České Vysoké Učení Technické v Praze
Fakulta Elektrotechnická
Katedra Řídicí Techniky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Kombinovaný vytápěcí systém

Martin Kalenský **červen 2003**

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Martin Kalenský

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Bohuslavu Kirchmannovi, CSc. za podněty, připomínky a cenné rady, které mi poskytl.

V neposlední řadě bych také poděkoval celé mojí rodině a mé přítelkyni za finanční a morální podporu po celou dobu studia na ČVUT.

Abstrakt

Tato diplomová práce je věnována návrhu kombinovaného vytápěcího systému a vytvoření počítačového simulačního modelu konkrétního objektu. Celý návrh a všechny výpočty jsou provedeny pro rodinný domek s tepelnými ztrátami 16,3 kW, který se bude nacházet v České republice v okolí Prahy. Při výběru otopného systému jsem vycházel z předpokladů ekologické čistoty a ekonomické výhodnosti, a to z důvodu stále se zhoršujícího životního prostředí a nutné úspory energie. Tyto předpoklady splňuje kombinovaný vytápěcí systém, který zahrnuje použití plynového kotle s radiátorovou otopnou soustavou a pro ohřev TUV bude využívat solárního zařízení. Simulační model je vytvořen v programu SIMULINK, který je součástí programového balíku MATLAB. Pomocí simulačního počítačového modelu se dají posoudit dynamické vlastnosti použité otopné soustavy, kvalita regulace teploty a zároveň můžeme model použít pro správné nastavení ekvitermního regulátoru teploty. Ekonomický rozbor v závěru práce obsahuje porovnání nákladů na vytápění různými druhy energie, dále obsahuje ekonomický rozbor navrženého systému a návratnost investic do solarního zařízení na ohřev TUV.

Abstract

This dissertation is dedicated to a design of multi-heating system and a creation of computerized simulation figure of the exact object. Whole design and all calculations are made for family house with 16.3 kW heat loss. The house will be situated in Czech Republic near Prague. I tried to prefer environmental claims and economic aspects (not to harm environment and to save energy) during the selection of the heating system. Multi-heating system which includes gas domestic boiler with radiator heating system fulfils all the requirements. It will also uses the solar device for water heating. The simulation model is made in SIMULINK program which is a part of package MATLAB. The dynamic features and quality of control of used heating system can be reviewed by means of computerized simulation figure. The model can be also used for right setting of the thermostat. The economic balance of designed system, return of investments into the solar device and comparison of expenses for heating of different sort of energy can be found at the end of the dissertation.

Obsah

1 Úvod **8**

2 Zdroje tepla **10**
2.1 Spalování paliv . . . 10
2.1.1 Spalování tuhých paliv . . . 10
2.1.2 Spalování kapalných paliv . . . 11
2.1.3 Spalování plynných paliv . . . 11
2.2 Elektrické vytápění . . . 12
2.3 Alternativní zdroje energie . . . 13
2.3.1 Tepelná čerpadla . . . 13
2.3.2 Sluneční energie . . . 21

3 Způsoby vytápění **28**
3.1 Rozdělení a druhy otopných soustav . . . 28
3.1.1 Teplovodní otopné soustavy . . . 28
3.1.2 Parní otopné soustavy . . . 30
3.1.3 Teplovzdušné otopné soustavy . . . 30

4 Možnosti regulace vytápěcích soustav **32**
4.1 Blokové schéma regulačního obvodu . . . 32
4.2 Způsoby regulace teploty . . . 33
4.2.1 Nespojitá regulace . . . 34
4.2.2 Spojitá regulace . . . 35
4.2.3 Vlečná regulace . . . 36

5 Sdílení tepla **38**
5.1 Sdílení tepla vedením . . . 38
5.2 Sdílení tepla prouděním . . . 39
5.3 Prostup tepla stěnou . . . 40
5.3.1 Prostup tepla při stálých teplotách prostředí . . . 40
5.4 Sdílení tepla sáláním . . . 41
5.5 Výpočet otopných těles . . . 41

6 Výpočet tepelných ztrát budov **42**
6.1 Obecný postup výpočtu tepelných ztrát . . . 42

7 Volba a návrh otopného systému **45**
7.1 Výběr způsobu vytápění 45
7.2 Návrh otopného systému 46
7.2.1 Výpočet tepelných ztrát objektu 46
7.2.2 Výpočet celkového otopného výkonu soustavy 46
7.2.3 Solární systém pro celoroční ohřev TUV 47

