



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

MATEMATICKÁ SIMULACE PRŮBĚHU TEPLOT V PODZÁKLADÍ A VYTVOŘENÍ MODELU ODPOVÍDAJÍCÍHO REÁLNÉMU STAVU

MATHEMATICAL SIMULATION OF TEMPERATURE PROFILE IN THE
SUBSOIL AND CREATION OF A MODEL CORRESPONDING ITS REAL STATE

DISERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. Pavlína Charvátová

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAREL ČUPR, CSc.

BRNO 2020

ABSTRAKT

Stále se zvyšující požadavky na nízké tepelné ztráty a energetickou náročnost budovy ovlivňují energetické výpočty. Jsou kladeny vyšší požadavky na přesnost výpočtů. Důležitou součástí tepelnotechnických výpočtů je stanovení správných okrajových podmínek. Důležitým vstupním faktorem je především vnitřní a vnější prostředí a pro toto prostředí je nejdůležitějším parametrem převážně teplota. Nejedná se vždy pouze o teplotu vnějšího prostředí, ale prostředí, které přiléhá k zemině nebo k nevytápěným či jinak vytápěným prostorům.

Možnosti modelování teplot pod objektem jsou popsány v normě ČSN EN ISO 10211. Tato norma stanovuje podrobnosti pro geometrický model pro numerický výpočet tepelných toků ke zhodnocení celkové tepelné ztráty budov nebo její části a také pro odvození lineárních a bodových činitelů prostupu tepla; dále pro výpočet minimálních povrchových teplot ke zhodnocení rizika povrchové kondenzace a stanovení teplotních faktorů povrchu. Jedná se o dva odlišné výpočtové modely.

Proto by bylo vhodné tyto výpočty zjednodušit formou zjednodušení okrajových podmínek, a sice v určité úrovni pod terénem vést izoterma, která bude považována za okrajovou podmínku, což vychází také z dlouhodobých zkušeností s "nezámraznou" hloubkou. Tento výpočet by byl jednoznačný, přehledný a jednoduchý.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zemina, terén, základová půda, založení objektu, teplotní pole, teplota, izoterma, minimální povrchová teplota, teplotní faktor vnitřního povrchu, tepelný tok, potřeba tepla na vytápění.

ABSTRACT

Increasing demands for low heat losses and energy intensity of a building influence energy calculations. Higher demands are placed on the accuracy of the calculations. An important part of the thermal engineering calculations is the determination of the correct boundary conditions. An important input factor is primarily the indoor and outdoor environment, and temperature is the most important parameter for these types of environment. It is not always the temperature of the external environment, but the environment that is adjacent to the soil or to unheated or differently heated spaces.

The possibilities of modeling temperatures below the object are described in the standard ČSN EN ISO 10211. This standard specifies details for a geometric model for the numerical calculation of heat flows to assess the total heat loss of buildings or parts thereof, as well as to derive linear and point heat transfer factors. Furthermore, to calculate minimum surface temperatures to assess the risk of surface condensation and to determine the surface temperature factors. These are two different computational models.

Therefore, it would be appropriate to simplify these calculations by simplifying the boundary conditions, namely to conduct an isotherm at a certain level below the terrain, which will be considered as a boundary condition, which is also based on long-term experience with "frost-free" depth. This calculation would be unambiguous, clear and simple.

KEYWORDS

Soil, terrain, foundation soil, foundation of object, temperature field, temperature, isotherm, minimum surface temperature, internal surface temperature factor, heat flow, heat demand for heating.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Ing. Pavlína Charvátová *Matematická simulace průběhu teplot v podzákladi a vytvoření modelu odpovídajícího reálnému stavu*. Brno, 2019. 169 s., 4 s. příl. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemního stavitelství. Vedoucí práce Ing. Karel Čupr, CSc.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci s názvem Matematická simulace průběhu teplot v podzákladi a vytvoření modelu odpovídajícího reálnému stavu zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

Ing. Pavlína Charvátová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé disertační práce, Ing. Čuprovi, CSc., za cenné rady a připomínky.

Děkuji za poskytnuté informace Geofyzikálnímu ústavu Akademie věd České republiky, především Ing. Krešlovi, CSc.

V neposlední řadě bych ráda poděkovala rodině za jejich trpělivost a podporu v průběhu mého studia.

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Současný stav řešené problematiky	11
2.1	Možnosti modelování teplot pod objektem.....	12
2.1.1	Výpočet povrchových teplot.....	12
2.1.2	Výpočet tepelných toků	14
2.1.3	Výpočet tepelných ztrát	18
3	Klimatické údaje	20
3.1	Klima České republiky.....	20
3.1.1	Roční chod počasí.....	20
3.1.2	Teplota vzduchu.....	21
3.1.3	Rychlost a směr větru	24
3.1.4	Sluneční záření.....	24
3.1.5	Sníh	25
3.1.6	Teplota půdy	26
4	Zemina	32
4.1	Geotechnický průzkum	32
4.2	Vlastnosti zemin.....	34
4.2.1	Základní fyzikální vlastnosti zemin.....	34
4.2.2	Zrnitost zeminy	34
4.2.3	Voda v zemině	34
4.2.4	Konzistence zeminy	35
4.2.5	Klasifikace zemin	36
5	Zemina v tepelnotechnických výpočtech.....	39
5.1	Součinitel tepelné vodivosti	39

5.2	Teplota v zemině	40
6	Normové požadavky	44
6.1	Součinitel prostupu tepla.....	44
6.2	Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce	45
6.2.1	Teplotní faktor vnitřního povrchu.....	45
6.3	Lineární činitel prostupu tepla	47
7	Teplotní pole	48
7.1	Definice teplotního pole	48
7.2	Okrajové podmínky.....	48
8	Součinitele prostupu tepla a ustálený měrný tepelný tok	51
8.1	Podlaha na zemině.....	51
8.2	Zvýšená podlaha.....	53
8.3	Vytápěný suterén.....	54
8.4	Nevytápěný suterén	56
8.5	Částečně vytápěný suterén	57
8.6	Činitel teplotní redukce	57
9	Cíle disertační práce.....	58
9.1	Vytyčení cílů	58
9.2	Důvody volby cílů.....	58
9.3	Prostředky ke splnění cílů	59
10	Metody zpracování	60
10.1	Analýza dosavadních poznatků	60
10.1.1	Studium literatury a dostupných informací	60
10.2	Zpracování naměřených dat	61
10.3	Modelování dynamických a stacionárních výpočtových modelů	61
11	Popis a dílčí výsledky jednotlivých metod zpracování.....	62

11.1.1	Popis oblasti výchozích dat.....	62
11.1.2	Použitá data.....	67
11.2	Výpočtový program.....	75
12	Výpočtový model zeminy bez objektu	76
13	Osazení objektu do výpočtového modelu	85
13.1	Označení a popis výpočtů.....	89
13.2	Vlastnosti materiálů.....	90
13.3	Okrajové podmínky	91
13.3.1	Teplota interiéru.....	91
13.3.2	Teplota exteriéru	91
13.3.3	Teplota v zemině.....	91
13.3.4	Odpor na přestupu tepla.....	92
14	Vyhodnocení výpočtových modelů	93
14.1	Průběh teploty.....	142
14.2	Teplotní faktor vnitřního povrchu	149
14.3	Ustálený měrný tepelný tok.....	153
14.3.1	Založení na terénu.....	154
14.3.2	Vytápěný suterén	157
14.3.3	Částečně vytápěný suterén.....	160
15	Závěry	162
15.1	Doporučení pro technickou praxi	163
15.2	Možnost dalšího výzkumu.....	164
16	Seznam použitých zdrojů.....	165
17	Seznam příloh	169

1 Úvod

Vyšší teplota v zemině oproti teplotě v exteriéru v zimním období je v našich klimatických podmínkách známa již velmi dlouho. To ostatně ukazují vykopávky v dříve obydlených jeskyních či archeologické práce, při nichž byly objeveny pozůstatky zemljanek (staveb z části zakopaných pod úroveň terénu) na našem území. Na teplotu v zemině má vliv velké množství faktorů, které ovlivňují i tepelnotechnické vlastnosti zemin a také přímo teplotu. Jedná se především o klimatické údaje.

Rozložení teplot v zemině je stále málo prozkoumanou oblastí. Počátkem minulého století a v předchozí době se lidé teplotou v zemině příliš nezabývali, ta pro ně byla určující zejména pro možnost zmrznutí vody pod terénem. V českých zemích byla empiricky stanovena nezámrná hloubka, tedy hloubka, ve které během zimního období nedojde ke zmrznutí kapalné fáze vody, na 100 cm pro teplotu exteriéru $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Teplota v zemině se využívá ve stavebnictví především pro stanovení tepelných ztrát budov. Kvantifikování tepelných ztrát budov však započalo až s instalacemi ústředního vytápění, neboť do té doby byla v každé vytápěné místnosti lokální topidla, jejichž dimenzování se dělo empiricky.

První dimenzování vytápění bylo nutné až po počátku zřizování ústředního vytápění. Dimenzování vytápění v českých zemích počalo v první polovině minulého století a bylo upraveno normami, např. ČSN 10503 z roku 1949.

Později se toto dimenzování řídilo novou normou ČSN 06 0210 – Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění [1, 2]. Tato norma je původně z roku 1961. Postupně doznávala změn tak, jak se zvyšovaly znalosti o vytápění, i jak v českých zemích působil vliv Sovětského svazu. Tato norma byla zrušena v listopadu 2008. Pro tepelnotechnické výpočty byla v normě mimo jiné definována výpočtová venkovní teplota dle oblastí, dále teplota v sousedních nevytápěných místnostech, vnitřní výpočtová teplota ve vytápěných místnostech a teplota zeminy přilehlé ke stavební konstrukci. Předpokládalo se, že teplota zeminy je pro výpočtovou vnější teplotu konstantní a teplo z budovy prochází konstrukcí do zeminy.

V současné době se výpočet tepelných ztrát zeminou řídí podle ČSN EN ISO 13 370 Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody z roku 2018 [3]. Norma platila od roku 2000 do roku 2008 souběžně s normou ČSN 06 0210. Výpočty se provádějí převážně pro stacionární teplotní pole, i když v této normě je uvedena možnost využít i roční periodické tepelné toky. Tato norma postupuje jiným způsobem – předpokládá, že teplo uniká zeminou z budovy do okolního prostředí.

Skutečnost tepelného toku z budovy zeminou je však zcela jiná, dosud není přesně určena. Lze předpokládat, že tepelný tok z budovy se bude skládat z tepelného toku do zeminy, kde dojde k jejímu dalšímu přenosu zeminou, popřípadě bude odvedena spodní vodou, a dále že půjde o přenos do okolí tak, jak předpokládá ČSN EN ISO 13 370. Tato teze zatím nebyla ověřena, avšak měřeními skutečných teplot v podzákladi různých autoři dospěli k tomu, že teplota neodpovídá teoretickému předpokladu.

Na základě měření teplot v zemině pod objektem velikosti rodinného domu v pasivním standardu bylo zjištěno, že teplota v zemině i pod velmi dobře tepelně izolovanou podlahou, mimo její okrajové části, je během celé otopné sezóny relativně vysoká, až + 10 °C, což odporuje teoretickým výpočtům na základě řešení 2D nebo 3D teplotního pole, kdy mohou teploty pod takovým typem podlah vycházet i záporně [4].

Pro tepelné toky z budovy do zeminy je rozhodující geologické podloží. Již zmiňovaná evropská norma předpokládá různé druhy zeminy s různou tepelnou vodivostí a tepelnou kapacitou. Lze předpokládat, že zde budou hrát roli i další podmínky související s geologickými podmínkami (tepelný tok z nitra země k povrchu, podzemní voda, petrografie, zemní anomálie jako krasové útvary, důlní stavby apod.).

Pro potřeby této práce budou použita naměřená data získaná od Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

2 Současný stav řešené problematiky

Měření teploty zeminy pod objektem není snadno realizovatelné, je potřeba s ním již dopředu počítat při realizaci objektu. To nebývá samozřejmostí, převážně se tedy musíme spokojit pouze s určitým odhadem, jak vysoké teploty v zemině pod objektem mohou být.

Nejjednodušší odhad teplot v zemině pod objektem v České republice, který byl nejvíce používán, předepisovala norma ČSN 06 0210. Tato norma již není platná. Podle tohoto odhadu se teplota v zemině pod podlahou uvažovala 5 °C, a to přes celé zimní období. O hloubce pod podlahou, v níž by měla teplota 5 °C být, se norma ČSN 06 0210 nezmiňovala. Ze souvislostí a ze zavedeného postupu výpočtu tepelných ztrát však šlo odvodit, že se předpokládala těsně pod podlahou (pod podkladním betonem) [5].

Variantní odhad teplot v zemině pod objektem přináší novější evropská norma ČSN EN ISO 10211 [6]. Podle této normy se předpokládá, že pod podlahou objektu má zemina v hloubce 3 m pod terénem teplotu rovnou průměrné roční teplotě vnějšího vzduchu. Pro různé lokality v České republice do nadmořské výšky 1000 m n. m. by byla teplota v rozmezí od cca 3,5 °C do 8,5 °C, a to po celý rok. Teploty ve zmíněné třímetrové vrstvě zeminy se musí dopočítat na základě numerického řešení rovnice jedno- či více-rozměrného vedení tepla [5].

Ze srovnání obou přístupů je zřejmé, že postup ČSN 06 0210 předpokládal jako dosti velké zjednodušení stejnou teplotu pod podlahou v celé její ploše. Ve skutečnosti je ovšem teplota v zemině pod podlahou u okrajů objektu vždy nižší než ve středu objektu, a to často až o několik stupňů. Pokud nás zajímají pouze tepelné ztráty prostupem podlahou, nemusí nás tato skutečnost příliš znepokojovat. Zajímají-li nás ale teploty na stavebních konstrukcích v kontaktu se zeminou nebo co nejpřesnější výpočet potřeby tepla na vytápění, je nutné s efekty vícerozměrného vedení tepla v zemině pod objektem počítat. V takovém případě je třeba použít pro výpočet minimálně dvourozměrný model podlahy a přilehlé zeminy a rozložení teplot stanovit numerickým řešením vícerozměrného ustáleného teplotního pole metodou sítí nebo metodou konečných prvků [5].

2.1 Možnosti modelování teplot pod objektem

Důležitou a nedílnou součástí tepelnotechnických výpočtů je stanovení správných okrajových podmínek. Důležitým vstupním faktorem je především vnitřní a vnější prostředí a pro tato prostředí je nejdůležitějším parametrem převážně teplota [7].

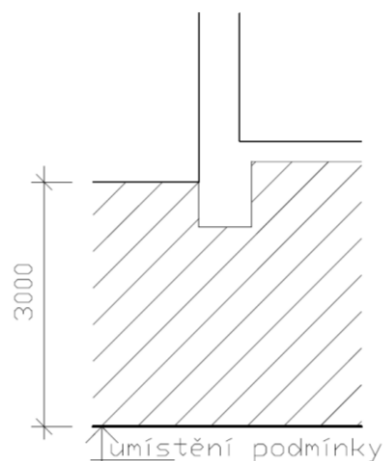
Možnosti modelování teplot pod objektem jsou popsány v normě ČSN EN ISO 10211 [6]. Tato norma stanovuje podrobnosti pro geometrický model pro numerický výpočet tepelných toků ke zhodnocení celkové tepelné ztráty budov nebo její části a také pro odvození lineárních a bodových činitelů prostupu tepla; dále pro výpočet minimálních povrchových teplot ke zhodnocení rizika povrchové kondenzace a stanovení teplotních faktorů povrchu.

2.1.1 Výpočet povrchových teplot

Při výpočtu povrchových teplot je okrajová podmínka umístěna tři metry pod terén, případně do hloubky jednoho metru pod podlahou, pokud je podlaha více než dva metry pod povrchem terénu. Teplota v zemině se v ČR obvykle předpokládá 5 °C, i když ČSN 730540-3 (a starší vydání EN ISO 13788) doporučuje uvažovat teplotu v zemině shodnou s průměrnou roční teplotou venkovního vzduchu. Průměrná roční teplota venkovního vzduchu se pohybuje v ČR zhruba od 3 °C do 8 °C, proto je obvyklá hodnota 5 °C dobře použitelná.

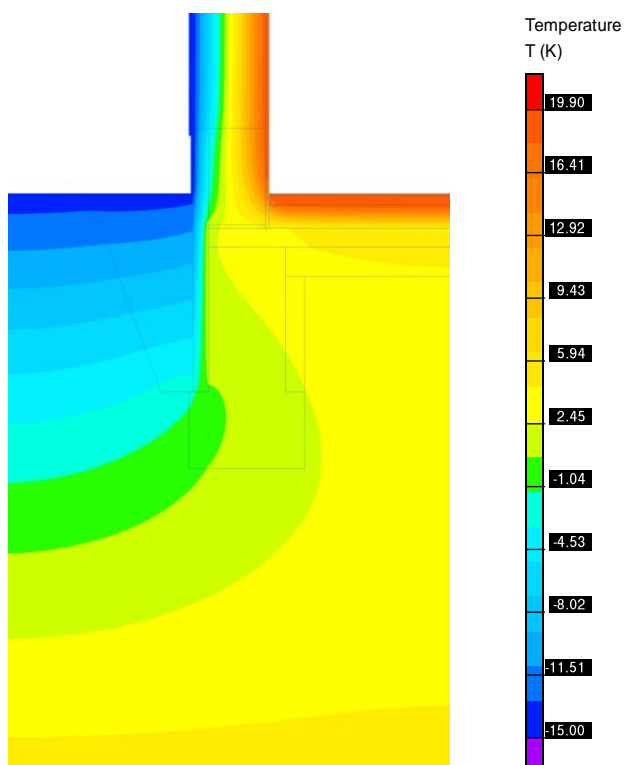
Umístění okrajové podmínky 3 m pod terén je celkem dost hluboko. Pokud uvažujeme (podle nezámrzné hloubky), že při hloubce 800 až 1400 mm je rozdíl teplot cca 15 °C, tak pro další hloubku 2200 až 1600 mm je rozdíl teplot již pouze 5 °C.

Výpočtový model a umístění okrajové podmínky je naznačeno na následujícím obrázku:

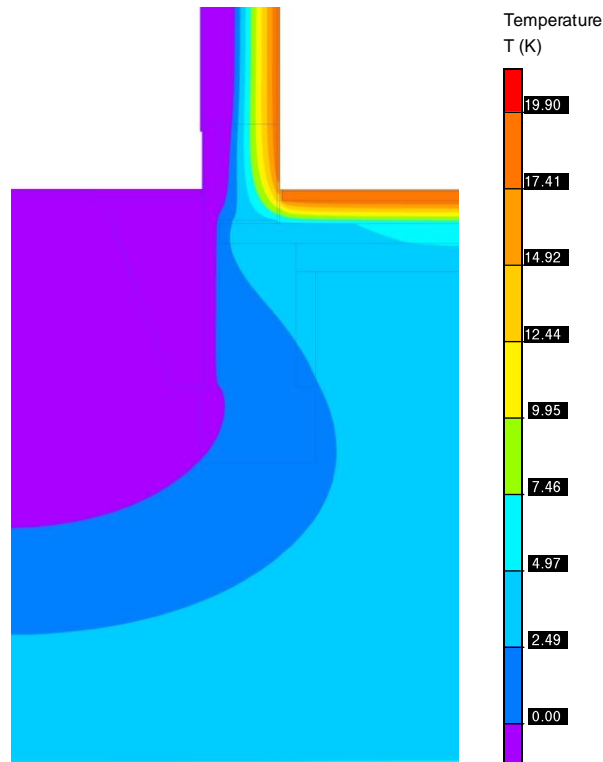


Obrázek 2-1: Výpočtový model a umístění okrajové podmínky pro výpočet povrchových teplot

Nejnižší povrchová teplota je 16,2 °C, a sice v místě styku stěny a podlahy při tloušťce tepelné izolace v podlaze 120 mm. Teplota 0 °C a nižší je v zemině přibližně až do hloubky cca 1,9 m pod terénem.



Obrázek 2-2: Teplotní pole

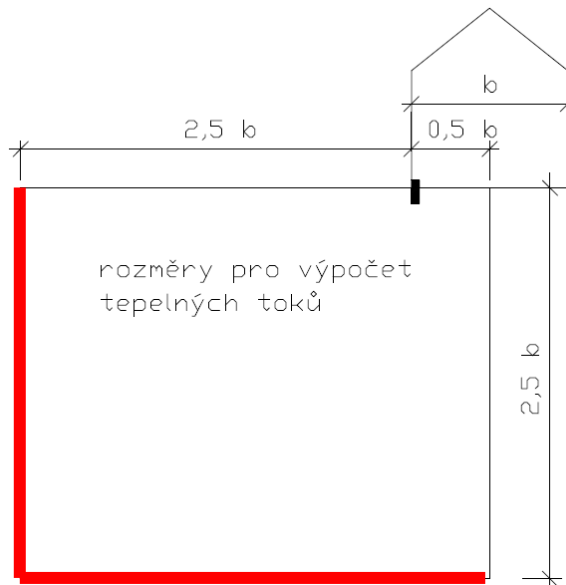


Obrázek 2-3: Teplotní pole – vyznačená oblast teploty 0°C a nižší

2.1.2 Výpočet tepelných toků

Na následujícím obrázku je naznačeno, jak se má volit výpočtový model pro výpočet tepelných toků. Písmeno b je šířka podlahy, tj. menší rozměr podlahy nebo charakteristický rozměr podlahy. Pokud o budově nejsou žádné informace, uvažuje se šířka podlahy 8 m.

Pro zeminu jsou pak v normě stanoveny obecné vlastnosti. Buď lze použít tyto konkrétní vlastnosti (při znalostech konkrétní zeminy), nebo se postupuje podle tabulky uvedené v normě. Pokud není známa ani přibližná kvalita zeminy, postupuje se, jako by se jednalo o písek.

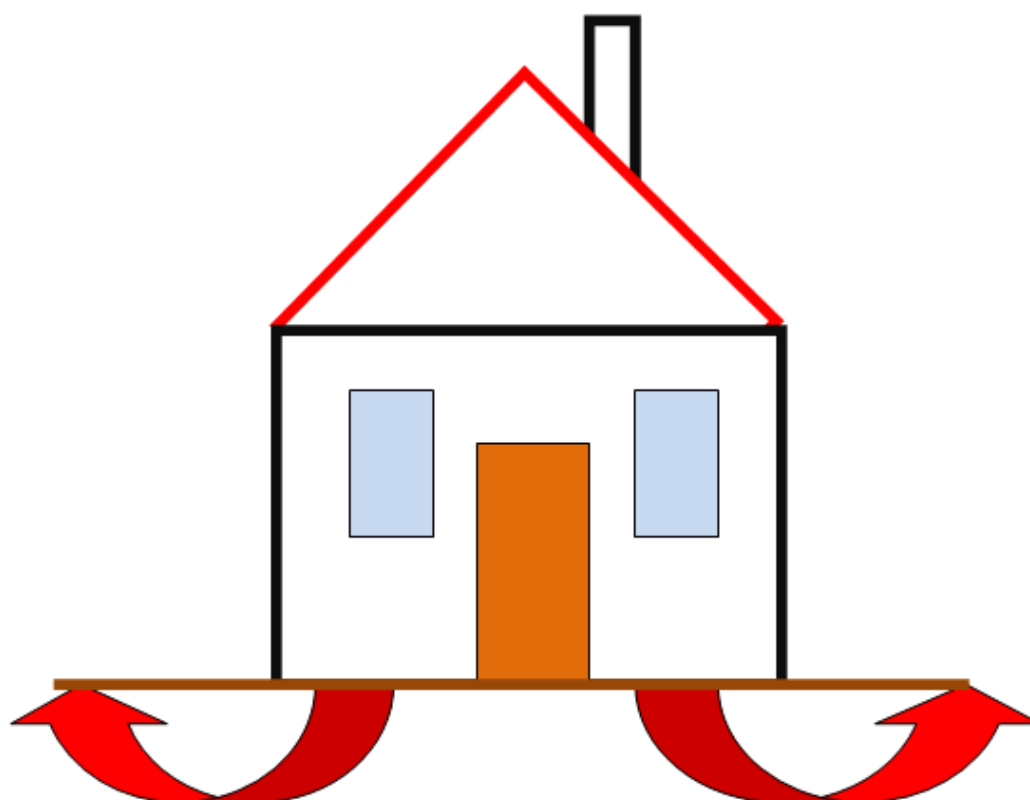


Obrázek 2-4: Výpočtový model pro výpočet tepelných toků

Pro hodnocení tepelných toků se okrajová podmínka do zeminy vůbec nezadává, je zde tedy uvažována adiabatická podmínka. Adiabatickou podmínku si můžeme představit jako hranici, přes kterou nedochází k výměně tepla, tepelný tok přes tuto hranici je tedy nulový [5].

Adiabatická podmínka je na spodní a boční hraně výpočtového modelu. To znamená, že v tomto modelu veškerý tepelný tok přes konstrukce v kontaktu se zeminou prochází zeminou do venkovního prostředí. Pokud bude šířka podlahy 8 m, potom vzdálenost umístění boční hrany podmínky je 20 m od vnější hrany obvodové stěny a hloubka umístění na spodní straně je 20 m. Umístění na boční hraně v tak velké vzdálenosti od budovy odpovídá již skutečnosti. Málodky ale v této vzdálenosti od budovy není již žádná další budova.

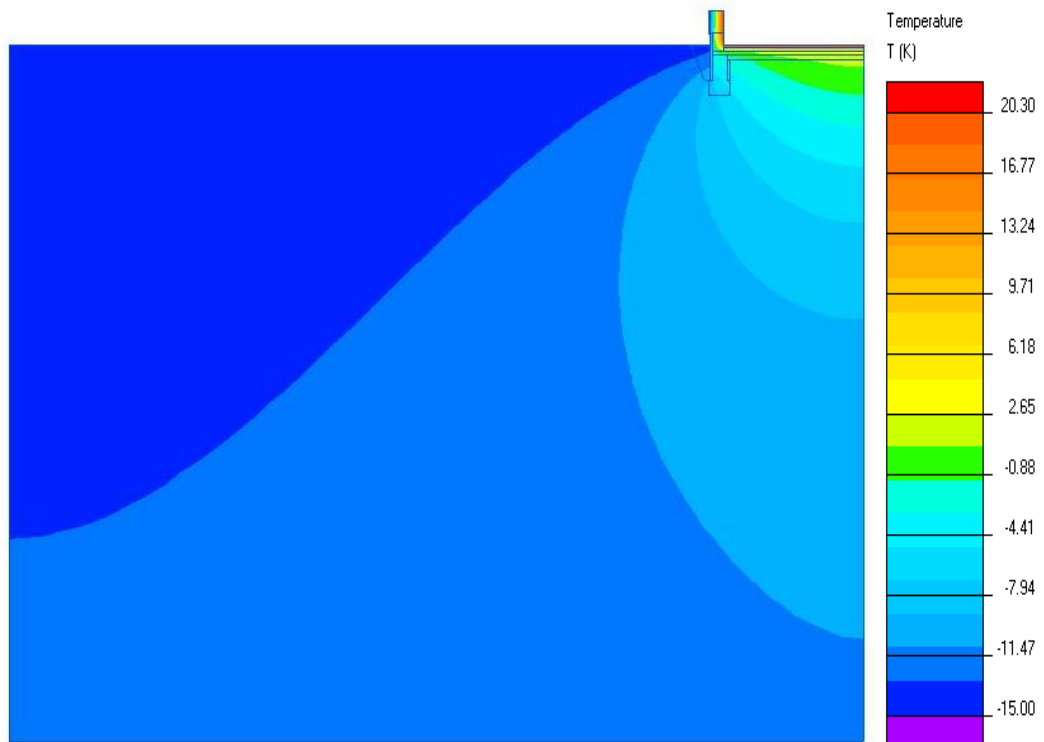
V normě EN ISO 13370 je popsán výpočet objektu samostatně stojícího nebo přímo navazujícího, ale není popsán postup výpočtu a vliv na tepelný tok okolní zástavbou, která je v blízkosti, ale není v kontaktu s hodnoceným objektem. Tímto se zabývala ve své práci Petra Horová [8]. Došla k závěru, že okolní zástavba ovlivňuje tepelný tok podlahou hodnocené budovy, vliv je závislý na tloušťce tepelné izolace v podlaze, počtu objektů a jejich vzdálenosti. Rozdíly tepelných toků jsou však minimální, v řádech jednotek procent. Jsou na straně bezpečnosti, a lze je proto zanedbat.



Obrázek 2-5: Schéma tepelného toku podlahou

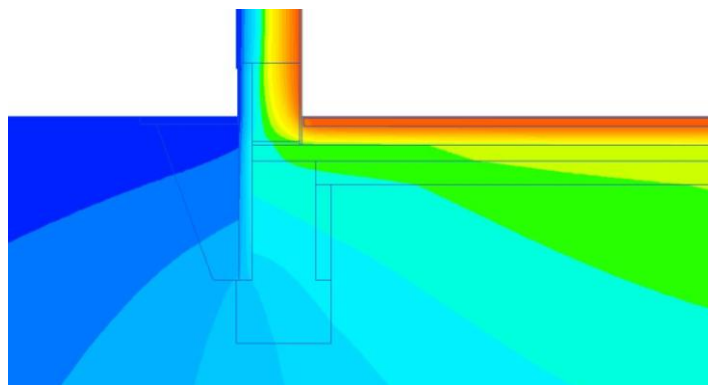
Ve skutečnosti ale část tepla zůstává v zemině a pouze část tepelného toku přes suterénní stěny, v oblasti základů nebo přes okraje základové desky, se dostává do venkovního prostředí [9].

Na dalším obrázku je znázorněn tepelný tok pod základovou deskou pro popsany geometrický model. Je zde vidět i velikost geometrického modelu. Běžná nezámrazná hloubka je 800 až 1400 mm, ale z tohoto teplotního pole je vidět, že pod podlahou jsou velmi nízké teploty kolem 0 °C. Tepelná izolace v podlaze je tloušťky 120 mm, pokud by byla tepelná izolace větší tloušťky, teploty pod podlahou by byly ještě nižší.



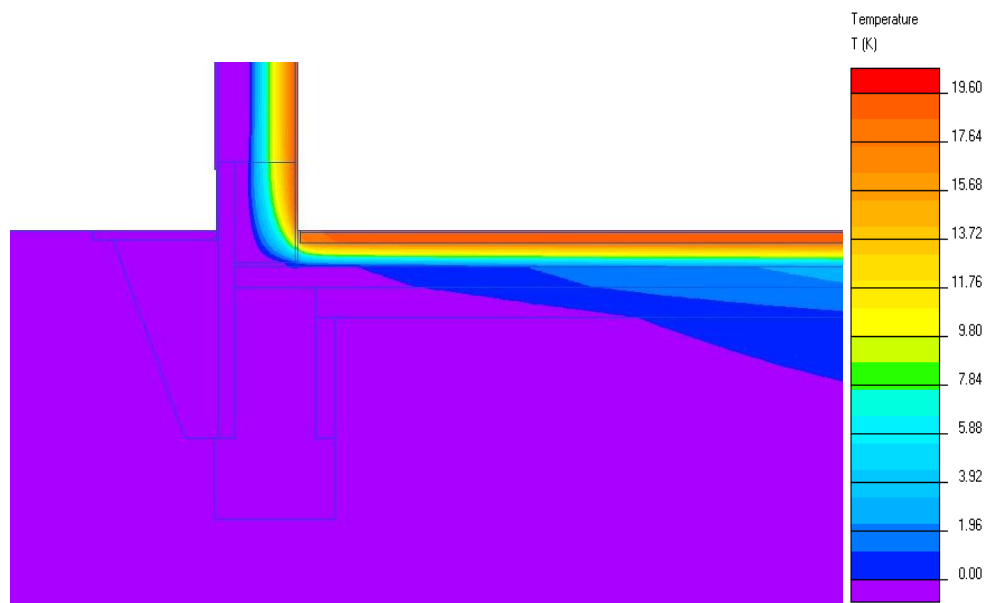
Obrázek 2-6: Teplotní pole pod základovou deskou

Na následujícím obrázku je zvětšený výsek stejného teplotního pole, kde je lépe vidět oblast s nižší teplotou:



Obrázek 2-7: Teplotní pole pod základovou deskou – zvětšený výsek

Na následujícím obrázku je vyznačena oblast (fialová barva), kde je teplota nižší nebo rovna 0 °C:



Obrázek 2-8: Teplotní pole pod základovou deskou – vyznačená oblast teploty 0°C a nižší

2.1.3 Výpočet tepelných ztrát

Nejpřesnější výpočet tepelných ztrát budovy se provádí metodou konečných prvků ve 3D programech, ale tento výpočet je náročný na množství vstupních údajů a na čas, proto je soustavně vyvíjena snaha výpočtový model zjednodušit při zachování dostatečné míry přesnosti. Malík [10] uvádí, že v ustáleném teplotním stavu je rozdíl výpočtu minimální a výsledky dvojrozměrného modelu jsou porovnatelné s výsledky 3D modelu. Odchylna se pohybuje v intervalu šířky porovnatelné s odchylkami vlivem skutečných nejistot modelů (tepelné vlastnosti zeminy, nehomogenost masivu zeminy, vliv vlhkosti). Janssen [11, 12] uvádí, že periodická tepelná propustnost podlahy se zavedením multifyzikálního modelu zohledňujícího transport tepla i vlhkosti může změnit o 20 %.

Nepřesnost normového výpočtu je uvedena i v jednom z příspěvků v publikaci *Tepelná ochrana budov 1/2014*, který se věnuje porovnání přesnosti výpočtu prostupu tepla podle normy ČSN EN ISO 13370 [3] a pomocí výpočtového programu COMSOL. Na základě výpočtů je postup podle normy vhodnější pro menší charakteristické rozměry podlah a pro tloušťky tepelných izolací minimálně 120 mm. U podlah s podlahovým vytápěním je rozdíl ještě větší, tepelný tok podlahou s vytápěním vypočítaný podle

normového postupu je ve všech posuzovaných případech nižší než tepelný tok stanovený přesnějším 3D výpočtem. Výsledky normového postupu nejsou na straně bezpečí. Čím větší je rozměr podlahy a čím menší je tloušťka tepelné izolace, tím je odchylka větší [13].

V praxi se běžně používají zjednodušené výpočty prostupu tepla zeminou a vytápěným suterénem. Jedná se o výpočty s použitím činitelů teplotní redukce a o výpočet dle ČSN EN ISO 13370 [3]. Porovnáním těchto výpočtů a přesným výpočtem v simulačním softwaru COMSOL Multiphysics se ve své práci zabývala Hana Raitrová [14]. Její analýza prokázala, že přesnost výpočetní metody s použitím činitelů teplotní redukce a výpočtu dle EN ISO závisí především na volbě velikosti přírážky na tepelné vazby. Podlahy s větším charakteristickým rozměrem podlahy mají vyšší výpočetní rezervy a se zmenšujícím se charakteristickým rozměrem podlahy je třeba volit vyšší přírážku na tepelné mosty.

3 Klimatické údaje

3.1 Klima České republiky

Česká republika leží uprostřed Evropy, ve střední části mírného pásu severní polokoule. Její podnebí je mírné a přechodné mezi podnebí oceánským a kontinentálním, s typickým střídáním čtyř ročních období.

Vzhledem k převládajícímu západnímu proudění vzduchu ovlivňuje podnebí v ČR hlavně Atlantský oceán, odkud přichází i většina srážek. Oceánské vlivy směrem k východu slábnou a naopak sílí vlivy kontinentální. Vzhledem k malé rozloze našeho státu nejsou rozdíly podnebí mezi západem, východem, severem a jihem nijak zvlášť výrazné. Mnohem více je podnebí ovlivňováno členitostí terénu a nadmořskou výškou [15].

3.1.1 Roční chod počasí

Nejchladnějším měsícem bývá leden, ale průměrně každý 3. – 4. rok jím může být únor. V lednu se dostávají většinou dvě mrazivá období, mezi kterými je obleva. Největší mrazy bývají v polovině ledna. Únor mívá ojediněle už pěkné teplé dny, ale po polovině se dostavuje opět zima. Uprostřed března bývá další ochlazení. Ke konci března již máme první teplá období. Od dubna do května stoupá teplota nejrychleji, koncem dubna již bývají velmi teplé dny. V květnu se chladno vracívá. V červnu bývá přibližně 8–10 dnů, kdy se značně ochladí, toto ochlazení je zřejmé z mnohaletých průměrů teplot. Červenec bývá nejteplejším měsícem, teplota v červenci a srpnu dosahuje přibližně rovnoměrného stavu a s malými proměnami v posledním týdnu srpna klesá. K prvním mrazíkům dochází v září kolem podzimní rovnodennosti. Koncem září a začátkem října bývá období teplých slunečných podzimních dnů, tzv. babí léto, které někdy trvá téměř až do konce října. Od října do listopadu nastává největší pokles teplot, často už v listopadu bývá předčasná zima. Před polovinou prosince pak dochází k oteplení, v prosinci bývá nejvíce oblačnosti. Kolem období zimního slunovratu přichází obleva.

Srážky jsou obecně nejmenší v lednu, od února stoupají, nejbohatší na srážky je červen a červenec, v srpnu srážky zvolna klesají, v listopadu se zvýší srážky nad průměr a zvolna klesají v prosinci [15].

3.1.2 Teplota vzduchu

Teplotou vzduchu se v meteorologii a klimatologii rozumí teplota v zastíněném prostředí ve výšce 2 m nad zemským povrchem změřená v meteorologické budce. Dále se zjišťuje přízemní minimální teplota vzduchu, která se měří v 5 cm nad zemským povrchem [7].

Teplota vzduchu je mnohem variabilnější než teplota půdy. Teplota vzduchu se nepřetržitě mění kdekoliv v zemské atmosféře. Teplota vzduchu je neustále ovlivňována fyzikálními faktory:

- proměnlivou bilancí tepla spolu s měnícími se radiačními vlastnostmi aktivního povrchu (půda, voda, sníh, porost),
- vertikálním promícháváním vzduchu ohřivaného konvekcí,
- horizontálním prouděním vzduchu,
- konfigurací terénu.

Navíc je teplota vzduchu v těsné příčinné vazbě a v mnoha souvislostech s ostatními meteorologickými prvky – s vlhkostí vzduchu, obsahem vodních kapiček nebo ledových krystalů a zvýšeným obsahem prachových částic a aerosolů ve vzduchu.

Denní chod teploty vzduchu nad pevninou mírných zeměpisných šířek vykazuje charakteristický průběh:

- minimální teplota vzduchu je zpravidla těsně před východem Slunce;
- maximální teplota vzduchu je obvykle mezi 14. a 15. hodinou místního času;
- denní amplituda teploty vzduchu je menší než amplituda teploty povrchu půdy.

Roční chod teploty vzduchu patří k nejvýznamnějším klimatickým charakteristikám pro danou lokalitu. V rovníkových oblastech je roční chod charakteristický dvěma málo výraznými extrémy – dvěma minimy a dvěma maximy. Mimo rovníkový pás mezi obratníky je roční chod teploty vzduchu jednoduchý, s jedním maximem po letním sluno-

vratu a s jedním minimem po zimním slunovratu. Nad pevninou severní polokoule připadá průměrné teplotní maximum na červenec a průměrné teplotní minimum na leden [16].

V České republice se pohybuje průměrná teplota vzduchu mezi 0,2 °C (Sněžka) a 9,5 °C (Hodonín). Nejteplejšími oblastmi jsou Dolnomoravský úval a Pražská kotlina, kde průměrné roční teploty přesahují 9 °C, v ostatních nižších oblastech se pohybují mezi 8 až 9 °C. V horských oblastech jsou roční průměrné teploty nižší než 5 °C [15].

3.1.2.1 Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období

Návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období se stanoví v závislosti na teplotní oblasti a nadmořské výšce. Návrhová teplota venkovního vzduchu se zaokrouhlí na celé °C směrem k nižší hodnotě.

$$\theta_e = \theta_{e,100} + \Delta\theta_e \quad (1)$$

$$\Delta\theta_e = \Delta\theta_{e,0} \times \frac{\Delta h}{100} \quad (2)$$

kde

$\theta_{e,100}$ je základní návrhová teplota venkovního vzduchu v příslušné teplotní oblasti, určená pro nadmořskou výšku 100 m n.m., ve °C;

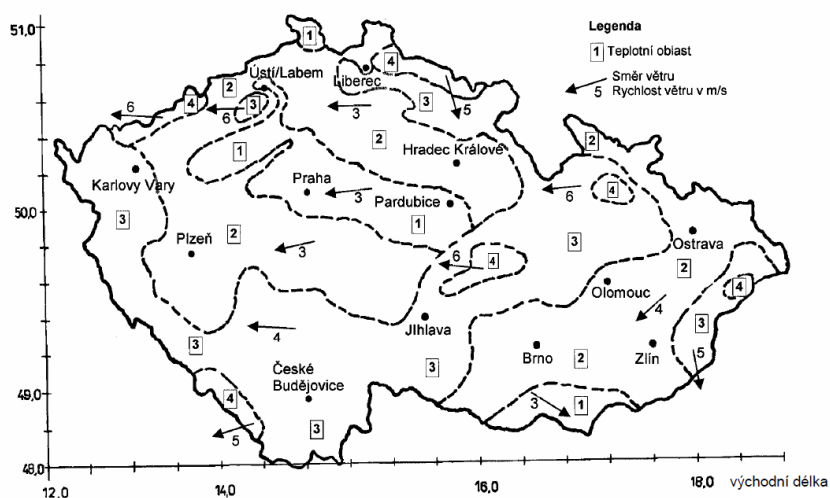
$\Delta\theta_e$ výškový teplotní gradient v K pro danou teplotní oblast;

$\Delta\theta_{e,0}$ základní teplotní gradient v K pro danou teplotní oblast podle tabulky;

$\Delta h = h - 100$ rozdíl nadmořské výšky místa budovy h , v m n.m., a základní nadmořské výšky 100 m n.n.

Tabulka 3-1: Teplotní oblasti České republiky a jejich parametry [17]

Teplotní oblast	Průměrná nadmořská výška v teplotní oblasti h_m m n.m.	Základní návrhová teplota venkovního vzduchu pro 100 m n.m. $\theta_{e,100}$ °C	Základní teplotní gradient nad 100 m n.m. $\Delta\theta_{e,0}$ K
1	240	- 12	- 0,5
2	320	- 14	- 0,3
3	540	- 16	- 0,2
4	820	- 18	- 0,2



Obrázek 3-1: Teplotní oblasti v zimním období, směr a rychlost převládajících větrů [17]

3.1.2.2 Návrhová průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu v ročním průběhu

Návrhové průměrné měsíční teploty venkovního vzduchu se stanoví ze vztahu:

$$\theta_{e,mm} = \frac{\sum_{d=1}^{d_m} \theta_{e,m}}{d_m} \quad (3)$$

$$\theta_{e,m} = \frac{\theta_{e,07} + \theta_{e,14} + 2 \times \theta_{e,21}}{4} \quad (4)$$

kde d_m je počet dnů v měsíci

$\theta_{e,m}$ průměrná měsíční teplota venkovního vzduchu ve °C.

3.1.3 Rychlost a směr větru

Rychlost větru má vliv i na výpočet tepelných ztrát. Tepelná ztráta se zvětšuje, zvětšením ztráty infiltrací a se vzrůstající rychlostí větru [7].

Návrhovou nejvyšší průměrnou rychlost převládajících větrů a jejich převládající směr v krajině v zimním období uvádí ČSN 73 0540-3 [17] v příloze H.1, kde je mapa České republiky s rozdělením na teplotní oblasti. Směrovky označují směr větru s uvedenou návrhovou průměrnou hodnotou rychlosti větru. Uvedené hodnoty rychlosti větru se použijí např. při energetickém hodnocení budov a všude tam, kde je používání těchto hodnot na straně bezpečnosti.

Hodnoty nejnižší průměrné rychlosti větru v krajině České republiky se pohybují v rozmezí 0,75 m/s až 1,75 m/s. Dle polohy objektu v krajině lze dle ČSN 73 0540-3 [17] dělit polohu na chráněnou, nechráněnou a velmi nepříznivou. Tyto hodnoty se použijí např. při hodnocení konstrukcí s otevřenou vzduchovou vrstvou a všude tam, kde je používání těchto hodnot na straně bezpečnosti.

3.1.4 Sluneční záření

Sluneční energie přichází do prostoru Země ve formě záření, které cestou k zemskému povrchu nejprve prochází atmosférou. V atmosféře se část záření pohltí, část záření se rozptyluje a část se odráží zpět do vesmírného prostoru. Zbývající záření dopadá na zemský povrch jako přímé sluneční záření. V důsledku pohlcování záření se povrch Země a atmosféra ohřívají a vyzařují získanou energii opět do svého okolí [18].

Velikost sluneční radiace je závislá na nadmořské výšce, dále závisí na množství vodních par v ovzduší. V rovníkových oblastech, kde je trvale zvýšený obsah vodních par v atmosféře, je hodnota přímého slunečního záření menší než v oblastech s větší zeměpisnou šířkou. V přímořských oblastech jsou také hodnoty nižší než v oblastech se stejnou zeměpisnou šířkou, ale ležících ve vnitrozemí [18].

U přímého slunečního záření můžeme sledovat chod denní i roční. Denní chod má maximální hodnoty kolem poledne, minimální hodnoty ráno a večer jsou rovny nule. Roční chod má maximum v jarních nebo prvních letních měsících a minimum v prosinci [18].

3.1.4.1 Odras slunečního záření, albedo

Část sluneční energie se po dopadu na zemský povrch odráží zpět do atmosféry, odráží se všemi směry.

Albedo vyjadřuje poměr množství odraženého záření k množství záření dopadajícího na určitý povrch.

Albedo závisí na drsnosti povrchu, barvě, vlhkosti, na tom, zda je povrch kryt vegetací, a na vlnové délce dopadajícího záření. Půda nebo vegetace odráží 5 až 35 % záření, sníh 70 % i více. Albedo vodních ploch závisí na výšce Slunce nad obzorem, s klesající výškou roste a pohybuje se v rozmezí 2 až 70 % [18].

3.1.5 Sníh

Sněhová pokrývka je důležitým meteorologickým a klimatologickým činitelem. Má vliv na teplotu vzduchu, vyzařování tepla a na teplotu půdy pod ním. Po dopadu na zem chladnější než 0 °C vytváří sněhovou pokrývku nebo poprašek. Sníh kladně působí na rostlinný kryt a vytváří tepelnou izolaci, vysokým albedem zvyšuje intenzitu odraženého záření [7].

Celková výška sněhové pokrývky se měří v celých centimetrech na pozemku stanice v místě, které dobře charakterizuje sněhové podmínky okolí a je co nejméně ovlivněno větrem. Sněhová pokrývka se považuje za souvislou, jestliže půda na pozemku a v nejbližším okolí je alespoň z poloviny pokryta vrstvou sněhu o výšce nejméně 1 cm. Pokud není, mluvíme o nesouvislé sněhové pokrývce. Výška nesouvislé sněhové pokrývky se neměří. Souvislá sněhová pokrývka nižší než 0,5 cm se nazývá poprašek. Za celkovou výšku sněhové pokrývky považujeme vrstvu sněhu nebo ledu, která vznikla v důsledku tuhých srážek (sníh, kroupy, sněhové krupky, sněhová zrna, zmrzlý déšť, námrazové krupky, náledí, zmrazky, nikoliv však ledovka, protože ta vzniká při mrznoucích srážkách) [7, 19].

Průměr sezónních maxim výšky sněhové pokrývky překračuje u nejnižších poloh 11 cm, v horských polohách maxima běžně překračují výšku jednoho metru. V nízkých polohách překračují průměry měsíčních maxim výšky sněhové pokrývky 5 cm v prosinci, 7 cm v lednu i v únoru a 4 cm v březnu [19].

Průměr sezónních maxim výšky sněhové pokrývky se pohybuje od 11 cm v centru Prahy a ojediněle i v Polabí. Na Labské boudě je to 178 cm a 185 cm na Pradědu [19].

V posledních letech nastává všeobecně pokles všech hodnot charakteristik sněhové pokrývky. Snižují se počty dní se sněhovou pokrývkou i počty dní, kdy výška sněhové pokrývky přesahuje určité hodnoty, snižují se sumy výšky nového sněhu i měsíční a sezónní maxima výšky [19].

3.1.6 Teplota půdy

Změny energetické bilance aktivního povrchu, ke kterým dochází neustále, působí na jeho proměnlivé ohřívání nebo ochlazování. Nejzřetelnější pravidelné periodické změny vyvolává zdánlivý pohyb Slunce na obloze během dne, tyto změny tak určují denní chod teploty půdy. Oběh naší planety Země je příčinou pravidelné roční změny související se střídáním ročních dob, které se projevují jako roční chod teploty půdy. Při určitém zjednodušení lze oba chody v našich podmínkách považovat za jednoduché, s jedním minimem a jedním maximem. V průběhu dne se nejčastěji vyskytuje maximum na povrchu kolem 13. hodiny pravého místního času a minimum se vyskytuje zpravidla v době těsně před východem Slunce. V ročním chodu jsou nejvyšší teploty půdy v povrchových vrstvách v průběhu léta a nejnižší hodnoty teploty půdy v druhé polovině zimy [16].

Teoretické zákonitosti proměnlivého teplotního pole v povrchových vrstvách půdy formuloval Fourier (1822) na základě řešení rovnic molekulárního vedení tepla následovně:

- Perioda časových změn teploty půdy se nemění s rostoucí hloubkou (u denního chodu zůstává 24 hodin a u ročního chodu 1 rok).
- Amplituda časových změn se zmenšuje s rostoucí hloubkou.
- Extrémy se opožďují s rostoucí hloubkou (denní maximum i minimum se v ČR opožďuje asi o 3 hodiny na každých 0,1 m hloubky; opožďování ročních extrémů je cca 25 dnů na každý 1 metr hloubky).

V reálných přírodních podmínkách zjišťujeme odchylky od zmiňovaných teoretických pravidel. Denní chod teploty půdy je ve všech hloubkách nejvíce ovlivňován současným působením více faktorů:

- expozicí – sklonem svahu a jeho orientací ke světovým stranám;
- stavem půdy, obsahem vody a vzduchu, utužením půdy, nakypřením povrchu;
- hustotou a výškou porostu, sněhové pokrývky;
- počasím – krátkodobé neperiodické změny vyvolané oblačností a srážkami (hlavně v povrchových vrstvách);
- podnebím [16].

3.1.6.1 Teplota povrchu půdy

Na denní chod teploty povrchu půdy má vliv oblačnost. Při zatažené obloze je denní amplituda malá, při jasné obloze obvykle velmi vysoká. Dále záleží i na vlastnostech půdy, rostlinném krytu, popř. sněhové pokrývce [18].

Z hlediska příjmu tepla a oteplování se uplatňují především tyto vlastnosti půdy a jejího povrchu: expozice zářením, sklon povrchu, barva povrchu, drsnost povrchu, tepelná kapacita půdy a tepelná vodivost půdy. Vedle tohoto tepelného toku ze slunečního záření existuje také tepelný tok z nitra země. Ten je na našem území poměrně nízký, a proto dále není uvažován. Tepelná kapacita a tepelná vodivost jsou ovlivňovány především zrnitostí, ulehlostí a vlhkostí půdy [18].

Svahy, které jsou exponovány z jižní strany, získávají nejvíce tepla, ovšem maximálních hodnot teploty půdy je dosahováno na svazích jihozápadních. Při ohřívání východních svahů v ranních hodinách je ještě nízká teplota vzduchu, při velkém teplotním rozdílu dochází k většímu předávání teploty z povrchu půdy do ovzduší, a proto se východní svahy ohřejí méně než západní. Tmavé a drsné půdy pohltnou více tepla než půdy světlé, proto jsou na tmavých půdách vyšší maxima teploty, a tím je větší i amplituda [18].

Tepelná kapacita velmi ovlivňuje ohřívání půdy. Čím větší má půda tepelnou jímavost, tedy větší měrnou tepelnou kapacitu, tím pomaleji se ohřívá. Měrná tepelná kapacita vyjadřuje množství tepla, které je potřeba k ohřátí množství látky s jednotkovou hmot-

ností o jeden teplotní stupeň. Voda má 3× až 5× větší měrnou tepelnou kapacitu než suchá půda, proto je výsledná měrná tepelná kapacita půdy závislá na obsahu vody v půdních pórech. Suchá půda se tedy zahřívá rychleji a vyznačuje se velkou denní amplitudou. Půdy vlhké se zahřívají pomalu, jejich teploty jsou celkově nižší a amplituda je malá [18].

Tepelná vodivost půdy působí ve stejném poměru. Při větší měrné tepelné vodivosti je teplo snadněji odváděno do větších hloubek, a proto se povrch pomaleji ohřívá. Tepelná vodivost půdy závisí i na její pórovitosti a vlhkosti. Čím je půda kypřejší a čím větší množství vzduchu obsahuje, tím je její tepelná vodivost menší (vzduch je totiž špatný vodič tepla). Voda má podstatně větší tepelnou vodivost než vzduch. Pokud se zaplní póry vodou při zvětšování vlhkosti, zvýší se tepelná vodivost. Vlhká půda odvádí teplo snadněji než suchá půda. Vlhké půdy jsou studené, neboť se teplo ještě dodatečně spotřebovává na výpar vody. V tomto smyslu se tak jílovité a ulehlé půdy vyznačují vyšší tepelnou vodivostí [18].

Rostlinný kryt zastíňuje povrch půdy před insolací a současně omezuje vyzařování, tím způsobuje menší amplitudu teploty i značné snížení denních maxim.

Sněhová pokrývka chrání půdu před ochlazováním. Sníh má značný obsah vzduchu a sníženou tepelnou vodivost. Vyzařováním se povrch sněhové pokrývky ochlazuje, avšak hlouběji je teplota vyšší.

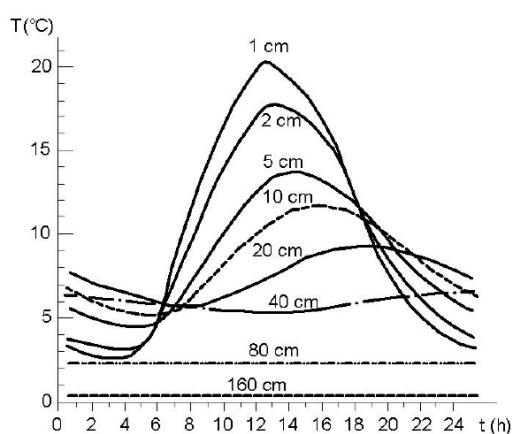
Roční chod teploty povrchu půdy sledujeme podle průměrných měsíčních teplot, vyznačuje se maximem v červenci a minimem v lednu. V teplém ročním období se v půdě akumuluje určité množství tepla, které se postupně odvede vyzařováním konvekci v chladném zimním období [18].

3.1.6.2 Teplota hlubších vrstev půdy

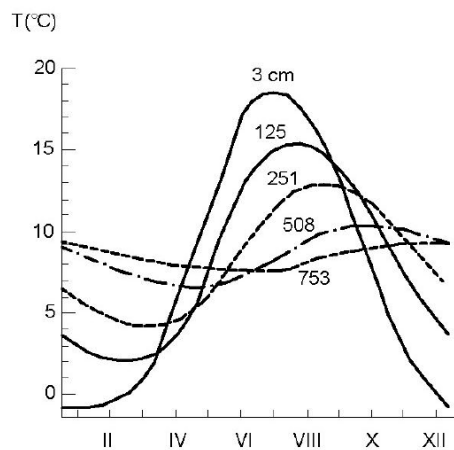
Od povrchu půdy postupuje teplo do spodních vrstev pevnou hmotou, vzduchem a vodou, kterými jsou vyplněny póry. Postup tepla je přímo úměrný teplotnímu gradientu v půdě a tepelné vodivosti. Proto je největší hustota tepelného toku v půdách vlhkých a ulehlých. Při ohřívání povrchu půdy směřuje tepelný tok do hloubky, při ochlazování povrchu je směr tepelného toku opačný [18].

Pohyb tepla v půdě je urychlován, resp. zpomalován prosakováním vody do hlubších vrstev nebo jejím vzestupem, dále pohybem vodních par a jejich kondenzací, popř. vypařováním v půdním profilu. Při šíření tepla do hloubky půdy zůstává perioda teplotních výkyvů stejná ve všech hloubkách a souhlasí s periodou výkyvů teploty na povrchu půdy. Se vzrůstající hloubkou se zvětšuje časový posun maxim a minim teploty oproti odpovídajícím hodnotám maxim a minim na povrchu půdy. Zpoždění chodu denní periody činí asi 2,5 až 3,5 hodiny na 10 cm hloubky, opoždění roční periody teploty pak činí 20 až 30 dní na hloubku 1 m [18].

