



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

INSTITUTE OF BUILDING SERVICES

DYNAMIKA OTOPNÝCH PLOCH

DYNAMICS OF HEATING SURFACES BEHAVIOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Oravec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. ONDŘEJ ŠIKULA, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3608T001 Pozemní stavby
Pracoviště	Ústav technických zařízení budov

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Jakub Oravec
Název	Dynamika otopných ploch
Vedoucí práce	doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Jiří Hirš, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

ŠIKULA, O. Simulace provozních režimů otopných systémů s velkou akumulací. TZB- info, 2012, roč. 2012, č. 23, s. 1-3. ISSN: 1801- 4399.

ŠIKULA, O.; CHARVÁT, P.; ROZEHNAL, D. POROVNÁNÍ OTOPNÝCH PLOCH Z HLEDISKA SPOTŘEBY TEPLA NA VYTÁPĚNÍ. Plynár-vodár-kurenár + klimatizácia, 2017, roč. 2017, č. 4, s. 16-19. ISSN: 1335-9614.

ŠIMKO, M.; KRAJČÍK, M.; ŠIKULA, O.; ŠIMKO, P.; KALÚS, D. Insulation panels for active control of heat transfer in walls operated as space heating or as a thermal barrier: Numerical simulations and experiments. ENERGY AND BUILDINGS, 2018, roč. 158, č. Supplement C, s. 135-146. ISSN: 0378-7788.

ANSYS FLUENT Theory Guide, 2011. INC., ANSYS. ANSYS Help System: release 14.0 [online].

Canonsburg, USA: ANSYS, (1) [cit. 2017-02-20]. Dostupné

z: <https://support.ansys.com/portal/site/AnsysCustomerPortal>

Databáze vědeckých článků Scopus a Web of Science

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

A. Analýza tématu, cíle a metody řešení

Analýza zadaného tématu

Cíl práce, zvolené metody řešení

Aktuální technická řešení v praxi

Teoretické řešení (s využitím fyzikální podstaty dějů)

Řešení využívající výpočetní techniku a modelování

B. Aplikace tématu na zadaném případě

Návrh technického řešení ve variantách v zadané specializaci

Hodnocení navržených variant řešení

C. Algoritmizace, modelování, aplikace výpočetní techniky

Teoretické řešení problému, aplikace software pro modelování fyzikálních dějů.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).

2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práca je zameraná na výskum dynamiky tepelného chovania vybraných vykurovacích plôch teplovodného systému vykurovania. Cieľom práce je stanoviť dynamiku náhrevu a chladnutia a stanoviť vplyv týchto charakteristík na výslednú energetickú náročnosť zvolenej miestnosti. Projektová časť sa venuje návrhu technického riešenia vykurovania bytového domu v troch variantoch. Pre navrhnuté varianty je vypracovaná energetická simulácia porovnávajúca spotrebu tepelnej energie počas jedného roku. V ďalšej simulácii je skúmaná dynamika vybraných veľkoplošných vykurovacích plôch. Pre každú konštrukciu boli vytvorené nestacionárne modely náhrevu a chladnutia konštrukcie, ktoré sú porovnávané z hľadiska zotrvačnosti nábehu.

KLÍČOVÁ SLOVA

dynamika otopných plov, vytápění, simulace, tepelná setrvačnost, nestacionární model, numerické modelování, konvektor, podlahové vytápění, otopné těleso, TRNSYS, CalA, spotřeba tepla, velkoplošné otopné plochy, stěnové vytápění, kondenzační kotel

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the research of dynamics of selected heating surfaces behavior. The aim of the thesis is to determine the dynamics of heating and cooling and to determine the effect of these characteristics on energy consumption of the building. The project part deals with the design of a heating solution for a residential building in three variants. An Energetic simulation is made for the designed variants, that compares the consumption of thermal energy during one year. The next simulation research the dynamics of selected large-scale heating surfaces. For each construction, nonstationary models of heating up and cooling were made, which are compared in terms of the thermal inertia.

KEYWORDS

dynamics of heating surfaces, heating, simulation, thermal inertia, nonstationary model, numerical modeling, convector, underfloor heating, radiator, TRNSYS, CalA, energy consumption, large-scale heating surfaces, wall heating, condensing boiler

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Jakub Oravec *Dynamika otopných ploch*. Brno, 2019. 111 s., 63 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technických zařízení budov. Vedoucí práce doc. Ing. Ondřej Šíkula, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Dynamika otopných ploch* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Jakub Oravec
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Dynamika otopných ploch* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 9. 1. 2019

Bc. Jakub Oravec
autor práce

POĎAKOVANIE

Ďakujem vedúcemu diplomovej práce doc. Ing. Ondřeji Šikulovi, Ph.D. za odborné vedenie, cenné rady a čas venovaný v priebehu spracovania práce. Ďalej ďakujem celej svojej rodine za ich podporu počas celého štúdia. V neposlednom rade ďakujem kolegom Bc. Ondřeji Malovanému a Bc. Karlovi Běťákovi za časté konzultácie technických problémov.

OBSAH

ÚVOD	11
A. TEORETICKÁ ČASŤ.....	12
A.1 VYKUROVACIE PLOCHY A TEPELNÁ POHODA	13
A.1.1 TEPELNÁ POHODA	13
A.1.2 VEĽKOPLOŠNÉ VYKUROVACIE PLOCHY	14
A.1.2.1 PODLAHOVÉ VYKUROVANIE	15
A.1.2.2 TEPELNÁ ZOTRVAČNOSŤ	17
A.1.2.3 SAMOREGULAČNÁ SCHOPNOSŤ	18
A.1.3 VYKUROVACIE TELESÁ	19
A.1.3.1 TEPLTNÉ PROFILY	21
A.1.3.2 VPLYV SÁLAVEJ ZLOŽKY.....	21
A.2 DYNAMIKA VYKUROVACÍCH PLÔCH	22
A.2.1 ZÁKLADNÉ SPÔSOBY REGULÁCIE.....	22
A.2.2 REGULÁCIA VYKUROVACÍCH TELIES	24
A.2.3 DYNAMICKÉ VLASTNOSTI VYKUROVACÍCH PLÔCH	27
A.2.4 TEORETICKÉ RIEŠENIE DYNAMIKY VYKUROVACIEHO TELESA	30
A.2.5 TEORETICKÉ RIEŠENIE DYNAMIKY VEĽKOPLOŠNÝCH VYKUROVACÍCH PLÔCH	32
A.3 TECHNICKÉ RIEŠENIA V PRAXI.....	33
A.3.1 EXPERIMENTÁLNE MERANIE ZOTRVAČNOSTI CHLADNUTIA A NÁBEHU VYKUROVACÍCH PLÔCH.....	33
A.3.2 SIMULÁCIA VEĽKOPLOŠNÝCH VYKUROVACÍCH PLÔCH	35
A.3.3 POROVNANIE VYKUROVACÍCH PLÔCH Z HĽADISKA SPOTREBY TEPLA	37
B. PROJEKTOVÁ ČASŤ	40
B.1 ANALÝZA OBJEKTU	41
B.2 KONCEPCIA VYKUROVANIA	41
B.3 TEPELNÝ VÝKON	42
B.3.1 SÚČINITEĽ PRESTUPU TEPLA	42
B.3.2 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU.....	42
B.4 NÁVRH VYKUROVACÍCH PLÔCH	45
B.4.1 VARIANTA 1.....	45
B.4.2 VARIANTA 2.....	47
B.4.3 VARIANTA 3.....	50
B.5 NÁVRH POTREBY TV	53
B.6 NÁVRH ZDROJA TEPLA	55
B.7 DIMENZOVANIE POTRUBÍ.....	55
B.9 KOMPENZÁCIA DĹŽKOVÝCH ZMIEN.....	58
B.10 NÁVRH IZOLÁCIÍ POTRUBIA.....	58
B.11 NÁVRH ČERPADIEL	59
B.12 NÁVRH ZABEZPEČOVACÍCH ZARIADENÍ.....	62
B.13 NÁVRH OSTATNÝCH ZARIADENÍ KOTOLNE.....	63

B.14 ODVOD SPALÍN A PRÍVOD SPAĽOVACIEHO VZDUCHU	64
B.15 ROČNÁ POTREBA TEPLA PRE VYKUROVANIE A OHREV TEPLEJ VODY	64
B.16 HODNOTENIE NAVRHNUTÝCH VARIANT	65
C. EXPERIMENTÁLNA ČASŤ.....	67
C.1 ENERGETICKÁ SIMULÁCIA VYKUROVACÍCH PLÔCH	68
C.1.1 TRNSYS.....	68
C.1.2 ZÁKLADNÝ MODEL.....	68
C.1.3 PREHĽAD ZADANÝCH PARAMETROV MIESTNOSTI.....	70
C.1.4 ZADANIE VYKUROVACIEHO TELESA	73
C.1.5 VÝSLEDKY SIMULÁCIE	75
C.1.6 VYHODNOTENIE SIMULÁCIE.....	78
C.2 SIMULÁCIA DYNAMIKY VEĽKOPLOŠNÝCH VYKUROVACÍCH PLÔCH	81
C.2.1 PROGRAM CALA	81
C.2.2 PREDPOKLADY NÁVRHU.....	82
C.2.3 RIEŠENÉ PRÍPADY	83
C.2.3.1 PODLAHOVÝ SYSTÉM	84
C.2.3.2 PODLAHOVÝ SYSTÉM S TEPLONOSNÝM PLECHOM.....	87
C.2.3.3 STENOVÝ SYSTÉM.....	90
C.2.3.4 STENOVÝ SYSTÉM ZO SDK DOSIEK	93
C.2.3.5 AKTIVÁCIA BETÓNOVÉHO JADRA.....	96
C.2.4 VYHODNOTENIE SIMULÁCIE.....	99
ZÁVER.....	102
POUŽITÉ ZDROJE	103
ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV	106
ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK	108
ZOZNAM PRÍLOH	111

ÚVOD

Táto diplomová práca sa zaoberá výskumom dynamiky tepelného chovania vybraných vykurovacích plôch teplovodného systému vykurovania. Cieľom práce je stanoviť dynamiku náhrevu a chladnutia a stanoviť vplyv týchto charakteristík na výslednú energetickú náročnosť zvolenej miestnosti alebo budovy.

Teoretická časť sa zaoberá popisom základných parametrov, pomocou ktorých hodnotíme dynamické chovanie vykurovacích plôch vrátane teoretického popisu ich fyzikálnej podstaty. Zároveň sú tu rozobrané bežne používané vykurovacie plochy, ich základné charakteristiky a ich vplyv na tepelnú pohodu miestnosti. Na záver sa venujem prehľadu aktuálnych technických riešení, ktoré využívajú experimentálne merania a počítačové modelovanie pri praktickom riešení dynamiky vykurovacích plôch.

Projektová časť sa venuje návrhu technického riešenia vykurovania zadaného bytového domu v troch variantách. V tejto časti bol riešený celkový návrh koncepčného riešenia, výpočet tepelného výkonu, návrh a dimenzovanie vykurovacích plôch a potrubí, návrh prípravy teplej vody a návrh kotla spolu s ostatnými potrebnými zariadeniami. Na záver bolo spracované hodnotenie navrhnutých variant z ekonomického hľadiska.

V poslednej experimentálnej časti sú vypracované dve počítačové simulácie posudzujúce vykurovacie plochy z hľadiska dynamiky tepelného chovania. Cieľom prvej simulácie bolo porovnanie jednotlivých variant vykurovacích systémov z hľadiska spotreby energie a ich dynamického chovania. Simuláciou bola zisťovaná spotreba tepla na vykurovanie zvolenej typickej miestnosti budovy pre ktorú boli navrhnuté vykurovacie systémy v projektovej časti tejto diplomovej práce. Počítačový model bol spracovaný v programe TRNSYS. Druhá simulácia je zameraná na výskum dynamiky tepelného chovania vybraných vykurovacích plôch teplovodného systému vykurovania. Dynamické chovanie bolo simulované pre systémy podlahového, stenového a stropného vykurovania. Cieľom je stanoviť dynamiku ohrevu jednotlivých veľkoplošných vykurovacích plôch a stanoviť vplyv týchto charakteristík na výsledné energetické chovanie zvolenej miestnosti. Na riešenie bol zvolený software CalA, v ktorom boli vytvorené numerické modely vybraných stavebných konštrukcií.



ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁZOV DIPLOMOVEJ PRÁCE

DYNAMIKA OTOPNÝCH PLOCH

A. TEORETICKÁ ČASŤ

A.1 Vykurovacie plochy a tepelná pohoda

A.1.1 Tepelná pohoda

Vykurovacie plochy odovzdávajú do priestoru teplo z vykurovacieho média, ktoré je pripravované centrálné v zdroji tepla. Hlavným cieľom pri navrhovaní vykurovacích sústav je dosiahnutie tepelnej pohody v riešenom priestore. Úlohou vykurovacích plôch je dodať do vykurovaného priestoru práve také množstvo tepla aby v ňom bola dosiahnutá tepelná pohoda. Je nutné dosiahnuť taký stav, kedy človek nepociťuje chlad a ani nadmerné teplo. Za akceptovateľný je považovaný stav, kedy je percento nespokojných užívateľov menšie ako 15%.

Veličiny, ktoré majú vplyv na dosiahnutie tepelného komfortu sú:

- Faktory osoby
 - činnosť q_m [W/m²]
 - tepelný odpor oblečenia R_{cl} [m².K/W]
- Faktory interiérového prostredia
 - teplota vnútorného vzduchu t_i [°C]
 - priemerná sálavá teplota t_u [°C]
 - rýchlosť prúdenia vnútorného vzduchu v_i [m/s]
 - tlak vodnej pary vnútorného vzduchu [Pa]

Teplota vzduchu v miestnosti závisí hlavne na účele daného priestoru. V našich podmienkach sa pohybuje v rozmedzí 18-22 °C. Smer a rýchlosť prúdenia závisia hlavne na polohe ochladzovaných plôch a na umiestnení vykurovacích plôch. Ideálne je umiestnenie vykurovacej plochy u ochladzovanej plochy, čím zabraňujeme chladným padajúcim konvekčným prúdom vo vytváraní oblastí lokálnej tepelnej nepohody. Tieto veličiny je možné ovplyvniť druhom, veľkosťou a spôsobom inštalácie vykurovacej plochy. Teplo je medzi vykurovacou plochou a miestnosťou na strane vzduchu zdieľané radiáciou (sálaním) a konvekciou (prúdením). Toto zdieľanie sa deje v rôznych pomeroch jednotlivých zložiek [1].

Základné delenie vykurovacích plôch podľa spôsobu zdieľania tepelnej energie je nasledovné:

- Prevažne konvekčné vykurovacie plochy
 - článkové
 - doskové
 - trubkové
 - konvektory
- Prevažne sálavé vykurovacie plochy
 - podlahové
 - stenové
 - stropné

Pomer medzi týmito dvoma veličinami je ovplyvnený hlavne druhom a typom vykurovacej plochy. Ovplyvňujeme tak spôsob prúdenia vzduchu okolo vykurovacej plochy a jeho zložku

prirodzenej konvekcie. Celkový tepelný výkon vykurovacej plochy je rovný súčtu tepelného toku zdieľaného konvekciou a tepelného toku zdieľaného sálaním:

$$Q_c = Q_s + Q_k$$

Usporiadanie teplovýmennej plochy na strane vzduchu ovplyvňuje tepelný výkon zdieľaný sálaním, ktorý je závislý na pomere priemetnej čelnej plochy telesa a jeho konvekčných plôch [2].

A.1.2 Veľkoplošné vykurovacie plochy

Umožňujú zdieľanie tepla do vykurovaného priestoru prevažne sálaním. Sálajúce plochy ohrievajú osálané plochy a až od nich sa ohrieva okolitý vzduch, čo predstavuje konvekčnú zložku zdieľania tepla. Vnútorne povrchové plochy stavebných konštrukcií dosahujú vyššiu teplotu ako je teplota vzduchu. Samotné sálanie je fyzikálny proces, pri ktorom látka emituje do priestoru energiu vo forme elektromagnetického žiarenia. Elektromagnetické vlny, ktoré vysiela povrch ohriatych tuhých telies majú vlnové dĺžky na úrovni 0,78 – 400 μm, a patria do oblasti spektra infračerveného žiarenia šíriaceho sa rýchlosťou svetla. Na rozdiel od prenosu tepla vedením alebo prúdením je pomocou možné sálanie prenášať teplo aj bez sprostredkovania prenosu látkovým prostredím. Každá látka s teplotou vyššou ako je absolútna nula vyžaruje tepelné žiarenie [3] [4]. Sálavé vykurovanie delíme na:

- Veľkoplošné
- Celkové vykurovanie závesnými sálavými panelmi
- Individuálne vykurovanie blízkyimi doskami (sálavé panely)
- Vykurovanie infračervenými žiaričmi

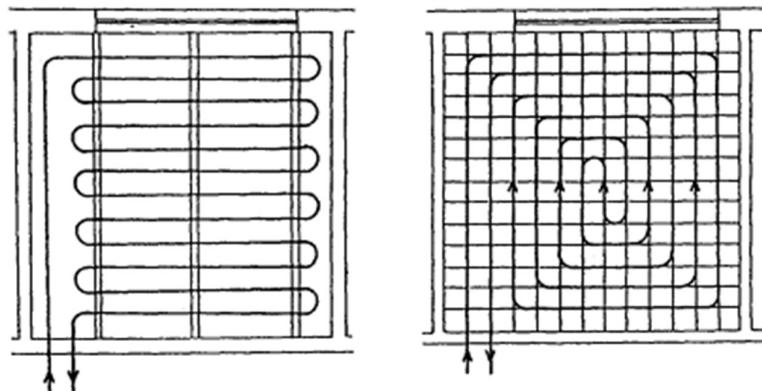
Medzi jeden z najvyužívanějších sálavých spôsobov vykurovania v súčasnosti patrí veľkoplošné vykurovanie. V tomto prípade je sálavá plocha najčastejšie súčasťou stavebnej konštrukcie, buď ako jej neoddeliteľná časť, alebo ako samostatná plocha. Od toho je závislá povrchová teplota plochy a merný výkon. Tieto veličiny dosahujú u systémov zabudovaných do stavebných konštrukcií nižších hodnôt. Vykurovacia plocha je spravidla tvorená jednou z obvodových ohraničujúcich konštrukcií - podlaha, stena, strop. Podľa spôsobu montáže delíme veľkoplošné vykurovacie plochy na:

- Prevedené suchým spôsobom
- Prevedené mokrým spôsobom

U suchého spôsobu je potrubie uložené do izolačnej vrstvy pod roznášaciu vrstvou najčastejšie tvorenou plávajúcimi sádrovláknitými alebo cementovláknitými doskami. Vďaka absencii mokrého procesu je možná prevádzka systému takmer ihneď po inštalácii. Naopak u mokrého spôsobu kladenia je potrubie zaliate priamo v betónovej mazanine (prípadne v omietke u stenového vykurovania) nad teploizolačnou vrstvou. V praxi sú najpoužívanější dva spôsoby tvarovania potrubia:

- Meandrový spôsob
- Plošná špirála

U kladenia do tvaru plošnej špirály je rozloženie povrchových teplôt po celej vykurovacej ploche rovnomerné. U meandrového uloženia klesá povrchová teplota podlahy smerom od obvodovej konštrukcie. U oboch spôsobov je možné využiť zhustenie okrajovej zóny, čo znižuje negatívne pôsobenie ochladzovaných stien na tepelnú pohodu.



Obr. A. 1: Meandrový spôsob kladenia (vľavo) a kladenie do tvaru plošnej špirály (vpravo) [5]

Podiel tepelného toku zdieľaného sálaním je u stropného vykurovania približne 80%, u stenového 65% a u podlahového 55%. Veľkoplošné vykurovacie sústavy môžu byť zahrievané:

- Vodou
- Vzduchom
- Elektricky

Momentálne je najpoužívanejším teplotnosným médiom voda, vhodné je hlavne využívanie nízko-teplotných vykurovacích sústav [4]. V ďalších častiach tejto práce sa budem zaoberať práve s teplovodnými systémami vykurovania.

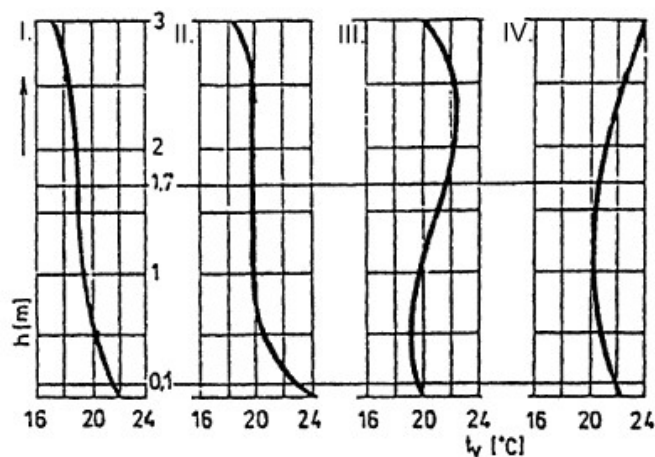
A.1.2.1 Podlahové vykurovanie

Vďaka takmer vyrovnanému podielu prenosu tepla sálaním a prúdením sú v tomto systéme využívané výhody oboch systémov transferu. Potrubie je súčasťou podlahovej konštrukcie, takmer vždy pod celou plochou podlahy. Maximálna povrchová teplota a tým pádom aj tepelný tok sú obmedzené hygienickými požiadavkami. To pozitívne ovplyvňuje rovnomernosť prenosu tepla a pomáha vytvoriť teplotne homogénne prostredie v horizontálnom a vertikálnom smere. Teplota vykurovacej vody býva spravidla nižšia ako 50 °C, využívame teda všetky výhody nízko-teplotného vykurovania, ako je zabezpečenie úspor tepelnej energie a využitie nízko potencionálnych zdrojov energie [6].

Podlahový materiál	Optimální povrchová teplota podlahy		Doporučené rozmezí povrchové teploty podlahy t_p (°C)
	1. min	10. min	
Textilie	21	24,5	21,0 až 28,0
Korek	24	26	23,0 až 28,0
Dřevo - borovice	25	26	22,5 až 28,0
Dřevo - dub	26	26	24,5 až 28,0
PVC na betonu	28	27	25,5 až 28,0
Linoleum na dřevě	28	26	24,0 až 28,0
Plynobeton	29	27	26,0 až 28,5
Betonová mazanina	28,5	27	26,0 až 28,5

Tab. A. 1: Optimálne povrchové teploty podlahy užíwanej bez obuvi [7]

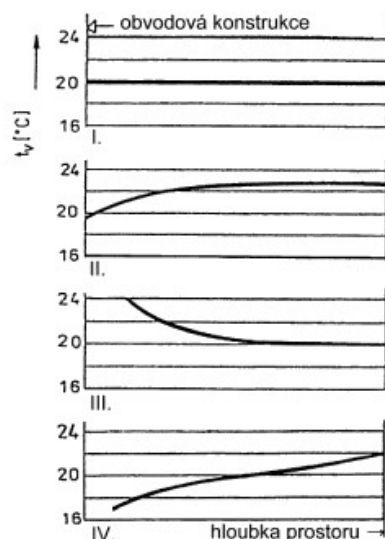
Vertikálne rozloženie teplôt sa u podlahového vykurovania blíži k ideálnym hodnotám. Obecne vznikajú vertikálne nerovnomernosti nepravidelným prívodom tepla a nerovnomerným ochladzovaním jednotlivých stavebných konštrukcií. U podlahového vykurovania je povrchová teplota najnižšia z bežne používaných systémov a zároveň pomerne pravidelne rozložená, tým pádom sa vertikálne rozloženie teplôt približuje k ideálnym hodnotám. Teplota v úrovni hlavy je bežne o 2 – 3 °C vyššia než v oblasti členkov a postupne klesá smerom nahor od zóny pobytu.



Obr. A. 2: Vertikálny priebeh teploty vzduchu vo vykurovanej miestnosti [4]

Ideálny vertikálny priebeh teplôt predstavuje stav, kedy je teplota v úrovni hlavy stojaceho človeka min o 2 °C nižšia než v úrovni členku (I.). Z uvedených grafov vyplýva že podlahové vykurovanie (II.) sa k tomuto ideálnemu rozloženiu najviac približuje, v porovnaní s článkovým telesom (II.) a stropným vykurovaním. Horizontálne rozloženie teplôt je obecne závislé na umiestnení vykurovacej plochy v smere od obvodovej ochladzovanej konštrukcie. V prípade že je podlahové vykurovanie umiestnené v celej ploche miestnosti, bude horizontálne rozloženie

teplôt takmer rovnomerné. Problémy vznikajú u ochladzovaných konštrukcií, kde vzniká oblasť teplotného diskomfortu. Tento problém je možné riešiť zmenšením rozstupov medzi potrubím – okrajovou zónou.



Obr. A. 3: Horizontálne rozloženie teplôt v miestnosti [4]

Na obrázku môžeme vidieť ideálny horizontálny priebeh teploty v miestnosti (I.) a priebeh teplôt pri podlahovom vykurovaní (II.), vykurovaní článkovým telesom (III.) a stropnom vykurovaní (IV.) [6].

A.1.2.2 Tepelná zotrvačnosť

Veľkoplošné vykurovanie má výrazne vyššiu akumuláciu schopnosť v porovnaní s ostatnými bežne používanými systémami. Je to zapríčinené celkovou skladbou vykurovacej plochy, využívaním materiálov s vyššou tepelnou kapacitou (napr. betón) a veľkou vykurovacou plochou. V dôsledku toho sa regulačné zásahy prejavujú na zmene tepelného výkonu s oneskorením rádovo v hodinách. Regulovateľnosť sústavy závisí na pomere doby oneskorenia a doby nábehu. Práve kvôli tomu, že tento pomer je veľký, býva regulovateľnosť u veľkoplošného vykurovania náročná. Doba oneskorenia sa pohybuje od 0,5 do 2 hodín. Lepšie tepelnú zotrvačnosť znázorňuje pomer naakumulovaného tepla vo vykurovacej ploche Q_a [W.h] k tepelnému výkonu vykurovacej plochy Q [W]

$$\tau = \frac{Q_a}{Q}$$

Tepelná zotrvačnosť τ [h] je mierou rýchlosti odozvy vykurovacieho systému a je definovaná ako pomer množstva tepla naakumulovaného vo vykurovacích plochách k hodinovému tepelnému výkonu.

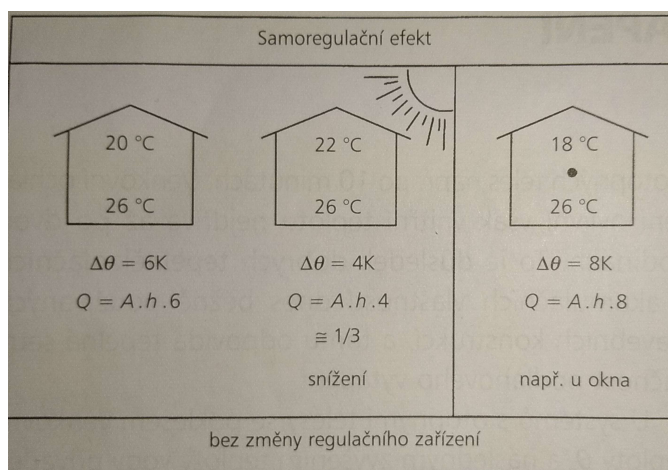
Druh vytápění	Podlahové vytápění (mokrý systém) (h)	Podlahové vytápění (suchý systém) (h)	Radiátorové vytápění (h)	Konvektorové vytápění (h)
Q_s/Q_h	8 až 4 h	6 až 3 h	0,8 až 0,4 h	0,3 až 0,1 h

Obr. A. 4: Tepelná zotrvačnost u různých vykurovacích systémov [6]

Pri poklese vonkajšej teploty, ktorú zaznamenávame snímačom, je reguláciou zvýšená teplota prírodnej vody do sústavy. To spôsobí zvýšenie povrchovej teploty vykurovacej plochy. U veľkoplošných vykurovacích sústav toto zvýšenie zaznamenávame rádovo v hodinách, naopak u systémov s nízkou tepelnou zotrvačnosťou (napr. konvektory) ho zaznamenávame rádovo v minútach. Vonkajšie ochladenie sa na vnútornej teplote neprejaví ihneď, a je tak isto závislé na tepelnoizolačnej a akumuláčnej schopnosti ochladzovaných stien. Vďaka tomu sa u tohto systému blížíme k ideálnemu teplotnému režimu. Je ale dosiahnuteľný len v objektoch s podobnou akumulátnou schopnosťou podlahového vykurovania a obvodových konštrukcií. V opačnom prípade sa tento efekt stráca, prípadne sa stáva nežiadúcim. U systémov s vykurovacími telesami dochádza k prehrievaniu miestnosti, pretože zmena vonkajšej teploty ešte neovplyvnila vnútornú teplotu. Je to teda opak stavu pri tepelnej zotrvačnosti podlahového vykurovania [6].

A.1.2.3 Samoregulačná schopnosť

Samoregulačný efekt je jav, kedy so stúpajúcou priestorovou teplotou klesá rozdiel medzi povrchovou teplotou podlahy a priestorovou teplotou a tým aj tepelný tok do miestnosti. Pri klesajúcej teplote interiéru je to presne naopak a tepelný tok do miestnosti a tým aj celkový výkon podlahového vykurovania sa zvyšuje. Toto zvýšenie výkonu je ešte posilnené zvyšujúcim sa súčiniteľom prestupu tepla vďaka zvýšenému pohybu vzduchu. Prenos tepla u veľkoplošných vykurovacích systémov je teda výrazne ovplyvnený samoregulačným efektom.



Obr. A. 5: Samoregulačný efekt u podlahového vykurovania [6]

U Teplovodného veľkoplošného vykurovania sa samoregulačný efekt výrazne prejavuje vďaka oveľa nižšiemu rozdielu medzi povrchovou teplotou vykurovacej plochy a teplotou vzduchu v interiéri. Napríklad u podlahového teplovodného vykurovania býva tento rozdiel bežne v hodnote 4 – 10 K, naopak pri využití vykurovacích telies sa bežne pohybuje medzi 20 – 50 K.

Problémom je, že samoregulačný efekt pôsobí len v čase, kedy je teplota interiéru ovplyvňovaná pôsobením tepla z cudzieho zdroja (napr. vplyv slnečnej radiácie). Pre využitie podlahového vykurovania s čo najvyššou efektívnosťou je nutná automatická regulácia.

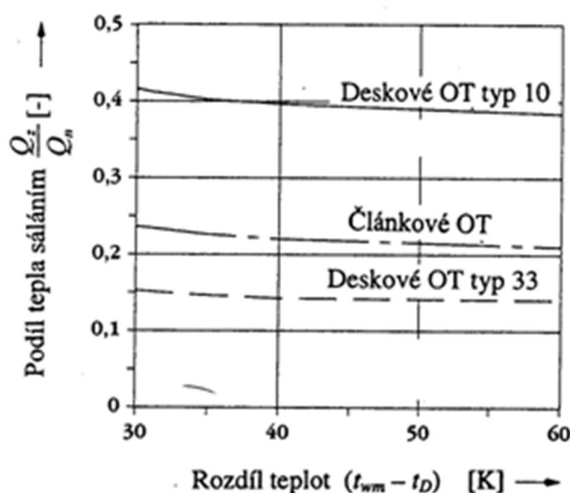
Tepelný výkon vykurovacej plochy je daný vzťahom:

$$Q = U \cdot A_p \cdot (t_p - t_i)$$

Ak sú súčiniteľ prechodu tepla U [W/(m.K)] a plocha veľkoplošného vykurovania A_p [m²] konštantné, závisí výkon sústavy na rozdieli povrchovej teploty podlahy a teploty interiéru. Ak tento rozdiel zvyšujeme, zvyšuje sa aj výkon podlahového vykurovania. Naopak ak sa tento rozdiel znižuje, znižuje sa aj výkon veľkoplošného vykurovania [6].

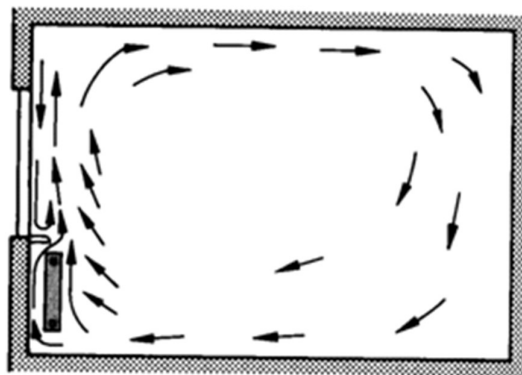
A.1.3 Vykurovacie telesá

Sprostredkujú prenos tepla z teplotnej látky do okolitého prostredia. Vykurovacie telesá zdieľajú teplo do priestoru prevažne prúdením. Ohrievajú hlavne vzduch v miestnosti, ktorý pri prirodzenom prúdení v miestnosti odovzdáva teplo ostatným plochám. Tepelný výkon je závislý na usporiadaní teplovýmennej plochy na strane vzduchu. Sálavá zložka tepelného výkonu je závislá na pomere priemetnej čelnej plochy telesa smerom do priestoru a konvekčných plôch. Sálavá zložka sa priaznivo prejavuje na tepelnej pohode miestnosti, pretože rozdiel medzi teplotou vzduchu a účinnou teplotou okolitých plôch klesá. [2].



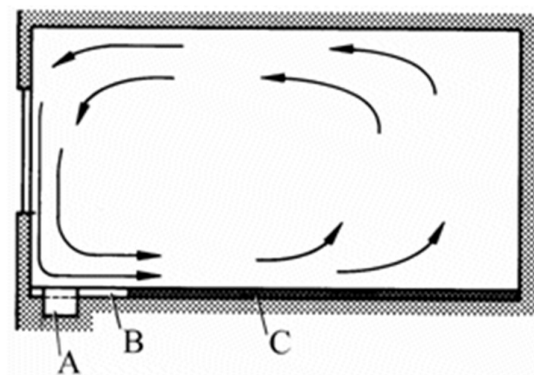
Obr. A. 6: Podiel tepla zdieľaného sálaním v závislosti na rozdieli teplôt [2]

Na obrázku môžeme vidieť že podiel tepelného výkonu telesa sálaním nezávisí na rozdieli teplôt medzi prírodnou a spätočnou vodou a je takmer konštantný. Obecne sa vykurovacie telesá umiestňujú do najviac ochladzovaných miest vykurovaného priestoru. Najochladzovanejšou plochou býva väčšinou okno, ideálne je teda umiestnenie pod oknom. Teleso umiestnené pod oknom u ochladzovanej steny zabraňuje chladným padajúcim prúdom dostať sa až k podlahe a vytvoriť oblasť lokálnej tepelnej nepohody. Teplé konvekčné prúdy od telesa stúpajú nahor, kde narážajú na chladné padajúce prúdy. S chladnými prúdmi sa zmiešavajú, obracajú ich a ďalej preplachujú celý vykurovaný priestor.

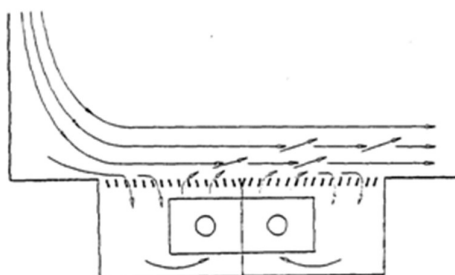


Obr. A. 7: Prúdenie vzduchu v miestnosti s vykurovacím telesom - priečny rez

Ak je vykurovacia plocha integrovaná do jednej z vnútorných stien (napr. podlahový konvektor), nič nebráni chladným prúdom padať až do oblasti podlahy s rýchlosťami dosahujúcimi až $0,3 - 0,5 \text{ m/s}$. Vzduch sa ohrieva a stúpa nahor až ďalej v miestnosti, kde ďalej prúdi a stúpa smerom ku stropu, až kým sa znova dostane k ochladzovanej konštrukcii. Podlahové konvektory s prirodzeným predávaním tepla nemajú dostatočný výkon na to, aby úplne obrátili tento prúd ako v prípade využitia vykurovacích telies umiestnených na ochladzovanej stene. Tento problém môže vyriešiť použitie konvektoru s núteným predávaním tepla [2].



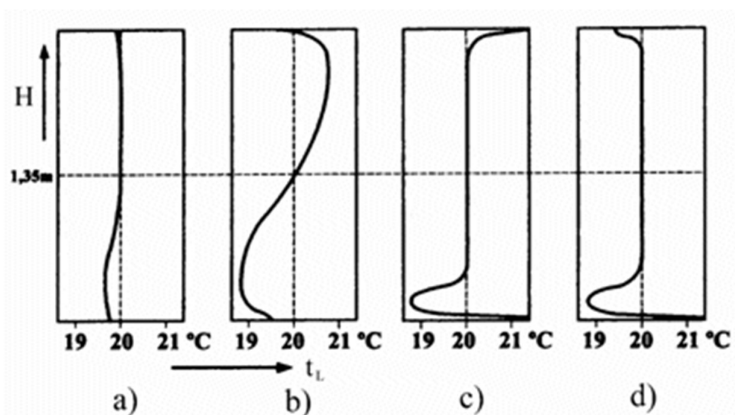
Obr. A. 8: Prúdenie vzduchu v miestnosti s podlahovým vykurovacím telesom - priečny rez [2]



Obr. A. 9: Prúdenie nad podlahovým konvektorom [2]

A.1.3.1 Teplotné profily

Ak je vykurovacie teleso inštalované pod oknom obvodovej konštrukcie, záleží celkový teplotný profil miestnosti na strednej teplote vykurovacej plochy telesa.



Obr. A. 10: Príklady teplotných profilov po výške miestnosti pri rôznych spôsoboch vykurovania [2]

Graf „a“ zobrazuje rozloženie teplôt po výške miestnosti pri použití vykurovacieho telesa so strednou teplotou vykurovacej vody $t_{wm}=57,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Graf „b“ zobrazuje použitie krátkeho telesa s $t_{wm}=80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Graf „c“ potom zobrazuje teplotný profil pri využití podlahového vykurovania a graf „d“ použitie stenového vykurovania. Najoptimálnejší teplotný profil obecné dostávame ak je teleso čo najdlhšie (minimálne šírka okna) a je správne zvolená stredná teplota vykurovacej vody (graf „a“). V ostatných prípadoch vzniká výrazná oblasť tepelného diskomfortu pri podlahe miestnosti [2].

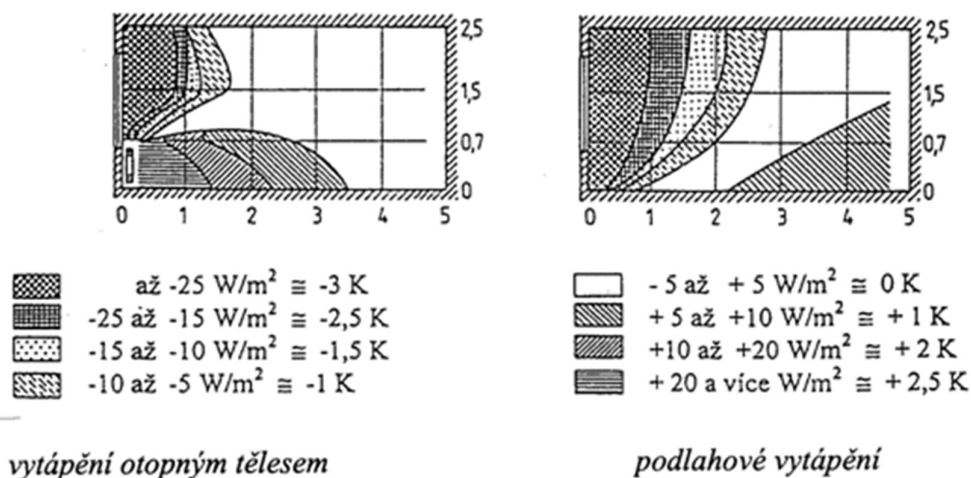
A.1.3.2 Vplyv sálavej zložky

Podstatnú časť energetického výdaja organizmu tvorí metabolický tepelný tok Q_m , ktorý sa v ľudskom tele uvoľňuje pri biochemických oxidačných procesoch. Termoregulačné mechanizmy ľudského tela vyrovnávajú rozdiely medzi produkovaným tepelným tokom a tepelným tokom odchádzajúcim z tela. Subjektívny pocit tepelnej pohody nastáva, keď je v rovnováhe metabolický tepelný tok a tok tepla privádzaný a odvádzaný z ľudského tela. To je vyjadrené rovnicou tepelnej rovnováhy človeka:

$$Q_m \pm Q_k \pm Q_s - Q_w - Q_d \pm Q_v = 0$$

Kde Q_k je teplo odvádzané konvekciou, Q_s sálaním, Q_w vyparovaním, Q_d dýchaním a Q_v vedením.

