

České vysoké učení v Praze, Fakulta stavební
Thákurova 7/2077, 166 29 Praha 6 Dejvice



Diplomová práce

Vliv vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění budov v ČR

Autor: Bc. Aleš Vlček
Vedoucí diplomové práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.
Katedra: K124 – Katedra konstrukcí pozemních staveb
Obor: Budovy a prostředí
Školní rok: ZS - 2016/2017

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, pod vedením uvedeného školitele 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 8. ledna 2017

Aleš Vlček



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vlk Jméno: Aleš Osobní číslo: 381346
Zadávající katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vliv vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění budov v ČR
Název diplomové práce anglicky: Impact of airtightness on energy performance of buildings in Czech climate
Pokyny pro vypracování:
- Sestavení výpočtového modelu pro výpočet potřeby tepla na vytápění v hodinovém kroku s vlivem infiltrace netěsnostmi
- Sestavení výpočtového modelu pro výpočet průtoku vzduchu netěsnostmi v hodinovém kroku v závislosti na klimatických podmínkách (rozdíl teplot, vítr)
- Propojení výpočetních modelů
- Výpočetní analýza vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla - dílčí parametrické studie
- Shrnutí výsledků, závěry
Seznam doporučené literatury:
M. Orme, N.Leksmono 2002., AIVC Guide 5 - Ventilation Modelling Data Guide, Coventry UK
ASHRAE 2001., ASHRAE Handbook -2001 Fundamentals, Atlanta GA
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jiří Novák, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce: 4.10.2016 Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku
.....
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)

Anotace

Cílem této diplomové práce je na základě výpočtové analýzy stanovit, jaký vliv má vzduchotěsnost obvodových konstrukcí budov na potřebu tepla na vytápění. Jedná se o teoretickou práci, jejíž hlavní částí je výpočtová studie, která má ozřejmit tyto problémy.

Prvním úkolem bylo nalezení vhodných výpočtových postupů a jejich efektivní řešení, která dostatečně přesně simulují proudění vzduchu budovou a tepelné chování budovy. Na základě vybraných projektů dvou typů obytných budov s nízkou potřebou tepla na vytápění byly stanoveny 2 výpočtové modely. První model simuluje proudění vzduchu mezi objektem a vnějším prostředím i proudění vzduchu mezi jednotlivými zónami uvnitř budovy v klimatických podmínkách ČR a při různých stupních netěsností v konstrukcích budovy („model proudění“). Další výpočtový model („tepelný model“) simuluje tepelné chování budovy, na jehož základě bude možné určit velikost tepelné ztráty budovy při daných klimatických podmínkách a množství infiltrovaného vzduchu z předchozího výpočtového modelu.

Dalším úkolem bylo nalezení vhodných variant pro provedení simulací. V tomto případě se jedná zejména o vytvoření variant různých poměrů rozdělení netěsností po obálce budovy i mezi jednotlivými zónami uvnitř budovy. Výsledkem simulací je určení závislosti potřeby tepla na vytápění pro různé hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu v budově n_{50} . Tyto výsledky pak jsou porovnány mezi jednotlivými variantami simulací, dále se se zjednodušeným postupem výpočtu dle normy ČSN EN ISO 13789 a jsou ověřeny požadované hodnoty n_{50} dle ČSN 73 0540-2.

Úvodní část diplomové práce je věnována obecně tématu vzduchotěsnosti a infiltrace vzduchu do budovy a jeho vlivu na tepelné chování budovy, obvodové konstrukce budov a další. Dále v kapitole 1 jsou popsány základní fyzikální souvislosti, způsoby možného vyjádření vzduchotěsnosti budov a současné požadavky na vzduchotěsnost budov v ČR. Kapitola 2 je věnována rozboru podobných studií, které se zabývají vlivem vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění. V Kapitole 4 jsou stručně charakterizovány oba typy budov, na kterých byly provedeny předemné simulace. V Kapitole 5 jsou uvedeny popisy modelů simulovaných objektů a jejich základní matematické vyjádření. Dále jsou v této kapitole popsány způsoby možného propojení obou modelů a simulační nástroj, který byl použit pro provedení simulací. Kapitola 6 obsahuje informace o okrajových podmínkách provedených simulací, různých variant modelů a rozdělení netěsností po obálce budov. V podkapitole 6.3 jsou shrnuty výsledky jednotlivých variant simulací. V Kapitole 7 jsou pak tyto výsledky porovnány se současnými požadavky na vzduchotěsnost budov v ČR.

Výsledky simulací ukázaly téměř lineární závislost potřeby tepla na vytápění na celkové intenzitě výměny vzduchu v budově n_{50} . V závislosti na stínění objektů proti větru se nárůst měrné

potřeby tepla rodinného domu pohybuje mezi 0,22 – 0,41 kWh/(m²a) při zvýšení n_{50} budovy o 0,1 h⁻¹ v klimatických podmínkách Prahy. Výpočty simulací bytového domu ukázaly vyšší výsledky oproti RD, s hodnotami v rozmezí 0,27-0,48 kWh/(m²a) při zvýšení n_{50} budovy o 0,1 h⁻¹ v klimatických podmínkách Prahy. Z porovnání výsledků simulací se zjednodušeným postupem výpočtu dle normy ČSN EN ISO 13789 vyplývá, že výpočet dle normy je na straně bezpečnosti. Požadované hodnoty $n_{50,N}$ pro budovy dle ČSN 73 0540-2 jsou stanoveny s dostatečnou rezervou pro případnou chybu ve výpočtu.

Annotation

This theoretical study focuses on the correlation between the airtightness of a residential building envelope and the heat energy consumption in Czech climate conditions. Two types of residential buildings were selected – family house and apartment building. For each building two calculation models were developed with simulation tools SIMULINK - heat model and airflow model for variants of simulations. According to the results, heat energy consumption increase almost linearly with the building leakage rate n_{50} of the building envelope. According to effect of wind conditions, the increase of heat energy consumption in the case of increase n_{50} on 0,1 h⁻¹ in climate conditions of Prague is 0,22 – 0,41 kWh/(m²a) for family house and 0,27-0,48 kWh/(m²a) for apartment building. The comparison of simulation results with simple calculation according to ČSN EN ISO 13789 shows, that the calculation according ČSN EN ISO 13789 is sufficiently safe. The requirements on $n_{50,N}$ for buildings according to ČSN 73 0540-2 are determined with sufficient reserve in the case of calculation error.

Klíčová slova

Vzduchotěsnost, potřeba tepla na vytápění, výpočtová studie, simulace tepelného chování budovy, simulace proudění vzduchu budovou

Keywords

Airtightness, heat energy consumption, calculation study, thermal simulation, airflow simulation

Chtěl bych poděkovat svému školiteli, Ing. Jiřímu Novákovi, Ph.D. za odborné vedení, ochotu a čas, který mi věnoval.

Dále bych rád poděkoval Ing. Pavlu Kopeckému, Ph.D. za rady při sestavování tepelných modelů a za poskytnuté klimatické údaje.

V neposlední řadě děkuji svým rodičům za veškerou podporu při studiu a všestrannou pomoc.

Obsah

1.	Úvod k tématu diplomové práce	9
1.1	Vzduchotěsnost, výměna vzduchu v budově a jejich vliv na tepelné ztráty budovy	9
1.2	Základní fyzikální souvislosti.....	12
1.3	Hodnocení vzduchotěsnosti	14
1.4	Zjednodušená metoda výpočtů filtrace a výměny vzduchu v budově dle ČSN EN ISO 13790..	15
1.5	Současné požadavky na vzduchotěsnost budov v ČR	16
2.	Rešerše	16
2.1	Numerical evaluation of the airtightness impact on energy needs in mechanically ventilated dwellings [19]	17
2.2	Building leakage, infiltration and energy performance for Finnish detached houses [20]... ..	18
2.3	Simulation of the Impact of Commercial Building Envelope Airtightness on Building Energy Utilization [21].....	20
3.	Stanovení cílů diplomové práce	22
4.	Charakteristika simulovaných objektů	22
4.1	Rodinný dům	22
4.1.1	Popis simulovaného RD	22
4.1.2	Stanovení potřeby tepla na vytápění měsíční bilanční metodou.....	23
4.2	Bytový dům.....	24
4.2.1	Popis simulovaného BD	24
4.2.2	Stanovení potřeby tepla na vytápění měsíční bilanční metodou.....	24
5.	Postup výpočtu	25
5.1	Model proudění vzduchu budovou	26
5.1.1	Obecný popis modelu proudění rodinným domem	27
5.1.2	Obecný popis modelu proudění bytovým domem.....	30
5.1.3	Matematické vyjádření modelů proudění vzduchu simulovanými objekty	32
5.1.4	Porovnání výsledků modelu proudění s programem Contam	35
5.2	Model tepelného chování budovy	36
5.2.1	Obecný popis modelu tepelného chování rodinného domu.....	37
5.2.2	Obecný popis modelu tepelného chování bytového domu	39
5.2.3	Matematické vyjádření tepelného chování budovy.....	42
5.3	Propojení modelů tepelného chování budovy a proudění vzduchu budovou	44
5.4	Simulační nástroj	47
6.	Simulace	47

6.1	Okrajové podmínky simulací	47
6.2	Popis variant simulací.....	49
6.2.1	Popis jednotlivých variant simulací rodinného domu	49
6.2.2	Popis jednotlivých variant simulací bytového domu.....	50
6.3	Výsledky simulací.....	52
6.3.1	Rodinný dům	52
6.3.2	Bytový dům.....	58
7.	Porovnání výsledků provedených simulací s výpočty podle normy ČSN EN ISO 13790.....	61
8.	Závěr	64
8.1	Simulace rodinného domu	64
8.2	Simulace bytového domu.....	65
8.3	Porovnání výsledků simulací s výpočtovým postupem dle normy ČSN EN ISO 13789	66
8.4	Náměty na pokračování v pracích na daném tématu	66
9.	Použitá literatura.....	67
	Příloha A - Výkresová dokumentace rodinného domu	69
	Příloha B - Stanovení potřeby tepla na vytápění RD dle TNI 730329 a kvality tepelně-izolační obálky budovy	73
	Příloha C - Vstupní hodnoty do modelu tepelného chování RD.....	75
	Příloha D - Rovnice popisující model tepelného chování rodinného domu.....	76
	Příloha E - Vstupy do modelu proudění rodinného domu	79
	Příloha F - Rovnice popisující model proudění vzduchu rodinným domem	80
	Příloha G - Výsledky simulací rodinného domu.....	81
	Příloha H - Výkresová dokumentace bytového domu (Autoři: QARTA ARCHITEKTURA s.r.o.).....	87
	Příloha I - Stanovení potřeby tepla na vytápění BD dle TNI 730329	91
	Příloha J - Vstupní hodnoty do modelu tepelného chování BD.....	92
	Příloha K - Rovnice popisující model tepelného chování bytového domu.....	94
	Příloha L - Vstupy do modelu proudění bytového domu	100
	Příloha M - Rovnice popisující model proudění vzduchu bytovým domem	103
	Příloha N - Výsledky simulací bytového domu	105

1. Úvod k tématu diplomové práce

1.1 Vzduchotěsnost, výměna vzduchu v budově a jejich vliv na tepelné ztráty budovy

Vzduchotěsnost je schopnost určitého prvku propouštět vzduch. Vzduchotěsnost budov lze vnímat jako vzduchotěsnost jednotlivých stavebních dílů nebo jako vzduchotěsnost budovy jako celku. O celkové vzduchotěsnosti rozhoduje vzduchotěsnost jednotlivých dílů a jejich spojů, tvořících obvodový plášť budovy. Nekontrolovaná výměna vzduchu netěsnostmi se nazývá infiltrace a v současných budovách je snahou jí co možná nejvíce eliminovat. Větrání je záměrná výměna vzduchu, jejíž minimální hodnota je dána hygienickými předpisy [1].

Problém vzduchotěsnosti nabývá v současnosti na významu zejména se snižováním energetické náročnosti budov. V budovách s malou potřebou tepla na vytápění je snaha o řízenou výměnu vzduchu, kde přívod i odvod vzduchu do místností je zajištěn předem k tomu určenými otvory. Výměna vzduchu v budově má vliv na kvalitu vnitřního vzduchu, na tepelné chování celé budovy, tepelně-vlhkostní režim jednotlivých obvodových konstrukcí a další. Intenzita výměny vzduchu je dána především hygienickými požadavky (přívod čerstvého vzduchu, odvod vlhkosti a škodlivin uvolňovaných v budově). Jakékoliv překročení zdůvodnitelné výměny vzduchu v energeticky efektivních budovách generuje vyšší tepelnou ztrátu objektu a zvyšuje energetické požadavky na udržení optimálního vnitřního prostředí. Nekontrolovaná výměna vzduchu vzniká především prouděním vzduchu netěsnostmi (infiltrace) a je závislá na klimatických podmínkách. Pro co možná největší omezení nekontrolované výměny vzduchu je třeba zajistit dostatečnou vzduchotěsnost obálky budovy. Netěsná obálka budov může mít celou řadu negativních důsledků jak na vnitřní prostředí budov, tak na stavební konstrukce. Z hlediska stavební fyziky se jedná především o zvýšení tepelné ztráty objektu a zvýšené riziko kondenzace vodní páry [1].

Jak již bylo zmíněno výše, větrání představuje významnou položku v tepelné bilanci objektu. Pro co možná nejmenší tepelnou ztrátu větráním budovy je třeba zajistit přívod minimálního množství čerstvého vzduchu regulovaným způsobem, vybaveným účinným systémem zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu nebo zařízením pro předehřev přiváděného vzduchu z obnovitelných zdrojů energie (např. zemní výměník tepla). Jakékoliv další přísávání určitého množství oproti navržené optimální dávce čerstvého vzduchu klade větší požadavky na ohřátí infiltrovaného vzduchu, a tudíž zvyšuje potřebu tepla na vytápění objektu. Pokud je při návrhu otopné soustavy tato skutečnost opomenuta, může dojít k výrazně horším energetickým vlastnostem

budovy, než je deklarováno. Vzduchotěsnost je velmi důležitým parametrem ovlivňujícím energetickou náročnost budovy, zejména u budov s malou potřebou tepla na vytápění [1].

Dalším problémem je výše zmíněné riziko kondenzace vodní páry v obvodových konstrukcích budovy. Uvnitř obytných budov je relativní vlhkost vzduchu poměrně vysoká. To zapříčiňují činnosti, které do vzduchu uvnitř budovy přinášejí vlhkost (mytí nádobí, sprchování, vaření, zalévání květin, dýchání, ...). Teplý vzduch uvnitř pojme velké množství vlhkosti. Problémem je, pokud tento vzduch začne proudit netěsnými konstrukcemi do venkovního prostředí, zejména v zimním období. Může pak docházet k ochlazení tohoto vzduchu uvnitř netěsných konstrukcí pod teplotu rosného bodu a dochází ke kondenzaci. „Pokud kondenzát nestačí v letním období vysychat, začne se v konstrukci hromadit a může způsobovat vážné problémy. Tyto problémy mohou vést až k destrukci domu, zejména pokud se jedná o dřevostavbu. Může však dojít i k lokálnímu nasycení konstrukce a následnému růstu mikroorganismů.“ [14]

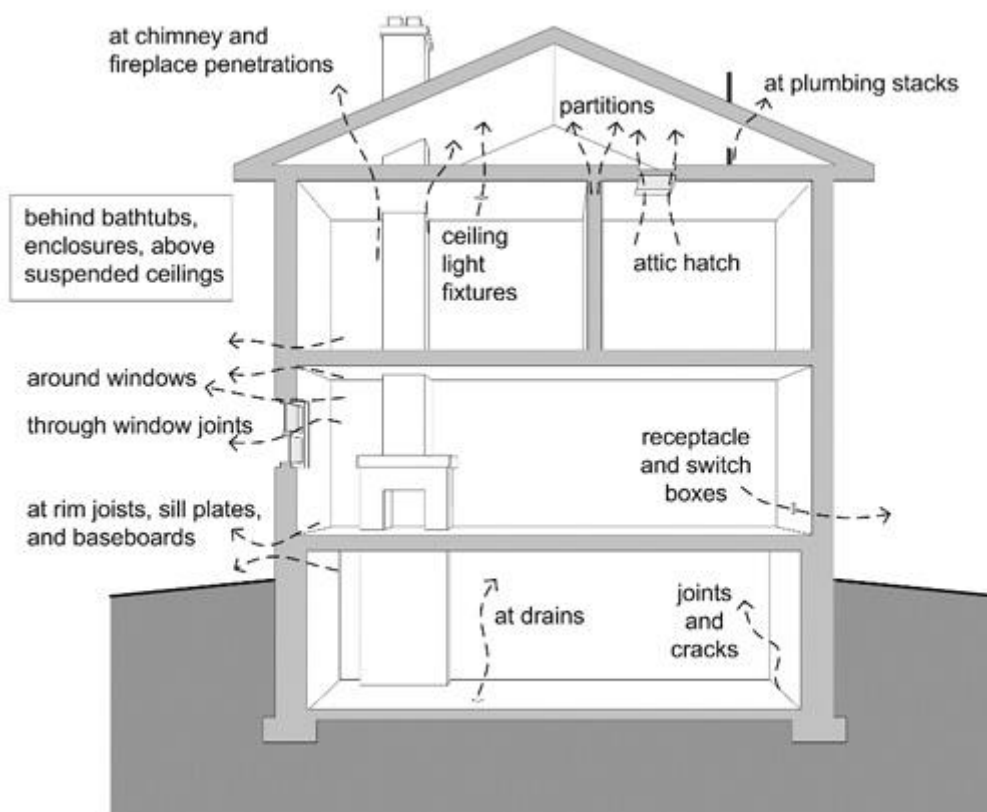


Obr. 1 – Důsledek netěsných obvodových konstrukcí budovy vlivem kondenzace vlhkosti exfiltrujícího vzduchu na vnější straně obvodových stěn. Obr. převzat z [15].

Obvodové konstrukce budovy nejsou nikdy dokonale vzduchotěsné. O tom jak je obálka budovy vzduchotěsná, rozhoduje zejména provedení stavebních detailů, protože konstrukce bývají v ploše vzduchotěsné. K proudění vzduchu skrz obálku budovy v místech netěsných spojů mezi konstrukcemi a v místech, kde je porušena spojitost vzduchotěsných vrstev a v místech lokálních defektů. Podrobně jsou netěsnosti popsány např. v [1].

Typickými místy dle [1] jsou např.:

- Defekt hlavní vzduchotěsnicí vrstvy
- Styk obvodové stěny s podlahou na terénu nebo vnitřním stropem
- Připojovací a funkční spáry oken a dveří
- Spoje mezi panely
- Elektroinstalační prvky
- Prostupy konstrukčních prvků vzduchotěsnicí vrstvou
- Prostupy rozvodů podlahou na terénu nebo obvodovými konstrukcemi
- Roletové boxy
- Plášť komínového tělesa



Obr. 2 –Typické netěsnosti v obálce budovy. Obr. převzat z [16].

Jak z předchozích řádků vyplývá, pro správnou funkci současných budov by mělo být snahou dosáhnout co možná největší úrovně vzduchotěsnosti. K tomu je zapotřebí pečlivá příprava ve fázi návrhu, pečlivá realizace a kvalitní kontrola provedení. Další informace o hlavních zásadách návrhu vzduchotěsnících opatření lze nalézt v [1] nebo [16].

1.2 Základní fyzikální souvislosti

K tomu, aby určitý prvek propouštěl vzduch, musí obsahovat netěsnosti a musí být vystaven působení tlakového rozdílu prostředí, která tento prvek odděluje. Čím vyšší je tlakový rozdíl mezi oběma prostředími, tím více vzduchu prvkem protéká. Proudění vzduchu určitým prvkem vyjadřuje tzv. empirická rovnice proudění popsaná následující rovnicí:

Rovnice 1 – Empirická rovnice proudění

$$V = C \cdot \Delta p^n$$

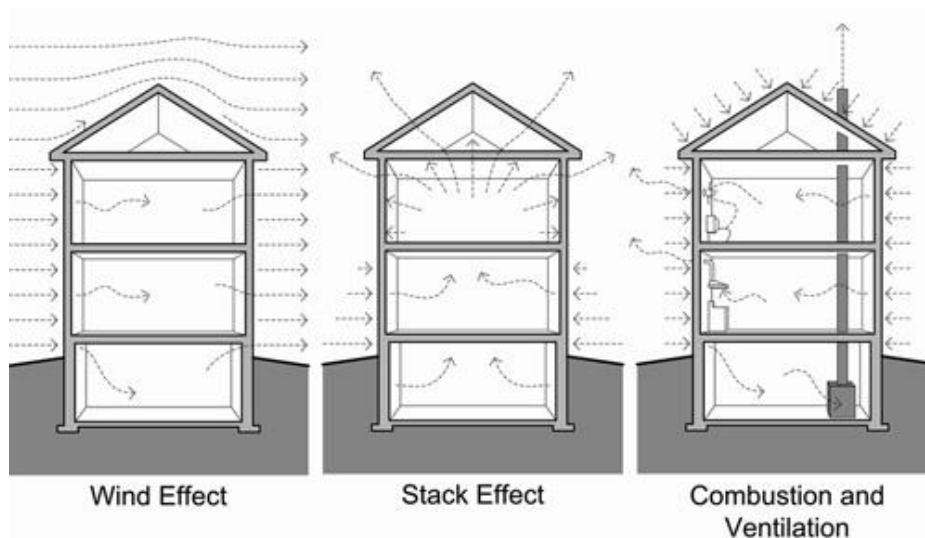
V ... objemový tok vzduchu [m^3/h]

C ... součinitel proudění [$m^3/(h \cdot Pa)$]

n ... exponent proudění [-]

„Parametry C a n přímo popisují vzduchotěsnost zkoumaného prvku. Určují kolik vzduchu a jakým způsobem vzduch prvkem protéká. Součinitel proudění C je množství vzduchu, které by prvkem proudilo při tlakovém rozdílu 1 Pa. Exponent proudění n určuje charakter proudění a může nabývat hodnot od 0,5 – turbulentní proudění do 1 – laminární proudění. Tyto parametry se zjišťují experimentálně měřením.“ [1]

Tlakový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím je zpravidla kombinací tlakových rozdílů způsobeným vlivem větru, rozdílu teplot mezi vnitřním a vnějším prostředím, případně tlakovým účinkem mechanického větracího systému. Dalšími vlivy jsou rozložení netěsností po ploše obálky a nebo vzduchotěsnost a uspořádání vnitřních dělicích konstrukcí [1].



Obr. 3 – Mechanismy vyvolávající tlakový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím.

Obr. převzat z [16].

Tlakový rozdíl, vyvolaný rozdílem teplot, je způsoben odlišnou hustotou vnitřního a vnějšího vzduchu. Kromě teploty závisí hustota vzduchu na barometrickém tlaku a vlhkosti vzduchu. Jejich vliv je obvykle zanedbatelný, proto v následující rovnici závisí tlakový rozdíl na rozdílu teplot a výšce budovy.

Rovnice 2 - Tlakový rozdíl vyvolaný rozdílem teplot

$$\Delta p_t = (\rho_e - \rho_i) \cdot g \cdot (h_{NR} - h) = \rho_e \cdot \left(\frac{\theta_e - \theta_i}{\theta_i} \right) \cdot g \cdot (h_{NR} - h)$$

Δp_t ... tlakový rozdíl vyvolaný rozdílem teplot [Pa]

ρ_e ... hustota venkovního vzduchu [kg/m³]

ρ_i ... hustota vnitřního vzduchu [kg/m³]

θ_e ... teplota venkovního vzduchu [°C]

θ_i ... teplota vnitřního vzduchu [°C]

g ... gravitační konstanta 9,81 [m/s²]

h_{NR} ... výška neutrální roviny [m]

h ... výška místa, kde je zjišťován tlakový rozdíl [m]

V zimních podmínkách rozdíl mezi teplotou venkovního chladnějšího a vnitřního teplejšího vzduchu způsobuje v nižších částech podtlak a ve vyšších částech přetlak. Neutrální rovina udává místo, kde je tento tlakový rozdíl nulový. Výška neutrální roviny závisí na rozložení netěsností po výšce budovy, případně i na vzduchotěsnosti vnitřních dělicích konstrukcí, pokud je mezi jednotlivými místnostmi tlakový rozdíl a nemusí tedy nutně ležet uprostřed výšky budovy [2].

Tlakový rozdíl vlivem větru je vyvolán prouděním vzduchu kolem budovy a je charakteristický četnými změnami rychlosti a směru proudění. Tyto jevy vyvolávají změny tlaku na povrchu obvodových konstrukcí budov. U reálných objektů je rozložení tlaku velmi složité, protože je závislé na tvaru budovy, směru větru a na stínícím efektu zástavby, terénu atd. Tlakový účinek větru v určitém místě je popsán rovnicí [1].

Rovnice 3 - Tlakový rozdíl vyvolaný tlakem větru

$$\Delta p_v = C_p \cdot \rho \cdot \frac{v^2}{2}$$

Δp_v ... rozdíl tlaku vzduchu v určitém místě na obálce budovy [Pa]

C_p ... tlakový součinitel [-]

ρ ... hustota vzduchu [kg/m³]

v ... rychlost větru v referenční výšce [m/s]

Obecně, u budov jednoduchých tvarů, vítr na návětrné straně budovy vyvolává tlak a na závětrné straně budovy sání. Rozložení tlaku po povrchu fasád budovy v Rovnice 3 popisuje tlakový součinitel C_p . Ukázka rozložení hodnot C_p po fasádě budovy je na Obr. 12. Součinitel tlaku větru C_p se může stanovit např. na základě laboratorních testů na modelech budov různých tvarů ve větrném tunelu. Moderním způsobem stanovení součinitelů tlaku větru C_p jsou výpočty CFD analýzou. Další informace o součinitelích C_p lze nalézt např. v [2].

Tlakový rozdíl mezi vnitřním a vnějším prostředím může být dále vyvolán mechanickým větracím zařízením. U podtlakových nebo přetlakových systémů může být tento jev výrazný. U rovnotlakých systémů je tlakový rozdíl, vyvolaný tímto zařízením, oproti tlakovému rozdílu vyvolanému teplotou nebo větrem zanedbatelný.

1.3 Hodnocení vzduchotěsnosti

Pro hodnocení vzduchotěsnosti obvodového pláště se nejčastěji používají veličiny, popsané následujícími rovnicemi.

Rovnice 4 – Intenzita výměny vzduchu n_{ref}

$$n_{ref} = \frac{V_{ref}}{V}$$

V_{ref} ... objemový tok vzduchu při referenčním tlakovém rozdílu [m^3/h]

V ... objem vnitřního vzduchu měřené budovy [m^3]

Rovnice 5 - Měrný objemový tok vzduchu netěsnostmi w_{ref}

$$w_{ref} = \frac{V_{ref}}{A_F}$$

A_F ... celková podlahová plocha [m^2]

Rovnice 6 - Vzduchová propustnost budovy q_{ref}

$$q_{ref} = \frac{V_{ref}}{A_E}$$

A_E ... celková plocha obálky budovy [m^2]

Rovnice 7 - Ekvivalentní plocha netěsností $A_{L,ref}$

$$A_{L,ref} = 10000 \cdot V_{ref} \cdot \frac{\sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot \Delta p_{ref}}}}{C_D}$$

ρ ... hustota vzduchu [kg/m³]

Δp_{ref} ... referenční tlakový rozdíl [Pa]

C_D ... výtokový součinitel [-]

Intenzita výměny vzduchu n_{50} (intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa) je nejrozšířenější jednočíselná veličina pro hodnocení vzduchotěsnosti obvodového pláště. Každá země má stanovená vlastní hodnotící kritéria, která jsou uvedena v [25]. Bližší popis hodnotících veličin a způsoby měření vzduchotěsnosti budov jsou podrobně popsány v [1].

1.4 Zjednodušená metoda výpočtů filtrace a výměny vzduchu v budově dle ČSN EN ISO 13789

Tato norma [9] nabízí zjednodušený výpočet intenzity výměny vzduchu filtrace, která umožňuje zpřesnit výpočet tepelné ztráty výměnou vzduchu mechanicky větraných budov pro účely stanovení potřeby tepla na vytápění. Výpočet se provádí z odhadnuté hodnoty n_{50} podle následující rovnice.

Rovnice 8 – Zjednodušený výpočet intenzity výměny vzduchu filtrace dle ČSN EN ISO 13789

$$V_x = \frac{V \cdot n_{50} \cdot e}{1 + \frac{f}{e} \cdot \left[\frac{V_{sup} - V_{ex}}{V \cdot n_{50}} \right]^2}$$

V_x ... přídavný objemový tok vzduchu

V ... objem vnitřního vzduchu [m³]

n_{50} ... intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa [h⁻¹]

e, f ... součinitel větrné expozice

V_{sup} ... objemový tok přiváděného vzduchu [m³/h]

V_{ex} ... objemový tok odváděného vzduchu [m³/h]

V Tab. 1 jsou uvedeny hodnoty součinitelů větrné expozice.

Tab. 1 – Hodnoty součinitelů větrné expozice e, f dle normy ČSN EN ISO 13790

Třída stínění	Součinitel	Více než jedna exponovaná fasáda	Jedna exponovaná fasáda
Bez stínění	e	0,10	0,03
Mírné stínění		0,07	0,02
Významné stínění		0,04	0,01
Všechny třídy	f	15	20

1.5 Současné požadavky na vzduchotěsnost budov v ČR

Norma ČSN EN 730540-2: 2011 Tepelná ochrana budov [11] uvádí doporučené hodnoty $n_{50,N}$. Splnění této podmínky se ověřuje měřením celkové vzduchotěsnosti obálky budovy. Hodnoty $n_{50,N}$ jsou dle navrženého větracího systému budovy v následující tabulce:

Tab. 2 – Požadované hodnoty n_{50} dle ČSN EN 730540-2: 2011

Větrací systém budovy	Požadovaná hodnota $n_{50,N}$
Přirozené nebo kombinované větrání	4,5 h ⁻¹
Nucené větrání	1,5 h ⁻¹
Nucené větrání se zpětným získáváním tepla	1,0 h ⁻¹
Nucené větrání se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění	0,6 h ⁻¹

Tyto hodnoty byly převzaty ze zahraničí a jedním z cílů této diplomové práce je ověření těchto hodnot pro podmínky České republiky.

2. Rešerše

Studie, která by se zabývala tématem vlivem vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění budov v ČR, nebyla pravděpodobně zatím zpracována. Proto se rešerše, uvedené v následující kapitole, zaměřují zejména na téma vlivu vzduchotěsnosti na energetickou náročnost, které se řešily v zahraničí.

2.1 Numerical evaluation of the airtightness impact on energy needs in mechanically ventilated dwellings [19]

F. Richieri, B. Moujalled, D. Samri, M. Bourdassol, F.R. Carrié

Úvodní informace

Tato studie se zabývá vlivem vzduchotěsnosti na energetické požadavky v typickém francouzském domě s nuceným větráním.

Hodnocený objekt

Model obsahuje celkem 11 zón. Zóny jsou navzájem propojeny s vnějším prostředím netěsnostmi v obvodovém plášti. Model dále počítá s proudem vzduchu proudícím přívodními a odvodními prvky vzduchotechnického systému a s vnitřní cirkulací vzduchu mezi jednotlivými zónami.

Metoda hodnocení

Pro simulace byly navrženy 4 varianty větracích systémů, typickém pro francouzské budovy. Tyto varianty byly převážně hodnoceny na vícezónovém modelu budovy s únikem vzduchu fasádou a stropem. Pro porovnání výsledků s vícezónovým modelem byl vytvořen jednozónový model budovy a varianta s únikem vzduchu pouze fasádou. Vzhledem k rozmanitým klimatickým podmínkám v různých částech Francie byly pro simulace vybrány 3 oblasti, do kterých byl model postaven (vnitrozemské klimatické podmínky – Strasbourg, klimatické podmínky u severního atlantského oceánu – Poitiers, středomořské klimatické podmínky – Nice a severní Korsika. Simulace byly provedeny pro různé stupně celkové vzduchotěsnosti obálky budovy.

Simulační nástroj

Simulace byly provedeny pomocí nástrojů TRNSYS a COMIS, které umožňují simulovat tepelné chování budovy, počítat množství vzduchu, vlhkosti a škodlivin, proudící mezi budovou a vnějším prostředím a mezi jednotlivými zónami uvnitř budovy. Simulovaná budova představuje typický francouzský jednopodlažní rodinný dům pro 4 osoby.

Výsledky simulací

První část simulací porovnávala výsledky potřeby tepla na vytápění mezi jednozónovým modelem a vícezónovým modelem budovy. Výsledný graf simulací ukazuje zanedbatelné rozdíly mezi těmito modely. Jak bylo očekáváno, s rostoucí hodnotou celkové intenzity výměny vzduchu v budově roste i potřeba tepla na vytápění. Při vyšších hodnotách celkové intenzity výměny vzduchu v budově je tato závislost téměř lineární.

Druhá část simulací porovnávala potřeby tepla na vytápění mezi jednotlivými větracími systémy, opět pro různé stupně vzduchotěsnosti. Výsledky ukazují, že nejlepších hodnot dosahuje rovnotlaký nucený větrací systém budovy. Ostatní větrací systémy vykazují mírný podtlak, proto byly výsledné hodnoty vyšší.

Třetí část simulací byla zaměřena na porovnání modelu v různých klimatických podmínkách na území Francie. Největší potřebu tepla na vytápění při různých stupních vzduchotěsnosti obálky budovy vykazuje model ve vnitrozemských klimatických podmínkách, kde je celoroční teplota nižší než v přímořských oblastech Francie. Při provedení citlivostní analýzy je největší hodnota potřeby tepla na vytápění při změně hodnoty vzduchotěsnosti obálky modelu v klimatických podmínkách Korsiky. To je způsobeno zejména silnějšími větrnými podmínkami v této oblasti.

Čtvrtá část simulací byla provedena pro srovnání účinku větru na potřebu tepla na vytápění. Byly vybrány podmínky severní Korsiky a to buď pro model budovy vystavené větru anebo pro model budovy kryté okolní zástavbou. Výsledky ukazují, že s rostoucí hodnotou vzduchotěsnosti obálky budovy roste potřeba tepla na vytápění až 2,5x u modelu, vystavenému větru oproti modelu krytému okolní zástavbou.

Závěry

Ve vztahu k tématu této diplomové práce jsou zajímavé následující přístupy řešení problému:

- Simulace, provedené pro různé stupně celkové vzduchotěsnosti obálky budovy, různé větrací systémy, srovnání jednozónového a vícezónového modelu, simulace pro různé větrné podmínky
- Metodika hodnocení: závislost potřeby tepla na celkové vzduchotěsnosti obálky budovy a citlivostní analýza (vliv změny hodnoty vzduchotěsnosti obálky budovy na potřebu tepla na vytápění)

2.2 Building leakage, infiltration and energy performance for Finnish detached houses [20]

Juha Jokisalo, Jarek Kurnitski and Juha Vinha

Úvodní informace

Cílem této studie bylo najít vztah mezi vzduchotěsností obálky budovy a průměrnou infiltrací a potřeby energií typického finského rodinného domu a vliv faktorů jako vliv větru a klimatických podmínek.

Hodnocení objekt

Výpočetní model byl postaven na základě existujícího 2-podlažního rodinného domu s dřevěnou rámovou konstrukcí. Dům je vybaven rovnotlakým větracím systémem se zpětným získáváním tepla. Skutečná změřená vzduchotěsnost budovy je $n_{50}=3,9 \text{ h}^{-1}$. Analýza úniku vzduchu z budovy byla provedena pomocí infračervené fotografie.

Metoda hodnocení

Pro model budovy byly zvoleny 3 varianty úniku vzduchu. První variantu tvoří reálně zjištěný únik vzduchu z budovy. Další variantou je případ „netěsné střechy“, kde většina netěsností je situována ve stycích střechy a obvodové stěny. Třetí variantou je případ „netěsného přízemí“, kde většina netěsností je situována v obvodových konstrukcích v přízemí. Pro simulace byly navrženy varianty se třemi stupni netěsností obálky budovy (téměř dokonale vzduchotěsný dům $n_{50}=0,15 \text{ h}^{-1}$, typicky vzduchotěsný dům $n_{50}=3,9 \text{ h}^{-1}$ a netěsný dům $n_{50}=10 \text{ h}^{-1}$). Simulace byly provedeny pro různé klimatické podmínky 3 finských měst a pro různé větrné podmínky. Dále pak byly zkoušeny případy, kdy větrací systém přivádí o 15% více vzduchu, než odvádí (přetlak) a opačný případ (podtlak). Další varianty modelů pro simulaci byly varianty, kdy model budovy je postaven do podmínek otevřeného terénu, vystavený větru a do podmínek předměstí, kdy je budova částečně krytá proti účinkům větru.

Simulační nástroj

Model budovy a simulace byly provedeny pomocí programu IDA indoor Climate Energy 3.0 building simulation software.

Výsledky simulací

První část simulací byla provedena pro zjištění průměrné velikosti infiltrujícího vzduchu. Pro varianty modelů, kde se uvažuje s různými větrnými podmínkami, byly zjištěny průměrné velikosti výměny vzduchu o 10% vyšší v budově situované v předměstí oproti budově vystavené větru. Infiltrace, závislá na tlaku větru, je mnohem významnější u budov v otevřeném terénu, kde může tvořit až 60 % z celkové výměny vzduchu. Použití rovnotlakého větracího systému oproti větracím systémům, vytvářejícím podtlak nebo přetlak, vykazuje menší množství výměny vzduchu zejména u velmi těsné obálky budovy, u vyšších hodnot vzduchotěsnosti obálky je vliv zanedbatelný. Množství infiltrujícího vzduchu závislé, na teplotě venkovního vzduchu, je vyšší o 16% v podmínkách s roční průměrnou teplotou $4,2^{\circ}\text{C}$ (Helsinky) než v podmínkách s roční průměrnou teplotou $-0,8^{\circ}\text{C}$ (Sodankylä). Výsledky ukazují téměř lineární závislost mezi vzduchotěsností a průměrnou výměnou vzduchu infiltrací při použití rovnotlakého větracího systému. Velikost výměny vzduchu infiltrací lze proto vyjádřit rovnicí:

$$n_{inf} = \frac{n_{50}}{k \cdot x} [h^{-1}]$$

Pokud je roční průměrná velikost výměny vzduchu použita do energetických výpočtů potřeby tepla na vytápění, lze změnu velikosti výměny vzduchu infiltrací v zimní a v letní sezóně vyjádřit jako vážený průměr na základě rozdílu teplot mezi vnitřním a venkovním vzduchem:

$$n_{inf}^e = \sum_{i=1}^{8760} \frac{(T_{in} - T_{out}^i) \cdot n_{inf}^i}{(T_{in} - T_{out})_i}$$

Další část simulací byla provedena pro výpočet požadavků na potřebu tepla na vytápění. Vzhledem k téměř lineární závislosti vzduchotěsnosti a potřebě tepla na vytápění lze říci, že zvětšení o jednotku celkové vzduchotěsnosti obálky budovy n_{50} zvýší potřebu tepla na vytápění o cca 6%.

Závěry

Ve vztahu k tématu této diplomové práce jsou zajímavé následující přístupy řešení problému:

- Model budovy s variantami rozmístění netěsností
- Simulace provedené pro různé stupně celkové vzduchotěsnosti obálky budovy, různé větrací systémy, simulace pro různé větrné podmínky
- Metodika hodnocení: velikost výměny vzduchu infiltrací, závislost potřeby tepla na celkové vzduchotěsnosti obálky budovy

2.3 Simulation of the Impact of Commercial Building Envelope Airtightness on Building Energy Utilization [21]

Úvodní informace

Cílem této studie bylo nalézt vliv vzduchotěsnosti amerických nízkopodlažních komerčních budov na energetickou náročnost a nalézt ekonomicky a energeticky úsporné řešení obálky budovy. Z předchozích provedených studií vyplývá, že v amerických komerčních budovách je větší infiltrace vzduchu, než je obecně předpokládáno. Infiltrace má mnoho negativních účinků na tepelný komfort narušení funkčnosti mechanického větracího systému, snížení kvality vnitřního vzduchu, degradace obvodového pláště vlivem vlhkosti a zvýšení energetické náročnosti. Z těchto důvodů se pozornost zaměřila na zlepšení vzduchotěsnosti existujících budov i nových konstrukcí.

Hodnocený objekt

Pro potenciální snížení energetické náročnosti a nákladů při zlepšení požadavků na vzduchotěsnost byly připraveny 3 typy budov: třípodlažní administrativní budova, dvoupodlažní nájemní dům a

pětipodlažní bytový dům. Pro každou budovu byl stanoven typický profil užívání budovy (obsazenost, osvětlení, ...).

Metoda hodnocení

V každé budově byly simulovány 3 různé stupně vzduchotěsnosti: běžná, dosažitelná a nejlépe dosažitelná. Hodnoty pro běžnou vzduchotěsnost byly nastaveny na základě předchozí analýzy dostupných publikovaných dat, týkajících se měření vzduchotěsnosti budov v různých částech USA (Miami, Phoenix, St. Louis, Bismarck a Minneapolis). Pro každou budovu byl stanoven typický profil užívání budovy (obsazenost, osvětlení, ...). Pro ekonomické vyhodnocení byly vybrány 3 různé typy konstrukcí.

Simulační nástroj

Metoda analýzy k určení dopadu infiltrace a větrání na energetickou náročnost budovy je založena vícezónovém modelu proudění vzduchu (simulační program CONTAM) a detailním vícezónovém modelu simulujícím energetické chování budovy (simulační program TRNSYS). Tato studie ukazuje schopnost obou programů pro použití k určení roční energie na vytápění a chlazení v amerických administrativních budovách jako funkce infiltrace a větrání.

Výsledky simulací

Výsledky simulací byly shrnuty do tabulky, kde pro každou variantu jsou hodnoty roční spotřeby plynu, roční spotřeba el. energie, roční průměrná infiltrace. Výsledky ukazují, že hodnoty infiltrace se mění v závislosti na klimatu a hodnoty vzduchotěsnosti obálky budovy. Ekonomické vyhodnocení těchto variant, provedené citlivostní analýzou, ukazuje možné úspory energie v rozmezí 9%-36%, kde největší potenciál úspor je v chladnějším klimatu Minneapolisu a Bismarcku a menší v teplejším klimatu Phoenixu a Miami.