Amplituda výkyvů se v závislosti na hloubce zmenšuje geometrickou řadou. Útlum teplotních výkyvů nastává v poměrně malé hloubce. V našich klimatických podmínkách se denní změny teploty projevují maximálně do hloubky 19 až 20 m. V této hloubce je již stálá roční teplota. Je to tzv. izotermní neboli neutrální vrstva. Dále do hloubky teplota pravidelně vzrůstá dle tzv. geotermického gradientu. Ten vyjadřuje změnu teploty s hloubkou v zemské kůře pod povrchovou vrstvou. Hodnota geotermického gradientu činí 3,3 K na 100 m hloubky [18].



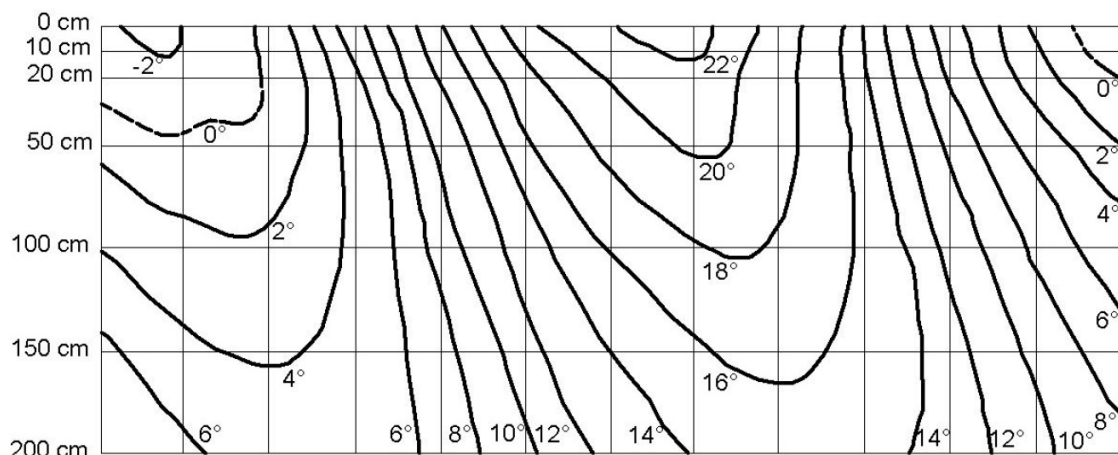
Obrázek 3-2: Příklad denního chodu teploty půdy [18]



Obrázek 3-3: Změny amplitudy a fázového posunu teploty s hloubkou [18]

Teplota izotermní vrstvy se rovná roční průměrné teplotě vzduchu v témže místě. V krajinách s průměrnou roční teplotou stále pod 0 °C se vytváří tzv. věčně zmrzlá půda. Mocnost vrstvy věčně zmrzlé půdy se zvětšuje se snižující se průměrnou roční teplotou. Tato půda v létě na povrchu rozmrzá, rozmrzání pokračuje s časovým zpožděním až po nulovou izotermu, která je koncem léta 0,5 až 2,5 m pod povrchem, podle charakteru půdy a klimatické oblasti. Mocnost věčně zmrzlé půdy je v sibiřských tundrách i několik stovek metrů.

Denní i roční chod teploty v celém půdním profilu v libovolně dlouhém období se dá graficky názorně zobrazit pomocí termoizotep. Z grafu je patrné, jak se výkyvy extrémních hodnot teplot s hloubkou časově opožďují a jak se zmenšuje jejich amplituda. Je zde možné stanovit s hloubkou se měnící teplotní gradient. Horizontální osa je rozdělena na jednotlivé měsíce leden až prosinec [18].



Obrázek 3-4: Chod teploty v půdním profilu vyjádřený pomocí termoizotep během roku [18]

3.1.6.3 Promrzání půdy

Určování hloubky promrzání pomocí nulové izotermy v půdě není spolehlivé. Půda neobsahuje vodu, ale půdní roztok s různou teplotou tuhnutí. Změny teploty půdy ve větších hloubkách jsou poměrně pomalé a jsou ovlivňovány i jinými faktory [16].

V našich klimatických podmínkách dochází ke zmrznutí půdy pouze v zimě. Hloubka promrznutí závisí na výšce sněhové pokrývky, na úpravě povrchu, dále pak na vegetaci a pokrytí stavbami. Pod asfaltovým krytem vozovek půda promrzá do větší hloubky než pod travním drnem luk. V zimě se stává, že v horských oblastech se sněhovou pokrývkou promrzne půda do menší hloubky než v nížinách, protože ve vyšších polohách leží sníh již od podzimu, zatímco v nížinách se tvoří sněhová pokrývka mnohem později a o menší mocnosti. V dlouhodobém průměru činí hloubka promrzání půdy v našich oblastech 0,4 až 0,5 m, maximálně 0,8 až 1,0 m. Pouze ojediněle (při holomrazech) je hloubka promrznutí až 1,2 m [18].

Změny počasí během zimy a postupné jarní prohřívání povrchu půdy působí často střídání vrstev polozmrzlých s tvrdě zmrzlými i s vodou v tekutém stavu [16].

Základy staveb a objektů, jakož i potrubí, jimiž protéká voda, se umísťují do tzv. nezámrzné hloubky, která je u nás cca 0,8-1,2 m [18].

4 Zemina

Pro tepelné toky z budovy do zeminy je rozhodující geologické podloží. Již zmiňovaná evropská norma předpokládá různé druhy zeminy s různou tepelnou vodivostí a tepelnou kapacitou. Lze předpokládat, že zde budou hrát roli i další podmínky související s geologickými podmínkami jako tepelný tok z nitra země k povrchu, podzemní voda, petrografie, zemní anomálie jako krasové útvary, důlní stavby apod.

Druh zeminy a její vlastnosti určíme z průzkumu.

Půda tvoří svrchní část pevného zemského povrchu – pedosféru, která vzniká na tzv. kůře zvětrávání. Půdotvorné pochody zasahují do hloubky 120 až 150 cm [20].

Všechny stavby spočívají na povrchových vrstvách zemské kůry a svým přitížením vyvolují v podzákladí napětí způsobující změny v základové půdě. Tyto změny pak souvisí se změnami ve vlastní stavbě. Výraz půda má potom široký význam, zahrnuje všechny druhy hornin, které přejímají zatížení stavby [21].

Základová půda je část geologického prostředí, které spolupůsobí se stavební konstrukcí. Horniny jako základové půdy se v inženýrském smyslu označují jako zeminy, jestliže jsou zpevněné nebo slabě zpevněné, na rozdíl od dobře zpevněných skalních hornin [22].

4.1 Geotechnický průzkum

Geotechnickým průzkumem získáme obraz o složení základové půdy, ze které je tvořeno podzákladí stavby. Základová půda může být tvořena buď skalní horninou, nebo zeminou. Horniny skalního podkladu jsou dobré a velmi únosné základové půdy, pokud nejsou zvětralé nebo jinak narušené. Zeminy se chovají pod zatížením způsobeným stavbou složitěji proto, že vytvářejí dvojfázový nebo trojfázový systém, který tvoří zrna a póry vyplněné vodou nebo plynem. Vykazují malou pevnost a velké přetvoření.

Cílem geotechnického průzkumu je vyšetření inženýrskogeologických poměrů a stanovení vlastností základové půdy. Musí poskytnout veškeré údaje o základové půdě a režimu podzemní vody na staveništi a v jeho okolí [22].

Předběžný průzkum

Výsledkem tohoto průzkumu je předběžný posudek, který se provádí pro zastavovací plán. Podkladem jsou geologické mapy, prohlídka staveniště a sondovací práce.

Geologické mapy a geologická dokumentace se shromažďují v Geofondu při Ústředním ústavu geologickém v Praze. Povinností geologů je posílat do Geofondu všechny zprávy o geologických průzkumech, kde bylo použito sond hlubších než 10 metrů [21].

Podrobný průzkum

Podrobný průzkum je upřesněním předběžného průzkumu. Vzorky pro získání základových půd můžeme odebírat ze sond. Existují následující druhy sond:

Sondy zarážené – ocelová trubka o profilu 30 mm a o délce 2 až 4 m, která se zaráží do zeminy. Vzorky se používají pro rozlišování druhů půd a agrotechnické posuzování.

Sondy kopané – o rozměru 1,2 × 1,8 m, do hloubky 6 až 8 m podle hladiny podzemní vody, opatřují se roubením nebo pažením. Tato sonda umožňuje prohlídku zeminy a snadnější odebírání neporušených vzorků.

Sondy vrtané – s profilem 150 – 300 mm do měkčích zemin, v zeminách obsahujících štěrky je nutno volit větší profil. V nesoudržných zeminách musí být paženy ocelovými výpažnicemi. Sondy mohou být vrtané lžící pro měkké a středně pevné zeminy, dlátováním k rozbití balvanů, strojním jádrovým vrtáním pro získání neporušeného jádra skalních hornin, ale i soudržných zemin.

Vzorky zemin se odebírají z každé odlišné vrstvy nebo se odebírá průběžné jádro. Vzorky se chrání před účinky vnějších vlivů a ukládají se do normalizovaných vzorkovnic. Pokud je v sondě voda, zaznamená se její naražená hladina a po 24 hodinách ustálená hladina, současně se odebere do lahví s těsným uzávěrem.

Na základě sondování se vykreslí geologický profil [21].

4.2 Vlastnosti zemin

Zemina je z fyzikální stránky velmi složité prostředí, představuje složitý trojfázový systém. Obsahuje složky všech tří skupenství, pevná zrna, vodu a vzduch, případně jiné plyny. Základní fyzikální charakteristiky zemin jsou určovány vzájemným poměrem jednotlivých fází, ale pevná fáze zeminy má rozhodující vliv na vlastnosti zeminy [22].

4.2.1 Základní fyzikální vlastnosti zemin

Základní fyzikální vlastnosti zemin jsou objemová hmotnost suché zeminy a v přirozeném uložení, měrná hmotnost pevných částic, vlhkost, pórovitost, číslo pórovitosti, stupeň nasycení. Podle stupně nasycení lze zeminy rozdělit na suché, zavlhlé, vlhké, velmi vlhké a vodou nasycené. Pro plně nasycenou zeminu lze definovat další veličiny jako objemová hmotnost zeminy plně nasycené vodou, vlhkost plně nasycené zeminy, objemová tíha zeminy a objemová tíha zeminy pod hladinou vody [23].

4.2.2 Zrnitost zeminy

Zrnitostní složení zeminy je potřeba znát nejen pro pojmenování a zatřídění zeminy, ale i pro odhad dalších vlastností zeminy. Podle velikosti zrn se zemina dělí na frakce označené písmeny. Pro hrubší zeminy se používá prosévací zkouška, kdy se zemina prosévá na sadě sít. Obsah jemnějších zrn se stanoví např. hustoměrnou metodou, při které se stanovuje v určitých časových intervalech od rozmíchání suspenze její hustota v hloubce těžiště hustoměru. Z výsledků zkoušek se vynese křivka zrnitosti [23].

Rozdělení na složky je podkladem pro klasifikaci zemin. Prachová a jílová složka tvoří skupinu jemných částí označenou písmenem F, písčité se značí písmenem S a šterková písmenem G [23].

4.2.3 Voda v zemině

Za obsah vody v zemině se považuje takové množství vody, které lze odstranit vysušením zeminy při teplotě $110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ do stálé hmotnosti. Tato definice je konvenční a byla jednotně přijata na celém světě [22].

Voda pod povrchem terénu se označuje jako voda podzemní. Zdrojem podzemní vody je srážková voda nebo vodní toky a nádrže, odkud se voda vsakuje do podloží. V ojedinělých případech vzniká kondenzací vodních par unikajících z magmatu do povrchových částí zemské kůry. Za podzemní vodu je pokládána převážně voda gravitační, která je pod vlivem zemské přitažlivosti a dělí se na vodu volnou, jež souvisle vyplňuje póry zeminy pod hladinou podzemní vody, a vodu kapilární [23].

Kapilární voda v důsledku povrchového napětí vody vzlíná v pórech zeminy nad hladinu podzemní vody. Nasycuje zeminu nad hladinu podzemní vody do tzv. kapilární výšky. V kapilární vodě je relativní podtlak. Výška, do které vystoupí kapilární voda, je nepřímo úměrná velikosti pórů. U jílovitých zemin to mohou být metry, u písčitých zemin centimetry. Kapilární voda nepříznivě ovlivňuje únosnost pláně pro vozovky a namrzavost zemin [22].

Dále je v zemině obsažena voda vázaná, která tvoří na povrchu minerálních částic difúzní obal z orientovaných molekul vody. Voda je součástí minerálů v krystalické mřížce jako voda strukturální nebo krystalická [23]. Podle intenzity vazby na minerální povrch dělíme vázanou vodu na pevně a slabě vázanou. Voda vázaná ovlivňuje fyzikální a mechanické vlastnosti soudržných zemin, zapříčiňuje jejich soudržnost a propůjčuje jim v určitém rozsahu vlhkosti jejich plastické vlastnosti [22].

Při mrazu se voda v zemině mění na led. Postupně zamrzá voda volná, pak voda kapilární a případně i voda slabě vázaná. V našich klimatických podmínkách voda pevně vázaná nezamrzá. Nezahliněné, nesoudržné zeminy přeměnou vody na led zvyšují objem až o 9 % [22].

Zvětšováním objemu vzniká v zeminách podtlak. Při oteplení led od povrchu postupně taje, ale voda se přes zamrzlé hlubší vrstvy nemůže vsakovat, zemina zvlhne, ztrácí pevnost, a tím únosnost. Proto musíme zakládat stavby v tzv. nezámrazné hloubce [22].

4.2.4 Konzistence zeminy

U soudržných zemin je jejich fyzikální stav závislý na vlhkosti a je charakterizován konzistencí zeminy. Pro objektivní zařazení zeminy podle konzistence se v laboratořích určují konzistenční meze. Konzistence může být kašovitá, plastická, která se dělí na

měkkou a tuhou, dále pevná a tvrdá. Hranicí mezi zeminou kašovitou a měkkou je vlhkost na mezi tekutosti. Hranicí mezi tuhou a pevnou zeminou je vlhkost na mezi plasticity. Hranicí mezi pevnou a tvrdou nelze vyjádřit stupněm konzistence, hranicí je vlhkost na mezi smrštění [23].

Rozdíl konzistenčních mezí udává číslo plasticity. Malý rozdíl konzistenčních mezí mají zeminy prachovité a písčité, velký rozdíl zeminy jílovité. Plasticita zeminy závisí na vlhkosti na mezi tekutosti [23].

4.2.5 Klasifikace zemin

Klasifikací nazýváme zařazení zemin do skupin, tříd apod. Toto seskupení se užívá především proto, abychom si pod určitým symbolem zeminy mohli představit přesně definované skupiny zemin, které mají určité konkrétní a velmi blízké vlastnosti, zjištěné na základě fyzikálně-indexových laboratorních zkoušek a dlouhodobých zkušeností a korelací [22].

V případě jemnozrnných zemin se vlastnosti výrazně liší v závislosti na vlhkosti, která významně ovlivňuje konzistenční stav těchto zemin. Na sypké zeminy má vlhkost podstatně nižší vliv. Charakteristiky stavu nesoudržných zemin závisí především na hutnosti zeminy vyjádřené pórovitostí nebo číslem pórovitosti [22].

Základem klasifikace zemin je mezinárodně nejrozšířenější klasifikace USCS (Unified Soil Classification System).

Základním rozlišujícím znakem zemin pro klasifikaci je jejich zrnitostní složení, které se znázorňuje graficky křivkou zrnitosti. U zemin obsahujících více než 15 % jemnozrnných částic je rozlišujícím znakem plasticita, pro jejíž určení se musí stanovit konzistenční meze.

Zeminy jemnozrnné – skupina F

Kvalitativním znakem jemnozrnných zemin je jejich plasticita. Jemnozrnné zeminy se člení na jíl a hlínu [22, 24].

Zeminy písčité – skupina S

Rozhodujícím rozlišovacím znakem nesoudržných zemin je číslo nestejnozrnnosti a číslo křivosti. Tyto charakteristiky upřesňují hrubé zeminy na dobře zrněné a špatně zrněné. [22, 24].

Zeminy šterkovité – skupina G

Do této skupiny se zařazují zeminy, které mají méně než 35 % jemných částic a současně více šterkovitých (zrno větší než 2 mm) než písčitých částic [25].

Zvláštní zeminy

Za zvláštní zeminy se považují takové zeminy, které se chovají odlišně v porovnání se zeminami zařazenými podle zásad klasifikačního systému zemin [22].

Prosedavé zeminy

K prosedání může docházet u jemnozrnných zemin [22].

Jiné zvláštní zeminy

Za jiné zvláštní zeminy se považují ty zeminy, jejichž chování v důsledku zvláštního látkového nebo strukturního složení není postihnutele běžnými kvalitativními znaky a které se nemohou zařadit do klasifikačního systému. Normové charakteristiky těchto zemin se vyšetřují individuálně se zřetelem k předpokládaným podmínkám působení. Jsou to zejména karbonátové a evaporitové zeminy [22].

Nesoudržné zeminy

Tyto zeminy mají velké póry (voda rychle prosakuje do hloubky, neprojevuje se vztlínatost, jsou objemově stálé). Z hlediska zakládání jsou nejvhodnější.

Do této skupiny patří písky, písčité šterky nejrůznějšího původu a složení, dále také sypké kamenopísčité suti, různé písčité zvětralin (např. žulové) nebo pískovcová eluvia [21].

Soudržné zeminy

Do této skupiny řadíme různé jíly, spraše a zeminy písčité nebo jílovitopísčité, které obsahují směs částic jílovitých s hrubšími frakcemi. Soudržnost těchto zemin je podmíněna jílovitými částicemi. Tyto zeminy mají malé póry. Špatně propouští vodu, umožňují vztlínání vody, namrzají a mají velkou stlačitelnost. Svou konzistenci mění podle obsahu vody. Při větším obsahu vody jíly bobtnají a spraše rozbředají a prosedají. Za sucha jsou jíly i spraše velmi tuhé a smršťují se. Jsou také pohyblivé a náchylné k sesouvání. Pro tyto velmi proměnlivé vlastnosti si při navrhování zakládání zasluhují zvláštní pozornost. Podle poměru jednotlivých částí jsou soudržné zeminy pro zakládání vhodné, podmíněčně vhodné nebo zcela nevhodné [21].

5 Zemina v tepelnětechnických výpočtech

5.1 Součinitel tepelné vodivosti

Hodnota součinitele tepelné vodivosti je tepelná vodivost nepromrzlé zeminy pod objektem (zónou). V normě ČSN 730540 [17] jsou uvedeny následující vlastnosti zeminy.

Tabulka 5-1: Vlastnosti zeminy dle ČSN 730540 [17]

materiál	tepelná vodivost zeminy	měrná tepelná kapacita	objemová hmotnost
	λ	c	ρ
	W/(m.K)	J/(kg.K)	kg/m ³
hlína suchá	0,7	750	1600
půda písčítá s přirozenou vlhkostí	1,4	920	1800
půda písčítá vlhká	2,3	920	2000

ČSN EN ISO 13 370 [3] postupuje jiným způsobem, a sice předpokládá, že teplo uniká zeminou z budovy do okolního prostředí. Pro zeminu jsou pak v normě stanoveny obecné vlastnosti. Buď, při znalostech konkrétní zeminy, lze použít tyto konkrétní vlastnosti, nebo se postupuje podle tabulky 7 v uvedené normě (viz následující tabulka). Pokud není známa ani přibližná kvalita zeminy, postupuje se, jako by se jednalo o písek.

Tabulka 5-2: Vlastnosti zeminy dle ČSN EN ISO 13370 [3]

kategorie	popis	tepelná vodivost	objemová tepelná kapacita
		λ	ρc
		W/(m.K)	J/(m ³ .K)
1	hlíny a jíly	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	písky a štěrky	2	$2,0 \times 10^6$
3	stejnorodá skála	3,5	$2,0 \times 10^6$

Tepelné vlastnosti zeminy závisí na různých číselných faktorech, jakými jsou hustota, stupeň nasycení vodou, velikost částic, druh nerostů, kterými jsou částice tvořeny, zda je zemina v promrzlém nebo nepromrzlém stavu apod. V důsledku toho výrazně kolísají tepelné vlastnosti v různých lokalitách a na tomtéž místě v různých hloubkách a jsou v důsledku změn vlhkosti a účinků mrazových cyklů kromě toho časově proměnlivé. Hodnoty vlastností zeminy použité ve výpočtech přenosu tepla, včetně naměřených hodnot, mají být reprezentativní pro zeminu v blízkosti budovy v době, ke které se výpočet vztahuje [3].

5.2 Teplota v zemině

Návrhová teplota zeminy přilehlé ke svislým nebo vodorovným stavebním konstrukcím v zimním období se stanoví podle ČSN 730540-3, neprovádí-li se výpočet přenosu tepla zeminou přesněji podle ČSN EN ISO 13370. Hodnoty v ČSN 730540-3 jsou převzaty z ČSN 06 0210, která je v současné době neplatná [17].

Pro tepelně technické výpočty v ČSN 06 0210 [1, 2] mimo teploty zeminy přilehlé ke stavební konstrukci byla definována výpočtová venkovní teplota dle oblastí, dále teplota v sousedních nevytápěných místnostech a vnitřní výpočtová teplota ve vytápěných místnostech.

Návrhová teplota zeminy přilehlé ke stavební konstrukci je uvedena v následující tabulce. Předpokládá se, že teplota zeminy je pro výpočtovou vnější teplotu konstantní a teplo z budovy prochází konstrukcí do zeminy.

Tabulka 5-3: Teploty dle ČSN 06 0210 [1]

Poloha přilehlé vrstvy země	Teplota přilehlé země θ_{gr} ve °C při návrhové teplotě venkovního vzduchu	
	$\theta_e > -15\text{ °C}$	$\theta_e \leq -15\text{ °C}$
pod podlahou	+ 5	+ 5
u svislé stěny: do hloubky 1 m	- 3	- 6
v hloubce 1 až 2 m	0	- 3
v hloubce 2 až 3 m	+ 3	0
v hloubce > 3 m	jako pod podlahou	

Pokud se výpočet přenosu tepla zeminou provádí přesněji podle ČSN EN ISO 13370, je potřeba modelovat výpočtový model pod objektem dle ČSN EN ISO 10211 [6].

Tato norma stanovuje podrobnosti pro geometrický model pro numerický výpočet tepelných toků ke zhodnocení celkové tepelné ztráty budov nebo její části a také pro odvození lineárních a bodových činitelů prostupu tepla, dále pro výpočet minimálních povrchových teplot ke zhodnocení rizika povrchové kondenzace a stanovení teplotních faktorů povrchu.

Tabulka 5-4: Umístění rovin řezů v přilehlé zemině dle ČSN EN ISO 10211 [6]

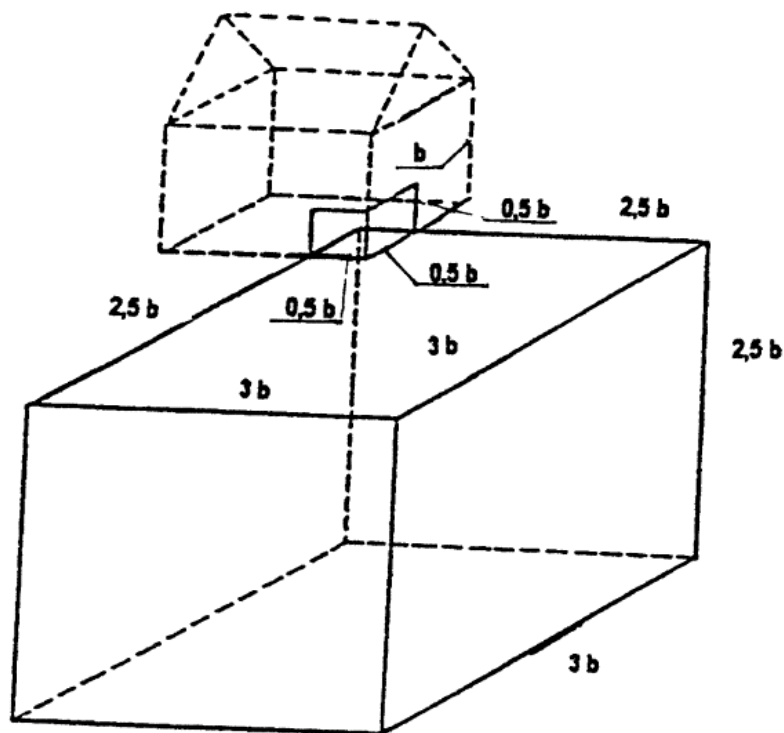
Vzdálenost k centrálnímu prvku v m

Směr	Účel výpočtu	
	Povrchová teplota, viz obrázek 7a	Tepelný tok, viz obrázek 7b
Horizontální uvnitř budovy	nejméně 1 m	0,5 b
Horizontální vně budovy	stejná vzdálenost jako uvnitř budovy	2,5 b
Vertikální pod úrovní terénu	3 m	2,5 b
Vertikální pod úrovní podlahy (viz poznámka)	1 m	

Kde:
b je šířka (menší rozměr) přízemního podlaží v m.

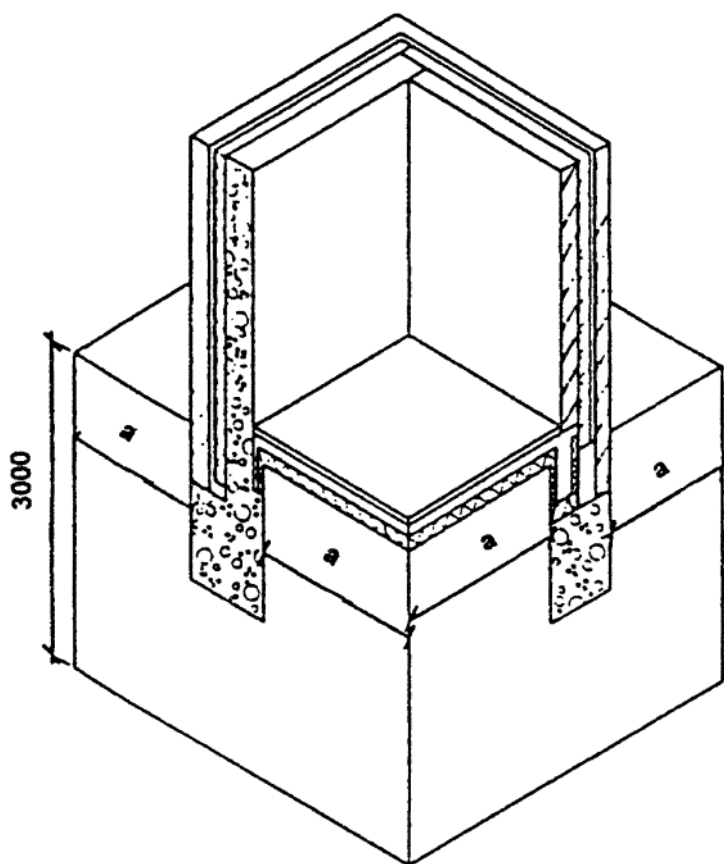
POZNÁMKA - Tyto hodnoty se uplatní pouze tehdy, je-li posuzované podlaží více než 2 m pod úrovní terénu.

Pro hodnocení tepelných toků se okrajová podmínka do zeminy vůbec nezadává, je zde tedy uvažována adiabatická podmínka.



Obrázek 5-1: Obrázek 7b - rozměry přilehlé zemině pro výpočet tepelného toku [6]

Při výpočtu povrchových teplot je okrajová podmínka umístěna tři metry pod terénem, případně do hloubky jednoho metru pod podlahou, pokud je podlaha více než dva metry pod povrchem terénu. Teplota v zemině se v ČR obvykle předpokládá 5 °C, i když ČSN 730540-3 (a starší vydání EN ISO 13788) doporučuje uvažovat teplotu v zemině shodnou s průměrnou roční teplotou venkovního vzduchu. Průměrná roční teplota venkovního vzduchu se pohybuje v ČR zhruba od 3 °C do 8 °C, proto je obvyklá hodnota 5 °C dobře použitelná.



Obrázek 5-2: *Obrázek 7a - rozměry přilehlé zeminy pro výpočet povrchové teploty [6]*

6 Normové požadavky

6.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla definuje tepelné ztráty konstrukcí, tedy množství tepla, které může konstrukcí za ustáleného stavu proudit. Požadavků na součinitel prostupu tepla je několik, jedním je požadavek na průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} a dalším pak požadavek na součinitel prostupu tepla konstrukce U . Ten vyjadřuje požadavek na každou konstrukci. Norma uvádí 3 hodnoty: požadovaný součinitel prostupu tepla, doporučený součinitel prostupu tepla a součinitel prostupu tepla doporučený pro pasivní domy.

Součinitel prostupu tepla musí splňovat minimální hodnotu danou normou a vyjadřuje požadavek na kvalitu obálky budovy. Norma ČSN 73 0540-2 uvádí požadavky pro budovy s převažující návrhovou teplotou v intervalu 18 až 22 °C včetně na jednotlivé konstrukce formou tabulky. Pro jiné teploty vytápění se pak teplota vypočte podle vzorce zohledňujícího vliv jiné převažující návrhové teploty.

Konstrukce vytápěných budov musí mít v prostorech s návrhovou relativní vlhkostí vnitřního vzduchu $\varphi_i \leq 60\%$ součinitel prostupu tepla U ; ve $W/(m^2 \cdot K)$ takový, aby splňoval podmínku:

$$U \leq U_N \quad (5)$$

kde:

U_N je požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla ve $W/(m^2 \cdot K)$.

Doporučená hodnota součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí je však v současné době v mnoha případech minimální hodnotou, kterou je potřeba dodržovat [26].

Tabulka 6-1: Některé vybrané hodnoty součinitele prostupu tepla [27]

Popis konstrukce		Součinitel prostupu tepla W/(m ² .K)		
		Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	těžká	0,3	0,25	0,18 až 0,12
	lehká	0,3	0,2	0,18 až 0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině		0,45	0,3	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		0,6	0,4	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru		0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop a stěna vnější z částečně vytápěného prostoru k venkovnímu prostředí		0,75	0,5	0,38 až 0,25
Podlaha a stěna částečně vytápěného prostoru přilehlá k zemině		0,85	0,6	0,45 až 0,30

6.2 Nejnižší vnitřní povrchová teplota konstrukce

Nejnižší požadovaná teplota konstrukce je požadavek, kdy je potřeba zajistit povrchovou teplotu takovou, aby nedocházelo k nadměrné vlhkosti a k vytváření prostředí náchylného k růstu plísní. Plísně se mohou množit ve větším množství již při relativní vlhkosti 80 %. Relativní vlhkost je závislá na teplotě prostředí a absolutní vlhkosti. Jedná se o požadavek na konstrukci, kde na druhé straně konstrukce bývá různá návrhová teplota [26, 28].

6.2.1 Teplotní faktor vnitřního povrchu

Aby nebylo nutné pro každý stavební detail provádět přepočty na jiné vnitřní a vnější návrhové podmínky, byl zaveden teplotní faktor vnitřního povrchu f_{Rsi} . Jedná se o bezrozměrné číslo, které vyjadřuje poměr rozdílu vnitřní povrchové teploty a teploty exteriéru k rozdílu teploty interiéru a teploty exteriéru.

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_{ai} - \theta_e} \quad (6)$$

kde:

θ_{si} je vnitřní povrchová teplota konstrukce;

θ_e je návrhová teplota venkovního vzduchu v zimním období;

θ_{ai} je návrhová teplota vnitřního vzduchu.

V ČSN 73 0540-2 [27] je dán požadavek na teplotní faktor vnitřního povrchu. Teplotní faktor musí být větší nebo roven hodnotě normové.

$$f_{Rsi} \geq f_{Rsi,N} \quad (7)$$

kde:

$f_{Rsi,N}$ je požadovaná hodnota nejnižšího teplotního faktoru vnitřního povrchu, stanovená ze vztahu:

$$f_{Rsi,N} = f_{Rsi,cr} \quad (8)$$

$f_{Rsi,cr}$ je kritický teplotní faktor vnitřního povrchu, stanovený ze vztahu:

$$f_{Rsi,cr} = 1 - \frac{237,3 + 2,1 \cdot \theta_{ai}}{\theta_{ai} - \theta_{ex}} \cdot \frac{1}{1,1 - 17,269/\ln(\varphi_{if}/\varphi_{si,cr})} \quad (9)$$

Ale pro obvyklé návrhové hodnoty vnitřního a vnějšího vzduchu, tedy pro relativní vlhkost v interiéru 50 %, je uvedena v normě ČSN 73 0540-2 tabulka požadovaných minimálních hodnot teplotního faktoru.

Tabulka 6-2: Minimální hodnoty teplotního faktoru vnitřního povrchu pro návrhovou relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_i = 50 \%$ [27]

Konstrukce	Návrhová teplota vnitřního vzduchu θ_{ai} [°C]	Návrhová venkovní teplota θ_e [°C]								
		-13	-14	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21
Stavební konstrukce	20,0	0,748	0,746	0,744	0,751	0,757	0,764	0,770	0,776	0,781
	20,3	0,750	0,747	0,745	0,752	0,759	0,765	0,771	0,777	0,782
	20,6	0,751	0,749	0,747	0,754	0,760	0,766	0,772	0,778	0,783
	20,9	0,753	0,751	0,748	0,755	0,762	0,768	0,773	0,779	0,784
	21,0	0,753	0,751	0,749	0,756	0,762	0,768	0,774	0,779	0,785

6.3 Lineární činitel prostupu tepla

Pro výpočet tepelných mostů a tepelných vazeb se používá lineární činitel prostupu tepla. Nejedná se o fyzikální veličinu, ale o přírážku vypočítanou z rozdílu tepelných toků ve skutečném teplotním poli a z tepelných toků spočítaných tak, jako by se jednalo o homogenní konstrukce. Nejde tedy o vlastnost materiálu, vlastnost konstrukce či geometrického řešení, ale o rozdíl mezi skutečným stacionárním vedením tepla a teoretickým jednorozměrným stacionárním vedením tepla. Proto mohou lineární činitelé prostupu tepla nabývat i záporných hodnot [26].

V ČSN 73 0540-2 [27] je dán požadavek na lineární činitel prostupu tepla. Lineární činitel prostupu tepla musí být menší nebo roven hodnotě normové.

$$\psi \leq \psi_N \quad (10)$$

kde:

ψ_N je požadovaná hodnota lineárního činitele prostupu tepla, ve $W/(m \cdot K)$.

Tabulka 6-3: Požadované a doporučené hodnoty lineárního činitele prostupu tepla [27]

Typ lineární tepelné vazby	Lineární činitel prostupu tepla [W/(m·K)]		
	Požadované hodnoty ψ_N	Doporučené hodnoty ψ_{rec}	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy ψ_{pas}
Vnější stěna navazující na další konstrukci s výjimkou výplně otvoru, např. na základ, strop nad nevytápěným prostorem, jinou vnější stěnu, střechu, lodžii či balkon, markýzu či arkýř, vnitřní stěnu a strop (při vnitřní izolaci), aj.	0,20	0,10	0,05

7 Teplotní pole

7.1 Definice teplotního pole

Teplotní pole je prostor, který má v každém místě konkrétní teplotu. Teplotní pole může být stacionární, neměnné, nebo může jít o nestacionární teplotní pole, kdy se teplota v každém místě mění v závislosti na čase [29, 30].

Rovnice popisující teplotní pole vycházejí ze zákona zachování energie.

Lze je vyjádřit např. vztahem:

$$\operatorname{div}(\lambda \operatorname{grad} T) = \frac{\partial T}{\partial t} + \rho c v \cdot \operatorname{grad} T - w_J \quad (11)$$

kde:

λ je měrná tepelná vodivost [W/(m·K)];

ρ je hustota [kg/m³];

c je měrná tepelná kapacita [J/(kg·K)];

v je rychlost pohybu kontinua [m/s];

w_J je výkon tepla v objemové jednotce za jednotku času [W/m³].

7.2 Okrajové podmínky

Pro řešení teplotního pole je nutné vycházet ze známých hodnot. Těmi jsou v tomto případě okrajové podmínky. V zásadě lze hovořit o 4 druzích okrajových podmínek.

Okrajové podmínky se používají na hranicích teplotního pole nejčastěji ve tvaru:

Dirichletovy – nazývané podmínkami I. druhu.

$$T(\Gamma, t) = T_\Gamma(\Gamma, t) \quad (12)$$

Tyto podmínky se užívají tam, kde je hranice teplotního pole tvořena izotermou.

Neumannovy – nazývané podmínkami II. druhu.

Tyto podmínky představují bilanci tepelného toku s příslušnou hranicí.

$$-\lambda \text{grad}T = q \quad (13)$$

kde:

q je hustota tepelného toku [W/m^2].

Homogenní podmínka se používá např. tam, kde se jedná o geometrickou symetrii teplotního pole.

Newtonovy – nazývané podmínkami III. druhu.

Tyto podmínky jsou lineární kombinací obou předchozích a zde reprezentují přestup tepla konvekcí do okolního prostředí o teplotě T_{ext} .

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial t} = \alpha(T - T_{\text{ext}}) \quad (14)$$

kde:

α je součinitel přestupu tepla z jednoho prostředí do druhého [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$].

Součinitel přestupu tepla z jednoho prostředí do druhého je závislý mimo jiné i na parametrech prostředí na hranici teplotního pole. Tento součinitel přestupu tepla nereflektuje zcela přesně součinitel přestupu tepla tak, jak je používán ve stavební praxi, neboť v něm je zahrnut i přestup tepla radiací.

Podmínky šíření tepla sáláním – nazývané podmínkami IV. druhu - uplatňují větší počet zákonů zabývajících se tímto druhem šíření tepla (zákon Snellův, Lambertův, Stefanův–Boltzmannův, Planckův, Wienův či Kirchhoffův). Pro stavební praxi je důležitý Stefanův–Boltzmannův zákon, který lze vyjádřit takto:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial t} = \varepsilon C(T^4 - T_{\text{ext}}^4) \quad (15)$$

kde:

ε je Stefan–Boltzmannova konstanta (součinitel sálání černého tělesa)

$$\varepsilon = 5,6697 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$$

C je součinitel emisivity ($0 \leq C \leq 1$) [-]

Emisivita tělesa je v obecném případě závislá na materiálu tělesa, na vlnové délce emitovaného tepelného záření, na úhlu vyzařování a na kvalitě povrchu vyzařujícího tělesa [29, 30].

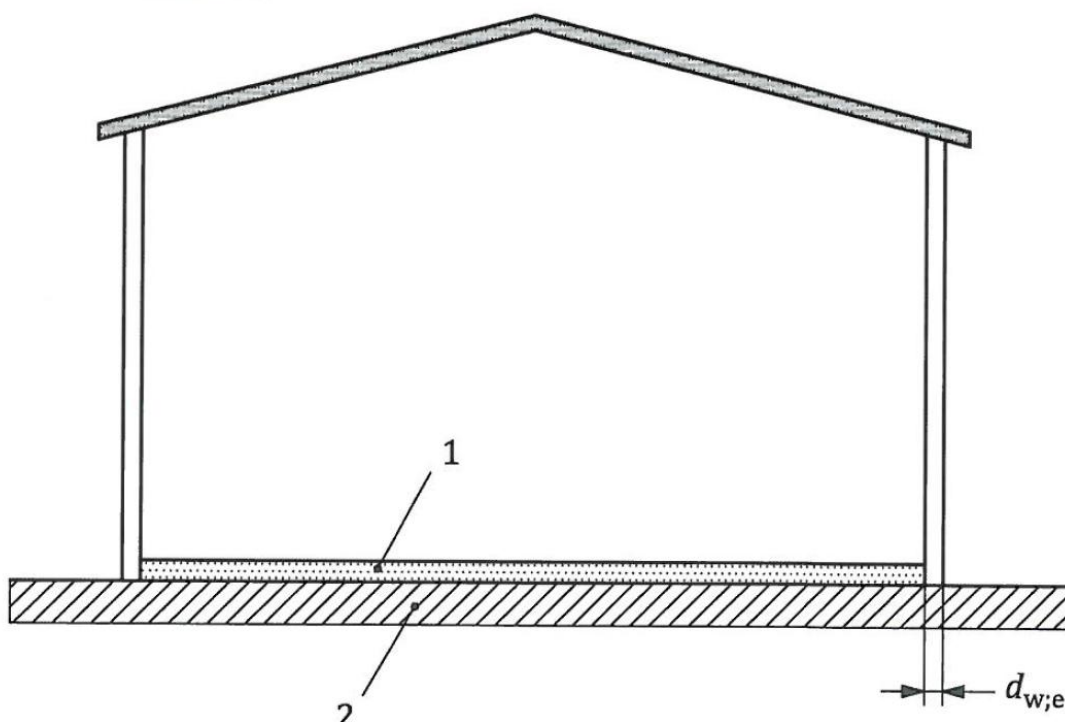
Tato práce se věnuje především tepelnému toku v podzákladi, rozhodující podmínkou nutnou pro řešení teplotního pole v podzákladi je tedy především Dirichletova podmínka, neboť řešení spočívá v opačném postupu – na základě znalosti teplotního pole zjistit skutečné okrajové podmínky. Dále se budeme částečně zabývat Neumannovou podmínkou a Newtonovou podmínkou. Podmínky IV. druhu se této práci netýkají.

8 Součinitele prostupu tepla a ustálený měrný tepelný tok

Pro výpočet součinitele prostupu tepla a tepelných toků norma ČSN EN ISO 13370 [3] předpokládá několik případů podlah s ohledem na umístění podlahy vůči terénu a u suterénu s ohledem na vytápění suterénních prostor, a to podlahu na zemině, zvýšenou podlahu, vytápěný suterén a částečně či zcela nevytápěný suterén.

8.1 Podlaha na zemině

Podlaha na zemině je podlaha, která je tvořena deskou, jež je celou svou plochou v kontaktu se zeminou. Nemusí být v celé ploše zeminou nesena. Podlaha může být neizolovaná nebo v celé své ploše rovnoměrně izolovaná [3].



Obrázek 8-1: Schéma podlahy na zemině [3]

Součinitel prostupu tepla závisí na charakteristickém rozměru podlahy B a na celkové ekvivalentní tloušťce d_f .

$$B = \frac{A}{0,5 \times P} \quad (16)$$

kde

A je plocha podlahy;

P je exponovaný obvod podlahy.

$$d_f = d_{w;e} + \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) \quad (17)$$

kde

$d_{w;e}$ je celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy;

λ_g je tepelná vodivost zeminy;

$R_{f;sog}$ je tepelný odpor podlahy zahrnující tepelné odpory všech celoplošných tepelněizolačních vrstev nad i pod souvrstvím podlahy a uvnitř souvrství podlahy včetně nášlapné vrstvy;

R_{si} je odpor při přestupu tepla na vnitřní straně;

R_{se} je odpor při přestupu tepla na vnější straně.

V závislosti na tepelné izolaci podlahy se k výpočtu součinitele prostupu tepla použije vztah:

pokud $d_f < B$ (neizolované nebo mírně izolované podlahy), platí:

$$U_{fg;sog} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B + d_f} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B}{d_f} + 1 \right) \quad (18)$$

pokud $d_f \geq B$ (dobře izolované podlahy), platí:

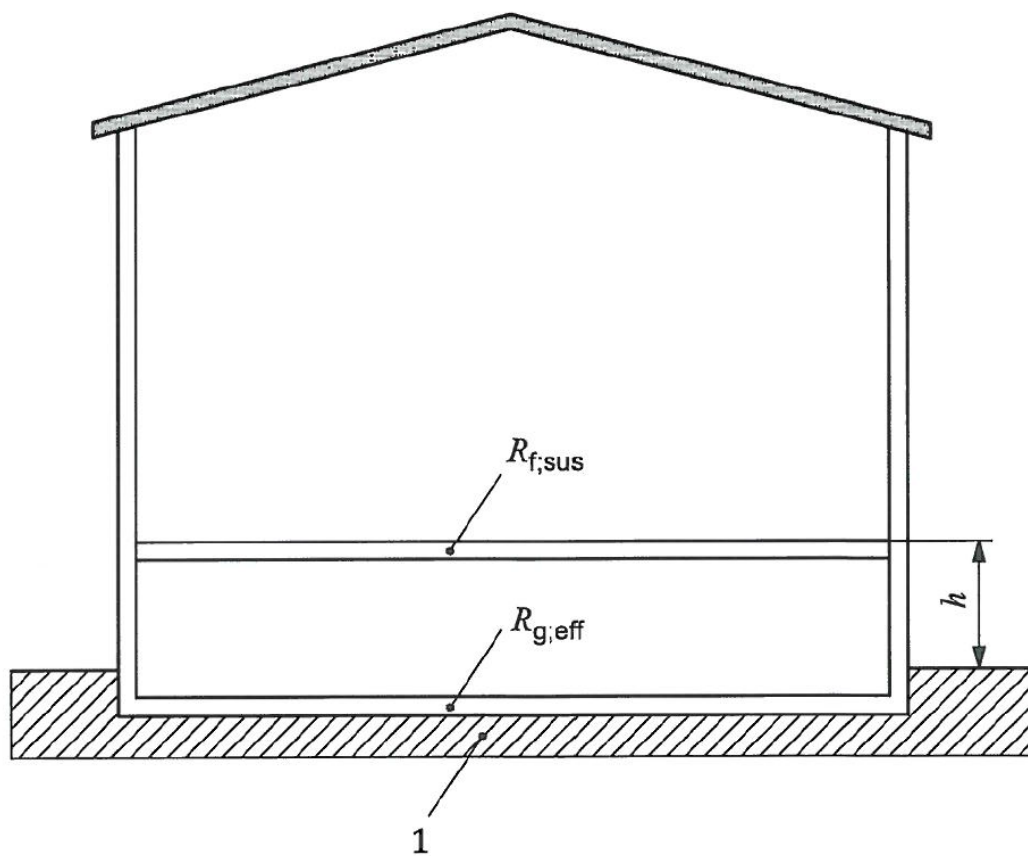
$$U_{fg;sog} = \frac{\lambda_g}{0,457 \times B + d_f} \quad (19)$$

Ustálený měrný tepelný tok zeminou mezi vnitřním a venkovním prostředím se vypočítá ze vztahu:

$$H_g = A \cdot U_{fg;sog} + P \cdot \psi_{w;f} \quad (20)$$

8.2 Zvýšená podlaha

Zvýšená podlaha je podlaha bez plošného kontaktu se zeminou a je umístěna nad volným prostorem. Volný prostor nad zvýšenou podlahou je větrán přirozeně venkovním vzduchem [3].

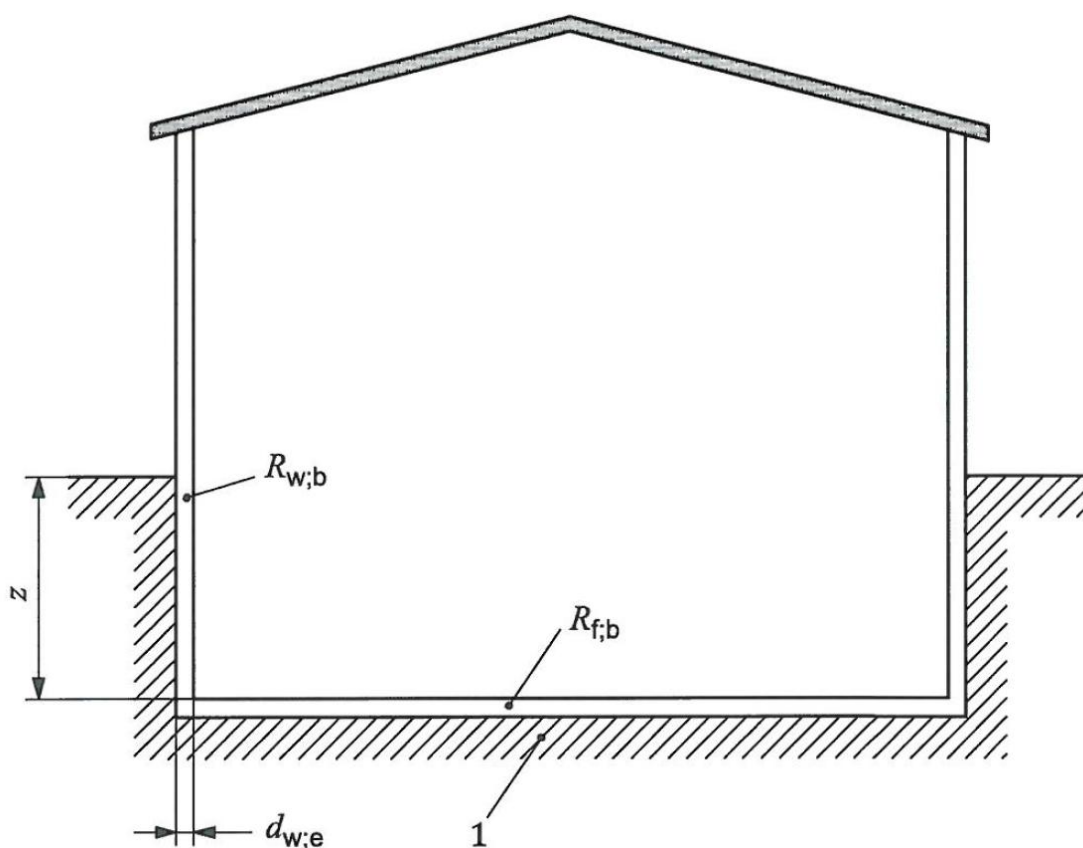


Obrázek 8-2: Schéma zvýšené podlahy [3]

Výpočet součinitele prostupu tepla je uveden v normě ČSN EN ISO 13370 [3], postup výpočtu a vzorce zde dále neuvádím, protože v dalších výpočtech tento typ podlahy není uvažován.

8.3 Vytápěný suterén

Uvedené postupy pro suterény se použijí u budov, ve kterých je část obyvatelných prostorů nad úrovní terénu. Zohledňuje se hloubka z podlahy suterénu pod úrovní okolního terénu a možnost odlišné úrovně izolování stěn a podlahy suterénu. Pokud se hloubka podlahy z mění po obvodě podlahy, použije se ve výpočtu průměrná hodnota [3].



Obrázek 8-3: Schéma budovy s vytápěným suterénem [3]

Podlaha suterénu

Stejně jako u podlahy na terénu se používá charakteristický rozměr podlahy. Do celkové ekvivalentní tloušťky d_f se započítávají všechny tepelně-izolační vrstvy podlahy suterénu.

$$d_f = d_{w;e} + \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{f;b} + R_{se}) \quad (21)$$

kde

$d_{w:e}$ je plná tloušťka stěn budovy na úrovni terénu, se zahrnutím všech vrstev;

$R_{f;b}$ je tepelný odpor podlahy, zahrnující všechny celoplošné izolační vrstvy umístěné nad i pod podlahovou deskou i uvnitř podlahového souvrství a tepelné odpory nášlapné vrstvy.

Ostatní značky jsou popsány v předchozí kapitole.

V závislosti na tepelné izolaci podlahy suterénu se k výpočtu součinitele prostupu tepla použije vztah:

pokud $(d_f + 0,5 \times z) < B$ (neizolované nebo mírně izolované podlahy), platí:

$$U_{fg;b} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot B + d_f + 0,5 \times z} \cdot \ln \left(\frac{\pi \cdot B}{d_f + 0,5 \times z} + 1 \right) \quad (22)$$

pokud $(d_f + 0,5 \times z) \geq B$ (dobře izolované podlahy), platí:

$$U_{fg;b} = \frac{\lambda_g}{0,457 \times B + d_f + 0,5 \times z} \quad (23)$$

Suterénní stěny

Hodnota součinitele prostupu tepla je závislá na celkové ekvivalentní tloušťce suterénní stěny $d_{w;b}$.

$$d_{w;b} = \lambda_g \cdot (R_{si} + R_{w;b} + R_{se}) \quad (24)$$

kde

$R_{w;b}$ je tepelný odpor stěn suterénu se zahrnutím všech vrstev.

Ostatní značky jsou popsány v předchozí kapitole.

$$U_{wg;b} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} \cdot \left(1 + \frac{0,5 \times d_f}{d_f + z}\right) \cdot \ln\left(\frac{z}{d_{w;b}} + 1\right) \quad (25)$$

Uvedený vztah zahrnuje $d_{w;b}$ i d_f . Pokud by bylo $d_{w;b} \geq d_f$ nahradí se tloušťka d_f tloušťkou $d_{w;b}$.

Přenos tepla z celého suterénu

Efektivní součinitel prostupu tepla, který charakterizuje celou část suterénu v kontaktu se zeminou, se stanoví:

$$U_{bg;eff} = \frac{A \cdot U_{fg;b} + z \cdot P \cdot U_{wg;b}}{A + z \cdot P} \quad (26)$$

Ustálený měrný tepelný tok zeminou mezi vnitřním a venkovním prostředím se vypočítá ze vztahu:

$$H_g = A \cdot U_{fg;b} + z \cdot P \cdot U_{wg;b} + P \cdot \psi_{w;f} \quad (27)$$

8.4 Nevytápěný suterén

Pro nevytápěný suterén větraný venkovním vzduchem se součinitel prostupu tepla mezi vnitřním a venkovním prostředím stanoví:

$$\frac{1}{U_{ub}} = \frac{1}{U_{f;sus}} + \frac{A}{(A \cdot U_{fg;b}) + (z \cdot P \cdot U_{wg;b}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (c_p \cdot \rho \cdot n \cdot V)} \quad (28)$$

kde

$U_{f;sus}$ je součinitel prostupu tepla podlahy mezi interiérem a suterénem;

U_w je součinitel prostupu tepla suterénních stěn nad úroveň terénu;

h je výška suterénních stěn nad úroveň terénu;

n je intenzita větrání suterénu;

V je objem vzduchu v suterénu;

$c_p \rho = 0,33$.

Pokud chybějí přesnější údaje o větrání, použije se hodnota $n = 0,3 \text{ h}^{-1}$.

Ustálený měrný tepelný tok zeminou mezi vnitřním a venkovním prostředím se vypočítá ze vztahu:

$$H_g = A \cdot U_{ub} + P \cdot \psi_{w,f} \quad (29)$$

8.5 Částečně vytápěný suterén

Pro částečně vytápěný suterén se tepelné toky mohou vypočítat následujícím postupem:

- Vypočte se tepelný tok pro plně vytápěný suterén;
- Vypočte se tepelný tok pro plně nevytápěný suterén;
- Vypočte se vážený průměr obou hodnot v poměru ploch vytápěné a nevytápěné části suterénu v kontaktu se zeminou, čímž se získá hodnota tepelného toku pro částečně vytápěný suterén [3].

8.6 Činitel teplotní redukce

Pro výpočet tepelných toků je také možné použít výpočtový postup dle ČSN 730540, kdy je použito činitele teplotní redukce b , který vyjadřuje skutečnost, že na hodnocenou konstrukci nepůsobí na vnější straně venkovní teplota, ale teplota podstatně vyšší.

Součinitel prostupu tepla konstrukce ve styku se zeminou či nevytápěným suterénem je v tomto případě zadán bez vlivu zeminy či suterénu, zahrnuje tedy jen vrstvy samotné konstrukce. Vliv zeminy nebo suterénu se projeví v činiteli teplotní redukce, který je uveden v ČSN 735040-3 [17].

Tabulka 8-1: Návrhové hodnoty činitele teplotní redukce [17]

Typ konstrukce	Činitel teplotní redukce $b_{u,j}$ (-)		
	Vnitřní prostředí		
	Vytápěné	Částečně vytápěné	
Konstrukce přilehlé k zemině			
Ve vzdálenosti od venkovního povrchu terénu u konstrukce	- do 1 m včetně	0,66	0,52
	- od 1 m do 2 m včetně	0,57	0,40
	- od 2 m do 3 m včetně	0,49	0,28
	- nad 3 m	0,43	0,20

9 Cíle disertační práce

9.1 Vytyčení cílů

Cílem práce je na základě reálných naměřených hodnot průběhu teplot v zemině mimo zastavěné území modelovat dynamickým výpočtem tepelnotechnické vlastnosti terénu a na základě zjištěného matematického modelu modelovat reálný průběh teplot v zastavěném území.

