



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

ANALÝZA VLASTNOSTÍ VÝPLNÍ OTVORŮ VZHLEDEM K INFILTRACI VE STAVBÁCH

ANALYSIS OF PROPERTIES OF OPENINGS WITH RESPECT TO INFILTRATION
IN BUILDINGS

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Miroslav Zapletal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. RNDr. Ing. STANISLAV ŠŤASTNÍK, CSc., Ph.D.

BRNO 2019

Bibliografická citace disertační práce:

ZAPLETAL, Miroslav. *Analýza vlastností výplní otvorů vzhledem k infiltraci ve stavbách*. Brno 2019. 139 s., Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce prof. RNDr. Ing. Stanislav Šťastník, CSc., Ph.D.

Obsah

1	Konstrukce otvorových výplní	4
1.1	Dřevěné otvorové výplně	4
1.2	Plastové otvorové výplně	4
1.3	Hliníkové otvorové výplně	5
2	Fyzikální vlastnosti otvorových výplní	5
2.1	Základní fyzikální vlastnosti	5
2.2	Průvzdušnost	6
2.3	Vodotěsnost	6
2.4	Odolnost proti zatížení větrem	6
3	Tepelně technické vlastnosti	7
4	Cíl disertační práce	8
5	Měření průvzdušnosti oken	9
5.1	Zjištěné poznatky z laboratorního měření průvzdušnosti oken	10
6	Měření průvzdušnosti konkrétní stavby	10
6.1	Základní údaje k měřené stavbě	10
6.2	Popis a označení místností v 1NP měřeného objektu	11
6.3	Popis a označení místností v 2NP měřeného objektu	12
6.4	Popis použitých dřevěných otvorových výplní v měřené stavbě	13
6.5	Měření průvzdušnosti budovy	13
6.6	Fotodokumentace průběhu zkoušky průvzdušnosti	13
6.7	Závěr z provedeného měření	15
6.8	Výpočtový program SIM_Stabil	15
6.9	Výpočty vlivu spárové průvzdušnosti	16
6.10	Poznatky z výpočtového modelování tepelné náročnosti budovy a nejvyššího denního vzestupu teploty v místnosti	18
7	Dosažené poznatky, přínos práce pro praxi	23
8	Závěr	24
9	Seznam použité literatury	26
	Anotace	27
	Curriculum Vitae	28
	Přehled publikační činnosti za dobu studia	29

Úvod

Změny tvaru a konstrukce oken během jejich používání byly stále pod vlivem zvyšujících se nároků, zejména požadavků na jejich tepelně technické a funkční vlastnosti. Mezi základní požadavky oken patří spojení a zároveň oddělení vnitřního prostředí obydlí člověka a venkovního prostoru.

V současné době je potřeba udržování vnitřní tepelné pohody interiéru impulsem pro vylepšování konstrukcí a systémů otvorových výplní, které jsou charakteristické tím, že se považují za nejslabší článek v obvodové konstrukci z hlediska úniku tepla.

Zajištění dostatečného objemu čerstvého vzduchu do interiéru staveb je základním požadavkem pro zabezpečení kvality ovzduší v obytných prostorách. Základním předpokladem pro zdraví a vnitřní pohodu je stálý přísun čerstvého vzduchu do interiéru. Nejnovější výzkumy ukazují, že v dnešní době požadovaná obnova vzduchu z hygienických důvodů nebývá spolehlivě zabezpečena.

Při použití současných konstrukcí oken s jedno nebo vícestupňovým těsněním je přirozená výměna vzduchu téměř znemožněná a výměnu vzduchu je v těchto případech možné zabezpečit pouze větráním uživateli objektu nebo použitím automatického větracího systému. Tento způsob je však v dnešní době poměrně finančně náročný. Z tohoto důvodu se snaží výrobci kování o jistý kompromis, kdy se na jedné straně dosahuje téměř hermetického utěsnění oken, na druhé straně se užívá systému mikroventilace, kterým by se měla zabezpečit alespoň minimální výměna vzduchu v interiéru.

Z provedených laboratorních výsledků měření průvzdušnosti na různých typech otvorových výplní vyplývá, že nejčastěji dosahovaná třída průvzdušnosti zkoušená metodikou podle ČSN EN 1026 a klasifikovaná podle klasifikační normy ČSN EN 12207, je třída 4. To prokazuje, že v současnosti vyráběné jednoduché typy oken dřevěných, plastových, hliníkových nebo kombinovaných oken jsou velmi těsná, a bez nuceného větrání nebudou splněny základní hygienické požadavky na výměnu vzduchu v místnostech.

V současné době směřuje trend vývoje systémů oken k automatickému řízení větrání, kterým lze řídit otevírání oken pro větrání v závislosti na změně vnějších a vnitřních klimatických podmínek. Tyto systémy jsou finančně nákladnější, ale ve srovnání s cenami klimatizačních automatických větracích jednotek se jeví příznivěji.

Předložená práce je věnována problematice výměny vzduchu v interiéru budov při různém stupni nastavení dotažení celoobvodového kování v souvislosti celkové průvzdušnosti vybrané dřevěné stavby.

1 Konstrukce otvorových výplní

Samotná konstrukce otvorových výplní má rozhodující vliv na její funkční vlastnosti. Z důvodu rostoucích požadavků na tepelně technické vlastnosti jsou vyvíjeny stále dokonalejší konstrukce, s použitím většího počtu těsnících prvků a také s použitím kombinací různých izolačních materiálů, navyšováním počtu izolačních prvků, například počtu komor u plastových profilů oken nebo šířky profilu u dřevěných oken. Zásadní vliv má zasklení okna, které u oken tvoří největší plochu z celé otvorové výplně.

Při výběru otvorových výplní je důležité zvolit správný materiál. Z hlediska volby materiálu je nutné zvážit, jaké jsou kladeny základní požadavky na výplň otvorů. Jde o typ budovy, pro který jsou otvorové výplně určeny, je důležité také uvážit frekvenci jejich užívání, jaké jsou požadavky na velikost, mechanickou stabilitu, ale také na údržbu. Důležitá je i pořizovací cena. Z pohledu praxe nelze označit jeden typ materiálu jako nejvhodnější, neboť každý materiál má své přednosti. Jako výhodné se jeví kombinace různých materiálů, kdy skloubením jejich vlastností vznikne produkt nejlépe splňující zadané požadavky. [1]

1.1 Dřevěné otvorové výplně

Dřevo je považováno za velmi příznivý tepelně-izolační materiál, proto většinou postačuje pro zlepšení vlastností rámu zvětšit tloušťku profilů.

Běžně vyráběné typy dřevěných jednoduchých oken a vnějších dveří ze smrkového řeziva a jejich hodnoty součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1 : Běžně vyráběné rozměry dřevěných okenních profilů a jejich součinitele prostupu tepla

Tloušťka profilu [mm]	Průměrná hodnota U_f [W/m ² K] zjištěná na základě provedených zkoušek ČSN EN 12412-2	Hodnota U_f [W/m ² K] udávaná na základě výpočtové normy ČSN EN ISO 10077-1
68	1,10	1,78
78	0,94	1,67
92	0,78	1,54

1.2 Plastové otvorové výplně

U plastových konstrukcí je z hlediska tepelně-izolačních vlastností důležitým prvkem počet komor, kde každá komora tvoří oddělenou vzduchovou izolační mezeru, jak uvádí tabulka 2.

Obecně lze prokázat, že čím vyšší je počet komor, tím příznivější tepelně-izolační vlastnosti plastový profil prokazuje. Praxe ovšem ukázala, že zvyšování počtu komor nad 7 již nepřináší další výrazné zlepšení.

Tab. 2 : Vliv počtu komor na součinitel prostupu tepla

Počet komor	U_f [W/m ² K]
3	1,5
4	1,4
5	1,3
6	1,1
7	1,0

Z hlediska životního prostředí je výroba plastových otvorových výplní, jejich používání i konečná likvidace poměrně náročná spojená s řadou rizik. Poměrně velkým rizikem je zde především velký obsah chlóru, který je v plastových profilech obsažen **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**[4] .

Výhoda plastových otvorových výplní je především v jejich snadnější údržbě a absenci renovace povrchové úpravy.

1.3 Hliníkové otvorové výplně

Hliníkové otvorové výplně jsou považovány z hlediska odolnosti proti povětrnostním vlivům za velmi odolné a nedochází u nich k tvarovým deformacím vlivem změny vlhkosti jako u dřeva a teploty u plastů. Okenní a dveřní křídla dosedají přesně do ráků a poskytují téměř dokonalé utěsnění. Problém těchto konstrukcí je především vnímán z pohledu tepelně izolačních vlastností, což se může projevat promrznáním hlavně v zimním období. Tuto negativní vlastnost se podařilo poměrně úspěšně eliminovat přerušením vnitřního tepelného mostu, kdy je do hliníkového profilu vložen prvek z nekovového materiálu, většinou z polyamidu vyztuženého sklolaminátovými vlákny, který snižuje jeho tepelnou vodivost.

Z materiálového hlediska je hliník považován za odolný, má poměrně nízkou hmotnost a reprezentativní vzhled. Mezi jeho nedostatky patří jeho vyšší délková roztažnost i vysoká tepelná vodivost, ale také cena. Údržba je snadná a nenáročná. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**

2 Fyzikální vlastnosti otvorových výplní

2.1 Základní fyzikální vlastnosti

Jedná se o normové mandátové charakteristiky, které jsou u otvorových výplní požadovány v rámci posuzování výrobků podle požadavků harmonizované normy ČSN EN 14351-1+A2. Mezi tyto základní vlastnosti řadíme průvzdušnost, vodotěsnost a odolnost proti zatížení větrem.

2.2 Průvzdušnost

Průvzdušnost je vlastnost, která udává celkovou těsnost okna. Vyjadřuje se ve vztahu na celkovou plochu nebo na délku funkční spáry zkušebního vzorku otvorové výplně. Podle dosažených výsledků měření jsou okna a vchodové dveře hodnoceny třídou 1 až 4, kdy nejtěsnější otvorové výplně jsou zatříděny do třídy 4. Při klasifikaci jednotlivých tříd se vychází z referenční průvzdušnosti při zkušebním tlaku 100 Pa. Zkušební vzorek je zařazen do uvedené třídy, jestliže měřená průvzdušnost není větší než horní mezní hodnota dané třídy ani u jednoho z aplikovaných zkušebních tlaků.