Závěry

Ve vztahu k tématu této diplomové práce jsou zajímavé následující přístupy řešení problému:

- Simulace provedené pro různé stupně celkové vzduchotěsnosti obálky budovy
- Metodika hodnocení: velikost výměny vzduchu infiltrací, závislost potřeby tepla na celkové vzduchotěsnosti obálky budovy

3. Stanovení cílů diplomové práce

Na základě úvodních kapitol byl zvolen následující postup řešení předmětu diplomové práce:

- 1) Volba typů obytných budov s nízkou potřebou tepla na vytápění, reprezentující běžnou výstavbu v ČR
- 2) Stanovení výpočtových modelů a nalezení vhodných výpočtových postupů a jejich efektivní řešení, které dostatečně přesně simulují proudění vzduchu budovou a tepelné chování budovy. První model pro simulaci proudění vzduchu mezi objektem a vnějším prostředím, případně i proudění vzduchu mezi jednotlivými zónami uvnitř budovy v klimatických podmínkách ČR a při různých stupních netěsností v konstrukcích budovy. Další výpočtový model simulující tepelné chování budovy, na jehož základě bude možné určit velikost tepelné ztráty budovy při daných klimatických podmínkách a množství infiltrovaného vzduchu z předchozího výpočtového modelu.
- 3) Nalezení vhodných variant pro provedení simulací, jejichž výsledky následně poslouží k určení závislosti potřeby tepla na vytápění na celkové vzduchotěsnosti obálky budovy.
- 4) Porovnání výsledků mezi jednotlivými variantami simulací a porovnání se současnými normovanými požadavky na celkovou vzduchotěsnost obálky budov $n_{50,N}$. Závěry z vypočtených výsledků.

4. Charakteristika simulovaných objektů

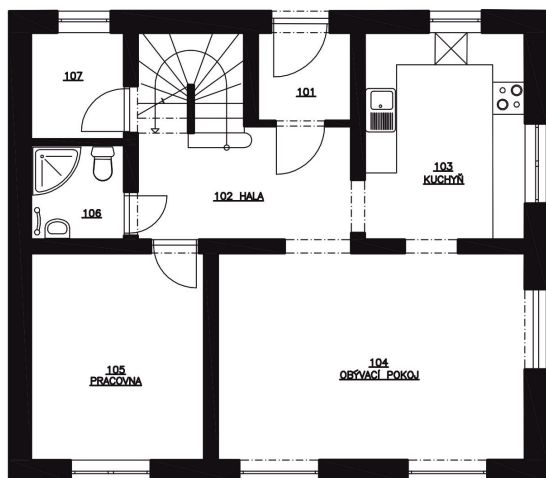
Pro účely této diplomové práce byly výpočtové modely sestaveny na základě dvou různých typů obytných budov, kterými jsou rodinný a bytový dům. Výběr objektů pro simulace byl takový, aby hmotové, konstrukční a dispoziční řešení těchto objektů dostatečně reprezentovalo převážnou většinu těchto typů budov v ČR s nízkou potřebou tepla na vytápění. V následujících kapitolách jsou oba objekty stručně charakterizovány a jsou stanoveny tepelně-technické vlastnosti jejich obalových konstrukcí na základě výpočtů potřeby tepla na vytápění dle TNI 73 0329 [13].

4.1 Rodinný dům

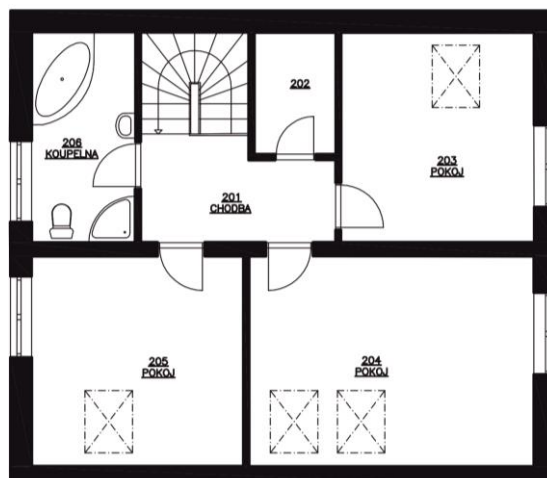
4.1.1 Popis simulovaného RD

Vybraný RD je objekt, určený pro čtyřčlennou rodinu. Jedná se o samostatně stojící dům, který je hmotově řešen jako dvoupodlažní s obdélníkovým půdorysem se sedlovou střechou. Konstrukční systém budovy je tvořen lehkým dřevěným skeletem a vaznicovým krovem. Dispozičně je

dům rozdělen na společné prostory v přízemí a na soukromou část v podkroví. Schémata v půdorysů jsou na následujících obrázcích. Další výkresy jsou uvedeny v příloze A.



Obr. 4 – Schéma půdorysu 1.NP vybraného RD



Obr. 5 – Schéma půdorysu 2.NP vybraného RD

Základní parametry, dané projektem:

- Celková podlahová plocha domu: 139 m²
- Půdorysné rozměry: 9,9 x 8,6m
- Objem vzduchu v zóně: 352 m³
- Výška budovy: 8,7 m
- Světlá výška přízemí a podkroví (v místě vod. podhl.): 2,7 m

4.1.2 Stanovení potřeby tepla na vytápění měsíční bilanční metodou

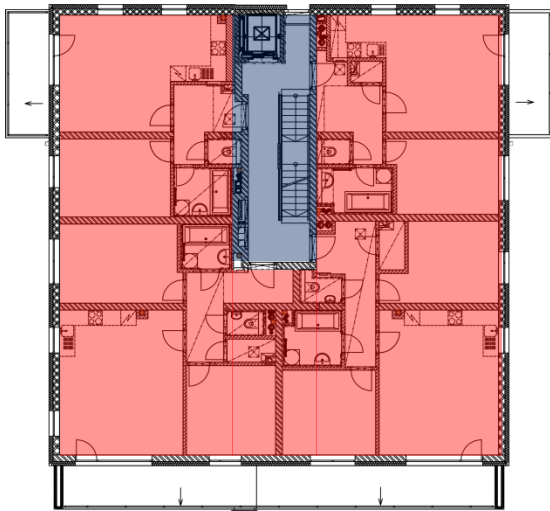
Pro potřebu této diplomové práce byly tepelně izolační vlastnosti obvodových konstrukcí přizpůsobeny tak, aby celková potřeba tepla na vytápění odpovídala přibližně úrovni budov s nízkou potřebou tepla na vytápění a zároveň splňovaly doporučené požadavky na součinitele prostupu tepla dle ČSN 73 0540-2:2007 [11]. Výpočtový postup je dle měsíční bilanční metody pospané v TNI 73 0329 [13]. Interiér budovy je uvažován jako jedna vytápěná zóna s návrhovou vnitřní teplotu $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. Systémová hranice je vyznačena na Obr.A. 1 až Obr.A.3 v příloze A. Touto metodou byla stanovena potřeba tepla na vytápění RD 16,1 kWh/m²a. Podrobně jsou výpočtový postup měsíční bilanční metodou a tepelně-izolační schopnosti obálky budovy uvedeny v Příloze B.

Vypočtené hodnoty součinitelů prostupu obalových konstrukcí jsou uvedeny v Příloze B. Hodnota součinitele prostupu tepla podlahy nejnižšího podlaží byla vypočtena dle ČSN EN ISO 13370 [10]. Hodnoty součinitelů prostupu tepla pro ostatní konstrukce byly vypočteny podle ČSN 73 0540-4 [12].

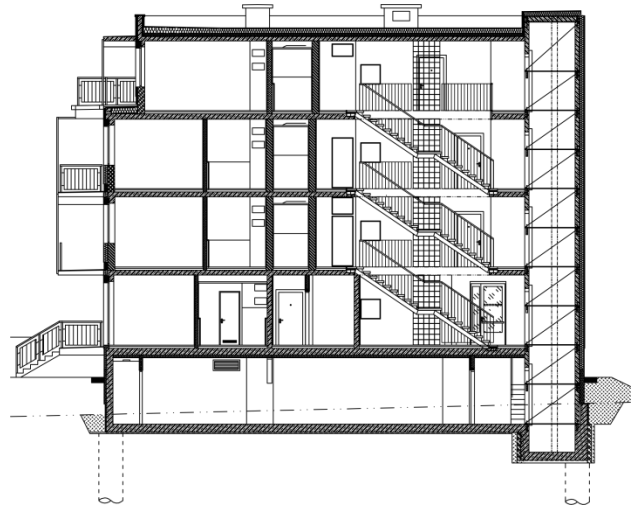
4.2 Bytový dům

4.2.1 Popis simulovaného BD

Jedná se o soliterní bytový dům, který má jedno podzemní podlaží. V nadzemní části má 4 nadzemní podlaží, nejvyšší podlaží je ustupující. V objektu je celkem 14 bytových jednotek různorodé velikostní skladby. Konstrukčně je dům řešen jako zděná konstrukce s monolitickými ŽB stropy. Schémata půdorysů jsou zobrazena na následujících obrázcích. Další výkresová dokumentace je v příloze H.



Obr. 6 – Schéma půdorysu 3.NP BD (červeně je vyznačená zóna s byty a modře zóna chodby)



Obr. 7 – Schéma řezu BD

Základní parametry, dané projektem:

- Celková půdorysná plocha domu: 1143,7 m²
- Půdorysné rozměry: 18 x 18m
- Objem vzduchu v zóně s byty 2303 m³
- Objem vzduchu v zóně chodby: 340 m³
- Výška budovy: 12,3 m
- Světlá výška podlaží: 2,62 m

4.2.2 Stanovení potřeby tepla na vytápění měsíční bilanční metodou

Jelikož se jedná o objekt realizovaný v pasivním standardu, byly hodnoty součinitelů prostupů tepla a další hodnoty převzaty z provedených energetických výpočtů. Pro účely této diplomové práce byl objekt zjednodušeně uvažován bez podzemního podlaží. Bylo tedy uvažováno s tím, že podlaha 1.NP je ve styku se zeminou. Součinitel prostupu tepla této konstrukce byl navržen tak, aby měrný

tepelný tok přes tuto konstrukci byl stejný jako měrný tepelný tok přes suterén a jeho obvodové konstrukce ve skutečném stavu. Výpočtový postup je dle měsíční bilanční metody, popsané v TNI 73 0329 [13]. Interiér budovy je uvažován jako jedna vytápěná zóna s návrhovou vnitřní teplotou $\theta_i = 20^\circ\text{C}$. Systémová hranice je vyznačena na Obr.H. 1 až Obr.H. 4 v Příloze H. Touto metodou byla stanovena potřeba tepla na vytápění BD 14,1 kWh/m²a. Podrobně jsou výpočtový postup měsíční bilanční metodou a tepelně-izolační vlastnosti obálky budovy popsány v Příloze I.

5. Postup výpočtu

Pro stanovení vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění je nutné sestavení dvou výpočtových modelů: model proudění vzduchu a model tepelného chování budovy. Oba modely, jejich matematický popis, jejich řešení a jejich vzájemné propojení mají svá specifika, která jsou popsána v následujících kapitolách.

Pro tuto diplomovou práci byly určeny dva možné způsoby přístupu k řešení problému:

1. Simulace modelu proudění vzduchu v budově provést pomocí programu CONTAM, ve kterém by byly zadány veškeré okrajové podmínky včetně konstantní vnitřní teploty. Výsledky množství infiltrovaného vzduchu by potom byly použity do modelu tepelného chování budovy, který by byl vytvořen např. v programu SIMULINK.

2. Oba modely by byly vytvořeny v programu SIMULINK (nástavba MATLABU), ve kterém by se oba modely mohly navzájem ovlivňovat v každém časovém kroku výpočtu.

V první fázi modelování byly vyzkoušeny oba přístupy. V průběhu řešení byl vybrán 2. přístup, který se ukázal jako nejspolehlivější a nejrychlejší varianta vedoucí k žádanému výsledku. Modely jsou simulovány v jednom programu a tím odpadá nutnost přenášet data z jednoho programu do druhého. Dále je tímto přístupem možné dosáhnout více variant propojení obou modelů (viz kapitola 5.2.3.4).

Jako okrajové podmínky do výpočtů byly použity klimatické podmínky odpovídající Praze (viz kapitola 6.1). Výpočetní krok obou modelů je 1 hodina.

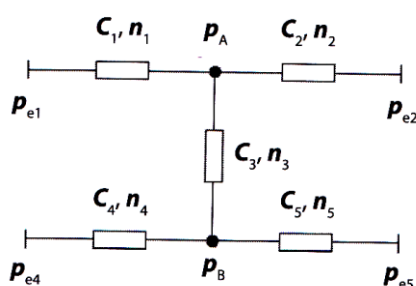
V následující tabulce jsou uvedeny vysvětlivky symbolů užitých ve schématech modelů. Ty vycházejí z analogie s elektrickým proudem, která je popsána v [7].

Tab. 3 – Vysvětlivky symbolů užitých ve schématech modelů

Symbol ve schématech	Model proudění	Tepelný model
●	Uzel (neznámá hodnota ve výpočtech), tlak v zóně	-
● =	-	Uzel s tepelnou kapacitou (neznámá hodnota ve výpočtech), teplota v zóně
□	Součinitel proudění C a exponent proudění n netěsnosti	Vodivost prvku, kterým se šíří teplo
T	Předepsaný tlak (Tlak v exteriéru)	Předepsaná teplota (teplota venkovního vzduchu)
→	-	Předepsaný tepelný tok (vytápění, solární zisky,...)

5.1 Model proudění vzduchu budovou

V tomto modelu představuje každá větraná zóna uzel, který vyjadřuje tlak v této zóně. Uzly jsou vzájemně propojeny větvemi. Členy, umístěné na této větvi, reprezentují cesty proudění vzduchu mezi zónami nebo mezi zónou a vnějším prostředím (C a n). V každém uzlu musí být součet hmotnostních toků vzduchu roven nule. Hmotnostní toky jsou nejčastěji vyjadřovány empirickou rovnicí proudění (viz kapitola 1.2). Výsledkem je v případě vícezónového modelu soustava rovnic. Vzhledem k tomu, že tyto rovnice jsou nelineární, lze soustavu rovnic řešit pouze iteračními metodami.



Obr. 8 - Obecné schéma vícezónového modelu proudění budovou (převzato z [1])

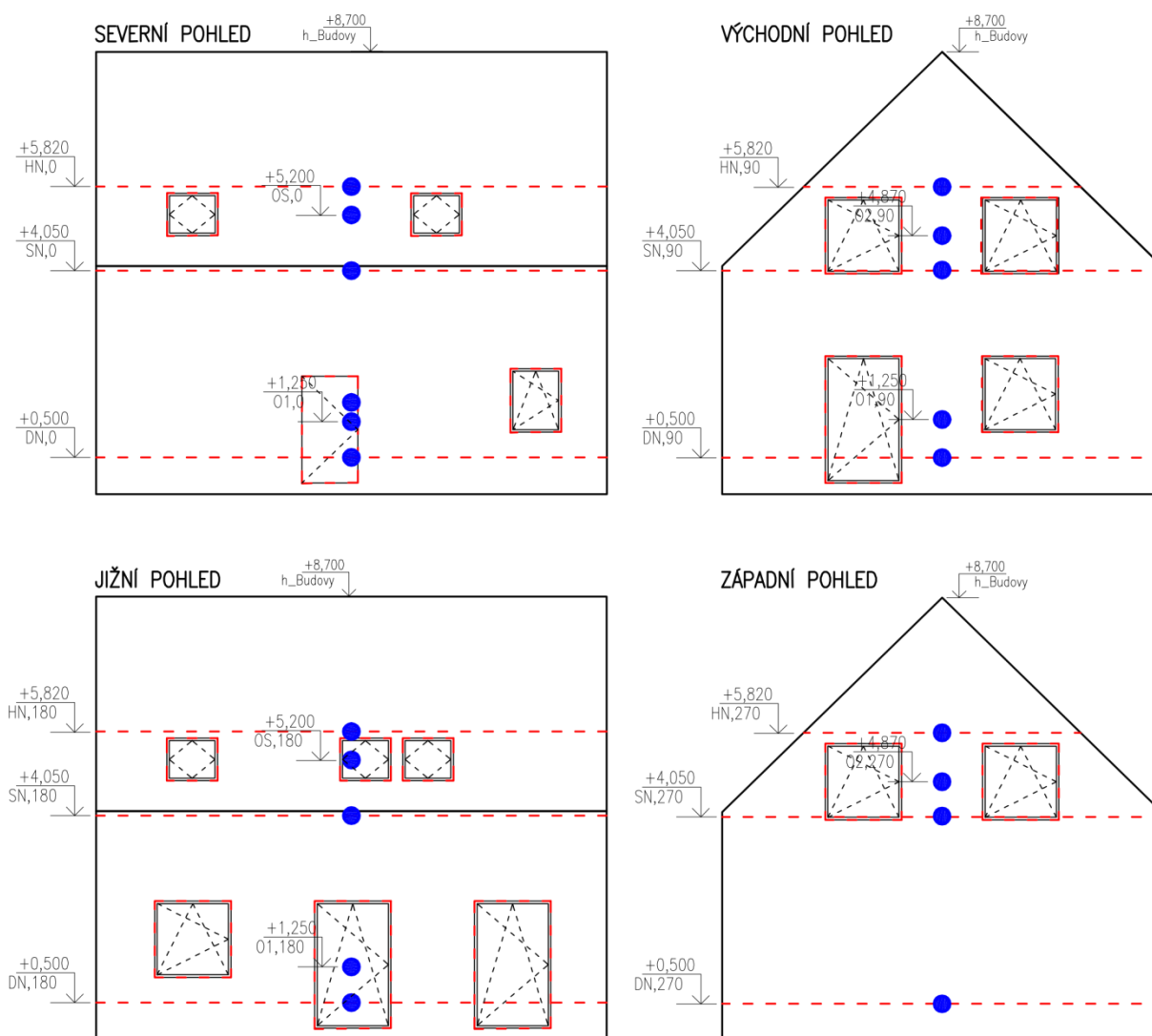
5.1.1 Obecný popis modelu proudění rodinným domem

Na základě tvarového, konstrukčního a dispozičního řešení simulovaného RD byl vytvořen jednozónový model proudění vzduchu. Níže je popsán postup stanovení modelu a provedená zjednodušení.

Reálně je obtížné určit přesné rozmístění netěsností v obvodových konstrukcích domu a tudíž modelovat každou netěsnost samostatně. Proto jsou v modelu netěsnosti zjednodušeně sdruženy do lineárních vodorovných netěsností po celém obvodu obalových konstrukcí v typických místech pro dřevostavby, jako jsou styky jednotlivých konstrukcí, prostupy přes vzduchotěsnou vrstvu, přípojovací spáry oken apod.

Lineární netěsnosti v modelu proudění vzduchu RD jsou rozmístěny v různých výškových úrovních. Spodní lineární netěsnost je umístěna 0,5 m nad podlahou 1NP, další je umístěna ve výškové úrovni konstrukčního styku obvodové stěny a střešní konstrukce (výška 4,05 m nad podlahou 1NP) a ve výškové úrovni spodní hrany kleštín vaznicového krovu (výška 5,82 m nad podlahou 1NP). Dále byly uvažovány netěsnosti kolem každého okna a to v délce přípojovací spáry okna. Všechny uvedené netěsnosti jsou v Obr. 9 naznačeny červenou přerušovanou čarou.

Z měřených dat bylo zjištěno, že proudění přes netěsnosti měřených rodinných domů je charakterizován exponentem proudění $n=0,8$, který odpovídá spíše laminárnímu proudění přes netěsnosti. Tato hodnota je použita ve všech rovnicích, popisujících proudění vzduchu přes netěsnost. S tímto a dalším, popsaným v následujícím odstavci, je možné přistoupit k dalšímu zjednodušení. Toto zjednodušení představuje sdružení lineární netěsnosti do jednotlivých bodů na fasádách RD s různou orientací ke světovým stranám. Schémata rozdělení netěsností po fasádě jsou zobrazena na Obr. 9.



Obr. 9 – Schématické pohledy na RD s rozdělením vodorovných lineárních netěsností a netěsností kolem oken (červená přerušovaná čára) a jejich sružení do bodů (modře) s uvedenou výškou. Legenda k obrázku je v Tab. 4.

Tab. 4 – Legenda k Obr. 9 a Obr. 10

Druh netěsnosti	Označení ve schématech	Výška (vztaheno k podlaze 1NP=+0,000)
Horní netěsnosti	HN,i	5,82 m
Střední netěsnosti	SN,i	4,05 m
Dolní netěsnosti	DN,i	0,50 m
Okna 1NP	O1,i	1,25 m
Okna 2NP	O2,i	4,87 m
Střešní okna	OS,i	5,20 m

i ... orientace prvku s netěsnostmi, která je určena úhlem, který svírá půdorysný průmět normály prvku se severem po směru hodinových ručiček [°]. Podle orientace prvku jsou tedy hodnoty i pro sever=0°, východ=90°, jih=180° a západ=270°

Součinitelé tlaku větru C_p , použité pro tento druh objektu, jsou zprůměrované pro celou plochu fasády nebo střešní plochy s příslušnou orientací ke světovým stranám. Proto je i každá z výše popsaných druhů netěsností sdružena do jednoho bodu na fasádách. Součinitelé tlaku větru C_p byly převzaty z tabulek uvedených v [5] a jejich hodnoty pro jednotlivé fasády a střešní plochy jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab. 5 – Součinitelé tlaku větru C_p pro RD, obklopený zástavbou stejné výšky jako simulovaný objekt

Plocha	Úhel směr větru ¹⁾							
	0	45	90	135	180	225	270	315
Fasáda	0,20	0,05	-0,25	-0,3	-0,25	-0,30	-0,25	0,05
Střecha	0,25	-0,30	-0,50	-0,30	-0,40	-0,30	-0,50	-0,30

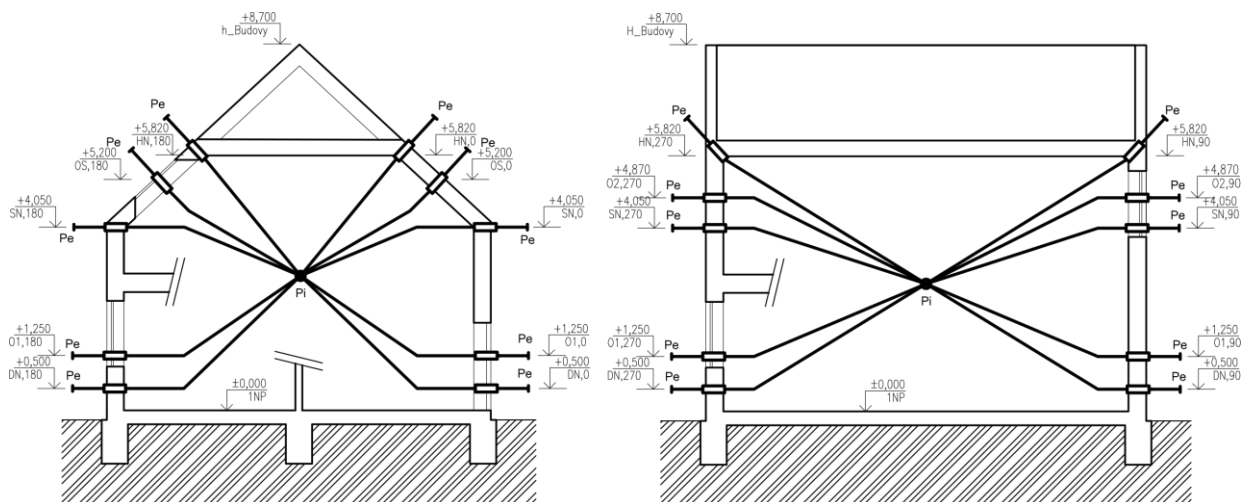
¹⁾ úhel, který svírá normála plochy se směrem větru

Tab. 6 – Součinitelé tlaku větru C_p pro RD, obklopený zástavbou poloviční výšky než simulovaný objekt

Plocha	Úhel směr větru ¹⁾							
	0	45	90	135	180	225	270	315
Fasáda	0,40	0,10	-0,30	-0,35	-0,20	-0,35	-0,30	0,10
Střecha	0,30	-0,50	-0,60	-0,50	-0,50	-0,50	-0,60	-0,50

¹⁾ úhel, který svírá normála plochy se směrem větru

Zahraniční studie [19], která srovnávaly jednozónové a vícezónové modely proudění vzduchu rodinnými domy, ukázala zanedbatelný rozdíl ve výsledcích mezi oběma modely. Důvodem je zejména velká netěsnost dveří mezi jednotlivými místnostmi RD. Model proudění vzduchu RD je tedy uvažovaný jako jednozónový. Na následujícím schématu je znázorněno schéma síťového modelu proudění vzduchu budovou, kde neznámou tvoří tlak v zóně P_i , propojený větvemi přes výše popsané netěsnosti (charakterizované součinitelem proudění vzduchu a exponentem proudění) s tlakem venkovního prostředí P_e .

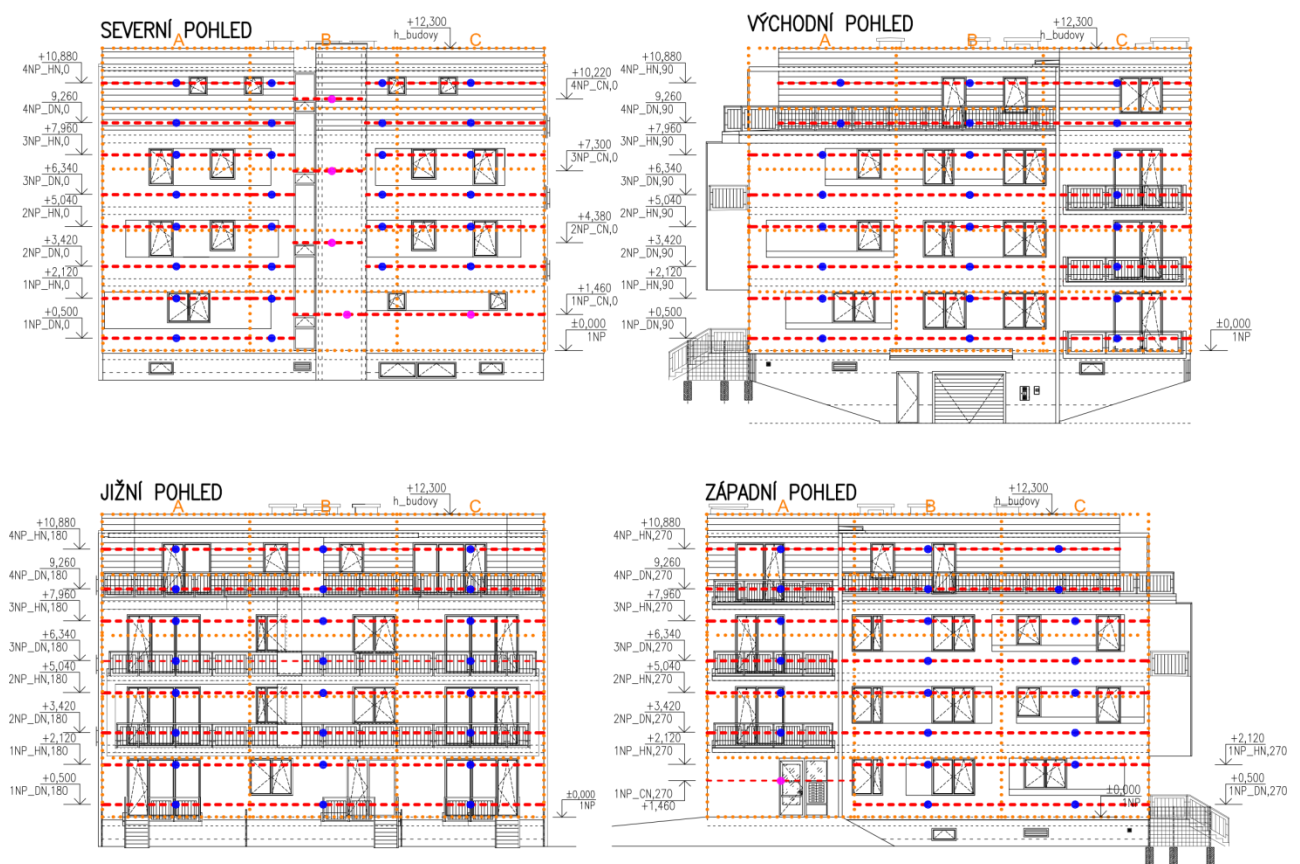


Obr. 10 – Schéma síťového modelu proudění vzduchu RD v příčném a podélném řezu. Legenda k obrázku je v Tab. 4.

5.1.2 Obecný popis modelu proudění bytovým domem

Bytový dům je charakterizován zónou chodby a jednotlivých bytů, které jsou mezi sebou relativně vzduchotěsné. Proto je uvažovaný model proudění BD uvažovaný jako vícezónový. Níže je popsán postup stanovení modelu proudění BD a provedená zjednodušení.

Stejně jako v případě RD i u BD je obtížné určit přesné rozmístění netěsností v obálce budovy. V případě BD byly zjednodušeně netěsnosti sdruženy do lineárních netěsností, které v zóně bytů jsou uvažovány ve výšce 0,5 m a 2,12m v každém podlaží. V zóně chodby jsou lineární netěsnosti uvažovány ve výšce 1,465 m nap podlahou každého podlaží. Schéma je na následujícím obrázku.



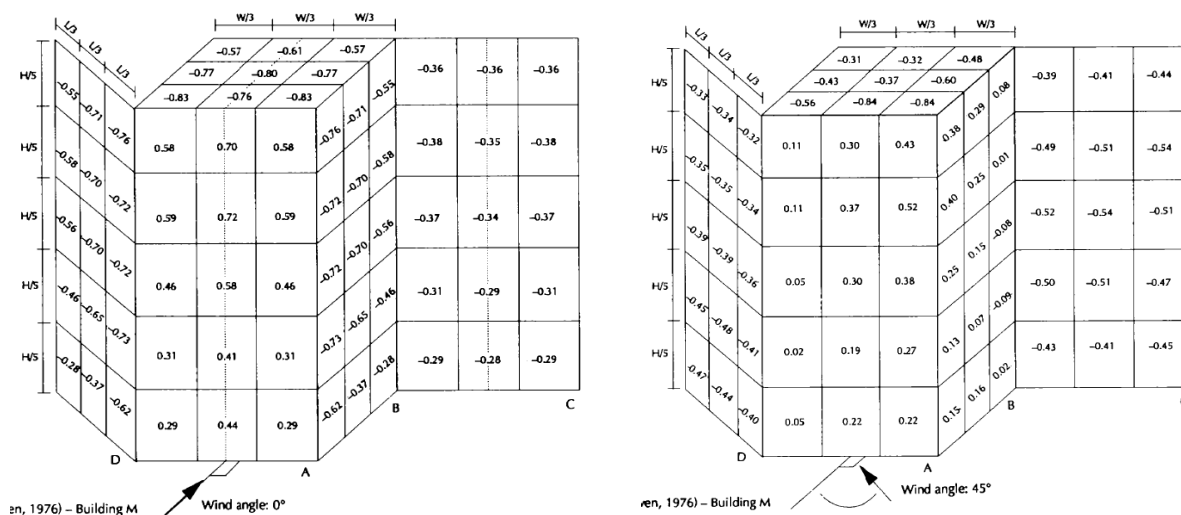
Obr. 11 – Schématické pohledy na BD s rozdělením vodorovných lineárních netěsností (červená přerušovaná čára) a jejich sdružení do bodů (modře) s uvedenou výškou. Oranžovou tečkovanou čarou jsou znázorněny zóny s rozdílnými hodnotami C_p dle Obr. 12. Legenda k obrázku je v Tab. 7.

Proudění přes netěsnosti v obálce budovy je charakterizováno jednotným exponentem proudění $n=0,7$. Stejně jako v případě RD byly lineární netěsnosti zjednodušeně sdruženy do jednoho bodu. Body jsou rozmístěny v různých zónách po obálce BD, odpovídajících zónám hodnot C_p , rozdělených na jednotlivých fasádách. Použití součinitelů tlaku větru C_p byly převzaty z [24] a jsou zobrazeny na Obr. 12.

Tab. 7 – Legenda k Obr. 11 a Obr. 13

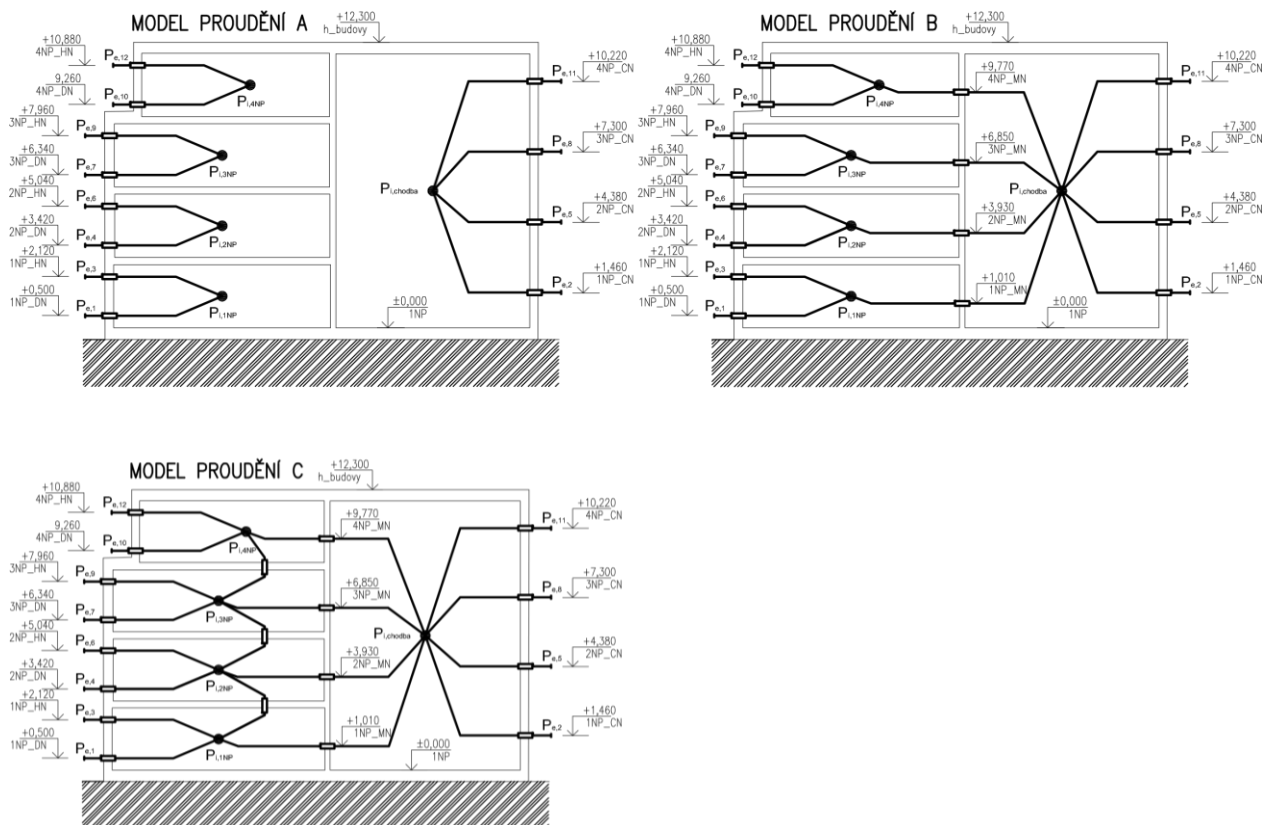
Druh netěsnosti	Označení ve schématech	Výška (vztaženo k úrovni čisté podlahy podlaží, ve kterém se netěsnost nachází)
Dolní netěsnosti v obálce zóny bytů	DN,i	0,50 m
Horní netěsnosti v obálce zóny bytů	HN,i	2,12 m
Netěsnosti v obálce zóny chodby	CN,i	1,465 m
Netěsnosti mezi zónami chodby a bytů	MN	1,25 m

i ... orientace prvku s netěsnostmi, která je určena úhlem, který svírá půdorysný průmět normály prvku se severem po směru hodinových ručiček [°]. Podle orientace prvku jsou tedy hodnoty i pro sever=0°, východ=90°, jih=180° a západ=270°



Obr. 12 – Součinitelé tlaku větru C_p , uvažované pro model proudění BD. Obr. převzat z [24]

Modely BD jsou provedeny v několika variantách. Varianta A modelu proudění představuje pětizónový model, kde je uvažováno s tím, že zóny jsou mezi sebou absolutně vzduchotěsné. Zóny mezi sebou nejsou tedy propojené netěsnostmi. Zóny v tomto modelu představují zónu chodby a zóny každého podlaží s byty, se zjednodušeným uvažováním všech bytů v podlaží jako jedna zóna. Varianta B modelu proudění BD má oproti variantě A propojené zóny bytů se zónou chodby netěsnostmi, představující vstupní dveře do bytu. Exponent proudění těchto netěsností je uvažován s hodnotou $n=0,6$. Varianta C modelu proudění BD má oproti variantě A navíc propojeny jednotlivé zóny bytu mezi sebou rozdělené vertikálními netěsnostmi, představující šachty s vedením vody, kanalizace, plynu,.... Hmotnostní toky přes tyto netěsnosti jsou v modelech počítány dle Rovnice 11. Schémata modelů jsou zobrazena na následujícím obrázku.



Obr. 13 – Schéma variant síťových modelů proudění vzduchu BD v řezu. Legenda k obrázku je v Tab. 7.

5.1.3 Matematické vyjádření modelů proudění vzduchu simulovanými objekty

V následujících kapitolách jsou uvedeny obecné rovnice, které sloužily k sestavení modelů proudění. Podrobně jsou rovnice vypsány v příloze F pro model proudění RD a v příloze M pro model proudění BD. Výpočtové rovnice a postupy, použité pro sestavení modelu proudění byly převzaty z [2], [3] a [6].

5.1.3.1 Bilanční rovnice

Bilance vychází z proudění vzduchu přes jednotlivé netěsnosti. Možnosti výpočtu hmotnostního toku přes netěsnosti jsou uvedeny v následujících kapitolách. Dle zákona zachování hmotnosti je množství vzduchu vstupujícího netěsnostmi do zóny rovné množství vzduchu proudící netěsnostmi ze zóny dle Rovnice 9.

Rovnice 9 – Bilanční rovnice proudění vzduchu přes netěsnosti v zóně

$$\sum m_a = 0$$

m_a ... hmotnostní tok vzduchu proudící netěsností [m³/h]

5.1.3.2 Hmotnostní tok m_a

Nejvíce používaným způsobem výpočtu hmotnostního toku přes netěsnost je dle Rovnice 10, která vychází z empirické rovnice proudění (Rovnice 1). Netěsnost je zde charakterizována součinitelem proudění vzduchu C a exponentem proudění n . Velikost dále závisí na rozdílu tlaku prostředí, mezi kterými se nachází netěsnost. Hodnota hustoty vzduchu je použita v závislosti na tom, z jakého prostředí vzduch proudí. Pokud je např. směr toku vzduchu z exteriéru do interiéru, je v rovnici použita hustota venkovního vzduchu. V uvažovaných modelech proudění je tok z exteriéru do interiéru uvažovaný s kladnou hodnotou.

Rovnice 10 – Výpočet hmotnostního toku vzduchu proudící netěsností

$$m_a = C \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P)^n$$

C ... součinitel proudění netěsnosti [$m^3/(h \cdot Pa^n)$]

K_Q ... korekční faktor [-]

ρ ... $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_e$... hustota venkovního vzduchu [kg/m^3]

... $\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_i$... hustota vnitřního vzduchu [kg/m^3]

ΔP ... tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem v místě netěsnosti j [Pa]

n ... exponent proudění [-]

Další možností výpočtu hmotnostního toku, použitého v simulacích, je dle Rovnice 11. Tato rovnice se použije především tehdy, pokud je třeba spočítat proudění vzduchu přes otvor o známé ploše průřezu. Výtokový součinitel C_D závisí na charakteru proudění netěsností. Ve výpočtech je uvažovaná hodnota $C_D = 0,65$.

Rovnice 11 – Výpočet hmotnostního toku vzduchu proudící netěsností

$$m_a = 3600 \cdot C_D \cdot A \cdot \rho \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}$$

C_D ... Výtokový součinitel [-]

ρ ... $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_e$... hustota venkovního vzduchu [kg/m^3]

... $\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_i$... hustota vnitřního vzduchu [kg/m^3]

ΔP ... tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem v místě netěsnosti [Pa]

A ... Plocha průřezu netěsnosti [-]

5.1.3.3 Korekční faktor K_Q

Součinitele proudění vzduchu C jsou zpravidla určeny při referenční teplotě vzduchu 20°C. Tento faktor zohledňuje vliv teploty vzduchu (nižší nebo vyšší oproti referenční) na proudění vzduchu přes netěsnost a dle [6] se zjednodušeně vypočítá dle Rovnice 12.

Rovnice 12 – Výpočet korekčního faktoru K_Q dle [6]

$$K_Q = \left(\frac{T}{T_0}\right)^n \left(\frac{T_0 - 136}{T - 136}\right)^{2n-1}$$

T ... termodynamická teplota proudícího vzduchu netěsností [K]

T_0 ... 293,15 K (referenční teplota)

n ... exponent proudění [-]

5.1.3.4 Tlakový rozdíl ΔP

Tlakový rozdíl ΔP je s ohledem na uvažovaný kladný tok z exteriéru do interiéru vyjádřen jako rozdíl mezi tlakem v exteriéru P_{out} a interiéru budovy P_i . K tomu je přičten vliv rozdílu hustot venkovního a vnitřního vzduchu P_s a vliv větru P_w dle Rovnice 13.

Rovnice 13 – Tlakový rozdíl v místě netěsnosti

$$\Delta P = P_{out} - P_i + P_s + P_w$$

P_{out} ... tlak ve venkovním prostředí, ve výpočtech uvažováno s referenční hodnotou $P_{out}=0$ [Pa]

P_i ... tlak v zóně (neznámá hodnota) [Pa]

P_s ... tlak, vyvolaný rozdílem teplot mezi dvěma prostředími, mezi kterými se nachází daná netěsnost [Pa]

P_w ... tlak, způsobený větrem působící na obálku budovy, ve které se nachází daná netěsnost [Pa]

Tlak vyvolaný rozdílem teplot je ve výpočtech počítán dle Rovnice 14. Výška netěsnosti h_i je vztažena k referenční výšce, která je pro jednotlivé zóny v úrovni čisté podlahy dané zóny. Výška h_e je vztažena k referenční výšce, která je v modelech vždy v úrovni čisté podlahy 1NP objektu.

Rovnice 14 – Tlak vyvolaný rozdílem teplot

$$P_s = h_i \cdot \rho_i \cdot g - h_e \cdot \rho_e \cdot g$$

h_i ... výška netěsnosti, vztažena k referenční výšce v zóně [m]

h_e ... výška netěsnosti, vztažena k referenční výšce exteriéru [m]

ρ_i ... hustota vnitřního vzduchu [kg/m³]

ρ_e ... hustota venkovního vzduchu [kg/m³]

g ... gravitační konstanta, jejíž hodnota je 9,81 [m/s²]

Tlak, způsobený větrem, je v modelech proudění počítán dle Rovnice 15. Použité hodnoty součinitelů tlaku větru C_p jsou uvedeny v popisech modelů proudění v kapitolách 5.1.1 a 5.1.2. Hodnota C_p pro danou netěsnost je dána směrem větru. Pro směry větru, pro které není uvedena hodnota C_p je tato hodnota dopočtena lineární interpolací mezi dvěma nejbližšími hodnotami C_p pro určitý směr větru.