Cílem disertační práce bylo najít co nejpřesnější odpovědi na otázky, které jsou rámcově formulovány v následujících krocích:

- vyhodnocení naměřených dat v zemině mimo zastavěné území po měřených vrstvách;
- dynamický výpočet pro vytvoření co nejpřesnějšího výpočtového modelu, který odpovídá naměřeným teplotám v průběhu roku;
- osazení objektu do vytvořeného výpočtového modelu;
- porovnání minimálních povrchových teplot různým výpočtovým přístupem;
- porovnání tepelných toků různým výpočtovým přístupem;
- odvození jednoduššího a přesnějšího modelu pro zjišťování přenosu tepla z budovy zeminou.

9.2 Důvody volby cílů

Energetická náročnost budovy je dána spotřebou energie na vytápění, větrání, přípravu teplé vody, osvětlení a případné chlazení a vlhčení vzduchu. Současné stavebnictví směřuje k čím dál nižší energetické náročnosti. Mohutné tepelné izolace, které jsou dnes používány, minimalizují spotřebu energie na vytápění. Tím však vzrůstá nutnost tuto energii dobře regulovat a správně navrhovat otopné systémy.

Zároveň s těmito potřebami je však nutné optimalizovat používání tepelných izolací tak, aby jejich použití bylo rovnoměrné a aby energetická náročnost jejich výroby a zabudo-

vání byla nižší než jejich účinek na zabránění tepelných ztrát z budov během jejich životnosti.

Všechny tyto aspekty je nutné řešit kvalitním matematickým modelováním energetických toků.

Přitom, jak již bylo konstatováno a jak vyplývá z ČSN EN ISO 13 370 [3], se tato norma řídí mnoha empirickými vzorci a navíc neumožňuje relativně jednoduché řešení přenosu tepla zeminou z budovy do exteriéru.

Proto by bylo velkým přínosem, kdyby se podařilo nalézt lepší matematický model, který by umožňoval jednodušeji a přitom přesněji modelovat teplotní pole v podzákladi.

9.3 Prostředky ke splnění cílů

Pro splnění cílů bylo využíváno naměřených dat získaných od Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky.

Dále byl využíván především výpočtový program QuickField 5.6, dále program Energie 2017 a Microsoft Office Excel 2007.

10 Metody zpracování

Metodika zpracování disertační práce je rozdělena do následujících oblastí:

- analýza dosavadních poznatků;
- studium dostupné literatury a informací k dané problematice;
- zpracování naměřených dat průběhů teplot v zemině;
- modelování dynamického výpočtového modelu odpovídajícího realitě;
- modelování stacionárních výpočtových modelů dle platných norem a modelování zjednodušeného výpočtového modelu odpovídajícímu skutečnosti;
- porovnání jednotlivých výpočtových modelů.

Disertační práce je doplněna fotografiemi a dalšími grafickými podklady.

10.1 Analýza dosavadních poznatků

10.1.1 Studium literatury a dostupných informací

Při řešení problematiky této disertační práce bylo prvním krokem studium dostupných podkladů, materiálů a informací o klimatických podmínkách České republiky, zemině, tepelné technice a výpočtových přístupech teplotního pole zemin. Informace byly čerpány z dostupné odborné literatury, která se týkala této řešené problematiky. Jednalo se o odborné knižní publikace, články v odborných časopisech, příspěvky z konferencí, normy. Jedná se především o tyto zdroje:

- informace od Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky;
- literatura především z nakladatelství: Česká zemědělská univerzita v Praze, Akademické nakladatelství CERM, SNTL – Nakladatelství technické literatury, Česká technika – nakladatelství ČVUT atd.;
- časopis *Tepelná ochrana budov* a články od autorů: Ing. Jiří Šála, Ing. Vladan Panovec, doc. Dr. Ing. Zbyněk Svoboda atd.;
- technické listy výrobků a materiálů, odborné firemní katalogy, především společnosti Isover a Heluz;
- technické normy.

10.2 Zpracování naměřených dat

Jako výchozí data byla použita data získaná od Geofyzikálního ústavu Akademie věd České republiky vycházející ze spolupráce s Ing. Milanem Krešlem, CSc.

Geofyzikální ústav Akademie věd ČR je veřejná výzkumná instituce zabývající se základním výzkumem v oblasti fyziky pevné Země a jejího okolí, sběru geofyzikálních dat a zajišťování geofyzikální služby. Geofyzikální ústav Akademie věd ČR se v současné době skládá ze čtyř vědeckých oddělení: seismologie, geomagnetika, geotermika, geodynamika [31].

10.3 Modelování dynamických a stacionárních výpočtových modelů

Podstatnou součástí řešení disertační práce bylo dynamické modelování výpočtového modelu odpovídajícího realitě a s osazeným objektem. Dynamický výpočtový model odpovídající realitě byl porovnáván s naměřenými hodnotami. Pro různé výpočtové přístupy bylo provedeno stacionární modelování. Tyto výpočty a výpočtové modely byly vytvořeny v programu QuickField 5.6. Program QuickField je profesionální program pro řešení stacionárních dvourozměrných fyzikálních polí pomocí metody konečných prvků. Další zpracování výpočtů sloužící k porovnání výsledků, konkrétně u potřeby tepla na vytápění, bylo provedeno pomocí výpočtového programu Energie 2017.

11 Popis a dílčí výsledky jednotlivých metod zpracování

11.1 Výchozí data

11.1.1 Popis oblastí výchozích dat

Na pozemku Geofyzikálního ústavu AVČR v Praze-Spořilově je od roku 1994 monitorována teplota ve vybraných hloubkách ve dvou experimentálních vrtech hlubokých 150 metrů (GFU-1) a 40 metrů (GFU-2) společně s měřením teploty vzduchu a dalších meteorologických parametrů v rámci klimatického experimentu. Od roku 2011 je v místním Geoparku vrt hloubky 50 metrů (GFU-3). V červnu 2002 bylo uvedeno do provozu experimentální pole pro nepřetržité sledování přestupu tepla.

Pozemek leží v katastrálním území Záběhlice (732117), parcelní číslo 5513/3. Nadmořská výška je cca 275 m n. m.

Rozmístění vrtů je patrné z následujícího obrázku:



Obrázek 11-1: Rozmístění vrtů na pozemku Geofyzikálního ústavu AVČR v Praze – Spořilově
[32]

GFU-1 a GFU-2

Jedná se o dva samostatné vrty blízko sebe, hluboké 140 metrů a 40 metrů. Jsou vrtané v ordovických sedimentech pokrytých svrchní vrstvou hlíny. Hloubka podzemní vody je cca 8 až 10 metrů. Hlubší vrt je určen pro teplotní karotáž přenosnou sondou visící na kabelu. Druhý vrt je vybaven termistorovými čidly v hloubkách 0; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 0,75; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 7,5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 38,3 metrů. Teplota vzduchu je sledována ve výšce 0,05 m a 2 m. Tato stanice registruje také sluneční záření a dešťové srážky. Data jsou přenášena on-line do stolního počítače. Údaje o teplotách z hloubek pod 0,5 se ukládají 7krát denně, teploty vzduchu a teplota půdy do hloubky 0,5 m, stejně jako sluneční záření, jsou ukládány každou půl hodinu. Monitor srážek má svůj vlastní záznamník.

Na situaci je vidět umístění těchto dvou vrtů GFU-1 a GFU-2. V blízkosti vrtů je asfaltová plocha, dům s půdorysem 20 × 20 m a tenisový kurt s povrchem z antuky. Vše je ve vzdálenosti cca 10 m od vrtů. Zbytek oblasti je pokryt převážně trávou. Asfaltové povrchy a hřiště byly vybudovány na přelomu padesátých a šedesátých let, dům byl postaven v roce 1992 a používá se od roku 1993.



Obrázek 11-2: Umístění vrtů GFU-1 a GFU-2 [32]

GFU-3

Jedná se o nejnovější vrt z roku 2011. Hloubka tohoto vrtu je 50 m. Vrt je umístěn v místním Geoparku. Provádění vrtu je zdokumentováno na fotografiích.



Obrázek 11-3: Umístění vrtu GFU-3 [32]



Obrázek 11-4: Fotografie z provádění vrtu GFU-3 [31]

Experimentální pole

V červnu 2002 bylo uvedeno do provozu experimentální pole pro nepřetržité sledování přestupu tepla. Pole se nachází cca 150 m od vrtu GFU-1 a GFU-2. Soubor modelů zahrnuje travnaté a holé jílovité půdy, písek a asfalt. Každý model má 150 cm v průměru a je 60 cm hluboký. Obsahuje čidla teploty v 5 úrovních pod povrchem (0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 m) a čidla teploty v 5 cm a ve 2 metrech nad povrchem. Dále se měří půdní vlhkost, sluneční záření přímé i odražené, rychlost větru, dešťové srážky. Výška sněhové pokrývky se sleduje televizní kamerou. Získaná data slouží k určení přestupu tepla mezi vzduchem a povrchem země, stanovení difuzivity podpovrchových materiálů, vlivu vlhkosti, ochlazování větrem. Výsledky pak umožní korigovat vztah mezi průběhem hloubkové teploty a klimatem v minulosti.



Obrázek 11-5: Popisek Experimentální pole [31]

Na dalších obrázcích je několik fotografií z historie měření Geofyzikálního ústavu AVČR v Praze-Spořilově. Na obrázku 11-6 jsou fotografie z měření v terénu. Na obrázku 11-7 je vyfocen vrátek udělaný z motoru od mopedu Pionýr a formulář na psaní dvojic hloubka – odpor, poté se na kalkulačce nebo z tabulek počítaly teploty, hloubka se měřila desetimetrovým pásmem při spouštění. Na obrázku 11-8 je srovnání dvou moderních sond s počítačem a pamětí uvnitř. Na konstrukci větší sondy se podílel Ing. Milan Krešl, CSc., z Geofyzikálního ústavu v Kanadě v letech 1988–1989. Menší sonda je přibližně z roku 2000, jedná se o komerčně prodávanou sondu firmy Antares z Německa.



Obrázek 11-6: Fotografie z historie měření [31]



Obrázek 11-7: Vrátek a formulář pro zapisování [31]



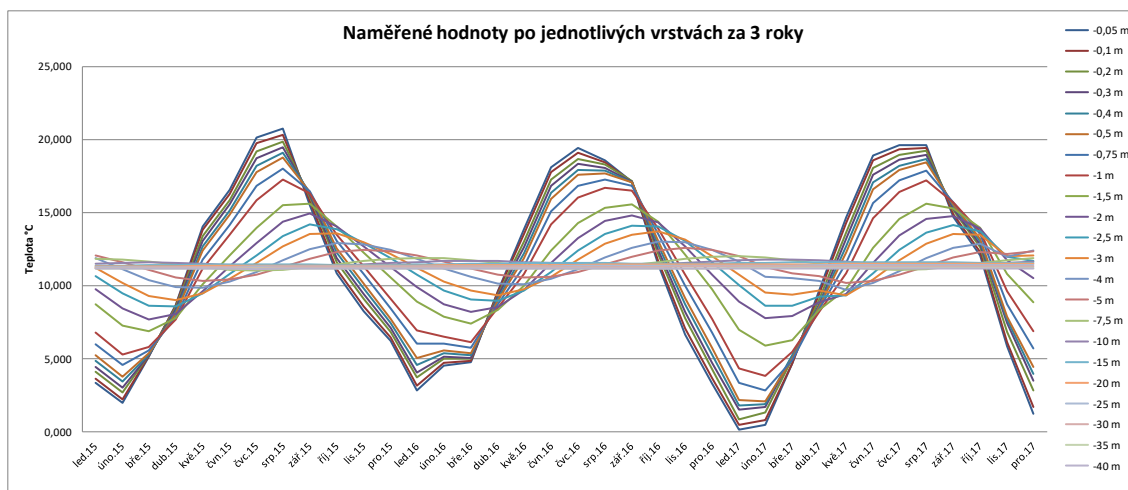
Obrázek 11-8: Porovnání dvou sond [31]

11.1.2 Použitá data

Po utřídění a vyhodnocení všech dostupných dat z měření teplot ze všech výše popsaných vrtů za několik let jsou dále použity pro výpočty a odladění výpočtového modelu data z vrtu GFU-2 (40 metrů hluboký). Profil vrtu je uveden v příloze č. 1.

Naměřené průměrné měsíční hodnoty v jednotlivých vrstvách do hloubky 40 m pod povrchem terénu za poslední 3 roky měření jsou uvedeny v příloze č. 2 včetně zvětšeného následujícího grafu. Tučně jsou vyznačena maxima teplot v průběhu roku v jednotlivých vrstvách.

V následujícím grafu jsou vyneseny průměrné měsíční teploty v jednotlivých vrstvách do hloubky 40 m pod povrchem terénu za poslední 3 roky měření.

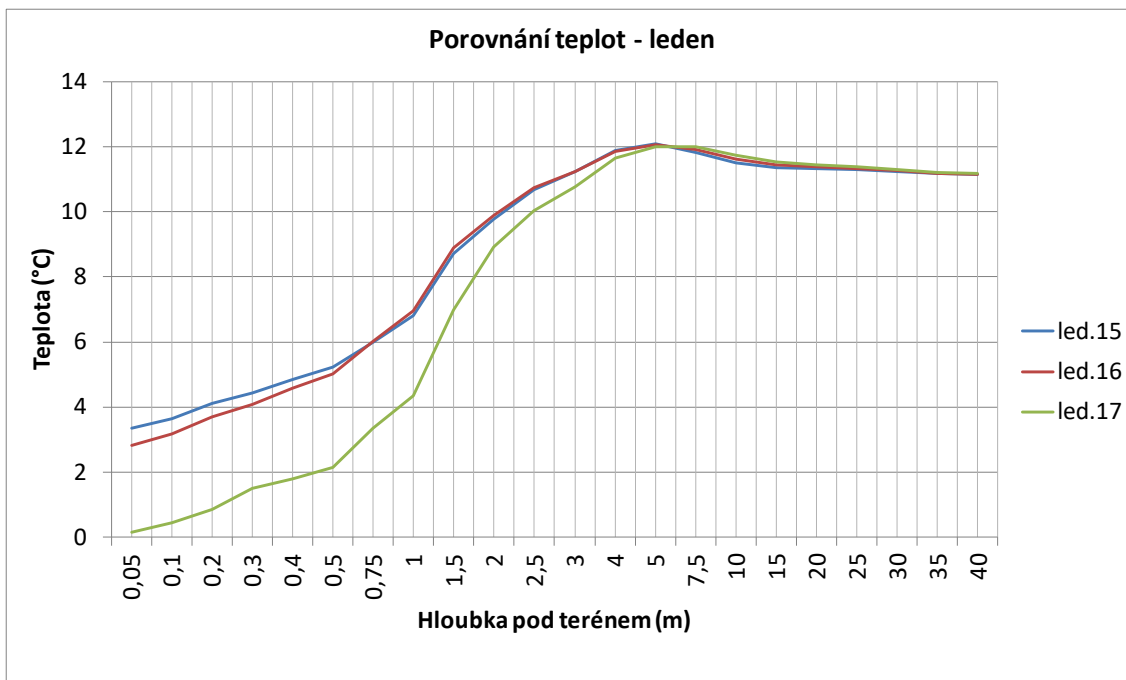


Graf 11-1: Naměřené hodnoty teplot v zemině za 3 roky

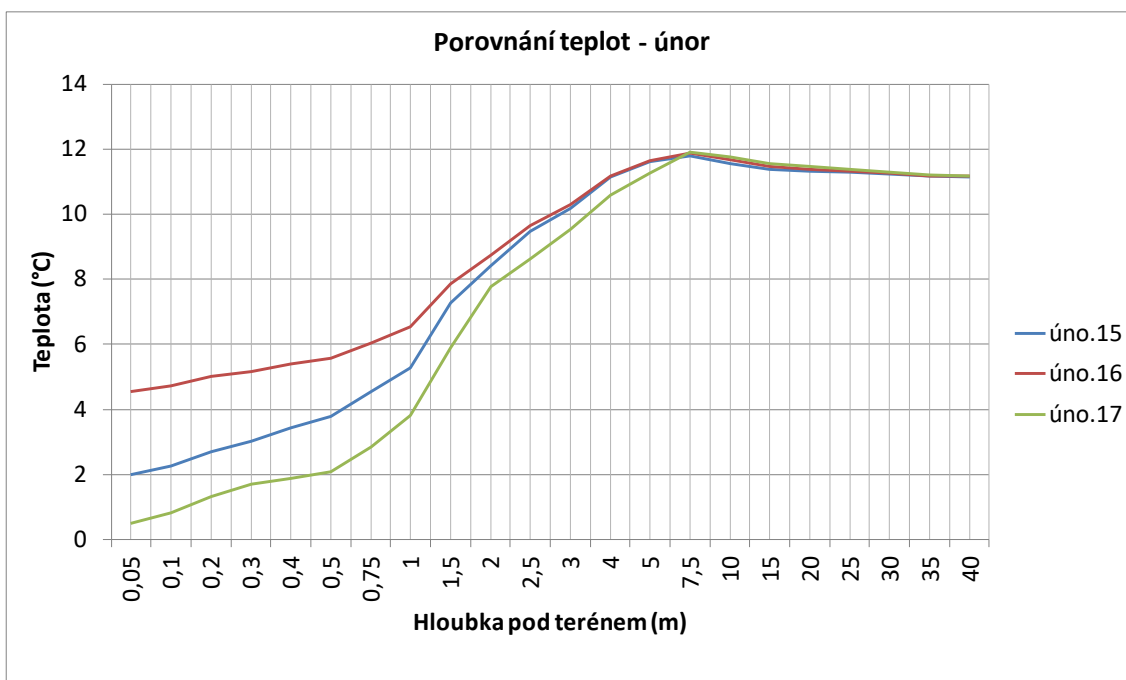
Z grafu je patrné, že se vzrůstající hloubkou se zvětšuje časový posun maxim a minim teploty. Opoždění chodu roční periody teploty činí od hloubky 0,05 pod povrchem terénu cca 30 až 60 dní do hloubky 2 m, cca 60 až 90 dní do hloubky 4 m a do hloubky 7,5 m cca 150 až 180 dní.

Amplituda výkyvů se s klesající hloubkou zmenšuje. Změna měsíční teploty se výrazněji projevuje cca do hloubky 10 m, poté je rozdíl průměrných měsíčních hodnot minimální, maximální teplota v hloubce 40 m pod povrchem terénu nastává vždy v prosinci. Průměr rozdílu maxima a minima za poslední 3 roky měření je cca 0,09 °C v hloubce 15 m pod povrchem terénu, v hloubce 40 m pod povrchem je rozdíl maxima a minima 0,012 °C.

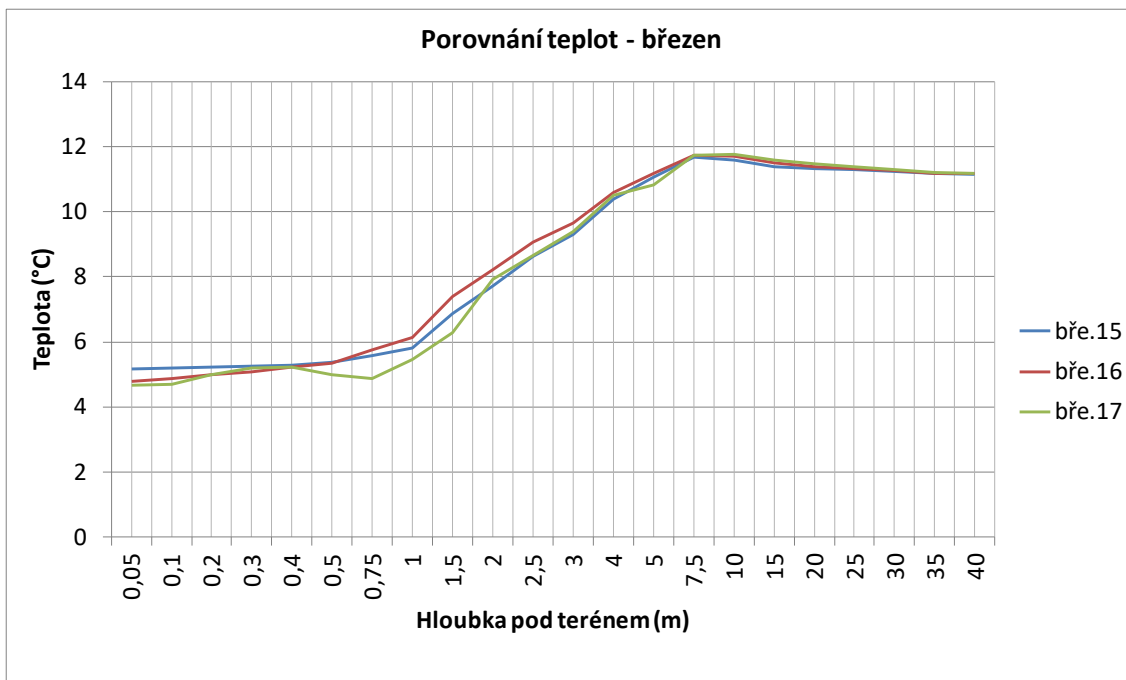
Pro další odladění výpočtového modelu byla použita data naměřená za rok 2017, jednalo se o nejucelenější data a teploty v zimním období dosahují nejnižších hodnot. Porovnání rozdílů teplot v jednotlivých měsících nejchladnějšího období roku za poslední 3 roky měření je patrné z následujících grafů:



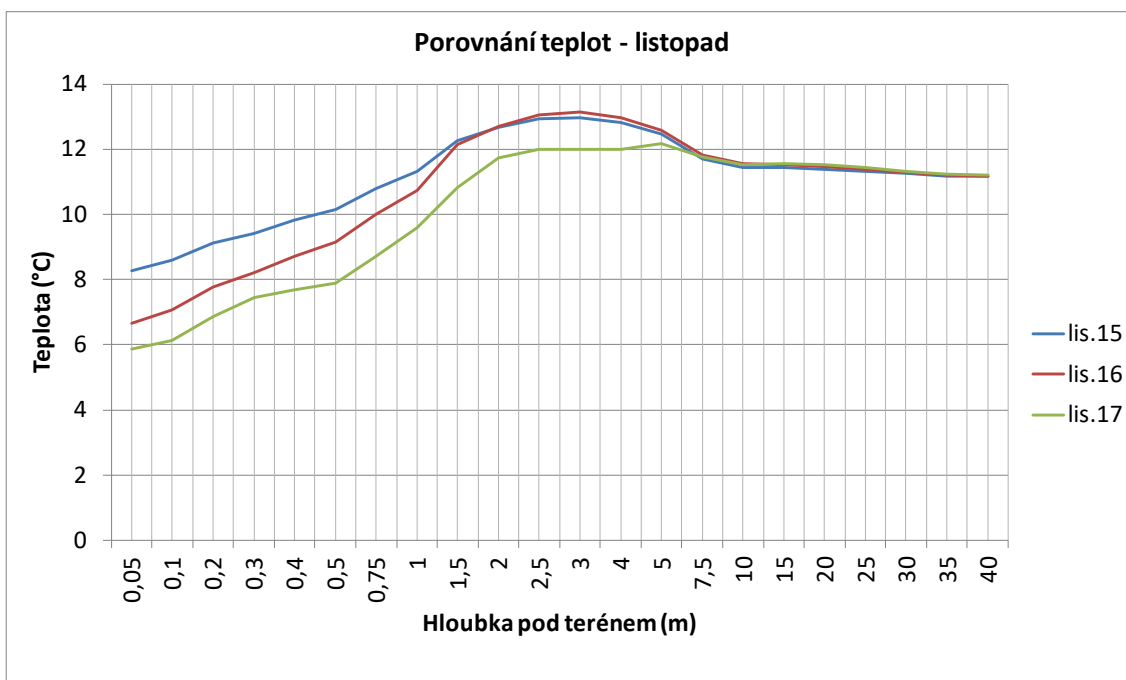
Graf 11-2: Porovnání naměřených hodnot pro měsíc leden za 3 roky



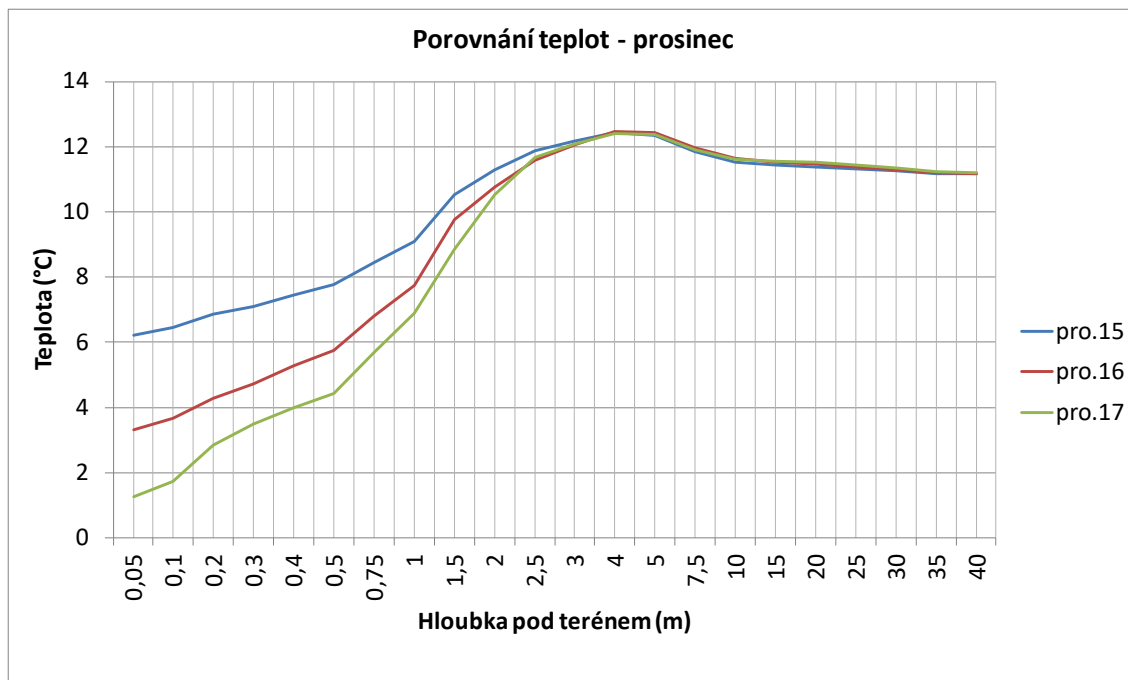
Graf 11-3: Porovnání naměřených hodnot pro měsíc únor za 3 roky



Graf 11-4: Porovnání naměřených hodnot pro měsíc březen za 3 roky



Graf 11-5: Porovnání naměřených hodnot pro měsíc listopad za 3 roky

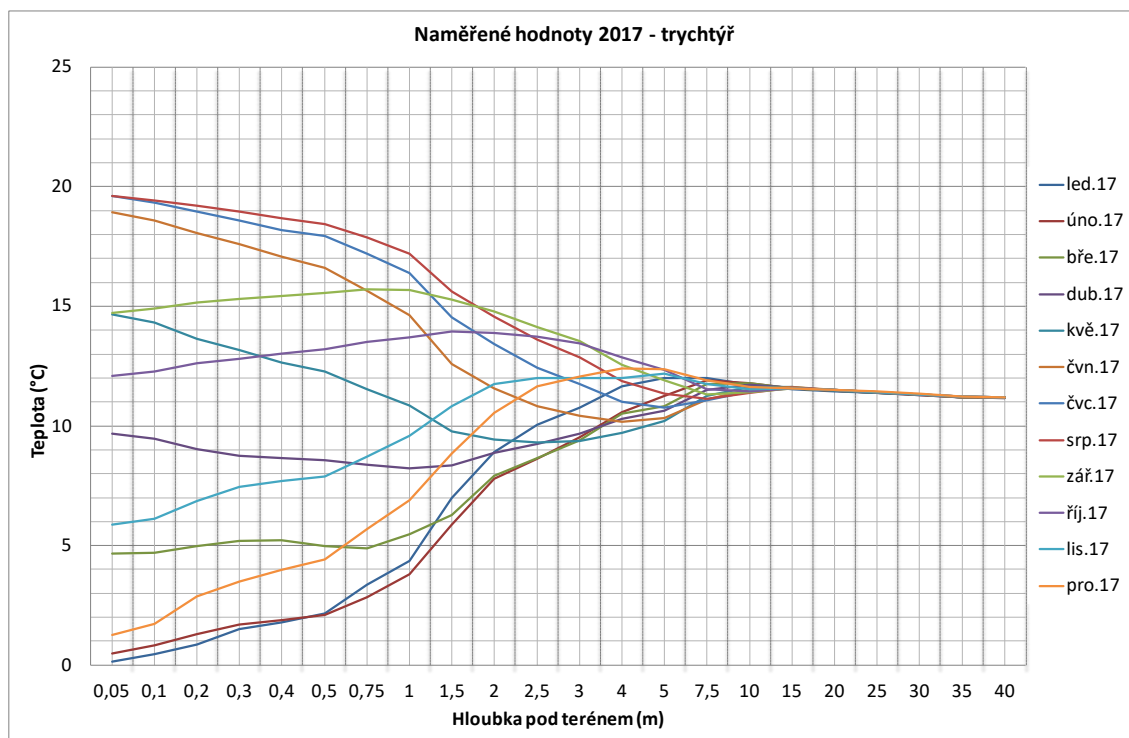


Graf 11-6: Porovnání naměřených hodnot pro měsíc prosinec za 3 roky

V následující tabulce jsou uvedeny naměřené průměrné měsíční teploty v jednotlivých vrstvách, pro rok 2017:

Tabulka 11-1: Průměrné měsíční teploty pro rok 2017

měsíc	naměřené hodnoty 2017 (°C)																
	hloubka pod terémem (m)																
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7,5	10	15
leden	0,16	0,46	0,85	1,50	1,79	2,16	3,36	4,36	6,99	8,92	10,04	10,76	11,65	12,01	12,00	11,73	11,54
únor	0,50	0,83	1,31	1,70	1,88	2,09	2,85	3,81	5,89	7,78	8,61	9,53	10,59	11,25	11,92	11,77	11,56
březen	4,65	4,69	4,99	5,20	5,23	4,98	4,88	5,45	6,28	7,92	8,64	9,40	10,50	10,83	11,74	11,77	11,58
duben	9,68	9,45	9,03	8,74	8,65	8,55	8,38	8,22	8,35	8,86	9,25	9,69	10,31	10,65	11,49	11,73	11,60
květen	14,66	14,30	13,64	13,18	12,66	12,26	11,53	10,86	9,78	9,42	9,32	9,36	9,72	10,21	11,26	11,64	11,61
červen	18,91	18,58	18,06	17,59	17,06	16,61	15,64	14,63	12,60	11,57	10,83	10,41	10,17	10,33	11,11	11,53	11,62
červenec	19,60	19,33	18,95	18,60	18,20	17,92	17,20	16,40	14,55	13,41	12,43	11,76	10,99	10,75	11,06	11,44	11,61
srpen	19,60	19,44	19,21	18,95	18,68	18,45	17,86	17,19	15,62	14,58	13,60	12,86	11,86	11,34	11,14	11,39	11,59
září	14,71	14,90	15,16	15,29	15,44	15,56	15,70	15,69	15,29	14,77	14,13	13,54	12,57	11,91	11,32	11,40	11,58
říjen	12,07	12,28	12,61	12,81	13,03	13,21	13,51	13,70	13,94	13,89	13,73	13,47	12,88	12,32	11,54	11,45	11,56
listopad	5,86	6,13	6,85	7,45	7,68	7,89	8,71	9,60	10,81	11,74	11,98	12,00	11,99	12,17	11,75	11,53	11,56
prosinec	1,25	1,73	2,86	3,50	3,99	4,42	5,69	6,90	8,85	10,53	11,67	12,07	12,41	12,37	11,89	11,62	11,56

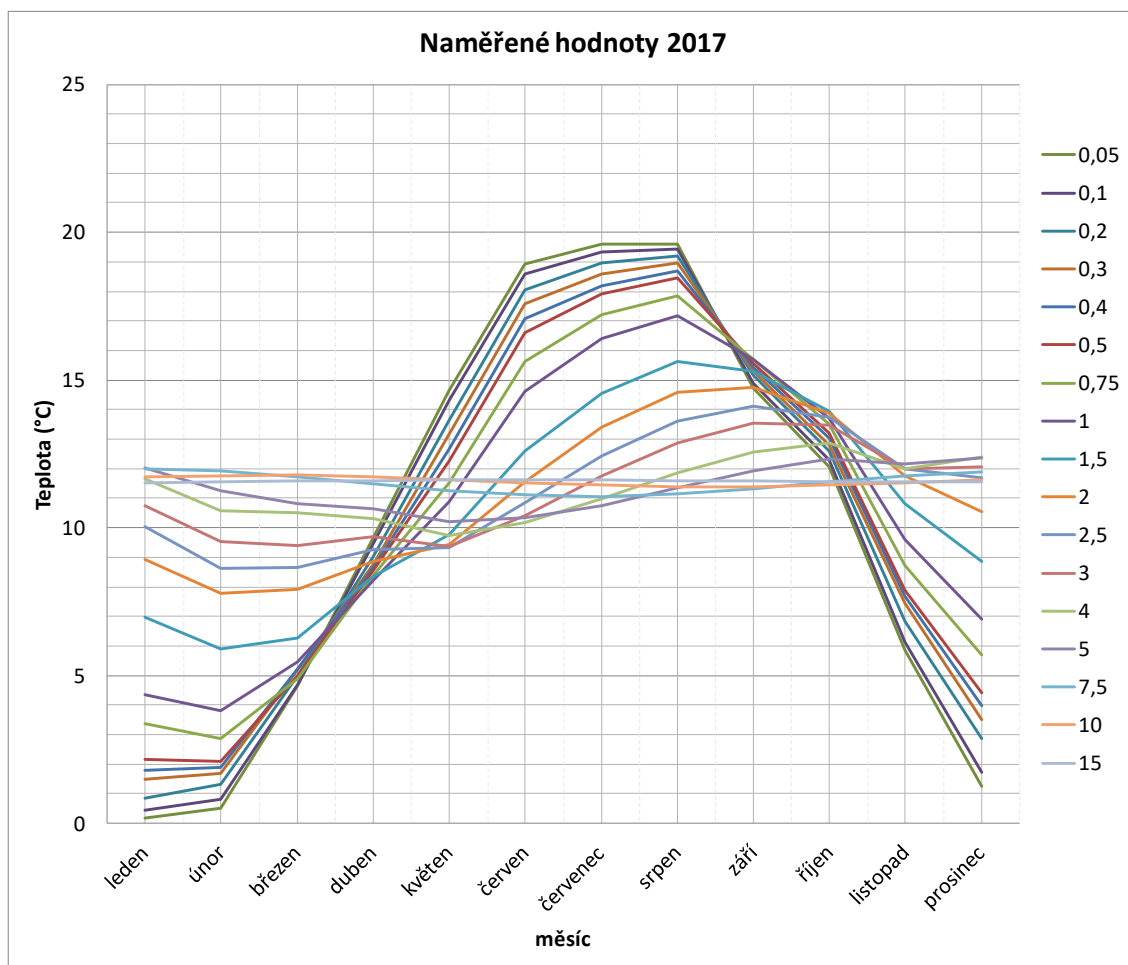


Graf 11-7: Naměřené hodnoty teplot v zemině za rok 2017- trychtýř

V hloubce 10 m pod terénem jsou teploty již téměř ustálené, rozdíl v průběhu roku je cca necelé tři desetiny. Rozdíl maxima a minima v hloubce 15 m pod povrchem terénu je 0,08 °C, v hloubce 40 m pod povrchem je rozdíl maxima a minima 0,014 °C.

Výpočtový model bude odladěn do hloubky 15 m pod povrchem terénu.

Zatímco maximum na povrchu nastává v červenci, v hloubce 0,05 m pod povrchem terénu nastává maximum v srpnu. Opoždění chodu roční periody teploty činí od hloubky 0,05 m pod povrchem terénu cca 30 dní do hloubky 2 m pod povrchem terénu, cca 60 dní do hloubky 4 m a do hloubky 7,5 m cca 150 dní.

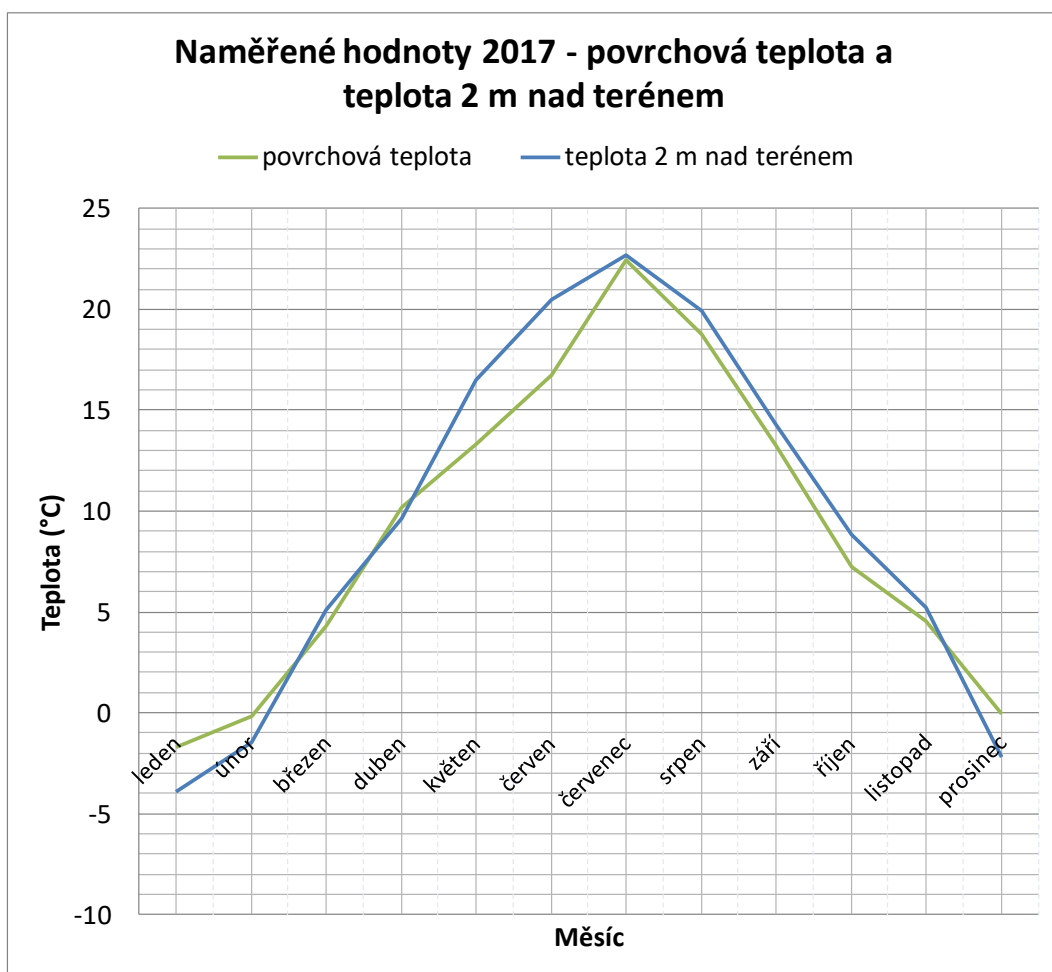


Graf 11-8: Naměřené hodnoty teplot v zemině za rok 2017 do hloubky 15 m pod povrch terénu

Teplota na povrchu terénu a ve výšce 2 m nad povrchem terénu naměřená v roce 2017 je uvedena v následující tabulce a vynesena v následujícím grafu. Maximum na povrchu nastává v červenci, stejně tak i maximum ve výšce 2 m nad povrchem terénu nastává v červenci. V červenci jsou naměřené hodnoty povrchové teploty a teploty 2 m nad terémem srovnatelné. Největší rozdíl povrchové teploty a teploty 2 m nad povrchem terénu je v lednu, květnu, červnu a prosinci.

Tabulka 11-2: Průměrné měsíční povrchové teploty a teploty 2 m nad povrchem pro rok 2017

měsíc	naměřené hodnoty 2017 (°C)	
	povrchová teplota	teplota 2 m nad terénem
leden	-1,70	-3,92
únor	-0,18	-1,45
březen	4,31	5,06
duben	10,20	9,65
květen	13,28	16,50
červen	16,77	20,46
červenec	22,47	22,69
srpen	18,73	19,94
září	13,26	14,32
říjen	7,26	8,86
listopad	4,51	5,23
prosinec	-0,05	-2,20



Graf 11-9: Povrchové teploty a teploty 2 m nad povrchem terénu v roce 2017

11.2 Výpočtový program

Quickfield 5.6.

Výpočty jsou modelovány ve výpočtovém programu Quickfield 5.6. Program QuickField je profesionální program pro řešení stacionárních i dynamických dvourozměrných fyzikálních polí pomocí metody konečných prvků.

Program se skládá z několika výpočtových modulů, které jsou používány pro analýzu různých typů úloh, program umí řešit následující pole: elektrostatická, stacionární magnetická, proudová, magnetická harmonicky proměnná, teplotní a pole elastických deformací. Uvedená pole (s výjimkou magnetických harmonicky proměnných) mohou být i nelineární. Umí řešit i slabě sdružené úlohy [33].

Energie 2017

Program Energie 2017 je určen pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov. Umožňuje výpočet průměrného součinitele prostupu tepla budovy, měrných tepelných toků, potřeby tepla na vytápění, dílčích dodaných energií, produkcí energie, celkové dodané energie, primární energie a emisí CO₂ [34].

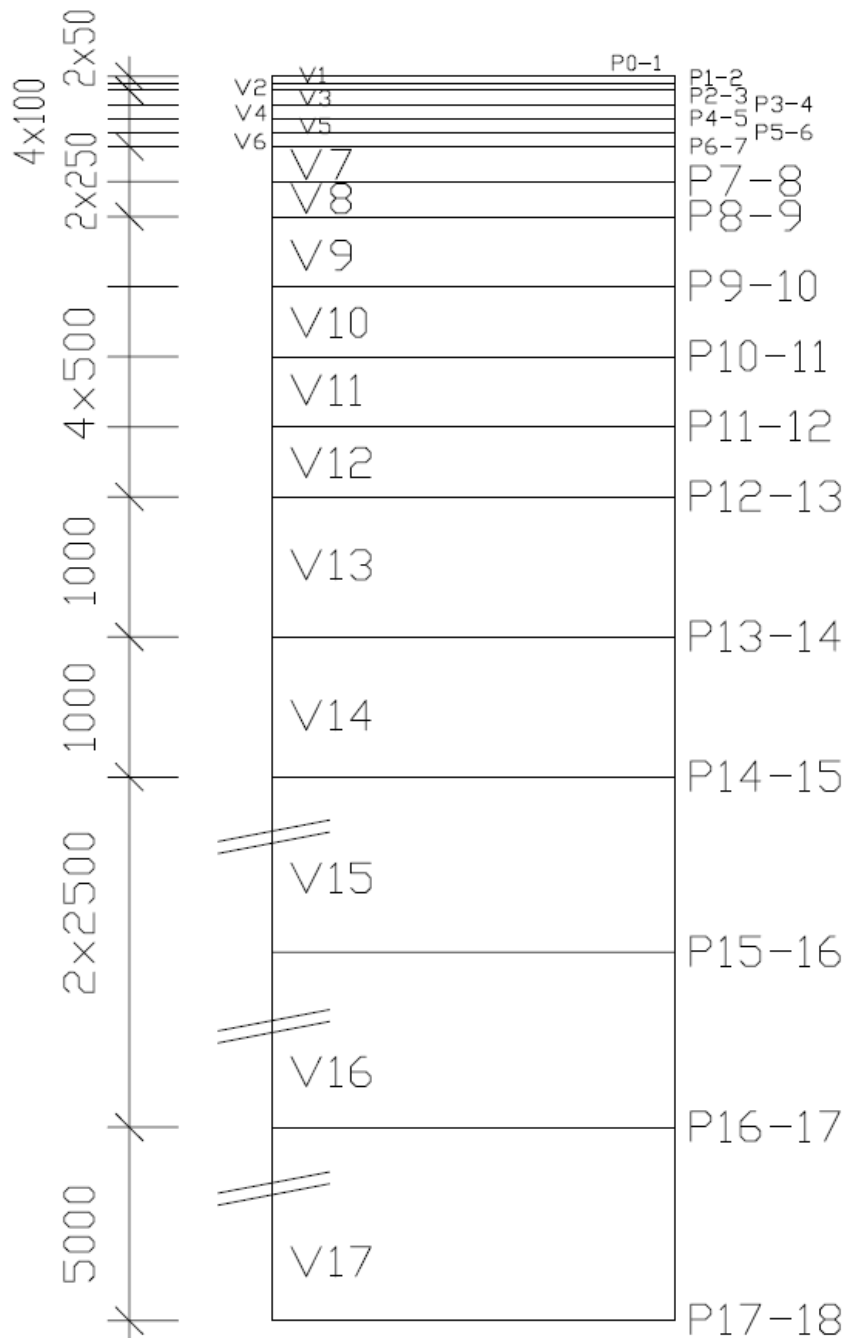
Microsoft Office Excel 2007

Pro zpracování tabulek a grafů je použit Microsoft Office Excel 2007.

12 Výpočtový model zeminy bez objektu

Na základě skutečně naměřených teplot byl vytvořen dynamický výpočtový model zeminy mimo objekt.

Výpočtový model tvoří celkem 17 vrstev zeminy do hloubky 15 metrů pod terénem.

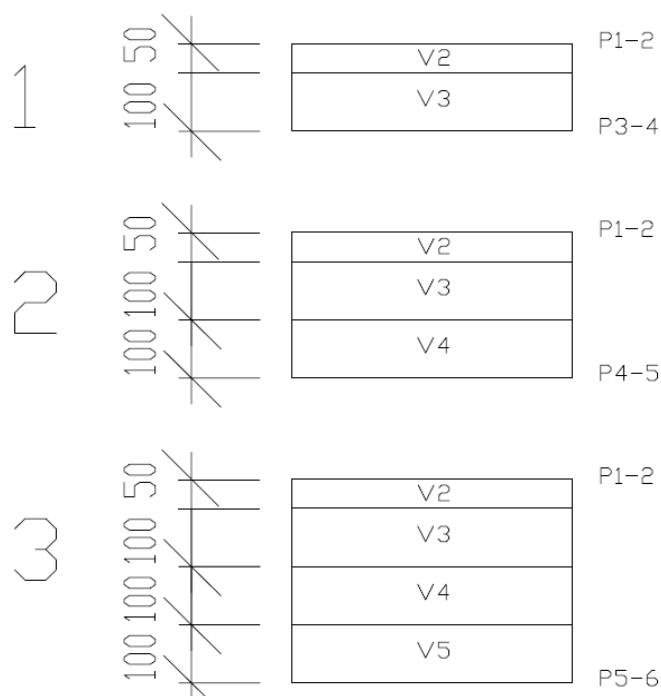


Obrázek 12-1: popis označení vrstev a okrajových podmínek výpočtového modelu

Ve výpočtovém programu určeném pro dynamické teplotní simulace byla definována vrstva odpovídající vzdálenostem měřených teplot. Jednotlivým vrstvám byly přisouzeny konkrétní tepelně-fyzikální vlastnosti a změřené teploty byly do výpočtu vloženy jako Dirichletovy okrajové podmínky. Postupně docházelo ke změnám tepelně-fyzikálních vlastností terénu tak, aby výpočet se zavedením Dirichletových okrajových podmínek platil pro celé teplotní pole vymezené místy s měřenou teplotou. Takto bylo postupováno od horní vrstvy ke spodní vrstvě.

Nejprve byly laděny vlastnosti dvou vrstev zeminy V2 a V3. Vrstvy byly ohraničeny okrajovou podmínkou P1-2 a P3-4. Vlastnosti zeminy byly laděny tak, aby průběh teplot v hloubce -0,1 (na rozhraní vrstvy V2 a V3) odpovídal naměřeným hodnotám.

Poté byla přidána a laděna další vrstva zeminy V4 s okrajovou podmínkou P4-5 a okrajová podmínka P3-4 byla vymazána. Stejným způsobem bylo pokračováno až k odladění poslední vrstvy zeminy. Jako poslední vrstva výpočtového modelu byla odladěna vrstva V1.