8 Návrh modelu otopného systému **56**
8.1 Náhradní elektrické schéma vytápěného objektu 56
8.2 Simulační počítačový model vytápěného objektu 59
8.2.1 Výpočet tepelných vodivostí 59
8.2.2 Výpočet tepelných kapacit 65
8.2.3 Simulační počítačový model 66
8.3 Výsledky získané na modelu 69

9 Ekonomický rozbor **73**
9.1 Porovnání nákladů na vytápění různými druhy energie 73
9.2 Náklady na navržený vytápěcí systém 77
9.2.1 Návratnost nákladů do solárního zařízení na ohřev TUV . . . 78
9.3 Náklady na některé další alternativní způsoby vytápění 79

10 Závěr **81**

11 Příloha **84**
11.1 Podklady pro výpočet hodnot do matematického modelu 84
11.1.1 Rodinný domek STYL TL - 42 84
11.2 Příloha: CD-ROM 94

Seznam obrázků

2.1 Získávání tepla z odpadního vzduchu. 15
2.2 Získávání tepla z povrchové vody. 16
2.3 Získávání tepla z půdy. 17
2.4 Získávání tepla z hlubinného vrtu. 18
2.5 Získávání tepla ze dvou studní. 19
2.6 Typy tepelných čerpadel. 20
2.7 Struktura solárního článku. 25
2.8 Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den] jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 Wh dle měsíců. 27

4.1 Základní blokové schéma jednoduchého regulačního obvodu 33
4.2 Statická charakteristika dvoupolohového regulátoru s hysterezí. 34
4.3 Otopná křivka ekvitermního regulátoru. 37

7.1 Schéma solárního systému na ohřev TUV. 48
7.2 Účinnost kolektorů a energie zachycená kolektory. 51
7.3 Tepelná bilance zařízení. 52
7.4 Tepelná bilance při celoročním ohřevu TUV. 53
7.5 Solární komplet pro ohřev TUV. 54

8.1 Náhradní elektrické schéma vytápěného objektu. 57
8.2 Simulační model objektu. 67
8.3 Průběhy teplot otopného systému při venkovní teplotě T_5 = -12°C. . 69
8.4 Průběhy teplot otopného systému při venkovní teplotě T_5 = 0°C. . . 70
8.5 Porovnání prostorové teploty interiéru pro různé venkovní teploty . . 71

9.1 Výpočet ceny tepla v palivu. 74
9.2 Výpočet nákladů na vytápění. 75
9.3 Porovnání celkových nákladů na vytápění. 76
9.4 Návratnost nákladů do solárního zařízení na ohřev TUV. 79
9.5 Orientační investiční náklady na tepelné čerpadlo. 80

11.1 Suterén rodinného domku. 85
11.2 Přízemí rodinného domku. 86
11.3 Podkroví rodinného domku. 86
11.4 Podélný a příčný řez rodinného domku. 87
11.5 Přední a zadní průčelí rodinného domku. 88
11.6 Pravé a levé boční průčelí rodinného domku. 89

11.7 Suterén rodinného domku pro výpočet tepelných ztrát. 90
11.8 Půdorys přízemí rodinného domku pro výpočet tepelných ztrát. . . . 91
11.9 Půdorys patra rodinného domku pro výpočet tepelných ztrát. 92
11.10 Celkové sestavení tepelných ztrát podle místností. 93
11.11 Podíl jednotlivých tepelných ztrát rodinného domku. 94

Kapitola 1

Úvod

Žijeme v období, kdy světové společenství řeší globální problémy, jako jsou zhoršování životního prostředí, zabezpečení dostatečného množství pitné vody, potravin, energie a surovin. Celosvětové zásoby energie (uhlí, ropy a plynu) se silně zmenšují. Hledání vhodných řešení, přijatelných pro životní prostředí, je závažným úkolem pro nás i další generace. Dosažení přijatelné spotřeby energie patří mezi hlavní dnešní priority.

Tato práce se v kapitole 2 zabývá různými zdroji energie. Cílem tohoto přehledu je ukázat, které zdroje energie jsou v dnešní době ekologické a ekonomicky výhodné. Jsou zde popsány klasické způsoby vytápění jako je spalování paliv (pevných, kapalných a plynných), vytápění elektřinou (přímotopné, akumulační a smíšené). V průběhu posledních desetiletí se začalo pro vytápění používat alternativních zdrojů energie, které se staly předmětem výzkumu a vývoje mnoha světových laboratoří. Mezi alternativní zdroje energie můžeme zařadit tepelná čerpadla, spalování biomasy, využívá se energie slunce, vody a větru. Nejvíce prostoru jsem věnoval solárním systémům pro vytápění a tepelným čerpadlům, protože mají ze všech alternativních způsobů vytápění v našich zeměpisných podmínkách největší uplatnění. Čtenář se dozví princip funkce solárních zařízení pro ohřev vody i pro výrobu elektrické energie a v neposlední řadě také princip funkce tepelných čerpadel.

