

Mendelova univerzita v Brně

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav nauky o dřevě



**NUMERICKÁ TEPLTNÍ ANALÝZA ZALOŽENÍ
DŘEVOSTAVBY NAD TERÉNEM**

Diplomová práce

2015/2016

Natálie Presová

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci „Numerická teplotní analýza založení dřevostavby nad terénem“ zpracoval/a samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom/a, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle §60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně, dne:

Natálie Presová

Poděkování

Děkuji tímto vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Janu Tippnerovi Ph.D. za cenné rady a čas, který mi při zpracování této práce věnoval. Dále bych ráda poděkovala svým nejbližším za jejich skvělou a mnohdy vyčerpávající podporu při mém studiu.

Abstrakt

Autor: Natálie Presová

Název: Numerická teplotní analýza založení dřevostavby nad terénem

Tato diplomová práce se zabývá problematice založení dřevostavby nad terénem, tj. s existencí vzduchové mezery mezi terénem a konstrukcí podlahy. Zaměřuje se na využití numerických metod při popisu chování vzduchové mezery a jejího vlivu na průběh teplot v přiléhajících konstrukcích. Metodika pojednává o možnostech stanovení tepelné vodivosti vzduchu ve vzduchové mezeře, která je nutným vstupem pro modální analýzu v prostředí ANSYS. Dále byly konstruovány modely různé míry odvětrávání, tvaru vzduchové mezery a materiálové skladby podlahové konstrukce. Na těchto modelech byl sledován průběh teplot v podlahové konstrukci a vyhodnocena míra vlivu měněných parametrů vzduchové mezery.

Klíčová slova: založení na vzduchové mezeře, založení dřevostavby, modální analýza, ANSYS, metoda konečných prvků (MKP)

Abstract

Author: Natálie Presová

Title: Numerical thermal analysis of founding wooden structures above the ground level

This thesis deals with the issue of founding wooden structures above the ground level, i.e. with the existence of a crawl space between the ground and the floor structure. The thesis focuses on the utilisation of numerical methods for describing behaviour of the crawl space and its effects on temperature in adjacent structures. The methodology deals with the possibilities of determining thermal conductivity of air in the crawl space, which is a necessary input for a modal analysis in the ANSYS environment. Further, models with various levels of ventilation, crawl space shape, and material composition of the floor structure were constructed. These models served for monitoring temperature within the floor structure and for evaluating the level of influence of changed crawl space parameters.

Key words: crawl space, wooden structure founding, modal analysis, ANSYS, finite element method (FEM)

Obsah

1	ÚVOD	9
2	CÍL A ZAMĚŘENÍ PRÁCE	10
3	LITERÁRNÍ PŘEHLED	11
3.1.	ZAKLÁDÁNÍ STAVEB.....	11
3.1.1	<i>Zakládání v historii</i>	11
3.1.2	<i>Faktory ovlivňující typ založení</i>	11
3.1.3	<i>Druhy základů</i>	12
3.2.	DŘEVOSTAVBY	14
3.2.1	<i>Stavby z tyčových prvků</i>	14
	Rámové stavby.....	14
	Skeletové stavby	16
3.2.2	<i>Masivní dřevěné stavby</i>	17
3.2.3	<i>Typy založení dřevostaveb</i>	19
	Založení na pásech a základové desce	19
	Založení na základové desce	19
	Založení na pásech.....	21
	Založení na kamenném základě	22
	Založení na patkách	23
	Založení na pilotech.....	24
	Založení na zemních vrutech.....	24
	Založení na starých pneumatikách	25
3.2.4	<i>Specifika založení dřevostavby nad terénem</i>	26
3.2.5	<i>Rešerše výsledků aktuálních analýz</i>	27
4	METODIKA	32
4.1.	FYZIKÁLNÍ PODSTATA ANALÝZY	32
4.1.1	<i>Postup řešení úlohy</i>	33
	Model založení dřevostavby na vzduchové mezeře	33
	Okrajové podmínky a vstupní parametry	33
	Numerický model v prostředí ANSYS.....	35
	Pravidla pro vyhodnocení výsledků	36
4.2.	METODY STANOVENÍ SOUČiniteLE TEPELNÉ VODIVOSTI VZDUCHOVÉ MEZERY	37
4.3.	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI NEVĚTRANÉ VZDUCHOVÉ VRSTVY	43
	Výpočet dle ČSN EN ISO 6946 pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m.....	43
	Výpočet dle ČSN EN ISO 10077-2 pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	44
	Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m.....	44
	Shnutí výsledků součinitelů tepelné vodivosti nevětrané vzduchové vrstvy.....	46

4.4.	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI SLABĚ VĚTRANÉ VZDUCHOVÉ VRSTVY	47
	Výpočet dle ČSN EN ISO 6946 pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	47
	Výpočet dle ČSN EN ISO 10077-2 pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	48
	Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	48
	Shrnutí výsledků součinitelů tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové vrstvy	49
4.5.	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI SILNĚ VĚTRANÉ VZDUCHOVÉ VRSTVY	50
	Výpočet dle ČSN EN ISO 6946 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	50
	Výpočet dle ČSN EN ISO 10077-2 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	50
	Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	50
	Shrnutí výsledků součinitelů tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy	51
4.6.	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI PRO RŮZNÉ ROZMĚRY VZDUCHOVÉ MEZERY	52
	Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,6 m	52
	Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,9 m	53
4.7.	VÝPOČET TEPELNÉ VODIVOSTI PRO RŮZNÉ MÍRY ODVĚTRÁVÁNÍ VZDUCHOVÉ MEZERY	55
	Výpočet pro různé míry odvětrávání silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m	55
5	VÝSLEDKY	56
5.1.	NEVĚTRANÉ VZDUCHOVÉ VRSTVY	56
	5.1.1 Průběh teplot v nevětrané vzduchové vrstvě	56
	5.1.2 Průměrné teploty pro nevětrané vzduchové vrstvy	57
5.2.	SLABĚ VĚTRANÁ VZDUCHOVÁ VRSTVA	59
	5.2.1 Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové vrstvě	59
5.3.	PRŮMĚRNÉ TEPOTY PRO SLABĚ VĚTRANÉ VZDUCHOVÉ VRSTVY	60
	5.3.1 Průběh teplot v silně větrané vzduchové vrstvě	62
	5.3.2 Průměrné teploty pro silně větrané vzduchové vrstvy	62
5.4.	RŮZNÁ MATERIÁLOVÁ SKLADBA PODLAHOVÉ KONSTRUKCE PRO MODEL Y DLE ČSN EN ISO 13370	
	65	
	5.4.1 Průběh teplot pro různou materiálovou skladbu podlahové konstrukce	65
	5.4.2 Průměrné teploty pro různou materiálovou skladbu podlahové konstrukce	66
5.5.	VZDUCHOVÉ MEZERY RŮZNÝCH ROZMĚRŮ PRO MODEL Y DLE ČSN EN ISO 13370	68
	5.5.1 Průběh teplot ve vzduchových mezerách různých rozměrů	68
	5.5.2 Průměrné teploty pro různé rozměry vzduchové vrstvy	69
5.6.	RŮZNÉ INTENZITY ODVĚTRÁVÁNÍ PRO MODEL Y DLE ČSN EN ISO 13370	71
	5.6.1 Průběh teplot dle různých intenzit odvětrávání	71
	5.6.2 Průměrné teploty pro různou intenzitu odvětrávání vzduchové mezery	73
6	ZÁVĚR A DISKUZE	76
7	SUMMARY	80
8	LITERATURA	82

8.1.	SEZNAM KNIŽNÍCH DĚL	82
8.2.	POUŽITÉ NORMY	82
8.3.	ZNALOSTNÍ DATABÁZE	83
8.4.	INTERNETOVÉ ZDROJE	85
9	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	86
10	SEZNAM TABULEK	88
11	SEZNAM GRAFŮ.....	89

1 Úvod

System založení je součástí základní konstrukce každé stavby. Tvoří pomyslné kořeny stavby, které ji spojují se zemí, roznášejí její váhu a zajišťují stabilitu.

S rozvojem trhu staveb na bázi dřeva, který v našich podmínkách lze pozorovat v posledních desetiletích, se u realizací objevují nové alternativy ve způsobu založení staveb. Zejména díky nižší hmotnosti konstrukce dřevostaveb se rozvíjí způsoby založení těchto staveb, umožňující minimalizaci nebo dokonce eliminaci železobetonových pásů a základové desky.

Optimální volbou typu založení stavby lze nejen uspořit nemalé finanční prostředky ale také snížit ekologickou zátěž stavby, včetně přesunu zemin, které je se zakládáním běžně spojeno.

K dalším výhodám alternativního stylu založení stavby jistě patří i rychlost přípravy základové konstrukce či dokonce demontovatelnost a možnost znovupoužití.

Založení stavby na vzduchové mezeře však vyvolává i řadu nejasností či otázek: Jak tento typ založení ovlivňuje tepelnou bilanci stavby? Jaká je vhodná míra odvětrávání prostoru? Jaký je vliv použité tepelné izolace v podlahové konstrukci? Numerická analýza založení dřevostavby na vzduchové mezeře se pokusí nastínit, na jaké faktory a parametry se při hledání odpovědí soustředit.

2 Cíl a zaměření práce

Cílem této diplomové práce je zpracovat numerickou teplotní analýzu založení dřevostavby, která je založena nad terénem, tj. na vzduchové mezeře a odpovědět tak na otázku, zda různé parametry vzduchové mezery mohou mít signifikantní vliv na tepelnou bilanci domu či nikoli. Obecným postupem pro větrané vzduchové vrstvy v založení nad terénem je prakticky ignorace jejich možných pozitivních vlivů a strohé konstatování, že teploty v těchto větraných vzduchových vrstvách se rovnají teplotám exteriéru. Hlavní motivací této práce je tedy provést teplotní analýzu těchto vzduchových prostor pro různé parametry a varianty a vyhodnotit, zda je obecně přijímaný postup adekvátní či nikoli.

V první části textu budou jednotlivé druhy zakládání popsány z hlediska užitných a vybraných mechanických vlastností.

Další část bude věnována pojednání o dřevostavbách, typech zakládání těchto staveb a jejich výhodách i nevýhodách.

V další části budou navrženy a sestrojeny modely pro numerickou analýzu. Bude analyzováno, zda a jaký vliv má míra odvětrávání vzduchové mezery, velikost a rozměry kavity či různá materiálová skladba podlahové konstrukce.

Reprezentativní varianty modelů budou následně porovnávány z hlediska průběhu teplot v modelu a také průměrných, minimálních a maximálních teplot ve sledovaných úrovních podlahové konstrukce.

Výsledky pro jednotlivé modelové varianty budou shrnuty a porovnány v závěrečných kapitolách.

3 Literární přehled

3.1. Zakládání staveb

Návrh zakládání staveb je komplexní úkol a při řešení konstrukcí je třeba vzít do úvahy velké množství měřitelných veličin různé váhy (rozměry konstrukce, stavební materiály, strojní vybavení stavby, ekonomiku konstrukce, rychlost stavby, místní podmínky) a najít správné řešení, tj. řešení bezpečné, levné a rychlé (Bažant, 1973).

3.1.1 Zakládání v historii

Výzám, spojených ze zakládáním staveb, čelí lidstvo již od doby kamenné. V této etapě se lze setkat se zakládáním na kůlech, velmi hustě vedle sebe ložených. Komplexnější řešení problémů zakládání vyžadovaly stavby velkých rozměrů, které byly zakládány na skále, např. egyptské pyramidy. Novou možnost získání dodatečného prostoru přineslo pilotování, které se používalo při zakládání městských a pevnostních staveb (např. Benátky). Postupné využívání jiné než jen lidské síly umožnilo rozvoj možností zakládání. Byly vyvinuty stroje jako parní pulsometr a parní rypadlo, dále pak např. nové typy čerpadel, později elektrické a spalovací motory. K běžně používaných stavebním hmotám, jako je dřevo, kámen a cihla se připojuje železo. Velkého významu také nabývá aplikovaná chemie, přivádějící na trh nové stavební hmoty. Následně byl zaveden cement, umožňující výrobu betonu.

Ve druhé pol. 19. století se formuje zakládání staveb z empirické nauky na vědní disciplínu, založenou na znalosti chování zemin.

3.1.2 Faktory ovlivňující typ založení

Při hledání optimálního typu založení stavby je nutné vzít do úvahy různorodé faktory. Z. Bažant (Bažant 1973) mezi nejvýznamnější faktory řadí:

- a. Volba hloubky založení – hloubkou založení se rozumí hloubka základové spáry vztažená k nejnižšímu místu kolem základu. Minimální hloubku založení je obvykle určují zejména klimatické vlivy.

- b. Účel stavby – typ a detaily založení musí být postačující a bezpečné pro provádění zamýšlených činností, např. umístění těžkých strojů apod.
- c. Úroveň základové spáry sousedních objektů – obecně platí, že základy novostavby, přiléhající ke stávající zástavbě, smějí být nanejvýš v úrovni staré základové spáry. Pokud to nelze dodržet, je třeba stávající základy podchytit.
- d. Klimatické vlivy – mráz a vysychání půdy způsobují nestabilitu povrchových vrstev půdy. Při založení do menší než nezámrazné hloubky by byly základy trhány a bortilo by se zdivo nad nimi. Nezámrazná hloubka se odvozuje pro jednotlivé typy podloží a v závislosti na přítomnosti podzemní vody.
- e. Geologický profil – z pohledu únosnosti a sesedání lze navrhovat založení v různých alternativách. Mohou to být štíhlé hlubinné základy či masivnější prvky v nižší hloubce. Hledá se taková vrstva, na které je založení nejlevnější.
- f. Úroveň hladiny podzemní vody – pokud to nevyžaduje účel stavby, je vhodné se zakládání pod touto úrovní vyhnout. Výhodnější jsou v těchto případech základové konstrukce nízké, které i při zvýšeném objemu materiálu vykazují značné úspory za izolace.
- g. Jiné vlivy – specifika speciálních staveb, jako např. jezů, kde je třeba vzít do úvahy proudový tlak vody prosakující zeminou apod.

3.1.3 Druhy základů

Základy stavby nejen přenášejí její hmotnost do podloží, ale ji i chrání před pronikáním vlhkosti a radonu z podloží a dále také plní tepelně izolační funkci. Pronikají do spodních vrstev bodově nebo různými tvarovými elementy. Hloubku pronikání do půdy určuje únosnost a skladba vrstev a lokální teplotní podmínky. Základy lze, z hlediska hloubky základové spáry, rozdělit na plošné a hlubinné (Bažant 1973).

O plošném založení lze hovořit, pokud se základy stavby blíží konečnému povrchu okolní půdy. Existuje několik typů plošných základů

- Prosté – lze použít pod masivními konstrukcemi, kde se plně využije šíře základové spáry a základ se uloží na celou průřezovou plochu.

- Rozšířené – na rozšířený základ se umísťuje užší nadložní konstrukce. Často užívané u nižších pozemních a mostních pilířů.
- Základové patky – používají se u skeletovými stavbami, kdy kotvení do půdy probíhá sloupově. Plocha základové patky je několikanásobně větší, než průřezová plocha sloupu.
- Základové pásy – se navrhují tam, kde by základové patky byly enormně velké. Zatížení je pak výhodnější přenášet pásem či lépe ještě zkříženými pásy v kolmých směrech, tvořícími základový rošt.
- Základové desky – jsou vhodné v případech málo unosných půd nebo pod velmi zatíženými stavbami. Zatížení je roznášeno rovnoměrně na celou půdorysnou plochu stavby.
- Krabicové – jsou tvořeny kompaktním celkem sestávajícím ze základové desky, stropu a zdí. Tento betonový monolitický celek tvoří jedno i více pater suterénu.
- Montované – lze použít pod méně zatížené konstrukce kvůli snížené podélné tuhosti.
- Plovoucí – jsou konstrukcí podobné krabicovým základům, jež se ale budují v hlubokém výkopu. Pokud základová spára suterénu leží pod hladinou spodní vody, stavbu dále odlehčuje vztlak.

Hlubinné založení – používají se pokud je hloubka založení značná a vyšší půdní vrstvy nejsou pro plošné založení vhodné. Dle (Bažant, 1966) lze je rozdělit na:

- Piloty – jedná se o základy tvaru sloupů, které se do půdy zabudovávají pomocí mechanizace.
- Šachtové pilíře – jsou piloty větších rozměrů.
- Studně – se betonují nad terénem a do země se zabudovávají následně do půdy podhrabáváním.
- Kesony – jsou dutá tělesa, nahoře uzavřená stropem, ze kterých se vytlačuje voda pomocí stlačeného vzduchu.

3.2. Dřevostavby

Dřevo patří k nejstarším stavebním materiálům. Je to všestranný materiál s relativně snadnou opracovatelností, dobrou pevností a nízkou tepelnou vodivostí. Jedná se o přírodní a obnovitelný materiál, který zušlechťuje a pomáhá udržovat životní prostředí.

Vaverka a kol. (Vaverka a kol. 2008) uvádějí, že z historických nálezů a dochovaných písemných zpráv lze usuzovat, že všechny dnes používané způsoby stavění ze dřeva se vyvinuly ze staveb srubových a hrázděných. Podle těchto dvou základních způsobů stavění také vznikly dvě samostatné skupiny staveb ze dřeva:

- Stavby z tyčových prvků, vyvinuté z hrázděné konstrukce
- Stavby masivní, jejichž základem byla stavba srubová

3.2.1 Stavby z tyčových prvků

Tyčovými prvky lze rozumět dřevěné přířezy, většinou obdélníkového tvaru, které mohou být jak z rostlého tak i z lepeného dřeva. Tyto tyčové prvky pak spolu tvoří nosnou konstrukci stavby. Ze staveb z tyčových prvků jsou současně převážně používané konstrukční systémy rámové a skeletové (Kolb 2011).

Rámové stavby

Nosný systém rámových staveb je tvořen z přířezů jednotného profilu na výšku jednoho podlaží a ztužení celé stavby je provedeno pomocí výztužného opláštění. Stejný rám je ve vodorovné nebo šikmé poloze vytvořen pro konstrukci střechy (Vaverka a kol. 2008).

Rámovou stavbu lze provádět přímo na místě stavby nebo sestavit jednotlivé segmenty stěn, stropu či střechy v hale a na místě stavby pak provádět z těchto prefabrikovaných dílů montáž celku.

Prefabrikace umožňuje snížit rizika spojená s pronikáním srážkové vody do dřevěných prvků v konstrukci, jelikož docílení fáze zastřešení objektu je velmi rychlé. Vyžaduje však techniku pro dovoz a manipulaci s rozměrnými dílci.

Celková skladba jednotlivých vrstev v rámové dřevostavbě nezávisí na způsobu provádění konstrukce, ale je dána především požadavky architektonickými, statickým výpočtem, požadovanou požární odolností a požadavky stavební fyziky. Lišit se budou tyto konstrukce pouze v některých konstrukčních detailech, jako je například rohový spoj obvodových stěn či způsob kotvení obvodových stěn k základům (Vaverka a kol. 2008).



Obr. 1: Rámová nosná konstrukce (vlevo) (zdroj: www.woodsystm.cz)

Obr. 2: Montovaná dřevostavba, prefabrikace v hale (vpravo) (www.ceskestavby.cz)

Skeletové stavby

Skeletové stavby jsou tvořeny uspořádaným systémem vodorovných a svislých nosníků, uspořádaných do rastru. Zvolený rastrový modul pak určuje přesné uspořádání nosné konstrukce z pohledu půdorysu stavby i pohledové výšky pater.



Obr. 3: Skeletová stavba (www.venkovskydum.cz)

Použité tyčové prvky jsou oproti rámové stavbě výrazně mohutnější, jelikož jsou kladeny ve větších vzdálenostech. Umožňují tak velkou prostorovou variabilitu v interiéru. Ke ztužení celé konstrukce je třeba použití několika plných stěn nebo ocelových prvků v předem určených pozicích. Plášť budovy je na nosné konstrukci nezávislý a je ho možné pak umístit na vnitřní, mezilehlou či vnější stranu konstrukce.

Stavby z tyčových prvků skýtají, v porovnání s ostatními, mnohé výhody:

- dřevo jako nosná konstrukce, obvodový plášť tepelně izolován
- rychlá výstava
- možnost prefabrikace v hale

- dobré tepelně izolační vlastnosti při relativně nízké tloušťce zdi
- stavba má nízkou hmotnost, což se příznivě projeví na dimenzování základů
- velká variabilita staveb z pohledu architektonického

Nevýhodou může být nutnost ošetření detailů (pronikání vlhkosti do konstrukce), které by měly na stavbu degradační účinek.