Obrázek 12-2: postupné odladění vrstev výpočtového modelu

Okrajové podmínky:

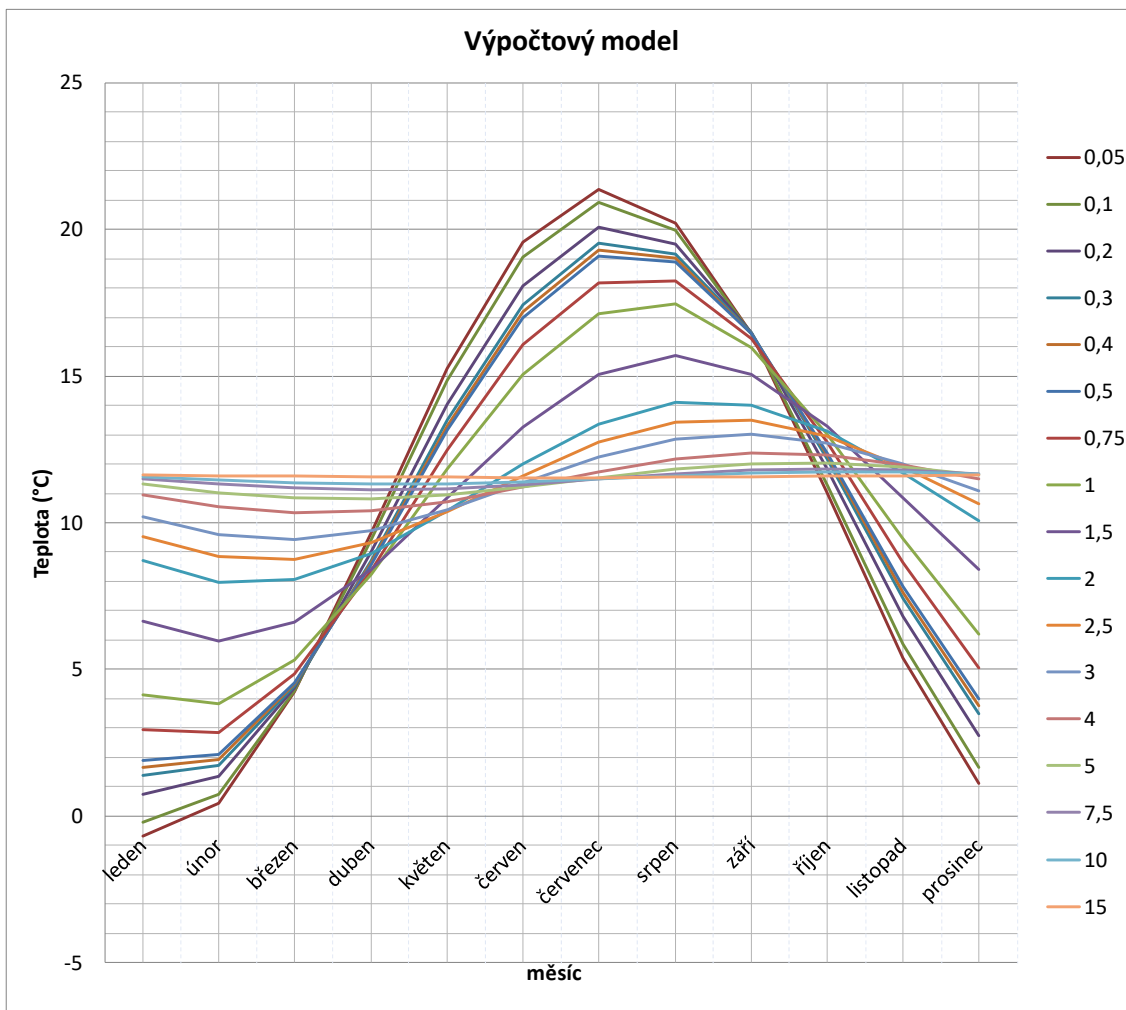
- P1-2: $13,24 \cdot \sin(0,5 \cdot (t/80160)) + 0,36$
- P3-4: $11,74133 \cdot \sin(0,5 \cdot (t/80160)) + 1,47$
- P4-5: $12,44245 \cdot \sin(0,5 \cdot (t/80160)) + 1,507853$
- P5-6: $12,87913 \cdot \sin(0,5 \cdot (t/80160)) + 1,799022$
- P6-7: $12,35983 \cdot \sin(0,5 \cdot (t/80160)) + 2,085746$
- P7-8: $10,00896 \cdot \sin(0,5 \cdot ((t-604800)/80160)) + 3,5$
- P8-9: $8,53216 \cdot \sin(0,5 \cdot ((t-950400)/80160)) + 4,5$
- P9-10: $5,098498 \cdot \sin(0,46 \cdot ((t-4320000)/40080)) + 10,58736$
- P10-11: $3,873328 \cdot \sin(0,47 \cdot ((t-6912000)/40080)) + 10,89519$
- P11-12: $3,091549 \cdot \sin(0,485 \cdot ((t-9072000)/40080)) + 11,03583$
- P12-13: $2,419212 \cdot \sin(0,48 \cdot ((t-9936000)/40080)) + 11,11608$
- P13-14: $1,634703 \cdot \sin(0,47 \cdot ((t-9936000)/40080)) + 11,24054$
- P14-15: $1,131406 \cdot \sin(0,45 \cdot ((t-9676800)/40080)) + 11,33805$
- P15-16: $0,468529 \cdot \sin(0,45 \cdot ((t-14256000)/40080)) + 11,52924$
- P16-17: $0,190707 \cdot \sin(0,45 \cdot ((t-18144000)/40080)) + 11,5826$
- P17-18: $0,040234 \cdot \sin(0,45 \cdot ((t-3456000)/40080)) + 11,576$
- P0-1: $12,20589 \cdot \cos(1 \cdot (t/87600)) + 10,26458$
- P povrchová stěna: $13,51123 \cdot \cos(1 \cdot (t/87600)) + 9,180694$

Tabulka 12-1: Vlastnosti zeminy pro jednotlivé vrstvy výpočtového modelu

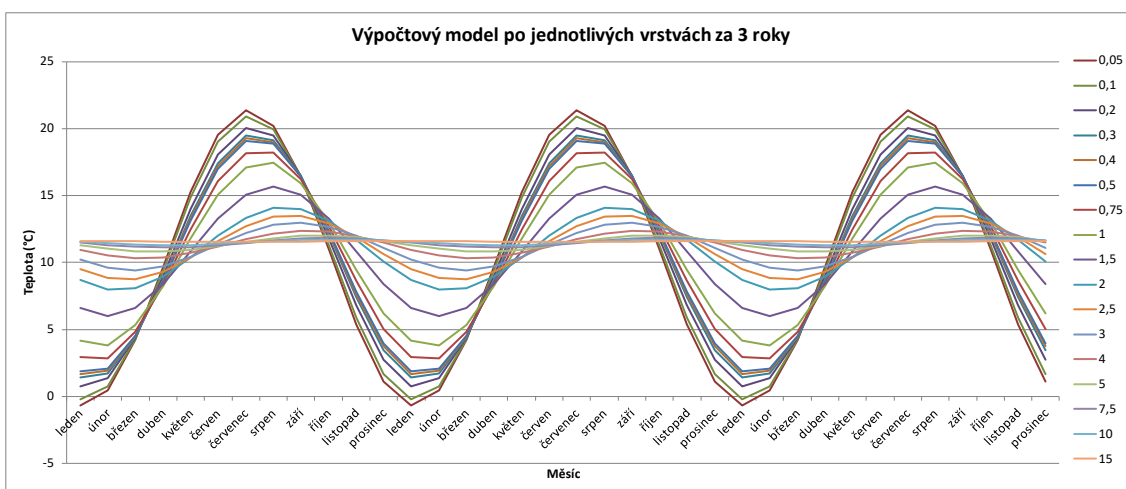
vrstva	tepelná vodivost zeminy	měrná tepelná kapacita	objemová hmotnost
	λ	C	ρ
	W/(m.K)	J/(kg.K)	kg/m ³
V1	0,235	500	1600
V2	0,5	500	1600
V3	0,5	500	1700
V4	0,8	750	2100
V5	1,5	1000	2100
V6	2	1000	2100
V7	1	750	2000
V8	0,8	750	2000
V9	0,7	750	2000
V10	0,7	900	2000
V11	1,5	900	2000
V12	1,5	900	2000
V13	2,2	900	2000
V14	3,5	900	2000
V15	12	1000	2000
V16	18	1000	2000
V17	25	1000	2000

Tabulka 12-2: Teploty v zemi v výpočtovém modelu

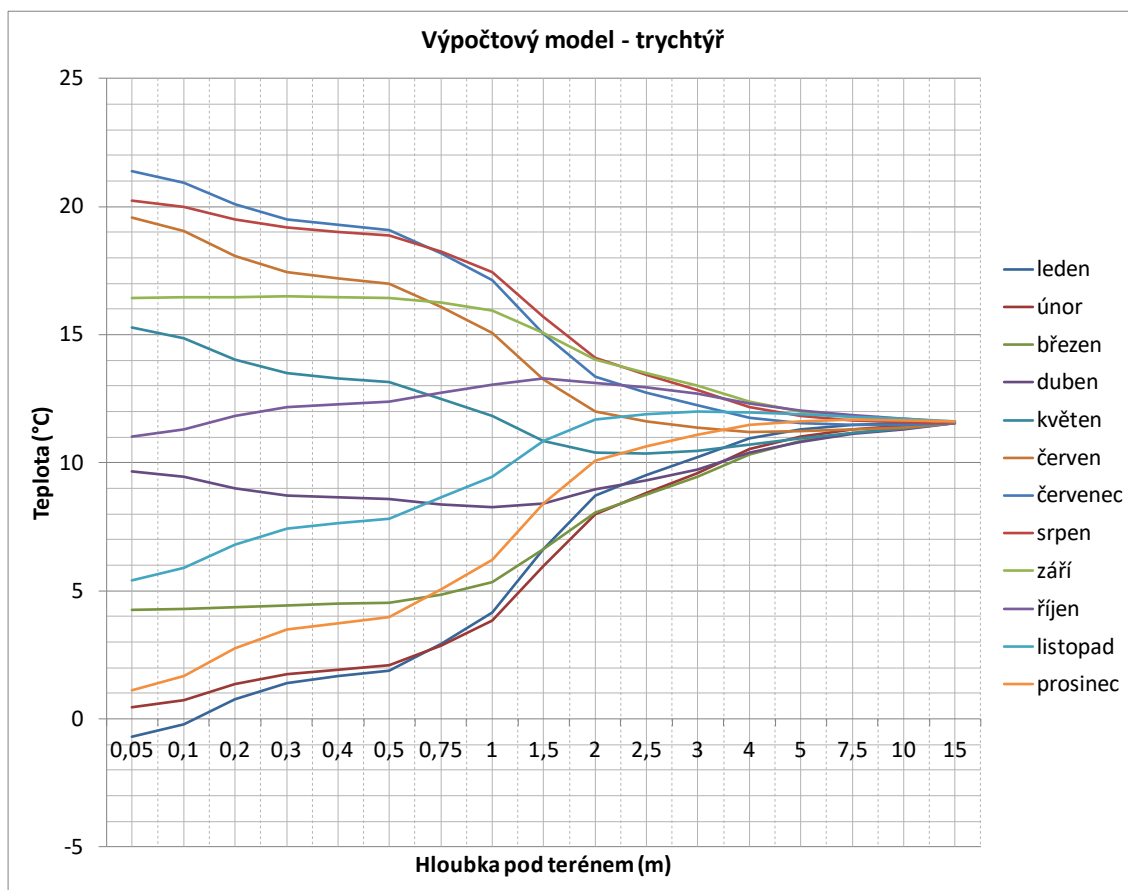
výpočtový model - odladěné hodnoty (°C)																	
měsíc	hloubka pod terénem (m)																
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7,5	10	15
leden	-0,70	-0,21	0,76	1,39	1,66	1,88	2,93	4,15	6,63	8,71	9,52	10,21	10,95	11,31	11,49	11,56	11,61
únor	0,44	0,74	1,35	1,74	1,93	2,08	2,86	3,82	5,97	7,98	8,83	9,61	10,53	11,02	11,31	11,45	11,60
březen	4,24	4,27	4,36	4,42	4,49	4,54	4,85	5,33	6,62	8,07	8,75	9,44	10,32	10,84	11,17	11,36	11,58
duben	9,66	9,44	9,00	8,72	8,65	8,59	8,37	8,25	8,40	8,95	9,31	9,74	10,39	10,82	11,12	11,31	11,56
květen	15,27	14,85	14,02	13,48	13,30	13,14	12,47	11,82	10,83	10,39	10,36	10,45	10,72	10,96	11,17	11,32	11,54
červen	19,56	19,06	18,08	17,43	17,19	16,99	16,06	15,07	13,27	12,01	11,61	11,36	11,21	11,22	11,30	11,38	11,54
červenec	21,37	20,94	20,08	19,52	19,28	19,09	18,18	17,13	15,05	13,36	12,73	12,23	11,74	11,54	11,48	11,48	11,54
srpen	20,22	19,98	19,49	19,17	19,01	18,89	18,25	17,46	15,70	14,09	13,42	12,83	12,16	11,83	11,66	11,59	11,55
září	16,43	16,45	16,47	16,49	16,45	16,43	16,26	15,95	15,05	14,01	13,50	13,00	12,37	12,01	11,79	11,68	11,57
říjen	11,00	11,29	11,83	12,19	12,29	12,38	12,74	13,03	13,27	13,12	12,94	12,70	12,30	12,03	11,84	11,73	11,59
listopad	5,40	5,88	6,81	7,42	7,64	7,83	8,64	9,46	10,84	11,68	11,90	11,99	11,97	11,89	11,80	11,72	11,61
prosinec	1,11	1,67	2,76	3,47	3,75	3,98	5,04	6,21	8,41	10,07	10,65	11,08	11,48	11,63	11,67	11,66	11,62



Graf 12-1: Teploty v zemině výpočtového modelu



Graf 12-2: Teploty v zemině výpočtového modelu za 3 roky



Graf 12-3: Teploty v zemině výpočtového modelu - trychtýř

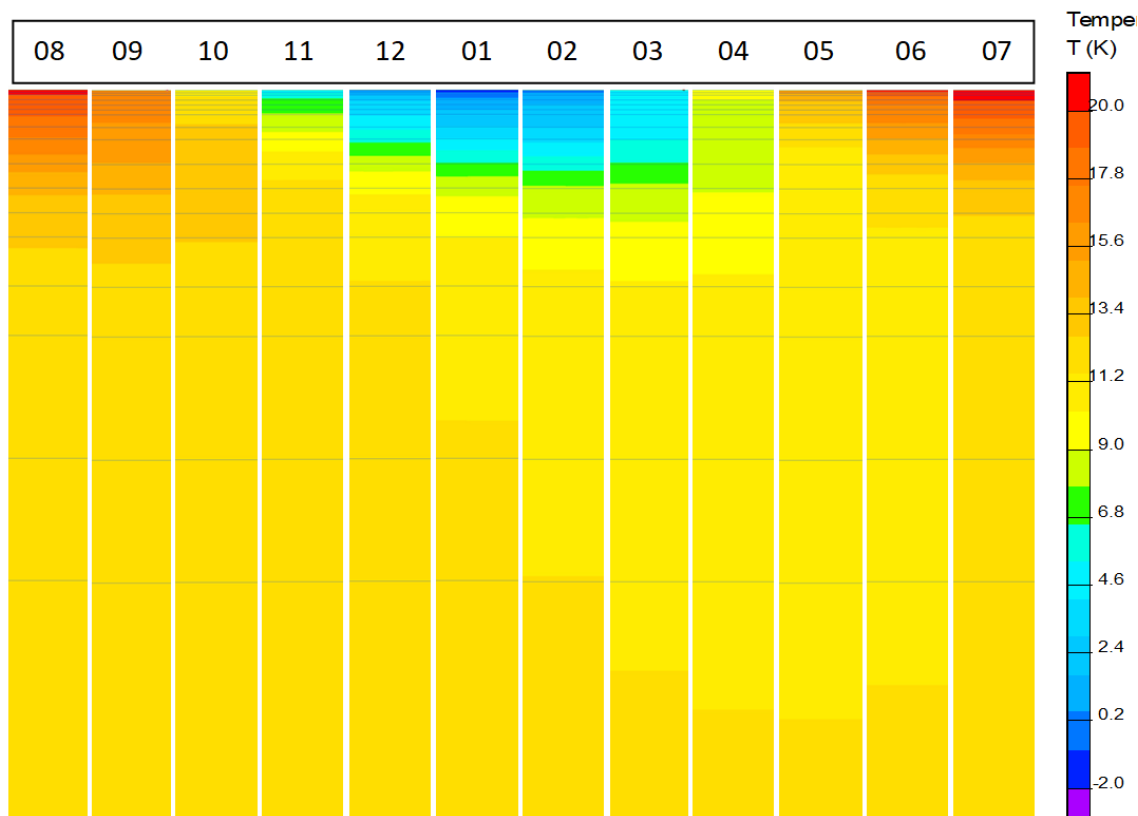
Tabulka 12-3: Rozdíl naměřených hodnot teplot a hodnot výpočtového modelu

měsíc	rozdíl naměřených a odladěných hodnot (°C)																
	hloubka pod terénem (m)																
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7,5	10	15
leden	0,86	0,67	0,10	0,11	0,13	0,28	0,43	0,21	0,36	0,21	0,52	0,55	0,70	0,70	0,51	0,17	-0,08
únor	0,05	0,08	-0,04	-0,04	-0,05	0,00	-0,01	-0,01	-0,09	-0,20	-0,22	-0,08	0,06	0,23	0,61	0,32	-0,04
březen	0,41	0,42	0,62	0,77	0,74	0,45	0,03	0,13	-0,34	-0,14	-0,11	-0,04	0,17	-0,02	0,56	0,41	0,00
duben	0,01	0,02	0,03	0,02	0,00	-0,03	0,01	-0,03	-0,05	-0,09	-0,06	-0,06	-0,09	-0,17	0,37	0,41	0,04
květen	-0,61	-0,54	-0,38	-0,31	-0,64	-0,88	-0,94	-0,95	-1,05	-0,97	-1,04	-1,09	-1,00	-0,75	0,10	0,32	0,07
červen	-0,64	-0,47	-0,02	0,16	-0,13	-0,37	-0,43	-0,44	-0,67	-0,44	-0,78	-0,94	-1,04	-0,90	-0,19	0,14	0,08
červenec	-1,77	-1,60	-1,12	-0,92	-1,08	-1,17	-0,98	-0,73	-0,50	0,05	-0,30	-0,48	-0,75	-0,79	-0,41	-0,04	0,07
srpen	-0,62	-0,54	-0,28	-0,22	-0,33	-0,44	-0,39	-0,26	-0,09	0,49	0,18	0,03	-0,30	-0,49	-0,52	-0,20	0,04
září	-1,72	-1,55	-1,31	-1,19	-1,01	-0,87	-0,56	-0,27	0,24	0,76	0,63	0,53	0,20	-0,09	-0,47	-0,28	0,00
říjen	1,07	0,99	0,78	0,63	0,74	0,83	0,77	0,67	0,66	0,77	0,78	0,77	0,58	0,29	-0,30	-0,28	-0,03
listopad	0,46	0,25	0,04	0,03	0,05	0,06	0,07	0,13	-0,04	0,06	0,09	0,01	0,02	0,28	-0,05	-0,19	-0,05
prosinec	0,14	0,06	0,10	0,03	0,24	0,43	0,65	0,68	0,44	0,46	1,03	0,99	0,92	0,74	0,23	-0,04	-0,06

Výpočtový model byl odladěn co nejlíže skutečnosti, rozdíl naměřených a odladěných hodnot je pro zimní měsíce minimální. Kladné hodnoty rozdílu jsou na „straně bezpečí“. U záporných hodnot rozdílu je odchylka minimální, vyšší rozdíl teplot je

v teplejších měsících, a to proto, aby průběh teploty ve vrstvě zeminy odpovídající sinusoidě odpovídal co nejvíce teplotám v zimním chladnějším období.

Na následujícím obrázku je patrný chod teplot výpočtového modelu v průběhu jednoho roku do hloubky 15 m pod povrchem terénu:

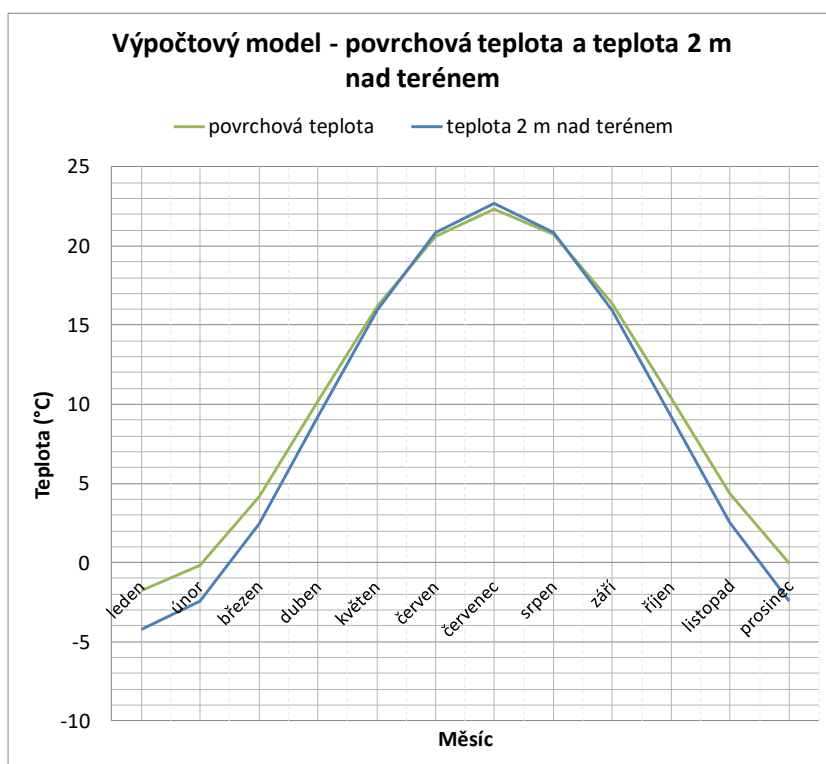


Obrázek 12-3: chod teploty v zemině po měsících

Povrchové teploty a teploty 2 m nad povrchem terénu z výpočtového modelu jsou uvedeny v následující tabulce a vyneseny v následujícím grafu:

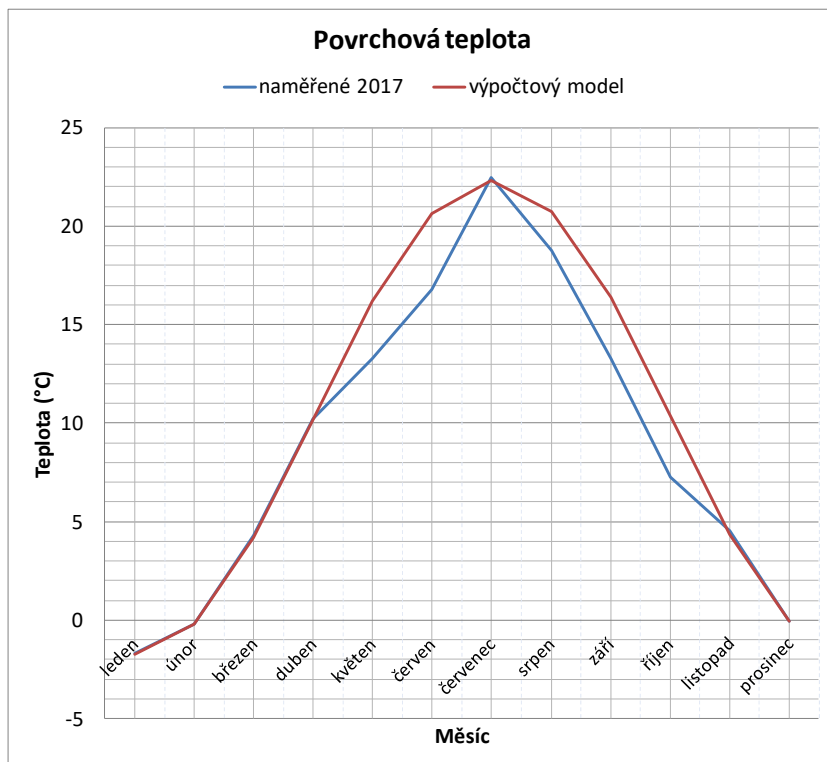
Tabulka 12-4: Povrchové teploty a teploty 2 m nad povrchem z výpočtového modelu

měsíc	výpočtový model (°C)	
	povrchová teplota	teplota 2 m nad terénem
leden	-1,74	-4,24
únor	-0,19	-2,43
březen	4,17	2,49
duben	10,17	9,22
květen	16,19	15,95
červen	20,63	20,88
červenec	22,29	22,68
srpen	20,74	20,88
září	16,38	15,95
říjen	10,39	9,22
listopad	4,36	2,50
prosinec	-0,08	-2,43

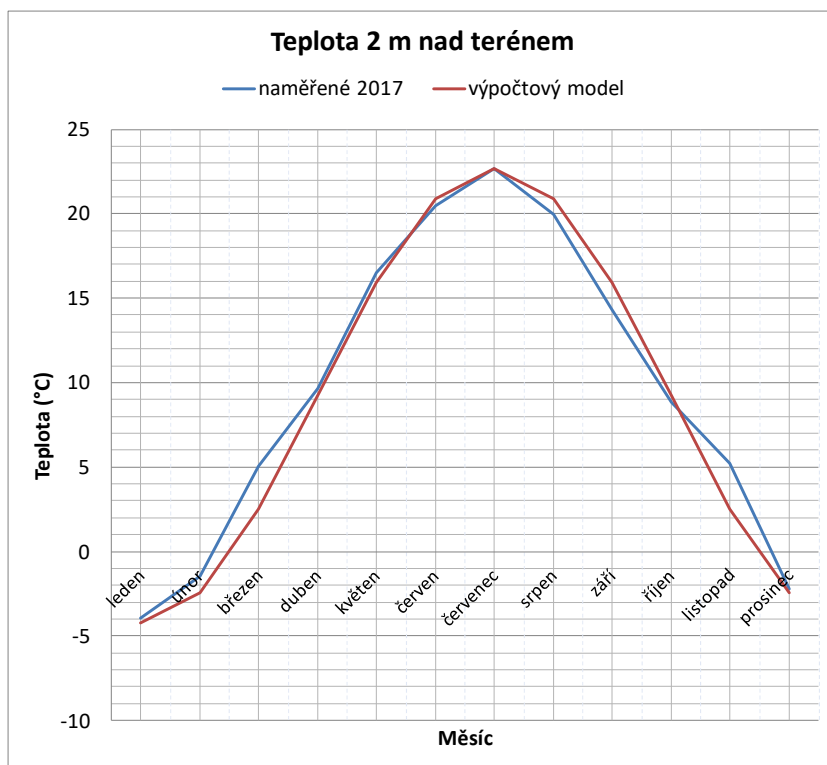


Graf 12-4: Povrchová teplota a teplota 2 m nad terénem z výpočtového modelu

Porovnání naměřených hodnot a hodnot z výpočtového modelu je patrné z následujících grafů:



Graf 12-5: Porovnání povrchových teplot

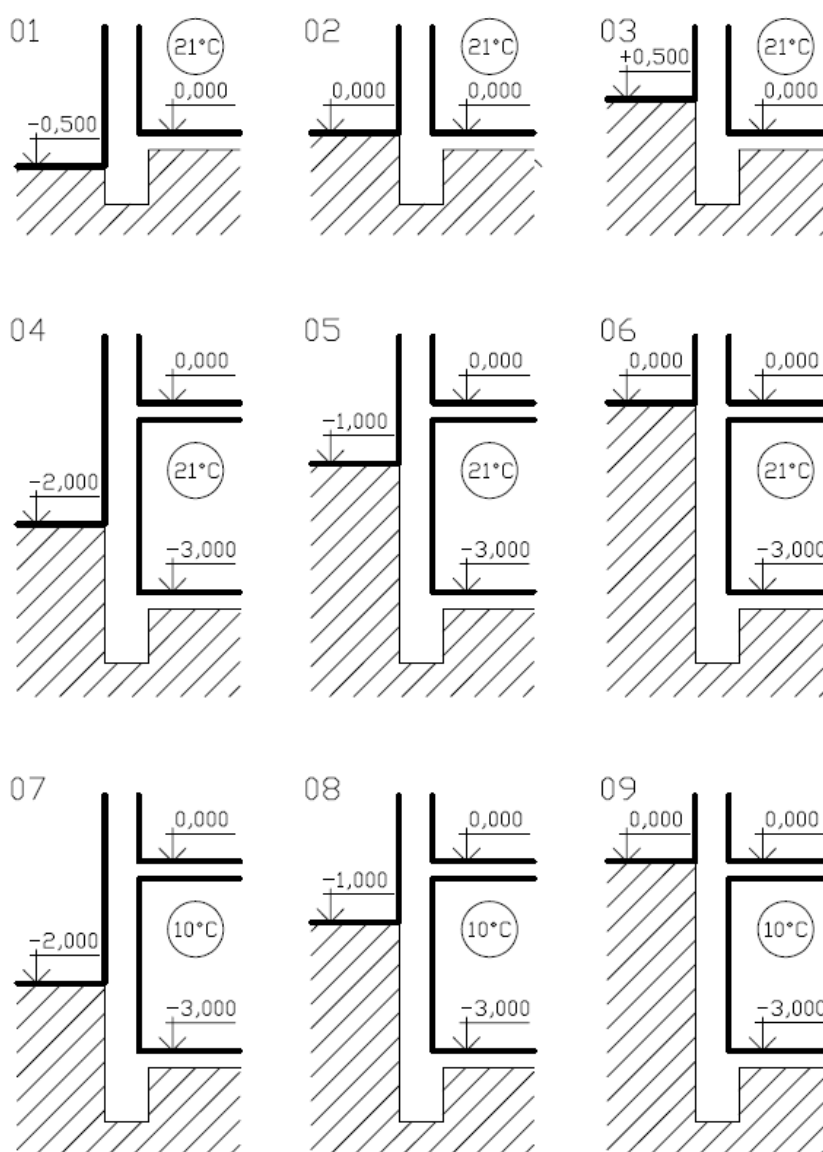


Graf 12-6: Porovnání teplot 2 m nad terénem

13 Osazení objektu do výpočtového modelu

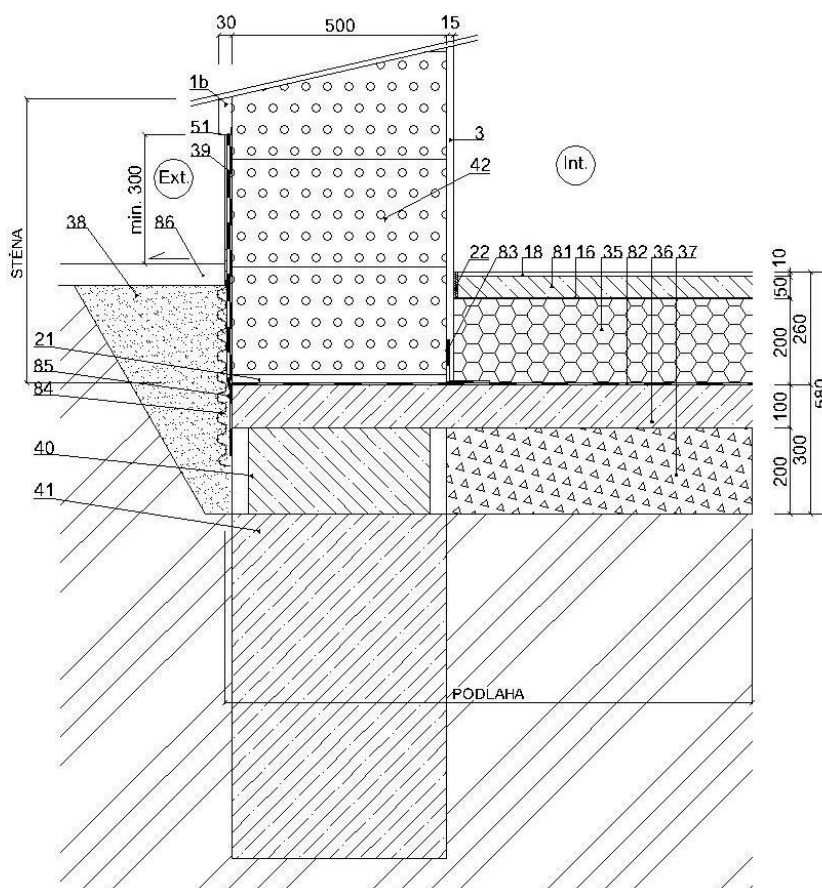
Do vytvořeného odladěného výpočtového modelu zeminy byly osazeny detaily založení objektu a byly provedeny další výpočty.

Výpočty byly provedeny pro celkem 21 detailů, jedná se o 9 základních detailů založení objektu s různou výškou terénu. Dále byly pro každý detail uvažovány varianty různé tloušťky tepelné izolace. Jednotlivé detaily jsou schematicky znázorněny na následujícím obrázku:



Obrázek 13-1: Schéma hodnocených detailů

Detail označen č. 1 až 3 je založení objektu na terénu s úrovní terénu ve stejné výšce jako podlaha, půl metru pod podlahou a půl metru nad podlahou, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Tento detail založení objektu byl zpracován a převzat z podkladů od firmy Heluz. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu variantně v tl. 0 mm, 100 mm a 200 mm.



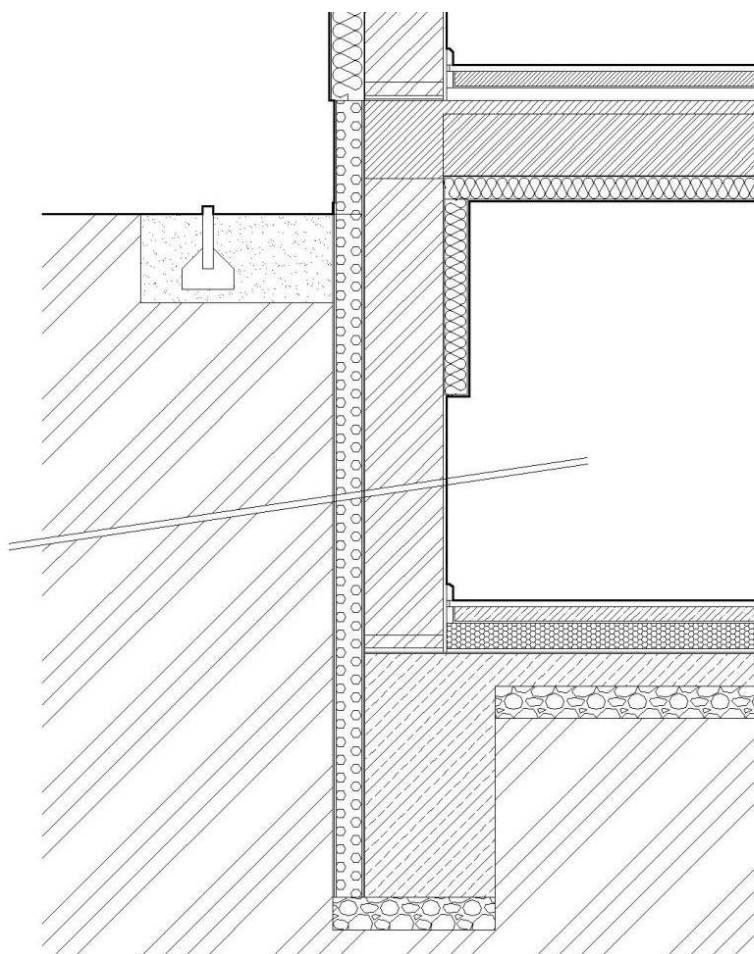
Obrázek 13-2: Detail založení objektu 01 až 03

Tabulka 13-1: Skladby konstrukcí detailu 01 až 03

skladby konstrukcí pro detaily 01 až 03			
obvodová stěna nad terénem		podlaha na terénu	
materiál	tl. (mm)	materiál	tl. (mm)
omítka vnitřní	15	nášlapná vrstva	10
cihelná tvárnice HELUZ Family 2in1	500	betonová mazanina	50
tep. izol. omítka	30	tepelná izolace EPS	0/100/200

Detail 4 až 6 je založení objektu pod terénem s úrovní podlahy prvního patra jeden, dva nebo tři metry pod terénem. Obě patra jsou vytápěná. Tento detail založení objektu byl zpracován a převzat z podkladů od firmy Isover. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice Heluz s tepelnou izolací. Tepelná izolace stěny a v podlaze na terénu je ve třech variantách. Tepelná izolace v podlaze na terénu je ve variantě 80 mm, 140 mm a 180 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm, 140 mm a 200 mm. Obvodová stěna nad terénem je s tepelnou izolací v tl. 100 mm, 160 mm a 220 mm.

Detail 7 až 9 je obdobný jako detaily 4 až 6, pouze první patro objektu, které je pod terénem, je temperované na teplotu 10 °C. Detaily jsou hodnoceny pouze v jedné základní variantě tloušťky tepelné izolace (podlaha tl. 80 mm, stěna pod terénem a sokl tl. 80 mm a stěna nad terénem tl. 100 mm). Strop nad prvním patrem je opatřen vodorovnou a částečně svislou tepelnou izolací v jednotné tl. 80 mm.



Obrázek 13-3: Detail založení objektu 04 až 09

Tabulka 13-2: Skladby konstrukcí detailů 04 až 09

skladby konstrukcí pro detaily 04 až 09			
obvodová stěna nad terénem		obvodová stěna pod terénem	
materiál	tl. (mm)	materiál	tl. (mm)
omítka vnitřní	10	omítka vnitřní	10
cihelná tvárnice PTH24 Profi	240	cihelná tvárnice PTH24 Profi	240
lepidlo	4	lepidlo	4
tepelná izolace Isover TF Profi	100/160/220	tepelná izolace Isover EPS Perimetr	80/140/200
omítka Etics	6		
podlaha na terénu		strop	
materiál	tl. (mm)	materiál	tl. (mm)
nášlapná vrstva	20	nášlapná vrstva	20
betonová mazanina	50	betonová mazanina	50
tepelná izolace Isover EPS 100	80/140/180	tepelná izolace Isover T	40
		stropní konstrukce	270
		lepidlo	4
		tepelná izolace Isover TF Profi	80
		omítka Etics	6

Tabulka 13-3: Označení a specifikace hodnocených detailů

označení detailu	úroveň podlahy nejnižšího patra k terénu	tl. tepelné izolace				součinitel tepelné vodivosti U			
		obv. stěna nad ter.	obv. stěna pod ter.	podlaha na terénu	strop	obv. stěna nad ter.	obv. stěna pod ter.	podlaha na terénu	strop
		m	mm	mm	mm	mm	W/(m ² .K)	W/(m ² .K)	W/(m ² .K)
01_00	0,5	0	-	0	-	0,11	-	4,63	-
01_01	0,5	0	-	100	-	0,11	-	0,37	-
01_02	0,5	0	-	200	-	0,11	-	0,19	-
02_00	0	0	-	0	-	0,11	-	4,63	-
02_01	0	0	-	100	-	0,11	-	0,37	-
02_02	0	0	-	200	-	0,11	-	0,19	-
03_00	-0,5	0	-	0	-	0,11	-	4,63	-
03_01	-0,5	0	-	100	-	0,11	-	0,37	-
03_02	-0,5	0	-	200	-	0,11	-	0,19	-
04_00	-1	100	80	80	-	0,27	0,30	0,40	-
04_01	-1	160	140	140	-	0,19	0,20	0,24	-
04_02	-1	220	200	180	-	0,15	0,15	0,19	-
05_00	-2	100	80	80	-	0,27	0,30	0,40	-
05_01	-2	160	140	140	-	0,19	0,20	0,24	-
05_02	-2	220	200	180	-	0,15	0,15	0,19	-
06_00	-3	100	80	80	-	0,27	0,30	0,40	-
06_01	-3	160	140	140	-	0,19	0,20	0,24	-
06_02	-3	220	200	180	-	0,15	0,15	0,19	-
07_00	-1	100	80	80	80	0,27	0,30	0,40	0,27
08_00	-2	100	80	80	80	0,27	0,30	0,40	0,27
09_00	-3	100	80	80	80	0,27	0,30	0,40	0,27

13.1 Označení a popis výpočtů

Pro každý detail je dále provedeno deset různých výpočtů, z toho pět výpočtů pro výpočet minimální povrchové teploty a stanovení teplotního faktoru a pět výpočtů pro výpočet tepelných toků a následně tepelných ztrát. Jednotlivé výpočty a jejich označení jsou popsány dále.

A – dynamický výpočet pro odladěný model zeminy podle skutečného průběhu teplot po jednotlivých vrstvách. Výpočet je proveden pro 5 let, výsledné hodnoty jsou odečteny v 5. roce výpočtu, kdy je výpočetní model ustálen.

A1 – výpočet tepelného toku s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

A2 – výpočet minimální povrchové teploty s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

B – stacionární výpočet stejného modelu jako pro dynamický výpočet, zemina je uvažována po vrstvách, vlastnosti zeminy vychází z dynamického výpočtu. Návrhová teplota pro exteriér je uvažována jako nejnižší teplota z průměrných měsíčních teplot.

B1 – výpočet tepelného toku s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

B2 – výpočet minimální povrchové teploty s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

C – stacionární výpočet dle požadavků norem

C1 – výpočet tepelného toku pro odpovídající výpočtový model bez okrajové podmínky v zemině a s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

C2 – výpočet minimální povrchové teploty pro odpovídající výpočtový model s okrajovou podmínkou v zemině a s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

D – stacionární výpočet pro nově navržený model 1 (teplota 8 °C 2 m pod terénem)

D1 – výpočet tepelného toku pro výpočtový model s okrajovou podmínkou v zemině a s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

D2 – výpočet minimální povrchové teploty pro odpovídající výpočtový model s okrajovou podmínkou v zemině a s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

E – stacionární výpočet pro nově navržený model 2 (teplota 10 °C 2 m pod terénem)

E1 – výpočet tepelného toku pro výpočtový model s okrajovou podmínkou v zemině a s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

E2 – výpočet minimální povrchové teploty pro odpovídající výpočtový model s okrajovou podmínkou v zemině a s odpovídající okrajovou podmínkou odporu při přestupu tepla v interiéru.

13.2 Vlastnosti materiálů

Tepelná vodivost

Hodnoty součinitele tepelné vodivosti běžných stavebních materiálů jsou převzaty z normových tabulek nebo z podkladů výrobců. Pro výpočty jsou uvažovány návrhové konstantní hodnoty tepelné vodivosti. Pro anizotropní materiály, jedná se zejména o cihelné tvarovky, jsou uvažovány hodnoty tepelné vodivosti rozdílné pro jednotlivé směry vedení tepla.

Objemová hmotnost a měrná tepelná kapacita

Objemová hmotnost a měrná tepelná kapacita jsou převzaty z normových tabulek nebo z podkladů výrobců.

Pro výpočet A a B byly odladěny vlastnosti zeminy po jednotlivých vrstvách ve výpočtovém modelu. Vlastnosti zeminy jsou uvedeny v dřívější kapitole popisující výpočtový model.

Pro výpočet C, D a E byly použity vlastnosti zeminy dle ČSN EN ISO 13 370 [3]. Tepelná vodivost zeminy je do výpočtu uvažována pro neznámý typ zeminy hodnotou $2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

13.3 Okrajové podmínky

13.3.1 Teplota interiéru

Návrhová teplota vnitřního vzduchu je rovna návrhové vnitřní teplotě, ve výpočtech je uvažována teplota $21 \text{ }^\circ\text{C}$.

13.3.2 Teplota exteriéru

Návrhová venkovní teplota je teplota venkovního vzduchu, pro normové výpočty (C, D, E) je ve výpočtech uvažována teplota $-15 \text{ }^\circ\text{C}$.

Pro dynamický výpočet A je uvažována teplota dle naměřených průměrných měsíčních teplot. Pro stěnu byla uvažována teplota naměřená 2 metry nad povrchem terénu. Hodnoty naměřených průměrných měsíčních hodnot na povrchu terénu a 2 m nad povrchem terénu jsou uvedeny v dřívější kapitole věnující se výpočtovému modelu zeminy.

Pro výpočet B (stacionární, ale stejný model jako dynamický) je teplota uvažována jako nejnižší měsíční teplota odladěného výpočtového modelu.

13.3.3 Teplota v zemině

Pro dynamický výpočet A byl vytvořen výpočtový model odpovídající skutečně naměřeným hodnotám teplot v zemině po jednotlivých vrstvách.

Pro stacionární výpočet B je v hloubce 15 m pod povrchem teplota odpovídající minimální naměřené teplotě v této hloubce, tj. $11,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Normový výpočet C má pro výpočet minimální povrchové teploty teplotu $5 \text{ }^\circ\text{C}$ umístěnou 3 m pod povrchem terénu, případně 1 m pod podlahou podsklepeného objektu. Pro výpočet tepelných toků se teplota do zeminy nezadáva, je zde uvažována adiabatická podmínka.

Pro výpočet D a E je podmínka umístěna 2 m pod povrchem terénu, u podsklepeného objektu 1 m pod podlahou na terénu s přechodem do 2 m pod povrchem terénu. Ve výpočtu D je uvažována teplota v zemině 8 °C a ve výpočtu E je uvažována teplota v zemině 10 °C.

13.3.4 Odpor na přestupu tepla

Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce je tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnitřní straně konstrukce. Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce je tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnější straně konstrukce. Tepelné odpory při přestupu tepla jsou do výpočtů použity dle ČSN 73 0540-3 [17].

Tabulka 13-4: Hodnoty odporu při přestupu tepla

odpor při přestupu tepla R_{se} a R_{si}		
$(m^2.K)/W$		
R_{se}	exteriér	0,04
	terén	0
R_{si}	stěna	0,13
	strop	0,1
	podlaha	0,17
	minimální teplota	0,25

14 Vyhodnocení výpočtových modelů

Do vytvořeného odladěného výpočtového modelu zeminy byly osazeny různé objekty – detaily založení objektu – a byly provedeny další výpočty.

Výpočty byly provedeny pro celkem 21 detailů, jedná se o 9 základních detailů založení objektu s různou výškou terénu. Dále byly pro každý detail uvažovány varianty různé tloušťky tepelné izolace.

Pro každý detail je dále provedeno deset různých výpočtů, 5 výpočtů z toho pro výpočet minimální povrchové teploty a stanovení teplotního faktoru, pět výpočtů pro výpočet tepelných toků a následně tepelných ztrát.

Podrobnější popis jednotlivých výpočtů a jednotlivých detailů s popisem skladeb a součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí je uveden v předchozí kapitole.

Pro každý hodnocený detail je uvedena přehledná tabulka s odečtenými výsledky všech výpočtů a vybraný termogram s patrným rozložením teplot ve výpočtovém modelu.

Detail 01_00

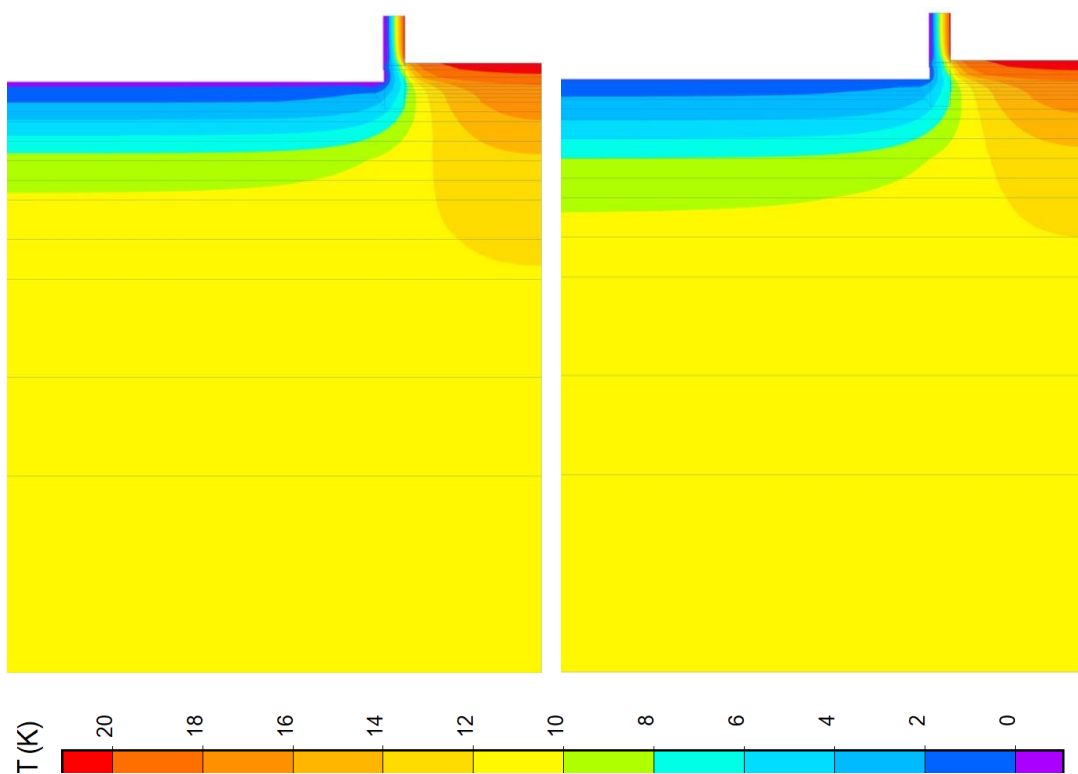
Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu půl metru pod úrovní podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze není.

Součinitel prostupu podlahy neplní požadavek normy ČSN 730540-2, ale tato podlaha bez tepelné izolace je zde také uvažována, aby byl vidět rozdíl v tepelném toku podlahou při různé tloušťce tepelné izolace a bez tepelné izolace.

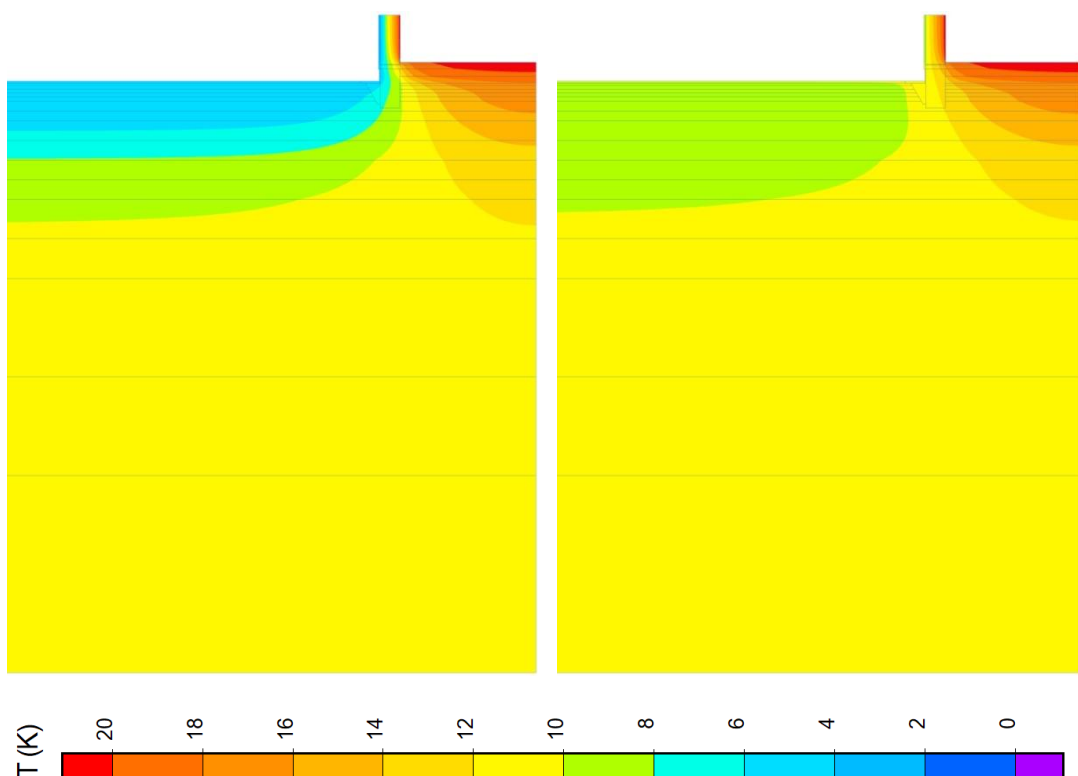
Tabulka 14-1: Výsledky výpočtů – detail 01_00

01_00				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	14,66	5,37	20,84
	únor	14,99	5,03	20,64
	březen	16,07	4,04	18,47
	duben	17,63	2,66	14,91
	květen	19,23	1,26	10,93
	červen	20,46	0,22	7,58
	červenec	20,98	-0,19	5,76
	srpen	20,65	0,14	5,96
	září	19,57	1,13	8,13
	říjen	18,01	2,51	11,69
	listopad	16,41	3,91	15,67
	prosinec	15,18	4,96	19,02
B		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		14,65	5,29	22,58
C		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		11,51	8,01	68,57
D		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		11,93	7,59	51,16
E		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		12,13	7,52	46,87

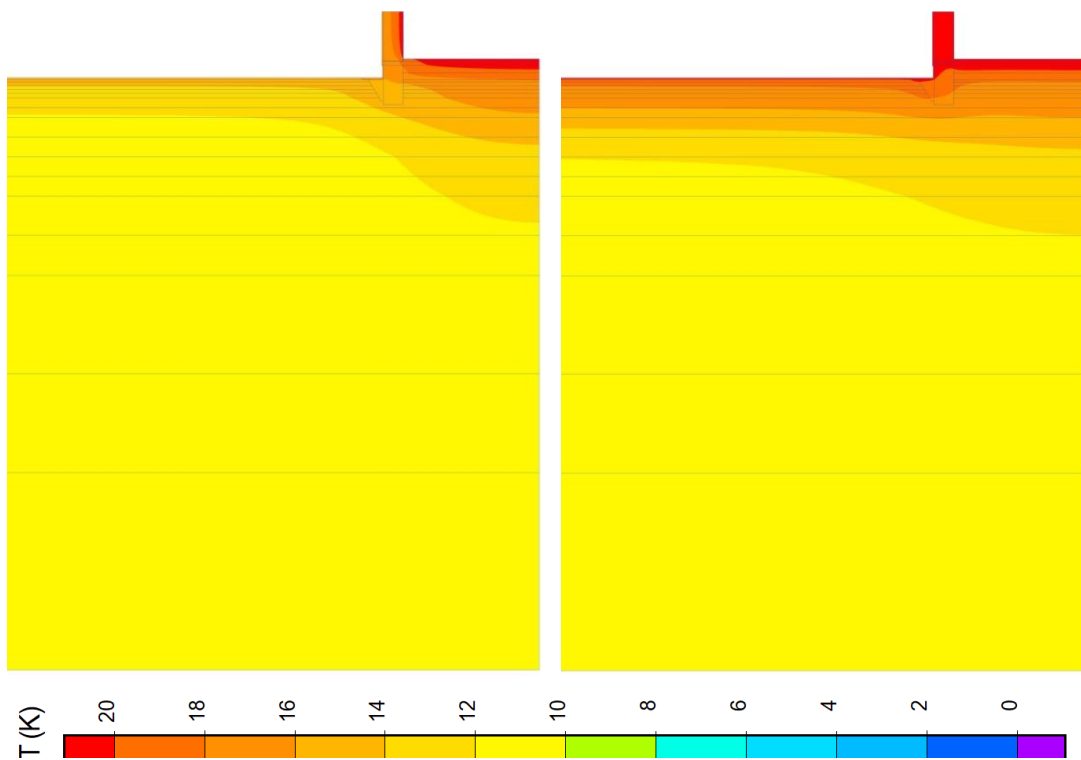
Dále jsou zobrazeny termogramy a legendy teplot jednotlivých typů výpočtů, termogramy jsou zobrazeny pro výpočet tepelných toků, pro normový výpočet C jsou zobrazeny termogramy pro oba typy výpočtů (tok, teplota), aby byl patrný rozdíl v geometrii a velikosti výpočtového modelu. Pro dynamický výpočet A jsou zobrazeny termogramy po jednotlivých měsících celého roku, aby byla vidět změna teplot v zemině.



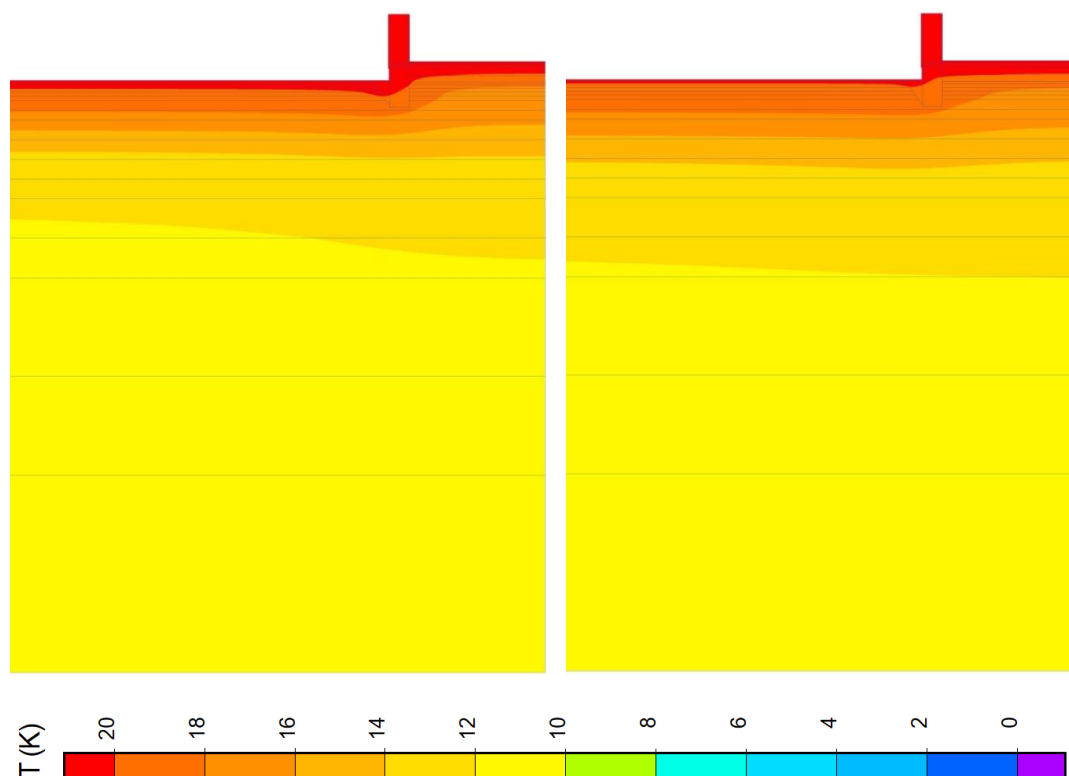
Obrázek 14-1: Detail 01_00 – A1 - rozložení teplot leden a únor



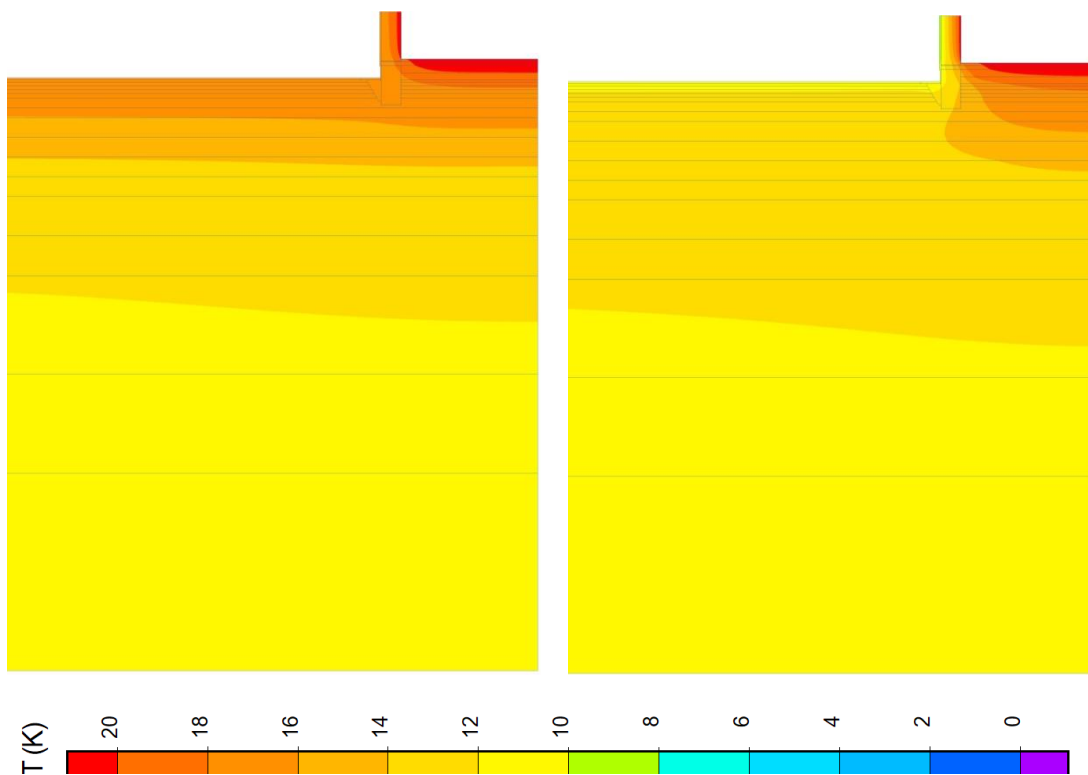
Obrázek 14-2: Detail 01_00 – A1 - rozložení teplot březen a duben



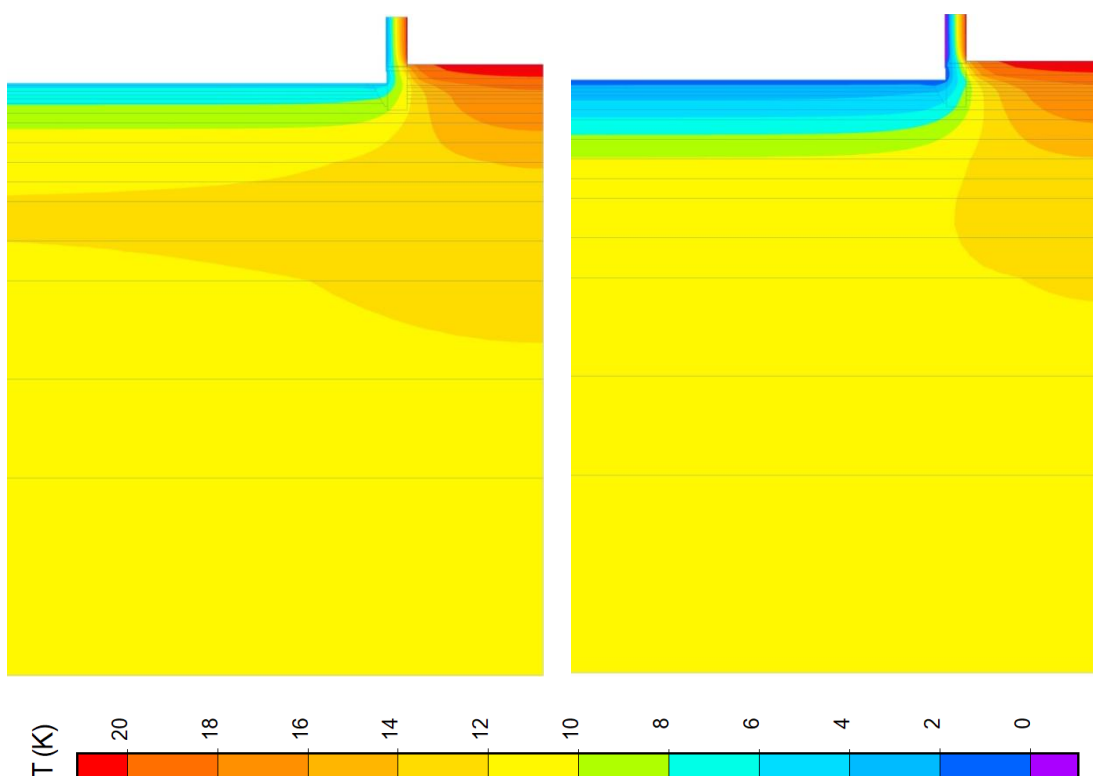
Obrázek 14-3: Detail 01_00 – A1 - rozložení teplot květen a červen