Rovnice 15 – Tlak vyvolaný vlivem větru

$$P_w = C_p \cdot \frac{\rho_e \cdot U_H^2}{2}$$

C_p ... součinitel tlaku větru [-]

ρ_e ... hustota venkovního vzduchu [kg/m³]

U_H ... síla větru ve výškové úrovni hřebeny/atiky střechy budovy [m/s]

Síla větru U_H je přepočítána dle hodnot naměřených v příslušné meteorologické stanici dle Rovnice 16. Důležitou roli zde i hraje stínění budovy okolními objekty, které jsou v rovnici zahrnuty příslušnými součiniteli uvedených v Tab. 8.

Rovnice 16 – Výpočet síly větru U_H dle [2]

$$U_H = U_{met} \left(\frac{\delta_{met}}{H_{met}} \right)^{\alpha_{met}} \left(\frac{H}{\delta} \right)^{\alpha}$$

U_{met} ... síla větru změřená v meteorologické stanici obvykle ve výšce $H_{met}=10$ m

$\alpha_{met}, \delta_{met}$... součinitelé popisující terén v okolí meteorologické stanice dle [2] s hodnotami $\alpha_{met}=0,14$ a $\delta_{met}=270$ m

Tab. 8 - Hodnoty součinitelů z [2], popisující vliv okolních objektů na stínění budovy

Popis	α [-]	δ [m]
Centra velkých měst	0,33	460
Předměstí, zalesněná krajina	0,22	370
Otevřená krajina	0,14	270

5.1.4 Porovnání výsledků modelu proudění s programem Contam

Pro ověření správnosti výsledků modelu proudění, vytvořený v programu SIMULINK (viz kapitola 5.4), byly výsledky porovnány se stejným modelem, vytvořeným v programu ContamW verze 3.2.0.2. CONTAM je program pro analýzu proudění vzduchu a škodlivin v budově.

Pro porovnání výsledků byl vybrán model proudění RD popsáný v kapitole 5.1.1. Rozdělení netěsností bylo dle varianty 5 (50%,0%,50%,0%), která je popsána v kapitole 6.2.1. Jako okrajové

podmínky byly zvoleny klimatická data dle kapitoly 6.1 pro měsíc leden. Návrhová vnitřní teplota byla 20°C.

Výsledky porovnání jsou uvedeny v Tab. 9. Z tabulky je patrné, že rozdíly ve výsledcích průtoku vzduchu přes netěsnosti jsou v rozmezí od -0,7% do 1,4%. Rozdíl ve výsledcích celkového průtoku budovou za celý měsíc je 0,3%. Rozdíly jsou tedy zanedbatelné. Drobné rozdíly ve výsledcích jsou zřejmě způsobeny odlišným způsobem řešení iterace nelineárních rovnic v programech a použití zjednodušeného výpočtu korekčního faktoru K_Q dle Rovnice 12 oproti výpočtu v programu CONTAM.

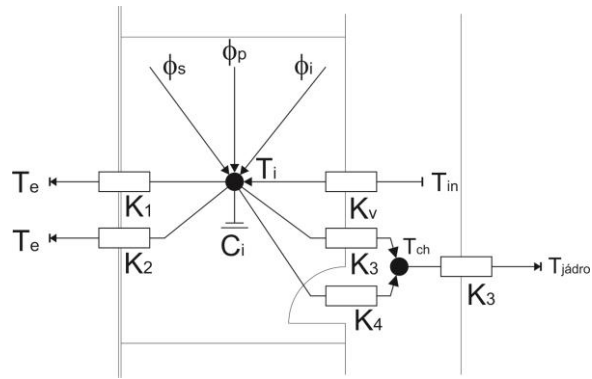
Tab. 9 – Porovnání výsledků modelu proudění RD v obou programech pro rozdělení netěsností dle varianty 5 pro měsíc leden. Průtok vzduchu s kladnou hodnotou má směr z exteriéru do budovy.

Použitý program	Netěsnost (označení dle kapitoly 5.1.1)								Celkový průtok budovou
	DN,0	DN,90	DN,180	DN,270	HN,0	HN,90	HN,180	HN,270	
Průtok vzduchu vypočtený v Simulinku [kg]	-10558	-3704	25497	23598	-32500	-4147	-12860	14674	63769
Průtok vzduchu vypočtený v Contamu [kg]	-10536	-3652	25587	23649	-32719	-4126	-12912	14709	63946
Rozdíl ve výsledcích	0,2%	1,4%	-0,2%	-0,2%	-0,7%	0,5%	-0,4%	-0,2%	-0,3%

5.2 Model tepelného chování budovy

Pro účely této diplomové práce slouží pro výpočet potřeby tepla na vytápění tepelný model budovy. Vzhledem k tomu, že simulace jsou provedeny s hodinovým krokem výpočtu, byl zvolen model tepelného chování budovy v neustáleném stavu. V tomto typu tepelného modelu budovy je počítáno s akumulací schopnostmi vnitřních i obalových konstrukcí budovy a je tak přesněji vypočítána teplota pro danou hodinu v roce, než v tepelném modelu v ustáleném stavu.

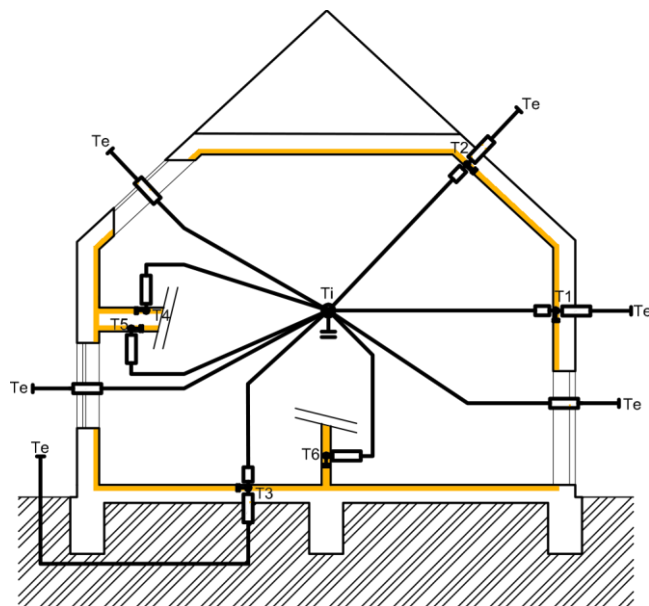
V tepelném modelu budovy představuje každá zóna, popřípadě místo v konstrukci, uzel, který vyjadřuje teplotu zóny nebo místa uvnitř konstrukce. Uzly dále mají přiřazenou tepelnou kapacitu, jejíž hodnota je závislá na tepelně-akumulačních schopnostech konstrukcí kolem zóny. Tyto uzly jsou propojeny s venkovním prostředím nebo mezi sebou větvemi, na níž jsou umístěny další členy. Tyto členy vyjadřují vodivosti jednotlivých konstrukcí, přes které prochází tepelný tok. Šipky do uzlu představují tepelné zisky od vytápění, vnitřní tepelné zisky a solární zisky skrz průsvitné konstrukce. Matematické rovnice popisující tento model jsou diferenciální. Případy, kdy jsou uvažovány každou hodinu jiné okrajové podmínky (nelze vyjádřit žádnou matematickou funkcí), lze řešit pouze numerickými metodami. Obecné schéma modelu je na Obr. 14.



Obr. 14 - Obecné schéma tepelného modelu v neustáleném stavu

5.2.1 Obecný popis modelu tepelného chování rodinného domu

Na základě tvarového, konstrukčního a dispozičního řešení simulovaného RD byl vytvořen tepelný model. Jako hlavní výstupní veličina z tohoto modelu je potřeba tepla na vytápění. Z tohoto důvodu, kdy není nutné přesně znát další parametry, byly místnosti mezi obalovými konstrukcemi domu uvažovány jako jedna zóna s návrhovou teplotou 20°C. Toto zjednodušení vyplývá i z charakteru objektu, kde teplota jednotlivých místností je přibližně stejná. Uvažovaný teplotní model je tedy jednozónový a jeho schéma je na Obr. 15.



Obr. 15 - Schéma modelu tepelného chování rodinného domu. Žlutě je vyznačena tloušťka vrstvy konstrukce (10 cm od vnitřního povrchu), uvažovaná pro tepelnou akumulaci.

Tepelné vodivosti konstrukcí objektu jsou vypočteny na základě součinitelů prostupů tepla, které byly stanoveny dle kapitoly 4.1.2 a jsou uvedeny v Příloze C. V modelu je uvažováno s neustáleným vedením tepla a je tedy počítáno s tepelně akumuláčními schopnostmi vnitřních i obalových konstrukcí. Teplotu zóny ovlivňuje přibližně prvních 10 cm konstrukce od povrchu,

náležící předmětné zóně (účinná tloušťka konstrukce). Proto byly do těchto konstrukcí umístěny uzly do poloviny účinné tloušťky konstrukce, tedy 5 cm od vnitřního povrchu jednotlivých konstrukcí. Tepelné ztráty (nebo zisky) prostupem tepla jsou přes obalové konstrukce, kterými jsou:

- Obvodové stěny
- Podlaha (1NP) ve styku se zemí
- Střecha v kontaktu s vnějším prostředím a s nevytápěným prostorem podkroví
- Okenní a dveřní konstrukce
- Tepelné vazby mezi jednotlivými konstrukcemi

Větrání rodinného domu je zajištěno rovnotlakým větracím systémem s rekuperací tepla. Rekuperace tepla v modelu tepelného chování rodinného domu je uvažovaná s 75% účinností pro celý simulovaný rok. Dále je uvažováno s tepelnou ztrátou (nebo ziskem) vzduchem, který infiltruje do budovy přes netěsnosti v obvodových konstrukcích RD, vypočteným v modelu proudění RD.

Množství objemového toku větracího vzduchu bylo vypočítáno dle režimu obsazenosti budovy. V době, kdy je budova obsazená, je množství přiváděného vzduchu 25 m³/h na osobu. Pro budovu v neobsazeném stavu je množství přiváděného vzduchu 0,1 m³/h, násobeno objemem vzduchu v zóně. Zóna chodby je po celý den uvažovaná v neobsazeném stavu. Hodnoty pro typický den jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 10 – Množství přiváděného větracího vzduchu do RD během typického dne.

Rodinný dům	Typický den		
	00:00 – 08:00 hod.	08:00 – 16:00 hod.	16:00 – 24:00 hod.
Obsazenost budovy	100%	0%	100%
Objem vzduchu v zóně [m ³]	351,9		
Počet osob	4	0	4
Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	100,0	35,2	100,0

V modelu jsou uvažovány tepelné zisky od vytápění, vnitřní tepelné zisky (od osob, spotřebičů, osvětlení) a solární zisky přes průsvitné konstrukce. Tepelný zisk od vytápění je počítán na základě teploty vytápěné zóny. Množství tohoto vypočteného tepelného toku zajišťuje udržení návrhové teploty vytápěné zóny, která je 20°C.

Vnitřní tepelné zisky Φ_i jsou v tepelných modelech počítány s průměrným výkonem 100 W/osoba a 100 W/byt. Vnitřní zisky byly stanoveny dle režimu obsazenosti budovy během typického dne dle Tab. 11.

Tab. 11 – Vnitřní tepelné zisky ve vytápěné zóně RD během typického dne.

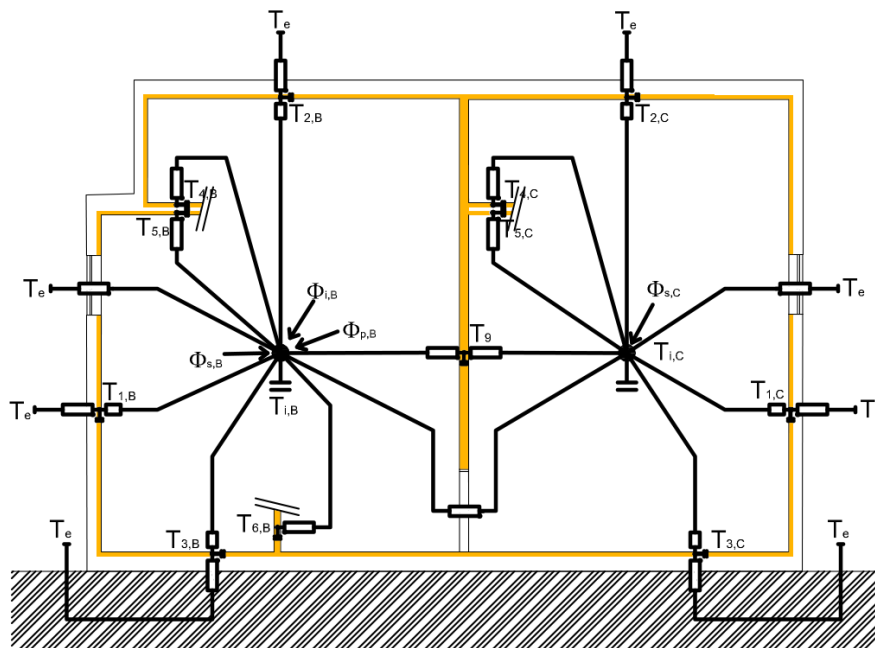
Rodinný dům	Typický den		
	00:00 – 08:00 hod.	08:00 – 16:00 hod.	16:00 – 24:00 hod.
Obsazenost budovy	100%	0%	100%
Počet bytových jednotek	1		
Počet osob	4	0	4
Vnitřní tepelné zisky [W]	500	100	500

Zjednodušujícími předpoklady tohoto modelu jsou:

- Zanedbání přenosu tepla mezi jednotlivými místnostmi. Dům je uvažován jako jedna zóna s jednou teplotou
- Sloučení radiační a konvekční složky tepla do jedné ekvivalentní teploty
- Zanedbání dopadajícího slunečního záření na neprůhledné konstrukce objektu

5.2.2 Obecný popis modelu tepelného chování bytového domu

Na základě tvarového, konstrukčního a dispozičního řešení simulovaného BD byl vytvořen model tepelného modelu chování BD. Jako hlavní výstupní veličina z tohoto modelu je potřeba tepla na vytápění. V modelu tepelného chování BD jsou uvažovány 2 zóny, které mají odlišný provoz. První zónu v modelu tvoří vytápěná zóna bytů. Stejně jako v předchozím modelu je i zde počítáno s tím, že požadavky na teplotu v jednotlivých bytech a jejich místnostech budou přibližně stejné a proto jsou všechny byty sdruženy do jedné zóny s návrhovou teplotou 20°C. Druhá zóna v modelu tvoří nevytápěná zóna chodby. Uvažovaný model tepelného chování BD je tedy dvouzónový a jeho schéma je zobrazeno na Obr. 16.



Obr. 16 - Schéma modelu tepelného chování bytového domu. Žlutě je vyznačena tl. vrstva konstrukce (10 cm od vnitřního povrchu) uvažovaná pro tepelnou akumulaci.

Tepelné vodivosti konstrukcí objektů jsou vypočteny na základě součinitelů prostupů tepla, které byly stanoveny dle kapitoly 4.2.2 a jsou uvedeny v Příloze J. V modelu je uvažováno s neustálým vedením tepla a je tedy počítáno s tepelně akumuláčními schopnostmi vnitřních i obalových konstrukcí stejným způsobem popsaným jako v modelu tepelného chování RD popsaným v předchozí kapitole. V modelu je tedy uvažováno s přenosem tepla prostupem stěnou mezi zónou bytů a zónou chodby. Dále je počítáno s prostupem tepla do venkovního prostředí přes:

- Obvodové stěny
- Podlahu (1NP) ve styku se zeminou
- Střechu v kontaktu s vnějším prostředím
- Okenní a dveřní konstrukce
- Tepelné vazby mezi jednotlivými konstrukcemi

Větrání BD je zajištěno rovnotlakým větracím systémem s rekuperací tepla. Rekuperace tepla v modelu tepelného chování BD je uvažováno s 75% účinností pro celý simulovaný rok. Dále je uvažováno s tepelnou ztrátou (nebo ziskem) vzduchem, který infiltruje do budovy přes netěsnosti v obvodových konstrukcích BD, vypočteným v modelu proudění BD. Dále je uvažováno s tepelnou ztrátou (nebo ziskem) vzduchem, který infiltruje mezi jednotlivými zónami v případě variant s netěsnými vnitřními konstrukcemi modelů proudění BD.

Množství objemového toku větracího vzduchu bylo vypočteno dle režimu obsazenosti budovy. V době, kdy je budova obsazená, je množství přiváděného vzduchu 25 m³/h na osobu. Pro budovu v neobsazeném stavu je množství přiváděného vzduchu 0,1 m³/h, násobeno objemem vzduchu v zóně. Zóna chodby je po celý den uvažovaná v neobsazeném stavu. Hodnoty pro typický den jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 12 – Množství přiváděného větracího vzduchu do BD během typického dne.

Bytový dům		Typický den		
		00:00 – 08:00 hod.	08:00 – 16:00 hod.	16:00 – 24:00 hod.
Obsazenost budovy		100%	0%	100%
Zóna bytů	Objem vzduchu v zóně [m ³]	2303,2		
	Počet osob	40	0	40
	Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	1000,0	230,3	1000,0
Zóna chodby	Objem vzduchu v zóně [m ³]	340,6		
	Množství přiváděného vzduchu [m ³ /h]	34,1		

V modelu jsou ve vytápěné zóně bytů uvažovány tepelné zisky od vytápění, vnitřní tepelné zisky (od osob, spotřebičů, osvětlení) a solární zisky přes průsvitné konstrukce. Tepelný zisk od vytápění je počítán na základě teploty vytápěné zóny. Množství tohoto vypočteného tepelného toku zajišťuje udržení návrhové teploty vytápěné zóny, která je 20°C.

Vnitřní tepelné zisky Φ_i jsou v tepelných modelech počítány s průměrným výkonem 100 W/osobu a 100 W/byt. Vnitřní zisky byly stanoveny dle režimu obsazenosti budovy během typického dne dle Tab. 13

Tab. 13 – Vnitřní tepelné zisky ve vytápěné zóně BD během typického dne.

Bytový dům	Typický den		
	00:00 – 08:00 hod.	08:00 – 16:00 hod.	16:00 – 24:00 hod.
Obsazenost budovy	100%	0%	100%
Počet bytových jednotek	14		
Počet osob	40	0	40
Vnitřní tepelné zisky [W]	5400	1400	5400

Zjednodušující předpoklady jsou stejné, jako v tepelném modelu RD, popsáným v předchozí kapitole.

5.2.3 Matematické vyjádření tepelného chování budovy

Rovnice, popisující model v neustáleném stavu vycházejí ze zákona zachování energie a zjednodušeně se dají slovy vyjádřit jako:

akumulované množství = přitékající množství tepla – odtékající množství tepla

což je matematicky vyjádřeno diferenciální rovnicí:

Rovnice 17 – rovnice neustáleného vedení tepla

$$mc \frac{dT}{dt} = \Phi_{in} - \Phi_{out}$$

m ... hmotnost kontrolního objemu [kg]

c ... je měrná tepelná kapacita kontrolního objemu [J/(kgK)]

$\frac{dT}{dt}$... derivace teploty kontrolního objemu podle času [°C/s]

Φ_{in} ... tepelný tok vstupující do kontrolního objemu [W]

Φ_{out} ... tepelný tok vystupující z kontrolního objemu [W]

Každý uzel v modelech je matematicky popsán dle Rovnice 17. Podrobně jsou tyto rovnice rozepsány v Příloze D pro tepelný model RD a v Příloze K pro tepelný model BD.

5.2.3.1 Výpočet prostupu tepla přes konstrukce

Dle Fourierova zákona je tepelný tok vyvolán gradientem teplot mezi místy o různé teplotě, kde teplo proudí z místa o vyšší teplotě do místa s nižší teplotou. V případě vedení tepla prostupem přes konstrukce je tepelný tok popsán dle Rovnice 18. V této rovnici je uvažované proudění tepla z uzlu o teplotě T_1 do uzlu o teplotě T_2 v případě kladné hodnoty tepelného toku a naopak v případě záporné hodnoty tepelného toku. Velikost tepelného toku závisí na velikosti rozdílu teplot a na velikosti tepelné vodivosti konstrukce.

Rovnice 18 – rovnice neustáleného vedení tepla

$$\Phi_T = K \cdot (T_1 - T_2)$$

Φ_T ... tepelný tok přes konstrukci budovy [W]

K ... tepelná vodivost konstrukce [W/K]

T_1, T_2 ... teplota v uzlu v místě 1 a 2 [°C]

5.2.3.2 Výpočet tepelné ztráty či zisku prouděním vzduchu

Dalším možným způsobem přenosu tepla je větrání a infiltrace vzduchu do budovy. Dle Rovnice 19 vzduch o teplotě T_1 proudí do zóny o teplotě T_2 . V případě kladného rozdílu teplot ($T_1 > T_2$) by to znamenalo tepelný zisk zóny a v případě záporného rozdílu ($T_2 > T_1$) by to znamenalo tepelnou ztrátu zóny. Velikost tepelné ztráty či zisku závisí na velikosti rozdílu teplot a na rychlosti proudění vzduchu.

Rovnice 19 – Výpočet tepelné ztráty či zisku prouděním vzduchu

$$\Phi_V = m_a \cdot c_a \cdot (T_1 - T_2)$$

Φ_V ... tepelná ztráta popř. zisk tepla proudícím vzduchem [W]

m_a ... hmotnostní tok vzduchu [kg/s]

c_a ... měrná tepelná kapacita vzduchu = 1010 J/(kgK)

T_1 ... teplota přiváděného vzduchu [°C]

T_2 ... teplota vzduchu v zóně, kam se přivádí vzduch [°C]

5.2.3.3 Výpočet solárních zisků

Solární zisky v tepelných modelech simulovaných budov jsou počítány zvlášť pro přímou a difúzní složku slunečního záření. Hodnoty slunečního záření jsou převzaty z klimatických dat popsanych v kapitole 6.1. Výpočet solárních zisků je dle Rovnice 20 až Rovnice 22.

Rovnice 20 – Výpočet solárních zisků

$$\Phi_S = [0,9 \cdot A_{WS} \cdot G_{GT} + (A_W - A_{WS}) \cdot G_{DT}] \cdot g$$

Φ_S ... tepelný zisk od slunečního záření [W]

0,9 ... korekční činitel pro zvýšené ztráty odrazem při větších úhlech dopadu slunečního záření

A_W ... Plocha zasklení okna [m²]

A_{WS} ... osluněná plocha zasklení okna [m²]

G_{GT} ... celková intenzita sluneční radiace [W/m²]

G_{DT} ... intenzita difúzní sluneční radiace [W/m²]

g ... solární propustnost zasklení [-]

Rovnice 21 – Výpočet osluněné plochy zasklení okna z předchozí rovnice

$$A_{WS} = [l_A - (e_1 - y)] \cdot [l_B - (e_2 - z)]$$

l_A, l_B ... šířka a výška zasklené části okna [m]

y, z ... odstup svislé a vodorovné části okna od slunolamů [m]

e_1, e_2 ... délky stínů v okenním otvoru od kraje stínícího prvku [m]

Rovnice 22 – Výpočet délky stínů z předchozí rovnice

$$e_1 = d \cdot |\operatorname{tg}(\alpha - \gamma)|$$

$$e_2 = \frac{c \cdot |\operatorname{tg} h|}{|\cos(\alpha - \gamma)|}$$

c, d ... hloubka okna vzhledem k stínícímu prvku [m]

α ... azimut slunce [°]

γ ... orientace prvku [°]

h ... výška slunce [°]

5.2.3.4 Výpočet tepelných zisků od vytápění

Výpočet je dle Rovnice 23, kde jsou tepelné zisky od vytápění stanoveny jako rozdíl mezi návrhovou teplotou zóny a skutečnou hodnotou teploty v daném časovém kroku, vynásobený vhodně zvolenou konstantou C. Konstanta C byla zvolena dle předběžných výpočtů tak, aby tep. zisk od vytápění byl dostatečný pro udržení návrhové teploty ve vytápěné zóně $\theta_{id}=20^\circ\text{C}$ v průběhu otopného období.

Rovnice 23 – Tepelné zisky od vytápění

$$\Phi_P = (T_{id} - T_i) \cdot C$$

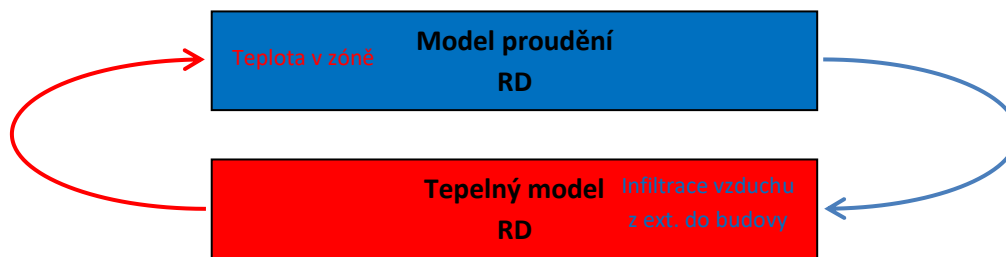
T_{id} ... návrhová teplota v zóně [°C]

T_i ... skutečná teplota v zóně [°C]

C ... zvolená konstanta (5000 pro RD, 15000 pro BD) [W/K]

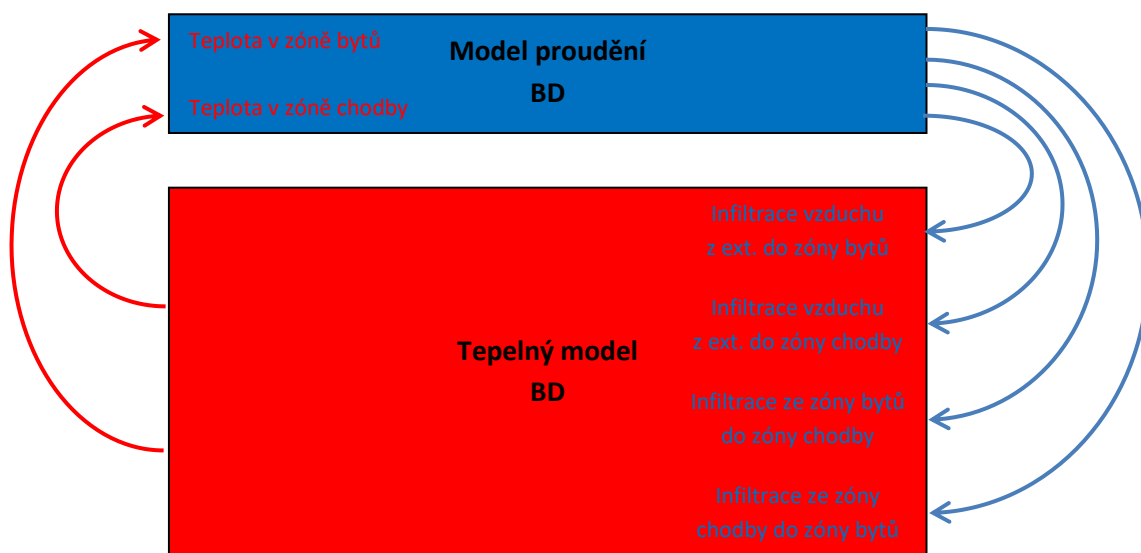
5.3 Propojení modelů tepelného chování budovy a proudění vzduchu budovou

Pro stanovení výsledků byly oba výše popsané druhy modelů propojeny. Propojení modelů pro účely simulace vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění znamená, že infiltrace vzduchu z venkovního prostředí do budovy přes netěsnosti v obvodovém plášti RD, vypočítaná v modelu proudění, je do tepelného modelu vložena jako hmotnostní tok a dle Rovnice 19 byla vypočítána její tepelná ztráta nebo zisk do celkové tepelné bilanci vytápěné zóny. Model tepelného chování zase předává modelu proudění informaci o teplotě v zóně, kde má vliv na výpočet hustot vzduchu, použitých pro výpočet dalších veličin. Schéma, zobrazující informace o všech veličinách, které si mezi sebou jednozónový model proudění RD a jednozónový tepelný model RD předávají, jsou na Obr. 17.



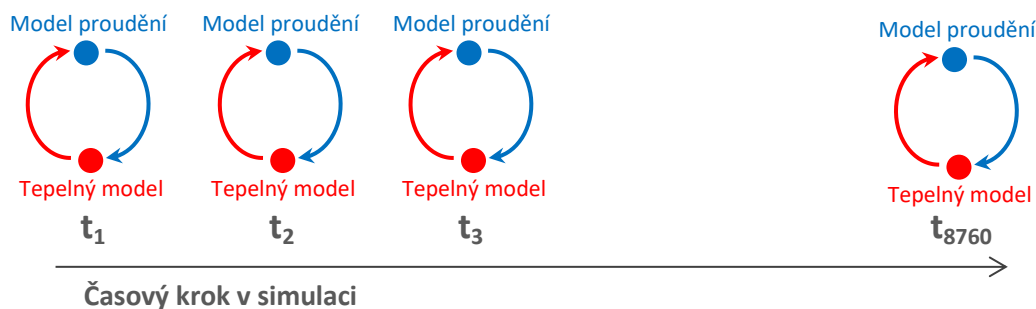
Obr. 17 – Výměna informací mezi oběma modely RD

U modelů proudění a tepelného chování BD je v obou modelech navíc nevytápěná zóna chodby, takže do tepelného modelu je navíc předávána informace o infiltraci vzduchu z exteriéru do zóny chodby a infiltrace vzduchu mezi zónou bytů a zónou chodby. Schéma, zobrazující informace o všech veličinách, které si mezi sebou jednozónový model proudění RD a jednozónový tepelný model RD předávají, je na Obr. 18.



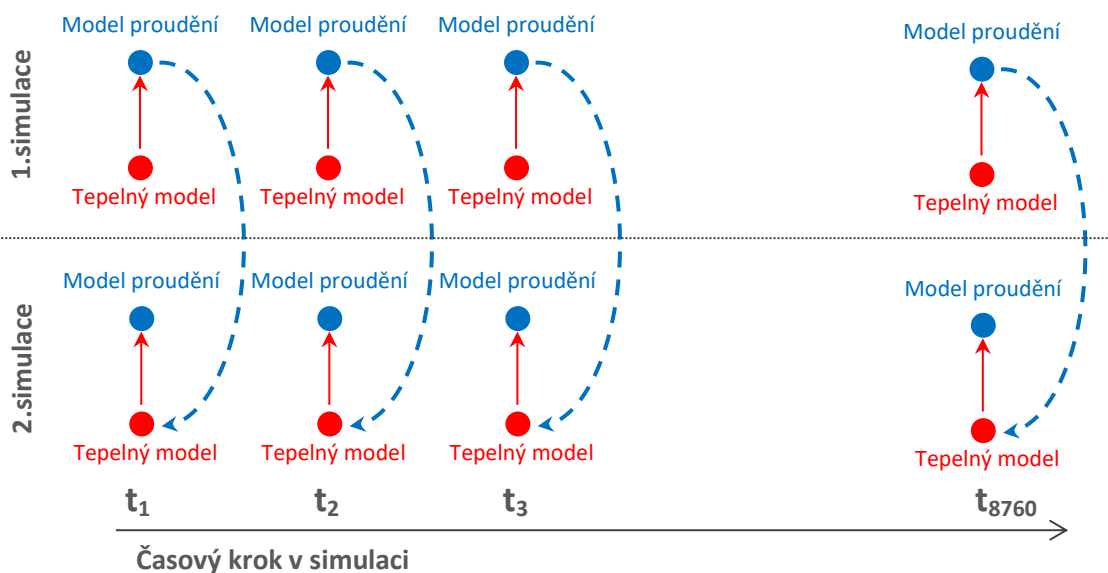
Obr. 18 – Výměna informací mezi oběma modely BD

Možnosti řešení propojení modelu tepelného chování budovy a modelu proudění vzduchu jsou uvedeny např. v [4], [5] nebo [17]. Pro modely RD bylo vybráno jako nejvhodnější způsob řešení takové propojení, kde vypočítaná hodnota infiltrace vzduchu je předána do tepelného modelu a hodnoty teplot vzduchu zpátky do modelu proudění. Proces iterace je opakován do okamžiku, dokud není dosaženo „rovnováhy“ mezi oběma modely, a to v každém časovém kroku simulace. Tento způsob je nejpresnější možností propojení obou modelů. Schéma je na Obr. 19.



Obr. 19 – Schéma řešení propojení modelů tepelného chování a proudění vzduchu rodinného domu

Modely proudění BD jsou vícezónové, což představuje větší požadavky na hardware při stejném způsobu řešení v programu SIMULINK jako u jednozónových modelů RD. Vzhledem k tomu bylo u řešení simulací modelů BD přistoupeno k odlišnému řešení. Schéma tohoto řešení je na Obr. 20. První simulace sloužila k výpočtu infiltrace vzduchu v modelu proudění na základě teplot v zónách vypočtených v tepelném modelu. Další simulace proběhla stejným způsobem s tím rozdílem, že byly do tepelného modelu předány informace o hodnotách infiltrace vzduchu z modelu proudění z první simulace v daných časových krocích. Simulace byly prováděny do té doby, dokud se hodnoty důležitých veličin (infiltrace vzduchu, teploty v zónách, potřeba tepla na vytápění) mezi dvěma posledními simulacemi v řadě téměř nelišily. Provedené simulace ukázaly, že rozdíl v hodnotách těchto veličin mezi 3. a 4. simulací byl maximálně 0,02%.



Obr. 20 - Schéma řešení propojení modelů tepelného chování a proudění vzduchu bytového domu

5.4 Simulační nástroj

Jako simulační nástroj byl použit program SIMULINK verze 8.3, který je součástí programu MATLAB. Je to nástroj pro modelování a analyzování dynamických systémů. Jedním z důvodů, proč byl tento program vybrán pro řešení bylo to, že jsou v tomto programu podporovány lineární i nelineární systémy, spojitě i diskrétní modely, případně jejich kombinace.

Předmětné simulace s hodinovým krokem výpočtu jsou řešeny jako diskrétní, neboť s každou změnou časového kroku výpočtu se skokově změní i okrajové podmínky. V programu SIMULINK to znamená použití bloků, podporující řešení diskrétních systémů, kde např. pro řešení diferenciálních rovnic v tepelných modelech byl použit blok Discrete-Time Integrator. Pro soustavu nelineárních rovnic modelů proudění a diferenciálních rovnic tepelných modelů byl v programu SIMULINK použit řešitel Discrete (no continuous states) s pevným krokem výpočtu 1 hodina.

Rovnice, popisující model proudění a tepelný model, byly v programu SIMULINK sestaveny pomocí blokových diagramů z knihovny programu, obsahující obsáhlou databázi různých vstupů, výstupů, lineárních a nelineárních komponent a konektorů umožňujících spojovat jednotlivé bloky. Hodnoty okrajových podmínek simulací byly nahrávány z pracovního prostoru MATLABU. Výsledky simulací byly nahrány zpátky do pracovního prostoru MATLABU a dále zpracovávány.

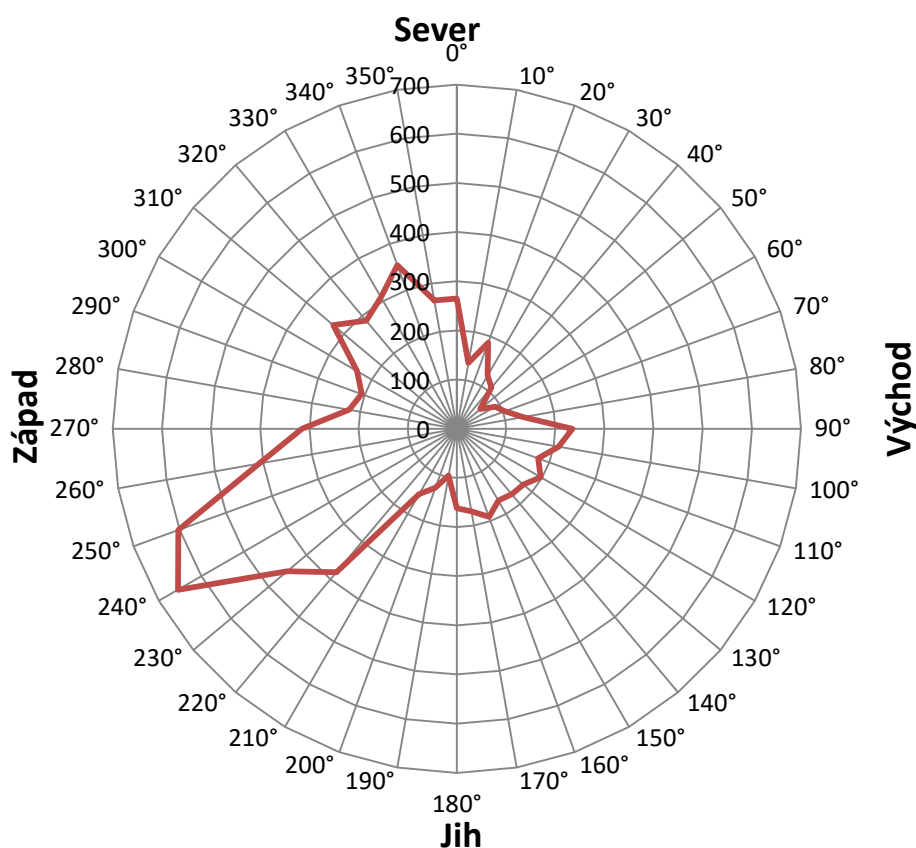
6. Simulace

6.1 Okrajové podmínky simulací

Jako okrajové podmínky výpočtu byly zvoleny klimatická data ENERGY+ pro Prahu, poskytnuté Ing. Pavlem Kopeckým, Ph.D. [18]. Tato data jsou použita jednotně pro všechny varianty simulací. Data jsou hodinová pro celý rok a obsahují informace o teplotě vzduchu, rychlosti a směru větru, hodnoty přímého a difúzního solárního záření na svislé, sklonité a horizontální plochy. V následující tabulce jsou uvedeny průměrné měsíční hodnoty některých veličin. Graf 1 zobrazuje směry větru podle počtu hodin v roce v použitých klimatických datech.

Tab. 14 – Průměrné měsíční hodnoty některých veličin použitých klimatických dat

Měsíc	Teplota vzduchu [°C]	Dopadající globální záření na horizontální rovinu [kWh/m ²]	Dopadající globální záření na S svislou rovinu [kWh/m ²]	Dopadající globální záření na J svislou rovinu [kWh/m ²]	Dopadající globální záření na V svislou rovinu [kWh/m ²]	Dopadající globální záření na Z svislou rovinu [kWh/m ²]
Leden	-1,5	24,1	11,5	29,8	15,2	15,0
Únor	-2,1	54,8	21,3	75,8	35,3	36,4
Březen	3,6	96,9	36,6	98,2	63,1	58,9
Duben	7,9	150,7	54,5	122,0	88,8	85,5
Květen	13,0	181,5	67,5	116,1	110,5	102,1
Červen	15,6	201,2	73,6	113,6	115,2	112,9
Červenec	17,3	203,3	71,8	122,3	113,3	120,6
Srpen	17,6	171,5	60,9	127,1	100,0	101,3
Září	13,3	111,1	42,5	99,5	66,2	66,9
Říjen	8,4	64,4	26,6	74,9	38,3	42,6
Listopad	2,2	30,2	13,4	38,1	19,3	18,9
Prosinec	0,8	21,0	9,9	30,0	12,8	13,4



Graf 1 – Směry větru podle počtu hodin v roce (hodnoty na svislé ose) v použitých klimatických datech.

6.2 Popis variant simulací

Hlavním cílem této diplomové práce je stanovení vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění. Proto byly simulace prováděny pro různé stupně netěsnosti obálky budovy, vyjádřené celkovou intenzitou výměny vzduchu n_{50} . V této souvislosti je důležitá především potřeba tepla na vytápění u budov s nízkou potřebou tepla na vytápění (požadovaná hodnota dle [11] je $n_{50,N} = 0,6 \text{ h}^{-1}$). Proto je rozmezí stanoveno od $n_{50}=0,2 \text{ h}^{-1}$ do $n_{50}=1,0 \text{ h}^{-1}$ a to po $0,1 \text{ h}^{-1}$ u RD a po $0,2 \text{ h}^{-1}$ u BD. Dále pak byly simulace provedeny pro $n_{50}=1,5 \text{ h}^{-1}$ a pro $n_{50}=4,5 \text{ h}^{-1}$, které jsou dle ČSN 73 0540-2 [11] limitní pro budovy s jiným způsobem větrání. V následujících dvou kapitolách jsou uvedeny různé varianty simulací pro oba objekty, které se mezi sebou liší hlavně v různém poměru rozdělení netěsností po obálce budov. Je zde také uvedeno odvození součinitelů proudění pro jednotlivé netěsnosti. Simulace byly dále provedeny pro různé vlivy stínění budovy proti větru (centrum města, předměstí, otevřená krajina)

6.2.1 Popis jednotlivých variant simulací rodinného domu

Za použití Rovnice 1 a Rovnice 4 byla vyjádřena Rovnice 24, ze které je stanoven celkový součinitel proudění simulovaného RD, který se mění podle stupně netěsnosti n_{50} .

Rovnice 24 - Celkový součinitel proudění budovy

$$C = \frac{V \cdot n_{50}}{\Delta p^n}$$

C ... celkový součinitel proudění budovy [$\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{Pa}^{0,8})$]

V ... objem vzduchu uvnitř RD [m^3]

n_{50} ... stupeň netěsnosti budovy při tlakovém rozdílu 50 Pa [h^{-1}]

Δp ... tlakový rozdíl mezi venkovním a vnitřním prostředím = 50 Pa

n ... exponent proudění = 0,8

Součinitel C je dále rozdělen podle jednotlivých variant v poměru mezi jednotlivé úrovně netěsností a následně ještě rozdělen podle délky lineární netěsnosti do jednotlivých netěsností, umístěných na fasádě či střeše dle kapitoly 5.1.1. Procentuální rozdělení mezi netěsnosti pro jednotlivé varianty je uvedeno v Tab. 10.

Přehled uvažovaných variant je následující:

- Varianta 1 - základní varianta, která představuje rovnoměrné rozmístění netěsností v RD
- Varianta 2 - předpokládá největší počet netěsností v horní části simulovaného RD
- Varianta 3 - předpokládá největší počet netěsností v dolní části simulovaného RD

- Varianta 4 - předpokládá největší počet netěsností v dolní a horní části simulovaného objektu
- Varianta 5 - je obdobou varianty 4 s tím rozdílem, že netěsnosti jsou rozděleny pouze do horní a dolní části objektu, aby byl maximalizován vliv vztlaku na infiltraci vzduchu do budovy

Tab. 15 - Varianty simulací pro RD

Rozdělení netěsností	Poměr rozdělení celkového součinitele proudění C budovy mezi netěsnosti [%]				
	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4	Varianta 5
Horní netěsnosti	30%	70%	10%	40%	50%
Střední netěsnosti	30%	10%	10%	10%	0%
Dolní netěsnosti	30%	10%	70%	40%	50%
Netěsnosti kolem oken	10%	10%	10%	10%	0%

Hodnoty součinitele proudění pro jednotlivé netěsnosti v obálce RD jsou uvedeny v příloze E.