Veľký význam má sálavá zložka Q_s a spolu s ňou aj teplota okolitých plôch. Dôležitý je kladný alebo záporný merný tepelný tok vysálaný v celom vykurovanom priestore. Ak poklesne stredná radiačná teplota okolitých plôch o 1 K, tak to v klude sediaci človek vníma rovnako ako pokles teploty vzduchu o 1K. Čím menší je rozdiel medzi teplotou vzduchu a strednou radiačnou teplotou, tým je priaznivejší vplyv na tepelnú pohodu. Optimálne by mal byť tento rozdiel maximálne 3 K. Ak je vykurovacie teleso umiestnené u vnútornej neochladzovanej steny, nie je schopné kompenzovať záporné sálanie okna.



Obr. A. 11: Oblasti s různou intenzitou sálania u vykurovacieho telesa a podlahového vykurovania [8]

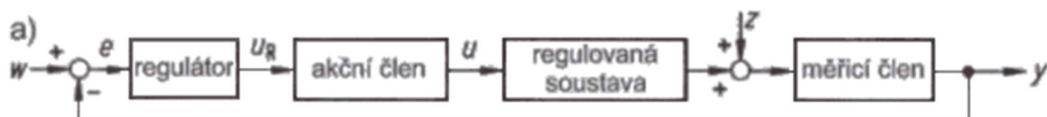
Z porovnania na obrázku vidíme, že oblasť so záporným tepelným prírastkom je pri použití vykurovacieho telesa podstatne menšia ako u podlahového vykurovania. Záporné tepelné prírastky vznikajú len v oblasti okna nad samotným vykurovacím telesom. U podlahového vykurovania vzniká pomerne veľká oblasť so záporným tepelným tokom v oblasti okna po celej výške. Oblasť so sálaním nižším ako -25 W/m^2 považujeme za oblasť výraznej tepelnej nepohody [8].

A.2 Dynamika vykurovacích plôch

Pri navrhovaní vykurovacích plôch vychádzame zo statických hodnôt vonkajšej výpočtovej teploty podľa danej lokality. V skutočnosti sa táto teplota reálne vyskytuje len pár dní v roku, navrhnuté vykurovacie plochy sú teda predimenzované a nevyužívajú svoj plný výkon. Vonkajšia teplota často kolíše a je výhodné ak vykurovacia plocha dokáže na tieto dynamické stavy dostatočne rýchlo reagovať a prispôbovať im svoj výkon, čo zabezpečujú regulačné prvky vykurovacej sústavy. Ideálne je, ak sa tepelné straty rovnajú aktuálne dodávanému výkonu, čo je ale v praxi ťažko realizovateľné.

A.2.1 Základné spôsoby regulácie

Regulácia je činnosť, pri ktorej je jedna regulovaná veličina sústavne evidovaná a porovnávaná s riadiacou veličinou. Na základe tohto porovnávaní je regulovaná veličina upravovaná [8]. Vykurovacie zariadenie pracuje s menovitými parametrami len niekoľko dní v roku a v zostávajúcom období je nutné ich činnosť regulovať. Regulácia udržiava fyzikálnu veličinu v blízkosti požadovanej hodnoty.



Obr. A. 12: Schéma regulačného okruhu [8]

V regulačnom okruhu je regulovaná veličina snímaná a porovnávaná v komparátore s požadovanou hodnotou. Rozdiel požadovanej hodnoty w a skutočnej hodnoty y je regulačná diferencia $e=w-y$. Regulačná diferencia je regulačným členom transformovaná na výstup regulátoru U_R . Ten je vstupnou veličinou akčného člena, ktorý pomocou nastavovacieho člena nastavuje regulovanú veličinu x .

Hodnota regulovanej veličiny sa sleduje v mieste merania najčastejšie pomocou čidla, následne sa v regulátore porovnáva s riadiacou veličinou. Výsledkom tohto porovnania je akčná veličina, ktorá určuje polohu akčného člena v regulovanej sústave. Podľa účasti človeka reguláciu delíme na:

- Ručná regulácia
- Automatická regulácia

Ak chceme určitú veličinu regulovať, musíme byť schopný určiť jej aktuálnu hodnotu. K tomuto meraniu sa využívajú:

- Ukazovacie prístroje, ktoré umožňujú okamžité vizuálne zistenie hodnoty meranej veličiny
- Snímače, ktoré merajú určitú fyzikálnu veličinu a prevádzajú ju na signál, ktorý je ďalej spracovávaný riadiacou jednotkou

Pri regulácii na konštantnú hodnotu sa regulátor snaží dostať skutočnú hodnotu regulovanej veličiny do súladu s požadovanou hodnotou. Pri vlečnej regulácii regulovaná veličina sleduje s časovým oneskorením zadávanú riadiacu veličinu. Pri zmenách riadiacej veličiny dochádza k odchýlkam regulovanej veličiny od riadiacej veličiny. Optimálne nastavenie parametrov regulátoru určuje jeho dynamické chovanie – schopnosť reagovať na riadenie a poruchy sa zlepšuje so znižujúcimi sa časovými konštantami regulačných mechanizmov. Pri nespojitej regulácii má akčná veličina obmedzený počet hodnôt a regulovaná veličina kolíše okolo žiadanej hodnoty v rozmedzí regulačnej odchýlky. U spojitej regulácie sa akčná veličina mení spojite v závislosti na regulovanej veličine podľa prechodovej charakteristiky. Poznáme štyri základné prechodové charakteristiky, ktoré je možné kombinovať:

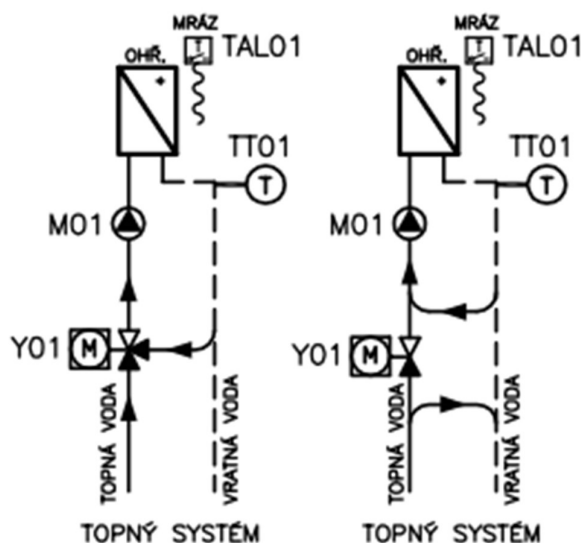
- P – proporcionálna, kde akčná veličina je priamo úmerná regulovanej veličine
- I – integračná, kde akčná veličina je úmerná regulačnej odchýlke
- D – derivačná, kde akčná veličina je úmerná derivácii regulovanej veličiny
- T – oneskorená, akčná veličina sa začne meniť až po určitom časovom oneskorení

Výkon vykurovacej sústavy je možné regulovať dvoma základnými spôsobmi:

- Reguláciou zdroja tepla
- Reguláciou spotrebičov tepla

V praxi najčastejšie dochádza ku kombinácii oboch spomínaných spôsobov. Pri regulácii teplovodných sústav najčastejšie využívame dva spôsoby regulácie [10] :

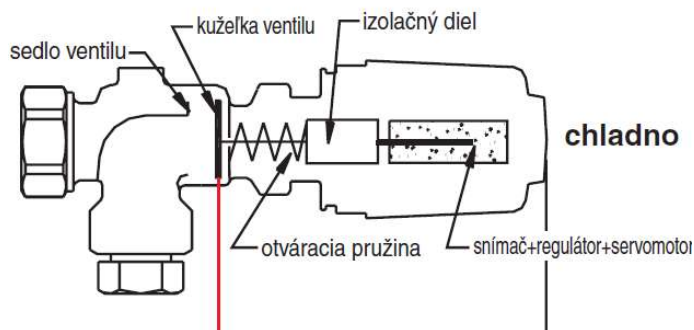
- Kvalitatívna regulácia – ovládame teplotu vykurovacej vody, hmotnostný prietok zostáva konštantný. Je možné ju vykonávať centrálnie priamo v zdroji tepla alebo lokálne.
- Kvantitatívna regulácia – ovládame hmotnostný prietok vody, teplota vykurovacej vody zostáva konštantná



Obr. A. 13: Kvalitatívna (vľavo) a kvantitatívna (vpravo) regulácia [10]

A.2.2 Regulácia vykurovacích telies

U vykurovacích telies je možné využiť kvalitatívnu aj kvantitatívnu reguláciu. Kvalitatívna regulácia je používaná hlavne na reguláciu sústavy ako celku a na reguláciu výkonu zdroja tepla. Regulácia vykurovacích telies prebieha najčastejšie kvantitatívne. Tento typ regulácie tepelného výkonu sleduje požadovanú tepelnú pohodu v miestnosti - najčastejšie teplotu vnútorného vzduchu. Výhodou je, že zachytáva vonkajšie a vnútorné vplyvy na tepelnú bilanciú miestnosti (slnečné žiarenie, vnútorné zisky). Vykurovacia voda je dopredu kvalitatívne regulovaná. Regulátor tepelného spotrebiča kvantitatívne (škrtením) ovláda výkon spotrebiča. Najčastejšie býva používaný termostatický ventil. Čidlo termostatickej hlavice sleduje teplotu v miestnosti, mení svoj objem a pôsobí na ventil regulačnej armatúry. Regulačný ventil má možnosť trvalého nastavenia veľkosti vradeného odporu, vďaka ktorému je možné celú sústavu hydraulicky vyvážiť [11].



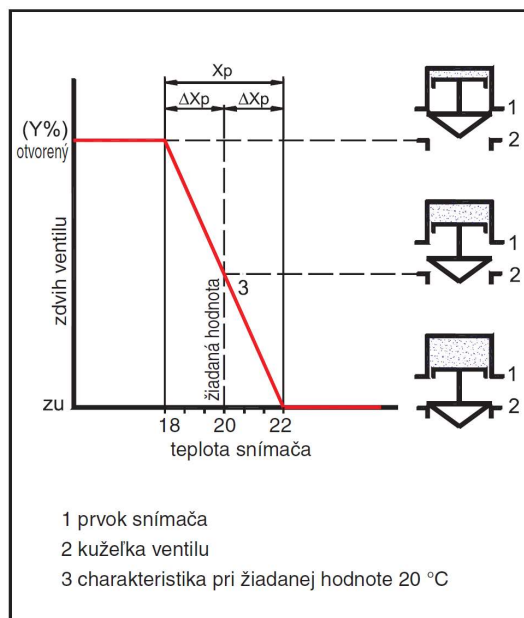
Obr. A. 14: Schéma termostatického ventilu [12]

Termostatický ventil je z konštrukčného hľadiska považovaný za proporcionálny regulátor pracujúci bez pomocnej energie. Každéj zmene vnútornej teploty (regulovaná veličina) je priradená úmerná zmena zdvihu ventilu (akčná veličina), ktorá priamo ovplyvňuje zmenu prietoku vykurovacej vody a aj celkový tepelný výkon telesa. Toto chovanie je možné popísať rovnicou:

$$\frac{Q}{Q_{100}} = f\left(\frac{m}{m_{100}}\right)$$

$$\frac{Q}{Q_{100}} = \frac{m \cdot c \cdot \Delta t}{m_{100} \cdot c \cdot \Delta t_{100}}$$

Relatívny výkon vykurovacieho telesa je funkciou relatívneho hmotnostného prietoku telesom.



Obr. A. 15: Schéma princípu fungovania termostatického radiátorového ventilu [12]

Obrázok znázorňuje termostatický ventil, ktorý udržiava vnútornú teplotu vzduchu v pásme proportionality 2K na konštantnej hodnote. Pri nastavenej požadovanej teplote vnútorného vzduchu 20 °C je ventil pri vnútornej teplote vzduchu rovnej 22 °C úplne uzatvorený a pri

vnútornej teplote vzduchu 18°C úplne otvorený. Malé pásmo proporcionality spôsobuje časté kmitanie kuželky ventilu, príliš veľké pásmo proporcionality spôsobuje veľké rozdiely medzi teplotami pri otvorenom a uzatvorenom ventilu. Táto závislosť je väčšinou nelineárna, pretože s redukciou relatívneho prietoku nastáva pokles pomernej teploty. Odchýlka od lineárneho prietoku závisí od veľkosti činiteľa vyťaženia vykurovacieho telesa:

$$b = \frac{\Delta t_{100}}{\delta t}$$

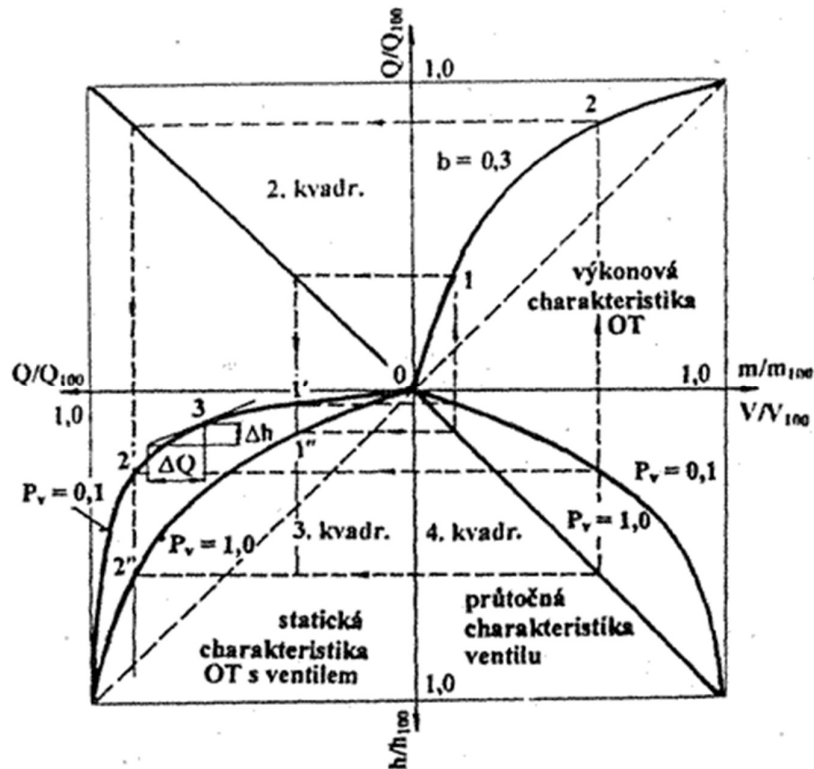
,kde Δt_{100} je menovitý teplotný rozdiel na vykurovacom telese:

$$\Delta t_{100} = (t_{w1} - t_{w1})_{100}$$

a δt je rozdiel teploty prírodnej vody do telesa a teploty vzduchu v okolí telesa:

$$\delta t = t_{w1} - t_i$$

Z charakteristík pre tepelno-technické a hydraulické chovanie vykurovacieho telesa je možné zostrojiť štvor-kvadrantový diagram, ktorý zobrazuje celkovú charakteristiku regulačného ventilu.

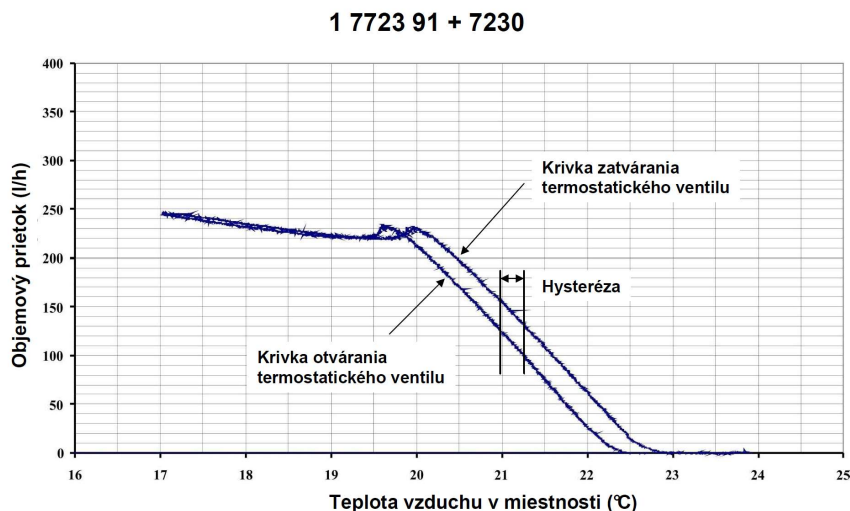


Obr. A. 16: Celková charakteristika pre ventil s lineárnou charakteristikou v 4-kvadrantovom diagrame [13]

Na obrázku je zakreslená výsledná statická charakteristika (3. kvadrant), ktorá je zložená z charakteristiky pre tepelno-technické chovanie (2. kvadrant) a hydraulické charakteristiky (4.kvadrant). Graf je zostrojený pre teleso s $b=0,3$, ktoré je opatrené ventilom s lineárnou

charakteristikou. Autorita tohto ventilu je $P_V=0,1$ a $P_V=1,0$. Ako vidíme charakteristika termostatického ventilu je nelineárna. Ani pri autorite ventilu $P_V=1,0$, ktorá je v praxi nedosiahnuteľná, nie je možné dosiahnuť lineárnu charakteristiku ventilu [14].

Zvolené pásmo proporcionality môže zväčšovať hysterezu termostatického ventilu. Je to odchýlka, ktorá je potrebná na prekonanie vnútornej zotrvačnosti termostatického ventilu. Vnútna zotrvačnosť je spôsobená trením ventilu, so zmenšujúcim sa trením stúpa presnosť termostatického ventilu. Hystereza by nemala prekročiť hodnotu 1K [12].



Obr. A. 17: Hystereza termostatického ventilu [12]

A.2.3 Dynamické vlastnosti vykurovacích plôch

Základnými parametrami pre hodnotenie dynamického chovania vykurovacích plôch sú tepelná zotrvačnosť τ , zotrvačnosť nábehu T_N a zotrvačnosť chladnutia T_{CH} .

Tepelná zotrvačnosť τ [s] je tepelne technickým parametrom, ktorým hodnotíme dynamické chovanie vykurovacích plôch z hľadiska materiálu. O tepelnej zotrvačnosti vykurovacej plochy vzhľadom k vykurovanému priestoru rozhodujú hlavne:

- Tepelná kapacita hmoty vykurovacej plochy a jej náplne (teplonosnej látky)
- Hmotnostný prietok teplonosnej látky
- Intenzita prestupu tepla z vnútra telesa do vykurovaného priestoru
- Teplotný pomer sústavy a priestoru

Tepelná zotrvačnosť τ nebýva v praxi príliš využívaná, aj vzhľadom na pomerne veľkú zaťaženosť chybou pri jej výpočtovom stanovení [15].

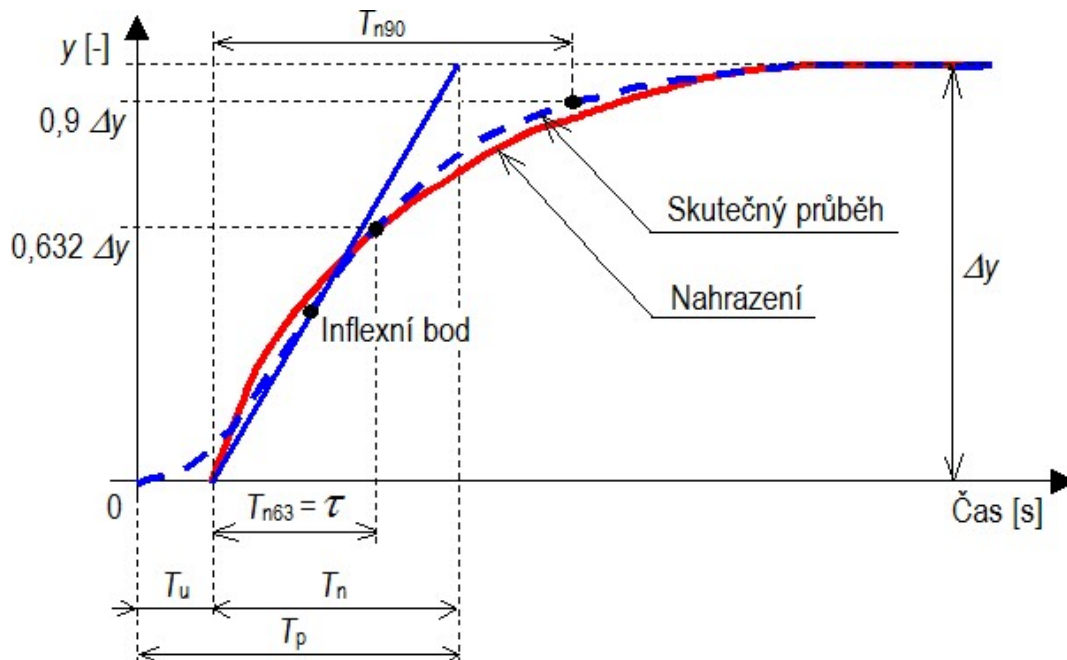
Zotrvačnosť nábehu T_N [s] vyjadruje dobu potrebnú k dosiahnutiu menovitého tepelného výkonu vykurovacej plochy zo stavu, odpovedajúceho podmienkam okolia, od okamihu zahájenia prívodu teplonosnej látky s menovitou vstupnou teplotou a menovitým prietokom. Zotrvačnosť chladnutia T_{CH} [s] vyjadruje dobu potrebnú k dosiahnutiu stavu odpovedajúceho

podmienkam okolia, od okamihu prerušenia prívodu teplonosnej látky do vykurovacej plochy. Jedná sa o znižovanie strednej povrchovej teploty vykurovacej plochy v dôsledku stratového tepelného toku smerom do okolia. Určujeme hodnoty T_{N63} a T_{N90} , ktoré vyjadrujú dobu potrebnú k dosiahnutiu 63,2% a 90% menovitého výkonu vykurovacej plochy. Tieto hodnoty slúžia ako základné kritéria pre porovnávanie rôznych druhov vykurovacích plôch.

Všeobecne je nábeh a chladnutie nestacionárny dej – teplotné pole je behom týchto dejov neustálené. Teplota je funkciou času [15]:

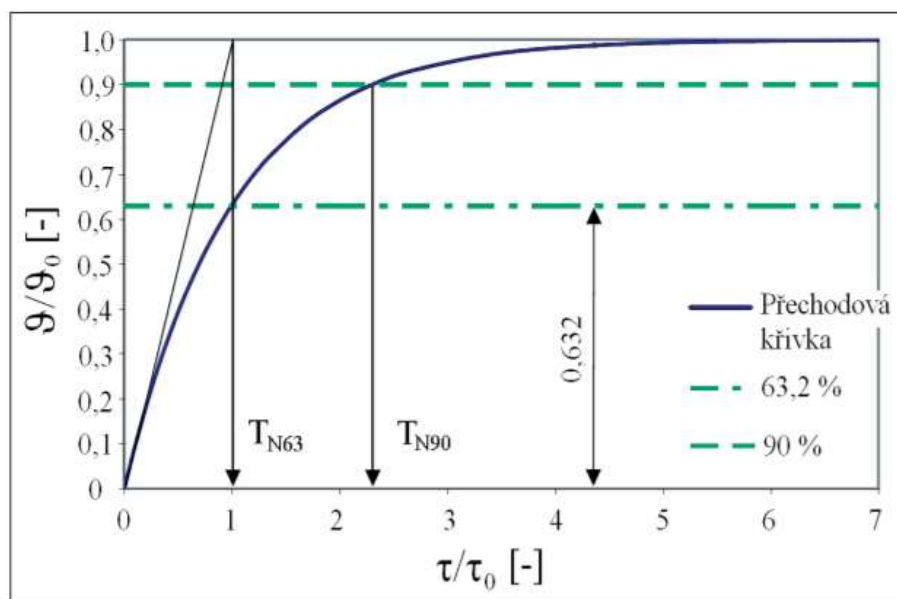
$$t = f(\tau)$$

Nábeh je ustáľujúci proces, jeho priebeh je charakterizovaný nekmitavou krivkou druhého a vyššieho rádu. Takáto krivka v závislosti na tepelnej kapacity danej vykurovacej plochy prejavuje určitú inflexiu, t.j. prítomnosť doby prietahu. Pre zjednodušenie môže byť táto skutočná krivka nahradená krivkou prvého rádu spolu so stanovením dopravného oneskorenia, ktoré pokladáme za dobu prietahu T_u .



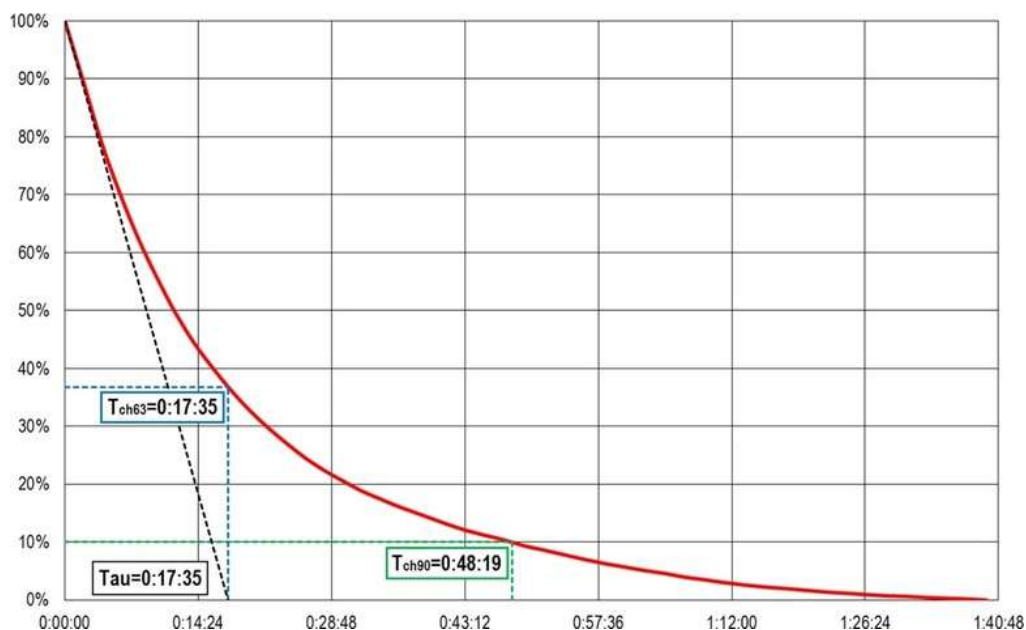
Obr. A. 18: Grafické znázornenie doby nábehu s dopravným oneskorením [16]

Nahradenie vytvoríme tak, že nájdeme inflexný bod danej skutočnej charakteristiky a týmto bodom vedieme dotyčnicu. Priesečník tejto dotyčnice s hlavnou osou udáva priamo dobu prietahu. Priesečník s novým ustáleným stavom (100%) po odčítaní priesečníku s osou 0% udáva hodnotu doby nábehu T_N [16]. Doba prietahu je možné zanedbať, získame tak zjednodušené grafické znázornenie prechodovej charakteristiky. Prechodová charakteristika udáva časový priebeh vyvolaný jednotkovou skokovou zmenou vstupnej veličiny. U tejto idealizovanej charakteristiky sa jedná o sústavu 1. rádu, ktorá je matematicky popísaná diferenciálnou rovnicou 1. rádu [16].



Obr. A. 19: Krivka ohrevu telesa bez doby prietahu [15]

Pri chladnutí dochádza k znižovaniu strednej teploty vykurovacej plochy v dôsledku stratových tepelných tokov z povrchu telesa. Chladnutie je neukončený proces, ktorý sa väčšinou prejavuje charakteristikou 1. rádu. Nevyskytuje sa tu žiadna doba prietahu. Znovu podobne ako u nábehu sledujeme zotrvačnosť chladnutia T_{CH63} a T_{CH90} , ktoré vyjadrujú čas za ktorý poklesne výkon vykurovacej plochy o 63,2% a 90% z pôvodného menovitého výkonu. Ak nebudeme uvažovať počiatkové dopravné oneskorenie, potom vynesenie dotýčnice krivky chladnutia priamo na ose 0% výkonu zobrazí časovú konštantu τ , ktorá odpovedá zotrvačnosti chladnutia T_{CH63} [16].



Obr. A. 20: Krivka chladnutia a zobrazenie T_{CH63} a T_{CH90} [16]

A.2.4 Teoretické riešenie dynamiky vykurovacieho telesa

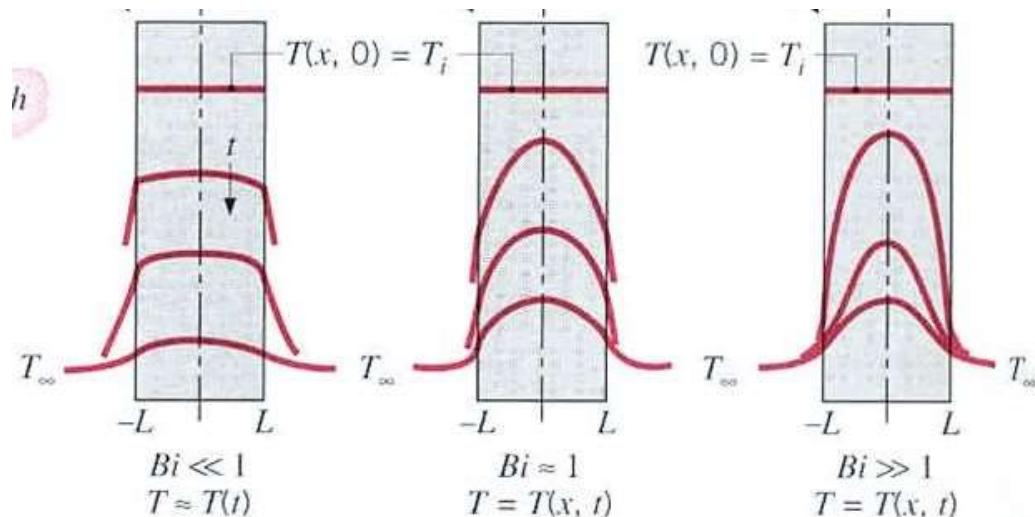
U vykurovacích telies môžeme zjednodušene predpokladať, že teplota na povrchu sa nelíši od teploty uprostred telesa, vďaka tomu že používané materiály majú malý tepelný odpor (vysoký súčiniteľ tepelnej vodivosti). Pri dodržaní tohto predpokladu môžeme uvažovať, že teplota je v každom bode telesa konštantná v danom okamihu:

$$t = f(\tau) \neq f(x, y, z)$$

Výsledky odpovedajúce realite boli zistené u telies, ktoré spĺňajú podmienku – Biotovo číslo $Bi < 0,1$.

$$Bi = \frac{\alpha \cdot H}{\lambda_{OT}}$$

Biotovo číslo je bezrozmerné termomechanické kritérium podobnosti, udávajúce relatívnu dôležitosť tepelnej kondukcie a konvekcie pri určovaní teplotnej histórie telesa, ktoré sa ohrieva alebo ochladzuje konvekciou na svojom povrchu. Uvedený vzorec udáva pomer medzi vnútorným termickým odporom (kondukciou) a vonkajším termickým odporom (konvekciou). Kde α je súčiniteľ prestupu tepla na strane vzduchu [W/m^2K], H charakteristický rozmer – výška vykurovacieho telesa [m] a λ_{OT} stredný súčiniteľ tepelnej vodivosti vykurovacieho telesa [W/mK]. V prípade že $Bi < 0,1$ je vnútorný konduktívny termický odpor zanedbateľný a dominuje vonkajší konvektívny odpor. Teplotné gradienty vo vnútri telesa sú zanedbateľné, dochádza ku kapacitnému chladnutiu (ohrevu).



Obr. A. 21: Chladnutie telesa pri rôznych Biotových číslach

Rozdiel tepelného toku vstupujúceho do telesa a tepelného toku odchádzajúceho z telesa sa prejaví ako časová zmena toku tepelnej energie v akumulovanom telese – teplo akumulované v telese je rovné rozdielu tepla privedeného a tepla strateného. Pri chladnutí stratový tepelný tok znižuje teplotu telesa, pričom uvažujeme nulový vstupujúci tepelný tok. Rovnicu popisujúcu proces chladnutia môžeme odvodiť z Fourier-Kirchhoffovej rovnice prenosu tepla [16].

$$\rho \cdot c_p \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla T \right) = \lambda \cdot \nabla^2 T + 2\mu \cdot \vec{d} : \vec{d} + \dot{Q}^{(g)}$$

↑
1

↑
2

↑
3

↑
4

↑
5

• Význam členů

- 1 – rychlost akumulace entalpie v pevném kontrolním objemu vedením a konvekcí
- 2 – rychlost konvektivního přívodu entalpie povrchem kontrolního objemu
- 3 – rychlost konduktivního přívodu entalpie povrchem kontrolního objemu
- 4 – rychlost disipace mechanické energie v pevném kontrolního objemu
- 5 – výkon objemového zdroje energetické přeměny uvnitř kontrolního objemu

Obr. A. 22: Fourier-Kirchhoffova rovnice [17]

Členy 3,4 a 5 na základě zvolených okrajových podmínek zanedbáváme, tím pro náš případ získáváme rovnici v integrálním tvaru [17]:

$$\rho \cdot c_p \cdot \int_V \frac{\partial T}{\partial t} \cdot dV = - \int_S \vec{n} \cdot \vec{q} \cdot dS$$

Ak teplota T a hustota tepelného toku q nezávisí na souřadnici, dostáváme tvar [17]:

$$\rho \cdot c_p \cdot V \frac{\partial T}{\partial t} = -\alpha \cdot (T - T_f) \cdot S$$

Teplota tělesa v čase t při chladnutí vykurovacího tělesa je [17]:

$$\frac{T(t) - T_f}{T_0 - T_f} = \exp \left[\frac{\alpha \cdot S}{\rho \cdot c_p \cdot V} \cdot t \right]$$

Podobným odvozením dostaneme teplotu v čase t při náběhu vykurovacího tělesa [17]:

$$\frac{T(t) - T_f}{T_0 - T_f} = 1 - \exp \left[\frac{\alpha \cdot S}{\rho \cdot c_p \cdot V} \cdot t \right]$$

Tepelný tok povrchem tělesa s povrchem S a objemem V v čase t je rovný [17]:

$$\dot{Q}(t) = \alpha \cdot (T(t) - T_f) \cdot S$$

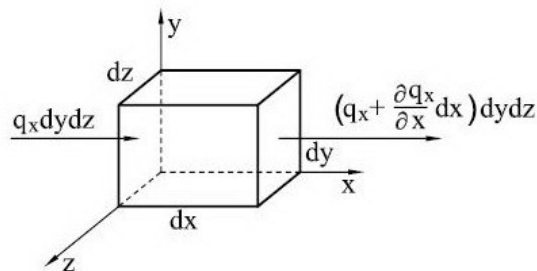
Grafickým znázorněním získaných funkcí pro chladnutí a ohrev tělesa získáme přechodovou charakteristiku 1. řádu, která udává časový průběh výstupní veličiny vyvolaný jednotkovou skokovou změnou vstupní veličiny [16].

A.2.5 Teoretické riešenie dynamiky veľkoplošných vykurovacích plôch

U veľkoplošných vykurovacích plôch sa teplo šíri vedením vo všetkých troch smeroch, pričom v rovine z sú vďaka pravidelnému uloženiu potrubia jednotlivé teploty symetrické. Úlohu je teda možné zjednodušiť na 2D vedenie tepla.

$$t = f(\tau) = f(x, y)$$

Dokážeme spočítať kompletne teplotné pole danej konštrukcie, t.j. rozloženie izoteriem a teplotných gradientov. Matematická formulácia nestacionárneho vedenia tepla je pomocou parciálnej diferenciálnej rovnice vedenia tepla. Rovnica vychádza z vyjadrenia tepelnej bilancie v elementárnom objeme.



Obr. A. 23: Elementárny objem

V našom prípade, pre 2D homogénne nekonečne dlhé teleso, má rovnica pre nestacionárne vedenie tepla tvar:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q_{vnut} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Pre riešenie rovnice vedenia tepla je nutné poznať počiatočné a okrajové podmienky. Poznáme 4 základné okrajové podmienky:

- Dirichletova – určuje teplotu na povrchu telesa
- Neumannova – určuje tepelný tok na hranici telesa
- Newtonova – určuje tepelný tok na hranici telesa a teplotu okolia
- Adiabatická – hranica telesa je tepelne izolovaná

Ďalej je nutné poznať materiálové charakteristiky konštrukcie a to konkrétne hustotu ρ [kg/m³], tepelnú kapacitu c [J/kg.K] a tepelnú vodivosť λ [W/m.K].

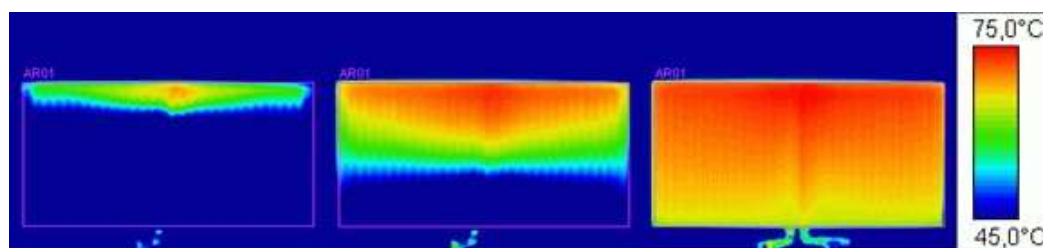
Analytické riešenie rovnice je možné len pre niektoré jednoduché geometrie so špeciálnymi okrajovými podmienkami. V prípade kedy nie je možné rovnicu riešiť analyticky, je vhodné použiť numerické metódy. Medzi najpoužívanejšie patrí metóda konečných prvkov a metóda kontrolných objemov [18].

A.3 Technické riešenia v praxi

Pri praktickom riešení dynamiky vykurovacích telies a plôch sa najčastejšie stretávame s experimentálnym meraním dynamiky vykurovacích telies a počítačovým modelovaním s využitím numerických metód. Ideálnym riešením je realizácia oboch metód, kde získaných dát.

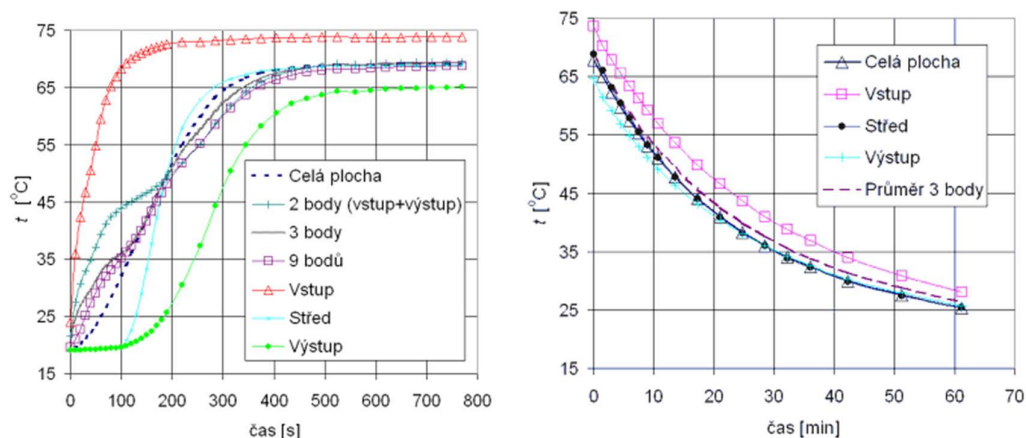
A.3.1 Experimentálne meranie zotrvačnosti chladnutia a nábehu vykurovacích plôch

Stanovenie zotrvačnosti nábehu a chladnutia vykurovacích telies je pomerne náročné kvôli problematickému stanoveniu časového priebehu strednej povrchovej teploty t_m . V minulosti k tomu boli využívané dotykové teplotné čidla, ktoré dokážu zmerať teplotu len na konkrétnom mieste, presnosť je možné zvýšiť použitím väčšieho počtu čidiel. Dnes je možné využitie bezkontaktného snímania teploty termovíznou technikou. Bezkontaktná termografia je založená na princípe, že každé teleso teplejšie než 0 K vyžaruje do okolia elektromagnetické žiarenie v závislosti na teplote povrchu daného telesa. Bezkontaktné merače teploty zachytávajú toto dopadajúce žiarenie a premieňajú ho vo zvolenom frekvenčnom spektre na elektrický signál. Po jeho spracovaní je výstupnou informáciou zobrazenie normálneho tvaru telesa s priradenými farbami odpovedajúcimi reálnym teplotám podľa farebnej škály [19].