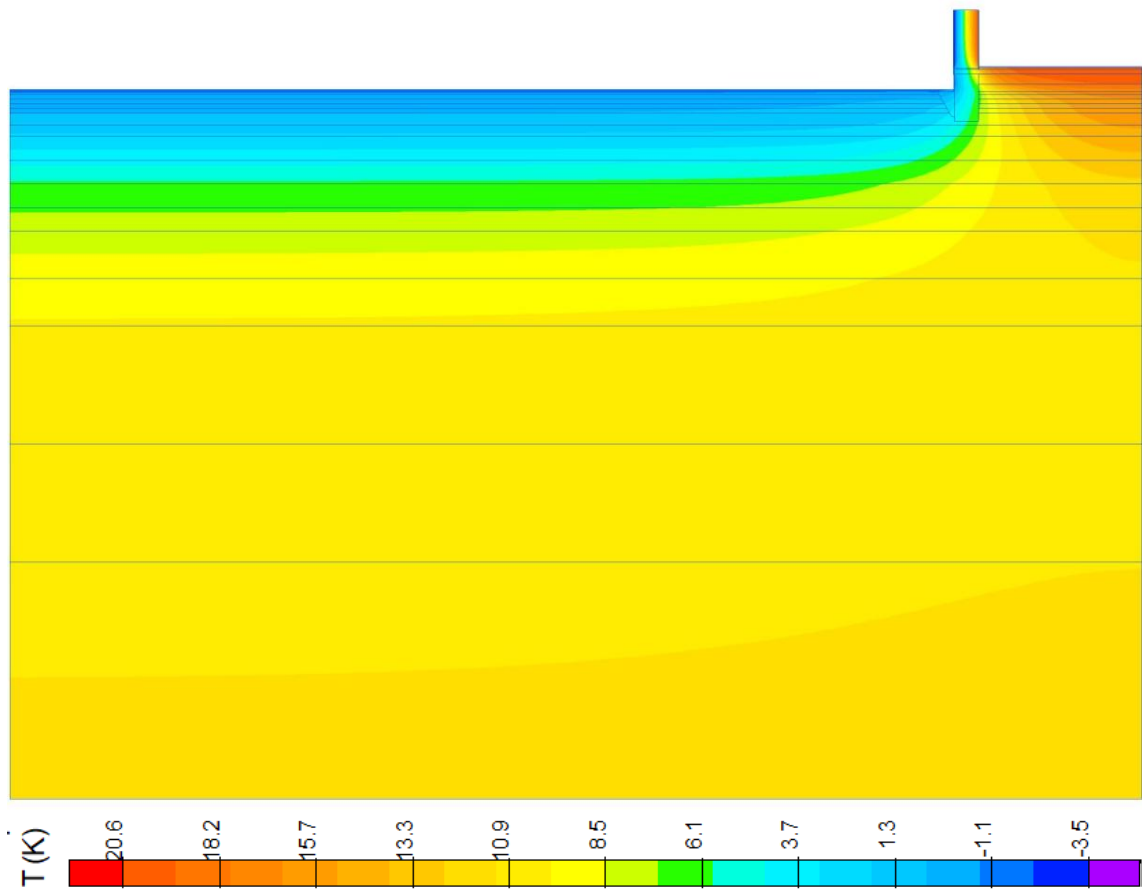
Obrázek 14-4: Detail 01_00 – A1 - rozložení teplot červenec a srpen



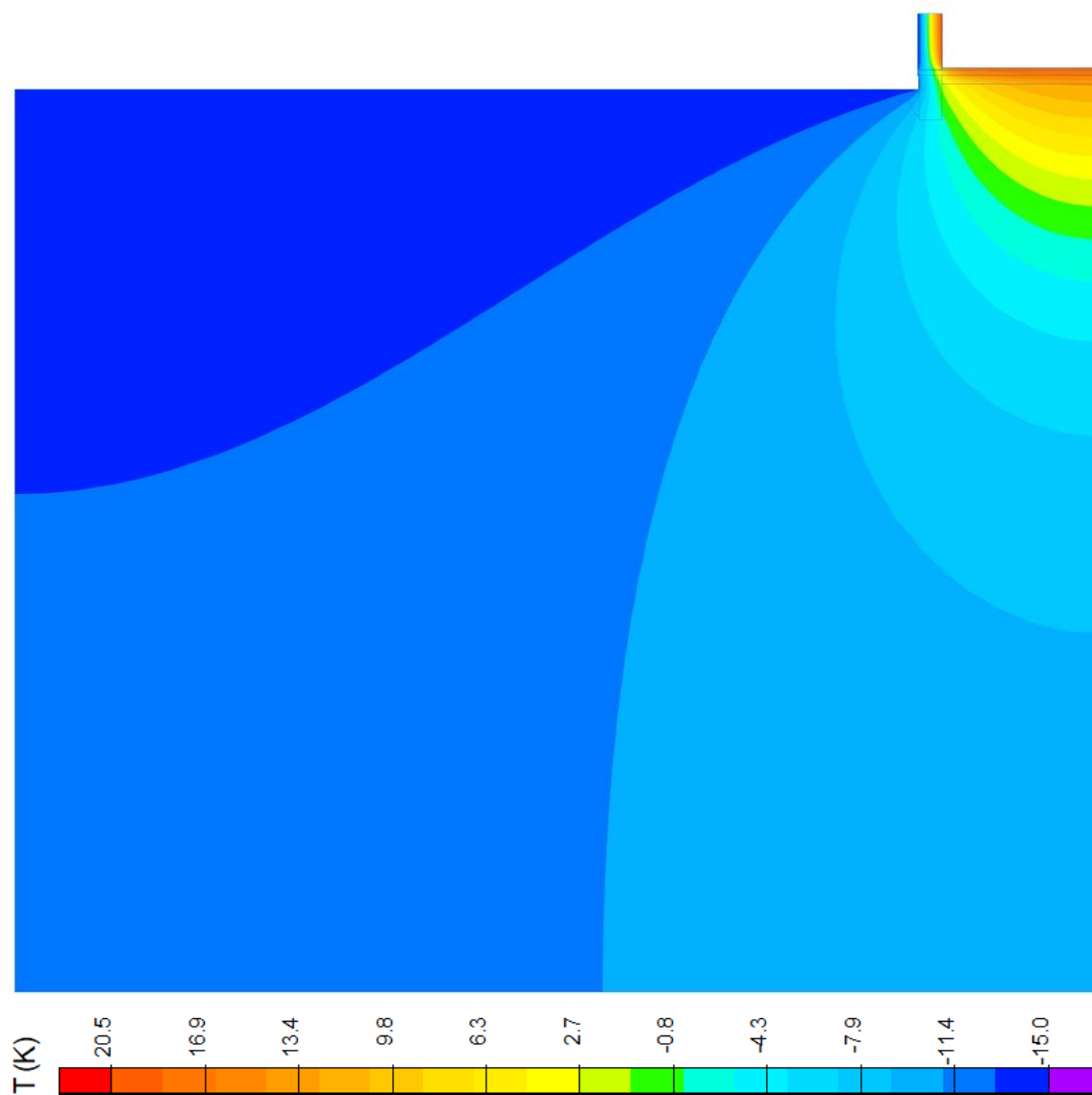
Obrázek 14-5: Detail 01_00 – A1 - rozložení teplot září a říjen



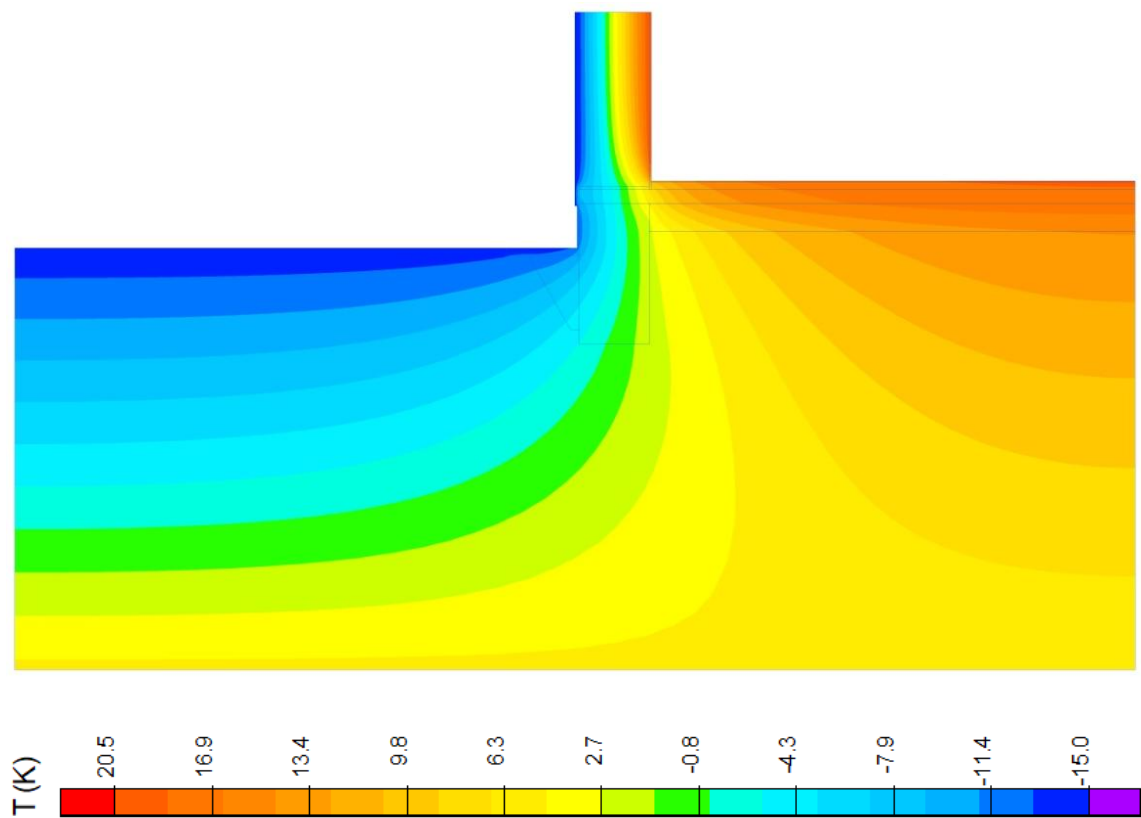
Obrázek 14-6: Detail 01_00 – A1 - rozložení teplot listopad a prosinec



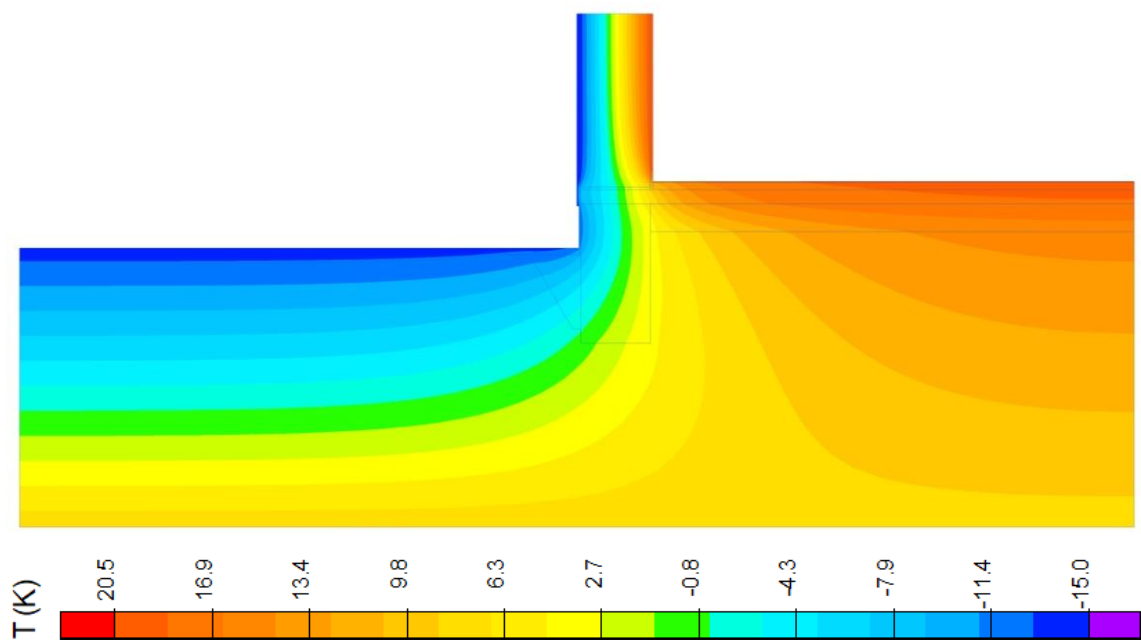
Obrázek 14-7: Detail 01_00 – B1 rozložení teplot



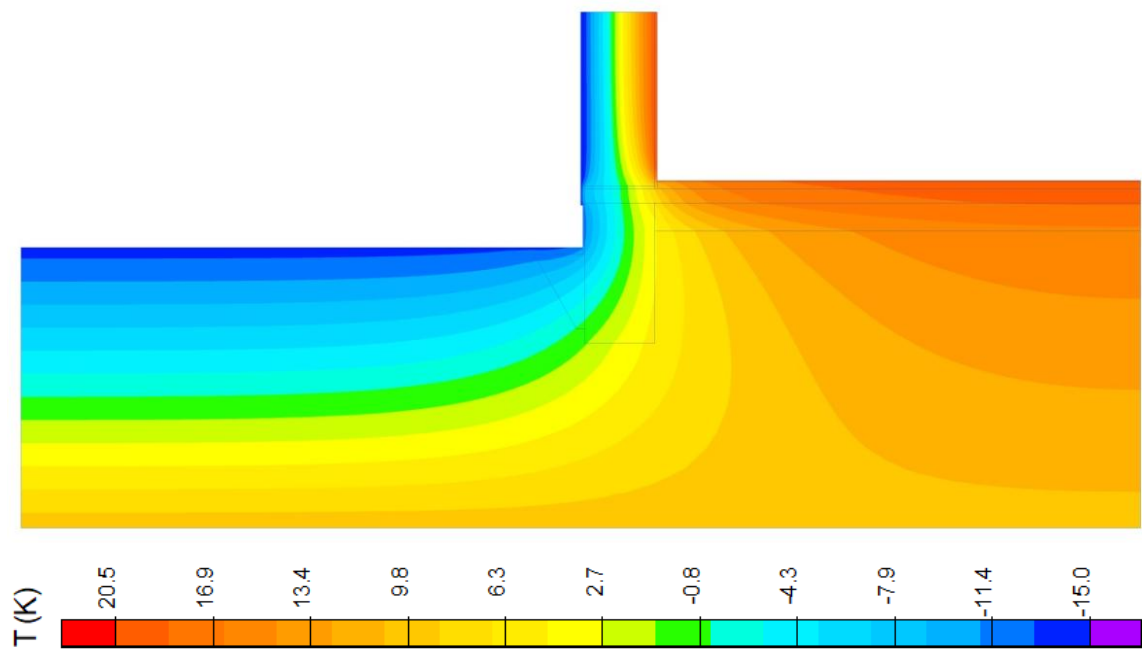
Obrázek 14-8: Detail 01_00 – C1 rozložení teplot



Obrázek 14-9: Detail 01_00 – C2 rozložení teplot



Obrázek 14-10: Detail 01_00 – D1 rozložení teplot



Obrázek 14-11: Detail 01_00 – E1 rozložení teplot

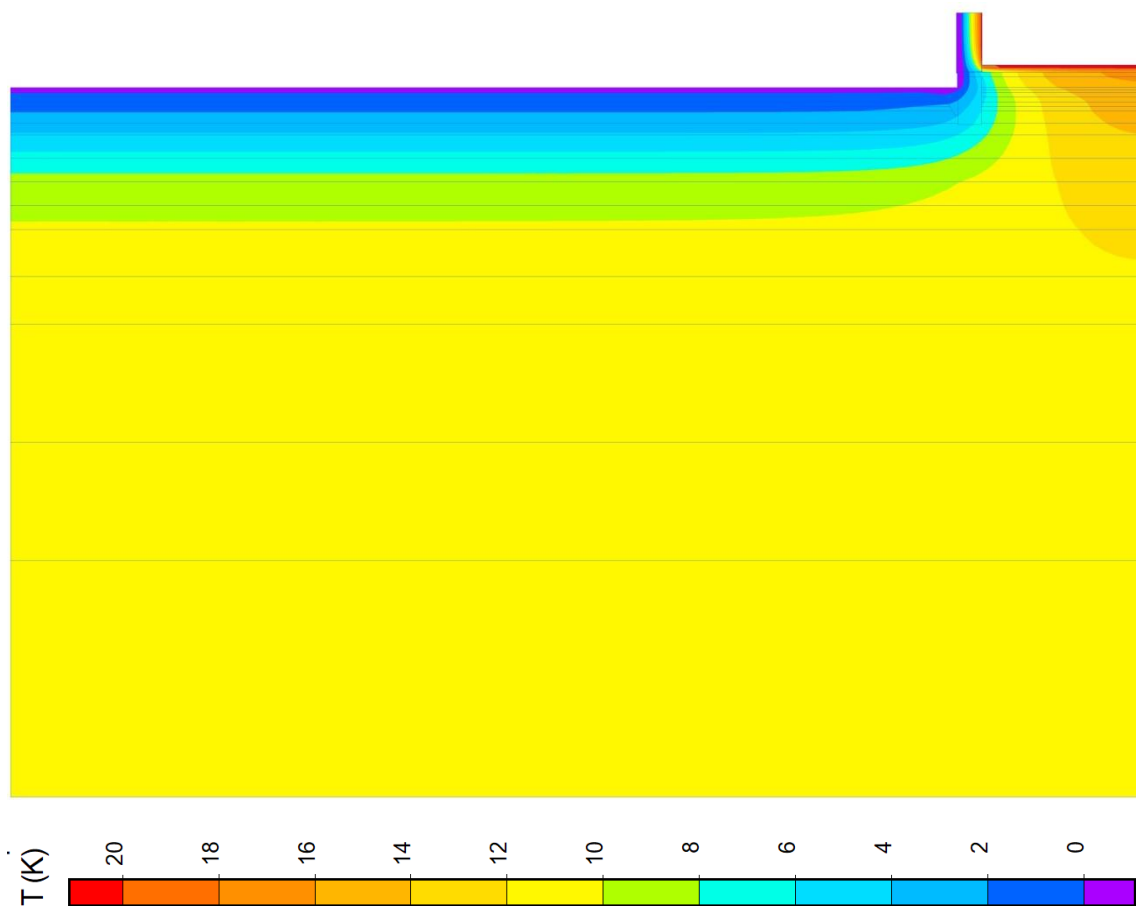
Detail 01_01

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu půl metru pod úrovní podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu tl. 100 mm.

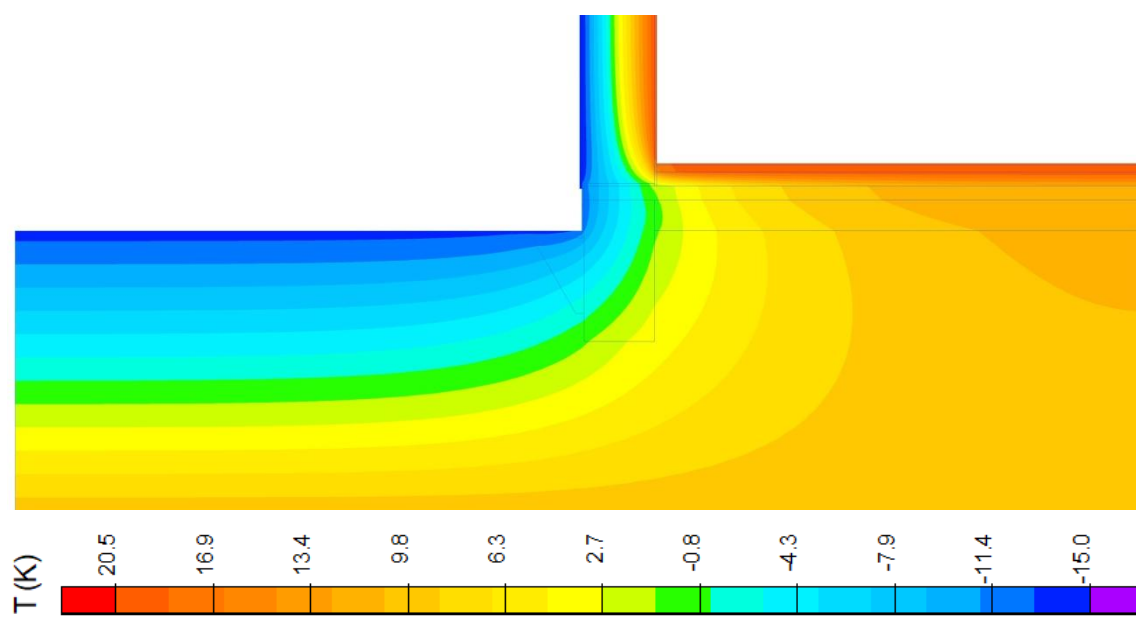
Tabulka 14-2: Výsledky výpočtů – detail 01_01

01_01				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	17,60	4,41	10,55
	únor	17,74	4,15	10,69
	březen	18,28	3,35	9,92
	duben	19,07	2,23	8,45
	květen	19,90	1,10	6,67
	červen	20,54	0,24	5,06
	červenec	20,84	-0,10	4,06
	srpen	20,70	0,16	3,92
	září	20,16	0,96	4,68
	říjen	19,37	2,08	6,15
	listopad	18,54	3,22	7,93
	prosinec	17,90	4,07	9,54
B	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			4,37	12,02
C	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			6,80	29,93
D	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			6,22	17,75
E	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			6,16	16,22

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-12: Detail 01_01 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-13: Detail 01_01 – E1 rozložení teplot

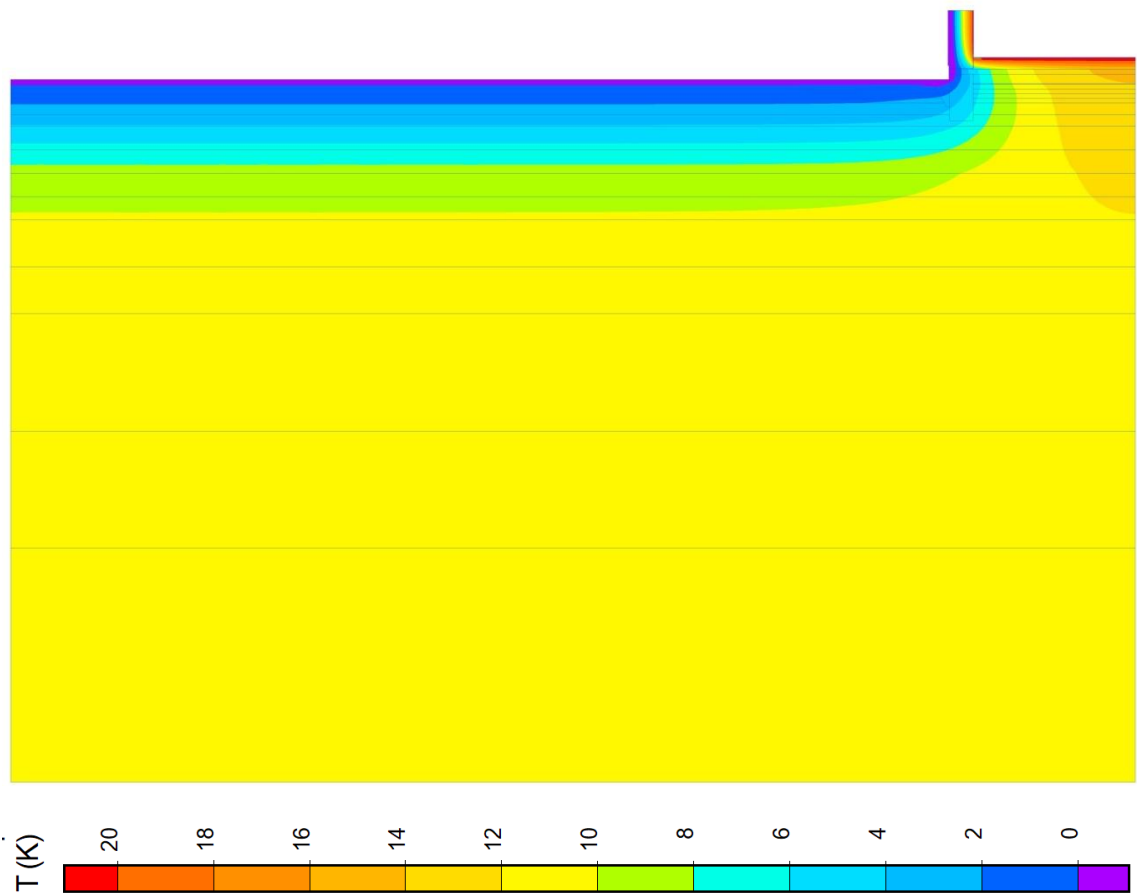
Detail 01_02

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu půl metru pod úrovní podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu tl. 200 mm.

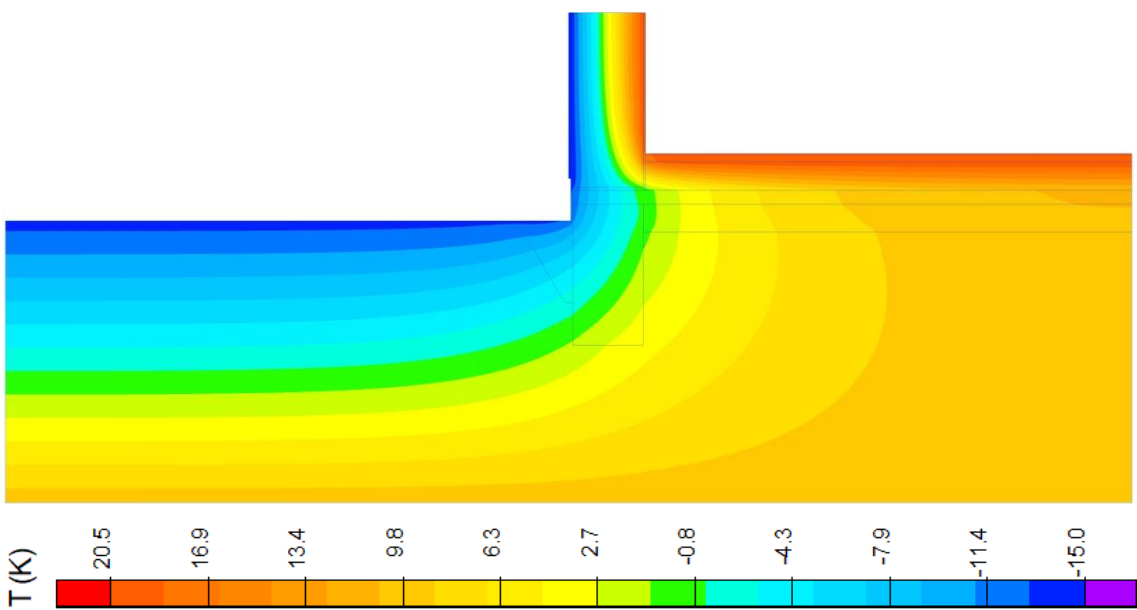
Tabulka 14-3: Výsledky výpočtů – detail 01_02

01_02				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	18,51	3,75	7,18
	únor	18,60	3,53	7,32
	březen	18,98	2,86	6,88
	duben	19,54	1,91	5,97
	květen	20,13	0,95	4,83
	červen	20,60	0,22	3,78
	červenec	20,82	-0,07	3,09
	srpen	20,73	0,16	2,95
	září	20,35	0,83	3,40
	říjen	19,79	1,78	4,30
	listopad	19,19	2,74	5,44
	prosinec	18,72	3,46	6,49
B	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	18,42		3,73	8,34
C	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	17,26		5,81	19,68
D	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	17,55		5,29	10,94
E	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	17,65		5,23	9,97

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-14: Detail 01_02 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-15: Detail 01_02 – E1 rozložení teplot

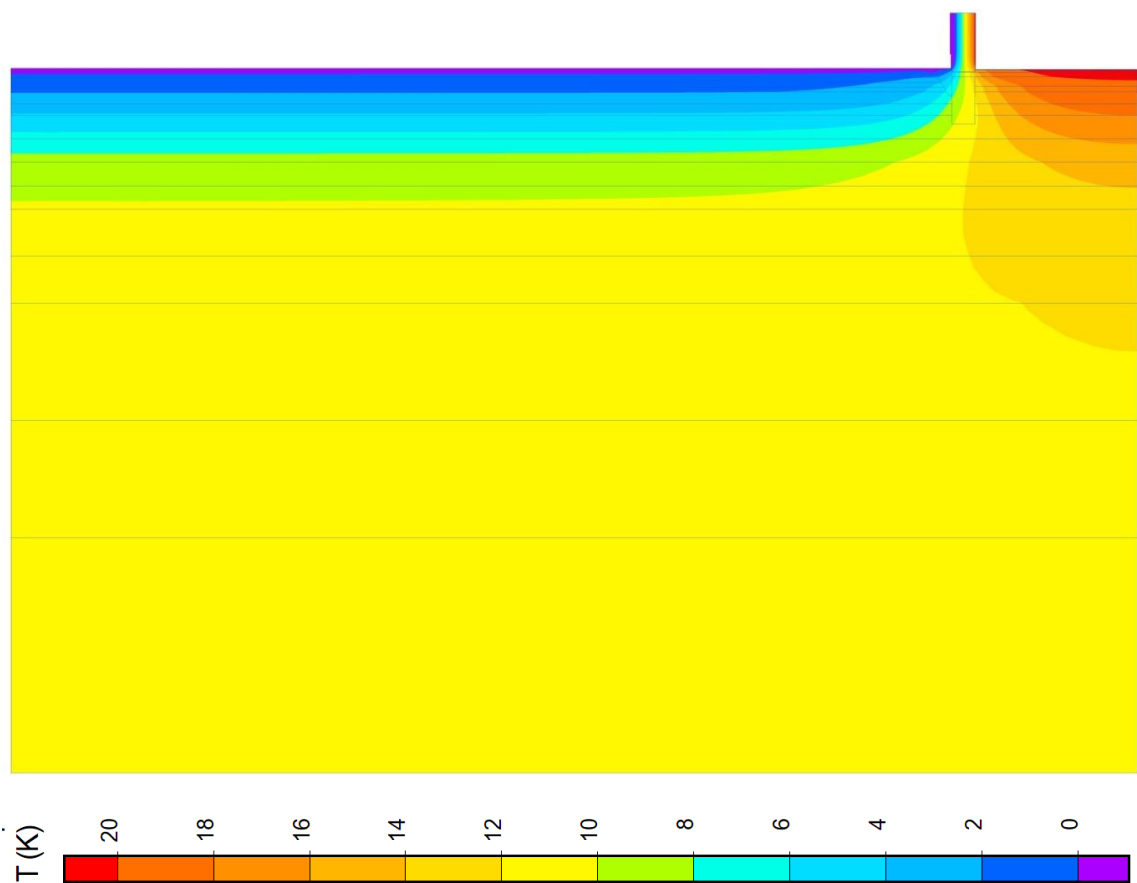
Detail 02_00

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu ve stejné výšce jako úroveň podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze není.

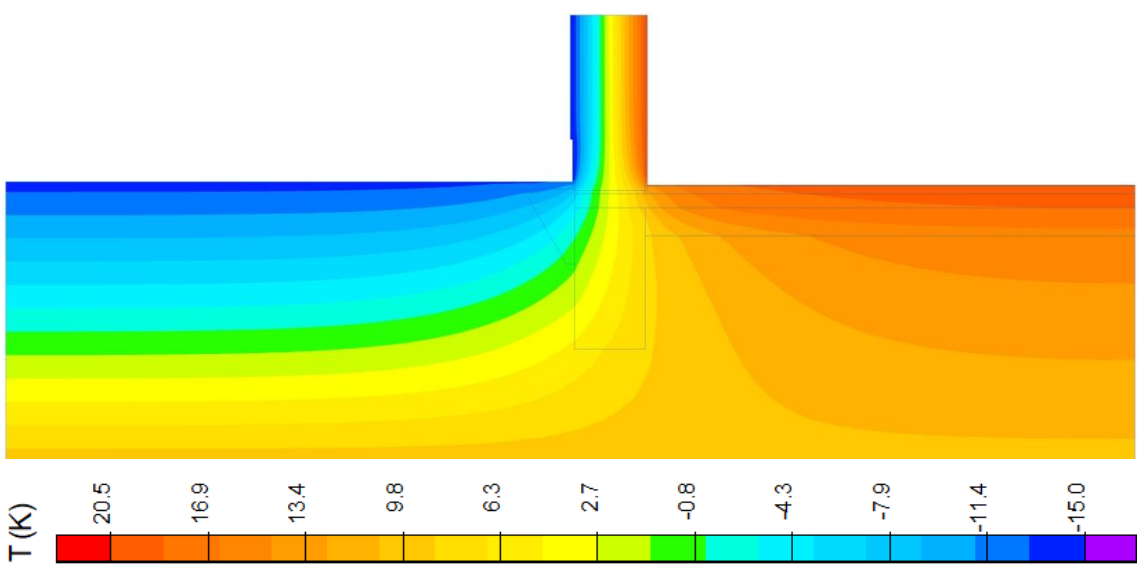
Tabulka 14-4: Výsledky výpočtů – detail 02_00

02_00				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	16,38	4,55	19,17
	únor	16,51	4,31	19,27
	březen	17,15	3,52	17,92
	duben	18,14	2,41	15,48
	květen	19,19	1,26	12,61
	červen	20,04	0,39	10,08
	červenec	20,46	0,03	8,56
	srpen	20,32	0,28	8,47
	září	19,68	1,06	9,82
	říjen	18,70	2,18	12,26
	listopad	17,64	3,32	15,13
	prosinec	16,79	4,19	17,66
B		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		16,17	4,56	21,17
C		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		12,93	7,50	62,44
D		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		13,58	6,85	48,04
E		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		13,92	6,72	42,68

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-16: Detail 02_00 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-17: Detail 02_00 – E1 rozložení teplot

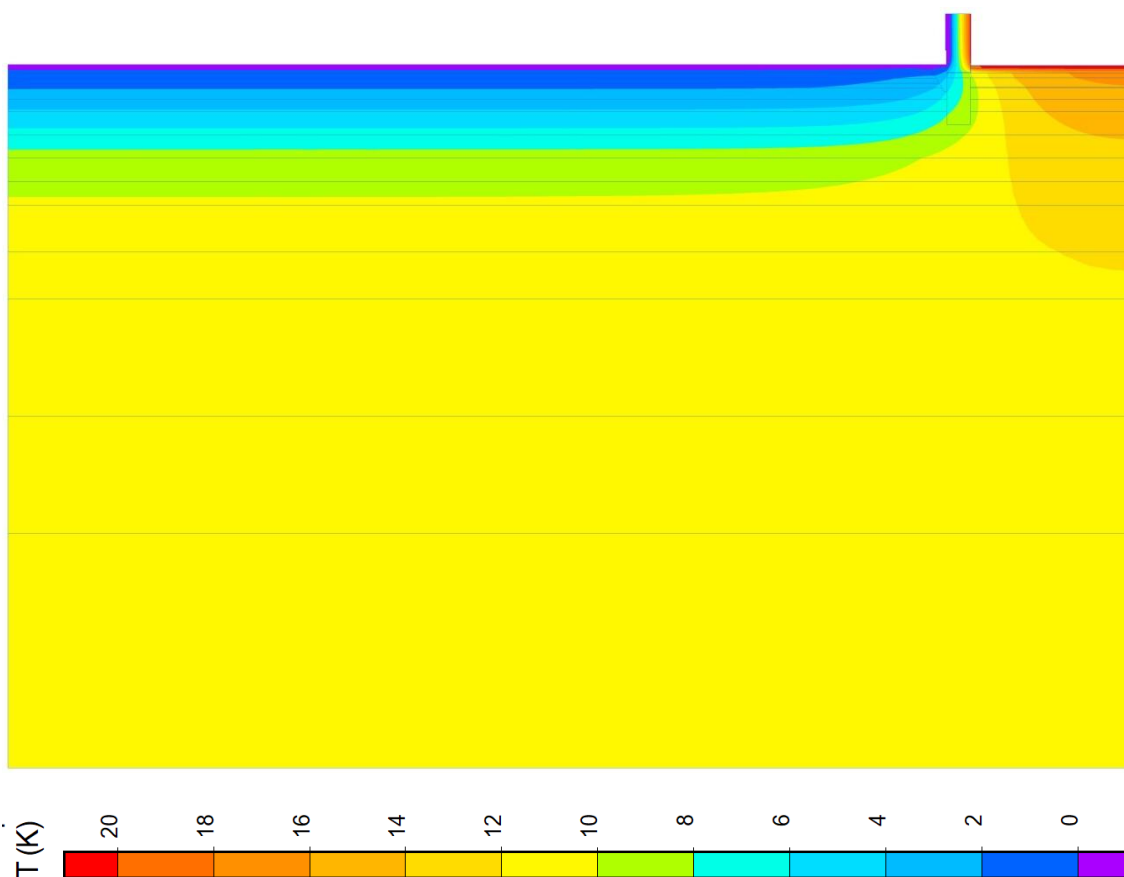
Detail 02_01

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu ve stejné výšce jako úroveň podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu tl. 100 mm.

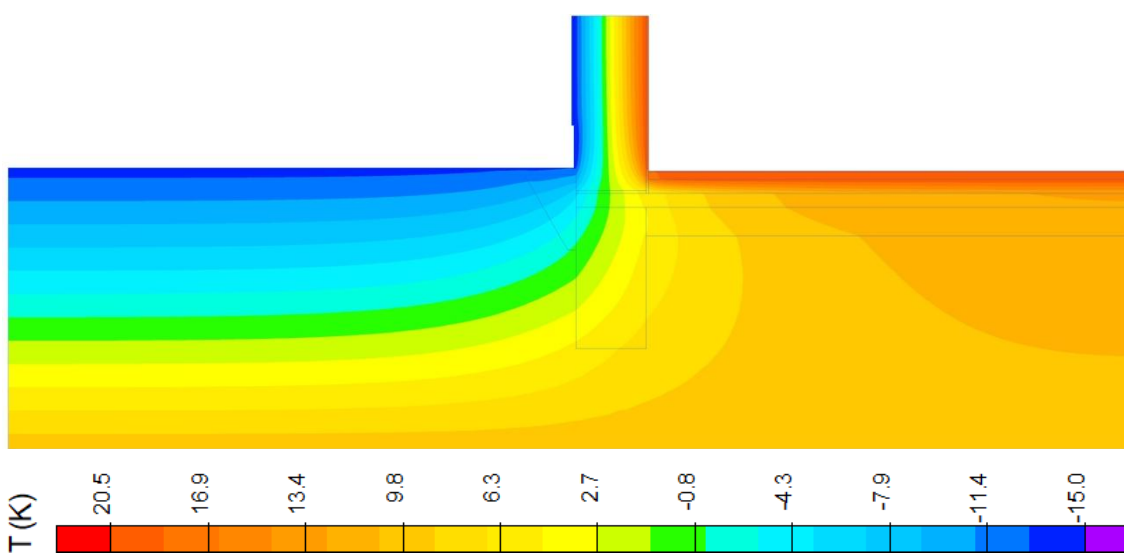
Tabulka 14-5: Výsledky výpočtů – detail 02_01

02_01				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	18,42	3,88	8,91
	únor	18,46	3,68	9,12
	březen	18,76	3,04	8,76
	duben	19,25	2,11	7,92
	květen	19,79	1,16	6,83
	červen	20,24	0,43	5,78
	červenec	20,48	0,12	5,05
	srpen	20,44	0,31	4,84
	září	20,14	0,96	5,20
	říjen	19,65	1,89	6,04
	listopad	19,11	2,84	7,13
prosinec	18,66	3,57	8,18	
B	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			3,92	10,30
C	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			6,56	28,63
D	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			5,63	15,83
E	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
			5,51	14,03

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-18: Detail 02_01 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-19: Detail 02_01 – E1 rozložení teplot

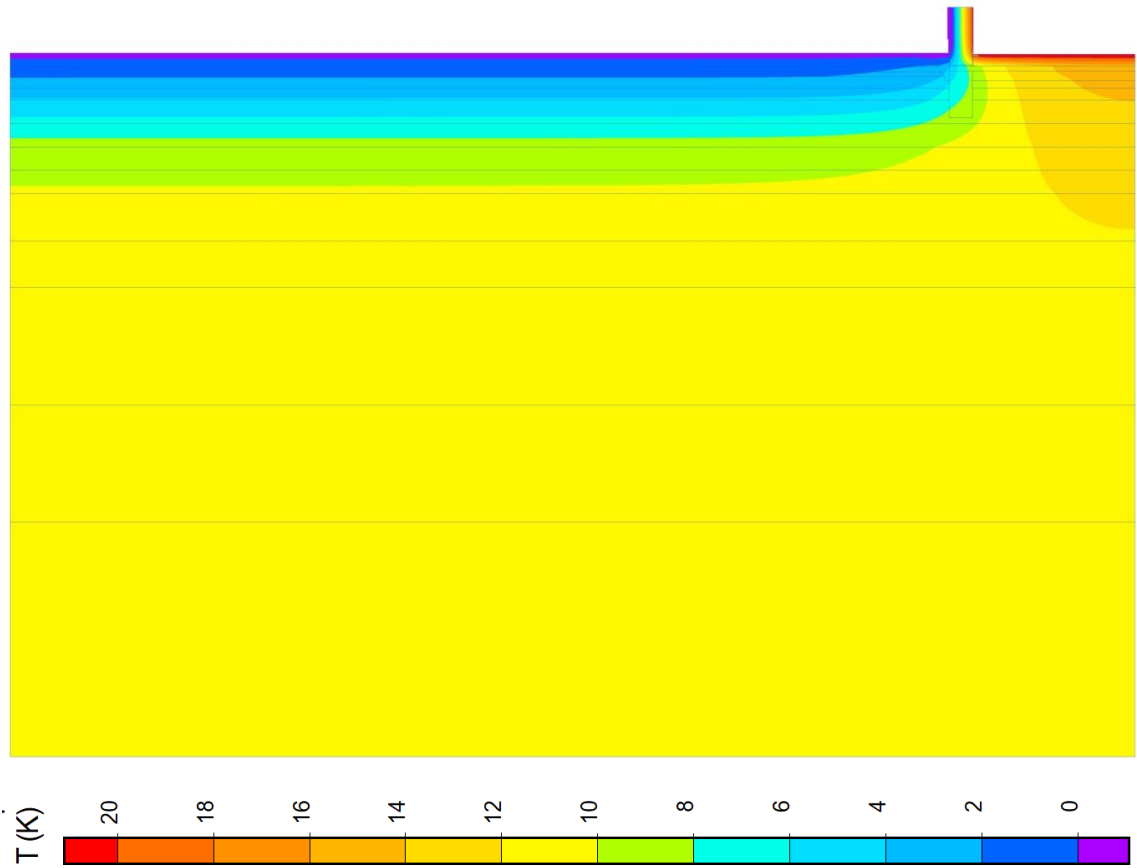
Detail 02_02

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu ve stejné výšce jako úroveň podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu tl. 200 mm.

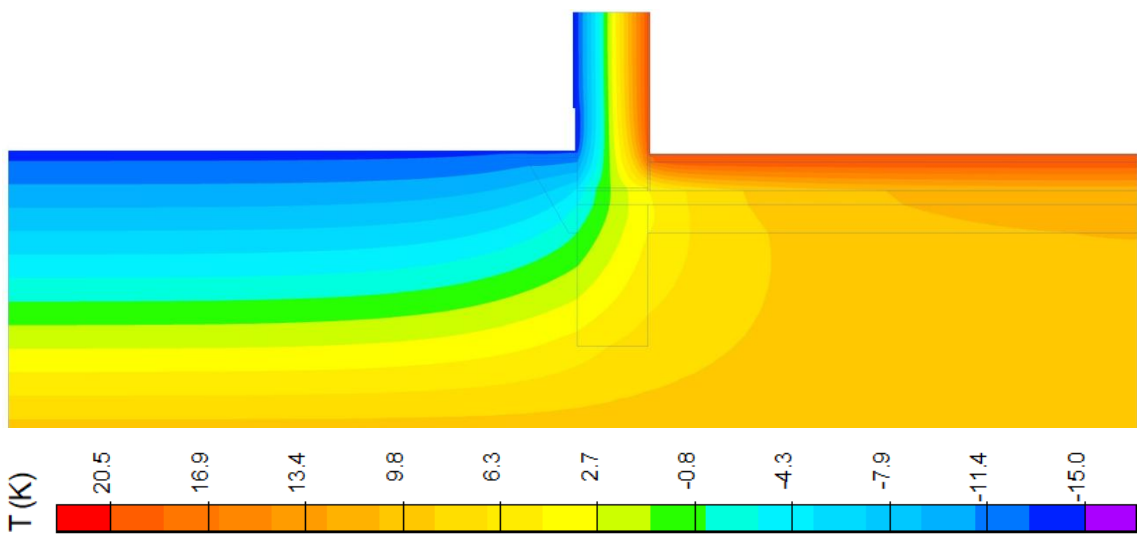
Tabulka 14-6: Výsledky výpočtů – detail 02_02

02_02				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	19,05	3,37	6,01
	únor	19,08	3,20	6,17
	březen	19,29	2,64	5,97
	duben	19,65	1,84	5,46
	květen	20,04	1,01	4,79
	červen	20,38	0,38	4,13
	červenec	20,55	0,12	3,66
	srpen	20,53	0,29	3,50
	září	20,31	0,85	3,70
	říjen	19,96	1,65	4,20
	listopad	19,56	2,48	4,88
	prosinec	19,23	3,11	5,54
B	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	18,90		3,41	7,02
C	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	17,77		5,70	19,05
D	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	18,19		4,85	9,65
E	v místě napojení stěny a podlahy		stěna	podlaha
	18,35		4,75	8,54

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-20: Detail 02_02 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-21: Detail 02_02 – E1 rozložení teplot

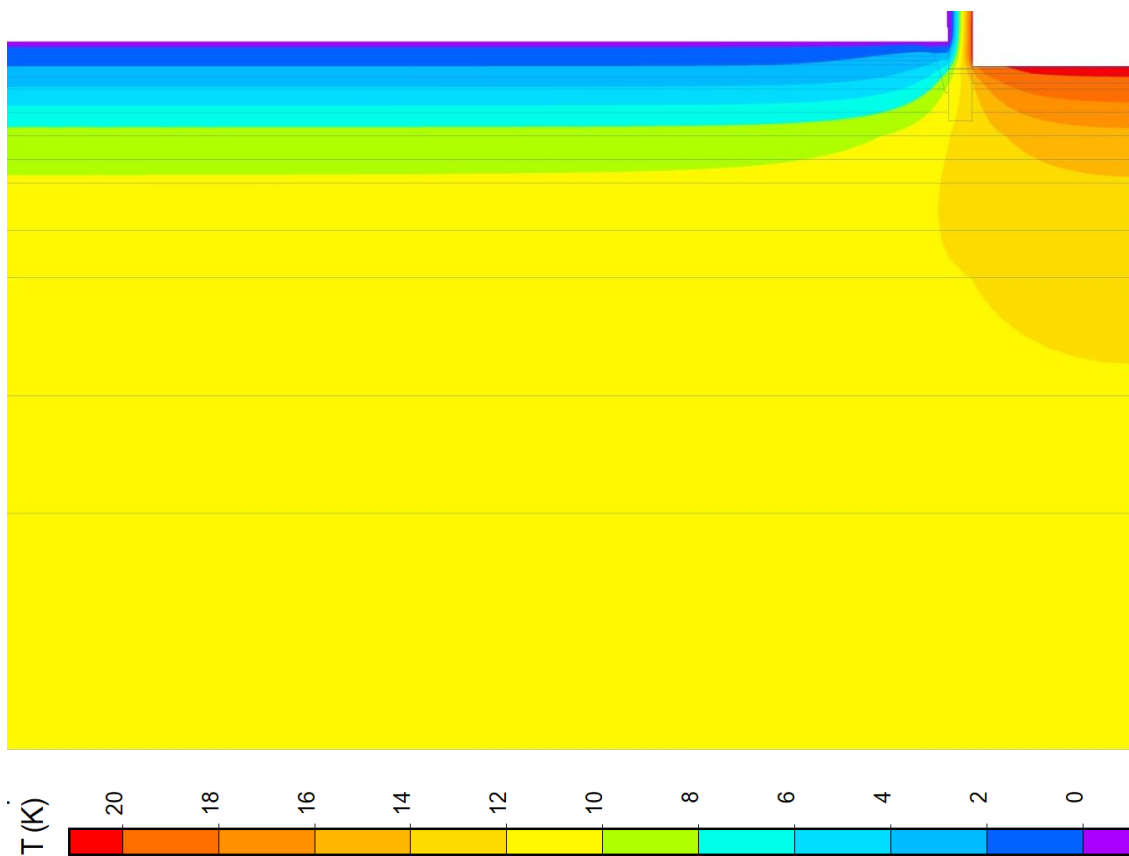
Detail 03_00

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu půl metru nad úrovní podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze není.

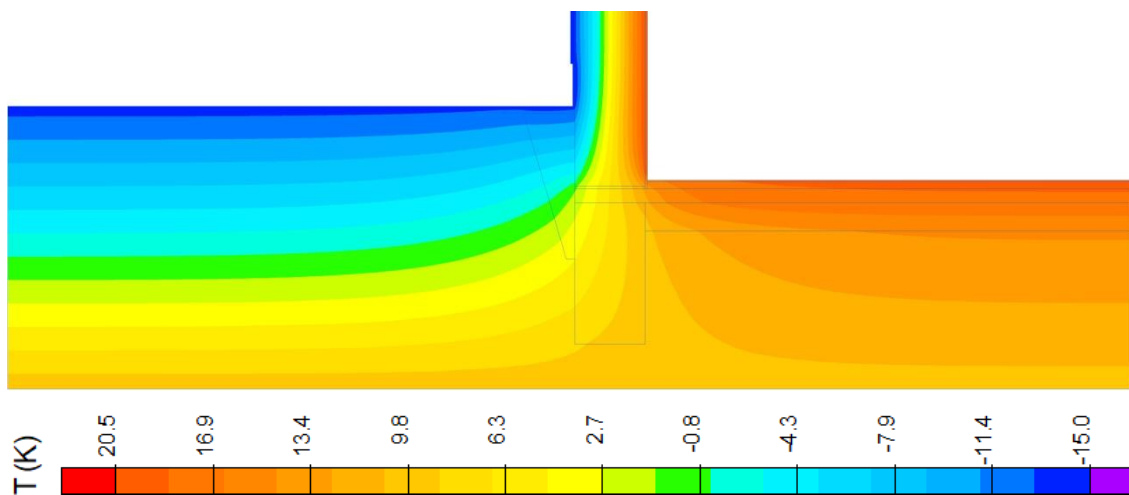
Tabulka 14-7: Výsledky výpočtů – detail 03_00

03_00				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	17,33	3,94	16,17
	únor	17,35	3,77	16,43
	březen	17,72	3,15	15,81
	duben	18,35	2,26	14,47
	květen	19,07	1,32	12,78
	červen	19,67	0,59	11,19
	červenec	20,01	0,27	10,12
	srpen	19,99	0,44	9,86
	září	19,62	1,06	10,49
	říjen	18,99	1,96	11,82
	listopad	18,27	2,90	13,51
	prosinec	17,67	3,62	15,10
B		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		17,04	4,02	18,09
C		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		13,91	7,01	58,23
D		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		14,73	6,15	49,64
E		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		15,22	5,94	43,01

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-22: Detail 03_00 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-23: Detail 03_00 – E1 rozložení teplot

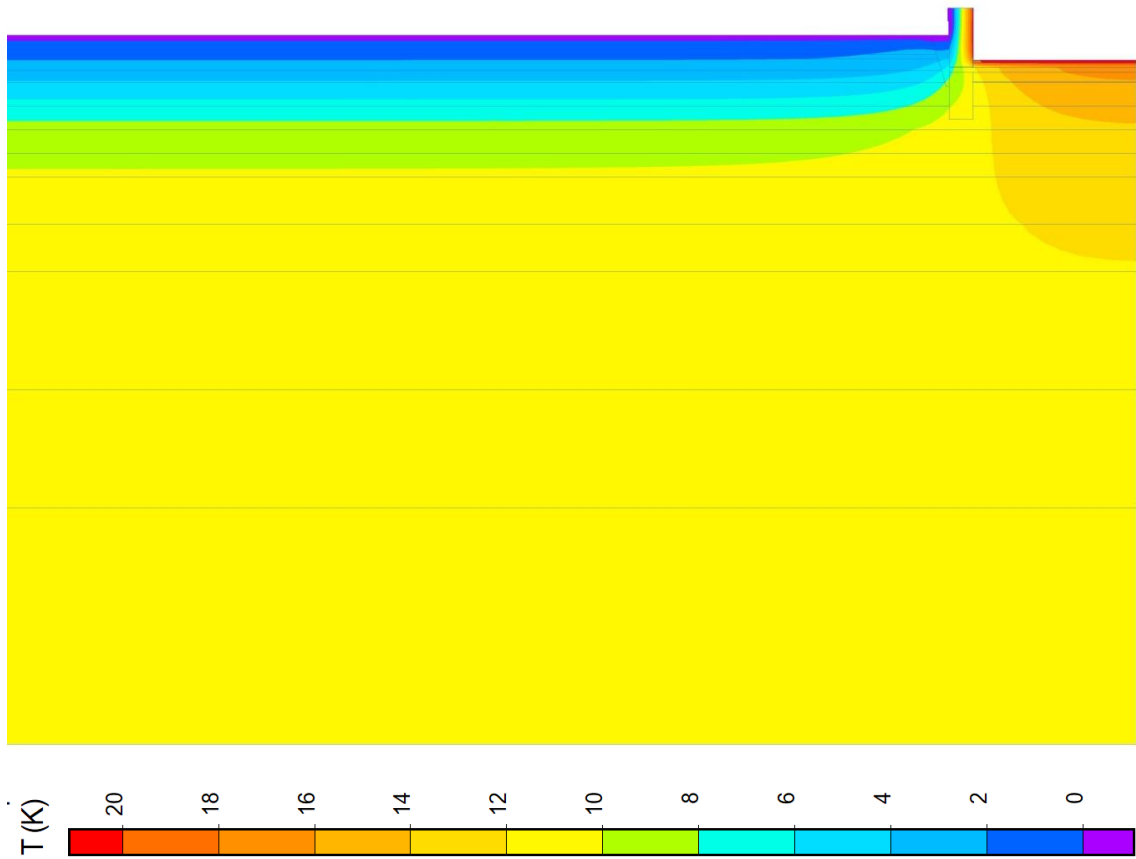
Detail 03_01

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu půl metru nad úrovní podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu tl. 100 mm.