3.2.2 Masivní dřevěné stavby

Základem tohoto typu stavění byly stavby srubové nebo roubené, které zůstaly s určitými konstrukčními úpravami zachovány dodnes. Realizace má svá opodstatnění, i když vzhledem k jejich svéráznému vzhledu je třeba dbát na citlivé zasazení do okolního prostředí (Vaverka a kol. 2008).

Srubové stavby mohou být sestaveny z prvků libovolného profilu (kruhový, obdélníkový...). Sestavují se na pero a drážku, přičemž vodorovné spáry se utěšňují speciálním tmelem či páskami. Kmeny se opracovávají strojově nebo ručně. Strojové opracování obvykle omezuje maximální průměr kmene, kdežto ruční opracování umožňuje kopírovat přirozený tvar kmene bez omezení.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat utěsnění spár, které má výrazný vliv na tepelně izolační vlastnosti. Samotná dřevěná konstrukce disponuje dobrými tepelně izolačními hodnotami.

V současnosti se využívá systém přídatné tepelné izolace i u masivních dřevěných staveb. Tyto systémy obvykle využívají masivní dřevěné panely (vrstvy dřeva kladené na sebe v daných směrech), tvořící nosnou konstrukci stavby.



Obr. 4: Masivní dřevostavba z panelů (ww.nazeleno.cz)

Na vnitřní straně se může masivní dřevěný panel ponechat přiznaný a tvoří následně finální design stěn, nebo je možné jej obložit či dále upravovat. Z vnější strany se provádí instalace tepelné izolace a konečná povrchová úprava, která může být provedena jako barevná omítka či obklad.

Stavby z masivního dřeva mají sice své jedinečné kouzlo, je třeba však vzít do úvahy významné výhody i nevýhody těchto stavebních systémů.

Výhody masivních staveb:

- maximální využití obnovitelného přírodního zdroje
- podpora zdravého klimatu uvnitř stavby
- dobré tepelně izolační vlastnosti
- dřevěné panely vykazují vysokou pevnost při nízké tloušťce zdi

Nevýhody:

- vysoká spotřeba dřeva v porovnání s tyčovými dřevěnými konstrukcemi
- u tradičních dřevostaveb nutno ošetřit sesedání dřeva
- vyšší hmotnost tradičních staveb znamená mohutnější základy

3.2.3 Typy založení dřevostaveb

Nejčastějším typem dřevostavby v našich podmínkách je dřevostavba s rámovou konstrukcí. Je to relativně lehká stavba, kde jsou volné prostory stěn mezi vnějším a vnitřním opláštěním vyplněny tepelnou izolací. Pro založení tohoto typu dřevostavby lze vybírat z rozmanitého množství druhů základových konstrukcí při současném důrazu na jejich jednotlivá specifika.

Založení na pásech a základové desce

V naší lokalitě je nejrozšířenější způsob založení dřevostavby obdobný jako těžké stavby a to s použitím základových pásů se základovou deskou. Základové pásy jsou v tomto případě zapuštěny do terénu, obvykle do nezamrzne hloubky, částečně zároveň vyčnívající nad něj. Pásy jsou armovány a vylity betonem. Po zarovnání a zhutnění vnitřního prostoru mezi pásy je odlita betonována deska, vyztužená železnými sítěmi.

Výhody

- lze provádět svépomocí
- snadná možnost aplikace tepelné izolace na základovou konstrukci

Nevýhody

- velká spotřeba betonu
- značné nároky na terénní úpravy a přesun zemin

Založení na základové desce

Tento typ založení eliminuje přítomnost základových pásů, jedná se tedy o kompaktní betonovou základovou desku, obvykle vyztuženou železnými sítěmi. Tato deska se buduje přímo na tepelném izolantu, který se klade na zhutněnou a odvodněnou drenážní vrstvu. Izolační materiál může být sypký (typický zástupce jsou kuličky pěnoskla) nebo formátovaný (např. polystyren).

Pěnosklo je granulátem, vyrobeným z recyklovaného skla, které je při výrobě napěněno. Je nenasákavé, nenamrzavé a vysoce únosné. Drť se sype buď do bedněné jámy nebo do výkopu na připravenou geotextilii.

V případě jednoduchého výkopu je třeba zvětšit ložnou plocha o cca 1 metr po celém obvodu. Pěnosklo se zhutní na výšku kolem 50 cm a následně se na další vrstvu geotextilie odlijí železobetonová deska tloušťky 0,2 – 0,3 m. Prostupy instalací musí být připraveny na daných pozicích před násypem pěnoskla a drenážní vrstvy.

Při aplikaci deskového tepelně izolačního materiálu, obvykle extrudovaného polystyrenu, je postup obdobný. Zhutněná drenážní vrstva ovšem vyžaduje dosažení roviny, jelikož deskový materiál se přizpůsobí nerovnostem jen ve velmi omezené míře.



Obr. 5: Založení domu na pěnoskle v bedněné jámě (vlevo) a na deskové izolaci z extrudovaného polystyrenu (vpravo) (www.tzb-info.cz)

Výhody založení na desce

- nepřerušená tepelná izolace od základů po obvodovou stěnu
- u pěnoskla jde o recyklovaný materiál

Nevýhody založení na desce

- vhodné jen pro propustné podloží (izolace by se neměla trvale stýkat s vodou)
- u vysoké hladiny spodní vody existuje riziko hromadění povrchové vody v jámě bez možnosti odtečení
- je třeba velmi účinný drenážní systém

- železobetonová deska je tloušťky 0,20 – 0,30 m, což se odráží ve vyšší spotřebě betonu
- vysoké nároky na terénní úpravy a přesun zemin

Založení na pásech

Pro založení stavby se do výkopů vylívá část základů do úrovně terénu, na tuto část se následně vystaví pásy, obvykle z tvarovek ze ztraceného bednění. Výška je určena tím, zda stavebník požaduje prostor pod stavbou průlezný či nikoli.

Běžně se tvarovky kladou v 1 – 4 vrstvách. Spodní rošt stavby se klade na modřínový hranol, ležící na hydroizolační vrstvě.

V pásech mohou a nemusí být větrací otvory. Vedení instalací je nutné v tomto prostoru následně tepelně izolovat, aby se zamezilo tepelným mostům v místech prostupu do podlahových vrstev.



Obr. 6: Založení dřevostavby na pásech, prostor průlezný a částečně větráný (www.drevoastavby.cz)

Výhody založení na pásech

- úspora materiálu za železobetonovou betonovou desku a hydroizolaci
- možnost přístupu k vedení instalací i k spodním podlahovým vrstvám
- méně náchylné na nepřesnosti ve srovnáním s bodovým založením
- uzavřená nebo mírně odvětraná vzduchová mezera může přispívat k tepelné izolaci domu

Nevýhody založení na pásech

- stále značné nároky na přesun zemin a zemní práce
- prostupy instalací nutno ve vzduchové mezeře pečlivě tepelně izolovat

Založení na kamenném základě

V minulosti hojně používaný způsob zakládání staveb, který využíval převážně lokální zdroje. Kameny mohou být pojeny např. betonovou směsí nebo vápennou maltou nebo mohou být do tvaru kladeny na sucho, s vyplněnými volnými prostory šterkovo-hliněnou směsí.



Výhody

- podporuje využití lokálních zdrojů
- nízká až žádná ekologická zátěž při likvidaci
- lze za jistých okolností provádět svépomocí

Nevýhody

- vyžaduje manuální zručnost či spolupráci odborníka
- obtížné dosažení rovin nutných pro usazení stavby
- prostupy instalací v mezeře je nutné tepelně izolovat

Obr. 7: Budování kamenných základů pro stavbu (<https://archistrata.signalny.cz>)

Založení na patkách

Patky jsou vybetonované sloupky, které jsou větší částí zapuštěné do terénu a částečně vyčnívají i nad něj. Vytváří tak větranou mezeru pod domem. Počet i rozměr patek je určen velikostí a hmotností domu, obvykle se kladou v rastru po 2 – 3 metrech. Podklad domu pak tvoří na patkách ložený masivní dřevěný věnec.

Výhody

- úspora betonu
- lze provádět svépomocí i strojově vrtat
- nejsou třeba rozsáhlé terénní úpravy

Nevýhody

- prostupy instalací mezi terénem a domem je nutné velmi precizně tepelně izolovat
- vzduchová mezera má zhruba teplotu okolního vzduchu, nepřispívá k tepelné izolaci domu



Obr. 8: Založení stavby na betonových patkách (www.tbf-drevostavby.cz)

Založení na pilotech

Je obdoba založení na patkách, piloty jsou převážně používány pro zakládání do větších hloubek, pokud únosnost výše ložených půd není dosatečná. Piloty jsou štíhlé prvky, který jsou do půdy vetknuty injektáží. Vyztuženy mohou být ocelovými trubkami nebo armovány tzv. armokoši. Použití ocelových trubek je jednodušší a injektáž je prováděna přímo přes ně. Armokoše jsou umístěny v plastových trubkách a výplň je tvořena vzestupně.

Výhody

- použití i pro málo únosné půdy
- výhodné při omezených
- prostorách stavby
- snížení nároků na přesun zemin

Nevýhody

- třeba specializované mechanizace
- prostupy instalací je třeba tepelně izolovat



Obr. 9: Stavba založená na mikropilotech (stavba.tzb-info.cz)

Založení na zemních vrutech

Jedná se o bodové založení, kdy jsou masivní ocelové vruty zavrtávány do země dle předem stanoveného rastru, určeného statickým výpočtem. Vruty menších rozměrů, pro drobné dřevostavby, lze zavrtávat ručně, vruty délky nad 1 m již vyžadují vhodnou mechanizaci.

Výhody

- demontovatelné řešení bez ekologické zátěže pozemku
- možnost opakovaného použití
- rychlá aplikace (založení i během jediného dne)
- odpadá nutnost zásahu terénních úprav, terén lze ponechat v původním tvaru

Nevýhody

- aplikace svépomocí se u větších dřevostaveb nedoporučuje
- větraná mezera má zhruba teplotu okolního vzduchu
- prostupy instalací je třeba velmi dobře tepelně izolovat



Obr. 10: Použití zemních vrutů pro založení dřevostavby (www.zemnivruty.cz)

Založení na starých pneumatikách

Neobvyklou variantou založení stavby je založení s pomocí starých pneumatik. Jejich tvar a pevnost je využívána pro tvorbu jistého typu patek. Pneumatiky jsou kladeny na šterkové lože a jejich vnitřní prostor je vyplněn hutněnou směsí šterku, písku a kamení. Pneumatiky lze použít buď jako patky, kdy se kladou v daném rastru v 1 – 3 úrovních, nebo jako souvislé základové pásy.

Výhody

- levné řešení
- upotřebění odpadu
- lze provádět svépomocí



Obr. 11: Využití starých pneumatik pro založení dřevostavby (www.middleearthhome.com)

Nevýhody

- nutné důkladné a značné zhutnění výplňového materiálu
- pneumatiky mohou obsahovat zdraví škodlivé chemikálie
- při použití pneumatik pako patek nepřispívá větraná mezera k lepším tepelně izolačním hodnotám stavby
- vedení instalací v mezeře vyžaduje kvalitně provedenou tepelnou izolaci

3.2.4 Specifika založení dřevostavby nad terénem

Dřevostavbu, zejména pak rámovou konstrukci, lze považovat za stavbu lehkou. To předurčuje i variabilitu možností založení. Od tradičních založení, využívající železobetonové pásy a desku, se i v našich končinách prosazují jednodušší a z mnohých hledisek vhodnější řešení. Trendem je nepředimenzovávat základové konstrukce a tím šetřit životní prostředí i zlepšovat ekonomiku stavby.

Založení dřevostavby nad terénem, tedy existence vzduchové mezery mezi terénem a spodní vrstvou podlahy, není převratným řešením. V USA a jiných zemích, kde mají dřevostavby dlouhou tradici, je zcela běžným a preferovaným řešením.

Existuje mnoho mýtů a předpokladů, které si tento typ založení s sebou nese. Problémy s hlodavci, v USA dále i s termity, otázky větrání či uzavření prostoru kvůli plísním – jsou témata, která se v těchto zemích běžně řeší zejména na uživatelské úrovni.

Samotná existence vzduchové mezery skýtá však i otázky fyzikální – jak tato vzduchová mezera ovlivní tepelnou bilanci domu? Má vůbec vliv? Pokud ano, je pozitivní či negativní?

U odpovědí na tyto otázky lze postupovat intuitivně, uspokojivé odpovědi nejsou však stále k dispozici.

3.2.5 Rešerše výsledků aktuálních analýz

Specifika založení dřevostavby nad terénem diskutují mnozí autoři z různých úhlů pohledu. Werther a Winter (Wether N., Winter, S.) se zabývali podmínkami mikroklimatu ve vzduchové mezeře pod tepelně zaizolovanou dřevěnou podlahou dřevostavby. Výsledkem měření in-situ a laboratorních testů jsou návrhy vhodných kombinací, které zajišťují trvanlivé řešení dřevěných konstrukcí nad vzduchovou mezerou.

Langley (Langley R.F.) prezenoval patent v oblasti zajištění odvodu vodních par z prostoru pod domem v kombinaci s trvanlivou formou zateplení základových pásů z vnitřní strany.

Sekino (Sekino, N.) prováděl experimentální měření v oblasti teploty, vlhkosti a průběhu teplot v podlahách a vzduchových prostorech pod nimi. Jejich měření poukazuje na výsledky, kdy teplota v prostorech pod podlahou byla výrazně vyšší než exteriérová teplota v chladných měsících, za to však téměř stejná, jako v období bez vytápění. Při nevětrání vzduchového prostoru pod podlahou se v zimním období tepota nepatrně zvýšila, nikoli však vlhkost. Na základě modelů tepelných toků v podlaze a výsledků měření byly upraveny některé parametry pro výpočet koeficientů přestupu tepla v konstrukcích s malou tepelnou kapacitou.

Matilainen a Kurnitski (Matilainen M., Kurnitski J.) se soustředili ve své simulaci na efekt tepelné kapacity a odporu a jak umístění tepelné izolace ovlivňuje vlhkostní poměry ve větraném prostoru pod podlahou domu. Výsledky poukazují na to, že v případě použití menší tloušťky izolačního materiálu ve směru od země k podlaze, je třeba zvýšit intenzitu výměny vzduchu, pro zajištění požadované hodnoty relativní vlhkosti, a to až na dvojnásobek, než je tomu v případě použití větší tloušťky izolace.

Analýzou, zda vytápění vzduchové mezery pod domem je řešením pro eliminaci vlhkosti podporující rozvoj plísní při dodržení podmínky rozumných nákladů, se zabývali Matilainen a Kurnitski (Matilainen M., Kurnitski J. [2]). Bylo zjištěno, že jisté druhy izolačních materiálů v silné vrstvě postačují pro prevenci před růstem plísní i bez vytápění. Alternativou je také nahrazení tepelné izolace vytápěním. Spotřeba energie rostla s klesajícími hodnotami relativní vzdušné vlhkosti.

Metodami termoregulace částí domu pomocí vzduchového prostoru pod domem se zabýval Malapert (Malapert, P.). Venkovní vzduch je nejprve přiváděn do prostoru pod domem, kde je přirozeně přehřán nebo ochlazen dle ročního období a následně přiveden do dané části domu.

Duineveld (Duineveld M.L.J.) prezentoval patent v oblasti zateplení vzduchového prostoru pod domem, kdy tepelná izolace leží na hydroizolační vrstvě na spodní straně prostoru. Jako tepelnou izolaci je možné použít kamenné či skelné vlákno nebo produkty na bázi polystyrenu. Vlhkost se kondenzuje u hydroizolační vrstvy, která ji umožňuje jemnými póry propouštět do půdy.

Z pohledu možnosti přenosu plísní ze vzduchové mezery pod domem do obydleného prostoru prováděla Lynn (Lynn M. M.) měření ve 238 domech. Bylo empiricky potvrzeno, že v necelé pětině sledovaných domů existuje prostředí ve vzduchové mezeře podporující vznik plísní a také dochází netěsnostmi k přenosu spór do interiéru. Pro zamezení růstu plísní a kontroly vlhkostních charakteristik prostředí navrhuje Carpenter (Carpenter P. W.) zavedení řízeného větrání prostoru pod konstrukcí. Při poklesu relativní vlhkosti vzduchu v exteriéru se systém spustí a snižuje tak vlhkost ve vzduchové mezeře.

Použití dvoucestného ventilačního systému s elektronickou regulací navrhuje i Reese (Reese T. A.) a to pro zajištění požadovaných parametrů teploty a relativní vlhkosti vzduchu prostředí vzduchové mezery pod konstrukcí. Je tak regulována i vlhkost obsažená v základových pasech, tvořící vzduchovou mezeru.

Analýzou kavity, použitelnou pro jakýkoli vzduchový a prostorově vymezený útvar, se zabýval Aounallah (Aounallah M.), kdy sestavil numerický model pro optimalizaci tvaru kavity, blížíci se čtverci, v přirozeném konvekčním prostředí. Zkoumání bylo provedeno pro různé úhly náklonu a různá Rayleighova čísla. Numerické modely ukázaly, že dochází k výraznému snížení přenosu tepla ve srovnání se čtvercovou či zvlněnou kavitou. Optimalizace se ukázala užitečnou pro vysoká Rayleighova čísla.

Za účelem prozkoumat efekty termální radiace na teplotní charakteristiky a proudění v uzavřené kavitě vytvořil Jamalabadi (Jamalabadi, A.) numerický model, kdy spodní strana prostoru má konstantní teplotu a vrchní strana se chová adiabaticky. Uvnitř kavity je několik zdrojů tepla. Model pracuje s mnohými parametry, jako: počet zdrojů tepla, tepelná radiace při maximální a minimální teplotě, maximální rychlost proudění atd. Výsledky ukázaly, že tepelná radiace má významný efekt na termální charakteristiky systému při nízkých teplotách vytápění.

Modelem přirozeného proudění ve větrané mezeře se zabýval Lal (Lal, A.). Základem modelu je symetricky větraná kavita, vrchní část má konstantní teplotu a je považována za teplotní zdroj kavity, postranní stěny jsou považovány za adiabatické. Nasávání, odsávání a rychlost proudění jsou implementovány ve zjednodušené formě. Model predikuje míru proudění v kavitě při obměnách lokálních Nusseltových čísel vrchní stěny.

Zhan (N. Y.) se soustředil na přirozenou konvekci a přenos tepla v prostoru vymezeném pevnými stěnami. Modelová situace zahrnuje v přirozené konvekci jak přenos tepla, tak i radiaci. Výsledky prezentovaly, že proudění i přenos tepla jsou ovlivněny radiací. Radiace je dominantním faktorem. Při zvýšení tepelné vodivosti stěny se proudění i přenos tepla výrazně mění. Pokud se hodnota tepelné vodivosti stěny zvýší nad kritickou úroveň, rostoucí trend proudění i přenosu tepla se vytrácí. Zvýšení tloušťky zdi se na hodnotu zmíněných parametrů projevuje jen nepatrně. Při značné tloušťce zdi je proudění vzduchu i přenos tepla pomalý.

Myšlenku interakce povrchové radiace s turbulentní přirozenou konvekcí transparentního média v obdélníkové obálce zpracoval do mumerického modelu Welusamy (Welusamy, K.). Vertikální stěny jsou modelovány jako isothermické a v různých teplotách. Adiabatický strop i spodní strana jsou modelovány jen pro jejich krajní hodnoty – zanedbatelná nebo perfektní konduktce. Díky nesouměrným vlivům radiace se více zvyšovala konvekční Nusseltova čísla pro studenou stěnu než pro teplou. Ve štíhlých komorách tato čísla se projevovala ve třech různých režimech: režim pomalého nárustu, akcelerovaný růst a neměnný režim. Pro perfektně vodivé horizontální stěny je nárust Nusseltových čísel podobné povahy jako v případě spojení s radiací.

Teplotní transfer přirozenou konvekcí, kondukcí a radiací v nakloněném, stěnami omezeném prostoru, ohraničeném na jedné straně stěnou s konstantní teplotou a na straně druhé aktivní stěnou s neustále se měnící teplotou, zkoumal Nouanegue (Nouaneue, N. F.). Výsledky, týkající se teplotní proměnlivosti Nusseltových čísel, byly prezentovány jako funkce Rayleightových čísel a zvolených bezrozměrných parametrů, také pro oblast proudění a teplot. Bylo potvrzeno, že existuje signifikantní interakce napříč všemi třemi módy přenosu tepla. Vliv povrchové radiace na přirozenou konvekci byl zanedbatelný a změny byly zaznamenány také u proudění a průběhu teplot i u hodnot přestupu tepla přes stěny.

