J, P4-S a ze dvou kanálů zařízení DG 1000 (A-V, B-ventilátor).



Obrázek 13: Schéma zapojení hadiček na měřidla tlaku APT a DG 1000



Obrázek 14: Napojení hadiček na měřicí tlakový rozdíl APT a DG1000

4.2.3. Vlastní měření

Nejdříve je proveden zkušební test, aby byly určeny jednotné tlakové rozdíly, které budou ve všech testech shodné. Tlakové rozdíly jsou zvoleny tak, aby nebylo během testu nutné měnit clonu.

Tlakové rozdíly jsou zvoleny pro podtlak i přetlak jednotně 70, 65, 60, 55, 50, 45, 40, 35, 30, 25 Pa. Pro tyto tlakové rozdíly je možné použití clony C beze změny. Je pravděpodobné, že nejnižší tlakový rozdíl nesplní požadavek normy [2]. V rámci této diplomové práce, jsou tlakové rozdíly zvoleny tak, že nejnižší tlakový rozdíl odpovídá pětinasobku maximálního možného přirozeného tlakového rozdílu.

Měření je prováděno pomocí programu TECLOG 4. V programu TECLOG 4 jsou po zapnutí nahrávání zaznamenávány každou vteřinu tlakové rozdíly změřené na připojených zařízeních. Jsou zaznamenávány tlakové rozdíly mezi vnitřními a vnějšími snímači a mezi snímači na ventilátoru. V průběhu měření jsou v rozhraní programu TECLOG 4 poznamenány vždy okamžiky, od kterých bude odečteno 30 vteřin tlakových rozdílů. Po ukončení posledního testu v rámci dne jsou měření zpracována.

Během jednoho dne je podle konkrétních podmínek provedeno dva až pět testů. Přičemž jeden test se skládá z měření při podtlaku a přetlaku. Nejprve se na ventilátor umístí kryt a je změřen přirozený tlakový rozdíl. Přirozený tlakový rozdíl je odečítán 30 vteřin. Po změření přirozeného tlakového rozdílu je sejmout kryt ventilátoru. Ventilátor je poté nastaven, aby vyvolal podtlak 70 Pa. Když je hodnota ustálena, jsou po dobu 30 vteřin odečítány hodnoty tlakového rozdílu mezi interiérem a exteriérem a zároveň rozdíl tlaků na ventilátoru. Po zaznamenání hodnot je ventilátor přenastaven na další tlakové rozdíly (70 až 25 Pa). Po změření tlakového rozdílu 25 Pa je nasazen opět kryt ventilátoru a změřen přirozený tlakový rozdíl. Tímto je polovina testu hotova. Po otočení ventilátoru je změřen obdobným způsobem přetlak v budově. Tlakové rozdíly jsou vždy nastavovány pomocí východního senzoru napojeného na přístroj DG 1000.

Při odečítání hodnot je za 30 vteřin odečteno 27 až 30 hodnot v závislosti na tom, jestli během těchto 30 vteřin nastane automatické nastavení nuly na přístrojích pro měření tlaku. Vybráním dat v programu TECLOG 4 se z těchto 27 až 30 hodnot vypočte průměrná hodnota.

Během zaznamenávání tlakových rozdílů jsou zároveň zaznamenávány každou minutu vnitřní a vnější teploty a relativní vlhkosti. Zároveň jsou zaznamenávány každou vteřinu rychlosti větru měřené anemometrem, který je umístěn u jihozápadního rohu domu.

Během testu jsou měřeny veličiny: $\Delta p_{0,1}$ [Pa]; $\Delta p_{m,i}$ [Pa]; $\Delta p_{0,2}$ [Pa]; q_r [m³/h]; Δp_{fan} [Pa]; θ_e [°C]; θ_{int} [°C]; φ_e [%]; φ_{int} [%]; p_{bar} [Pa].

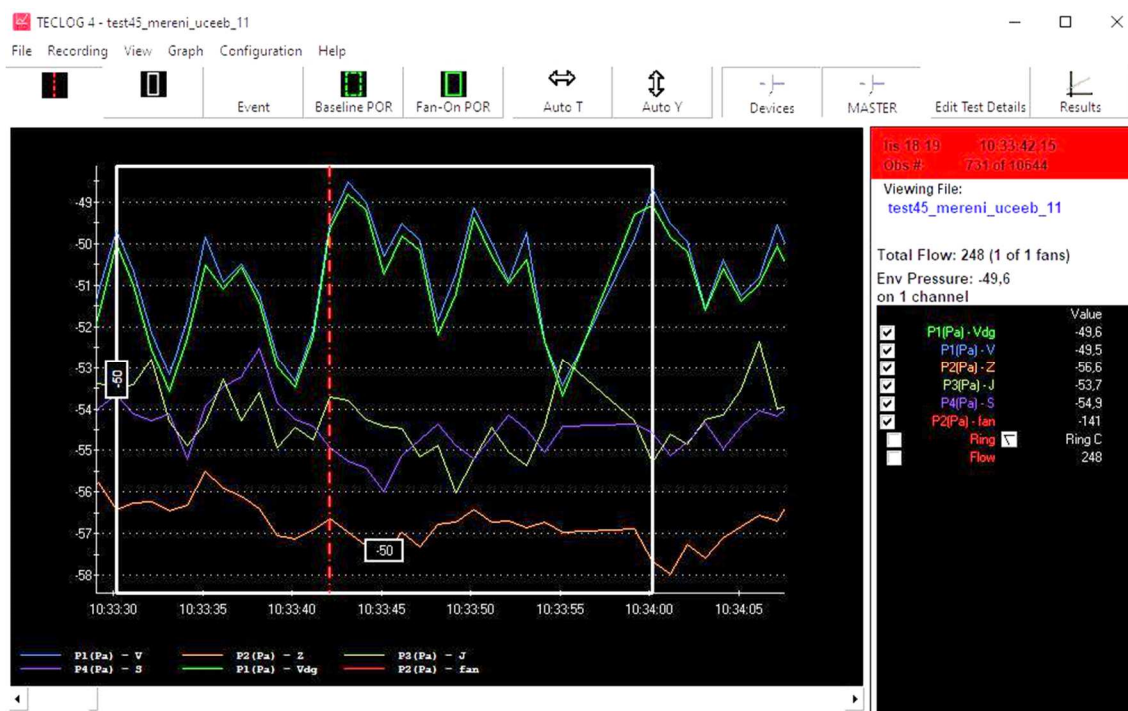
4.2.4. Závěr

Během dvanácti měřicích dnů je provedeno celkem 53 testů. Při prvních dvou testech první den nejsou zatěsněny výstky vzduchotechniky v měřené místnosti a trubky určené pro teplovodní vytápění.

Při přípravách budovy během osmého testu začalo intenzivně pršet. Při prvních sedmi testech jsou konce hadiček opatřené T-kusem položeny v trávě. Při deštivém počasí toto není možné. Od osmého testu jsou konce hadiček umístěny na spodní straně plastových židliček (viz. obrázek 12). Tímto opatřením jsou konce hadiček chráněny před vniknutím vody. Konce hadiček jsou umístěny ve výšce přibližně 30 cm nad terénem.

Testy č. 8 až 53 již proběhly naprosto identicky.

Během testů je možné sledovat, že při vyšších rychlostech větru testy trvají delší dobu. Je obtížnější nechat ustálit tlakový rozdíl při určitých otáčkách ventilátoru. Jsou viditelné odstupy mezi tlakovými rozdíly na jednotlivých snímačích (viz. obrázek 15).



Obrázek 15: Náhled do programu TECLOG 4 na odstup mezi tlakovými rozdíly mezi jednotlivými snímači

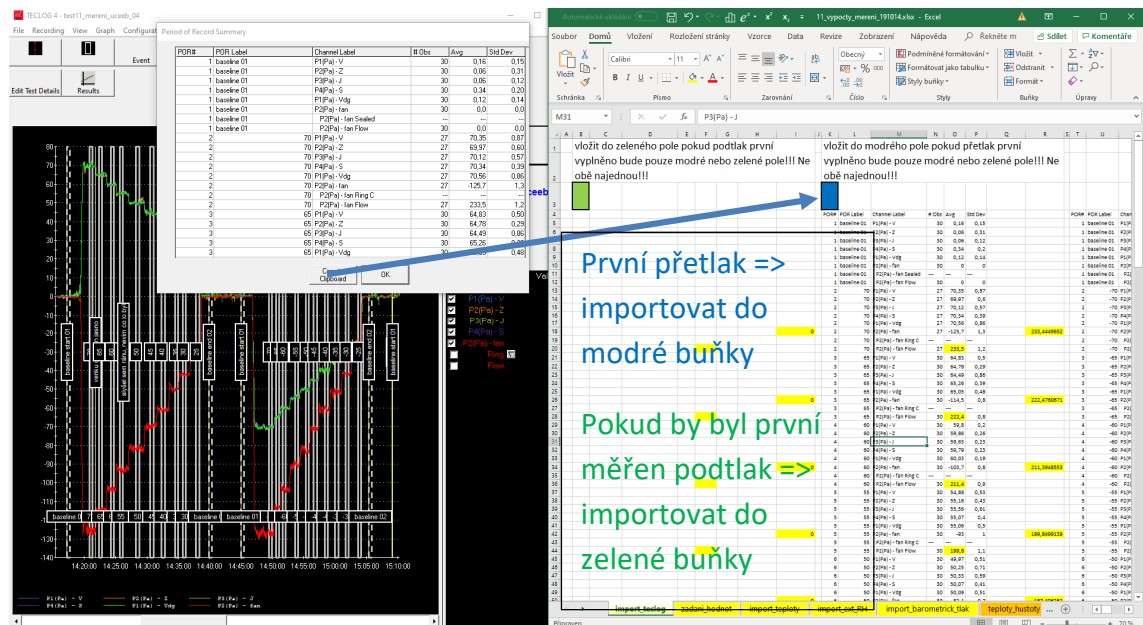
4.3. Práce s naměřenými daty/Vyhodnocení měření

4.3.1. Příprava výpočetního nástroje pro výpočet posuzovaných veličin

Pro práci s naměřenými daty je vytvořen excelový soubor (dále excel). Výstupem z tohoto excelu jsou vypočtené veličiny pro podtlak a přetlak: C_{env} [$m^3/(h.Pa^n)$]; C_L [$m^3/(h.Pa^n)$]; n [-]; r^2 [-]; q_{50} [m^3/h]; n_{50} [h^{-1}]

K výše zmíněným veličinám jsou vypočteny jejich nejistoty. Veličiny a jejich nejistoty jsou vypočteny podle normy ČSN EN ISO 9972 [2].

Na první list jsou vložena data z programu TECLOG 4. První test v rámci dne je zpravidla započat měřením podtlaku. Druhý test je naopak započat přetlakem, aby se minimalizovalo otáčení ventilátoru během testů. Jelikož tedy jednotlivé testy začínají buď podtlakem nebo přetlakem, tak i exportovaná data začínají rovněž daty podtlaku nebo přetlaku. Na prvním listu excelu jsou tedy připraveny dvě buňky, do kterých je potřeba importovat výsledky podle toho, jestli je započato podtlakem nebo přetlakem.



Obrázek 16: Vložení dat z TECLOG 4 do excelu – první přetlak

Na prvním listu je také ověřeno (žluté buňky), že průtok vzduchu, který je exportován společně s tlakovými rozdíly z TECLOGU, je veličina neopravena o teplotní rozdíl q_r [m^3/h]. Z tlakového rozdílu na ventilátoru je pomocí kalibračních parametrů C a n ventilátoru [5] vypočten průtok vzduchu q_r [m^3/h]. V dalších výpočtech je použit vypočtený průtok vzduchu pomocí změřeného tlakového rozdílu na ventilátoru.

	Air flow readings	C	n
Ring C installed	flow (m^3/h) =	19.30	(fan pressure in Pa) 0.5157

Obrázek 17: Kalibrační parametry pro ventilátor model 4 a 4.1 při použití clony C [5]

Na druhém listu jsou po jednotlivých senzorech (V, Z, J, S => 4 testy) seskupeny tlakové rozdíly a průtok vzduchu. Na konci tohoto listu je u tlakových rozdílů vytvořen pátý test. Tento pátý test je vytvořen pomocí zprůměrování tlakových rozdílů ze všech senzorů (V, Z, J, S). Do tohoto listu je zapsán datum měření, čas začátku a konce měření podtlaku i přetlaku.

Přeneseno z listu import_teclog, měnit pouze datum a čas měření!!!

Label	Base?	(s)	(s)	nobs	Δp0,1; Δpmi... ; Δp0,2	qr
		start	end		Nominal Avg Pressure	Nominal Total Flow
baseline 01	True	4727	4753	27	0,72	0
-70	False	4977	5006	30	-70,14	234,5916055
-65	False	5045	5074	30	-64,6	221,1698439
-60	False	5103	5132	30	-60,17	211,2897041
-55	False	5218	5246	29	-53,56	197,0611357
-50	False	5312	5341	30	-49,82	189,0475374
-45	False	5386	5415	30	-45,31	174,2591453
-40	False	5487	5516	30	-39,93	160,5152815
-35	False	5583	5609	27	-34,64	146,7540067
-30	False	5674	5702	29	-30,29	132,6376956
-25	False	5788	5816	29	-24,75	116,759829
baseline 02	True	5886	5915	30	0,17	0

V = 45,1 m³

Počátek měření podtlaku: 14:45:01 14.10.2019
Konec měření podtlaku: 15:05:53 14.10.2019

Počátek měření přetlaku: 14:17:14 14.10.2019
Konec měření přetlaku: 14:40:21 14.10.2019

Obrázek 18: Druhý list - změřená data po senzorech

Label	Base?	(s)	(s)	nobs	Δp0,1; Δpmi... ; Δp0,2	qr
		start	end		Nominal Avg Pressure	Nominal Total Flow
baseline 01	True	4727	4753	27	0,3975	0
-70	False	4977	5006	30	-70,1575	234,5916055
-65	False	5045	5074	30	-64,4725	221,1698439
-60	False	5103	5132	30	-59,9725	211,2897041
-55	False	5218	5246	29	-54,0875	197,0611357
-50	False	5312	5341	30	-50,4875	189,0475374
-45	False	5386	5415	30	-45,2025	174,2591453
-40	False	5487	5516	30	-39,6175	160,5152815
-35	False	5583	5609	27	-34,9925	146,7540067
-30	False	5674	5702	29	-30,1825	132,6376956
					-24,74	116,759829
					0,395	0

$$\Delta P_{mi,průměr} = \frac{\Delta P_{mi,V} + \Delta P_{mi,Z} + \Delta P_{mi,J} + \Delta P_{mi,S}}{4}$$

Label	Base?	(s)	(s)	nobs	Δp0,1; Δpmi... ; Δp0,2	qr
		start	end		Nominal Avg Pressure	Nominal Total Flow
baseline 01	True	3142	3171	30	0,155	0
70	False	3346	3372	27	70,195	233,4449652
65	False	3434	3463	30	64,84	222,4760671
60	False	3542	3571	30	59,77	211,3948553
55	False	3622	3651	30	55,1675	199,8499139
50	False	3770	3799	30	50,155	187,406252
45	False	3901	3930	30	44,765	172,1039721
40	False	4002	4031	30	40,465	161,0590071
35	False	4123	4152	30	34,565	144,9665356
30	False	4196	4222	27	30,735	133,2876409
25	False	4318	4344	27	24,87	114,7238124
baseline 02	True	4434	4460	27	0,5025	0

Obrázek 19: Pátý test vytvořen zprůměrováním tlakových rozdílů

Na třetí list jsou vložena minutová data vnější a vnitřní teploty a relativní vlhkosti v průběhu měření. Je zde vidět i datum a čas měření konkrétního testu.

Čtvrtý list obsahuje minutová data relativní vlhkosti, která jsou měřena v jihozápadní části areálu UCEEB. Na tomto listu jsou porovnána data z mého senzoru s daty z meteorologické stanice. V dalších analýzách je použita relativní vlhkost změřena meteorologickou stanicí v rámci UCEEBu. Tato data jsou relevantnější.

Pátý list obsahuje minutová data barometrického tlaku, který je měřen na střeše areálu UCEEB.



Obrázek 20: Rozmístění meteorologických stanic UCEEB [10]

Na šestém listu jsou u konkrétního testu seskupena minutová meteorologická data. Z minutových dat jsou vypočteny průměrné hodnoty během podtlaku a přetlaku zvláště. Na tomto listu je dále vypočtena průměrná hustota vnitřního a vnějšího vzduchu během měření podtlaku a přetlaku. Pro výpočet hustoty vzduchu jsou použity vzorce z přílohy B normy ČSN EN ISO 9972 [2].

Na sedmém listu jsou nejprve vypočteny vyvolané tlakové rozdíly Δp_i [Pa] podle vzorce (1) normy ČSN EN ISO 9972. Dále jsou vypočteny změřené průtoky vzduchu $q_{m,i}$ [m³/h] podle vzorce viz. obrázek 21. Poté jsou vypočteny průtoky vzduchu skrz obálku budovy $q_{env,i}$ [m³/h] podle vzorce (3) resp. (4) normy ČSN EN ISO 9972. Pro výpočet $q_{env,i}$ [m³/h] jsou použity hustoty vnitřního a vnějšího vzduchu ze šestého listu.

$$\text{airflow}_{\text{measured}} (\text{m}^3/\text{h}) = \text{airflow}_{\text{reading}} (\text{m}^3/\text{h}) \cdot \sqrt{\frac{1.204 \text{ kg/m}^3}{\text{Air density} (\text{kg/m}^3)^*}}$$

Obrázek 21: Vzorec pro výpočet změřeného průtoku vzduchu [5]

Veličiny C_{env} [m³/(h.Paⁿ)] a n [-] jsou vypočteny podle přílohy C normy ČSN EN ISO 9972. Je vypočten rovněž koeficient determinace r^2 [-]. Dále je vypočtena veličina C_L [m³/(h.Paⁿ)] podle vzorce (6) resp. (7) normy ČSN EN ISO 9972 [2].

Dále jsou vypočteny veličiny q_{50} [m^3/h] a n_{50} [h^{-1}] podle vzorce (8) resp. (9) normy ČSN EN ISO 9972. Dále je podle přílohy C normy ČSN EN ISO 9972 vypočten interval spolehlivosti dle Studentova t-rozdělení pro pravděpodobnost 95 % u veličin C_{env} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$], n [-], C_L [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$], q_{50} [m^3/h] a n_{50} [h^{-1}].

Všechny výše zmíněné výpočty jsou provedeny zvlášť pro podtlak a přetlak.

Ze souhrnných tabulek na sedmém listu jsou posuzované veličiny přeneseny na poslední osmý list, který je určen pro export dat do následných analýz. Na tomto listu je zároveň provedena kontrola dvou parametrů n [-] a r^2 [-]. Podle normy ČSN EN ISO 9972 musí exponent proudění n ležet v intervalu 0,5 až 1 a koeficient determinace r^2 nesmí být menší než 0,98. Tato kontrola je v rámci diplomové práce indikátor, zda je vše v pořádku. Naměřená data jsou zatím uvažována jako platná, i když nebudou tyto podmínky splněny.

The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following structure:

- Columns:** A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U.
- Rows:** 1 to 40.
- Section 1 (Podtlak):** Rows 2-17. Parameters include $C_{\text{env, min}}$, $C_{\text{env, max}}$, C_L , C_{env} , n , r^2 , q_{50} , and n_{50} .
- Section 2 (Přetlak):** Rows 18-27. Parameters include $C_{\text{env, min}}$, $C_{\text{env, max}}$, C_L , C_{env} , n , r^2 , q_{50} , and n_{50} .
- Section 3 (Průměr):** Rows 28-39. Parameters include q_{50} , n_{50} , q_{50} , n_{50} , q_{50} , n_{50} , q_{50} , n_{50} .
- Section 4 (kontrola normy):** Rows 40-41. A grid of 'ok' status indicators for various parameters.

Annotations on the image:

- Red arrow: "Data připravena pro analýzy" (Data prepared for analysis)
- Blue arrow: "Data z východního senzoru" (Data from the eastern sensor)
- Green arrow: "kontrola n [-] a r^2 [-]" (control of n [-] and r^2 [-])

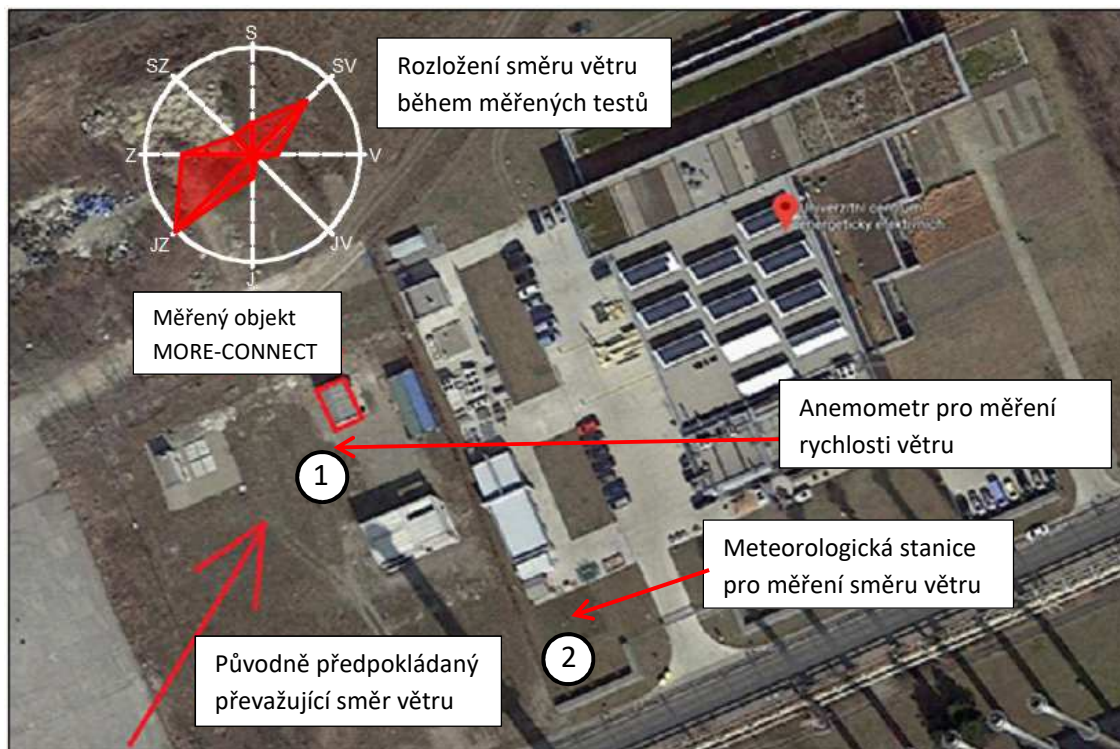
Obrázek 22: Data z jednoho testu připravena pro následné analýzy

Je důležité, aby byl tento excel spolehlivý a bylo se tak možno spolehnout na správnost výsledků. Správnost tohoto excelu byla ověřena třemi sadami vstupních dat se známými výsledky. První sada dat byla ze středně velkého objektu o vnitřním objemu 327,1 m^3 . Druhá sada dat byla z velkého objektu o vnitřním objemu 1799,7 m^3 . Třetí sada dat byla z malého objektu o vnitřním objemu 82,8 m^3 . Výsledky z vytvořeného excelu jsou u většiny veličin naprosto shodné. U veličin, ve kterých je počítáno s hustotou vzduchu, je rozdíl ve výsledné hodnotě maximálně 0,004 % odlišný. Tato odchylka je zanedbatelná a nemá pro účely této diplomové práce vliv. Excel je tedy možno použít.

Vzorová podoba výsledku jednotlivých testů (viz. příloha 1), veškeré výsledky jsou na příloženém CD. Souhrnné grafy po jednotlivých senzorech (viz. příloha 2)

4.3.2. Statistická analýza větru a teploty vzduchu

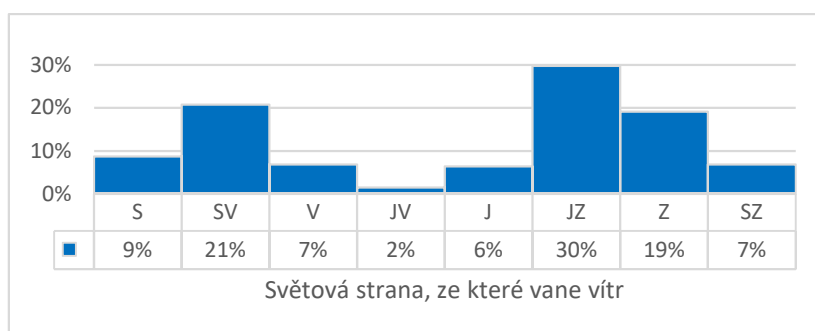
Pro měření rychlosti větru je použit anemometr v blízkosti měřeného objektu (viz. obrázek 23 – bod (1)). Pro měření rychlosti, a především směru větru jsou použita data z meteorologické stanice UCEEBu (viz. obrázek 23 – bod (2)). Data z meteorologické stanice je možno získat z technických důvodů pouze pro prvních 39 testů. Celkem je provedeno 53 testů.



Obrázek 23: Zobrazený směr větru během testů [8]

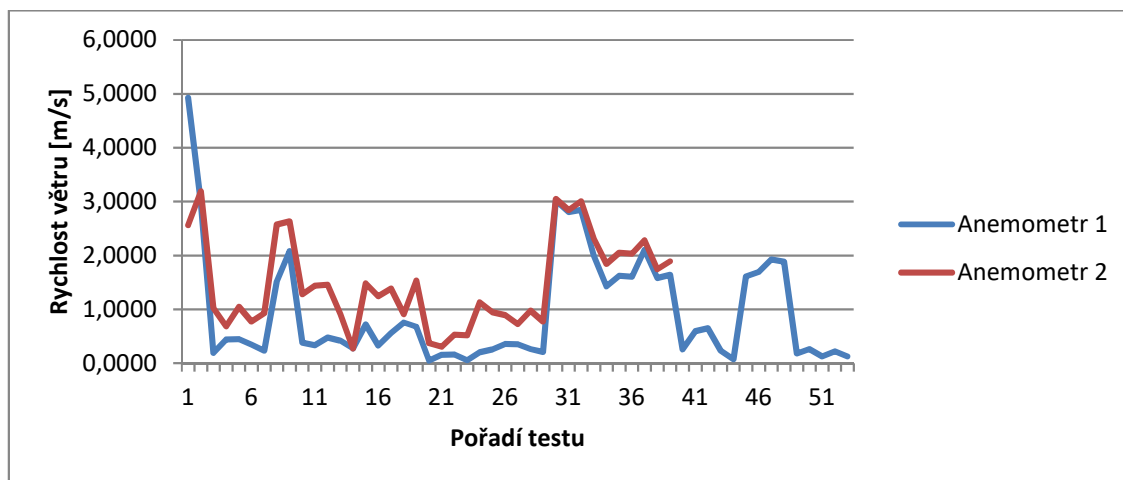
Na počátku práce je předpokládáno, že vítr převážně vane od jihozápadu. Data z meteorologické stanice jsou rozříděna a podrobena statistické analýze. Z naměřených dat vyplývá, že předpoklad je to jisté míry správný. Relativně často však vanul vítr i z opačné světové strany, tedy ze severovýchodu.

Směr větru je měřen minutovým krokem. Dle četnosti jednotlivých směrů větru je provedeno procentuální rozdělení (viz. graf 1 a obrázek 23).



Graf 1: Procentuální rozložení směru větru během měřených testů

Pro každý měřený test je provedena analýza rychlosti větru z anemometru 1 i 2 (poloha viz. obrázek 23). Je stanovena minimální, maximální a průměrná rychlost větru během jednotlivých testů. Je stanovena i směrodatná odchylka. Rychlosti větru získané z anemometru 2 jsou průměrně vyšší o 0,6 m/s. Jelikož je anemometr 1 blíže k měřenému objektu a jsou dostupná data ze všech měření, budou nadále použita pouze data z něj získaná.

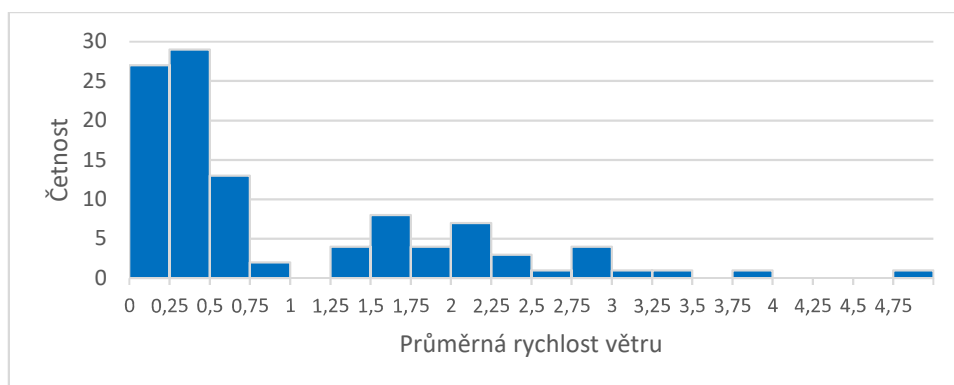


Graf 2: Průměrná rychlost větru během testů

Je provedeno 53 testů, při kterých byla měřena rychlost větru při podtlaku i přetlaku. Nejvyšší rychlost větru v nárazech je změřena 9,2 m/s. Nejnižší průměrná rychlost během testu je 0,04 m/s a nevyšší 4,93 m/s.

Základní popisné statistiky vypočtené z průměrných rychlostí větru během podtlaku a přetlaku tzn. soubor 106 hodnot.

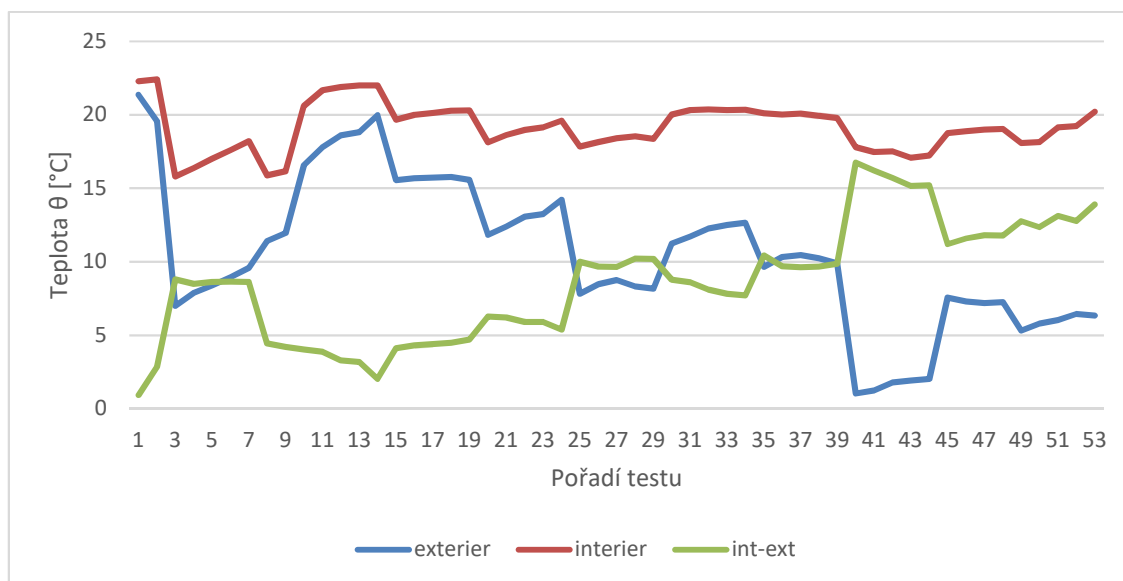
průměr	0,95	m/s
medián	0,48	m/s
1. kvartil	0,24	m/s
3. kvartil	1,61	m/s
výběrová směrodatná odchylka	1,00	m/s
rozsah (max-min)	4,89	m/s



Graf 3: Rozložení rychlosti větru v jednotlivých testech

Analýza teploty vzduchu

První test proběhl 1. října a poslední 19. listopadu. Během těchto téměř dvou měsíců byly teploty vzduchu během měření proměnlivé. Průběh vnitřní, vnější teploty vzduchu a jejich rozdíl v jednotlivých testech je patrný z grafu 4. Teploty v interiéru jsou během všech testů na přibližně stejné úrovni. Venkovní teploty se v průběhu jednotlivých testů snižují. Teplotní rozdíl mezi vnějším a vnitřním prostředím se v průběhu jednotlivých testů zvyšuje.



Graf 4: Vývoj teplot v interiéru, exteriéru a rozdíl těchto teplot během jednotlivých testů

Pro teploty vzduchu během jednotlivých měření jsou zpracovány základní popisné statistiky (viz. tabulka 2).

Základní popisné statistiky ze souboru 106 hodnot:

	θ_e [°C]	θ_{int} [°C]	$\theta_{int} - \theta_e$ [°C]
minimum	0,95	15,68	0,76
maximum	21,43	22,56	16,99
průměr	10,58	19,15	8,57
medián	10,23	19,08	8,68
1. kvartil	7,38	18,00	4,66
3. kvartil	13,52	20,22	11,26
výběrová směrodatná odchylka	4,96	1,63	3,94
rozsah hodnot (maximum – minimum)	20,48	6,87	16,23

Tabulka 2: Základní popisné statistiky teploty vzduchu během testů

4.3.3. Kontrola platnosti dat

4.3.3.1. Úvod

Je potřeba, aby byla všechna měřená data porovnatelná. Všechna měření by měla proběhnout stejným postupem a za stejných okrajových podmínek, které je možné ovlivnit. Pro analýzu změřených dat je tedy potřeba počítat pouze s relevantními daty. Proběhne tedy nejprve nestatistické a poté statistické určení neplatných měření.

4.3.3.2. Metoda

Nestatistická kontrola platnosti dat

Nejprve bude posouzeno, zda proběhly testy stejným postupem a za stejných podmínek. Nebudou vyřazovány testy, při kterých byla vysoká rychlost větru. Diplomová práce se mimo jiné zabývá vlivem větru na výsledek měření vzduchotěsnosti budovy. Není tedy žádoucí vyřadit testy, při kterých byla naměřena vyšší průměrná rychlost větru, či nárazy větru.

Dříve v této práci (viz. kapitola 4.3.1.) je provedena kontrola parametrů n [-] a r^2 [-]. Podle normy ČSN EN ISO 9972 musí n ležet v intervalu 0,5 až 1 a r^2 nesmí být menší než 0,98. Tato kontrola je v rámci diplomové práce indikátor, zda je vše v pořádku.