2.3 Vodotěsnost

Účelem zkoušky vodotěsnosti je zjistit, jak dané okno či vchodové dveře odolávají působení účinku deště a větru. Při zkoušce vodotěsnosti je okno vystaveno působení předepsaného množství vody a současně na něj působí tlak vzduchu. Posuzuje se jeho vodotěsnost jako odolnost proti vniknutí vody do vnitřního prostoru přes okenní nebo dveřní křídlo.

Zkušebním předpisem je norma ČSN EN 1027 – Okna a dveře – Vodotěsnost – Zkušební metoda, klasifikace se provádí podle normy ČSN EN 12208 – Okna a dveře – Vodotěsnost – Klasifikace.

Podle výsledku zkoušky, jakému zkušebnímu tlaku vzduchu otvorová výplň odolá bez průniku vody do vnitřní části konstrukce, se okno nebo dveře zatřídí do třídy vodotěsnosti. Tyto třídy jsou 1A – 9A (1B – 7B), lepší výsledky se pak hodnotí přímo hodnotou tlakového zatížení, které konstrukce odolá bez průniku vody např. při tlaku 750 Pa (klasifikace E750), nebo např. bez průniku vody při 1050 Pa (klasifikace E1050).

2.4 Odolnost proti zatížení větrem

Touto vlastností se posuzuje mechanická stabilita konstrukce otvorové výplně při působení tlaku větru. Při zkoušce se měří deformace rámových a křídlových profilů oken a vchodových dveří při působení předepsaného nebo stanoveného tlaku větru.

Zkouška je prováděna podle zkušební normy ČSN EN 12211 – Okna a dveře – Odolnost proti zatížení větrem – Zkušební metoda.

Klasifikace je následně prováděna podle normy ČSN EN 12210 – Okna a dveře – Odolnost proti zatížení větrem – Klasifikace.

Výsledkem zkoušky je třída odolnosti proti zatížení větrem v závislosti na hodnotě působícího tlaku a změřených deformacích rámu křídla otvorové výplně, např. třída C4 – nejčastěji dosahovaná třída při laboratorních zkouškách oken a vnějších dveří.

3 Tepelně technické vlastnosti

Z tepelně-technického hlediska představuje výplň otvoru složenou konstrukci, jejíž vlastnosti jsou určeny parametry a užitnými vlastnostmi jednotlivých materiálů, ze kterých je tato otvorová výplň vyrobena. Zpravidla se jedná o průhledné izolační sklo nebo izolační výplň a neprůhledné plochy, které tvoří vlysy křídel a rámů v závislosti na konstrukčním provedení těsnění a kování [12] .

4 Cíl disertační práce

Předmětem disertační práce je zjištění vztahu průvzdušnosti otvorových výplní k průvzdušnosti konkrétní posuzované budovy v návaznosti na stupni dotažení použitého celoobvodového kování otvorových výplní. Na základě praktických výsledků měření, která byla provedena jako laboratorní měření průvzdušnosti vybraných typů oken při definovaném stupni dotažení celoobvodového kování, tak měření průvzdušnosti obálky konkrétní budovy při stejných definovaných stupních dotažení kování použitých otvorových výplní. Také byly provedeny výpočtové simulace tepelné stability vybrané dřevostavby, při hodnocení bylo využito údajů o spotřebě energie pro vytápění a nejvyšších teplotách v místnostech v letním období.

K dosažení plánovaných výsledků práce byly navrženy následující dílčí cíle:

- vyhodnocení poznatků fyzikálních a tepelně technických vlastností otvorových výplní z hlediska průvzdušnosti a ve vztahu k celkové průvzdušnosti budovy,
- laboratorním měření průvzdušnosti vybraných okenních konstrukcí prokázat vztah mezi průvzdušností okna a definovaného stupně dotažení celoobvodového kování,
- provedení experimentálního měření průvzdušnosti obálky konkrétní budovy v návaznosti na nastavení stupně dotažení kování otvorových výplní se zaměřením na jejich těsnost ve vztahu na výpočtovou tepelně energetickou bilanci posuzovaného objektu.

Výsledky práce mohou být dále využity pro formulaci hygienicky nutné výměny vzduchu v závislosti na používaných typech otvorových výplní s celoobvodovým kovááním. Výstupem je soubor naměřených hodnot, který dále slouží jako referenční hodnota pro porovnávání dopadů konstrukční změny otvorových výplní na průvzdušnost budovy. Tím bude v budoucnu možné určit efektivitu technologických změn ve výrobě oken.

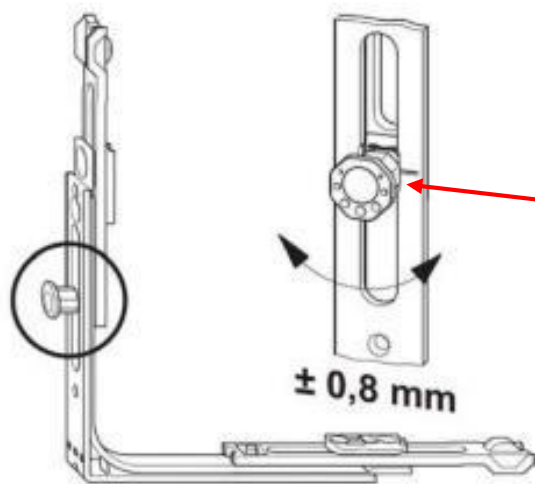
Cílem disertační práce je prokázat na základě měření a diagnostiky konkrétního objektu možnost regulace výměny vzduchu přirozeným způsobem nastavením stupně dotažení celoobvodového kování otvorových výplní.

5 Měření průvzdušnosti oken

Průvzdušnost oken a dveří se v laboratorních podmínkách standardně měří při 50 % dotažení použitého celoobvodového kování. Jedná se o nastavení, kdy uživatel má při užívání okna nebo dveří možnost regulace přitlaku křídla do rámu, čímž může ovlivnit celkovou průvzdušnost otvorové výplně (viz obr. 1 - 2).



Obr. 1: Vzhled celoobvodového kování okna [10]



0% - minimální přitlak křídla do okenního rámu

50% - standardní přitlak křídla do okenního rámu (většinou nastaveno po montáži oken)

100% - maximální přitlak křídla do okenního rámu

Obr. 2: Schéma nastavení přitlaku křídla na celoobvodovém kování [10]

V rámci experimentální části bylo provedeno ve Zkušebně stavebně truhlářských výrobků ve Zlíně laboratorní měření průvzdušnosti vybraných okenních otvorových výplní dřevěných i plastových oken v návaznosti na stupeň dotažení použitého celoobvodového kování na 0%, 50% a 100% dotažení. Ukázka nastavení kování na přítlak 50% znázorněno na obrázku 2. Z naměřených výsledků bylo zjištěno, že stupeň dotažení kování může výrazným způsobem ovlivnit celkovou průvzdušnost otvorové výplně, a to někdy až o jednu klasifikační třídu. Průvzdušnost otvorových výplní se podle klasifikační normy vyjadřuje buď ve vztahu k ploše nebo ve vztahu k délce funkční spáry okna.

Řada měření byla provedena na dřevěných jednoduchých oknech – typ EURO IV-68 a IV-78 a na plastových jednoduchých oknech z plastového profilového systému GEALAN a DIMEX – v obou případech bylo zasklení provedeno izolačním dvojsklem.

5.1 Zjištěné poznatky z laboratorního měření průvzdušnosti oken

Z výsledků měření průvzdušnosti dřevěných a plastových oken s různým stupněm dotažení celoobvodového kování lze konstatovat, že stupeň dotažení kování výrazným způsobem ovlivňuje celkovou průvzdušnost oken, a tím také klasifikační zařazení zkoušených a posuzovaných otvorových výplní. Tato zjištění mohou mít vliv při stanovení průvzdušnosti obálky budovy, kdy není přesně vymezeno, jaké nastavení kování by mělo být při zkoušce použito. Změnou nastavení kování může být dosaženo rozdílných hodnot průvzdušnosti obálky budovy, a tím může být ovlivněna celková energetická bilance stavby.

6 Měření průvzdušnosti konkrétní stavby

V návaznosti na zjištěné skutečnosti z laboratorního měření průvzdušnosti vzorků dřevěných a plastových oken bylo v rámci další experimentální části této práce provedeno měření průvzdušnosti konkrétní stavby metodou Blower Door testu, a to s různým stupněm dotažení celoobvodového kování 0%, 50% a 100% na dřevěných otvorových výplních.