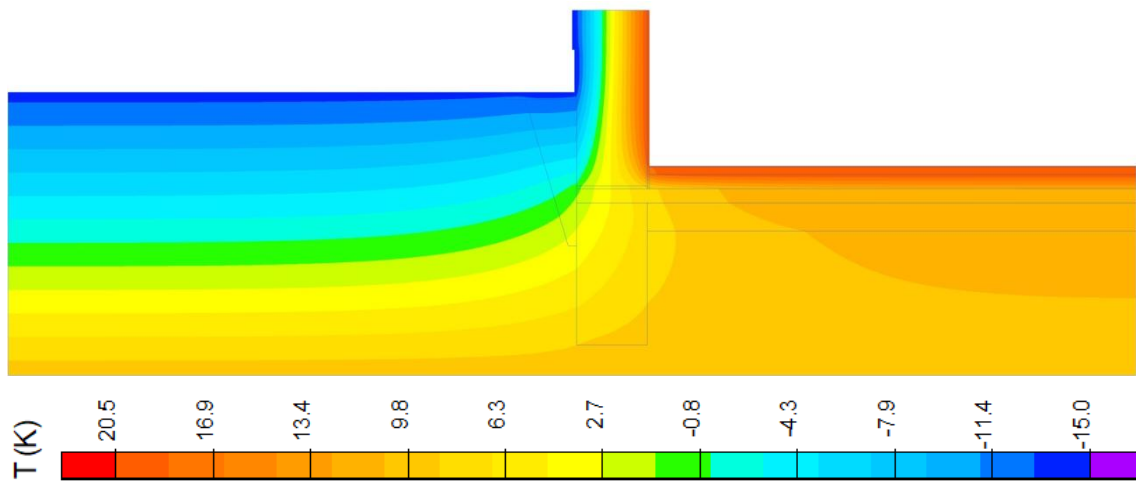
Tabulka 14-8: Výsledky výpočtů – detail 03_01

03_01				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	19,39	3,47	8,06
	únor	19,38	3,33	8,27
	březen	19,52	2,81	8,12
	duben	19,75	2,04	7,64
	květen	20,03	1,24	6,96
	červen	20,27	0,62	6,27
	červenec	20,42	0,34	5,75
	srpen	20,43	0,48	5,54
	září	20,30	1,00	5,69
	říjen	20,06	1,76	6,17
	listopad	19,78	2,57	6,85
	prosinec	19,54	3,19	7,54
B		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		18,63	3,56	9,28
C		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		17,09	6,42	27,73
D		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		17,75	5,14	15,09
E		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		18,02	4,97	13,07

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-24: Detail 03_01 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-25: Detail 03_01 – E1 rozložení teplot

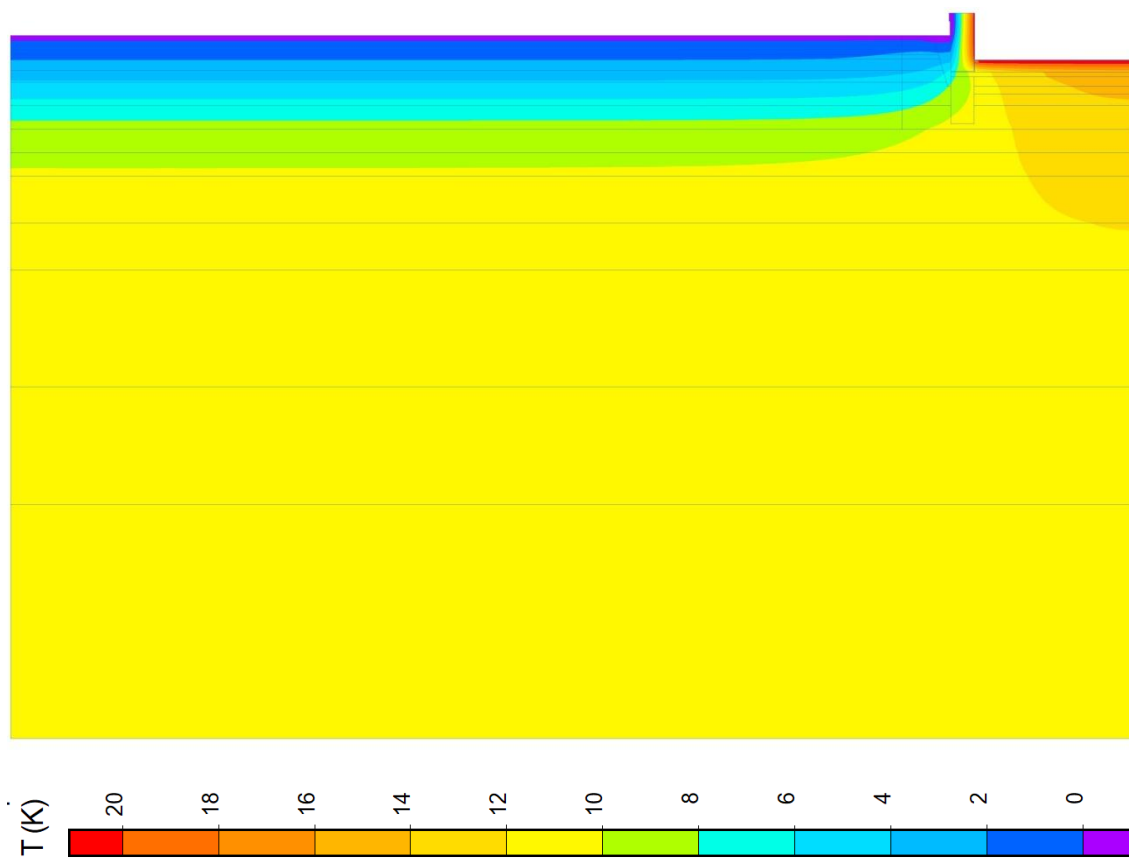
Detail 03_02

Jedná se o objekt se založením na terénu s úrovní venkovního terénu půl metru nad úrovní podlahy na terénu, vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelné tvárnice s výplní pěnovým polystyrenem Heluz Family 2in1 tl. 500 mm. Tepelná izolace v podlaze je z pěnového polystyrenu tl. 200 mm.

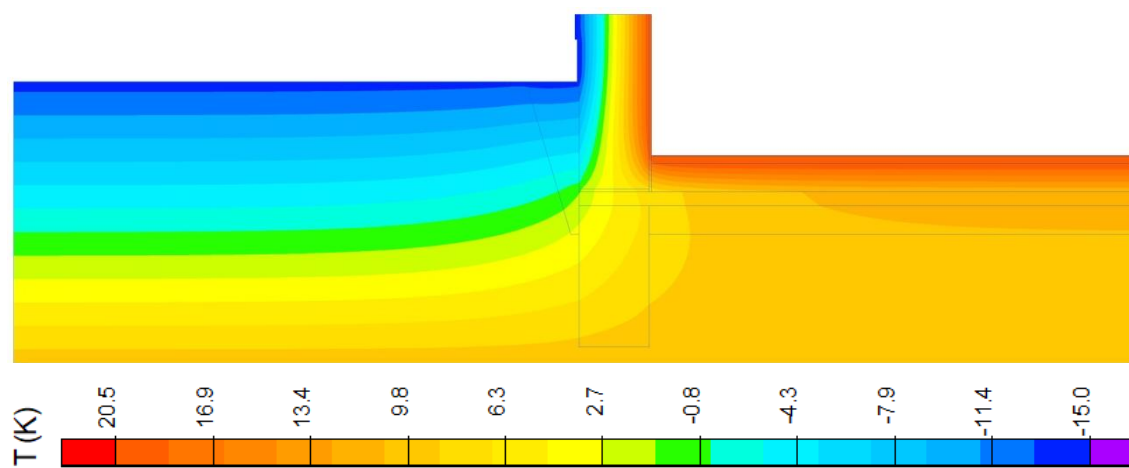
Tabulka 14-9: Výsledky výpočtů – detail 03_02

03_02				
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)	
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
	leden	19,35	3,02	5,59
	únor	19,34	2,90	5,75
	březen	19,47	2,45	5,67
	duben	19,70	1,79	5,38
	květen	19,97	1,09	4,95
	červen	20,21	0,55	4,51
	červenec	20,36	0,31	4,16
	srpen	20,37	0,44	4,00
	září	20,24	0,89	4,08
	říjen	20,01	1,55	4,37
	listopad	19,74	2,24	4,80
	prosinec	19,50	2,78	5,24
B		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		19,18	3,11	6,48
C		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		18,09	5,63	18,65
D		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		18,60	4,43	9,09
E		v místě napojení stěny a podlahy	stěna	podlaha
		18,80	4,30	7,88

Dále je zobrazen termogram z výpočtu tepelných toků dynamického výpočtu A1 pro měsíc leden, kdy jsou teploty nejnižší, a termogram z výpočtu tepelných toků výpočtu E1:



Obrázek 14-26: Detail 03_02 – A1 rozložení teplot leden



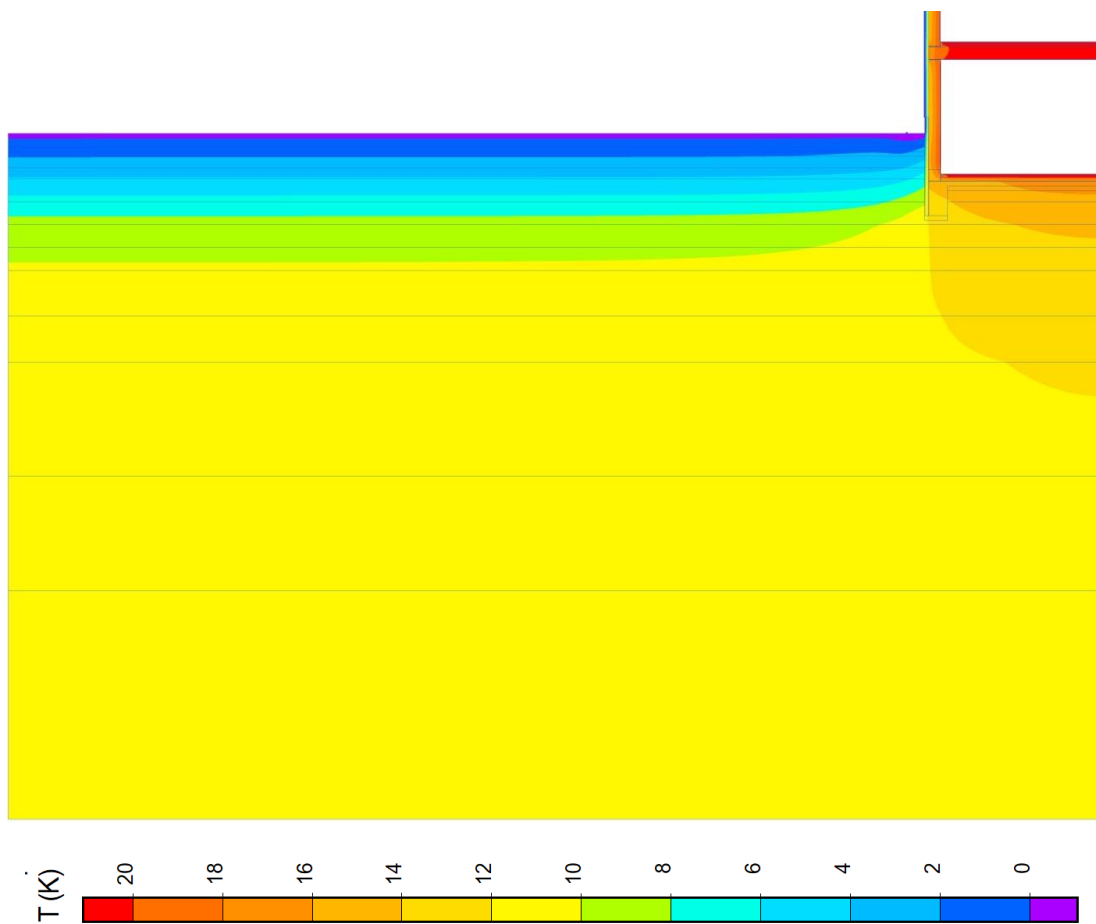
Obrázek 14-27: Detail 03_02 – E1 rozložení teplot

Detail 04_00

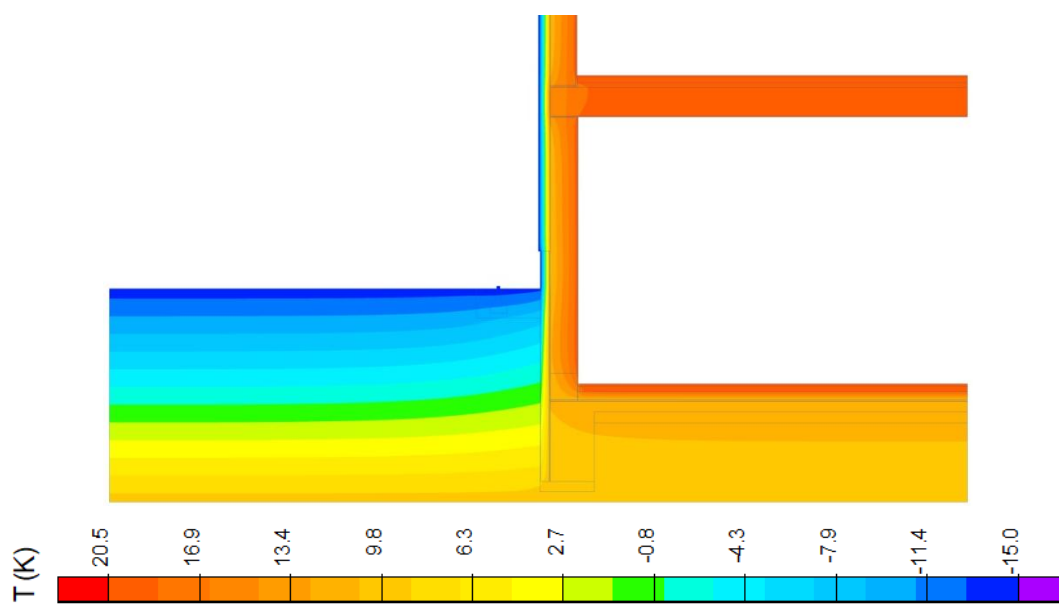
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra jeden metr pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 100 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 80 mm.

Tabulka 14-10: Výsledky výpočtů – detail 04_00

04_00					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,28	9,77	19,78	7,63
	únor	18,24	9,07	18,65	7,83
	březen	18,40	7,16	15,21	7,86
	duben	18,69	4,56	10,37	7,70
	květen	19,06	1,95	5,44	7,41
	červen	19,40	0,05	1,73	7,05
	červenec	19,61	-0,65	0,24	6,73
	srpen	19,64	0,05	1,37	6,53
	září	19,49	1,95	4,82	6,50
	říjen	19,19	4,56	9,65	6,66
	listopad	18,83	7,16	14,59	6,95
	prosinec	18,49	9,07	18,29	7,31
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,97	9,49	19,71	8,71
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		15,70	13,88	31,94	25,97
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,54	13,88	29,02	16,30
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,02	13,88	28,53	13,87



Obrázek 14-28: Detail 04_00 – A1 rozložení teplot leden



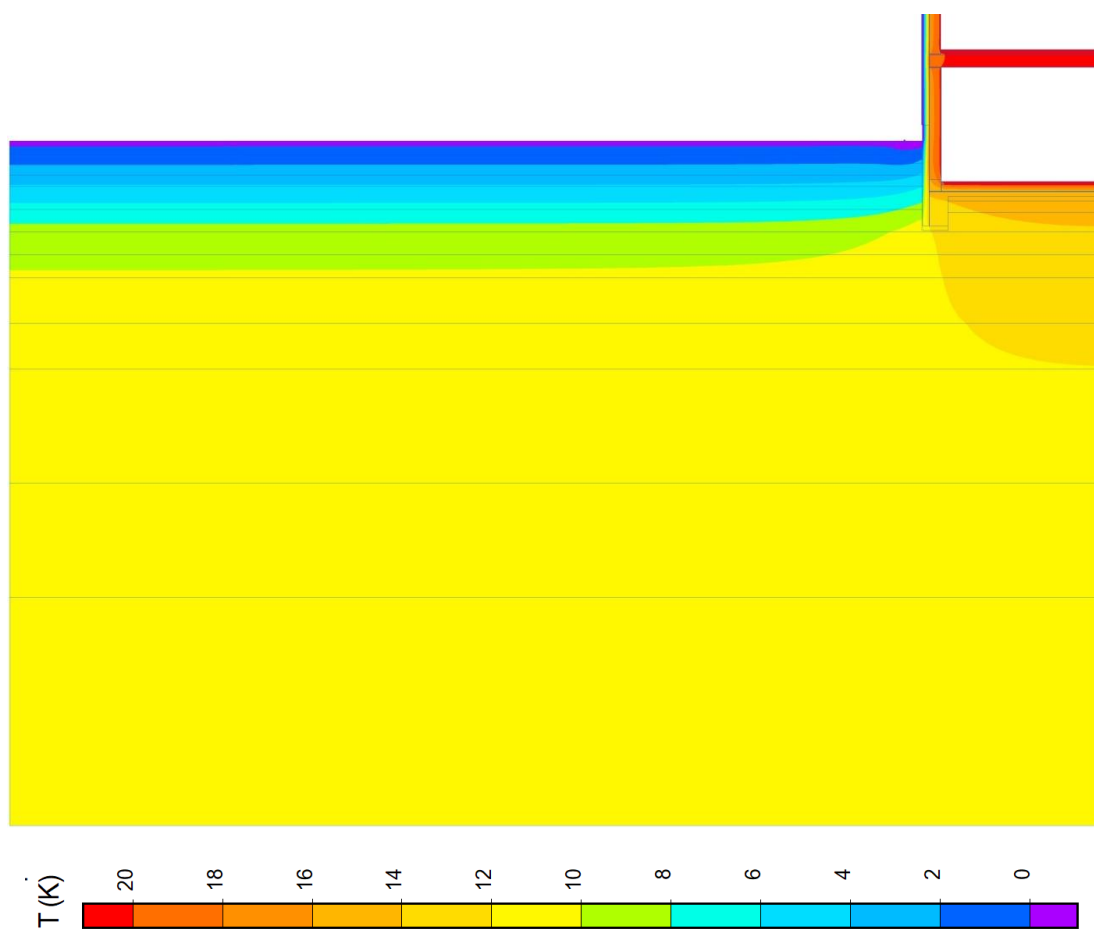
Obrázek 14-29: Detail 04_00 – E1 rozložení teplot

Detail 04_01

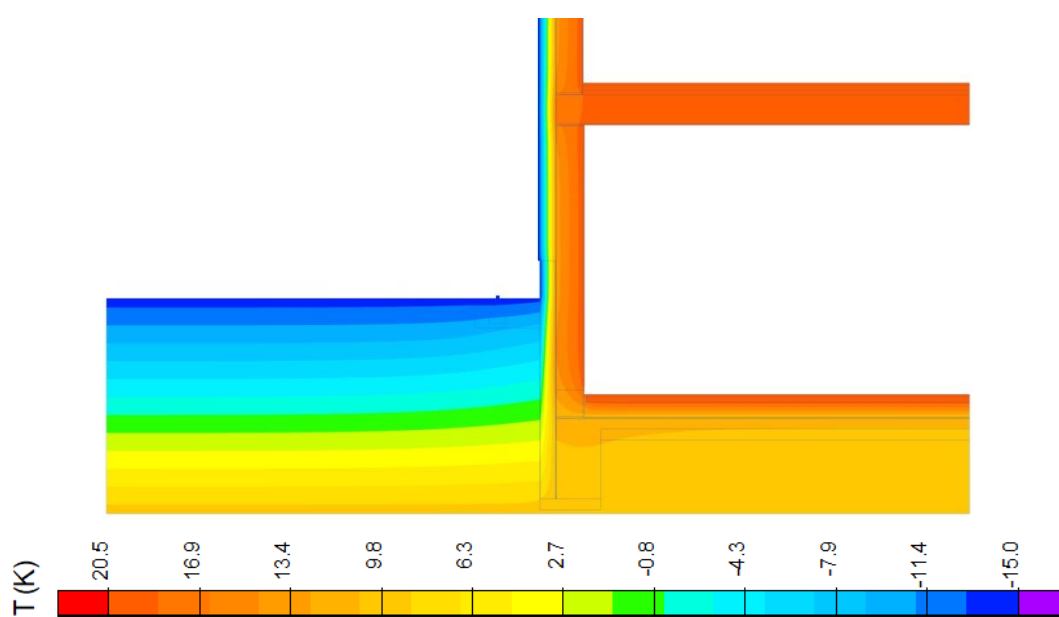
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra jeden metr pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 160 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 140 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 140 mm.

Tabulka 14-11: Výsledky výpočtů – detail 04_01

04_01					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,62	6,78	14,05	5,66
	únor	18,58	6,30	13,29	5,81
	březen	18,68	4,97	10,93	5,85
	duben	18,91	3,16	7,60	5,76
	květen	19,18	1,36	4,19	5,58
	červen	19,44	0,03	1,62	5,34
	červenec	19,62	-0,45	0,57	5,12
	srpen	16,66	0,03	1,33	4,98
	září	19,55	1,36	3,69	4,94
	říjen	19,33	3,16	7,02	5,03
	listopad	19,05	4,97	10,43	5,21
	prosinec	18,79	6,30	13,00	5,44
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,33	6,59	14,07	6,47
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,47	9,64	23,47	19,33
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,23	9,64	20,53	10,68
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,66	9,64	20,09	9,08



Obrázek 14-30: Detail 04_01 – A1 rozložení teplot leden



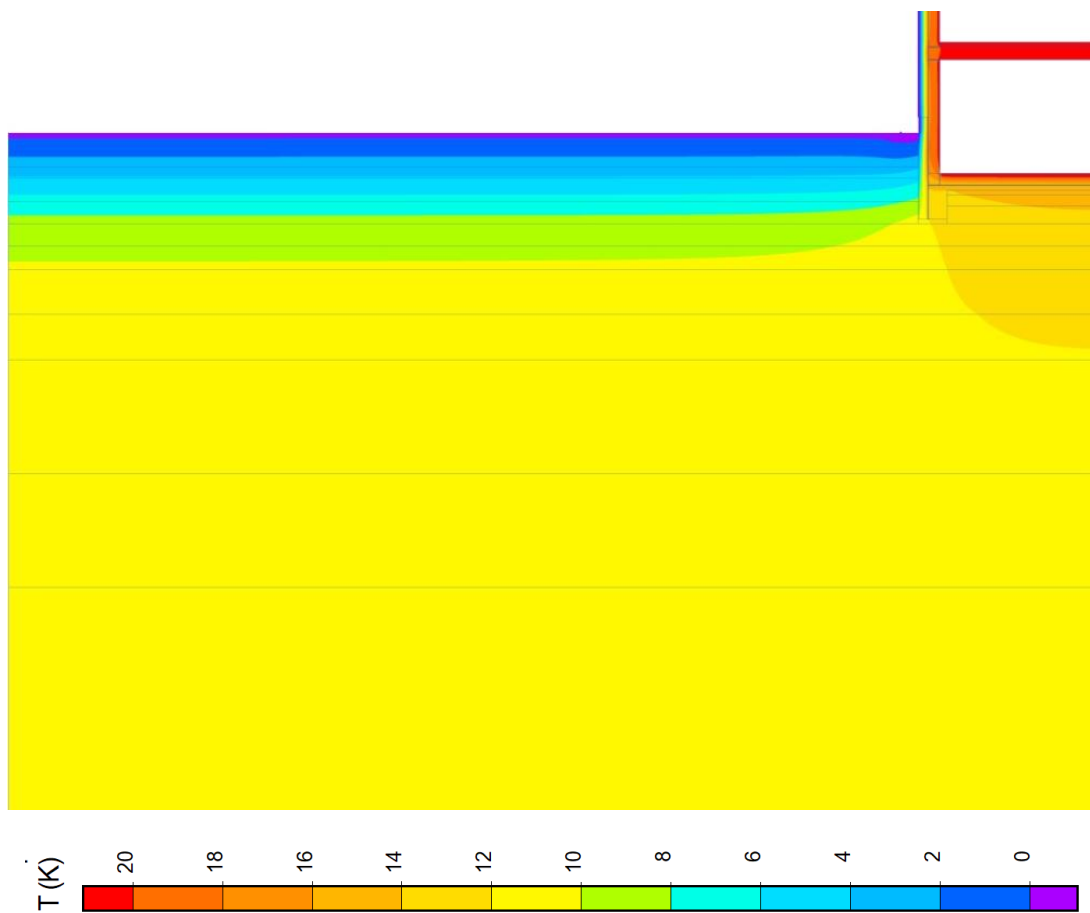
Obrázek 14-31: Detail 04_01 – E1 rozložení teplot

Detail 04_02

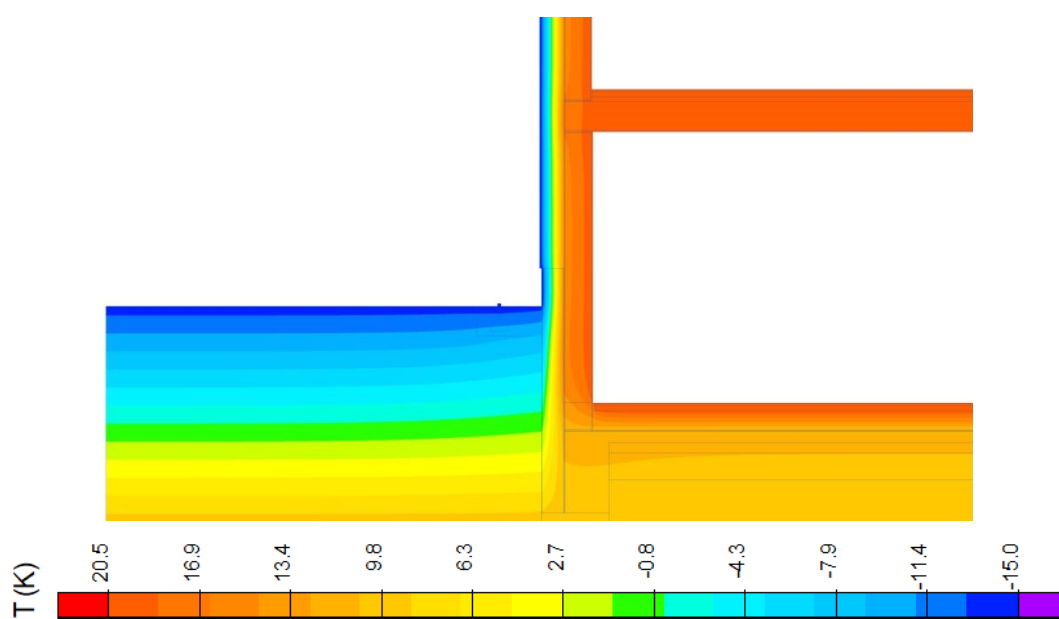
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra jeden metr pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 220 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 200 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 180 mm.

Tabulka 14-12: Výsledky výpočtů – detail 04_02

04_02					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,83	5,20	11,02	4,80
únor	18,79	4,82	10,45	4,93	
březen	18,87	3,81	8,66	4,96	
duben	19,05	2,42	6,12	4,91	
květen	19,28	1,04	3,51	4,77	
červen	19,49	0,02	1,54	4,59	
červenec	19,64	-0,35	0,72	4,41	
srpen	19,68	0,02	1,29	4,29	
září	19,60	1,04	3,08	4,25	
říjen	19,42	2,42	5,62	4,31	
listopad	19,20	3,81	8,23	4,44	
prosinec	18,98	4,82	10,20	4,63	
B	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha	
	18,56	5,05	11,09	5,49	
C	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha	
	16,97	7,38	18,89	16,02	
D	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha	
	17,66	7,38	16,04	8,33	
E	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha	
	18,06	7,38	15,65	7,08	



Obrázek 14-32: Detail 04_02 – A1 rozložení teplot leden



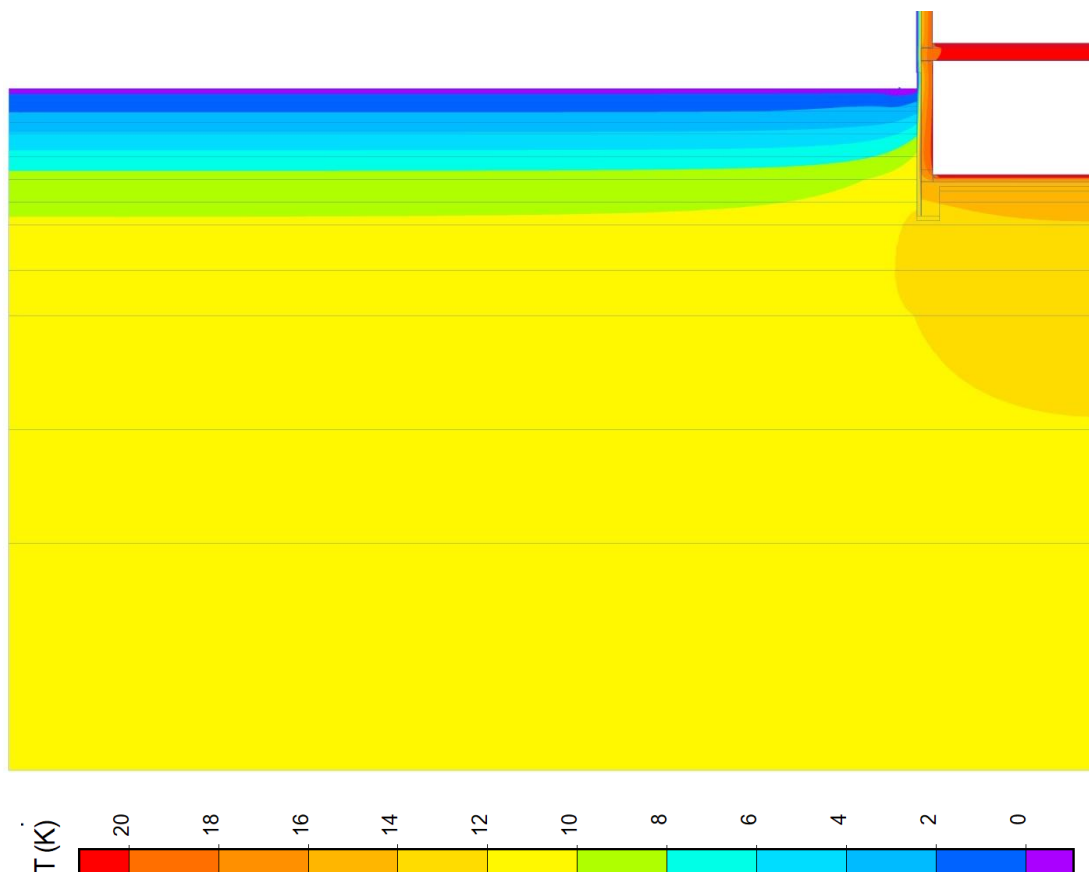
Obrázek 14-33: Detail 04_02 – E1 rozložení teplot

Detail 05_00

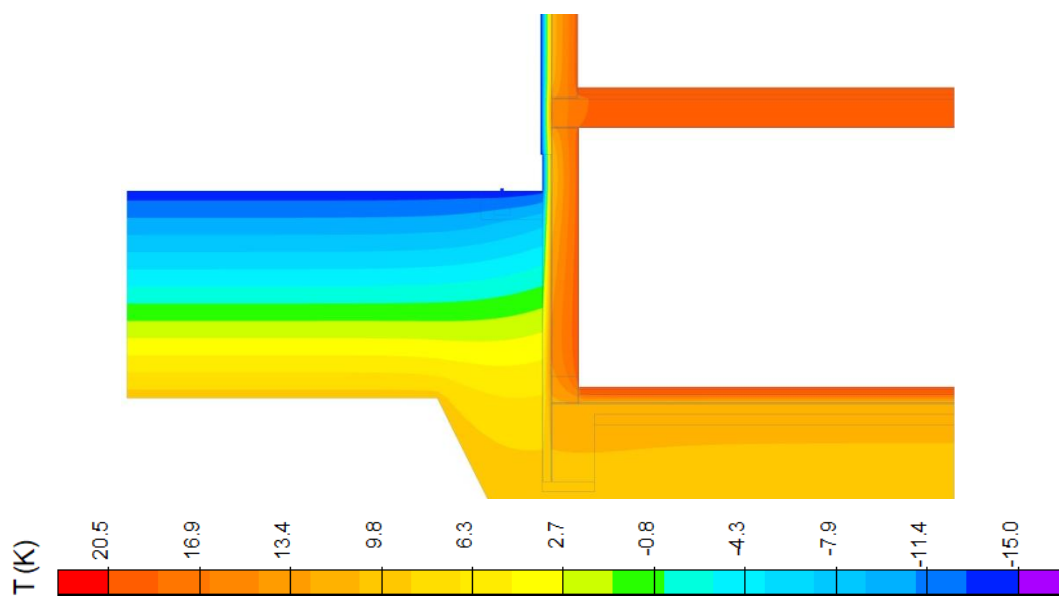
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra dva metry pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 100 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 80 mm.

Tabulka 14-13: Výsledky výpočtů – detail 05_00

05_00					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,63	9,78	16,37	8,80
	únor	18,57	9,08	15,76	8,98
	březen	18,58	7,17	13,37	9,08
	duben	18,67	4,56	9,85	9,07
	květen	18,81	1,96	6,13	8,96
	červen	18,97	0,05	3,22	8,77
	červenec	19,10	-0,65	1,89	8,55
	srpen	19,17	-0,05	2,50	8,37
	září	16,16	1,95	4,88	8,27
	říjen	19,07	4,56	8,41	8,28
	listopad	18,93	7,17	12,12	8,39
	prosinec	18,77	9,08	15,04	8,58
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,33	9,50	16,81	9,76
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,11	13,90	30,20	24,40
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,07	13,90	25,07	16,09
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,60	13,90	24,26	13,64



Obrázek 14-34: Detail 05_00 – A1 rozložení teplot leden



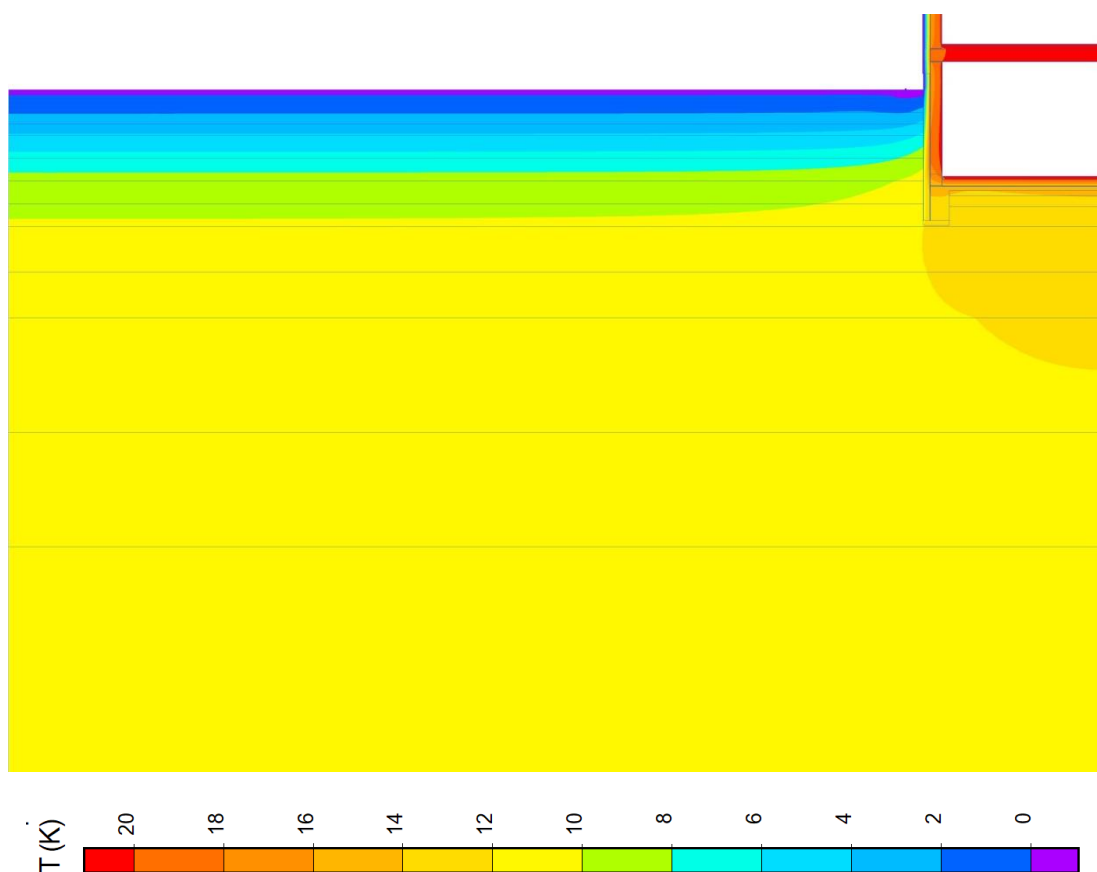
Obrázek 14-35: Detail 05_00 – E1 rozložení teplot

Detail 05_01

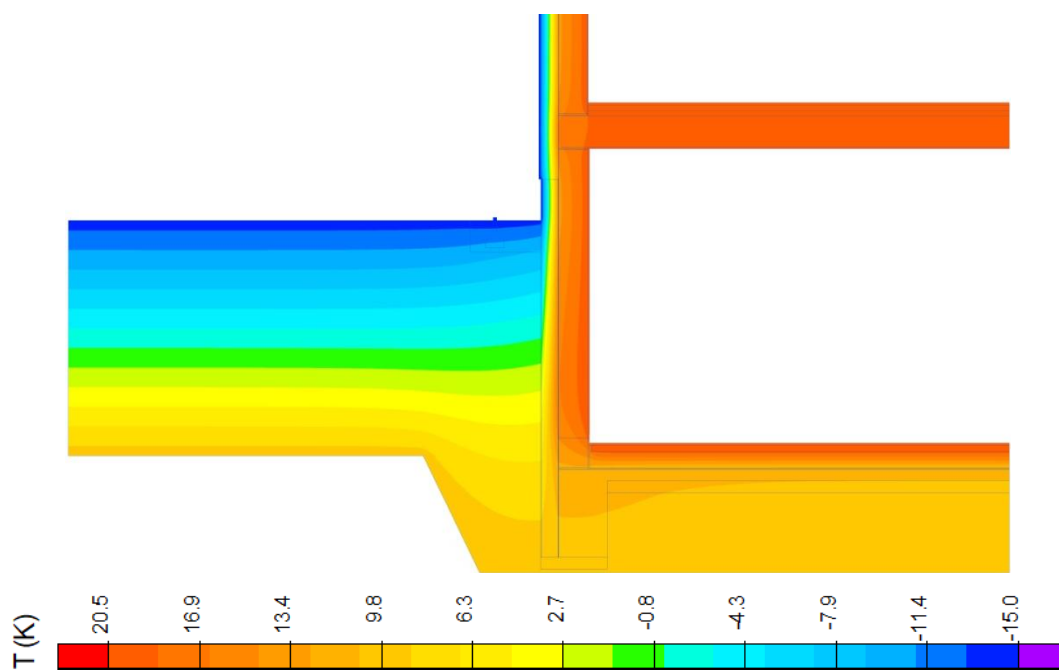
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra dva metry pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 160 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 140 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 140 mm.

Tabulka 14-14: Výsledky výpočtů – detail 05_01

05_01					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,85	6,78	11,75	6,27
	únor	18,79	6,30	11,37	6,40
	březen	18,80	4,49	9,75	6,47
	duben	18,86	3,17	7,34	6,47
	květen	18,98	1,36	4,78	6,40
	červen	19,11	0,03	2,75	6,27
	červenec	19,22	-0,45	1,81	6,13
	srpen	19,28	0,03	2,20	6,00
	září	19,28	1,36	3,82	5,93
	říjen	19,21	3,17	6,23	5,92
	listopad	19,09	4,97	8,79	6,00
	prosinec	18,96	6,30	10,81	6,12
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,58	6,59	12,15	6,96
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,77	9,64	22,33	18,46
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,60	9,64	17,69	10,57
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,07	9,64	17,04	8,96



Obrázek 14-36: Detail 05_01 – A1 rozložení teplot leden



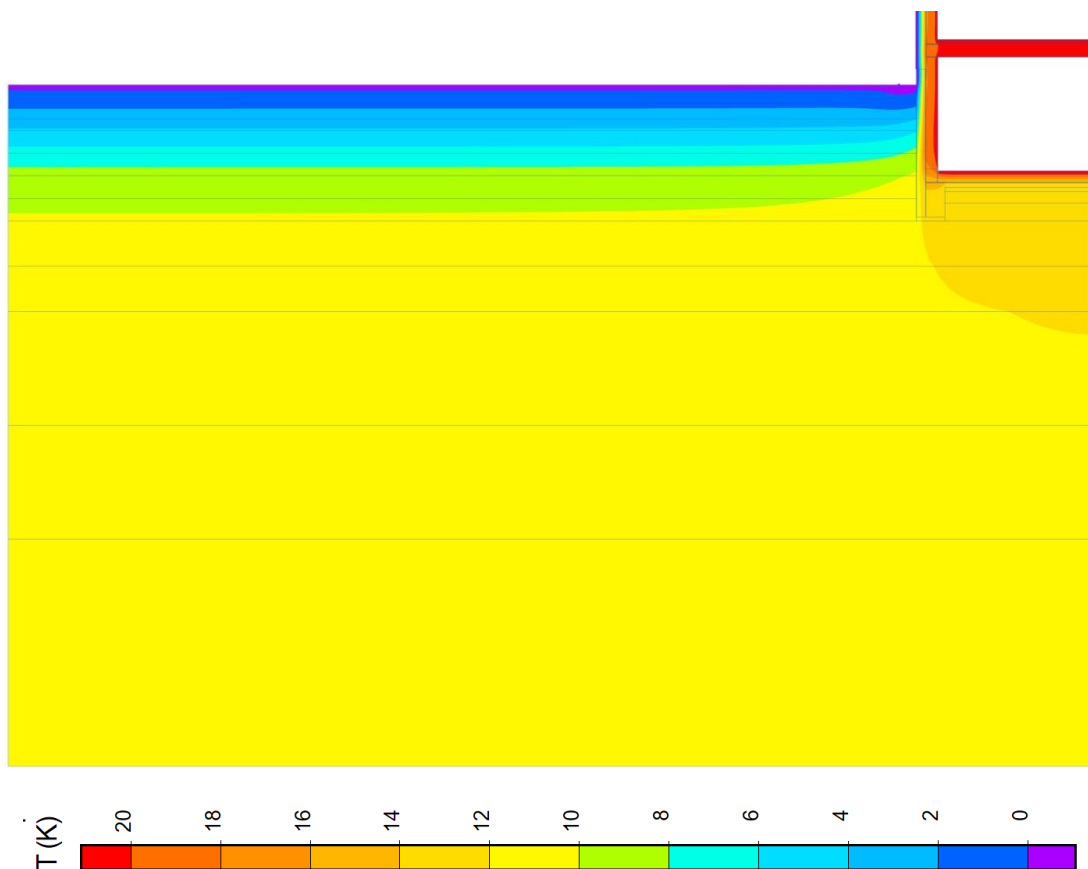
Obrázek 14-37: Detail 05_01 – E1 rozložení teplot

Detail 05_02

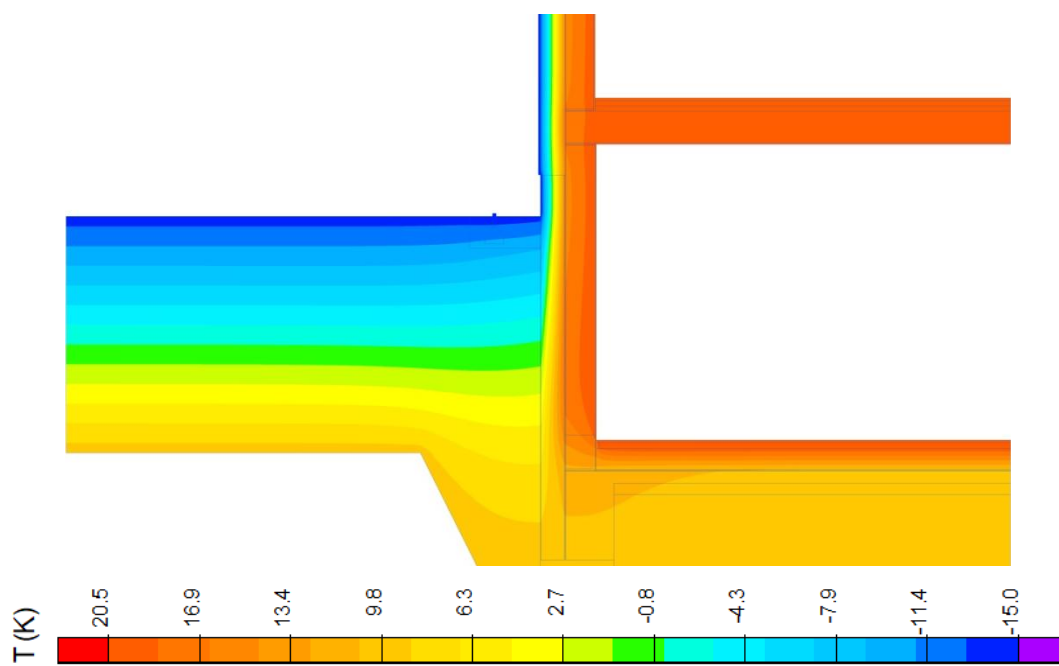
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra dva metry pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 220 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 200 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 180 mm.

Tabulka 14-15: Výsledky výpočtů – detail 05_02

05_02					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	19,00	5,19	9,30	5,23
	únor	18,95	4,82	9,02	5,34
	březen	18,95	3,81	7,80	5,40
	duben	19,00	2,42	5,96	5,41
	květen	19,10	1,04	4,01	5,35
	červen	19,21	0,03	2,45	5,25
	červenec	19,31	-0,35	1,72	5,13
	srpen	19,36	0,02	2,00	5,03
	září	19,36	1,04	3,22	4,97
	říjen	19,31	2,42	5,06	4,96
	listopad	19,21	3,81	7,01	5,02
	prosinec	19,10	4,82	8,57	5,12
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,75	5,04	9,65	5,81
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,15	7,38	18,09	15,83
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,90	7,38	13,88	8,56
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,33	7,38	13,31	7,25



Obrázek 14-38: Detail 05_02 – A1 rozložení teplot leden



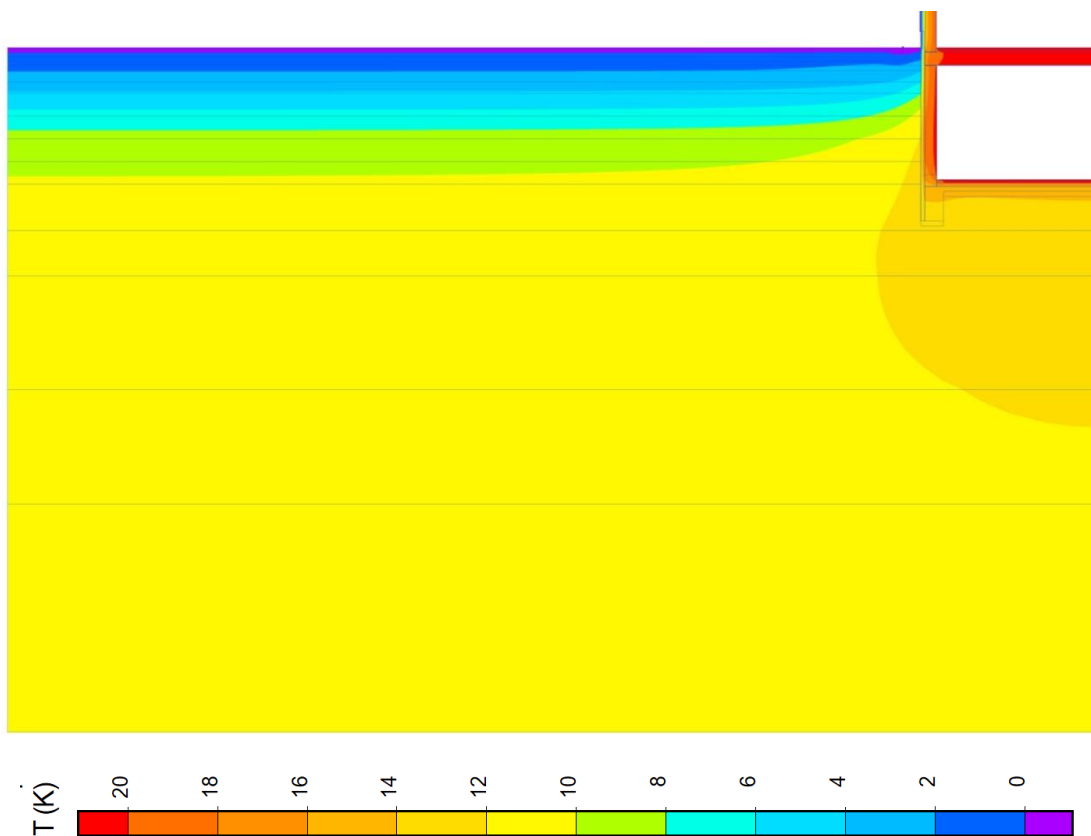
Obrázek 14-39: Detail 05_02 – E1 rozložení teplot

Detail 06_00

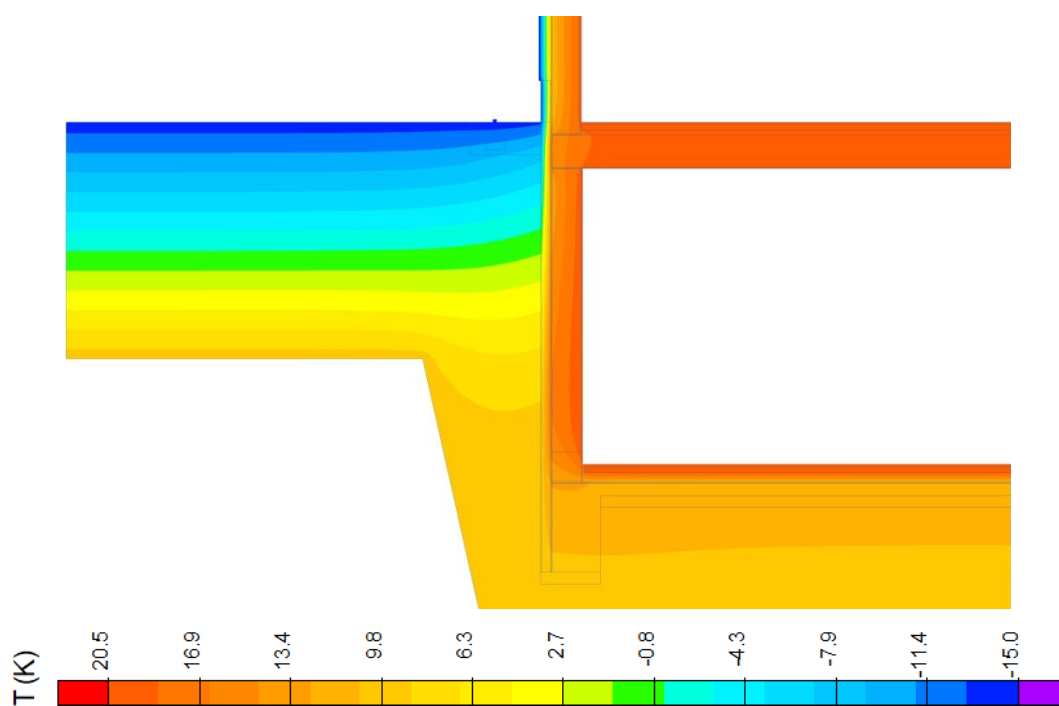
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra tři metry pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 100 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 80 mm.

Tabulka 14-16: Výsledky výpočtů – detail 06_00

06_00					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,63	9,74	12,03	9,81
	únor	18,57	9,06	12,01	9,96
	březen	18,55	7,19	10,92	10,06
	duben	18,58	4,61	9,07	10,10
	květen	18,64	2,02	6,93	10,05
	červen	18,72	0,12	5,10	9,94
	červenec	18,81	-0,59	4,05	9,78
	srpen	18,87	0,08	4,07	9,63
	září	18,89	1,96	5,15	9,53
	říjen	18,86	4,53	7,01	9,49
	listopad	18,80	7,12	9,14	9,54
	prosinec	18,72	9,02	10,98	9,65
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,39	9,51	13,02	10,64
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,31	14,14	27,11	22,98
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,38	13,99	19,10	15,60
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,92	13,97	17,88	13,21



Obrázek 14-40: Detail 06_00 – A1 rozložení teplot leden



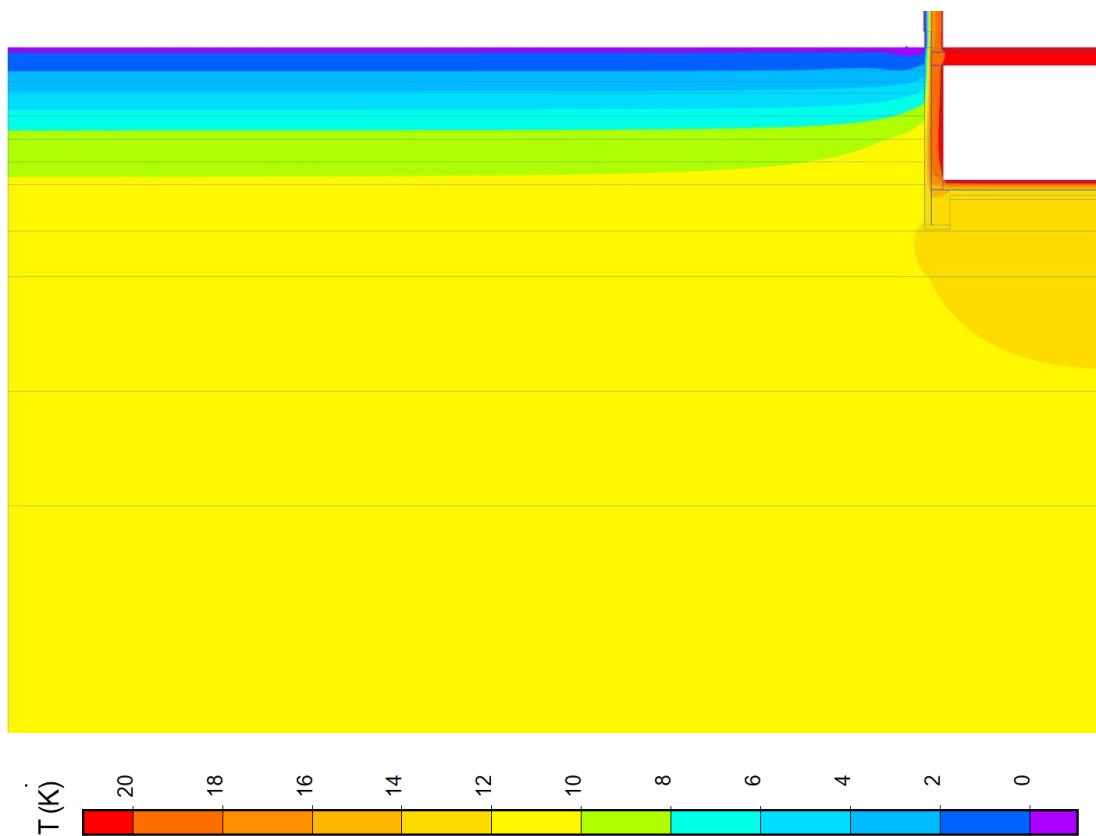
Obrázek 14-41: Detail 06_00 – E1 rozložení teplot

Detail 06_01

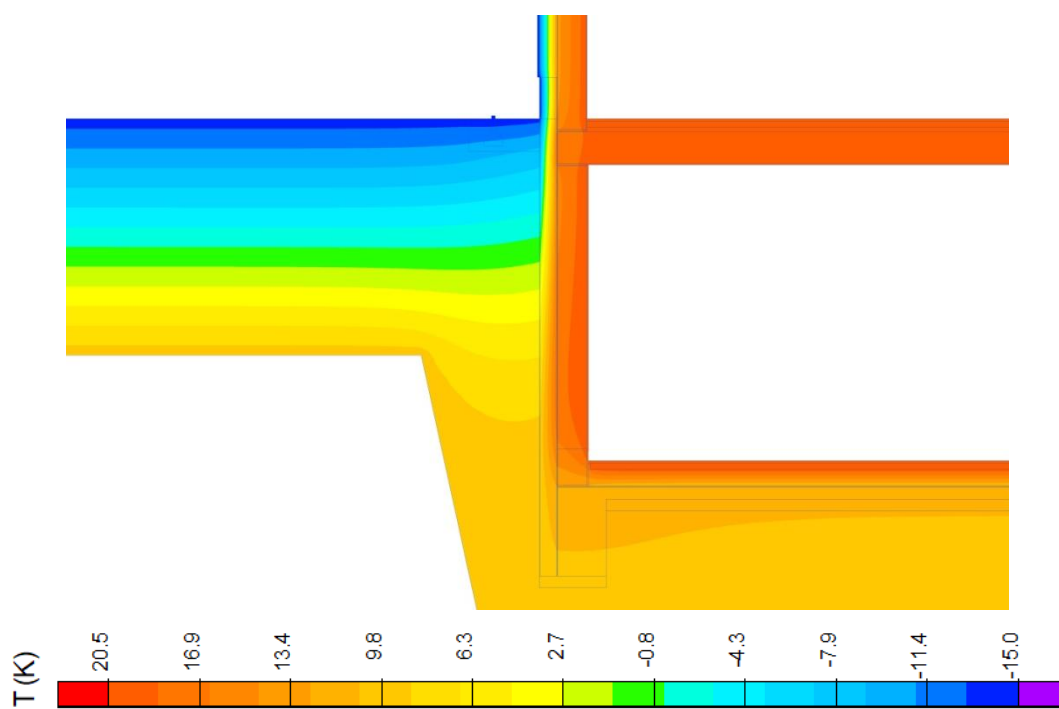
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra tři metry pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 160 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 140 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 140 mm.