Statistická kontrola platnosti dat

Pro statistickou kontrolu platnosti dat je použito Chauvenetovo kritérium [1]. Kontrola je provedena tak, že se nejprve ze souboru N naměřených hodnot určí průměr \bar{x} , výběrová směrodatná odchylka σ_x a nejodlehlejší hodnota x_{sus} . Dále je podle vzorce (1) určeno, o kolik směrodatných odchylek od průměru je vzdálena nejodlehlejší hodnota (značeno t_{sus}). [1]

$$t_{sus} = \frac{|x_{sus} - \bar{x}|}{\sigma_x} \quad (1)$$

Podle hodnoty t_{sus} je určena z tabulky A [1] pravděpodobnost (značeno $Prob(\textit{within } t\sigma)$), že je nejodlehlejší hodnota měření blíže, než počet směrodatných odchylek. Po odečtení této pravděpodobnosti od jedné a vynásobením počtem hodnot N je získána hodnota n . Parametr n říká, jaký počet vzdálených hodnot jako x_{sus} je možno očekávat. Pokud je tato hodnota n nižší než 0,5, je možné nejvzdálenější hodnotu uvažovat jako odlehlé pozorování. [1]

Pro provedení statistické kontroly platnosti dat pomocí Chauvenetova kritéria je vytvořen excelový soubor.

4.3.3.3. Vlastní hodnocení

Nestatistická kontrola platnosti dat

Celkem je provedeno 53 testů vzduchotěsnosti budovy. Nejprve je z následujících analýz vyřazeno prvních sedm testů. Při prvních dvou testech nebyly zatěsněny vnitřní výustky vzduchotechniky. Zatěsnění je konzistentně provedeno od třetího testu včetně. Při osmém a devátém testu bylo deštivé počasí. Při těchto dvou testech je poprvé použito opatření proti dešti. Konce hadiček jsou připevněny ke spodní straně židliček. Konce hadiček se tedy nacházejí ve výšce cca 30 cm nad terénem. U následujících testů je měření provedeno totožným způsobem.

Podle normy ČSN EN ISO 9972 [2] musí n ležet v intervalu 0,5 až 1 a r^2 nesmí být menší než 0,98. Exponent proudění n je u všech měření v intervalu 0,5 až 1.

Koeficient determinace r^2 je nižší než 0,98 u následujících testů:

9Z+, 16J+, 19J+, 30VZJS-, 30J+, 31VZJS+, 32VZJ-, 33ZJ-, 35Z-, 37ZJS-, 37V+, 38Z+, 46VJ+, 48VJS-, 48VZJ+ (pozn.: číslo označuje pořadí testu; písmeno označuje senzor, který nevyhovuje; znaménko - označuje měření při podtlaku; znaménko + označuje měření při přetlaku)

Jelikož je předmětem této diplomové práce mimo jiné zkoumání vlivu větru na výsledky měření vzduchotěsnosti, nebudou data s nevyhovujícím koeficientem determinace vyřazena z dalších analýz. Při vyšších rychlostech větru je předpoklad, že je obtížnější splnit tento požadavek na r^2 .

Statistická kontrola platnosti dat

Při statistické kontrole platnosti dat jsou posuzována měření č. 8 až 53. Nejprve je provedena kontrola platnosti dat pro odvozenou veličinu q_{50} [m³/h] pro všechny senzory dohromady. Je tedy posuzován soubor čítající 230 hodnot. Dle Chauvenetova kritéria měření neobsahuje odlehlou hodnotu, kterou by bylo možné vyloučit.

	q_{50} data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr) [m ³ /h]	208,8375	208,0920	188,6504	187,8256	189,0859	188,3677	187,4113
	průměr	205,1376513	205,1377	205,1377	205,1377	205,1377	205,1377	205,1377
	výběrová směrodatná odchylka	10,34466462	10,34466	10,34466	10,34466	10,34466	10,34466	10,34466
	počet směrodatných odchylek t_{stat}	0,35765409	0,285588	1,593797	1,673522	1,551691	1,621118	1,713572
		0	0	0	0	0	0	0
	průměr =	205,1376513						
	výběrová směrodatná odchylka =	10,34466462						
$x_{\text{stat,min}}$ =	minimum =	187,4113229						
$x_{\text{stat,max}}$ =	maximum =	224,2699589						
	počet =	230						
min	$t_{\text{stat,min}}$ (kolik směrodatných odchylek) =	1,71357						
max	$t_{\text{stat,max}}$ (kolik směrodatných odchylek) =	1,84949						
	t_{stat} =	1,85						
	Prob(within 1,85 σ)	0,9357						
	Prob(outside 1,85 σ)	0,0643						
	n =	14,79	>	0,5	→	měření neobsahuje odlehlou hodnotu		

Obrázek 24: Určování odlehlé hodnoty pomocí Chauvenetova kritéria pro q_{50}

Následně je stejným způsobem ověřena platnost dat průtoku vzduchu netěsnostmi při podtlaku q_{50-} a přetlaku q_{50+} zvlášť. Dle Chauvenetova kritéria měření opět neobsahuje odlehlou hodnotu, kterou by bylo možné vyloučit.

Kontrola platnosti dat q_{50} , q_{50-} a q_{50+} je následně provedena pro data z jednotlivých senzorů. Dle Chauvenetova kritéria měření opět neobsahuje odlehlou hodnotu, kterou by bylo možné vyloučit.

Při statistické kontrole platnosti dat podle exponentu proudění $n+$ je zjištěno, že maximální odlehlou hodnotu lze vyloučit. Po odstranění hodnoty měření z východního senzoru během 46. testu je opakovaně posouzena platnost dat pomocí Chauvenetova kritéria. Je možné vyloučit i druhou až desátou nejvzdálenější hodnotu exponentu proudění $n+$.

Při statistické kontrole platnosti dat podle exponentu proudění $n-$ je zjištěno, že je možno vyloučit sedm nejodlehlejších hodnot.

Výpočty podle Chauvenetova kritéria jsou v příloze 3.

4.3.3.4. Závěr

Podle nestatistické kontroly dat je z následných analýz vyloučeno prvních sedm měření. Následující měření probíhají konzistentně.

Podle statistické kontroly dat průtoku vzduchu netěsnostmi q_{50} není možno dle nastavené metodiky vyloučit žádné měření.

Podle statistické kontroly dat exponentu proudění n lze pro přetlak vyloučit 10 nejodlehlejších hodnot a pro podtlak 7 nejodlehlejších hodnot.

Hodnota $n+$ je nezvykle odlehlá pouze u východního senzoru při jednom konkrétním měření č. 46. Hodnoty získané z ostatních senzorů v předmětném měření jsou srovnatelné s ostatními měřeními. Vzhledem ke skutečnosti, že průtok vzduchu netěsnostmi u východního senzoru tohoto měření není odlehlou hodnotou, nebude toto ani žádné další měření z dalších analýz vyloučeno.

Jelikož je předmětem této diplomové práce mimo jiné zkoumání vlivu větru na výsledky měření vzduchotěsnosti, nebudou data s nevyhovujícím koeficientem determinace r^2 vyřazena z dalších analýz. Při vyšších rychlostech větru je předpoklad, že je obtížnější splnit tento požadavek na r^2 .

4.3.4. Základní přehled – popisné statistiky

4.3.4.1. Úvod

Pro přehled a lepší orientaci ve velkém množství dat je u jednotlivých souborů dat potřeba stanovit základní popisné statistiky. Pro lepší zobrazení dat je vhodné použití histogramů, které mohou názorně ukázat rozložení dat.

4.3.4.2. Metoda

Jsou vybrány soubory dat, u kterých jsou stanoveny základní popisné statistiky. Jsou posuzována data ze všech senzorů tlaku a jejich průměru dohromady (soubor 230 hodnot) a poté po jednotlivých senzorech (soubor vždy 46 hodnot).

Popisné statistiky jsou stanoveny u těchto veličin:	
q_{50}	[m ³ /h]
q_{50-}	[m ³ /h]
q_{50+}	[m ³ /h]
r^{2-}	[-]
r^{2+}	[-]
C_{L-}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]
C_{L+}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]
$n-$	[-]
$n+$	[-]

Tabulka 3: Hodnocené veličiny

Stanovené popisné statistiky pro každou veličinu:
<i>minimum</i>
<i>maximum</i>
<i>průměr</i>
<i>medián</i>
1. kvartil
3. kvartil
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>

Tabulka 4: Popisné statistiky

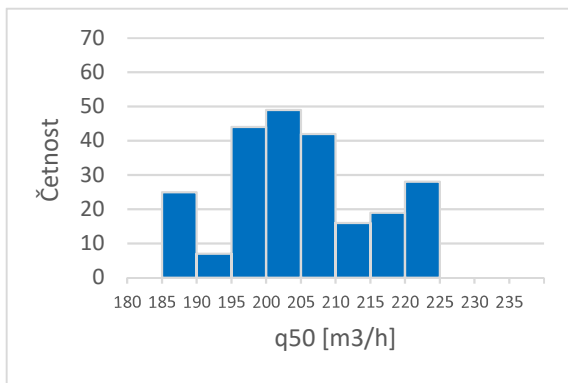
Pro jednotlivé soubory dat je vždy sestaven histogram četností. Pro každou veličinu bude zvolen vhodný počet a rozsah tříd.

4.3.4.3. Vlastní hodnocení

Jsou stanoveny popisné statistiky pro q_{50} [m³/h] ze všech snímačů (viz. tabulka 5). Průměrné hodnotě q_{50} za všech testů odpovídá $n_{50} = 4,55 \text{ h}^{-1}$. Z níže uvedených dat je vidět ztelný rozsah hodnot. Rozsah při měření podtlaku je přibližně o 43 % vyšší než při měření přetlaku. Tento rozsah a případný vliv polohy snímače a větru je dále zkoumán v následujících kapitolách.

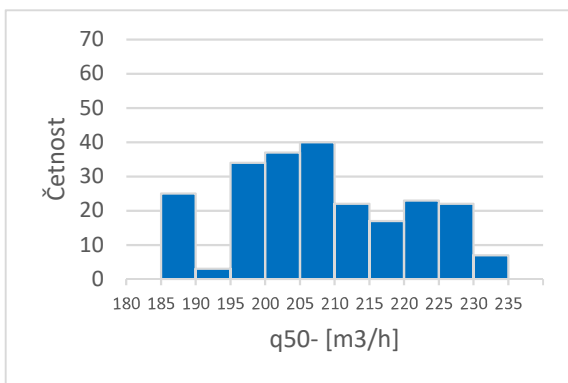
Popisné statistiky: (soubor 230 hodnot – data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr))	pro q_{50} [m ³ /h]	pro q_{50-} [m ³ /h]	pro q_{50+} [m ³ /h]
<i>minimum</i>	187,41	185,16	187,80
<i>maximum</i>	224,27	231,30	220,00
<i>průměr</i>	205,14	208,21	202,07
<i>medián</i>	203,83	206,61	199,87
1. kvartil	197,36	199,76	195,08
3. kvartil	211,79	217,50	209,05
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	10,34	12,66	8,72
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	36,86	46,14	32,20

Tabulka 5: Popisné statistiky pro q_{50} (230 hodnot)

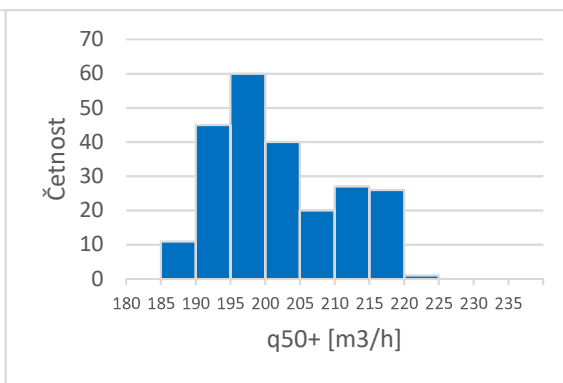


Graf 5: Histogram četnosti q50

Z histogramů pro q_{50} (grafy 5 až 7) je viditelné pravděpodobně normální rozdělení. Zda se jedná o normální rozdělení nebylo testováno. Neobjevují se odlehlé hodnoty. U histogramů pro q_{50} při podtlaku a přetlaku (grafy 6 a 7) je viditelný rozdíl v rozsahu a uspořádání hodnot. Rozdělení u přetlaku je více špičaté, u podtlaku více ploché.



Graf 7: Histogram četnosti q50 při podtlaku



Graf 6: Histogram četnosti q50 při přetlaku

Hodnoty koeficientu determinace r^2 [-] pro podtlak i přetlak jsou velice podobné. Naprostá většina hodnot je vyšší než 0,98 resp. 0,99. Průměrná hodnota činí 0,994.

Průměrná hodnota exponentu proudění n [-] pro podtlak i přetlak je 0,68. Všechny hodnoty kromě jedné se vyskytují v intervalu 0,6 až 0,8. Při přetlaku je zjištěna jedna odlehlá hodnota 0,987. Tato hodnota je naměřena během 46. testu východním senzorem.

Většina hodnot součinitele proudění netěsnostmi při podtlaku i přetlaku se pohybuje v rozmezí $C_L = 12$ až $16 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$. Mezi daty měřenými při přetlaku je zjištěna jedna odlehlá hodnota $C_{L,\min} = 4,59 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$. Tato hodnota je naměřena během 46. testu východním senzorem.

Z popisných statistik veličin získaných po jednotlivých senzorech, není viditelný zásadní rozdíl mezi jednotlivými senzory.

Popisné statistiky veličiny q_{50} : (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [m ³ /h]	Z [m ³ /h]	J [m ³ /h]	S [m ³ /h]	PRŮMĚR [m ³ /h]
<i>minimum</i>	187,41	187,90	187,71	187,84	187,72
<i>maximum</i>	223,67	223,94	224,27	223,81	223,75
<i>průměr</i>	205,53	204,93	205,15	204,93	205,15
<i>medián</i>	203,73	203,96	203,21	203,55	203,95
<i>1. kvartil</i>	198,22	197,68	197,63	197,57	197,62
<i>3. kvartil</i>	212,74	208,57	210,79	210,06	210,58
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	10,64	10,33	10,47	10,32	10,40
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	36,26	36,05	36,56	35,96	36,03

Tabulka 6: Popisné statistiky q_{50} po senzorech

Veškeré základní popisné statistiky a histogramy jednotlivých veličin jsou v příloze 4.

4.3.4.4. Závěr

Vytvořením základních popisných statistik je získán přehled o tom, jakých hodnot nabývají jednotlivé veličiny a jaké mají data rozdělení.

Je zjištěn výrazný rozsah hodnot q_{50} [m³/h]. Rozdíl rozsahu hodnot při měření podtlaku a přetlaku může být způsoben vlivem větru. Tato skutečnost je posuzována v následujících kapitolách.

Při zkoumání 46. testu je zjištěno, že při přetlaku jsou parametry C_L a n výrazně odchýleny od průměrné hodnoty. Parametry C_L a n při podtlaku se blíží průměru. Hodnota q_{50} [m³/h] při přetlaku i podtlaku je téměř identická. Liší se o méně než 1,5 %.

Z popisných statistik veličin získaných po jednotlivých senzorech, není viditelný zásadní rozdíl mezi jednotlivými senzory. Tato data jsou použita v následující kapitole pro další zkoumání vlivu umístění snímače tlaku na výsledek vzduchotěsnosti.

4.3.5. Vliv polohy snímače na nejistotu q_{50}

4.3.5.1. Úvod

Je předpokládáno, že poloha snímače vnějšího tlaku má mít vliv na výsledek měření vzduchotěsnosti. Podle vědecké studie [6], kterou publikoval Christophe Delmotte, je při účinku větru na objekt tvořeno pole statického tlaku, kdy v různé vzdálenosti a poloze od objektu je statický tlak rozdílný.

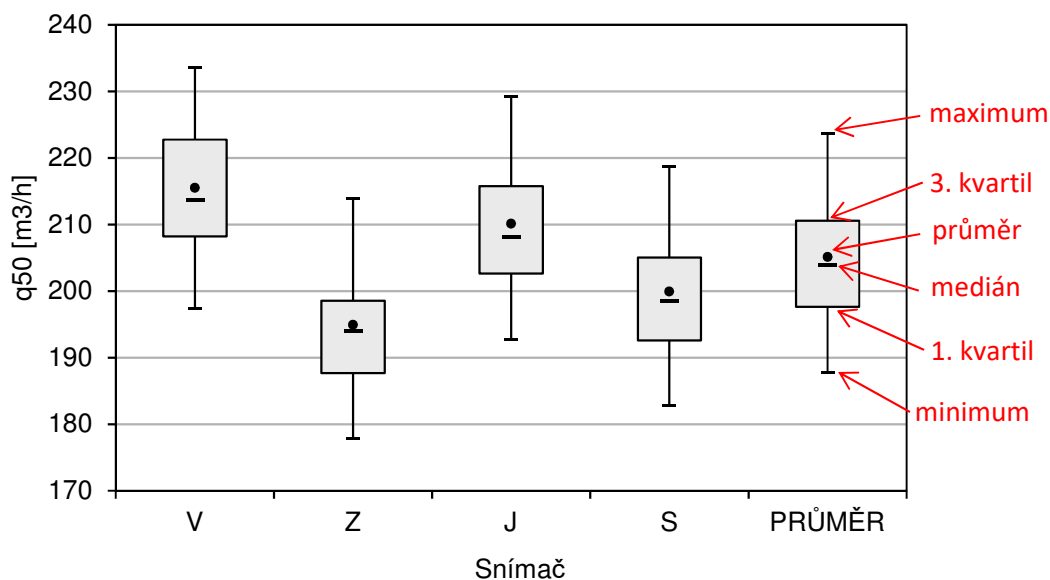
Pro účely experimentální analýzy jsou umístěny snímače do všech čtyř světových stran v určité vzdálenosti od fasád hodnoceného objektu (viz. obrázek 11). Naměřené hodnoty q_{50} [m^3/h] z jednotlivých poloh snímačů vnějšího tlaku jsou několika statistickými metodami srovnány a vyhodnoceny.

4.3.5.2. Metoda

Při srovnání a vyhodnocení dat statistickými metodami je hodnocena veličina q_{50} [m^3/h]. Jsou hodnocena také data změřena při podtlaku a přetlaku zvlášť.

Krabicový graf

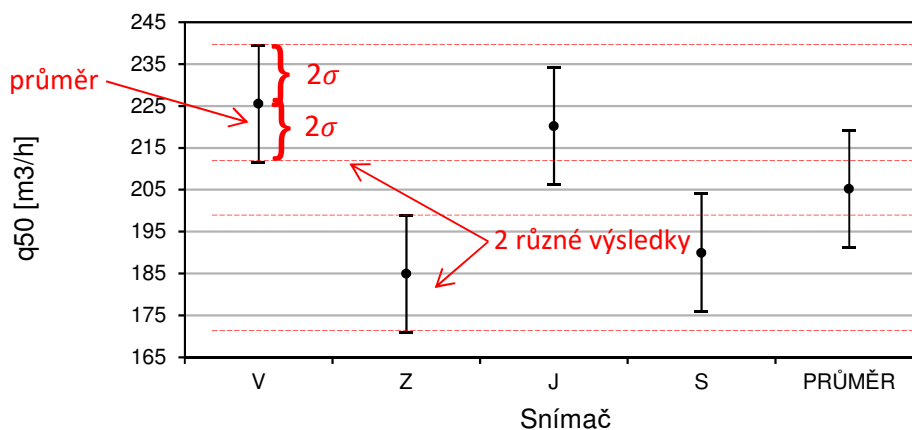
Pro sestavení krabicového grafu je využito popisných statistik vypočtených v kapitole 4.3.4. Z krabicových grafů vytvořených po jednotlivých senzorech by mělo být zřejmé, zda existuje závislost mezi q_{50} [m^3/h] a polohou snímače. Vzorový krabicový graf a vysvětlení jednotlivých značek (viz. graf 8).



Graf 8: Vzorový krabicový graf – nereprezentuje konkrétní výsledky

Graf vlivu polohy snímače na měření – “2x směrodatná odchylka od průměru”

Za předpokladu uvažování normálního rozdělení hodnot q_{50} [m^3/h] je vytvořen graf vlivu polohy snímače na měření. Je sestaven graf, kde je zobrazen průměr a na obě strany vzdálenost dvou směrodatných odchylek. Toto reprezentuje s pravděpodobností 95 % výsledek měření.



Graf 9: Vzorový graf polohy snímače na měření – 2σ (nereprezentuje konkrétní výsledky)

Hodnocení podle četnosti pořadí

Hodnoty q_{50} [m^3/h] po jednotlivých snímačích (V, Z, J, S, PRŮMĚR) jsou pro každý test seřazeny od nejvyšší hodnoty po nejnižší. Pro každý test je určeno pořadí 1. až 5. (1. nejvyšší hodnota, 5. nejnižší hodnota). Tato pořadí jsou sečtena a vyhodnocena.

Porovnání rozsahu hodnot v rámci testu s mezí opakovatelnosti

Metodou kontroly přijatelnosti výsledků zkoušek získaných za podmínky opakovatelnosti je stanoveno kritické rozpětí $CR_{0,95}(n)$ kde $n = 4$. [11]

$$CR_{0,95}(n) = f(n) * \sigma_r = 3,6 * 1,96 = 7,05 \text{ m}^3/h \quad (2)$$

Dle tabulky 1 normy [11] je určeno $f(n) = 3,6$

Dle diplomové práce [12] je určena směrodatná odchylka opakovatelnosti $\sigma_r = 1,96 \text{ m}^3/h$

Kritické rozpětí $7,05 \text{ m}^3/h$ je porovnáno s rozsahy jednotlivých testů R [m^3/h].

$$R = q_{50,max} - q_{50,min} \quad [m^3/h] \quad (3)$$

$q_{50,max}$... maximální hodnota z jednotlivých senzorů v rámci testu (V, Z, J, S, PRŮMĚR)

$q_{50,min}$... minimální hodnota z jednotlivých senzorů v rámci testu (V, Z, J, S, PRŮMĚR)

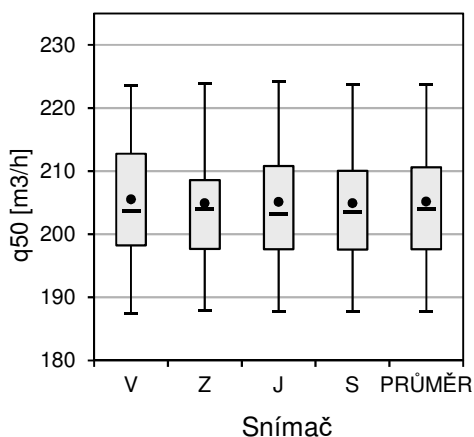
Závislost rozsahu hodnot v rámci testu na rychlosti větru

Do společného grafu je vynesena vždy průměrná rychlost větru změřena během testu a stanovený rozsah R [m^3/h] podle vzorce (3). Analyzují se testy, které překročily mez opakovatelnosti.

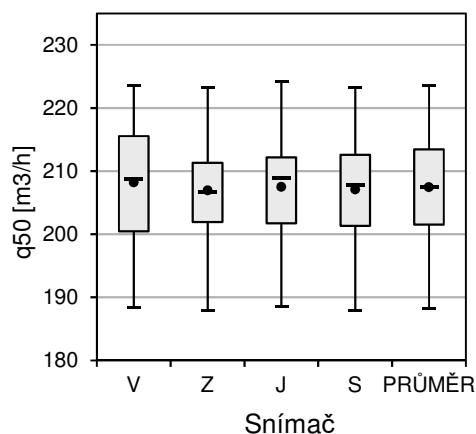
4.3.5.3. Vlastní hodnocení

Hodnocení pomocí krabicových grafů

Pro veličinu q_{50} [m^3/h] jsou sestaveny krabicové grafy. Na grafu 10 je viditelné, že zvolená poloha snímače nemá téměř žádný vliv při porovnání jednotlivých souborů 46 hodnot měření.



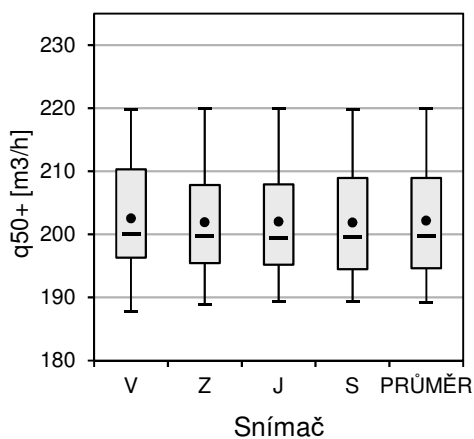
Graf 10: Krabicové grafy pro q_{50} [m^3/h]



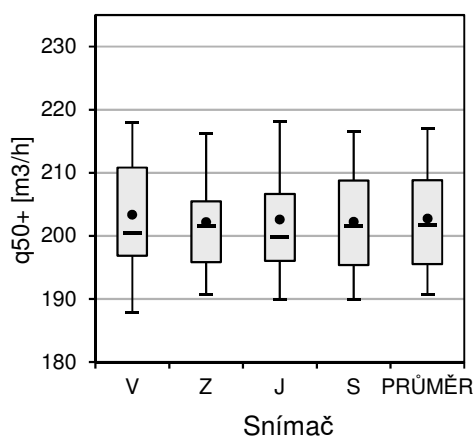
Graf 11: Krabicové grafy pro q_{50} [m^3/h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s

Velký objem dat je změřen při velice nízkých rychlostech větru (viz. graf 3). Graf 11 je sestaven z dat, která byla změřena při rychlostech větru nad 0,5 m/s. Při analýze rychlostí větru je zjištěno, že medián je 0,5 m/s. Soubor dat použitých pro graf 11 čítá 23 hodnot. Při vyšších rychlostech je vidět nepatrné odchýlení hodnot, ale ne tak výrazné, aby bylo možné hovořit o tom, že zvolená poloha snímačů má vliv na výsledek.

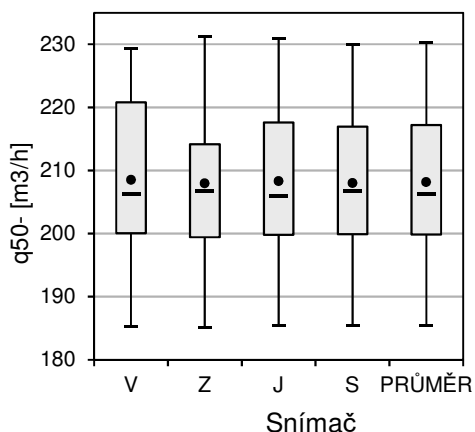
Stejným postupem jsou porovnány výsledky změřené při přetlaku (viz. graf 12 a 13) a podtlaku (viz. graf 14 a 15). Při posuzování vlivu polohy snímače vnějšího tlaku lze říci, že vliv je zanedbatelný v porovnání s přesností měření.



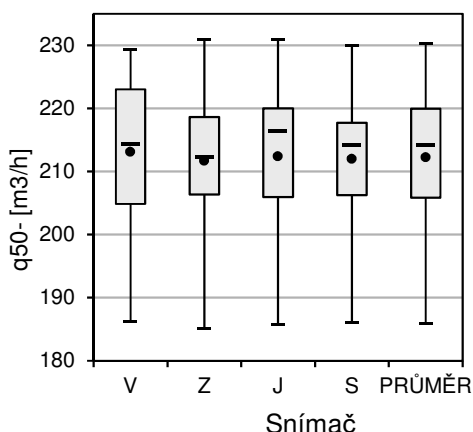
Graf 12: Krabicové grafy pro q_{50+} [m^3/h]



Graf 13: Krabicové grafy pro q_{50+} [m^3/h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s



Graf 15: Krabicové grafy pro q_{50} [m³/h]

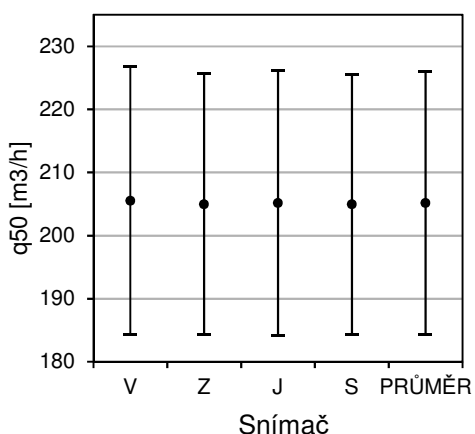


Graf 14: Krabicové grafy pro q_{50} [m³/h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s

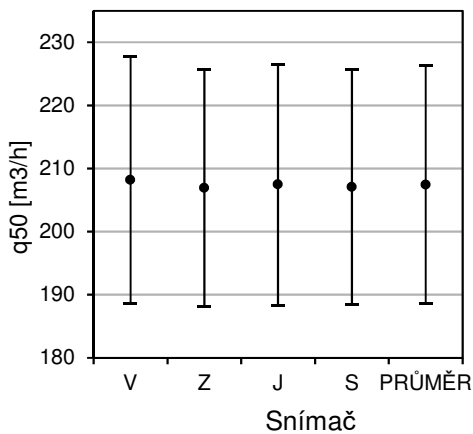
Při porovnání dat změřených za podtlaku a přetlaku je viditelný rozdíl v rozsahu hodnot. Tento rozdíl je ztelnější při vyšších rychlostech větru. Vliv rychlosti větru na rozsah hodnot je zkoumán v následující kapitole.

Posouzení vlivu polohy snímače na měření – “2x směrodatná odchylka od průměru”

Vzhledem k výsledkům zřetelným z grafů 10 až 15 je výsledek zobrazený v 16. grafu očekávaný. Při rozdílu v průměrné hodnotě q_{50} do 2 m³/h u jednotlivých snímačů a směrodatné odchylce přibližně 10 m³/h je jasné, že vliv polohy snímače vnějšího tlaku je dle tohoto posouzení zanedbatelný.



Graf 17: 2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50}

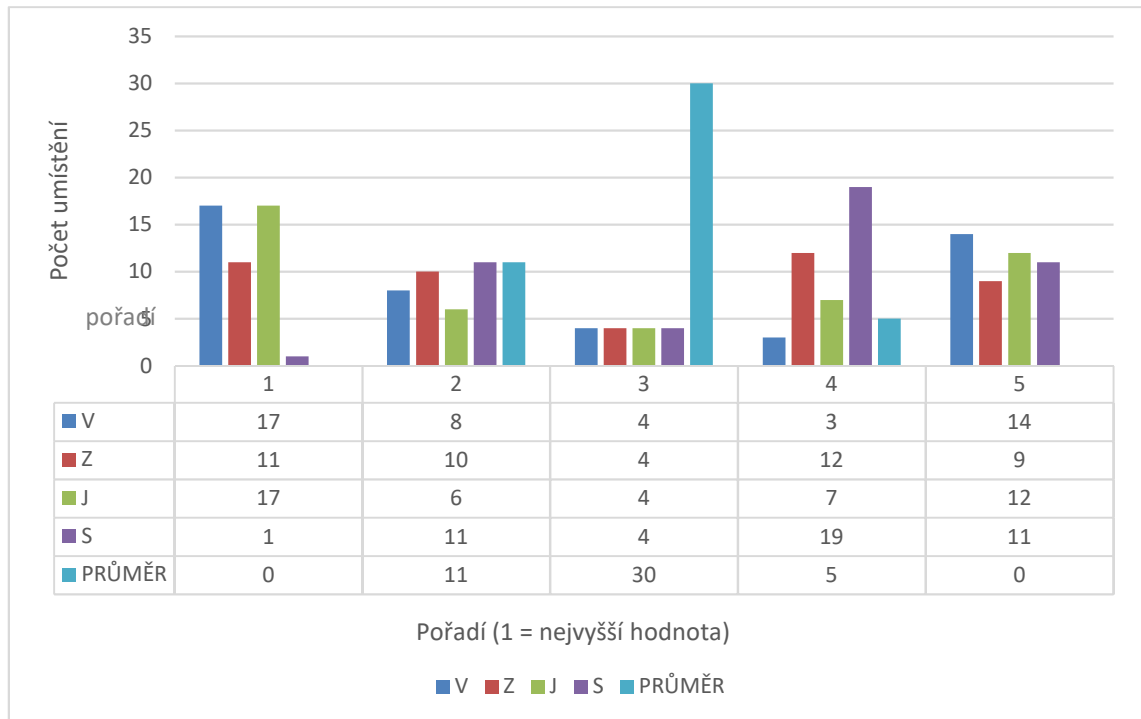


Graf 16: 2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50} při rychlosti vyšší než 0,5 m/s

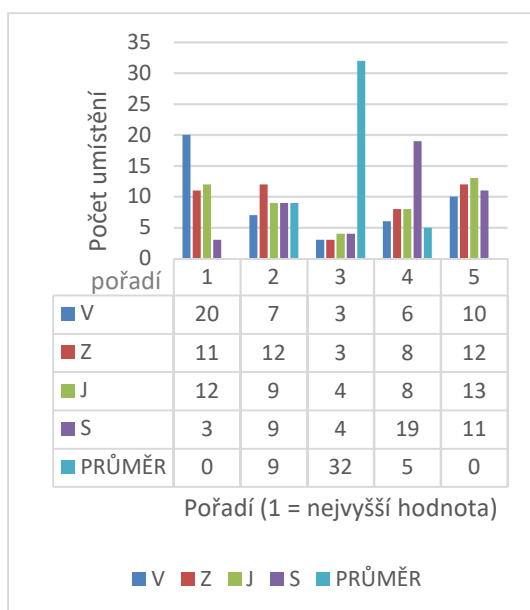
Grafy zhotovené pro měření při podtlaku a přetlaku jsou v příloze 5.

Hodnocení podle četnosti pořadí

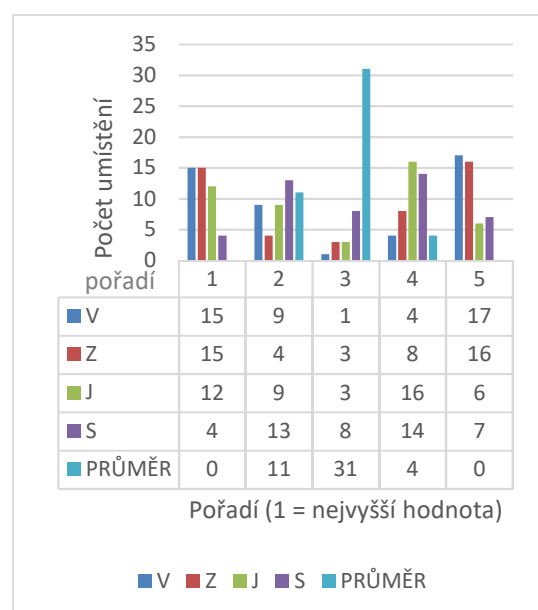
Je porovnáváno pořadí jednotlivých výsledků. Logicky a dle předpokladů je na třetím místě nejčastěji umístěn "PRŮMĚR" (vypočten z průměrné hodnoty vnějších tlaků). Pomocí východního a jižního snímače jsou nejvícekrát změřeny jak nejvyšší, tak nejnižší hodnoty. Na čtvrtém a pátém místě (nejnižší naměřené hodnoty) se nejvícekrát umístil severní senzor.