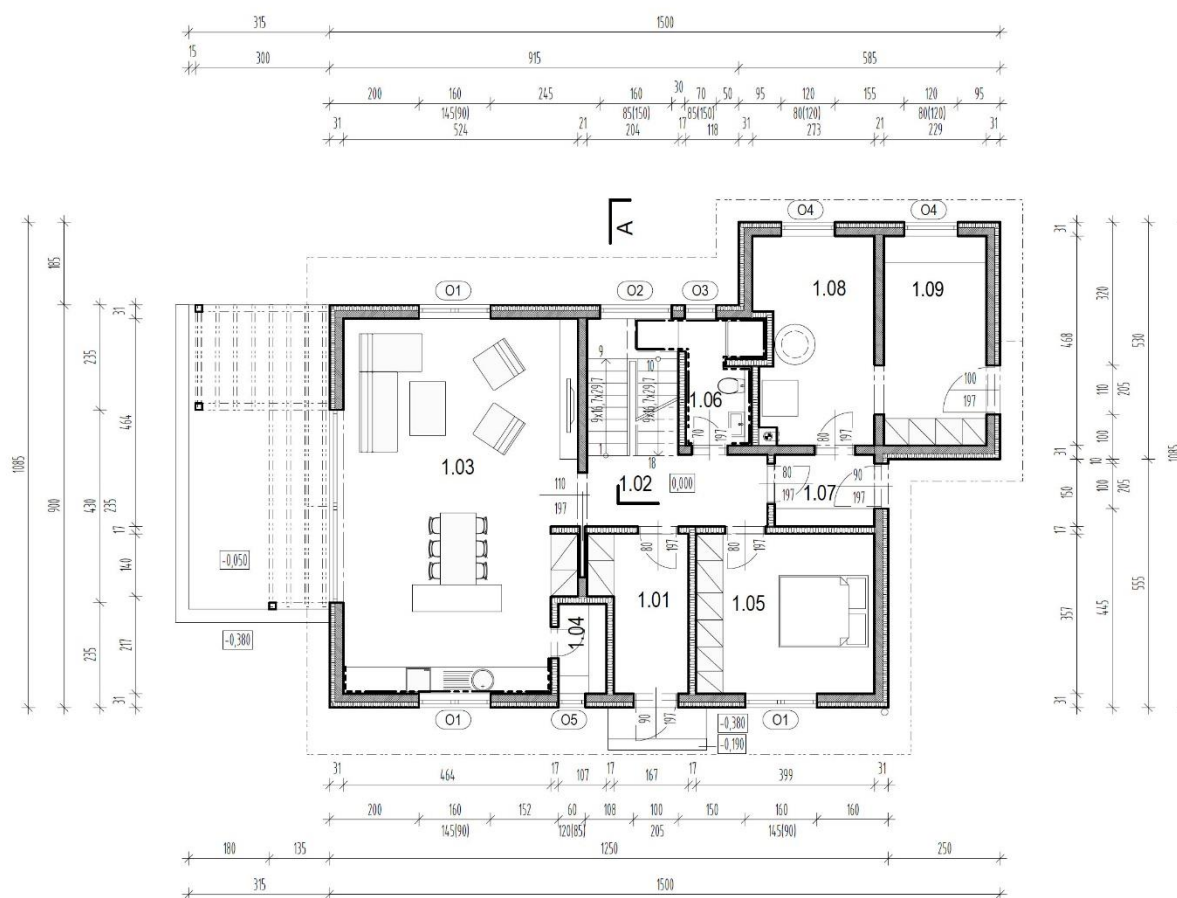
6.1 Základní údaje k měřené stavbě

Pro měření byl vybrán objekt dokončené stavby na bázi dřeva s osazenými dřevěnými jednoduchými otvorovými výplněmi typu EURO IV-92.

Stavba rodinného domu slouží k bydlení. V domě je jedna bytová jednotka s dispozicí 5+kk o podlahové ploše 193,3 m². Předpokládaný počet obyvatel je 4.

Z projektové stavební dokumentace byly použity základní informace týkající se posuzovaného objektu. Podrobnější informace o měřeném objektu jsou v příloze disertační práce.

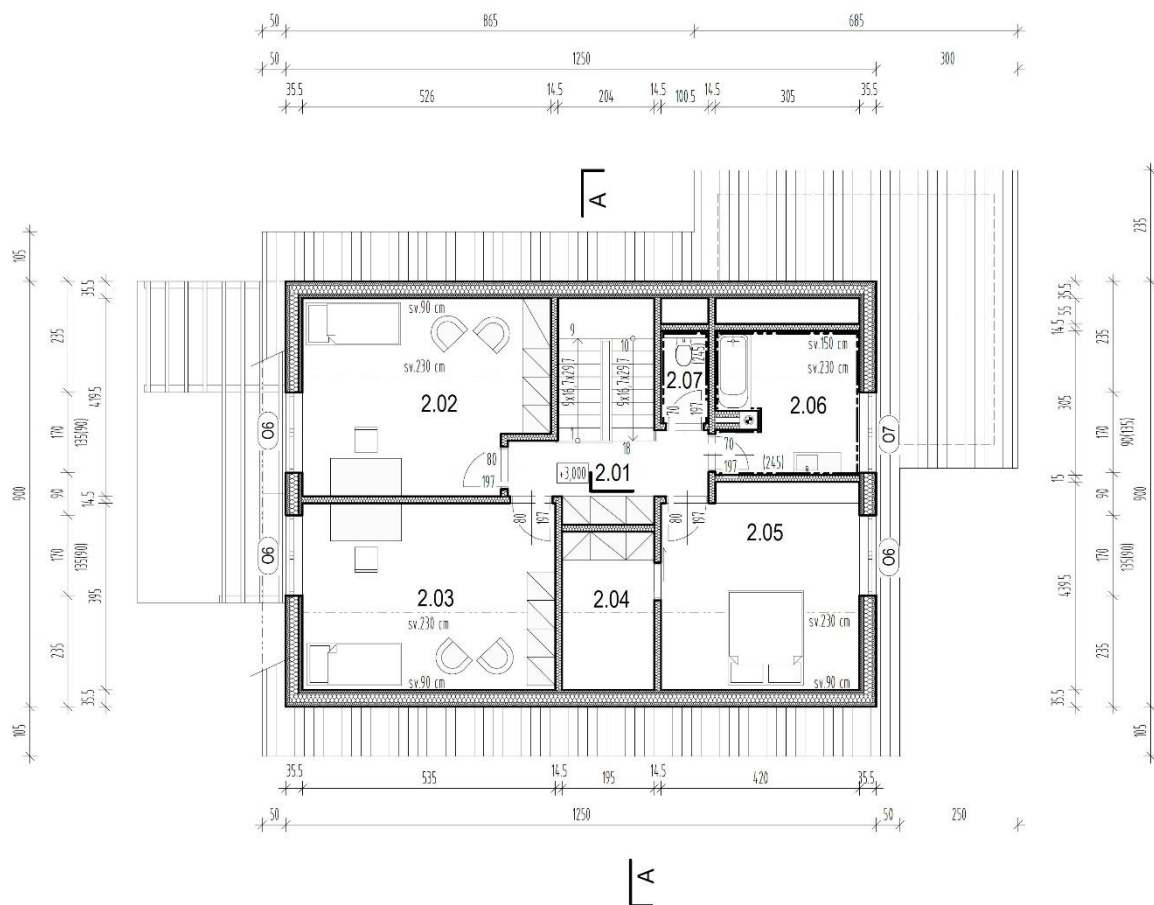
6.2 Popis a označení místností v 1NP měřeného objektu



Obr. 3: Uspořádání půdorysu v 1NP měřeného objektu

Číslo místnosti	Název místnosti	Podlahová plocha [m ²]	Objem místnosti [m ³]
1.01	Zádveří	6,80	17,55
1.02	Hala se schodištěm	11,62	29,98
1.03	Obývací pokoj s kuchyní	42,51	109,68
1.04	Komora	2,14	5,52
1.05	Ložnice	14,24	36,74
1.06	WC	5,17	13,34
1.07	Chodba	3,81	9,83
1.08	Kotelna	12,17	31,40
1.09	Technická místnost	10,72	27,66

6.3 Popis a označení místností v 2NP měřeného objektu



Obr. 4: Půdorys 2NP měřeného objektu

Číslo místnosti	Název místnosti	Podlahová plocha [m ²]	Objem místnosti [m ³]
2.01	Chodba	6,44	15,75
2.02	Pokoj	20,69	46,11
2.03	Pokoj	21,15	49,51
2.04	Šatna	6,54	12,73
2.05	Ložnice	17,98	38,87
2.06	Koupelna	8,94	21,41
2.07	WC	1,81	4,13

6.4 Popis použitých dřevěných otvorových výplní v měřené stavbě

Pro měření byl vybrán objekt rodinného domu - dokončené stavby na bázi dřeva s osazenými dřevěnými jednoduchými otvorovými výplněmi typu EURO IV-92.

6.5 Měření průvzdušnosti budovy

Měření průvzdušnosti předmětné budovy bylo provedeno podle akreditovaného postupu Zkušebny STV Zlín metodou podle normy ČSN EN ISO 9972:2017 – Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda.

Zkouška byla provedena nejprve pro nastavení kování při 0% dotažení kování. Po provedení první zkoušky přetlakem a podtlakem bylo provedeno dotažení kování na standardní nastavení 50% a znovu provedena přetlaková i podtlaková zkouška. Následně byla zkouška při nastavení kování na 100%, tj. maximální přítlak křídla do rámu.

6.6 Fotodokumentace průběhu zkoušky průvzdušnosti

V průběhu měření průvzdušnosti konkrétního objektu byla pořízena následující fotografická dokumentace.



Obr. 5: Osazení měřícího zařízení (BLOWERDOOR) v měřené stavbě



Obr. 6: Nastavení polohy kování na přítlak 0%



Obr. 7: Neutrální nastavení polohy kování na přítlak 50%



Obr. 8: Nastavení polohy kování na přítlak 100%

6.7 Závěr z provedeného měření

Jak vyplývá z výše uvedených výsledků zkoušek provedeného měření, jsou patrné určité rozdíly zjištěné průvzdušnosti budovy v závislosti na stupni dotažení celoobvodového kování na použitých dřevěných oknech. Jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3 : Zjištěné hodnoty intenzity výměny vzduchu n_{50} v měřené budově

Stupeň dotažení kování oken	Zjištěné hodnoty n_{50} [1/h]		Průměrná hodnota n_{50} [1/h]
	Přetlak	Podtlak	
0 %	0,52	0,52	0,52
50 %	0,47	0,50	0,49
100 %	0,45	0,50	0,47

Vzhledem ke skutečnosti, že na měřené stavbě byla použita dřevěná okna, která již při laboratorních zkouškách průvzdušnosti při 50% dotažení kování vykazovala vysokou míru těsnosti, nachází se naměřené výsledky celkové průvzdušnosti budovy měřené stavby s malými rozdíly hodnot n_{50} .

Na základě provedených experimentálních měření lze konstatovat, že změna nastavení stupně dotažení celoobvodového kování u jednoduchých typů oken dřevěných a plastových může mít vliv na celkovou průvzdušnost stavby, a tím na její celkovou energetickou bilanci.