Numerický model přirozené konvekce a povrchové radiace ve čtvercové vzduchové kavitě s odděleným systémem vytápění a chlazení ve stěnách sestavil Ayachi (Ayachi, El R.). Zahrnuje dva modely vytápění: u VB modelu je vytápěna levá vertikální stěna a spodní strana, u modelu VT je vytápěna s levou vertikální stěnou horní stěna. Přenos tepla přes kavitu rostl zejména s emisivitou aktivní stěny, efekt emisivity neaktivní stěny byl nepodstatný. Bylo demonstrováno, že VB mód působí tak, že cirkulace vzduchu je zintenzivňována, zatímco VT model vedl ke zpomalení pohybu vzduchu a tudíž ke slabšímu konvekčnímu přenosu tepla.

Kombinaci tepelného přenosu přirozenou konvekcí, kondukcí a povrchovou radiací implementoval do numerického modelu Wang (Wang, Z.). Proměnlivé proudění a přenos tepla vystavený periodickému kolísání nebo chaotickému chování díky formaci tepelných sloupců na spodní stěně. Pokud formování těchto oblastí je periodické, oscilace proudění je také periodická. Na druhou stranu je možné pozorovat chaotické chování proudění, pokud produkce tepelných sloupců je také chaotická.

Sdruženou přirozenou konvekci a kondukcí v otevřené porézní kavitě s omezenou tloušťkou zdi při široké škále hraničních podmínek se zabýval Salehl (Salehl, H.). Hlavním parametry jsou Rayleightova čísla, poréznost média, poměr vodivosti stěny a porézního média a poměr tloušťky stěny k její šířce. Při vytápění ze shora se plyn ve spod kavitě jevil jako stagnující při relativně nízké až mírné vodivosti. Také se ukázalo, že snižující se tloušťka stěny anebo zvyšující se pórovitost média zvyšuje cirkulaci i přenos tepla pro různorodé poměry vodivosti a pro několik tepelných konfigurací.

Dynamický model tepelného toku neizolované nebo částečně izolované kavitě ve stěně při kondukcí skrz rámy, konvekci a radiaci představil Ridouane (Ridouane, H.). Parametry zahrnují venkovní teplotu, emisivitu povrchu kavitě, poměr stran kavitě a výšku izolace. Výsledky izolace by měly pomoci pro navrhování staveb, úsporných na energii.

Experiment v oblasti odvětraných fasád provedl Sanchez (Sanchez, M.). Zkoumal tepelnou dynamiku a související proudění v tomto prostoru. Pro pokusy použili skladbu stěny o tloušťce 300 mm a kavitě 40 mm a pozoroval chování vzduchu v kavitě samotné. Výsledky ukázaly, že v kavitě vzniká vzrůstající proudění v odpovídajícím vzoru bez ohledu na dopad solární radiace na fasádu.

4 Metodika

4.1. Fyzikální podstata analýzy

Přenos tepla mezi látkami je komplexní děj. Přenos tepla lze teoreticky uskutečňovat ve třech formách – vedením (kondukcí), prouděním (konvekcí) a sáláním (radiací).

Při vedení tepla částice látky v oblasti s vyšší teplotou předávají část své střední energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v místech s nižší teplotou, tj. majícím nižší střední energii. Při tomto procesu se však částice nepřemísťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh. S šířením tepla prostřednictvím vedení se nejčastěji lze setkat v tělesech z pevných látek, jejichž různé části mají rozdílné teploty. Teplo se může šířit vedením také v kapalinách a plynech. Zde se však především uplatňuje přenos tepla prouděním (Volf, Jarešová, Ouhrabka).

Obecně je možno říci, že šíření tepla prouděním je téměř vždy spojeno se šířením tepla vedením. Přenos tepla sáláním spočívá ve vysílání záření a jeho následném pohlcování, jež vede ke zvýšení vnitřní energie v látce, která záření pohlcuje. Přenos tepla v reálných situacích obvykle zahrnuje kombinací dvou nebo i všech tří uvedených způsobů.

Z časového hlediska lze vedení tepla rozdělit také na:

- ustálené (stacionární) vedení tepla, při kterém je teplotní rozdíl mezi jednotlivými částmi tělesa stálý, tj. nezávisí na čase
- neustálené (nestacionární) vedení tepla, při kterém dochází k postupnému vyrovnávání teplotních rozdílů mezi jednotlivými částmi tělesa

V ustáleném teplotním stavu a při jednorozměrném šíření tepla lze přenos tepla řešit pomocí prvního Fourierova zákona:

$$\vec{q} = -\lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} = -\lambda \cdot \text{grad} \theta$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]

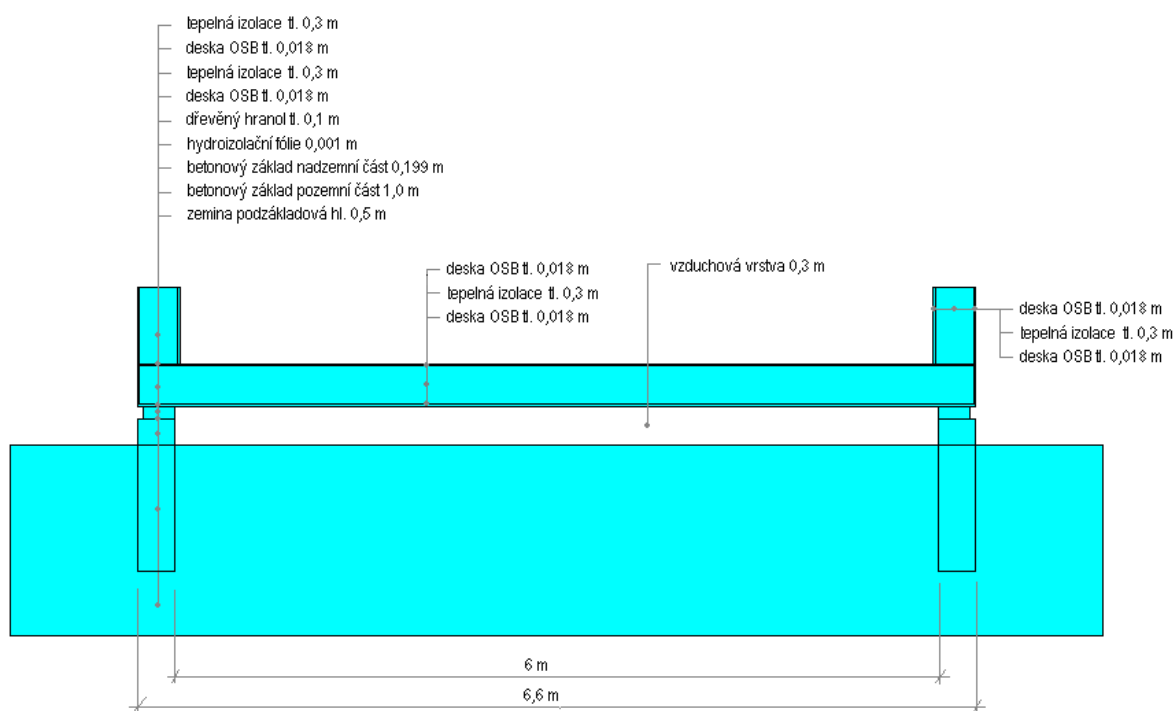
grad θ je teplotní gradient [K/m]

\vec{q} je měrný tepelný tok [W/m²]

4.1.1 Postup řešení úlohy

Model založení dřevostavby na vzduchové mezeře

Pro analýzu je sestaven zjednodušený model spodní stavby, který umožní sledovat vlivy okolního prostředí i jednotlivých parametrů modelu.



Obr. 12: Schema modelu pro řešení úlohy

Okrajové podmínky a vstupní parametry

Pro potřeby výpočtů tepelných ztrát se obecně doporučuje použití teploty exteriéru v zimním období rovnu $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Teplota interiéru se předpokládá $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. V obou případech uvažujeme převažující způsob přenosu tepla konvekcí.

Při přestupu tepla mezi tekutinou (plynem) a pevnou látkou klade toto rozhraní odpor, který je vyjádřen pomocí součinitele přestupu tepla. Tento součinitel přestupu závisí na rychlosti proudění vzduchu podél stěny, hrubosti povrchu a jeho emisivitě. Jelikož většina těchto hodnot není přesně známá, norma ČSN 73 0540-3 nabízí statisticky obvyklé hodnoty. Pro tepelný tok směrem dolů je součinitel přestupu tepla pro interiér 6 [W/(m².K)] a pro exteriér 25 [W/(m².K)].

Ze strany od zeminy model předpokládá působení stálé zemské teploty.

Teplota zeminy je odvozena z ČSN 06 0210. Při -15 °C se pro svislé stěny v hloubce 1 – 3 m pohybuje od 0 do 3 °C. Pro hloubku 1,5 m je teplota zvolena ve výši 2°C.

Pro analýzu jsou dále nezbytným vstupním údajem hodnoty součinitelů tepelné vodivosti materiálů, souvisejících se spodní stavbou:

Materiál	Součinitel tepelné vodivosti [W/(m.K)]
Termo konopí	0,04
PUR	0,03
Vakuovaná izolace	0,02
OSB deska	0,13
Beton	1,3
Písky a štěrky	2
Hydroizolace	3
Dřevo	0,18

Tab. 1: Použité hodnoty součinitelů tepelné vodivosti (zdroj: Vaverka a kol. 2008, www.kingspaninsulation.cz)

Hodnotu součinitele tepelné vodivosti vzduchu ve vzduchové mezeře je nutné stanovit výpočtem. Existuje mnoho faktorů, které tuto hodnotu ovlivňují: teplota vzduchu, jeho vlhkost, rychlost proudění, míra odvětrávání, poloha vzduchové vrstvy vzhledem k ostatním objektům apod. Pro potřeby analýzy této diplomové práce bude hodnota součinitele tepelné vodivosti vzduchové vrstvy počítána dle doporučených normovaných postupů uvedených v ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10077-2 a ČSN EN ISO 13370.

Numerický model v prostředí ANSYS

Pro vytvoření modelu je v prostředí programu ANSYS použit skriptovací jazyk APDL (Ansys Parametric Design Language). Model je tvořen z několika dvourozměrných objektů, které jsou následně vzájemně spojeny.

Pro každý objekt je třeba vložit potřebné parametry, v našem případě součinitele tepelné vodivosti jednotlivých prvků.

Je také třeba zvolit vhodný typ elementu, který je vždy charakterizován specifickým tvarem i fyzikálními vlastnostmi. Pro 2D analýzu bude v tomto případě vyhovovat element PLANE 55, obdélníkového tvaru s možností 2D tepelné analýzy. Element má 4 základní uzly ve vrcholech a jeden stupeň volnosti, teplotu, na každém uzlu.

Model je poté síťován dle zadané detailnosti a body této sítě se pak stávají základem pro výpočet hodnot.

Po nastavení typu analýzy na stacionární teplotní analýzu lze přistoupit k definici okrajových podmínek. Na vybrané linie jsou aplikovány teploty či parametry konvekce (součinitel přestupu tepla a teplota).

Následně je možné spustit řešitele. Pro dosažení řešení úlohy je aplikována metoda konečných prvků. Tato metoda rozdělí modelované útvary na tvarově předdefinované, tzv. konečné prvky a pro tyto sestaví soustavu rovnic. Při velkém počtu rovnic je vhodné pak proces automatizovat a využít výpočetního programu.

Zobrazení výsledků se realizuje v postprocesoru. Je možné zobrazit jak graf celkového průběhu teplot v modelu, tak i vylistovat průběh teplot pro jednotlivé uzly. Této funkce je využito pro získání hodnot a další vyhodnocení.

Pravidla pro vyhodnocení výsledků

Pro vyhodnocení bude pozornost soustředěna na průběh teplot ve třech liniích:

- Na spodní hraně podlahové konstrukce, tj. na rozhraní podlahové konstrukce a vzduchové mezery (pod podlahou konstrukcí)
- Ve středové linii podlahové konstrukce (střed podlahové konstrukce)
- Na rozhraní horní hrany podlahové konstrukce a interiéru (podlaha interiér)

Aby byl eliminován vliv okrajových extrémních bodů v liniích a výsledky byly lépe porovnatelné, budou sledovány teploty mezi vnitřními hranami svislých základů (pro konstrukce o celkové šířce 6,6 m budou hodnoty sledovány ve vnitřní šířce 6 m apod.).

Pro sledované linie bude vypočtena průměrná, minimální a maximální teplota ve stupních Celsia. Tato hodnota bude porovnávána pro tyto varianty:

- Pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m pro modely dle ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10077-2 a ČSN EN ISO 13370
- Pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m pro modely dle ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10077-2 a ČSN EN ISO 13370
- Pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m pro modely dle ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10077-2 a ČSN EN ISO 13370
- Pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce modelu dle ČSN EN ISO 13370
- Pro různé rozměry vzduchové mezery (při poměru štíhlosti 20) modelu dle ČSN EN ISO 13370
- Pro různé intenzity větrání vzduchové mezery modelu dle dle ČSN EN ISO 6946 a ČSN EN ISO 13370

4.2. Metody stanovení součinitele tepelné vodivosti vzduchové mezery

Dle ČSN EN ISO 6946 se rozlišují tři základní typy vzduchových vrstev:

- nevětrané, které nemají žádné spojení s vnitřním ani vnějším prostorem nebo jen velmi malé (plocha větracích otvorů do 0,05 % na běžný metr délky nebo m^2 plochy)
- slabě větrané, které mají větrací otvory o ploše od 0,05 % do 0,15 % na běžný metr délky nebo m^2 plochy
- silně větrané, spojené v okolním prostředí otvory tvořící více jak 0,15 % na běžný metr délky nebo na každý m^2 plochy

Do dalších výpočtů se zadávají jen vrstvy nevětrané a slabě větrané. Silně větrané vrstvy se do tepelně technických vlastností konstrukcí nezahrnují a uplatní se jen jako zvýšená hodnota tepelného odporu při přestupu tepla na vnější straně.

Tepelná vodivost nevětraných vrstev se stanovuje výpočtem jako ekvivalentní tepelná vodivost, zahrnující v sobě přenos tepla vedením, prouděním i sáláním.

Ekvivalentní tepelná vodivost nevětrané vzduchové vrstvy se stanoví ze vztahu

$$\lambda_g = \frac{d}{R_g} \quad W/(m.K)$$

kde d je tloušťka vzduchové vrstvy ve směru tepelného toku v metrech a R_g je tepelný odpor vzduchové vrstvy v $(m^2K)/W$.

$$R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [(m^2.K)/W]$$

kde h_a je součinitel přestupu tepla vedením a prouděním ve $W/(m^2.K)$, který se stanoví (za podmínky teplotního rozdílu mezi oběma povrchy vzduchové dutiny do 5 °C) následovně:

- pro tepelný tok vodorovně jako maximum z hodnot 1,25 a $0,025/d$
- pro tepelný tok vzhůru jako maximum z hodnot 1,95 a $0,025/d$
- pro tepelný tok dolů jako maximum z hodnot $0,12(d^{-0,44})$ a $0,025/d$

a kde h_r je součinitel přestupu tepla sáláním je vypočten dle vzorce

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times T_m^3 \times E \quad [W/(m^2.K)]$$

kde T_m je střední absolutní teplota v K

E je součinitel vzájemného osálení povrchů ohraničujících vzduchovou vrstvu, který lze stanovit ze vztahu

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [-]$$

kde ε_1 a ε_2 jsou emisivity povrchů.

Další variantou výpočtu nevětraných vzduchových vrstev je postup dle ČSN EN ISO 10077-2. Dle této normy se považují za nevětrané vzduchové mezery vzduchové dutiny, které nejsou spojeny s okolním prostředím a dutiny, jejichž spojení s okolím je štěrbinami o šířce od 2 do 10 mm.

Základní vztahy pro výpočet tepelné vodivosti a tepelého odporu nevětraného vzduchového prostoru se výrazně neliší od postupů doporučovaných v ČSN EN ISO 6946, odlišně se stanovují hodnoty součinitelů přestupu tepla prouděním a sáláním.

Součinitel přestupu tepla prouděním h_a se určí jako maximum z hodnot $1,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a $0,025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Součinitel přestupu tepla sáláním lze vyjádřit ze vztahu

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times T_m^3 \times E \times F \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

kde F je číselný součinitel vzájemného osálení definovaný pro typickou dutinu obdélníkového tvaru a je definován jako

$$F = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right)$$

kde d je tloušťka vzduchové vrstvy ve směru tepelného toku v metrech a b je její šířka.

Pro stanovení tepelné vodivosti slabě větraných vrstev norma ČSN EN ISO 6946 neuvádí vztah pro přímý výpočet. Určuje, že se má součinitel prostupu tepla konstrukce se slabě větranou vrstvou vypočítat dle vztahu

$$U = \left(\frac{1500 - A_v}{1000} R_{T_u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T_v} \right)^{-1} \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$$

kde A_v je plocha větracích otvorů do vzduchové vrstvy v mm^2 na m^2
 R_{Tu} je tepelný odpor při prostupu tepla vypočtený pro konstrukci s nevětranou vzduchovou mezerou v $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$
 R_{Tv} je tepelný odpor při prostupu tepla konstrukcí se silně větranou vzduchovou mezerou v $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$

Norma ČSN EN ISO 10077-2 pojímá slabě větrané vzduchové vrstvy v konstrukcích odlišně. Norma vyčísluje tepelnou vodivost slabě větraných vzduchových vrstev smluvně jako dvojnásobek hodnoty tepelné vodivosti shodně nevětrané vzduchové vrstvy. Tento přístup byl používán i v normě ČSN EN ISO 6946 před její poslední aktualizací v roce 2008.

$$\lambda_g = \frac{2 \times d}{R_g} \quad \text{min. ale } (6,67 \times d) \quad \text{W} / (\text{m} \cdot \text{K})$$

kde d je tloušťka vzduchové vrstvy ve směru tepelného toku v metrech
 R_g je tepelný odpor vzduchové vrstvy v $(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / \text{W}$

Silně větrané vrstvy nejsou do výpočtů zahrnovány. Při stanovování prostupu tepla konstrukcí je však jejich vliv zaznamenán zvýšením tepelného odporu na vnější straně konstrukce, tzn. nahrazení hodnot tepelného odporu příslušného směru tepelného toku pro exteriér hodnotami pro interiér

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} \quad \left[\text{W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}) \right]$$

kde R_{si} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně konstrukce R je tepelný odpor konstrukce.

Výše uvedené vztahy z normy ČSN EN ISO 6946 jsou aplikovatelné pro vzduchové vrstvy do tloušťky 300 mm. Pro větší tloušťky je doporučováno považovat prostor jako nevytápěný a tomu přizpůsobit i výpočet součinitele tepelné vodivosti.

Pro založení na vzduchové mezeře je výrazný vliv spolupůsobení konstrukce s okolní zemínou. Výpočet tepelných propustností konstrukcí v kontaktu se zemínou je komplexnější než při výpočtech tepelné propustnosti konstrukcí v kontaktu s okolním vzduchem.

ČSN EN ISO 13370 nabízí výpočtové modely pro vytápěné i nevytápěné suterénní prostory. Nepostradatelným vstupním údajem je tepelná vodivost zeminy. Pokud je druh zeminy známý, lze použít následující normované hodnoty:

- pro hlíny a jíly $\lambda = 1,5$ $[W/(m.K)]$
- pro písky a štěrky $\lambda = 2$ $[W/(m.K)]$
- stejnorodá skála $\lambda = 3,5$ $[W/(m.K)]$

Pro případ zvýšené podlahy nad nevytápěným vzduchovým prostorem, který odpovídá založení stavby na vzduchové mezeře, se součinitel prostupu tepla vypočte ze vztahu

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad [W/(m^2.K)]$$

kde U_f je součinitel prostupu tepla zvýšené podlahy mezi vnitřním prostředím a prostorem pod podlahou v $W/(m^2.K)$

U_g je součinitel prostupu tepla pro výpočet tepelného toku zeminou v $W/(m^2.K)$

U_x je ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami vzduchového prostoru a větráním v $W/(m^2.K)$

Pro vyjádření součinitele prostupu tepla vzduchovým prostorem do okolního volného prostředí a zeminy lze výše uvedený vztah upravit na

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{U_g + U_x} \quad [W/(m^2.K)]$$

Tento vztah umožní dalšími výpočty určit tepelný odpor vzduchové mezery R' , zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání) a to ze vztahu

$$U' = \frac{1}{R'} \quad [W/(m^2.K)] \text{ a potažmo } \lambda' = \frac{d}{R'} \quad [W/(m.K)]$$

kde d je tloušťka vzduchové vrstvy ve směru tepelného toku a λ' je součinitel tepelné vodivosti vzduchového prostoru zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání).