Obr. A. 24: Nábeh vykurovacieho telesa zobrazený pomocou termovíznej kamery [20]

Výpočet zotrvačnosti nábehu a chladnutia vychádza zo znalosti priebehu strednej povrchovej teploty v čase. Pri využití dotykových čidiel je pomerne nepresné a závislé na počte použitých čidiel. Termovízna kamera umožňuje stanovenie strednej povrchovej teploty pre ľubovoľnú oblasť určením priemeru zmeraných hodnôt na jednotlivých pixeloch snímača. Na Obr. A.25 môžeme vidieť časový priebeh stredných povrchových teplôt pre rôzny počet a umiestnenie meracích bodov pri nábehu vykurovacieho telesa KL 10-500x1000, napojeného zhora nadol. Ani pri meraní v 9 bodoch nezískavame dostatočne presné výsledky v porovnaní s priebehom t_m pre celú plochu telesa. Maximálna relatívna odchýlka dosahuje 30%. Vzhľadom k nerovnomernému priebehu krivky vznikajú nepresnosti aj pri určovaní parametrov T_{N63} a T_{N90} . Pri bodovom meraní chladnutia dosahuje relatívna odchýlka pre 3 body necelých 5%, pričom sa so zväčšujúcim počtom bodov znižuje. Je teda možné pri bodovom meraní t_m považovať získané výsledky za relatívne presné [20].



Obr. A. 25: Porovnanie priebehu strednej povrchovej teploty pre rôzny počet meracích bodov [20]

Porovnanie zotrvačnosti nábehu a chladnutia pre vykurovacie telesá rôznych typov môžeme sledovať v experimentálnom meraní [21]. V experimente boli použité doskové, článkové a trubkové vykurovacie telesá. Stredná povrchová teplota bola meraná termovíznou kamerou a s týchto teplôt boli vykreslené krivky nábehu a chladnutia.

Druh a typ otopného tělesa	Způsob připojení	Setrvačnost náběhu [min]		Setrvačnost chladnutí [min]	
		T_{n63}	T_{n90}	T_{ch63}	T_{ch90}
Desková					
KL 10 – 500 × 500	jednostr. shora dolů	4,3	6,4	18	43
	oboustr. shora dolů	4,3	6,8	18,5	43,9
KL 10 – 500 × 1000	jednostr. shora dolů	3,7	5,4	17,9	42
	oboustr. shora dolů	3,8	5,8	18,1	43,3
KL 10 – 500 × 2000	jednostr. shora dolů	3,6	5,4	18,7	44,9
	oboustr. shora dolů	3,5	5,2	18,1	42,1
Čláňková					
Kalor 10 / 500 / 70	jednostr. shora dolů	7,9	11,7	43,5	102,7
	oboustr. shora dolů	8,3	12,3	40	93,7
Kalor 10 / 500 / 220	jednostr. shora dolů	7,8	12,3	45,3	109
	oboustr. shora dolů	8,1	12,3	43,9	106,4
Trubková					
KLC – 1200 × 600	oboustr. zdola dolů	8,6	18,1	28,5	60,3

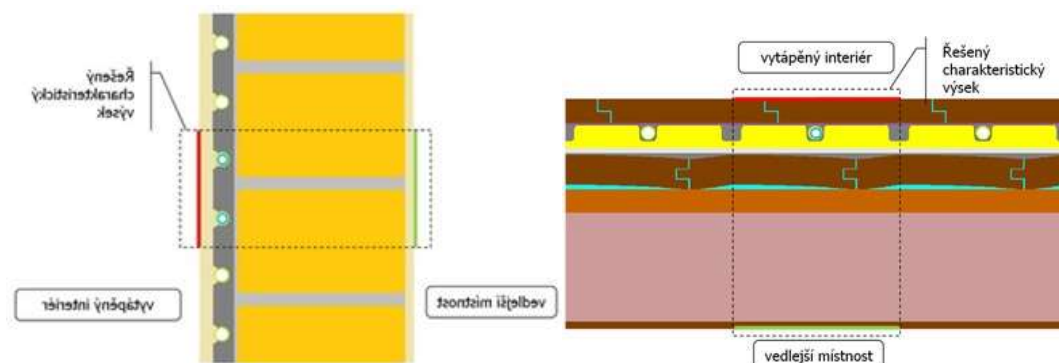
Obr. A. 26: Hodnoty zotrvačnosti nábehu a chladnutia vyhodnocovaných vykurovacích telies [21]

Vo výsledkoch môžeme pozorovať rozdiel v hodnotách T_{63} medzi jednotlivými druhmi vykurovacích telies. V rámci jedného druhu sú výsledky porovnateľné. Rozdiel v dynamike jednotlivých druhov telies sú spôsobené hlavne vyšším obsahom vody a vyššou tepelnou kapacitou článkových a trubkových telies.

A.3.2 Simulácia veľkoplošných vykurovacích plôch

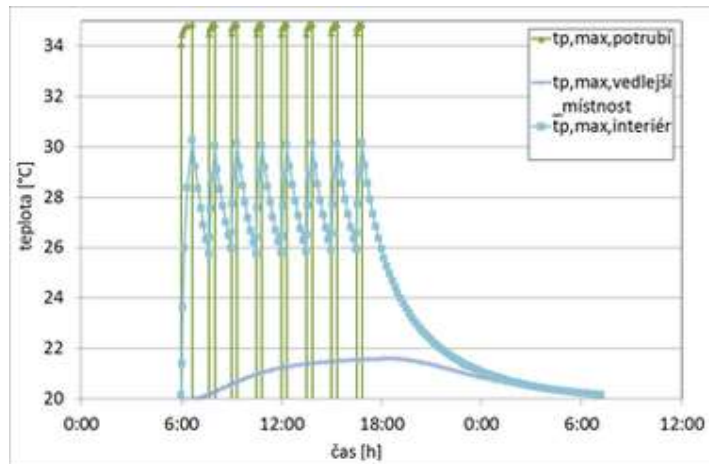
Veľkoplošné vykurovanie patrí medzi najmenej dynamické systémy, hlavne vzhľadom na veľkú tepelnú zotrvačnosť, kvôli jeho zabudovaniu do stavebných konštrukcií. Vďaka týmto vlastnostiam vykazuje dlhú odozvu na regulačný zásah, a tým zvyšuje energetickú náročnosť vykurovania. Typický jav nastáva, keď sa vykurovania vzhľadom na dostatočnú teplotu interiéru vypína, ale kvôli vysokej tepelnej zotrvačnosti nie je tento regulačný zásah dostatočne rýchly, a miestnosť sa prehrieva. Výhodou veľkoplošných vykurovacích systémov je zvýšenie tepelnej stability miestnosti a priaznivejšie rozloženie parametrov vnútorného prostredia.

Táto simulácia [22] sa zaoberá tepelným chovaním stenového a podlahového vykurovania. Použitá bola metóda počítačovej simulácie časovo neustáleného vedenia tepla v softvare Calculation Area (CaLA). Tento program umožňuje riešenie časovo ustáleného i neustáleného vedenia tepla podľa rovnice pre nestacionárne vedenie tepla (vid. Kapitola A.2.5). Dynamické chovanie bolo simulované pre stenové a podlahové vykurovanie, kde stenové vykurovanie prezentuje systém mokrého spôsobu pokladu potrubia a podlahové vykurovanie prezentuje systém mokrého uloženia potrubia do tvaru meandru. V prípade podlahového vykurovania bol použitý plech pre horizontálny rozvod tepla, ktorý by mal zabezpečiť rovnomernejšie rozloženie povrchovej teploty.

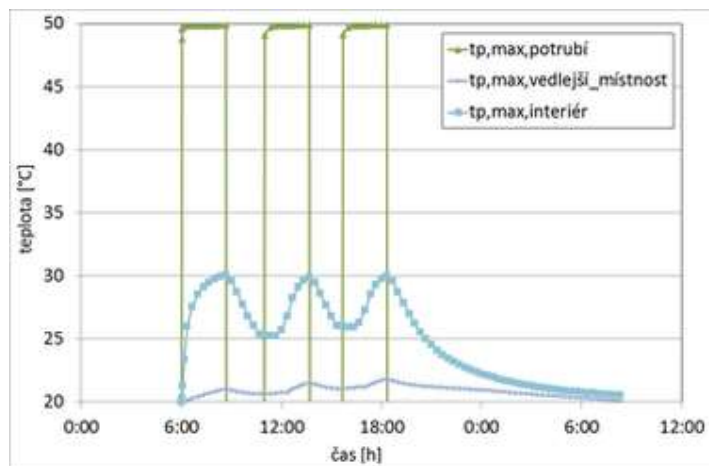


Obr. A. 27: Schéma riešených detailov veľkoplošných vykurovacích plôch [22]

V oboch prípadoch boli vykurovacie plochy umiestnené medzi dvoma miestnosťami s rovnakým teplotným režimom, pričom počiatočnou teplotou vzduchu bola teplota 20 °C. Pre zjednodušenie boli zvolené nemenné okrajové podmienky pre interiér a bola zvolená dvojpolohová regulácia vypnuté – zapnuté pre potrubie vykurovacích systémov. Maximálna povrchová teplota bola udržiavaná medzi 26 až 30 °C. Predpokladaná doba využitia miestnosti bola medzi 6:00 až 18:00 h, po tomto časovom úseku vykurovacia plocha chladla. Pre podlahové vykurovanie bola zvolená stredná teplota vykurovacej vody 50 °C, pre stenové vykurovanie bola stanovená na 35 °C. Ďalej bola zjednodušene uvažovaná konštantná teplota vnútorného vzduchu a súčinitele prestupu tepla boli uvažované s konštantnou hodnotou 8 W/m²K. Pre stenové vykurovanie bol zistený merný tepelný výkon 92,6 W/m²K, pre podlahové vykurovanie bolo 70 W/m²K.



Obr. A. 28: Maximálna povrchová teplota a počet regulačných zákrokov u stenového vykurovania [22]

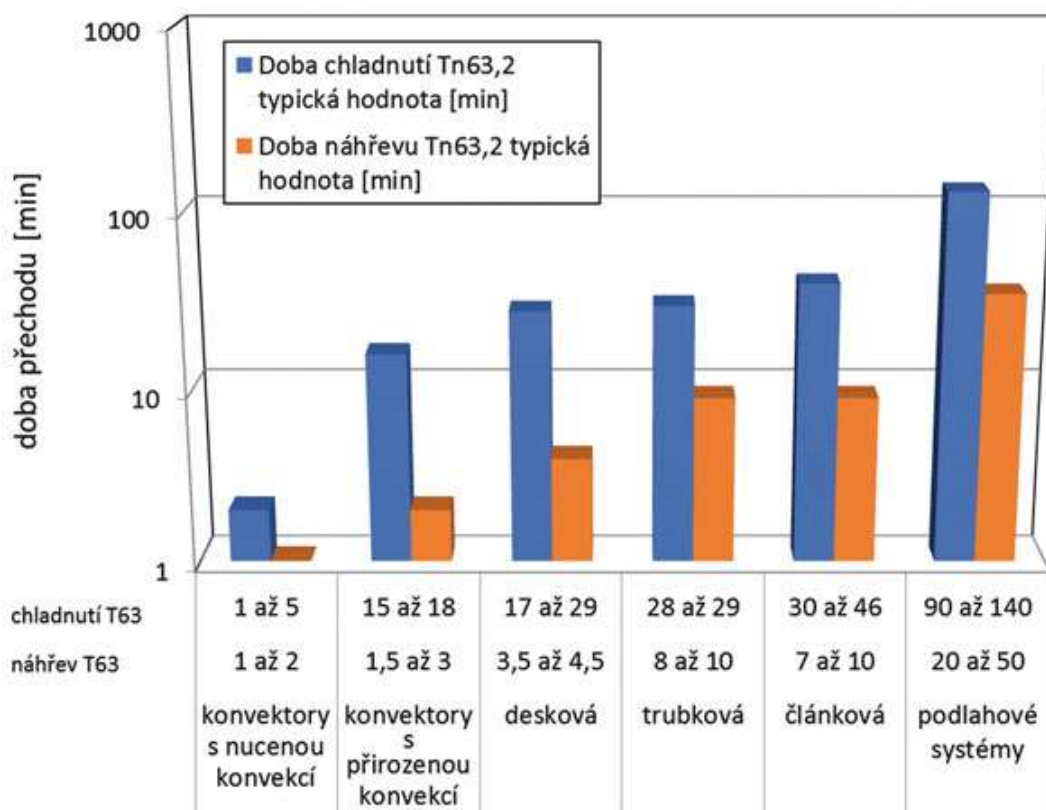


Obr. A. 29: Maximálna povrchová teplota a počet regulačných zákrokov u podlahového vykurovania [22]

Na dosiahnutých výsledkoch je možné sledovať značný rozdiel v dynamike tepelného chovania jednotlivých systémov veľkoplošného vykurovania. Stenové vykurovanie je nutné spínať 8 krát a podlahové vykurovanie 3 krát. Príčinou sú hlavne menšie rozostupy potrubí a rozdielne tepelné kapacity vrstiev nad potrubím. Zvýšená zotrvačnosť u podlahového vykurovania sa prejavuje väčšími výkyvmi tepelného výkonu. Doby chladnutia a náběhu podlahového vykurovania sa vyznačujú neschopnosťou reagovať na rýchlo sa meniacu potrebu tepla v miestnosti [22].

A.3.3 Porovnanie vykurovacích plôch z hľadiska spotreby tepla

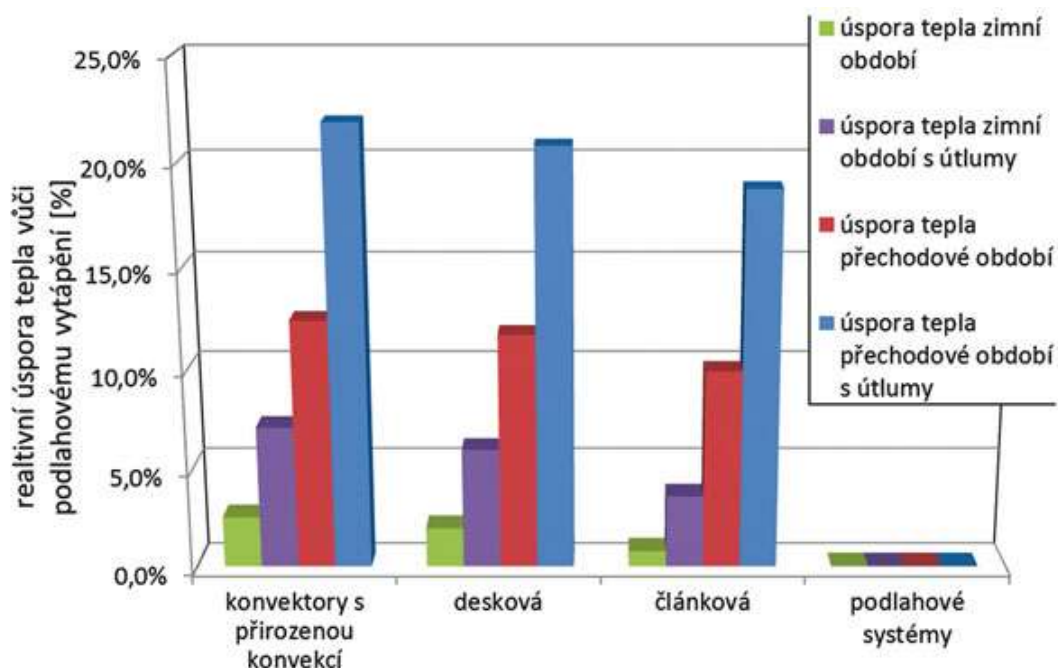
Všeobecne je výkon každej vykurovacej plochy závislý na strednej efektívnej povrchovej teplote, ktorá je ovplyvnená reguláciou vykurovacieho systému. Potreba tepelného výkonu pre zvolenú miestnosť sa dynamicky mení na základe meniacich sa parametrov vonkajšieho prostredia a regulačných zásahov. Všetky vykurovacie systémy vykazujú istú mieru tepelnej zotrvačnosti pri chladnutí a nábheve, ktoré vedú k prehrievaniu alebo k podchladeniu miestnosti. Všeobecne platí, že čím dynamickejšia bude zmena v potrebe aktuálneho výkonu danej miestnosti a čím väčšia je tepelná zotrvačnosť danej vykurovacej plochy, tým výraznejšie bude prehriatie (podchladenie) danej miestnosti a tým aj väčšia spotreba tepla. Tepelná zotrvačnosť vykurovacích plôch závisí hlavne na ich tepelnej kapacite, na súčiniteli prestupu tepla a dobe prechodu teplotnosnej látky.



Obr. A. 30: Přibližné dynamické charakteristiky vykurovacích plôch [23]

V tomto prípade bolo porovnanie dynamických stavov zotrvačnosti nábehu a chladnutia modelované metódou počítačovej simulácie v programe TRNSYS. Vykurovacie plochy boli regulované s využitím kvantitatívnej regulácie simulujúcej funkciu termostatického ventilu, t.j. dvojpolohová regulácia vypnuté-zapnuté. Porovnávané boli podlahové vykurovanie so suchým spôsobom uloženia (40/30 °C), článkové liatinové teleso, doskové vykurovacie teleso, konvektor novej konštrukcie s prirodzenou konvekciou (všetky 70/65 °C)

Výsledkom simulácie sú spotreby tepla a následne vyhodnotené relatívne úspory tepla vzťahnuté k vykurovacej ploche s najväčšou tepelnou zotrvačnosťou – podlahové vykurovanie.



Obr. A. 31: Relatívne úspory tepla v porovnaní s podlahovým vykurovaním [23]

Z výsledkov môžeme pozorovať, že v zimnom období sú relatívne úspory menšie ako v prechodovom období. Zároveň vidíme, že v prípade vykurovania s útlmom sú relatívne úspory vyššie ako pri vykurovaní na konštantnú teplotu. Vykurovacie telesá s malým vodným obsahom vykazujú oveľa vyššiu dynamiku pri năhreve a chladnutí a sú schopné presnejšie udržať požadovanú teplotu v miestnosti a zabezpečiť úsporu tepla pri vykurovaní [23].

Podobný prípad skúma ďalšia simulácia [24], porovnávajúca dynamické chovanie vykurovacích telies počas typického dňa v programe TRNSYS. Zvolený bol slnečný januárový deň, kedy dosahuje priemerná vonkajšia teplota 2,2 °C. Porovnávaný bol konvektor a doskové vykurovacie teleso s podobným tepelným výkonom zásobované prírodnou vodou s teplotou 75°C.

Specification	Type	Heating output at 75/65/20 °C	Dimensions (height / length / depth)	Compactness	Connecting way
		[W]	[mm]	[kW/m ³]	
RADIK 20S CLEAN 80/90 cm	Plate radiator	1170	900/800/100	16.3	double-sided, diagonal
Tomton R1 with forced convection	Convactor	1216	570/502/135	31.5	bottom connection

Obr. A. 32: Charakteristiky simulovaných vykurovacích telies [24]

Telesá boli regulované kvantitatívne pomocou termostatických ventilov, ktoré dokážu okamžite reagovať na zmenu teploty v miestnosti. Modelovaná miestnosť bola štandardná obývací izba, ktorá spĺňa požadované tepelnotechnické požiadavky. Simulované boli 2

prípady. Zjednodušená simulácia vypínania vykurovacieho telesa, ktorá porovnáva nežiadúce prehriatie miestnosti pri vnútornej teplote 20°C a simulácia zaznamenávajúca dynamiku tepelného správania a spotrebu energie počas typického zimného dňa.

Výsledky prvej simulácie ukazujú 77% najvyššiu dosiahnuteľnú energetickú úsporu konvektoru v porovnaní s doskovým telesom. Táto úspora závisí na dynamike zmeny vykurovacieho výkonu.

	Thermal capacity	Duration of the shutdown 3 000 s	Duration of the shutdown 10 000 s
	C	E	E
	[J/K]	[kWh]	[kWh]
Plate radiator	38 259.04	0.082	0.600
Convactor	8 845.90	0.020	0.148
Energy saving [%]	77%	76%	75%

Obr. A. 33: Porovnanie z hľadiska prebytočnej energie spôsobujúcej prehriatie miestností [24]

Z porovnania spotreby energie na vykurovanie vychádza opäť lepšie konvektor, ktorý dokáže počas simulovaného dňa ušetriť 10% (1,5 kWh) tepelnej energie. Aj napriek mierne vyššiemu tepelnému výkonu dodáva konvektor do miestnosti menej tepla a taktiež dosahuje vyšší stupeň využitia solárnych ziskov.

	Heat delivered to the radiator	Heat delivered to the room	Transmission heat losses of the room	Ventilation heat losses of the room	Solar heat gains	Room energy change per day
	E	E	E	E	E	E
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Plate radiator	12.64	12.40	9.07	2.00	0.073457	1.40
Convactor	11.16	11.16	8.97	1.98	0.075702	0.29
Saving [%]	11.7%	10.1%	1.2%	1.2%	3.0%	79.4%

Obr. A. 34: Porovnanie energetických bilancií počas jedného dňa [24]

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁZOV DIPLOMOVEJ PRÁCE

DYNAMIKA OTOPNÝCH PLOCH

B. PROJEKTOVÁ ČASŤ

B.1 Analýza objektu

V tejto časti diplomovej práce je spracovávaný návrh vykurovania pre novostavbu bytového domu nachádzajúceho sa v meste Brno. Objekt sa nachádza v rovinatej zastavanej oblasti, skladá sa z 15 samostatných bytov s predpokladaným ubytovaním 30 osôb. Ďalej sa v budove budú nachádzať 2 samostatné prevádzky: jedáleň s výdajňou jedla a masérňa.

Objekt sa skladá z 3 nadzemných podlaží. Celková zastavaná plocha je 475,5 m², výška objektu nad terénom je 10,9 m. Budova má približne obdĺžnikový tvar, hlavný vchod sa nachádza v 1.NP a je orientovaný na juh. Ďalej sa v 1.NP nachádzajú obe samostatné prevádzky a 3 bytové jednotky. 2.NP a 3.NP majú spoločnú rovnakú dispozíciu. V každom nadzemnom podlaží sa nachádza 6 bytových jednotiek, každá so samostatným vchodom zo schodišťa. Typický byt sa skladá z chodby, kúpeľne, spálne a obývacej miestnosti s kuchyňou. Technická miestnosť sa nachádza v 3.NP. Všetky miestnosti budú vetrané prirodzene.

Konštrukčný systém objektu je stenový, nosné steny sú tvorené pórobetónovými tvárnicami a vrstvou tepelnej izolácie o hrúbke 300mm. Nenosné steny sú taktiež vybudované z pórobetónových tvárnic. Stropy sú tvorené železobetónovými monolitickými doskami. Strecha objektu je plochá, jednoplášťová. Výplne otvorov budú prevedené ako plastové s izolačnými trojsklami.

B.2 Koncepcia vykurovania

Projekt v sebe zahŕňa návrh vykurovacej sústavy pre celý objekt bytového domu v troch variantách. Jednotlivé varianty sa od seba líšia hlavne použitím rozdielnych typov vykurovacích plôch:

- Varianta 1: Doskové vykurovacie telesá Radik VK
- Varianta 2: Nástenné vykurovacie telesá Tomton R1
- Varianta 3: Podlahové vykurovanie

Vykurovacia sústava objektu je riešená ako uzatvorená dvojtrubková, protiprúdová s núteným obehom vody. Ako primárny zdroj tepla je zvolený plynový kondenzačný kotol, ktorý je umiestnený v technickej miestnosti v 3.NP budovy. Primárny kotlový okruh je pomocou hydraulického vyrovnávača dynamických tlakov pripojený na kombinovaný rozdeľovač a zberač. Teplotný spád primárneho okruhu je 60/40 °C. V primárnom okruhu je ďalej pripojená expanzná nádoba a automatické doplňovanie vody.

Z rozdeľovača a zberača vystupujú 3 vetvy. Vetva č. 1 zabezpečuje vykurovanie bytových jednotiek a nájomných jednotiek, vetva č. 2 zabezpečuje vykurovanie spoločných priestorov a vetva č. 3 zabezpečuje ohrev teplej vody. Teplotný spád prípravy teplej vody je 60/40 °C. Teplotné spády ostatných vetiev závisia na variante návrhu:

50/40 °C – Varianta č.1 a varianta č.2 – vykurovacie telesá

40/32 °C – Varianta č.3 – podlahové vykurovanie

Ohrev teplej vody bude riešený miestne, bude využitý zásobníkový ohrievač napájaný z primárneho zdroja tepla umiestnený v technickej miestnosti v 2. NP. Rozvody k vykurovacím telesám a aj k podlahovému vykurovaniu sú vedené v podlahe. Potrubie v technickej miestnosti bude navrhnuté z medených trubiek, rozvody k vykurovacím telesám budú taktiež medené. Meranie spotreby tepla bude riešené umiestnením kompaktného merača tepla na rozvod pred každou bytovou a nájomnou jednotkou.

B.3 Tepelné straty

B.3.1 Súčiniteľ prechodu tepla

Výpočet bol vykonaný v súlade s normou ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov - Časť 4: Výpočtové metódy a ČSN EN ISO 6946. Získané hodnoty boli porovnávané s normovými súčiniteľmi prestupu tepla $U_{n,20}$ uvedenými v norme ČSN 73 0540-2:2011 Tepelná ochrana budov. Všetky konštrukcie spĺňajú požadované hodnoty $U_{n,20}$, doporučenú hodnotu $U_{rec,20}$ nespĺňajú dve konštrukcie – Vnútorná priečka hr.100 mm a stropná konštrukcia. Získané výsledky je možné vidieť v prehľade posudzovaných konštrukcií:

Ozn.	Názov skladby	$U_{n,20}$ [W/m ² .K]	$U_{rec,20}$ [W/m ² .K]	U [W/m ² .K]	$U \leq U_{n,20}$
STN-3	Obvodová nosná stena - hr. 550mm	0,3	0,25	0,11	VYHOVUJE
STR-4	Strecha - hr. 650mm	0,3	0,2	0,11	VYHOVUJE
PDL(z)-7	Podlaha na zemine - pórobetón- hr.450mm	0,45	0,3	0,14	VYHOVUJE
STN-5	Vnútorná priečka - pórobetón-hr. 100mm	1,3	0,9	1,01	VYHOVUJE
STN-6	Vnútorná priečka - pórobetón- hr. 300mm	1,3	0,9	0,46	VYHOVUJE
STN-8	Vnútorná priečka - pórobetón- hr. 200mm	1,3	0,9	0,58	VYHOVUJE
STN-11	Vnútorná priečka - pórobetón- hr. 150mm	1,3	0,9	0,74	VYHOVUJE
STR-14	Strop - hr. 350 mm	1,05	0,7	0,72	VYHOVUJE
VYP-1	Okno - izolačné trojsklo	1,5	1,2	0,9	VYHOVUJE
VYP-2	Dvere - vchodové	1,7	1,2	1	VYHOVUJE
VYP-9	Dvere - vchodové interiérom	2,3	3,5	2	VYHOVUJE
VYP-10	Dvere - interier	2,3	3,5	1,6	VYHOVUJE

Tab. B. 1: Prehľad súčiniteľov prestupu tepla

B.3.2 Výpočet tepelných strát

Výpočet bol vykonaný v programe DEKSOFT – modul TZB podľa normy ČSN EN 12 831. Priložená tabuľka zobrazuje súhrn jednotlivých tepelných strát všetkých miestností budovy. Návrhová teplota vonkajšieho prostredia bola zvolená pre lokalitu Brno na $t_e = -12^\circ\text{C}$.

č.m.	Názov miestnosti	t_{int} [°C]	V_{int} [m ³]	ϕ_T [W]	ϕ_V [W]	ϕ_{HL} [W]
1.01	Zádvieří zadní	15	10,4	297,5	47,7	345,2
1.02	Chodba	15	60,3	42,5	276,8	319,3
1.04	Vozíčkářna/kolárna	15	20,7	126,6	57	183,6
1.05	Úklid	18	17,58	131,7	53,8	185,5
1.06	Chodba	15	63,45	154	174,7	328,7
1.07	Chodba	15	71,3	15,5	196,4	211,9
1.08	Chodba	20	10,58	2,8	57,6	60,4
1.09	Koupelna	24	14,85	141,6	272,6	323
1.10	Obývací pokoj	20	68,69	397,7	373,7	771,4
1.11	Ložnice	20	32,94	229,5	179,2	408,7
1.12	Chodba	20	10,9	0,8	59,3	60,1
1.13	Koupelna	24	14,85	135	272,6	317
1.14	Obývací pokoj	20	66,1	330,8	359,6	690,4
1.15	Ložnice	20	33,99	97,5	184,9	282,4
1.16	Chodba	20	10,58	-4,1	57,6	53,5
1.17	Koupelna	20	14,85	146,3	272,6	328
1.18	Obývací pokoj	20	68,7	395,7	373,7	769,4
1.19	Ložnice	20	32,94	229,5	179,2	408,7
1.20	Jídelna	20	176,18	1086,8	958,4	2045,2
1.21	Vstup	15	30,92	-0,4	141,9	141,5
1.22	Výdejna	20	47,5	212,8	516,8	729,6
1.23	Šatna	20	6,32	52,1	21,4	73,5
1.24	WC	20	4,37	-13,1	47,5	34,4
1.25	WC invalidé	20	12,58	63,6	136,9	200,5
1.26	Chodba	20	14,99	-10,5	81,5	71
1.27	Šatna	22	15,58	41,9	90,1	132
1.28	Koupelna+WC	24	10	120,5	183,6	243
1.29	Chodba	20	6,21	-67,5	33,8	-33,7
1.30	Masérna	24	35,3	394,9	432	826,9
1.31	Sklad	20	3,92	-34,7	21,3	-13,4
1.32	Recepce	20	22,87	189,4	124,4	313,8
2.01	Chodba	15	22,53	106,4	62	168,4
2.02	Schodiště	15	28,22	149,9	77,7	227,6
2.04	Chodba	15	30,15	-31,8	83	51,2
2.05	Úklid	18	12,66	78	38,7	116,7
2.06	Technická místnost	15	30,24	97,6	83,3	180,9
2.07	Společenský kout	15	22,2	-96,9	61,1	-35,8
2.08	Chodba	20	11,76	-9,9	64	54,1
2.09	Koupelna	24	16,5	125,7	302,9	328
2.10	Obývací pokoj	20	76,32	320,2	415,2	735,4
2.11	Ložnice	20	36,6	191,3	199,1	390,4
2.13	Chodba	20	12,12	-8,7	65,9	57,2
2.14	Koupelna	24	16,5	109,7	302,9	312
2.15	Obývací pokoj	20	73,41	264,4	399,4	663,8
2.16	Ložnice	20	37,77	77	205,5	282,5
2.18	Chodba	20	12,12	-17,2	65,9	48,7

2.19	Koupelna	24	16.5	115.9	302.9	318
2.20	Obývací pokoj	20	73.41	283.2	399.4	682.6
2.21	Ložnice	20	37.77	44.6	205.5	250.1
2.23	Chodba	20	23.97	25.6	130.4	156
2.24	Koupelna	24	16.5	145.4	302.9	347
2.25	Obývací pokoj	20	97.02	517.2	527.8	1045
2.27	Chodba	20	12.12	-11.4	65.9	54.5
2.28	Koupelna	24	16.5	127.7	302.9	330
2.29	Obývací pokoj	20	73.41	264.9	399.4	664.3
2.30	Ložnice	20	37.77	77	205.5	282.5
2.32	Chodba	20	11.76	-9.9	64	54.1
2.33	Koupelna	24	16.5	109.7	302.9	412.6
2.34	Obývací pokoj	20	76.32	320.2	415.2	735.4
2.35	Ložnice	20	36.6	191.3	199.1	390.4
2.37	Chodba	15	79.14	-39.7	218	224
2.38	Chodba	15	75	52.8	206.6	253
3.01	Chodba	15	20.3	139	55.9	194.9
3.02	Schodiště	15	25.22	138.4	69.5	207.9
3.04	Chodba	15	27.14	-15.4	74.7	59.3
3.05	Úklid	18	11.39	96.7	34.9	131.6
3.06	Technická místnost	15	27.22	156.4	75	231.4
3.07	Chodba	20	10.58	8.7	57.6	66.3
3.08	Koupelna	24	14.85	156.8	272.6	339
3.09	Obývací pokoj	20	68.69	455.8	373.7	829.5
3.10	Ložnice	20	32.94	262.2	179.2	441.4
3.12	Chodba	20	10.9	7.6	59.3	66.9
3.13	Koupelna	24	14.85	140.7	272.6	322
3.14	Obývací pokoj	20	66.1	383.9	359.6	743.5
3.15	Ložnice	20	34	141.5	185	326.5
3.17	Chodba	20	10.9	10.6	59.3	69.9
3.18	Koupelna	24	14.85	140.7	272.6	322
3.19	Obývací pokoj	20	66.1	419.5	359.6	779.1
3.20	Ložnice	20	34	107	185	326.5
3.22	Chodba	20	10.9	10.6	59.3	69.9
3.23	Koupelna	24	14.85	140.7	272.6	322
3.24	Obývací pokoj	20	90.32	666.4	491.3	1157.7
3.26	Chodba	20	10.9	10.6	59.3	69.9
3.27	Koupelna	24	14.85	140.7	272.6	322
3.28	Obývací pokoj	20	66.1	420	359.6	779.6
3.29	Ložnice	20	34	141.5	185	326.5
3.31	Chodba	20	10.58	5.4	57.6	63
3.32	Koupelna	24	14.85	140.7	272.6	322
3.33	Obývací pokoj	20	68.69	519	373.7	892.7
3.34	Ložnice	20	32.94	262.2	179.2	441.4
3.36	Chodba	15	71.2	93.8	196.1	335
3.37	Chodba	15	67.5	181.5	185.9	361
Celkom za zadané miestnosti:		-	3147.54	13974.8	18839.6	31542.3

Tab. B. 2: Súhrn tepelných výkonov

B.4 Návrh vykurovacích plôch

B.4.1 Varianta 1

V riešenom variante sú navrhnuté vykurovacie telesá KORADO. Prevažnú časť tvoria telesá v prevedení VENTIL KOMPAKT model RADIK VK s pravým spodným pripojením. U týchto telies bude dodržaná jednotná výška 600 mm. Telesá budú vybavené termostatickými hlavicami. V kúpeľniach budú inštalované trubkové vykurovacie telesá Koralux Linear Max-M so spodným stredným pripojením pomocou integrovanej armatúry HM. V jedálni nachádzajúcej sa v 1.NP budú inštalované podlahové konvektory Koraflex FV od firmy Korado s ventilátorom a optimalizovanou konvekciou. Teplotný spád pre telesá bol zvolený 50/40 °C. U všetkých telies bol uvažovaný súčiniteľ zohľadňujúci pripojenie telesa $\varphi=1$.

č.m.	Názov miestnosti	t_{int} [°C]	Φ_{HL} [W]	Σz [-]	$Q_{T,POT}$ [W]	Označenie vykurovacieho telesa	$Q_{T,skut}$ [W]	$Q_{T,skut}/$ $Q_{T,POT}$ [%]
1.01	Zádvieří zadní	15	345,2	0,95	363	VK 21/060/060	388	107
1.02	Chodba	15	319,3	1	319	VK 21/060/050	324	101
1.04	Vozičkárna/kolárna	15	183,6	0,95	193	VK 10/060/070	217	112
1.05	Úklid	18	185,5	1	186	VK 10/060/070	189	102
1.06	Chodba	15	328,7	1	329	VK 10/060/110	340	103
1.07	Chodba	15	211,9	1	212	VK 10/060/080	247	117
1.08	Chodba	20	60,4	1	60	-	0	-
1.09	Koupelna	24	323	1	323	KLM-M 1820.600	362	112
1.10	Obývací pokoj	20	771,4	1	771	VK 21/060/160	808	105
1.11	Ložnice	20	408,7	1	409	VK 21/060/090	454	111
1.12	Chodba	20	60,1	1	60	-	0	0
1.13	Koupelna	24	317	1	317	KLM-M 1820.600	362	114
1.14	Obývací pokoj	20	690,4	1	690	VK 21/060/140	707	102
1.15	Ložnice	20	282,4	1	282	VK 21/060/060	303	107
1.16	Chodba	20	53,5	1	54	-	0	-
1.17	Koupelna	20	328	1	328	KLM-M 1820.600	362	110
1.18	Obývací pokoj	20	769,4	1	769	VK 21/060/160	808	105
1.19	Ložnice	20	408,7	1	409	VK 21/060/090	454	111
1.20	Jídelna	20	2045	1	2045	2x KF FV 11/20/080 2xKF FV 11/20/120	2488	122
1.21	Vstup	15	141,5	0,95	149	VK 10/060/050	155	104
1.22	Výdejna	20	729,6	0,9	811	VK 22/060/100	842	104
1.23	Šatna	22	73,5	1	74	Prepojené s 1.22	-	-
1.24	WC	20	34,4	1	34	-	0	0
1.25	WC invalidé	20	200,5	1	201	VK 21/060/040	202	101
1.26	Chodba	20	71	1	71	-	0	0
1.27	Šatna	22	132	1	132	VK 10/060/070	152	115
1.28	Koupelna+WC	24	243	1	243	KLM-M 1500.600	296	122
1.29	Chodba	20	-33,7	1	-34	-	0	0
1.30	Masérna	24	826,9	1	827	VK 33/060/120	881	107

1.31	Sklad	20	-13.4	1	-13	-	0	0
1.32	Recepce	20	313.8	1	314	VK 21/060/070	353	112
2.01	Chodba	15	168.4	1	220	VK 10/060/080	247	112
2.02	Schodiště	15	227.6	1	436	VK 21/060/080	517	119
2.04	Chodba	15	51.2	1	51	prepojené s 2.01	0	0
2.05	Úklid	18	116.7	1	117	VK 10/060/050	135	116
2.06	Technická místnost	15	180.9	1	181	VK 10/060/070	217	120
2.07	Společenský kout	15	-35.8	1	-36	-	0	-
2.08	Chodba	20	54.1	1	54	-	0	-
2.09	Koupelna	24	328	1	328	KLM-M 1820.600	362	110
2.10	Obývací pokoj	20	735.4	1	735	VK 21/060/160	808	110
2.11	Ložnice	20	390.4	1	390	VK 21/060/080	404	103
2.13	Chodba	20	57.2	1	57	-	0	0
2.14	Koupelna	24	312	1	312	KLM-M 1820.600	362	116
2.15	Obývací pokoj	20	663.8	1	664	VK 21/060/140	707	107
2.16	Ložnice	20	282.5	1	283	VK 21/060/060	303	107
2.18	Chodba	20	48.7	1	49	-	0	-
2.19	Koupelna	24	318	1	318	KLM-M 1820.600	362	114
2.20	Obývací pokoj	20	682.6	1	683	VK 21/060/140	707	104
2.21	Ložnice	20	250.1	1	250	VK 21/060/060	303	121
2.23	Chodba	20	156	1	156	VK 11/060/040	160	103
2.24	Koupelna	24	347	1	347	KLM-M 1820.600	362	104
2.25	Obývací pokoj	20	1045	1	1045	VK 22/060/160	1050	100
2.27	Chodba	20	54.5	1	55	-	0	-
2.28	Koupelna	24	330	1	330	KLM-M 1820.600	362	110
2.29	Obývací pokoj	20	664.3	1	664	VK 21/060/140	707	106
2.30	Ložnice	20	282.5	1	283	VK 21/060/060	303	107
2.32	Chodba	20	54.1	1	54	-	0	-
2.33	Koupelna	24	412.6	1	312	KLM-M 1820.600	362	116
2.34	Obývací pokoj	20	735.4	1	735	VK 21/060/160	808	110
2.35	Ložnice	20	390.4	1	390	VK 21/060/080	404	103
2.37	Chodba	15	224	1	224	VK 10/060/080	247	110
2.38	Chodba	15	253	1	253	VK 10/060/090	279	110
3.01	Chodba	15	194.9	1	254	VK 10/060/090	279	110
3.02	Schodiště	15	207.9	1	208	prepojené s 2.02	-	-
3.04	Chodba	15	59.3	1	59	prepojené s 3.01	-	-
3.05	Úklid	18	131.6	1	132	VK 10/060/050	135	103
3.06	Technická místnost	15	231.4	1	231	VK 10/060/080	247	107
3.07	Chodba	20	66.3	1	66	-	0	0
3.08	Koupelna	24	339	1	339	KLM-M 1820.600	362	107
3.09	Obývací pokoj	20	829.5	1	830	VK 22/060/140	919	111
3.10	Ložnice	20	441.4	1	441	VK 21/060/090	454	103
3.12	Chodba	20	66.9	1	67	-	0	-
3.13	Koupelna	24	322	1	322	KLM-M 1820.600	362	112
3.14	Obývací pokoj	20	743.5	1	744	VK 21/060/160	808	109
3.15	Ložnice	20	326.5	1	327	VK 21/060/070	353	108

3.17	Chodba	20	69.9	1	70	-	0	-
3.18	Koupelna	24	322	1	322	KLM-M 1820.600	362	112
3.19	Obývací pokoj	20	779.1	1	779	VK 21/060/160	808	104
3.20	Ložnice	20	326.5	1	327	VK 21/060/070	353	108
3.22	Chodba	20	69.9	1	70	-	0	-
3.23	Koupelna	24	322	1	322	KLM-M 1820.600	362	112
3.24	Obývací pokoj	20	1158	1	1158	VK 22/060/180	1182	102
3.26	Chodba	20	69.9	1	70	-	0	-
3.27	Koupelna	24	322	1	322	KLM-M 1820.600	362	112
3.28	Obývací pokoj	20	779.6	1	780	VK 21/060/160	808	104
3.29	Ložnice	20	326.5	1	327	VK 21/060/070	353	108
3.31	Chodba	20	63	1	63	-	0	-
3.32	Koupelna	24	322	1	322	KLM-M 1820.600	362	112
3.33	Obývací pokoj	20	892.7	1	893	VK 22/060/140	919	103
3.34	Ložnice	20	441.4	1	441	VK 21/060/090	454	103
3.36	Chodba	15	335	1	335	VK 10/060/110	340	101
3.37	Chodba	15	361	1	361	VK 10/060/120	371	103

Tab. B. 3: Varianta 1 - návrh vykurovacích telies

Celkový výkon vykurovacích telies pre variantu 1: $Q_{V1} = 33,2 \text{ kW}$

B.4.2 Varianta 2

V ďalšej variante sú navrhnuté vykurovacie telesá Tomton R1. Oproti bežným vykurovacím telesám majú nižší objem vody vo výmenníku a tým aj nižšiu reakčnú dobu pri zmene podmienok v interiéri. Telesá budú vybavené ovládacím ventilom DoubleControl. Použité boli telesá s prirodzenou konvekciou a telesá s nútenou konvekciou TurboHeat. V kúpeľniach budú inštalované trubkové vykurovacie telesá Koralux Linear Max-M so spodným stredným pripojením pomocou integrovanej armatúry HM. V jedálni nachádzajúcej sa v 1.NP budú inštalované podlahové konvektory Koraflex FV od firmy Korado s ventilátorom a optimalizovanou konvekciou. Teplotný spád pre telesá bol zvolený 50/40 °C. U všetkých telies bol uvažovaný súčiniteľ zohľadňujúci pripojenie telesa $\varphi=1$.