Při následných výpočtech tepelné stability konkrétní dřevěné stavby byly pro zimní období zohledněny tři hodnoty průvzdušnosti budovy n_{50} , a to $n_h = 0,3 \text{ h}^{-1}$, $n_h = 0,5 \text{ h}^{-1}$ a hodnotou $n_h = 0,8 \text{ h}^{-1}$. Výpočtovou metodou jsem tak odhadoval, jaká bude spotřeba energie domu na procentuálním stupni dotažení použitého celoobvodového kování. Kombinací parametrů nastavení výměny vzduchu pro zimní a letní období $n_{h,z} = 0,3 \text{ h}^{-1}$, $n_{h,z} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ a hodnotou $n_{h,z} = 0,8 \text{ h}^{-1}$ a současném nastavení parametru výměny vzduchu pro letní období $n_{h,l} = 0,8 \text{ h}^{-1}$, 1,2 a 1,8 h^{-1} jsem zjistil teplotní parametry vnitřního vzduchu v jednotlivých místnostech objektu, kterou lze využít jako kritérium pro hodnocení letní tepelné ochrany budovy. Výsledky výpočtových simulací umožňují odhadnout celkovou spotřebu energie na vytápění v zimním období vzhledem k úrovni výměny vzduchu v místnostech a také teplotu nejvyššího denního vzestupu vzduchu v letním období.

6.8 Výpočtový program SIM_Stabil

Ve spolupráci se školitelem byl na základě výše uvedené analýzy využit výpočtový program *SIM_Stabil* umožňující simulaci průběhu teploty v místnostech a spotřebu tepla v budovách.

Program byl zpracován na základě matematického modelu tepelného systému budovy a je možno v něm simulovat budovy s definovanými provozními podmínkami, které se liší v závislosti podle denní nebo roční doby. Tento výpočtový program je využitelný jako podpora při navrhování staveb, pro srovnání navrhovaných konstrukčních systémů a jejich alternativních změn ve vztahu ke spotřebě energií a tepelných vazeb ve vnitřním prostředí. Z pohledu analýzy je tento program také využitelný pro studie různých parametrů, jako například materiálový návrh stavby, vliv slunečního záření, vliv velikosti a orientace otvorových výplní ve vztahu k jejich fyzikálním a tepelným vlastnostem.

Simulační program *SIM_Stabil* je využitelný pro modelování nestacionárních tepelných toků a je možno jej také použít pro hodnocení konkrétního stavebního objektu s ohledem na roční spotřeby energie potřebné pro zajištění stanovené nebo požadované vnitřní teploty. V prostředí programu je možno také počítat s tepelnými ztrátami prostupem konstrukcemi obálky budovy, při působení vlivu oslunění, osvětlením, větráním apod.

6.9 Výpočty vlivu spárové průvzdušnosti

Výpočtový objekt tvoří dřevostavba, jejíž popis je uveden v příloze A disertační práce. Struktura vstupního popisného souboru dat je uvedena v příloze B, která obsahuje všechny potřebné parametry o geometrickém uspořádání stavby a materiálových vlastnostech k realizaci výpočtu programem *SIM_Stabil*.

Pro zadání výpočtu byly zvoleny výpočtové hodnoty průvzdušnosti n_h běžně užívané u pasivních staveb, a to pro zimní období $n_{h,z} \in \{ 0,3; 0,5; 0,8 \} \text{ h}^{-1}$, pro letní období $n_{h,l} \in \{ 0,8; 1,2; 1,8 \} \text{ h}^{-1}$.

Grafické závislosti průběhu teploty v místnostech a spotřeby energie na vytápění jsou uvedeny na obrázku 9 pro $n_{h,z} = 0,8 \text{ h}^{-1}$ a $n_{h,l} = 0,8 \text{ h}^{-1}$, pro změnu hodnoty $n_{h,l}$ při různém stupni dotažení kování na obrázku 10 - 12 pro $n_{h,z} = 0,8 \text{ h}^{-1}$, $n_{h,l} = 1,2 \text{ h}^{-1}$ a $n_{h,l} = 1,8 \text{ h}^{-1}$.

Zjištěné hodnoty průvzdušnosti zjištěné měřením metodou Blower Door byly přepočteny pro jednotlivé místnosti podle skutečného průtoku vzduchu nastavením míry dotažení kování okna a objemu vnitřního vzduchu v místnosti. Přehled hodnot $n_{h,z}$ je po přepočtu uveden v tabulce 5.

Tab. 4 : Přehled hodnot průvzdušnosti podle nastavení míry dotažení kování

Míra dotažení kování okna	Průvzdušnost spáry (m ³ /hod na 1 bm spáry)
0%	4,382
50%	4,028
100%	3,887

Tab. 5 : Přehled hodnot $n_{h,z}$ podle míry dotěsnění oken

	$n_{h,z}$ (h^{-1}) podle stupně dotažení kování oken			označení místnosti dle PD	vnitřní objem místnosti (m^3)	označení okna/dveře	délka okenní / dveřní spáry (m)
	0%	50%	100%				
1-zadveří	1,49	1,37	1,33	1.01	17,6	D1	6
2-hala	0,28	0,26	0,25	1.02	45,7	O2	2,9
3-obývací pokoj	0,98	0,90	0,87	1.03	109,7	O HS P	24,6
4-komora	2,39	2,20	2,12	1.04	5,5	O5	3
5-ložnice	0,69	0,63	0,61	1.05	36,8	O1	5,8
6-koupelna	0,99	0,91	0,88	1.06	13,3	O3	3
7-chodba	2,68	2,47	2,38	1.07	9,8	D1	6
8-kotelna	0,30	0,27	0,26	1.08	59,1	O4	4
9-TN	0,63	0,58	0,56		27,8	O4+D2	4
10-pokoj	0,51	0,47	0,46	2.02	46,1	O6	5,4
11-pokoj	0,48	0,44	0,42	2.03	49,5	O6	5,4
12-šatna	0,00	0,00	0,00	2.04	12,7		
13-ložnice	0,61	0,56	0,54	2.05	38,9	O6	5,4
14-koupelna	0,92	0,85	0,82	2.06	21,4	O7	4,5
15-WC	0,00	0,00	0,00	2.07	4,2		
16-pudní prostor	0,00	0,00	0,00		42,5		

Jednotlivé hodnoty n_h přepočtené na 1 bm funkční dveřní nebo okenní spáry uvádí průvzdušnost ve vztahu na její délku a jsou uvedeny v tabulce 4 vzhledem k nastavené míře stupně dotažení kování.

Grafické závislosti průběhu teploty v místnostech a spotřeby energie na vytápění pro nastavení dotažení kování na 0% a při $n_{h,1} = 0,8 \text{ h}^{-1}$, pro nastavení dotažení kování na 50% a při $n_{h,1} = 0,8 \text{ h}^{-1}$ a pro nastavení dotažení kování na 100% a při $n_{h,1} = 0,8 \text{ h}^{-1}$ jsou uvedeny na obrázcích 10, 11 a 12.

6.10 Poznátky z výpočtového modelování tepelné náročnosti budovy a nejvyššího denního vzestupu teploty v místnosti

Podle grafických závislostí jsou oba posuzované výpočtové parametry o spotřebě tepla na vytápění a nejvyšší teplota vzduchu v místnostech v letním období závislé na míře výměny vzduchu $n_{h,z}$ a $n_{h,l}$. Přehled výpočtových veličin je souhrnně uveden v tabulce 6.

Tab. 6 : Přehled výpočtových hodnot programem *SIM_Stabil* posuzované dřevostavby