Graf 18: Pořadí v testech pro q50



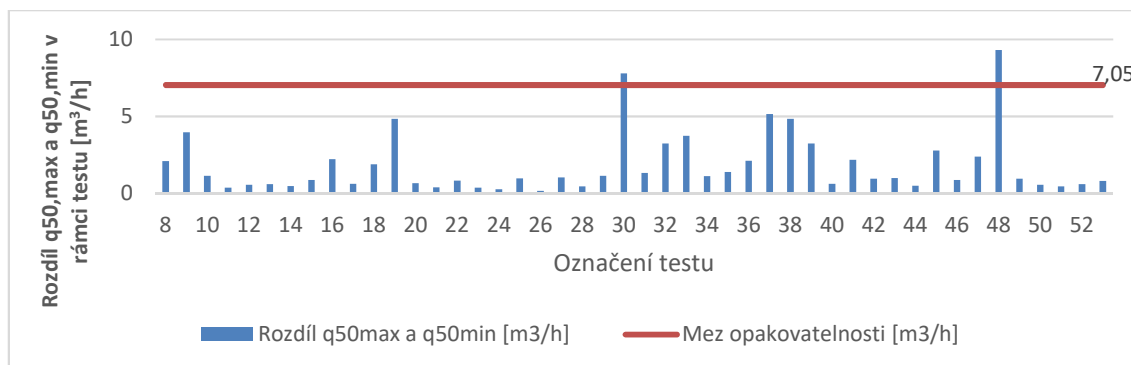
Graf 19: Pořadí v testech pro q50 při přetlaku



Graf 20: Pořadí v testech pro q50 při podtlaku

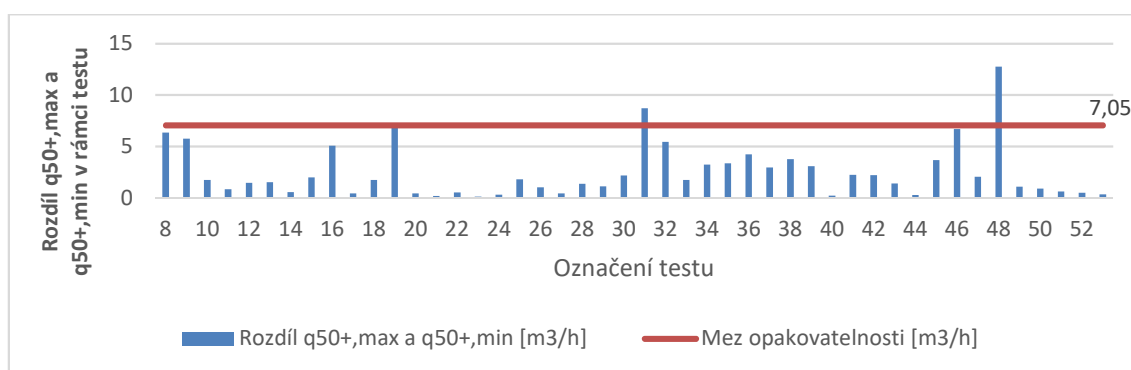
Porovnání rozsahu hodnot s mezí opakovatelnosti

Pro jednotlivé testy jsou vypočteny rozsahy hodnot q_{50} [m³/h] a porovnány s kritickým rozpětím $CR = 7,05$ m³/h. Rozsahy, které přesahují mez opakovatelnosti mohou být ovlivněny například větrem. Tyto přesahující hodnoty jsou v následující kapitole porovnány s rychlostí větru. Mez opakovatelnosti přesahují testy č. 30 a 48.

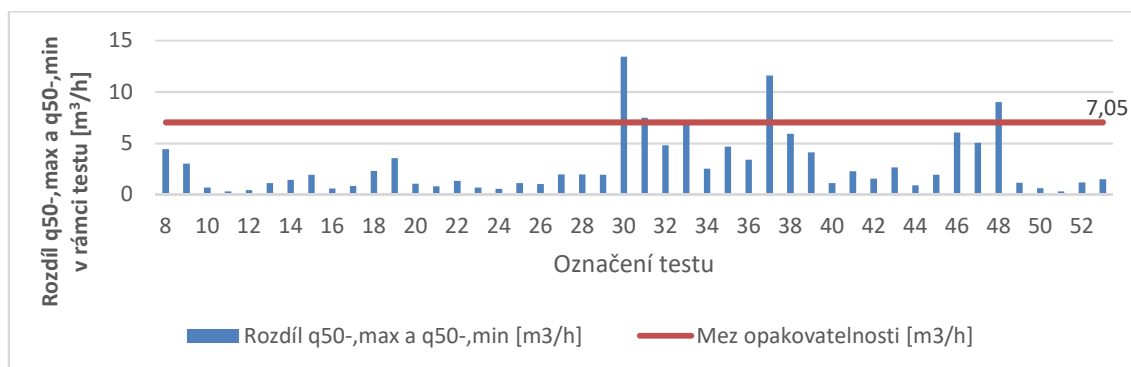


Graf 21: Porovnání rozsahu q_{50} s mezí opakovatelnosti

Při hodnocení rozsahu hodnot veličiny q_{50} [m³/h] je posuzován také zvlášť přetlak (viz. graf 22) a podtlak (viz. graf 23). Při měření přetlaku v budově přesahují mez opakovatelnosti testy č. 19, 31 a 48. Při měření podtlaku v budově přesahují mez opakovatelnosti testy č. 30, 31, 33, 37 a 48. Testy přesahující mez opakovatelnosti mohou být ovlivněny větrem. Tato skutečnost je dále analyzována v následující podkapitole.



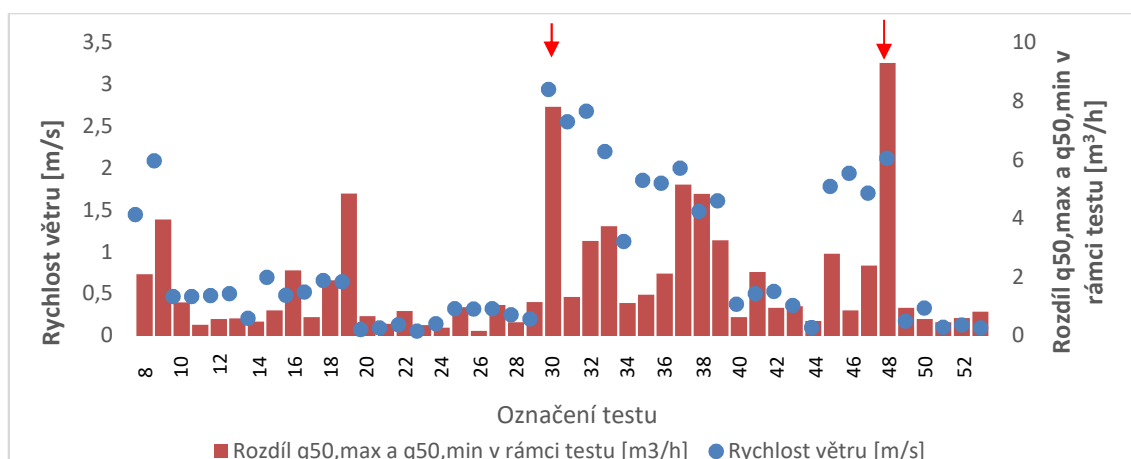
Graf 22: Porovnání rozsahu q_{50+} s mezí opakovatelnosti



Graf 23: Porovnání rozsahu q_{50-} s mezí opakovatelnosti

Závislost rozsahu hodnot v rámci testu na rychlosti větru

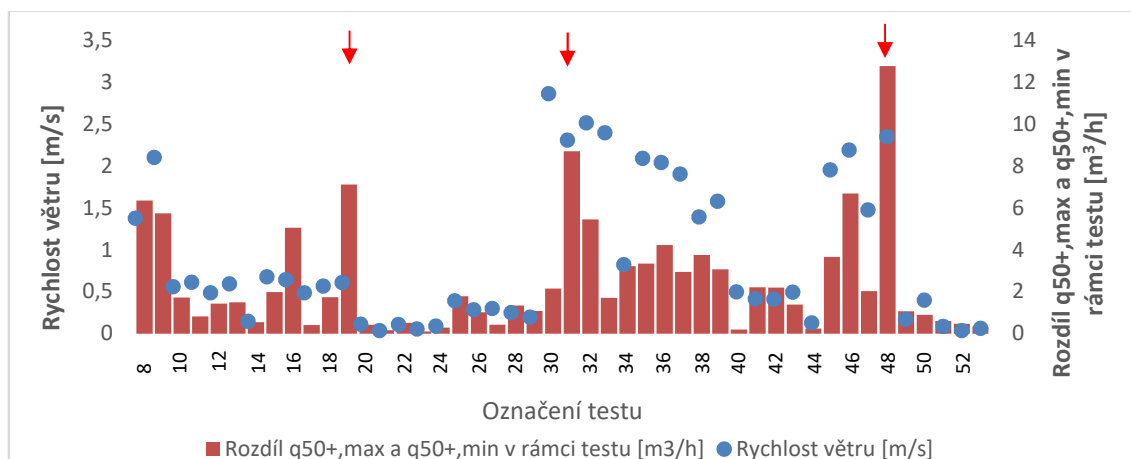
Jsou stanoveny rozsahy hodnot q_{50} [m^3/h] jednotlivých testů podle vzorce (3). Hodnoty rozsahů se pohybují od 0,17 m^3/h do 9,30 m^3/h . Rozsahy hodnot při testech č. 30 a 48 přesáhly mez opakovatelnosti (viz. graf 21). Z grafu 24 je možno usuzovat, že vysoký rozsah hodnot je způsoben rychlostí větru. Při testu č. 30 je naměřena průměrná rychlost větru 2,94 m/s a při testu č. 48 je naměřena průměrná rychlost větru 2,12 m/s. Jelikož je q_{50} [m^3/h] průměrná hodnota z měření při přetlaku a podtlaku, je rychlost větru také průměr z rychlosti větru při měření přetlaku a podtlaku v budově.



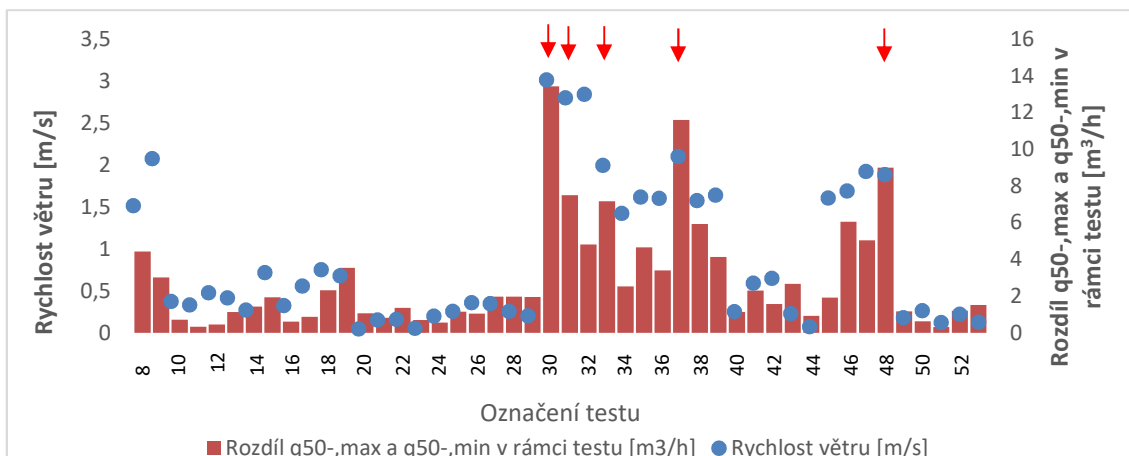
Graf 24: Porovnání rozsahu q_{50} v rámci testu s rychlostí větru

Stejným postupem jsou stanoveny a porovnány rozsahy hodnot q_{50} [m^3/h] jednotlivých testů pro měření při přetlaku (viz. graf 25) a podtlaku (viz. graf 26) v budově s rychlostí větru. Hodnoty rozsahů při přetlaku se pohybují od 0,11 m^3/h do 12,76 m^3/h . Hodnoty rozsahů při podtlaku se pohybují od 0,31 m^3/h do 13,44 m^3/h .

Při měření přetlaku v budově přesahují mez opakovatelnosti testy č. 19, 31 a 48. Při měření podtlaku v budově přesahují mez opakovatelnosti testy č. 30, 31, 33, 37 a 48.



Graf 25: Porovnání rozsahu q_{50+} v rámci testu s rychlostí větru



Graf 26: Porovnání rozsahu q50- v rámci testu s rychlostí větru

Třetí kvartil naměřených rychlostí větru během testů je 1,61 m/s. Tuto hodnotu převyšuje devět z deseti měření, které přesahují mez opakovatelnosti.

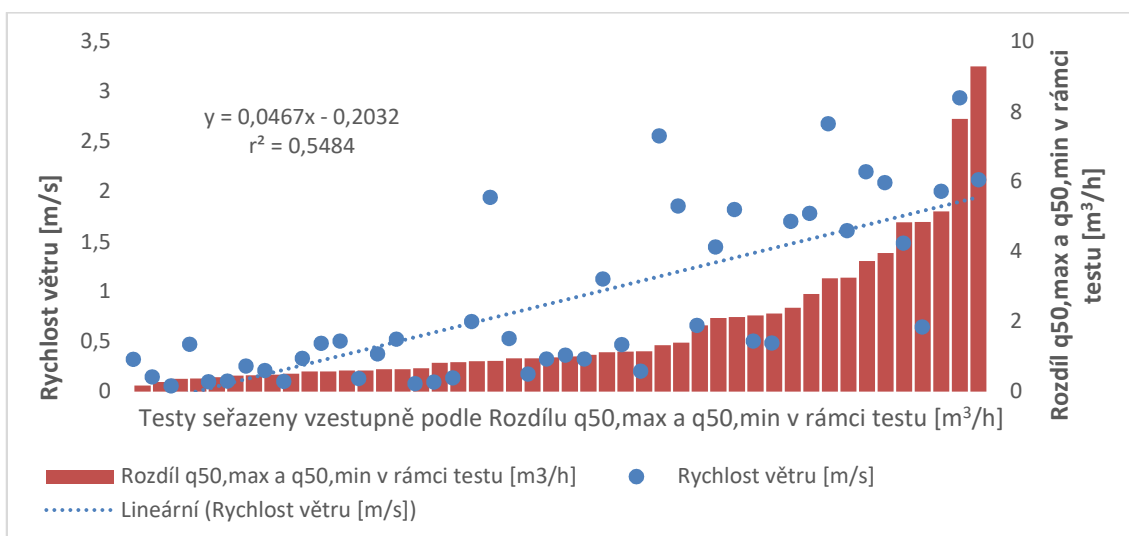
Tabulka 7: Rychlosti větru u testů překračujících mez opakovatelnosti při přetlaku

Označení testu	Rychlost větru [m/s]
19	0,61
31	2,31
48	2,35

Tabulka 8: Rychlosti větru u testů překračujících mez opakovatelnosti při podtlaku

Označení testu	Rychlost větru [m/s]
30	3,02
31	2,80
33	2,00
37	2,11
48	1,89

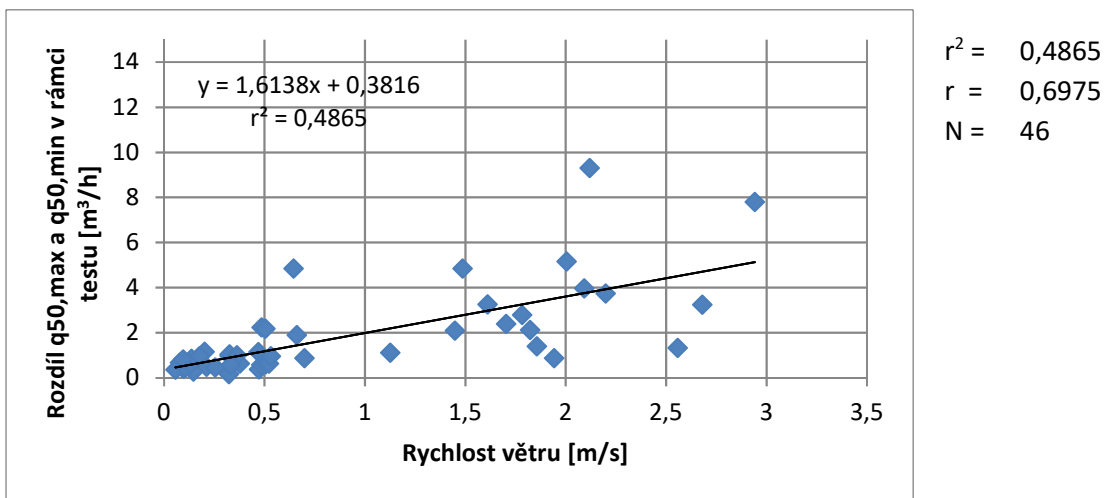
Při pohledu na grafy 24 až 26 je vidět, že při vyšších rychlostech větru stoupá i rozsah hodnot q_{50} . Pro lepší názornost jsou data seřazena od testu s nejnižším rozsahem po nejvyšší (viz. graf 27). Je zřejmé, že se stoupající rychlostí větru se zvyšuje rozsah hodnot q_{50} [m³/h] získaných z jednotlivých snímačů. V příloze 7 jsou porovnávána data zvlášť podle měření přetlaku a podtlaku.



Graf 27: Porovnání rozsahu q50 v rámci testu s rychlostí větru – vzestupně seřazeno podle rozsahů q50

Z důvodu zjištění závislosti rozsahu hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých snímačů na rychlosti větru je vytvořen graf vyjadřující tuto závislost (viz. graf 28). Dále je vytvořen tentýž graf ve dvou variantách, kdy graf 29 je sestaven pro data získaná při měření přetlakem a graf 30 pro měření podtlakem.

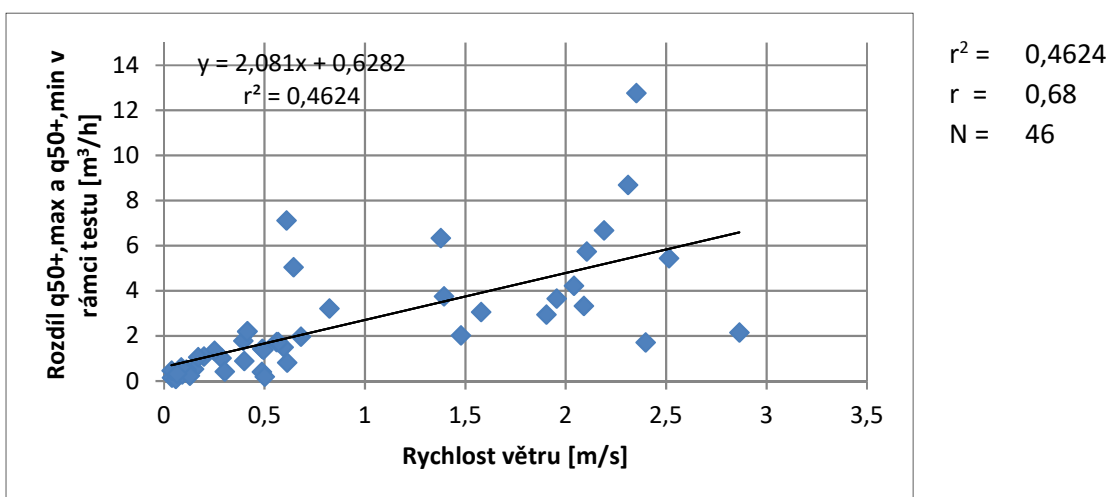
Na grafech 28 až 30 je provedena lineární regrese a stanoven koeficient determinace r^2 [-]. Z koeficientu determinace r^2 [-] je vypočten koeficient korelace r [-]. Pomocí tabulky v příloze 6 je zjištěno, jaká je pravděpodobnost, že veličiny nejsou na sobě závislé. Tato pravděpodobnost je odečtena od 100 %, a tím je zjištěno, jaká je pravděpodobnost, že jsou veličiny závislé.



Graf 28: Závislost Rozdíl $q_{50,max}$ a $q_{50,min}$ v rámci testu na rychlosti větru

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

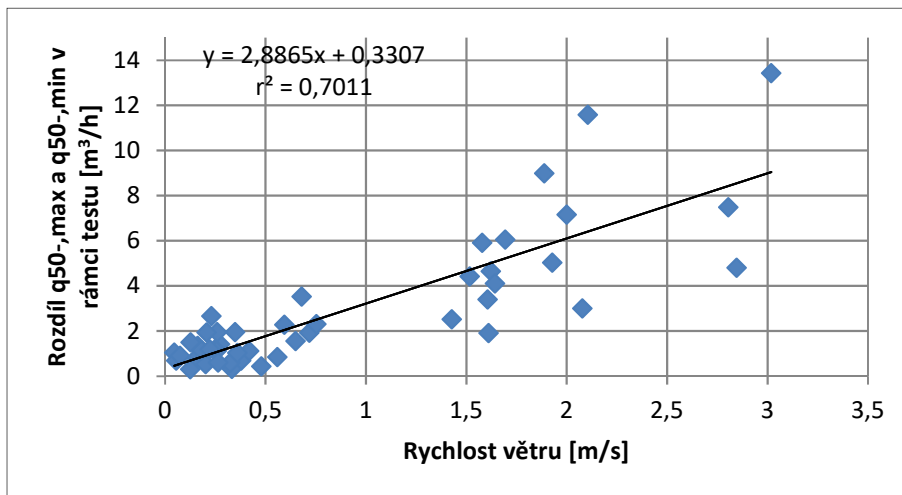
Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé >99,95 %



Graf 29: Závislost Rozdíl $q_{50+,max}$ a $q_{50+,min}$ v rámci testu na rychlosti větru

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé >99,95 %



$r^2 = 0,7011$
 $r = 0,8373$
 $N = 46$

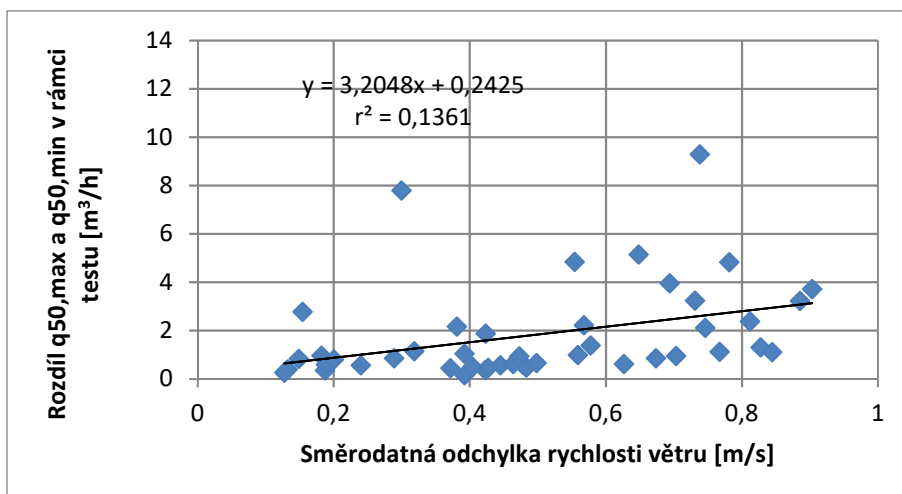
Graf 30: Závislost Rozdíl $q_{50-,max}$ a $q_{50-,min}$ v rámci testu na rychlosti větru

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé >99,95 %

Působení větru na jednotlivé snímače lze charakterizovat průměrnou rychlostí větru, jak je popisováno výše. Druhou možností, jak charakterizovat působení větru, je pomocí směrodatné odchytky rychlosti větru. Směrodatnou odchylkou je vyjádřeno, zda je vítr nárazový (vysoká hodnota) nebo téměř konstantní rychlostí (nízká hodnota).

Z důvodu zjištění závislosti rozsahu hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých snímačů na směrodatné odchylce rychlosti větru je vytvořen graf vyjadřující tuto závislost (viz. graf 31). Je posouzeno a prokázáno, že veličiny jsou závislé.



$r^2 = 0,1361$
 $r = 0,3689$
 $N = 46$

Graf 31: Závislost Rozdíl $q_{50-,max}$ a $q_{50-,min}$ v rámci testu na směrodatné odchylce rychlosti větru

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 1,72 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 98,28 %

V příloze 8 jsou grafy prokazující nezávislost rozsahu hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých snímačů na venkovní teplotě a na teplotním rozdílu interiéru a exteriéru.

4.3.5.4. Závěr

Jsou porovnány výsledky změřené pomocí čtyř různě umístěných snímačů venkovního tlaku a jejich průměru. Jsou provedeny statistické metody pro zjištění závislosti veličiny q_{50} [m³/h] na zvolené poloze snímačů venkovního tlaku.

Průměrné hodnoty naměřené pomocí jednotlivých snímačů jsou velice podobné. Podle grafů 18 až 20 se může zdát, že rozdíl mezi výsledky z východního a severního senzoru je výrazný. Průměrná hodnota z východního senzoru je však vyšší než průměrná hodnota ze severního senzoru o méně než 0,3 %. Při uvažování testů měřených při rychlosti větru vyšší než 0,5 m/s je průměr ze snímače V vyšší než průměr ze snímače Z o 0,6%

Během měřených testů je maximální průměrná rychlost větru 3 m/s a polovina naměřených hodnot je při rychlosti větru menší než 0,5 m/s. Při vyšších rychlostech větru může mít umístění snímače vnějšího tlaku větší vliv.

Při porovnání rozsahu naměřených hodnot získaných pomocí snímačů vnějšího tlaku jsou zjištěny některé testy, které překračují rozsahem hodnot veličiny q_{50} [m³/h] mez opakovatelnosti. Většina testů mez opakovatelnosti charakterizující obvyklou nejistotu měření nepřekročila. Při testech překračujících mez opakovatelnosti jsou zaznamenány relativně vysoké rychlosti větru v porovnání se všemi naměřenými daty. Lze tedy říci, že s rostoucí rychlostí větru roste i počet testů, u kterých již nelze vysvětlit rozdíly mezi výsledky obvyklou nejistotou.

Je zřejmé, že se stoupající rychlostí větru se zvyšuje rozsah hodnot q_{50} [m³/h] získaných z jednotlivých poloh snímačů (viz. graf 27).

Na grafech 28 až 30 je prokázáno, že rozsah hodnot naměřený pomocí snímačů vnějšího tlaku je závislý na rychlosti větru.

Poloha snímače tedy může ovlivnit výsledek měření vzduchotěsnosti obálky budovy. Vliv polohy snímače roste s rychlostí větru.

Při analýze směru větru je zjištěno, že jihozápadní směr větru byl sice převažující, ale velice často vane vítr z opačné světové strany, tedy ze severovýchodu (viz. graf 1). Je možné, že tato skutečnost zapříčinila, že z výsledků obsažených v této kapitole není možné určit, jaká poloha snímače vnějšího tlaku je nejvhodnější.

4.3.6. Závislost q_{50} na rychlosti větru

4.3.6.1. Úvod

Během měření vzduchotěsnosti v praxi je málokdy absolutní bezvětří. Vítr působí na téměř každé měření vzduchotěsnosti budovy. Je tedy důležité stanovit, jestli má vítr vliv na výsledky vzduchotěsnosti. Pokud vítr ovlivňuje výsledky měření, je žádoucí zjistit, jak výrazně. Je posuzována závislost průtoku vzduchu netěsnostmi q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru.

Při každém testu je měřena vzduchotěsnost při přetlaku a podtlaku. Při sestavení základních popisných statistik (viz. kapitola 4.3.4.3.) je zjištěn výrazný rozdíl mezi rozsahem hodnot q_{50} [m^3/h] měřených při přetlaku a podtlaku. Je tedy posuzována závislost rozdílu veličiny q_{50} [m^3/h] měřené při přetlaku a podtlaku na rychlosti větru [m/s].

4.3.6.2. Metoda

Závislost q_{50} na rychlosti větru

Zda je q_{50} [m^3/h] závislé na rychlosti větru je zkoumáno pomocí grafu závislosti. Na vodorovné ose je rychlost větru [m/s] a na svislé ose hodnota q_{50} [m^3/h]. Je provedena lineární regrese a je získán koeficient determinace r^2 [-]. Z koeficientu determinace r^2 [-] je vypočten koeficient korelace r [-].

Zda jsou dvě veličiny na sobě závislé, je možné zjistit pomocí korelačního koeficientu r [-]. V závislosti na tom, kolik je provedeno měření a jaký je korelační koeficient, je možné v příloze 6 zjistit, jaká je pravděpodobnost, že veličiny nejsou závislé. Tato pravděpodobnost stačí odečíst od 100 %, a tím je zjištěno, jaká je pravděpodobnost, že jsou veličiny závislé. [1]

Závislost rozdílu hodnot q_{50} měřených při podtlaku a přetlaku na rychlosti větru

Nejprve jsou stanoveny jednotlivé rozdíly hodnot veličiny q_{50} [m^3/h] při podtlaku a přetlaku. Průměrná hodnota q_{50} [m^3/h] měřena při podtlaku je vyšší než při přetlaku. V některých testech je hodnota q_{50} [m^3/h] měřena při podtlaku nižší než při přetlaku. Rozdíl hodnot je tedy pro stanovení závislosti v absolutní hodnotě.

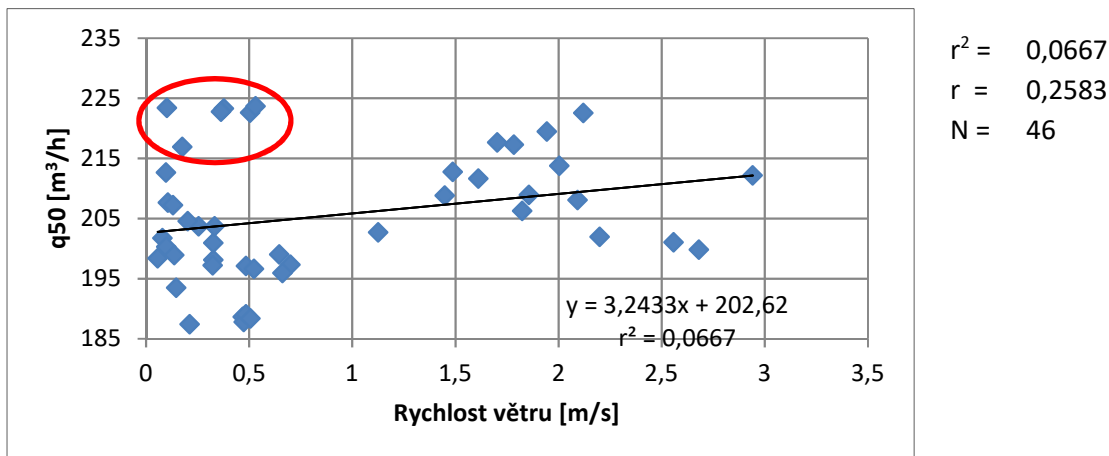
$$R = |q_{50-} - q_{50+}| \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (4)$$

Zda je R [m^3/h] závislé na rychlosti větru je zkoumáno pomocí grafu závislosti. Vodorovná osa obsahuje rychlost větru [m/s] a svislá osa hodnotu R [m^3/h] spočtenou podle vzorce (4). Zda jsou dvě veličiny na sobě závislé je hodnoceno opět podle korelačního koeficientu r [-]. Podrobný postup hodnocení je uveden v předchozí podkapitole.

4.3.6.3. Vlastní hodnocení

Závislost q_{50} na rychlosti větru

Nejprve jsou posuzována data získána pomocí východního snímače. Je zjištěna pravděpodobná závislost hodnoty q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s] (viz. graf 32). Vzhledem k množství nadprůměrně vysokých hodnot q_{50} [m^3/h] při nízkých rychlostech větru (označeno v grafu 32) není možno s jistotou říci, že se zvyšující se rychlostí větru se zvyšuje hodnota q_{50} [m^3/h].

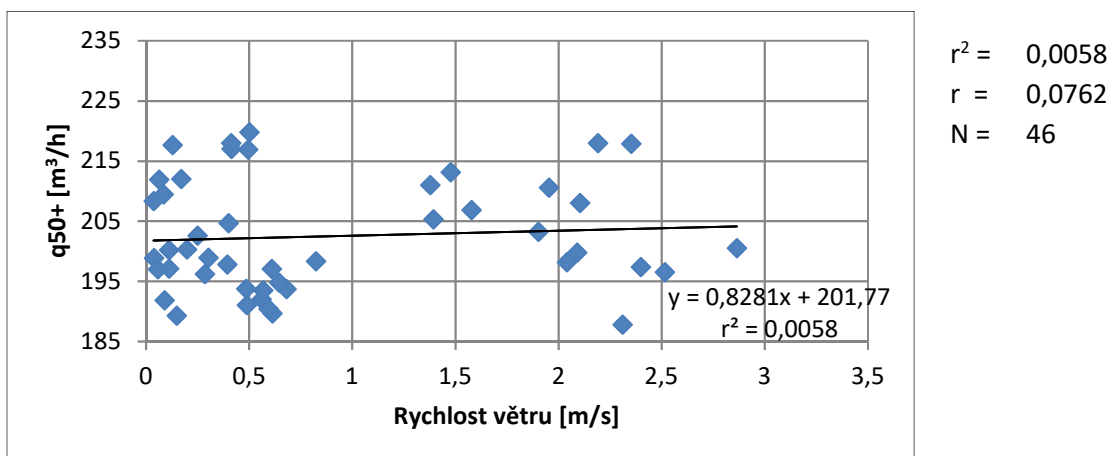


Graf 32: Závislost q_{50} na rychlosti větru – snímač V

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 10,17 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 89,83 %

Při posuzování dat změřených při přetlaku není zjištěna závislost hodnoty q_{50+} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s] (viz. graf 34).

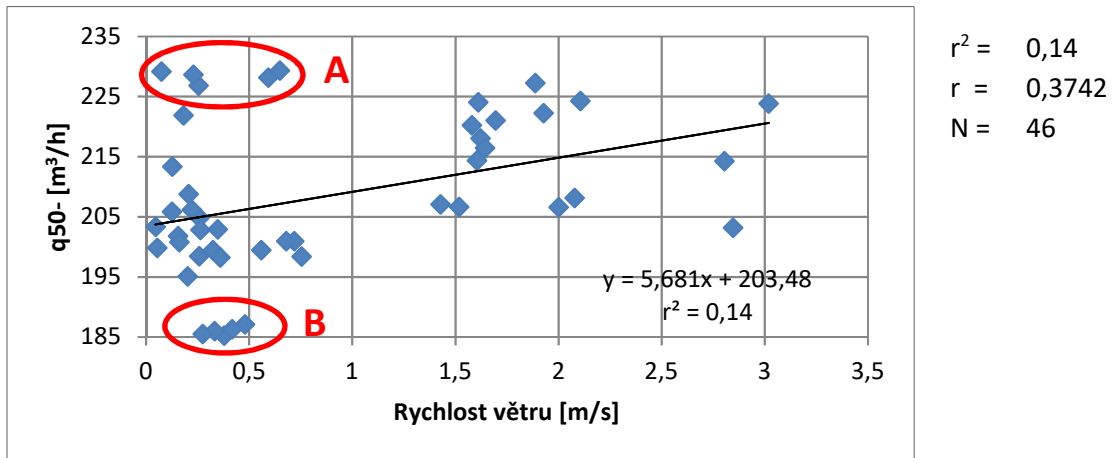


Graf 33: Závislost q_{50+} na rychlosti větru – snímač V

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 62,38 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 37,62 %

Při posuzování dat změřených při podtlaku je zjištěna pravděpodobná závislost hodnoty q_{50} [m³/h] na rychlosti větru [m/s] (viz. graf 33). Vzhledem k datům označeným v grafu opět není možné s jistotou říci, že se zvyšující se rychlostí větru se zvyšuje hodnota q_{50} [m³/h].