č.m.	Názov miestnosti	t_{int} [°C]	ϕ_{HL} [W]	Σz [-]	$Q_{T,POT}$ [W]	Označenie vykurovacieho telesa	$Q_{T,skut}$ [W]	$Q_{T,skut}/$ $Q_{T,POT}$ [%]
1.01	Záďveří zadní	15	345,2	0,95	363	R101 1 TH	390	107
1.02	Chodba	15	319,3	1	319	R101 2 NC	466	146
1.04	Voříčkářna/kolárna	15	183,6	0,95	193	R101 1 NC	242	125
1.05	Úklid	18	185,5	1	186	R101 1 NC	201	108
1.06	Chodba	15	328,7	1	329	R101 2 NC	466	142
1.07	Chodba	15	211,9	1	212	R101 1 NC	242	114
1.08	Chodba	20	60,4	1	60	-	0	-
1.09	Koupelna	24	323	1	323	KLM 1810.600	362	112
1.10	Obývací pokoj	20	771,4	1	771	R101 2 TH	821	106

1.11	Ložnice	20	408,7	1	409	R101 1 TH	421	103
1.12	Chodba	20	60,1	1	60	-	0	-
1.13	Koupelna	24	317	1	317	KLM 1810.600	362	114
1.14	Obývací pokoj	20	690,4	1	690	R101 2 TH	821	119
1.15	Ložnice	20	282,4	1	282	R101 1 TH	335	119
1.16	Chodba	20	53,5	1	54	-	0	-
1.17	Koupelna	20	328	1	328	KLM 1810.600	362	110
1.18	Obývací pokoj	20	769,4	1	769	R101 2 TH	821	107
1.19	Ložnice	20	408,7	1	409	R101 1 TH	421	103
1.20	Jídelna	20	2045	1	2045	2x KF FV 11/20/080 2xKF FV 11/20/120	2488	122
1.21	Vstup	15	141,5	0,95	149	R101 1 NC	242	162
1.22	Výdejna	20	729,6	0,9	811	R101 2 TH	821	101
1.23	Šatna	22	73,5	1	74	Prepojené s 1.22	-	-
1.24	WC	20	34,4	1	34	-	0	-
1.25	WC invalidé	20	200,5	1	201	R101 1 NC	349	174
1.26	Chodba	20	71	1	71	-	0	0
1.27	Šatna	22	132	1	132	R101 1 NC	161	122
1.28	Koupelna+WC	24	243	1	243	KLM-M 1500.600	296	122
1.29	Chodba	20	-33,7	1	-34	-	0	-
1.30	Masérna	24	826,9	1	827	R101 2 TH	877	106
1.31	Sklad	20	-13,4	1	-13	-	0	-
1.32	Recepce	20	313,8	1	314	R101 2 NC	349	111
2.01	Chodba	15	168,4	1	220	R101 1 NC	242	110
2.02	Schodiště	15	227,6	1	436	R101 2 NC	466	107
2.04	Chodba	15	51,2	1	51	prepojené s 2.01	0	-
2.05	Úklid	18	116,7	1	117	R101 1 NC	201	172
2.06	Technická místnost	15	180,9	1	181	R101 1 NC	242	134
2.07	Společenský kout	15	-35,8	1	-36	-	0	0
2.08	Chodba	20	54,1	1	54	-	0	0
2.09	Koupelna	24	328	1	328	KLM 1810.600	362	110
2.10	Obývací pokoj	20	735,4	1	735	R101 2 TH	821	112
2.11	Ložnice	20	390,4	1	390	R101 1 TH	421	108
2.13	Chodba	20	57,2	1	57	-	0	-
2.14	Koupelna	24	312	1	312	KLM 1810.600	362	116
2.15	Obývací pokoj	20	663,8	1	664	R101 2 TH	821	124
2.16	Ložnice	20	282,5	1	283	R101 1 TH	335	119
2.18	Chodba	20	48,7	1	49	-	0	-
2.19	Koupelna	24	318	1	318	KLM 1810.600	362	114
2.20	Obývací pokoj	20	682,6	1	683	R101 2 TH	821	120
2.21	Ložnice	20	250,1	1	250	R101 1 TH	335	134
2.23	Chodba	20	156	1	156	R101 1 NC	181	116
2.24	Koupelna	24	347	1	347	KLM 1810.600	362	104
2.25	Obývací pokoj	20	1045	1	1045	R101 2 TH	1073	103
2.27	Chodba	20	54,5	1	55	-	0	-
2.28	Koupelna	24	330	1	330	KLM 1810.600	362	110
2.29	Obývací pokoj	20	664,3	1	664	R101 2 TH	821	124
2.30	Ložnice	20	282,5	1	283	R101 1 TH	335	119

2.32	Chodba	20	54.1	1	54	-	0	-
2.33	Koupelna	24	412.6	1	312	KLM 1810.600	362	116
2.34	Obývací pokoj	20	735.4	1	735	R101 2 TH	821	112
2.35	Ložnice	20	390.4	1	390	R101 1 TH	421	108
2.37	Chodba	15	224	1	224	R101 1 NC	242	108
2.38	Chodba	15	253	1	253	R101 1 NC	242	96
3.01	Chodba	15	194.9	1	254	R101 1 NC	242	95
3.02	Schodiště	15	207.9	1	208	prepojené s 2.02		-
3.04	Chodba	15	59.3	1	59	prepojené s 3.01		-
3.05	Úklid	18	131.6	1	132	R101 1 NC	201	153
3.06	Technická místnost	15	231.4	1	231	R101 1 NC	242	105
3.07	Chodba	20	66.3	1	66	-	0	-
3.08	Koupelna	24	339	1	339	KLM 1810.600	362	107
3.09	Obývací pokoj	20	829.5	1	830	R101 2 TH	954	115
3.10	Ložnice	20	441.4	1	441	R101 1 TH	489	111
3.12	Chodba	20	66.9	1	67	-	0	-
3.13	Koupelna	24	322	1	322	KLM 1810.600	362	112
3.14	Obývací pokoj	20	743.5	1	744	R101 2 TH	821	110
3.15	Ložnice	20	326.5	1	11	R101 1 TH	335	3045
3.17	Chodba	20	69.9	1	70	-	0	-
3.18	Koupelna	24	322	1	322	KLM 1810.600	362	112
3.19	Obývací pokoj	20	779.1	1	779	R101 2 TH	821	105
3.20	Ložnice	20	326.5	1	327	R101 1 TH	335	103
3.22	Chodba	20	69.9	1	70	-	0	-
3.23	Koupelna	24	322	1	322	KLM 1810.600	362	112
3.24	Obývací pokoj	20	1158	1	1158	R101 2 TH	1179	102
3.26	Chodba	20	69.9	1	70	-	0	-
3.27	Koupelna	24	322	1	322	KLM 1810.600	362	112
3.28	Obývací pokoj	20	779.6	1	780	R101 2 TH	821	105
3.29	Ložnice	20	326.5	1	327	R101 1 TH	335	103
3.31	Chodba	20	63	1	63	-	0	-
3.32	Koupelna	24	322	1	322	KLM 1810.600	362	112
3.33	Obývací pokoj	20	892.7	1	893	R101 2 TH	954	107
3.34	Ložnice	20	441.4	1	441	R101 1 TH	489	111
3.36	Chodba	15	335	1	335	R101 2 NC	466	139
3.37	Chodba	15	361	1	361	R101 2 NC	466	129

Tab. B. 4: Varianta 2 -návrh vykurovacích telies

Celkový výkon vykurovacích telies pre variantu 2: $Q_{v2} = 34,8 \text{ kW}$

Legenda označenia telies: R101 – Tomton R1

1 – Teleso v prevedení single – 570x502x135mm

2 – Teleso v prevedení double – 570x1132x135mm

NC – Teleso s prirodzenou konvekciou

TH – TurboHeat – teleso s nútenou konvekciou

B.4.3 Varianta 3

V poslednej variante tvorí hlavnú vykurovaciu plochu podlahové vykurovanie. Bol navrhnutý mokrý spôsob uloženia do systémovej dosky z tepelnej izolácie umiestnený v betónovej mazanine s hrúbkou 100 mm. Celková hrúbka tepelnej izolácie vrátane systémovej dosky je 70 mm. Ako nášľapná vrstva sa vyskytujú prevažne drevené parkety a keramická dlažba. Potrubie bude kladené do tvaru plošnej špirály, v miestnosti 1.20 jedáleň bude použité uloženie do tvaru meandru. Bude použité viacvrstvé potrubie Alpex-DuoXS o rozmeroch 16x2mm s rozstupmi od 75mm do 300mm.

Vstupná teplota	40	°C
Výstupná teplota	32	°C
Celkový tepelný výkon	25.46	kW
Potrebný výkon	26.91	kW
Výkon vyk. telies	1.94	kW
Celkový prietok	3077	kg/h
Max. strata tlaku	3223	Pa
Objem vody	376	l
Celkový vyk. plocha	561.3	m ²
Celková dl. potrubia	3329	m
Počet rozdeľovačov	17	ks

Tab. B. 5: Základné údaje - podlahové vykurovanie

Podlahové vykurovanie bude využité na ohrev všetkých bytových jednotiek a samostatných prevádzok, ostatné spoločné priestory budú ohrievané pomocou vykurovacích telies Radik VK s teplotným spádom 50/40 °C (viď varianta 1). Každá bytová jednotka bude mať k dispozícii vlastný rozdeľovač/zberač s vlastným meraním spotreby tepla, prístupný zo spoločných priestorov. Celkovo bolo navrhnutých typov 10 rozdeľovačov – niektoré z nich sú v projekte použité viackrát. Celková plocha podlahového vykurovania v celej budove je 561,3 m².

Rozteč[mm]	d x t [mm]	Plocha [m ²]
R75	16x2	59,1
R150	16x2	69
R225	16x2	222,8
R300	16x2	206,8
Plocha s prípojkami		3,6

Tab. B. 6: Plocha podlahového vykurovania

Celkový potrebný výkon pre variantu 3:

$$Q_{V3} = Q_{pdl} + Q_{dop} + Q_{OT} = 25,46 + 1,94 + 5,43 = 32,8 \text{ kW}$$

č.m.	Názov miestnosti	θ_{int} [°C]	Φ_{HL} [W]	Σz [-]	$Q_{\text{T,POT}}$ [W]	Označenie vykurovacieho telesa	$Q_{\text{T,skut}}$ [W]	$Q_{\text{T,skut}}/$ $Q_{\text{T,POT}}$ [%]
1.01	Zádveří zadní	15	345,2	0,95	363	VK 21/060/060	388	107
1.02	Chodba	15	319,3	1	319	VK 21/060/050	324	101
1.04	Vozíčkářna/kolárna	15	183,6	0,95	193	VK 10/060/070	217	112
1.05	Úklid	18	185,5	1	186	VK 10/060/070	189	102
1.06	Chodba	15	328,7	1	329	VK 10/060/110	340	103
1.07	Chodba	15	211,9	1	212	VK 10/060/080	247	117
1.21	Vstup	15	141,5	0,95	149	VK 10/060/050	155	104
1.25	WC invalidé	20	200,5	1	201	VK 21/060/040	202	101
1.32	Recepce	20	313,8	1	314	VK 21/060/070	353	112
2.01	Chodba	15	168,4	1	220	VK 10/060/080	247	112
2.02	Schodiště	15	227,6	1	436	VK 21/060/080	517	119
2.05	Úklid	18	116,7	1	117	VK 10/060/050	135	116
2.06	Technická místnost	15	180,9	1	181	VK 10/060/070	217	120
2.37	Chodba	15	224	1	224	VK 10/060/080	247	110
2.38	Chodba	15	253	1	253	VK 10/060/090	279	110
3.01	Chodba	15	194,9	1	254	VK 10/060/090	279	110
3.05	Úklid	18	131,6	1	132	VK 10/060/050	135	103
3.06	Technická místnost	15	231,4	1	231	VK 10/060/080	247	107
3.36	Chodba	15	335	1	335	VK 10/060/110	340	101
3.37	Chodba	15	361	1	361	VK 10/060/120	371	103

Tab. B. 7: Varianta 3 - prehľad vykurovacích telies

Pri návrhu bol využitý software HT2000.

č.r.	Názov miestnosti	t_i [°C]	q [W/m ²]	t_p [°C]	Δt [K]	Poč. okruhov	DI. Okruh u [m]	R [mm]	M [kg/h]	Δp [Pa]	v [m/s]	Nastavenie ventilu U1/U2
R1	Ob. Pokoj	20	39	24,2	8	2	52,8	225	44	1347	0,11	max/2,5
	Ložnice	20	44	24,2	8	1	41,9	225	46	1225	0,11	4,0/2,5
	Koupelna	24	91	30,6	6	1	54,4	75	38	1102	0,09	3,75/2
Σ							201,9		172			
R2	Ob. Pokoj	20	37	23,7	8	2	33,7	300	40	872	0,1	3,75/2,0
	Ložnice	20	30	23,7	8	1	40,6	300	33	759	0,08	3,5/1,75
	Koupelna	24	88	30,6	6	1	53,8	75	38	1115	0,09	max/2,0
Σ							161,8		151			
R3	Koupelna	24	68	30,6	6	1	75,3	75	57	3542	0,14	max/max
	Masérna	24	72	28,2	8	1	65,5	225	58	3320	0,14	4,0/4,0
Σ							140,8		115			
R4	Jídelna	20	36	24,7	8	4	50,1	300	59	2766	0,14	4,0/3,5
	Kuchýň	20	75	27,1	6	2	52,2	150	61	3011	0,15	max/3,75
Σ							304,8		358			
R5	Ob. Pokoj	20	37	23,7	8	2	41,7	300	45	1189	0,11	4,25/2,5
	Ložnice	20	42	24,2	8	1	41,9	225	48	1296	0,12	max/2,75
	Koupelna	24	93	30,6	6	1	54,4	75	41	1216	0,1	4,75/2,25
Σ							179,7		179			
R6	Ob. Pokoj	20	41	23,7	8	2	32,5	300	41	887	0,1	max/2,0
	Ložnice	20	35	23,7	8	1	40,6	300	35	823	0,09	4,9/1,75
	Koupelna	24	28	30	8	1	53,8	75	28	768	0,07	4,25/1,5
Σ							159,4		145			
R7	Ob. Pokoj	20	41	24,2	8	3	44,9	225	49	1396	0,12	4,5/2,75
	Koupelna	24	96	30,6	6	1	54	75	46	1403	0,11	max/2,5
	Ložnice	20	43	Vykurované prip.potrubiami ostatných miestností								
Σ							188,7		193			
R8	Ob. Pokoj	20	42	24,8	8	2	74,9	150	51	2078	0,13	max/3,25
	Ložnice	20	48	24,8	8	1	62,4	150	55	1978	0,13	4/3,25
	Koupelna	24	96	30,8	5	1	54,4	75	51	1622	0,13	3,75/3
Σ							266,6		208			
R9	Ob. Pokoj	20	41	24,2	8	2	42,6	225	46	1227	0,11	4,25/2,5
	Ložnice	20	35	24,2	8	1	50,9	225	40	1160	0,1	4,25/2,25
	Koupelna	24	89	30,6	6	1	53,8	75	41	1233	0,1	max/2,25
Σ							189,9		173			
R10	Ob. Pokoj	20	44	26,6	8	3	43,8	225	48	1313	0,12	4,5/2,75
	Koupelna	24	89	30,6	6	1	57	75	41	1284	0,1	max/2,25
Σ							188,4		185			

Tab. B. 8: Prehľad navrhnutých rozdeľovačov

B.5 Návrh potreby teplej vody

V budove je navrhnutý zásobníkový ohrev teplej vody. Zásobník sa bude nachádzať v technickej miestnosti, ako zdroj tepla pre ohrev TUV bude slúžiť plynový kondenzačný kotol.

Návrh zásobníkového ohrevu teplej vody podľa ČSN 06 0320:

Denná potreba teplej vody: (30 osôb, 325 m² upratovanie, 200 jedál, umývadlo, sprcha)

$$V_p = 30 \cdot 0,082 + 3,25 \cdot 0,02 + 200 \cdot 0,001 + 8 \cdot 0,025 + 0,002 \cdot 16 = 2,957 \text{ m}^3/\text{den}$$

Teoretické teplo odobrané z ohrievača behom periódy:

$$Q_{2t} = 1,163 \cdot V \cdot (\theta_2 - \theta_1) = 1,163 \cdot 2,957 \cdot (55 - 10) = 154,8 \text{ kWh}$$

Teplo stratené pri ohreve a distribúcii teplej vody (24h cirkulácia):

$$Q_{2z} = Q_{2t} \cdot z = 154,8 \cdot 0,5 = 77,4 \text{ kWh}$$

Teplo dodané ohrievačom do vody behom periódy:

$$Q_{1p} = Q_{2t} + Q_{2z} = 154,8 + 77,4 = 232,2 \text{ kWh}$$

Rozdelenie potreby vody v priebehu dňa:

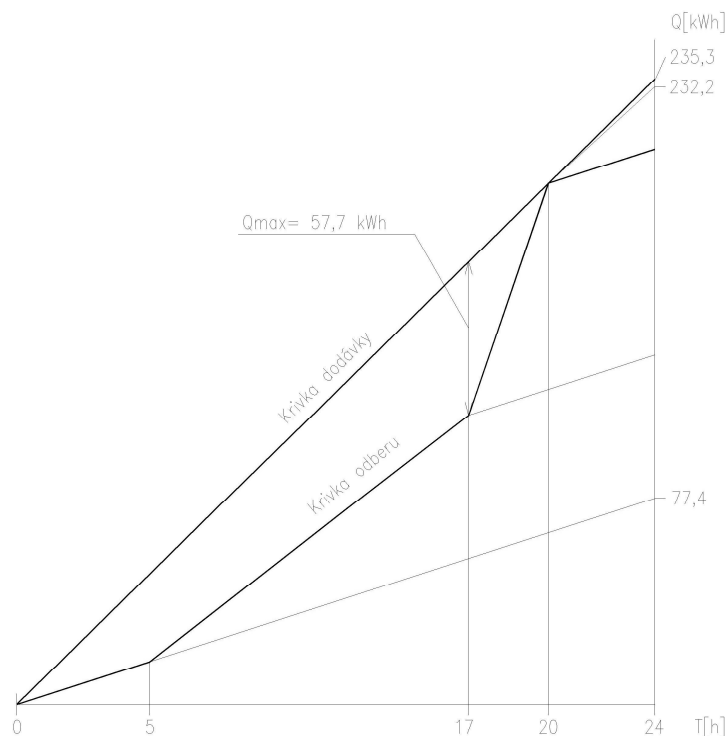
5-17 hod.	35%	81,27 kWh
17-20 hod.	50%	116,1 kWh
20-24 hod.	15%	34,83 kWh

Objem zásobníku:

$$V_z = \frac{\Delta Q_{max}}{(1,163 \cdot \Delta \theta)} = \frac{57,7}{1,163 \cdot 45} = 1,1 \text{ m}^3$$

Menovitý tepelný výkon ohrievača vody:

$$Q_n = \frac{Q_{1p}}{t_{max}} = \frac{232,2}{24} = 9,7 \text{ kW}$$



Obr. B. 1: Graf odberu a dodávky tepla počas dňa

Návrh zásobníku TV:

Potrebná teplovýmenná plocha:

$$T_1/T_2 = 60/40 \text{ } ^\circ\text{C} ; t_2/t_1 = 55/10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta t = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}} = \frac{(60 - 55) - (40 - 10)}{\ln \frac{(60 - 55)}{(40 - 10)}} = 13,95 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Teplovýmenná plocha:

$$A_t = \frac{Q_n \cdot 1000}{U_V \cdot \Delta t} = \frac{9,7 \cdot 1000}{420 \cdot 13,95} = 1,66 \text{ m}^2$$

Navrhujem 2 stojaté zásobníky Storatherm Aqua AF750/1 s plochou výmenníku 3,7m². Vzhľadom na nedostatok priestoru v technickej miestnosti v 3. NP budú zásobníky umiestnené v technickej miestnosti v 2.NP. Nebolo možné navrhnuť 1 zásobník s objemom 1500l ,vzhľadom k príliš veľkým rozmerom by nebolo možné ho do technickej miestnosti dopraviť. Zásobník je vybavený snímateľnou tepelnou izoláciou hrúbky 100 mm s krycou fóliou.

B.6 Návrh zdroja tepla

Potreba tepla pre vykurovanie: $Q_{VYT} = 34,8 \text{ kW}$

Potreba tepla na prípravu TV: $Q_{TV} = 9,7 \text{ kW}$

Potrebný výkon zdroja v zime:

$$Q_{PRIP} = 0,7Q_{VYT} + 0,7Q_{VZT} + Q_{TV} = 0,7 \cdot 34,8 + 0,7 \cdot 0 + 9,7 = 34,1 \text{ kW}$$

Potrebný výkon zdroja v lete:

$$Q_{PRIP} = Q_{TV} = 9,7 \text{ kW}$$

Navrhujem nástenný plynový kondenzačný kotol Buderus GB192 – 35i s menovitým výkonom 35 kW a modulovateľným výkonom od 5,1 kW. Kotol je vybavený poistným ventilom s otváracím pretlakom 300 kPa a obehovým čerpadlom UPM15-70.

B.7 Dimenzovanie potrubí

Ako primárny materiál pre potrubie vykurovacej sústavy bola u všetkých variant zvolená med'. U varianty 3 – podlahové vykurovanie bude na vykurovacie plochy použité viacvrstvé potrubie s nosnou hliníkovou vrstvou Ivar AlPex Duo XS. Hydraulický návrh priemeru potrubia bol stanovený pomocou metódy ekonomických rýchlostí. Hydraulické vyváženie bude u varianty 1 a varianty 2 riešené pomocou termostatického ventilu umiestneného vo vykurovacom telese. U varianty 3 bude hydraulické vyváženie sústavy zabezpečené vyvažovacími ventilmi umiestnenými pri každom rozdeľovači. Z výpočtov uvádzam len dimenzovanie základných okruhov (časť rozvodu s najväčšou tlakovou stratou) pre každú vetvu vychádzajúcu s rozdeľovača/zberača, ostatné úseky boli dimenzované rovnakým spôsobom. Výsledky dimenzovania a nastavenie jednotlivých armatúr sú uvedené vo výkresovej dokumentácii.

Celkovo sa vykurovacia sústava v každej variante skladá z 3 vetiev: Okruh vykurovacích telies/ podlahového vykurovania pre byty a nájomné jednotky, okruh vykurovacích telies pre spoločné priestory a okruh na prípravu teplej vody.

Č.ú.	Q	Qcelk	V	M	L	d	k	p	Re	λ	R	W	ξ	Z	ΔP _{VNEMK}	ΔP _{ARMAT}	ΔP _{BY}	KV	ΔP _{GRV}	R ^I	R ^I ·Z·ΔP _V	ΣΔP _d
	kW	kW	m³/h	kg/h	m	mm	[m]	[kg/m³]	kritérium		Pa/m	m/s	Σ	Pa	Pa	Pa	Pa	m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa
Varianta 1 - vetva 1																						
1	0,81	0,81	0,070	69,66	11,8	13	0,0063	990,0	3170	Přechodové	29	0,15	10	107				0,75	880	345	1 333	1 333
2	0,36	1,17	0,102	100,87	1,2	13	0,0063	990,0	4590	Turbulentní	71	0,21	3,1	70					0	85	155	1 488
3	0,45	1,62	0,141	140,01	27,8	16	0,0063	990,0	5177	Turbulentní	47	0,20	21,1	399	500				0	1 293	2 192	3 680
4	3,44	5,06	0,441	436,58	27,2	25	0,0063	990,0	10331	Turbulentní	39	0,25	2,5	77					0	1 058	1 135	4 815
5	1,33	6,39	0,557	551,25	7,4	25	0,0063	990,0	13044	Turbulentní	58	0,32	2,5	123					0	429	552	5 367
6	2,99	9,38	0,817	809,02	8,3	32	0,0063	990,0	14956	Turbulentní	35	0,28	4,5	177					0	289	467	5 834
7	8,82	18,20	1,585	1569,43	6,6	39	0,0063	990,0	23806	Turbulentní	43	0,37	2,5	168					0	283	452	6 286
8	9,58	27,78	2,420	2395,35	13,2	39	0,0063	990,0	36334	Turbulentní	90	0,56	9,5	1 489	1 628	5 000		10,0	5 855	1 190	15 161	21 447
Č.ú.	Q	Qcelk	V	M	L	d	k	p	Re <td>λ</td> <td>R</td> <td>W</td> <td>ξ</td> <td>Z</td> <td>ΔP_{VNEMK}</td> <td>ΔP_{ARMAT}</td> <td>ΔP_{BY}</td> <td>KV</td> <td>ΔP_{GRV}</td> <td>R^I</td> <td>R^I·Z·ΔP_V</td> <td>ΣΔP_d</td>	λ	R	W	ξ	Z	ΔP _{VNEMK}	ΔP _{ARMAT}	ΔP _{BY}	KV	ΔP _{GRV}	R ^I	R ^I ·Z·ΔP _V	ΣΔP _d
	kW	kW	m³/h	kg/h	m	mm	[m]	[kg/m³]	kritérium		Pa/m	m/s	Σ	Pa	Pa	Pa	Pa	m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa
Varianta 2 - vetva 1																						
1	0,82	0,82	0,071	70,78	11,8	13	0,0063	990,0	3221	Přechodové	31	0,15	10	111				0,67	1 139	361	1 611	1 611
2	0,36	1,18	0,103	101,99	1,2	13	0,0063	990,0	4641	Turbulentní	73	0,22	3,1	71					0	87	158	1 769
3	0,42	1,60	0,140	138,29	27,8	16	0,0063	990,0	5113	Turbulentní	46	0,19	21,1	389	500				0	1 267	2 156	3 925
4	3,47	5,07	0,442	437,45	27,2	25	0,0063	990,0	10351	Turbulentní	39	0,25	2,5	77					0	1 062	1 139	5 064
5	1,33	6,40	0,558	552,11	7,4	25	0,0063	990,0	13065	Turbulentní	58	0,32	2,5	123					0	430	553	5 618
6	3,12	9,53	0,830	821,27	8,3	32	0,0063	990,0	15183	Turbulentní	36	0,29	7,1	289					0	297	585	6 203
7	9,38	18,90	1,646	1629,77	6,6	39	0,0063	990,0	24722	Turbulentní	46	0,38	2,5	181					0	303	484	6 687
8	9,71	28,61	2,492	2466,91	13,2	39	0,0063	990,0	37420	Turbulentní	95	0,58	13	2 160	1 628	5 000		10,0	6 210	1 254	16 252	22 939
Č.ú.	Q	Qcelk	V	M	L	d	k	p	Re <td>λ</td> <td>R</td> <td>W</td> <td>ξ</td> <td>Z</td> <td>ΔP_{VNEMK}</td> <td>ΔP_{ARMAT}</td> <td>ΔP_{BY}</td> <td>KV</td> <td>ΔP_{GRV}</td> <td>R^I</td> <td>R^I·Z·ΔP_V</td> <td>ΣΔP_d</td>	λ	R	W	ξ	Z	ΔP _{VNEMK}	ΔP _{ARMAT}	ΔP _{BY}	KV	ΔP _{GRV}	R ^I	R ^I ·Z·ΔP _V	ΣΔP _d
	kW	kW	m³/h	kg/h	m	mm	[m]	[kg/m³]	kritérium		Pa/m	m/s	Σ	Pa	Pa	Pa	Pa	m³/h	Pa	Pa	Pa	Pa
Varianta 3 - vetva 1																						
1	1,60	1,60	0,139	137,95	19,4	16	0,0063	993,5	4201	Turbulentní	48	0,19	10,4	190				0,75	3 427	937	6 339	6 339
2	3,45	5,05	0,439	435,67	17,0	25	0,0063	993,5	8492	Turbulentní	41	0,25	4,6	141					0	696	837	7 176
3	1,20	6,26	0,543	539,31	12,7	25	0,0063	993,5	10512	Turbulentní	59	0,31	14,85	696					0	747	1 443	8 619
4	3,00	9,26	0,803	797,97	8,0	32	0,0063	993,5	12151	Turbulentní	36	0,28	13,45	514					0	287	801	9 420
5	8,85	18,11	1,571	1561,02	6,6	39	0,0063	993,5	19504	Turbulentní	45	0,37	12,45	826					0	294	1 120	10 540
6	9,20	27,31	2,370	2354,25	13,2	39	0,0063	993,5	29415	Turbulentní	91	0,55	22,35	3 371	6 517			10,0	5 615	1 205	16 708	27 248

Tab. B.9: Vetva 1 - dimenzovanie základného okruhu

Č.ú.	Q	Q _{celk}	V	M	L	d	k	ρ	Re	oblast proudění	λ	R	W	ξ	Z	ΔP _{vniesk}	ΔP _{ARMAT}	ΔP _{DEV}	KV	ΔP _{DEV}	R ^I	R ^I +Z+ΔP _V	ΣΔP _d
	kw	kw	m ³ /h	kg/h	m	mm	[m]	[kg/m ³]	kriterium			Pa/m	m/s	z	Pa	Pa	Pa	Pa	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa
Varianta 1 /Varianta 3- vetva 2																							
1	0,34	0,34	0,030	29,31	25,0	13	0,0063	990,0	1334	Lineární	0,048	7	0,06	8,5	16				0,75	156	175	347	347
2	0,39	0,73	0,063	62,76	0,8	13	0,0063	990,0	2856	Přechodové	0,033	22	0,13	8,5	74					0	17	92	439
3	1,03	1,76	0,153	151,91	7,8	16	0,0063	990,0	5617	Turbulentní	0,038	53	0,21	7,9	176					0	416	592	1030
4	0,19	1,95	0,170	168,20	8,0	16	0,0063	990,0	6219	Turbulentní	0,037	63	0,23	11,9	325					0	506	830	1861
5	0,22	2,17	0,189	186,91	4,0	16	0,0063	990,0	6911	Turbulentní	0,036	76	0,26	9,9	333					0	302	636	2496
6	0,25	2,42	0,210	208,20	6,6	16	0,0063	990,0	7698	Turbulentní	0,035	91	0,29	9,9	414					0	598	1012	3508
7	1,64	4,06	0,353	349,59	6,6	20	0,0063	990,0	10341	Turbulentní	0,032	76	0,31	2,5	121					0	504	625	4133
8	1,37	5,43	0,472	467,71	13,2	25	0,0063	990,0	11067	Turbulentní	0,031	44	0,27	17	601		7 438		2,5	3 571	578	12 188	16 321
Č.ú.	Q	Q _{celk}	V	M	L	d	k	ρ	Re	oblast proudění	λ	R	W	ξ	Z	ΔP _{vniesk}	ΔP _{ARMAT}	ΔP _{DEV}	KV	ΔP _{DEV} <td>R^I</td> <td>R^I+Z+ΔP_V</td> <td>ΣΔP_d</td>	R ^I	R ^I +Z+ΔP _V	ΣΔP _d
	kw	kw	m ³ /h	kg/h	m	mm	[m]	[kg/m ³]	kriterium			Pa/m	m/s	z	Pa	Pa	Pa	Pa	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa
Varianta 2 - vetva 2																							
1	0,47	0,47	0,041	40,18	25,0	13	0,0063	990,0	1828	Lineární	0,035	10	0,08	8,5	30				0,67	367	240	638	638
2	0,39	0,85	0,074	73,63	0,8	13	0,0063	990,0	3350	Přechodové	0,037	34	0,16	8,5	102					0	27	129	767
3	1,41	2,26	0,197	194,84	7,8	16	0,0063	990,0	7204	Turbulentní	0,035	81	0,27	7,9	289					0	632	921	1688
4	0,20	2,46	0,214	212,17	8,0	16	0,0063	990,0	7845	Turbulentní	0,034	94	0,30	11,9	516					0	749	1265	2953
5	0,24	2,70	0,235	233,03	4,0	20	0,0063	990,0	6893	Turbulentní	0,036	38	0,21	9,1	195					0	154	349	3302
6	0,24	2,95	0,256	253,90	6,6	20	0,0063	990,0	7510	Turbulentní	0,035	44	0,23	9,9	252					0	293	545	3846
7	1,64	4,58	0,399	394,86	6,6	20	0,0063	990,0	11679	Turbulentní	0,031	94	0,35	2,5	154					0	621	775	4621
8	1,62	6,20	0,540	534,26	13,2	25	0,0063	990,0	12642	Turbulentní	0,03	55	0,31	17	785		8 350		2,5	4 660	725	14 520	19 141
Č.ú.	Q	Q _{celk}	V	M	L	d	k	ρ	Re	oblast proudění	λ	R	W	ξ	Z	ΔP _{vniesk}	ΔP _{ARMAT}	ΔP _{DEV}	KV	ΔP _{DEV} <td>R^I</td> <td>R^I+Z+ΔP_V</td> <td>ΣΔP_d</td>	R ^I	R ^I +Z+ΔP _V	ΣΔP _d
	kw	kw	m ³ /h	kg/h	m	mm	[m]	[kg/m ³]	kriterium			Pa/m	m/s	z	Pa	Pa	Pa	Pa	m ³ /h	Pa	Pa	Pa	Pa
Příprava TV - vetva 3																							
1	35,00	35,00	1,527	1508,30	15,0	40	0,0063	987,9	24416	Turbulentní	0,025	35	0,34	20,2	1136	2 000	1 250		5,50	7 706	522	12 614	12 614

Tab. B. 10:Vetva 2 - dimenzovanie základného okruhu

B.9 Kompenzácia dĺžkových zmien

U horizontálneho potrubia uloženého v podlahe budú dĺžkové zmeny kompenzované prirodzeným spôsobom v existujúcich ohyboch a odbočkách. Úseky dlhšie ako 5 m je vhodné opatriť dilatačnou páskou v jednotlivých ohyboch potrubia.

d_a [mm]	l_0 [m]	$t_{\max}$ [°C]	t_e [°C]	α [m/(m.K)]	Δl [mm]	c [-]	L_p [mm]	Riešenie
18	11,2	50	10	1,66E-05	7,4	33	376	Prirodzená komp.
28	9,3	50	10	1,66E-05	6,2	33	427	Prirodzená komp.
15	11,8	50	10	1,66E-05	7,8	33	352	Prirodzená komp.

Tab. B. 2: Posúdenie dĺžkových zmien u horizontálneho potrubia

Aj u vertikálne uloženého stúpacieho potrubia budú dĺžkové zmeny kompenzované prirodzene. Ako kompenzátory budú slúžiť jednotlivé odbočky v každom podlaží.

d_a [mm]	l_0 [m]	$t_{\max}$ [°C]	t_e [°C]	α [m/(m.K)]	Δl [mm]	c [-]	L_p [mm]	Riešenie
18	3,3	50	10	1,66E-05	2,2	33	204	Prirodzená komp.
22	3,3	50	10	1,66E-05	2,2	33	226	Prirodzená komp.
28	2,5	50	10	1,66E-05	1,7	33	222	Prirodzená komp.
35	3,3	50	10	1,66E-05	2,2	33	285	Prirodzená komp.
42	3,3	50	10	1,66E-05	2,2	33	312	Prirodzená komp.
42	2,5	50	10	1,66E-05	1,7	33	271	Prirodzená komp.

Tab. B. 3: Posúdenie dĺžkových zmien u vertikálneho potrubia

B.10 Návrh izolácií potrubia

Návrh izolácií bol vykonaný pomocou výpočtového nástroja na stránke TZBinfo.cz. Pre potrubie vedené mimo podlahu bola navrhnutá izolácia ROCKWOOL PIPO ALS. Jedná sa o potrubné púzdra z minerálnej vlny kaširované hliníkovou fóliou. Potrubie vedené v podlahe bude izolované izoláciou z polyetylénu hrúbky 9mm.