Tabulka 14-17: Výsledky výpočtů – detail 06_01

06_01					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	18,86	6,65	8,94	6,78
	únor	18,80	6,19	8,96	6,88
	březen	18,78	4,91	8,23	6,95
	duben	18,80	3,15	6,94	6,98
	květen	18,85	1,39	5,45	6,95
	červen	18,92	0,09	4,16	6,88
	červenec	18,99	-0,40	3,40	6,77
	srpen	19,04	0,06	3,38	6,67
	září	19,06	1,34	4,11	6,59
	říjen	19,05	3,10	5,39	6,57
	listopad	19,00	4,86	6,88	6,60
	prosinec	18,93	6,16	8,18	6,67
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,62	6,49	9,73	7,35
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,88	9,66	20,61	17,68
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,84	9,54	13,67	10,28
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,31	9,53	12,72	8,70



Obrázek 14-42: Detail 06_01 – A1 rozložení teplot leden



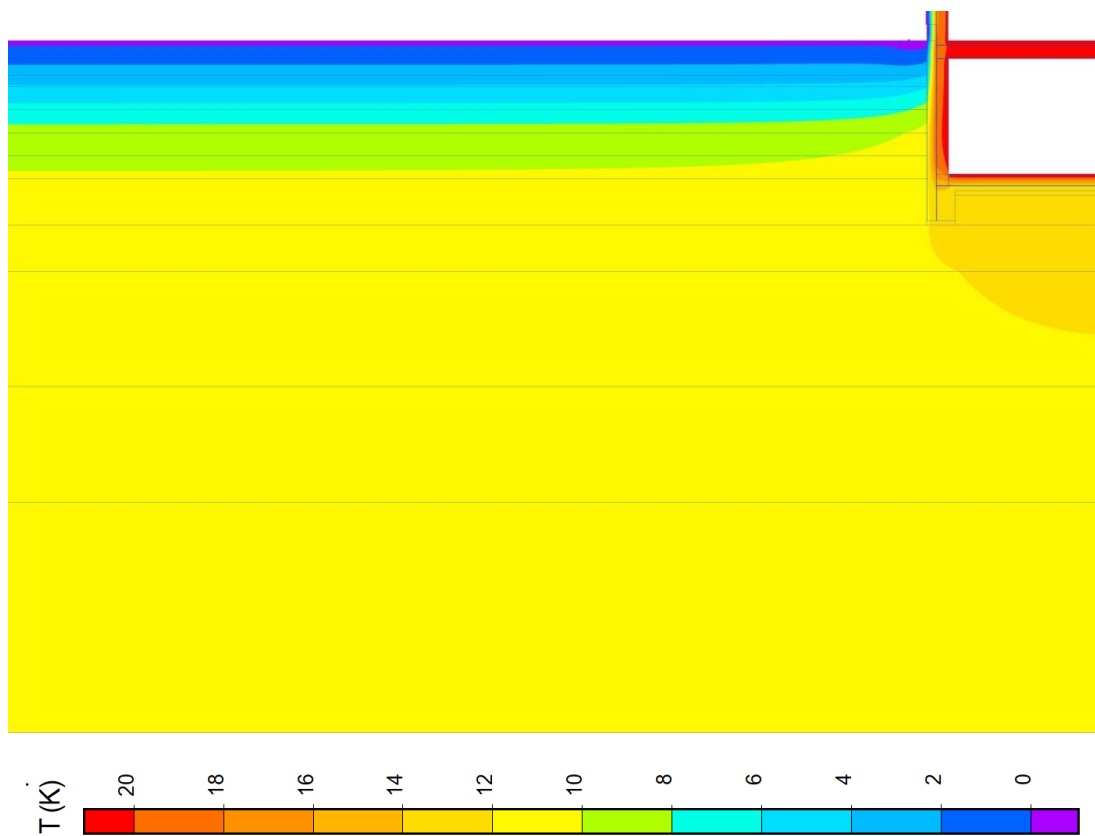
Obrázek 14-43: Detail 06_01 – E1 rozložení teplot

Detail 06_02

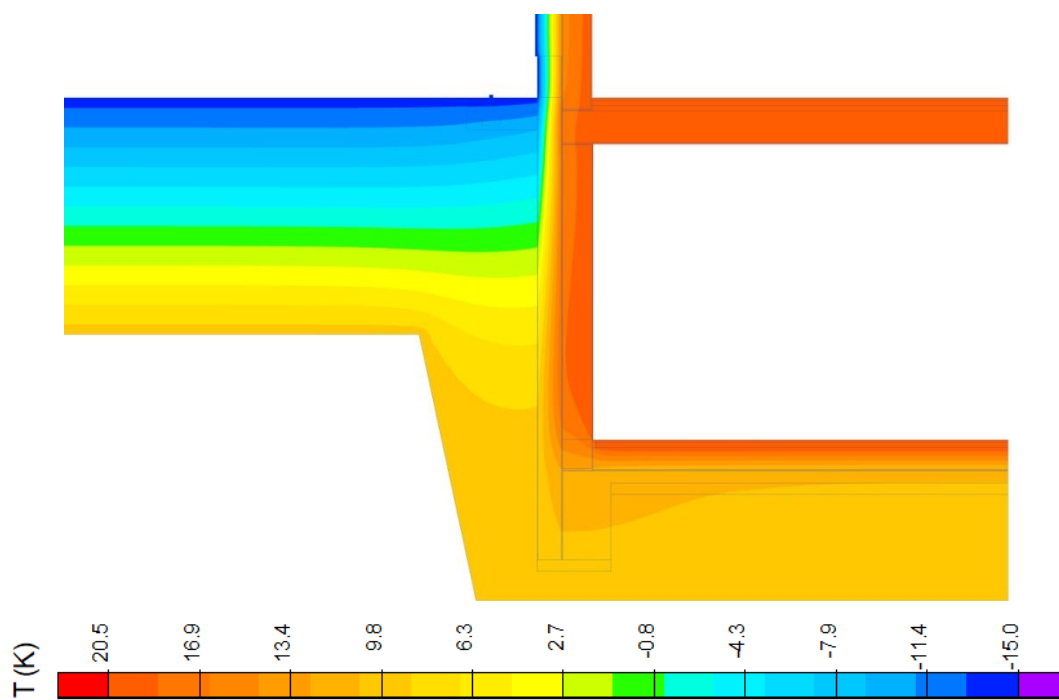
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra tři metry pod terénem. Vnitřní prostory jsou obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 220 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 200 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 180 mm.

Tabulka 14-18: Výsledky výpočtů – detail 06_02

06_02					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	19,01	5,05	7,23	5,59
	únor	18,96	4,70	7,26	5,68
	březen	18,94	3,73	6,71	5,74
	duben	18,95	2,40	5,73	5,76
	květen	18,99	1,06	4,58	5,74
	červen	19,05	0,07	3,57	5,68
	červenec	19,11	-0,30	2,98	5,59
	srpen	19,16	0,05	2,95	5,51
	září	19,18	1,02	3,50	5,45
	říjen	19,17	2,35	4,48	5,42
	listopad	19,13	3,69	5,63	5,45
	prosinec	19,07	4,68	6,64	5,51
B		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,79	4,93	7,89	6,07
C		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,23	7,34	16,93	15,28
D		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,11	7,24	10,83	8,32
E		v místě napojení stěny a podlahy	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		18,54	7,23	10,04	7,05



Obrázek 14-44: Detail 06_02 – A1 rozložení teplot leden



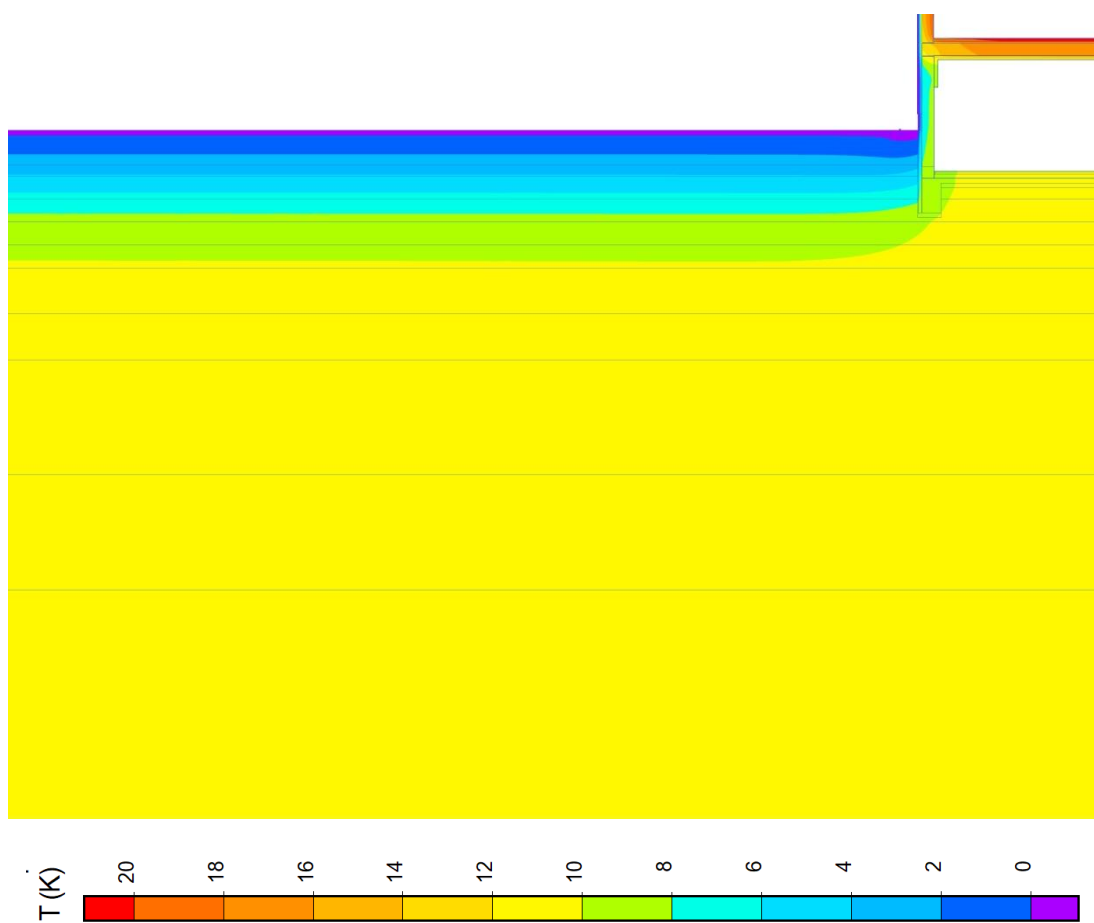
Obrázek 14-45: Detail 06_02 – E1 rozložení teplot

Detail 07_00

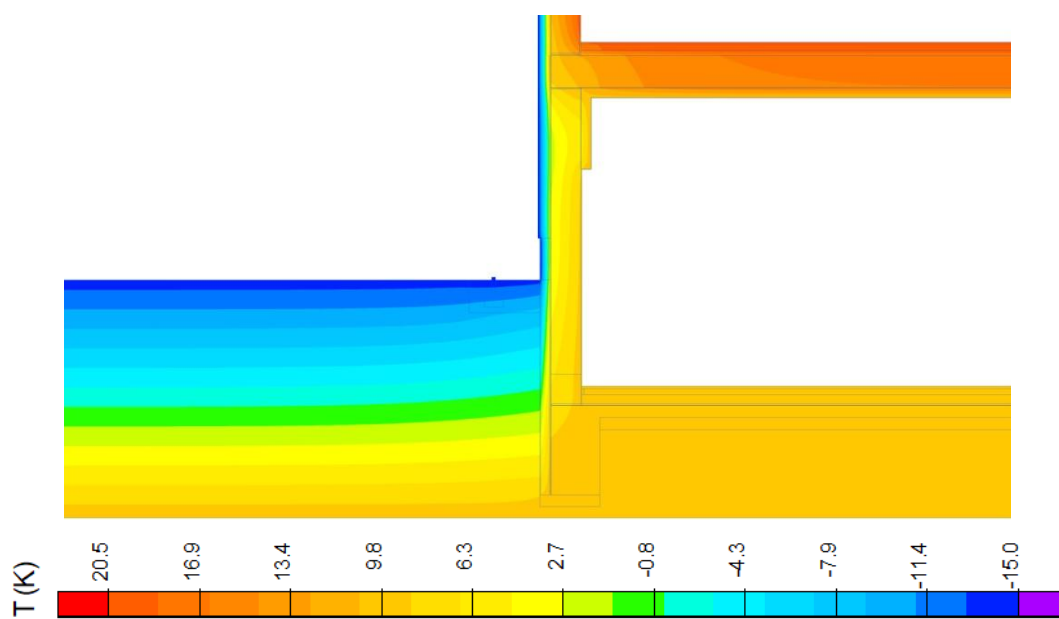
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra jeden metr pod terénem. První patro je temperované na teplotu 10 °C, druhé patro je obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 100 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 80 mm. Strop nad prvním patrem je opatřen vodorovnou a částečně svislou tepelnou izolací v jednotné tl. 80 mm.

Tabulka 14-19: Výsledky výpočtů – detail 07_00

07_00					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	17,51	23,43	3,23	0,56
	únor	17,68	22,56	4,13	0,36
	březen	18,16	20,20	6,93	0,34
	duben	18,81	16,97	10,88	0,49
	květen	19,46	13,74	14,94	0,78
	červen	19,94	11,38	18,00	1,14
	červenec	20,11	10,51	19,25	1,46
	srpen	19,94	11,38	18,35	1,66
	září	19,46	13,74	15,55	1,68
	říjen	18,81	16,97	11,60	1,53
	listopad	18,16	20,20	7,55	1,24
prosinec	17,68	22,56	4,48	0,88	
B		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,58	23,08	0,51	3,21
C		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,48	28,53	7,57	18,00
D		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,48	28,53	3,84	2,77
E		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,48	28,53	3,36	0,34



Obrázek 14-46: Detail 07_00 – A1 rozložení teplot leden



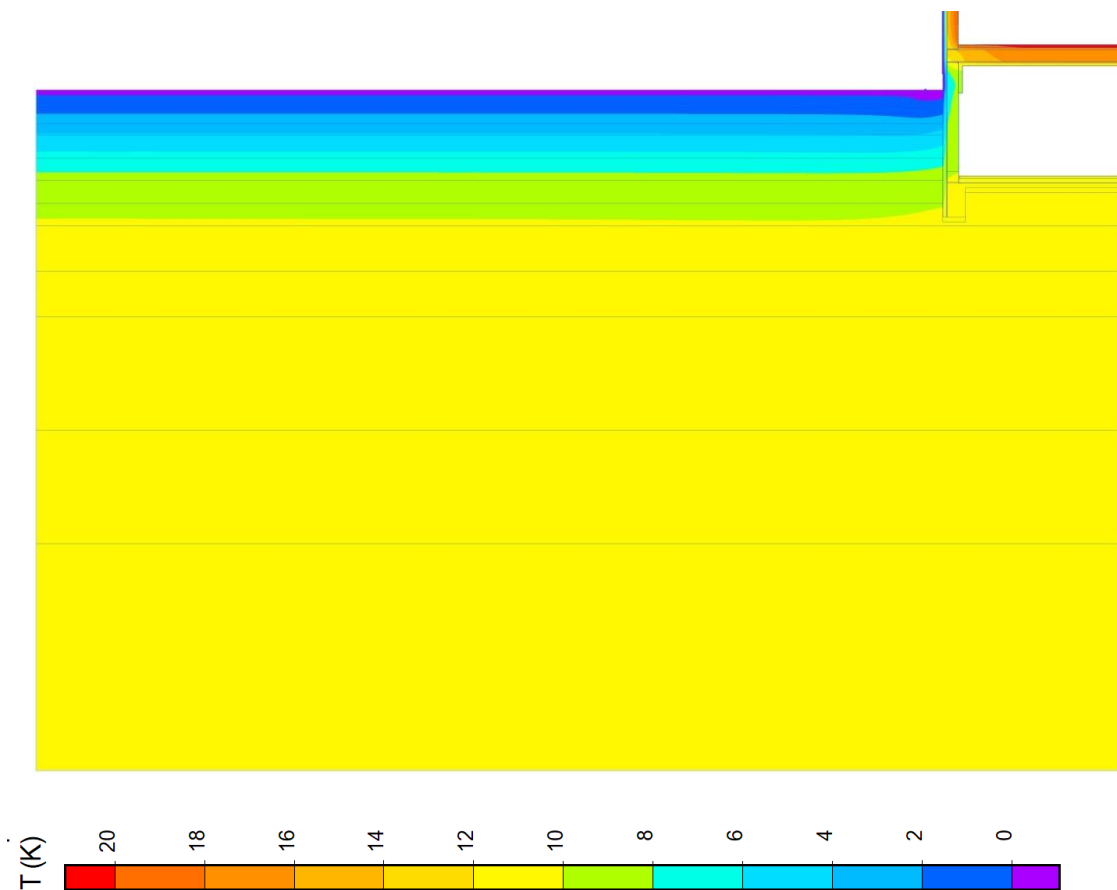
Obrázek 14-47: Detail 07_00 – E1 rozložení teplot

Detail 08_00

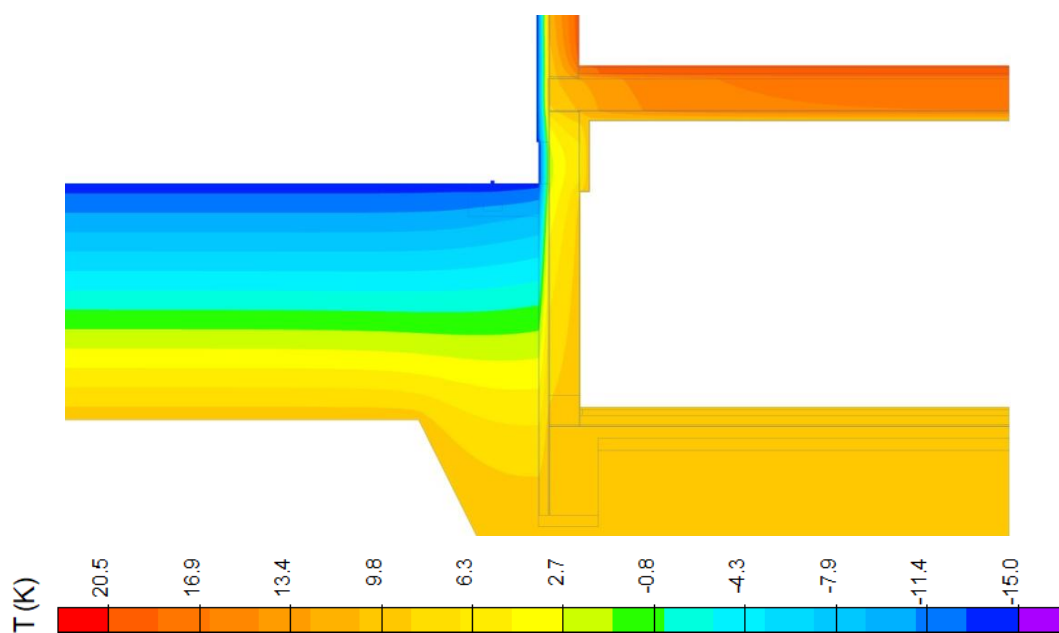
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra dva metry pod terénem. První patro je temperované na teplotu 10 °C, druhé patro je obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 100 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 80 mm. Strop nad prvním patrem je opatřen vodorovnou a částečně svislou tepelnou izolací v jednotné tl. 80 mm.

Tabulka 14-20: Výsledky výpočtů – detail 08_00

08_00					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	17,51	23,43	6,27	1,20
	únor	17,69	22,56	6,63	1,02
	březen	18,16	20,20	8,34	0,91
	duben	18,81	16,97	10,94	0,92
	květen	19,46	13,74	13,72	1,04
	červen	19,94	11,38	15,95	1,23
	červenec	20,11	10,51	17,03	1,44
	srpen	19,94	11,37	16,66	1,62
	září	19,46	13,74	14,95	1,72
	říjen	18,81	16,96	12,36	1,72
	listopad	18,16	20,19	9,57	1,60
prosinec	17,69	22,56	7,35	1,41	
B		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,58	23,08	5,74	0,24
C		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,48	28,56	6,12	16,92
D		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,48	28,54	0,20	2,56
E		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,48	28,54	1,00	0,12



Obrázek 14-48: Detail 08_00 – A1 rozložení teplot leden



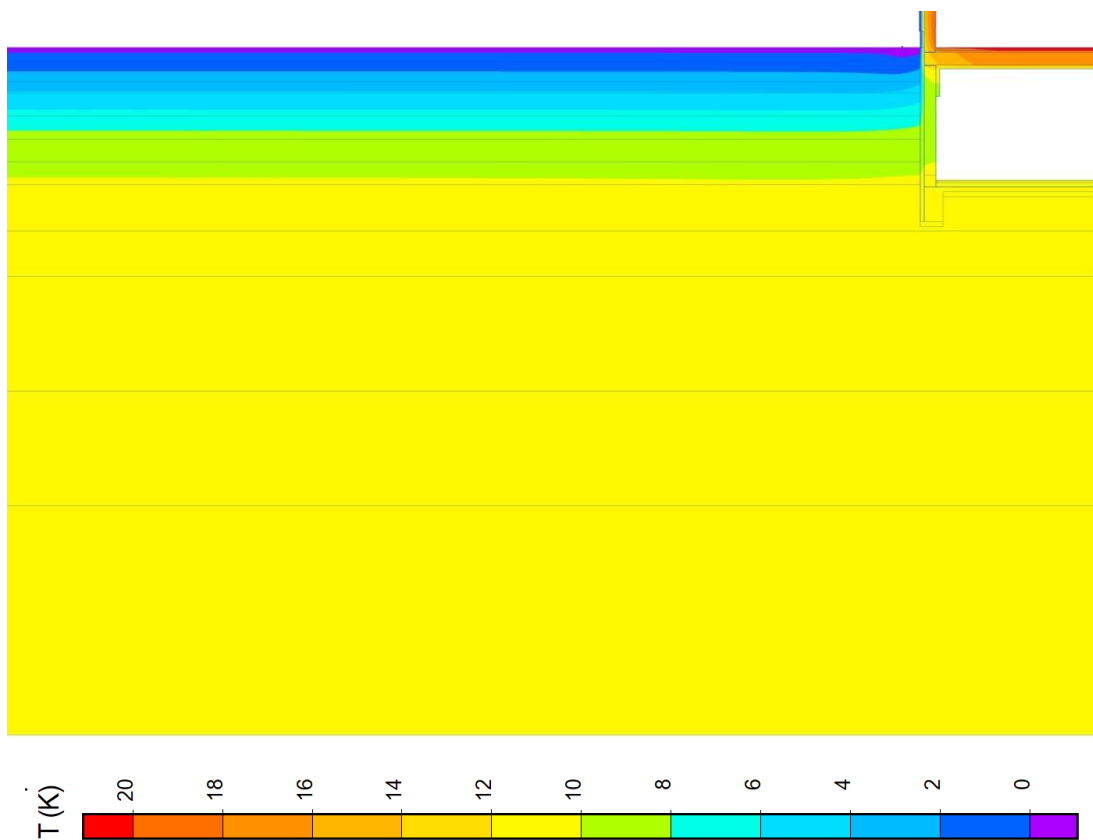
Obrázek 14-49: Detail 08_00 – E1 rozložení teplot

Detail 09_00

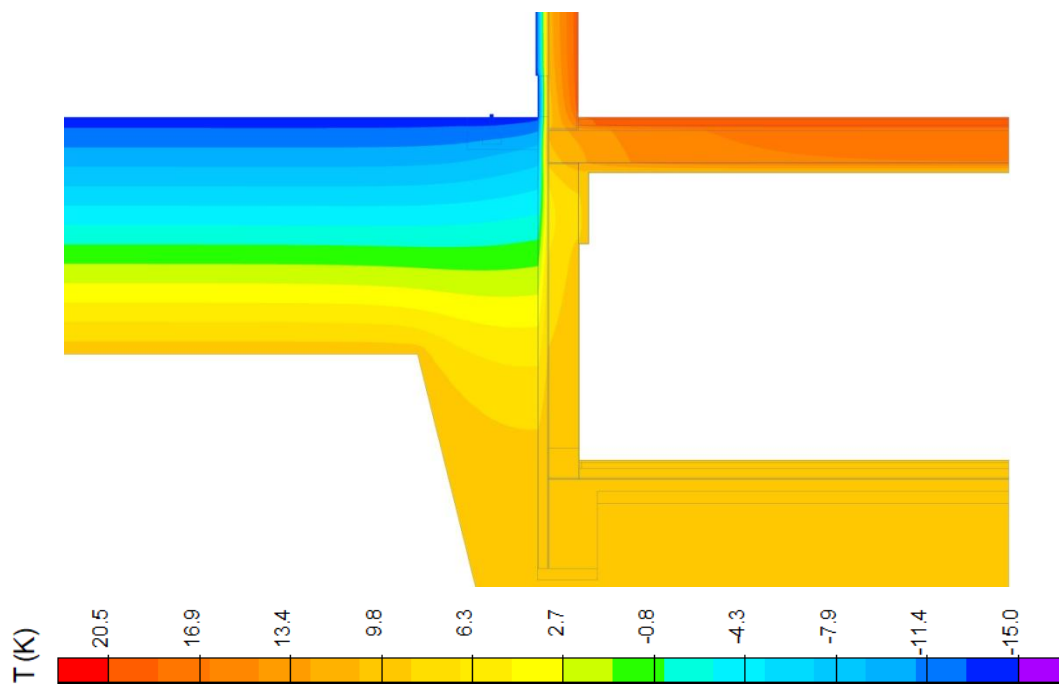
Jedná se o objekt se založením pod terénem s úrovní podlahy prvního patra tři metry pod terénem. První patro je temperované na teplotu 10 °C, druhé patro je obytné a vytápěné. Obvodová stěna je z cihelných tvárnic Heluz s tepelnou izolací v tl. 100 mm. Tepelná izolace stěny pod terénem a soklu je v tl. 80 mm. Tepelná izolace v podlaze na terénu je tl. 80 mm. Strop nad prvním patrem je opatřen vodorovnou a částečně svislou tepelnou izolací v jednotné tl. 80 mm.

Tabulka 14-21: Výsledky výpočtů – detail 09_00

09_00					
výpočet		min.teplota (°C)	tepelný tok (W)		
A	měsíc	v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
	leden	17,76	23,00	9,39	1,53
	únor	17,88	22,24	9,29	1,38
	březen	18,27	20,06	9,93	1,28
	duben	18,81	17,03	11,15	1,24
	květen	19,37	13,97	12,61	1,29
	červen	19,79	11,70	13,92	1,40
	červenec	19,96	10,82	14,74	1,56
	srpen	19,84	11,58	14,84	1,71
	září	19,46	13,77	14,20	1,81
	říjen	18,91	16,80	12,99	1,85
	listopad	18,36	19,86	11,53	1,80
prosinec	17,94	22,13	10,21	1,69	
B		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		17,76	22,80	8,44	0,70
C		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,58	28,68	4,25	15,94
D		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,73	28,17	5,07	2,48
E		v místě napojení stěny a podlahy (horní místnost)	horní místnost	spodní místnost bez podlahy	podlaha
		16,75	28,11	6,26	0,02



Obrázek 14-50: Detail 09_00 – A1 rozložení teplot leden



Obrázek 14-51: Detail 09_00 – E1 rozložení teplot

14.1 Průběh teploty

Pro vytvoření zjednodušeného výpočtového modelu byla výchozí teplota v hloubce 2 m pod povrchem terénu. Tato hloubka je už dostatečně hluboká a vzdálená od nezámrazné hloubky, podle průběhu roční teploty bez osazeného objektu je v této hloubce 8 °C v nejmraznějším období roku. Zároveň je výpočtový model dostatečně velký a geometrie není zbytečně rozměrově velká.

Jaký je průběh teploty v hloubce 2 m pod povrchem terénu při osazení objektu do terénu, je patrné z následujících tabulek a grafů, které jsou uvedeny pro vybrané způsoby založení a tloušťky tepelných izolací.

Detail 01_02

Jedná se o detail, který má podlahu na terénu umístěnou nejvýše ze všech hodnocených detailů tohoto typu, také má největší tl. tepelné izolace. U tohoto detailu je proto předpoklad, že teplota pod objektem bude nejnižší.

Úroveň podlahy na terénu je 0,5 m nad povrchem terénu. Tepelná izolace v podlaze je tl. 200 mm.

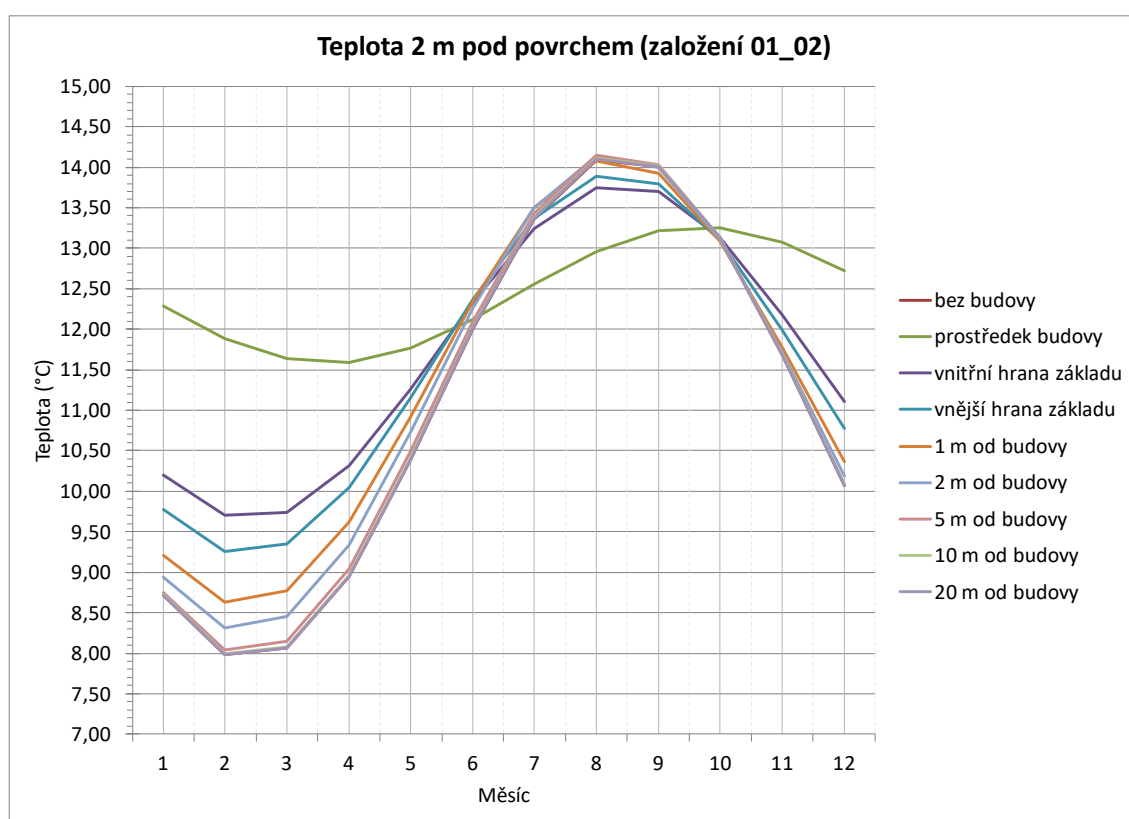
Tabulka 14-22: Teplota v hloubce 2 m pod povrchem – založení 01_02

Teplota 2 m pod povrchem - založení 01_02 (°C)													
vzdálenost od středu budovy (m)	místo	měsíc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	bez budovy	8,71	7,98	8,07	8,95	10,39	12,01	13,36	14,09	14,01	13,12	11,68	10,07
0	prostředek budovy	12,29	11,89	11,63	11,59	11,77	12,12	12,56	12,96	13,21	13,26	13,08	12,72
3,5	vnitřní hrana základu	10,20	9,70	9,74	10,31	11,26	12,33	13,24	13,74	13,70	13,13	12,18	11,11
4	vnější hrana základu	9,78	9,26	9,36	10,05	11,15	12,37	13,37	13,89	13,79	13,10	12,00	10,78
5	1 m od budovy	9,21	8,63	8,78	9,62	10,92	12,34	13,50	14,08	13,93	13,09	11,78	10,36
6	2 m od budovy	8,94	8,31	8,45	9,34	10,73	12,26	13,51	14,14	13,99	13,11	11,71	10,19
9	5 m od budovy	8,75	8,04	8,15	9,04	10,49	12,10	13,43	14,14	14,04	13,14	11,69	10,09
14	10 m od budovy	8,72	7,99	8,08	8,96	10,41	12,03	13,38	14,11	14,02	13,14	11,69	10,08
24	20 m od budovy	8,71	7,98	8,07	8,95	10,39	12,01	13,36	14,10	14,01	13,13	11,69	10,07

Nejmenší rozdíl teplot v průběhu roku je uprostřed budovy, kde se teplota pohybuje od 11,59 °C do 13,26 °C, rozdíl minima a maxima je 1,67 °C. Minimum nastává v dubnu, maximum v říjnu.

V místě základu obvodové stěny je nejnižší teplota v únoru 9,26 °C, a sice z vnější hrany základu směrem k exteriéru. Poté teplota mírně klesá se zvětšující se vzdáleností od objektu, 1 m od objektu je minimální teplota v únoru 8,63 °C, 2 m od objektu je minimální teplota v únoru 8,31 °C.

Ve vzdálenosti 5 m, 10 m a 20 m od budovy jsou si již teploty velmi podobné (8,04 °C, 7,99 °C a 7,98 °C) a zároveň jsou s minimálními rozdíly totožné s teplotou v terénu bez objektu (7,98 °C), v grafu dochází téměř k překrytí tohoto průběhu teplot.



Graf 14-1: Průběh teploty 2 m pod povrchem – založení 01_02

Vliv tloušťky tepelné izolace na teplotu v zemině (2 m pod terénem) je patrný z porovnání s následujícími detaily, kde je tepelná izolace v podlaze tloušťky 100 mm a podlaha bez tepelné izolace.

Detail 01_01

Úroveň podlahy na terénu je 0,5 m nad povrchem terénu. Tepelná izolace v podlaze je tl. 100 mm.

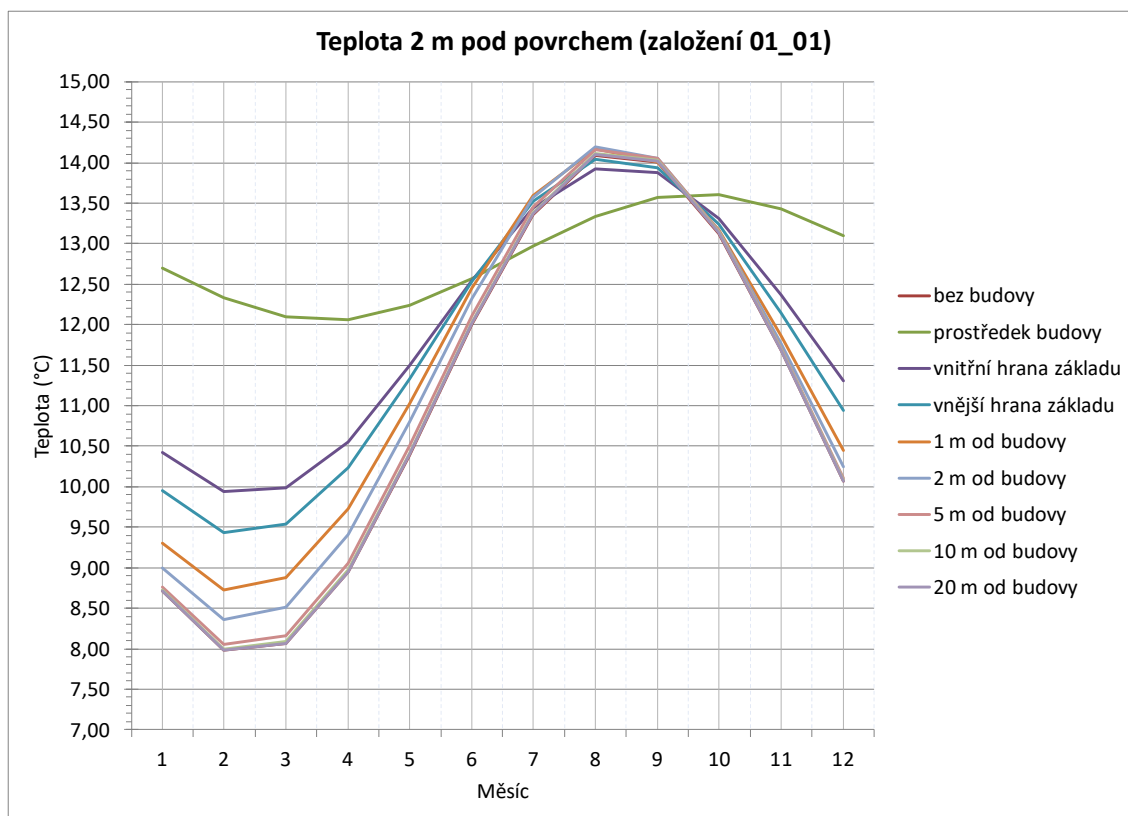
Tabulka 14-23: Teplota v hloubce 2 m pod povrchem – založení 01_01

Teplota 2 m pod povrchem - založení 01_01 (°C)													
vzdálenost od středu budovy (m)	místo	měsíc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	bez budovy	8,71	7,98	8,07	8,95	10,39	12,01	13,36	14,09	14,01	13,12	11,68	10,07
0	prostředek budovy	12,69	12,33	12,10	12,07	12,24	12,57	12,97	13,34	13,57	13,60	13,43	13,10
3,5	vnitřní hrana základu	10,42	9,93	9,98	10,55	11,49	12,55	13,44	13,93	13,88	13,31	12,37	11,31
4	vnější hrana základu	9,95	9,44	9,54	10,24	11,33	12,54	13,53	14,04	13,93	13,24	12,14	10,94
5	1 m od budovy	9,30	8,73	8,88	9,72	11,03	12,45	13,59	14,17	14,01	13,17	11,87	10,45
6	2 m od budovy	9,00	8,36	8,51	9,40	10,80	12,32	13,57	14,20	14,05	13,16	11,77	10,24
9	5 m od budovy	8,76	8,05	8,16	9,06	10,51	12,11	13,45	14,16	14,05	13,15	11,71	10,10
14	10 m od budovy	8,72	7,99	8,08	8,97	10,41	12,03	13,39	14,12	14,03	13,14	11,70	10,08
24	20 m od budovy	8,72	7,98	8,07	8,95	10,39	12,01	13,37	14,10	14,01	13,13	11,69	10,07

Nejmenší rozdíl teplot v průběhu roku je uprostřed budovy, kde se teplota pohybuje od 12,07 °C do 13,6 °C, rozdíl minima a maxima je 1,53 °C. Minimum nastává v dubnu, maximum v říjnu. Minimální teplota je vyšší o 0,48 °C a maximální teplota je vyšší o 0,34 °C oproti podlaze s tepelnou izolací tl. 200 mm.

V místě základu obvodové stěny je nejnižší teplota v únoru 9,44 °C, a sice z vnější hrany základu směrem k exteriéru. Poté teplota mírně klesá se zvětšující se vzdáleností od objektu, 1 m od objektu je minimální teplota v únoru 8,73 °C, 2 m od objektu je minimální teplota v únoru 8,36 °C.

Ve vzdálenosti 5 m, 10 m a 20 m od budovy jsou si již teploty velmi podobné (8,05 °C, 7,99 °C a 7,98 °C) a zároveň jsou s minimálními rozdíly totožné s teplotou v terénu bez objektu (7,98 °C).



Graf 14-2: Průběh teploty 2 m pod povrchem – založení 01_01

Detail 01_00

Úroveň podlahy na terénu je 0,5 m nad povrchem terénu. Tepelná izolace v podlaze není.

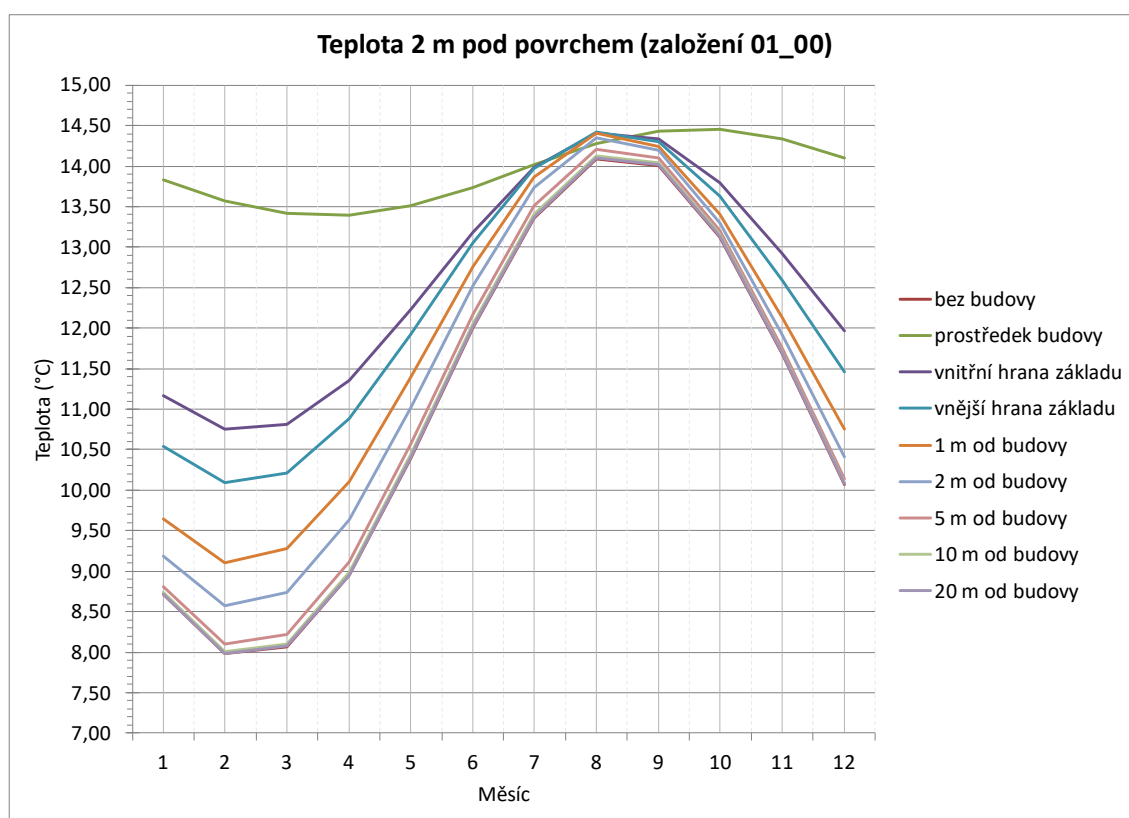
Tabulka 14-24: Teplota v hloubce 2 m pod povrchem – založení 01_00

Teplota 2 m pod povrchem - založení 01_00 (°C)													
vzdálenost od středu budovy (m)	místo	měsíc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	bez budovy	8,71	7,98	8,07	8,95	10,39	12,01	13,36	14,09	14,01	13,12	11,68	10,07
0	prostředek budovy	13,83	13,57	13,41	13,39	13,51	13,74	14,02	14,27	14,43	14,46	14,34	14,11
3,5	vnitřní hrana základu	11,17	10,75	10,82	11,36	12,22	13,19	13,98	14,40	14,33	13,79	12,93	11,97
4	vnější hrana základu	10,55	10,09	10,21	10,88	11,92	13,05	13,97	14,42	14,30	13,63	12,59	11,46
5	1 m od budovy	9,65	9,10	9,27	10,11	11,39	12,76	13,87	14,41	14,24	13,41	12,13	10,75
6	2 m od budovy	9,19	8,58	8,74	9,63	11,01	12,52	13,74	14,35	14,19	13,30	11,92	10,41
9	5 m od budovy	8,81	8,10	8,22	9,12	10,57	12,17	13,51	14,21	14,10	13,20	11,75	10,14
14	10 m od budovy	8,74	8,01	8,10	8,98	10,43	12,05	13,40	14,13	14,04	13,15	11,71	10,09
24	20 m od budovy	8,72	7,99	8,07	8,95	10,40	12,01	13,37	14,10	14,02	13,13	11,69	10,08

Nejmenší rozdíl teplot v průběhu roku je uprostřed budovy, kde se teplota pohybuje od 13,39 °C do 14,46 °C, rozdíl minima a maxima je 1,07 °C. Minimum nastává v dubnu. Minimální teplota je vyšší o 1,8 °C a maximální teplota je vyšší o 1,2 °C oproti podlaze s tepelnou izolací tl. 200 mm.

V místě základu obvodové stěny je nejnižší teplota v únoru 10,09 °C, a sice z vnější hrany základu směrem k exteriéru. Poté teplota mírně klesá se zvětšující se vzdáleností od objektu, 1 m od objektu je minimální teplota v únoru 9,1 °C, 2 m od objektu je minimální teplota v únoru 8,58 °C.

Ve vzdálenosti 5 m, 10 m a 20 m od budovy jsou si již teploty velmi podobné (8,1 °C, 8,01 °C a 7,99 °C) a zároveň jsou s minimálními rozdíly totožné s teplotou v terénu bez objektu (7,98 °C).



Graf 14-3: Průběh teploty 2 m pod povrchem – založení 01_00

Detail 04_02

Jedná se o detail s vytápěným suterénem, který má podlahu na terénu umístěnou nejvýše ze všech hodnocených detailů tohoto typu, také má největší tl. tepelné izolace. U tohoto detailu je proto předpoklad, že teplota pod objektem bude nejnižší.

Úroveň podlahy vytápěného suterénu na terénu je 1,0 m pod povrchem terénu. Tepelná izolace v podlaze je tl. 180 mm.

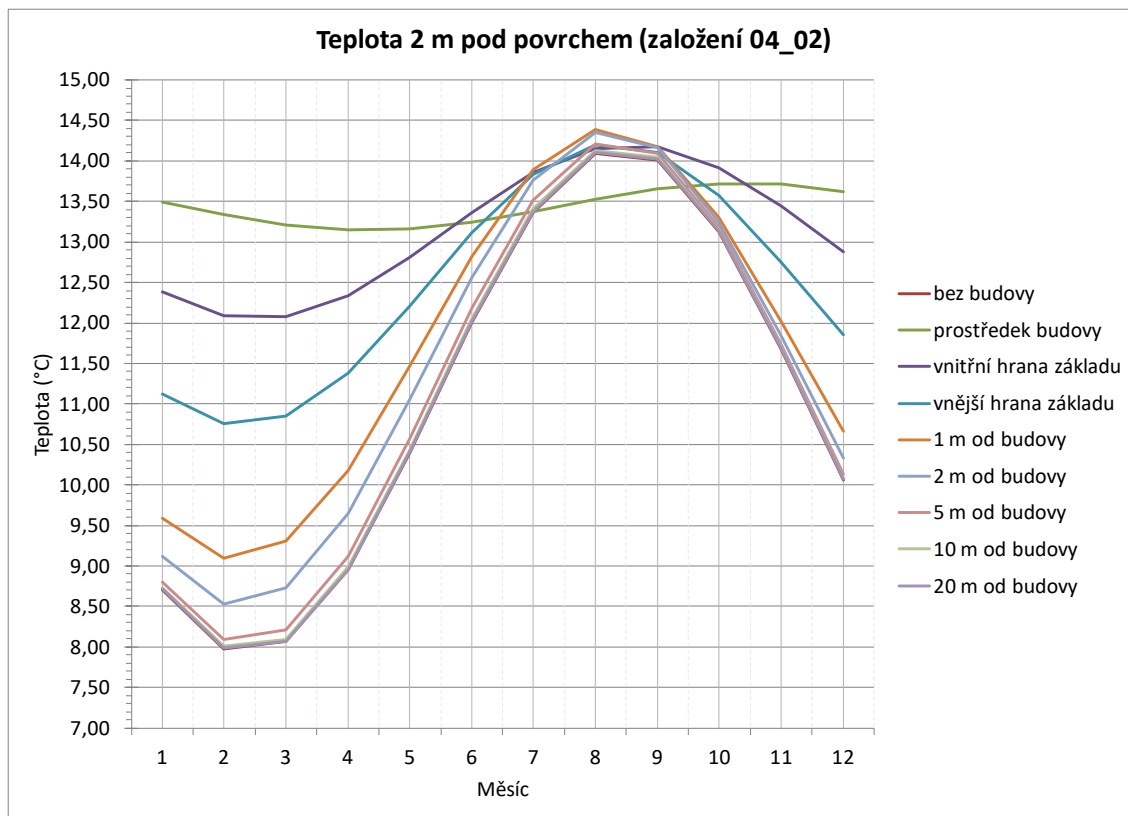
Tabulka 14-25: Teplota v hloubce 2 m pod povrchem – založení 04_02

Teplota 2 m pod povrchem - založení 04_02 (°C)													
vzdálenost od středu budovy (m)	místo	měsíc											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	bez budovy	8,71	7,98	8,07	8,95	10,39	12,01	13,36	14,09	14,01	13,12	11,68	10,07
0	prostředek budovy	13,49	13,34	13,21	13,15	13,16	13,24	13,38	13,53	13,65	13,72	13,71	13,63
3,5	vnitřní hrana základu	12,39	12,09	12,07	12,33	12,81	13,37	13,86	14,16	14,18	13,91	13,44	12,88
4	vnější hrana základu	11,12	10,76	10,85	11,39	12,21	13,11	13,84	14,20	14,11	13,57	12,75	11,85
5	1 m od budovy	9,59	9,10	9,31	10,18	11,46	12,82	13,89	14,39	14,17	13,30	12,02	10,66
6	2 m od budovy	9,12	8,53	8,73	9,65	11,05	12,56	13,77	14,36	14,16	13,24	11,84	10,33
9	5 m od budovy	8,80	8,10	8,21	9,12	10,57	12,18	13,51	14,21	14,10	13,19	11,74	10,13
14	10 m od budovy	8,73	8,00	8,10	8,98	10,43	12,05	13,40	14,13	14,04	13,15	11,70	10,09
24	20 m od budovy	8,72	7,98	8,07	8,95	10,40	12,01	13,37	14,10	14,02	13,13	11,69	10,07

Nejmenší rozdíl teplot v průběhu roku je uprostřed budovy, kde se teplota pohybuje od 13,15 °C do 13,72 °C, rozdíl minima a maxima je 0,57 °C. Minimum nastává v dubnu, maximum v říjnu.

V místě základu obvodové stěny je nejnižší teplota v únoru 10,76 °C, a to z vnější hrany základu směrem k exteriéru. Poté teplota klesá se zvětšující se vzdáleností od objektu, 1 m od objektu je minimální teplota v únoru 9,1 °C, 2 m od objektu je minimální teplota v únoru 8,53 °C.

Ve vzdálenosti 5 m, 10 m a 20 m od budovy jsou si již teploty velmi podobné (8,1 °C, 8,0 °C a 7,98 °C) a zároveň jsou s minimálními rozdíly totožné s teplotou v terénu bez objektu (7,98 °C).



Graf 14-4: Průběh teploty 2 m pod povrchem – založení 04_02

Z výše uvedených průběhů teplot vybraných detailů v hloubce 2 m pod povrchem terénu je patrné, že minimální průměrná měsíční teplota v této hloubce je 8 °C a vyšší.

V místě pod objektem je největší minimální teplota vždy uprostřed objektu. Čím větší tloušťka tepelné izolace je v podlaze, tím je tato teplota nižší.

V objektu založeném na terénu (výška podlahy 0,5 m nad terénem) je u podlahy s tepelnou izolací tl. 200 mm uprostřed budovy minimální teplota 11,59 °C a na vnější hraně základu je minimální teplota 9,26 °C. U podlahy s tepelnou izolací tl. 100 mm je uprostřed budovy minimální teplota 12,07 °C a na vnější hraně základu je minimální teplota 9,44 °C. U podlahy bez tepelné izolace je uprostřed budovy minimální teplota 13,39 °C a na vnější hraně základu je minimální teplota 10,09 °C.

V objektu s vytápěným suterénem (výška podlahy suterénu na terénu 1,0 m pod terénem) je u podlahy s tepelnou izolací tl. 180 mm uprostřed budovy minimální teplota 13,15 °C a na vnější hraně základu je minimální teplota 10,76 °C.

Tyto poznatky potvrzují správný předpoklad navržených zjednodušených výpočtových modelů s okrajovou podmínkou v zemině v hloubce dva metry pod podlahou, případně v hloubce jeden metr pod podlahou, pokud je podlaha více než jeden metr pod povrchem terénu. Jedná se o výpočtový model E, který uvažuje konstantní teplotu 10 °C v hloubce 2 m pod podlahou, a výpočtový model D, který uvažuje konstantní teplotu 8 °C v hloubce 2 m pod podlahou na terénu.

Geometrie navrženého zjednodušeného výpočtového modelu je stejná pro výpočet tepelných toků ke zhodnocení celkové tepelné ztráty budov nebo její části a také pro odvození lineárních a bodových činitelů prostupu tepla; dále pro výpočet minimálních povrchových teplot ke zhodnocení rizika povrchové kondenzace a stanovení teplotních faktorů povrchu. Tyto dva výpočty se liší pouze v zadávaném odporu při přestupu tepla na vnitřním povrchu.