Součinitel prostupu tepla zeminou U_g pro prostor pod podlahou, který má spodní povrch pod terénem v průměru max. 0,5 m se vypočte dle vztahu

$$U_g = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_g} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_g} + 1 \right) \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

kde λ je součinitel tepelné vodivosti nepromrzlé zeminy v $W / (m \times K)$

B' je charakteristický rozměr podlahy

d_g je ekvivalentní tloušťka konstrukce na zemině

Pro B' platí vztah

$$B' = \frac{A}{0,5 \times P} \quad [m^2/m]$$

kde A je plocha podlahy

P je exponovaný obvod podlahy

Pro d_g platí

$$d_g = w + \lambda (R_{se} + R_g + R_{ze}) \quad [-]$$

kde R_g je tepelný odpor konstrukce s případnou tepelnou izolací, umístěné na spodní straně vzduchového prostoru

w je tloušťka konstrukce umístěné na spodní straně vzduchového prostoru v m

R_{se} je tepelný odpor při přestupu tepla na straně od vzduchové vrstvy v $(m^2 \cdot K) / W$

R_{ze} je tepelný odpor při přestupu tepla na straně od zeminy v $(m^2 \cdot K) / W$

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami prostoru a větráním je určen vztahem

$$U_x = 2 \times h \times \frac{U_w}{B'} + 1450 \times \varepsilon \times v \times \frac{f_w}{B'} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

kde h je průměrná výška horní hrany podlahy nad okolním terénem v m,

U_w je součinitel prostupu tepla stěn vzduchového prostoru nad úroveň terénu v

$W / (m^2 \times K)$

ε je plocha větracích otvorů vztažená k obvodu podlahy v m^2/m ,

v je střední rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v m/s

f_w je stínící činitel větru

Hodnota součinitele prostupu tepla stěnami vzduchového prostoru se vypočte ze vztahu

$$U_w = \frac{1}{R_{se} + R_w + R_{se}} \quad [W / (m^2 \cdot K)]$$

kde R_{se} je tepelný odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce v $(m^2 \cdot K) / W$

R_w je tepelný odpor při přestupu tepla stěnami prostoru a určí se

$$R_w = \frac{d_w}{\lambda_w} \quad [(m^2 \cdot K) / W]$$

kde d_w je tloušťka stěny kolem vzduchového prostoru v m

λ_w je spučinitel tepelné vodivosti materiálu stěny vzduchového prostoru v $W / (m \cdot K)$

Hodnoty stínícího činitele větru závisí na poloze objektu. Pro chráněné objekty ve středu měst je možné zvolit hodnotu 0,02, pro objekty v exponovaných polohách, kde jsou vystaveny povětrnosti bez významných zábran, lze uvažovat hodnotu 0,1.

Pro určení střední rychlosti větru ve výšce 10 m nad zemí se použije norma ČSN EN ISO 1991-1-4:2007 a její hodnoty pro příslušné větrné oblasti.

4.3. Výpočet tepelné vodivosti nevětrané vzduchové vrstvy

Výpočet dle ČSN EN ISO 6946 pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Ekvivalentní tepelná vodivost nevětrané vzduchové vrstvy se stanoví ze vztahu

$$\lambda_g = \frac{d}{R_g} \quad [W/(m.K)]$$

$$\text{kde } R_g = \frac{1}{h_a + h_r} \quad [(m^2.K)/W]$$

Součinitel přestupu tepla vedením a prouděním h_a pro tepelný tok směrem dolů se stanoví jako maximum z hodnot $0,12 \times (d^{0,44})$ a $0,025/d$. Pro vzduchovou mezeru o tloušťce 0,3 m je pak jeho hodnota rovna $0,204 W/(m.K)$.

Jako střední absolutní teplotu uvažujeme průměr teplot okrajových podmínek modelu, a to -15 °C v exteriéru a 20 °C v interiéru, což je ve výsledku 2,5 °C a 275,65 K.

Hodnotu součinitele vzájemného osálení povrchů ohraničujících vzduchovou vrstvu E lze stanovit ze vztahu

$$E = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1} \quad [-]$$

a pro hodnoty emisivity 0,9 se výsledná hodnota součinitele $E = 0,818$

Součinitel přestupu tepla sáláním h_r je vypočten dle vzorce

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times T_m^3 \times E \quad [W/(m^2.K)]$$

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times 275,65^3 \times 0,818 = 3,890 W/(m.K)$$

$$\text{Potom } R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{0,204 + 3,890} = 0,244 (m^2.K)/W$$

$$\text{a } \lambda_g = \frac{d}{R_g} = \frac{0,3}{0,244} = 1,228 W/(m.K)$$

Výpočet dle ČSN EN ISO 10077-2 pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Oproti normě ČSN EN ISO 6946 se odlišně stanovují hodnoty součinitelů přestupu tepla prouděním a sáláním.

Součinitel přestupu tepla prouděním h_a se určí jako maximum z hodnot $1,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ a $0,025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, takže pro vrstvu 0,3 m je výsledná hodnota $1,57 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Činitel vzájemného osálení F pro dutinu obdélníkového tvaru (dutina šíře 6 m) má hodnotu

$$F = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{d}{b} \right)^2} - \frac{d}{b} \right) = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 + \left(\frac{0,3}{6} \right)^2} - \frac{0,3}{6} \right) = 0,976$$

Pak součinitel přestupu tepla sáláním se rovná

$$h_r = 2,27 \times 10^{-7} \times T_m^3 \times E \times F = 3,890 \times 0,976 = 3,795 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$\text{Potom } R_g = \frac{1}{h_a + h_r} = \frac{1}{1,57 + 3,890} = 0,186 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/\text{W}$$

$$\text{a } \lambda_g = \frac{d}{R_g} = \frac{0,3}{0,186} = 1,61 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Nejprve se určí hodnoty součinitelů přestupu tepla U_g a U_x .

Součinitel tepelné vodivosti λ nepromrzlé zeminy typu šterky a písky je roven $2,0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, pro podlahu o rozměrech 6,6 x 12 m (podlaha kopíruje vnější rozměry základového prostoru) se B' rovná 4,258, R_g se rovná nule, jelikož na spodní straně vzduchové mezery nefiguruje žádná konstrukce ani tepelná izolace.

To platí i pro tloušťku konstrukce na spodní straně vzduchové mezery $w = 0$ m, R_{se} ze strany vzduchového prostoru je zvolen ve výši $0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$ (stejná hodnota jako obecná hodnota tepelného odporu na straně exteriéru - konzervativní přístup) a tepelný odpor z exteriéru do zeminy R_{ze} je obecně roven nule a hodnotu d_g vypočteme následovně

$$d_g = w + \lambda(R_{se} + R_g + R_{ze}) = 0 + 2 \times (0,04 + 0 + 0) = 0,08$$

Součinitel prostupu tepla zeminou U_g pro prostor pod podlahou se vypočte pak

$$U_g = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_g} \times \ln\left(\frac{\pi \times B'}{d_g} + 1\right) = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 4,258 + 0,08} \times \ln\left(\frac{3,14 \times 4,258}{0,08} + 1\right) = 1,524 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla U_x je zvolena průměrná výška podlahy h nad okolním terénem v celé výšce vzduchového prostoru plus výška podlahové konstrukce, tj. $0,3 + 0,336 = 0,636$ m, ε je uvažováno jako 0,05% plochy větracích otvorů na metr délky (znázorňuje dutinky ve spárách apod.) a stále vyhovuje podmínkám ČSN EN ISO 6946 pro nevětrané vzduchové prostory, střední rychlost větru ve výšce 10 m nad zemí v je zvolna hodnota 25 m/s jako převládající hodnota pro území České republiky, stínící efekt f_w je zvolen konzervativně a to pro exponované oblasti a je roven 0,1, $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$, součinitel prostupu tepla stěnami vzduchového prostoru U_w je pro šířku základového pásu 0,3 m a součinitele tepelné vodivosti betonu 1,3 $W/(m \cdot K)$ vypočten následovně

$$R_w = \frac{d_w}{\lambda_w} = \frac{0,3}{1,3} = 0,23 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W$$

$$U_w = \frac{1}{R_{se} + R_w + R_{se}} = \frac{1}{0,04 + 0,23 + 0,04} = 3,218 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Pak ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami prostoru a větráním

$$U_x = 2 \times h \times \frac{U_w}{B'} + 1450 \times \varepsilon \times v \times \frac{f_w}{B'} = 2 \times 0,636 \times \frac{3,218}{4,258} + 1450 \times 0,0005 \times 25 \times \frac{0,1}{4,258} = 1,387 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Vypočtené hodnoty U_g a U_x se dosadí do vztahu součinitele prostupu tepla vzduchovým prostorem do okolního volného prostředí a zeminy

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{U_g + U_x} = \frac{1}{1,524 + 1,387} = 0,344 = R' \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W \text{ a } U' = 2,91 W /(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

pak dále součinitel tepelné vodivosti vzduchového prostoru zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání)

$$\text{je } \lambda' = \frac{d}{R'} = \frac{0,3}{0,344} = 0,873 W /(\text{m} \cdot \text{K})$$

Shrnutí výsledků součinitelů tepelné vodivosti nevětrané vzduchové vrstvy

	ČSN EN ISO 6946	ČSN EN ISO 10077-2	ČSN EN ISO 13370
součinitel tepelné vodivosti nevětrané vzduchové vrstvy [W/(mK)]	1,228	1,610	0,873

Tab. 2: Vypočtené součinitele tepelné vodivosti dle různých norem

4.4. Výpočet tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové vrstvy

Výpočet dle ČSN EN ISO 6946 pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Za slabě větranou vzduchovou vrstvou se považuje konstrukce s otvory od 0,05 % do 0,15 % na m^2 plochy. Pro modelový případ lze uvažovat hodnoty blížíící se k horní mezi rozpětí, např. čtvercový ventilační otvor o délce strany 0,0210 m a plochou $0,000441 m^2$, což je 0,147 % na metr délky základové konstrukce o celkové výšce 0,3 m. Jako další vstupní údaj je třeba spočítat hodnotu tepelného odporu konstrukce s nevětranou vzduchovou vrstvou R_{Tu} a tepelný odpor konstrukce se silně větranou vzduchovou vrstvou R_{Tv} . Vzhledem k tomu, že hodnota tepelného odporu konstrukce samotné je jen pomocným prvkem pro výpočet tepelné vodivosti vzduchových vrstev, bude model šíření tepla omezen na jednorozměrné šíření tepla a model zjednodušen ve sledovaném výseku na skladbu OSB deska – tepelná izolace – OSB deska.

Tepelný odpor konstrukce R_k se pak vypočte ze vztahu

$$R_k = R_{OSB} + R_{izo} + R_{OSB} = \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} + \frac{d_{izo}}{\lambda_{izo}} + \frac{d_{OSB}}{\lambda_{OSB}} = \frac{0,018}{0,13} + \frac{0,3}{0,04} + \frac{0,018}{0,13} = 7,777 (m^2 \cdot K) / W$$

Výpočet tepelného odporu nevětrané vzduchové vrstvy je uveden v předchozích kapitolách,

$$R_g = 0,244 (m^2 \cdot K) / W .$$

$$R_{Tu} = R_{se} + R_k + R_g + R_{si} = 0,17 + 7,777 + 0,244 + 0,04 = 8,231 (m^2 \cdot K) / W$$

U skladby se silně větranou vzduchovou mezerou se její tepelný odpor do výpočtů nezahrnuje a uplatňuje je zvýšenou hodnotou $R_{se} = R_{si}$.

$$R_{Tv} = R_{si} + R_k + R_{si} = 0,17 + 7,777 + 0,17 = 8,117 (m^2 \cdot K) / W$$

Pak součinitel prostupu tepla konstrukce se slabě větranou vrstvou se vypočte

$$U = \left(\frac{1500 - A_v}{1000} R_{Tu} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{Tv} \right)^{-1} = \left(\frac{1500 - 1470}{1000} \times 8,231 + \frac{1470 - 500}{1000} \times 8,117 \right)^{-1} = (0,247 + 7,873)^{-1} = 8,120^{-1} = 0,111 W / (m^2 \cdot K)$$

Tepelný odpor konstrukce se slabě větranou vrstvou je

$$R_u = \frac{1}{0,111} = 8,120 (m^2.K) / W$$

Lze pak vyjádřit rozdíl v tepelných odporech, který je způsobený existencí slabě větrané vzduchové mezery a to $R_{vm} = R_{Tu} - R_u = 8,231 - 8,120 = 0,111 (m^2.K) / W$, pak

$$\lambda_{vm} = \frac{d}{R_{vm}} = \frac{0,3}{0,111} = 2,703 W / (m.K)$$

Výpočet dle ČSN EN ISO 10077-2 pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Jelikož tato norma vyčísluje tepelnou vodivost slabě větraných vzduchových vrstev smluvně jako dvojnásobek hodnoty tepelné vodivosti shodné nevětrané vzduchové vrstvy, lze tedy počítat

$$\lambda_g = \frac{2 \times d}{R_g} = \frac{2 \times 0,3}{0,186} = 3,219 W / (m.K)$$

Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Výpočet pro slabě větrané vzduchové vrstvy se neliší od postupu pro výpočet součinitele tepelné vodivosti nevětraných vzduchových vrstev.

Součinitel prostupu tepla zeminou U_g pro prostor pod podlahou se rovná

$$U_g = 1,524 W / (m^2 .K)$$

Pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla U_x je změna u ε a bude uvažováno jako 0,147% plochy větracích otvorů na metr délky, jež bylo použito ve výpočtu dle ČSN EN ISO 6946 pro slabě větrané vzduchové prostory.

Pak ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami prostoru a větráním

$$U_x = 2 \times h \times \frac{U_w}{B'} + 1450 \times \varepsilon \times v \times \frac{f_w}{B'} = 2 \times 0,0636 \times \frac{3,218}{4,258} + 1450 \times 0,00147 \times 25 \times \frac{0,1}{4,258} = 2,218 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Vypočtené hodnoty U_g a U_x se dosadí do vztahu součinitele prostupu tepla vzduchovým prostorem do okolního volného prostředí a zeminy

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{U_g + U_x} = \frac{1}{1,524 + 2,218} = 0,268 = R' (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W} \text{ a } U' = 3,737 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

pak dále součinitel tepelné vodivosti vzduchového prostoru zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání)

$$\text{je } \lambda' = \frac{d}{R'} = \frac{0,3}{0,266} = 1,121 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Shrnutí výsledků součinitelů tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové vrstvy

	ČSN EN ISO 6946	ČSN EN ISO 10077-2	ČSN EN ISO 13370
součinitel tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové vrstvy [W/(mK)]	2,631	3,219	1,121

Tab. 3: Vypočtené součinitele tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové vrstvy dle sledovaných norem

4.5. Výpočet tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy

Výpočet dle ČSN EN ISO 6946 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Silně větrané vrstvy se do tepelně technických vlastností konstrukcí nezahrnují z důvodu předpokladu, že v silně větraných vrstvách dochází k významné výměně vzduchu a tudíž i k vyrovnávání teplot uvnitř i vně vzduchového prostoru a její existence se uplatní se jen jako zvýšená hodnota tepelného odporu při přestupu tepla na vnější straně.

Výpočet dle ČSN EN ISO 10077-2 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Norma neuvádí doporučený postup pro výpočet silně větraných vzduchových vrstev.

Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Výpočet pro silně větrané vzduchové vrstvy se neliší od postupu pro výpočet součinitele tepelné vodivosti nevětraných či slabě větraných vzduchových vrstev.

Součinitel prostupu tepla zeminou U_g pro prostor pod podlahou se rovná

$$U_g = 1,524 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$$

Pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla U_x je změna u ε je rovno 3,16 % (uvažováno jako poměr kruhového otvoru o průměru 0,110 m na metr délky základové konstrukce nad terénem o výšce 0,3 m).

Pak ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami prostoru a větráním

$$U_x = 2 \times h \times \frac{U_w}{B'} + 1450 \times \varepsilon \times v \times \frac{f_w}{B'} = 2 \times 0,0636 \times \frac{3,218}{4,258} + 1450 \times 0,0316 \times 25 \times \frac{0,1}{4,258} = 27,863 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Vypočtené hodnoty U_g a U_x se dosadí do vztahu součinitele prostupu tepla vzduchovým prostorem do okolního volného prostředí a zeminy

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{U_g + U_x} = \frac{1}{1,524 + 27,863} = 0,034 = R' \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W} \quad \text{a} \quad U' = 29,387 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

pak dále součinitel tepelné vodivosti vzduchového prostoru zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání)

$$\text{je } \lambda' = \frac{d}{R'} = \frac{0,3}{0,034} = 8,816 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$$

Shrnutí výsledků součinitelů tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy

	ČSN EN ISO 6946	ČSN EN ISO 10077-2	ČSN EN ISO 13370
součinitel tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy [W/(mK)]	-	-	8,816

Tab. 4: Vypočtené součinitele tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy dle sledovaných norem

4.6. Výpočet tepelné vodivosti pro různé rozměry vzduchové mezery

Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,6 m

Nejprve se opět určí hodnoty součinitelů přestupu tepla U_g a U_x .

Součinitel tepelné vodivosti λ nepromrzlé zeminy typu šterky a písky je roven $2,0 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, pro podlahu o rozměrech $12,6 \times 12 \text{ m}$ (podlaha kopíruje vnější rozměry základového prostoru) se B' rovná $6,146$, R_g se rovná nule, $w = 0 \text{ m}$, R_{se} ze strany vzduchového prostoru je ve výši $0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ a tepelný odpor z exteriéru do zeminy R_{ze} je obecně roven nule a hodnota d_g je pak $0,08$.

Součinitel prostupu tepla zeminou U_g pro prostor pod podlahou se vypočte pak

$$U_g = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_g} \times \ln\left(\frac{\pi \times B'}{d_g} + 1\right) = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 6,146 + 0,08} \times \ln\left(\frac{3,14 \times 6,146}{0,08} + 1\right) = 1,133 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla U_x je zvolena průměrná výška podlahy h nad okolním terénem v celé výšce vzduchového prostoru plus výška podlahové konstrukce, tj. $0,6 + 0,336 = 0,936 \text{ m}$, ε je $1,58\%$ (kruhový otvor o průměru $0,110 \text{ m}$ na metr délky základové konstrukce nad terénem o výšce $0,6 \text{ m}$), v je 25 m/s , stínící efekt f_w je roven $0,1$, $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$, tepelný odpor prostupu tepla stěnami vzduchového prostoru $R_w = 0,23 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ a $U_w = 3,218 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Pak ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami prostoru a větráním

$$U_x = 2 \times h \times \frac{U_w}{B'} + 1450 \times \varepsilon \times v \times \frac{f_w}{B'} = 2 \times 0,936 \times \frac{3,218}{6,146} + 1450 \times 0,0158 \times 25 \times \frac{0,1}{6,146} = \\ = 10,298 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$$

Vypočtené hodnoty U_g a U_x se dosadí do vztahu součinitele prostupu tepla vzduchovým prostorem do okolního volného prostředí a zeminy

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{U_g + U_x} = \frac{1}{1,333 + 10,298} = 0,087 = R' \text{ (m}^2 \cdot \text{K)}/W \text{ a } U' = 11,432 W /(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

pak dále součinitel tepelné vodivosti vzduchového prostoru zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání)

$$\text{je } \lambda' = \frac{d}{R'} = \frac{0,6}{0,087} = 6,859 W /(\text{m} \cdot \text{K})$$

Výpočet dle ČSN EN ISO 13370 pro silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,9 m

Součinitel tepelné vodivosti λ nepromrzlé zeminy typu šterky a písky je roven 2,0 $W /(\text{m} \cdot \text{K})$, pro podlahu o rozměrech 18,6 x 12 m (podlaha kopíruje vnější rozměry základového prostoru) se B' rovná 7,1294, R_g se rovná nule, $w = 0$ m, R_{se} ze strany vzduchového prostoru je ve výši 0,04 $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/W$ a tepelný odpor z exteriéru do zeminy R_{ze} je obecně roven nule a hodnota d_g je pak 0,08.