Rozmer trubky Dxt	Teplota okolia [°C]	Max. teplota média [°C]	Teplota rosného bodu [°C]	Povrchová teplota potrubia [°C]	Súč. prestupu tepla [W/m ² K]	Určujúci súč. prestupu tepla [W/m ² K]	Hrúbka izolácie [mm]
15x1	15	60	8,7	18,2	0,147	0,15	25
18x1	15	60	8,7	17,7	0,149	0,15	30
22x1	15	60	8,7	17,9	0,165	0,18	30
28x1,5	15	60	8,7	17,2	0,164	0,18	40
35x1,5	15	60	8,7	16,8	0,165	0,18	50
42x1,5	15	60	8,7	16,8	0,183	0,27	50

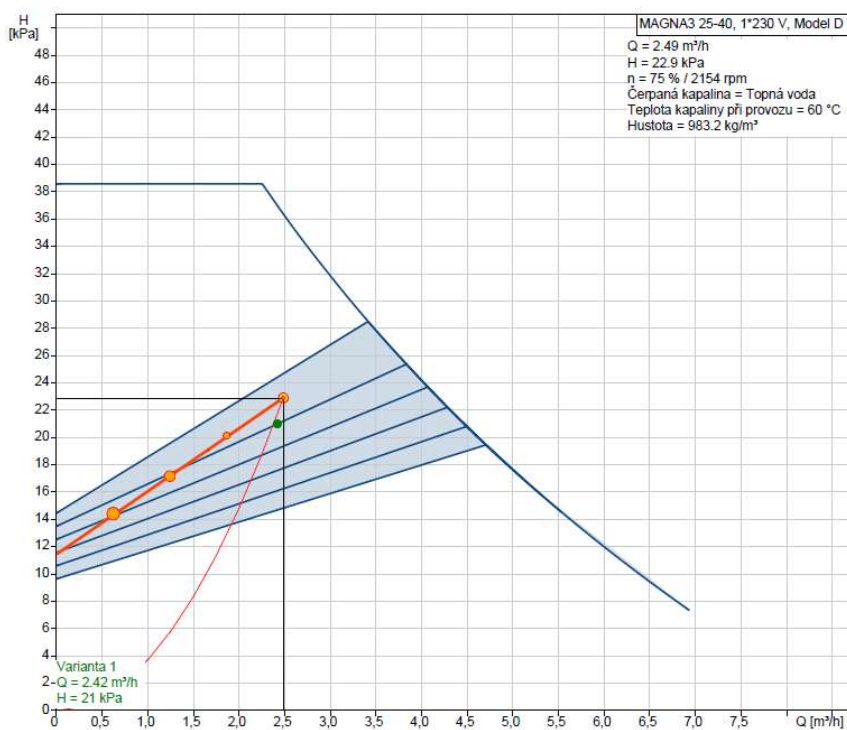
Tab. B. 4: Návrh tepelných izolácií potrubia

B.11 Návrh čerpadiel

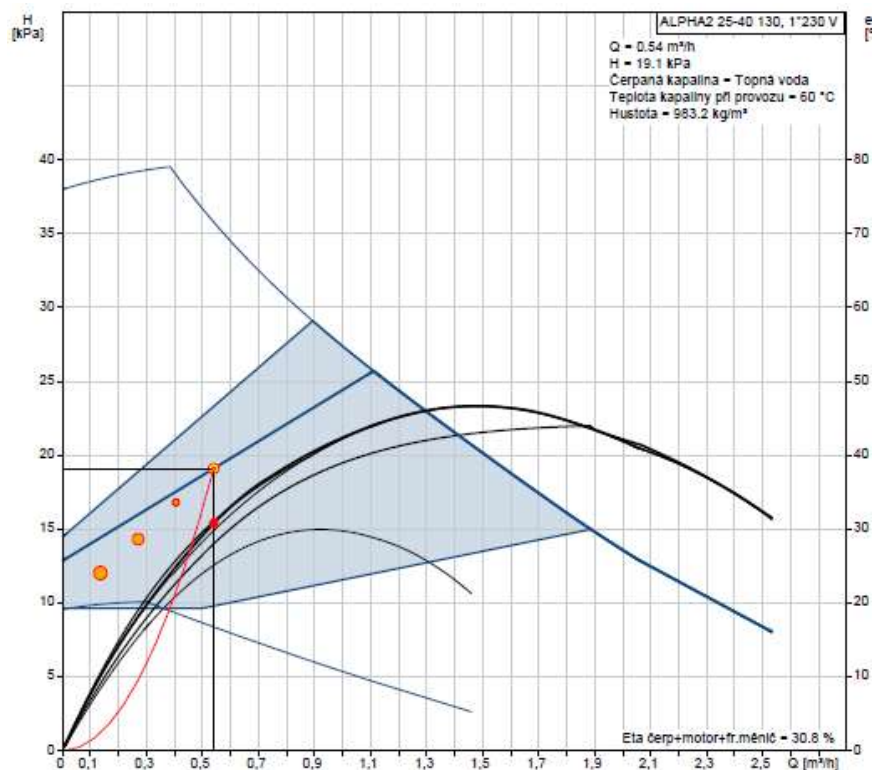
Na návrh obehových čerpadiel bol použitý online software Grundfos Product Center. Použité budú mokrobežné obehové čerpadlá s možnosťou riadenia otáčok. Čerpadlá u vetiev s vykurovacími telesami budú riadené podľa proporcionálneho tlaku, čerpadlá pre podlahové vykurovanie budú riadené podľa konštantného diferenčného tlaku. Pre kotlový okruh bude použité čerpadlo integrované v plynovom kotly. V grafe tohto čerpadla je zohľadnená tlaková strata trojcestného ventilu a kotlového výmenníku.

Pozícia	Vetva	Varianta	Umiestnenie	Typ zariadenia	Výtlačná výška	Prietok [m ³ /h]	Regulácia
OČ1	1	V1,V2	3.06	Grundfos Magna3 25-40	22.9	2.490	proporcionálny tlak
OČ2	2	V1,V2,V3	3.06	Grundfos Alpha2 25-40	19.1	0.540	proporcionálny tlak
OČ3	3	V1,V2,V3	3.06	Grundfos Alpha2 L 25-40	12.6	1.530	proporcionálny tlak
OČ4	1	V3	3.06	Grundfos Alpha1 L 25-60	27.2	2.370	konst. diferenčný tlak

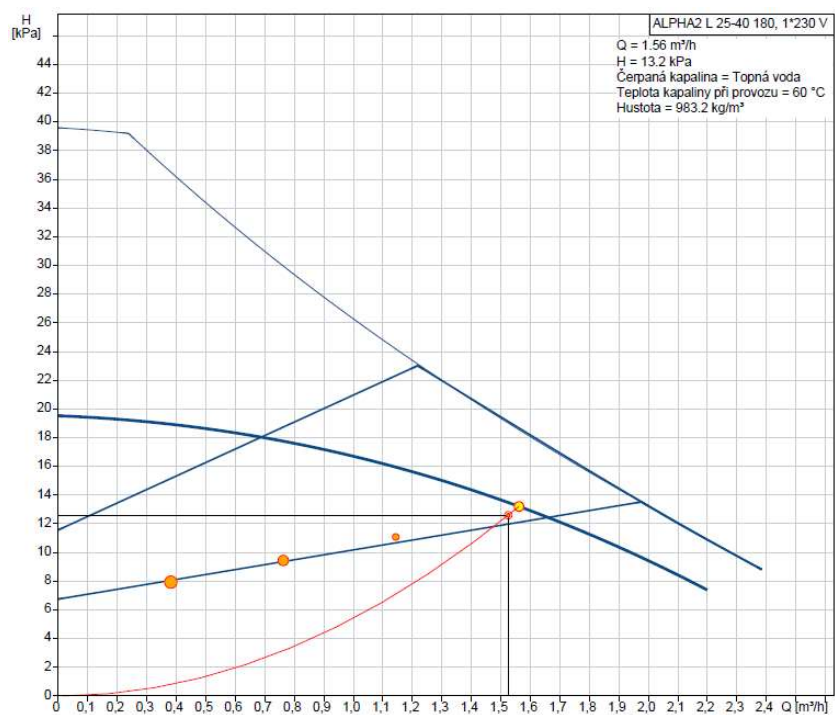
Tab. B. 11: Prehľad navrhnutých obehových čerpadiel



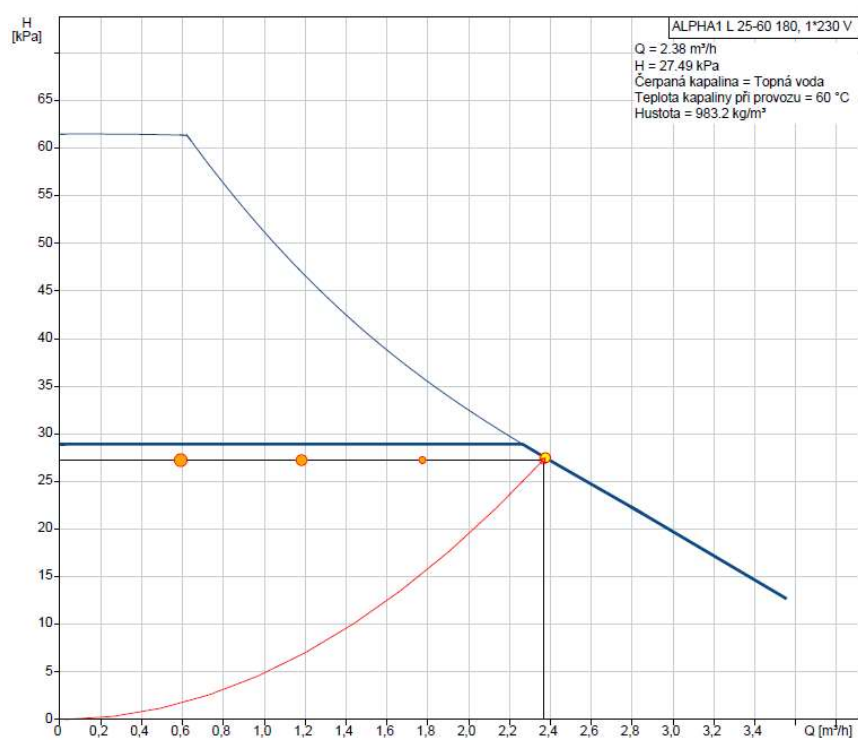
Obr. B. 2: Čerpadlo pre vetvu 1 - varianta 1 a varianta 2



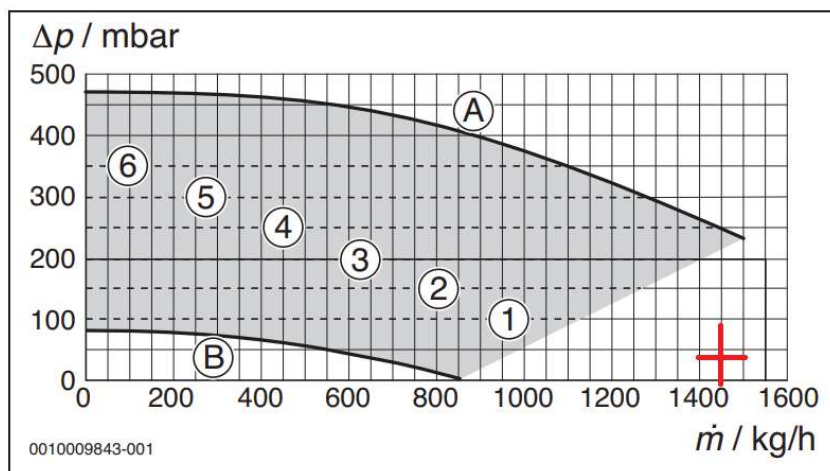
Obr. B. 3: Čerpadlo pre vetvu 2 - všetky varianty



Obr. B. 4: Čerpadlo pre vetvu 3 - všetky varianty



Obr. B. 5: Čerpadlo pre vetvu 1 - varianta 3



Obr. B. 6: Čerpadlo pre kotlový okruh

B.12 Návrh zabezpečovacích zariadení

Nenavrhujem samostatný poistný ventil, bude použitý poistný ventil zabudovaný v plynovom kotly s otváracím pretlakom 300 kPa.

Ďalej bola navrhnutá pre každú variantu tlaková expanzná nádoba.

Vstupné parametre vykurovacej sústavy:

Výška vykurovacej sústavy: $h=9,1\text{m}$

Výška manometrickej roviny: $h_{mr}=8,1\text{m}$

č.v.	V_0 [l]	$t_{\max}$ [°C]	n [-]	V_e [l]	$p_{d,dov}$ [kPa]	p_d [kPa]	p_k [kPa]	$p_{h,dov}$ [kPa]	V_{ep} [l]	d_v [mm]	Návrh
Varianta 1	707	70	0,022	20,4	23	110	300	290	44,2	13,5	N50/6
Varianta 2	512	70	0,022	14,8	23	110	300	290	32,0	13,5	N35/6
Varianta 3	825	70	0,022	23,8	27	110	300	290	51,6	13,5	N80/6

Obr. B. 12: Prehľad navrhnutých expanzných nádob

Expanzná nádoba bude na sústavu pripojená expanzným potrubím **18x1 mm**.

B.13 Návrh ostatných zariadení kotolne

Pri návrhu boli využité projekčné podklady jednotlivých výrobcov armatúr a zariadení. Jednotlivé tlakové straty armatúr boli využité pri dimenzovaní a hydraulickom vyvážení sústavy.

Bytový dom				Legenda zariadení							
Pozícia	Varianta	Umiestnenie	Názov zariadenia	Typ zariadenia	Parametre zariadenia		Parametre čerpadla		Parametre ventilu		
					Výkon	Tlak.strata	Prietok	Výtl.výška	DN vent.	Kvs vent.	Nastavenie
					[kW]	[kPa]	[m³/h]	[m]	[mm]	[m³/h]	[ot.]
RS1	Všetky	3.06	kombinovaný rozdelov ač a zberač	RS kombi modul 100, L=1,8m	35,00		1,5				
PK1	Všetky	3.06	plynový kondenzačný kotol	Buderus GB192 - 35i	35,00	1,9	1,5				
1	Všetky	3.06	HVDT	Caleffi Anuloid 5/4"	35,00		1,5				
2	V1	3.06	expanzná nádoba	Reflex N50/6							
2	V2	3.06	expanzná nádoba	Reflex N35/6							
2	V3	3.06	expanzná nádoba	Reflex N80/6	-		-				
3.1	Všetky	3.06	bloková úprav na vody	BUVA 150	-		-				
3.2	Všetky	3.06	automatické doplňovanie vody	Elektromag. ventil	-		-				
4	Všetky	3.06	neutralizačný box	Neutra N70	-		-				
5.1	Všetky	3.06	trojcestný zmiešavací ventil	ESBE VRG 131 mosazný	28,00	6,2	2,4		25	10,0	
5.2	Všetky	3.06	trojcestný zmiešavací ventil	ESBE VRG 131 mosazný	5,50	4,6	0,5		20	2,5	
ZO1	Všetky	2.06	zásobník teplej vody 0,75m³	Storatherm AF750_1	35,00		1,5				
6.01	Všetky	3.06	vyvažovací ventil	STAD-C	28,00	5,0	2,4		40	19,2	2,7
6.02	Všetky	3.06	vyvažovací ventil	STAD-C	5,50	2,0	0,5		20	5,7	2,8
6.03	V3	Byty	vyvažovací ventil	STAD-C	1,60	3,4	0,1		15		výkr.dok.
7.1	Všetky	3.06	kompaktný merač tepla	Enbra Sharky 775 q _p =1,5	35,00	7,7	1,5		20	5,5	
7.2	Všetky	3.06	kompaktný merač tepla	Enbra Sharky 775 q _p =0,6	5,50	5,5	0,5		15	2,1	
7.3	Všetky	Byty	kompaktný merač tepla	Enbra Sharky 775 q _p =0,6	1,60	0,5	0,1		15	2,1	
OČ1	V1,V2	3.06	obehové čerpadlo	Grundfos Magna3 25-40	28,00		2,4	2,3			
OČ2	Všetky	3.06	obehové čerpadlo	Grundfos Alpha2 25-40	5,50		0,5	1,9			
OČ3	Všetky	3.06	obehové čerpadlo	Grundfos Alpha2 L 25-40	35,00		1,5	1,3			
OČ4	V3	3.06	obehové čerpadlo	Grundfos Alpha 1 L 25-60	27,30		2,4	2,7			
F	Všetky	3.06	Filter závitový	Giacomini R74A							
ZV	Všetky	3.07	Spätný ventil závitový	Giacomini R60							

Tab. B. 13: Prehľad navrhnutých zariadení a armatúr

B.14 Odvod spalín a prívod spaľovacieho vzduchu

Navrhujem spoločné zvislé koncentrické vedenie vzduchu a spalín nezávislé na vzduchu v miestnosti. Ventilátor nasáva potrebný spaľovací vzduch z exteriéru k plynovému kondenzačnému kotlu. Priemer vnútorného potrubia v ktorom sú odvádzané spaliny je DN80, priemer vonkajšieho potrubia je DN125. Trasa odvodu spalín má dĺžku 3m a neobsahuje žiadne zmeny smeru ani iné špeciálne tvarovky. Revízný otvor bude umiestnený priamo nad pätou spalínového vedenia. Vzhľadom na to, že spalínové vedenie neprechádza medzi podlažiami budovy, nie je nutná samostatná šachta pre odvod spalín.

Logamax plus	Maximální přípustná celková délka L	Zkrácení celkové stavební délky L pro každou dodatečnou změnu směru trubky ¹⁾ s koleny	
		87°	45°
Průměr spalínové trubky DN60/100 se speciální přestavbovou sadou na DN60/100			
GB192-15 i	16 m	2,0 m	1,0 m
GB192-25 i	11 m	2,0 m	1,0 m
GB192-30 iT40S	2,7 m	2,0 m	1,0 m
Průměr spalínové trubky DN 80/125			
GB192-15 i	17 m	2,0 m	1,0 m
GB192-25 i	17 m	2,0 m	1,0 m
GB192-30 iT40S	13 m	2,0 m	1,0 m
GB192-35 i	16 m	2,0 m	1,0 m
GB192-50 i	11 m	2,0 m	1,0 m

Obr. B. 7: Návrh spalínového vedenia

B.15 Ročná potreba tepla pre vykurovanie a ohrev teplej vody

Výpočet bol prevedený pomocou dennostupňovej metódy vo výpočtovom programe [25]. Zároveň bola pre porovnanie vypočítaná aj ročná spotreba tepla bez ohrevu teplej vody. Približná ročná spotreba zemného plynu V_p bola vypočítaná podľa rovnice:

$$V_p = \frac{E}{k \cdot H_s}$$

Boli uvažované hodnoty účinnosti kondenzačného kotla $k=1,02$ a hodnota spalného tepla zemného plynu $38,2 \text{ kJ/m}^3$. Aktuálna cena za m^3 zemného plynu sa pohybuje na úrovni $1266,34 \text{ Kč/kWh}$.

Varianta	E [GJ]	E [MWh]	$V_p [\text{m}^3/\text{rok}]$	Cena [Kč]
Celková ročná potreba tepla	500	138,9	12832	82512,1
Ročná potreba tepla na vykurovanie	234,8	65,2	6026	38747,7

Obr. B. 8: Výpočet ročnej spotreby tepla a ceny plynu

Lokalita (Tabulka)
☐ t_{em} = 12 °C
 ☒ t_{em} = 13 °C
 ☐ t_{em} = 15 °C ???

Město Délka topného období d = [dny]

Venkovní výpočtová teplota t_e = °C Prům. teplota během otopného období t_{es} = °C

☒ **Vytápění**

Tepelná ztráta objektu Q_C = kW

Průměrná vnitřní výpočtová teplota t_{is} = °C ???

Vytápěcí denostupně
D = d · (t_{is} - t_{es}) = 3387 K.dny

Opravné součinitele a účinnosti systému

e_i = ??? η_o = ???

e_t = ??? η_r = ???

e_d = ???

Opravný součinitel ε ???

☐ ε = e_i · e_t · e_d = 0.765

☒ ε =

$$Q_{VYT,r} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_C \cdot D}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3,6 \cdot 10^{-3}$$

Q_{VYT,r} = (GJ/rok
 65.2 MWh/rok)

☒ **Ohřev teplé vody**

t₁ = °C ??? ρ = kg/m³ ???

t₂ = °C ??? c = J/kgK ???

V_{2p} = m³/den ???

Koeficient energetických ztrát systému z = ???

Denní potřeba tepla pro ohřev teplé vody

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) \cdot \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_2 - t_1)}{3600} = 232.3 \text{ kWh}$$

Teplota studené vody v létě t_{svl} = °C

Teplota studené vody v zimě t_{svz} = °C

Počet pracovních dní soustavy v roce N = [dny]

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TUV,d} \cdot \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} \cdot (N - d)$$

Q_{TUV,r} = (GJ/rok
 73.7 MWh/rok)

Celková roční potřeba energie na vytápění a ohřev teplé vody

Q_r = Q_{VYT,r} + Q_{TUV,r} = (GJ/rok
 138.9 MWh/rok)

Obr. B. 9: Parametre zadané pri výpočte ročnej potreby tepla

B.16 Hodnotenie navrhnutých variant

Z hľadiska dynamiky a zabezpečenia tepelnej pohody sú navrhnuté varianty podrobne vyhodnotené v kapitole C.1.6. Z ekonomického hľadiska bol vypracovaný rozdiel cenových nákladov na zaobstaranie jednotlivých prvkov vykurovacieho systému. Vzhľadom na to, že v navrhnutých variantách je značná časť prvkov zhodná, boli do porovnania zahrnuté len tie, ktoré sú špecifické pre danú variantu. Do rozpočtu neboli započítané ceny za montáž vykurovacích telies a ostatných súčastí. Do podlahového vykurovania nebola započítaná cena cementového poteru a tepelnej izolácie podlahy, ktoré budú použité u všetkých variant.

Varianta	Cena [Kč]	Cenový rozdiel [%]	Cenový rozdiel [Kč]
1 - Korado	513 301	-61.6	822 765
2 - Tomton	1 336 066	-	-
3 - PDL	959 512	-28.2	376 555

Obr. B. 10: Porovnanie variant z hľadiska financií potrebných na obstaranie

Finančne najvýhodnejšie z porovnania vychádza Varianta 1, hlavne vďaka pomerne nízkym nákladom na vykurovacie telesá. Zároveň zabezpečuje pomerne dobré dynamické vlastnosti, vďaka čomu je táto varianta obecně vhodná pre vykurovanie bytových domov.

Varianta využívajúca prevažne konvektory Tomton R1 je naopak finančne najnáročnejšia. Tieto telesá patria medzi tzv. designové vykurovacie telesá, slúžia teda zároveň aj ako estetický doplnok interiéru. Za cenu vyšších nákladov prinášajú najlepšie dynamické charakteristiky spomedzi porovnávaných variant a zároveň najvyššiu úsporu tepla. Z finančného hľadiska by bolo najvýhodnejšie navrhnuť ich do obytných priestorov, kde je vysoká dynamika najpotrebnejšia, a do neobytných priestorov navrhnuť klasické vykurovacie telesá. Došlo by tak k značnej úspore z hľadiska vstupných nákladov.

Podlahové vykurovanie sa cenovo blíži k finančne najnáročnejšej variante. Vzhľadom k umiestneniu v stavebnej konštrukcii, by mala budova dosahovať dostatočné tepelnotechnické vlastnosti, aby nedochádzalo k nechceným tepelným únikom. Z tohto hľadiska je tento systém pre zvolenú budovu vhodný, keďže jej tepelnotechnické vlastnosti výrazne prevyšujú doporučené hodnoty. Vďaka umiestneniu po celom povrchu miestnosti zabezpečuje vyrovnané rozloženie teplôt v miestnosti a vďaka prevažne sálavému zdieľaniu tepla je možné dosiahnuť tepelnú pohodu aj pri mierne nižšej teplote interiéru. Z hľadiska dynamiky dosahuje podlahové vykurovanie najhoršie výsledky z porovnávaných variant, spôsobené je to veľkou tepelnou kapacitou jednotlivých vrstiev a vysokým vodným obsahom. Kvôli týmto nevýhodám dosahuje najvyššie náklady na vykurovanie spomedzi navrhnutých variant.

ÚSTAV TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV

NÁZOV DIPLOMOVEJ PRÁCE

DYNAMIKA OTOPNÝCH PLOCH

C. EXPERIMENTÁLNÁ ČASŤ

C.1 Energetická simulácia vykurovacích plôch

V tejto časti bola spracovaná energetická simulácia vykurovacích systémov, ktoré boli navrhnuté v prechádzajúcich kapitolách. Simulácia rieši porovnanie spotreby tepla na vykurovanie v priebehu zvoleného časového obdobia. Jednotlivé modely boli vytvorené v programe TRNSYS 18 Demo.

C.1.1 TRNSYS

TRNSYS (Transient System Simulation Tool) je simulačný program, ktorý bol primárne určený pre oblasť obnoviteľnej energie na simuláciu solárnych systémov. Postupne sa z neho stal program umožňujúci energetickú simuláciu dynamických systémov rôzneho druhu. Bol vyvinutý v roku 1975 na americkej University of Wisconsin. TRNSYS sa skladá z dvoch častí. Prvou je jadro tzv. kernel, ktorý načítava a spracováva vstupné dáta, určuje konvergenciu a vykresľuje systémové premenné. Ďalej poskytuje nástroje, ktoré mimo iné určujú termofyzikálne vlastnosti, riešia matematické výpočty, lineárnu regresiu a interpolujú externé dátové súbory. Druhou časťou je rozsiahla knižnica komponentov, z ktorých každá modeluje určitú časť systému. Štandardná knižnica obsahuje približne 150 komponentov, ktoré zahŕňajú napríklad čerpadlá, multizónové objekty, meteorologické dáta, HVAC systémy. Program umožňuje grafické spájanie vstupov a výstupov jednotlivých komponentov, pričom modely sú konštruované tak, že používatelia môžu upravovať existujúce komponenty alebo programovať svoje vlastné [19].

Mnou použitá verzia TRNSYS 18 Demo obsahuje značné obmedzenia, ktoré užívateľovi umožňujú vytvoriť simulačný model s maximálne 5 komponentami a budovou s najviac 2 termálnymi zónami. Vzhľadom na tieto obmedzenia musel byť použitý výrazne zjednodušený model miestnosti.

C.1.2 Základný model

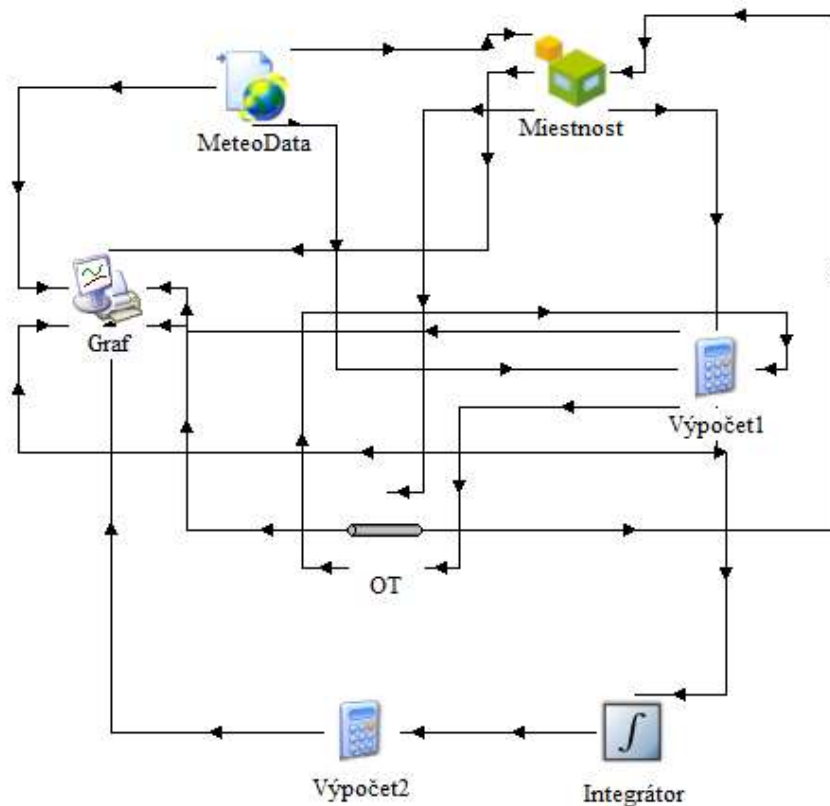
Cieľom simulácie bolo porovnanie jednotlivých variant vykurovacích systémov z hľadiska spotreby energie a ich dynamického chovania. Simuláciou bola zisťovaná spotreba tepla na vykurovanie zvolenej typickej miestnosti budovy, pre ktorú boli navrhnuté vykurovacie systémy v projektovej časti tejto diplomovej práce. Pre každú variantu vykurovacej plochy bol vytvorený samostatný model a prevedený vlastný výpočet.

Varianta	Názov	Typ	Teplota vstupnej vody [°C]
1	Doskové vyk. teleso	Radik VK 22/060/040	50
2	Konvektor	Tomton R1 Double TH	50
3	Podlahové vykurovanie	l=149,8m, R=150mm,m=102 kg/h	40

Tab. C. 1: Prehľad modelovaných variant

Podrobné charakteristiky podlahového vykurovania je možné nájsť v tabuľke B.9. rozdeľovač č.8.

Vzhľadom na vysokú výpočtovú náročnosť nebol výpočet realizovaný pre obdobie celého roku, ale len pre obdobie vykurovacej sezóny od 1.9. do 31.5.. Základnou myšlienkou tohto zjednodušeného modelu je nahradenie vykurovacej plochy v miestnosti kruhovým potrubím naplnením vodou, pričom táto voda má ekvivalentný výkon a dynamické vlastnosťami ako nahradzovaná vykurovacia plocha. Program počas výpočtu zohľadňuje vonkajšiu teplotu, slnečné radiačné zisky, vnútorné tepelné zisky, tepelno-akumulačné vlastnosti stavebných konštrukcií a na ich základe dynamicky určuje teplotu interiéru.



Obr. C. 1: Schéma modelu v programe TRNSYS

Na obrázku môžeme vidieť výpočtový model a jednotlivé prepojenia vstupov a výstupov medzi komponentami v grafickom prostredí programu TRNSYS. Použité boli tieto komponenty:

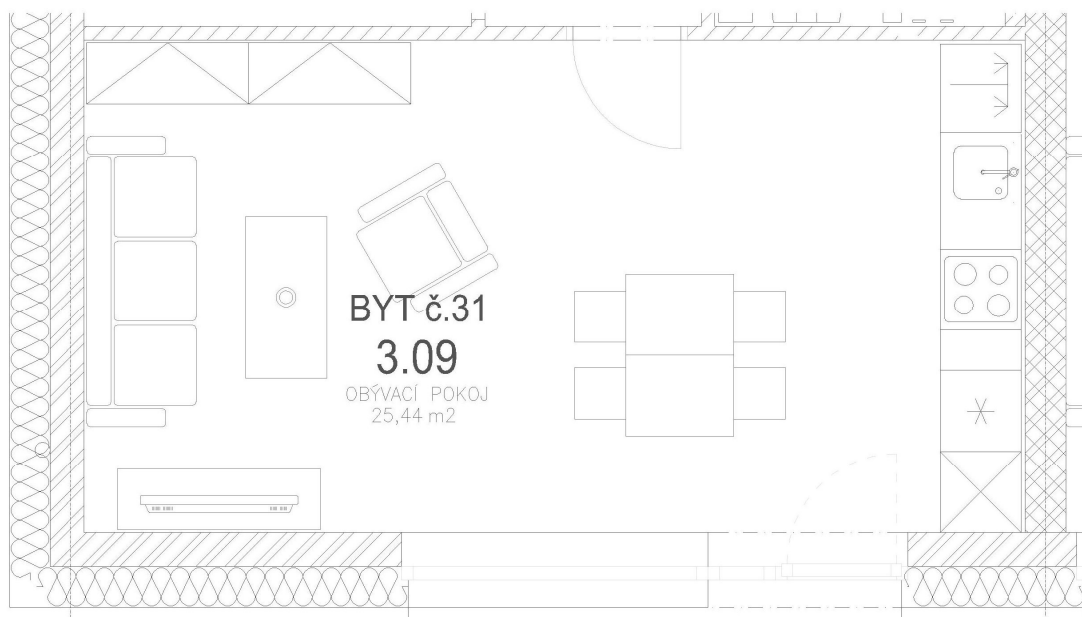
- Graf - Online graphical plotter with output file – zobrazuje a vykresľuje vybrané systémové premenné počas výpočtu
- Meteodata - Weather Data Processor – načítava meteorologické dáta v pravidelných intervaloch z externého dátového súboru a zároveň ich interpoluje ak je časový krok výpočtu menší ako 1 hodina
- Miestnosť - Multi-Zone Building – modeluje tepelné chovanie budovy s viacerými termálnymi zónami
- OT – Pipe – modeluje tepelné chovanie tekutiny v potrubí

- Výpočet1, Výpočet2 – umožňuje vkladať vlastné premenné a vykonávať matematické operácie
- Integrátor - Quantity Integrator – integruje vybranú veličinu v priebehu určitého časového obdobia

Pomocou komponentu MeteoData sú do výpočtu načítavané meteorologické dáta. Použité boli dáta pre mesto Praha, ktoré sú zahrnuté v knižnici programu. Odtiaľto sú dáta odosielané do komponentu Miestnosť, kde je na ich základe vypočítaná aktuálna teplota interiéru. Táto hodnota je následne odoslaná do komponentov OT a do Výpočet1, v ktorom je počítaný aktuálny hmotnostný prietok vykurovacej vody. Hmotnostný prietok je odosielaný do OT, kde je spočítaný výkon vykurovacieho telesa. Nakoniec je hodnota výkonu telesa odoslaná do komponentu Miestnosť a s jeho zohľadnením je vypočítaná vnútorná teplota miestnosti. Tým je uzavretý cyklus, ktorý sa opakuje v každom časovom kroku výpočtu. Zároveň sú v každom kroku odosielané vybrané hodnoty veličín do komponentu Graf, kde sú v reálnom čase vykresľované. Samostatnú vetvu tvoria komponenty Výpočet2 a Integrátor, ktorý preberá aktuálnu hodnotu výkonu vykurovacieho telesa a počíta celkovú spotrebu tepelnej energie počas celého výpočtu.

C.1.3 Prehľad zadaných parametrov miestnosti

Celý model bol navrhnutý pre miestnosť č. 3.09. Táto miestnosť susedí s exteriérom, kde boli výpočtové teploty načítané z reálnych dát a s interiérom, kde boli teploty zadané podľa Tab. B.3 prevažne s hodnotou 20°C.



Obr. C. 2: Pôdorys modelovanej miestnosti

Vkladanie miestnosti do modelu prebieha pomocou modulu Miestnosť v samostatnom editore TRNBuild. Pri zadávaní konštrukcií je najskôr nutné zvoliť materiály (vrstvy), z ktorých sa bude stavebná konštrukcia skladať. Je možné zadať vlastné hodnoty alebo vybrať z predvolených.

Názov	λ [kJ/h.m.K]	c [kJ/kg.K]	ρ [kg/m ³]
Drevená podlaha	0,50	0,90	530
Porobetón	0,49	1,00	600
Železobetón	7,56	1,00	2400
Polystyrén	0,14	1,25	30
Cementová malta	5,04	1,00	2000

Tab. C. 2: Prehľad použitých materiálov

Následne z jednotlivých materiálov skladáme stavebné konštrukcie. Ako hodnoty α súčiniteľu prestupu tepla boli ponechané predvolené konštantné hodnoty, nemeniace sa s časom.

Názov	Celková šírka [m]	U [W/m ² .K]	α_i [kJ/h.m ² .K]	α_e [kJ/h.m ² .K]
Obvodova_stena	0,55	0,11	11	64
Priecka_300mm	0,30	0,46	11	11
Priecka_100mm	0,10	1,01	11	11
Strecha	0,65	0,11	11	64
Strop	0,36	0,72	11	11
Okno	-	0,90	11	64

Tab. C. 3: Prehľad použitých konštrukcií

Posledným krokom je samotné vytvorenie miestnosti. Do každej miestnosti vkladáme jednotlivé konštrukcie a ich plochu. Je nutné zvoliť typ konštrukcie – wall (stena), ceiling (strop), floor (podlaha) – a orientáciu k svetovým stranám. Okrajové podmienky konštrukcii je možné nastaviť výberom kategórie konštrukcie. Využité boli 2 kategórie – External, pre konštrukcie susediace s vonkajším prostredím a Boundary, kde je možné nastaviť konštantnú teplotu za hranicou konštrukcie.

Airnodes

ROOM_01

ROOM_01

+

-

↺

number: 1

Airnode Regime Data

volume: 68.7 m³

capacitance: 82.44 kJ/K

ref. floor area: 25.44 m²

Infiltration

Ventilation

Walls, floors, ceilings, roofs (Total number: 7)

surf-ID	surf-type	construction-type	area	category
Additional Windows				
1	WALL	Obvodova_stena	25.11	EXTERNAL SOUTH
3	WALL	Obvodova_stena	13.92	EXTERNAL WEST
4	WALL	Priecka_100mm	8.19	BOUNDARY
5	WALL	Priecka_300mm	13.92	BOUNDARY
6	CEILING	Strecha	32.60	EXTERNAL HORIZONTAL
7	FLOOR	Strop	32.60	BOUNDARY
8	WALL	Priecka_100mm	16.93	BOUNDARY

+

-

surface-ID: 1

surface-type:

wall

floor

ceiling

roof

construction-type: Obvodova_stena

<- new ...

area: 25.11 m² incl. windows

category: EXTERNAL

geosurf: 0

surf. gain inside: 0 kJ/h

surf. gain outside: 0 kJ/h

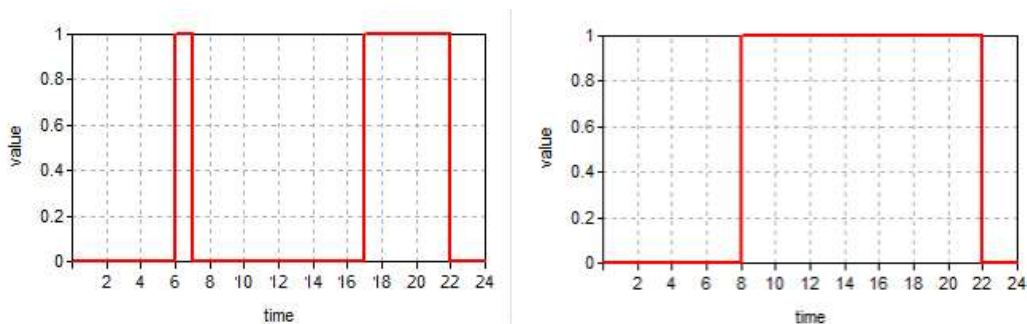
orientation: SOUTH

SOUTH

view fac. to sky: 0.5

Obr. C. 3: Prehľad zadaných údajov miestnosti

U každej miestnosti je možné zadať jej tepelnú stratu infiltráciou, v tomto prípade bola zvolená výmena vzduchu s hodnotou 0,5 1/h. Najväčšiu časť vnútorných ziskov tvorí vykurovacie teleso, táto hodnota je automaticky získavaná z modulu OT. Medzi vnútorné zisky bol zaradený zisk od osôb zdržujúcich sa v miestnosti a zisk od osvetlenia. Boli uvažované dve osoby zdržujúce sa v miestnosti, pričom každá produkuje 95 W a osvetlenie produkuje 6 W/m². Každému vnútornému zisku je možné priradiť vlastný rozvrh, určujúci časové obdobie, v ktorom je zisk započítavaný. U osvetlenia je využitá funkcia Daylight Control, ktorá simuluje zapínanie a vypínanie osvetlenia v určenom rozsahu osvetlenosti (300-500 lux).



Obr. C. 4: Rozvrh obsadenosti osobami pre obdobie cez týždeň (vľavo) a víkend (vpravo)

C.1.4 Zadanie vykurovacieho telesa

Ako už bolo spomínané v predchádzajúcich kapitolách, je nutné vykonať prepočet vykurovacej plochy na ekvivalentné kruhové potrubie naplnené vodou. Základnou podmienkou aby tento model fungoval je, že súčin teplovýmennnej plochy a súčiniteľa prestupu tepla u potrubia a vykurovacej plochy je rovnaký. Ak uvažujeme že je u oboch plôch rovnaký súčiniteľ prestupu tepla, problém sa redukuje na hľadanie takého náhradného potrubia, ktoré má rovnakú plochu a ekvivalentný objem vody ako daná vykurovacia plocha. Ekvivalentný objem vody vyjadruje, aký by bol objem (hmotnosť) vody, ak by bolo celé teleso nahradené vodou, pri zachovaní pôvodných vlastností. Každá vykurovacia plocha sa skladá z materiálov s rôznymi tepelnými kapacitami, náhradné potrubie má rovnakú tepelnú kapacitu ako celé teleso, ale je tvorené len vodou.

$$C_T = m_T \cdot c_T$$

$$m_{w,eq} = \frac{m_w}{C_T / \Sigma C}$$

Hmotnosť vody v telese m_w a teplovýmenná plocha S boli zistené z podkladov výrobcu. Súčiniteľ prestupu tepla bol vypočítaný ako pomer výkonu vykurovacej plochy k súčinu teplovýmennnej plochy s rozdielom strednej povrchovej teploty vykurovacej plochy a teploty interiéru.

$$\alpha = \frac{Q}{S \cdot (t_{sm} - t_i)}$$

Prehľad výpočtov pre jednotlivé varianty je možné vidieť v nasledujúcich tabuľkách.