14.2 Teplotní faktor vnitřního povrchu

Pro vyhodnocení minimální povrchové teploty byl proveden přepočet z minimální vnitřní povrchové teploty na teplotní faktor vnitřního povrchu. V následující tabulce jsou uvedeny teplotní faktory vnitřního povrchu pro jednotlivé detaily založení objektu a jednotlivé typy výpočtů:

Tabulka 14-26: Teplotní faktor vnitřního povrchu pro jednotlivé detaily a výpočty

teplotní faktor (-)									
výpočet	detail								
	01_00	01_01	01_02	02_00	02_01	02_02	03_00	03_01	03_02
A2	0,824	0,906	0,931	0,872	0,928	0,946	0,898	0,955	0,954
B2	0,823	0,904	0,928	0,866	0,923	0,942	0,890	0,934	0,949
C2	0,736	0,858	0,896	0,776	0,879	0,910	0,803	0,891	0,919
D2	0,748	0,868	0,904	0,794	0,894	0,922	0,826	0,910	0,933
E2	0,754	0,872	0,907	0,803	0,900	0,926	0,839	0,917	0,939

výpočet	detail								
	04_00	04_01	04_02	05_00	05_01	05_02	06_00	06_01	06_02
A2	0,923	0,933	0,939	0,932	0,939	0,943	0,932	0,938	0,943
B2	0,916	0,926	0,932	0,926	0,933	0,938	0,928	0,934	0,939
C2	0,853	0,874	0,888	0,864	0,883	0,893	0,870	0,885	0,895
D2	0,876	0,895	0,907	0,891	0,906	0,914	0,899	0,912	0,920
E2	0,889	0,907	0,918	0,905	0,919	0,926	0,914	0,925	0,932

výpočet	detail								
	07_00			08_00			09_00		
A2	0,903			0,903			0,910		
B2	0,905			0,905			0,910		
C2	0,875			0,874			0,877		
D2	0,875			0,874			0,881		
E2	0,875			0,874			0,882		

V následující tabulce jsou uvedeny rozdíly hodnot teplotního faktoru vnitřního povrchu při různém typu výpočtu:

Tabulka 14-27: Rozdíl teplotních faktorů vnitřního povrchu jednotlivých výpočtů

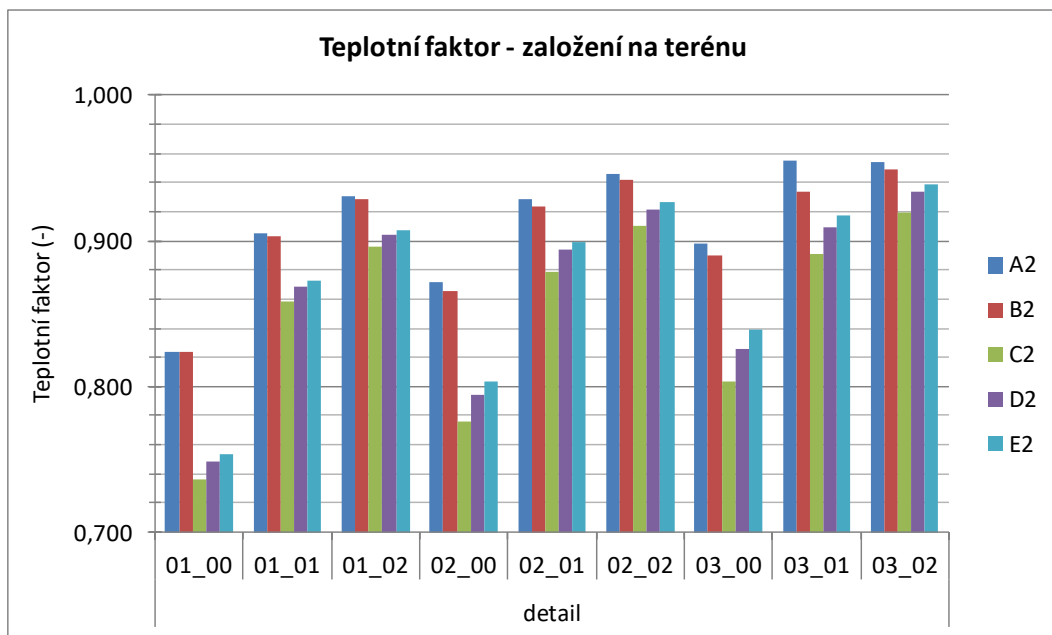
rozdíl výpočtu	detail								
	01_00	01_01	01_02	02_00	02_01	02_02	03_00	03_01	03_02
A2-C2	0,088	0,047	0,035	0,096	0,050	0,036	0,095	0,064	0,035
B2-C2	0,087	0,045	0,032	0,090	0,044	0,032	0,087	0,043	0,030
A2-D2	0,076	0,037	0,027	0,078	0,035	0,024	0,072	0,045	0,021
B2-D2	0,076	0,035	0,024	0,072	0,029	0,020	0,064	0,024	0,016
A2-E2	0,070	0,034	0,024	0,068	0,029	0,019	0,059	0,038	0,015
B2-E2	0,070	0,031	0,021	0,062	0,023	0,015	0,051	0,017	0,011
C2-D2	-0,012	-0,010	-0,008	-0,018	-0,015	-0,012	-0,023	-0,018	-0,014
C2-E2	-0,017	-0,014	-0,011	-0,028	-0,021	-0,016	-0,036	-0,026	-0,020

rozdíl výpočtu	detail								
	04_00	04_01	04_02	05_00	05_01	05_02	06_00	06_01	06_02
A2-C2	0,071	0,058	0,051	0,068	0,056	0,050	0,062	0,053	0,048
B2-C2	0,063	0,052	0,044	0,062	0,050	0,045	0,058	0,048	0,043
A2-D2	0,047	0,037	0,031	0,042	0,033	0,029	0,033	0,026	0,023
B2-D2	0,040	0,031	0,025	0,035	0,027	0,024	0,028	0,022	0,019
A2-E2	0,034	0,025	0,020	0,027	0,020	0,017	0,018	0,013	0,011
B2-E2	0,026	0,018	0,014	0,020	0,014	0,012	0,013	0,009	0,007
C2-D2	-0,023	-0,021	-0,019	-0,027	-0,023	-0,021	-0,030	-0,027	-0,024
C2-E2	-0,037	-0,033	-0,030	-0,041	-0,036	-0,033	-0,045	-0,040	-0,036

rozdíl výpočtu	detail								
	07_00			08_00			09_00		
A2-C2	0,029			0,029			0,033		
B2-C2	0,030			0,031			0,033		
A2-D2	0,029			0,029			0,029		
B2-D2	0,030			0,031			0,029		
A2-E2	0,029			0,029			0,028		
B2-E2	0,030			0,031			0,028		
C2-D2	0,000			0,000			-0,004		
C2-E2	0,000			0,000			-0,005		

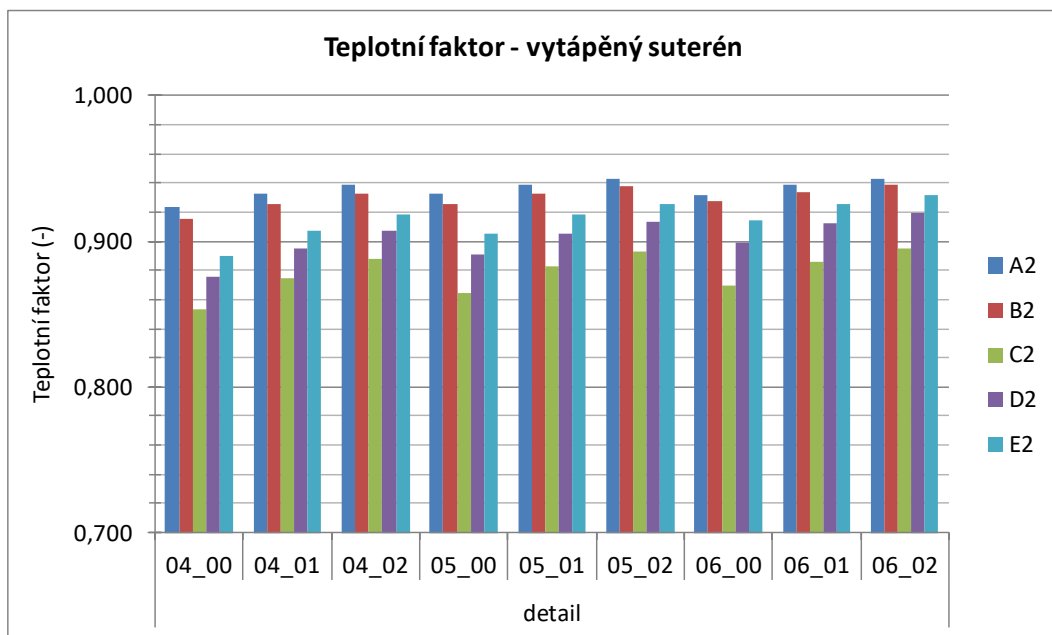
Kladné hodnoty rozdílů teplotních faktorů vnitřního povrchu jsou „hodnoty na straně bezpečí“. Důležité porovnání je porovnání výpočtu odladěného dle skutečnosti a normového A2–C2 a porovnání výpočtu odladěného dle skutečnosti a zjednodušeného výpočtového modelu A2–E2. Bližších hodnot teplotních faktorů vnitřního povrchu skutečnosti je dosaženo výpočtem E2, případně D2, tj. porovnáním výpočtu A2–E2 a A2–D2.

Hodnoty a rozdíly teplotních faktorů vnitřního povrchu pro jednotlivé detaily a výpočty jsou patrné v následujících grafech:



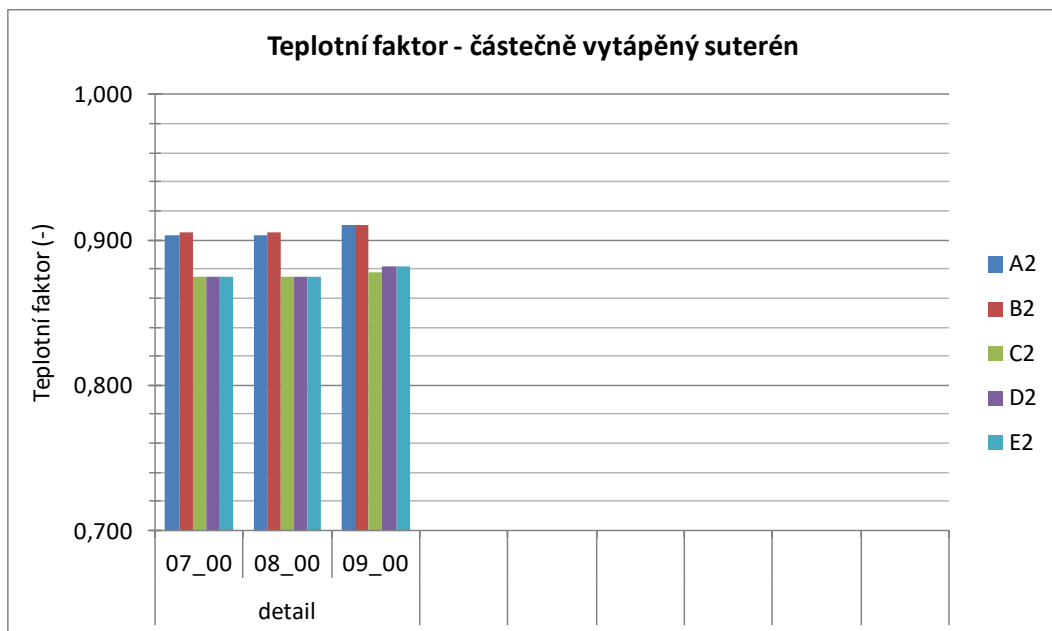
Graf 14-5: Porovnání teplotního faktoru vnitřního povrchu – založení na terénu

Teplotní faktory vnitřního povrchu pro detaily založení na terénu se od sebe liší u výpočtu C2, D2 a E2 v rámci setin či tisícín, hodnoty jsou si velmi blízké. Bližších hodnot v porovnání se skutečností (dynamický výpočet A2) dosahuje výpočet E2.



Graf 14-6: Porovnání teplotního faktoru vnitřního povrchu – vytápěný suterén

Teplotní faktory vnitřního povrchu pro detaily založení s vytápěným suterénem se od sebe liší u výpočtu C2, D2 a E2 v rámci setin, hodnoty jsou si blízké. Blížších hodnot v porovnání se skutečností (dynamický výpočet A2) dosahuje opět výpočet E2.



Graf 14-7: Porovnání teplotního faktoru vnitřního povrchu – částečně vytápěný suterén

Pro detaily založení s částečně vytápěným suterénem jsou teplotní faktory vnitřního povrchu u výpočtu C2, D2 a E2 převážně shodné. Pouze u detailu 09_00 jsou minimální rozdíly, jedná se o založení, kdy je suterén celý pod terénem a úroveň podlahy 1. nadzemního podlaží je v úrovni terénu.

14.3 Ustálený měrný tepelný tok

Pro vyhodnocení tepelných toků a porovnání se skutečností, tj. dynamickým výpočtem, byla stanovena roční potřeba tepla na vytápění pro jednotlivé objekty (výseky detailů založení) jednotlivými typy výpočtů. Jedná se o roční potřebu tepla na vytápění stanovenou prostupem obvodovými konstrukcemi a tepelnými vazbami, bez potřeby tepla na větrání. Pro stanovení roční potřeby tepla na vytápění byly uvažovány následující typy výpočtů:

- A1 – dynamický výpočet pro odladěný model zeminy podle skutečného průběhu teplot
- C1 – stacionární výpočet dle požadavků norem
 - C1a – podrobný výpočet dle ČSN EN ISO 13370 [3]
 - C1b – použití činitelů teplotní redukce dle ČSN 730540-3 [17]
- D1 – stacionární výpočet, teplota 8 °C 2 m pod terénem. Součinitel prostupu tepla podlahy je uvažován včetně vrstvy zeminy do hloubky 2 m pod terénem, teplota v zemině je zohledněna dopočítaným činitelem teplotní redukce odpovídajícím teplotnímu rozdílu, $b = (21 - 8) / (21 - (-15)) = 0,36$.
- E1 – stacionární výpočet, teplota 10 °C 2 m pod terénem. Součinitel prostupu tepla podlahy je uvažován včetně vrstvy zeminy do hloubky 2 m pod terénem, teplota v zemině je zohledněna dopočítaným činitelem teplotní redukce odpovídajícím teplotnímu rozdílu, $b = (21 - 10) / (21 - (-15)) = 0,31$.

Roční potřeba tepla na vytápění byla stanovena v programu *Energie* pro naměřené průměrné teploty venkovního vzduchu.

14.3.1 Založení na terénu

Založení na terénu je řešeno v detailu 01_00 až 03_02. Roční potřeba tepla na vytápění byla stanovena s použitím přírážky na tepelné vazby a také přesnějším výpočtem s lineárním činitelem prostupu tepla, který byl dopočten pro jednotlivé posuzované detaily a pro jednotlivé typy výpočtů.

Součinitel prostupu tepla stanovený pro podlahu včetně vrstvy zeminy (pro výpočet D1 a E1) je uveden v následující tabulce:

Tabulka 14-28: Součinitel prostupu tepla podlahy včetně zeminy

označení detailu	Součinitel prostupu tepla	
	tl. TI v mm	W/m ² .K
XX_00	0	0,66
XX_01	100	0,25
XX_02	200	0,19

Pro normový výpočet C1 a uvažovaný výpočtový model D1 a E1 byl stanoven lineární činitel prostupu tepla, který je uveden v následující tabulce:

Tabulka 14-29: Lineární činitel prostupu tepla

Lineární činitel prostupu tepla ψ W/(m.K)			
označení detailu	typ výpočtu		
	C1	D1	E1
01_00	0,052	0,058	0,058
01_01	0,102	0,055	0,054
01_02	0,073	0,034	0,032
02_00	0,043	0,037	0,037
02_01	0,086	0,026	0,026
02_02	0,064	0,009	0,009
03_00	0,020	-0,004	-0,004
03_01	0,075	-0,011	-0,012
03_02	0,058	-0,024	-0,024

Potřeba tepla na vytápění stanovená s lineárním činitelem prostupu tepla je uvedena v následující tabulce, včetně vyčísleného rozdílu oproti skutečnosti (dynamický výpočet A1). Skutečnosti se nejvíce přibližuje výpočet D1 a E1.

Tabulka 14-30: Potřeba tepla na vytápění s lineárním činitelem

označení detailu	Potřeba tepla vytápění za rok (tepelné vazby lineárním čin.) kWh					Rozdíl kWh			
	typ výpočtu					typ výpočtu			
	A1	C1a	C1b	D1	E1	A1-C1a	A1-C1b	A1-D1	A1-E1
01_00	108,8	216,9	1287,2	119,4	105,6	-108,1	-1178,4	-10,6	3,3
01_01	63,2	106,7	125,8	57,8	52,5	-43,4	-62,6	5,5	10,7
01_02	46,4	74,4	74,7	41,1	37,8	-28,0	-28,3	5,3	8,6
02_00	103,6	216,1	1286,1	117,2	103,6	-112,5	-1182,5	-13,6	0,0
02_01	56,6	105,3	124,2	54,7	49,4	-48,7	-67,5	1,9	7,2
02_02	41,5	73,6	73,6	43,9	40,0	-32,1	-32,1	-2,4	1,5
03_00	92,3	213,9	1283,9	113,1	99,2	-121,6	-1191,6	-20,8	-6,9
03_01	53,1	104,2	123,1	50,8	45,6	-51,1	-70,0	2,3	7,5
03_02	39,6	73,1	73,1	40,6	36,7	-33,5	-33,5	-1,0	2,9

Potřeba tepla na vytápění stanovená s přírážkou na tepelné vazby 0,02 W/(m²·K) pro jednotlivé typy výpočtů je uvedena v následující tabulce, včetně vyčísleného rozdílu

oproti skutečnosti (dynamický výpočet A1). Skutečnosti se nejvíce přibližuje výpočet E1, případně D1.

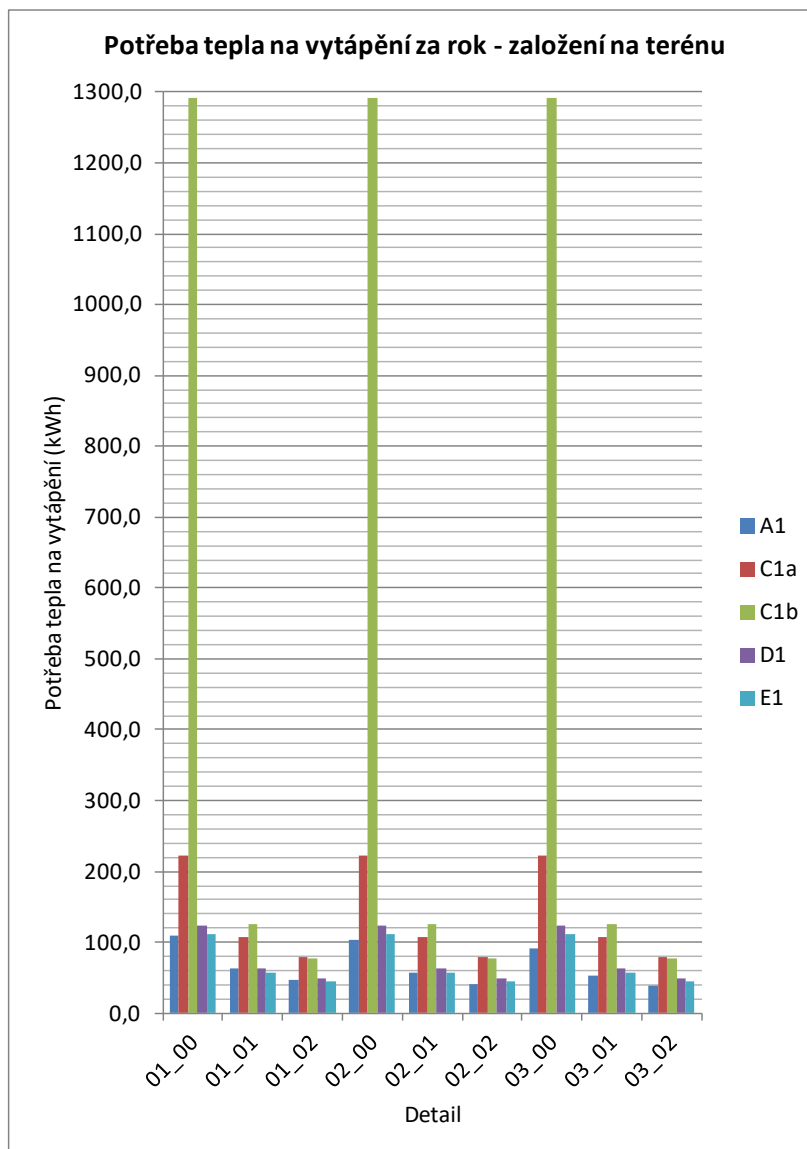
Tabulka 14-31: Potřeba tepla na vytápění s přírážkou na tepelné vazby

označení detailu	Potřeba tepla vytápění za rok (tepelné vazby přírážkou 0,02 W/m ² .K) kWh					Rozdíl kWh			
	typ výpočtu					typ výpočtu			
	A1	C1a	C1b	D1	E1	A1-C1a	A1-C1b	A1-D1	A1-E1
01_00	108,8	222,8	1292,5	124,4	110,6	-114,0	-1183,7	-15,6	-1,7
01_01	63,2	108,1	126,1	63,1	57,8	-44,8	-62,9	0,2	5,4
01_02	46,4	78,6	78,1	48,6	45,3	-32,2	-31,7	-2,2	1,1
02_00	103,6	222,8	1292,5	124,4	110,6	-119,2	-1188,9	-20,8	-7,0
02_01	56,6	108,1	126,1	63,1	57,8	-51,4	-69,5	-6,4	-1,2
02_02	41,5	78,6	78,1	48,6	45,3	-37,1	-36,5	-7,1	-3,8
03_00	92,3	222,8	1292,5	124,4	110,6	-130,5	-1200,2	-32,2	-18,3
03_01	53,1	108,1	126,1	63,1	57,8	-55,0	-73,0	-10,0	-4,7
03_02	39,6	78,6	78,1	48,6	45,3	-39,0	-38,5	-9,0	-5,7

Pro detaily se stejnou tloušťkou tepelné izolace v podlaze je měrná potřeba tepla na vytápění stejná (pro výpočet C1a, C1b, D1, E1 s přírážkou na tepelné vazby). Rozdílná výška terénu, která se mění po 0,5 m, není v těchto výpočtech nijak zohledněna. Je zohledněna pouze u výpočtů s použitím lineárního činitele prostupu tepla. Pokud je terén 0,5 m pod úrovní podlahy 1. NP, je roční potřeba tepla vyšší než u podlahy se stejnou úrovní s terénem a než u podlahy s terénem 0,5 m nad úrovní podlahy, což odpovídá velikosti stanovených lineárních činitelů prostupu tepla.

Výpočty C1a a C1b jsou srovnatelné u podlahy s tepelnou izolací tl. 200 mm, se snižující tloušťkou tepelné izolace rozdíl těchto výpočtů roste, potřeba tepla na vytápění je podle výpočtu C1b vyšší cca o 17 %. U podlahy bez tepelné izolace je tento rozdíl extrémní. Výpočet C1a (dle ČSN EN ISO 13370) rozděluje výpočet na dva typy výpočtů, pro neizolované a mírně izolované podlahy a pro dobře izolované podlahy. Výpočet C1b (činitel teplotní redukce) míru tepelné izolace nijak nezohledňuje.

Grafické znázornění a porovnání výsledných hodnot potřeby tepla na vytápění je uvedeno v následujícím grafu. Jedná se o hodnoty z výpočtu s přírážkou na tepelné vazby.



Graf 14-8: Porovnání potřeby tepla na vytápění – založení na terénu

14.3.2 Vytápěný suterén

Objekty s vytápěným suterénem a jejich založení jsou řešeny v detailu 04_00 až 06_02. Roční potřeba tepla na vytápění byla stanovena s použitím přírážky na tepelné vazby a také přesnějším výpočtem s lineárním činitelem prostupu tepla, který byl doložen pro jednotlivé posuzované detaily a pro jednotlivé typy výpočtů.

Součinitel prostupu tepla stanovený pro podlahu na terénu včetně vrstvy zeminy (pro výpočet D1 a E1) je uveden v následující tabulce:

Tabulka 14-32: Součinitel prostupu tepla podlahy na terénu včetně zeminy

označení detailu	Součinitel prostupu tepla	
	tl. TI v mm	W/m ² .K
XX_00	80	0,32
XX_01	140	0,21
XX_02	180	0,17

Pro normový výpočet C1 a uvažovaný výpočtový model D1 a E1 byl stanoven lineární činitel prostupu tepla, který je uveden v následující tabulce:

Tabulka 14-33: Lineární činitel prostupu tepla

Lineární činitel prostupu tepla ψ W/(m.K)			
označení detailu	typ výpočtu		
	C1	D1	E1
04_00	0,026	-0,087	-0,087
04_01	0,010	-0,035	-0,035
04_02	0,005	-0,017	-0,017
05_00	0,029	-0,097	-0,097
05_01	0,012	-0,039	-0,039
05_02	0,006	-0,019	-0,019
06_00	0,011	-0,038	-0,038
06_01	0,004	-0,012	-0,012
06_02	0,001	-0,003	-0,003

Potřeba tepla na vytápění stanovená s lineárním činitelem prostupu tepla je uvedena v následující tabulce, včetně vyčísleného rozdílu oproti skutečnosti (dynamický výpočet A1). Skutečnosti se nejvíce přibližuje výpočet D1.

Tabulka 14-34: Potřeba tepla na vytápění s lineárním činitelem

označení detailu	Potřeba tepla vytápění za rok (tepelné vazby lineárním čin.) kWh					Rozdíl kWh			
	typ výpočtu					typ výpočtu			
	A1	C1a	C1b	D1	E1	A1-C1a	A1-C1b	A1-D1	A1-E1
04_00	152,1	202,2	220,3	150,0	135,0	-50,1	-68,2	2,1	17,1
04_01	109,4	142,5	148,1	108,9	98,0	-33,1	-38,6	0,5	11,4
04_02	87,7	114,2	115,3	86,4	77,8	-26,5	-27,6	1,3	10,0
05_00	148,5	189,4	199,7	146,9	132,3	-41,0	-51,3	1,5	16,2
05_01	105,8	135,0	128,9	107,2	96,5	-29,2	-23,1	-1,4	9,3
05_02	85,2	105,0	100,0	81,4	77,2	-19,8	-14,8	3,8	8,0
06_00	140,5	171,9	166,4	145,8	137,2	-31,5	-25,9	-5,4	3,2
06_01	100,1	125,0	106,9	104,2	98,1	-24,9	-6,9	-4,1	2,0
06_02	80,6	101,7	82,8	78,1	73,6	-21,0	-2,2	2,6	7,0

Potřeba tepla na vytápění stanovena s přírážkou na tepelné vazby $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ pro jednotlivé typy výpočtů je uvedena v následující tabulce, včetně vyčísleného rozdílu oproti skutečnosti (dynamický výpočet A1). Skutečnosti se nejvíce přibližuje výpočet E1.

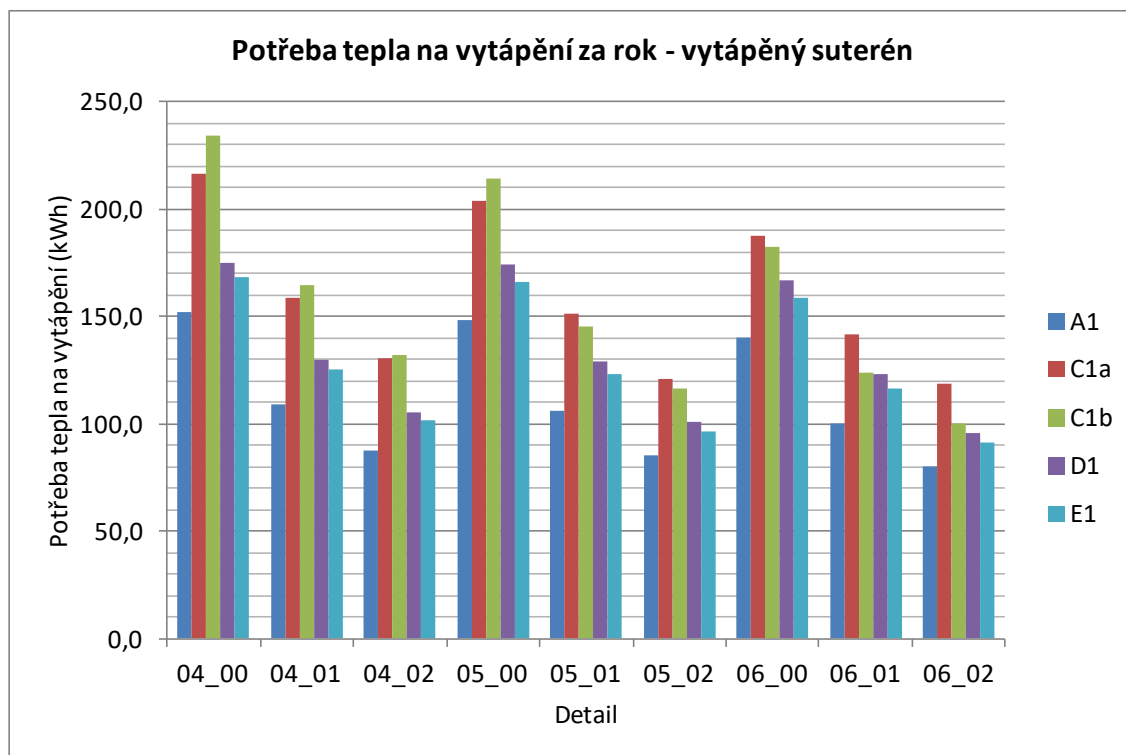
Tabulka 14-35: Potřeba tepla na vytápění s přírážkou na tepelné vazby

označení detailu	Potřeba tepla vytápění za rok (tepelné vazby přírážkou $0,02 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$) kWh					Rozdíl kWh			
	typ výpočtu					typ výpočtu			
	A1	C1a	C1b	D1	E1	A1-C1a	A1-C1b	A1-D1	A1-E1
04_00	152,1	216,9	234,2	175,3	168,3	-64,8	-82,1	-23,2	-16,2
04_01	109,4	158,6	164,4	130,0	125,3	-49,2	-55,0	-20,6	-15,8
04_02	87,7	130,6	132,2	105,6	101,7	-42,8	-44,5	-17,8	-14,0
05_00	148,5	203,9	214,2	174,4	166,4	-55,4	-65,7	-26,0	-17,9
05_01	105,8	151,1	145,3	128,9	123,1	-45,3	-39,4	-23,1	-17,2
05_02	85,2	120,8	116,9	100,8	96,7	-35,6	-31,7	-15,6	-11,4
06_00	140,5	187,8	182,5	167,2	158,6	-47,3	-42,1	-26,8	-18,2
06_01	100,1	141,7	123,9	123,1	116,7	-41,6	-23,8	-23,0	-16,6
06_02	80,6	118,6	100,3	96,1	91,4	-38,0	-19,7	-15,5	-10,8

Výpočty C1a a C1b jsou mezi sebou řádově téměř srovnatelné, rozdíly výsledných hodnot jsou do $\pm 15 \%$.

Největší roční potřeba tepla na vytápění je u suterénu, který je částečně nad terénem. Suterén, který je celý pod úrovní terénu, má roční potřebu tepla na vytápění nejnižší. Dále roční potřeba tepla na vytápění klesá se zvětšující se tloušťkou tepelné izolace.

Grafické znázornění a porovnání výsledných hodnot potřeby tepla na vytápění je uvedeno v následujícím grafu. Jedná se o hodnoty z výpočtu s přírážkou na tepelné vazby.



Graf 14-9: Porovnání potřeby tepla na vytápění – vytápěný suterén

14.3.3 Částečně vytápěný suterén

Objekty s částečně vytápěným suterénem a jejich založení jsou řešeny v detailu 07_00 až 09_00. Roční potřeba tepla na vytápění byla stanovena pouze s použitím přírážky na tepelné vazby.

Součinitel prostupu tepla stanovený pro podlahu na terénu včetně vrstvy zeminy je stejný jako pro vytápěný suterén, podlaha je uvažována pouze v jedné variantě, v tloušťce 80 mm. Strop nad suterénem má tepelnou izolaci tl. 80 mm.

Potřeba tepla na vytápění stanovená s přírážkou na tepelné vazby $0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ pro jednotlivé typy výpočtů je uvedena v následující tabulce, včetně vyčísleného rozdílu oproti skutečnosti (dynamický výpočet A1).

Tabulka 14-36: Potřeba tepla na vytápění s přírážkou na tepelné vazby

označení detailu	Potřeba tepla vytápění za rok (tepelné vazby přírážkou 0,02 W/m ² .K) kWh					Rozdíl kWh			
	typ výpočtu					typ výpočtu			
	A1	C1a	C1b	D1	E1	A1-C1a	A1-C1b	A1-D1	A1-E1
07_00	105,2	123,3	81,9	81,9	81,9	-18,1	23,3	23,3	23,3
08_00	105,2	129,2	81,9	81,9	81,9	-24,0	23,2	23,2	23,2
09_00	104,0	134,4	83,1	83,1	83,1	-30,4	21,0	21,0	21,0

Výpočet C1a byl proveden pro částečně vytápěný suterén dle ČSN EN ISO 13370 [3], kde je tepelný tok stropní konstrukcí ovlivněn vlastnostmi obvodových konstrukcí suterénu a hloubkou suterénu pod terénem. Čím víc je suterén pod terénem (09_00 je celý pod terénem), tím je potřeba tepla na vytápění větší. V tomto typu výpočtu nelze nastavit vnitřní návrhovou teplotu suterénu, lze pouze uvažovat vytápěnou nebo nevytápěnou plochu suterénu a vzájemným poměrem ploch určit vytápění suterénu. Tím je do výpočtu vnesena nepřesnost.

Výpočet C1b a D1 a E1 je stejný, obálka budovy je zakončena stropní konstrukcí nad suterénem a činitel teplotní redukce odpovídající teplotnímu rozdílu je $b = (21 - 10) / (21 - (-15)) = 0,31$.

15 Závěry

Velmi důležitou součástí tepelnotechnických výpočtů je stanovení správných okrajových podmínek. Důležitým vstupním faktorem je především vnitřní a vnější prostředí a pro tato prostředí je nejdůležitějším parametrem převážně teplota. Nejedná se vždy pouze o teplotu vnějšího prostředí, ale prostředí, které přiléhá k zemině nebo k nevytápěným či jinak vytápěným prostorům.

Možnosti modelování teplot pod objektem jsou popsány v normě ČSN EN ISO 10211. Tato norma stanovuje podrobnosti pro geometrický model pro numerický výpočet tepelných toků ke zhodnocení celkové tepelné ztráty budov nebo její části a také pro odvození lineárních a bodových činitelů prostupu tepla; dále pro výpočet minimálních povrchových teplot ke zhodnocení rizika povrchové kondenzace a stanovení teplotních faktorů povrchu. Jedná se o dva odlišné výpočtové modely.

Na základě naměřených teplot v zemině byl vytvořen odpovídající dynamický výpočtový model zeminy do hloubky 15 m pod povrchem. Do tohoto modelu byla osazena budova, respektive část budovy, založení objektu. Založení objektu bylo uvažováno variantně pro různou hloubku a různé tloušťky tepelných izolací. Stejně založení objektu bylo řešeno i normovými výpočty a zjednodušeným odhadovaným výpočtem na základě skutečného průběhu teplot v zemině. Výpočty byly navzájem posouzeny, konkrétně byla posouzena minimální povrchová teplota pomocí teplotního faktoru vnitřního povrchu a tepelný tok pomocí potřeby tepla na vytápění hodnoceného výseku objektu.

Teplotní faktor blížící se co nejvíce skutečnosti (na straně bezpečí) vychází z výpočtového modelu E2. Tento výpočtový model uvažuje konstantní teplotu 10 °C v hloubce 2 m pod povrchem terénu. Z výpočtového modelu D2 vychází hodnoty o něco větší. Výpočtový model D2 uvažuje konstantní teplotu 8 °C v hloubce 2 m pod povrchem terénu.

Významný vliv na výpočet roční potřeby tepla na vytápění má přírážka na tepelné vazby. Při přesnějším výpočtu se stanoveným lineárním činitelem prostupu tepla vychází roční potřeba tepla na vytápění nižší než při výpočtu s přírážkou na tepelné vazby 0,02

$W/(m^2 \cdot K)$. Lineární činitel prostupu tepla vychází částečně i v záporných hodnotách, ve výpočtu byly uvažovány i tyto záporné hodnoty.

Pro hodnocení tepelných toků s použitím přírážky na tepelné vazby $0,02 W/(m^2 \cdot K)$ odpovídá skutečnosti převážně výpočtový model E1. Tento výpočtový model uvažuje konstantní teplotu $10\text{ }^\circ\text{C}$ v hloubce 2 m pod povrchem terénu.

Pro hodnocení tepelných toků s použitím stanoveného lineárního činitele prostupu tepla odpovídá skutečnosti částečně výpočtový model E1 a částečně výpočtový model D1, který uvažuje konstantní teplotu $8\text{ }^\circ\text{C}$ v hloubce 2 m pod povrchem terénu.

Stávající výpočtové postupy, ať již podle evropské normy nebo české normy, se snaží velmi složitě popsat reálné hodnoty. Přitom postupy nepostihují všechny možnosti, jsou velmi složitě, nepřehledné a nepřesné. Proto navrhuji zjednodušení, zpřesnění a zpřehlednění zadávání formou zjednodušení okrajových podmínek. Mnou navrhovaný postup, a sice v určité úrovni pod terénem vést izotermu, která bude považována za okrajovou podmínku, je jednoznačný, přehledný a jednoduchý. Vychází také z dlouhodobých zkušeností s "nezámraznou" hloubkou.

15.1 Doporučení pro technickou praxi

Doporučení pro technickou praxi, které vyplývá z této disertační práce, je zjednodušit výpočtové postupy při hodnocení přenosu tepla zeminou, a to zadáváním formou zjednodušení okrajových podmínek.

Okrajovou podmínku lze uvažovat v zemině v hloubce dva metry pod podlahou, případně v hloubce jednoho metru pod podlahou, pokud je podlaha více než jeden metr pod povrchem terénu.

Geometrie navrženého zjednodušeného výpočtového modelu je stejná pro výpočet tepelných toků ke zhodnocení celkové tepelné ztráty budov nebo její části a také pro odvození lineárních a bodových činitelů prostupu tepla; dále pro výpočet minimálních povrchových teplot ke zhodnocení rizika povrchové kondenzace a stanovení teplotních faktorů povrchu. Tyto dva výpočty se liší pouze v zadávaném odporu při přestupu tepla na vnitřním povrchu.

Součinitel prostupu tepla podlahy na terénu lze uvažovat včetně vrstvy zeminy v hloubce 2 m pod terénem, kde je uvažovaná okrajová podmínka.

Teplotu v zemině můžeme zohlednit dopočítaným činitelem teplotní redukce odpovídajícím teplotnímu rozdílu.

Při zjednodušeném výpočtu s přírážkou na tepelné vazby doporučuji používat výpočtový model, který uvažuje konstantní teplotu 10 °C 2 m pod terénem. Při hodnocení tepelných toků odpovídá skutečnosti tento výpočtový model. Při použití přírážky na tepelné vazby se výpočet více zjednoduší, nemusí se stanovovat lineární činitel prostupu tepla pro jednotlivé detaily, kde může vzniknout nepřesnost nevhodným stanovením lineárního činitele prostupu tepla, pokud jeho výpočet nebude vztažen ke stejným uvažovaným rozměrům či výpočtovému modelu atd.

15.2 Možnost dalšího výzkumu

Dynamický výpočtový model byl stanoven, aby odpovídal naměřeným teplotám v průběhu roku stanoveným z jednoho vrtu. Dále by bylo vhodné stanovit dynamickým výpočtem další výpočtové modely odpovídající teplotám naměřeným i z jiných vrtů, v jiných lokalitách České republiky mimo zastavěné území a také teplotám zjištěným z měření pod objekty pro porovnání zjištěných teplot pod objektem.

V České republice, kde je geologické podloží z hlediska tepelných toků do zeminy relativně konstantní, je potřeba zaměřit se spíše na vnější klimatické podmínky a vztáhnout teplotu, případně i hloubku uvažované okrajové podmínky v terénu, k vnějším klimatickým podmínkám.

Možností dalšího výzkumu je také zaměřit se více na podsklepené objekty, kde je uvažována různá vnitřní návrhová teplota a stanovení potřeby tepla na vytápění s podrobným stanovením lineárních činitelů prostupu tepla může být náročnější.

16 Seznam použitých zdrojů

- [1] ČSN 060210. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Český normalizační institut, 1994. 29 s. Třídící znak 06 0210.
- [2] ČSN 060210 ZMĚNA 1. *Výpočet tepelných ztrát budov při ústředním vytápění*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 2 s. Třídící znak 06 0210.
- [3] ČSN EN ISO 13370. *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 68 s. Třídící znak 73 0559.
- [4] PANOVEC, Vladan. Teplotní pole v zemině pod podlahou – teorie a skutečnost [online]. 2013, červenec [cit. 2019-09-20]. Dostupný z: <https://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/10182-teplotni-pole-v-zemine-pod-podlahou-teorie-a-skutecnost>.
- [5] JIRÁNEK, Martin a Zbyněk SVOBODA. Teplotní pole v zemině pod objekty. *Tepelná ochrana budov*, 2002, roč. 5, č. 6, s. 16–21. ISSN 1213-0907.
- [6] ČSN EN ISO 10211. *Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích – Tepelné toky a povrchové teploty – Podrobné výpočty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018. 72 s. Třídící znak 73 0551.
- [7] KACÁLEK, Petr. *Vliv teplotního pole zemin na stavební konstrukce: disertační práce*. Brno, 2011, 133 s. Disertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních staveb. Vedoucí disertační práce Ing. Věra Maceková, CSc.
- [8] HOROVÁ, Petra. Vliv okolní zástavby na prostup tepla zeminou. *Tepelná ochrana budov*, 2015, roč. 18, č. 6, s. 42–45. ISSN 1213-0907.
- [9] PANOVEC, Vladan a Jiří ŠÁLA. Problémy při stanovení prostupu tepla zeminou. *Tepelná ochrana budov*, 2011, roč. 14, č. 3. ISSN 1213-0907.
- [10] MALÍK, Zdenko a Pavel KOPECKÝ. Tepelná strata podlahou na zemině: redukcia 3D referenčného modelu na ekvivalentný 2D model. *Tepelná ochrana budov*, 2015, roč. 18, č. 5, s. 18–22. ISSN 1213-0907.

- [11] JANSSEN, Hans, Jan CARMELIET a Hugo HENS. The influence of soil moisture transfer on building heat loss via the ground. *Building and Environment* [online]. 2004, vol. 39, no. 7, pp. 825–836. [cit. 2019-09-18]. Dostupný z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360132304000228>. ISSN 0360-1323.
- [12] JANSSEN, Hans, Jan CARMELIET a Hugo HENS. The influence of soil moisture in the unsaturated zone on the heat loss from buildings via the ground. *Journal of Thermal Envelope and Building Science* [online]. 2002, vol. 25, no. 4, pp. 275–296. [cit. 2019-09-18]. Dostupný z: www.kuleuven.ac.be. ISSN 1097-1963.
- [13] ZIMOVÁ, Tereza. Vliv podlahového vytápění na prostup tepla zeminou. *Tepelná ochrana budov*, 2014, roč. 17, č. 1, s. 39–43. ISSN 1213-0907.
- [14] RAITROVÁ, Hana. Prostup tepla vytápěným suterénem a zeminou. *Tepelná ochrana budov*, 2015, roč. 18, č. 1, s. 13–17. ISSN 1213-0907.
- [15] SOUKUPOVÁ, Jana. *Atmosférické procesy (základy meteorologie a klimatologie)*. Vyd. 6. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012. 204 s. ISBN 978-80-213-2234-9.
- [16] KLABZUBA, Jiří. *Aplikovaná meteorologie a klimatologie – Bilance tepla na aktivním povrchu, teplota půdy, vzduchu a vody*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 45 s. ISBN 978-80-213-0778-0.
- [17] ČSN 730540-3. *Tepelná ochrana budov – Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 96 s. Třídící znak 73 0540.
- [18] KRÁLOVÁ, Helena a Zdeněk ZVĚŘINA. *Vodohospodářská meteorologie a klimatologie*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 152 s. ISBN 80-214-2338-2.
- [19] TOLASZ, Radim a kolektiv autorů. *Atlas podnebí Česka*. Praha: Český hydrometeorologický ústav a Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.
- [20] TOMÁŠEK, Milan. *Půdy České republiky*. Vyd. 4. Praha: Česká geologická služba, 2007. 68 s. ISBN 978-80-7075-688-1.

- [21] MACEKOVÁ, Věra a Milan VLČEK. *Zakládání staveb*. 2. dopl. vyd. Brno: ERA, 2006. 130 s. ISBN 80-7366-055-5.
- [22] WEIGLOVÁ, Kamila. *Mechanika zemin*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2007. 186 s. ISBN 978-80-7204-507-5.
- [23] LAMBOJ, Ladislav a Zdeněk ŠTĚPÁNEK. *Mechanika zemin a zakládání staveb*. Vyd. 1. Praha: Česká technika – nakladatelství ČVUT, 2008 dotisk. 218 s. ISBN 978-80-01-03094-3.
- [24] ŠIMEK, Jiří. *Mechanika zemin*. Vyd. 1. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1990. 387 s. ISBN 80-03-00428-4.
- [25] DANĚK, Lukáš. *Vliv prostředí na základové konstrukce, Řešení teplotního pole v základové půdě u nepodsklepených budov*. Brno, 2009, Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních staveb.
- [26] ŠUBRT, Roman a kolektiv autorů. *Katalog tepelných vazeb III – spodní stavba*. Isover, 2016. 102 s. ISBN 978-80-260-9519-4.
- [27] ČSN 730540-2. *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 56 s. Třídící znak 73 0540.
- [28] ČSN EN ISO 13788. *Tepelně-vlhkostní chování stavebních dílců a stavebních prvků – Vnitřní povrchová teplota pro vyloučení kritické povrchové vlhkosti a kondenzace uvnitř konstrukce – Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013. 56 s. Třídící znak 73 0544.
- [29] HALAHYJA, Martin a kolektiv autorů. *Stavebná tepelná technika, akustika a osvetlenie*. Vyd. 1. Bratislava: Alfa – vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry a Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1985. 752 s. ISBN 63-560-85.
- [30] HALAHYJA, Martin, Ivan CHMÚRNÝ a Zuzana STERNOVÁ. *Stavebná tepelná technika. Tepelná ochrana budov*. Vyd. 1. Bratislava: Jaga group, 1998. 253 s. ISBN 80-88905-04-4.
- [31] Geofyzikální ústav Akademie věd, v. v. i.
<https://www.ig.cas.cz/>

[32] Mapy

<http://www.google.cz/maps/>

[33] Výpočtový program Quickfield 5.6

http://www.quickfield.cz/pred_program.php

[34] Energie 2017

<http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>

17 Seznam příloh

- PŘÍLOHA P1: Profil vrtu
- PŘÍLOHA P2: Tabulka a graf naměřených teplot za 3 roky

PŘÍLOHA P1: Profil vrtu

útvár	stupeň	souvrství	sklon vrstev tekt. jevy	litologicky popis jádra	výnos jádra %
KVARTÉR	KVARTÉR	přemístěné eluvium navážka		hnědá jílovitá hlina s úlomky břidlic 3,5 m	90
		iořanské souvrství		rozpadavé, zvětralé slídnaté břidlice 9,6 m	60
				tmavošedý jíl - zvětralá břidlice 12,5 m	90
			45°	rozpadavá tmavošedá prachová břidlice 14,1 m	80
				rozpadavá tmavošedá prachová břidlice, v 16,2 a 17,1 světlé vápnité konkrece 18,6 m	50
			60 °	tmavošedá bioturbovaná prachová břidlice, uzlovitý povrch vrstevních ploch 20,1 m	60
			50° - 80°	šedé prachové břidlice, slídnaté na vrst. plochách mázdry org. hmoty uzlovité vrstevní plochy - bioturbace 25,0 m	70
				tmavošedé prachové břidlice, tekt. 26,0 m	80
			60° / Ca	tmavošedé jílovité prachovce, slídnaté světlejší vložky prachovců, žilky CaCO ₃ 30,0 m	90
				silně tektonizované tmavošedé prachové břidlice s plochými čočkami pelokarbonátů 33,8 m	80
			80°	šedé slídnaté prachové břidlice s uzovitými vrst. plochami (bioturbace) 35,8 m	80
				tektonizované černošedé slídnaté břidlice 37,9 m	60
				ztráta jádra rozvrtné jádro (tmavošedé břidlice)	<30
			45°	jílovité prachovce s vápnitými čočkami a zaválky, uzlovité vrstevní plochy (bioturbace) 51,4 m	80
			40° - 50°	tmavošedé slídnaté jílovité prachovce s hojnými fosiliemi, nezřetelně vrstevnaté níže bioturmované 59,1 m	100
			45°	tmavošedé slídnaté jílovité břidlice s nehojnými fosiliemi, hojně jsou bioturbace 64,8 m	100
			45°	šedé, silně bioturbované slídnaté břidlice s hojnými světlejšími "zaválky" (prachovité výplně bioturbací) 70,8 m	100
		70°	měkké tmavošedé slídnaté jílovité prachovce 72,8 m	100	
		80° - 90°	tmavošedé, dobře vrstevnaté prachové břidlice, slídnaté, bioturbované, s hojnými fosiliemi 77,5 m	100	

ORDOVIK	BEROU	Zah	40° - 50°	šedé slídnaté břidlice s uzovitými vrstevními plochami, silně bioturbované, fosilie vzácné 83,4 m	100	
			10° - 30°	šedé jemně slídnaté břidlice světlejší cca 3 cm mocné plochy silně bioturbované (s tmavšími chondrity) uprostřed intervalu břidlice zvrásněné	100	
			80° - 90°	níže cyklické opakování poloh s chondrity 90,0 m		
			70° - 90°	tmavošedé slídnaté břidlice, bioturbované, s uzovitými vrstevními plochami, vzácně ještě plochy s chondrity 94,0 m	100	
			50°	intenzivně bioturbované slídnaté prachové břidlice, světlejší výplně bioturbací 96,0 m	90	
				tektonicky porušené bioturbované slídnaté prachové břidlice 99,0 m	90	
			30° - 45°	tmavošedé bioturbované slídnaté břidlice s uzovitými vrstevními plochami níže polohy laminovaných slídnatých prachových břidlic 104,6 m	90	
				silně tektonizované tmavošedé břidlice 106,0 m	70	
			20° - 45°	tmavošedé bioturbované slídnaté břidlice, světlejší plochy s chondrity, mezi 106,2 a 106,6 vápnitá poloha s hojnými mechovkami, další fosilie vzácněji v celém intervalu 111,7 m	100	
				tektonizované tmavošedé břidlice s tektonicky porušenou polohou světlého laminovaného prachovce 114,5 m	80	
			0° - 10°	tmavošedé, vzácně laminované, jemně slídnaté břidlice s nerovnými vrstevními plochami (bioturbace) a s nehojnými fosiliemi níže několik světlých hrubě slídnatých lamin o mocnosti do 0,5 cm 125,9 m	80	
			Vinické souvrství	10° - 30°	tmavošedé až černošedé jemně slídnaté jílovité břidlice s četnými ohlasy (tektonizované) drobné pyritové konkrce níže několik světlejších slídnatých lamin 130,6 m	80
					dtto - silně tektonizované 133,0 m	70
		70° - 80°		černošedé jemně slídnaté jílovité břidlice, téměř bez bioturbací 139,1 m	90	
		70°		monotónní soubor černošedých jemně slídnatých břidlic s četnými tekt. ohlasy 150,0 m	90	

PŘÍLOHA P2: Tabulka a graf naměřených teplot za 3 roky

měsíc	naměřené hodnoty (°C)																					
	hloubka pod terémem (m)																					
	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	4	5	7,5	10	15	20	25	30	35	40
led.15	3,352	3,644	4,114	4,430	4,849	5,217	5,996	6,795	8,714	9,764	10,672	11,227	11,883	12,076	11,825	11,500	11,339	11,313	11,282	11,242	11,166	11,151
úno.15	1,979	2,242	2,688	3,010	3,429	3,789	4,556	5,288	7,269	8,420	9,474	10,172	11,130	11,601	11,792	11,565	11,363	11,316	11,282	11,243	11,167	11,151
bře.15	5,160	5,204	5,231	5,245	5,295	5,358	5,577	5,815	6,866	7,702	8,612	9,295	10,388	11,058	11,663	11,592	11,389	11,320	11,283	11,244	11,168	11,152
dub.15	8,681	8,643	8,514	8,376	8,191	8,052	7,835	7,673	7,757	8,073	8,571	9,010	9,889	10,568	11,462	11,572	11,415	11,328	11,284	11,245	11,169	11,153
kvě.15	14,027	13,801	13,370	13,073	12,691	12,397	11,782	11,195	10,067	9,633	9,467	9,471	9,837	10,317	11,247	11,512	11,437	11,338	11,287	11,247	11,170	11,154
čvn.15	16,529	16,269	15,850	15,536	15,144	14,839	14,163	13,480	12,058	11,331	10,790	10,466	10,278	10,408	11,087	11,427	11,449	11,348	11,290	11,249	11,171	11,155
čvc.15	20,138	19,728	19,199	18,733	18,197	17,766	16,818	15,859	13,930	12,903	12,081	11,531	10,942	10,758	11,035	11,350	11,451	11,359	11,294	11,239	11,161	11,144
srp.15	20,722	20,291	19,860	19,472	19,070	18,751	18,020	17,245	15,493	14,392	13,397	12,671	11,734	11,262	11,095	11,303	11,446	11,369	11,298	11,251	11,173	11,156
zář.15	15,527	15,779	16,086	16,210	16,336	16,417	16,438	16,295	15,625	14,949	14,188	13,528	12,498	11,833	11,249	11,311	11,436	11,375	11,303	11,253	11,174	11,158
říj.15	10,823	11,135	11,598	11,880	12,233	12,533	13,073	13,480	14,026	14,055	13,876	13,576	12,901	12,292	11,469	11,356	11,428	11,379	11,308	11,256	11,176	11,159
lis.15	8,264	8,592	9,107	9,422	9,818	10,148	10,783	11,306	12,269	12,672	12,927	12,975	12,812	12,461	11,688	11,436	11,425	11,381	11,312	11,258	11,177	11,160
pro.15	6,208	6,451	6,856	7,104	7,448	7,755	8,438	9,090	10,539	11,285	11,877	12,179	12,423	12,351	11,840	11,532	11,430	11,382	11,316	11,261	11,178	11,161
led.16	2,826	3,165	3,709	4,074	4,580	5,029	6,029	6,956	8,903	9,899	10,738	11,243	11,846	12,049	11,901	11,618	11,445	11,385	11,319	11,264	11,179	11,162
úno.16	4,552	4,731	5,001	5,160	5,384	5,572	6,053	6,526	7,852	8,745	9,650	10,281	11,178	11,633	11,863	11,672	11,465	11,388	11,322	11,266	11,181	11,163
bře.16	4,784	4,870	4,991	5,071	5,216	5,354	5,738	6,134	7,395	8,218	9,055	9,656	10,591	11,173	11,744	11,691	11,488	11,394	11,325	11,269	11,182	11,164
dub.16	9,620	9,549	9,398	9,266	9,104	8,963	8,710	8,473	8,339	8,537	8,952	9,345	10,144	10,759	11,570	11,670	11,511	11,402	11,329	11,271	11,182	11,165
kvě.16	13,856	13,551	13,001	12,624	12,215	11,900	11,318	10,799	9,979	9,724	9,685	9,744	10,108	10,542	11,383	11,616	11,529	11,411	11,333	11,273	11,184	11,167
čvn.16	18,108	17,787	17,252	16,821	16,337	15,935	15,066	14,191	12,420	11,558	10,957	10,624	10,454	10,598	11,242	11,541	11,539	11,421	11,337	11,276	11,185	11,168
čvc.16	19,398	19,100	18,685	18,316	17,918	17,588	16,837	16,031	14,261	13,239	12,380	11,796	11,146	10,936	11,190	11,470	11,540	11,431	11,342	11,278	11,187	11,169
srp.16	18,589	18,447	18,272	18,075	17,866	17,692	17,236	16,690	15,340	14,405	13,519	12,846	11,931	11,447	11,251	11,424	11,535	11,439	11,348	11,281	11,189	11,169
zář.16	17,100	17,105	17,151	17,121	17,080	17,042	16,836	16,502	15,543	14,819	14,091	13,492	12,572	11,964	11,404	11,432	11,526	11,445	11,353	11,284	11,191	11,170
říj.16	11,437	11,703	12,164	12,452	12,766	13,038	13,537	13,907	14,357	14,315	14,067	13,719	12,992	12,388	11,607	11,475	11,518	11,449	11,359	11,288	11,193	11,170
lis.16	6,646	7,064	7,761	8,201	8,707	9,140	9,996	10,741	12,127	12,699	13,049	13,128	12,954	12,585	11,814	11,549	11,516	11,451	11,364	11,291	11,194	11,172
pro.16	3,312	3,668	4,290	4,724	5,276	5,759	6,799	7,754	9,751	10,766	11,589	12,043	12,454	12,445	11,961	11,641	11,521	11,453	11,368	11,294	11,196	11,174
led.17	0,157	0,457	0,854	1,499	1,786	2,157	3,356	4,357	6,986	8,918	10,042	10,759	11,648	12,011	11,998	11,726	11,536	11,455	11,374	11,297	11,199	11,175
úno.17	0,497	0,826	1,307	1,698	1,879	2,086	2,852	3,811	5,886	7,780	8,611	9,525	10,587	11,254	11,917	11,772	11,556	11,459	11,378	11,300	11,201	11,177
bře.17	4,652	4,692	4,987	5,196	5,225	4,984	4,883	5,455	6,283	7,922	8,644	9,397	10,497	10,826	11,739	11,773	11,578	11,465	11,382	11,304	11,203	11,178
dub.17	9,675	9,453	9,030	8,744	8,652	8,551	8,380	8,222	8,351	8,862	9,252	9,686	10,306	10,650	11,490	11,725	11,598	11,473	11,386	11,306	11,204	11,179
kvě.17	14,661	14,304	13,640	13,176	12,661	12,265	11,531	10,864	9,778	9,417	9,321	9,359	9,723	10,207	11,263	11,637	11,612	11,483	11,391	11,309	11,206	11,181
čvn.17	18,914	18,583	18,061	17,592	17,060	16,612	15,636	14,630	12,600	11,570	10,831	10,414	10,172	10,325	11,108	11,526	11,616	11,492	11,396	11,312	11,208	11,182
čvc.17	19,598	19,331	18,954	18,600	18,199	17,922	17,198	16,398	14,549	13,415	12,433	11,756	10,992	10,747	11,061	11,437	11,610	11,500	11,402	11,315	11,210	11,183
srp.17	19,604	19,438	19,212	18,950	18,678	18,446	17,861	17,193	15,616	14,579	13,603	12,863	11,861	11,336	11,141	11,392	11,595	11,507	11,408	11,318	11,213	11,185
zář.17	14,714	14,900	15,159	15,295	15,440	15,564	15,701	15,686	15,289	14,769	14,127	13,535	12,566	11,913	11,316	11,398	11,578	11,510	11,413	11,322	11,215	11,186
říj.17	12,075	12,282	12,614	12,814	13,032	13,213	13,514	13,701	13,936	13,894	13,727	13,465	12,875	12,323	11,541	11,450	11,563	11,511	11,418	11,326	11,218	11,187
lis.17	5,862	6,127	6,854	7,451	7,685	7,890	8,709	9,596	10,807	11,743	11,984	12,005	11,992	12,169	11,750	11,530	11,555	11,511	11,423	11,329	11,220	11,188
pro.17	1,255	1,726	2,857	3,499	3,988	4,416	5,690	6,897	8,850	10,528	11,672	12,072	12,405	12,368	11,894	11,622	11,557	11,509	11,427	11,333	11,223	11,189