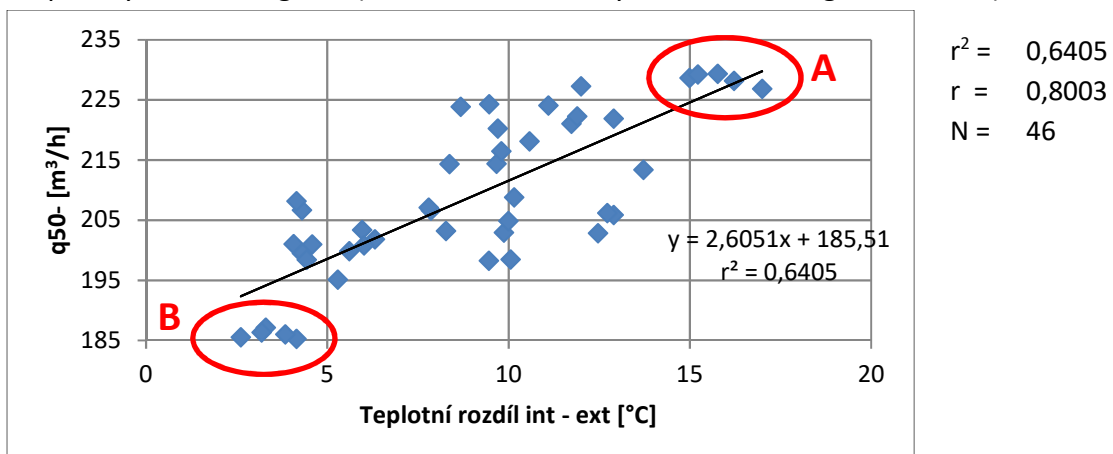
Graf 34: Závislost q_{50} na rychlosti větru – snímač V

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 1,52 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 98,48 %

Stejným postupem jsou posouzena data získaná z ostatních snímačů. Rozdíly ve výsledcích z jednotlivých snímačů jsou minimální. Grafy závislosti q_{50} [m³/h] na rychlosti větru [m/s] jsou v příloze 9.

Je provedena analýza teplotního rozdílu mezi interiérem a exteriérem. Při analýze se zjistila vysoká závislost hodnoty q_{50} [m³/h] na teplotním rozdílu [°C] jak při měření přetlakem, tak podtlakem. Vliv závislosti na teplotním rozdílu pravděpodobně ovlivnil hodnocení závislosti v grafu 34. Hodnoty q_{50} měřené při největším a nejmenším rozdílu vnitřní a vnější teploty jsou hodnotami nejvzdálenější od přímky lineární regrese (viz. označené shluky bodů A a B na grafu 33 a 34).



Graf 35: Závislost q_{50} na teplotním rozdílu int-ext – snímač V

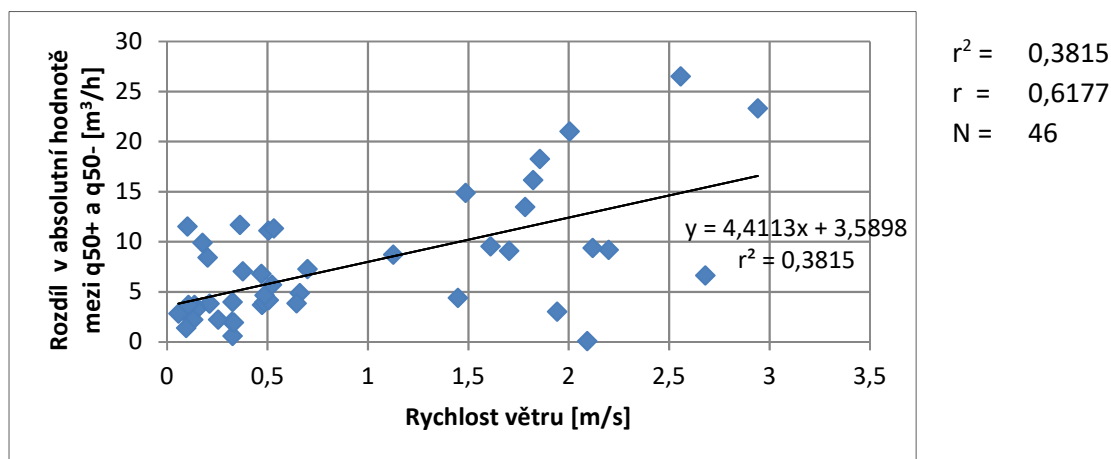
Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé >99,95 %

Závislost rozdílu hodnot q_{50} měřených při podtlaku a přetlaku na rychlosti větru

Jsou stanoveny jednotlivé rozdíly veličiny q_{50} [m^3/h] v absolutní hodnotě při podtlaku a přetlaku. Nejprve jsou posuzována data získána pomocí východního snímače.

Je zjištěno, že rozdíl veličiny q_{50} [m^3/h] v absolutní hodnotě při přetlaku a podtlaku je závislý na rychlosti větru (viz. graf 36).



Graf 36: Závislost rozdílu v absolutní hodnotě mezi q_{50+} a q_{50-} na rychlosti větru – snímač V

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé >99,95 %

Stejným postupem jsou posouzena data získaná z ostatních snímačů. Rozdíly ve výsledcích z jednotlivých snímačích jsou minimální. Grafy závislosti rozdílu v absolutní hodnotě mezi q_{50+} a q_{50-} na rychlosti větru [m/s] jsou v příloze 10.

4.3.6.4. Závěr

V této kapitole je zjištěna pravděpodobná závislost hodnoty q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s]. Závislost není zcela dokázána. Pro případné pokračování práce by bylo vhodné se pokusit odfiltrovat měření ovlivněna vysokým teplotním rozdílem vně a uvnitř budovy.

Norma ČSN EN ISO 9972 připouští, aby pro hodnocení vzduchotěsnosti budovy bylo provedeno pouze jedno měření při přetlaku nebo podtlaku v budově. Je provedena analýza závislosti rozdílu hodnot q_{50} měřených při podtlaku a přetlaku na rychlosti větru. Závislost se prokázala (viz. graf 36). Vzhledem ke zjištěné závislosti je vhodné při měření vzduchotěsnosti postupovat dle doporučení normy ČSN EN ISO 9972 a provést dvě sady měření (podtlakem i přetlakem v budově).

5. Shrnutí a doporučení

Pro účely této diplomové práce je realizován experiment, který spočívá v opakovaném měření vzduchotěsnosti vybrané budovy při současném snímání venkovního tlaku z několika poloh při různých klimatických podmínkách. Je provedeno celkem 53 měření vzduchotěsnosti budovy. Po získání naměřených dat je vytvořen výpočetní nástroj pro vypočtení výsledků měření. Výsledky těchto testů jsou vyhodnoceny a podrobeny především statistickým analýzám.

Jsou použity statistické metody pro zjištění závislosti veličiny q_{50} [m^3/h] na zvolené poloze snímačů venkovního tlaku. Při porovnání rozsahu naměřených hodnot získaných pomocí snímačů vnějšího tlaku jsou zjištěny testy překračující rozsahem hodnot veličiny q_{50} [m^3/h] mez opakovatelnosti. Při testech překračujících mez opakovatelnosti jsou zaznamenány relativně vysoké rychlosti větru v porovnání se všemi naměřenými daty. Lze tedy říci, že s rostoucí rychlostí větru roste i počet testů, u kterých již nelze vysvětlit rozdíly mezi výsledky obvyklou nejistotou.

Stoupající rychlostí větru se zvyšuje rozsah hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých poloh snímačů (viz. graf 27). Je prokázáno, že rozsah hodnot naměřený pomocí snímačů vnějšího tlaku je závislý na rychlosti větru (viz. graf 28 až 30). Poloha snímače tedy může ovlivnit výsledek měření vzduchotěsnosti obálky budovy. Vliv polohy snímače na nejistotu měření roste s rychlostí větru. Pro snížení nejistoty měření je tedy vhodné měřit vzduchotěsnost při nízké rychlosti větru.

Při analýze směru větru je zjištěno, že jihozápadní směr větru je sice převažující, ale velice často vane vítr z opačné světové strany, tedy ze severovýchodu (viz. graf 1). Tato skutečnost je pravděpodobnou příčinou nemožnosti určit nejvhodnější zvolenou polohu snímače vnějšího tlaku.

Z provedených měření na jedné konkrétní budově je velice obtížné určit obecně nejvhodnější umístění snímače vnějšího tlaku při měření vzduchotěsnosti.

Je zjištěna pravděpodobná závislost hodnoty q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s]. Závislost není zcela dokázána. Pro případné pokračování práce by bylo vhodné se pokusit odfiltrovat měření ovlivněna vysokým teplotním rozdílem vně a uvnitř budovy.

Norma ČSN EN ISO 9972 připouští, aby pro hodnocení vzduchotěsnosti budovy bylo provedeno pouze jedno měření při přetlaku nebo podtlaku v budově. Je provedena analýza závislosti rozdílu hodnot q_{50} měřených při podtlaku a přetlaku na rychlosti větru. Závislost se prokázala (viz. graf 36). Zvyšující se rychlostí větru se zvyšuje rozdíl mezi výsledkem měřeným při podtlaku a přetlaku. Vzhledem ke zjištěné závislosti je vhodné při měření vzduchotěsnosti postupovat dle doporučení normy ČSN EN ISO 9972 a provést dvě sady měření (podtlakem i přetlakem v budově).

Zdroje:

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Experimentální objekt MORE-CONNECT	14
Obrázek 2: Areál UCEEB [8]	15
Obrázek 3: VZT jednotka DUPLEX 170 EC5 umístěná v suterénu, na fotce je vidět utěsnění přívodu čerstvého vzduchu.....	16
Obrázek 4: Vzduchotechnické potrubí a výustka	16
Obrázek 5: Zatěsnění odvodu vzduchu z interiéru do VZT jednotky	17
Obrázek 6: Zatěsnění odtahu vzduchu a připravených trubek vytápění.....	17
Obrázek 7: VZT rozvod v suterénu s označením zatěsnění [9]	18
Obrázek 8: Osazený instalační rám ve vchodových dveřích - z exteriéru a interiéru.....	18
Obrázek 9: Poloha vnitřního (vlevo) a vnějšího (vpravo) snímače teploty a relativní vlhkosti	19
Obrázek 10: Poloha anemometru - jihozápadní roh	19
Obrázek 11: Schematické rozmístění vnějších snímačů tlaku	20
Obrázek 12: Osazený ventilátor Minneapolis BlowerDoor model 4 a napojení venkovních snímačů tlaku.....	20
Obrázek 13: Schéma zapojení hadiček na měřidla tlaku APT a DG 1000	21
Obrázek 14: Napojení hadiček na měřicí tlakový rozdíl APT a DG1000	21
Obrázek 15: Náhled do programu TECLOG 4 na odstup mezi tlakovými rozdíly mezi jednotlivými snímači	23
Obrázek 16: Vložení dat z TECLOG 4 do excelu – první přetlak.....	24
Obrázek 17: Kalibrační parametry pro ventilátor model 4 a 4.1 při použití clony C [4].	24
Obrázek 18: Druhý list - změřená data po senzorech.....	25
Obrázek 19: Pátý test vytvořen zprůměrováním tlakových rozdílů	25
Obrázek 20: Rozmístění meteorologických stanic UCEEB [10].....	26
Obrázek 21: Vzorec pro výpočet změřeného průtoku vzduchu [4].....	26
Obrázek 22: Data z jednoho testu připravena pro následné analýzy.....	27
Obrázek 23: Zobrazený směr větru během testů [8].....	28
Obrázek 24: Určování odlehlé hodnoty pomocí Chauvenetova kritéria pro q50.....	32

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Legenda značek [1].....	9	
Tabulka 2: Základní popisné statistiky teploty vzduchu během testů.....	30	
Tabulka 3: Hodnocené veličiny	Tabulka 4: Popisné statistiky.....	34
Tabulka 5: Popisné statistiky pro q50 (230 hodnot).....	34	
Tabulka 6: Popisné statistiky q50 po senzorech.....	36	
Tabulka 7: Rychlosti větru u testů překračujících mez opakovatelnosti při přetlaku	44	
Tabulka 8: Rychlosti větru u testů překračujících mez opakovatelnosti při podtlaku....	44	

Seznam grafů:

Graf 1: Procentuální rozložení směru větru během měřených testů.....	28
Graf 2: Průměrná rychlost větru během testů	29
Graf 3: Rozložení rychlosti větru v jednotlivých testech	29
Graf 4: Vývoj teplot v interiéru, exteriéru a rozdíl těchto teplot během jednotlivých testů	30
Graf 5: Histogram četnosti q50.....	35
Graf 6: Histogram četnosti q50 při přetlaku.....	35
Graf 7: Histogram četnosti q50 při podtlaku	35
Graf 8: Vzorový krabicový graf – nereprezentuje konkrétní výsledky.....	37
Graf 9: Vzorový graf polohy snímače na měření – 2σ (nereprezentuje konkrétní výsledky)	38
Graf 10: Krabicové grafy pro q50 [m ³ /h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s	39
Graf 11: Krabicové grafy pro q50 [m ³ /h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s	39
Graf 12: Krabicové grafy pro q50+ [m ³ /h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s	39
Graf 13: Krabicové grafy pro q50+ [m ³ /h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s	39
Graf 14: Krabicové grafy pro q50- [m ³ /h] při rychlosti vyšší než 0,5 m/s.....	40
Graf 15: Krabicové grafy pro q50- [m ³ /h]	40
Graf 16: 2x směrodatná odchylka od průměru u q50 při rychlosti vyšší než 0,5 m/s	40
Graf 17: 2x směrodatná odchylka od průměru u q50	40
Graf 18: Pořadí v testech pro q50.....	41
Graf 19: Pořadí v testech pro q50 při přetlaku	41
Graf 20: Pořadí v testech pro q50 při podtlaku	41
Graf 21: Porovnání rozsahu q50 s mezí opakovatelnosti	42
Graf 22: Porovnání rozsahu q50+ s mezí opakovatelnosti	42
Graf 23: Porovnání rozsahu q50- s mezí opakovatelnosti.....	42
Graf 24: Porovnání rozsahu q50 v rámci testu s rychlostí větru	43
Graf 25: Porovnání rozsahu q50+ v rámci testu s rychlostí větru	43
Graf 26: Porovnání rozsahu q50- v rámci testu s rychlostí větru	44
Graf 27: Porovnání rozsahu q50 v rámci testu s rychlostí větru – vzestupně seřazeno podle rozsahů q50	44
Graf 28: Závislost Rozdíl q50,max a q50,min v rámci testu na rychlosti větru.....	45
Graf 29: Závislost Rozdíl q50+,max a q50+,min v rámci testu na rychlosti větru.....	45
Graf 30: Závislost Rozdíl q50-,max a q50-,min v rámci testu na rychlosti větru	46
Graf 31: Závislost Rozdíl q50,max a q50,min v rámci testu na směrodatné odchylce rychlosti větru	46
Graf 32: Závislost q50 na rychlosti větru – snímač V.....	49
Graf 33: Závislost q50+ na rychlosti větru – snímač V.....	49
Graf 34: Závislost q50- na rychlosti větru – snímač V.....	50
Graf 35: Závislost q50- na teplotním rozdílu int-ext – snímač V	50
Graf 36: Závislost rozdílu v absolutní hodnotě mezi q50+ a q50- na rychlosti větru – snímač V.....	51

Literatura:

- [1] R. TAYLOR, John. *An introduction to error analysis: the study of uncertainties in physical measurements*. 2. Sausalito, California: University Science Books, 1997. ISBN 09-357-0242-3.
- [2] ČSN EN ISO 9972. *Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [3] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových pláštěů budov*. 1. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [4] *Závazné pokyny pro žadatele a příjemce podpory z podprogramu Nová zelená úsporám RODINNÉ DOMY v rámci 3. výzvy k podávání žádostí*. 1. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2018.
- [5] BLOWERDOOR GMBH, . *BlowerDoor Reference Guide*. Springe-Eldagsen, Germany: BlowerDoor GmbH MessSysteme für Luftdichtheit, 2018.
- [6] DELMOTTE, Christophe. *From energy crisis to sustainable indoor climate – 40 years of AIVC: Airtightness of buildings – Considerations regarding place and nature of pressure taps*. Het Pand, Ghent, Belgium, 2019. ISBN 2-930471-56-3.
- [7] NOVÁK, Jiří. *From energy crisis to sustainable indoor climate – 40 years of AIVC: Influence of the external pressure tap position on the airtightness test result*. Het Pand, Ghent, Belgium, 2019. ISBN 2-930471-56-3.
- [8] *Letecký snímek na areál UCEEB* [online]. b.r. [cit. 2019-12-27]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/Univerzita+centrum+energeticky+efektivn%C3%ADch+budov+%C4%8CVUT/@50.1563534,14.1689077,187m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470bc7ed0724e133:0x3b57ba8c20dd1b20!8m2!3d50.1566922!4d14.1695933>
- [9] *FINAL PUBLISHABLE REPORT - MORE-CONNECT 633477* [online]. In: . 2019, s. 71 [cit. 2019-12-28].
- [10] *Meteorologická stanice UCEEB* [online]. b.r. [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <http://meteo.uceeb.cvut.cz:5001/index.html#>
- [11] ČSN ISO 5725-6. *Přesnost (správnost a shodnost) metod a výsledků měření - Část 6: Použití hodnot měř přesnosti v praxi*. 1. Český normalizační institut, 1997.

- [12] HRADEČNÝ, Lukáš. *Opakovatelnost a reprodukovatelnost měření vzduchotěsnosti budov*. Praha, 2018. Diplomová práce. ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. Vedoucí práce Ing. Jiří Novák, Ph.D.

Použitý software:

TECTITE Expres 5.1
TECLOG 4, verze 4.0.0.1
ALMEMO Control 6.2, verze 6.2.47
Comet Vision, verze 2.1
Autodesk Autocad 2018
Autodesk Revit 2020
Microsoft Word
Microsoft Excel

Přílohy:

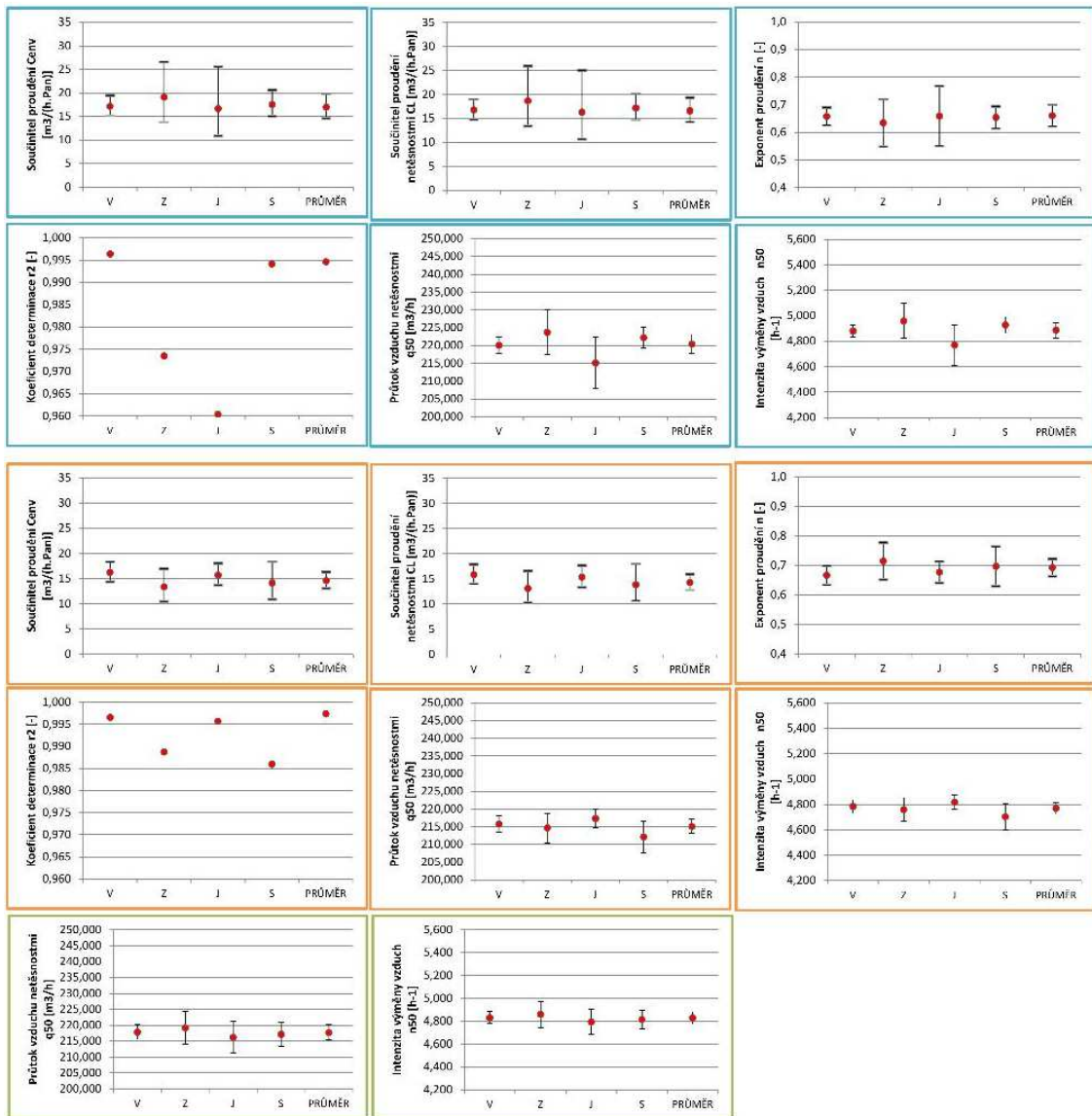
Příloha 1:	Vzorové zpracování výsledků a grafů pro jednotlivé testy.....	57
Příloha 2:	Souhrnné grafy po jednotlivých senzorech.....	59
Příloha 3:	Platnost dat – výpočty podle Chauvenetova kritéria.....	64
Příloha 4:	Popisná statistika a histogramy četností.....	70
Příloha 5:	Posouzení vlivu polohy snímače na měření – “2x směrodatná odchylka od průměru”	83
Příloha 6:	Tabulka C [1].....	84
Příloha 7:	Porovnání rozsahu q_{50} v rámci testu s rychlostí větru.....	85
Příloha 8:	Grafy prokazující nezávislost rozsahu hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých snímačů na venkovní teplotě a na teplotním rozdílu interiéru a exteriéru.....	88
Příloha 9:	Grafy závislosti q_{50} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s].....	89
Příloha 10:	Grafy závislosti rozdílu v absolutní hodnotě mezi q_{50+} a q_{50-} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s].....	93

Přílohy:

Příloha 1: Vzorové zpracování výsledků a grafů pro jednotlivé testy

Kompletní výsledky a grafy ke všem 53 testům jsou v příloze 01 na CD.

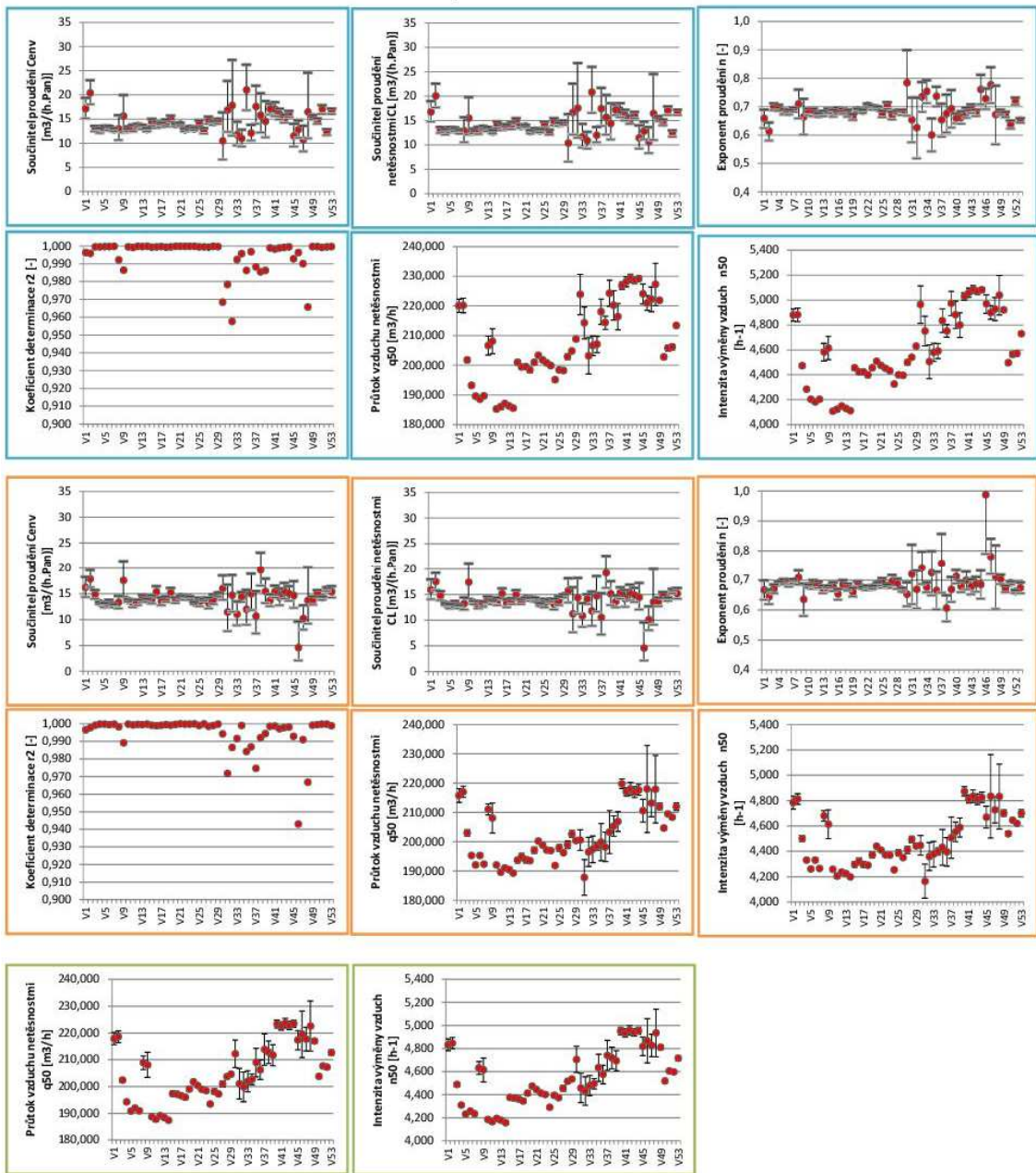
Test 01 - 1.10.2019			V	Z	J	S	PRŮMĚR
podtlak	C _{env}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	17,1591	19,1211	16,6892	17,5651	16,9822
	C _{env,min}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	15,1499	13,7616	10,8875	14,9975	14,5692
	C _{env,max}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	19,4348	26,5679	25,5825	20,5721	19,7949
	C _L	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	16,7958	18,6892	16,3371	17,1894	16,6257
	C _{L,min}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	14,8291	13,4507	10,6579	14,6768	14,2634
	C _{L,max}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	19,0233	25,9678	25,0428	20,1321	19,3794
	n	[-]	0,6577	0,6346	0,6590	0,6542	0,6607
	n _{min}	[-]	0,6256	0,5492	0,5499	0,6134	0,6212
	n _{max}	[-]	0,6897	0,7199	0,7680	0,6951	0,7002
	r ²	[-]	0,9964	0,9735	0,9604	0,9942	0,9947
	q ₅₀	[m ³ /h]	220,0724	223,7083	215,1418	222,2087	220,4163
	nejistota q ₅₀	[m ³ /h]	2,2185	6,2422	7,1682	2,8864	2,7235
	nejistota q ₅₀	[%]	1,0081	2,7903	3,3318	1,2990	1,2356
	n ₅₀	[h ⁻¹]	4,8797	4,9603	4,7703	4,9270	4,8873
	nejistota n ₅₀	[h ⁻¹]	0,0492	0,1384	0,1589	0,0640	0,0604
	nejistota n ₅₀	[%]	1,0081	2,7903	3,3318	1,2990	1,2356
přetlak	C _{env}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	16,2661	13,3733	15,7112	14,1731	14,6234
	C _{env,min}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	14,4008	10,5326	13,6798	10,9214	13,0875
	C _{env,max}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	18,3729	16,9802	18,0443	18,3930	16,3395
	C _L	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	15,9215	13,1304	15,3888	13,8999	14,3375
	C _{L,min}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	14,0957	10,3413	13,3991	10,7109	12,8317
	C _{L,max}	[m ³ /(h.Pa ⁿ)]	17,9837	16,6718	17,6740	18,0385	16,0201
	n	[-]	0,6663	0,7143	0,6768	0,6966	0,6923
	n _{min}	[-]	0,6344	0,6520	0,6405	0,6290	0,6633
	n _{max}	[-]	0,6981	0,7765	0,7131	0,7643	0,7212
	r ²	[-]	0,9966	0,9887	0,9957	0,9860	0,9974
	q ₅₀	[m ³ /h]	215,7559	214,6713	217,3067	212,1089	215,0768
	nejistota q ₅₀	[m ³ /h]	2,3456	4,1912	2,6724	4,5559	2,0331
	nejistota q ₅₀	[%]	1,0872	1,9524	1,2298	2,1479	0,9453
	n ₅₀	[h ⁻¹]	4,7839	4,7599	4,8183	4,7031	4,7689
	nejistota n ₅₀	[h ⁻¹]	0,0520	0,0929	0,0593	0,1010	0,0451
	nejistota n ₅₀	[%]	1,0872	1,9524	1,2298	2,1479	0,9453
průměr	q ₅₀	[m ³ /h]	217,9142	219,1898	216,2243	217,1588	217,7465
	nejistota q ₅₀	[m ³ /h]	2,2821	5,2167	4,9203	3,7212	2,3783
	nejistota q ₅₀	[%]	1,0476	2,3714	2,2808	1,7234	1,0904
	n ₅₀	[h ⁻¹]	4,8318	4,8601	4,7943	4,8151	4,8281
	nejistota n ₅₀	[h ⁻¹]	0,0506	0,1157	0,1091	0,0825	0,0527
	nejistota n ₅₀	[h ⁻¹]	1,0476	2,3714	2,2808	1,7234	1,0904



Modré grafy jsou pro podtlak, oranžové pro přetlak a zelené jsou průměrné.