Kapitola 3 se zabývá rozdělením a druhy jednotlivých otopných soustav. Jsou zde vysvětleny pojmy jako lokální a ústřední vytápění. Ústřední otopné soustavy jsou dále rozděleny podle teplonosné látky na teplovodní, parní a teplovzdušné, jsou zde uvedeny jejich výhody a nevýhody.

V kapitole 4 se zabývám různými možnostmi regulace vytápěcích soustav. K vysvětlení základních pojmů pro jednotlivé druhy regulace je zde uvedeno jednoduché blokové schéma regulačního obvodu. Jsou zde popsány přímé a nepřímé regulátory. Regulace je zde rozdělena na spojitou (regulátory typu P, PI a PID), nespojitou (je zde popsán princip hodně používaného dvoupolohového regulátoru), dále pak regulace na konstantní hodnotu, programová regulace a vlečná regulace (vysvětlen princip ekvitermního regulátoru).

Kapitola 5 pojednává o termomechanických základech, které je potřeba znát pro návrh otopného systému. Je zde popsáno sdílení tepla vedením, prouděním a tepelným sáláním. V této kapitole se také zabývám prostupem tepla rovinnou stěnou a závěr kapitoly je stručně věnován návrhu otopných těles.

V kapitole 6 je popsán obecný postup výpočtu tepelných ztrát budov. V závěru této kapitoly jsou vysvětleny pojmy tepelná ztráta větráním, tepelná ztráta infiltrací a tepelná ztráta při nuceném podtlakovém větrání.

Kapitola 7 se zabývá volbou kombinovaného otopného systému a konkrétním návrhem jednotlivých jeho součástí pro konkrétní objekt (popis objektu spolu se stavebními plánky a s tabulkou tepelných ztrát je uveden v kapitole 11). Mnou vybraný otopný systém zahrnuje použití plynového kotle spolu s radiátorovou otopnou soustavou a dále zahrnuje použití solárního systému pro celoroční ohřev TUV, je použita ekvitermní regulace teploty. Návrh otopného systému zde zahrnuje výpočet tepelných ztrát objektu, výpočet celkového otopného výkonu soustavy (volbu plynového kotle) a kompletní návrh solárního systému pro celoroční ohřev TUV (pricip, výpočet plochy kolektorů, sestavení tepelné bilance a volbu jednotlivých komponent solárního systému).

V kapitole 8 jsem vytvořil model otopného systému. Z náhradního elektrického schématu vytápěného objektu jsem metodou uzlových napětí sestavil soustavu diferenciálních rovnic, tzv. matematický model vytápěného objektu, ze kterého jsem poté udělal v programu SIMULINK, který je součástí programového balíku Matlab, simulační blokové schéma vytápěného objektu. Dále je v této kapitole provedena série velice pracných výpočtů jednotlivých proměnných (tepelných vodivostí a tepelných kapacit) pro mnou zvolený objekt (viz. kapitola 11). V závěru této kapitoly jsou uvedeny výsledky získané na modelu vytápěného objektu.

Na závěr je v kapitole 9 provedeno porovnání nákladů na vytápění různými druhy energie. Dále je v této kapitole proveden celkový ekonomický rozbor mnou navrženého otopného systému. Je zde spočítána návratnost investic, do některých moderních způsobů vytápění, pomocí alternativních zdrojů energie.

Kapitola 2

Zdroje tepla

Materiály použité v této kapitole jsou čerpány z [1] a [2].

Zdroje tepla můžeme rozdělit na klasické a alternativní. Mezi klasické zdroje tepla patří hlavně spalování paliv. Spalovat můžeme tuhá paliva (černé uhlí, hnědé uhlí, brikety, koks, dřevo, atd.), kapalná paliva (lehký topný olej, nafta) a plynná paliva (zemní plyn, bioplyn, LPG). Dalším zdrojem je elektrická energie (akumulační nebo přímotopné vytápění), výhodou je vysoká ekologická čistota a snadná regulovatelnost. V současnosti se začínají čím dál více prosazovat i alternativní zdroje energie (tepelná čerpadla, spalování biomasy, využívá se energie vody, větru a slunce). Alternativní zdroje energie se vyznačují vysokou ekologickou čistotou, levným provozem a jediné, co brání většímu rozšíření, je vysoká počáteční investice do zařízení.