Součinitel prostupu tepla zeminou U_g pro prostor pod podlahou se vypočte pak

$$U_g = \frac{2 \times \lambda}{\pi \times B' + d_g} \times \ln \left(\frac{\pi \times B'}{d_g} + 1 \right) = \frac{2 \times 2}{3,14 \times 7,294 + 0,08} \times \ln \left(\frac{3,14 \times 7,294}{0,08} + 1 \right) = 0,985 W /(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Pro výpočet ekvivalentního součinitele prostupu tepla U_x je zvolena průměrná výška podlahy h nad okolním terénem v celé výšce vzduchového prostoru plus výška podlahové konstrukce, tj. $0,9 + 0,336 = 1,236$ m, ε je 1,05% (kruhový otvor o průměru 0,110 m na metr délky základové konstrukce nad terénem o výšce 0,9 m), v je 25 m/s, stínící efekt f_w je roven 0,1, $R_{se} = 0,04$ ($m^2.K$)/ W , tepelný odpor prostupu tepla stěnami vzduchového prostoru $R_w = 0,23$ ($m^2.K$)/ W a $U_w = 3,218$ $W/(m^2.K)$.

Pak ekvivalentní součinitel prostupu tepla mezi prostorem pod podlahou a vnějším prostředím, zahrnující tok tepla stěnami prostoru a větráním

$$U_x = 2 \times h \times \frac{U_w}{B'} + 1450 \times \varepsilon \times v \times \frac{f_w}{B'} = 2 \times 0,936 \times \frac{3,218}{7,294} + 1450 \times 0,0105 \times 25 \times \frac{0,1}{7,294} =$$

$$= 6,309 \text{ W}/(m^2.K)$$

$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{U_g + U_x} = \frac{1}{0,985 + 6,309} = 0,137 = R' \text{ (} m^2.K \text{)}/W \text{ a } U' = 7,294 \text{ W}/(m^2.K)$$

pak dále součinitel tepelné vodivosti vzduchového prostoru zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání)

$$\text{je } \lambda' = \frac{d}{R'} = \frac{0,9}{0,137} = 6,565 \text{ W}/(m.K)$$

4.7. Výpočet tepelné vodivosti pro různé míry odvětrávání vzduchové mezery

Výpočet pro různé míry odvětrávání silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m

Ze sledovaných norem poskytuje pouze ČSN EN ISO 13370 návod na výpočet součinitele tepelné vodivosti pro různé intenzity větrání vzduchové mezery. Obdobně jako výpočty výše lze tedy vypočítat hodnoty součinitele tepelné vodivosti zahrnující vliv zeminy a vnějšího prostředí (vliv stěn vzduchového prostoru a větrání) silně větrané vzduchové mezery a to pro následující poměry ploch větracích otvorů na metr délky základové konstrukce:

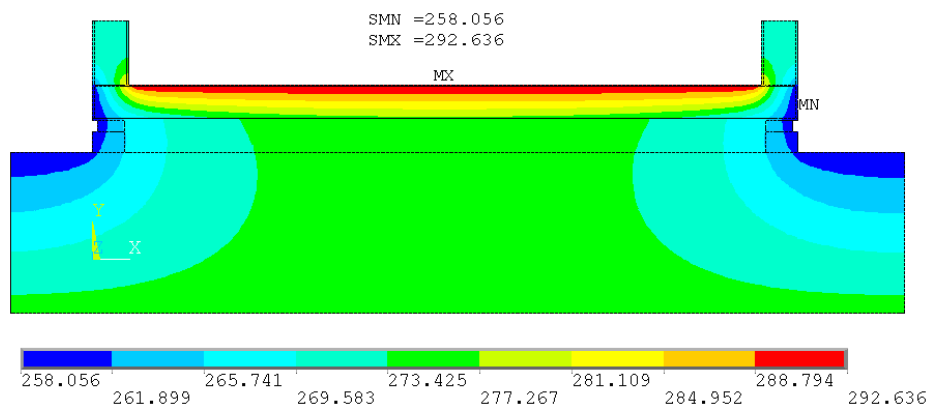
Plocha větracích otvorů	Součinitel tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy [W/(m.K)]
3,16%	8,82
5%	13,52
15%	39,01
25%	64,60
50%	128,14
100%	256,14

Tab. 5: Součinitele tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy různé intenzity

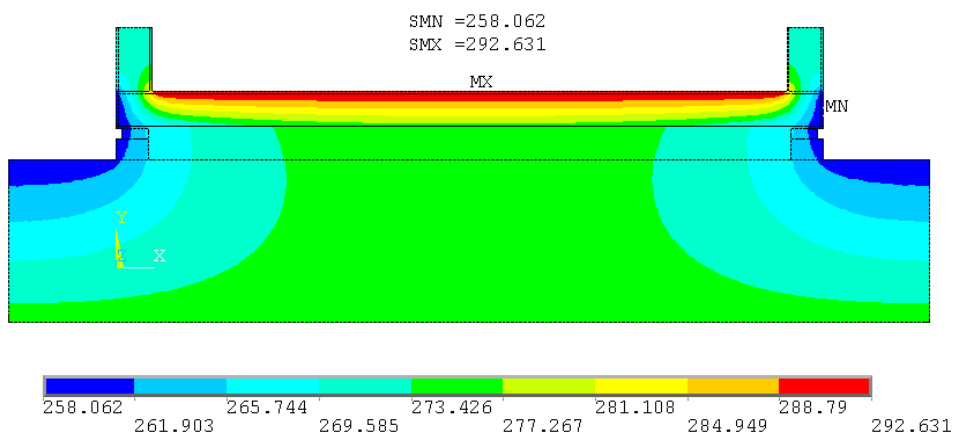
5 Výsledky

5.1. Nevětrané vzduchové vrstvy

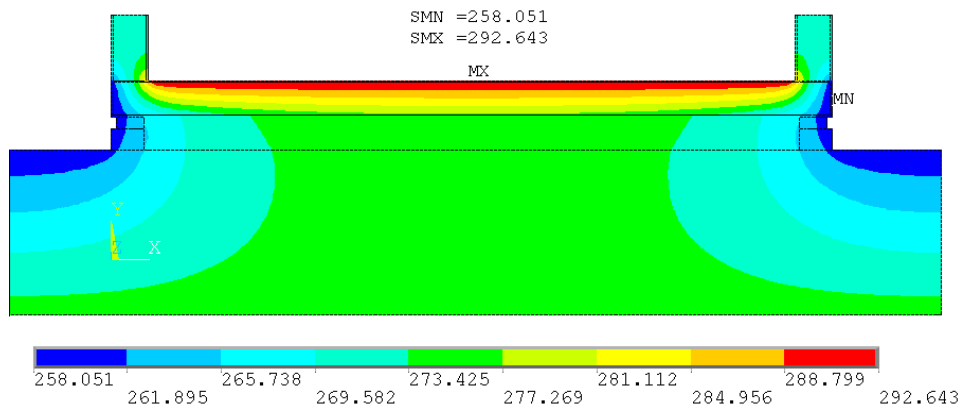
5.1.1 Průběh teplot v nevětrané vzduchové vrstvě



Obr. 13: Průběh teplot v nevětrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 6946



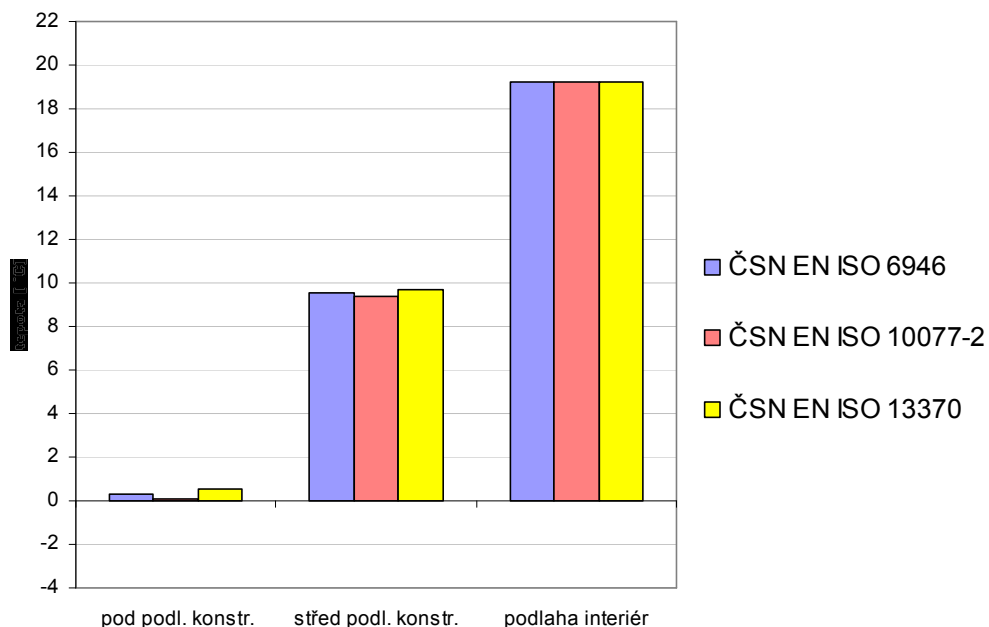
Obr. 14: Průběh teplot v nevětrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 10077-2



Obr. 15: Průběh teplot v nevětrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 13370

5.1.2 Průměrné teploty pro nevětrané vzduchové vrstvy

Pro nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m byly do modelu dosazeny vypočtené součinitele tepelné vodivosti vzduchové mezery dle vybraných norem a sledovány následující průměrné hodnoty:



Graf 1: Průměrné teploty při nevětrané vzduchové vrstvě

Z hodnot je patrné, že na spodní straně podlahy dochází k jistým, nicméně velmi malým rozdílům průměrných teplot pro jednotlivé normativní přístupy, a to maximálně o 0,51 °C. Ve středu podlahové konstrukce se hodnoty pohybují od 9,39 °C do 9,67 °C, čili rozdíly se dále zmenšují a v úrovni podlahy činí maximální rozdíl již jen 0,01 °C s hodnotami mezi 19,22 a 19,23 °C.

	Průměrné hodnoty (°C)		
	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370
pod podl. konstr.	0,28	0,06	0,57
střed podl. konstr.	9,51	9,39	9,67
podlaha interiér	19,22	19,22	19,23

Tab. 6: Průměrné teploty při nevětrané vzduchové vrstvě

Dosažené minimální a maximální hodnoty pro sledované úrovně neznají opět výrazné rozdíly ve výsledcích. Např. pod podlahovou konstrukcí dosahují rozdíly u minimálních hodnot nejvíce 0,31 °C s nejvyšší hodnotou -7,09 °C, maxima se pohybují od 2,56 do 3,09 °C.

Ve středu podlahové konstrukce minima oscilují kolem 1,2 °C s rozpětím 0,6 °C a maximální hodnoty se pohybují od 10,87 do 11,16 °C. V úrovni podlahy jsou rozdíly již jen v desetínách stupně Celsia a to minima v hodnotách 10,95 – 10,97 °C a maxima od 19,48 do 19,49 °C.

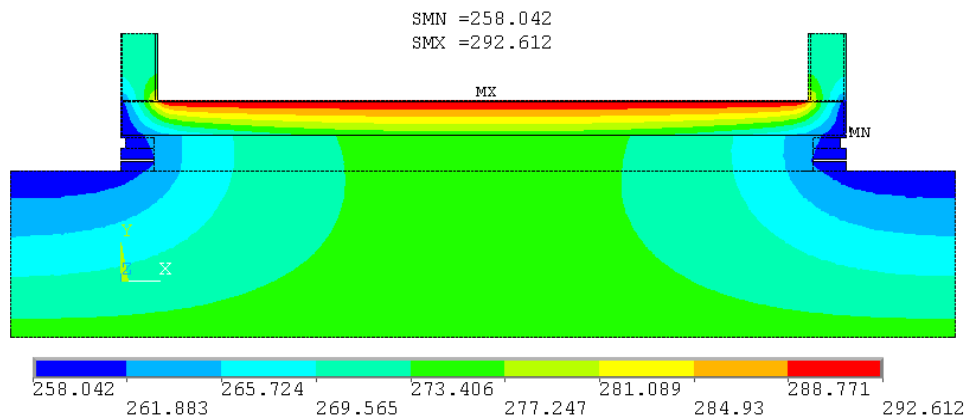
	Minima (°C)			Maxima (°C)		
	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370
pod podl. konstr.	-7,23	-7,09	-7,40	2,79	2,56	3,09
střed podl. konstr.	1,19	1,22	1,16	11,00	10,87	11,16
podlaha interiér	10,96	10,97	10,95	19,49	19,48	19,49

Tab. 7: Maxima a minima teplot při nevětrané vzduchové vrstvě

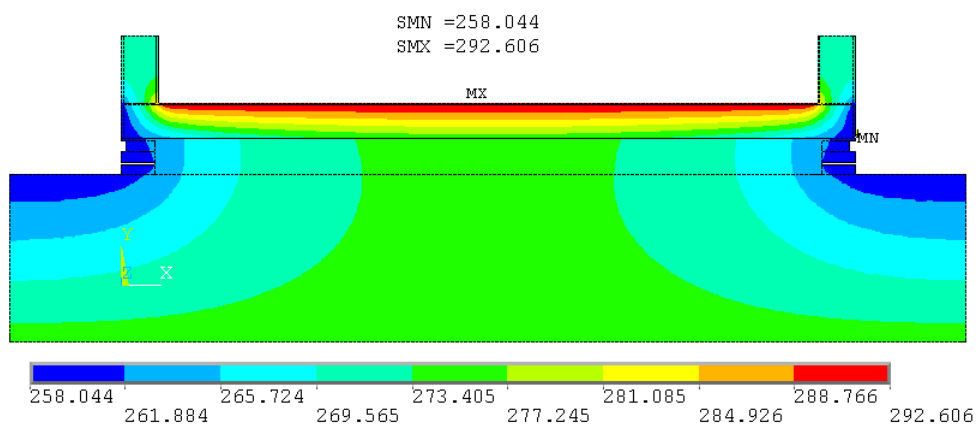
Z výše uvedeného je patrné, že u nevětraných vzduchových mezer dosahují modely dle všech použitých normativních přístupů mezi sebou velmi podobných hodnot v průměrných, minimálních i maximálních teplotách. Výběr toho či onoho normativního přístupu tedy není klíčovým faktorem pro průběh teplot v podlahové konstrukci.

5.2. Slabě větraná vzduchová vrstva

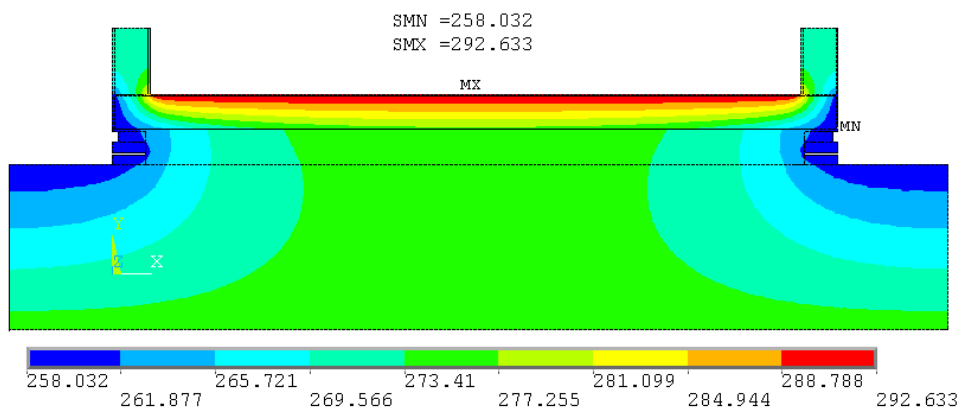
5.2.1 Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové vrstvě



Obr. 16: Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 6946



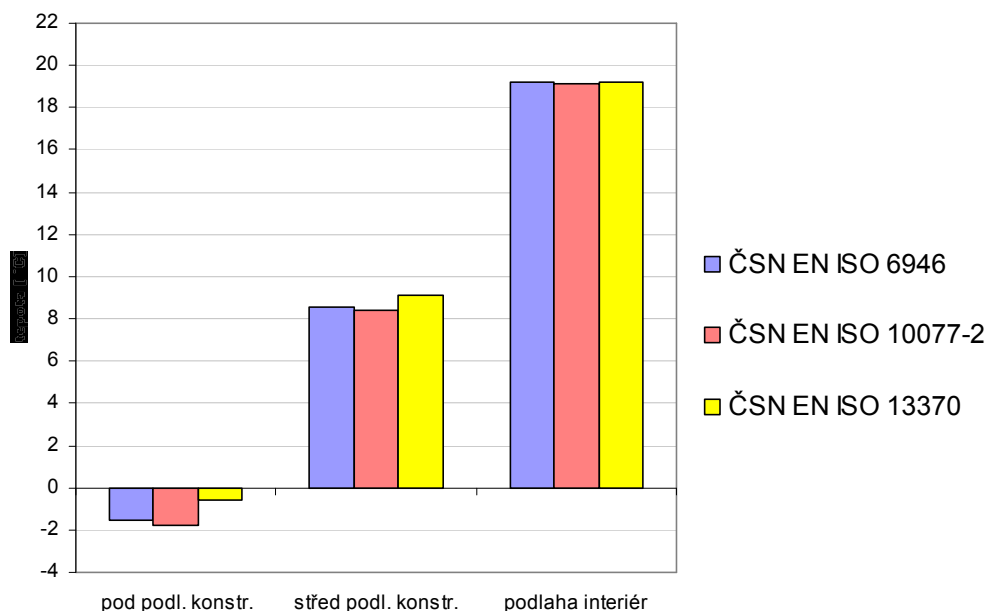
Obr. 17: Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 10077-2



Obr. 18: Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 13370

5.3. Průměrné teploty pro slabě větrané vzduchové vrstvy

Pro slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m byly do modelu dosazeny vypočtené součinitele tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové mezery dle vybraných norem a sledovány následující průměrné hodnoty:



Graf 2: Průměrné teploty při slabě větrané vzduchové mezeře

U slabě větraných vzduchových vrstev již průměrná modelová teplota pod podlahovou konstrukcí klesá pod bod mrazu a to od -0,55 až na -1,78 °C. U středové linie podlahové konstrukce se teploty pohybují od 8,44 do 9,10 °C, což je zhruba o 1 °C nižší teplota než pro stejnou linii nevětrané vzduché vrstvy. U nejvyšší sledované vrstvy, podlahy interiéru, se rozdíly zmenšují a činí už jen 0,02 °C.

	Průměrné hodnoty (°C)		
	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370
pod podl. konstr.	-1,53	-1,78	-0,55
střed podl. konstr.	8,57	8,44	9,10
podlaha interiér	19,18	19,18	19,20

Tab. 8: Průměrné teploty při slabě větrané vzduchové vrstvě

U minimálních hodnot jsou zaznamenány nevelké rozdíly teplot, ve sledované úrovni pod podlahovou konstrukcí je rozdíl až 0,39 °C, u ostatních sledovaných úrovní jsou rozdíly velmi malé: minima středové linie podlahové konstrukce se pohybují v rozmezí 1,16 – 1,22 °C a na podlaze v interiéru jsou minima mezi 10,95 až 10,97 °C.

Obdobná situace nastala i u maximálních teplot, pod podlahovou konstrukcí dosahují rozdíly až 0,53 °C, ve středu podlahové konstrukce již jen 0,29 °C a na podlaze interiéru již jen 0,01 °C s hodnotami 19,48 a 19,49 °C.