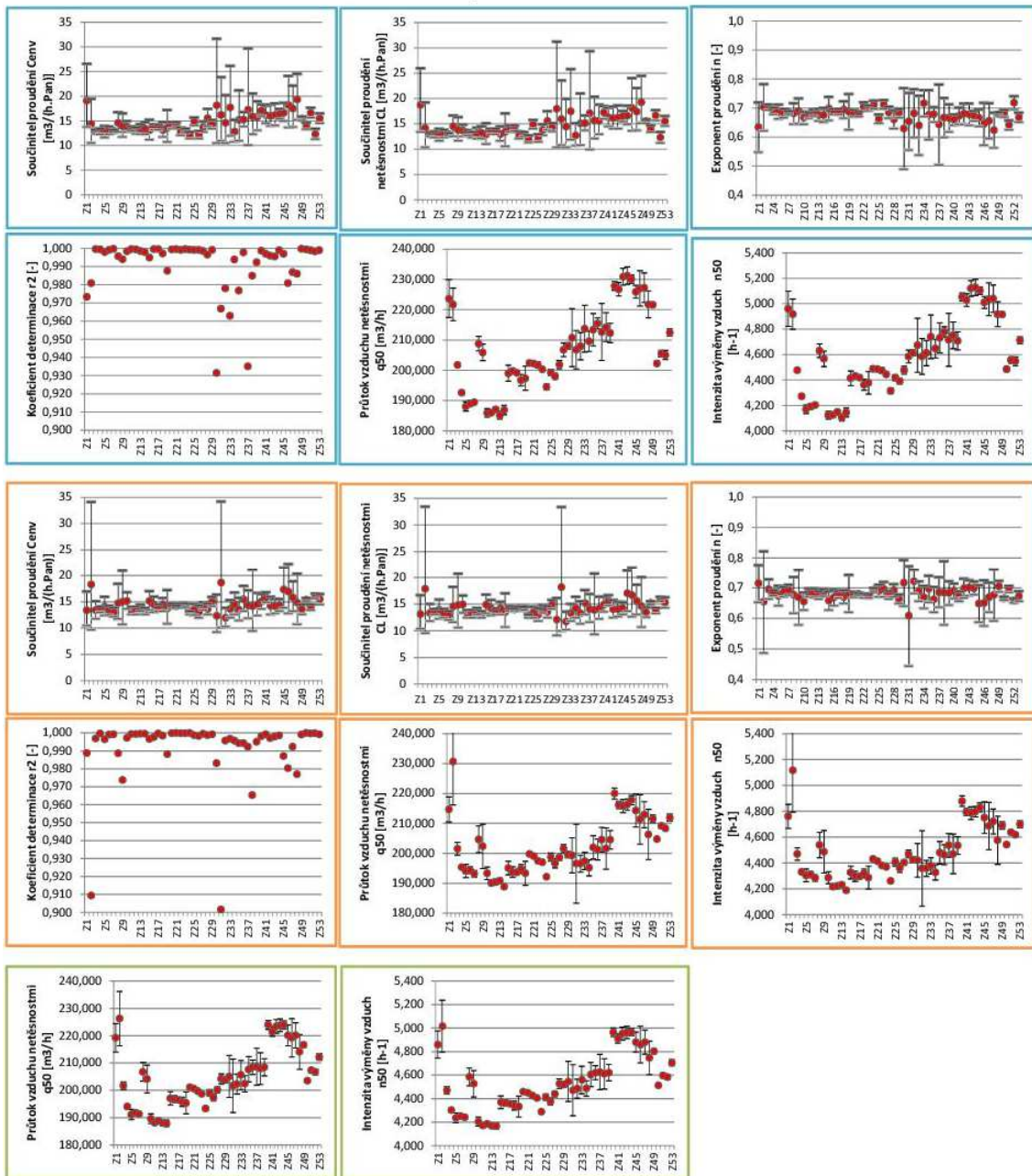
Příloha 2: Souhrnné grafy po jednotlivých senzorech

V - Východ



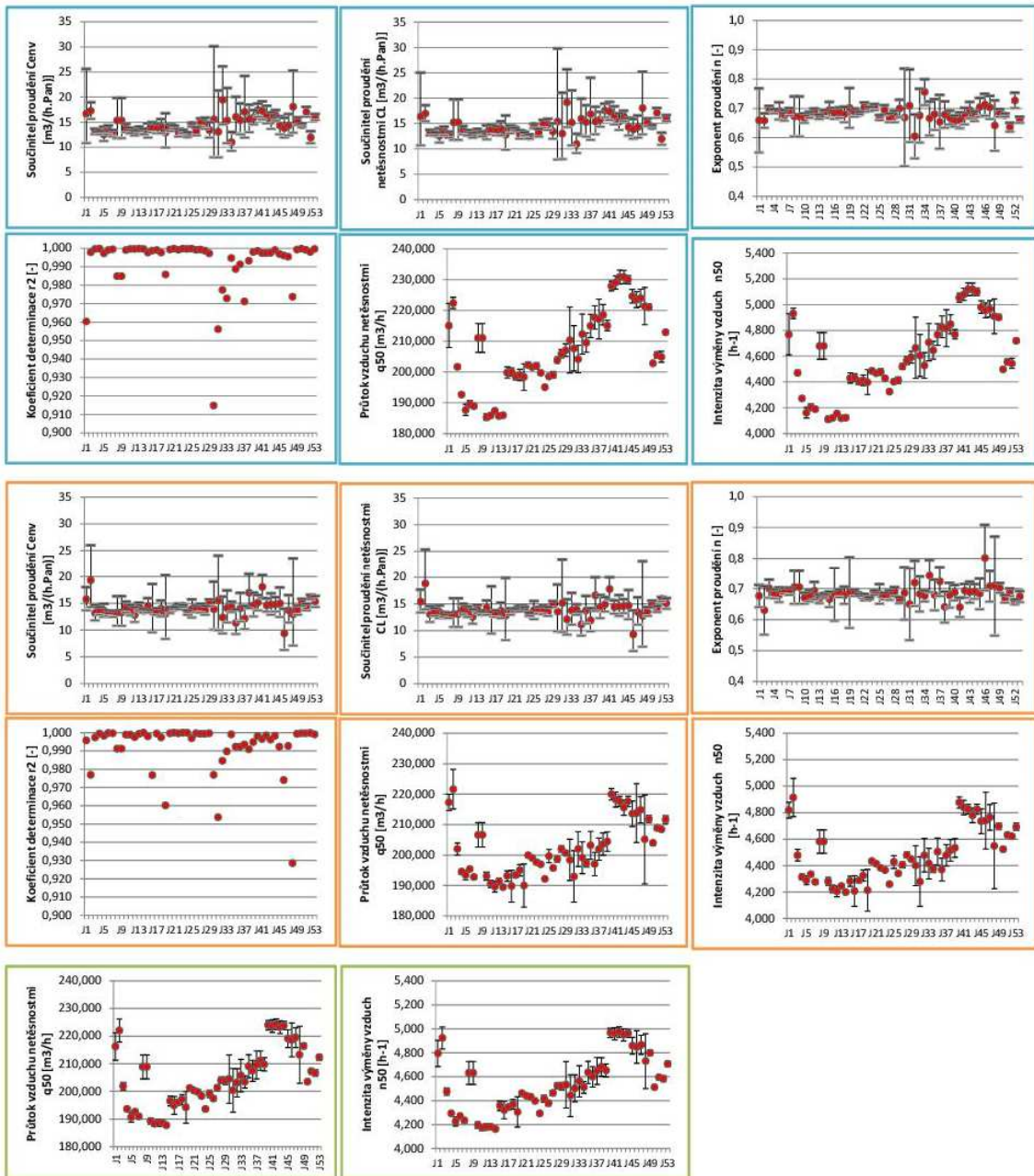
Modré grafy jsou pro podtlak, oranžové pro přetlak a zelené jsou průměrné.

Z - Západ



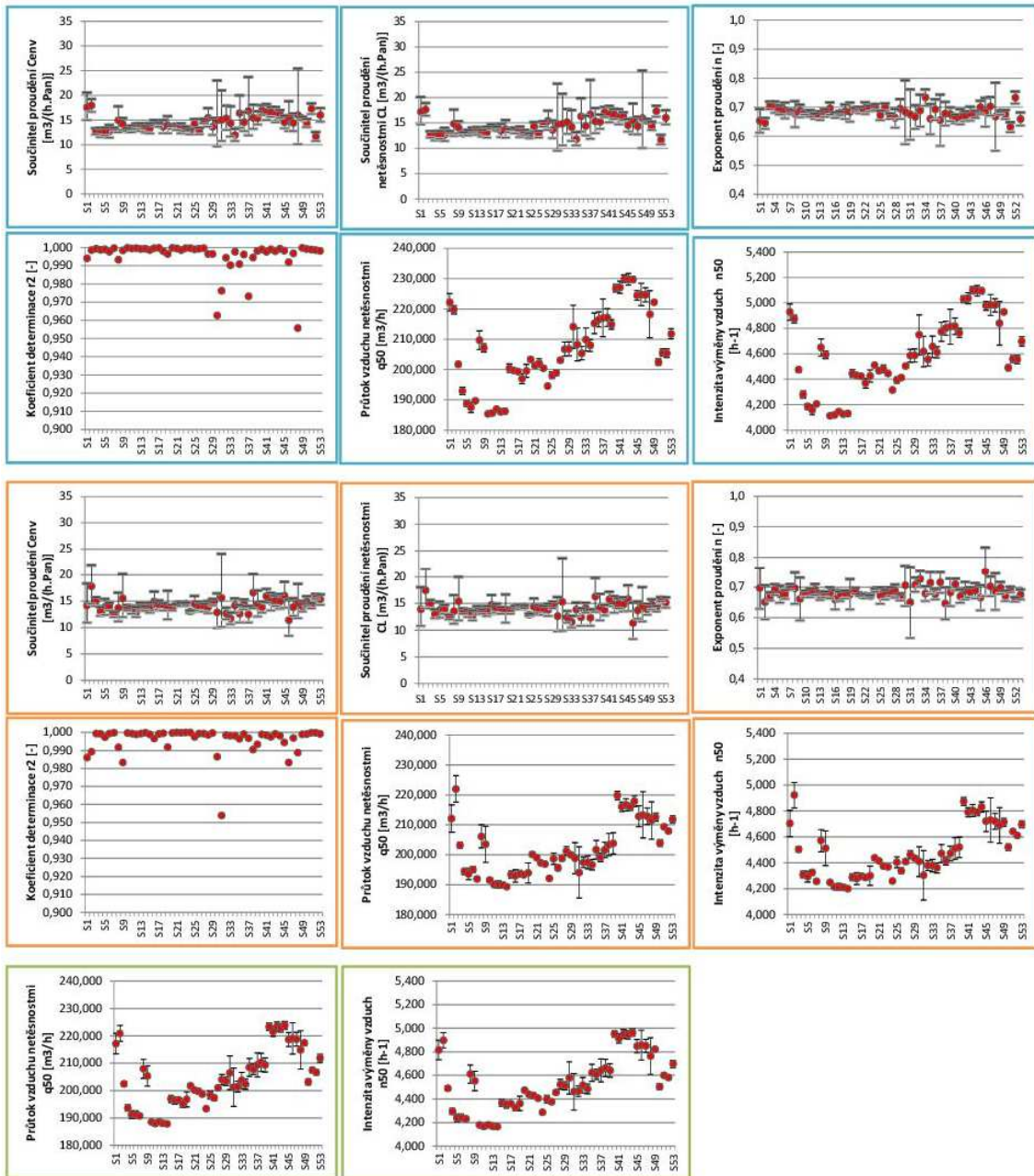
Modré grafy jsou pro podtlak, oranžové pro přetlak a zelené jsou průměrné.

J - Jih



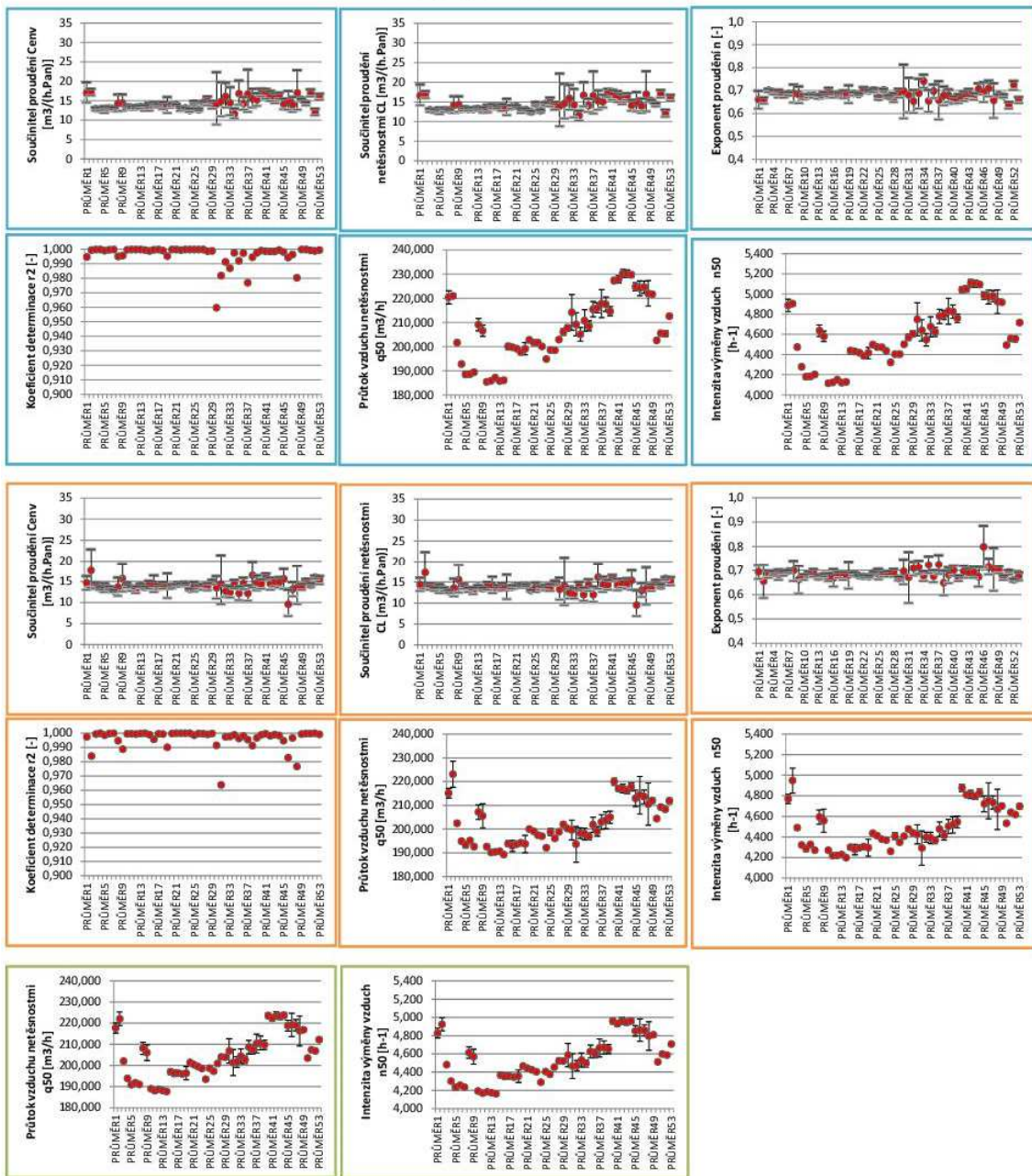
Modré grafy jsou pro podtlak, oranžové pro přetlak a zelené jsou průměrné.

S - Sever

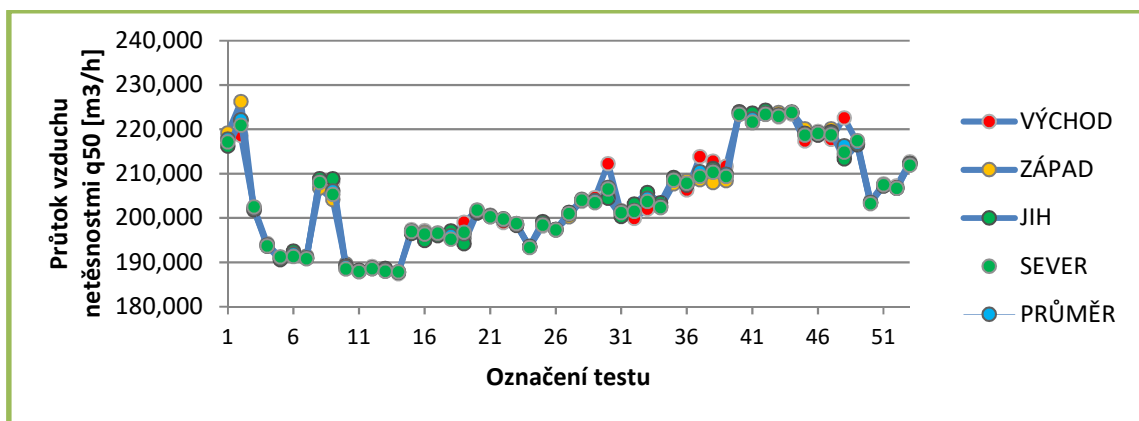


Modré grafy jsou pro podtlak, oranžové pro přetlak a zelené jsou průměrné.

PRŮMĚR



Modré grafy jsou pro podtlak, oranžové pro přetlak a zelené jsou průměrné.



Příloha 3: Platnost dat – výpočty podle Chauvenetova kritéria

<u>q₅₀ data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr) –</u>			
<u>soubor 230 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>	
	průměr =	205,1376513	
	výběrová směrodatná odchylka =	10,34466462	
X _{sus,min} =	minimum =	187,4113229	
X _{sus,max} =	maximum =	224,2699589	
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,71357	
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,84949	
	t _{sus} =	1,85	
	Prob(within 1,85 σ)	0,9357	
	Prob(outside 1,85 σ)	0,0643	
	n =	14,79	> 0,5
měření neobsahuje odlehlou hodnotu			

<u>q₅₀₊ data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr) –</u>			
<u>soubor 230 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>	
	průměr =	202,0687306	
	výběrová směrodatná odchylka =	8,715511291	
X _{sus,min} =	minimum =	187,8025093	
X _{sus,max} =	maximum =	220,0014759	
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,63688	
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	2,05757	
	t _{sus} =	2,06	
	Prob(within 2,06 σ)	0,9606	
	Prob(outside 2,06 σ)	0,0394	
	n =	9,06	> 0,5
měření neobsahuje odlehlou hodnotu			

<u>q₅₀₋ data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr) –</u>			
<u>soubor 230 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>	
	průměr =	208,2065721	
	výběrová směrodatná odchylka =	12,65592477	
X _{sus,min} =	minimum =	185,1614619	
X _{sus,max} =	maximum =	231,3029871	
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,82090	
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,82495	
	t _{sus} =	1,82	
	Prob(within 1,82 σ)	0,9312	
	Prob(outside 1,82 σ)	0,0688	
	n =	15,82	> 0,5
měření neobsahuje odlehlou hodnotu			

<u>q₅₀ data ze snímače V – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	205,5288839
	výběrová směrodatná odchylka =	10,64233143
X _{sus,min} =	minimum =	187,4113229
X _{sus,max} =	maximum =	223,6712988
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,70241
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,70474
	t _{sus} =	1,70
	Prob(within 1,7 σ)	0,9109
	Prob(outside 1,7 σ)	0,0891
	n =	4,10 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀ data ze snímače Z – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	204,9318771
	výběrová směrodatná odchylka =	10,33308754
X _{sus,min} =	minimum =	187,8962471
X _{sus,max} =	maximum =	223,9415612
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,64865
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,83969
	t _{sus} =	1,84
	Prob(within 1,84 σ)	0,9342
	Prob(outside 1,84 σ)	0,0658
	n =	3,03 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀ data ze snímače J – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	205,1455796
	výběrová směrodatná odchylka =	10,47334065
X _{sus,min} =	minimum =	187,7070877
X _{sus,max} =	maximum =	224,2699589
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,66504
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,82601
	t _{sus} =	1,83
	Prob(within 1,83 σ)	0,9328
	Prob(outside 1,83 σ)	0,0672
	n =	3,09 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀ data ze snímače S – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	204,9285716
	výběrová směrodatná odchylka =	10,31979315
X _{sus,min} =	minimum =	187,8415235
X _{sus,max} =	maximum =	223,8062744
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,65575
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,82927
	t _{sus} =	1,83
	Prob(within 1,83 σ)	0,9328
	Prob(outside 1,83 σ)	0,0672
	n =	3,09 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀ průměrná data ze snímačů – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	205,1533445
	výběrová směrodatná odchylka =	10,39744942
X _{sus,min} =	minimum =	187,7181645
X _{sus,max} =	maximum =	223,7469787
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,67687
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,78829
	t _{sus} =	1,79
	Prob(within 1,79 σ)	0,9265
	Prob(outside 1,79 σ)	0,0735
	n =	3,38 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀₊ data ze snímače V – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	202,5102125
	výběrová směrodatná odchylka =	9,292446408
X _{sus,min} =	minimum =	187,8025093
X _{sus,max} =	maximum =	219,8006014
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,58276
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,86069
	t _{sus} =	1,86
	Prob(within 1,86 σ)	0,9371
	Prob(outside 1,86 σ)	0,0629
	n =	2,89 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀₊ data ze snímače Z – soubor 46 hodnot</u>		[m ³ /h]
	průměr =	201,8883408
	výběrová směrodatná odchylka =	8,379947564
X _{sus,min} =	minimum =	188,8629323
X _{sus,max} =	maximum =	220,0014759
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,55435
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	2,16149
	t _{sus} =	2,16
	Prob(within 2,16 σ)	0,9692
	Prob(outside 2,16 σ)	0,0308
	n =	1,42 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀₊ data ze snímače J – soubor 46 hodnot</u>		[m ³ /h]
	průměr =	201,9910745
	výběrová směrodatná odchylka =	8,864842937
X _{sus,min} =	minimum =	189,3820825
X _{sus,max} =	maximum =	219,9429145
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,42236
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	2,02506
	t _{sus} =	2,03
	Prob(within 2,03 σ)	0,9576
	Prob(outside 2,03 σ)	0,0424
	n =	1,95 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀₊ data ze snímače S – soubor 46 hodnot</u>		[m ³ /h]
	průměr =	201,8269653
	výběrová směrodatná odchylka =	8,68138211
X _{sus,min} =	minimum =	189,4024356
X _{sus,max} =	maximum =	219,8019657
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,43117
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	2,07052
	t _{sus} =	2,07
	Prob(within 2,07 σ)	0,9615
	Prob(outside 2,07 σ)	0,0385
	n =	1,77 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

q₅₀₊ průměrná data ze snímačů – soubor 46 hodnot

		[m³/h]
	průměr =	202,1270598
	výběrová směrodatná odchylka =	8,702062256
X _{sus,min} =	minimum =	189,2439858
X _{sus,max} =	maximum =	219,8923449
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,48046
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	2,04150
	t _{sus} =	2,04
	Prob(within 2,04 σ)	0,9586
	Prob(outside 2,04 σ)	0,0414
	n =	1,90 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

q₅₀₋ data ze snímače V – soubor 46 hodnot

		[m³/h]
	průměr =	208,5475553
	výběrová směrodatná odchylka =	12,99637898
X _{sus,min} =	minimum =	185,2615603
X _{sus,max} =	maximum =	229,3378455
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,79173
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,59970
	t _{sus} =	1,79
	Prob(within 1,79 σ)	0,9265
	Prob(outside 1,79 σ)	0,0735
	n =	3,38 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

q₅₀₋ data ze snímače Z – soubor 46 hodnot

		[m³/h]
	průměr =	207,9754134
	výběrová směrodatná odchylka =	12,83353027
X _{sus,min} =	minimum =	185,1614619
X _{sus,max} =	maximum =	231,3029871
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,77768
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,81771
	t _{sus} =	1,82
	Prob(within 1,82 σ)	0,9312
	Prob(outside 1,82 σ)	0,0688
	n =	3,16 > 0,5

měření neobsahuje odlehlou hodnotu

<u>q₅₀- data ze snímače J – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	208,3000848
	výběrová směrodatná odchylka =	12,77017574
X _{sus,min} =	minimum =	185,4027694
X _{sus,max} =	maximum =	230,8861394
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,79303
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,76866
	t _{sus} =	1,79
	Prob(within 1,79 σ)	0,9265
	Prob(outside 1,79 σ)	0,0735
	n =	3,38 > 0,5
měření neobsahuje odlehlou hodnotu		

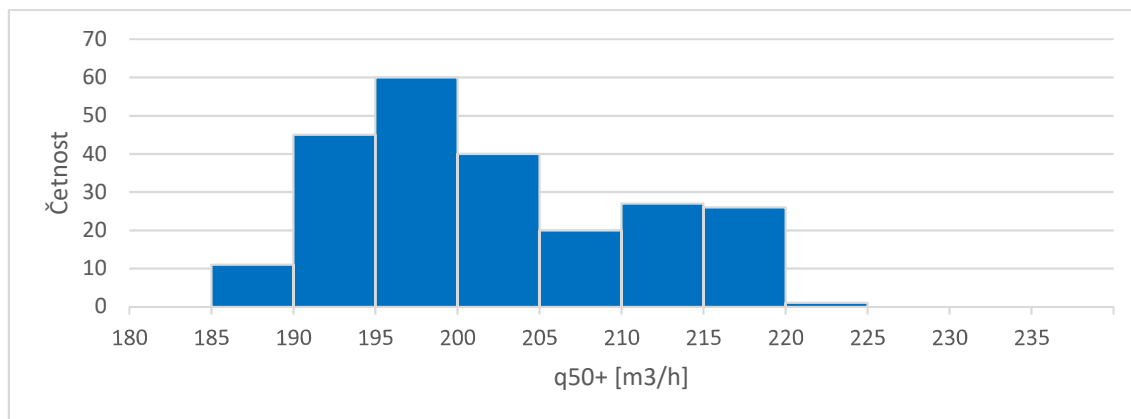
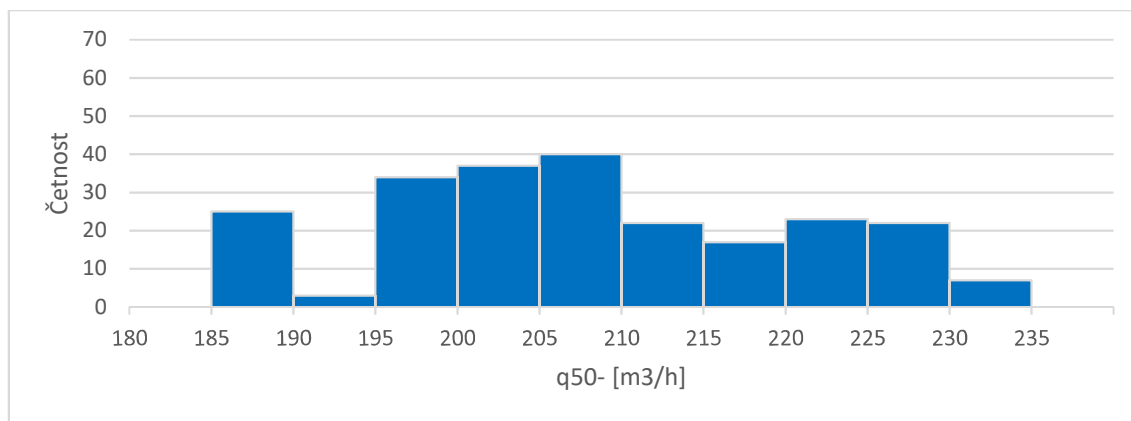
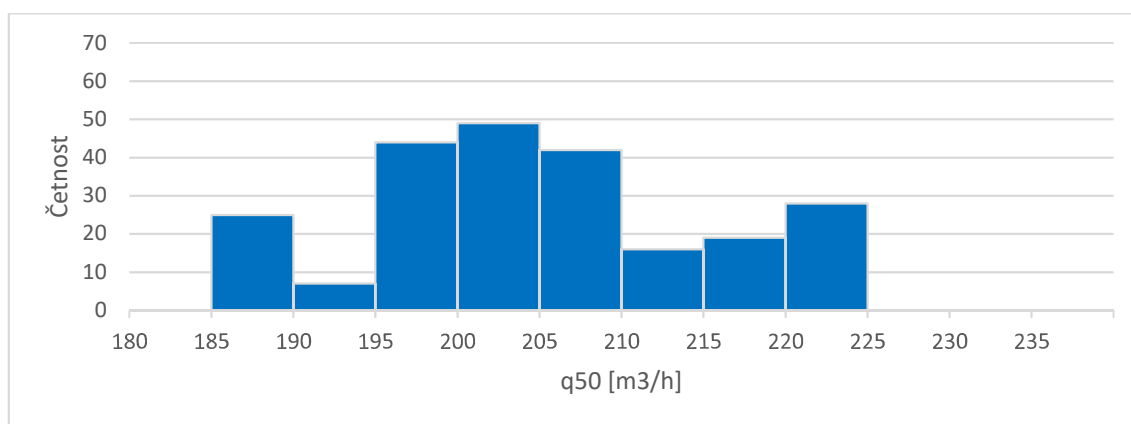
<u>q₅₀- data ze snímače S – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	208,0301778
	výběrová směrodatná odchylka =	12,53960942
X _{sus,min} =	minimum =	185,4133584
X _{sus,max} =	maximum =	229,9869054
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,80363
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,75099
	t _{sus} =	1,80
	Prob(within 1,8 σ)	0,9281
	Prob(outside 1,8 σ)	0,0719
	n =	3,31 > 0,5
měření neobsahuje odlehlou hodnotu		

<u>q₅₀- průměrná data ze snímačů – soubor 46 hodnot</u>		<u>[m³/h]</u>
	průměr =	208,1796293
	výběrová směrodatná odchylka =	12,68700858
X _{sus,min} =	minimum =	185,5154262
X _{sus,max} =	maximum =	230,2792196
min	t _{sus,min} (kolik směrodatných odchylek) =	1,78641
max	t _{sus,max} (kolik směrodatných odchylek) =	1,74191
	t _{sus} =	1,79
	Prob(within 1,79 σ)	0,9265
	Prob(outside 1,79 σ)	0,0735
	n =	3,38 > 0,5
měření neobsahuje odlehlou hodnotu		

Příloha 4: Popisná statistika a histogramy četností

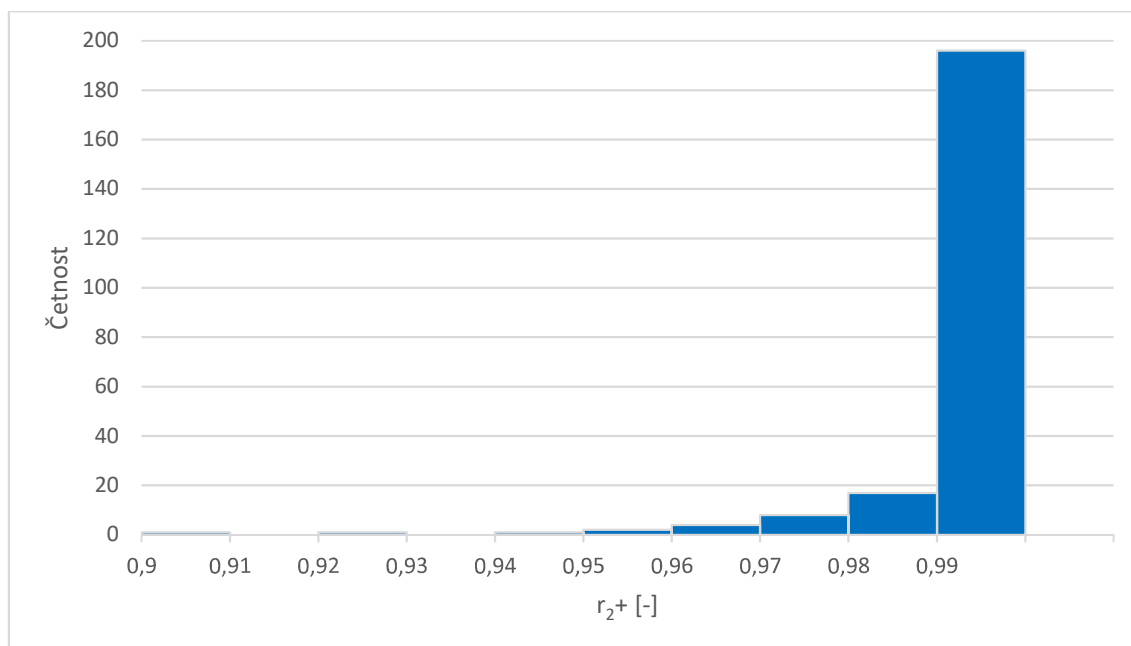
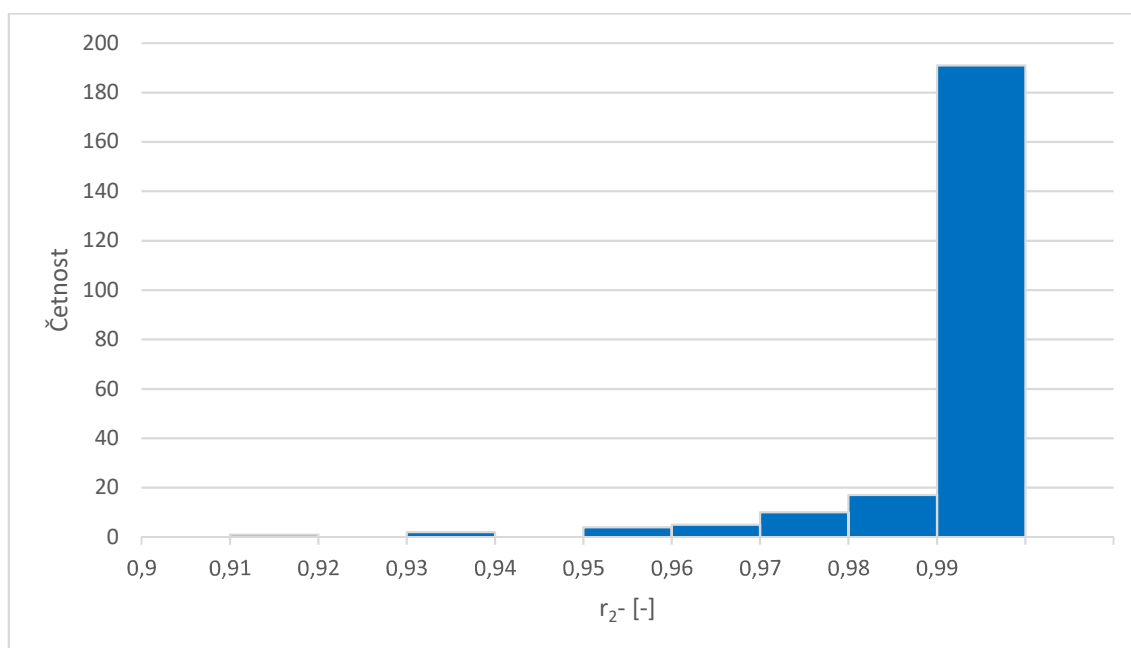
q_{50} [m³/h] data ze všech snímačů

Popisné statistiky: (soubor 230 hodnot – data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr))	pro q_{50} [m ³ /h]	pro q_{50-} [m ³ /h]	pro q_{50+} [m ³ /h]
<i>minimum</i>	187,41	185,16	187,80
<i>maximum</i>	224,27	231,30	220,00
<i>průměr</i>	205,14	208,21	202,07
<i>medián</i>	203,83	206,61	199,87
<i>1. kvartil</i>	197,36	199,76	195,08
<i>3. kvartil</i>	211,79	217,50	209,05
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	10,34	12,66	8,72
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	36,86	46,14	32,20



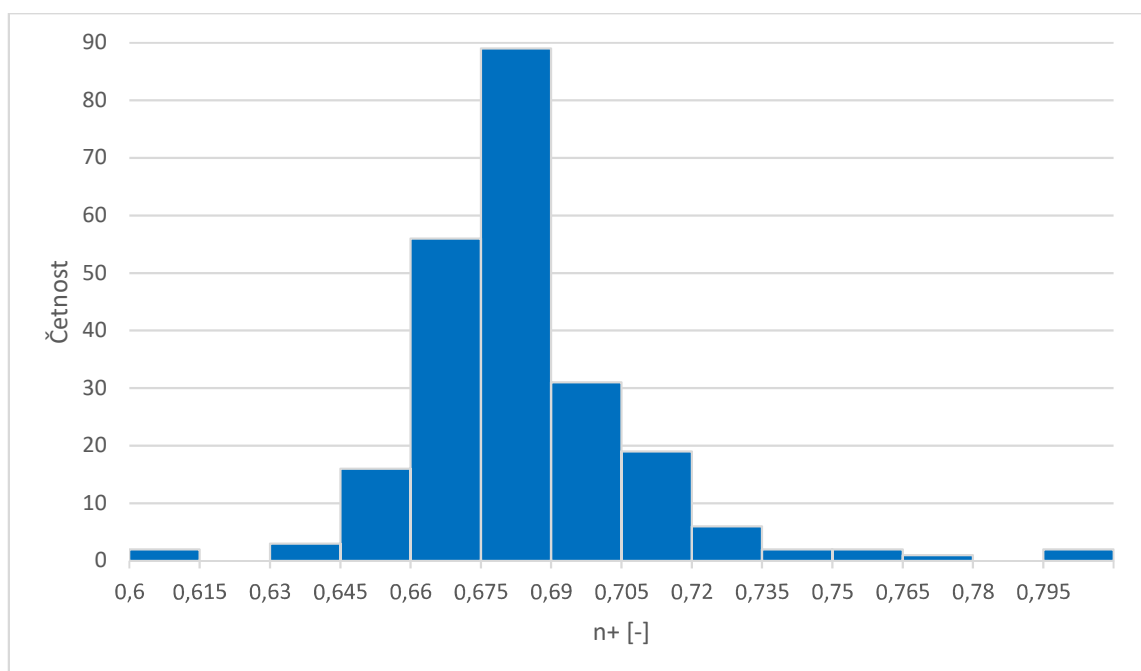
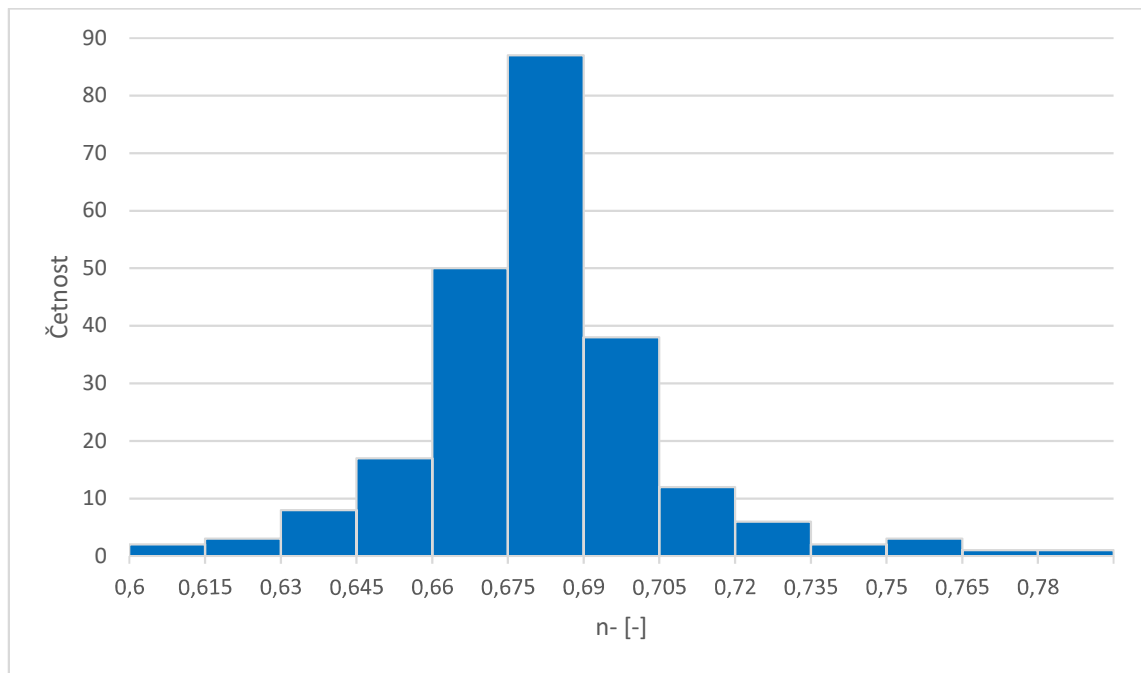
Koeficient determinace r^2 [-] data ze všech snímačů