6.2.2 Popis jednotlivých variant simulací bytového domu

Stanovení celkového součinitele proudění budovy bylo provedeno podle Rovnice 24, pro různé netěsnosti obálky budovy n_{50} . Pro další rozdělení lze částečně vycházet ze skutečných naměřených dat BD [23], zobrazených v Tab. 16.

Tab. 16 – Objemové toky mezi zónami BD, hodnoty převzaty z [23]

Zkoumané místo toku vzduchu	Objemový tok vzduchu V_{50} [m^3/h]	Vzduchová propustnost q_{50} [$m^3/(m^2h)$]
Obálka zóny chodby	400	2,0
Obálka zóny bytů	500	0,4
Z chodby do bytů	300	-

Z hodnot q_{50} bylo zjištěno, že poměr netěsností mezi zónou chodby a zónou bytů je 39%:61% a v tomto poměru byl rozdělen i celkový součinitel proudění budovy mezi zóny. Poté došlo ke konečnému rozdělení hodnoty součinitele proudění mezi jednotlivé bodové netěsnosti po obálce budovy v poměru podle délky příslušné lineární netěsnosti dle kapitoly 5.1.2. Hodnoty součinitele proudění jednotlivých netěsností po obálce BD pro $n_{50}=0,6 h^{-1}$ jsou uvedeny v Příloze L.

Varianty modelu proudění A,B,C jsou popsány v kapitole 5.1.2. Ve variantě B, kde jsou propojeny zóny chodby a bytů netěsnostmi, představující vstupní dveře do bytu, byla hodnota součinitele proudění netěsnosti stanovena z hodnoty objemového toku V_{50} z chodby do bytů, uvedeného v Tab. 16. Pro variantu B modelu proudění, byly stanoveny 3 varianty rozdělení netěsností po obálce budovy v zóně chodby:

- Varianta B1 představuje rovnoměrné rozdělení netěsností po obálce zóny chodby
- Ve variantě B2 je převážná část netěsností uvažována v horní a dolní části zóny chodby a to ve stejném poměru
- Ve variantě B3 je převážná část netěsností v horní části zóny chodby a zbytek netěsností ve stejném poměru rozdělen po podlažích

Schéma k těmto variantám je na Obr. 13. Ve variantě B1 vychází nejvíce netěsností v dolní části objektu, což je dáno půdorysným řešením vstupního podlaží, kde značná část obálky budovy náleží zóně chodby. Všechny varianty simulací pro BD jsou shrnuty v Tab. 17.

Tab. 17 - Varianty simulací pro BD

Podlaží v zóně chodby	Rozdělení součinitele proudění C zóny chodby mezi netěsnosti v obálce zóny chodby				
	Model proudění A	Model proudění B			Model proudění C
	Varianta A	Varianta B1	Varianta B2	Varianta B3	Varianta C
1NP	64,9%	64,9%	38,3%	11,7%	64,9%
2NP	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
3NP	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%	11,7%
4NP	11,7%	11,7%	38,3%	64,9%	11,7%

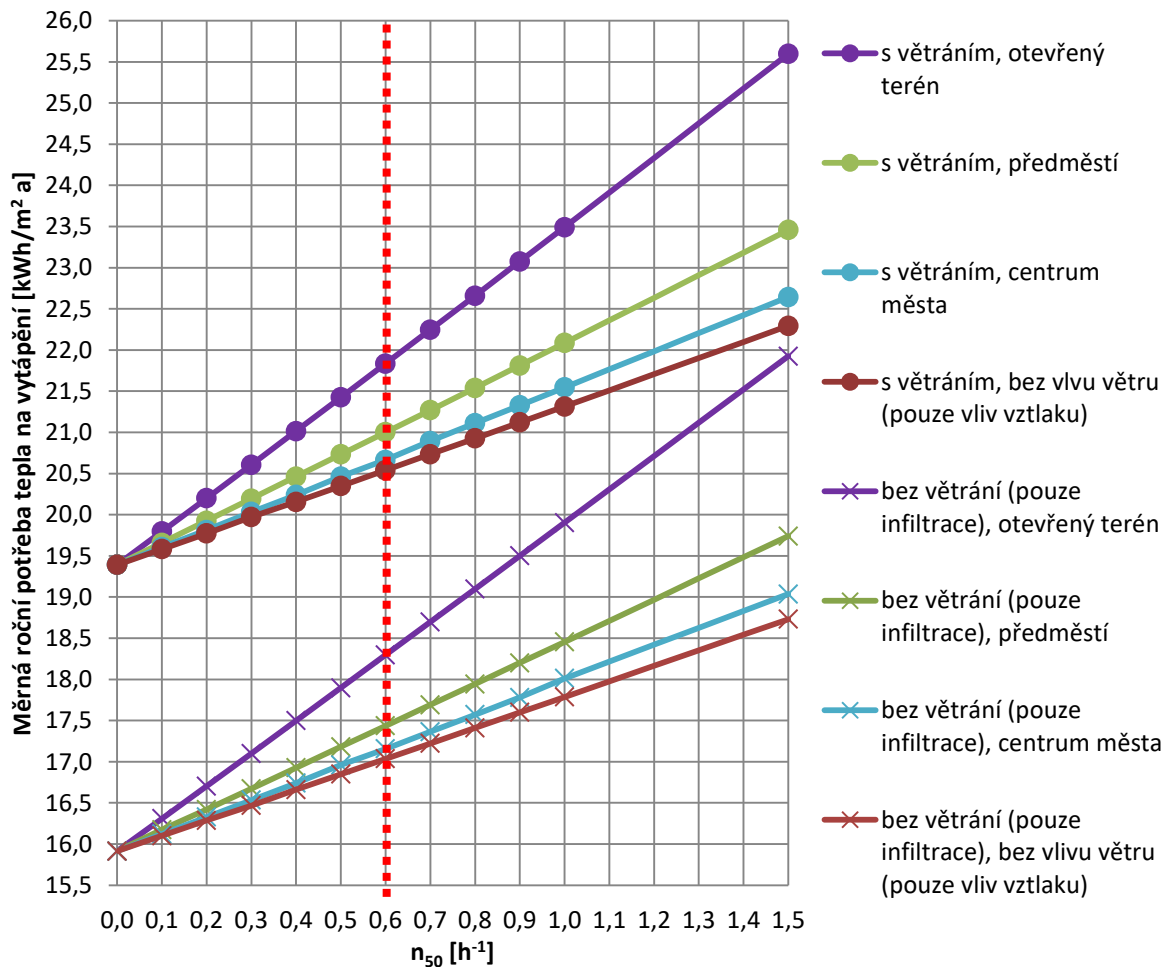
Hodnoty součinitele proudění pro jednotlivé netěsnosti po obálce BD i mezi jednotlivými zónami jsou uvedeny v Příloze L.

6.3 Výsledky simulací

6.3.1 Rodinný dům

6.3.1.1 Simulace 1 - Varianta 1 (základní)

Tyto simulace vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění RD byly provedeny pro základní variantu rozdělení netěsností po obálce budovy RD pro různé stínění budovy. Následující graf zobrazuje výsledky simulací. Hodnoty jsou uvedeny v Příloze G.

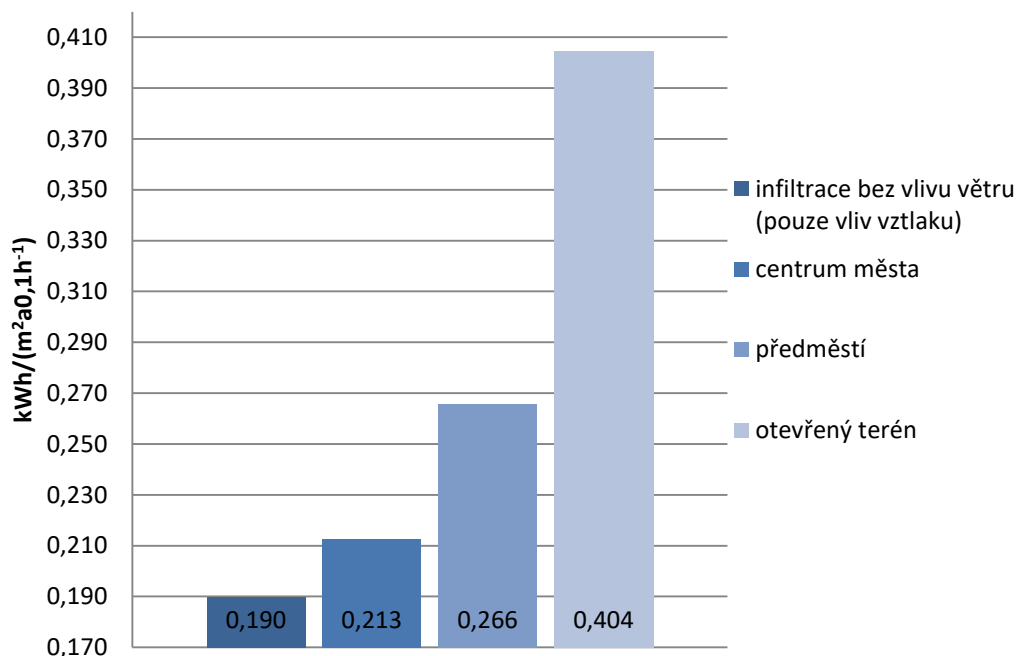


Graf 2 - Měrná roční potřeba tepla na vytápění pasivního RD s měrnou roční potřebou tepla na vytápění 16,2 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329 v závislosti na stupni netěsnosti budovy n_{50} pro variantu 1 (Rovnoměrné rozmístění netěsností po obálce RD)

Graf 2 zobrazuje výsledky simulací pro tento případ s různými variantami (popsanými v legendě u grafu). Se zvyšující se hodnotou netěsnosti obálky budovy lineárně roste i potřeba tepla na vytápění. Nárůst měrné potřeby tepla na vytápění závisí na stínění budovy vůči větru.

Graf 3 zobrazuje nárůst měrné potřeby tepla na vytápění RD pro různé varianty stínění, pokud se hodnota n_{50} budovy zvýší o 0,1 h⁻¹. Ve variantě s budovou v centru města je nárůst pouze o

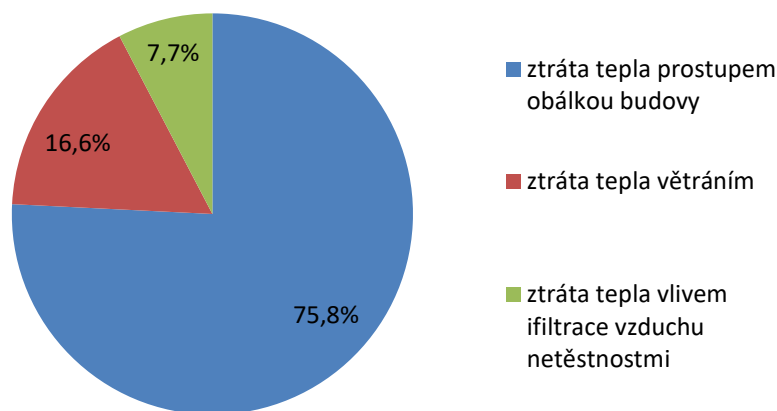
1,2% vyšší než ve variantě bez vlivu větru. Ve variantě s budovou, umístěnou na předměstí, je nárůst již o 24,8% vyšší než ve variantě s budovou v centru města. V případě budovy, umístěné v otevřené krajině, je nárůst o 90 %. Z tohoto grafu je také patrné, že pro běžné podmínky ČR s RD, umístěnými na předměstí, je dominantní vliv vztlaku na infiltraci vzduchu do budovy (71%).



Graf 3 - Nárůst měrné potřeby tepla na vytápění o zvýšení n_{50} budovy o $0,1 \text{ h}^{-1}$

V závislosti na stínění budovy se může celkový podíl na tepelné ztrátě budovy podílet 6,3% - 11%.

Graf 4 zobrazuje podíl infiltrace na celkové roční tepelné ztrátě budovy se stupněm netěsnosti $n_{50}=0,6$.

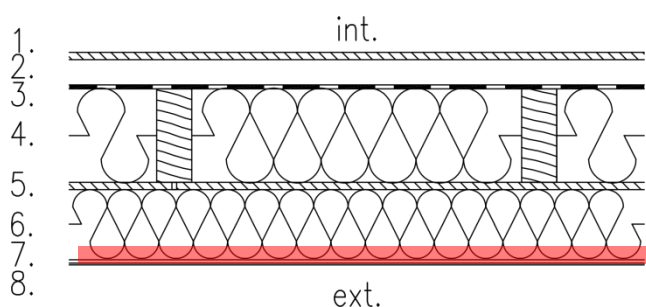


Graf 4 - Podíl infiltrace na celkové roční tepelné ztrátě budovy s $n_{50}=0,6$ umístěnou v předměstí

Pro lepší představu o vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění RD je v Tab. 18 uvedeno ekvivalentní ztenčení tepelné izolace obvodových stěn simulovaného objektu, odpovídající zvětšení netěsnosti obálky budovy o $0,1 \text{ h}^{-1}$ pro různé stínění

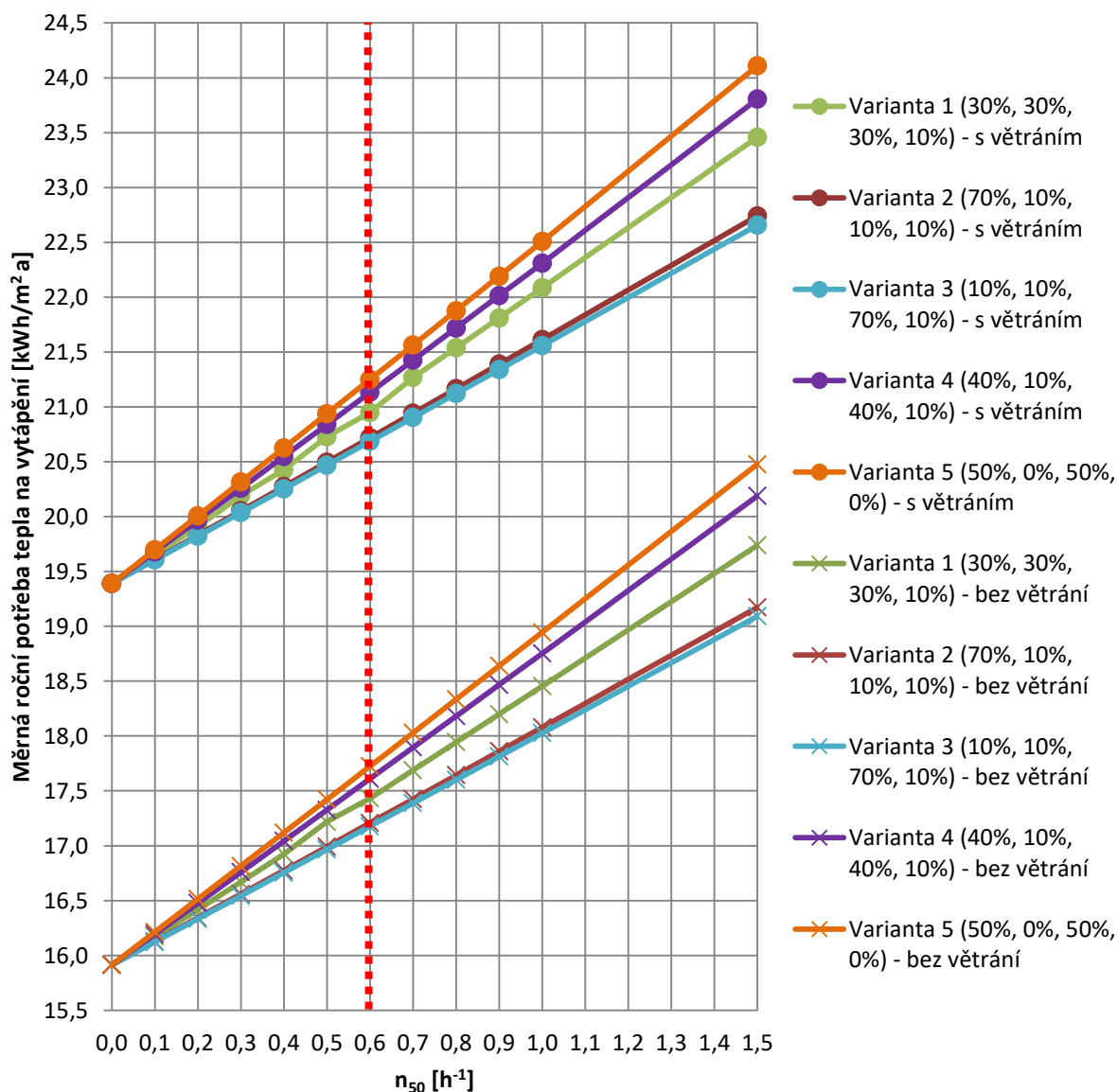
Tab. 18 - Ekvivalentní zmenšení tepelné izolace obvodových stěn ($U=0,121 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), plocha stěn = 166 m^2) posuzovaného RD. Vyznačeno červeně ve schématu pod tabulkou.

Stupeň netěsnosti budovy n_{50}	Pouze vliv vztlaku		Centrum města		Předměstí		Otevřená krajina	
	Zmenšení tloušťky izolantu	Zvětšení U stěny	Zmenšení tloušťky izolantu	Zvětšení U stěny	Zmenšení tloušťky izolantu	Zvětšení U stěny	Zmenšení tloušťky izolantu	Zvětšení U stěny
Zvýšení o $0,1 \text{ h}^{-1}$	-4,3 mm	+0,003 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	-4,7 mm	+0,003 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	-5,9 mm	+0,004 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$	-8,8 mm	+0,006 $\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$



6.3.1.2 Simulace 2 – srovnání ostatních variant

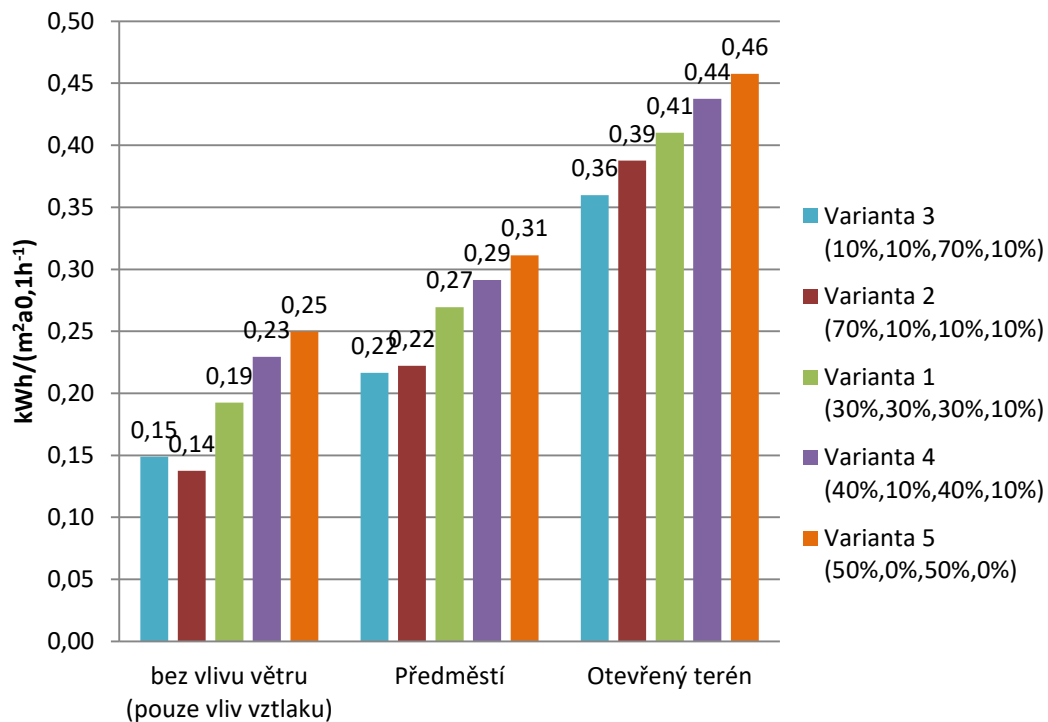
Tyto simulace byly provedeny pro srovnání vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění různých variant rozmístění netěsností po obálce RD. Graf 5 zobrazuje výsledky simulací pro nejběžnější variantu stínění RD v ČR (předměstí). Výsledky jsou uvedeny pro varianty s uvažovaným mechanickým větráním a bez tohoto větrání, kde je uvažovaná tepelná ztráta větráním způsobena pouze infiltrací vzduchu. Graf 6 zobrazuje nárůst potřeby tepla na vytápění pro všechny varianty, pokud se zvýší netěsnost obálky n_{50} budovy o $0,1 \text{ h}^{-1}$. Souhrn výsledků a další grafy pro všechny varianty stínění jsou uvedeny v Příloze G.



Graf 5 - Roční potřeba tepla na vytápění RD s roční potřebou tepla na vytápění 16,2 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329 v závislosti na stupni netěsnosti budovy n₅₀ pro různé varianty rozmístěním netěsností po obálce RD. Poměr rozdělení netěsností po obálce budovy, uvedených v závorkách, jsou ve formátu (horní netěsnosti, střední netěsnosti, dolní netěsnosti, okna).

Z obou grafů je patrné, že největší nárůst potřeby tepla na vytápění, se zvyšující se hodnotou celkové vzduchotěsnosti obálky n₅₀ RD, je u varianty 5 (50%,0%,50%,0%), s rovnoměrným rozdělením netěsností pouze v horní a dolní části. To je způsobeno tím, že v této variantě je maximalizován vliv vztaku, který mimo jiné závisí na výškovém rozdílu mezi netěsnostmi. Dle předchozích výsledků je vztlak nejdominantnějším vlivem u variant se stíněním budovy v centru města a na předměstí, ovlivňující infiltraci vzduchu do budovy. U variant 2 a 3, s rozmístěním netěsností převážně v dolní

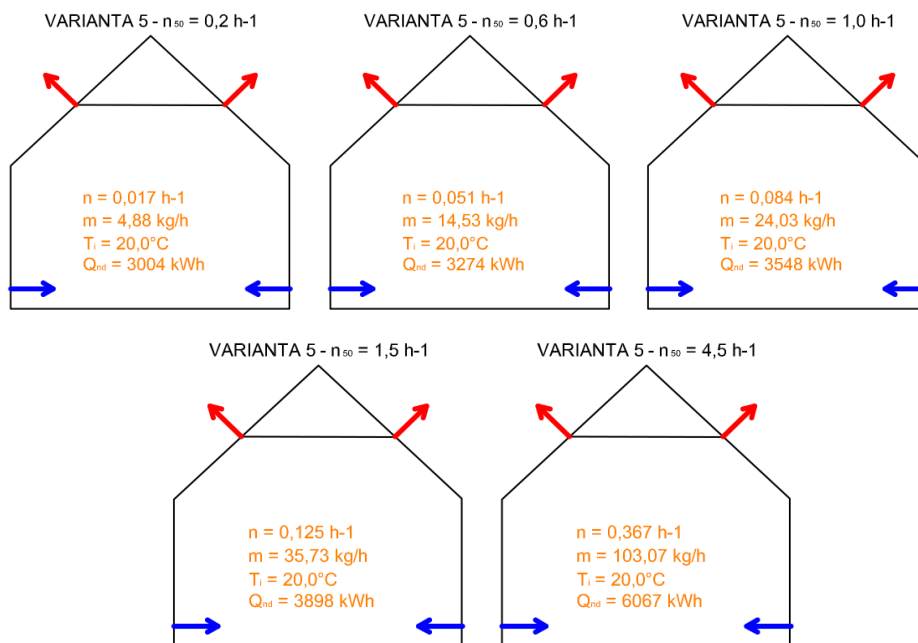
nebo horní části, je vliv vztlaku minimalizován a proto vycházejí z porovnání s nejmenším nárůstem potřeby tepla na vytápění.



Graf 6 - Nárůst měrné potřeby tepla na vytápění při zvýšení n_{50} budovy o $0,1 \text{ h}^{-1}$

Překvapením mohou být podobné výsledky hodnot variant 2 a 3, kde se předpokládá, že varianta 3 (10%,10%,70%,10%), s umístěním netěsností převážně v dolní části, bude nejlépe chráněna proti větru. Podobné výsledky jsou dány použitím součinitelů tlaků větru C_p , kde hodnoty jsou pro různé plochy zprůměrované na celou tuto plochu. Rozdělením plochy fasád do různých zón s různými hodnotami C_p by se pravděpodobně dosáhlo rozdílných výsledků.

Na Obr. 21 je zobrazeno schéma rozložení a velikost hmotnostních toků vzduchu přes netěsnosti dle varianty 5 (50%,0%,50%,0%). Je patrné, že vzduch z interiéru budovy uniká v horní části objektu. Toto místo je tedy nejvíce ohroženo případnou kondenzací vodních par, obsažených ve vzduchu, prostupujícím netěsností.

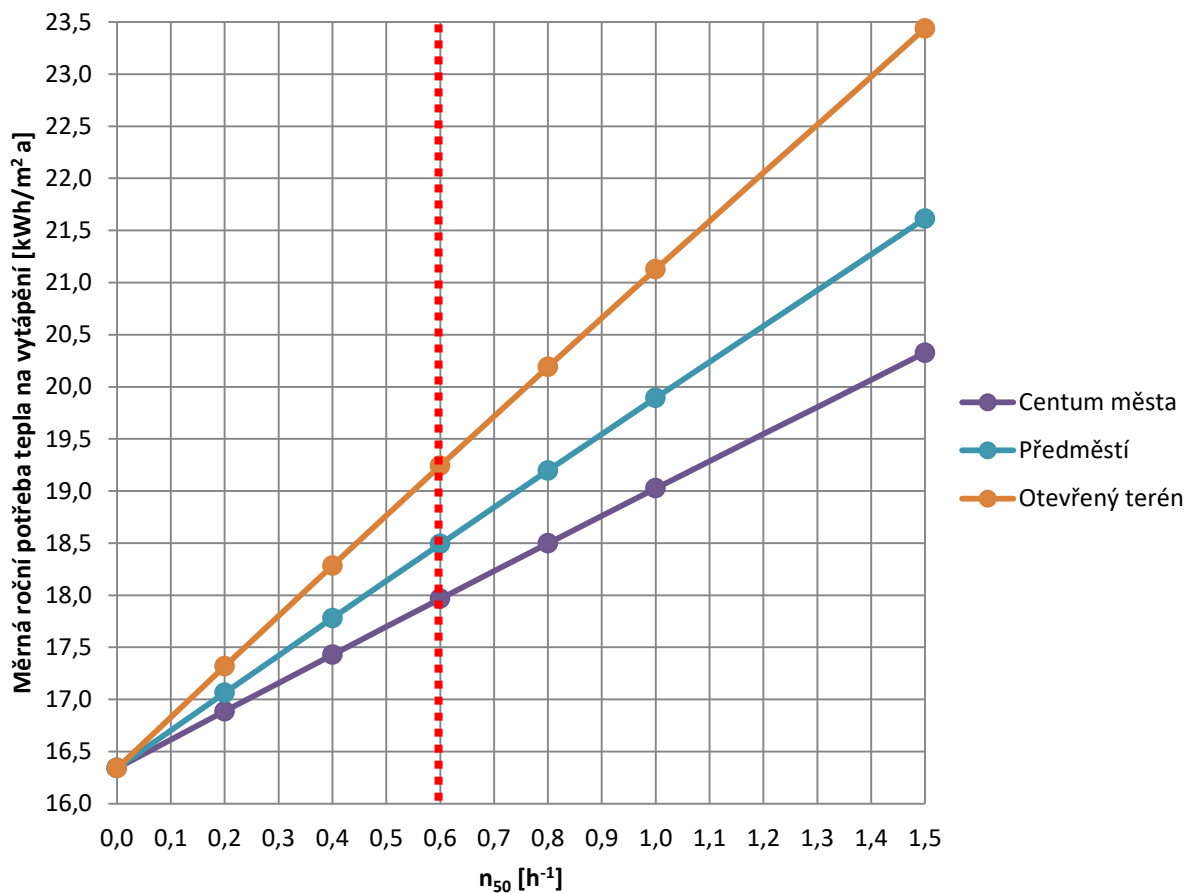


Obr. 21 – Směr a velikost hmotnostních toků vzduchu RD s rozdělením netěsností dle varianty 5 (50%,0%,50%,0%) pro různé hodnoty n_{50} budovy. Hodnoty jsou průměrné za otopné období.

6.3.2 Bytový dům

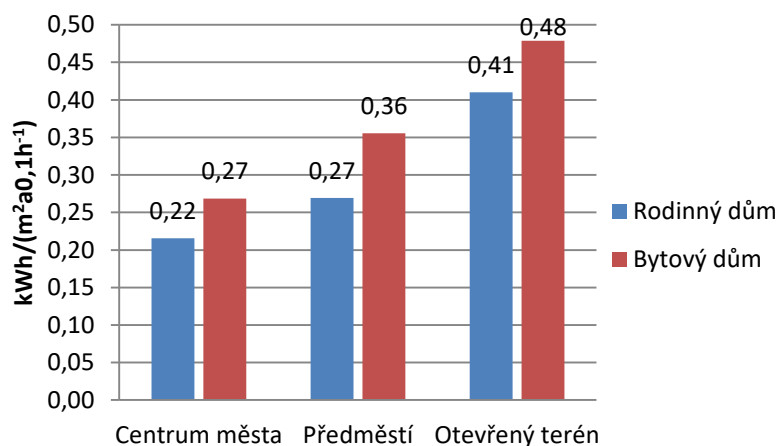
6.3.2.1 Simulace 1 – varianta A

Tyto simulace vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění BD byly provedeny pro variantu modelu proudění A, bez netěsností mezi zónami chodby a bytů pro různé stínění budovy. Graf 7 zobrazuje výsledky.



Graf 7 – Měrná roční potřeba tepla na vytápění BD s roční potřebou tepla na vytápění 14,0 kWh/m²a dle TNI 73 0329 v závislosti na stupni netěsnosti budovy n_{50} pro variantu A s různým stíněním budovy proti větru

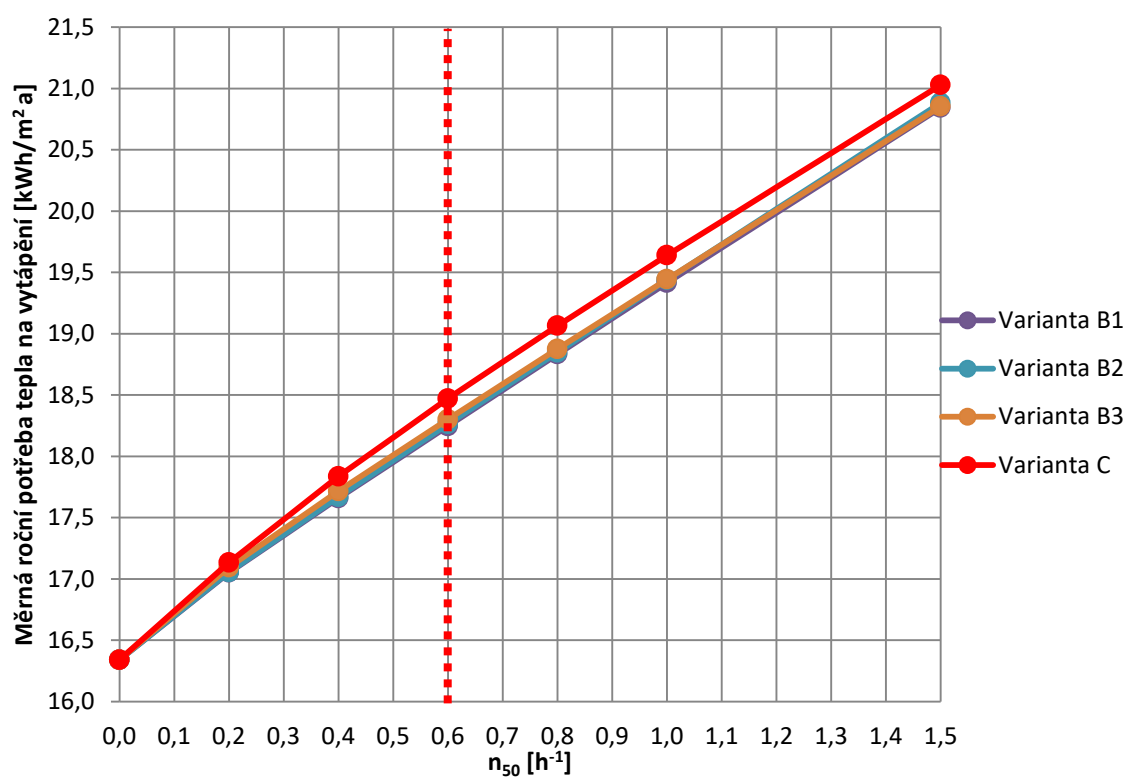
Graf 8 zobrazuje nárůst potřeby tepla na vytápění se zvýšením hodnoty celkové vzduchotěsnosti obálky budovy o 0,1 h⁻¹. Pokud bychom srovnali výsledky s RD, tak je u BD nepatrně vyšší. To je způsobeno zejména rozdílnými hodnotami součinitelů tlaku větru C_p .



Graf 8 – Srovnání nárůstu měrné potřeby tepla na vytápění při zvýšení n_{50} budovy o $0,1 \text{ h}^{-1}$ RD a BD

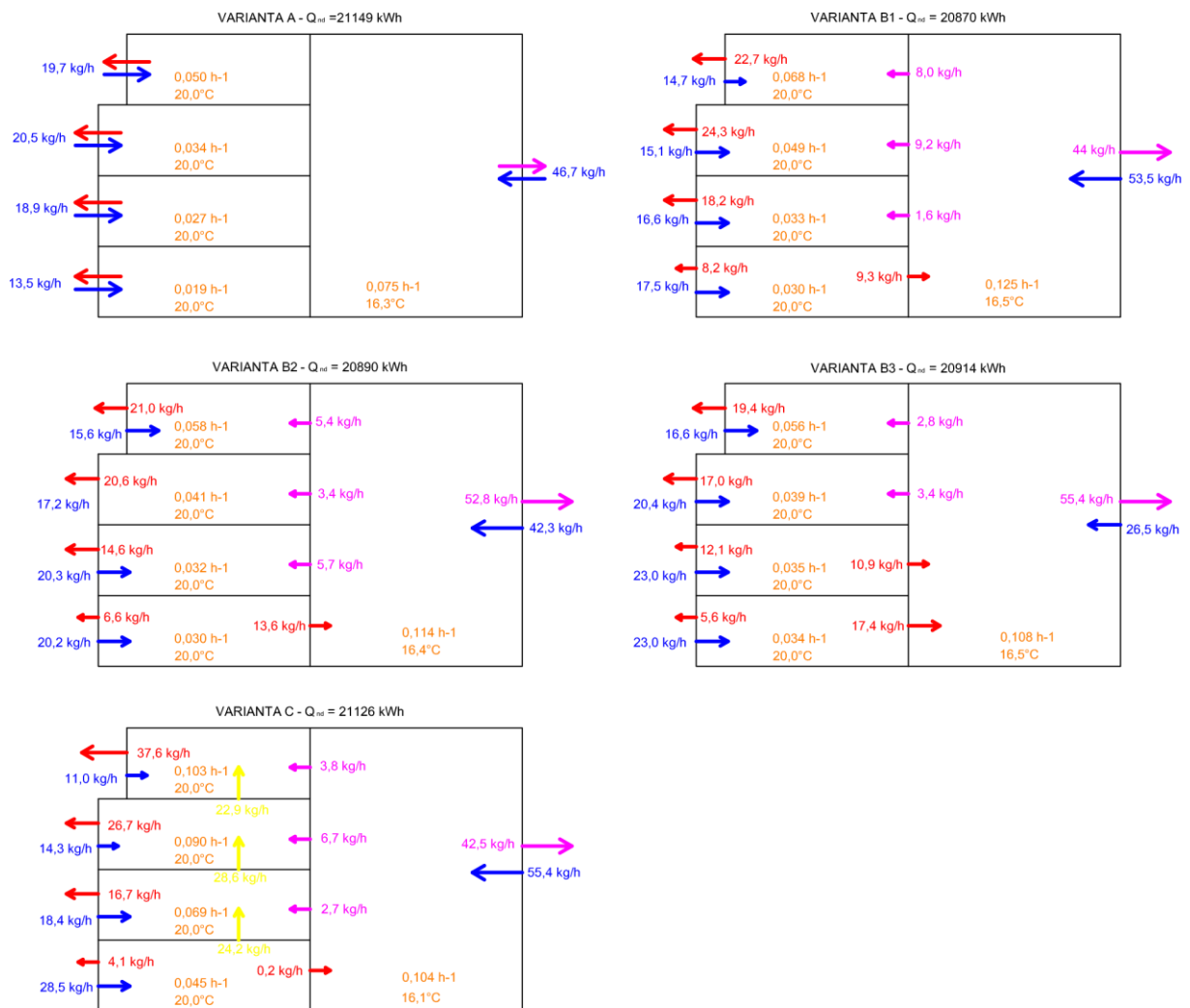
6.3.2.2 Další simulace – varianty B1, B2, B3, C

Další simulace vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění BD byly provedeny pro varianty B1, B2 a B3 s propojenými zónami chodby a bytů pro stínění budovy v předměstí a pro model C s propojenými zónami bytů. Následující graf zobrazuje výsledky pro všechny varianty. Z výsledků, uvedených v Příloze N, je patrné, že se potřeby tepla na vytápění jednotlivých variant liší jen málo.



Graf 9 – Měrná roční potřeba tepla na vytápění BD s roční potřebou tepla na vytápění $14,0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$ dle TNI 73 0329 v závislosti na stupni netěsnosti budovy n_{50} pro různé varianty modelů proudění se stíněním budovy proti větru v předměstí

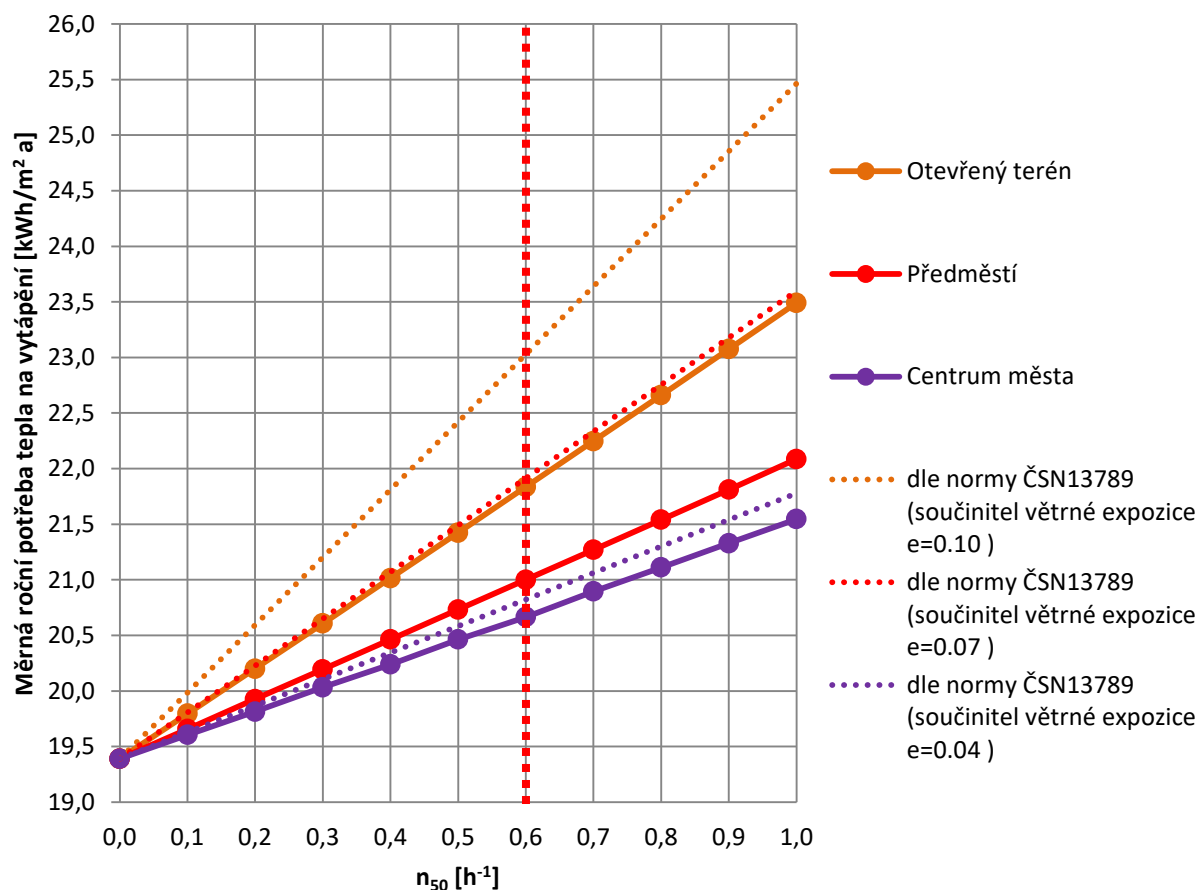
Na Obr. 22 jsou zobrazeny schéma rozložení a velikost hmotnostních toků vzduchu přes netěsnosti pro BD s $n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$. Různé poměry rozdělení netěsností po obálce zóny chodby mají vliv především na rozložení a velikost toků vzduchu mezi jednotlivými zónami bytů a toků vzduchu mezi interiérem a exteriérem. Porovnání variant s netěsnostmi mezi byty a chodbou a variantou s netěsnostmi mezi byty ukázalo malé rozdíly v celkových potřebách tepla na vytápění BD oproti variantě s těsnými vnitřními konstrukcemi bytů.