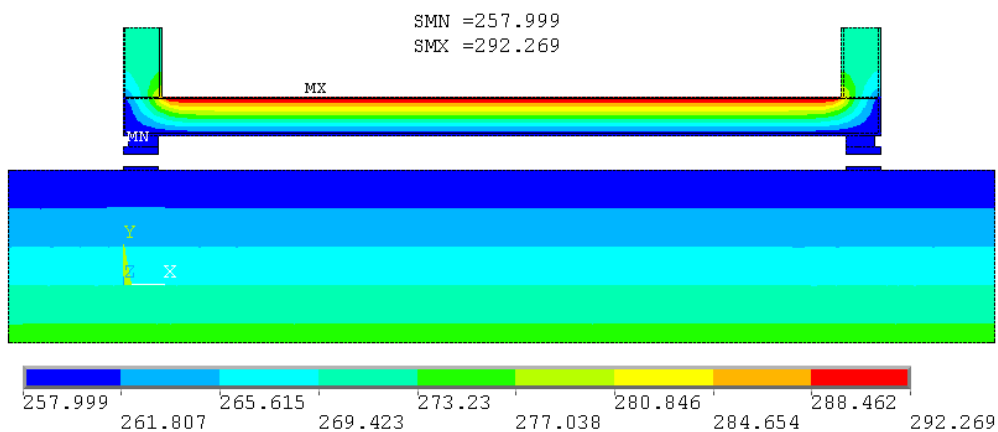
	Minima (°C)			Maxima (°C)		
	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370
pod podl. konstr.	-7,23	-7,09	-7,40	2,79	2,56	3,09
střed podl. konstr.	1,19	1,22	1,16	11,00	10,87	11,16
podlaha interiér	10,96	10,97	10,95	19,49	19,48	19,49

Tab. 9: Maxima a minima teplot při slabě větrané vzduchové vrstvě

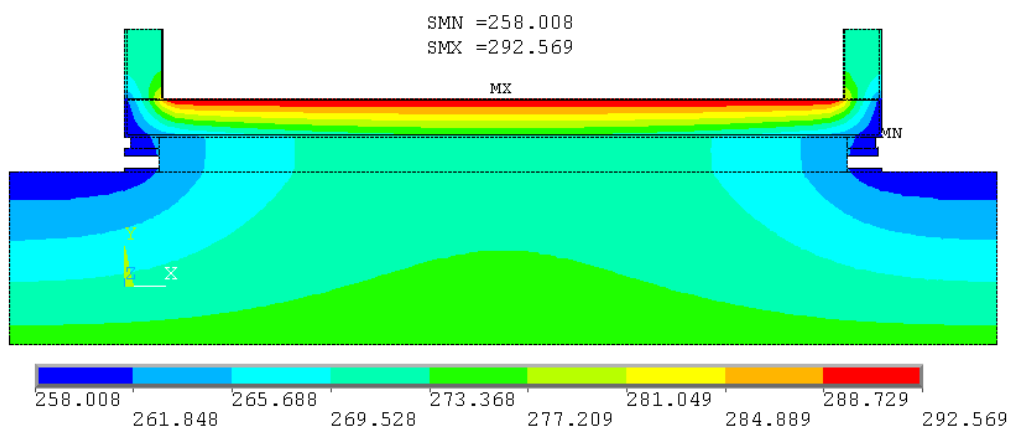
U slabě větraných vzduchových mezer se nepotvrdil výrazný vliv selekce normativního přístupu a modely dle všech tří vybraných norem vykazují velmi obdobné výsledky teplot.

Silně větrané vzduchové vrstvy

5.3.1 Průběh teplot v silně větrané vzduchové vrstvě



Obr. 19: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 6946

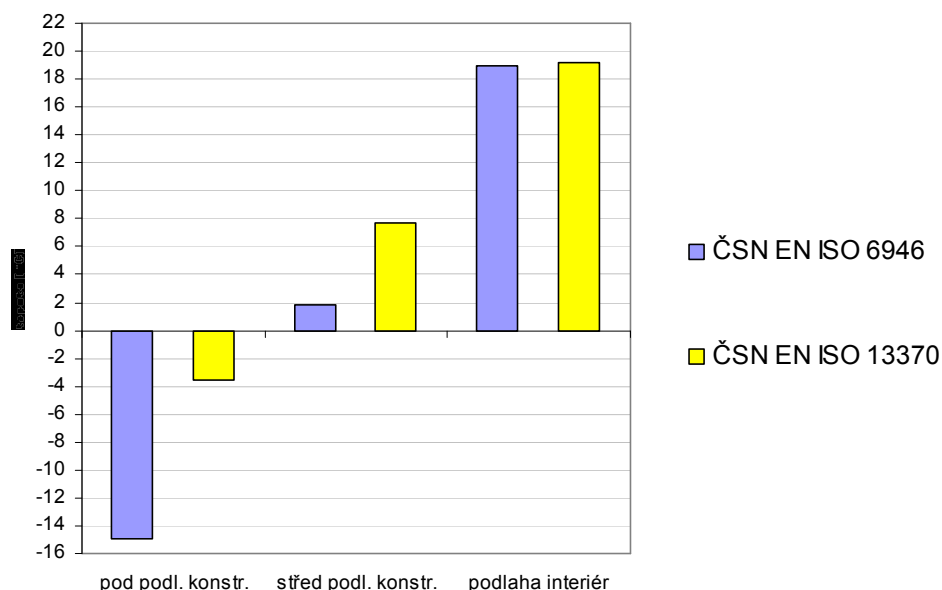


Obr. 20: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 13370

5.3.2 Průměrné teploty pro silně větrané vzduchové vrstvy

Výsledky pro silně větrané vzduchové vrstvy kopírují rozdílné pojetí těchto vrstev vybranými normativními přístupy. Je tedy patrné, že dochází k výrazným rozdílům modelových průměrných teplot pod podlahovou konstrukcí a to až 11,39 °C, kdy dle výpočtu podle normy ČSN EN ISO 6946 dosahuje průměrná teplota -14,97 °C a dle ČSN EN ISO 13370 hodnoty -3,58 °C.

Také ve sledované úrovni středu podlahové konstrukce je rozdíl stále značný – hodnoty od 1,85 do 7,69 °C jsou od sebe signifikantně vzdáleny. Za to v úrovni podlahy interiéru se průměrné teploty takřka dorovnávají a nabývají hodnot 18,90 °C model dle pro ČSN EN ISO 6946 a 19,15 °C pro model dle ČSN EN ISO 13370.



Graf 3: Průměrné teploty při silně větrané vzduchové mezeře

Dorovnání průměrných teplot na podlaze v interiéru je jistě zajímavým faktem vzhledem ke značné rozdílnosti průměrných teplot v nižších sledovaných úrovních. Je zde možné pozorovat, jak silný vliv má nízká hodnota součinitele tepelné vodivosti použité tepelné izolace (termo konopí), která v podlahové konstrukci tvoří hlavní výplň. Nicméně rozdíl téměř 6 °C uprostřed podlahové konstrukce stále značí, že dosažené výsledky u silně větraných vrstev jsou velmi závislé na volbě normativního přístupu.

	Průměrné hodnoty (°C)		
	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370
pod podl. konstr.	-14,97	-	-3,58
střed podl. konstr.	1,85	-	7,69
podlaha interiér	18,90	-	19,15

Tab. 10: Průměrné teploty při silně větrané vzduchové vrstvě

Dosažené minimální hodnoty se pohybují opět ve výrazním rozptylu, kdy pod podlahovou konstrukcí posahují od -15,02 do -9,74 °C. Ještě uprostřed podlahové konstrukce lze pozorovat znatelný rozdíl minimálních teplot a to až 2,57 °C. Pro sledovanou linii na podlaze v interiéru se hodnoty pohybují od 10,08 pro model dle ČSN EN ISO 6946 až po 10,70 °C pro model dle ČSN EN ISO 13370.

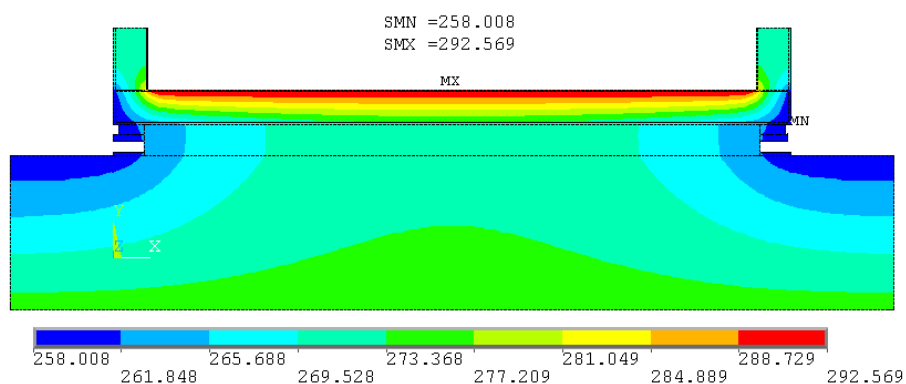
Výrazné rozdíly lze pozorovat i u maximálních hodnot. Model dle ČSN EN ISO 6946 vykazuje pod podlahou konstrukcí maximální hodnotu -14,97 °C, model dle ČSN EN ISO 13370 hodnotu blízkou nule a to -0,65 °C. Ve střední linii podlahové konstrukce je rozdíl lehce přes 7 °C, na podlaze v interiéru již jen 0,3 °C s hodnotami 19,12 a 19,42 °C.

	Minima (°C)			Maxima (°C)		
	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370	ČSN ... 6946	ČSN ... 10077-2	ČSN ... 13370
pod podl. konstr.	-15,02	-	-9,74	-14,97	-	-0,65
střed podl. konstr.	-2,77	-	-0,20	2,07	-	9,37
podlaha interiér	10,08	-	10,70	19,12	-	19,42

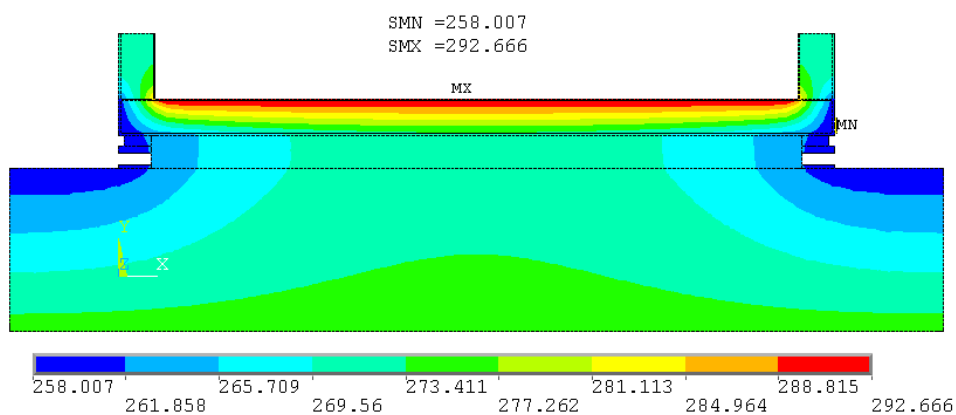
Tab. 11: Maxima a minima teplot při silně větrané vzduchové vrstvě

5.4. Různá materiálová skladba podlahové konstrukce pro modely dle ČSN EN ISO 13370

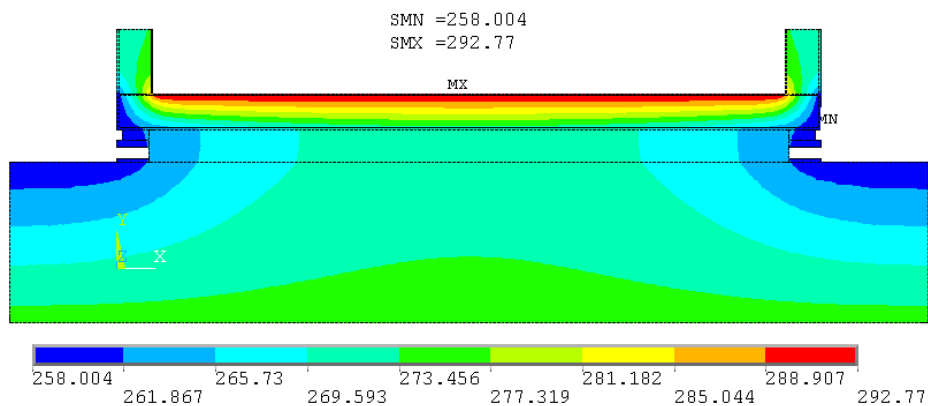
5.4.1 Průběh teplot pro různou materiálovou skladbu podlahové konstrukce



Obr. 21: Průběh teplot při použití tepelné konopné izolace



Obr. 22: Průběh teplot při použití tepelné izolace PUR

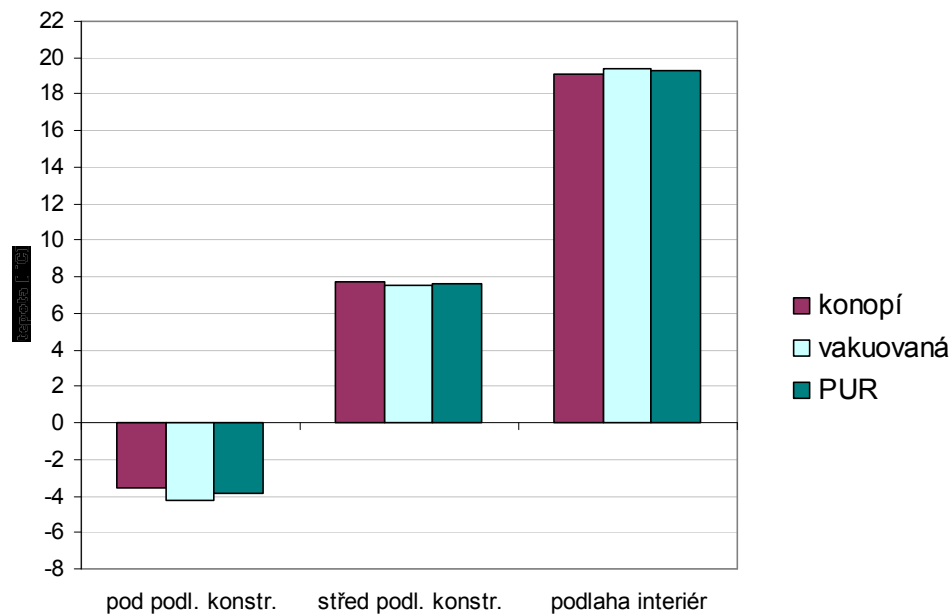


Obr. 23: Průběh teplot při použití vakuované tepelné izolace

5.4.2 Průměrné teploty pro různou materiálovou skladbu podlahové konstrukce

Při různých materiálových skladbách podlahových konstrukcí bylo cílem sledovat vliv různých typů tepelných izolací na sledované úrovně teplot. Na rozdíl od předchozích variant modelů je zde, v úrovni pod podlahovou konstrukcí, žádoucí dosažení co nejnižší průměrné teploty.

Z výsledků je patrné, rozdíly v průměrných teplotách nejsou výrazné. Znatelný rozdíl je patrný u teplot pod podlahovou konstrukcí, kde je největší rozdíl v průměrných teplotách $0,63\text{ °C}$ s hodnotou $-4,21\text{ °C}$ pro vakuovanou tepelnou izolaci, hodnotou $-3,89\text{ °C}$ pro izolaci PUR a $-3,58\text{ °C}$ pro termo konopí.



Graf 4: Průměrné teploty pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce

Průměrné teploty ve středu podlahové konstrukce se pohybují kolem $7,6\text{ °C}$, s nejnižší teplotou pro skladbu s vakuovanou tepelnou izolací. U teplot podlahy v interiéru jsou rozdíly také relativně malé, dosahují nejvíce $0,28\text{ °C}$ při průměrných teplotách od $19,15$ do $19,43\text{ °C}$.

	Průměrné hodnoty (°C)		
	konopí	vakuovaná	PUR
pod podl. konstr.	-3,58	-4,21	-3,89
střed podl. konstr.	7,69	7,52	7,60
podlaha interiér	19,15	19,43	19,28

Tab. 12: Průměrné teploty pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce

Vliv nejnižší hodnoty součinitele tepelné vodivosti vakuované izolace ze všech použitých izolačních materiálů se projevuje také u minimálních hodnot, které jsou pro skladbu s touto izolací nejpříznivější – u minimálních hodnot pod podlahovou konstrukcí dosahuje -10,06 °C, kdy ostatní tepelné izolanty dosahují hodnot -9,74 a -9,9 °C. Ve středu podlahové konstrukce minimální hodnoty pro vakuovanou tepelnou izolaci dokonce nabývají oproti ostatním kladných hodnot a to až 0,23 °C. Minimální teploty na podlaze interiéru se pohybují od 10,70 do 12,95 °C.

Maximální dosažené teploty pod podlahou konstrukcí nedosáhly v žádném modelu kladných hodnot a pohybují se mezi -1,42 a -0,65 °C. Maxima ve středu podlahové konstrukce lze nalézt mezi 9,09 a 9,37 °C a hodnoty pro podlahu v interiéru mezi 19,42 a 19,62 °C.

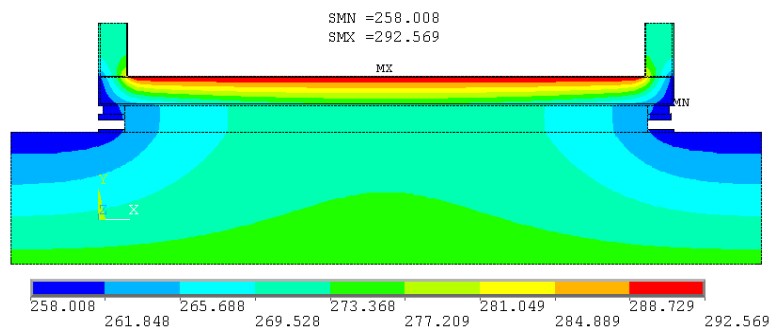
	Minima (°C)			Maxima (°C)		
	konopí	vakuovaná	PUR	konopí	vakuovaná	PUR
pod podl. konstr.	-9,74	-10,06	-9,90	-0,65	-1,42	-1,02
střed podl. konstr.	-0,20	0,23	-0,01	9,37	9,09	9,24
podlaha interiér	10,70	12,95	11,72	19,42	19,62	19,52

Tab. 13: Minima a maxima teplot pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce

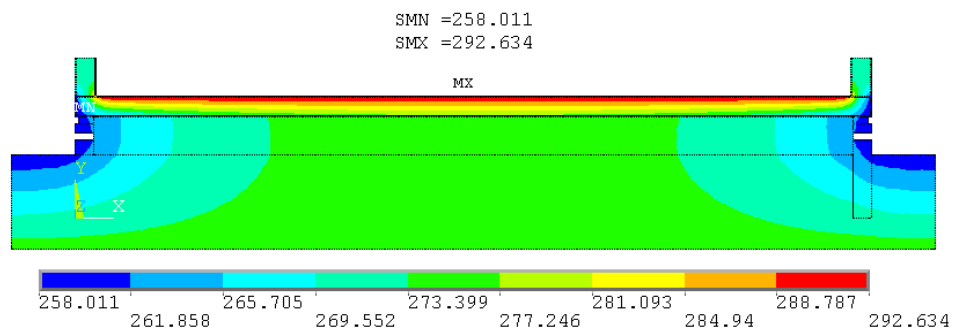
Rozdíly ve výsledných teplotách ve sledovaných vrstvách pro všechny varianty tepelně izolačních materiálů jsou ovšem velmi malé, což je způsobeno obecně velmi dobrými vlastnostmi současných tepelně izolačních materiálů a nepotvrdil se tedy znatelný vliv použití toho či onoho typu tepelné izolace.