Popisné statistiky: (soubor 230 hodnot – data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr))	pro r_{2-} [-]	pro r_{2+} [-]
<i>minimum</i>	0,91496	0,90149
<i>maximum</i>	0,99994	0,99997
<i>průměr</i>	0,99391	0,99431
<i>medián</i>	0,99874	0,99869
<i>1. kvartil</i>	0,99461	0,99432
<i>3. kvartil</i>	0,99961	0,99958
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	0,01184	0,01157
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	0,08499	0,09849



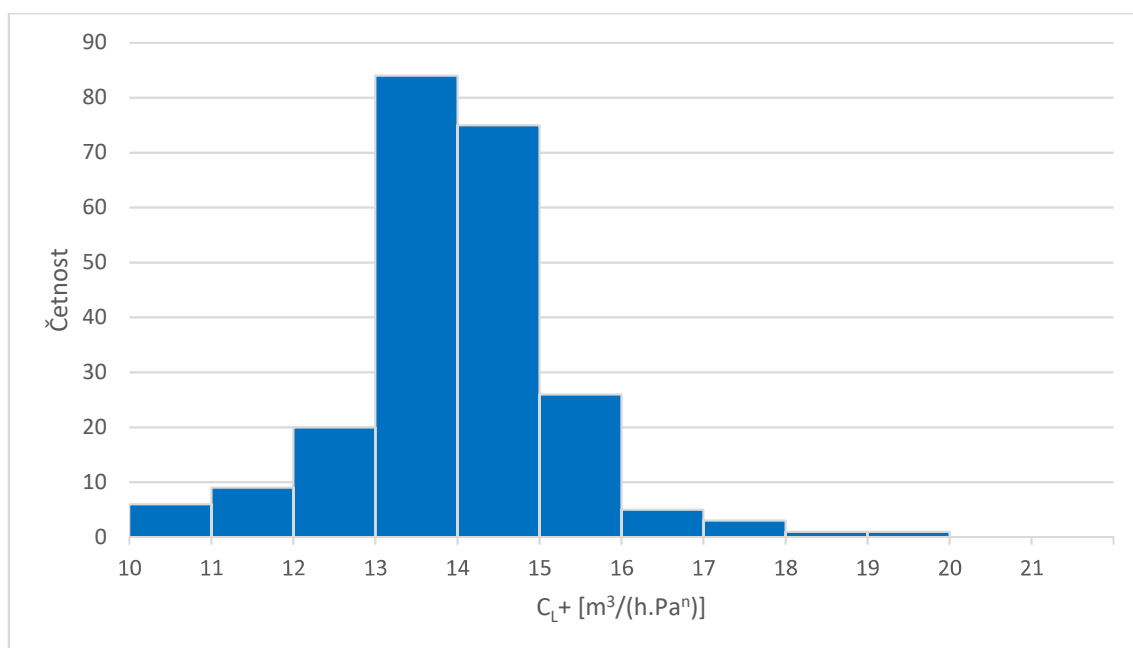
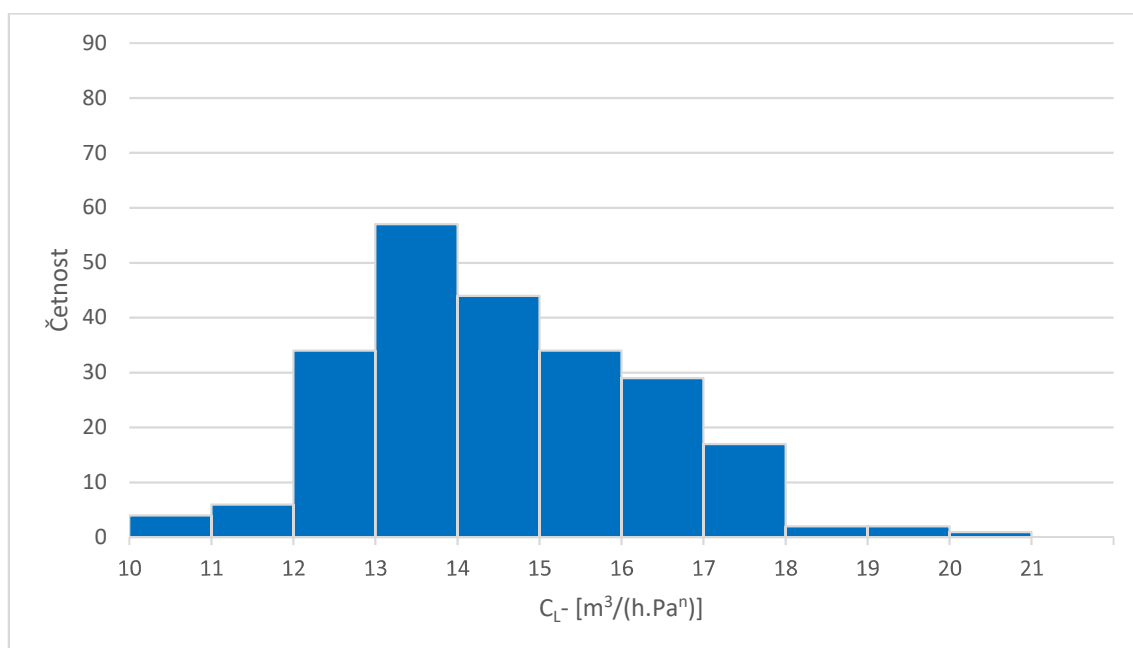
Exponent proudění n [-] data ze všech snímačů

Popisné statistiky: (soubor 230 hodnot – data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr))	pro n - [-]	pro n + [-]
<i>minimum</i>	0,600	0,606
<i>maximum</i>	0,784	0,987
<i>průměr</i>	0,682	0,685
<i>medián</i>	0,680	0,681
<i>1. kvartil</i>	0,670	0,671
<i>3. kvartil</i>	0,693	0,691
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	0,025	0,031
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	0,184	0,381



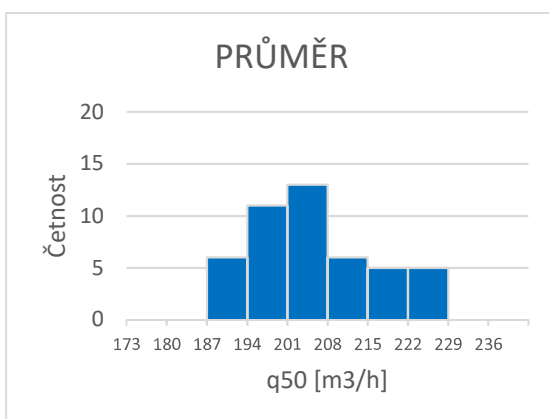
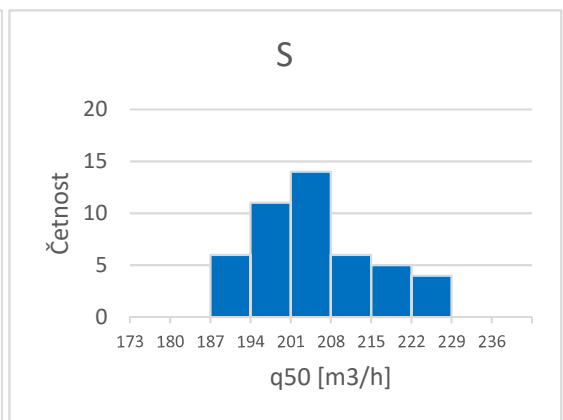
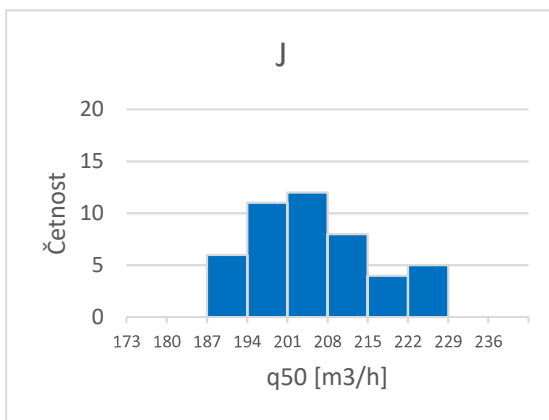
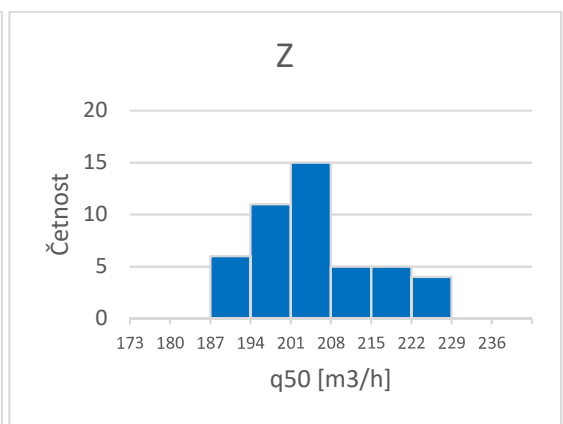
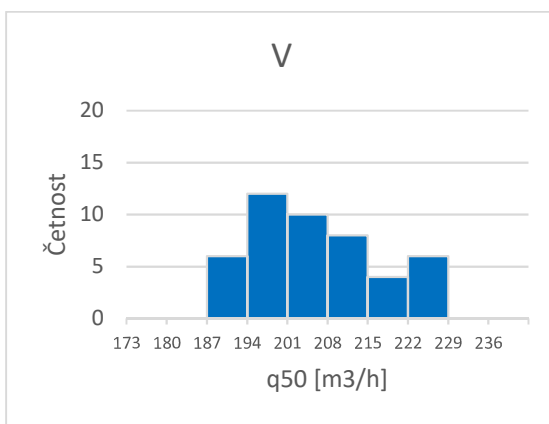
Součinitel proudění netěsnostmi C_L [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$] data ze všech snímačů

Popisné statistiky: (soubor 230 hodnot – data ze všech snímačů (V, Z, J, S, Průměr))	pro C_{L-} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$]	pro C_{L+} [$\text{m}^3/(\text{h}\cdot\text{Pa}^n)$]
<i>minimum</i>	10,416	4,590
<i>maximum</i>	20,848	19,211
<i>průměr</i>	14,525	13,932
<i>medián</i>	14,265	13,958
<i>1. kvartil</i>	13,228	13,451
<i>3. kvartil</i>	15,677	14,669
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	1,714	1,422
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	10,431	14,621



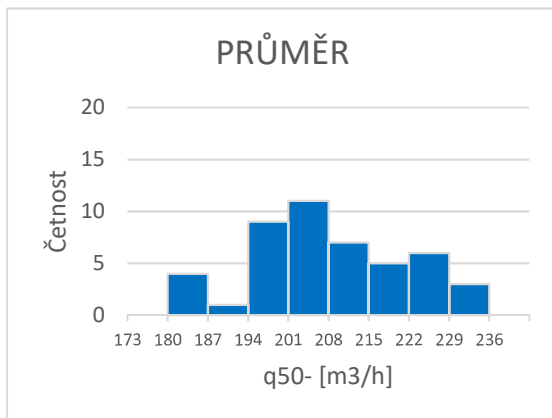
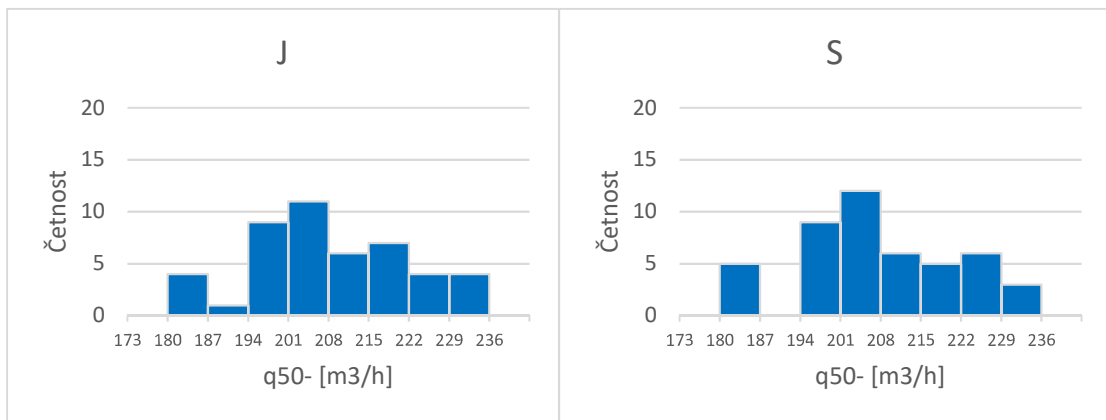
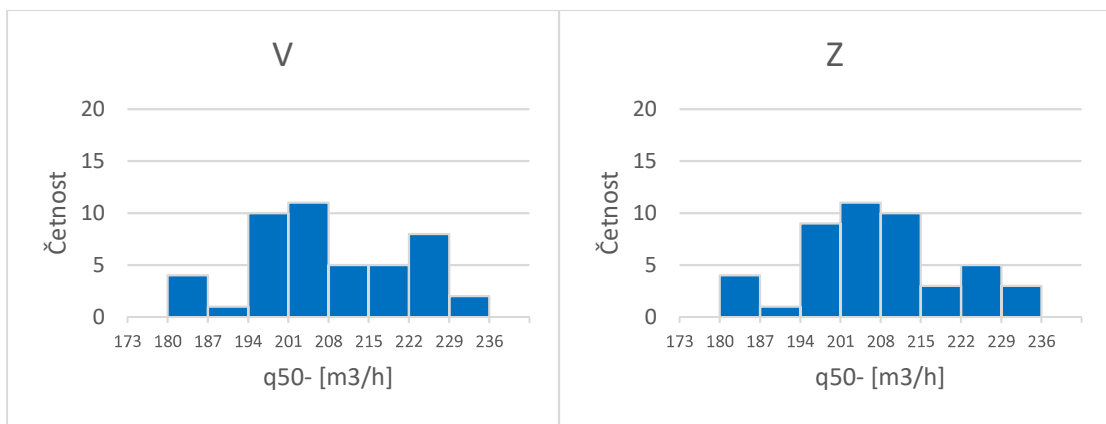
q_{50} [m³/h] data z jednotlivých snímačů

Popisné statistiky veličiny q_{50} : (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [m ³ /h]	Z [m ³ /h]	J [m ³ /h]	S [m ³ /h]	PRŮMĚR [m ³ /h]
<i>minimum</i>	187,41	187,90	187,71	187,84	187,72
<i>maximum</i>	223,67	223,94	224,27	223,81	223,75
<i>průměr</i>	205,53	204,93	205,15	204,93	205,15
<i>medián</i>	203,73	203,96	203,21	203,55	203,95
<i>1. kvartil</i>	198,22	197,68	197,63	197,57	197,62
<i>3. kvartil</i>	212,74	208,57	210,79	210,06	210,58
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	10,64	10,33	10,47	10,32	10,40
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	36,26	36,05	36,56	35,96	36,03



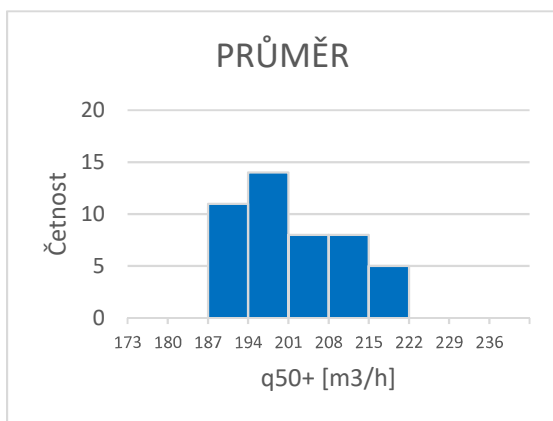
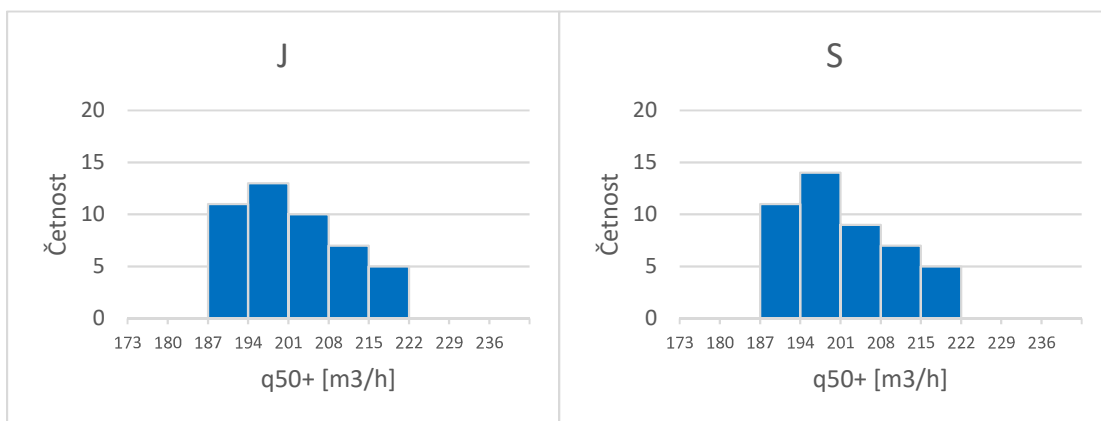
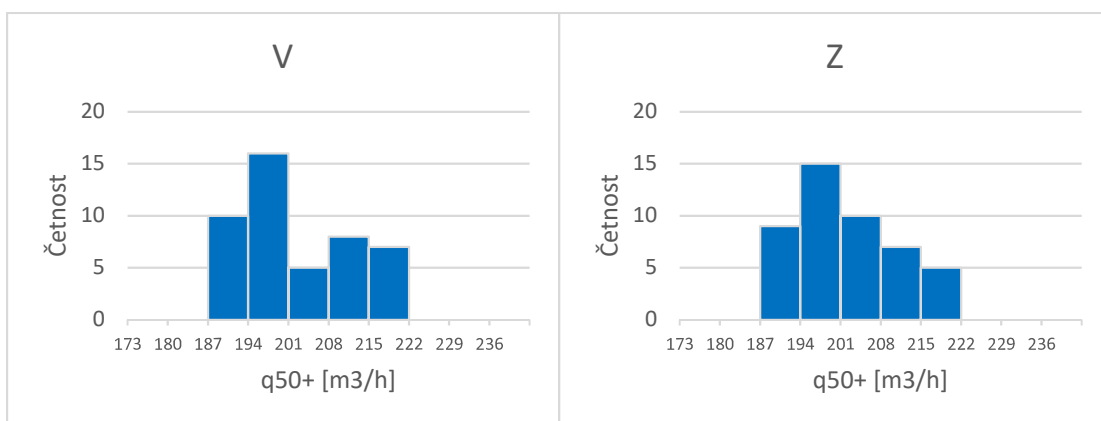
q_{50} - [m³/h] data z jednotlivých snímačů měřena při podtlaku

Popisné statistiky veličiny q_{50} -: (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [m ³ /h]	Z [m ³ /h]	J [m ³ /h]	S [m ³ /h]	PRŮMĚR [m ³ /h]
<i>minimum</i>	185,26	185,16	185,40	185,41	185,52
<i>maximum</i>	229,34	231,30	230,89	229,99	230,28
<i>průměr</i>	208,55	207,98	208,30	208,03	208,18
<i>medián</i>	206,37	206,79	205,99	206,80	206,34
<i>1. kvartil</i>	200,07	199,42	199,78	199,91	199,85
<i>3. kvartil</i>	220,80	214,15	217,62	216,94	217,21
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	13,00	12,83	12,77	12,54	12,69
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	44,08	46,14	45,48	44,57	44,76



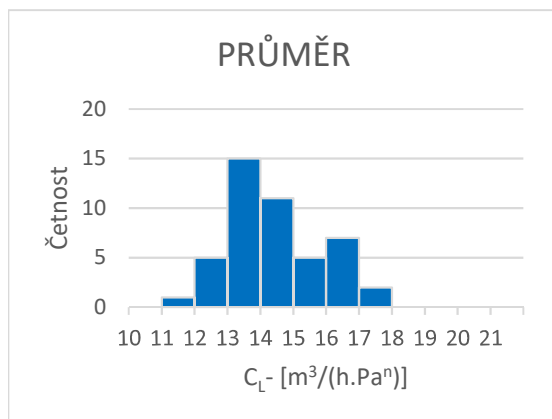
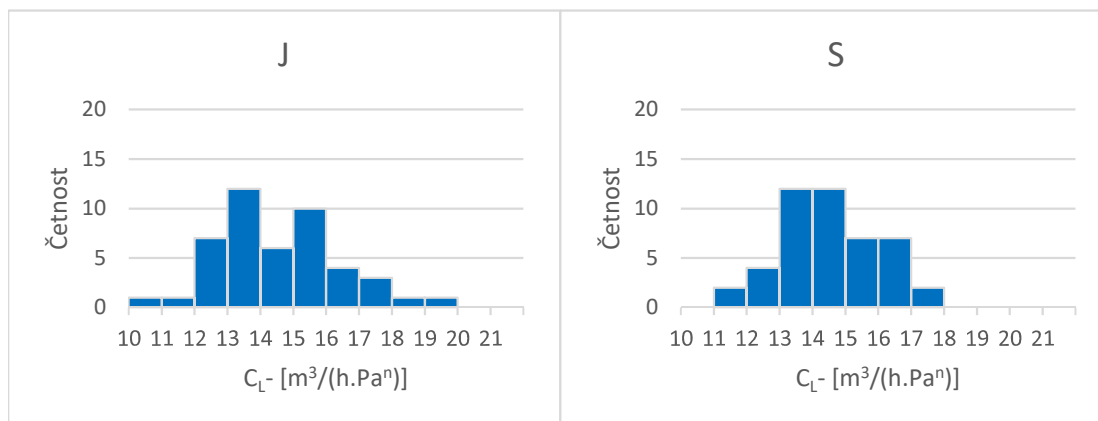
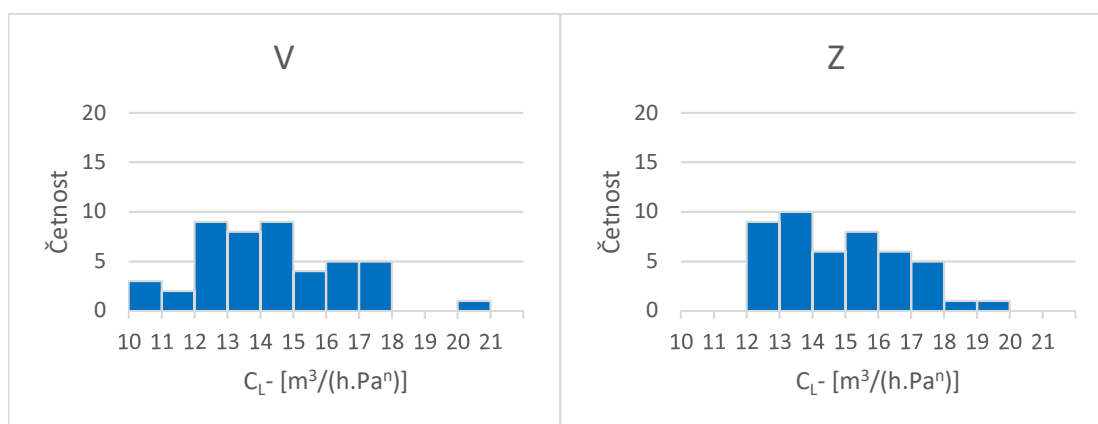
q_{50+} [m³/h] data z jednotlivých snímačů měřena při přetlaku

Popisné statistiky veličiny q_{50+} : (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [m ³ /h]	Z [m ³ /h]	J [m ³ /h]	S [m ³ /h]	PRŮMĚR [m ³ /h]
<i>minimum</i>	187,80	188,86	189,38	189,40	189,24
<i>maximum</i>	219,80	220,00	219,94	219,80	219,89
<i>průměr</i>	202,51	201,89	201,99	201,83	202,13
<i>medián</i>	200,02	199,66	199,39	199,53	199,78
<i>1. kvartil</i>	196,31	195,47	195,20	194,48	194,64
<i>3. kvartil</i>	210,31	207,81	207,94	208,95	208,96
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	9,29	8,38	8,86	8,68	8,70
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	32,00	31,14	30,56	30,40	30,65



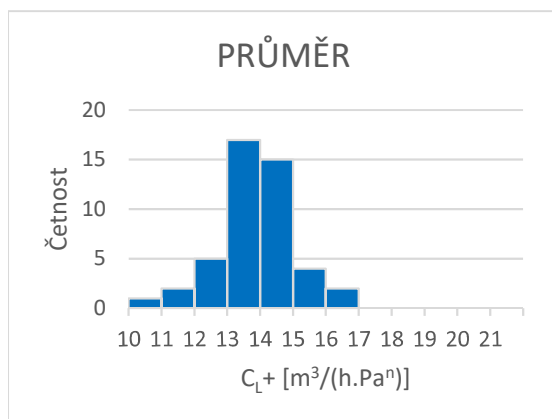
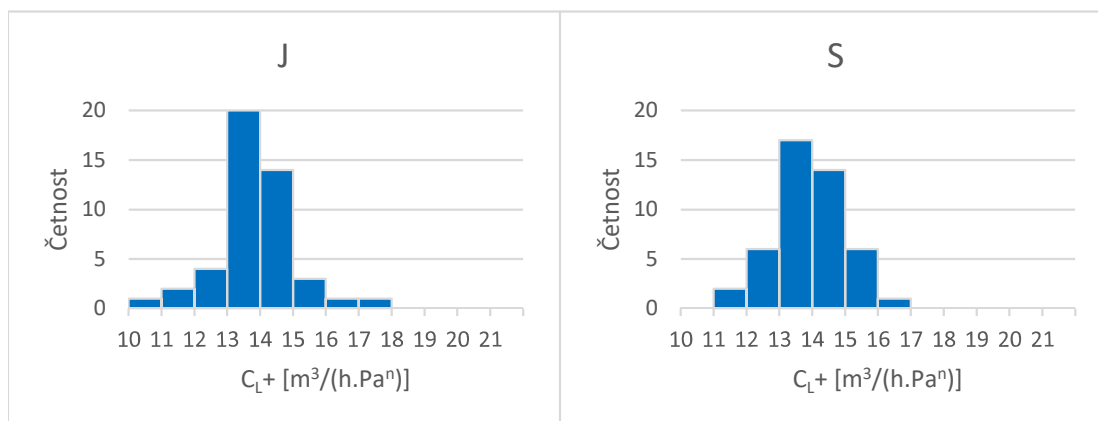
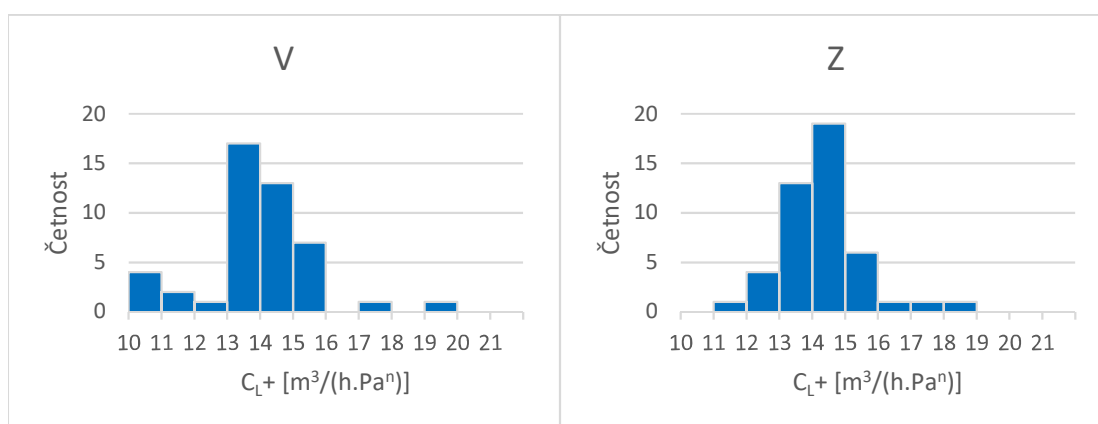
Součinitel proudění netěsnostmi C_L - [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$] data z jednotlivých snímačů měřena při podtlaku

Popisné statistiky veličiny C_L :- (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	Z [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	J [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	S [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	PRŮMĚR [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]
<i>minimum</i>	10,416	12,017	10,898	11,645	11,477
<i>maximum</i>	20,848	19,281	19,130	17,305	17,243
<i>průměr</i>	14,308	14,828	14,579	14,485	14,423
<i>medián</i>	14,102	14,458	14,102	14,361	14,144
<i>1. kvartil</i>	12,854	13,279	13,227	13,481	13,367
<i>3. kvartil</i>	15,638	16,184	15,365	15,412	15,358
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	2,124	1,816	1,722	1,406	1,431
<i>rozsah hodnot (max – min)</i>	10,431	7,264	8,231	5,660	5,766



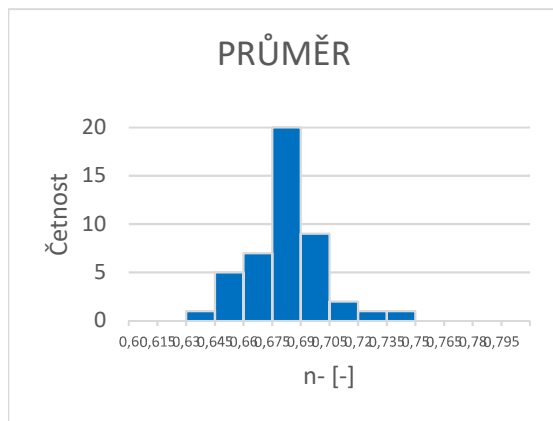
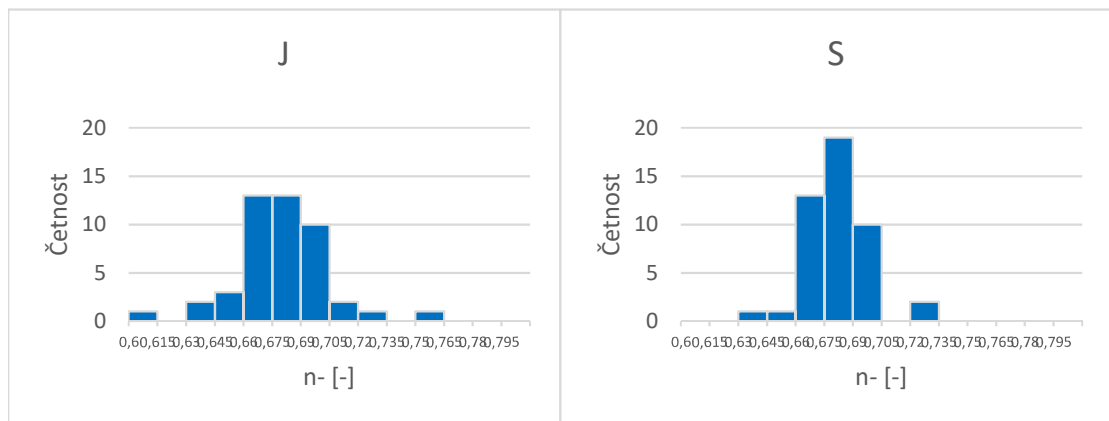
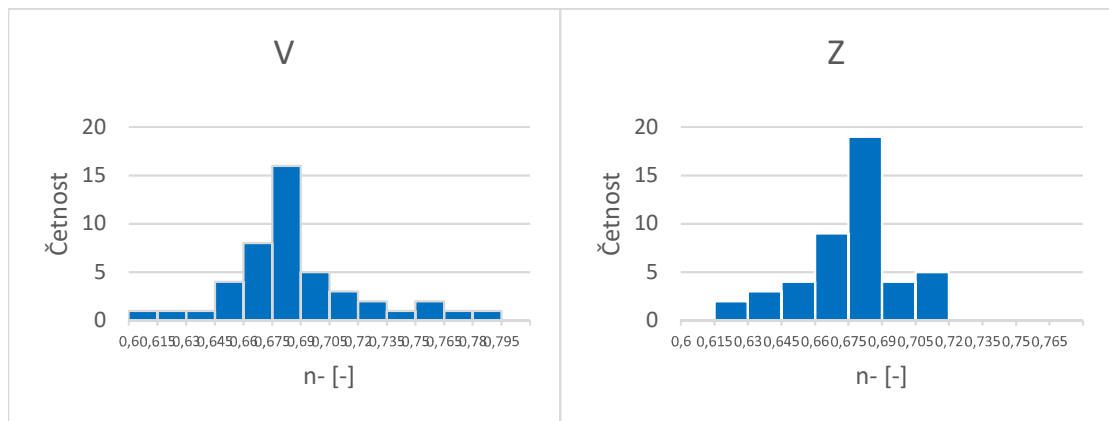
Součinitel proudění netěsnostmi C_{L+} [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$] data z jednotlivých snímačů měřena při přetlaku