Q(45/20)=	953,00	W	M=	82,16	kg/h	α =	16,43	W/(m ² K)	Pomer $C_T/\Sigma C$
m_T =	17,80	kg	c_T =	480,00	J/(kg.K)	C_T =	8544	J/K	0,46
m_w =	2,35	kg	c_w =	4186,00	J/(kg.K)	C_w =	9837	J/K	0,54
S =	2,32	m ²				ΣC =	18381	J/K	
$m_{w,eq}$ =	4,39	kg							

Tab. C. 4: Prepočet Tomton R1 double TH

Q(45/20)=	919,00	W	M=	79,23	kg/h	α =	10,94	W/(m ² K)	Pomer $C_T/\Sigma C$
m_T =	43,96	kg	c_T =	480,00	J/(kg.K)	C_T =	21101	J/K	0,38
m_w =	8,12	kg	c_w =	4186,00	J/(kg.K)	C_w =	33990	J/K	0,62
S =	3,36	m ²				ΣC =	55091	J/K	
$m_{w,eq}$ =	13,16	kg							

Tab. C. 5: Prepočet Radik VK 22/060/140

Q(45/20)=	882,00	W	M=	102,00	kg/h	α =	2,77	W/(m ² K)	Pomer C _T /ΣC
m _B =	2388,00	kg	c _B =	840,00	J/(kg.K)	C _B =	2005920	J/K	0,86
m _D =	99,50	kg	c _D =	2510,00	J/(kg.K)	C _D =	249745	J/K	0,11
m _w =	16,94	kg	c _w =	4186,00	J/(kg.K)	C _w =	70911	J/K	0,03
S=	19,90	m ²				ΣC=	2326576	J/K	
m _{w,eq} =	555,80	kg							

Tab. C. 6: Prepočet podlahového vykurovania

Parametre ekvivalentného potrubia, jeho dĺžka l a priemer r, boli určené postupným iteračným výpočtom, pričom muselo platiť:

$$\pi \cdot r^2 \cdot l = m_{w,eq}$$

$$2 \cdot \pi \cdot r^2 + 2 \cdot \pi \cdot r \cdot l = S$$

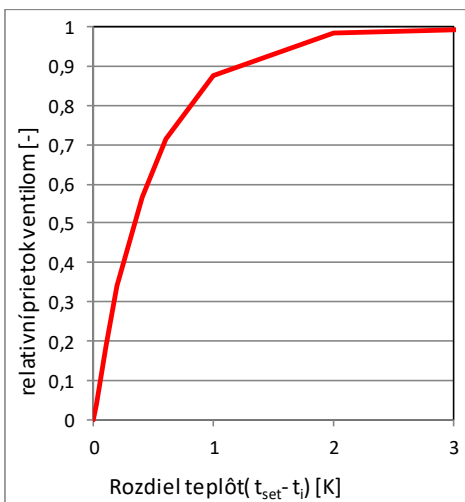
Typ	polomer potrubia r [m]	dĺžka potrubia l [m]	α [W/(m ² K)]
TomTon R1 Double TH	0,00378	98	16,43
Radik VK 22/060/140	0,00785	68	10,94
Podlahové vykurovanie	0,0559	56,5	2,77

Tab. C. 7: Parametre ekvivalentného potrubia

Pre všetky varianty bola simulovaná kvantitatívna regulácia pomocou proporcionálneho regulátora s pásmom proporcionality 2K. Hmotnostný prietok vykurovacou plochou je určený podľa rovnice:

$$M_{in} = M \cdot \max[1 - \exp(-2,1 \cdot (T_{set} - T_i)); 0]$$

Kde $T_{set}-T_i$ je rozdiel požadovanej a skutočnej teploty v miestnosti.



Obr. C. 5: Relatívny prietok ventilom podľa danej rovnice

Pomocou tejto rovnice bol simulovaný termostatický ventil, ktorý je schopný ihneď bez oneskorenia meniť prietok vykurovacej vody. Táto jednotná rovnica bola pre všetky simulované prípady zvolená z dôvodu, že nepoznáme reálne charakteristiky termostatických ventilov pre jednotlivé varianty. Zvolením jednotnej regulácie sú eliminované chyby, ktoré by mohli vzniknúť počítaním podľa nesprávneho modelu termostatického ventilu. Z toho vyplýva, že porovnávame len dynamiku samotných vykurovacích plôch, vplyv termostatického ventilu je zanedbaný. Počiatočná teplota teplotonosnej látky (vody) a takisto aj vnútorného prostredia bola zvolená na 20°C.

Vzhľadom na použitie rôznych druhov vykurovacích plôch je u každej nutné nastaviť pomer konvekčnej a sálavej zložky. Pomer bude určený stálou hodnotou, zanedbáme jeho zmenu pri meniacich sa vnútorných podmienkach.

Názov	Konv. zložka	Sálavá zložka
TomTon R1 Double TH	0,9	0,1
Radik VK 22/060/140	0,7	0,3
Podlahové vykurovanie	0,45	0,55

Tab. C. 8: Pomer konvekčnej a sálavej zložky

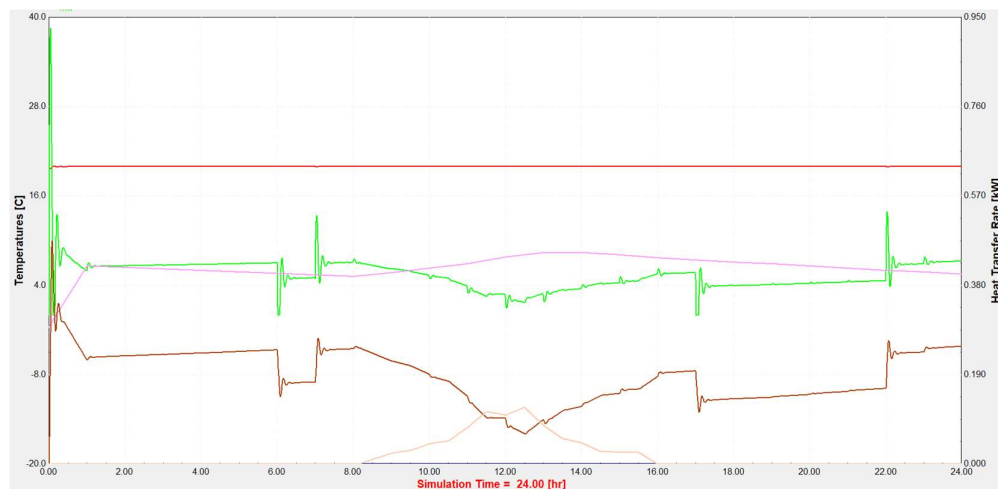
C.1.5 Výsledky simulácie

Simulovaná bola jedna celá vykurovacia sezóna, t.j. od 1.9. do 31.5.. Časový krok výpočtu bol zvolený na 10s. Celkovo bolo simulovaných 6504 hodín, čím získavame pri zvolenom časovom kroku 2341440 vypočítaných hodnôt. Na riešenie bol zvolený riešič využívajúci postupnú metódu. Teplota v interiéri bola počas celej sezóny udržiavaná na hodnote 20°C.

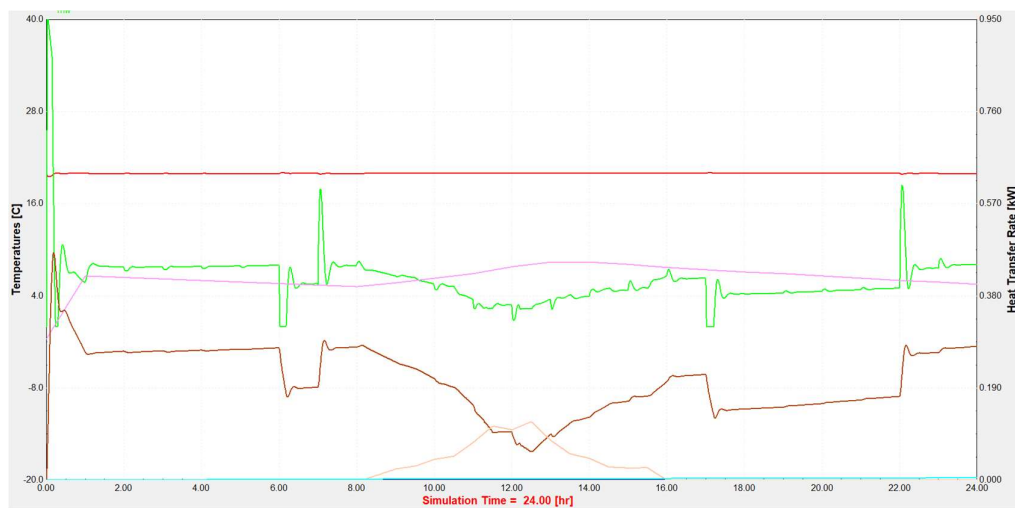
Kvôli pomerne veľkým rozmerom a značnej neprehľadnosti neprikladám grafy priebehu celej simulácie, ale len priebeh počas 24 hodín, a to konkrétne 1. januára. Jednotlivé farby v grafoch zobrazujú:

- Hnedá – výkon vykurovacieho telesa [kW]
- Zelená – hmotnostný prietok [kg/h]
- Červená – teplota interiéru [°C]
- Ružová – teplota exteriéru [°C]
- Béžová – slnečná radiácia [kW]

Z obrázkov je pozorovateľný značný rozdiel v dynamickom chovni jednotlivých modelovaných prípadov. Tento rozdiel je dobre pozorovateľný pri prvotnom nábehu vykurovacieho systému, kde vykurovacie teleso Tomton dosahuje požadovaný výkon rádovo v desiatkach sekúnd. Výrobca uvádza čas k dosiahnutiu plného výkonu za 15 sekúnd [27]. Teleso Radik VK dosahuje v tomto prípade požadovaný výkon rádovo v minútach, čo zhruba odpovedá výsledkom dosiahnutým pri experimentálnom meraní [28]. Podlahové vykurovanie, kvôli veľkej tepelnej kapacite a akumuláčnej schopnosti, vykazuje značne dlhší čas nábehu.



Obr. C. 6: Simulácia Tomton R1 počas 24 hodín



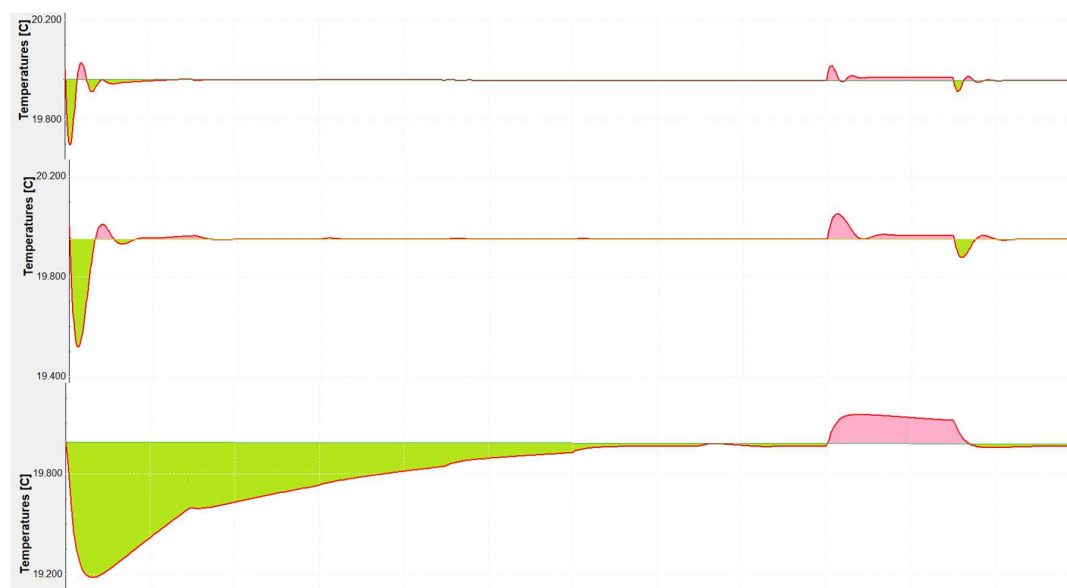
Obr. C. 7: Simulácia Radik VK počas 24 hodín



Obr. C. 8: Simulácia podlahového vykurovania počas 24 hodín

Na obrázkoch môžeme pozorovať rozdiel v rýchlosti odozvy na regulačný zásah, táto vlastnosť je závislá hlavne na tepelnej kapacite materiálov, z ktorých sú vykurovacie plochy zostrojené a na objeme teplotonosnej látky – vody. Podľa očakávania sú najrýchlejšie odozvy u vykurovacích telies, kde dochádza k rýchlemu nárastu tepelného výkonu v závislosti na zmene hmotnostného prietoku. Naproti tomu u podlahového vykurovania dochádza k oneskorenej zmene výkonu po regulačnom zásahu.

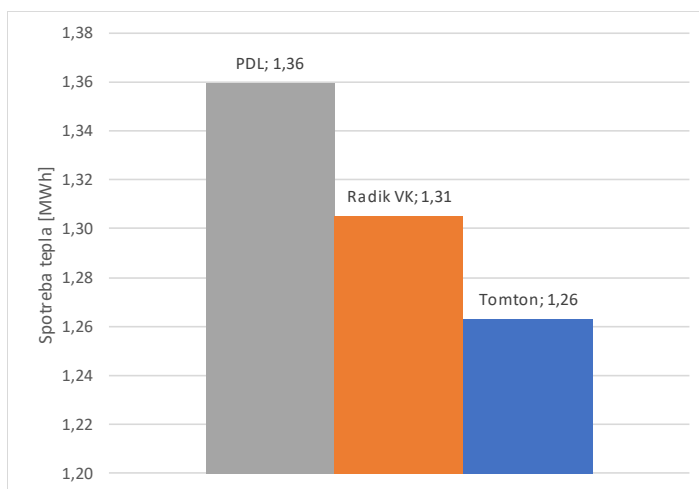
Detailnejšie je nábeh vykurovacích plôch a reakcia na zmenu teplotných pomerov zobrazená na ďalšom grafe, ktorý zobrazuje priebeh teploty v interiéri počas 8 hodín pre 1. január. Počiatočná teplota vzduchu v interiéri je 20 °C, v dôsledku pôsobenia tepelných strát sa znižuje vnútorná teplota. Na to reaguje vykurovanie, ktoré sa spúšťa a teplota začne narastať. Čas, za ktorý je dosiahnutá požadovaná teplota je závislý práve na dynamických vlastnostiach danej vykurovacej plochy. Plochy vyznačené zelenou farbou zobrazujú obdobie, keď dochádza k podchladeniu miestnosti vzhľadom k požadovanej teplote. So zväčšujúcou sa tepelnou kapacitou a vodným obsahom vykurovacej plochy narastá doba, počas ktorej je miestnosť podchladená a zároveň sa znižuje aj jej vnútorná teplota. Naopak červené plochy vyznačujú obdobie, kedy dochádza k prehrievaniu miestnosti, v tomto prípade pôsobením vnútorných ziskov od ľudí a osvetlenia. Čím menšia je táto plocha, tým rýchlejšie dokáže daná vykurovacia plocha vychladnúť a dochádza k úspore tepelnej energie. Z tohto porovnania vychádza najpriaznivejšie konvektor Tomton, u ktorého dochádza k najmenšiemu podchladeniu aj prehriatiu miestnosti. Podlahové vykurovanie nedokáže počas celého sledovaného obdobia udržať vnútornú teplotu na požadovanej hodnote 20°C.



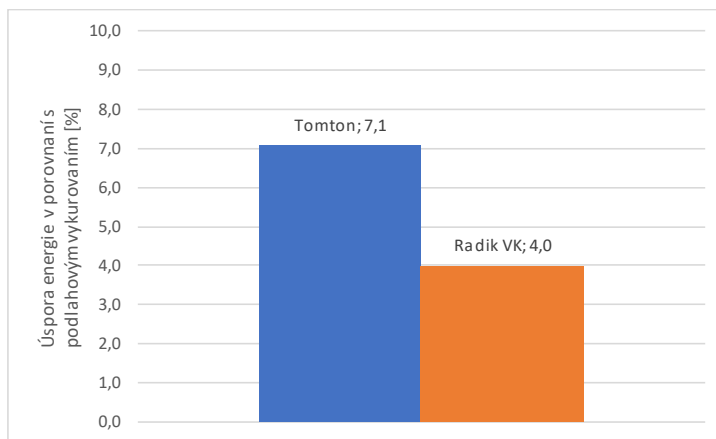
Obr. C. 9: Rozdiely v nábehu jednotlivých vykurovacích plôch

C.1.6 Vyhodnotenie simulácie

Z hodnôt získaných výpočtom bola porovnávaná spotreba energie na vykurovanie, ktorá bola získaná integráciou výkonu. Spolu bolo simulovaných deväť mesiacov, pre každý bola určená celková spotreba energie za daný mesiac. Základným parametrom pre vyhodnotenie simulácie bola celková spotreba tepla na vykurovanie počas vykurovacej sezóny. Z tohto pohľadu víťazí vykurovacie teleso TomTon R1 s ročnou spotrebou 1,26 MWh, čo je o takmer 0,1 MWh menej ako spotreba podlahového vykurovania a o 0,05 MWh menej ako Radik VK. S hľadiska úspor to tvorí o 7,1 % nižšiu spotrebu oproti podlahovému vykurovaniu a o 3,1 % nižšiu ako pri použití telesa Radik VK. Vykurovacie teleso Radik VK 22/060/140 ušetrí oproti podlahovému vykurovaniu 0,05 MWh za rok, čo značí 4% úsporu.



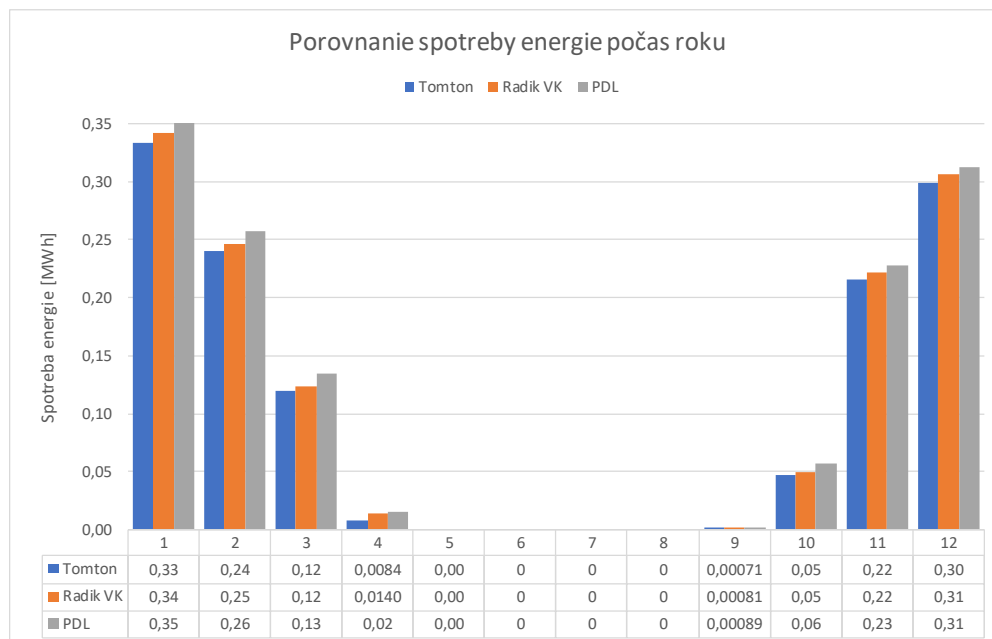
Obr. C. 10: Celková spotreba energie na vykurovanie



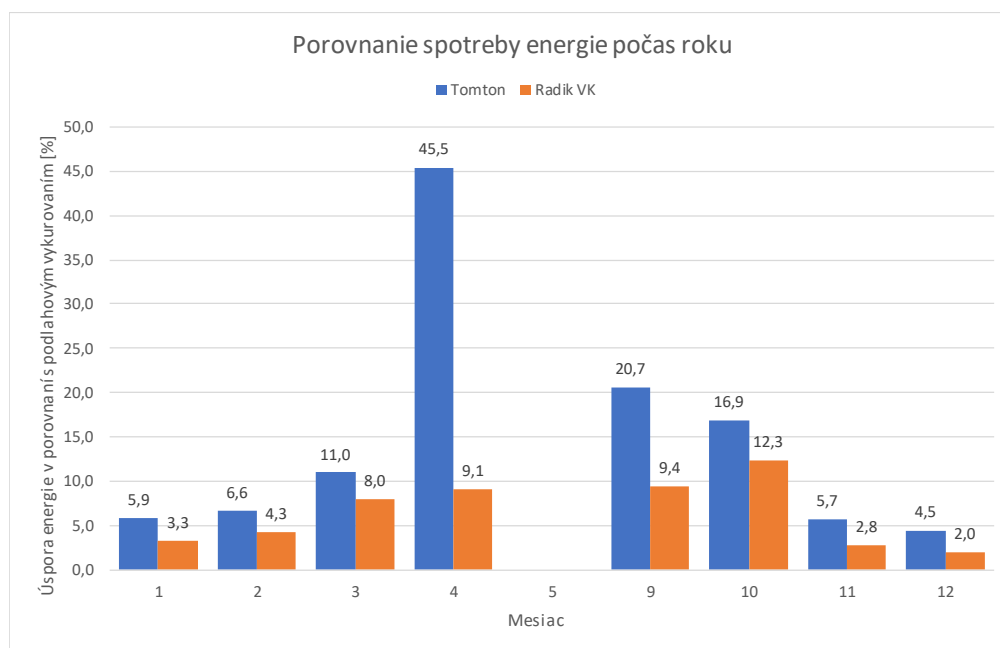
Obr. C. 11: Celková úspora energie v porovnaní s podlahovým vykurovaním

Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že nižšiu spotrebu tepla dosahujú vykurovacie plochy s menšou tepelnou kapacitou jednotlivých vrstiev a zároveň s nižším vodným obsahom. Celkové úspory sú relatívne malé. Dôležité je uvedomiť si, že u všetkých troch variant bol modelovaný jednotný spôsob regulácie. Po prípadnom zohľadnení rozdielov v regulácii je očakávané zníženie spotreby tepelnej energie u systémov s lepšími dynamickými vlastnosťami,.

Pri mesačnom porovnaní jednotlivých spotrieb dostávame obdobné výsledky. Pri porovnaní grafu C.11 a C.12 je viditeľná závislosť medzi spotrebou energie a relatívnou úsporou. V prechodnom období dochádza k väčším úsporám u vykurovacích plôch s vyššou dynamikou. Naopak v zimnom období sa vplyv dynamiky vykurovacích plôch na spotrebu energie znižuje. Hlavný dôvodom je, že nedochádza k častým zmenám v aktuálnej potrebe tepla a tým pádom k častým náhrevom a chladnutiam pri ktorých vznikajú najväčšie rozdiely v spotrebe energie.

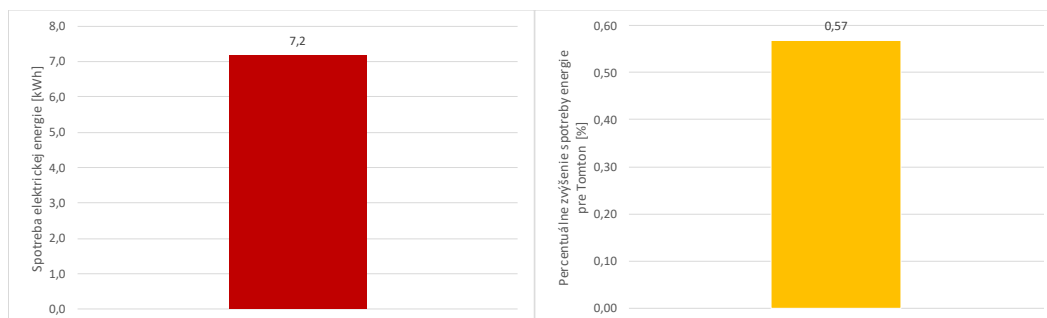


Obr. C. 12: Mesačná spotreba energie na vykurovanie



Obr. C. 13: Úspora energie v porovnaní s podlahovým vykurovaním

Konvektory Tomton využívajú nútenú konvekciu, pri ktorej je spotrebovaná elektrická energia na pohon ventilátorov. Poháňané sú jednosmerným elektrickým prúdom s napätím 8 V a elektrickým prúdom 0,5 A. Konvektor dokáže do výkonu 350 W pracovať bez využitia nútenej konvekcie, po prekročení tejto hranice sa spotrebovávajú elektrická energia. Po zohľadnení tejto podmienky bol počas celej vykurovacej sezóny zaznamenávaný čas, počas ktorého je nútená konvekcia v prevádzke. Celková spotrebovaná elektrická energia za vykurovaciu sezónu je 7,2 kWh, čo predstavuje 0,57 % z celkových nákladov na vykurovanie konvektoru Tomton.



Obr. C. 14: Spotreba elektrickej energie nútenou konvekciou

Celkové dosiahnuté výsledky simulácie sú podobné ako u obdobne realizovaných simulácií [23]. Do budúcnosti by bolo vhodné zapracovať do modelu rozdielne spôsoby regulácie u rôznych vykurovacích plôch a rozdielne charakteristiky termostatických ventilov. Do výpočtu boli vnesené nepresnosti využitím pomerne jednoduchého modelu vykurovacej plochy, ktorý okamžite reguluje hmotnostný prietok. Podlahové vykurovanie využíva nižší teplotný spád 40/32 °C oproti 50/40 °C u vykurovacích telies, vďaka čomu môžu poklesnúť náklady na prípravu tepla.

Z dosiahnutých výsledkov môžeme pozorovať závislosť spotreby energie na dynamike vykurovacích plôch. Dynamické vlastnosti vykurovacích plôch sú závislé hlavne na tepelnej kapacite jednotlivých vrstiev a na vodnom objeme. Vykurovacie plochy s veľkou tepelnou kapacitou jednotlivých vrstiev sú vhodné do priestorov so stabilnou potrebou tepla, naopak vykurovacie plochy s dobrou dynamikou pracujú optimálne aj v miestnostiach, kde dochádza k častým výkyvom v potrebe tepla. Najväčšie rozdiely medzi jednotlivými spotrebami zaznamenávame u teplejších mesiacov, kedy dochádza k častejším výkyvom teplôt. V tomto období dochádza častým zmenám potreby tepla a k častému spínaniu vykurovacieho systému, tým pádom sa viac prejavujú dynamické vlastnosti jednotlivých vykurovacích plôch. U chladnejších mesiacov, kedy je teplota ustálenejšia a vykurovanie funguje permanentne, sa rozdiely v spotrebe energie znižujú.

C.2 Simulácia dynamiky veľkoplošných vykurovacích plôch

Táto časť diplomovej práce je zameraná na výskum dynamiky tepelného chovania vybraných vykurovacích plôch teplovodného systému vykurovania a systému chladenia. Dynamické chovanie bolo simulované pre systémy podlahového, stenového a stropného vykurovania. Pre systémy chladenia bol vytvorený stacionárny model umožňujúci určiť merný výkon a priebeh teplôt. Cieľom práce je stanoviť dynamiku ohrevu jednotlivých veľkoplošných vykurovacích plôch a stanoviť vplyv týchto charakteristík na výsledné energetické chovanie zvolenej miestnosti. Na riešenie bol zvolený software CalA, v ktorom boli vytvorené numerické modely vybraných stavebných konštrukcií. Tento software umožňuje simuláciu časovo neustáleného vedenia tepla, pričom je možné nadviazať na ľubovoľný spočítaný časový krok inými okrajovými podmienkami. Týmto spôsobom bola vykonaná simulácia regulačného zásahu do zvoleného systému.

C.2.1 Program CalA

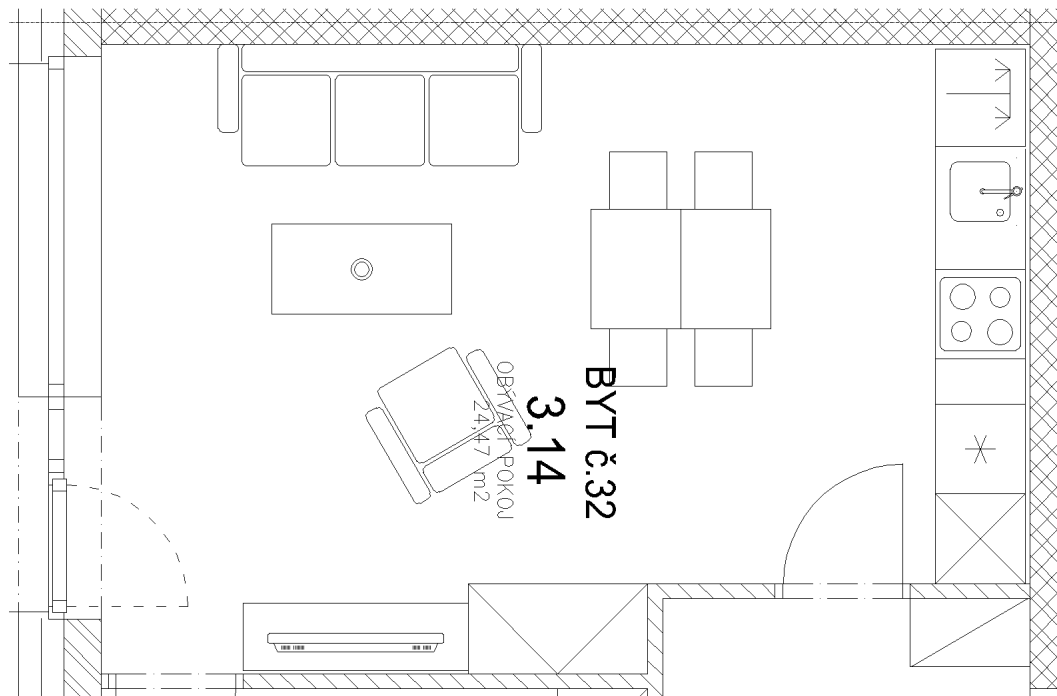
Numerické simulácie boli prevedené v softvare CalA (Calculation Area) verzia 3.2.6. Tento program je založený na numerickom riešení diferenciálnej rovnice popisujúcej transport obcej veličiny W s koeficientami c metódou kontrolných objemov. Pre tieto účely je software overený podľa ČSN EN ISO 10211. Software obsahuje vlastný preprocesor, procesor a postprocesor a je ho tak možné použiť samostatne bez nutnosti využitia externých programov. Preprocesor umožňuje tvorbu geometrie, výpočtovej siete a definíciu všetkých vstupných parametrov výpočtu. Procesor pozostáva z niekoľkých algoritmov aplikujúcich finitné a iteračné metódy riešenia sústavy rovníc a umožňuje tiež previesť výpočet multigrídnou technikou. Postprocesor ponúka celú radu grafických a číselných výstupov vrátane automatizovaného spracovania výsledkov simulácií časovo neustálených dejov. K prednostiam softwaru patrí jednoduchá a rýchla tvorba a modifikácia zadania, schopnosť simulovať rozsiahle úlohy o viac než 20 miliónoch výpočtových buniek a taktiež možnosť importu externej geometrie zo softwarov CAD. Software CalA umožňuje riešiť časovo ustálené i neustálené 2D zdieľanie tepla vedením podľa rovnice:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q_{vnút} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

Výpočet sa realizuje na ortogonálnej výpočtovej sieti metódou kontrolných objemov. Kontrolné objemy sú obdĺžnikového tvaru a v ich geometrických stredoch sú počítané teploty. Software umožňuje využitie Newtonovej okrajovej podmienky 3. druhu, ktorá zvolením vysokej hodnoty súčiniteľa prestupu tepla môže získať charakter okrajové podmienky 1. druhu – Dirichletovej. Tepelne-technické vlastnosti použitých materiálov – c (merná tepelná kapacita), ρ (objemová hmotnosť), λ (tepelná vodivosť) a vnútorné zdroje tepla sú uvažované ako konštantné a nezávislé na teplote.

C.2.2 Predpoklady návrhu

Všetky systémy boli modelované pre obývaciu miestnosť č. 3.14 bytového domu podrobnejšie popísaného v kapitole B.1.1.. Tepelné straty danej miestnosti dosahujú 744 W a tepelný zisk maximálne 1458 W. Počas zimného obdobia bola uvažovaná konštantná vonkajšia výpočtová teplota $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ a konštantná vnútorná výpočtová teplota $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Počas letného obdobia bola udržiavaná vnútorná teplota vzduchu na $26\text{ }^{\circ}\text{C}$. Návrh jednotlivých systémov bol prevedený pre zimné výpočtové podmienky, pričom bola zvolená konštantná stredná teplota vykurovacej vody $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Simulácia chladenia prebehla pre modely s rovnakými parametrami pri strednej teplote prírodnej vody $16\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Obr. C. 15: Pôdorys modelovanej miestnosti

Pre vykurovanie boli vypracované nestacionárne modely náhrevu a chladnutia, pre systémy chladenia boli prevedené stacionárne modely. Modelovaná bola kvantitatívna regulácia. Okrajové podmienky v potrubí boli menené na základe dosiahnutej povrchovej teploty, čím bola simulovaná dvojpolohová regulácia vypnuté-zapnuté. Po dosiahnutí požadovanej povrchovej teploty došlo k odstaveniu prívodu teplonosnej látky a nastalo chladnutie až na povrchovú teplotu rovnú $2/3$ pôvodnej teploty. Zjednodušene bola uvažovaná okamžitá zmena teploty prírodnej vody v potrubí, pri reálnej prevádzke je potrebný určitý čas, kým sa prejaví zmena teploty vykurovacej vody. Striedanie takýchto regulačných zásahov počas celého dňa je len teoretickým príkladom vhodným k porovnávaniu jednotlivých variant, v praxi je tento stav takmer nedosiahnuteľný. Pre zjednodušenie boli uvažované konštantné hodnoty okrajových podmienok v interiéri a exteriéri a takisto bola uvažovaná okamžitá zmena teploty vody v potrubí pri regulačnom zásahu.

Vo všetkých prípadoch bolo uvažované uloženie potrubia do tvaru plošnej špirály. Pri vykurovaní bol simulovaný začiatok vykurovania od 6:00 hodín a následne bola simulovaná nepretržitá prevádzka. V prípade nestacionárneho výpočtu bol u všetkých systémov zvolený jednotný časový krok 5 minút. Všetky súčinitele prestupu tepla boli uvažované s konštantnými hodnotami v čase. Na strane vzduchu boli zjednodušene zvolené na $8 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pre interiér a $23 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pre exteriér, tieto hodnoty sú oproti reálnym mierne nadhodnotené. Súčiniteľ prestupu tepla vody prúdiacej v potrubí bol získaný pomocou vzťahov:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^n$$

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{L}$$

Vzťahy platia pre turbulentné prúdenie tekutiny potrubím, pričom pri ohreve je $n=0,4$ a pri chladnutí je $n=0,3$.

C.2.3 Riešené prípady

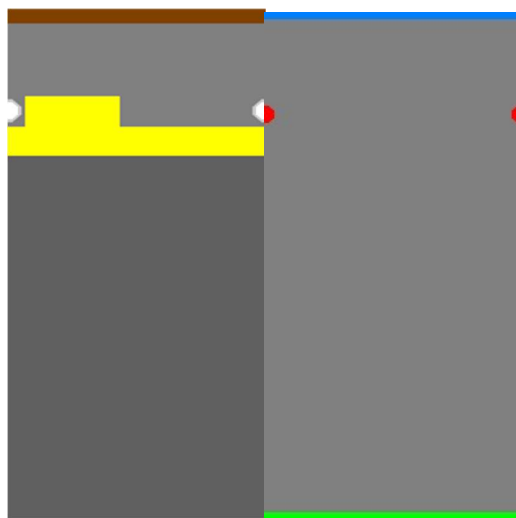
Celkovo bolo navrhnutých a namodelovaných 5 druhov veľkoplošných vykurovacích plôch. U každej varianty je uvedená skladba konštrukcie, okrajových podmienok a grafické výstupy simulácii. Všetky varianty boli navrhnuté podľa platných noriem a podkladov výrobcov jednotlivých systémov.

C.2.3.1 Podlahový systém

Zvolená skladba reprezentuje jeden z najčastejších používaných typov skladby podlahového vykurovania. Skladá sa z nosnej konštrukcie, systémovej dosky z tepelno-izolačného materiálu na ktorej je uložené potrubie, betónovej roznášacej vrstvy a nášľapnej vrstvy tvorenej drevenými parketami. Potrubie o dimenzii 16x2 je uložené v rozstupoch 150 mm.

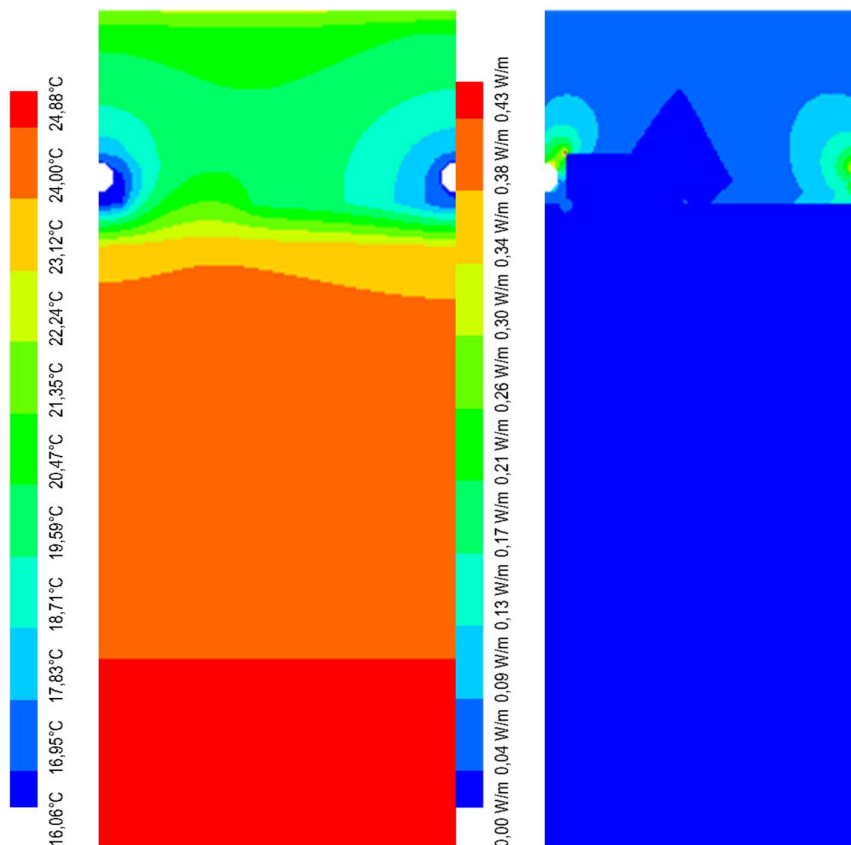
Tabulka použitých materiálov	Barva	Objemová hmotnosť ρ [kg/m ³]	Tepelná vodivosť λ [W/(m·K)]	Tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M04 - Beton hutný-70 mm		2100,00	1,230	1020,00
M05 – Železobeton-250 mm		2400,00	1,580	1020,00
M09 – Systémová doska-20 mm		25,00	0,040	1270,00
M13 - Dřevo tvrdé-10 mm		600,00	0,220	2010,00
M25 - ALPEX-DUO-XS		1270,00	0,450	1980,00
Tabulka použitých okrajových podmínek - zima	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P01 - Interiér - Podlaha ($t = 20^{\circ}\text{C}$)		0,150	20,000	8,000
P03 - Interiér - Strop ($t = 20^{\circ}\text{C}$)		0,150	20,000	8,000
P06 - Voda 35°C		0,048	35,000	1650,000
Tabulka použitých okrajových podmínek - leto	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P01 - Interiér - Podlaha ($t = 26^{\circ}\text{C}$)		0,150	26,000	8,000
P03 - Interiér - Strop ($t = 26^{\circ}$)		0,150	26,000	8,000
P06 - Voda 16°C		0,048	16,000	1290,000

Tab. C. 9: Podlahové vykurovanie - prehľad materiálov a okrajových podmienok



Obr. C. 16: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok

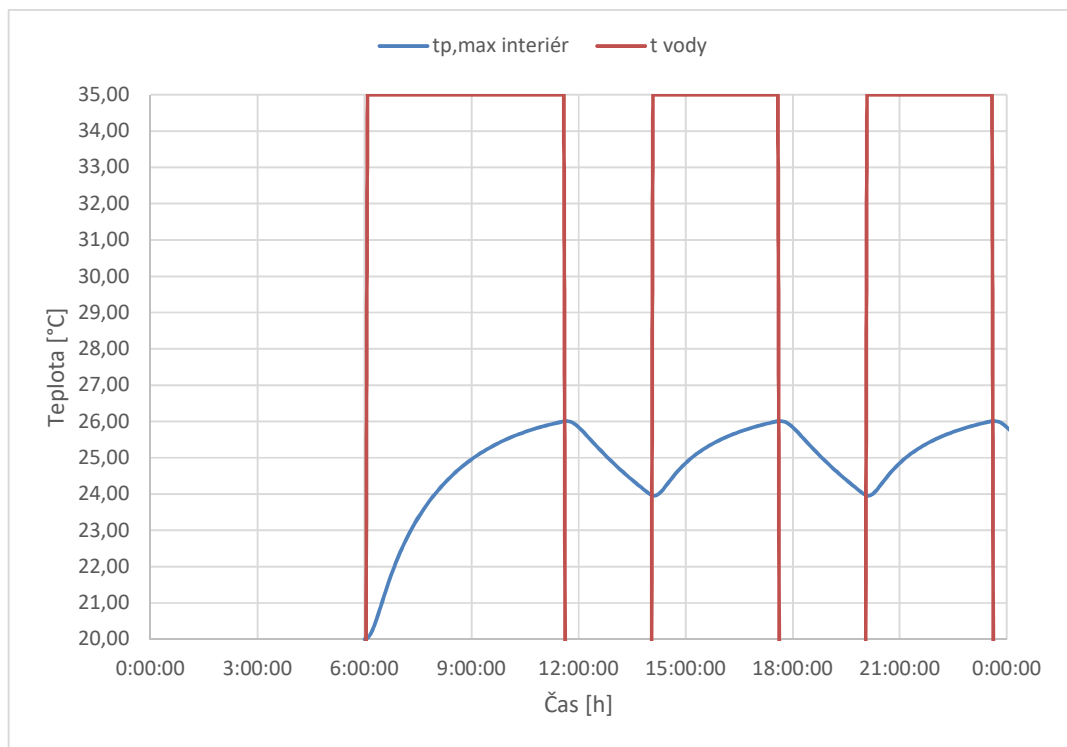
Maximálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade vykurovania 26,62 °C a merný tepelný výkon 50,00 W/m². Maximálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade chladenia 21,59 °C a merný tepelný výkon 33,31 W/m². Pri teplosmennej ploche s veľkosťou 18,23 m² dosahuje chladiaci výkon 607 W, čo pokrýva 41,7 % maximálnych tepelných ziskov.