5.5. Vzduchové mezery různých rozměrů pro modely dle ČSN EN ISO 13370

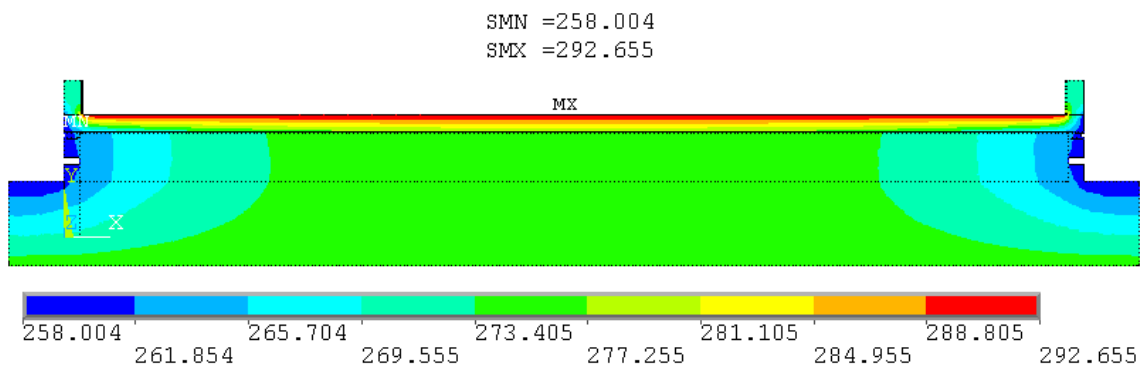
5.5.1 Průběh teplot ve vzduchových mezerách různých rozměrů



Obr. 24: Průběh teplot ve vzduchové vrstvě o rozměrech 0,3 x 6 m



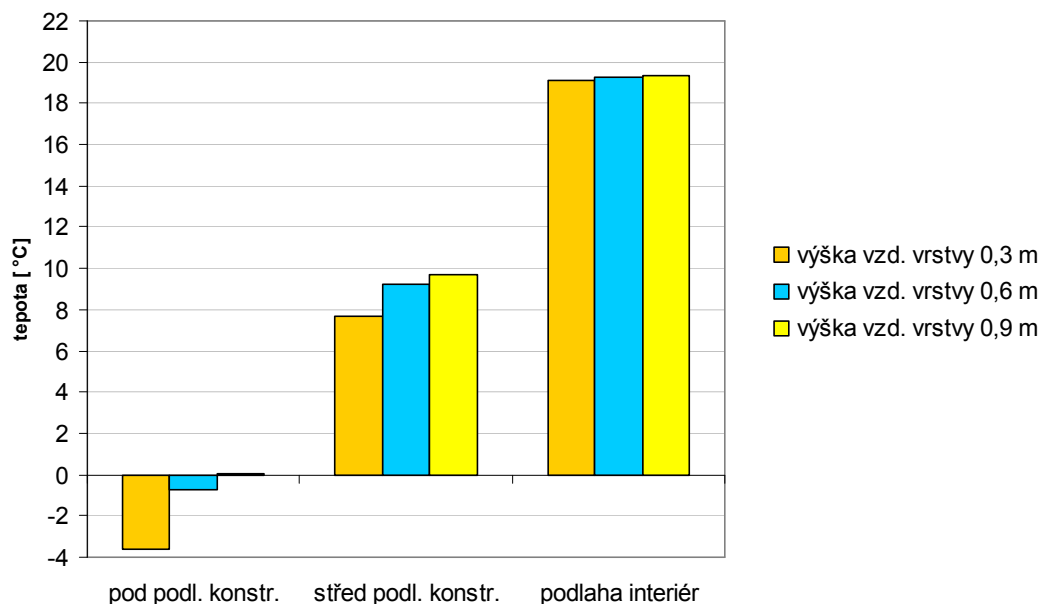
Obr. 25: Průběh teplot ve vzduchové vrstvě o rozměrech 0,6 x 12 m



Obr. 26: Průběh teplot ve vzduchové vrstvě o rozměrech 0,9 x 18 m

5.5.2 Průměrné teploty pro různé rozměry vzduchové vrstvy

Vzduchové vrstvy různých rozměrů, zejména výšky při daném poměru štíhlosti a stabilním rozměru větracích otvorů, zaznamenaly znatelné rozdíly v průměrných teplotách ve sledované úrovni pod podlahovou konstrukcí a také ve středové linii podlahové konstrukce.



Graf 5: Průměrné teploty pro různé rozměry vzduchové vrstvy

Pod podlahovou konstrukcí se teploty pohybují v záporných hodnotách pro výšky vzduchových mezer 0,3 a 0,6 m s průměrnými teplotami $-3,58$ a $-0,76$ °C a kladné hodnotě pro výšku 0,9 m s průměrnou teplotou $0,07$ °C.

	Průměrné hodnoty (°C)		
	výška 0,3 m	výška 0,6 m	výška 0,9 m
pod podl. konstr.	-3,58	-0,76	0,07
střed podl. konstr.	7,69	9,24	9,70
podlaha interiér	19,15	19,31	19,34

Tab. 14: Průměrné teploty pro různé rozměry vzduchové vrstvy

Průměrné teploty ve středové linii podlahové konstrukce se pro výšku mezery 0,3 m rovnají $7,69$ °C, pro výšky mezery 0,6 a 0,9 m již $9,24$ a $9,70$ °C. Pro průměrnou teplotu na podlaze v interiéru lze opět pozorovat nejnižší teplotu pro výšku vzduchové mezery 0,3 m a to $19,15$ °C a hodnoty $19,31$ a $19,34$ °C pro větší dimenze vzduchových vrstev.

Minimální hodnoty teplot nevykazují velké výkyvy pro všechny sledované varianty modelu, minima pod podlahovou konstrukcí se pohybují od -9,74 po -9,47 °C a jsou orientovány v místech větracích otvorů. Středová linie podlahové konstrukce vykazuje malé rozdíly a to s hodnotami od -0,20 do -0,02 °C. Na úrovni podlahy interiéru se minima pohybují mezi 9,99 a 10,7 °C.

Maximální hodnoty ve sledované úrovni pod podlahovou konstrukcí se pro výšku 0,3 m blíží nule s hodnotou -0,65 °C, u ostatních modelů dosahují 2,41 až 3,43 °C. Ve středové linii jsou maxima od 9,37 do 11,47 °C s nejvyšší hodnotou pro největší dimenzi vzduchové mezery a na podlaze interiéru lze zaznamenat již jen malý rozdíl v maximálních teplotách a to 0,09 °C.

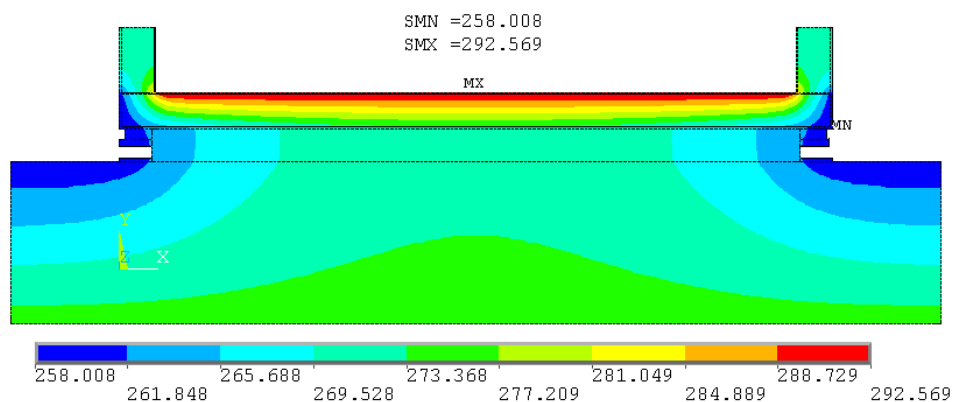
	Minima (°C)			Maxima (°C)		
	výška 0,3 m	výška 0,6 m	výška 0,9 m	výška 0,3 m	výška 0,6 m	výška 0,9 m
pod podl. konstr.	-9,74	-9,47	-9,58	-0,65	2,41	3,43
střed podl. konstr.	-0,20	-0,02	-0,19	9,37	10,95	11,47
podlaha interiér	10,70	10,70	9,99	19,42	19,48	19,51

Tab. 15: Maxima a minima teplot pro různé rozměry vzduchové vrstvy

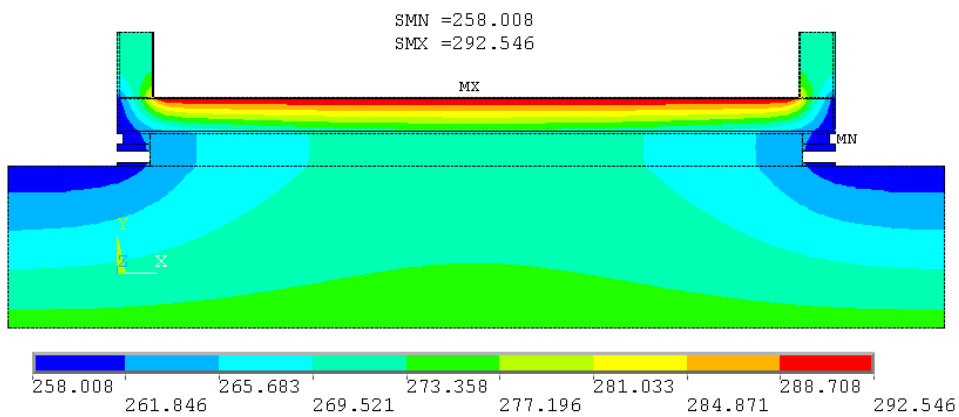
Je tedy evidentní, že se zvětšujícím se objemem vzduchu a tedy klesajícím poměrem větracích otvorů na metr základů roste průměrná teplota v této vzduchové kapse. Neroste ale přímo úměrně, s přibývajícím šířkou i výškou při zachovaném poměru štíhlosti roste průměrná teplota v menší míře než rozměry.

5.6. Různé intenzity odvětrávání pro modely dle dle ČSN EN ISO 13370

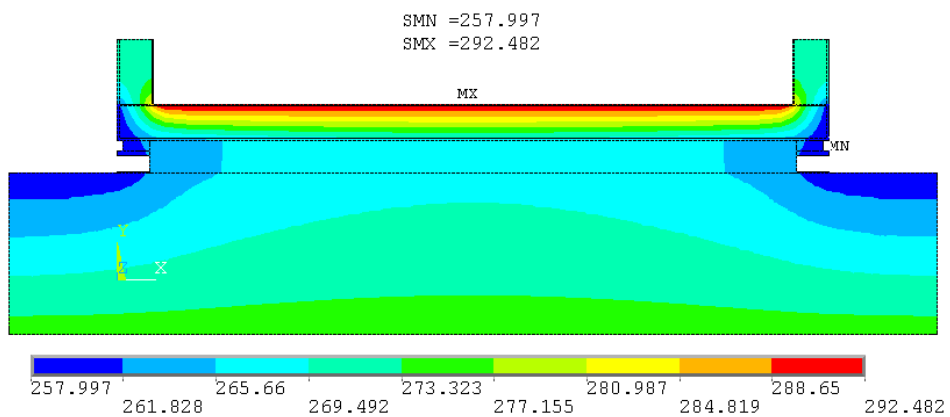
5.6.1 Průběh teplot dle různých intenzit odvětrávání



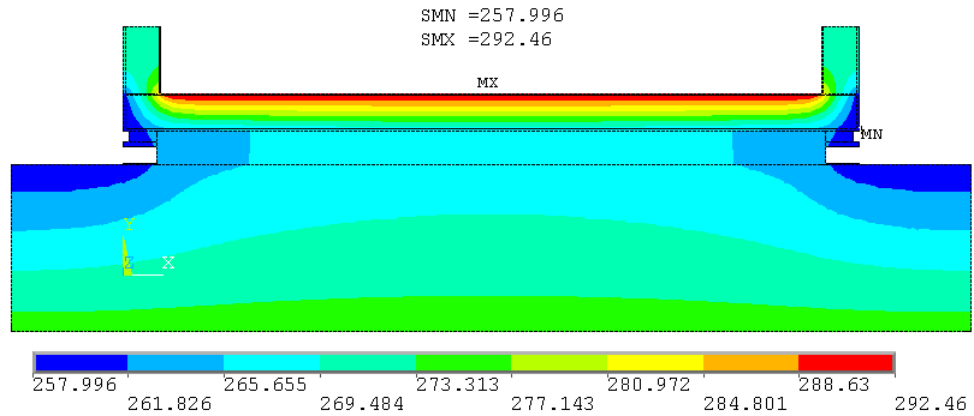
Obr. 27: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 0,147 %)



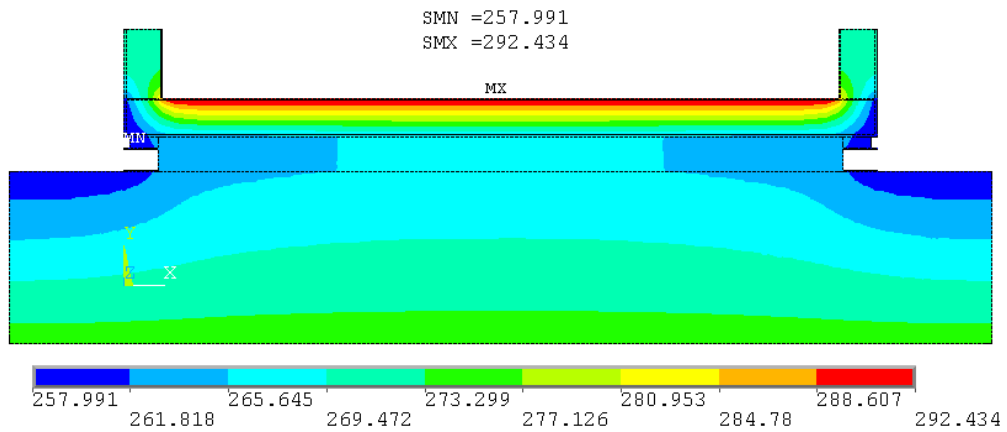
Obr. 28: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 5 %)



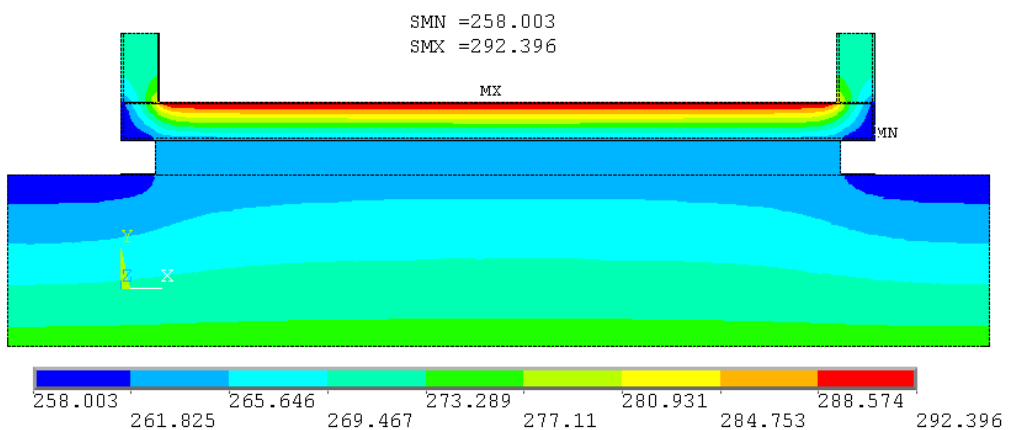
Obr. 29: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 15 %)



Obr. 30: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 25 %)



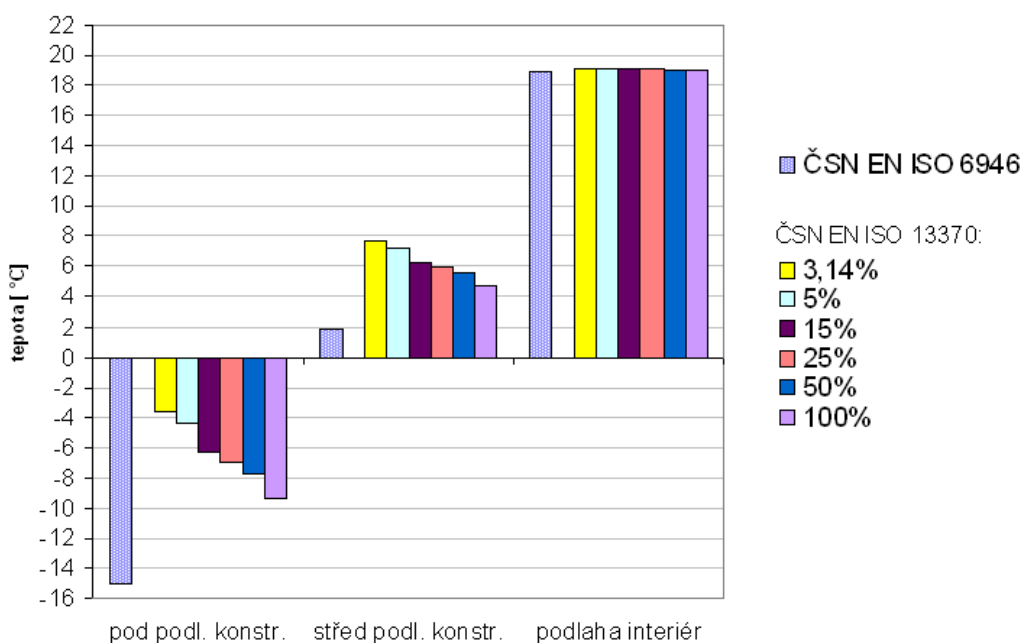
Obr. 31: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 50 %)



Obr. 32: Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 100 %)

5.6.2 Průměrné teploty pro různou intenzitu odvětrávání vzduchové mezery

Analýza různé intenzity odvětrávání vzduchové mezery se snaží odpovědět na otázku, zda a jaký vliv má míra odvětrávání na průměrné teploty ve sledovaných vrstvách. Pro porovnání výsledků je uvedena i hodnota výpočtu dle ČSN EN ISO 6946, kterou lze považovat za krajní variantu a zobrazuje výsledky pro silně větranou vzduchovou mezeru (dílní míry odvětrávání silně větrané vzduchové mezery tato norma neřeší).



Graf 6: Průměrné teploty pro různé intenzity odvětrávání

U průměrných teplot pod podlahovou konstrukcí lze pozorovat značné rozdíly. Průměrná teplota dle ČSN EN ISO 13370 postupně klesá se zvětšující se mírou odvětrávání od hodnoty $-3,58\text{ }^{\circ}\text{C}$ k nejnižší hodnotě $-9,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro maximální máru odvětrávání, zatímco dle ČSN EN ISO 6946 je průměrná teplota pod podlahovou konstrukcí nižší o více jak $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a to $-14,97\text{ }^{\circ}\text{C}$ prakticky pro jakoukoli míru odvětrávání, která je definovaná již jako silná.

	Průměrné hodnoty ($^{\circ}\text{C}$)						
	ČSN EN ISO 6946	ČSN EN ISO 13370					
	<i>silně větraná</i>	3,14%	5%	15%	25%	50%	100%
pod podl. konstr.	-14,97	-3,58	-4,31	-6,31	-6,93	-7,70	-9,31
střed podl. konstr.	1,85	7,69	7,31	6,28	5,96	5,56	4,72
podlaha interiér	18,90	19,15	19,13	19,09	19,08	19,06	19,02

Tab. 16: Průměrné teploty pro různé míry odvětrávání

Ve středové linii podlahové konstrukce dochází také k velkým teplotním rozdílům pro modelové varianty. Dle ČSN EN ISO 13370 se hodnoty pohybují od 7,69 °C až k 4,72 °C pro 100% míru odvětrávání, dle ČSN EN ISO 6946 se hodnota rovná 1,85 °C. U průměrných hodnot v úrovni interiéru se již rozdíly ztrácí a velmi dobré tepelně izolační vlastnosti tepelné izolace zajišťují teploty kolem 19 °C u všech sledovaných variant.

	Minima (°C)						
	ČSN EN ISO 6946	ČSN EN ISO 13370					
	<i>silně větraná</i>	3,14%	5%	15%	25%	50%	100%
pod podl. konstr.	-15,02	-9,74	-9,40	-9,06	-8,79	-8,76	-10,10
střed podl. konstr.	-2,77	-0,20	-0,10	-0,04	0,05	0,00	-0,96
podlaha interiéru	10,08	10,70	10,72	10,73	10,74	10,73	10,53

Tab. 17: Minimální teploty pro různé míry odvětrávání

U minimálních teplot je značný rozdíl v teplotách pod podlahovou konstrukcí modelů dle různých normativních přístupů a to až kolem 5 °C, kdy různé míry odvětrávání vykazují hodnoty od -10,10 do -8,76 °C, zatímco model dle ČSN EN ISO 6946 vykazuje minimální hodnotu -15,02 °C. Ve středu podlahové konstrukce už rozdíl dělá jen kolem 2 °C, na podlaze v interiéru jsou rozdíly v minimech velmi malé.

	Maxima (°C)						
	ČSN EN ISO 6946	ČSN EN ISO 13370					
	<i>silně větraná</i>	3,14%	5%	15%	25%	50%	100%
pod podl. konstr.	-14,97	-0,65	-1,77	-4,82	-5,90	-7,10	-8,96
střed podl. konstr.	2,07	9,37	8,80	7,25	6,70	6,09	5,14
podlaha interiéru	19,12	19,42	19,40	19,33	19,31	19,28	19,25

Tab. 18: Maximální teploty pro různé míry odvětrávání

Maximální teploty pro model dle ČSN EN ISO 13370 klesají signifikantně se zvětšující se mírou odvětrávání od -0,65 do -8,96 °C, nicméně z daleka nedosahují hodnoty dle ČSN EN ISO 6946, která se rovná -14,97 °C. Ve středu podlahové konstrukce tento trend pokračuje a hodnoty dle ČSN EN ISO 13370 vykazují maxima od 9,37 do 5,14 °C, zatímco pro model dle ČSN EN ISO 6946 maximum činí 2,07 °C. V úrovni podlahové konstrukce se již rozdíly stírají a hodnoty všech modelových variant vykazují teploty kolem 19 °C.

Z výše uvedených výsledků teplot pro jednotlivé míry odvětrávání silně větrané vzduchové mezery je patrné, že volba normativního přístupu zásadním způsobem ovlivňuje pohled na průběh teplot ve vzduchové mezeře a jeví se jako žádoucí na tento vzduchový prostor neaplikovat jednoduše podmínky a teploty vzduchu exteriéru, jako to doporučuje norma ČSN EN ISO 6946, ale tuto vzduchovou kapsu při konkrétní míře odvětrávání parametrizovat přesnějším výpočtem, který nabízí např. ČSN EN ISO 13370.