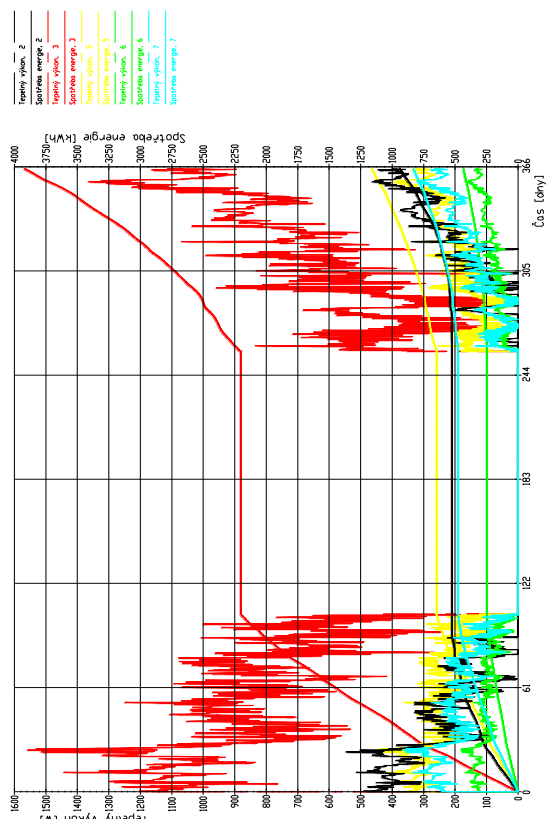
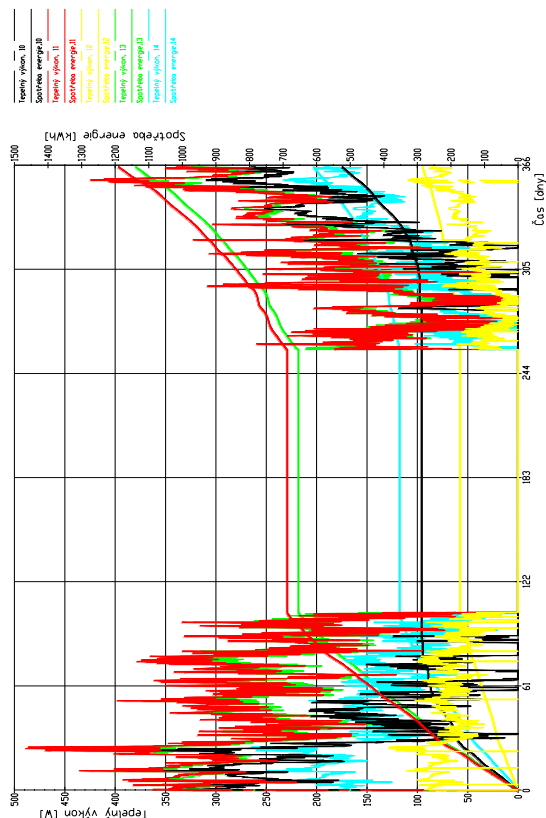
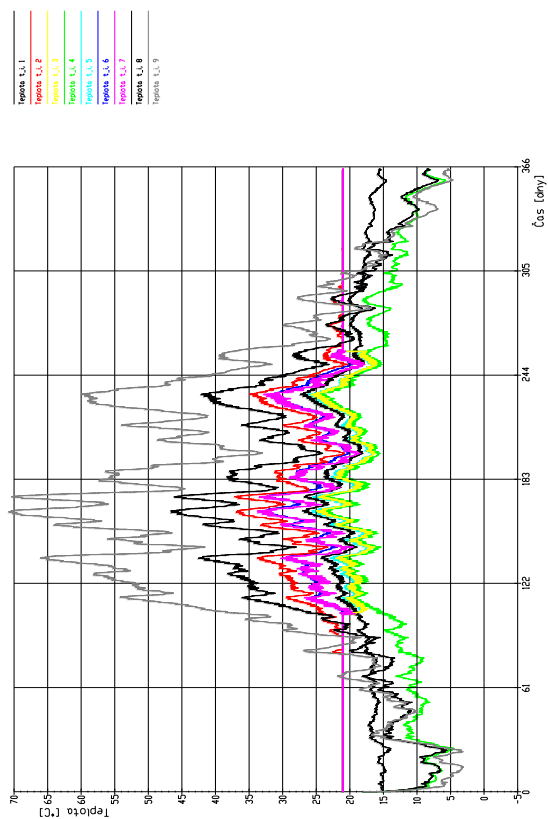
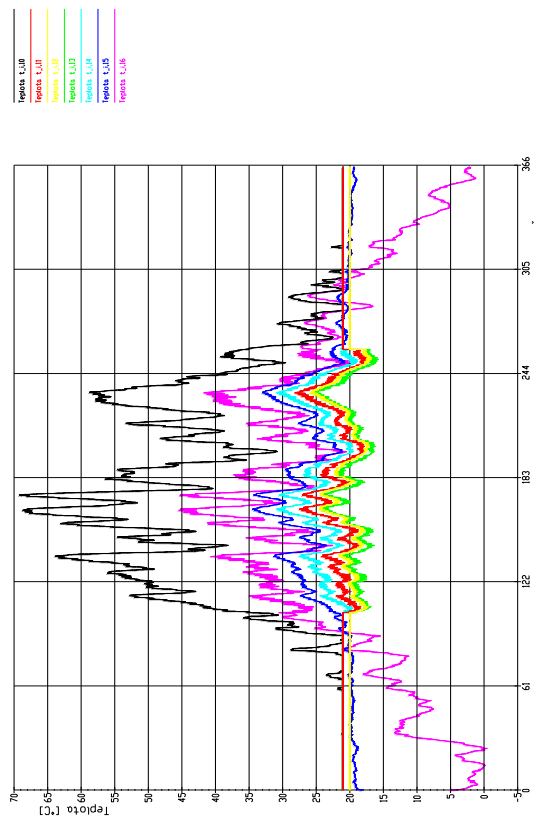
$n_{h,z}$ (h ⁻¹)	$n_{h,l}$ (h ⁻¹)	spotřeba tepla (kWh/rok)	nejvyšší letní teplota (°C)
0,3	0,8	5794,1	71
0,5	0,8	7902,7	71
0,8	0,8	11027,8	71
0,8	1,2	11041,5	64
0,8	1,8	11050,2	57
0 %	0,8	10412,3	71
50 %	0,8	9801,8	71
100 %	0,8	9566,2	71

Pro zimní období použité výpočtové parametry $n_{h,z}$ je patrné, že se zvyšující hodnotou výměny vzduchu v místnostech se zvyšuje výpočtová spotřeba tepelné energie na udržení zadaných vnitřních mikroklimatických podmínek. Výměna vzduchu v místnostech představuje velmi citlivý parametr ovlivňující spotřebu energie. Pro zachování hygienického požadavku vnitřního prostředí staveb se požaduje hodnota $n_{h,z}$ v oblasti spodní přípustné hranice výměny vzduchu 0,3 h⁻¹, která souvisí s požadavky pasivního stavitelství. U nízkoenergetických staveb bývá hodnota $n_{h,z}$ vyšší, v rámci projektových návrhů se volí v okolí $n_{h,z} \cong 0,5$ h⁻¹.

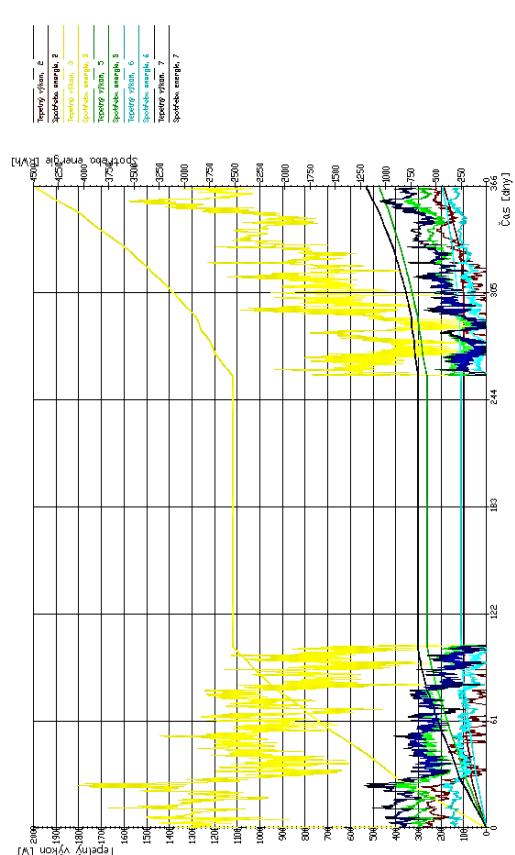
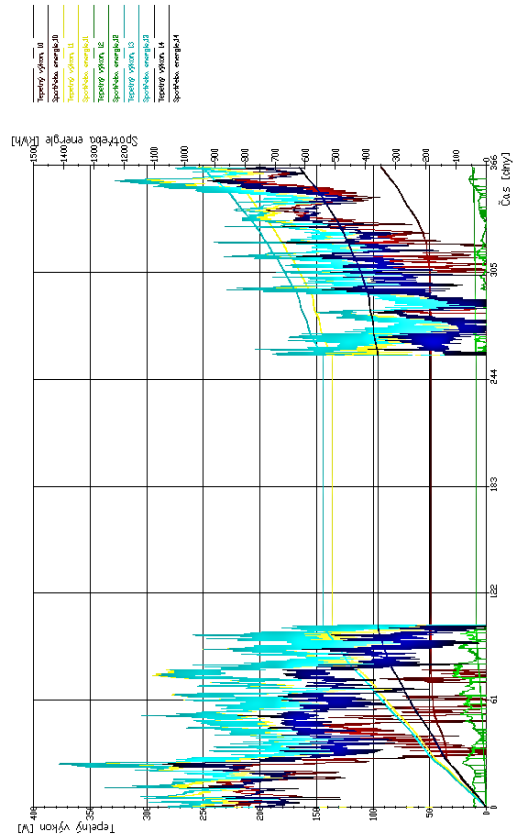
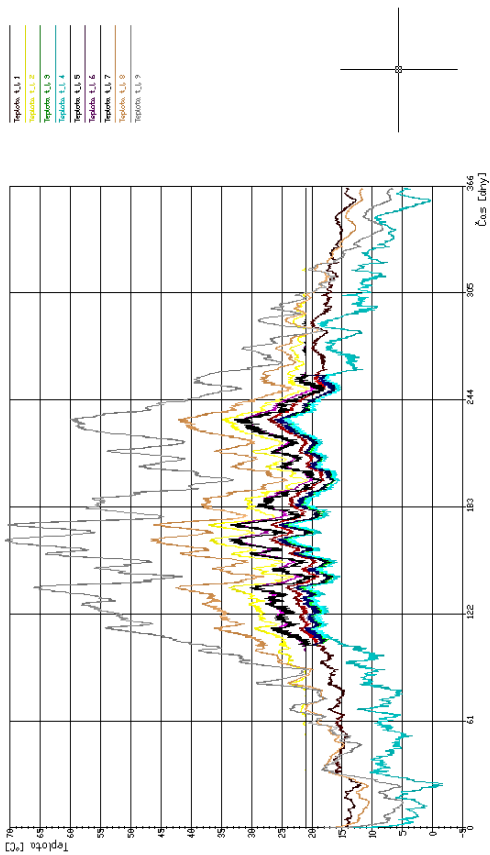
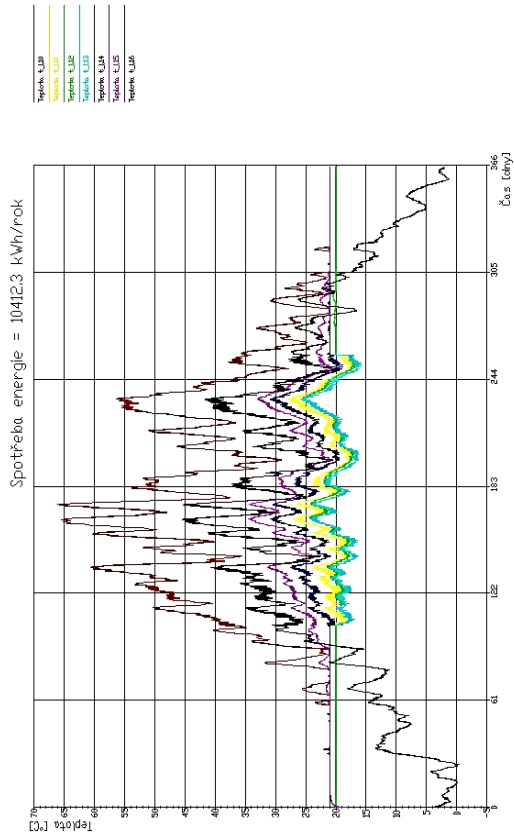
Z hlediska letní tepelné ochrany budov se ukazuje, že pro dosažení přípustných hodnot nejvyššího denního vzestupu teploty v místnosti bude potřebné upravit míru výměny vzduchu na vyšší hodnoty. V tom případě bude potřebné výměnu vzduchu upravit větráním okny. Extrémní tepelné zisky vycházející z oslunění místností orientované jižním a západním směrem bude potřebné eliminovat vhodným zastíněním oken například pergolou. V provedeném výpočtovém posouzení nejsou provedena žádná opatření zastínění oken, proto výpočtově vnitřní teploty dosahují teplotní úrovně až okolo +70°C.