Popisné statistiky veličiny C_{L+} : (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	Z [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	J [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	S [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]	PRŮMĚR [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^n)$]
<i>minimum</i>	4,590	11,731	9,274	11,278	9,448
<i>maximum</i>	19,211	18,176	17,806	16,243	16,150
<i>průměr</i>	13,767	14,260	13,827	13,960	13,844
<i>medián</i>	13,854	14,132	13,854	13,907	13,883
<i>1. kvartil</i>	13,308	13,485	13,217	13,527	13,391
<i>3. kvartil</i>	14,841	14,876	14,395	14,681	14,292
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	2,099	1,200	1,332	1,076	1,165
<i>rozsah hodnot (max – min)</i>	14,621	6,445	8,532	4,964	6,701



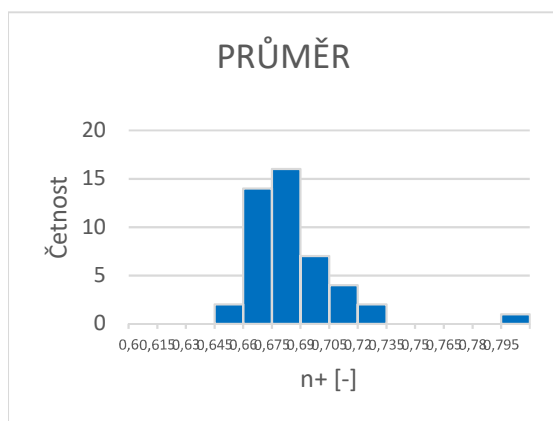
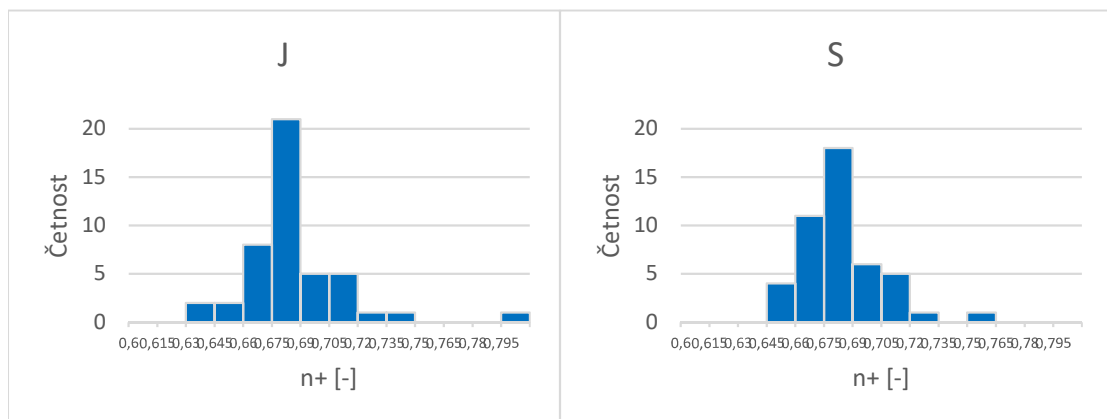
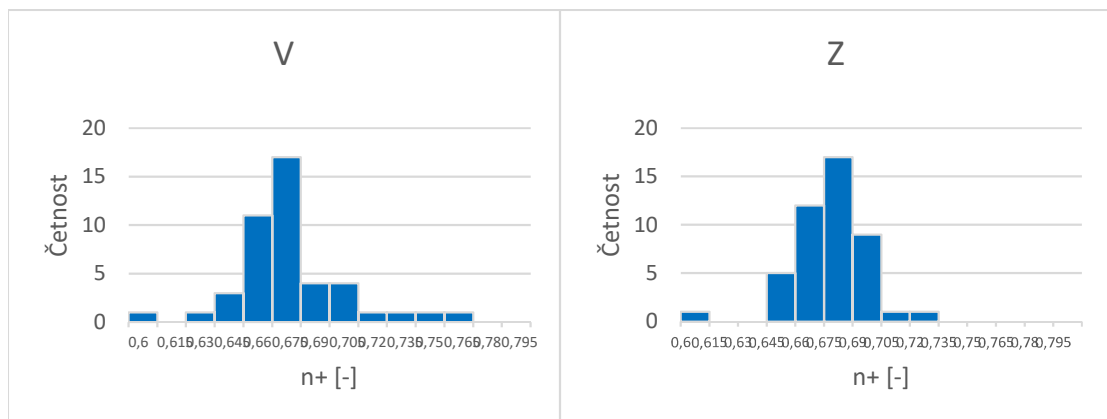
Exponent proudění n- [-] data z jednotlivých snímačů měřena při podtlaku

Popisné statistiky veličiny n-: (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [-]	Z [-]	J [-]	S [-]	PRŮMĚR [-]
<i>minimum</i>	0,600	0,624	0,605	0,633	0,637
<i>maximum</i>	0,784	0,719	0,756	0,734	0,741
<i>průměr</i>	0,687	0,676	0,681	0,682	0,683
<i>medián</i>	0,681	0,679	0,681	0,680	0,682
<i>1. kvartil</i>	0,671	0,667	0,669	0,671	0,674
<i>3. kvartil</i>	0,696	0,687	0,695	0,692	0,692
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	0,036	0,021	0,024	0,018	0,019
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	0,184	0,095	0,150	0,101	0,104



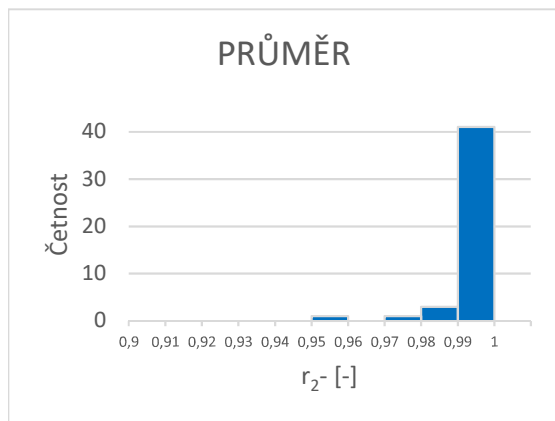
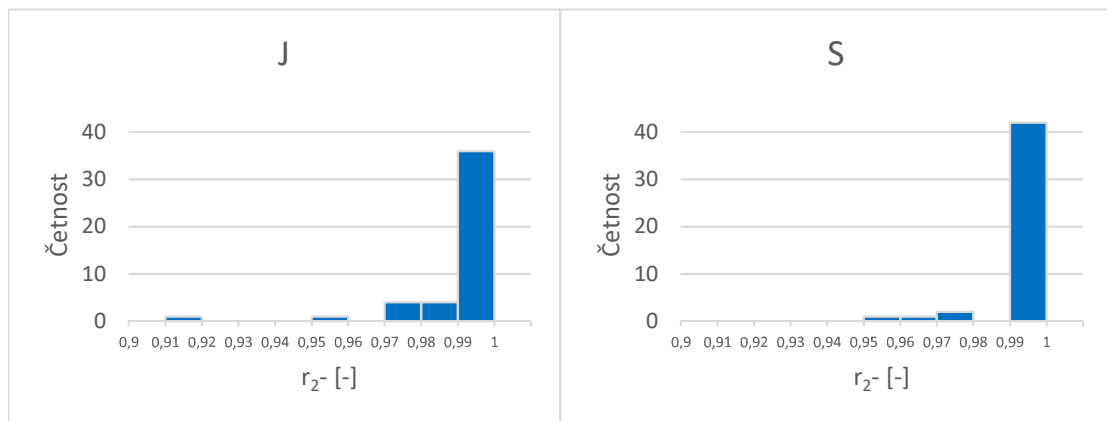
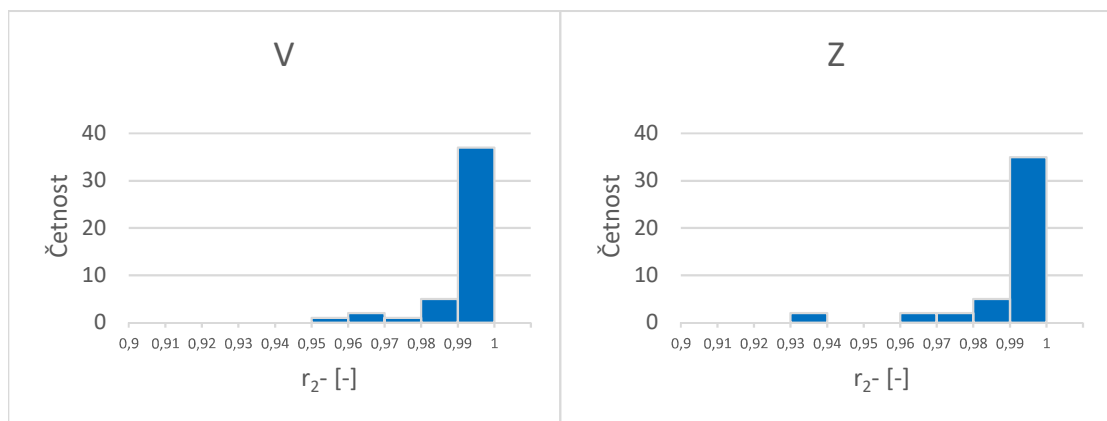
Exponent proudění n+ [-] data z jednotlivých snímačů měřena při přetlaku

Popisné statistiky veličiny n+:	V	Z	J	S	PRŮMĚR
(soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
<i>minimum</i>	0,606	0,609	0,641	0,646	0,648
<i>maximum</i>	0,987	0,720	0,802	0,751	0,798
<i>průměr</i>	0,691	0,678	0,686	0,683	0,686
<i>medián</i>	0,679	0,678	0,679	0,679	0,681
<i>1. kvartil</i>	0,671	0,669	0,675	0,671	0,672
<i>3. kvartil</i>	0,694	0,689	0,691	0,691	0,694
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	0,053	0,019	0,026	0,020	0,024
<i>rozsah hodnot (maximum – minimum)</i>	0,381	0,112	0,161	0,105	0,150



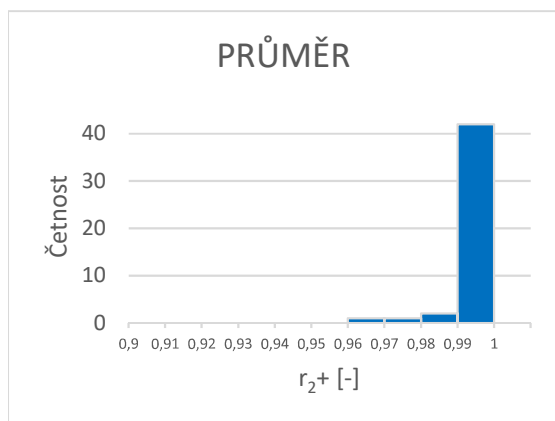
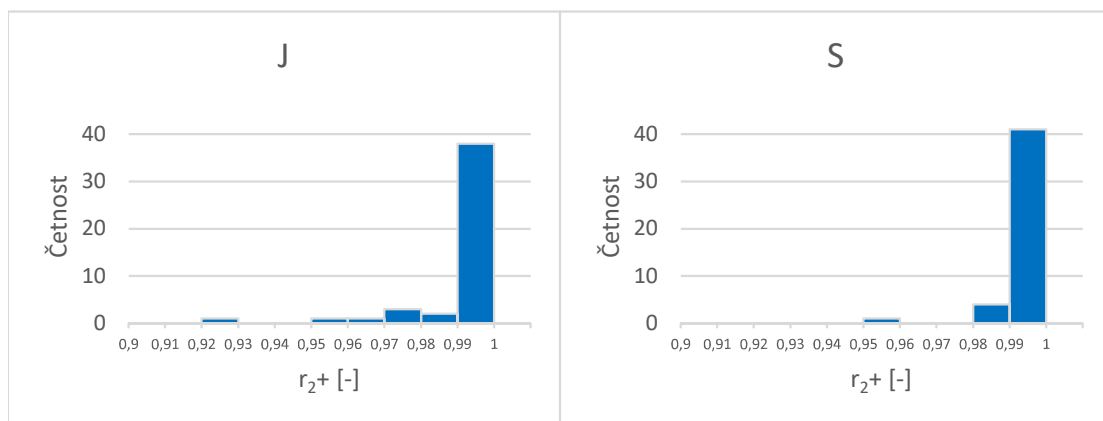
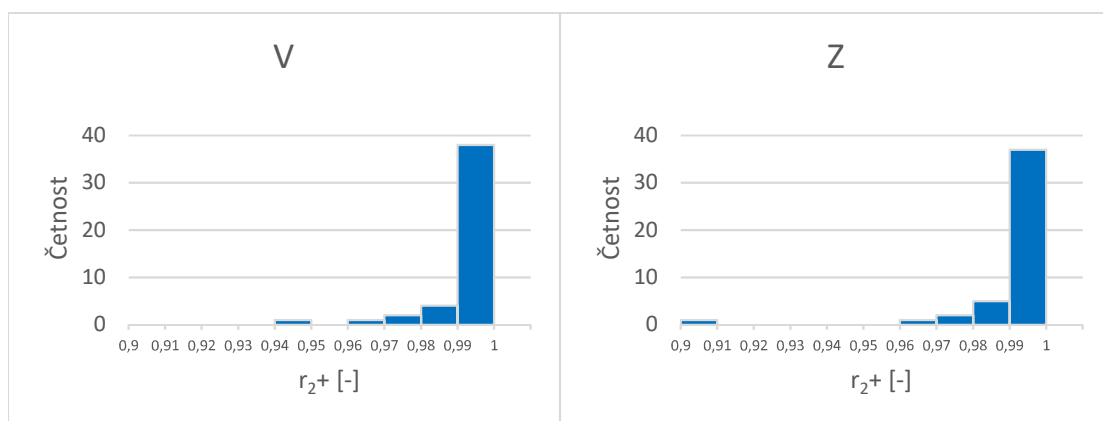
Koeficient determinace r^2 - [-] data z jednotlivých snímačů měřena při podtlaku

Popisné statistiky veličiny r^2 -:	V	Z	J	S	PRŮMĚR
(soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
<i>minimum</i>	0,95774	0,93166	0,91496	0,95586	0,95968
<i>maximum</i>	0,99992	0,99987	0,99990	0,99988	0,99994
<i>průměr</i>	0,99450	0,99154	0,99233	0,99518	0,99599
<i>medián</i>	0,99941	0,99800	0,99945	0,99858	0,99892
<i>1. kvartil</i>	0,99253	0,99286	0,99367	0,99658	0,99595
<i>3. kvartil</i>	0,99974	0,99927	0,99942	0,99949	0,99978
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	0,00971	0,01519	0,01507	0,00941	0,00762
<i>rozsah hodnot (max – min)</i>	0,04218	0,06821	0,08494	0,04402	0,04026



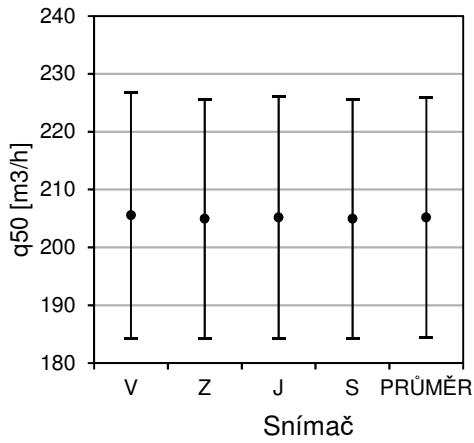
Koeficient determinace $r^2+ [-]$ data z jednotlivých snímačů měřena při přetlaku

Popisné statistiky veličiny r^2+ : (soubor 46 hodnot – data z jednotlivých snímačů)	V [-]	Z [-]	J [-]	S [-]	PRŮMĚR [-]
<i>minimum</i>	0,94310	0,90149	0,92852	0,95382	0,96375
<i>maximum</i>	0,99996	0,99996	0,99995	0,99996	0,99997
<i>průměr</i>	0,99425	0,99283	0,99219	0,99596	0,99631
<i>medián</i>	0,99895	0,99820	0,99902	0,99891	0,99894
<i>1. kvartil</i>	0,99322	0,99428	0,99217	0,99660	0,99634
<i>3. kvartil</i>	0,99963	0,99942	0,99945	0,99931	0,99972
<i>výběrová směrodatná odchylka</i>	0,01089	0,01577	0,01396	0,00767	0,00679
<i>rozsah hodnot (max – min)</i>	0,05686	0,09847	0,07144	0,04614	0,03622

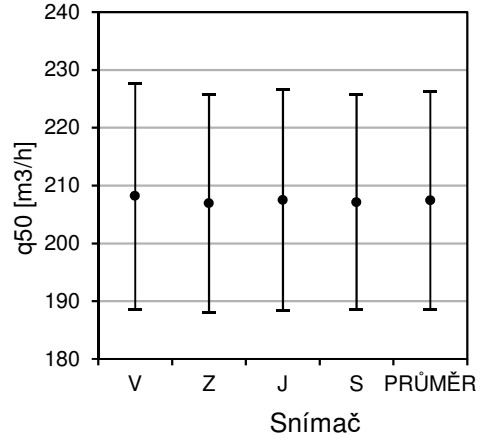


Příloha 5: Posouzení vlivu polohy snímače na měření – “2x směrodatná odchylka od průměru”

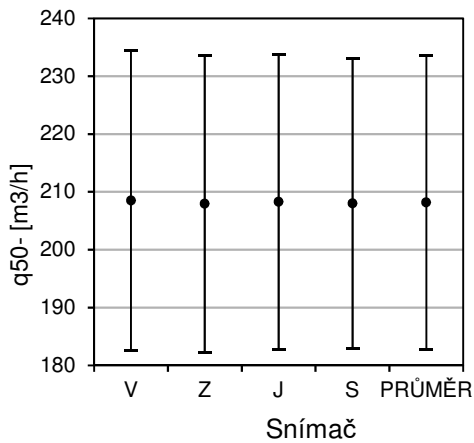
2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50}



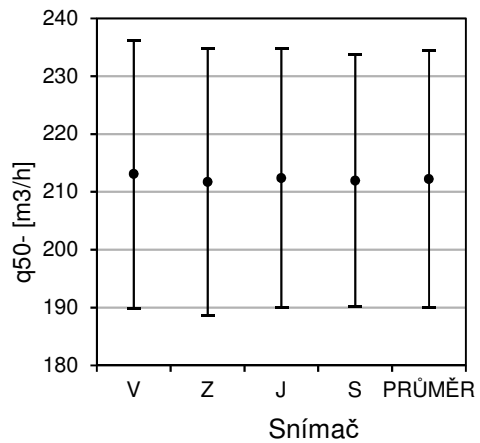
2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50} při rychlosti vyšší než 0,5 m/s



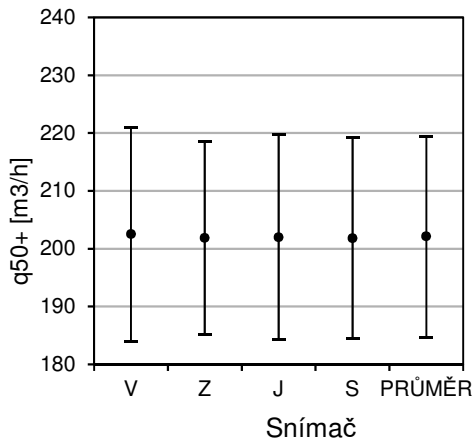
2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50-}



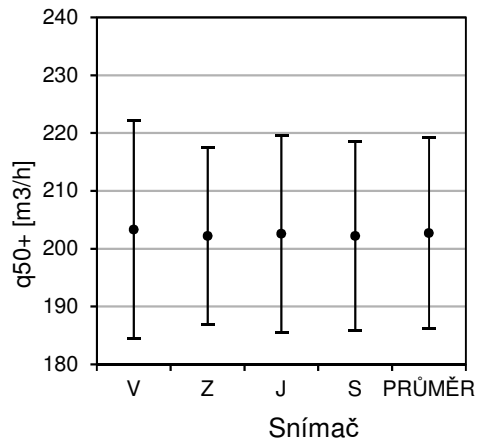
2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50-} při rychlosti vyšší než 0,5 m/s



2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50+}



2x směrodatná odchylka od průměru u q_{50+} při rychlosti vyšší než 0,5 m/s

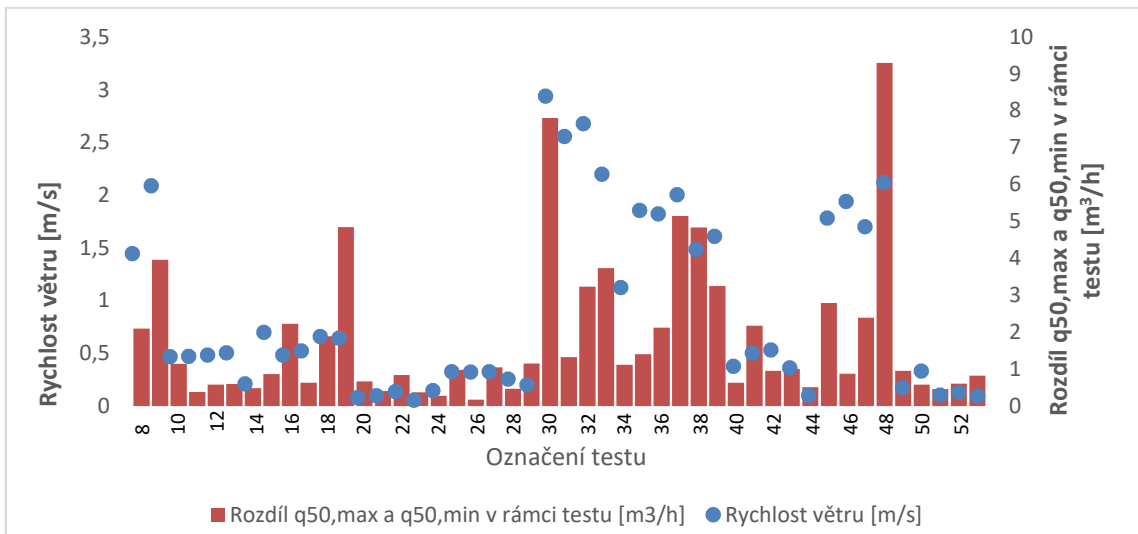


Příloha 6: Tabulka C [1]

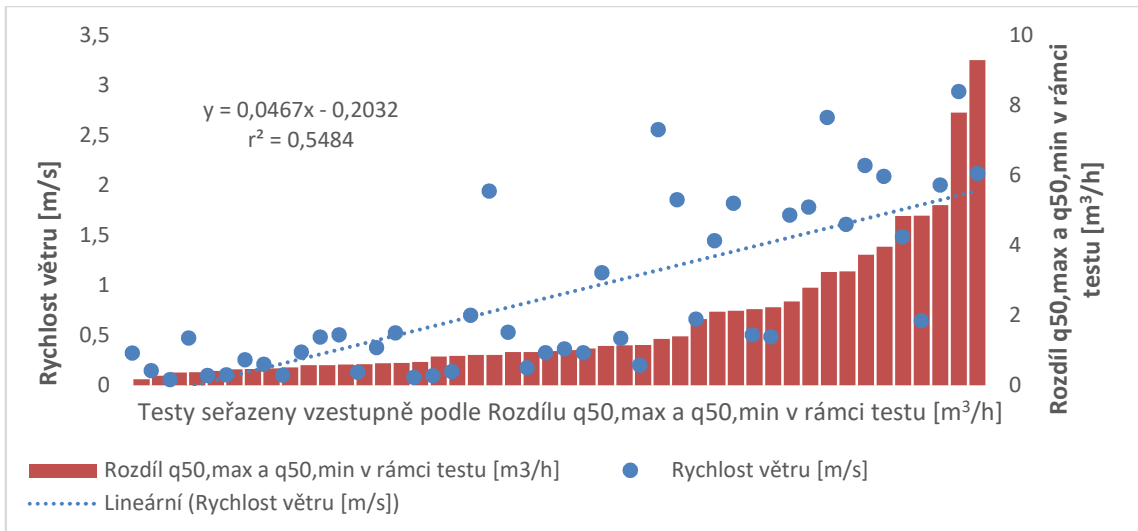
Table C. The percentage probability $Prob_M(|r| \geq r_o)$ that N measurements of two uncorrelated variables give a correlation coefficient with $|r| \geq r_o$, as a function of N and r_o . (Blanks indicate probabilities less than 0.05%.)

N	r_o										
	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
3	100	94	87	81	74	67	59	51	41	29	0
4	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
5	100	87	75	62	50	39	28	19	10	3.7	0
6	100	85	70	56	43	31	21	12	5.6	1.4	0
7	100	83	67	51	37	25	15	8.0	3.1	0.6	0
8	100	81	63	47	33	21	12	5.3	1.7	0.2	0
9	100	80	61	43	29	17	8.8	3.6	1.0	0.1	0
10	100	78	58	40	25	14	6.7	2.4	0.5		0
11	100	77	56	37	22	12	5.1	1.6	0.3		0
12	100	76	53	34	20	9.8	3.9	1.1	0.2		0
13	100	75	51	32	18	8.2	3.0	0.8	0.1		0
14	100	73	49	30	16	6.9	2.3	0.5	0.1		0
15	100	72	47	28	14	5.8	1.8	0.4			0
16	100	71	46	26	12	4.9	1.4	0.3			0
17	100	70	44	24	11	4.1	1.1	0.2			0
18	100	69	43	23	10	3.5	0.8	0.1			0
19	100	68	41	21	9.0	2.9	0.7	0.1			0
20	100	67	40	20	8.1	2.5	0.5	0.1			0
25	100	63	34	15	4.8	1.1	0.2				0
30	100	60	29	11	2.9	0.5					0
35	100	57	25	8.0	1.7	0.2					0
40	100	54	22	6.0	1.1	0.1					0
45	100	51	19	4.5	0.6						0
	0	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	
50	100	73	49	30	16	8.0	3.4	1.3	0.4	0.1	
60	100	70	45	25	13	5.4	2.0	0.6	0.2		
70	100	68	41	22	9.7	3.7	1.2	0.3	0.1		
80	100	66	38	18	7.5	2.5	0.7	0.1			
90	100	64	35	16	5.9	1.7	0.4	0.1			
100	100	62	32	14	4.6	1.2	0.2				

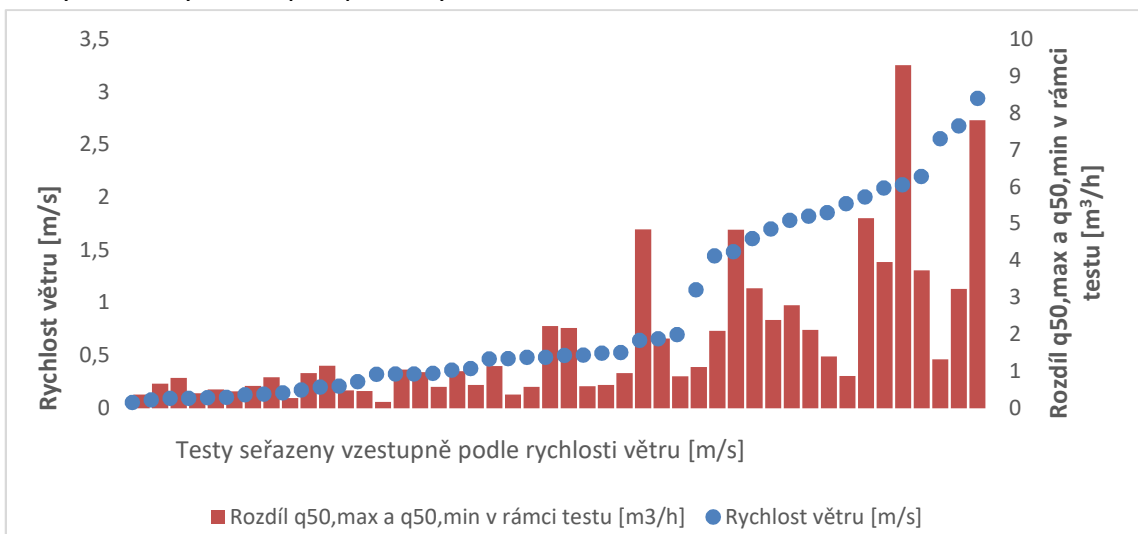
Příloha 7: Porovnání rozsahu q_{50} v rámci testu s rychlostí větru



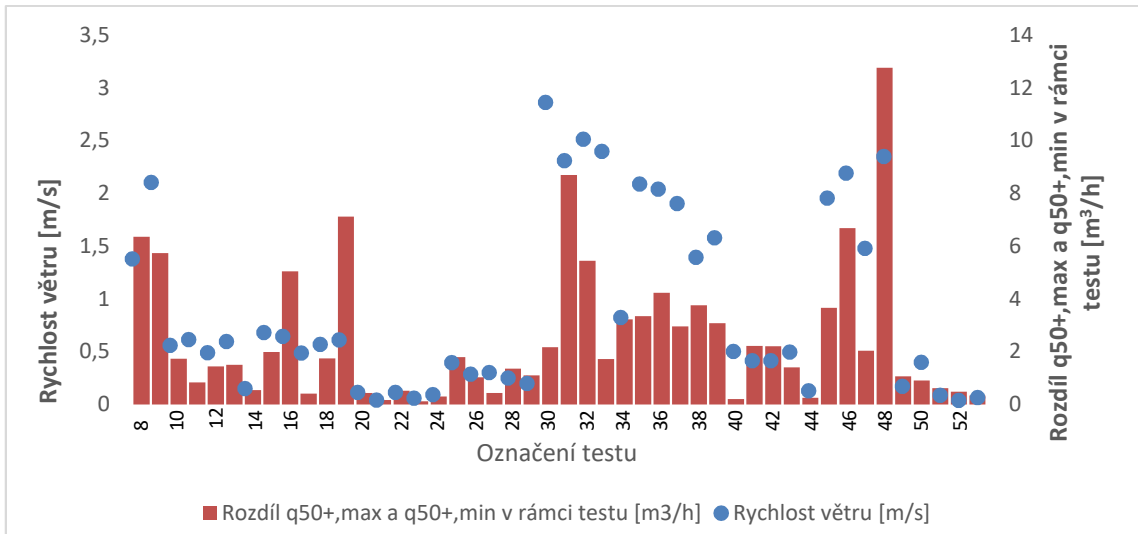
Testy seřazeny vzestupně podle rozdílu $q_{50,max}$ a $q_{50,min}$ v rámci testu [m^3/h]



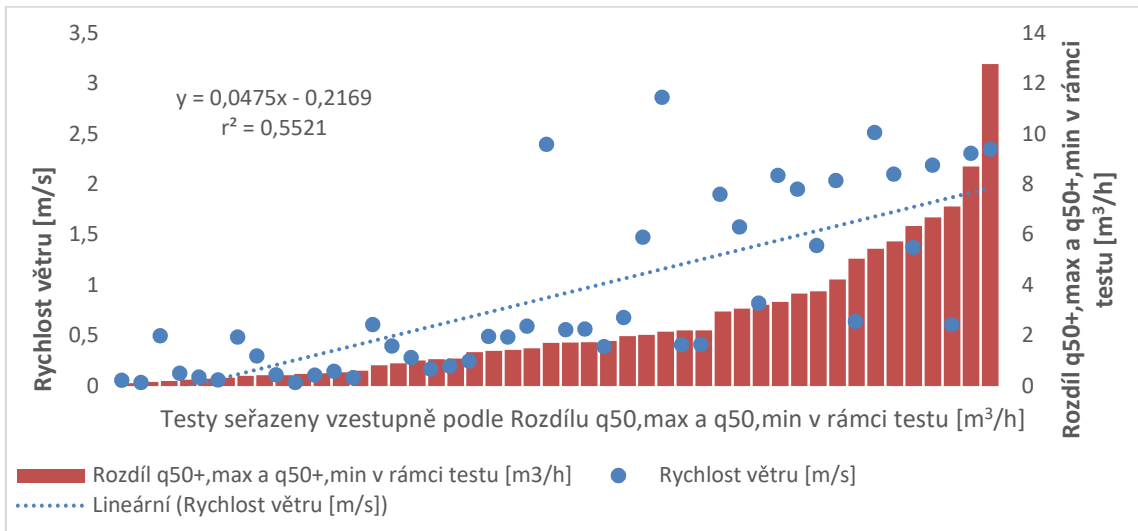
Testy seřazeny vzestupně podle rychlosti větru [m/s]



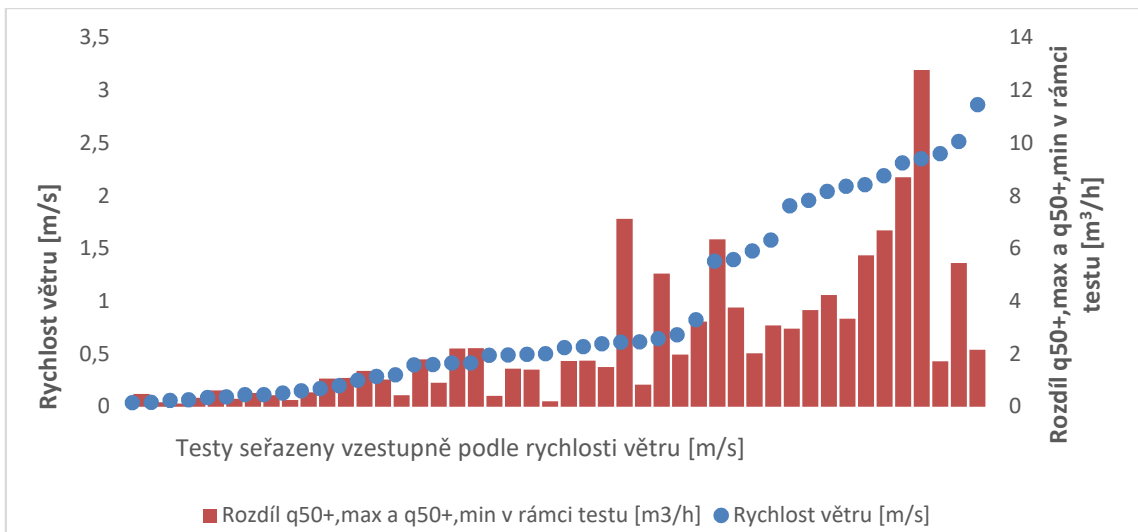
Porovnání rozsahu q_{50+} v rámci testu s rychlostí větru