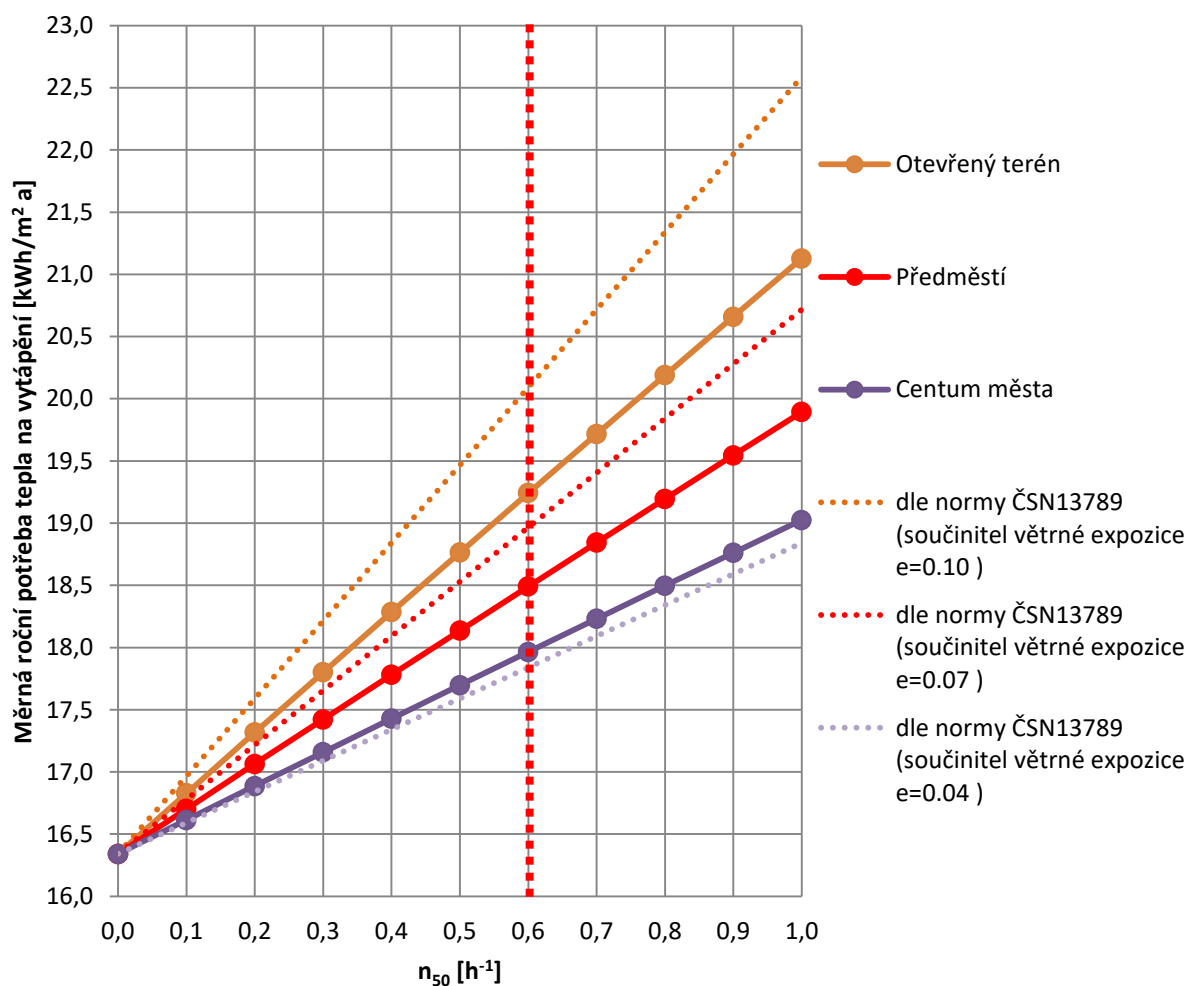
Obr. 22 – Rozložení a velikost hmotnostních toků vzduchu BD pro různé varianty modelů proudění pro $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Hodnoty jsou průměrné za otopné období.

7. Porovnání výsledků provedených simulací s výpočty podle normy ČSN EN ISO 13789

Současné požadavky na vzduchotěsnost budov jsou popsány v podkapitole 1.5. Pro porovnání byly uvažovány součinitele větrné expozice pro více než jednu exponovanou fasádu. Normovaná hodnota $e=0,04$ odpovídá uvažovanému stínění budovy v centru města v provedených simulacích, $e=0,07$ odpovídá stínění budovy v předměstí a $e=0,10$ odpovídá stínění budovy v otevřené krajině. Pro stanovení vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění s použitím normovaných hodnot byly použity stejné tepelné modely budov jako pro simulace. Model proudění vzduchu budovou byl nahrazen zjednodušeným výpočtem intenzity výměny vzduchu filtrací dle ČSN EN ISO 13789 (viz Rovnice 8). Stejně jako v přechozích simulacích byly výsledné hodnoty stanoveny pro každou hodinu během celého roku, s použitím klimatických dat, popsanych v podkapitole 6.1.

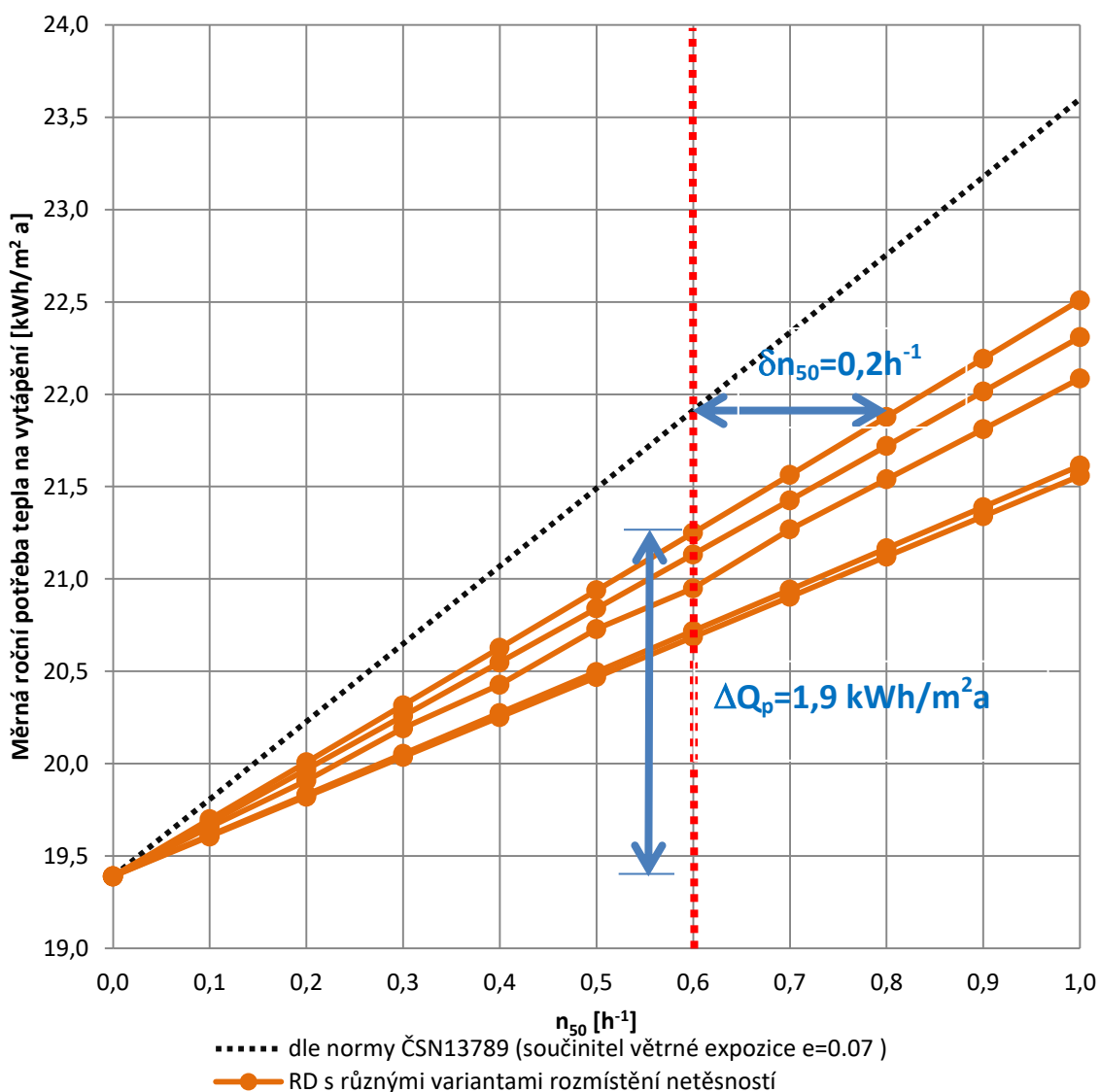


Graf 10 – Porovnání roční potřeby tepla na vytápění RD s roční potřebou tepla na vytápění 16,2 kWh/m²a dle TNI 73 0329 v závislosti na stupni netěsnosti budovy n_{50} pro různé varianty stínění budovy proti větru s normovanými hodnotami



Graf 11 – BD s roční potřebou tepla na vytápění 14,0 kWh/m²a dle TNI 73 0329 - Porovnání roční potřeby tepla v závislosti na stupni netěsnosti budovy n_{50} pro různé varianty stínění budovy proti větru s normovanými hodnotami

Z grafů je zřejmé, že vypočtené hodnoty s použitím zjednodušeného vzorce, vycházejí vyšší než provedené simulace s přesnějším modelem proudění, s výjimkou varianty s velkým stíněním v centru městu BD. Při dané celkové netěsnosti obálky budovy n_{50} RD pro variantu s velkým stíněním (centrum města, $e=0,04$) jsou hodnoty o cca 0,5% vyšší, pro variantu se středním stíněním (předměstí, $e=0,07$) jsou hodnoty o cca 2% vyšší, pro variantu s malým stíněním (otevřená krajina, $e=0,10$) jsou hodnoty o cca 4% vyšší. Z toho vyplývá, že výpočet infiltrace dle normy ČSN EN ISO 13789 [9] je pro většinu variant na straně bezpečnosti. Se zvyšujícím se součinitelem větrné expozice je rozdíl mezi zjednodušeným výpočtem a přesným výpočtem vyšší. Pokud bychom tedy uvažovali RD s podobnou potřebou tepla na vytápění jako simulovaný objekt v předměstí, tak při počítání se zjednodušeným výpočtem je rezerva v celkové vzduchotěsnosti $\delta n_{50}=0,2 h^{-1}$ (viz Graf 12).



Graf 12 – Rezerva ve výpočtu dle normy ČSN EN ISO 13790

Současným požadavkem na celkovou vzduchotěsnost obálky budovy je $n_{50,N}=0,6h^{-1}$. Infiltrace pro tuto hodnotu způsobuje nárůst v celkové měrné potřebě tepla na vytápění o $1,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ a tvoří zhruba 9 % z celkové potřeby tepla na vytápění.

8. Závěr

Předmětem této diplomové práce byla výpočtová studie vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění v ČR. Zabývá se dvěma typy obytných budov, na jejichž základě bylo provedeno sestavení vhodných výpočtových modelů simulovaných objektů a jejich variant, stanovení vhodného výpočtového řešení, porovnání výsledků mezi jednotlivými variantami a porovnání se současnými požadavky na vzduchotěsnost budov v ČR. Simulovanými objekty byly rodinný a bytový dům s nízkou potřebou tepla na vytápění.

Na základě projektů budov byly pro každý objekt sestaveny dva výpočtové modely, s krátkým časovým krokem (60 minut). První model simuloval proudění vzduchu budovou a druhý tepelné chování budovy v neustáleném stavu. Byla zvolena hodinová klimatická data pro lokalitu Prahy, která reprezentují klima ČR a stanoveny provozní režimy uvnitř objektů. Jako nejvhodnější nástroj k sestavení obou modelů byl vybrán program SIMULINK, který umožňuje vytvořit různé varianty propojení obou modelů a snadno je matematicky vyřešit. Pro účely výpočtů potřeby tepla na vytápění byly vytvořeny jednozónový tepelný model pro RD a dvouzónový pro BD (zóny bytů a chodby). Pro účely výpočtu infiltrace vzduchu do tepelného modelu byl pro RD vytvořen jednozónový model proudění vzduchu, a pro BD různé varianty pětizónového (zóny bytů na každém podlaží a chodba) modelu proudění. Vzhledem k tomu, že se jedná o dynamické simulace, byl zvolen krok výpočtu 1 hodina.

Reálně bylo těžké určit přesné rozmístění netěsností po obálce simulovaných objektů, neboť k tomu chybí experimentální data. Proto byly netěsnosti zjednodušeně sdruženy do vodorovných lineárních netěsností po celém obvodu budovy v různých výškových úrovních v obálce budovy simulovaných objektů a byly vytvořeny varianty různých poměrů rozdělení celkového součinitele proudění budovy mezi jednotlivé netěsnosti. U BD bylo částečně možné vycházet ze skutečných měřených dat průtoků vzduchu přes netěsnosti v obálce a vnitřních konstrukcích budovy [23].

8.1 Simulace rodinného domu

Výsledky simulací ukázaly téměř lineární závislost potřeby tepla na vytápění na celkové vzduchotěsnosti obálky budovy n_{50} . V závislosti na stínění objektů proti větru se nárůst měrné potřeby tepla rodinného domu pohybuje mezi 0,22 – 0,41 kWh/(m²a) při zvýšení vzduchotěsnosti obálky budovy n_{50} o 0,1 h⁻¹ v klimatických podmínkách Prahy (průměrná teplota 8,1°C). Výsledky podobných simulací dle finské studie [20] jsou v rozmezí 0,55 - 0,93 kWh/(m²a) pro dům v Helsinkách (průměrná teplota 4,3°C). Pro RD o celkové vzduchotěsnosti $n_{50}=0,6$ h⁻¹ se podíl vzduchotěsnosti budovy na celkové potřebě tepla na vytápění může pohybovat v rozmezí 6-11%, z čehož vyplývá, že

vliv vzduchotěsnosti nelze zanedbat. Největší hodnoty potřeby tepla na vytápění vykazovala varianta 5 RD s rozdělením netěsností pouze v dolní a horní části RD (v poměru 1:1), kdy je maximalizován vliv vztlaku na proudění vzduchu budovou. Vliv vztlaku je také nejdominantnějším vlivem, který má vliv na infiltraci vzduchu do budovy, umístěné v centru města a na předměstí v podmínkách ČR (podíl cca 70%-90% na infiltraci).

Výsledky jsou částečně ovlivněny použitím součinitelů tlaku větru C_p , jejichž hodnoty jsou zprůměrované na celé plochy obalových konstrukcí. Proto varianta 3 s převážným umístěním netěsností v dolní části RD vychází podobně jako varianta 2 s převážným umístěním netěsností v horní části RD. Při použití přesnějších hodnot C_p by u varianty 3 pravděpodobně vyšly nižší hodnoty potřeby tepla na vytápění vlivem většího stínění dolní části objektu. Vlivem vztlaku je proudění vzduchu z interiéru do exteriéru převážně v horní části objektu, které je díky tomu nejvíce ohroženo případnou kondenzací vodních par v exfiltrujícím vzduchu, procházejícím netěsností. Pro variantu 5 rozdělení netěsností po obálce RD s $n_{50}=1,0 \text{ h}^{-1}$ a relativní vlhkostí vnitřního vzduchu 50% je průměrná velikost hmotnostního toku vodních par $0,113 \text{ g/s}$, procházející 1 m netěsností, představující například styk střešní a stěnové konstrukce. Pro variantu 5 rozdělení netěsností po obálce RD s $n_{50}=4,5 \text{ h}^{-1}$ je to již $0,494 \text{ g/s}$ hmotnostního toku vodní páry, procházející 1m netěsností. Případná kondenzace vodních par zejména v dřevostavbách může způsobit růst mikroorganismů, případně úplnou degradaci konstrukce. Dle [22] je případná kondenzace závislá především na délce trasy proudění vzduchu netěsností a na teplotě konstrukce, ve které tato trasa vede. Čím je trasa proudění vzduchu delší a čím je konstrukce chladnější, tím je riziko kondenzace vyšší.

8.2 Simulace bytového domu

S rostoucí hodnotou n_{50} obálky BD roste potřeba tepla na vytápění přibližně lineárně. Výpočty simulací BD ukázaly vyšší výsledky oproti RD, s hodnotami v rozmezí $0,27\text{-}0,48 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ při zvýšení vzduchotěsnosti obálky budovy n_{50} o $0,1 \text{ h}^{-1}$ v klimatických podmínkách Prahy. To je způsobeno především větší výškou BD oproti RD, kde ve vyšších výškách je vítr silnější a hodnoty součinitelů tlaku větru C_p jsou větší. Různé poměry rozdělení netěsností po obálce zóny chodby mají vliv především na rozložení a velikost toků vzduchu mezi jednotlivými zónami bytů a toků vzduchu mezi interiérem a exteriérem. Porovnání variant s netěsnostmi mezi byty a chodbou a variantou s netěsnostmi mezi byty ukázalo malé rozdíly v celkových potřebách tepla na vytápění BD oproti variantě s těsnými vnitřními konstrukcemi bytů. Rozdíly by mohly být především ve velikosti dílčích potřeb tepla na vytápění jednotlivých bytů podle jejich výškového umístění (největší rozptyly velikosti infiltrujícího vzduchu z exteriéru byly u zóny s byty v nejnižším podlaží). Ze schémat rozložení hmotnostních toků je patrné, že do bytů ve vyšších podlažích infiltruje vzduch z chodby do bytů.

Nejvyšší průměrná hodnota hmotnostního toku vzduchu, infiltrujícího z chodby do bytů, byla vypočtena 9,2 kg/h ve variantě B1. Takový vzduch může obsahovat vlhkost nebo jiné škodliviny, které mohou nepříznivě ovlivnit kvalitu vnitřního prostředí bytů. Tepelná ztráta, kterou sebou přináší vzduch ze zóny chodby, je malá (nejnižší průměrná teplota v zóně chodby v otopném období byla vypočtena 16,1°C ve variantě C). Ve variantě modelu proudění C, s netěsnostmi mezi jednotlivými zónami bytů, bylo vypočteno, že netěsností o ploše 20 cm² pro každý byt může v průměru procházet až 7,15 kg/h vzduchu. Tyto netěsnosti jsou, na základě zkušeností z měření, uvažovány především v místě netěsných šachet s rozvody vody, kanalizací atd. Z předchozích vět tedy vyplývá, že z energetického hlediska má vliv na celkovou potřebu tepla na vytápění BD především těsnost obalových konstrukcí. Netěsnost vnitřních konstrukcí má vliv především na rozložení toků vzduchu mezi zónami uvnitř objektu a hlavní roli zde hraje především hygienické hledisko.

8.3 Porovnání výsledků simulací s výpočtovým postupem dle normy ČSN EN ISO 13789

Zjednodušené postupy výpočtu dle normy ČSN EN ISO 13789 [9] a požadované hodnoty n_{50} pro budovy dle ČSN 73 0540-2 [11] jsou převzaty ze zahraničí. S rostoucím n_{50} BD stoupá potřeba tepla na vytápění přibližně lineárně. Jedním z cílů této diplomové práce bylo ověření těchto hodnot v podmínkách ČR. Výsledky výpočtu infiltrace vzduchu dle [9] byly vloženy do stejných tepelných modelů, které byly použity pro dynamické simulace. Ze srovnání výsledků simulací s výsledky výpočtu podle normy vyplývá, že výpočty infiltrace zjednodušenou metodou dle normy ČSN EN ISO 13789 [9] jsou na straně bezpečnosti s dostatečnou rezervou pro případnou chybu ve výpočtu, s výjimkou simulace BD s velkým stíněním proti větru v centru města, u kterých byly výsledky nepatrně vyšší oproti výpočtu dle normy [9]. Rozdíl ve výsledcích pro RD byl 0,5% až 4% (pro budovu s velkým stíněním oproti budově v otevřené krajině). Pro vytápění běžného RD s nízkou potřebou tepla na vytápění se v klimatických podmínkách ČR vliv infiltrace pro hraniční hodnotu $n_{50}=0,6 \text{ h}^{-1}$ podílí na celkové potřebě tepla hodnotou cca 9%. Hodnota $n_{50,N}=0,6 \text{ h}^{-1}$ je jako hraniční hodnota pro budovy s nízkou potřebou tepla dostatečná, neboť 10% chyba je obvykle považována za přípustnou mez výsledku.

8.4 Náměty na pokračování v pracích na daném tématu

V této diplomové práci nebylo téma vlivu vzduchotěsnosti na potřebu tepla na vytápění pro bytové domy v ČR zcela popsáno. Jednou z možností pokračování jsou simulace s modelem proudění, ve kterém jsou zóny tvořeny jednotlivými byty.

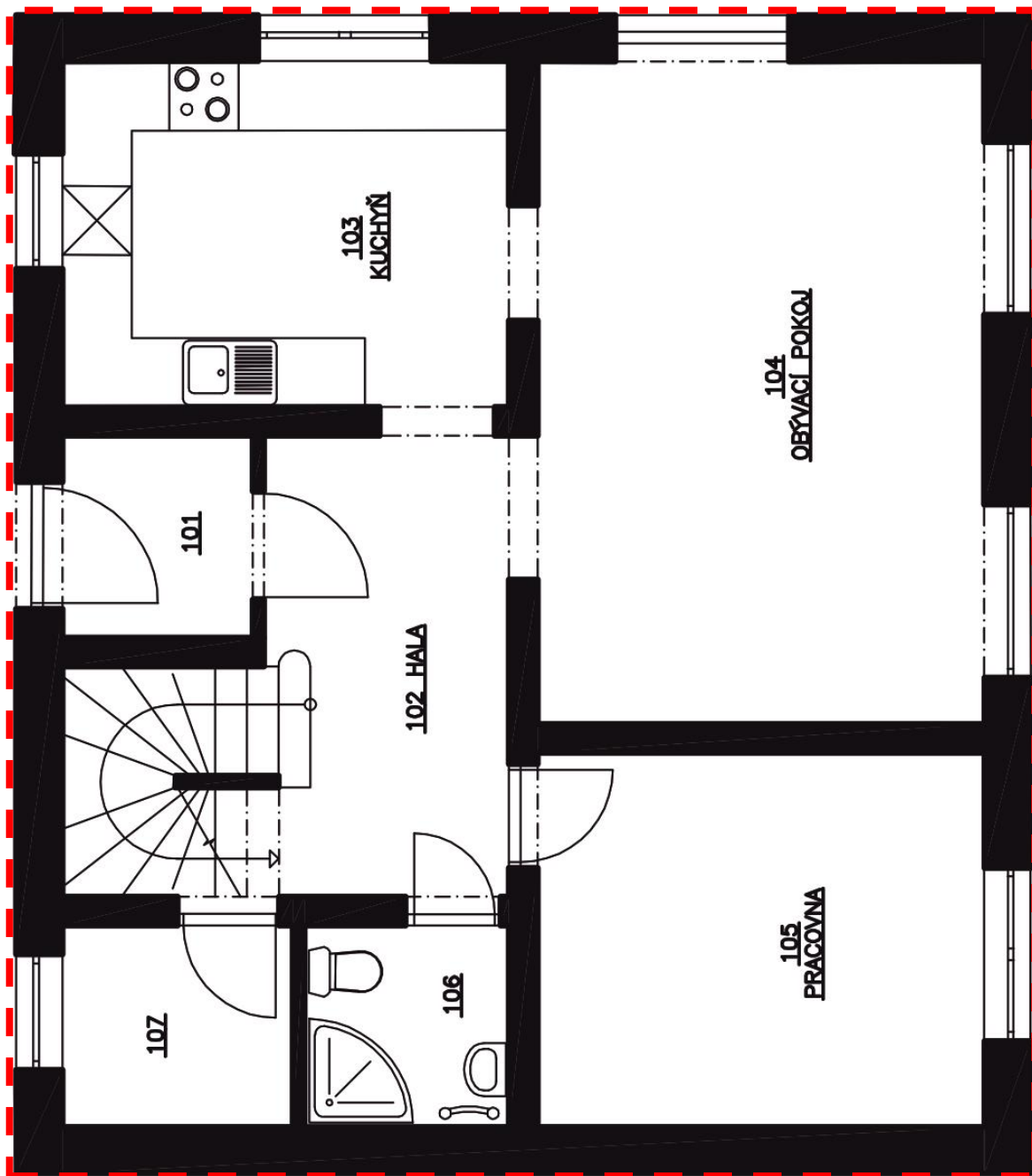
Další možností pokračování by dále mohlo být zkoumání vlivu různých hodnot součinitelů proudění netěsností mezi jednotlivými zónami uvnitř budovy i po obálce budovy na potřebu tepla na vytápění a rozložení hmotnostních toků.

9. Použitá literatura

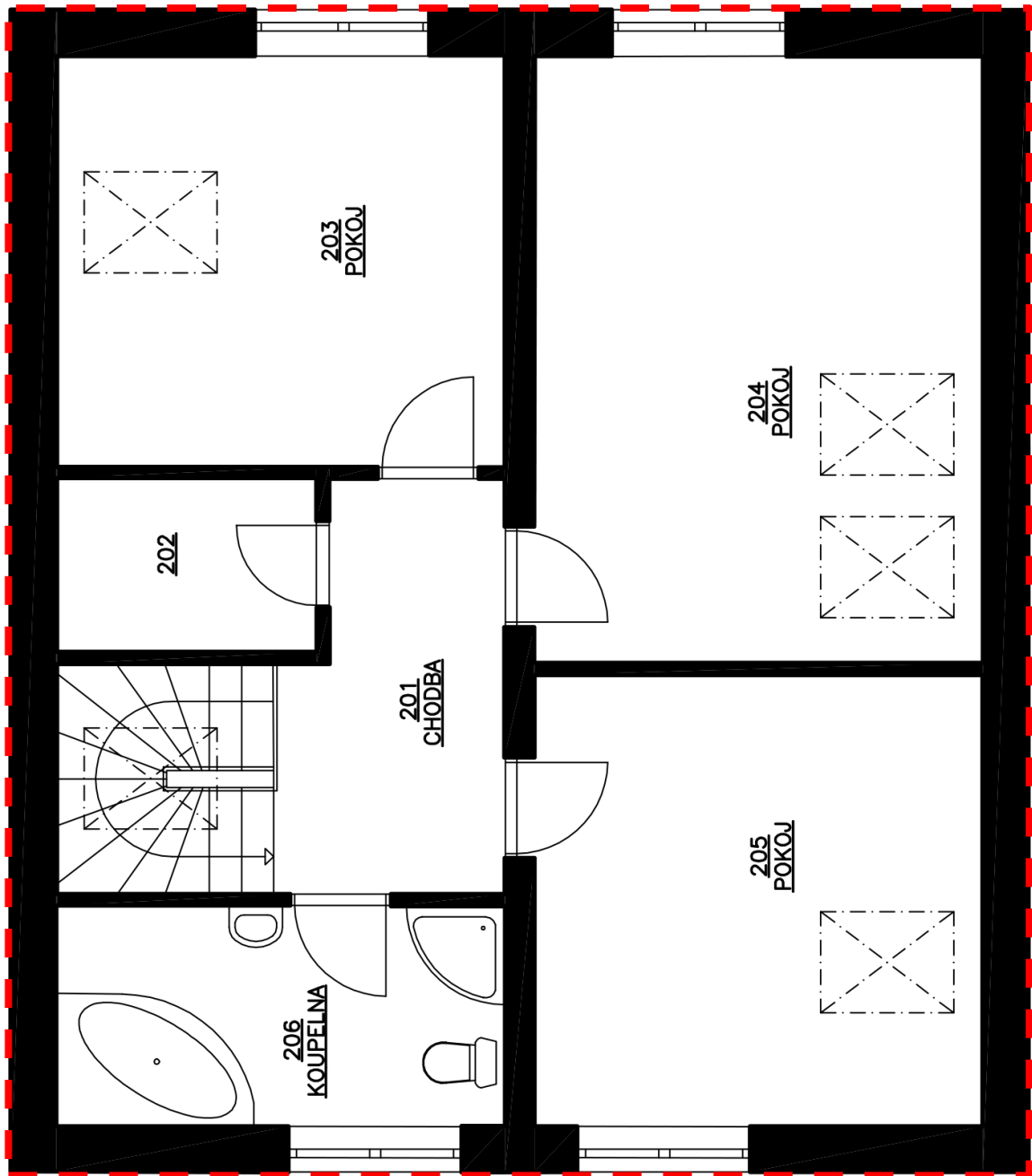
- [1] NOVÁK, Jiří. *Vzduchotěsnost obvodových plášťů budov*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-1953-5.
- [2] ASHRAE 2001. *ASHRAE Handbook - 2001 Fundamentals*, Atlanta GA.
- [3] DOLS, W. Stuart a Brian J. POLIDORO. *NIST Technical Note 1887: CONTAM User Guide and Program Documentation* [online]. Version 3.2. Gaithersburg: National Institute of Standards and Technology, 2015 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1887>
- [4] MARTIN W. LIDDAMENT. *A guide to energy efficient ventilation: [this report is part of the work of the IEA Energy Conservation in Buildings & Community Systems Programme, Annex V]*. Coventry: Annex V Air Infiltration and Ventilation Centre, 1996. ISBN 0946075859.
- [5] ORME, Malcolm a Nurul LEKSMONO. *Ventilation Modelling Data Guide*. Brusel: Air infiltration and natural ventilation centre, 2002. ISBN 2960035526.
- [6] ED. BY HELMUT E. FEUSEL AND ALISON RAYNOR-HOUSEN a FRANCIS ALLARD .. [ET AL.]. *Fundamentals of the multizone air flow model - COMIS*. St. Albans: Air Infiltration and Ventilation Centre, 1990. ISBN 0946075441.
- [7] KOPECKÝ, Pavel. *Stavební tepelná technika: Šíření tepla, vzduchu a vlhkosti v budovách a stavebních prvcích* [online]. ČVUT Fakulta stavební. Praha, 2014 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=predmety&type=all&kod=124MTIB>
- [8] SVOBODA, Zbyněk. *Součinitel prostupu tepla* [online]. Praha: FSv ČVUT, 2014 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <https://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=people&id=52&sub=216>
- [9] ČSN EN ISO 13789. *Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 20 s.
- [10] ČSN EN ISO 13370 (730559) *Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody: Thermal performance of building - Heat transfer via the ground - Calculation methods = Performance thermique des bâtiments - Transfer de chaleur par le sol - Méthodes de calcul = Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden - Wärmeübertragung über das Erdreich - Berechnungsverfahren*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. Česká technická norma.
- [11] ČSN 730540-2: *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011, 56 s.
- [12] ČSN 73 0540-4: *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005, 60 s.
- [13] TNI 73 0329: *Tepelná ochrana budov - Část 4: Výpočtové metody*. Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytáp. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010, 16 s.
- [14] ŠUBRT, Roman. *Vodní pára a její kondenzace v konstrukcích*. In: *TZB-info* [online]. Praha, 2006 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3285-vodni-para-a-jeji-kondenzace-v-konstrukcich>

- [15] LSTIBUREK, Joseph. BSI-075: How Do Buildings Stack Up? In: *Building Science Corporation* [online]. Westford, 2014 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <https://buildingscience.com/documents/insights/bsi-075-how-do-buildings-stack-up>
- [16] STRAUBE, John. BSD-014: Air Flow Control in Buildings. In: *Building Science Corporation* [online]. Westford, 2007 [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <https://buildingscience.com/documents/digests/bsd-014-air-flow-control-in-buildings>
- [17] ORME, Malcolm. *Applicable models for air infiltration and ventilation calculations*. Coventry: Air Infiltration and Ventilation Centre, 1999. ISBN 1902177096
- [18] Použitá klimatická data pro simulace. Dostupné z: https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/CZE/CZE_Prague.115180_IWEC
- [19] RICHIERI, F. et al. *Numerical evaluation of the airtightness impact on energy needs in mechanically ventilated dwellings*. Lyon, 2008.
- [20] JOKISALO, Juha, Jarek KURNITSKI a Juha VINHA. *Building leakage, infiltration and energy performance analyses for Finnish detached houses*. Helsinki, 2007.
- [21] J. EMMERICH, Steven, Timothy P. MCDOWELL a Wagdy ANIS. Simulation of the Impact of Commercial Building Envelope Airtightness on Building Energy Utilization. *ASHRAE Transactions*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2007, 22.
- [22] BORSCH-LAAKS, Robert. *Jedes Loch ein Schaden? Die Dampfkongvektion und die Gesetze der Physik*. Kassel, 2015.
- [23] NOVÁK, Jan. *Měření vzduchotěsnosti bytových domů: Dílčí výzkumná zpráva za rok 2011*. Praha: Cideas, 2011.
- [24] ORME, Malcolm, Martin W. LIDDAMENT a Andrew WILSON. *Numerical Data for Air Infiltration & Natural Ventilation Calculations*. Coventry: Annex V, 1998. ISBN 1 946075 97 2.
- [25] TILMANS, Antoine a Dirk VAN ORSHOVEN. *Quantification of air tightness*. Brussel, 2009.

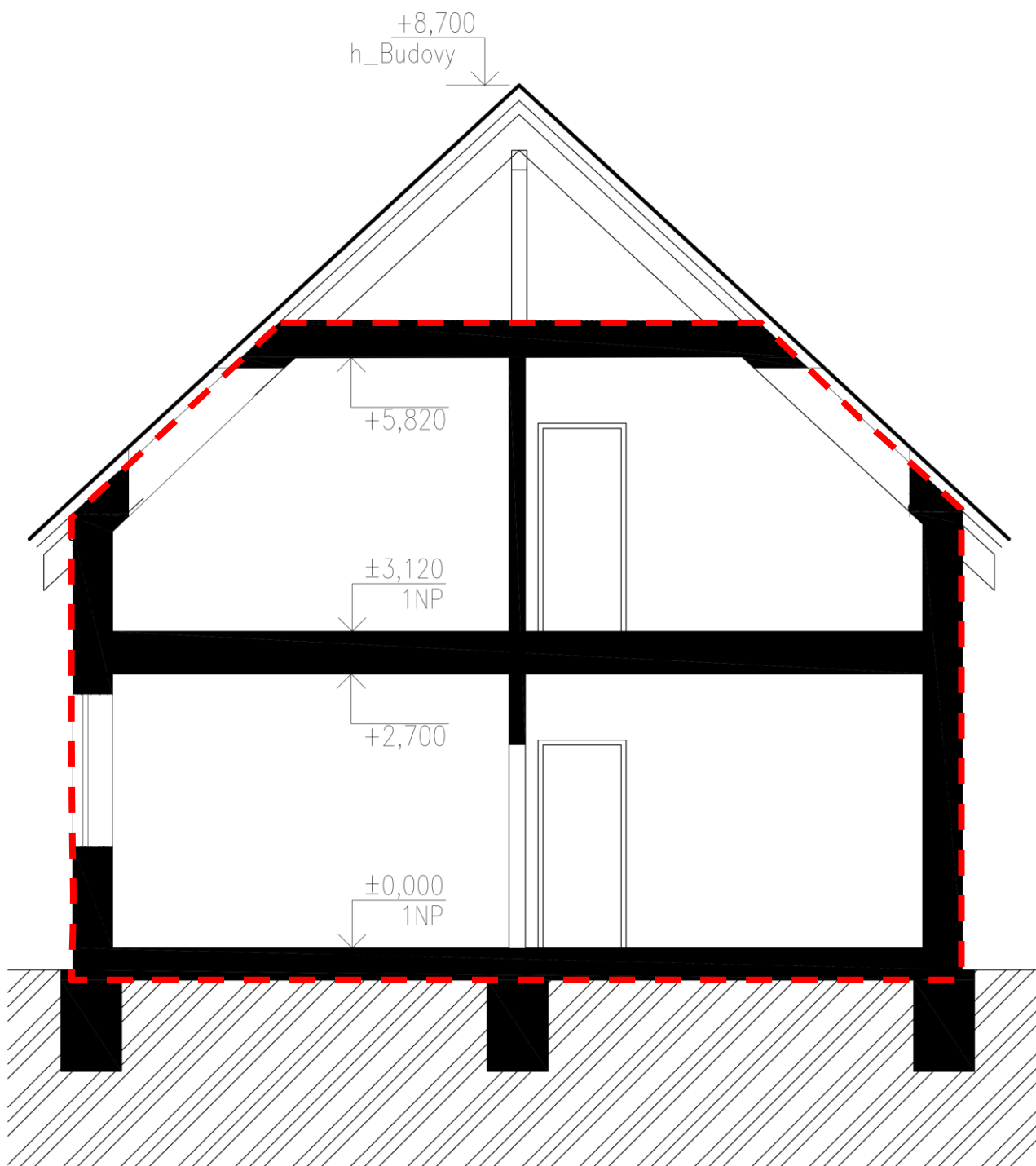
Příloha A - Výkresová dokumentace rodinného domu



Obr.A. 1 - Půdorys 1NP rodinného domu (M 1:50)



Obr.A. 2 - Půdorys 1NP rodinného domu (M 1:50)



Obr.A. 3 – Příkladný řez rodinným domem (M 1:50). Červeně je vyznačena systémová hranice vytápěné zóny objektu pro výpočty měrné potřeby tepla na vytápění dle TNI 730329.

LEGENDA

OBVODOVÉ STĚNY

1. VNĚJŠÍ POVRCHOVÁ ÚPRAVA AKRYLÁTOVÁ OMIČKA (3 mm)
2. LEPIČI A ARMOVACÍ MALTA VRSTVA S ARMOVACÍ SKLENĚNOU SÍŤOVINOU (6 mm)
3. TEPelná IZOLACE EPS KOTVENÉ DO KVH STOLEK PLASTOVÝMI TALÍŘOVÝMI HROZDINKAMI (100 mm)
4. OSB/3 4PD (12,5 mm)
5. KVH STOUJKY 60x160 mm š 625 mm
6. TEPelná IZOLACE Z MINERALNÍ VLNY MEZI STOUJKAMI (160 mm)
7. PARIČNÍ FOLIE S REFLEXNÍ ALUMINIOVOU VRSTVOU
8. DŘEVĚNÝ ROST PŘEDSTĚNÝ 40/60 mm (40 mm)
9. VNITŘNÍ OBKLAD SÁDROKARTONOVÝMI DESKAMI (12,5 mm)



VNITŘNÍ VÝZTUŽNÉ STĚNY

1. SÁDROVLÁKNITÁ DESKA FERMACELL (12,5 mm)
2. KVH STOUJKY 60x160 mm š 625 mm
3. ZVUKOVÁ IZOLACE Z MINERALNÍ VLNY MEZI STOUJKAMI (160 mm)
4. SÁDROVLÁKNITÁ DESKA FERMACELL (12,5 mm)



PŘÍČKY

- SÁDROKARTONOVÁ PŘÍČKA (100 mm)



LEGENDA MÍSTNOSTI 1NP :

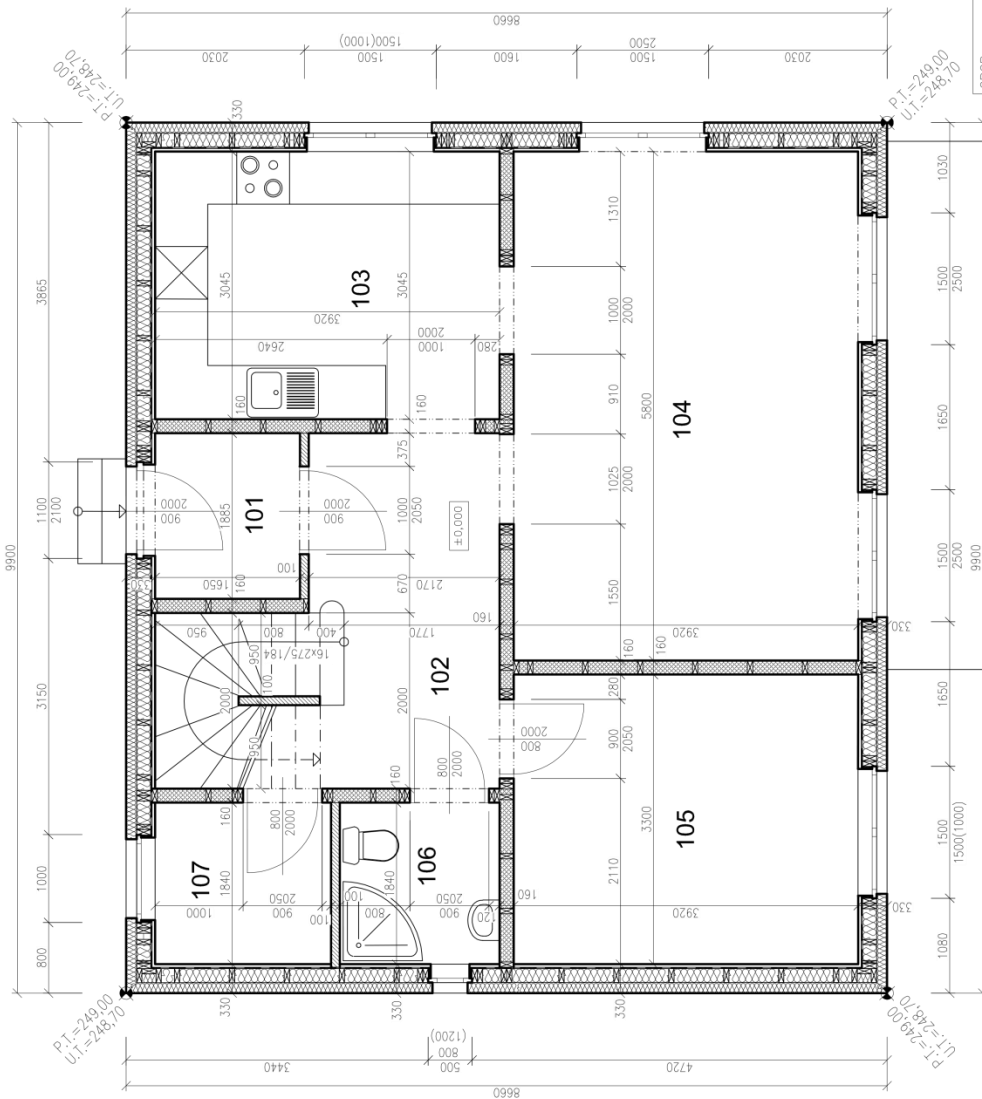
Č. M.	NÁZEV MÍSTNOSTI	PLOCHA (M ²)	PODLAHA	POZNÁMKA
101	ZADVĚŘÍ	3,01	KER. DIAŽEBA	
102	VSTUPNÍ HALA	8,78	KER. DIAŽEBA	
103	KUCHYŇ	11,94	KER. DIAŽEBA	KER. OBKLAD V=2,5M
104	OBÝVACÍ POKOJ	22,71	MARMOLEUM	
105	PRACOVNA	12,92	KER. DIAŽEBA	
106	WC-KOUPELNA	3,35	KER. DIAŽEBA	KER. OBKLAD V=2,5M
107	KOMORA	3,88	KER. DIAŽEBA	
108	SCHODIŠTĚ	3,50	KER. DIAŽEBA	

SPOLUVAČÍ PROSTŘEDKÍ: – HŘEBÍKY
 – OSB/3 4PD (12,5 mm)
 PĚŠŤOVACÍ MATERIÁLY: – SÁDROVLÁKNITÁ DESKA FERMACELL (12,5 mm)
 – SÁDROKARTONOVÁ DESKA (12,5 mm)
 – SÁDROKARTONOVÁ DESKA (12,5 mm)

DŘEVO: KVH C24 (sloupky 80/160)
 TRIDA VLHKOSTI: 1
 MAX. ROVNOVÁŽNÁ VLHKOST DŘEVA: <12%



0,000=249,25 m Bpv



Obr.A. 4 – Stavební půdorys rodinného domu (M 1:100).