Z přehledu výpočtových hodnot uvedené v tabulce 6 je patrné, že skutečná míra dotažení kování rovněž ovlivňuje spotřebu tepla na vytápění. Z provedeného měření vyplývá, že pro běžné hodnoty dotažení kování (50%) vychází spotřeba energie na vytápění úrovně, jež koresponduje s mírou výměny vzduchu v rozmezí $n_{h,z} \in (0,5; 0,8)$ h⁻¹. V zimním období lze tedy běžným uživatelským nastavením celoobvodového kování za běžných podmínek dosáhnout v místnostech výměny vzduchu splňující obvyklé hodnoty.

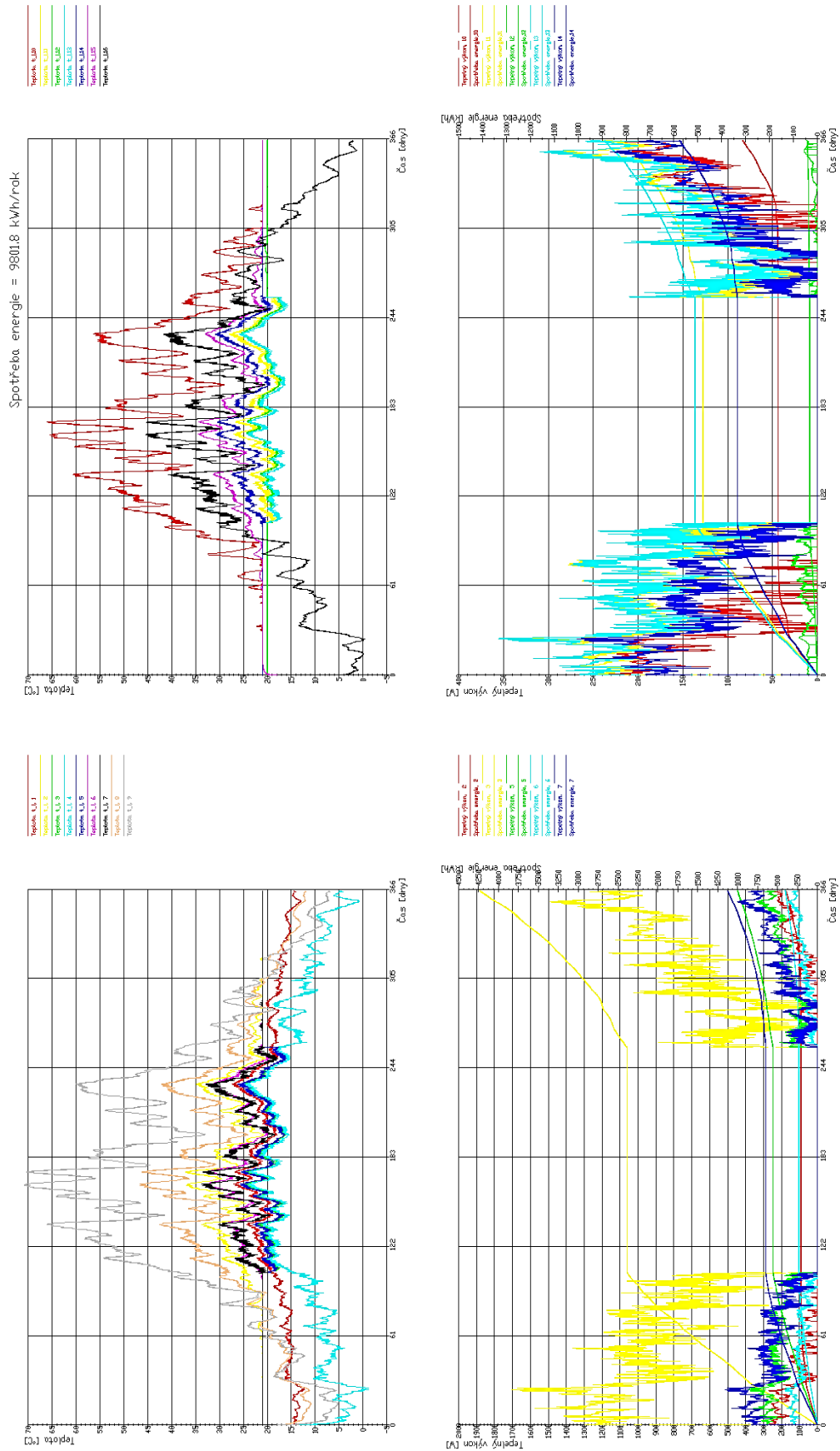
Spotřeba energie = 11027,8 kWh/rok



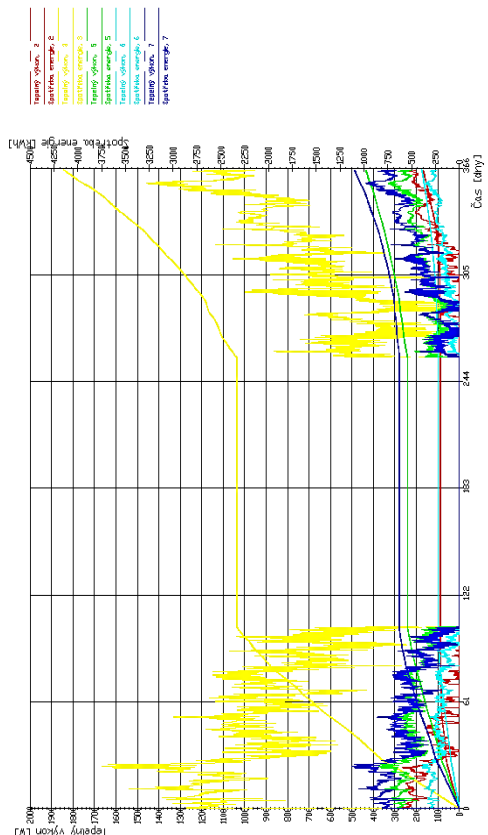
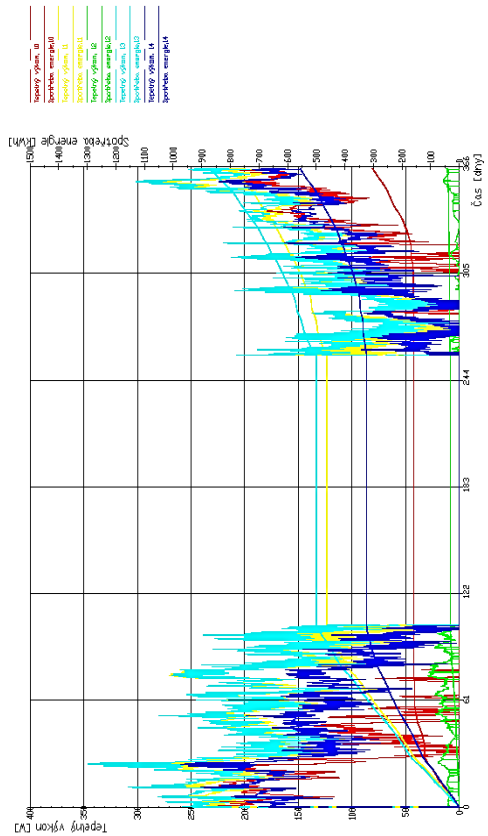
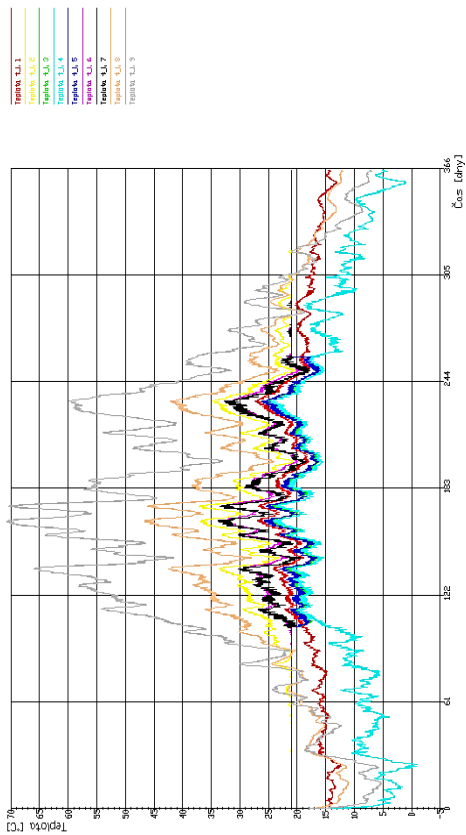
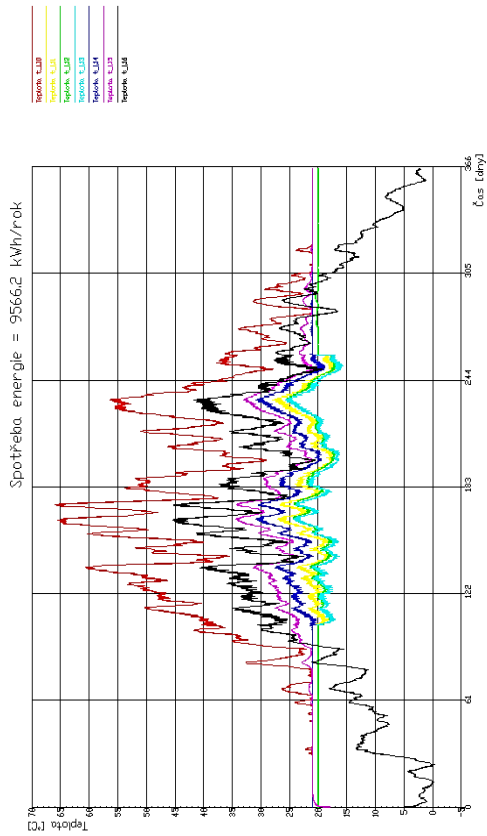
Obr. 9: Výpočtový průběh teploty vzduchu, potřebného tepelného výkonu a spotřeby energie v místnostech objektu dřevostavby pro $n_{h,z} = 0,8 \text{ h}^{-1}$ a $n_{h,l} = 0,8 \text{ h}^{-1}$