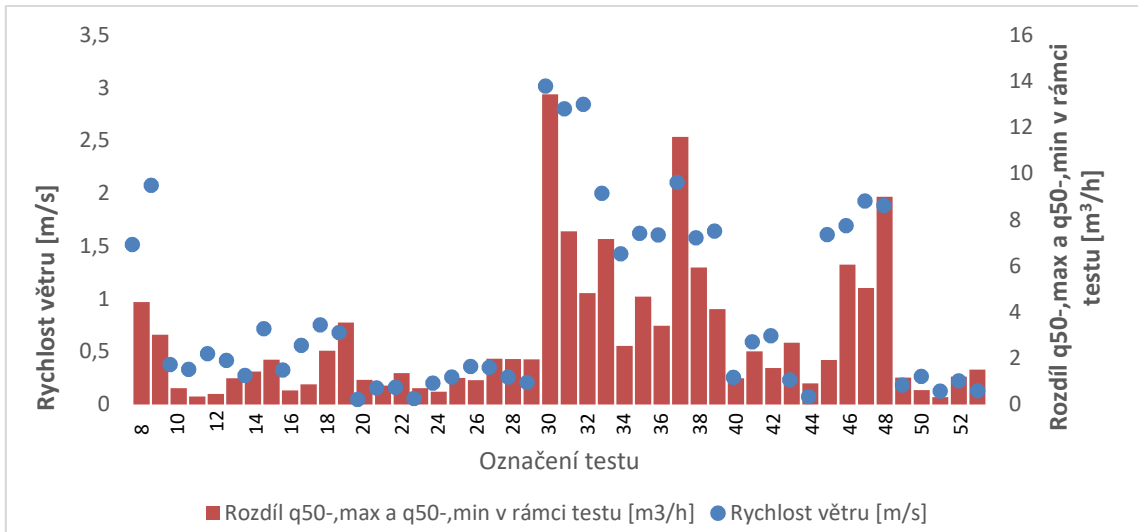
Testy seřazeny vzestupně podle rozdílu q_{50+} , max a q_{50+} , min v rámci testu [m^3/h]



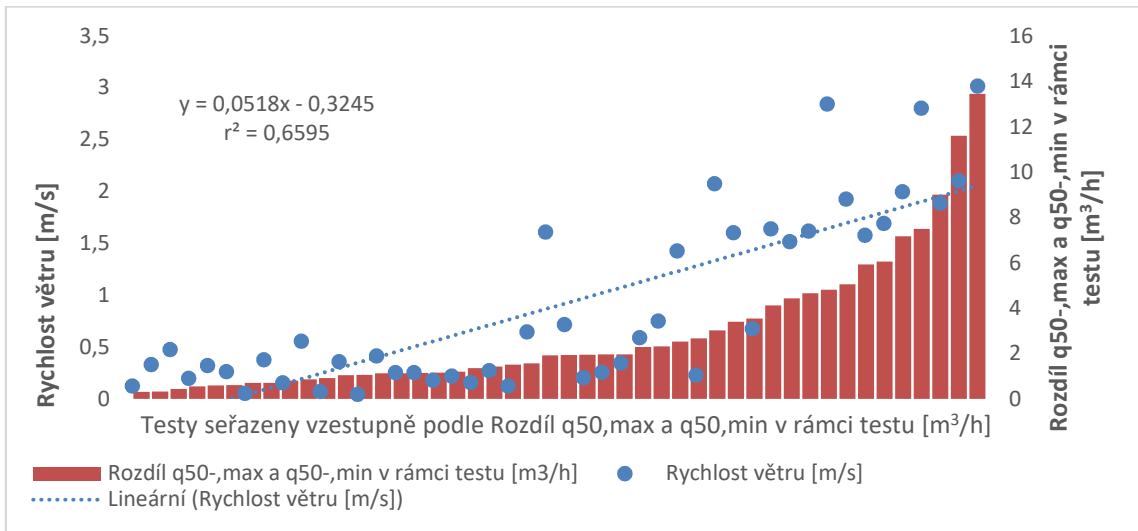
Testy seřazeny vzestupně podle rychlosti větru [m/s]



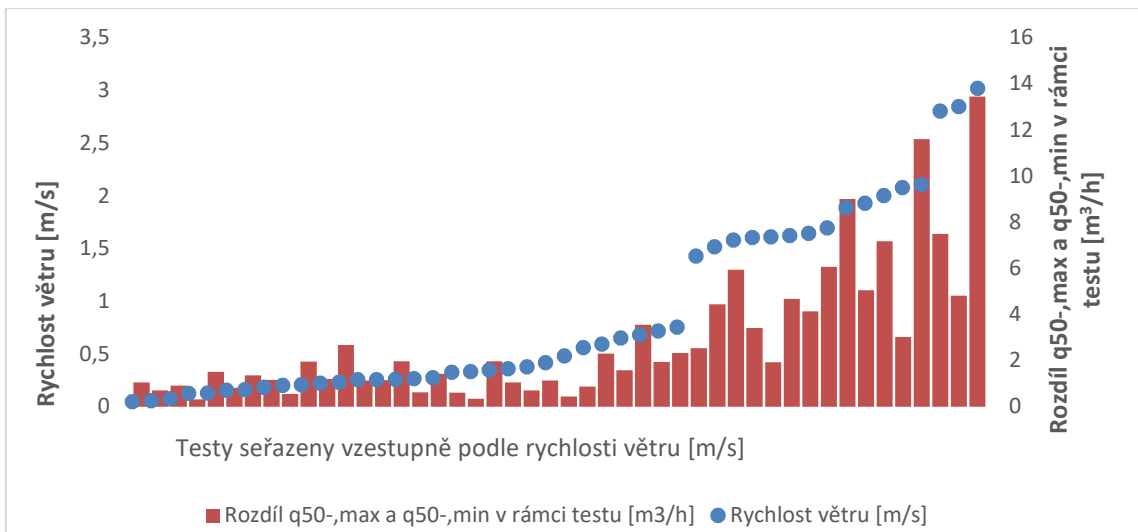
Porovnání rozsahu q_{50} - v rámci testu s rychlostí větru



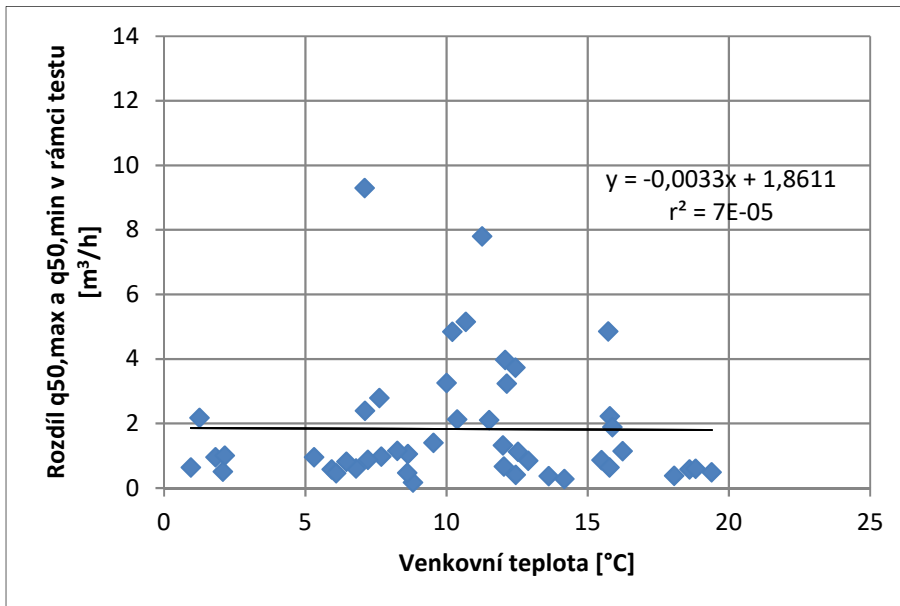
Testy seřazeny vzestupně podle rozdílu $q_{50,max}$ a $q_{50,min}$ v rámci testu [m³/h]



Testy seřazeny vzestupně podle rychlosti větru [m/s]

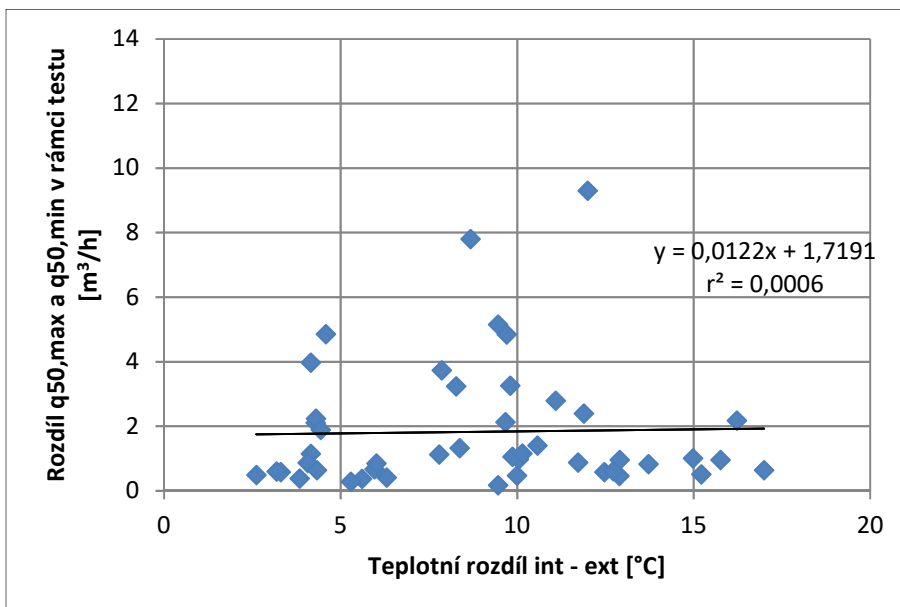


Příloha 8: Grafy prokazující nezávislost rozsahu hodnot q_{50} [m^3/h] získaných z jednotlivých snímačů na venkovní teplotě a na teplotním rozdílu interiéru a exteriéru



$r^2 = 0,00007$
 $r = 0,00837$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 95,87 %
 Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 4,13 %

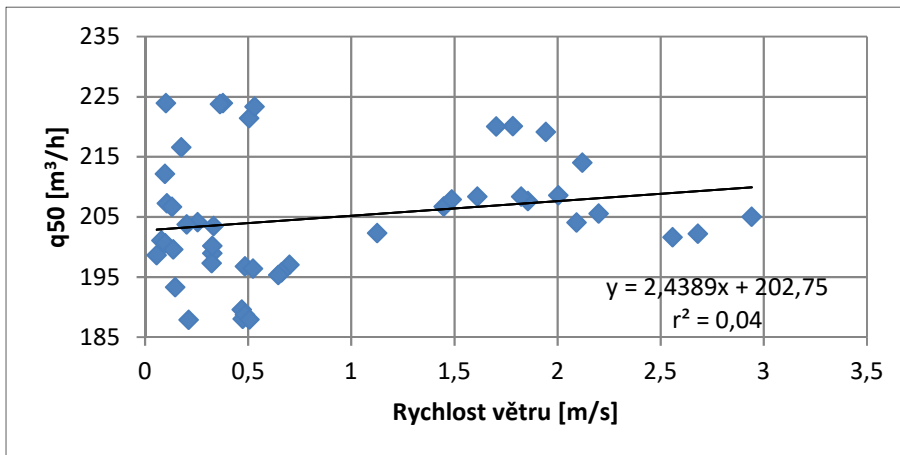


$r^2 = 0,0006$
 $r = 0,0245$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 87,90 %
 Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 12,10 %

Příloha 9: Grafy závislosti q_{50} [m³/h] na rychlosti větru [m/s]

Data ze západního snímače

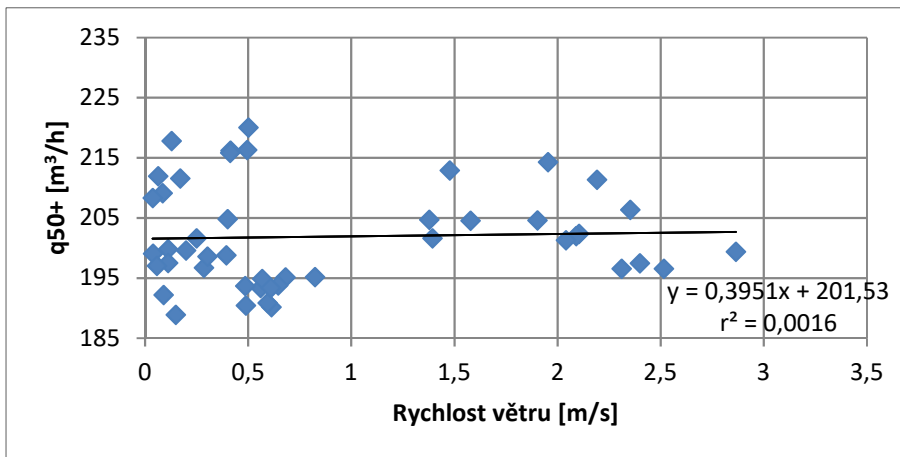


$r^2 = 0,04$
 $r = 0,2$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 18,40 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

81,60 %

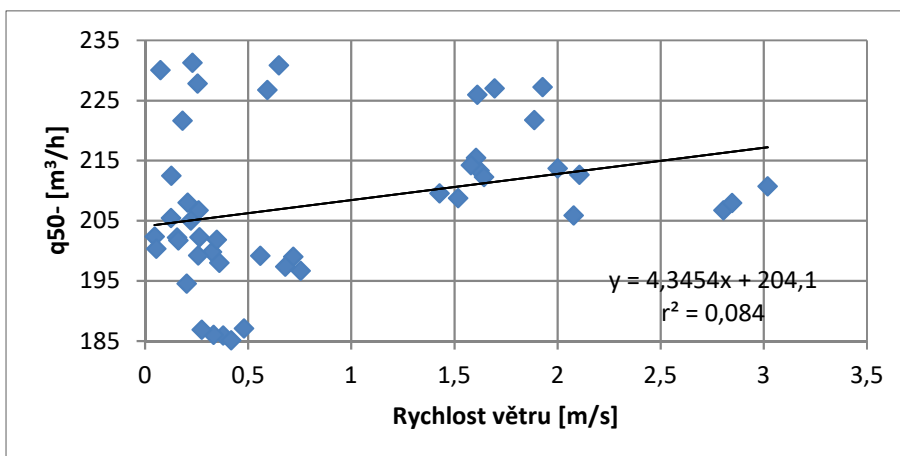


$r^2 = 0,0016$
 $r = 0,04$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 80,24 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

19,76 %



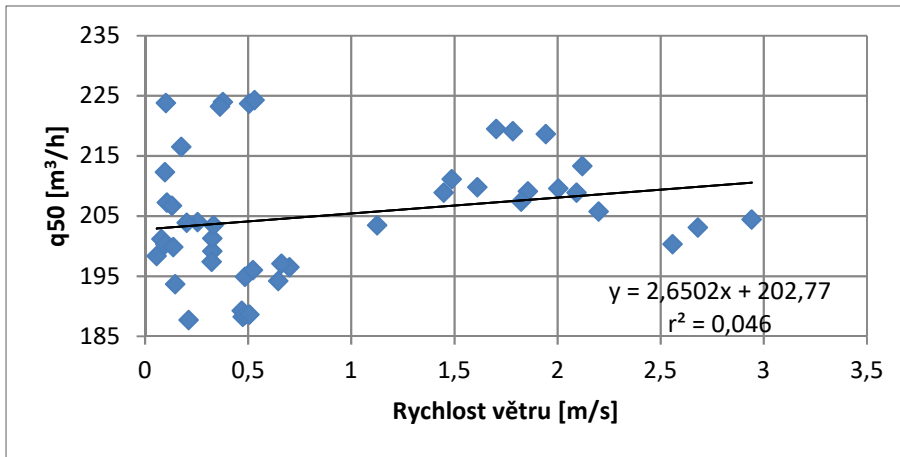
$r^2 = 0,084$
 $r = 0,2898$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 5,72 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

94,28 %

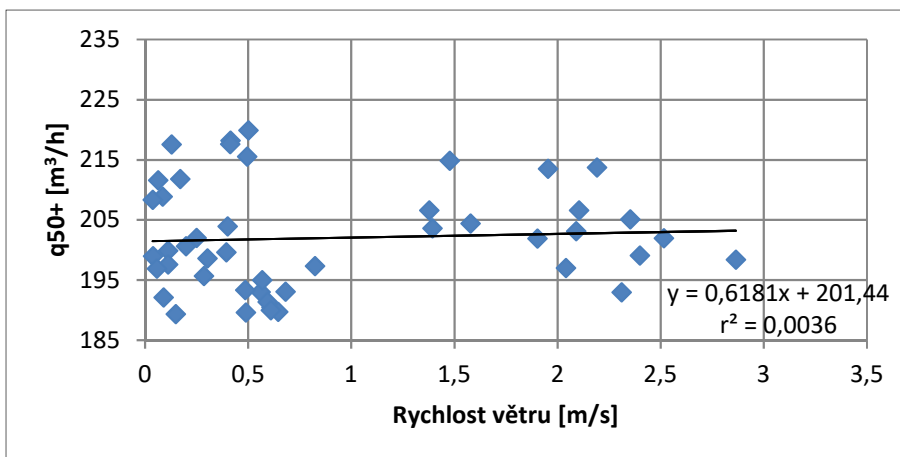
Data z jižního snímače



$r^2 = 0,046$
 $r = 0,2145$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 16,36 %

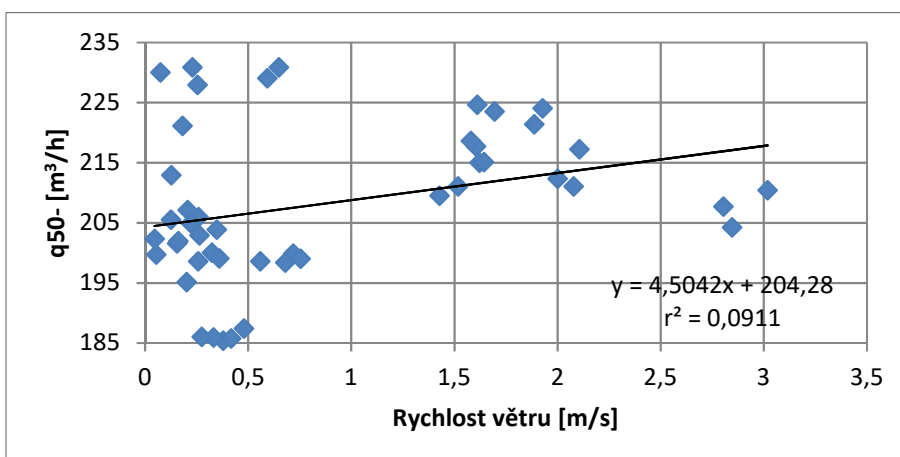
Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé **83,64 %**



$r^2 = 0,0036$
 $r = 0,06$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 70,36 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé **29,64 %**

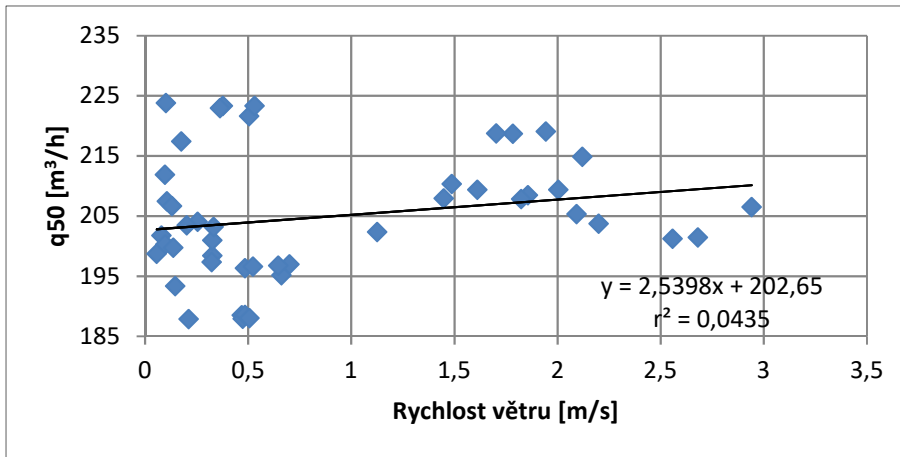


$r^2 = 0,0911$
 $r = 0,3018$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 4,21 %

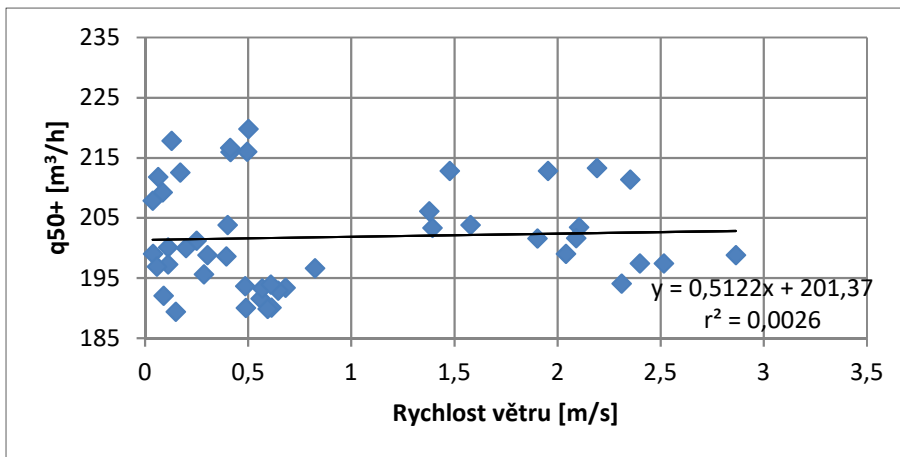
Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé **95,79 %**

Data ze severního snímače



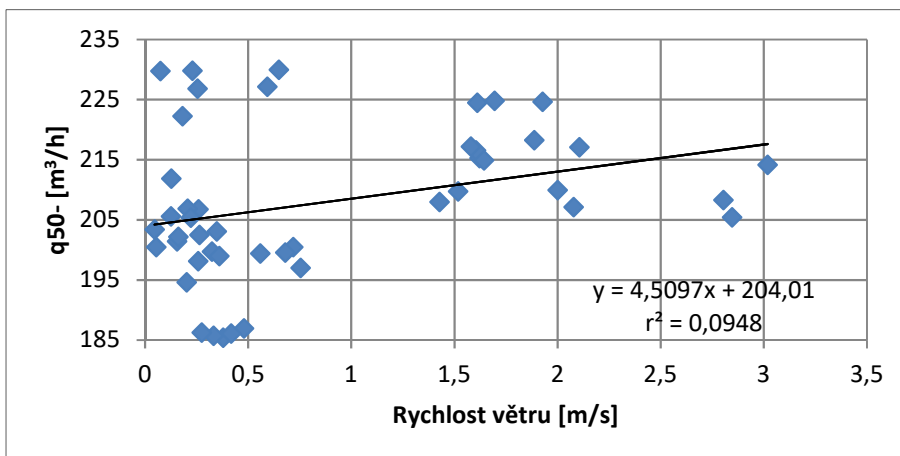
$r^2 = 0,0435$
 $r = 0,2086$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 17,19 %
 Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé **82,81 %**



$r^2 = 0,0026$
 $r = 0,0510$
 $N = 46$

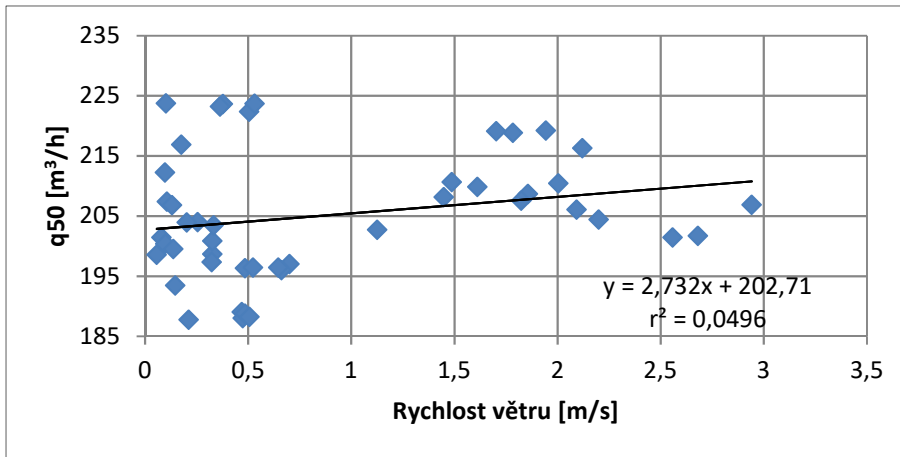
Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 74,81 %
 Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé **25,19 %**



$r^2 = 0,0948$
 $r = 0,3079$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 3,99 %
 Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé **96,01 %**

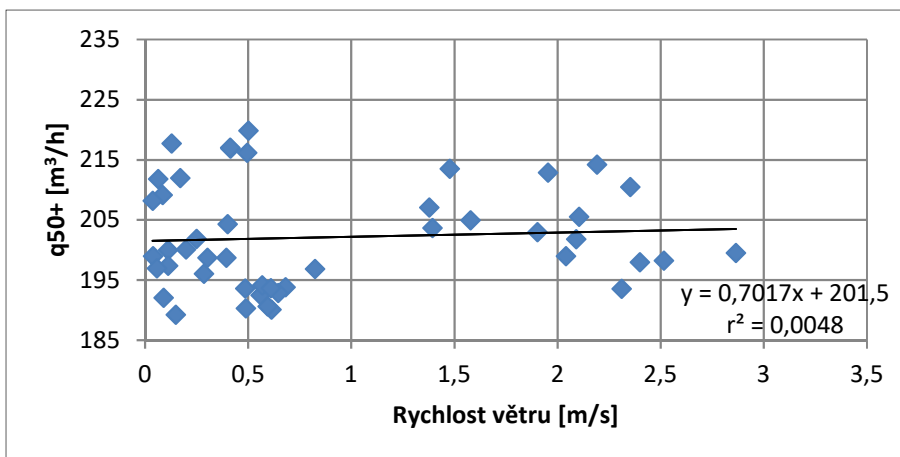
Data z "průměrného" snímače



$r^2 = 0,0496$
 $r = 0,2227$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 15,19 %

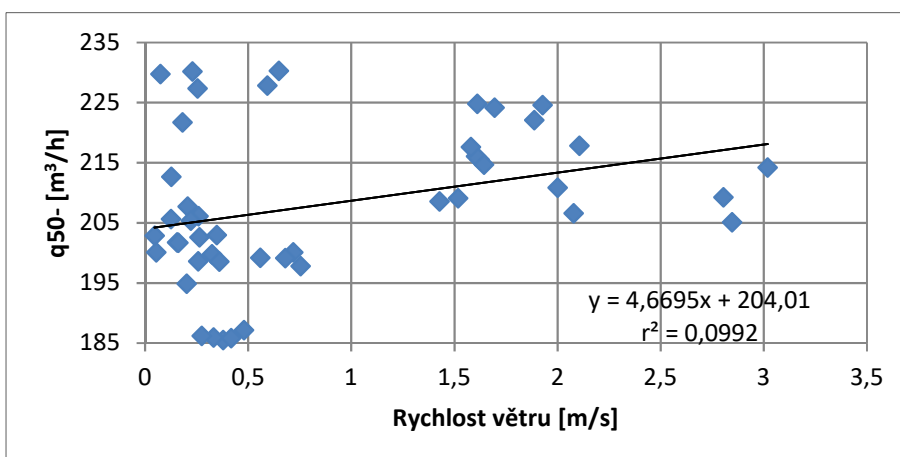
Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 84,81 %



$r^2 = 0,0048$
 $r = 0,0693$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 65,77 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 34,23 %



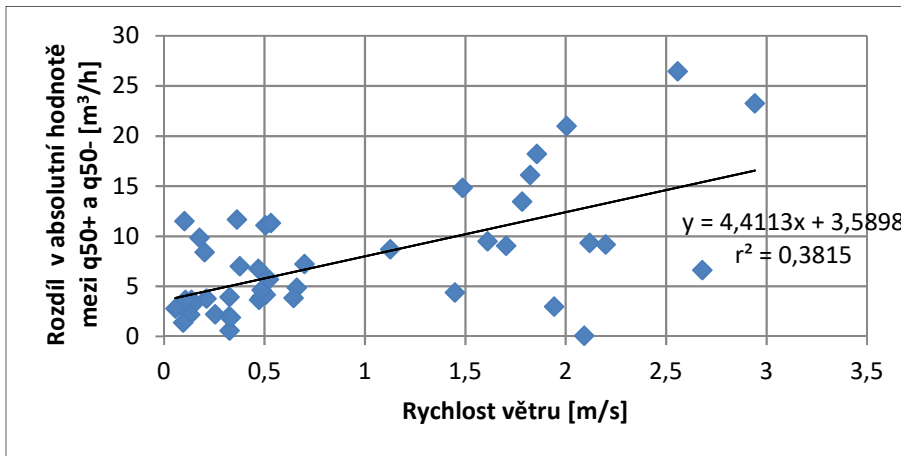
$r^2 = 0,0992$
 $r = 0,3150$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 3,72 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé 96,28 %

Příloha 10: Grafy závislosti rozdílu v absolutní hodnotě mezi q_{50+} a q_{50-} [m^3/h] na rychlosti větru [m/s]

Data z východního snímače



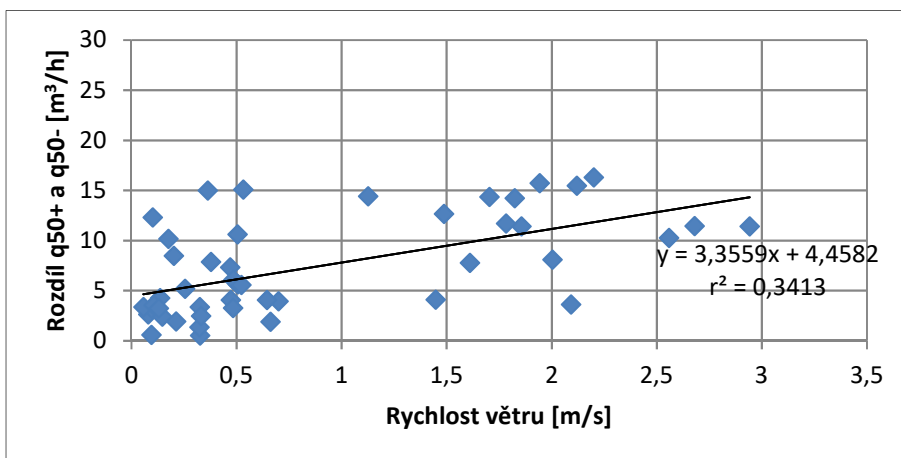
$r^2 = 0,3815$
 $r = 0,6177$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

>99,95 %

Data ze západního snímače



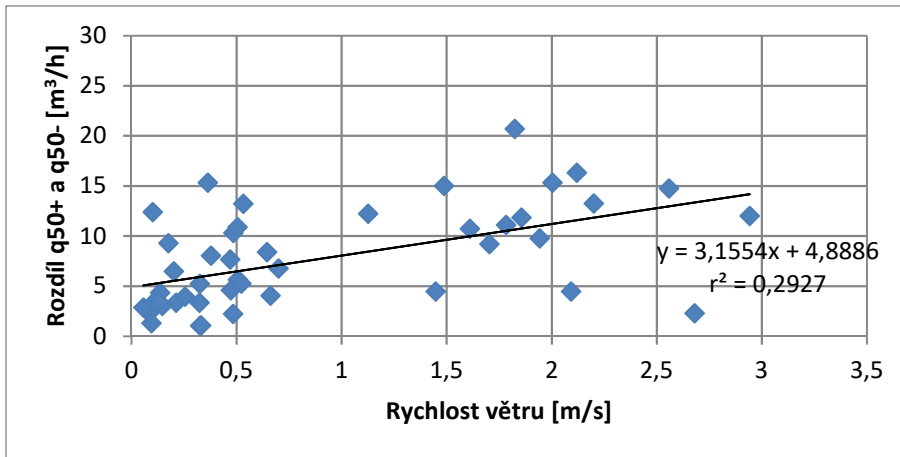
$r^2 = 0,3413$
 $r = 0,5842$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

>99,95 %

Data z jižního snímače



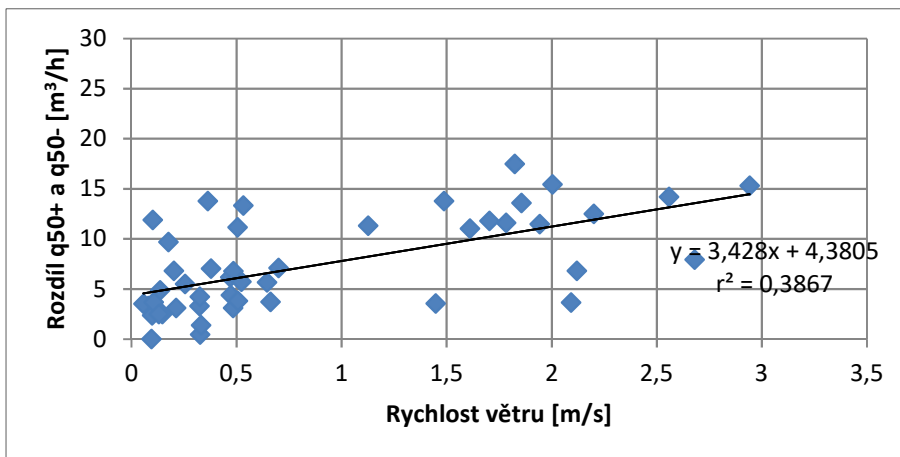
$r^2 = 0,2927$
 $r = 0,5410$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

>99,95 %

Data ze severního snímače



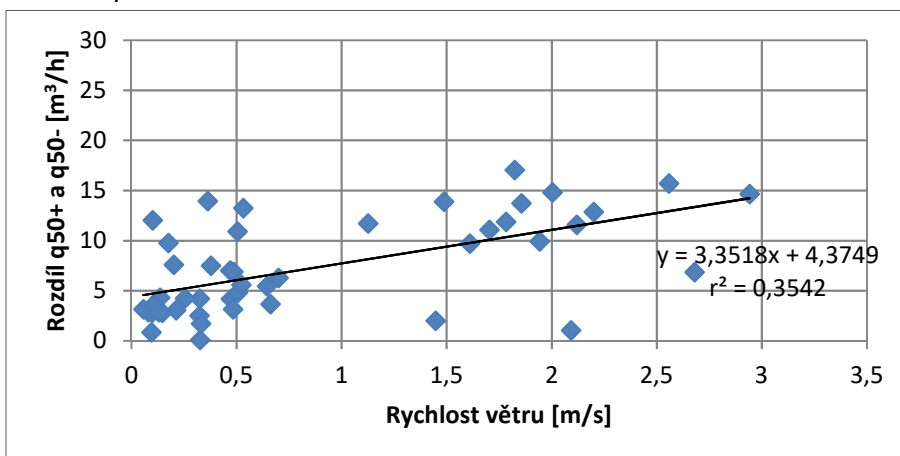
$r^2 = 0,3867$
 $r = 0,6219$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

>99,95 %

Data z "průměrného" snímače



$r^2 = 0,3542$
 $r = 0,5951$
 $N = 46$

Pravděpodobnost nezávislosti parametrů podle přílohy 6 <0,05 %

Pravděpodobnost, že jsou parametry závislé

>99,95 %