6 Závěr a diskuze

Založení dřevostavby nad terénem, s existencí vzduchové vrstvy pod podlahovou konstrukcí, je častým typem založení těchto typů staveb, což je dovoleno hlavně relativně nízkou hmotností stavby.

Tento typ založení poskytuje mnohé výhody, jako např. finanční úspora, odpadá nutnost přesunu velkého množství zeminy, úsporu či dokonce eliminaci použití betonu a snížení tak ekologické stopy stavby. Může vyvolávat však také řadu otázek. Na otázku, jaký má tento typ založení vliv na průběh teplot v podlahové konstrukci a potažmo vliv na tepelnou pohodu domu, hledala odpověď analýza v této diplomové práci.

Numerická analýza modelů založení na vzduchové vrstvě byla provedena v prostředí programu ANSYS. Modelové situace sledovaly tyto aspekty:

- nevětrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m
- slabě větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m
- silně větrané vzduchové vrstvy o tloušťce 0,3 m
- různé materiálové skladby podlahové konstrukce u silně větraných vzduchových vrstev o tloušťce 0,3 m
- různé rozměry silně větrané vzduchové mezery
- různé intenzity větrání silně větrané vzduchové mezery

Klíčovým faktorem analýzy bylo určení součinitele tepelné vodivosti vzduchu ve vzduchové mezeře, jehož hodnota je nezbytná jako vstupní údaj analýzy. Posouzení tepelné vodivosti vzduchu je komplexní úkol, svou roli hraje teplota, vlhkost, rychlost proudění, míra odvětrávání, emisivita okolních povrchů, rozměry vzduchové vrstvy atd. Pro tyto typy výpočtů nabízí doporučené postupy české státní normy a vybraných normativních postupů bylo využito i pro výpočet součinitele tepelné vodivosti vzduchu ve vzduchové mezeře pro potřeby této práce. Výpočty byly prováděny dle postupů doporučených v ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10077-2 a ČSN EN ISO 13370.

Pro modelové varianty byla v analýze sledována průměrná, minimální a maximální teplota na spodní hraně podlahové konstrukce, v jejím středu a na podlaze v interiéru, při teplotě interiéru rovné 20 °C a teplotě exteriéru -15 °C.

Pro nevětranou vzduchovou mezeru dosáhla průměrná teplota pod podlahovou konstrukcí od 0,06 do 0,57 °C, ve středu podlahové konstrukce 9,39 - 9,51 °C, na úrovni podlahy 19,22 - 19,23 °C.

Pro slabě větranou vzduchovou mezeru (větrací otvory do 0,15 %) byla vypočtena teplota pod podlahovou konstrukcí ve výši -1,78 až -0,55 °C, ve středu podlahové konstrukce 8,44 – 9,1 °C a na podlaze v interiéru 19,18 - 19,20 °C.

Pro silně větranou vzduchovou vrstvu (větrací otvory tvoří 3,16 %) nebyly počítány hodnoty dle ČSN EN ISO 10077-2 : 2012, jelikož norma postup neuvádí. Dle ČSN EN ISO 6946 a ČSN EN ISO 13370 jsou průměrné hodnoty teplot následující: pod podlahovou konstrukcí rovna -14,97 °C a -3,58 °C, ve středu 1,85 °C a 7,69 °C a na úrovni podlahy interiéru 18,90 °C a 19,15 °C.

Je patrné, že na teplotu v úrovni podlahy nemá signifikantní vliv ani použitý způsob výpočtu ani míra odvětrávání vzduchové mezery. Ve středové linii podlahové konstrukce jsou rozdíly také velmi malé a to 1 – 2 °C. U silně větraných vzduchových mezer poskytují různé normativní přístupy velmi odlišné výsledky. Dle ČSN EN ISO 6946 se prakticky nebere v úvahu možný pozitivní vliv existence vzduchové mezery na průběh teplot a teplota pod podlahovou konstrukcí se pak pohybuje kolem -14,97 °C, za to dle ČSN EN ISO 13370 lze opět vypočíst ekvivalentní součinitele tepelné vodivosti vzduchu v mezeře a ten do modelu dosadit a obdržet tak průměrnou teplotu ve stejné sledované linii rovnu hodnotě -3,58 °C. Tato hodnota souvisí s mírou větrání 3,16 %, což odpovídá kruhovému otvoru o průměru 0,110 m na metr základové konstrukce.

Model dle ČSN EN ISO 13370 byl dále podroben analýze vlivu zvýšené míry větrání a to od 5 do 100 %. Průměrná teplota ve sledované linii pod podlahovou konstrukcí se pohybuje mezi -4,31 a -9,31 °C, takže i při maximální míře odvětrávání zdaleka nedosahuje hodnoty -14,97 °C, vypočtené dle ČSN EN ISO 6946. V úrovni středu podlahové konstrukce existují rozdíly mezi výsledky dle těchto dvou normativních přístupů až 5 °C, v úrovni podlahy je rozdíl již jen v desetínách stupně Celsia.

Je tedy patrný značný rozdíl při použití toho či onoho normativního přístupu.

Vzduchové vrstvy mohou nabývat různých rozměrů. Pro vzduchové kapsy je určující parametr jejich štíhlost, a tak byl vliv rozměrů kavity analyzován, při zachování stejného poměru štíhlosti, na modelech vzduchových mezer o rozměrech 0,3 x 6 m, 0,6 x 12 m a 0,9 x 18 m, vždy pro silně větranou mezeru (kruhový otvor o průměru 0,110 m na metr základové konstrukce) a s dílčími výpočty dle ČSN EN ISO 13370. Znatelný rozdíl byl zřejmý prakticky jen u teplot pod podlahovou konstrukcí, kdy nejmenší varianta zaznamenala -3,58 °C, zatímco varianty větších rozměrů kolem nuly. Výsledek jen potvrdil předpoklad, že v menší kavitě, při stejných větracích otvorech, dochází k intenzivnějšímu ochlazování ve srovnání s kavitami většími. Vzduchové mezery větších rozměrů dosahovaly při porovnání mezi sebou velmi podobných výsledků (rozdíl necelého stupně Celsia), i když rozdíl v jejich rozměrech je znatelný – změny rozměrů a teploty nejsou přímo úměrné. Tedy s dalším zvětšováním kavity, při stejném rozměru větracích otvorů, se rozdíly teplot stírají.

V současné době existuje na trhu nepřeberné množství tepelně izolačních materiálů. Pro posouzení vlivu různých skladeb podlahové konstrukce byly vybrány tři (vakuovaná izolace, izolace PUR a konopná vlna), s různým součinitelem tepelné vodivosti: 0,02, 0,03 a 0,04 W/(m.K). Rozdíly průměrných teplot pro všechny tři tepelně izolační materiály ve všech sledovaných liniích byly velmi malé, prakticky zanedbatelné. Na průběh teplot druh použité tepelné izolace nemá znatelný vliv, jelikož dnešní tepelně izolační materiály dosahují obecně velmi dobrých tepelně izolačních vlastností.

Výsledky tedy naznačují, že pouhé zahrnutí vzduchové mezery pod dřevostavbou do celkového exteriérového prostředí a aplikace teplot tohoto prostředí také na tuto vzduchovou vrstvu, jak je to doporučováno ČSN EN ISO 6946, není vhodným řešením.

Zejména u silně větraných vzduchových mezer se teplota vzduchu výrazně mění s měnící se intenzitou větrání a má tedy smysl tepelnou vodivost vzduchové mezery přesněji specifikovat, jelikož se to výrazně ovlivňuje výsledky výpočtů celkové tepelné náročnosti budovy - konstrukční detaily a skladby konstrukcí se dimenzují s přihlédnutím k očekávané výši teplot okolního vzduchu, tedy exteriéru a i teplot vzduchové mezery při tomto typu založení stavby, má volba přístupu k výpočtu dalekosáhlé následky do finanční, materiálové i ekologické oblasti projektu stavby.

V praxi by výsledky této analýzy mohly nasměrovat projektanty i investory k aplikaci přesnějších metod výpočtu teplot vzduchové vrstvy při založení dřevostavby nad terénem a tedy i k lepším a přesnějším projektům a z toho plynoucím výhodám.

V tepelně technických výpočtech, tedy i v těch, které nabízí české státní normy, dochází k jistému zjednodušení. Tyto návody se snaží do koeficientů a numerických členů matematických vztahů naroubovat proměnné, které jsou buď neznámé nebo jen odhadnuté na základě obvyklých hodnot. Použité normativní přístupy ČSN EN ISO 6946 se snaží zahrnout do svých kalkulací kromě všech typů přenosu tepla i velikost větracích otvorů a emisivitu potvrchů, ČSN EN ISO 10077-2 k tomu ještě přidává faktor tvaru dutin, ČSN EN ISO 13370 obsahuje také složky, které se snaží zachytit intenzitu větrání i rychlost proudění. Ve vzduchových vrstvách, umístěných v základových konstrukcích, existuje však vždy i vlhkostní pole, které je ovlivňováno mnoha parametry. Rozpracování a hlubší analýza interakce teplotního a vlhkostního pole ve vzduchové mezeře pod dřevostavbou by bylo zajímavým rozšířením této práce.

7 Summary

Founding a wooden structure above the ground level, with the existence of a crawl space under the floor structure, is rather frequent with such kind of structures, enabled primarily by a relatively low weight of these structures.

The numerical thermal analysis of models of founding on a crawl space was carried out in the ANSYS environment. The model situations monitored the effects of various ventilation intensity, various crawl space shape, and various material composition of the floor structure.

The calculation of the thermal conductivity coefficient of air inside the crawl space was carried out according to methods recommended in ČSN EN ISO 6946, ČSN EN ISO 10077-2:2012, and ČSN EN ISO 13370.

For the model alternatives, the average, minimum, and maximum temperatures at the bottom edge and in the centre of the floor structure and on the floor inside the house were monitored within the analysis, with interior temperature 20 °C and exterior temperature equal to -15 °C.

There were no significant differences in the average temperature measured in all areas monitored in non-ventilated and slightly ventilated crawl spaces. However, there were significant differences in temperature in intensely ventilated crawl spaces.

The selection of methodology is crucial even with different levels of ventilation intensity, and the average temperatures monitored may differ by as much as 10 °C.

For the crawl spaces of various shapes, a significant difference was monitored only in temperatures under the floor structure; differences in other levels were minimal.

The influence of thermal insulation materials with the thermal conductivity coefficients 0.02, 0.03 and 0.04 W/(m.K) was monitored for various material compositions of the floor structure. The model indicated that the type of the thermal insulation used has no appreciable influence on the temperature.

It may be concluded that the air temperature may change significantly with gradually changing ventilation intensity especially in ventilated crawl spaces. It is, therefore, worth to specify more precisely the thermal conductivity of the crawl space, because it may play a considerable role in the calculation of the total thermal demands of the structure. In practice it could lead to more accurate calculations of thermal losses of structures and consequent project optimisation and possible financial and material saving.

8 Literatura

8.1. Seznam knižních děl

Bažant, Z: Zakládání staveb, 1967. 2. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury. Typové číslo L 17-C3-IV-41/7812/IX. 328 s.

Bažant, Z: Metody zakládání staveb, 1973. 2. vyd. Praha: Academia. 509-21-875. 652 s.

Kolb, J.: Dřevostavby, systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště. 2011. 3. aktualizované vydání. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-4071-3

Vaverka, J. , Havířová, Z, Jindrák, M. a kol. 2008. Dřevostavby pro bydlení. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-2205-4. 376 s.

8.2. Použité normy

ČSN 73 0540-3, Tepelná ochrana budov: Část 3: Návrhové hodnoty veličin, 2005.

ČSN EN ISO 6946, Stavební prvky a stavební konstrukce - Tepelný odpor a součinitel prostupu tepla - Výpočtová metoda, 2008

ČSN EN ISO 10077-2, Tepelné chování oken, dveří a okenic - Výpočet součinitele prostupu tepla - Část 2: Výpočtová metoda pro rámy, 2012

ČSN EN ISO 13370, Tepelné chování budov - Přenos tepla zeminou - Výpočtové metody, 2009

8.3. Znalostní databáze

Werther, N., Winter, S.: Climatic conditions in crawl spaces below thermal insulated wooden base plates [online]. Citováno dne 21.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

LANGLEY R F: Micro-climate crawl space system for controlling temperature and humidity in a crawl space of a building has a durable thermal insulating sealing apparatus that covers interior side of foundation wall and expels water vapor from crawl space. [online]. Citováno dne 21.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Sekino, N.: Temperatures and humidities in floors and in their under spaces of a wood framed building at a cold district. [online]. Citováno dne 21.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Matilainen, M., Kurnitski, J.: Moisture conditions in highly insulated outdoor ventilated crawl spaces in cold climates. [online]. Citováno dne 21.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Matilainen, M., Kurnitski, J.: Moisture conditions and energy consumption in heated crawl spaces in cold climates. [online]. Citováno dne 21.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Malapert P.: Method for thermally regulating part of e.g. building incorporating crawl space by forced ventilation circuit, involves allowing crawl space to act as buffer volume between outside building and interior of part to be ventilated. [online]. Citováno dne 21.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

DUINEVELD M L J: Insulating ground beneath building, especially crawling spaces, using a combination of an insulation layer and a moisture barrier layer. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Lynn, M. M.: Crawl spaces as reservoirs for transmission of mold to the livable part of the home environment. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Reese T. A.: Ventilation system for use in crawl space, has main switch of controller unit to directly transmit electrical power to turn on fan unit and to activate control logic circuits for air temperature and humidity controls. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Carpenter P. W.: Ventilation of the space below structures. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Aounallah, M: Numerical shape optimization of a confined cavity in natural convection regime. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Jamalabadi, A.: Numerical investigation of thermal radiation effects on open cavity with discrete heat sources. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Lal, A.: Numerical prediction of natural convection in vented cavities using restricted domain approach. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Zhan, N.Y.: A two-dimensional study on natural convection and heat transfer in the enclosure with heat transfer and radiation coupled in natural convection. [online]. Citováno dne 22.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Welusamy, K.: Interaction effects between surface radiation and turbulent natural convection in square and rectangular enclosures. [online]. Citováno dne 23.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Nouanegue, N. F.: Heat transfer by natural convection, conduction and radiation in an inclined square enclosure bounded with a solid wall. [online]. Citováno dne 23.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

El Ayachi, R.: Combined Effects of radiation and natural convection in a square cavity submitted to two combined modes of cross gradients of temperature. [online]. Citováno dne 23.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Wang, Z.: Oscillation and Chaos in Combined Heat Transfer by Natural Convection, Conduction, and Surface Radiation in an Open Cavity

Salehl, H.: Conjugate natural convection in an open-ended porous square cavity. [online]. Citováno dne 23.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Ridouane, H.: Thermal Performance of Uninsulated and Partially Filled Wall Cavities. [online]. Citováno dne 25.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

Sanchez, M.: Experimental assessment of the performance of open joint ventilated facades with buoyancy-driven airflow. [online]. Citováno dne 25.9.2015. Dostupné z WWW: <https://webofknowledge.com>

8.4. Internetové zdroje

Volf, I., Jarešová, M. Ouhrabka, M.: Studijní text pro řešitele FO a ostatní zájemce o fyziku. [online]. Citováno dne 21.2.2016. Dostupné z WWW: http://www.jaroska.cz/fo/_media/archiv/knihovna/fyzika7.pdf

Kingspan vakuovaná izolace: Parametry součinitele tepelné vodivosti. [online]. Citováno dne 23.2.2016. Dostupné z WWW: <http://www.kingspaninsulation.cz/>

9 Seznam obrázků

Obr. 1:	Rámová nosná konstrukce (vlevo) (zdroj: www.woodsystm.cz)	15
Obr. 2:	Montovaná dřevostavba, prefabrikace v hale (vpravo) (www.ceskestavby.cz) ...	15
Obr. 3:	Skeletová stavba (www.venkovskydum.cz)	16
Obr. 4:	Masivní dřevostavba z panelů (ww.nazeleno.cz)	18
Obr. 5:	Založení domu na pěnoscle v bedněné jámě (vlevo) a na deskové izolaci z extrudovaného polystyrenu (vpravo) (www.tzb-info.cz).....	20
Obr. 6:	Založení dřevostavby na pásech, prostor průlezný a částečně větraný (www.drevoastavby.cz)	21
Obr. 7:	Budování kamenných základů pro stavbu (https://archistrata.signal.cz).....	22
Obr. 8:	Založení stavby na betonových patkách (www.tbf-drevostavby.cz).....	23
Obr. 9:	Stavba založená na mikropilotech (stavba.tzb-info.cz)	24
Obr. 10:	Použití zemních vrutů pro založení dřevostavby (www.zemnivruty.cz).....	25
Obr. 11:	Využití starých pneumatik pro založení dřevostavby (www.middleearthhome.com)	25
Obr. 12:	Schema modelu pro řešení úlohy.....	33
Obr. 13:	Průběh teplot v nevětrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 6946	56
Obr. 14:	Průběh teplot v nevětrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 10077-2.....	56
Obr. 15:	Průběh teplot v nevětrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 13370	56
Obr. 16:	Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 6946.....	59
Obr. 17:	Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 10077-2.....	59
Obr. 18:	Průběh teplot ve slabě větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 13370.....	59
Obr. 19:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 6946	62
Obr. 20:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře dle ČSN EN ISO 13370	62
Obr. 21:	Průběh teplot při použití tepelné konopné izolace.....	65
Obr. 22:	Průběh teplot při použití tepelné izolace PUR.....	65
Obr. 23:	Průběh teplot při použití vakuované tepelné izolace	65
Obr. 24:	Průběh teplot ve vzduchové vrstvě o rozměrech 0,3 x 6 m	68
Obr. 25:	Průběh teplot ve vzduchové vrstvě o rozměrech 0,6 x 12 m	68
Obr. 26:	Průběh teplot ve vzduchové vrstvě o rozměrech 0,9 x 18 m	68

Obr. 27:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 0,147 %)	71
Obr. 28:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 5 %)	71
Obr. 29:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 15 %)	71
Obr. 30:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 25 %)	72
Obr. 31:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 50 %)	72
Obr. 32:	Průběh teplot v silně větrané vzduchové mezeře (otvory 100 %)	72

10 Seznam tabulek

Tab. 1:	Použité hodnoty součinitelů tepelné vodivosti (zdroj: Vaverka a kol. 2008, www.kingspaninsulation.cz).....	34
Tab. 2:	Vypočtené součinitele tepelné vodivosti dle různých norem	46
Tab. 3:	Vypočtené součinitele tepelné vodivosti slabě větrané vzduchové vrstvy dle sledovaných norem	49
Tab. 4:	Vypočtené součinitele tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy dle sledovaných norem	51
Tab. 5:	Součinitele tepelné vodivosti silně větrané vzduchové vrstvy různé intenzity.....	55
Tab. 6:	Průměrné teploty při nevětrané vzduchové vrstvě“	57
Tab. 7:	Maxima a minima teplot při nevětrané vzduchové vrstvě.....	58
Tab. 8:	Průměrné teploty při slabě větrané vzduchové vrstvě	60
Tab. 9:	Maxima a minima teplot při slabě větrané vzduchové vrstvě	61
Tab. 10:	Průměrné teploty při silně větrané vzduchové vrstvě.....	63
Tab. 11:	Maxima a minima teplot při silně větrané vzduchové vrstvě	64
Tab. 12:	Průměrné teploty pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce	67
Tab. 13:	Minima a maxima teplot pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce	67
Tab. 14:	Průměrné teploty pro různé rozměry vzduchové vrstvy	69
Tab. 15:	Maxima a minima teplot pro různé rozměry vzduchové vrstvy	70
Tab. 16:	Průměrné teploty pro různé míry odvětrávání	73
Tab. 17:	Minimální teploty pro různé míry odvětrávání.....	74
Tab. 18:	Maximální teploty pro různé míry odvětrávání	74

11 Seznam grafů

Graf 1:	Průměrné teploty při nevětrané vzduchové vrstvě.....	57
Graf 2:	Průměrné teploty při slabě větrané vzduchové mezeře	60
Graf 3:	Průměrné teploty při silně větrané vzduchové mezeře	63
Graf 4:	Průměrné teploty pro různé materiálové skladby podlahové konstrukce	66
Graf 5:	Průměrné teploty pro různé rozměry vzduchové vrstvy	69
Graf 6:	Průměrné teploty pro různé intenzity odvětrávání.....	73