Obr. 10: Výpočtový průběh teploty vzduchu, potřebného tepelného výkonu a spotřeby energie v místnostech objektu dřevostavby pro nastavené dotažení kování na 0% a $n_{h,1} = 0,8 \text{ h}^{-1}$



Obr. 11: Výpočtový průběh teploty vzduchu, potřebného tepelného výkonu a spotřeby energie v místnostech objektu dřevostavby pro nastavené dotažení kování na 50% a $n_{h,1} = 0,8 \text{ h}^{-1}$



Obr. 12: Výpočtový průběh teploty vzduchu, potřebného tepelného výkonu a spotřeby energie v místnostech objektu dřevostavby pro nastavené dotažení kování na 100% a $n_{h,1} = 0,8 \text{ h}^{-1}$

7 Dosažené poznatky, přínos práce pro praxi

Práce se zaměřuje na problematiku celkové průvzdušnosti konkrétní dřevěné stavby ve vztahu k tepelné a energetické bilanci při použití dřevěných otvorových výplní s různým stupněm dotažení celoobvodového kování. Pozornost je věnována jak samotným otvorovým výplním z hlediska jejich průvzdušnosti, tak průvzdušnosti stavby a výměně vzduchu posuzované stavby v jednotlivých místnostech.

Výsledky laboratorní zkoušky průvzdušnosti vybraných typů okenních konstrukcí při definovaném stupni dotažení celoobvodového kování prokázaly, že stupeň dotažení kování může výrazným způsobem ovlivnit průvzdušnost celého okna, a tím i celkovou průvzdušnost obálky budovy. Změnou průvzdušnosti obálky tak dochází k různým výsledkům tepelné, resp. energetické bilance.

Měření průvzdušnosti konkrétního objektu prokázalo, že změnou nastavení kování z 50% na 0% došlo k mírnému zvýšení průvzdušnosti budovy. V případě, že by u této konkrétní stavby byla použita okna jiného typu, například jednoduchá plastová nebo méně těsná dřevěná okna, zvýšení průvzdušnosti celého objektu by bylo výrazně vyšší než při použití stávajících velmi těsných dřevěných oken.

Na základě provedených zjištění by bylo vhodné navrhnout doplnění zkušební normy o jednotné nastavení stupně dotažení kování tak, aby výsledné změřené hodnoty byly porovnatelné a bylo tak zajištěno, že budovy jsou reálně klasifikované do příslušné třídy a úrovně v návaznosti na změřenou hodnotu výměny vzduchu n_h .

Energetický stav konkrétního měřeného a posuzovaného objektu byl proveden pomocí simulačního programu na principu nestacionárního tepelného proudění budovou *SIM_Stabil*. Přestože jsou v platné technické legislativě k dispozici závazné postupy pro stanovení energetické náročnosti budov a vyčíslení tepelných ztrát běžně užívaných budov, tyto postupy nebyly využity, protože využívají pouze zjednodušeného stacionárního předpokladu o tepelném šíření.

Výpočtový simulační program využívá k řešení Crank-Nicolsonovy metody s maticovým řešením diskrétního časového kroku řešené úlohy v závislosti na dlouhodobé sledování tepelných procesů. Simulační program také umožňuje započítat tepelné účinky výměny vzduchu, vnitřní tepelné zdroje, nestacionární šíření tepla ve stavebních konstrukcích, účinky oslunění budovy podle časově závislé polohy Slunce na obloze. Roční spotřeba energie je stanovena s ohledem na reálný průběh zatížení objektu vlivem slunečního záření se zahrnutím vlivu denní dráhy Slunce v průběhu celého roku.

Pro provedení výpočtových simulací tepelného chování konkrétního posuzovaného objektu byl program *SIM_Stabil* použit pro zjištění spotřeby roční energie objektu v závislosti na nastavení dílčích parametrů průvzdušnosti v závislosti na stupni dotažení kování otvorových výplní a se zahrnutím vlivu oslunění. Výpočtem se prokázalo, že největší vliv na energetickou spotřebu objektu má změna intenzity výměny vnitřního vzduchu otvorovými výplněmi. Podle tohoto parametru se ukazuje, že intenzitu větrání konkrétního objektu je potřebné udržovat na různých úrovních v závislosti na ročním období.

Geometrická charakteristika objektu se popisuje podle technických normativů pomocí poměru A/V , tedy povrchu plochy obálky objektu a vnitřního obestavěného prostoru. Ověřovací výpočty byly prováděny pro dřevostavbu s konkrétními okenními konstrukcemi, kde rozdělení prostoru bylo uvedeno co nejbližší reálným poměrům.

Disertační práce má svým zaměřením podpořit současné trendy ve stavebnictví, a to především snahou o ekologický přístup k životnímu prostředí a nastíněním dalších možných způsobů šetření energiemi při využití zjištěných poznatků pro optimální návrh uspořádání staveb. Jde rovněž o zajištění dlouhodobé funkční spolehlivosti samotného objektu i vnitřního zařízení.

Je zřejmé, že problematika energetické náročnosti stavebních objektů je zvláště citlivým společenským tématem.

8 Závěr

Cílem této práce je navázat na současnou úroveň poznatků hodnocení energetické náročnosti stavebních objektů vzhledem k vlastnostem použitých výplňových konstrukcí oken a dveří, zejména jejich průvzdušnosti, se zaměřením na bytové objekty s požadovanou vnitřní teplotou udržovanou v zimním období na konstantní teplotě odpovídající podmínkám tepelné pohody vnitřního prostředí a v letním období hodnocené podle nejvyššího denního vzestupu teploty vzduchu v místnostech. Objekty rodinných domů jsou provozované celoročně, u nichž vnitřní klima je ovlivněno klimatickými podmínkami zimního a letního období.

Podle různých autorů se ukazuje, že platí závislost mezi hodnocením roku výstavby na hodnotu vzduchové průvzdušnosti n_h . Přestože výsledky regresní analýzy prokazují jen nízký stupeň závislosti (bez vlivu na použitý konstrukční systém dřevostavby), poznatek se opírá o trend hodnot vzduchové průvzdušnosti v jednotlivých letech. V kategorii pasivních domů je trend mírně stoupající a největšího zlepšení hodnot vzduchové průvzdušnosti dosahují budovy s přirozeným větráním. Tento trend tak potvrzuje na předpoklad zlepšování utěsnění celého domu.

Pozornost byla soustředěna na tepelné procesy v objektu vybrané dřevostavby, kde bylo provedeno rozsáhlé měření vzduchové průvzdušnosti metodikou podle ČSN EN ISO 9972 s použitím zařízení pro metodu Blower-door s různým nastavením stupně dotažení kování oken. Ukazuje se, že právě míra dotažení kování oken může sehrávat významnou roli pro velikost výměny vzduchu ve stavbě. Předmětem posouzení byla jednak výpočtová spotřeba tepla na vytápění v zimním období a teplota nejvyššího denního vzestupu v místnosti při oslunění. V tomto případě jde sice o porovnání výsledků získaných výpočtovou simulací, které nemusí zcela korespondovat s reálnými výsledky z měření in situ, avšak v rámci těchto simulací se projeví trend sledovaných parametrů.

Podle zjištěných výsledků měření lze prokázat, že konkrétní úroveň výměny vzduchu v dané místnosti je závislá na použitém typu okna, jeho velikosti a stupně dotažení kování okna. I když se při běžných výpočtech posuzování energetické náročnosti budov využívá hodnoty výměny vzduchu $n_h = 0,5 \text{ h}^{-1}$, bylo zjištěno, že skutečná míra výměny vzduchu nabývá vyšší hodnoty a rovněž závisí na míře dotažení kování okna. Takto zjištěné skutečné hodnoty výměny vzduchu mohou navýšit úroveň předpokládané spotřeby tepla na vytápění oproti projektovým předpokladům.

V letním období se normativní požadavek na vnitřní klima v obytných místnostech opírá o zásady letní tepelné ochrany budov vzhledem k nejvyšší teplotě vzduchu v místnosti. Uvedený požadavek naopak implikuje potřebu vysoké míry výměny vzduchu tak, aby bylo dosaženo přijatelného zvýšení teploty v místnosti. To může být zajištěno pouze intenzivní výměnou vzduchu větráním otevřenými okny nebo odstíněním slunečních paprsků pronikajících okny do místnosti. Tento požadavek však nelze zajistit ani ovlivnit nastavením úrovně stupně dotažení kování okna.

V publikacích souvisejících s energetickou náročností budov a větráním v budovách nejsou konkrétní informace zcela běžně dostupné, neboť jde o konkrétní zjištění stavu parametrů o budovách, které představují citlivé údaje, které majitelé objektů ochotni obvykle ochotni zveřejnit. Je zřejmé, že jde o náklady, které se reálně projeví až ve výsledných fakturacích.

Objekty rodinných domů dostavěné v posledním období obvykle nemají větší měrnou energetickou spotřebu než kterýkoliv jiný běžně vytápěný či klimatizovaný objekt. Z hlediska udržitelného trendu ve výstavbě objektů je potřebné se zabývat tímto parametrem, neboť na jediném objektu lze ovlivnit spotřebu energie v desítkách procent, a to jak úsporou tepla na vytápění, tak i množstvím emisí sledovaného CO₂.