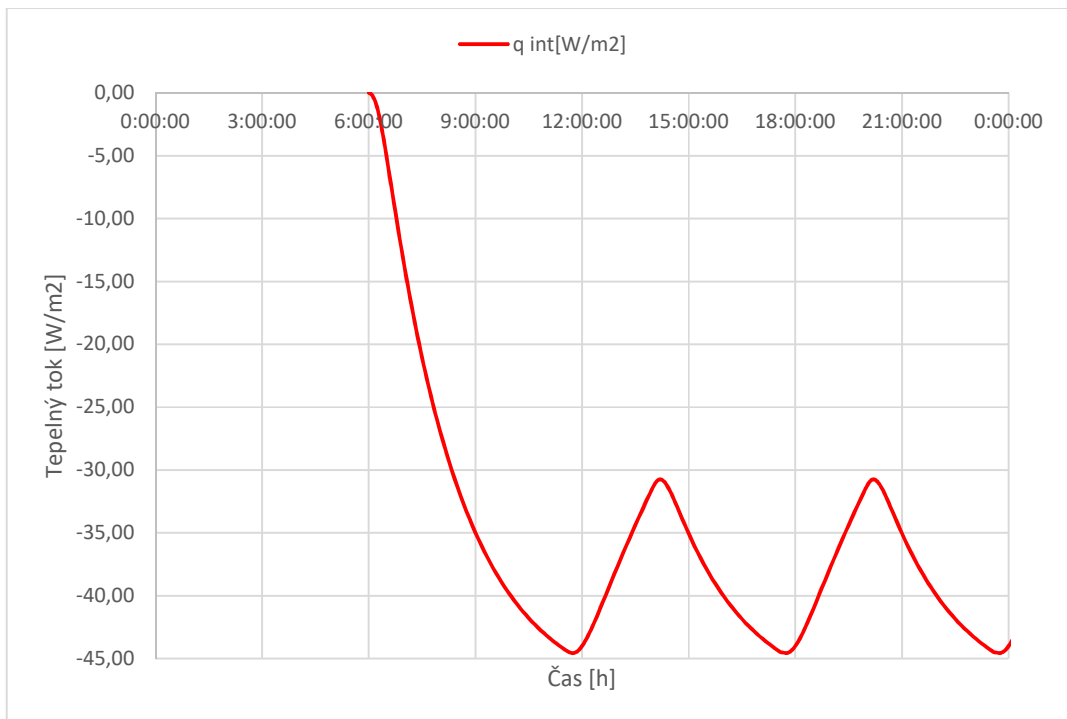
Obr. C. 17: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia

V rámci nestacionárnej simulácie bola teplota regulovaná medzi 26 °C a 24 °C. Po dosiahnutí maximálnej povrchovej teploty v hodnote 26 °C je zmenená okrajová podmienka v potrubí. Teplota v potrubí je zmenená na 20 °C, tým pádom nedochádza k ďalšiemu ohrevu konštrukcie a naopak konštrukcia chladne. Po dosiahnutí 24 °C je okrajová podmienka v potrubí opäť zmenená na pôvodné hodnoty a začína fáza ohrevu. Tento dej považujeme za jeden regulačný zásah. Nesymetrický tvar systémovej dosky spôsobuje nepravidelný prenos tepla a tým aj nepravidelné rozloženie teplotného poľa.

Spolu je v tomto prípade možné vykonať 2 úplné regulačné zásahy. Merný tepelný tok kolíše medzi 45 W/m² a 31,0 W/m².



Obr. C. 18: Priebeh maximálnych povrchových teplôt



Obr. C. 19: Priebeh tepelných tokov

C.2.3.2 Podlahový systém s teplonosným plechom

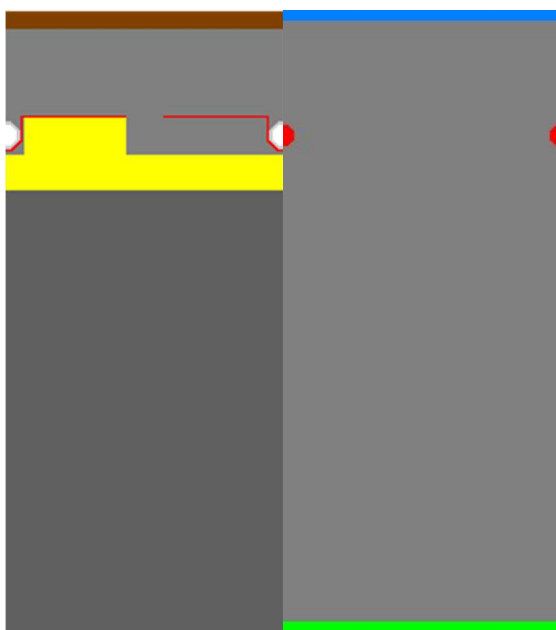
Táto skladba je zhodná so skladbou číslo 1, ale je tu navyše pridaný plech, ktorý pomáha s horizontálnym prenosom tepla a tým zabezpečuje rovnomernejšie rozloženie teploty v tomto smere. Bola uvažovaná hrúbka plechu 1 mm.

Tabulka použitých materiálov	Barva	Objemová hmotnosť ρ [kg/m ³]	Tepelná vodivosť λ [W/(m·K)]	Tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M04 - Beton hutný- 70mm		2100,00	1,230	1020,00
M05 – Železobeton- 250mm		2400,00	1,580	1020,00
M09 - Polystyren pěnový EP-20mm		25,00	0,040	1270,00
M13 - Dřevo tvrdé- 10 mm		600,00	0,220	2010,00
M25 - ALPEX-DUO-XS		1270,00	0,450	1980,00
M26 - Plech		7850,00	58,000	440,00

Tabulka použitých okrajových podmínek - zima	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P01 - Interiér - Podlaha ($t = 20^\circ$)		0,150	20,000	8,000
P03 - Interiér - Strop ($t = 20^\circ\text{C}$)		0,150	20,000	8,000
P06 - Voda 35°C		0,048	35,000	1650,000

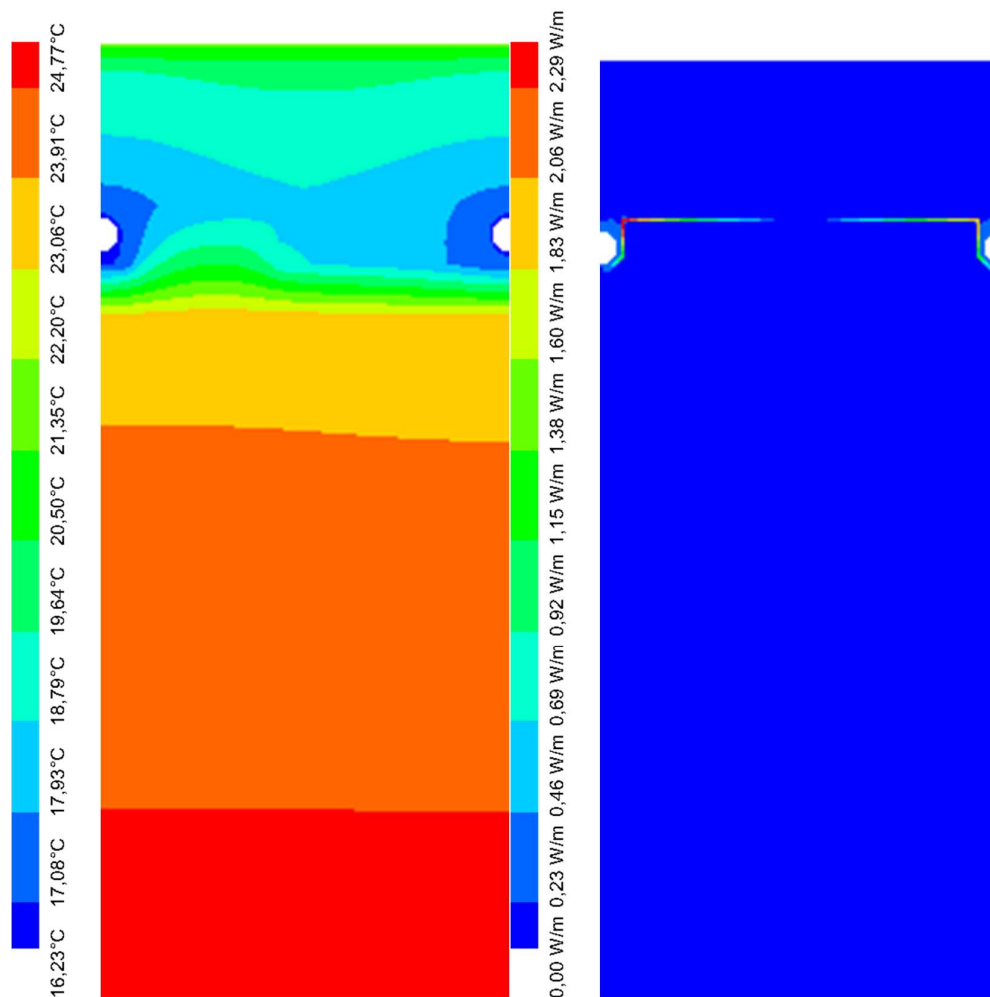
Tabulka použitých okrajových podmínek - leto	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P01 - Interiér - Podlaha ($t = 26^\circ\text{C}$)		0,150	26,000	8,000
P03 - Interiér - Strop ($t = 26^\circ\text{C}$)		0,150	26,000	8,000
P06 - Voda 16°C		0,048	16,000	1290,000

Tab. C. 10: Podlahové vykurovanie s roznášacím plechom - prehľad materiálov a okrajových podmienok



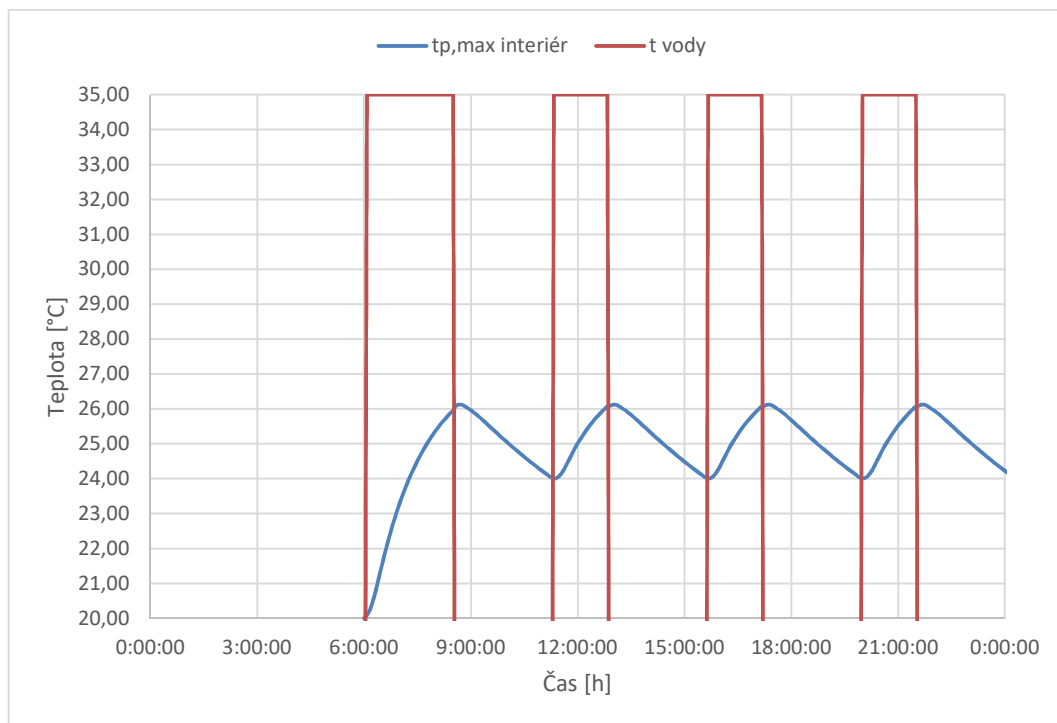
Obr. C. 20: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok

Maximálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade vykurovania 27,48 °C a merný tepelný výkon 58,84 W/m². Je teda vidno nárast tepelného výkonu pridaním roznášacieho plechu o 8,84 W/m². Minimálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade chladenia 21,02 °C a merný tepelný výkon 39,13 W/m². Pridaním teplonosného roznášacieho plechu bol zaznamenaný pokles minimálnej povrchovej teploty a zároveň zvýšenie tepelného toku. Pri teplovýmennnej ploche s veľkosťou 19,9 m² dosahuje chladiaci výkon 713,3 W, čo pokrýva 48,9 % maximálnych tepelných ziskov.

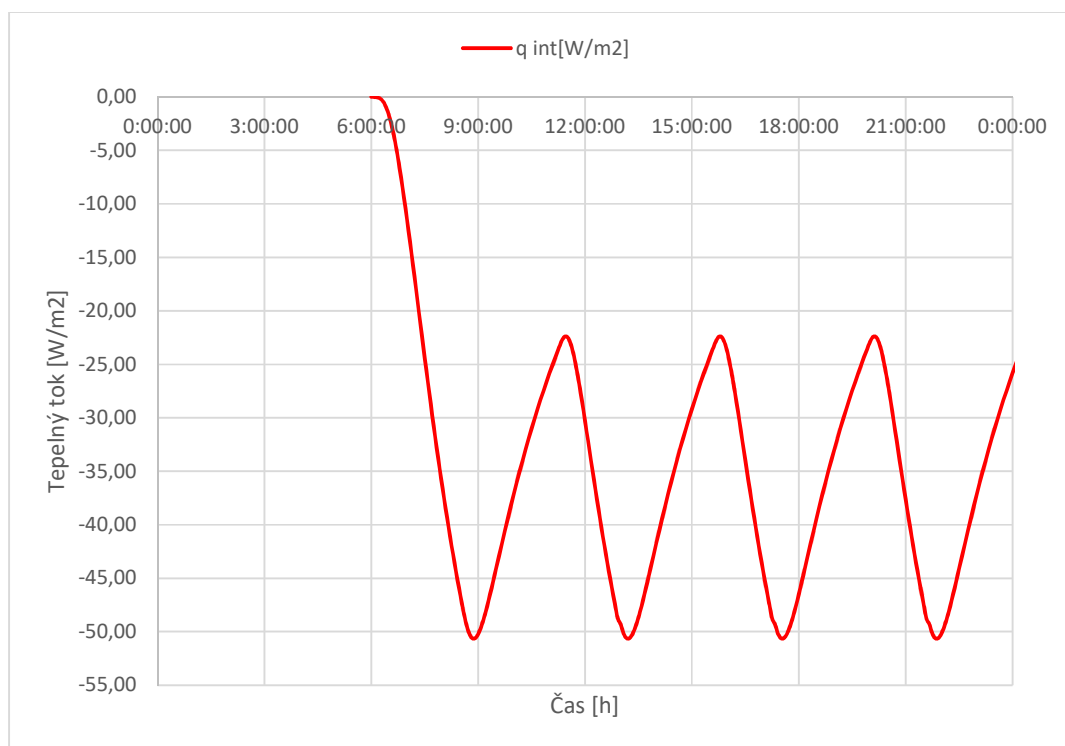


Obr. C. 21: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia

V rámci nestacionárnej simulácie bola teplota regulovaná medzi 26 °C a 24 °C. Spolu je v tomto prípade možné vykonať 4 takmer úplné regulačné zásahy. Merný tepelný tok kolíše medzi 50 W/m² a 22,5 W/m². Pridanie plechu dokáže výrazne zlepšiť dynamické vlastnosti podlahového vykurovania.



Obr. C. 22: Priebek maximálnych povrchových teplôt



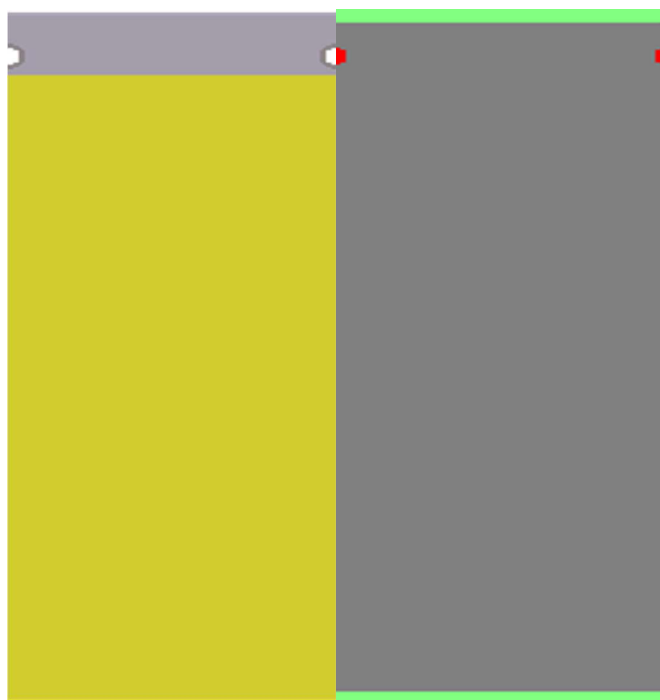
Obr. C. 23: Priebek tepelných tokov

C.2.3.3 Stenový systém

Zvolená skladba predstavuje mokrý spôsob uloženia potrubia do vrstvy omietky. Potrubie je umiestnené na vnútornej priečke susediacej s vedľajšou vykurovanou miestnosťou. Ideálne je umiestnenie na ochladzovanej stene, ktoré nebolo možné vzhľadom na to, že takmer celú ochladzovanú stenu zaberá okno s balkónovými dverami. Potrubie o dimenzii 12x2mm je uložené vo vzájomných rozstupoch 120mm.

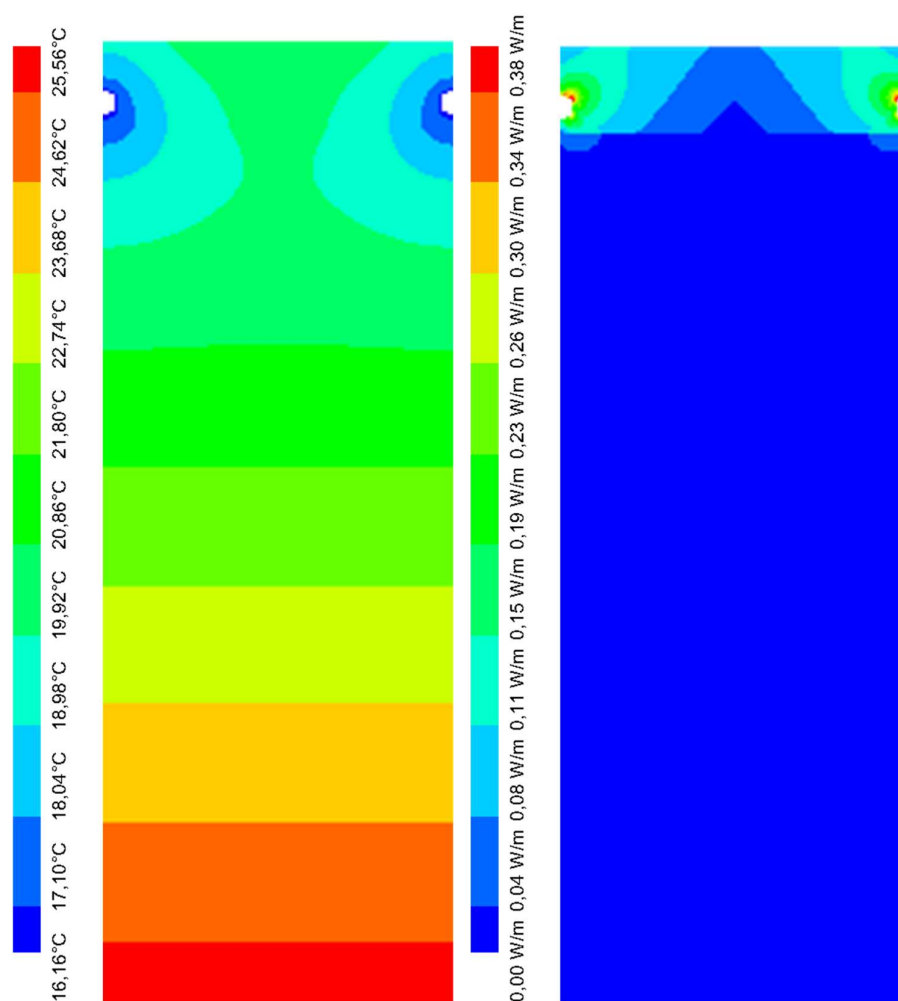
Tabulka použitých materiálov	Barva	Objemová hmotnosť ρ [kg/m ³]	Tepelná vodivosť λ [W/(m·K)]	Tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M25 - Ytong 300mm		400,00	0,150	1000,00
M26 - ALPEX		1270,00	0,450	1980,00
M27 – Omietka- 30mm		2000,00	0,990	790,00
Tabulka použitých okrajových podmínek - zima	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P02 - Interiér - Stěna ($t = 20^{\circ}\text{C}$)		0,240	20,000	8,000
P06 - Voda 35°C		0,032	35,000	2320,000
Tabulka použitých okrajových podmínek - leto	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P02 - Interiér - Stěna ($t = 26^{\circ}\text{C}$)		0,240	26,000	8,000
P06 - Voda 16°C		0,032	16,000	1790,000

Tab. C. 11: Stenové vykurovanie - prehľad materiálov a okrajových podmienok



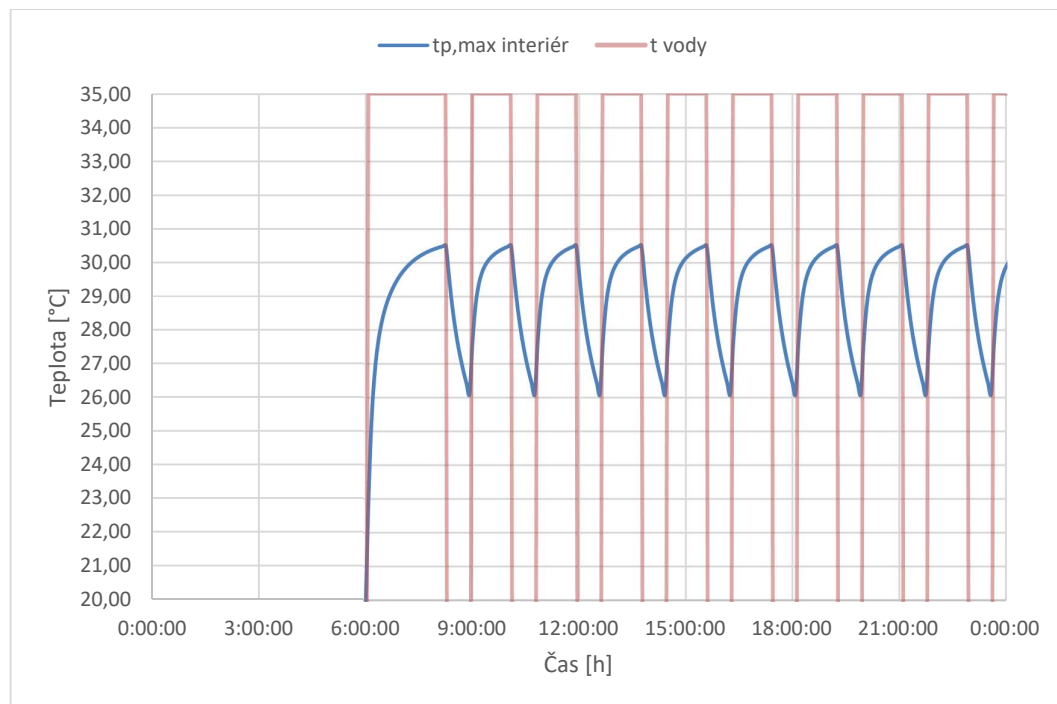
Obr. C. 24: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok

Maximálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade vykurovania $30,88^{\circ}\text{C}$ a merný tepelný výkon $75,68\text{ W/m}^2$. Môžeme pozorovať značný nárast tepelného výkonu oproti predchádzajúcim prípadom. Minimálna dosiahnuteľná povrchová teplota steny je v prípade chladenia $18,75^{\circ}\text{C}$ a merný tepelný výkon dosahuje $50,39\text{ W/m}^2$. Pri teplosmennej ploche s veľkosťou $10,8\text{ m}^2$ dosahuje maximálny chladiaci výkon $544,2\text{ W}$, čo pokrýva $37,3\%$ maximálnych tepelných ziskov.

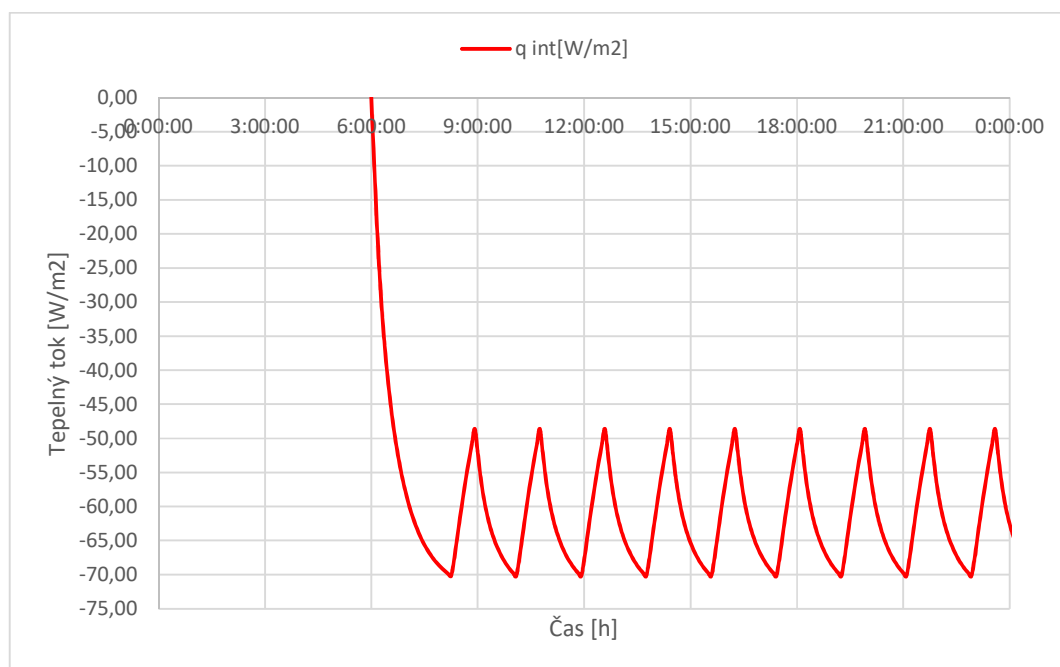


Obr. C. 25: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia

V rámci nestacionárnej simulácie bola teplota regulovaná medzi $30,5^{\circ}\text{C}$ a 26°C . Spolu je v tomto prípade možné vykonať 9 celých regulačných zásahov. Merný tepelný tok kolíše medzi 70 W/m^2 a 48 W/m^2 . Ako vidíme na priložených grafoch stenové vykurovanie je výrazne dynamickejšie v porovnaní s podlahovým vykurovaním.



Obr. C. 26: Priebeh maximálnych povrchových teplôt



Obr. C. 27: Priebeh tepelných tokov

C.2.3.4 Stenový systém zo SDK dosiek

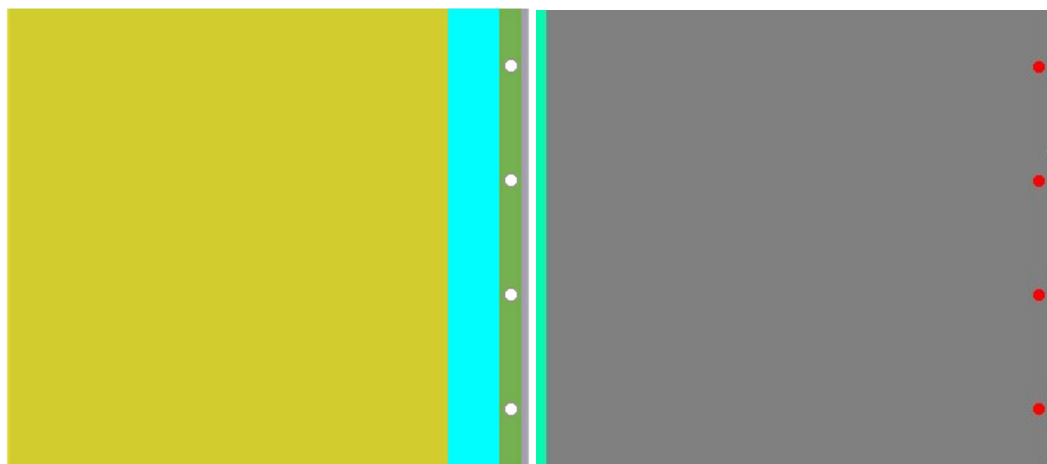
Hlavným komponentom tohto systému je 15 mm hrubá sádkokartónová doska, v ktorej sú zabudované PE-Xa trubky priemeru 9,9 mm. Rozostupy medzi potrubím sú 80mm. Systém je tvorený panelmi, ktoré môžu mať rôzne rozmery a sú zapojené do série. Využíva metódu suchej inštalácie za použitia hliníkových profilov. Vzniknutú medzeru medzi sádkokartónovou doskou a stenou je možné vyplniť tepelnou izoláciou, prípadne môže zostať nevyplnená. Systém vykurovania je znovu umiestnený na vnútornej stene priľahlej k vykurovanému priestoru.

Tabulka použitých materiálov	Barva	Objemová hmotnosť ρ [kg/m ³]	Tepelná vodivosť λ [W/(m·K)]	Tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M22 - Vzduchová vrstva- 35mm		1,20	0,200	1010,00
M25 - Ytong 300mm		400,00	0,150	1000,00
M26 –PE-Xa Trubka		1270,00	0,450	1980,00
M27 – Omietka- 5mm		2000,00	0,990	790,00
M28 – Sádkokartón- 15mm		750,00	0,220	1060,00

Tabulka použitých okrajových podmínek - zima	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P02 - Interiér - Stěna ($t = 20^{\circ}\text{C}$)		0,624	20,000	8,000
P06 - Voda 35°C		0,128	35,000	1420,000

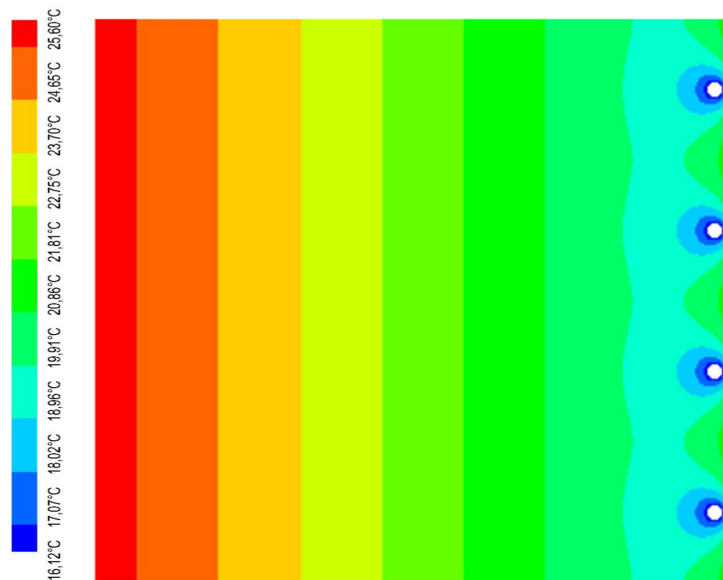
Tabulka použitých okrajových podmínek – leto	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P02 - Interiér - Stěna ($t = 26^{\circ}\text{C}$)		0,624	20,000	8,000
P06 - Voda 16°C		0,128	35,000	1100,000

Tab. C. 12: Stenové vykurovanie zo SDK dosiek- prehľad materiálov a okrajových podmienok



Obr. C. 28: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok

Maximálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade vykurovania 30,76 °C a merný tepelný výkon 70,58 W/m². Merný tepelný výkon a aj maximálna povrchová teplota dosahujú veľmi podobné hodnoty ako v predchádzajúcej variante stenového vykurovania. Minimálna dosiahnuteľná povrchová teplota steny je v prípade chladenia 18,87 °C a merný tepelný výkon dosahuje 46,80 W/m². Pri teplovýmennej ploche s veľkosťou 10,8 m² dosahuje chladiaci výkon 505 W, čo pokrýva 34,7 % maximálnych tepelných ziskov.

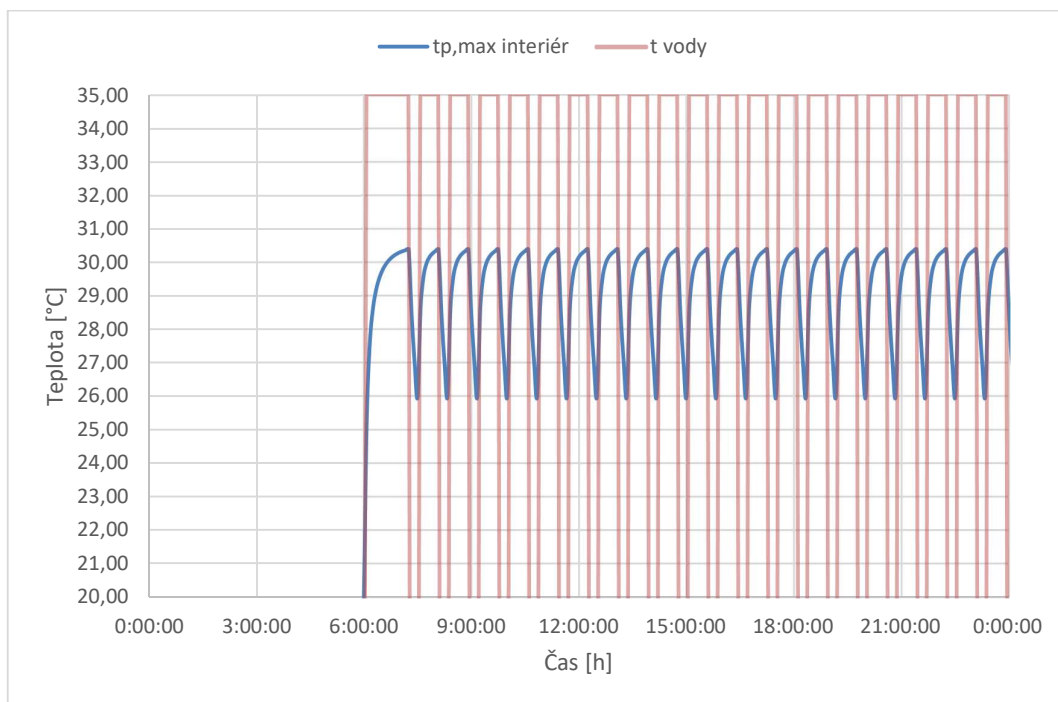


Obr. C. 29: Teplotné pole pri maximálnom výkone chladenia

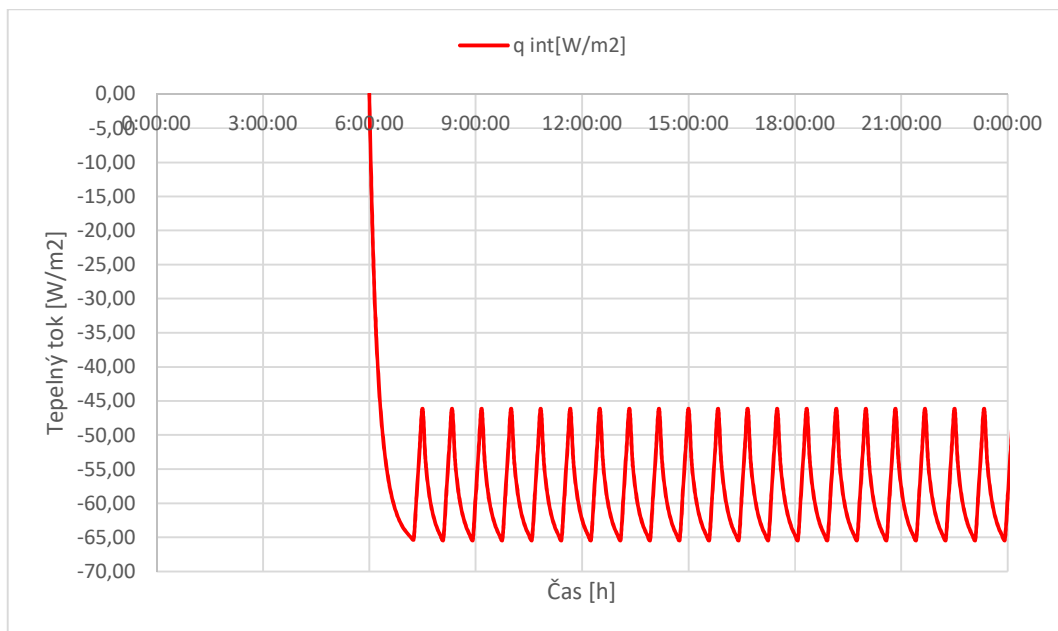


Obr. C. 30: Pribeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia

V rámci nestacionárnej simulácie bola teplota regulovaná medzi 30,5 °C a 26 °C. Spolu je v tomto prípade možné vykonať 21 celých regulačných zásahov. Merný tepelný tok kolíše medzi 65 W/m² a 46 W/m². Tento prípad, aj napriek dosiahnutiu takmer rovnakých výkonov ako klasické stenové vykurovanie, vykazuje omnoho vyššiu dynamiku.



Obr. C. 31: Priebeh maximálnych povrchových teplôt



Obr. C. 32: Priebeh tepelných tokov

C.2.3.5 Aktivácia betónového jadra

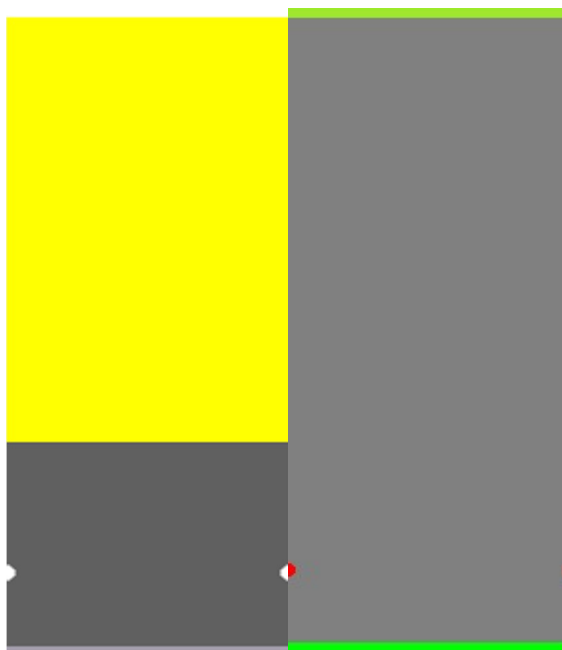
Táto skladba využíva akumuláciu schopnosť stropných konštrukcií jednotlivých podlaží. Potrubie je umiestnené v železobetónovej nosnej konštrukcii o hrúbke 250mm, nad ktorou sa nachádza vrstva tepelnej izolácie zabraňujúca úniku tepla do exteriéru. Potrubie s rozmermi 20x2 mm je uložené vo vzájomných rozstupoch 300mm.