OBOR		FAKULTA STAVEBNÍ	
KATEDRA	K124	JMÉNO STUDENTA	ČVUT
Budovy a prostředí			
ROČNÍK	VYUČUJÍCÍ	JMÉNO VUKA	ČVUT
5.	Ing. et Ing. Richard Hlaváč		
Předmět :			
DŘEVOSTAVBY			
OBSAH :			
PŮDORYS 1NP			
FORMÁT	A3		
MĚŘÍTKO	1:50		
DATUM	01/2016		
Č. VÝKR.	2		

Příloha B - Stanovení potřeby tepla na vytápění RD dle TNI 730329 a kvality tepelně-izolační obálky budovy

VÝPOČET MĚRNÉ POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

klimatické údaje dle TNI 73 0329

Měsíc	Potřeba tepla na vytápění			Tepelné ztráty			Využitelné tepelné zisky							Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	
	Q _{nd} [kWh]	θ _e [°C]	t [h]	Q _l [kWh]	Q _T [kWh]	Q _V [kWh]	Q _g [kWh]	Q _{int} [kWh]	Q _{sol} [kWh]	H _{východ} [kWh/m ²]	H _{jih} [kWh/m ²]	H _{západ} [kWh/m ²]	H _{sever} [kWh/m ²]	η _g [-]	γ [-]
Leden	683	-1,0	744	1388	1243	145	706	283	423	15,0	50,0	20,0	7,0	1,00	0,51
Únor	369	1,0	672	1134	1016	119	773	255	517	26,0	56,0	28,0	13,0	0,99	0,68
Březen	84	4,0	744	1058	947	111	1100	283	817	51,0	82,0	53,0	23,0	0,89	1,04
Duben	1	9,0	720	704	630	74	1286	274	1013	74,0	95,0	72,0	32,0	0,55	1,83
Květen	0	14,6	744	357	320	37	1450	283	1167	104,0	97,0	93,0	47,0	0,25	4,06
Červen	0	17,0	720	192	172	20	1408	274	1134	115,0	87,0	88,0	52,0	0,14	7,33
Červenec	0	18,2	744	119	107	12	1411	283	1129	100,0	93,0	93,0	47,0	0,08	11,86
Srpen	0	18,8	744	79	71	8	1401	283	1118	88,0	100,0	88,0	38,0	0,06	17,66
Září	0	13,8	720	397	355	42	1221	274	947	60,0	95,0	64,0	24,0	0,32	3,08
Ríjen	9	9,4	744	701	627	73	985	283	703	34,0	75,0	48,0	17,0	0,70	1,41
Listopad	426	4,0	720	1024	916	107	600	274	326	14,0	36,0	18,0	9,0	1,00	0,59
Prosinec	816	-0,5	744	1355	1213	142	539	283	256	11,0	29,0	12,0	6,0	1,00	0,40
Σ	2387														

$Q_{nd} = Q_l - \eta_g \cdot Q_g$ [kWh]
 Q_l [kWh] ... celkové tepelné ztráty vytápěné zóny
 η_g ... faktor využitelnosti tepelných zisků
 Q_g [kWh] ... celkové tepelné zisky vytápěné zóny
 A [m²] ... celková půdorysná plocha
A 148,0 m²

Měrná potřeba tepla na vytápění: $\frac{\sum Q_{nd}}{A} = 16,1$ [kWh/(m²a)]

Tepelné ztráty Q_l

$Q_l = Q_T + Q_V$ [kWh]
 Q_T [kWh] ... tepelné ztráty prostupem
 Q_V [kWh] ... tepelné ztráty větráním
 $Q_T = H_T \cdot (\theta_{i, set} - \theta_e) \cdot t$ [kWh]
 H_T 79,6 [W/K] ... *podrobně vypočteno v U_{em}*
 $\theta_{i, set}$ 20 [°C]
 H_T [W/K] ... měrný tepelný tok prostupem
 $\theta_{i, set}$ [°C] ... požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny
 θ_e [°C] ... průměrná měsíční teplota venkovního prostředí
 t [h] ... počet hodin v daném měsíci

$\dot{V}_v = n_{os} \cdot 50 \cdot occup \cdot (1 - \eta_{ztt}) + \dot{V}_v$ [m³/h]
 $Q_V = H_V \cdot (\theta_{i, set} - \theta_e) \cdot t$ [kWh]
 H_V [W/K] ... měrné tepelné toky prostupem a větráním
 $H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_v$ [W/K]
 H_V 9 [W/K]
 $\rho_a \cdot c_a$ 0,34 [Wh/(m³K)]
 $\rho_a \cdot c_a \left[\frac{J}{m^3 \cdot K} \right]$... objemová tepelná kapacita vzduchu = 1200 $\frac{J}{m^3 \cdot K}$
 \dot{V}_v [m³/h] ... Průměrný objemový tok větracího vzduchu
 V_a 27 [m³/h]
 n_{os} 4 [-]
 $occup$ 0,70 [-]
 η_{ztt} 0,75 [-]

$\dot{V}_x = \frac{V_a \cdot n_{50} \cdot e}{1 + f \cdot \frac{V_1 - V_2}{V_a \cdot n_{50}}} [m^3/h]$
 V_x 10 [m³/h]
 V_a 351,8586 [m³]
 n_{50} 0,4 [-]
 e 0,07 [-]
 V_a [m³] ... objem vzduchu ve vytápěné zóně
 n_{50} [-] ... násobnost výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (míra těsnosti obálky budovy)
 V_1 [m³/h] ... objemový tok přiváděného vzduchu
 V_2 [m³/h] ... objemový tok odváděného vzduchu
 e, f ... součinitel větrné expozice

Využitelné tepelné zisky Q_g

$Q_g = Q_{int} + Q_{sol}$ [kWh]
 Q_{int} [kWh] ... vnitřní tepelné zisky
 Q_{sol} [kWh] ... solární tepelné zisky
 $Q_{int} = \dot{Q}_{int} \cdot t$ [kWh]
 \dot{Q}_{int} [kW] ... průměrný výkon vnitřních zisků
 $Q_{int} = n_{os} \cdot 100 \cdot occup + n_{bj} \cdot 100$ [W]
 Q_{int} 380 [W]
 n_{os} 4 [-]
 n_{bj} 1 [-]
 n_{os} [-] ... počet osob
 n_{bj} [-] ... počet byt. jednotek

$Q_{sol} = \sum_j H_j \sum_n A_{s,n,j}$ [kWh]
 H_j $\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$... měsíční dávka ozáření na j-tou orientaci
 $A_{s,n,j}$ [m²] ... účinná solární sběrná plocha n-tého transparentního prvku (okna) s j-tou orientací

	A _w	g	F _w	F _F	F _C	F _s	A _s [m ²]
Zasklení _{východ}	7,0	0,6	0,9	0,84	0,9	1	2,9
Zasklení _{jih}	16,8	0,6	0,9	0,84	0,9	1	6,8
Zasklení _{západ}	3,0	0,6	0,9	0,84	0,9	1	1,2
Zasklení _{sever}	4,8	0,6	0,9	0,84	0,9	1	2,0

$A_g = A_w \cdot g_A \cdot F_w \cdot F_F \cdot F_C \cdot F_S$ [m²]
 A_w [m²] ... celková plocha okna
 g_A ... celková energetická propustnost zasklení při normálovém dopadu slunečních paprsků
 F_w ... korekční číselník pro zvýšené ztráty odrazem při větších úhlech dopadu slunečního záření = 0,9
 F_F ... korekční číselník rámu
 F_C ... korekční číselník donění
 F_S ... korekční číselník stínění
 $F_F = \frac{A_{gl}}{A_w}$
 A_{gl} [m²] ... plocha zasklení
 $F_S = F_h \cdot F_0 \cdot F_f$
 F_h ... dilčí číselník stínění horizontem
 F_0 ... dilčí číselník stínění markýzou
 F_f ... dilčí číselník stínění bočními žebry

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění η_g

$\eta_g = \frac{1 - \gamma^\alpha}{1 - \gamma^{\alpha+1}}$
 γ [-] ... poměr tepelných zisků [kWh] a tepelných ztrát [kWh] v daném měsíci
 α [-] ... číselný parametr
 $\gamma = \frac{Q_g}{Q_l}$
 Q_l [kWh] ... celkové tepelné ztráty vytápěné zóny v daném měsíci
 Q_g [kWh] ... celkové tepelné zisky vytápěné zóny v daném měsíci

$\alpha = 1 + \frac{\tau}{15}$
 α 9,38 [-]
 τ [h] ... časová konstanta vytápěné zóny budovy
 $\tau = \frac{C_m \cdot 3600}{H_T + H_V}$ [h]
 τ 125,72 [h]
 C_m $\left[\frac{J}{K} \right]$... účinná vnitřní tepelná kapacita zóny
 C_m 40213519 [J/K]
 A_f 136
 A_f [m²] ... užiténá podlahová plocha vytápěné zóny

NÁVRH TEPELNĚ-IZOLAČNÍ KVALITY OBÁLKY RODINNÉHO DOMU

Výpočet průměrného součinitele prostupu tepla obálkou budovy

Cílem návrhu tepelně izolační obálky budovy je dosažení úrovně, požadované pro nízkonergetické domy. Součinitele prostupu tepla jsou navrženy na doporučené hodnoty dle normy ČSN 73 0540

Konstrukce	Orientace [-]	Plocha A [m ²]	Poměr plochy konstrukce a celkové plochy obálky budovy [%]	Součinitel prostupu tepla konstrukce U [W/(m ² ·K)]	Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla konstrukce U _{pas,20} [W/(m ² ·K)]	činitel teplotní redukce b	měrný tepelný tok obálkou budovy H _T [W/K]
Stěny	Jih	32,2	8,5%	0,12	0,18 - 0,12	1,00	3,86
	Sever	39,7	10,4%			1,00	4,76
	Východ	45,2	11,9%			1,00	5,42
	Západ	49,2	12,9%			1,00	5,90
Střeška - v kontaktu s vnějším prostředím	Jih	23,2	6,1%	0,10	0,15 - 0,10	1,00	2,32
	Sever	24,7	6,5%			1,00	2,47
Střeška - v kontaktu s nevytápěným prostorem	-	46,4	12,2%	0,10	0,15 - 0,10	0,90	4,18
Podlaha na zemině		85,8	22,5%	0,17	0,22 - 0,15	* 1,00	14,39
Okna	Jih	12,3	3,2%	0,80	0,8 - 0,6	1,00	9,80
	Sever	2,5	0,7%			1,00	2,00
	Východ	7,0	1,8%			1,00	5,60
	Západ	3,0	0,8%			1,00	2,40
Střešní okna	Jih	4,5	1,2%	0,90	0,90	1,00	4,05
	Sever	3,0	0,8%			1,00	2,70
Dveře	Sever	2,3	0,6%	0,90	0,90	1,00	2,07
Δ U _{em}		-		0,02	-	-	7,62
Σ		381,0	100,0%	-	-	-	79,55

Δ U_{em} ... Zvýšení prům. hodnoty součinitele prostupu tepla obálky budovy

$$\text{Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy } U_{em} = \frac{\sum H_T}{\sum A} = \mathbf{0,21 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}}$$

Příloha C - Vstupní hodnoty do modelu tepelného chování RD

Parametry jednotlivých konstrukcí

1 - Stěny

Plocha	A	166,252 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,120 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	1,016 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _e	0,136 W/(m ² K)
Vodivost vnitřní části	K _{1,i}	168,837 W/K
Vodivost vnější části	K _{1,e}	22,623 W/K
Měr. tep.kap.	c ₁	23083 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₁	3837595 J/K

2 - Střecha

Plocha	A ₁	47,94 m ²
Plocha	A ₂	46,43 m ²
Souč. prost. tep.	U ₁	0,100 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{1,i}	1,016 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{1,e}	0,111 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U ₂	0,100 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{2,i}	1,016 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{2,e}	0,111 W/(m ² K)
Celková Vodivost	K _{2,1}	4,794 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{2,1,i}	48,685 W/K
Vodivost vnější části	K _{2,1,e}	5,318 W/K
Celková Vodivost	K _{2,2}	4,643 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{2,2,i}	42,438 W/K
Vodivost vnější části	K _{2,2,e}	4,635 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{2,j}	91,123 W/K
Vodivost vnější části	K _{2,e}	9,953 W/K
Měr. tep. kap.	c ₂	23083 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₂	2178366 J/K

3 - Podlaha na zemině

Plocha	A	85,84 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,17 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	4,782 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _e	0,174 W/(m ² K)
Celková vodivost	K ₃	14,388 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{3,i}	410,474 W/K
Vodivost vnější části	K _{3,e}	14,911 W/K
Měr. tep. Kap.	c ₃	218 440 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₃	18750890 J/K

4 - Podlaha 2NP

Plocha	A	85,84 m ²
Souč. prost. tep.	U _i	5,658 W/(m ² K)
Vodivost	K ₄	485,652 W/K
Měr. tep. Kap.	c ₄	135 100 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₄	11596984 J/K

Parametry jednotlivých konstrukcí

5 - Strop

Plocha	A	82,34 m ²
Souč. prost. tep.	U ₅	5,248 W/(m ² K)
Cel. Vodivost	K ₅	432,138 W/K
Měr. tep.kap.	c ₅	13 926 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₅	1146668 J/K

6 - Příčky

Plocha	A	118,26 m ²
Souč. prost. tep.	U ₆	1,247 W/(m ² K)
Vodivost	K ₆	147,419 W/K
Měr. tep.kap.	c ₆	19 251 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₆	2276564 J/K

7 - Okna

Plocha - jižní okna	A _j	12,25 m ²
Plocha - severní okna	A _s	2,50 m ²
Plocha - východní okna	A _v	7,00 m ²
Plocha - západní okna	A _z	3,00 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,800 W/(m ² K)
Vodivost	K _{7j}	9,800 W/K
Vodivost	K _{7s}	2,000 W/K
Vodivost	K _{7v}	5,600 W/K
Vodivost	K _{7z}	2,400 W/K
Cel. Vodivost	K ₇	19,800 W/K

8 - Dveře

Plocha	A	2,3 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,90 W/(m ² K)
Vodivost	K ₈	2,070 W/K

9- Střešní okna

Plocha	A _j	4,5 m ²
	A _s	3,0
Souč. prost. tep.	U	0,90 W/(m ² K)
Vodivost	K _{9j}	4,050 W/K
Vodivost	K _{9s}	2,700 W/K
Cel. Vodivost	K ₉	6,750 W/K

10 - ΔU_{tb} - Tepelné vazby

Vodivost	K ₁₀	7,620 W/K
----------	-----------------	-----------

Ostatní parametry

Objem vzduchu v domě	V	351,86 m ³
Obj. hmotn. vzduchu	ρ	1,2 kg/m ³
Měrná tep. kap. vzduchu	c	1010 J/(kgK)
Vnitřní tepelná kapacita	C _i	426453 J/K

Příloha D - Rovnice popisující model tepelného chování rodinného domu

Rovnice D.1

$$C_{ai} \frac{dT_i}{dt} = [\Phi_s + \Phi_p + \Phi_i] - [K_{1,i} \cdot (T_i - T_1) + K_{2,i} \cdot (T_i - T_2) + K_{3,i} \cdot (T_i - T_3) + K_4 \cdot (T_i - T_4) + K_5 \cdot (T_i - T_5) + K_6 \cdot (T_i - T_6) + (K_7 + K_8 + K_9 + K_{10}) \cdot (T_i - T_e) + m_{a,inf} \cdot c_a \cdot (T_i - T_e) + m_{a,VZT} \cdot c_a \cdot (1 - \eta_{zzt}) \cdot (T_i - T_e)]$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_1 ... teplota v obvodových stěnách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

T_2 ... teplota ve střešní konstrukci (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

T_3 ... teplota v podlaze 1NP ve styku se zeminou (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

T_4 ... teplota v podlaze 2NP (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

T_5 ... teplota v stropě (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

T_6 ... teplota v příčce (v polovině tloušťky konstrukce) [°C]

T_e ... teplota v exteriéru [°C]

Φ_s ... solární zisky [W]

Φ_p ... tepelné zisky od vytápění [W]

Φ_i ... vnitřní tepelné zisky od osob a spotřebičů [W]

$K_{1,i}$... tepelná vodivost vnitřní části obvodových stěn (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{2,i}$... tepelná vodivost vnitřní části střešní konstrukce (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{3,i}$... tepelná vodivost vnitřní části podlahy 1NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

K_4 ... tepelná vodivost podlahy 2NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

K_5 ... tepelná vodivost stropu (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

K_6 ... tepelná vodivost příčky [W/K]

K_7 ... tepelná vodivost okeních konstrukcí [W/K]

K_8 ... tepelná vodivost dveří [W/K]

K_9 ... tepelná vodivost střešních oken [W/K]

K_{10} ... tepelná vodivost teplotních vazeb [W/K]

$m_{a,inf}$... hmotnostní průtok infiltrujícího vzduchu přes netěsnosti konstrukcí [kg/h]

$m_{a,VZT}$... hmotnostní průtok vzduchu větracího systému [kg/h]

C_{ai} ... Tepelná kapacita vzduchu vytápěné zóny [J/K]

c_a ... měrná tepelná kapacita vzduchu [J/(kgK)]

η_{zst} ... účinnost zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu větracího systému [-]

Rovnice D.2

$$C_1 \frac{dT_1}{dt} = K_{1,i} \cdot (T_i - T_1) - K_{1,e} \cdot (T_1 - T_e)$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_1 ... teplota v obvodových stěnách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{1,i}$... tepelná vodivost vnitřní části obvodových stěn (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{1,e}$... tepelná vodivost vnější části obvodových stěn [W/K]

C_1 ... účinná tepelná kapacita obvodových stěn (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice D.3

$$C_2 \frac{dT_2}{dt} = K_{2,i} \cdot (T_i - T_2) - K_{2,e} \cdot (T_2 - T_e)$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_2 ... teplota ve střešní konstrukci (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{2,i}$... tepelná vodivost vnitřní části střešní konstrukce (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{2,e}$... tepelná vodivost vnější části střešní konstrukce [W/K]

C_2 ... účinná tepelná kapacita střešní konstrukce (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice D.4

$$C_3 \frac{dT_3}{dt} = K_{3,i} \cdot (T_i - T_3) - K_{3,e} \cdot (T_3 - T_e)$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_3 ... teplota v podlaze 1NP ve styku se zeminou (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{3,i}$... tepelná vodivost vnitřní části podlahy 1NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{3,e}$... tepelná vodivost vnější části podlahy 1NP [W/K]

C_3 ... účinná tepelná kapacita podlahy 1NP (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice D.5

$$C_4 \frac{dT_4}{dt} = K_4 \cdot (T_i - T_4)$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_4 ... teplota v podlaze 2NP (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

K_4 ... tepelná vodivost podlahy 2NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

C_4 ... účinná tepelná kapacita podlahy 2NP (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice D.6

$$C_5 \frac{dT_5}{dt} = K_5 \cdot (T_i - T_5)$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_5 ... teplota v stropě (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

K_5 ... tepelná vodivost stropu (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

C_5 ... účinná tepelná kapacita stropu (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice D.7

$$C_6 \frac{dT_6}{dt} = K_6 \cdot (T_i - T_6)$$

T_i ... teplota vytápěné zóny [°C]

T_6 ... teplota v příčce (v polovině tloušťky konstrukce) [°C]

K_6 ... tepelná vodivost příčky [W/K]

C_6 ... tepelná kapacita příčky [J/K]

Příloha E - Vstupy do modelu proudění rodinného domu

Netěsnost		O1				O2		O5		DN				SN				HN				Σ		
Orientace netěsnosti		S	J	V	Z	V	Z	S	J	S	J	V	Z	S	J	V	Z	S	J	V	Z			
Délka netěsnosti [m]		15,40	24,00	12,00	-	10,00	10,00	10	15	9,90	9,90	8,66	8,66	9,90	9,90	8,66	8,66	9,90	9,90	4,69	4,69			
Varianta 1	rozdělení net.	10%				30%				30%				30%				100%						
	Suočinitel proudění C dané netěsnosti [m³/(hpa ^{0,8})]	n _{so} [h ⁻¹]	0,1	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	0,16	0,16	0,07	0,07	1,54
			0,2	0,05	0,08	0,04	0,00	0,03	0,03	0,03	0,05	0,25	0,25	0,22	0,22	0,25	0,25	0,22	0,22	0,31	0,31	0,15	0,15	3,08
			0,3	0,07	0,11	0,06	0,00	0,05	0,05	0,05	0,07	0,37	0,37	0,32	0,32	0,37	0,37	0,32	0,32	0,47	0,47	0,22	0,22	4,62
			0,4	0,10	0,15	0,08	0,00	0,06	0,06	0,06	0,10	0,49	0,49	0,43	0,43	0,49	0,49	0,43	0,43	0,63	0,63	0,30	0,30	6,16
			0,5	0,12	0,19	0,10	0,00	0,08	0,08	0,08	0,12	0,62	0,62	0,54	0,54	0,62	0,62	0,54	0,54	0,78	0,78	0,37	0,37	7,69
			0,6	0,15	0,23	0,11	0,00	0,10	0,10	0,10	0,14	0,74	0,74	0,65	0,65	0,74	0,74	0,65	0,65	0,94	0,94	0,45	0,45	9,23
			0,7	0,17	0,27	0,13	0,00	0,11	0,11	0,11	0,17	0,86	0,86	0,75	0,75	0,86	0,86	0,75	0,75	1,10	1,10	0,52	0,52	10,77
			0,8	0,20	0,31	0,15	0,00	0,13	0,13	0,13	0,19	0,98	0,98	0,86	0,86	0,98	0,98	0,86	0,86	1,25	1,25	0,59	0,59	12,31
			0,9	0,22	0,34	0,17	0,00	0,14	0,14	0,14	0,22	1,11	1,11	0,97	0,97	1,11	1,11	0,97	0,97	1,41	1,41	0,67	0,67	13,85
			1,0	0,25	0,38	0,19	0,00	0,16	0,16	0,16	0,24	1,23	1,23	1,08	1,08	1,23	1,23	1,08	1,08	1,57	1,57	0,74	0,74	15,39
	1,5	0,37	0,57	0,29	0,00	0,24	0,24	0,24	0,36	1,85	1,85	1,62	1,62	1,85	1,85	1,62	1,62	2,35	2,35	1,11	1,11	23,08		
4,5	1,11	1,72	0,86	0,00	0,72	0,72	0,72	1,08	5,54	5,54	4,85	4,85	5,54	5,54	4,85	4,85	7,05	7,05	3,34	3,34	69,25			
Varianta 2	rozdělení net.	10%				10%				10%				70%				100%						
	Suočinitel proudění C dané netěsnosti [m³/(hpa ^{0,8})]	n _{so} [h ⁻¹]	0,1	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,37	0,37	0,17	0,17	1,54	
			0,2	0,05	0,08	0,04	0,00	0,03	0,03	0,03	0,05	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07	0,73	0,73	0,35	0,35	3,08
			0,3	0,07	0,11	0,06	0,00	0,05	0,05	0,05	0,07	0,12	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,11	0,11	1,10	1,10	0,52	0,52	4,62
			0,4	0,10	0,15	0,08	0,00	0,06	0,06	0,06	0,10	0,16	0,16	0,14	0,14	0,16	0,16	0,14	0,14	1,46	1,46	0,69	0,69	6,16
			0,5	0,12	0,19	0,10	0,00	0,08	0,08	0,08	0,12	0,21	0,21	0,18	0,18	0,21	0,21	0,18	0,18	1,83	1,83	0,87	0,87	7,69
			0,6	0,15	0,23	0,11	0,00	0,10	0,10	0,10	0,14	0,25	0,25	0,22	0,22	0,25	0,25	0,22	0,22	2,19	2,19	1,04	1,04	9,23
			0,7	0,17	0,27	0,13	0,00	0,11	0,11	0,11	0,17	0,29	0,29	0,25	0,25	0,29	0,29	0,25	0,25	2,56	2,56	1,21	1,21	10,77
			0,8	0,20	0,31	0,15	0,00	0,13	0,13	0,13	0,19	0,33	0,33	0,29	0,29	0,33	0,33	0,29	0,29	2,92	2,92	1,39	1,39	12,31
			0,9	0,22	0,34	0,17	0,00	0,14	0,14	0,14	0,22	0,37	0,37	0,32	0,32	0,37	0,37	0,32	0,32	3,29	3,29	1,56	1,56	13,85
			1,0	0,25	0,38	0,19	0,00	0,16	0,16	0,16	0,24	0,41	0,41	0,36	0,36	0,41	0,41	0,36	0,36	3,65	3,65	1,73	1,73	15,39
	1,5	0,37	0,57	0,29	0,00	0,24	0,24	0,24	0,36	0,62	0,62	0,54	0,54	0,62	0,62	0,54	0,54	5,48	5,48	2,60	2,60	23,08		
4,5	1,11	1,72	0,86	0,00	0,72	0,72	0,72	1,08	1,85	1,85	1,62	1,62	1,85	1,85	1,62	1,62	16,45	16,45	7,79	7,79	69,25			
Varianta 3	rozdělení net.	10%				70%				10%				10%				100%						
	Suočinitel proudění C dané netěsnosti [m³/(hpa ^{0,8})]	n _{so} [h ⁻¹]	0,1	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,29	0,29	0,25	0,25	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,02	0,02	1,54	
			0,2	0,05	0,08	0,04	0,00	0,03	0,03	0,03	0,05	0,57	0,57	0,50	0,50	0,08	0,08	0,07	0,07	0,10	0,10	0,05	0,05	3,08
			0,3	0,07	0,11	0,06	0,00	0,05	0,05	0,05	0,07	0,86	0,86	0,75	0,75	0,12	0,12	0,11	0,11	0,16	0,16	0,07	0,07	4,62
			0,4	0,10	0,15	0,08	0,00	0,06	0,06	0,06	0,10	1,15	1,15	1,01	1,01	0,16	0,16	0,14	0,14	0,21	0,21	0,10	0,10	6,16
			0,5	0,12	0,19	0,10	0,00	0,08	0,08	0,08	0,12	1,44	1,44	1,26	1,26	0,21	0,21	0,18	0,18	0,26	0,26	0,12	0,12	7,69
			0,6	0,15	0,23	0,11	0,00	0,10	0,10	0,10	0,14	1,72	1,72	1,51	1,51	0,25	0,25	0,22	0,22	0,31	0,31	0,15	0,15	9,23
			0,7	0,17	0,27	0,13	0,00	0,11	0,11	0,11	0,17	2,01	2,01	1,76	1,76	0,29	0,29	0,25	0,25	0,37	0,37	0,17	0,17	10,77
			0,8	0,20	0,31	0,15	0,00	0,13	0,13	0,13	0,19	2,30	2,30	2,01	2,01	0,33	0,33	0,29	0,29	0,42	0,42	0,20	0,20	12,31
			0,9	0,22	0,34	0,17	0,00	0,14	0,14	0,14	0,22	2,59	2,59	2,26	2,26	0,37	0,37	0,32	0,32	0,47	0,47	0,22	0,22	13,85
			1,0	0,25	0,38	0,19	0,00	0,16	0,16	0,16	0,24	2,87	2,87	2,51	2,51	0,41	0,41	0,36	0,36	0,52	0,52	0,25	0,25	15,39
	1,5	0,37	0,57	0,29	0,00	0,24	0,24	0,24	0,36	4,31	4,31	3,77	3,77	0,62	0,62	0,54	0,54	0,78	0,78	0,37	0,37	23,08		
4,5	1,11	1,72	0,86	0,00	0,72	0,72	0,72	1,08	12,93	12,93	11,31	11,31	1,85	1,85	1,62	1,62	2,35	2,35	1,11	1,11	69,25			
Varianta 4	rozdělení net.	10%				40%				10%				40%				100%						
	Suočinitel proudění C dané netěsnosti [m³/(hpa ^{0,8})]	n _{so} [h ⁻¹]	0,1	0,02	0,04	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,16	0,16	0,14	0,14	0,04	0,04	0,04	0,04	0,21	0,21	0,10	0,10	1,54	
			0,2	0,05	0,08	0,04	0,00	0,03	0,03	0,03	0,05	0,33	0,33	0,29	0,29	0,08	0,08	0,07	0,07	0,42	0,42	0,20	0,20	3,08
			0,3	0,07	0,11	0,06	0,00	0,05	0,05	0,05	0,07	0,49	0,49	0,43	0,43	0,12	0,12	0,11	0,11	0,63	0,63	0,30	0,30	4,62
			0,4	0,10	0,15	0,08	0,00	0,06	0,06	0,06	0,10	0,66	0,66	0,57	0,57	0,16	0,16	0,14	0,14	0,84	0,84	0,40	0,40	6,16
			0,5	0,12	0,19	0,10	0,00	0,08	0,08	0,08	0,12	0,82	0,82	0,72	0,72	0,21	0,21	0,18	0,18	1,04	1,04	0,49	0,49	7,69
			0,6	0,15	0,23	0,11	0,00	0,10	0,10	0,10	0,14	0,98	0,98	0,86	0,86	0,25	0,25	0,22	0,22	1,25	1,25	0,59	0,59	9,23
			0,7	0,17	0,27	0,13	0,00	0,11	0,11	0,11	0,17	1,15	1,15	1,01	1,01	0,29	0,29	0,25	0,25	1,46	1,46	0,69	0,69	10,77
			0,8	0,20	0,31	0,15	0,00	0,13	0,13	0,13	0,19	1,31	1,31	1,15	1,15	0,33	0,33	0,29	0,29	1,67	1,67	0,79	0,79	12,31
			0,9	0,22	0,34	0,17	0,00	0,14	0,14	0,14	0,22	1,48	1,48	1,29	1,29	0,37	0,37	0,32	0,32	1,88	1,88	0,89	0,89	13,85
			1,0	0,25	0,38	0,19	0,00	0,16	0,16	0,16	0,24	1,64	1,64	1,44	1,44	0,41	0,41	0,36	0,36	2,09	2,09	0,99	0,99	15,39
	1,5	0,37	0,57	0,29	0,00	0,24	0,24	0,24	0,36	2,46	2,46	2,15	2,15	0,62	0,62	0,54	0,54	3,13	3,13	1,48	1,48	23,08		
4,5	1,11	1,72	0,86	0,00	0,72	0,72	0,72	1,08	7,39	7,39	6,46	6,46	1,85	1,85	1,62	1,62	9,40	9,40	4,45	4,45	69,25			
Varianta 5	rozdělení net.	0%				50%				0%				50%				100%						
	Suočinitel proudění C dané netěsnosti [m³/(hpa ^{0,8})]	n _{so} [h ⁻¹]	0,1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,21	0,18	0,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,26	0,12	0,12	1,54	
			0,2	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,41	0,41	0,36	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,52	0,25	0,25	3,08
			0,3	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,62	0,62	0,54	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,78	0,78	0,37	0,37	4,62
			0,4	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,82	0,82	0,72	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	1,04	1,04	0,49	0,49	6,16
			0,5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	1,03	0,90	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	1,31	1,31	0,62	0,62	7,69
			0,6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	1,23	1,08	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	1,57	1,57	0,74	0,74	9,23

Příloha F - Rovnice popisující model proudění vzduchu rodinným domem

Rovnice F. 1

$$\sum_i C_{DN,i} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{DN,i})^n + \sum_i C_{SN,i} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{SN,i})^n + \sum_i C_{HN,i} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{HN,i})^n + \sum_i C_{O1,i} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{O1,i})^n + \sum_i C_{O2,i} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{O2,i})^n + \sum_i C_{OS,i} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{OS,i})^n = 0$$

$C_{DN,i}$... součinitel proudění dolních netěsností s i-tou orientací [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{SN,i}$... součinitel proudění středních netěsností s i-tou orientací [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{HN,i}$... součinitel proudění horních netěsností s i-tou orientací [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{O1,i}$... součinitel proudění oken 1NP s i-tou orientací [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{O2,i}$... součinitel proudění oken 2NP s n-tou orientací i [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{OS,i}$... součinitel proudění střešních oken s i-tou orientací [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

K_Q ... korekční faktor [-]

ρ ... $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_e$... hustota venkovního vzduchu [kg/m^3]

... $\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_i$... hustota vnitřního vzduchu [kg/m^3]

$\Delta P_{j,i}$... tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem v místě netěsnosti j [Pa]

n ... exponent proudění (uvažováno s hodnotou 0,8) [-]

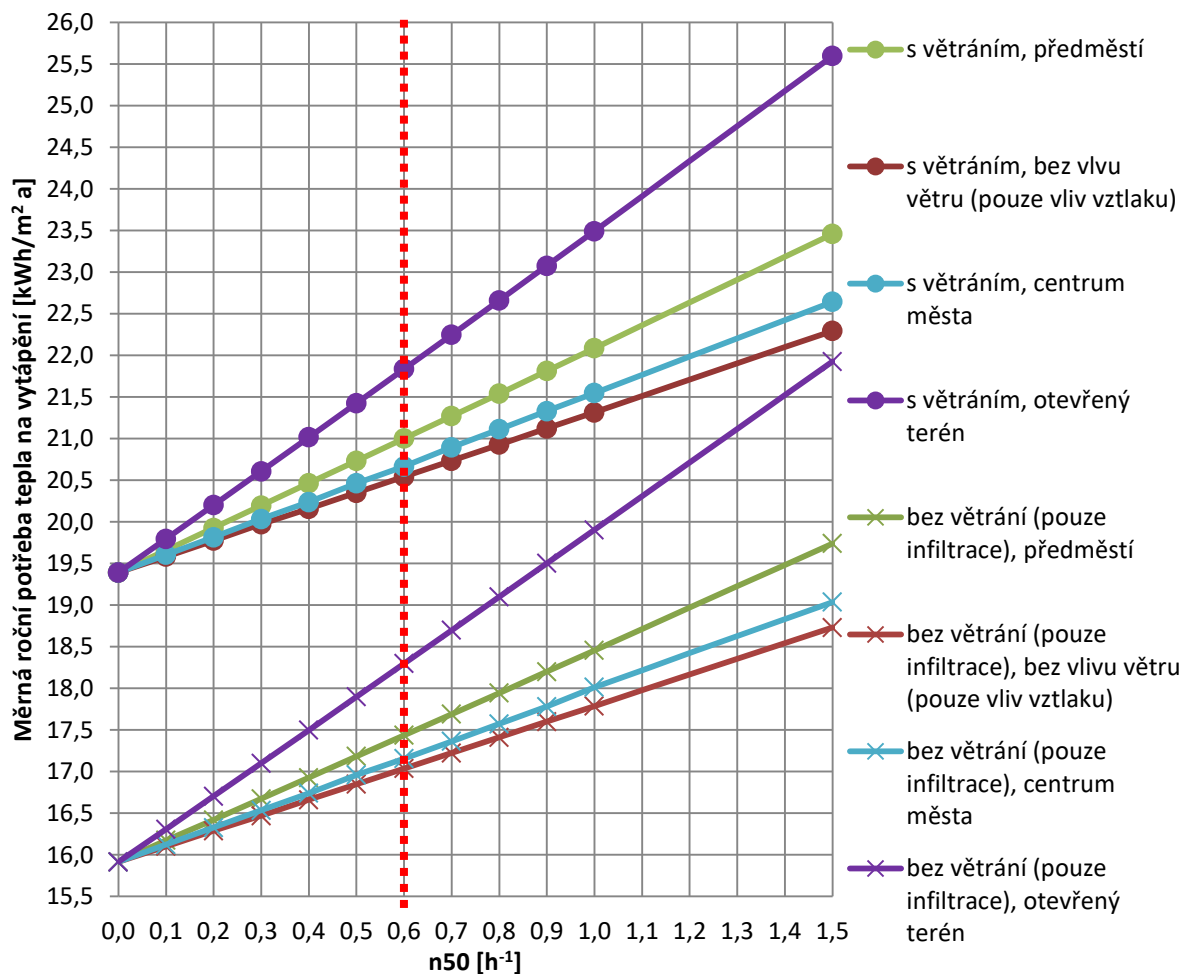
i ... orientace prvku s netěsnostmi, která je určena úhlem, který svírá půdorysný průmět normály prvku se severem po směru hodinových ručiček [°]. Podle orientace prvku jsou tedy hodnoty i pro sever=0°, východ=90°, jih=180° a západ=270°

Příloha G - Výsledky simulací rodinného domu

Tab.G.1 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 1 (30%,30%,30%,10%).

n ₅₀ RD [h ⁻¹]	Pouze infiltrace (RD bez systému větrání)			
	Pouze vliv vzlaku na infiltraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vzlaku i větru na infiltraci vzduchu		
		Centrum města [kWh/(m ² a)]	Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]
0,0	15,9	15,9	15,9	15,9
0,1	16,1	16,1	16,2	16,3
0,2	16,3	16,3	16,4	16,7
0,3	16,5	16,5	16,7	17,1
0,4	16,7	16,7	16,9	17,5
0,5	16,8	17,0	17,2	17,9
0,6	17,0	17,2	17,4	18,3
0,7	17,2	17,4	17,7	18,7
0,8	17,4	17,6	17,9	19,1
0,9	17,6	17,8	18,2	19,5
1,0	17,8	18,0	18,5	19,9
1,5	18,7	19,0	19,7	21,9
4,5	24,6	25,5	27,7	34,6

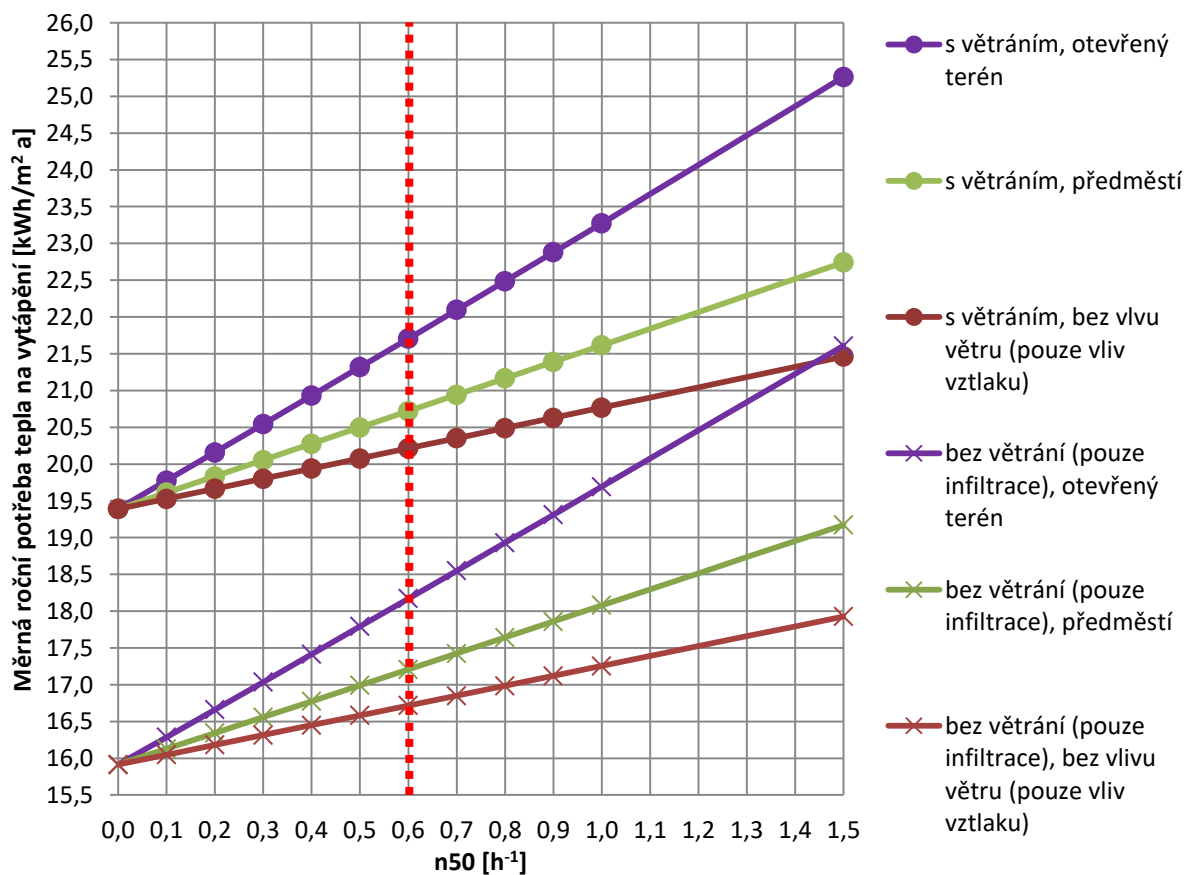
n ₅₀ RD [h ⁻¹]	Infiltrace + systém rovnotlakého větrání			
	Pouze vliv vzlaku na infiltraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vzlaku i větru na infiltraci vzduchu		
		Centrum města [kWh/(m ² a)]	Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]
0,0	19,4	19,4	19,4	19,4
0,1	19,6	19,6	19,7	19,8
0,2	19,8	19,8	19,9	20,2
0,3	20,0	20,0	20,2	20,6
0,4	20,2	20,2	20,4	21,0
0,5	20,3	20,5	20,7	21,4
0,6	20,5	20,7	20,9	21,8
0,7	20,7	20,9	21,3	22,2
0,8	20,9	21,1	21,5	22,7
0,9	21,1	21,3	21,8	23,1
1,0	21,3	21,5	22,1	23,5
1,5	22,3	22,6	23,5	25,6
4,5	28,3	29,4	31,9	38,7



Graf G.1 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²·a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 1.

Tab.G.2 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 2 (70%,10%,10%,10%).