9 Seznam použité literatury

- [1] Polášek, M., Sláčík, P., Zapletal, M., Mitáček, P., Ajdarów, M.: *A7 – Navrhování výplní otvorů budov dle principů trvale udržitelné výstavby*. Projekt EdUR – Edukace udržitelného rozvoje CZ.1.07/3.2.04/02.0024. Národní stavební centrum s.r.o., Brno 2012, 80 s., ISBN: 978-80-87665-06-0 [Skripta v elektronické podobě]
- [2] Haupt, W., *Zur Simulation von auftriebsinduzierten Innenraumströmungen*, Dissertation Universität Kassel, 2001
- [3] Mrlík, F., *Vlhkostné problémy stavebných konstrukcí*, ALFA/SNTL 1984 7
- [4] Stříbrná, E. *Zelená kniha o PVC*. Dostupné na <http://www.mzp.cz> (cit. 06/2018)
- [5] Halahyja, M., *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie*, Alfa 1985, ISBN 80-88905-04-4
- [6] Fotoarchiv zkoušených vzorků. Zkušebna STV Zlín, 2019
- [7] ČSN EN 1026. Okna a dveře - Průvzdušnost - Zkušební metoda. UNMZ Praha 2017
- [8] ČSN EN 1027. Okna a dveře - Vodotěsnost - Zkušební metoda. UNMZ Praha 2017
- [9] ČSN EN 12211. Okna a dveře - Odolnost proti zatížení větrem - Zkušební metoda. UNMZ Praha 2017
- [10] Katalog Winkhaus – návod na údržbu a použití, Grodig Rakousko, 2011
- [11] TYWONIAK, J. at all. *Nízkoenergetické domy 2*. Praha: Grada Publishing, 2008. 204 s., ISBN 978-80-247-2061-6
- [12] Höptner, S., *Messungen zum Lüftungs- und wärmetechnischen Verhalten an Raumlüftungsgeräten und in Räumen*, Diplomarbeit Universität Siegen, Fachbereich Physik, 2001

Anotace

Disertační práce je primárně zaměřena na analýzu vlastností výplní otvorových konstrukcí vzhledem k infiltraci ve stavbách, konkrétně vztaženo k průvzdušnosti otvorových výplní a průvzdušnosti staveb. Hlavním cílem práce je zjistit, jak může být ovlivněna celková průvzdušnost stavby v návaznosti na použité otvorové výplně a jejich vlastnosti, týkající se konkrétně průvzdušnosti při stanoveném stupni dotažení použitého celoobvodového kování. V návaznosti na celkovou průvzdušnost stavby bude proveden výpočet energetické bilance konkrétní stavby v součinnosti na zjištěné výsledky průvzdušnosti stavby při definovaném stupni dotažení celoobvodového kování v úrovních 0%, 50% a 100%. Zjištěné výsledky zkoušek a měření budou promítnuty do konkrétního výpočtu energetické bilance posuzované stavby formou numerické simulace.

Klíčová slova: otvorové výplně, infiltrace, celoobvodové kování, energetická bilance.

Annotation

The dissertation thesis is primarily focused on the analysis of the properties of openings constructions with respect to infiltration in constructions, specifically related to the permeability of opening fillings and the permeability of buildings. The main aim of this work is to find out how the overall air permeability of a building can be influenced in relation to the openings and their properties, which are related specifically to the air permeability at the specified tightening degree of the used all-round fitting. In relation to the overall air permeability of the building, the energy balance of a particular building will be calculated in cooperation with the determined results of the air permeability of the building at a defined degree of tightening of used all-round fitting at levels 0%, 50% and 100%. The results of tests and measurements will be reflected in a concrete calculation of the energy balance of the assessed building in the form of numerical simulation.

Key words: openings, infiltration, all-round fittings, energy balance.

Curriculum Vitae

Příjmení, Jméno	Zapletal Miroslav				
Adresa	Mrlínek 71, 768 61				
Telefon		Mobilní telefon: +420-606 056 342			
E-mail	mira.zapletal@zstv.cz				
Státní příslušnost	Česká republika				
Datum narození	19. ledna 1975				
Pohlaví	muž				
Požadované zaměstnání / profese	student doktorského studia v kombinované formě Stavební fakulty VUT v Brně				
Pracovní zkušenosti	1998 – 2002, inženýrsko technický pracovník, MZLU v Brně - Zkušebna stavebně truhlářských výrobků Zlín;				
Období	2002 – 2012, zástupce vedoucího AZL, manažer kvality, MZLU v Brně - Zkušebna stavebně truhlářských výrobků Zlín;				
	2012 – 2019 vedoucí pracoviště, MENDELU v Brně - Zkušebna stavebně truhlářských výrobků Zlín;				
	2019 – doposud – vedoucí pracoviště Zkušebny nábytku MENDELU v Brně;				
	2019 – doposud – certifikace a posuzování shody stavebně truhlářských výrobků, MENDELU v Brně - Zkušebna stavebně truhlářských výrobků Zlín;				
Povolání nebo vykonávané funkce	Manažer jakosti - MENDELU v Brně - Zkušebna stavebně truhlářských výrobků a nábytku.				
Hlavní pracovní náplň	certifikace a posuzování shody stavebně truhlářských výrobků, výuka studentů, konzultace, výzkum, školení, technická měření, programování.				
Název/jméno a adresa zaměstnavatele	MENDELU v Brně, Zemědělská 1, 61300 Brno – Zkušebna stavebně truhlářských výrobků ve Zlíně				
Obor činnosti či odvětví	Zkušebnictví, posuzování shody, certifikace požárních uzávěrů.				
Vzdělání, odborná příprava a školení					
Období	1993 – 1998 VŠ studium - Obor Dřevařské inženýrství, Lesnická a dřevařská fakulta, MZLU v Brně,				
Dosažená kvalifikace	Vysokoškolské vzdělání				
Hlavní předměty / profesní dovednosti	Zkoušení a posuzování stavebně truhlářských výrobků a nábytku Certifikace a posuzování shody požárních uzávěrů				
Název a typ organizace, která poskytla vzdělání, odbornou přípravu či kurz	Mendelova univerzita v Brně, fakulta lesnická a dřevařská				
Mateřský jazyk(y)	čeština				
Jiný jazyk(y)	angličtina				
Sebehodnocení					
<i>Evropská úroveň (*)</i>					
Jazyk					
	Porozumění		Mluvení		Psaní
	Poslech	Čtení	Ústní interakce	Ústní projev	
	Angličtina	Angličtina	Angličtina	Angličtina	Angličtina
Organizační schopnosti a dovednosti	manažer kvality a zástupce vedoucího akreditované zkušební laboratoře, vedoucí Zkušebny nábytku				
Technické znalosti a dovednosti	problematika stavebně truhlářských výrobků a nábytku, dřevařské technologie, certifikace a posuzování shody.				
Počítačové znalosti	MS office.				
Další schopnosti, dovednosti	Sport – amatér, soukromé studium jazyků.				
Řidičský průkaz	A, B, C, T				

Přehled publikační činnosti za dobu studia

1. DÖMÉNY, J. -- KOIŠ, V. -- ZAPLETAL, M. Application of Microwave Treatment for the Plasticisation of Beech Wood (*Fagus sylvatica* L.) and its Densification for Flooring System Purposes. *BioResources*. 2014. sv. 9, č. 4, s. 7519--7528. ISSN 1930-2126.
2. Polášek, M., Sláčík, P., Zapletal, M., Mitáček, P., Ajdarów, M.: A7 – Navrhování výplní otvorů budov dle principů trvale udržitelné výstavby. Projekt EdUR – Edukace udržitelného rozvoje CZ.1.07/3.2.04/02.0024. Národní stavební centrum s.r.o., Brno 2012, 80 s., ISBN: 978-80-87665-06-0 [Skripta v elektronické podobě];
3. Polášek, M., Sláčík, P., Mitáček, P., Zapletal, M., Ajdarów, M.: B4 – Zásady provádění výplní otvorů při realizaci budov dle principů trvale udržitelné výstavby. Projekt EdUR – Edukace udržitelného rozvoje CZ.1.07/3.2.04/02.0024. Národní stavební centrum s.r.o., Brno 2012, 84 s., ISBN: 978-80-87665-24-4 [Skripta v elektronické podobě];
4. Zapletal, M., Sláčík, P.: Klasifikační třídy zkoušených vlastností oken a vchodových dveří a využitelnost klasifikace pro použití v praxi. Internetový portál: www.tzb-info.cz (datum vydání příspěvku: 25.03.2013 / Autor Ing. Miroslav Zapletal, Ing. Petr Sláčík, Zkušebna stavebně truhlářských výrobků, Lesnická a dřevařská fakulta, Mendelova univerzita v Brně / Recenzent: Ing. Roman Šubrt, VŠTE České Budějovice). ISSN 1801-4399;
5. Zapletal, M., Sláčík, P.: Project InWood "Vytvoření mezinárodního vědecko-výzkumného týmu pro vývoj nových materiálů na bázi dřeva", č. CZ.1.07/2.3.00/20.0269, spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky, 2007-2013.
6. Zapletal, M., Mitáček, P.: Certifikace v oblasti nábytkářské a stavebně truhlářské výroby. In TESAŘOVÁ, D. -- ŠEBELOVÁ, E. *Trendy v nábytkářství a bydlení 2013*. 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2013, s. 28--40. ISBN 978-80-7375-756-4.
7. KLEPÁRNÍK, J. -- ZAPLETAL, M. -- ČECHOVÁ, J. -- KŘENKOVÁ, H. -- HÁLA, M. -- HAVLÍK, O. -- HORÁČEK, J. -- KUNERT, M. Rodinný dům s téměř nulovou spotřebou energie. In *SilvaNet-woodNet 2013*. 1. vyd. Zemědělská 1, Brno, 613 00: Mendelova univerzita v Brně, 2013, s. 115--116. ISBN 978-807375-903-2.