Tabulka použitých materiálov	Barva	Objemová hmotnosť ρ [kg/m ³]	Tepelná vodivosť λ [W/(m·K)]	Tepelná kapacita c [J/(kg·K)]
M05 – Železobeton- 250		2400,00	1,580	1020,00
M25 - PB		930,00	0,350	1470,00
M26 – Minerálna vata- 450mm		25,00	0,040	1270,00
M27 – Omietka- 10 mm		2000,00	0,990	790,00

Tabulka použitých okrajových podmínek - zima	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P03 - Interiér - Strop		0,300	20,000	8,000
P04 - Exteriér ($t = -12^{\circ}\text{C}$)		0,300	-12,000	23,000
P06 - Voda 35°C		0,064	35,000	1400,000

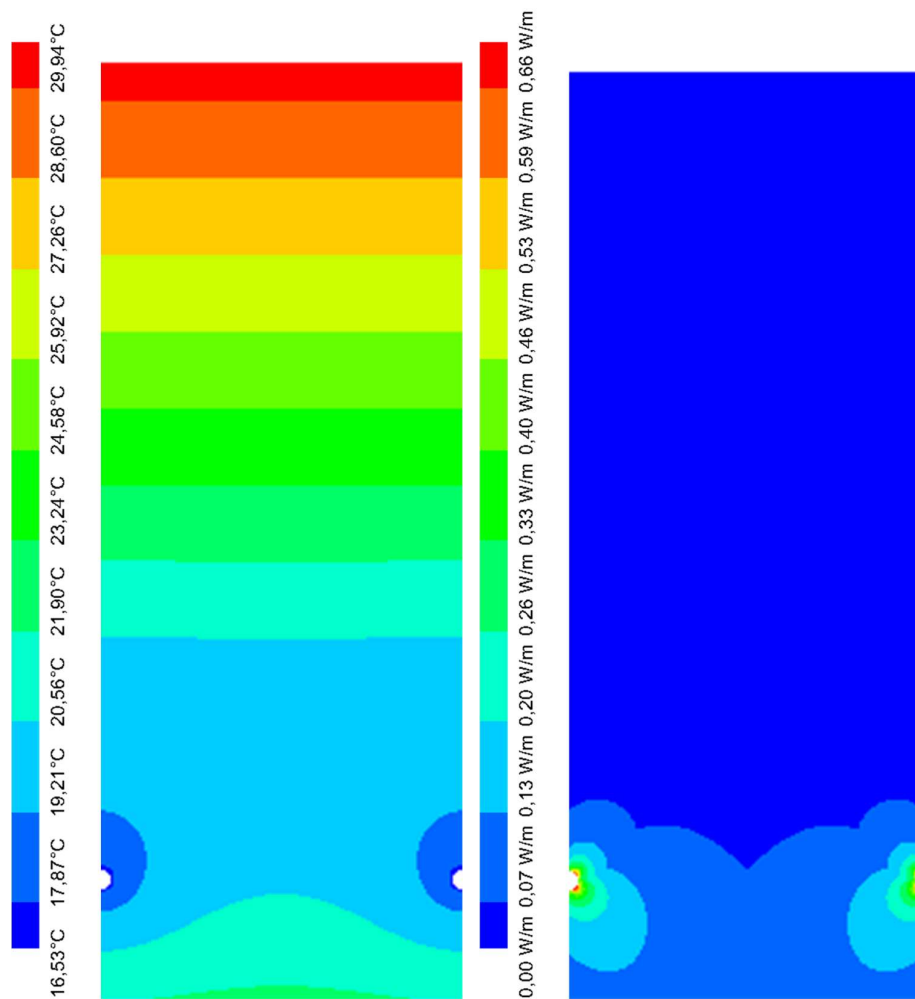
Tabulka použitých okrajových podmínek - leto	Barva	Délka L [m]	Teplota T [°C]	Souč. přestupu tepla α [W/(m ² ·K)]
P03 - Interiér - Strop		0,300	26,000	8,000
P04 - Exteriér ($t = 30^{\circ}\text{C}$)		0,300	30,000	23,000
P06 - Voda 16°C		0,064	16,000	1090,000

Tab. C. 13: Aktivácia betónového jadra - prehľad materiálov a okrajových podmienok



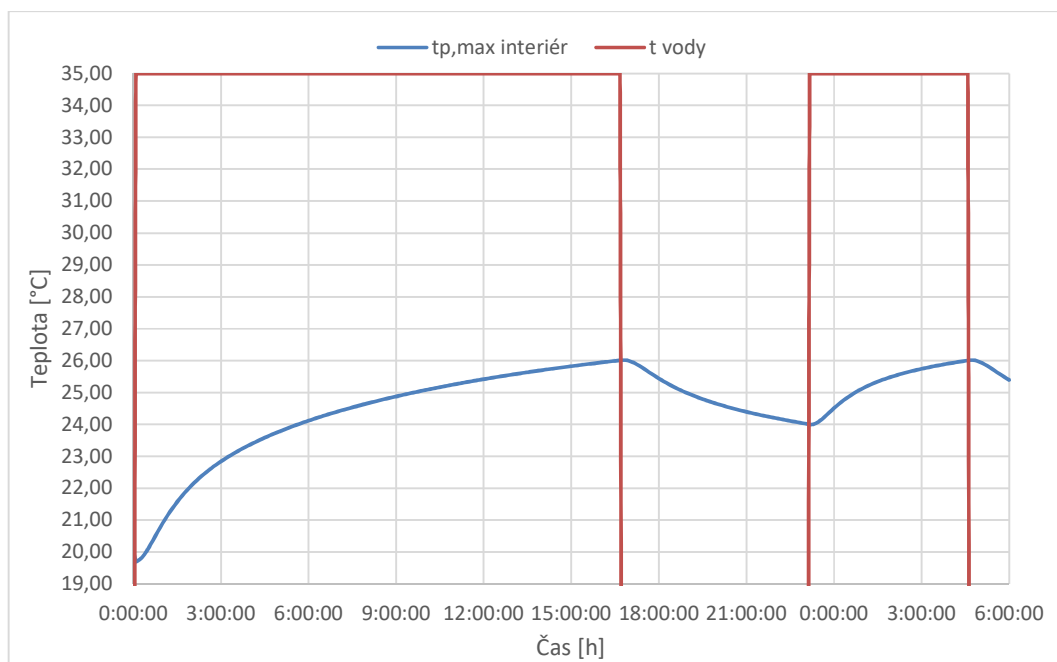
Obr. C. 33: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok

Maximálna dosiahnuteľná povrchová teplota je v prípade vykurovania $27,23\text{ }^{\circ}\text{C}$ a merný tepelný výkon $57,74\text{ W/m}^2$. Minimálna dosiahnuteľná povrchová teplota stropu je v prípade chladenia $21,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a merný tepelný výkon dosahuje $36,79\text{ W/m}^2$. Pri teplovýmennej ploche s veľkosťou $18,23\text{ m}^2$ dosahuje chladiaci výkon 671 W , čo pokrýva 46 % maximálnych tepelných ziskov.

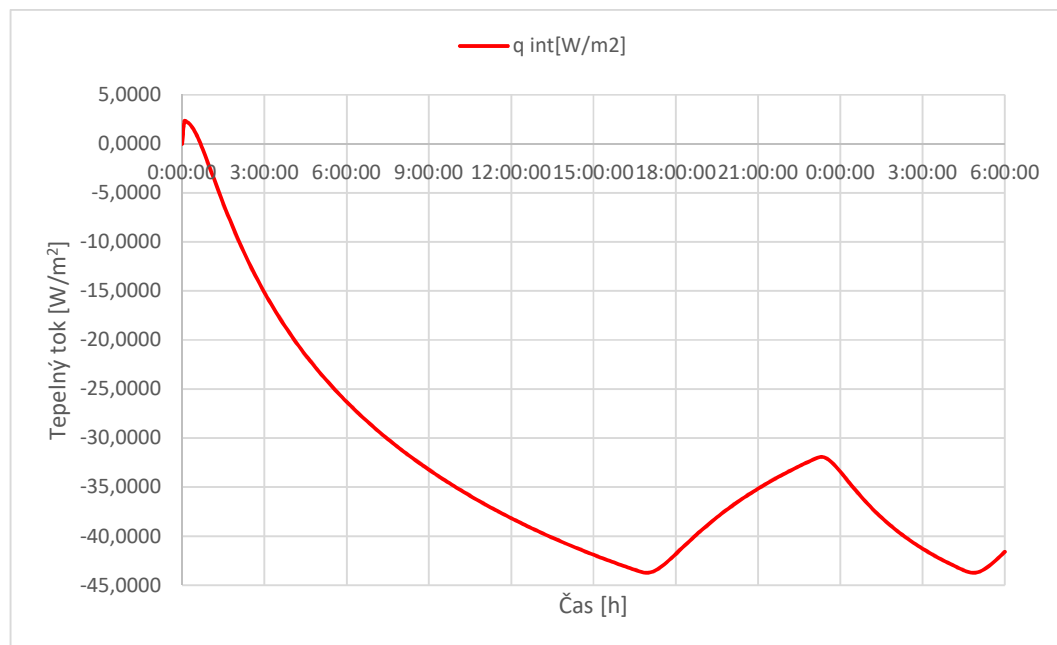


Obr. C. 34: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia

V rámci nestacionárnej simulácie bola teplota regulovaná medzi $26\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $24\text{ }^{\circ}\text{C}$. Spolu je v tomto prípade možné vykonať 1 celý regulačný zásah. Merný tepelný tok kolíše medzi 48 W/m^2 a 32 W/m^2 . V tomto prípade je viditeľne výrazne spomalenie náhrevu a chladnutia vykurovacej plochy, spôsobené veľkou akumulačnou schopnosťou železobetónovej dosky, v ktorej je potrubie umiestnené.



Obr. C. 35: Priebeh maximálnych povrchových teplôt



Obr. C. 36: Priebeh tepelných tokov

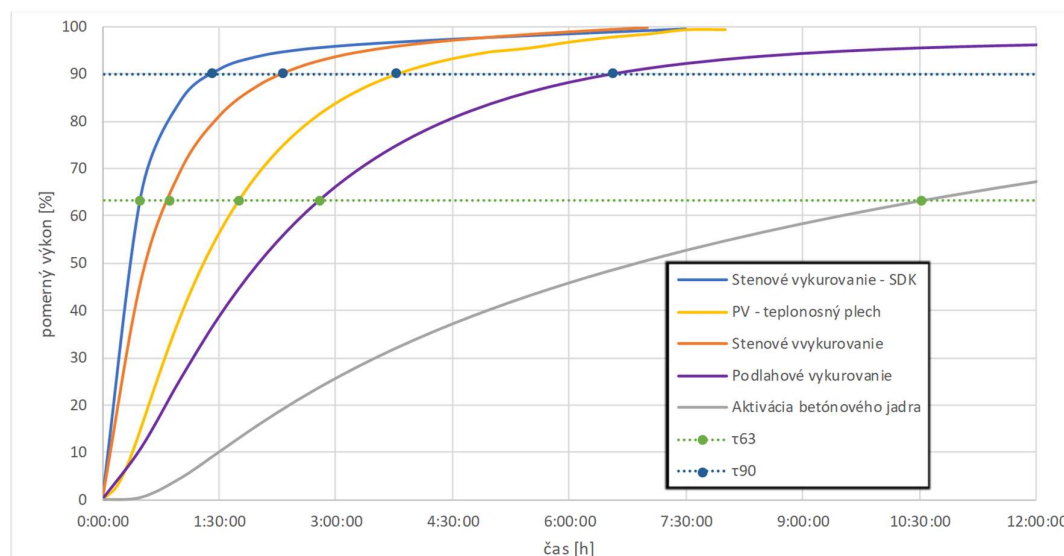
C.2.4 Vyhodnotenie simulácie

Ako hlavné hodnotiace kritéria pre porovnanie dynamického chovania daných vykurovacích systémov boli použité zotrvačnosti nábehu:

τ_{63} - čas potrebný na dosiahnutie 63,2% menovitého tepelného výkonu

τ_{90} - čas potrebný na dosiahnutie 90% menovitého tepelného výkonu

Z výpočtov ktoré boli prezentované v predchádzajúcich kapitolách bol vytvorený spoločný graf, na ktorom je možné porovnávať rýchlosť nábehu veľkoplošných vykurovacích telies. Pomerný výkon je vždy vzťahovaný k maximálnemu výkonu danej vykurovacej plochy.



Obr. C. 37: Graf rýchlosti nábehu vykurovacích systémov

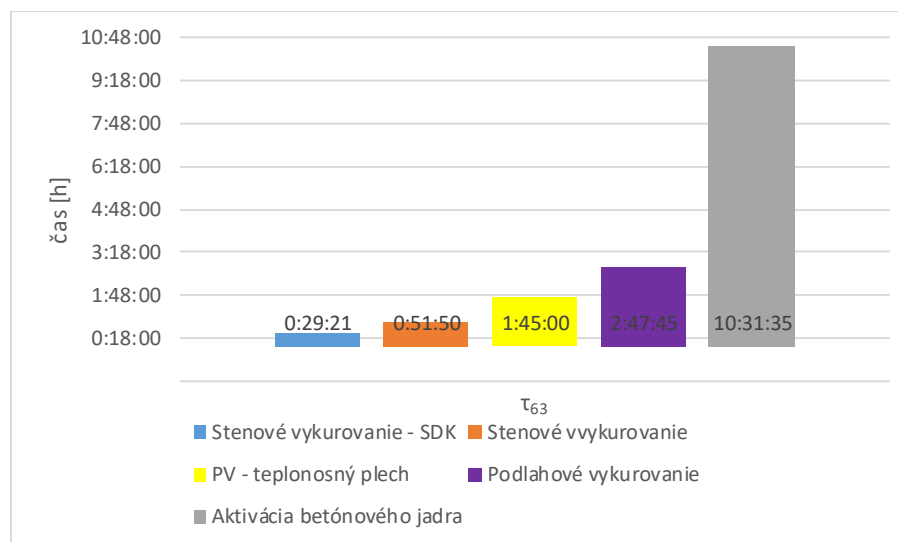
Hodnota τ_{90} systému aktivácie betónového jadra bola kvôli svojej vysokej hodnote z grafu vynechaná. Podrobné číselné hodnoty je možné nájsť v priloženej tauľke:

Použitý systém	τ_{63}	τ_{90}
Stenové vykurovanie - SDK	0:29:21	1:25:00
Stenové vykurovanie	0:51:50	2:18:57
PV - teplonosný plech	1:45:00	3:47:00
Podlahové vykurovanie	2:47:45	6:33:22
Aktivácia betónového jadra	10:31:35	13:06:19

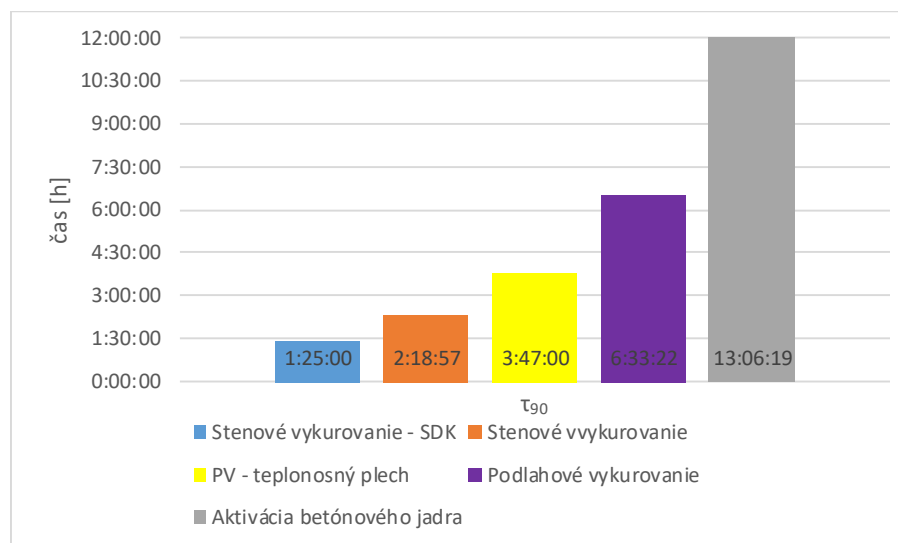
Obr. C. 38: Presné hodnoty rýchlosti nábehu na τ_{63} a τ_{90}

Z výsledkov získaných simuláciami je jasne vidieť rozdiel v dynamike tepelného chovania jednotlivých systémov vykurovania. Skladby s menšími rozstupmi potrubia a malou tepelnou kapacitou vrstiev nachádzajúcich sa medzi nimi a interiérom vykazujú rýchlejšiu odozvu na regulačné zásahy s menšou tepelnou zotrvačnosťou. Týmto pôsobením sa zvyšuje doba, počas ktorej nie je odoberaná tepelná energia a dochádza k jej pomerne veľkej úspore. Naopak, systémy s väčšou tepelnou kapacitou vrstiev medzi potrubím a interiérom vykazujú pomalšiu odozvu na regulačné zásahy a samozrejme aj oveľa vyššiu tepelnú zotrvačnosť.

Z hľadiska pokrytia tepelných ziskov nedokáže ani jedna zo zvolených variant zabezpečiť ich plné pokrytie. Percentom pokrytia tepelných ziskov sa pohybuje od 37% po 48,9 %, pričom najvyšší chladiaci výkon dokáže zabezpečiť podlahové vykurovanie s teplotnosným plechom. Počet regulačných zásahov vykonateľných za deň je úmerný hodnotám zotrvačnosti nábehu.



Obr. C. 39: Poradie rýchlosti nábehu podľa τ_{63}



Obr. C. 40: Poradie rýchlosti nábehu podľa τ_{90}

V dôsledku snahy o čo najnižšiu energetickú náročnosť moderných budov sú kladené stále vyššie nároky na reguláciu vykurovacieho systému. Vonkajšie klimatické zmeny sa veľmi rýchlo odrážajú na stave vnútorného prostredia, počas dňa môže dochádzať k rýchlym zmenám v požadovanej energii na vykurovanie. Ako najvhodnejšie pre zvolenú miestnosť (budovu) vychádzajú systémy stenového vykurovania, ktoré sú schopné v pomerne krátkom čase

reagovať na zmeny potreby tepelnej energie v interiéri. Použitie klasickej skladby podlahového vykurovania vykazuje približne 3 krát dlhšiu dobu ohrevu na menovitý výkon. Pridaním teplonosného plechu zaznamenávame nárast tepelného výkonu a zároveň zlepšenie dynamických vlastností. Najmenej vhodnou vykurovacou plochou pre zvolenú budovu je systém využívajúci aktiváciu betónového jadra. Z výsledkov je viditeľná veľmi malá schopnosť reagovať na zmeny teplotných pomerov v interiéri.

ZÁVER

Cieľom tejto práce bolo stanoviť dynamické vlastnosti vybraných vykurovacích plôch a určiť ich vplyv na energetickú náročnosť vybranej miestnosti. Boli navrhnuté 3 varianty vykurovacích systémov ktoré boli ďalej posudzované.

Finančne najvýhodnejšie z porovnania vychádza varianta využívajúca doskové vykurovacie telesá Radik VK, vďaka pomerne nízkym nákladom na samotné vykurovacie telesá. Varianta využívajúca prevažne konvektory Tomton R1 je naopak finančne najnáročnejšia. Za cenu vyšších nákladov prinášajú najlepšie dynamické charakteristiky spomedzi porovnávaných variant a zároveň najvyššiu úsporu tepla. Podlahové vykurovanie sa umiestnilo medzi nimi, ale cenovo blíži k finančne najnáročnejšej variante. Kvôli horším dynamickým charakteristikám dosahuje najvyššie náklady na vykurovanie spomedzi navrhnutých variant.

V energetickej simulácii navrhnutých variant v programe TRNSYS bola zistená celková spotreba tepla na vykurovanie počas vykurovacej sezóny. Z dosiahnutých výsledkov vyplýva, že nižšiu spotrebu tepla dosahujú vykurovacie plochy s menšou tepelnou kapacitou jednotlivých vrstiev a zároveň s nižším vodným obsahom. Vykurovacie teleso je Tomton je vďaka veľmi malému vodnému obsahu a nízkej tepelnej kapacite schopné dosiahnuť úsporu voči porovnateľnému doskovému vykurovaciemu telesu a podlahovému vykurovaniu. V prechodnom období dochádza k väčším úsporám u vykurovacích plôch s vyššou dynamikou. Naopak v zimnom období sa vplyv dynamiky vykurovacích plôch na spotrebu energie znižuje. Hlavným dôvodom je, že nedochádza k častým zmenám v aktuálnej potrebe tepla a tým pádom k častým náhrevom a chladnutiam pri ktorých vznikajú najväčšie rozdiely v spotrebe energie.

V druhej simulácii bola porovnávaná dynamika tepelného chovania veľkoplošných vykurovacích plôch. Bolo namodelovaných 5 systémov veľkoplošného vykurovania v programe CalA. Z výsledkov získaných simuláciami vyplýva rozdiel v dynamike tepelného chovania jednotlivých systémov vykurovania. Skladby s menšími rozstupmi potrubia a malou tepelnou kapacitou vrstiev nachádzajúcich sa medzi nimi a interiérom vykazujú rýchlejšiu odozvu na regulačné zásahy s menšou tepelnou zotrvačnosťou. Týmto pôsobením sa zvyšuje doba počas ktorej nie je odoberaná tepelná energia a dochádza k jej úspore. Naopak, systémy s väčšou tepelnou kapacitou vrstiev medzi potrubím a interiérom vykazujú pomalšiu odozvu na regulačné zásahy a samozrejme aj oveľa vyššiu tepelnú zotrvačnosť.

POUŽITÉ ZDROJE

1. **Bašta, Jiří.** *Velkoplošné sálavé vytápění.* Praha : Grada Publishing, 2010. 978-80-247-3524-5.
2. **prof. Ing. Jiří Bašta, Ph.D.** tzb-info. *Otopné plochy - úvod do problematiky.* [Online] 10. 2 2006. [Dátum: 15. 12 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/3052-otopne-plochy-uvod-do-problematiky>.
3. **Thermal radiation.** *Wikipedia.* [Online] [Dátum: 15. 12 2018.] https://en.wikipedia.org/wiki/Thermal_radiation.
4. **Bašta, Jiří.** Velkoplošné vytápění (I) - Úvod do problematiky. *tzb-info.* [Online] 26. 6 2006. [Dátum: 15. 12 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/3383-velkoplosne-vytapani-i>.
5. **Bašta, Jiří.** Podlahové vytápění (II). *tzb-info.* [Online] 31. 7 2006. [Dátum: 15. 12 2015.] <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3442-podlahove-vytapani-ii>.
6. **Petráš D., Koudelková D.** *Teplovodní a elektrické podlahové vytápění.* Bratislava : Jaga Group, 2004. 80-88905-97-4.
7. **Bašta, Jiří.** Návrh otopných těles a tepelná pohoda. *tzb-info.* [Online] 1. 8 2000. [Dátum: 18. 12 2018.]
8. **Bašta, Jiří.** Rozdíl mezi regulací a ovládáním. *tzb-info.* [Online] 10. 21 2004. [Dátum: 18. 12 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2203-rozdil-mezi-regulaci-a-ovladanim>.
9. **Valter, Jaroslav.** tzb-info. *Regulace v praxi II - Ohřev a chlazení ve vzduchotechnice.* [Online] 9. 5 2011. [Dátum: 18. 12 2018.]
10. **Štěchovský, Jaroslav.** *Vytápění.* Praha : Sobotáles, 2005. 80-86817-11-3.
11. **Termostatický ventil a jeho funkcia vo vykurovacej sústave.** *herz-sk.* [Online] Herz. [Dátum: 20. 12 2018.] <http://www.herz-sk.sk/odborne-rady/systemova-a-regulacna-technika/termostaticky-ventil-a-jeho-funkcia-vo-vykurovacej-sustave/>.
12. **Bašta, Jiří.** Regulační armatury - teoretická základna (III). *tzb-info.* [Online] 26. 10 2004. [Dátum: 20. 12 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/2212-regulacni-armatury-teoreticka-zakladna-iii>.
13. **Bašta, Jiří.** *Hydraulika a řízení otopných soustav.* Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 80-01-02808-9.
14. **Bašta J., Šimek J., Vavříčka** *Dynamické chování deskových otopných těles.* R. 3, Praha : Společnost pro techniku prostředí, 2008, Zv. 2008.
15. **Boháč J., Vavříčka R.** Studie vlastností otopných těles. *tzb-info.* [Online] 10. 4 2017. [Dátum: 21. 12 2018.]

- 16. Šulc, Radek.** Nestacionární vedení tepla. *Fakulta strojní ČVUT*. [Online] 2005. [Datum: 2018. 12. 22.] http://www1.fs.cvut.cz/cz/u218/pedagog/predmety/3rocnik/phth/phth_old-2007/SEMINAR/Sulc/pdf/PHTH_an_NESTvedeni.pdf.
- 17. Vedení tepla.** *Wikipedia*. [Online] [Datum: 23. 12. 2018.] https://cs.wikipedia.org/wiki/Veden%C3%AD_teplo.
- 18. Termografie.** *Wikiskripta*. [Online] [Datum: 23. 12. 2018.] <https://www.wikiskripta.eu/w/Termografie>.
- 19. Bašta J., Jančík L.** Setrvačnost náběhu a chladnutí otopných těles. *tzb-info*. [Online] 15. 3. 2010. [Datum: 23. 12. 2019.] <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/6310-setrvacnost-nabe-hu-a-chladnuti-otopnych-teles>.
- 20. Bašta, Jiří.** Dynamické chování otopných těles s ohledem na regulační zásah. *tzb-info*. [Online] 23. 9. 2013. [Datum: 23. 12. 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/10368-dynamicke-chovani-otopnych-teles-s-ohledem-na-regulacni-zasah>.
- 21. Šíkula, Ondřej.** Simulace provozních režimů otopných systémů s velkou akumulací. *tzbinfo*. [Online] 4. 6. 2012. [Datum: 23. 12. 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/8571-simulace-provoznich-rezimu-otopnych-systemu-s-velkou-akumulaci>.
- 22. Šíkula O., Charvát P., Rozehnal** *Porovnání otopných ploch z hlediska spotřeby tepla na vytápění*. D. 4, s.l. : Plynár-vodár-kurenár + klimatizácia, Zv. 2017. 1335-9614.
- 23. Šíkula O., Charvát P., Ladjedel O., Reffas A., Adjout L.** Influence of heating elements dynamics on energy savings. [Online] 12. 2018. [Datum: 7. 1. 2019.] https://www.researchgate.net/publication/329348368_Influence_of_heating_elements_dynamics_on_energy_savings.
- 24. Reinberk, Zdeněk.** Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. *tzb-info*. [Online] [Datum: 7. 1. 2019.] <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>.
- 25. What is TRNSYS?** *trnsys.com*. [Online] [Datum: 27. 12. 2018.] <http://www.trnsys.com/>.
- 26. Čas k dosažení plného výkonu.** *Tomton*. [Online] [Datum: 28. 12. 2018.] <http://www.tomton.cz/>.
- 27. Bašta J., Jančík L.** Setrvačnost náběhu a chladnutí otopných těles. *tzb-info*. [Online] 15. 3. 2010. [Datum: 12. 29. 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/otopne-plochy/6310-setrvacnost-nabe-hu-a-chladnuti-otopnych-teles>.
- 28. Bašta, Jiří.** Podlahové vytápění (I) - Projektování - Úvod. *tzb-info*. [Online] 24. 7. 2006. [Datum: 15. 12. 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3428-podlahove-vytapani-i>.

29. Bašta, Jiří. Podlahové vytápění (II). *tzb-info*. [Online] 31. 7 2006. [Datum: 15. 12 2018.] <https://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani/3442-podlahove-vytapani-ii>.

30. Šimko M., Krajčík M., Šikula O., Šimko P., Kalús D. *Insulationa panels for active control of heat transfer in walls operated as space heating or as thermal barrier: Numaeical simulations and experiments*. [Energy and buildings] 2018. 0378-7788.

ZOZNAM POUŽITÝCH SKRATIEK A SYMBOLOV

Fyzikálne veličiny:

A	plocha [m^2]
b	činiteľ vyťaženia vykurovacieho telesa [-]
Bi	Biotovo číslo [-]
c	tepelná kapacita [J/kg.K]
E	energia [J]
H	spalné teplo [J/m^3]
k	účinnosť kondenzačného kotla [-]
M	hmotnostný prietok [kg/h]
Nu	Nusseltovo číslo [-]
p	tlak [Pa]
t	teplota [$^{\circ}\text{C}$]
T	termodynamická teplota [K]
U	súčiniteľ prechodu tepla [$\text{W/m}^2.\text{K}$]
v	rýchlosť [m/s]
V	objem [m^3]
q	tepelný tok [W/m^2]
Q	tepelný výkon [W]
z	opravný súčiniteľ pre vykurovacie teleso [-]
α	súčiniteľ prestupu tepla [$\text{W/m}^2.\text{K}$]
φ	súčiniteľ zohľadňujúci pripojenie vykurovacieho telesa [-]
τ	tepelná zotrvačnosť [s]
ρ	objemová hmotnosť [kg/m^3]
λ	súčiniteľ tepelnej vodivosti [W/m.K]
ϕ	tepelná strata [W]

Indexy:

a	akumulovaný
c	celkový
CH	chladnutie
cl	vplyv oblečenia
d	zdieľaný dýchaním
d,dov	dolná dovoľená hranica
dop	doplňkový
e	exteriér
ep	expanzná nádoba
h,dov	horná dovoľená hranica
HL	návrhová
i	interiér

in	vstupná
int	interiér
k	konvekcia
m	metabolický
max	maximálny
mr	manometrická rovina
n	menovitý
N	nábeh
N,20	požadovaná hodnota
OT	vykurovacie teleso
p	povrchová
pdl	podlaha
POT	potrebný
PRIP	pripojovací
rec,20	doporučená hodnota
s	sálenie
set	nastavená hodnota
skut	skutočný
sm	stredná povrchová
T	prestupom
v	vedenie tepla
V	vetraním
V1	vztiahnutý k variante 1
V2	vztiahnutý k variante 2
V3	vztiahnutý k variante 3
vnut	vnútorný
w	voda
z	zásobník TV
wm	stredná teplota
100	sto percentný
Δ	zmena veličiny
(t)	hodnota v čase t

Skratky:

č.m.	číslo miestnosti
č.ú.	číslo úseku
d	priemer
dxt	priemer x hrúbka steny potrubia
h	výška
l	dĺžka
r	polomer
R	rozostup

ZOZNAM OBRÁZKOV A TABULIEK

Obrázky:

Obr. A. 1: Meandrový spôsob kladenia (vľavo) a kladenie do tvaru plošnej špirály (vpravo) [5]	15
Obr. A. 2: Vertikálny priebeh teploty vzduchu vo vykurovanej miestnosti [4]	16
Obr. A. 3: Horizontálne rozloženie teplôt v miestnosti [4]	17
Obr. A. 4: Tepelná zotrvačnosť u rôznych vykurovacích systémov [6]	18
Obr. A. 5: Samoregulačný efekt u podlahového vykurovania [6]	18
Obr. A. 6: Podiel tepla zdieľaného sálaním v závislosti na rozdieli teplôt [2]	19
Obr. A. 7: Prúdenie vzduchu v miestnosti s vykurovacím telesom - priečny rez	20
Obr. A. 8: Prúdenie vzduchu v miestnosti s podlahovým vykurovacím telesom - priečny rez [2]	20
Obr. A. 9: Prúdenie nad podlahovým konvektorom [2]	20
Obr. A. 10: Príklady teplotných profilov po výške miestnosti pri rôznych spôsoboch vykurovania [2]	21
Obr. A. 11: Oblasti s rôznou intenzitou sálania u vykurovacieho telesa a podlahového vykurovania [8]	22
Obr. A. 12: Schéma regulačného okruhu [8]	22
Obr. A. 13: Kvalitatívna (vľavo) a kvantitatívna (vpravo) regulácia [10]	24
Obr. A. 14: Schéma termostatického ventilu [12]	25
Obr. A. 15: Schéma princípu fungovania termostatického radiátorového ventilu [12]	25
Obr. A. 16: Celková charakteristika pre ventil s lineárnou charakteristikou v 4-kvadrantovom diagrame [13]	26
Obr. A. 17: Hysteréza termostatického ventilu [12]	27
Obr. A. 18: Grafické znázornenie doby nábehu s dopravným oneskorením [16]	28
Obr. A. 19: Krivka ohrevu telesa bez doby prietahu [15]	29
Obr. A. 20: Krivka chladnutia a zobrazenie T_{CH63} a T_{CH90} [16]	29
Obr. A. 21: Chladnutie telesa pri rôznych Biotových číslach	30
Obr. A. 22: Fourier-Kirchhoffova rovnica [17]	31
Obr. A. 23: Elementárny objem	32
Obr. A. 24: Nábeh vykurovacieho telesa zobrazený pomocou termovíznej kamery [20]	33
Obr. A. 25: Porovnanie priebehu strednej povrchovej teploty pre rôzny počet meracích bodov [20]	34
Obr. A. 26: Hodnoty zotrvačnosti nábehu a chladnutia vyhodnocovaných vykurovacích telies [21]	34
Obr. A. 27: Schéma riešených detailov veľkoplošných vykurovacích plôch [22]	35
Obr. A. 28: Maximálna povrchová teplota a počet regulačných zákrokov u stenového vykurovania [22]	36
Obr. A. 29: Maximálna povrchová teplota a počet regulačných zákrokov u podlahového vykurovania [22]	36
Obr. A. 30: Približné dynamické charakteristiky vykurovacích plôch [23]	37
Obr. A. 31: Relatívne úspory tepla v porovnaní s podlahovým vykurovaním [23]	38

Obr. A. 32: Charakteristiky simulovaných vykurovacích telies [24].....	38
Obr. A. 33: Porovnanie z hľadiska prebytočnej energie spôsobujúcej prehriatie miestností [24].....	39
Obr. A. 34: Porovnanie energetických bilancií počas jedného dňa [24].....	39
Obr. B. 1: Graf odberu a dodávky tepla počas dňa.....	54
Obr. B. 2: Čerpadlo pre vetvu 1 - varianta 1 a varianta 2	59
Obr. B. 3: Čerpadlo pre vetvu 2 - všetky varianty	60
Obr. B. 4: Čerpadlo pre vetvu 3 - všetky varianty	60
Obr. B. 5: Čerpadlo pre vetvu 1 - varianta 3	61
Obr. B. 6: Čerpadlo pre kotlový okruh	61
Obr. B. 7: Návrh spalínového vedenia	64
Obr. B. 8: Výpočet ročnej spotreby tepla a ceny plynu	64
Obr. B. 9: Parametre zadané pri výpočte ročnej potreby tepla.....	65
Obr. B. 10: Porovnanie variant z hľadiska financií potrebných na obstaranie	65
Obr. C. 1: Schéma modelu v programe TRNSYS.....	69
Obr. C. 2: Pôdorys modelovanej miestnosti	70
Obr. C. 3: Prehľad zadáných údajov miestnosti	72
Obr. C. 4: Rozvrh obsadenosti osobami pre obdobie cez týždeň (vľavo) a víkend (vpravo)	72
Obr. C. 5: Relatívny prietok ventilom podľa danej rovnice	74
Obr. C. 6: Simulácia Tomton R1 počas 24 hodín.....	76
Obr. C. 7: Simulácia Radik VK počas 24 hodín	76
Obr. C. 8: Simulácia podlahového vykurovania počas 24 hodín	76
Obr. C. 9: Rozdiely v nábehu jednotlivých vykurovacích plôch	77
Obr. C. 10: Celková spotreba energie na vykurovanie.....	78
Obr. C. 11: Celková úspora energie v porovnaní s podlahovým vykurovaním	78
Obr. C. 12: Mesačná spotreba energie na vykurovanie.....	79
Obr. C. 13: Úspora energie v porovnaní s podlahovým vykurovaním	79
Obr. C. 14: Spotreba elektrickej energie nútenou konvekciou.....	80
Obr. C. 15: Pôdorys modelovanej miestnosti	82
Obr. C. 16: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok	84
Obr. C. 17: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia	85
Obr. C. 18: Priebeh maximálnych povrchových teplôt	86
Obr. C. 19: Priebeh tepelných tokov	86
Obr. C. 20: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok	87
Obr. C. 21: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia	88
Obr. C. 22: Priebeh maximálnych povrchových teplôt	89
Obr. C. 23: Priebeh tepelných tokov	89
Obr. C. 24: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok	90
Obr. C. 25: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia	91
Obr. C. 26: Priebeh maximálnych povrchových teplôt	92
Obr. C. 27: Priebeh tepelných tokov	92

Obr. C. 28: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok	93
Obr. C. 29: Teplotné pole pri maximálnom výkone chladenia	94
Obr. C. 30: Priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia	94
Obr. C. 31: Priebeh maximálnych povrchových teplôt	95
Obr. C. 32: Priebeh tepelných tokov	95
Obr. C. 33: Schéma konštrukcie a okrajových podmienok	96
Obr. C. 34: Teplotné pole a priebeh tepelných tokov pri maximálnom výkone chladenia	97
Obr. C. 35: Priebeh maximálnych povrchových teplôt	98
Obr. C. 36: Priebeh tepelných tokov	98
Obr. C. 37: Graf rýchlosti náhrevu vykurovacích systémov	99
Obr. C. 38: Presné hodnoty rýchlosti náhrevu na τ_{63} a τ_{90}	99
Obr. C. 39: Poradie rýchlosti náhrevu podľa τ_{63}	100
Obr. C. 40: Poradie rýchlosti náhrevu podľa τ_{90}	100

Tabuľky:

Tab. B. 2: Prehľad súčiniteľov prestupu tepla	42
Tab. B. 3: Súhrn tepelných výkonov	44
Tab. B. 4: Varianta 1 - návrh vykurovacích telies	47
Tab. B. 5: Varianta 2 - návrh vykurovacích telies	48
Tab. B. 6: Základné údaje - podlahové vykurovanie	50
Tab. B. 7: Plocha podlahového vykurovania	50
Tab. B. 8: Varianta 3 - prehľad vykurovacích telies	51
Tab. B. 9: Prehľad navrhnutých rozdeľovačov	52
Tab. C. 1: Prehľad modelovaných variant	68
Tab. C. 2: Prehľad použitých materiálov	71
Tab. C. 3: Prehľad použitých konštrukcií	71
Tab. C. 4: Prepočet Tomton R1 double TH	73
Tab. C. 5: Prepočet Radik VK 22/060/140	73
Tab. C. 6: Prepočet podlahového vykurovania	74
Tab. C. 7: Parametre ekvivalentného potrubia	74
Tab. C. 8: Pomer konvektívnej a sálavej zložky	75
Tab. C. 9: Podlahové vykurovanie - prehľad materiálov a okrajových podmienok	84
Tab. C. 10: Podlahové vykurovanie s roznášacím plechom - prehľad materiálov a okrajových podmienok	87
Tab. C. 11: Stenové vykurovanie - prehľad materiálov a okrajových podmienok	90
Tab. C. 12: Stenové vykurovanie zo SDK dosiek - prehľad materiálov a okrajových podmienok	93
Tab. C. 13: Aktivácia betónového jadra - prehľad materiálov a okrajových podmienok	96

ZOZNAM PRÍLOH

D.01	V1 - Pôdorys 1.NP	1:100
D.02	V1 - Pôdorys 2.NP	1:100
D.03	V1 - Pôdorys 3.NP	1:100
D.04	V1 - Schéma vykurovacích telies	
D.05	V2 - Pôdorys 1.NP	1:100
D.06	V2 - Pôdorys 2.NP	1:100
D.07	V2 - Pôdorys 3.NP	1:100
D.08	V2 - Schéma vykurovacích telies	
D.09	V3 - Pôdorys 1.NP	1:100
D.10	V3 - Pôdorys 2.NP	1:100
D.11	V3 - Pôdorys 3.NP	1:100
D.09	V2 - Schéma vykurovacích telies	
D.13	Schéma zapojenia zdroja tepla	1:100
D.14	Legenda zariadení	