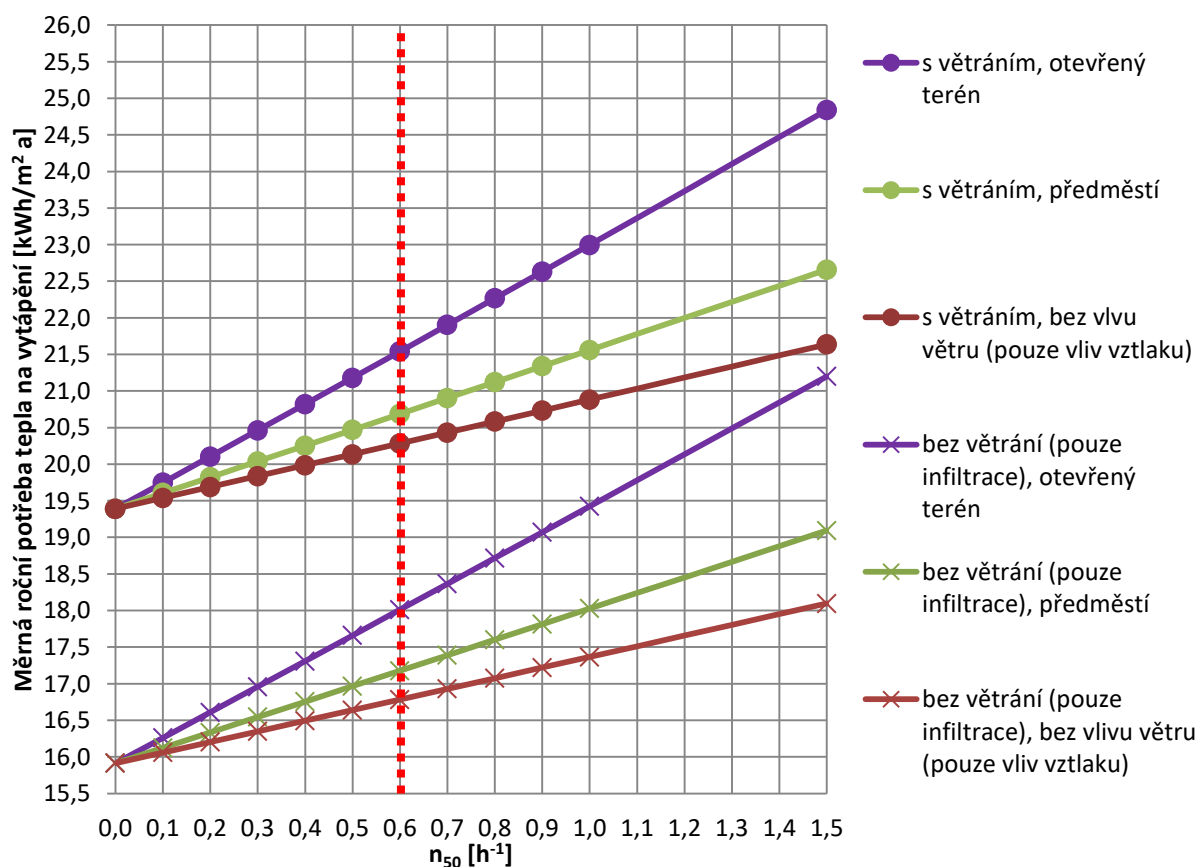
n ₅₀ RD [h ⁻¹]	Pouze infiltrace (RD bez systému větrání)			Infiltrace + systém rovnotlakého větrání		
	Pouze vliv vztlaku na infilraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infilraci vzduchu		Pouze vliv vztlaku na infilraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infilraci vzduchu	
		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]
0,0	15,9	15,9	15,9	19,4	19,4	19,4
0,1	16,0	16,1	16,3	19,5	19,6	19,8
0,2	16,2	16,3	16,7	19,7	19,8	20,2
0,3	16,3	16,6	17,0	19,8	20,1	20,5
0,4	16,4	16,8	17,4	19,9	20,3	20,9
0,5	16,6	17,0	17,8	20,1	20,5	21,3
0,6	16,7	17,2	18,2	20,2	20,7	21,7
0,7	16,9	17,4	18,6	20,4	20,9	22,1
0,8	17,0	17,6	18,9	20,5	21,2	22,5
0,9	17,1	17,9	19,3	20,6	21,4	22,9
1,0	17,3	18,1	19,7	20,8	21,6	23,3
1,5	17,9	19,2	21,6	21,5	22,7	25,3
4,5	22,0	25,9	33,6	25,8	29,7	37,6



Graf G.2 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 2.

Tab.G.3 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 3 (10%,10%,70%,10%).

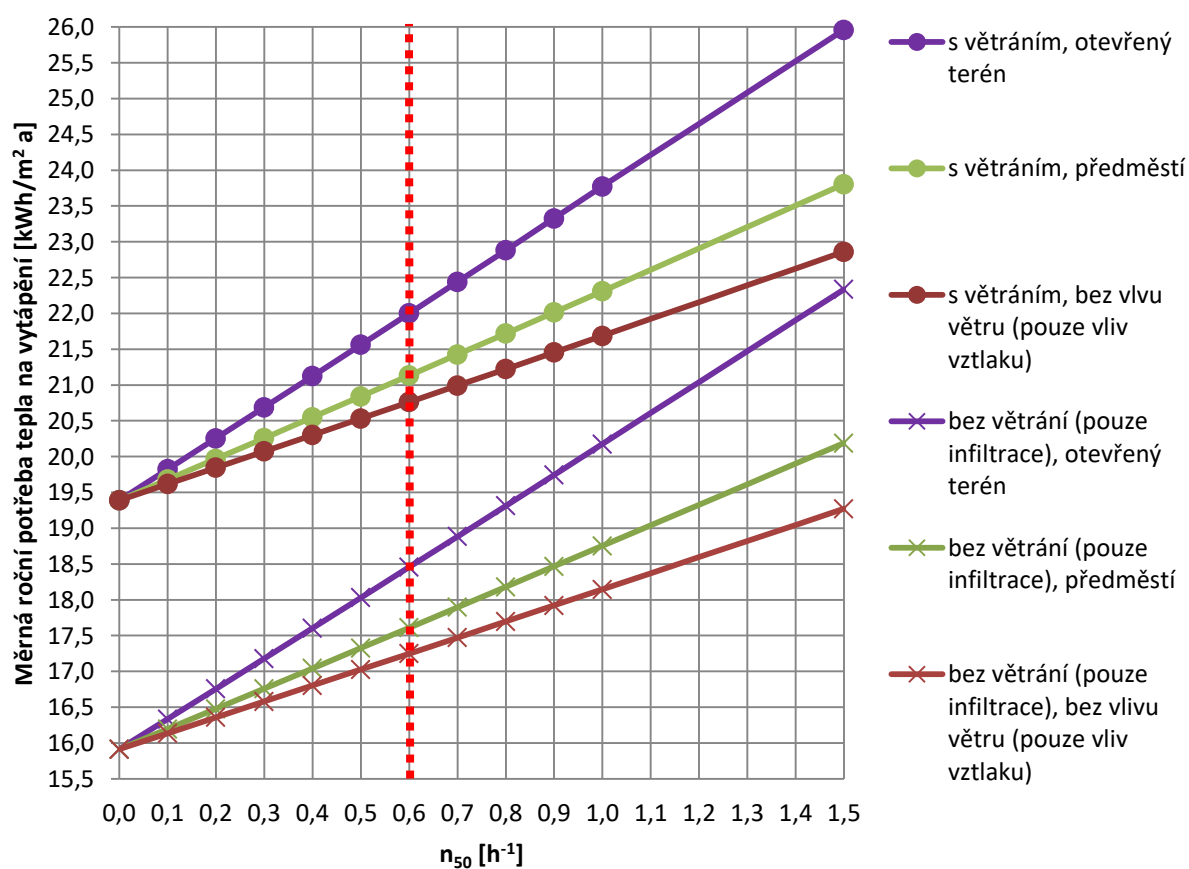
n ₅₀ RD [h ⁻¹]	Pouze infiltrace (RD bez systému větrání)			Infiltrace + systém rovnotlakého větrání		
	Pouze vliv vztlaku na infiltraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infiltraci vzduchu		Pouze vliv vztlaku na infiltraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infiltraci vzduchu	
		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]
0,0	15,9	15,9	15,9	19,4	19,4	19,4
0,1	16,1	16,1	16,3	19,5	19,6	19,7
0,2	16,2	16,3	16,6	19,7	19,8	20,1
0,3	16,3	16,5	17,0	19,8	20,0	20,5
0,4	16,5	16,8	17,3	20,0	20,3	20,8
0,5	16,6	17,0	17,7	20,1	20,5	21,2
0,6	16,8	17,2	18,0	20,3	20,7	21,5
0,7	16,9	17,4	18,4	20,4	20,9	21,9
0,8	17,1	17,6	18,7	20,6	21,1	22,3
0,9	17,2	17,8	19,1	20,7	21,3	22,6
1,0	17,4	18,0	19,4	20,9	21,6	23,0
1,5	18,1	19,1	21,2	21,6	22,7	24,8
4,5	22,6	25,6	32,3	26,3	29,4	36,3



Graf G.3 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 3 (10%,10%,70%,10%).

Tab.G.4 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 4 (40%,10%,40%,10%).

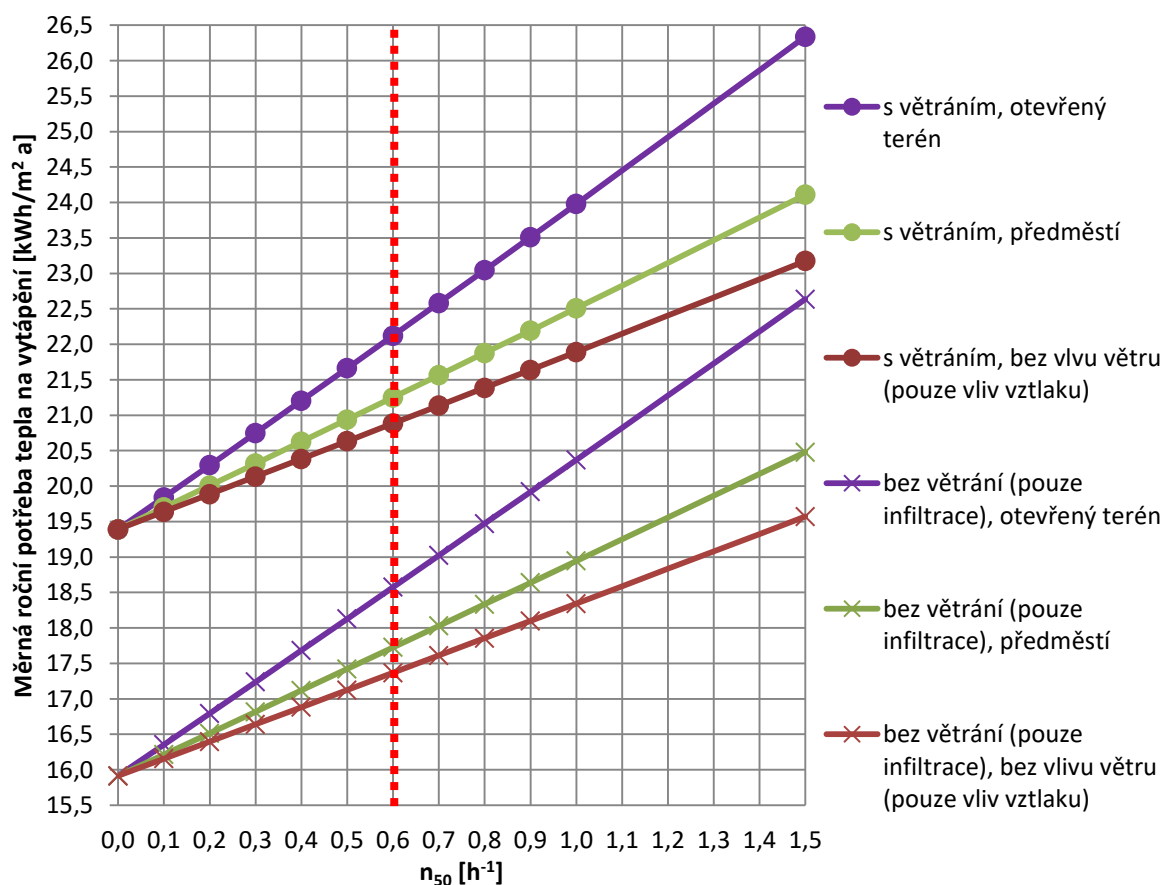
n ₅₀ RD [h ⁻¹]	Pouze infiltrace (RD bez systému větrání)			Infiltrace + systém rovnotlakého větrání		
	Pouze vliv vztlaku na infilraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infilraci vzduchu		Pouze vliv vztlaku na infilraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infilraci vzduchu	
		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]
0,0	15,9	15,9	15,9	19,4	19,4	19,4
0,1	16,1	16,2	16,3	19,6	19,7	19,8
0,2	16,4	16,5	16,8	19,8	20,0	20,3
0,3	16,6	16,8	17,2	20,1	20,3	20,7
0,4	16,8	17,0	17,6	20,3	20,5	21,1
0,5	17,0	17,3	18,0	20,5	20,8	21,6
0,6	17,2	17,6	18,5	20,8	21,1	22,0
0,7	17,5	17,9	18,9	21,0	21,4	22,4
0,8	17,7	18,2	19,3	21,2	21,7	22,9
0,9	17,9	18,5	19,7	21,5	22,0	23,3
1,0	18,1	18,8	20,2	21,7	22,3	23,8
1,5	19,3	20,2	22,3	22,9	23,8	26,0
4,5	26,3	29,1	36,0	30,1	33,0	40,0



Graf G.4 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 4 (40%,10%,40%,10%).

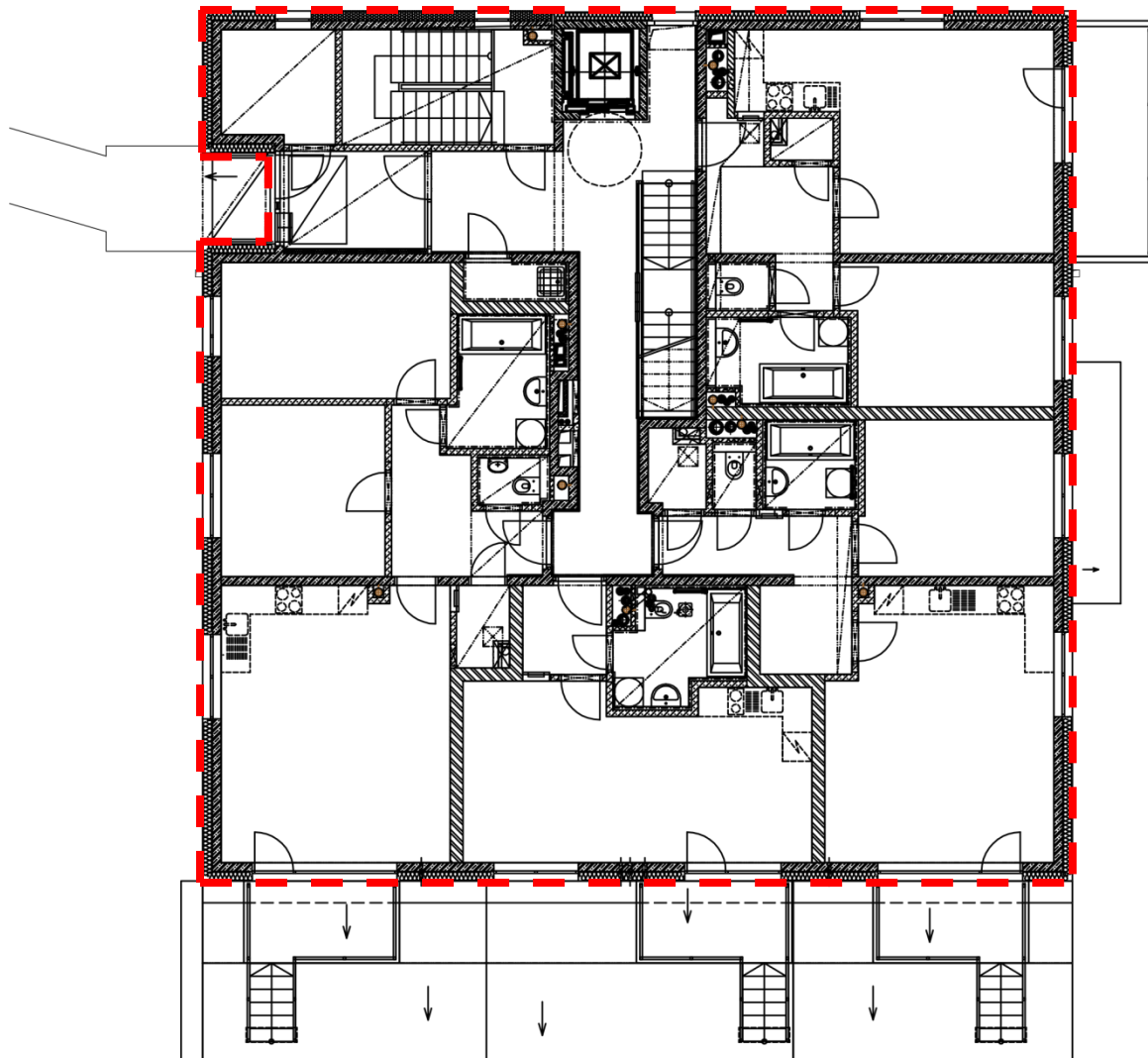
Tab.G.5 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 5 (50%,0%,50%,0%)

n ₅₀ RD [h ⁻¹]	Pouze infiltrace (RD bez systému větrání)			Infiltrace + systém rovnotlakého větrání		
	Pouze vliv vztlaku na infiltraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infiltraci vzduchu		Pouze vliv vztlaku na infiltraci vzduchu [kWh/(m ² a)]	Vliv vztlaku i větru na infiltraci vzduchu	
		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]		Předměstí [kWh/(m ² a)]	Otevřený terén [kWh/(m ² a)]
0,0	15,9	15,9	15,9	19,4	19,4	19,4
0,1	16,2	16,2	16,4	19,6	19,7	19,8
0,2	16,4	16,5	16,8	19,9	20,0	20,3
0,3	16,6	16,8	17,2	20,1	20,3	20,7
0,4	16,9	17,1	17,7	20,4	20,6	21,2
0,5	17,1	17,4	18,1	20,6	20,9	21,7
0,6	17,4	17,7	18,6	20,9	21,3	22,1
0,7	17,6	18,0	19,0	21,1	21,6	22,6
0,8	17,9	18,3	19,5	21,4	21,9	23,0
0,9	18,1	18,6	19,9	21,6	22,2	23,5
1,0	18,3	18,9	20,4	21,9	22,5	24,0
1,5	19,6	20,5	22,6	23,2	24,1	26,3
4,5	27,2	30,1	36,9	31,1	34,0	41,0



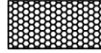


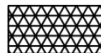

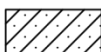



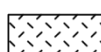

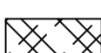






Graf G.5 – Výsledky pro RD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 16,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329. Rozdělení netěsností po obálce budovy dle varianty 5 (50%,0%,50%,0%).

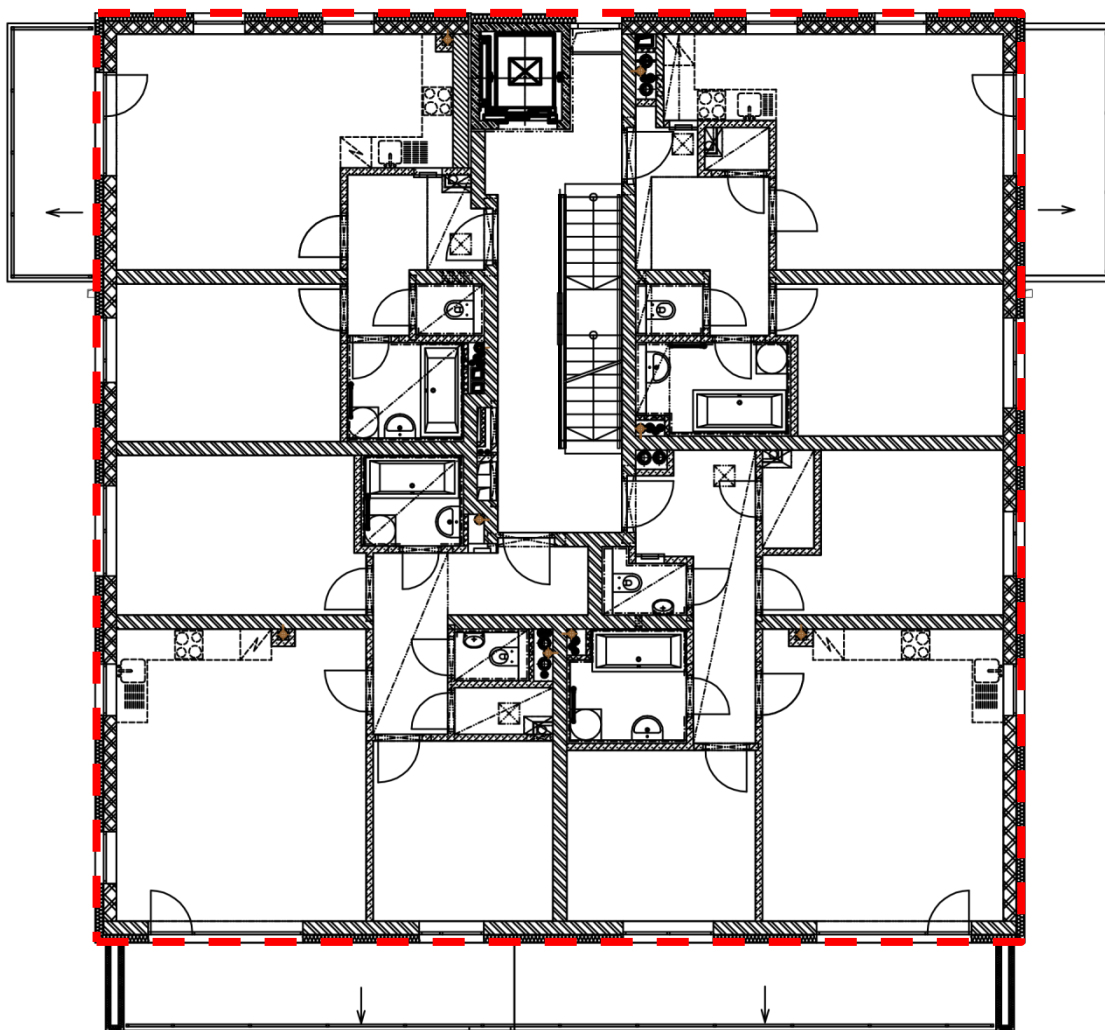
Příloha H - Výkresová dokumentace bytového domu (Autoři: QARTA ARCHITEKTURA s.r.o.)





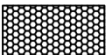


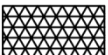

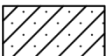







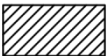
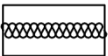

LEGENDA MATERIÁLŮ:

	ŽELEZOBETON MONOLITICKÝ VIZ. STATIKA		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 17,5 P+D P10 NA MALTU M 5,0		TEPELNÁ IZOLACE - MINERÁLNÍ VLNA ORSIL TYP VIZ. SKLADBY KONSTRUKCI)
	PREFABRIKOVANÉ MONOLITICKÉ DÍLCE		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 25 AKU MK P20 NA MALTU M 5,0		TEPELNÁ IZOLACE - EXTRUDOVANÝ POLYSTYREK RIGIPS PERIMETR
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 25 AKU MK P20 NA MALTU M 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 11,5 P+D NA MALTU M 5,0		OKAPOVÝ CHODNÍK - HRUBOZRNNÉ KAMENIVO Ø 32-128mm
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 25 STI P8 NA MALTU M 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 8 P+D NA MALTU M 5,0		ZHUTNĚNÝ NÁSP
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 24 P+D P15 NA MALTU M 5,0		ZTRACENÉ BEDNĚNÍ 150 BETON C 15/20		STÁVÁJÍCÍ ROSTLÝ TERÉN
	INSTALAČNÍ DOZDÍVKA PŘESNÉ TVÁRNICE YTONG P2-500 NA SYSTÉMOVOU MALTU		TEPELNÁ IZOLACE - EPS POLYSTYREN RIGIPS 70 F		ZHUTNĚNÝ ŠTĚRKOVÝ POSYP

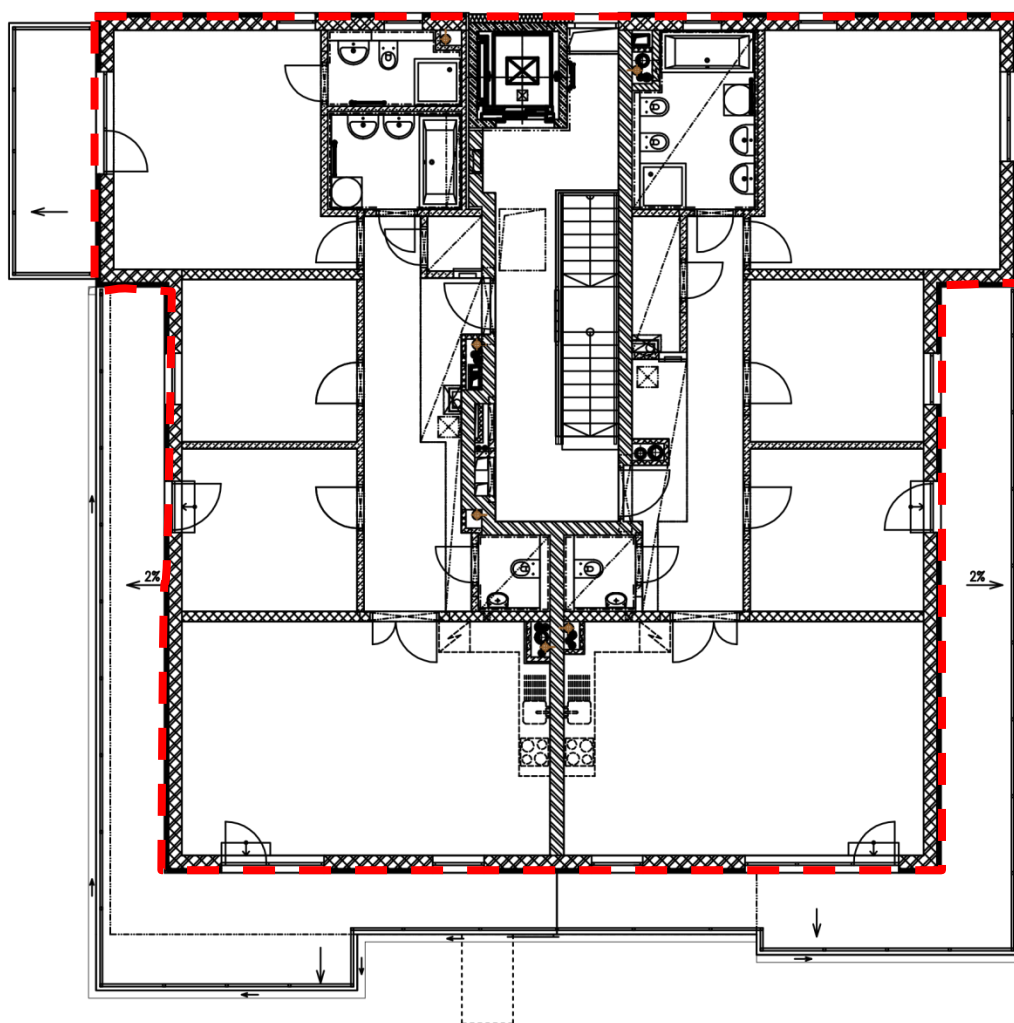
Obr.H. 1 - Půdorys 1.NP bytového domu (M 1:125). Červeně je vyznačena systémová hranice vytápěné zóny objektu pro výpočty měrné potřeby tepla na vytápění dle TNI 730329.





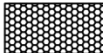


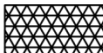





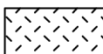




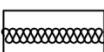

LEGENDA MATERIÁLŮ:

	ŽELEZOBETON MONOLITICKÝ VIZ. STATIKA		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 17,5 P+D P10 NA MALTU M 5,0		TEPELNÁ IZOLACE - MINERÁLNÍ VLNA ORSIL TYP VIZ. SKLADBY KONSTRUKCÍ)
	PREFABRIKOVANÉ MONOLITICKÉ DÍLCE		CIHELNÉ ZDIVO CIHLA CP NA MALTU MVC (P10)		TEPELNÁ IZOLACE - EXTRUDOVANÝ POLYSTYREK RIGIPS PERIMETR
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 25 AKU MK P20 NA MALTU M 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 11,5 P+D NA MALTU M 5,0		OKAPOVÝ CHODNÍK - HRUBOZRNNÉ KAMENIVO Ø 32-128mm
	CIHELNÉ ZDIVO SUPERTHERM 25 STI P8 NA MALTU LM 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 8 P+D NA MALTU M 5,0		ZHUTNĚNÝ NÁSYP
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 24 P+D P15 NA MALTU M 5,0		ZTRACENÉ BEDNĚNÍ 150 BETON C 15/20		STÁVÁJÍCÍ ROSTLÝ TERÉN
	INSTALAČNÍ DOZDÍVKA PŘESNÉ TVÁRNICE YTONG P2-500 NA SYSTÉMOVOU MALTU		TEPELNÁ IZOLACE - EPS POLYSTYREK RIGIPS 70 F		ZHUTNĚNÝ ŠTĚRKOVÝ POSYP

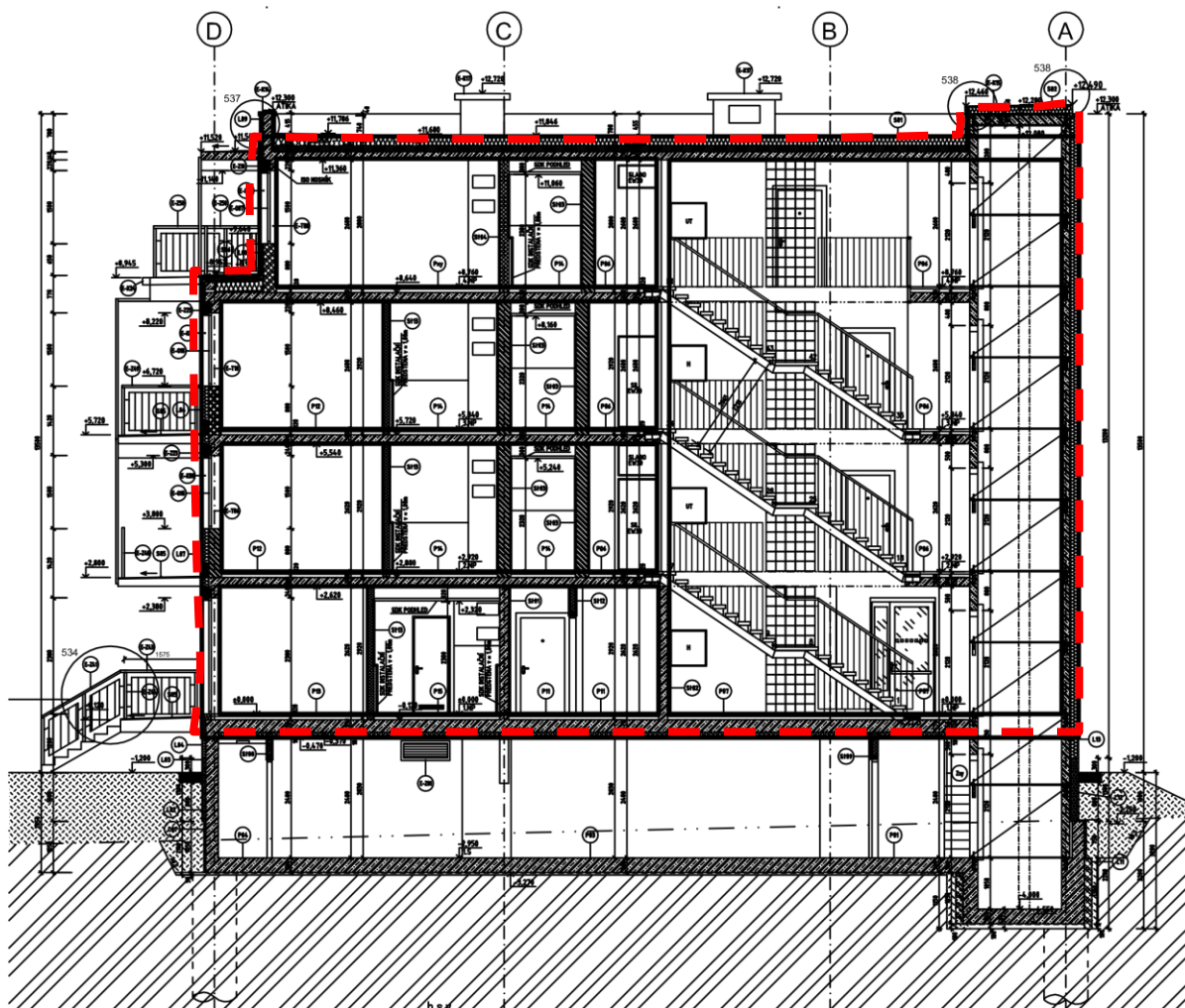
Obr.H. 2 - Půdorys 2.NP a 3.NP bytového domu (M 1:125). Červeně je vyznačena systémová hranice vytápěné zóny objektu pro výpočty měrné potřeby tepla na vytápění dle TNI 730329.





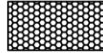


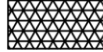
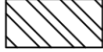
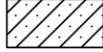








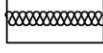

LEGENDA MATERIÁLŮ:

	ŽELEZOBETON MONOLITICKÝ VIZ. STATIKA		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 17,5 P+D P10 NA MALTU M 5,0		TEPELNÁ IZOLACE - MINERÁLNÍ VLNA ORSIL TYP VIZ. SKLADBY KONSTRUKCÍ)
	PREFABRIKOVANÉ MONOLITICKÉ DÍLCE		CIHELNÉ ZDIVO CIHLA CP NA MALTU MVC (P10)		TEPELNÁ IZOLACE - EXTRUDOVANÝ POLYSTYREN RIGIPS PERIMETR
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 25 AKU MK P20 NA MALTU M 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 11,5 P+D NA MALTU M 5,0		OKAPOVÝ CHODNÍK - HRUBOZRNNÉ KAMENIVO Ø 32-128mm
	CIHELNÉ ZDIVO SUPERTHERM 25 STI P8 NA MALTU LM 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 8 P+D NA MALTU M 5,0		ZHUTNĚNÝ NÁSYP
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 24 P+D P15 NA MALTU M 5,0		ZTRACENÉ BEDNĚNÍ 150 BETON C 15/20		STÁVÁJÍCÍ ROSTLÝ TERÉN
	INSTALAČNÍ DOZDÍVKA PŘESNÉ TVÁRNICE YTONG P2-500 NA SYSTÉMOVOU MALTU		TEPELNÁ IZOLACE - EPS POLYSTYREN RIGIPS 70 F		ZHUTNĚNÝ ŠTĚRKOVÝ POSYP

Obr.H. 3 - Půdorys 4.NP bytového domu (M 1:125). Červeně je vyznačena systémová hranice vytápěné zóny objektu pro výpočty měrné potřeby tepla na vytápění dle TNI 730329.



LEGENDA MATERIÁLŮ:

	ŽELEZOBETON MONOLITICKÝ VIZ. STATIKA		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 17,5 P+D P10 NA MALTU M 5,0		TEPELNÁ IZOLACE - MINERÁLNÍ VLNA ORSIL TYP VIZ. SKLADBY KONSTRUKCÍ)
	PREFABRIKOVANÉ MONOLITICKÉ DÍLCE		CIHELNÉ ZDIVO CIHLA CP NA MALTU MVC (P10)		TEPELNÁ IZOLACE - EXTRUDOVANÝ POLYSTYREK RIGIPS PERIMETR
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 25 AKU MK P20 NA MALTU M 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 11,5 P+D NA MALTU M 5,0		OKAPOVÝ CHODNÍK - HRUBOZRNNÉ KAMENIVO Ø 32-128mm
	CIHELNÉ ZDIVO SUPERTHERM 25 STI P8 NA MALTU LM 5,0		CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 8 P+D NA MALTU M 5,0		ZHUTNĚNÝ NÁSYP
	CIHELNÉ ZDIVO POROTHERM 24 P+D P15 NA MALTU M 5,0		ZTRACENÉ BEDNĚNÍ 150 BETON C 15/20		STÁVÁJÍCÍ ROSTLÝ TERĚN
	INSTALACNÍ DOZDÍVKA PŘESNĚ TVÁŘENICE YTONG P2-500 NA SYSTÉMOVOU MALTU		TEPELNÁ IZOLACE - EPS POLYSTYREK RIGIPS 70 F		ZHUTNĚNÝ ŠTĚRKOVÝ POSYP

Obr.H. 4 - Řez bytovým domem (M 1:125). Červeně je vyznačena systémová hranice vytápěné zóny objektu pro výpočty měrné potřeby tepla na vytápění dle TNI 730329.

Príloha I - Stanovení potřeby tepla na vytápění BD dle TNI 730329

VÝPOČET MĚRNÉ POTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ

klimatické údaje dle TNI 730329

Měsíc	Potřeba tepla na vytápění			Tepebné ztráty			Využitelné tepebné zisky							Faktor využitelnosti tepebných zisků pro vytápění	
	Q_{nd} [kWh]	θ_e [°C]	t [h]	Q_t [kWh]	Q_T [kWh]	Q_V [kWh]	Q_g [kWh]	Q_{int} [kWh]	Q_{sol} [kWh]	$H_{východ}$ [kWh/m ²]	H_{jh} [kWh/m ²]	$H_{západ}$ [kWh/m ²]	H_{sever} [kWh/m ²]	η_g [-]	γ [-]
Leden	4530	-1,0	744	8798	7722	1076	4268	3274	994	15,0	50,0	20,0	7,0	1,00	0,49
Únor	2968	1,0	672	7190	6311	879	4222	2957	1265	26,0	56,0	28,0	13,0	1,00	0,59
Březen	1362	4,0	744	6703	5884	820	5368	3274	2094	51,0	82,0	53,0	23,0	1,00	0,80
Duben	12	9,0	720	4460	3915	545	5843	3168	2675	74,0	96,0	72,0	32,0	0,76	1,31
Květen	0	14,6	744	2262	1986	277	6489	3274	3215	104,0	97,0	93,0	47,0	0,35	2,87
Červen	0	17,0	720	1216	1068	149	6308	3168	3140	115,0	87,0	88,0	52,0	0,19	5,19
Červenec	0	18,2	744	754	662	92	6407	3274	3134	100,0	93,0	93,0	47,0	0,12	8,50
Srpen	0	18,8	744	503	441	61	6313	3274	3039	88,0	100,0	88,0	38,0	0,08	12,56
Září	0	13,8	720	2514	2206	307	5617	3168	2449	60,0	95,0	64,0	24,0	0,45	2,23
Říjen	67	9,4	744	4441	3898	543	5070	3274	1797	34,0	75,0	48,0	17,0	0,86	1,14
Listopad	2524	4,0	720	6487	5694	793	3964	3168	796	14,0	38,0	18,0	9,0	1,00	0,61
Prosinec	4708	-0,5	744	8589	7538	1050	3881	3274	607	11,0	29,0	12,0	6,0	1,00	0,45
Σ	16170														

$Q_{nd} = Q_t - \eta_g \cdot Q_g$ [kWh]
 Q_t [kWh] ... celkové tepebné ztráty vytápěné zóny
 η_g ... faktor využitelnosti tepebných zisků
 Q_g [kWh] ... celkové tepebné zisky vytápěné zóny
 A [m²] ... celková půdorysná plocha

A 1143,7 m²

Měrná potřeba tepla na vytápění: $\frac{\Sigma Q_{nd}}{A} = 14,1$ [kWh/(m²a)]

Tepebné ztráty Q_t

$Q_t = Q_T + Q_V$ [kWh]
 Q_T [kWh] ... tepebné ztráty prostupem
 Q_V [kWh] ... tepebné ztráty větráním

$Q_T = H_T \cdot (\theta_{i, set} - \theta_e) \cdot t$ [kWh]

H_T 494,3 [W/K] ... podrobně vypočteno v U_{em}
 $\theta_{i, set}$ 20 [°C]

H_T [W/K] ... měrný tepebný tok prostupem
 $\theta_{i, set}$ [°C] ... požadovaná vnitřní teplota vytápěné zóny
 θ_e [°C] ... průměrná měsíční teplota venkovního prostředí
 t [h] ... počet hodin v daném měsíci

$Q_V = H_V \cdot (\theta_{i, set} - \theta_e) \cdot t$ [kWh]
 H_V [W/K] ... měrné tepebné toky prostupem a větráním

$H_V = \rho_a \cdot c_a \cdot \dot{V}_a$ [W/K]

H_V 69 [W/K]
 $\rho_a \cdot c_a$ 0,34 [Wh/(m³K)]

$\rho_a \cdot c_a \left[\frac{J}{m^3 \cdot K} \right]$... objemová tepebná kapacita vzduchu = 1200 $\frac{J}{m^3 \cdot K}$
 \dot{V}_a [m³/h] ... Průměrný objemový tok větracího vzduchu

$\dot{V}_a = n_{os} \cdot 50 \cdot occup \cdot (1 - \eta_{ztt}) + \dot{V}_v$ [m³/h]

\dot{V}_v 202 [m³/h]

n_{os} 40 [-]

occup 0,70 [-]

η_{ztt} 0,75 [-]

$\dot{V}_a = \frac{V_a \cdot n_{50} \cdot e}{1 + f \left[\frac{V_1 - V_2}{V_a \cdot n_{50}} \right]}$ [m³/h]

\dot{V}_a 27 [m³/h] V_a [m³] ... objem vzduchu ve vytápěné zóně
 V_a 2643,816 [m³] n_{50} [1/s] ... násobnost výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa (mira těsnosti obálky budovy)
 n_{50} 0,26 [-] V_1 [m³/h] ... objemový tok přiváděného vzduchu
 e 0,04 [-] V_2 [m³/h] ... objemový tok odváděného vzduchu
 e, f ... součinitel větrné expozice

Využitelné tepebné zisky Q_g

$Q_g = Q_{int} + Q_{sol}$ [kWh]
 Q_{int} [kWh] ... vnitřní tepebné zisky
 Q_{sol} [kWh] ... solární tepebné zisky

$Q_{int} = \dot{Q}_{int} \cdot t$ [kWh]
 \dot{Q}_{int} [kW] ... průměrný výkon vnitřních zisků

$\dot{Q}_{int} = n_{os} \cdot 100 \cdot occup + n_{bj} \cdot 100$ [W]

Q_{int} 4200 [W]

n_{os} 40 [-]

n_{bj} 14 [-]

n_{os} [-] ... počet osob

n_{bj} [-] ... počet byt. jednotek

$Q_{sol} = \sum_j H_j \sum_n A_{s,n,j}$ [kWh]
 H_j $\left[\frac{kWh}{m^2} \right]$... měsíční dávka ozáření na j-tou orientaci
 $A_{s,n,j}$ [m²] ... účinná solární sběrná plocha n-tého transparentního prvku (okna) s j-tou orientací

	A_w	g	F_w	F_g	F_c	F_s	A_s [m ²]
Zasklení _{východ}	7,0	0,6	0,9	0,84	0,9	1	7,6
Zasklení _{juh}	16,8	0,6	0,9	0,84	0,9	1	12,8
Zasklení _{západ}	3,0	0,6	0,9	0,84	0,9	1	10,5
Zasklení _{sever}	4,8	0,6	0,9	0,84	0,9	1	4,5

$A_s = A_w \cdot g_L \cdot F_w \cdot F_g \cdot F_c \cdot F_s$ [m²]
 A_w [m²] ... celková plocha okna
 g_L ... celková energetická propustnost zasklení při normálovém dopadu slunečních paprsků
 F_w ... korekční číselník pro zvýšené ztráty odrazem při větších úhlech dopadu slunečního záření = 0,9
 F_g ... korekční číselník rámu
 F_c ... korekční číselník clonění
 F_s ... korekční číselník stínění

$F_F = \frac{A_{gt}}{A_w}$
 A_{gt} [m²] ... plocha zasklení

$F_S = F_h \cdot F_0 \cdot F_f$

F_h ... dílčí číselník stínění horizontem

F_0 ... dílčí číselník stínění markýzou

F_f ... dílčí číselník stínění bočními žebry

Faktor využitelnosti tepebných zisků pro vytápění η_g

$\eta_g = \frac{1 - \gamma^a}{1 - \gamma^{a+1}}$

γ [-] ... poměr tepebných zisků [kWh] a tepebných ztrát [kWh] v daném měsíci
 a [-] ... číselný parametr

$\gamma = \frac{Q_g}{Q_t}$

Q_t [kWh] ... celkové tepebné ztráty vytápěné zóny v daném měsíci
 Q_g [kWh] ... celkové tepebné zisky vytápěné zóny v daném měsíci

$a = 1 + \frac{\tau}{15}$

a 16,70 [-]

τ [h] ... časová konstanta vytápěné zóny budovy

$\tau = \frac{C_m \cdot 3600}{H_T + H_V}$ [h]

τ 235,51 [h]

C_m $\left[\frac{J}{K} \right]$... účinná vnitřní tepebná kapacita zóny pro těžké budovy

$C_m = 110000 \cdot A_f$

C_m 477426117 [J/K]

A_f 1009

A_f [m²] ... užitná podlahová plocha vytápěné zóny

Příloha J - Vstupní hodnoty do modelu tepelného chování BD

Parametry jednotlivých konstrukcí - zóna 1 (byty)

1 - Stěny

Plocha	A	684,68 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,152 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	4,104 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _e	0,158 W/(m ² K)
Vodivost vnitřní části	K _{1,i}	2810,254 W/K
Vodivost vnější části	K _{1,e}	107,855 W/K
Tepelná kapacita	C ₁	44307840 J/K

2 - Střecha

Plocha	A ₁	239,20 m ²
Plocha	A ₂	4,60 m ²
Plocha	A ₃	54,10
Souč. prost. tep.	U ₁	0,140 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{1,i}	6,186 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{1,e}	0,143 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U ₂	0,206 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{2,i}	6,186 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{2,e}	0,213 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U ₃	0,138 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{3,i}	6,186 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{3,e}	0,141 W/(m ² K)
Vodivost	K ₂₁	33,488 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{21,i}	1479,781 W/K
Vodivost vnější části	K _{21,e}	34,263 W/K
Vodivost	K ₂₂	0,948 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{22,i}	28,457 W/K
Vodivost vnější části	K _{22,e}	0,980 W/K
Vodivost	K ₂₃	7,466 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{23,i}	334,683 W/K
Vodivost vnější části	K _{23,e}	7,636 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{2,j}	1842,921 W/K
Vodivost vnější části	K _{2,e}	42,880 W/K
Měr. tep. kap.	c ₄	244 800 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₂	62730000 J/K

3 - Podlaha nad nevytápěným suterénem

Plocha	A	235,5 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,35 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	5,670 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _e	0,373 W/(m ² K)
Vodivost	K ₃	82,425 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{3,i}	1335,285 W/K
Vodivost vnější části	K _{3,e}	87,848 W/K
Tepelná kapacita	C ₃	30733117 J/K

4 - Podlaha

Plocha	A	821,7 m ²
Souč. prost. tep.	U _i	5,670 W/(m ² K)
Vodivost	K ₄	4659,039 W/K
Měr. tep. kap.	c ₄	148 240 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₄	99583185 J/K

Parametry jednotlivých konstrukcí - zóna 1 (byty)

5 - Strop

Plocha	A	783,3 m ²
Souč. prost. tep.	U ₅	5,245 W/(m ² K)
Vodivost	K ₅	4108,567 W/K
Měr. tep. kap.	c ₅	214 200 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₅	143893134 J/K

6 - Příčky

Plocha	A	660,24 m ²
Souč. prost. tep.	U ₆	3,241 W/(m ² K)
Vodivost	K ₆	4279,333 W/K
Měr. tep. kap.	c ₆	87 000 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₆	57440880 J/K

7 - Okna

Plocha - jižní okna	A _j	72,15 m ²
Plocha - severní okna	A _s	17,98 m ²
Plocha - východní okna	A _v	36,82 m ²
Plocha - západní okna	A _z	43,74 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,800 W/(m ² K)
Vodivost	K _{7j}	57,720 W/K
Vodivost	K _{7s}	14,384 W/K
Vodivost	K _{7v}	29,456 W/K
Vodivost	K _{7z}	34,992 W/K
Cel. Vodivost	K ₇	136,552 W/K

8 - Dveře

Plocha	A	20,0 m ²
Souč. prost. tep.	U	1,70 W/(m ² K)
Vodivost	K ₈	34,000 W/K

9 - Stěna mezi zónami

Plocha	A	217,2 m ²
Souč. prost. tep.	U	1,03 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	2,05
Souč. prost. tep.	U _e	2,05
Vodivost vnitřní části	K _{9i}	445,715 W/K
Vodivost vnější části	K _{9e}	445,715 W/K
Tepelná kapacita	C ₉	42563830 J/K

10 - ΔU_{tb} (20%)

Vodivost	K ₁₀	76,382 W/K
----------	-----------------	------------

Parametry jednotlivých konstrukcí - zóna 2 (chodba)**1 - Stěny**

Plocha	A	55,88 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,116 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	4,104 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _e	0,120 W/(m ² K)
Vodivost vnitřní části	K _{1,i}	229,358 W/K
Vodivost vnější části	K _{1,e}	6,699 W/K
Tepelná kapacita	C ₁	5364480 J/K

2 - Střeška

Plocha	A ₁	25,10 m ²
Souč. prost. tep.	U ₁	0,140 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{1,i}	6,186 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _{1,e}	0,143 W/(m ² K)
Vodivost	K ₂₁	33,488 W/K
Vodivost	K _{21,i}	155,278 W/K
Vodivost	K _{21,e}	3,595 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{2,i}	155,278 W/K
Vodivost vnější části	K _{2,e}	3,595 W/K
Tepelná kapacita	C ₂	6083280 J/K

3 - Podlaha nad nevytápěným suterénem

Plocha	A	63,5 m ²
Souč. prost. tep.	U	0,35 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _i	5,670 W/(m ² K)
Souč. prost. tep.	U _e	0,373 W/(m ² K)
Vodivost	K ₃	22,225 W/K
Vodivost vnitřní části	K _{3,i}	360,045 W/K
Vodivost vnější části	K _{3,e}	23,687 W/K
Tepelná kapacita	C ₃	8219908 J/K

4 - Podlaha

Plocha	A	75,3 m ²
Souč. prost. tep.	U _i	5,670 W/(m ² K)
Vodivost	K ₄	426,951 W/K
Měr. tep. kap.	c ₄	148 240 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₄	8219908 J/K

5 - Strop

Plocha	A	113,7 m ²
Souč. prost. tep.	U ₅	5,245 W/(m ² K)
Vodivost	K ₅	596,380 W/K
Měr. tep. kap.	c ₅	214 200 J/(m ² K)
Tepelná kapacita	C ₅	22523130 J/K

6 - Okna

Plocha	A	9,42 m ²
Souč. prost. tep.	U ₆	1,400 W/(m ² K)
Vodivost	K ₆	13,188 W/K

7 - ΔU_{tb} (A*0,1)

Vodivost	K ₇	7,695 W/K
----------	----------------	-----------

Ostatní parametry

Objem vzduchu v zóně 1 (byty)	V ₁	2303,22 m ³
Obj. hmotn. vzduchu	ρ	1,2 kg/m ³
Měrná tep. kap. vzduchu	c	1010 J/(kgK)
Vnitřní tepelná kapacita zóny	C _i	2791498 J/K
Objem vzduchu v zóně 2 (chodba)	V	340,60 m ³
Obj. hmotn. vzduchu	ρ	1,2 kg/m ³
Měrná tep. kap. vzduchu	c	1010 J/(kgK)
Vnitřní tepelná kapacita zóny	C _i	412807 J/K
Teplota v suterénu	t _{sut}	5 °C

Příloha K - Rovnice popisující model tepelného chování bytového domu

Rovnice K.1

$$C_{ai,B} \frac{dT_{i,B}}{dt} = [\Phi_{s,B} + \Phi_{p,B} + \Phi_{i,B}] - [K_{B,1,i} \cdot (T_{i,B} - T_{1,B}) + K_{B,2,i} \cdot (T_{i,B} - T_{2,B}) + K_{B,3,i} \cdot (T_{i,B} - T_{3,B}) + K_{B,4} \cdot (T_{i,B} - T_{4,B}) + K_{B,5} \cdot (T_{i,B} - T_{5,B}) + K_{B,6} \cdot (T_{i,B} - T_{6,B}) + (K_{B,7} + K_{B,10}) \cdot (T_i - T_e) + K_8 \cdot (T_{i,B} - T_{i,C}) + K_9 \cdot (T_{i,B} - T_9) + m_{a,inf,B} \cdot c_a \cdot (T_{i,B} - T_e) + m_{a,inf,C \rightarrow B} \cdot c_a \cdot (T_{i,B} - T_{i,C}) + m_{a,B,VZT} \cdot c_a \cdot (1 - \eta_{zzt}) \cdot (T_{i,B} - T_e)]$$

$T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]

$T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [°C]

$T_{1,B}$... teplota v obvodových stěnách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$T_{2,B}$... teplota ve střešní konstrukci (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$T_{3,B}$... teplota v podlaze 1NP ve styku se zeminou (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$T_{4,B}$... teplota v podlahách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$T_{5,B}$... teplota ve stropě (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$T_{6,B}$... teplota v příčce (v polovině tloušťky konstrukce) [°C]

T_9 ... teplota v ve stěně mezi byty a chodbou (v polovině tloušťky konstrukce) [°C]

T_e ... teplota v exteriéru [°C]

$\Phi_{s,B}$... solární zisky [W]

$\Phi_{p,B}$... tepelné zisky od vytápění [W]

$\Phi_{i,B}$... vnitřní tepelné zisky od osob a spotřebičů [W]

$K_{B,1,i}$... tepelná vodivost vnitřní části obvodových stěn (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,2,i}$... tepelná vodivost vnitřní části střešní konstrukce (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,3,i}$... tepelná vodivost vnitřní části podlahy 1NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,4}$... tepelná vodivost podlah (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,5}$... tepelná vodivost stropu (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,6}$... tepelná vodivost příčky [W/K]

$K_{B,7}$... tepelná vodivost okenních konstrukcí [W/K]

K_8 ... tepelná vodivost vstupních dveří do bytů [W/K]

- K_9 ... tepelná polovina tloušťky stěny mezi byty a chodbou [W/K]
- $K_{B,10}$... tepelná vodivost teplotních vazeb [W/K]
- $m_{a,inf,B}$... hmotnostní průtok infiltrujícího vzduchu přes netěsnosti v obálce budovy [kg/s]
- $m_{a,inf,C \rightarrow B}$... hmotnostní průtok infiltrujícího vzduchu přes vstupní dveře z chodby do bytů [kg/s]
- $m_{a,B,VZT}$... hmotnostní průtok vzduchu větracího systému [kg/s]
- $C_{B,ai}$... Tepelná kapacita vzduchu vytápěné zóny [J/K]
- c_a ... měrná tepelná kapacita vzduchu [J/(kgK)]
- η_{zst} ... účinnost zpětného získávání tepla z odpadního vzduchu větracího systému [-]

Rovnice K.2

$$C_{1,B} \frac{dT_{1,B}}{dt} = K_{B,1,i} \cdot (T_{i,B} - T_{1,B}) - K_{B,1,e} \cdot (T_{1,B} - T_e)$$

- $T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]
- $T_{1,B}$... teplota v obvodových stěnách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]
- $K_{B,1,i}$... tepelná vodivost vnitřní části obvodových stěn (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
- $K_{B,1,e}$... tepelná vodivost vnější části obvodových stěn [W/K]
- $C_{1,B}$... účinná tepelná kapacita obvodových stěn (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.3

$$C_{2,B} \frac{dT_{2,B}}{dt} = K_{B,2,i} \cdot (T_{i,B} - T_{2,B}) - K_{B,2,e} \cdot (T_{2,B} - T_e)$$

- $T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]
- $T_{2,B}$... teplota ve střešní konstrukci (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]
- $K_{B,2,i}$... tepelná vodivost vnitřní části střešní konstrukce (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
- $K_{B,2,e}$... tepelná vodivost vnější části střešní konstrukce [W/K]
- $C_{2,B}$... účinná tepelná kapacita střešní konstrukce (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.4

$$C_{3,B} \frac{dT_{3,B}}{dt} = K_{B,3,i} \cdot (T_{i,B} - T_{3,B}) - K_{B,3,e} \cdot (T_{3,B} - T_e)$$

- $T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]
- $T_{3,B}$... teplota v podlaze 1NP ve styku se zeminou (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{B,3,i}$... tepelná vodivost vnitřní části podlahy 1NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,3,e}$... tepelná vodivost vnější části podlahy 1NP [W/K]

$C_{3,B}$... účinná tepelná kapacita podlahy 1NP (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.5

$$C_{4,B} \frac{dT_{4,B}}{dt} = K_{B,4} \cdot (T_{i,B} - T_{4,B})$$

$T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]

$T_{4,B}$... teplota v podlahách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{B,4}$... tepelná vodivost podlah (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$C_{4,B}$... účinná tepelná kapacita podlahy 2NP (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.6

$$C_{5,B} \frac{dT_{5,B}}{dt} = K_{B,5} \cdot (T_{i,B} - T_{5,B})$$

$T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]

$T_{5,B}$... teplota v stropě (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{B,5}$... tepelná vodivost stropu (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$C_{5,B}$... účinná tepelná kapacita stropu (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.7

$$C_{6,B} \frac{dT_{6,B}}{dt} = K_{B,6} \cdot (T_{i,B} - T_{6,B})$$

$T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]

$T_{6,B}$... teplota v příčce (v polovině tloušťky konstrukce) [°C]

$K_{B,6}$... tepelná vodivost příčky [W/K]

$C_{6,B}$... tepelná kapacita příčky [J/K]

Rovnice K.8

$$C_9 \frac{dT_9}{dt} = K_9 \cdot (T_{i,B} - T_9) - K_9 \cdot (T_9 - T_{i,C})$$

$T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [°C]

- $T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [$^{\circ}C$]
 T_9 ... teplota ve stěnách mezi byty a chodbou (v polovině tloušťky konstrukce) [$^{\circ}C$]
 K_9 ... tepelná polovina tloušťky stěny mezi byty a chodbou [W/K]
 C_9 ... účinná tepelná kapacita ve stěnách mezi byty a chodbou [J/K]

Rovnice K.9

$$C_{ai,C} \frac{dT_{i,C}}{dt} = [\Phi_{s,C}] - [K_{C,1,i} \cdot (T_{i,C} - T_{1,C}) + K_{C,2,i} \cdot (T_{i,C} - T_{2,C}) + K_{C,3,i} \cdot (T_{i,C} - T_{3,C}) \\ + K_{C,4} \cdot (T_{i,C} - T_{4,C}) + K_{C,5} \cdot (T_{i,C} - T_{5,C}) + K_{C,6} \cdot (T_{i,C} - T_e) \\ + K_{C,7} \cdot (T_{i,C} - T_e) + K_8 \cdot (T_{i,C} - T_{i,B}) + K_9 \cdot (T_{i,C} - T_9) \\ + m_{a,inf,C} \cdot c_a \cdot (T_{i,B} - T_e) - m_{a,inf,B \rightarrow C} \cdot c_a \cdot (T_{i,B} - T_{i,C}) \\ + m_{a,B,VZT} \cdot c_a \cdot (T_{i,C} - T_e)]$$

- $T_{i,B}$... teplota ve vytápěné zóně bytů [$^{\circ}C$]
 $T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [$^{\circ}C$]
 $T_{1,C}$... teplota v obvodových stěnách (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}C$]
 $T_{2,C}$... teplota ve střešní konstrukci (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}C$]
 $T_{3,C}$... teplota v podlaze 1NP ve styku se zeminou (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}C$]
 $T_{4,C}$... teplota v podlahách (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}C$]
 $T_{5,C}$... teplota ve stropě (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}C$]
 T_9 ... teplota ve stěně mezi byty a chodbou (v polovině tloušťky konstrukce) [$^{\circ}C$]
 T_e ... teplota v exteriéru [$^{\circ}C$]
 $\Phi_{s,C}$... solární zisky [W]
 $K_{G,1,i}$... tepelná vodivost vnitřní části obvodových stěn (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
 $K_{G,2,i}$... tepelná vodivost vnitřní části střešní konstrukce (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
 $K_{G,3,i}$... tepelná vodivost vnitřní části podlahy 1NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
 $K_{G,4}$... tepelná vodivost podlah (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
 $K_{G,5}$... tepelná vodivost stropu (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]
 $K_{G,6}$... tepelná vodivost okenních konstrukcí [W/K]
 $K_{G,7}$... tepelná vodivost teplotních vazeb [W/K]
 K_8 ... tepelná vodivost vstupních dveří do bytů [W/K]
 K_9 ... tepelná vodivost stěny mezi byty a chodbou [W/K]

$m_{a,inf,B}$... hmotnostní průtok infiltrujícího vzduchu přes netěsnosti v obálce budovy [kg/h]

$m_{a,inf,C \rightarrow B}$... hmotnostní průtok infiltrujícího vzduchu přes vstupní dveře z chodby do bytů [kg/h]

$m_{a,B,VZT}$... hmotnostní průtok vzduchu větracího systému [kg/h]

$C_{B,ai}$... Tepelná kapacita vzduchu vytápěné zóny [J/K]

c_a ... měrná tepelná kapacita vzduchu [J/(kgK)]

Rovnice K.10

$$C_{1,C} \frac{dT_{1,C}}{dt} = K_{C,1,i} \cdot (T_{i,C} - T_{1,C}) - K_{C,1,e} \cdot (T_{1,C} - T_e)$$

$T_{1,C}$... teplota v zóně chodby [°C]

$T_{1,B}$... teplota v obvodových stěnách (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{B,1,i}$... tepelná vodivost vnitřní části obvodových stěn (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{B,1,e}$... tepelná vodivost vnější části obvodových stěn [W/K]

$C_{1,B}$... účinná tepelná kapacita obvodových stěn (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.11

$$C_{2,C} \frac{dT_{2,C}}{dt} = K_{C,2,i} \cdot (T_{i,C} - T_{2,C}) - K_{C,2,e} \cdot (T_{2,C} - T_e)$$

$T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [°C]

$T_{2,C}$... teplota ve střešní konstrukci (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{C,2,i}$... tepelná vodivost vnitřní části střešní konstrukce (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{C,2,e}$... tepelná vodivost vnější části střešní konstrukce [W/K]

$C_{2,C}$... účinná tepelná kapacita střešní konstrukce (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.12

$$C_{3,C} \frac{dT_{3,C}}{dt} = K_{C,3,i} \cdot (T_{i,C} - T_{3,C}) - K_{C,3,e} \cdot (T_{3,C} - T_e)$$

$T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [°C]

$T_{3,C}$... teplota v podlaze 1NP ve styku se zeminou (5 cm od vnitřního povrchu) [°C]

$K_{C,3,i}$... tepelná vodivost vnitřní části podlahy 1NP (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$K_{C,3,e}$... tepelná vodivost vnější části podlahy 1NP [W/K]

$C_{3,C}$... účinná tepelná kapacita podlahy 1NP (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.13

$$C_{4,C} \frac{dT_{4,C}}{dt} = K_{C,4} \cdot (T_{i,C} - T_{4,C})$$

$T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [$^{\circ}\text{C}$]

$T_{4,C}$... teplota v podlahách (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}\text{C}$]

$K_{C,4}$... tepelná vodivost podlah (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$C_{4,C}$... účinná tepelná kapacita podlah (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Rovnice K.14

$$C_{5,B} \frac{dT_{5,B}}{dt} = K_{C,5} \cdot (T_{i,C} - T_{5,C})$$

$T_{i,C}$... teplota v zóně chodby [$^{\circ}\text{C}$]

$T_{5,C}$... teplota ve stropě (5 cm od vnitřního povrchu) [$^{\circ}\text{C}$]

$K_{C,5}$... tepelná vodivost stropu (tl. 5 cm od vnitřního povrchu) [W/K]

$C_{5,C}$... účinná tepelná kapacita stropu (tl. 10 cm konstrukce od vnitřního povrchu) [J/K]

Příloha L - Vstupy do modelu proudění bytového domu

Zóna v modelu proudění		BYTY 1NP													
Orientace netěsnosti		sever (0°)			východ (90°)			jih (180°)			západ (270°)				
Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C		
Délka lineární netěsnosti		6,0 m	1,8 m	-	-	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m		
Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu		20,33%													
Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnosti		1,15%	0,34%	-	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	-	1,15%	1,15%		
Model Proudění A, B, C	C _{DN} Součinitel proudění dolní netěsnosti ve výšce 0,5 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,02	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05
			0,4h ⁻¹	0,11	0,03	-	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	-	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,05	-	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	-	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,06	-	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	-	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,08	-	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	-	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,12	-	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	-	0,41	0,41
	4,5h ⁻¹	1,22	0,36	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	-	1,22	1,22		
	C _{HN} Součinitel proudění horní netěsnosti ve výšce 2,12 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,02	-	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	-	0,05	0,05
			0,4h ⁻¹	0,11	0,03	-	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	-	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,05	-	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	-	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,06	-	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	-	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,08	-	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	-	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,12	-	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	-	0,41	0,41
	4,5h ⁻¹	1,22	0,36	-	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	-	1,22	1,22		

Zóna v modelu proudění		BYTY 2NP														
Orientace netěsnosti		sever (0°)			východ (90°)			jih (180°)			západ (270°)					
Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
Délka lineární netěsnosti		6,0 m	3,1 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m			
Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu		20,33%														
Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnosti		1,15%	0,59%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%			
Model Proudění A, B, C	C _{DN} Součinitel proudění dolní netěsnosti ve výšce 0,5 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
			0,4h ⁻¹	0,11	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,14	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,21	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	4,5h ⁻¹	1,22	0,63	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22		
	C _{HN} Součinitel proudění horní netěsnosti ve výšce 2,12 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
			0,4h ⁻¹	0,11	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,14	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,21	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	4,5h ⁻¹	1,22	0,63	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22		

Zóna v modelu proudění		BYTY 3NP														
Orientace netěsnosti		sever (0°)			východ (90°)			jih (180°)			západ (270°)					
Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C			
Délka lineární netěsnosti		6,0 m	3,1 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m			
Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu		20,33%														
Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnosti		1,15%	0,59%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%			
Model Proudění A, B, C	C _{DN} Součinitel proudění dolní netěsnosti ve výšce 0,5 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
			0,4h ⁻¹	0,11	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,14	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,21	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	4,5h ⁻¹	1,22	0,63	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22		
	C _{HN} Součinitel proudění horní netěsnosti ve výšce 2,12 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	
			0,4h ⁻¹	0,11	0,06	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,11	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,14	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,21	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
	4,5h ⁻¹	1,22	0,63	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22		

Zóna v modelu proudění			BYTY 4NP												
Orientace netěsnosti			sever (0°)			východ (90°)			jih (180°)			západ (270°)			
Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Délka lineární netěsnosti			6,0 m	3,1 m	6,0 m	4,8 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	4,8 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	6,0 m	
Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu			20,33%												
Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnosti			1,15%	0,59%	1,15%	0,92%	1,15%	1,15%	1,15%	1,15%	0,92%	1,15%	1,15%	1,15%	
Model Proudění A, B, C	C _{DN} Sou činitel proudění dolní netěsnosti ve výšce 0,5 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
			0,4h ⁻¹	0,11	0,06	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,08	0,16	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,16	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,11	0,22	0,17	0,22	0,22	0,22	0,22	0,17	0,22	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,14	0,27	0,22	0,27	0,27	0,27	0,27	0,22	0,27	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,21	0,41	0,32	0,41	0,41	0,41	0,41	0,32	0,41	0,41	0,41
			4,5h ⁻¹	1,22	0,63	1,22	0,97	1,22	1,22	1,22	1,22	0,97	1,22	1,22	1,22
	C _{HN} Sou činitel proudění horní netěsnosti ve výšce 2,12 m nad podlahou příslušné zóny [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	0,05	0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05
			0,4h ⁻¹	0,11	0,06	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11	0,11	0,09	0,11	0,11	0,11
			0,6h ⁻¹	0,16	0,08	0,16	0,13	0,16	0,16	0,16	0,16	0,13	0,16	0,16	0,16
			0,8h ⁻¹	0,22	0,11	0,22	0,17	0,22	0,22	0,22	0,22	0,17	0,22	0,22	0,22
			1,0h ⁻¹	0,27	0,14	0,27	0,22	0,27	0,27	0,27	0,27	0,22	0,27	0,27	0,27
			1,5h ⁻¹	0,41	0,21	0,41	0,32	0,41	0,41	0,41	0,41	0,32	0,41	0,41	0,41
			4,5h ⁻¹	1,22	0,63	1,22	0,97	1,22	1,22	1,22	1,22	0,97	1,22	1,22	1,22

Zóna v modelu proudění			CHODBA							
Orientace netěsnosti			sever (0°)			západ (270°)				
Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě			A	B	C	A	B	C		
Délka lineární netěsnosti			-	2,9 m	4,2 m	6,0 m	6,0 m	-		
Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu			39,00%							
Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnost			-	11,7%	16,9%	24,0%	24,0%	-		
Model Proudění A, B1, C	C _{1NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 1,46 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	-	1,52	2,17	2,17	-	-
			0,4h ⁻¹	-	-	3,04	4,33	4,33	-	-
			0,6h ⁻¹	-	-	4,56	6,50	6,50	-	-
			0,8h ⁻¹	-	-	6,08	8,67	8,67	-	-
			1,0h ⁻¹	-	-	7,60	10,84	10,84	-	-
			1,5h ⁻¹	-	-	11,40	16,25	16,25	-	-
			4,5h ⁻¹	-	-	34,21	48,76	48,76	-	-
	C _{1NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 4,38 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	23,73	-	-	-	-	-
	C _{3NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 7,30 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-
4,5h ⁻¹			-	23,73	-	-	-	-	-	
C _{4NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 10,22 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-	
		0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-	
		0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-	
		0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-	
		1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-	
		1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-	
		4,5h ⁻¹	-	23,73	-	-	-	-	-	

Zóna v modelu proudění Orientace netěsnosti Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě Délka lineární netěsnosti Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnost			CHODBA							
			sever (0°)				západ (270°)			
			A	B		C	A	B		
			-	2,9 m	4,2 m	6,0 m	6,0 m	-	-	
			39,00%							
			-	11,7%	38,3%	10,2%	14,0%	14,0%	-	
Model Proudění B2	C _{INP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 1,46 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	-	-	0,92	1,26	1,26	-
			0,4h ⁻¹	-	-	-	1,85	2,53	2,53	-
			0,6h ⁻¹	-	-	-	2,77	3,79	3,79	-
			0,8h ⁻¹	-	-	-	3,69	5,06	5,06	-
			1,0h ⁻¹	-	-	-	4,61	6,32	6,32	-
			1,5h ⁻¹	-	-	-	6,92	9,48	9,48	-
			4,5h ⁻¹	-	-	-	20,76	28,44	28,44	-
	C _{INP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 4,38 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	23,73	-	-	-	-	-
	C _{3NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 7,30 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	23,73	-	-	-	-	-
	C _{4NP,CN} Součinitel proudění netěsnosti ve výšce 10,22 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	-	3,45	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	-	6,90	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	-	10,35	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	-	13,80	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	-	17,25	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	-	25,88	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	-	77,64	-	-	-	-

Zóna v modelu proudění Orientace netěsnosti Příslušná zóna součinitele Cp po fasádě Délka lineární netěsnosti Poměr z rozdělení celkového součinitele proudění C bytového domu Poměr rozdělení součinitele proudění C zóny bytů mezi netěsnost			CHODBA							
			sever (0°)				západ (270°)			
			A	B		C	A	B		
			-	2,9 m	4,2 m	6,0 m	6,0 m	-	-	
			39,00%							
			-	11,7%	64,9%	1,6%	4,0%	6,0%	-	
Model Proudění B3	C _{INP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 1,46 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	-	-	0,15	0,36	0,54	-
			0,4h ⁻¹	-	-	-	0,29	0,72	1,08	-
			0,6h ⁻¹	-	-	-	0,44	1,09	1,63	-
			0,8h ⁻¹	-	-	-	0,59	1,45	2,17	-
			1,0h ⁻¹	-	-	-	0,74	1,81	2,71	-
			1,5h ⁻¹	-	-	-	1,10	2,72	4,07	-
			4,5h ⁻¹	-	-	-	3,31	8,15	12,20	-
	C _{1NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 4,38 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	23,73	-	-	-	-	-
	C _{3NP,CN} Sou činitel proudění netěsnosti ve výšce 7,30 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	1,05	-	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	2,11	-	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	3,16	-	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	4,22	-	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	5,27	-	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	7,91	-	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	23,73	-	-	-	-	-
	C _{4NP,CN} Součinitel proudění netěsnosti ve výšce 10,22 m nad podlahou 1NP [m ³ /(hPa ^{0,7})]	n ₅₀	0,2h ⁻¹	-	-	5,85	-	-	-	-
			0,4h ⁻¹	-	-	11,71	-	-	-	-
			0,6h ⁻¹	-	-	17,56	-	-	-	-
			0,8h ⁻¹	-	-	23,42	-	-	-	-
			1,0h ⁻¹	-	-	29,27	-	-	-	-
			1,5h ⁻¹	-	-	43,91	-	-	-	-
			4,5h ⁻¹	-	-	131,73	-	-	-	-

Příloha M - Rovnice popisující model proudění vzduchu bytovým domem

Rovnice M. 1 – Bilance proudění vzduchu přes netěsnosti pro zóny bytů v daném podlaží

$$\sum_i C_{DN,i,A} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{DN,i,A})^n + \sum_i C_{DN,i,B} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{DN,i,B})^n + \sum_i C_{DN,i,C} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{DN,i,C})^n$$

$$+ \sum_i C_{HN,i,A} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{HN,i,A})^n + \sum_i C_{HN,i,B} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{HN,i,B})^n + \sum_i C_{HN,i,C} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{HN,i,C})^n$$

$$+ C_{MN} \cdot K_Q \cdot \rho_i \cdot (\Delta P_{MN})^n + 3600 \cdot C_D \cdot A \cdot \rho_B \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P_{MB,1}}{\rho_B}} - 3600 \cdot C_D \cdot A \cdot \rho_B \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P_{MB,2}}{\rho_B}} = 0$$

$C_{DN,i,k}$... součinitel proudění dolních netěsností s i -tou orientací v zóně k příslušného součinitele tlaku větru [$m^3/(h \cdot Pa^{0,8})$]

$C_{HN,i,k}$... součinitel proudění horních netěsností s i -tou orientací v zóně k příslušného součinitele tlaku větru [$m^3/(h \cdot Pa^{0,8})$]

C_{MN} ... součinitel proudění netěsností mezi zónou chodby a zónou bytů [$m^3/(h \cdot Pa^{0,8})$]

C_D ... výtokový součinitel [-]

K_Q ... korekční faktor pro danou netěsnost [-]

ρ ... hustota vzduchu proudící danou netěsností $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_e$... hustota venkovního vzduchu [kg/m^3]
 $\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_i$... hustota vnitřního vzduchu [kg/m^3]

ρ_i ... hustota vzduchu proudící danou netěsností $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_c$... hustota vzduchu v chodbě [kg/m^3]
 $\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_B$... hustota vzd. v zóně bytů [kg/m^3]

$\Delta P_{j,i,k}$... tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem v místě netěsnosti j , umístěnou v zóně k příslušného součinitele tlaku větru [Pa]

ΔP_{MN} ... tlakový rozdíl mezi zónou chodbou a zónou bytů v místě netěsnosti [Pa]

$\Delta P_{MB,1}$... tlakový rozdíl mezi zónou bytů o podlaží níže a předmětnou zónou bytů v místě netěsnosti [Pa]

$\Delta P_{MB,2}$... tlakový rozdíl mezi zónou bytů o podlaží výše a předmětnou zónou bytů v místě netěsnosti [Pa]

A ... plocha otvoru v konstrukci [m^2]

n ... exponent proudění [-]

i ... orientace prvku s netěsnostmi, která je určena úhlem, který svírá půdorysný průmět normály prvku se severem po směru hodinových ručiček [$^\circ$]. Podle orientace prvku jsou tedy hodnoty i pro sever= 0° , východ= 90° , jih= 180° a západ= 270°

Rovnice M. 2 - Bilance proudění vzduchu přes netěsnosti pro zónu chodby

$$\begin{aligned}
 & C_{1NP,CN,0,B} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{1NP,CN,0,B})^n + C_{1NP,CN,0,C} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{1NP,CN,0,C})^n \\
 & + C_{1NP,CN,90,A} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{1NP,CN,90,A})^n + C_{2NP,CN,0,B} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{2NP,CN,0,B})^n \\
 & + C_{3NP,CN,0,B} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{2NP,CN,0,B})^n + C_{4NP,CN,0,B} \cdot K_Q \cdot \rho \cdot (\Delta P_{2NP,CN,0,B})^n \\
 & - C_{MN} \cdot K_Q \cdot \rho_i \cdot (\Delta P_{MN})^n = 0
 \end{aligned}$$

$C_{1NP,CN,i,k}$... součinitel proudění netěsností ve 1.NP zóny chodby na i -fasádě v zóně k [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{2NP,CN,0,B}$... součinitel proudění netěsností ve 2.NP zóny chodby na S fasádě v zóně B [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{3NP,CN,0,B}$... součinitel proudění netěsností ve 3.NP zóny chodby na S fasádě v zóně B [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

$C_{4NP,CN,0,B}$... součinitel proudění netěsností ve 4.NP zóny chodby na S fasádě v zóně B [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

K_Q ... korekční faktor pro danou netěsnost [-]

C_{MN} ... součinitel proudění netěsností mezi zónou chodby a zónou bytů [$m^3/(h.Pa^{0,8})$]

ρ ... hustota vzduchu proudící danou netěsností $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_e$... hustota venkovního vzduchu [kg/m^3]

$\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_i$... hustota vnitřního vzduchu [kg/m^3]

ρ_i ... hustota vzduchu proudící danou netěsností $\Delta P > 0$ - $\rho = \rho_c$... hustota vzduchu v chodbě [kg/m^3]

$\Delta P < 0$ - $\rho = \rho_B$... hustota vzd. v zóně bytů [kg/m^3]

$\Delta P_{j,i,k}$... tlakový rozdíl mezi interiérem a exteriérem v místě netěsnosti j umístěnou v zóně k příslušného součinitel tlaku větru [Pa]

ΔP_{MN} ... tlakový rozdíl mezi zónou chodbou a zónou bytů v místě netěsnosti [Pa]

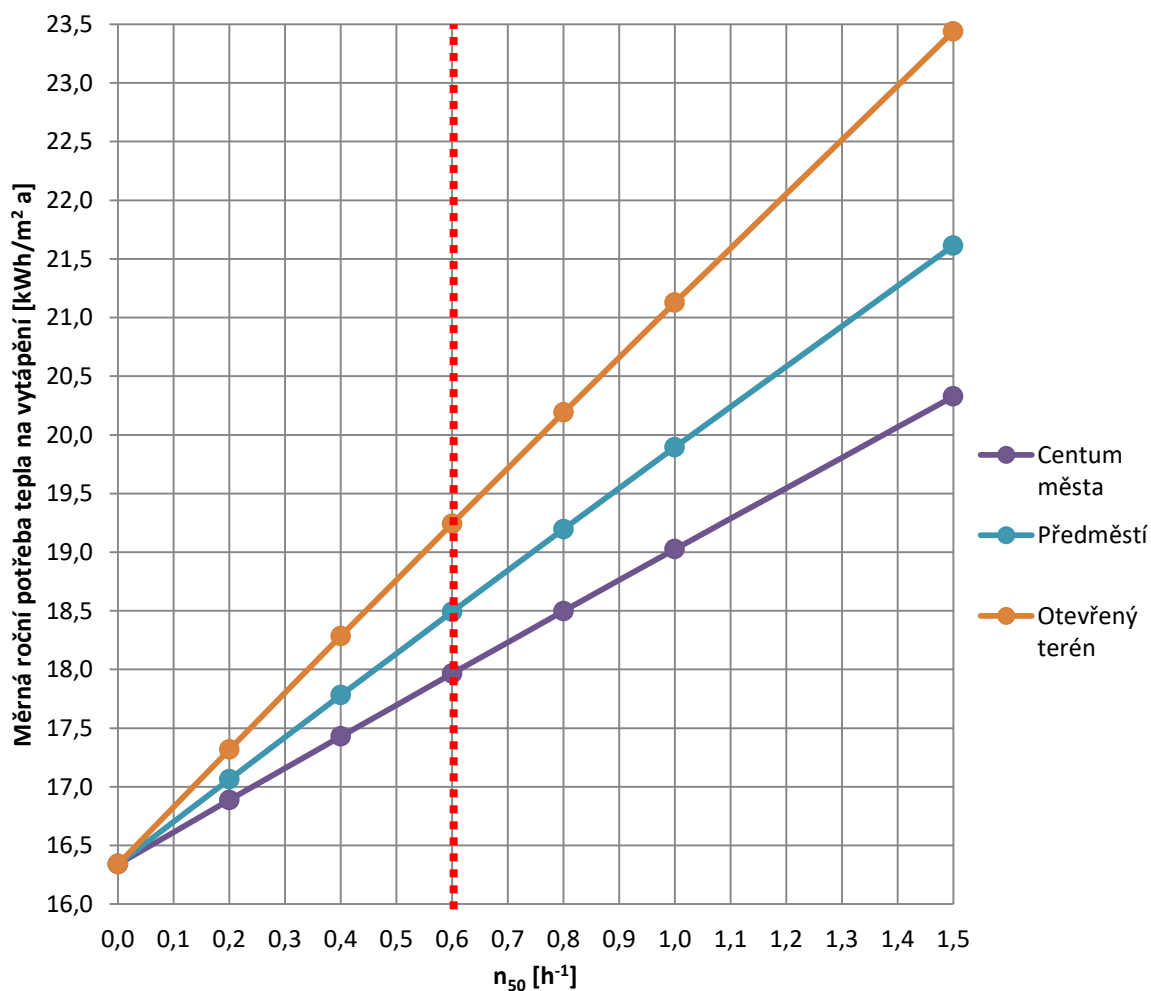
n ... exponent proudění (uvažováno s hodnotou 0,7) [-]

i ... orientace prvku s netěsnostmi, která je určena úhlem, který svírá půdorysný průmět normály prvku se severem po směru hodinových ručiček [$^\circ$]. Podle orientace prvku jsou tedy hodnoty i pro sever= 0° , východ= 90° , jih= 180° a západ= 270°

Příloha N - Výsledky simulací bytového domu

Tab. N.1 - Výsledky pro BD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 14,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329.

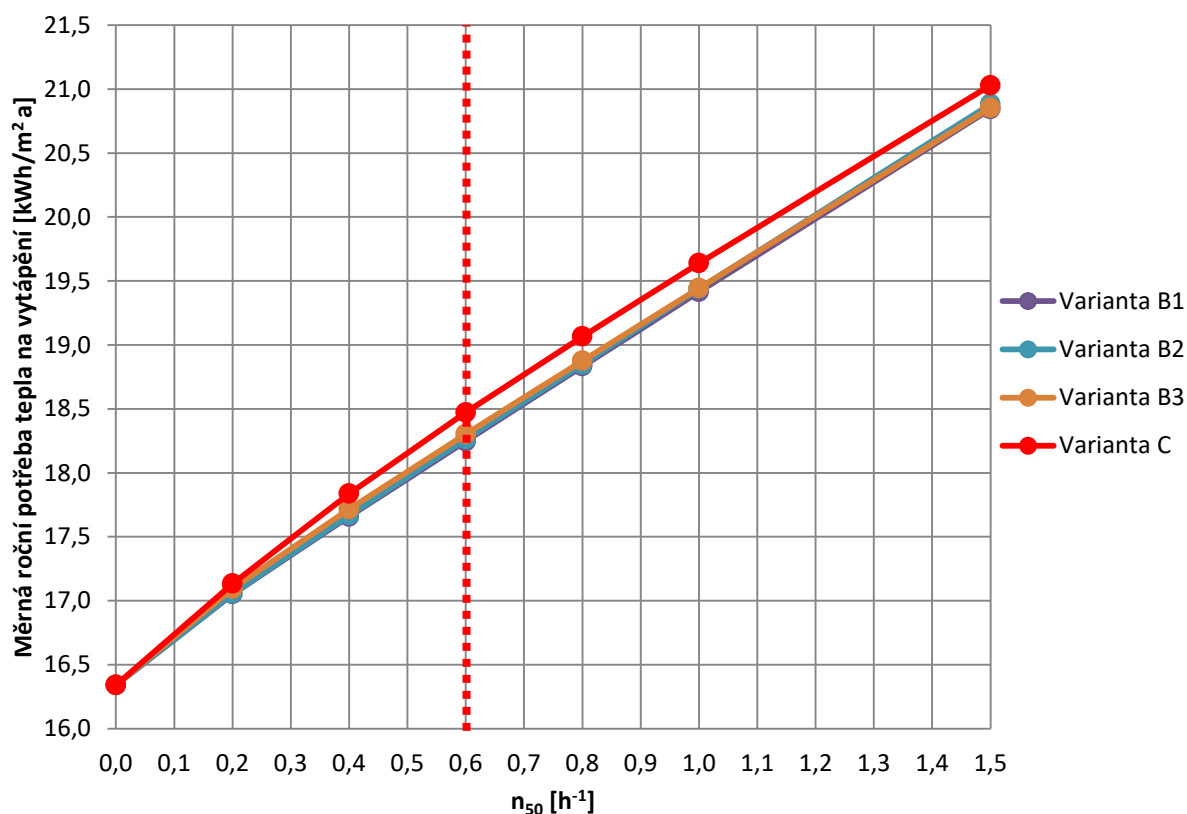
n ₅₀ BD [h ⁻¹]	Model proudění A		
	Vliv vztlaku i větru na infiltraci vzduchu		
	Centrum města	Předměstí	Otevřený terén
[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]
0,0	16,3	16,3	16,3
0,2	16,9	17,1	17,3
0,4	17,4	17,8	18,3
0,6	18,0	18,5	19,2
0,8	18,5	19,2	20,2
1,0	19,0	19,9	21,1
1,5	20,3	21,6	23,4
4,5	27,7	30,0	36,6



Graf N. 1 - Výsledky pro BD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 14,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329 pro model proudění A.

Tab. N.2 - Výsledky pro BD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 14,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329.

n ₅₀ BD [h ⁻¹]	Model proudění A Předměstí [kWh/(m ² a)]	Model proudění B			Model proudění C Předměstí [kWh/(m ² a)]
		Varianta B1 Předměstí [kWh/(m ² a)]	Varianta B2 Předměstí [kWh/(m ² a)]	Varianta B3 Předměstí [kWh/(m ² a)]	
	0,0	16,3	16,3	16,3	16,3
0,2	17,1	17,1	17,1	17,1	17,1
0,4	17,8	17,7	17,7	17,7	17,8
0,6	18,5	18,2	18,3	18,3	18,5
0,8	19,2	18,8	18,8	18,9	19,1
1,0	19,9	19,4	19,4	19,4	19,6
1,5	21,6	20,8	20,9	20,9	21,0
4,5	30,0	28,9	29,0	28,8	29,0



Graf N. 2 - Výsledky pro BD s roční měrnou potřebou tepla na vytápění 14,1 kWh/(m²a) dle TNI 73 0329 pro různé varianty dle kapitoly 6.2.2. Budova umístěná na předměstí.