2.1 Spalování paliv

Spalování paliv je chemická reakce, při které slučováním hořlavých složek paliva s kyslíkem dojde k vytvoření reakčního tepla. Při spalování v kotlích spalujeme palivo přiváděním vzduchu. Vzduchem se označuje směs 21% kyslíku a 79% dusíku (včetně vodní páry a vzácných plynů). U spalování předpokládáme, že vzduch má teplotu 25 °C a přetlak 101 325 Pa.

2.1.1 Spalování tuhých paliv

Spalování dřeva

Kotle pro spalování dřeva jsou většinou navrhovány pro spalování dřevní hmoty různé kvality. Kromě dřevních odpadů při zpracování dřeva to může být kůra, piliny, hobliny, kůrový odpad, polena a upravený dřevní odpad do briket. Obsah vody ve dřevní hmotě je v širokém rozmezí od 10 do 60%. Čím větší je vlhkost dřeva tím menší je jeho výhřevnost.

Při volbě koncepce kotlů je třeba brát v úvahu to, že dřevní odpad má vysoký podíl prchavé hořlaviny. Obsah popela je minimální a může dosahovat 1,5%. Dřevo téměř neobsahuje síru a z tohoto hlediska lze považovat spalování dřevní hmoty za ekologické.

Spalování uhlí

Při spalování uhlí se použije kotel s pevným nebo pohyblivým roštem. Spalování uhlí s velkým obsahem prchavé hořlaviny nejčastěji probíhá spodním odhořívánim. Na roštu se spaluje malá vrstva paliva, aby došlo k dobrému vyhoření paliva a zároveň, při malém obsahu spalovaného paliva, je výkon kotle snáze regulovatelný. Přívod spalovacího vzduchu je nejčastěji přirozený a podobně jako u spalování dřeva se pod rošt přivádí vzduch primární a do zóny spalování vzduch sekundární. Zásobníky paliva se proti dřívějším kotlům zvětšily a obsah vody v kotli se snížil. Celkově převládá tendence zajistit poloautomatický provoz kotlů s proměnlivým výkonem. Při spalování uhlí a koksu zůstává větší obsah popelovin než při spalování dřeva. Je nutné zajistit čištění výměníku, prostoru pod výměníkem a vybírání popelníku.

2.1.2 Spalování kapalných paliv

V současném období, vzhledem k vysokým cenám nafty, se toto vytápění navrhuje zcela vyjímečně.

2.1.3 Spalování plynných paliv

Podíl plynných paliv na vytápěni rodinných domků v posledních letech stále více vzrůstá. Vzhledem k tomu že se jedná o ekologicky nejkvalitnější palivo a provoz zdroje je plně automatizovaný a regulovatelný, bude se i v budoucnu stále více používat plynových topných zdrojů.

Zemní plyn

Zemní plyn je dodáván do téměř všech sítí venkovních plynovodů pod nízkým tlakem do 5 kPa nebo středním tlakem do 0.3 Mpa. Je-li v místě odběru dostatečně dimenzovaná plynovodní síť je možné, se souhlasem plynárenského podniku, připojit se nízkotlakou nebo středotlakou přípojkou. Přípojka končí hlavním uzávěrem, který se nejčastěji umísťuje spolu s plynoměrem nebo také s regulátorem tlaku do skříně v přilehlé obvodové stěně, do skříně v instalačním přístavku nebo v oplocení domku. Vnitřní rozvod plynu je z ocelových trubek a je ukončen před kotlovým uzávěrem.

Bioplyn

Bioplyn lze pro spalování v kotlích navrhnout v případech, že je v blízkosti zdroj, jako např. skládka, ustájený dobytek apod. Pro přepravu v ocelovém potrubí je nevhodný vzhledem k možnosti zvýšené koroze potrubí. Důležitou podmínkou pro použití bioplynu je také plocha na likvidaci čpavku.

Zkapalněný topný plyn (LPG)

Zkapalněný topný plyn se používá všude tam, kde není místní plynovodní síť se zemním plynem. Pro vytápění rodinných domků a pro přípravu TUV se používají

zásobní nádrže se zkapalněným propanem. Provoz takovéhoto zařízení patří mezi nejdražší vůbec.

2.2 Elektrické vytápění

Elektrická energie má pro vytápění místností velké provozní a instalační možnosti. Přívod elektrické energie do objektů, a její rozvod do jednotlivých místností, je ve srovnání s jinými druhy energie relativně jednoduchý a výhodný. Vynikající vlastností je výborná regulovatelnost a účinnost až 99 %. Provoz je naprosto čistý a automatický. Nevýhodou je malá účinnost výroby elektrické energie v uhelných elektrárnách. Elektrické vytápění můžeme rozdělit na přímotopné, akumulační a smíšené (kombinace obou). Dále je možné použít v kombinaci s elektrickým vytápěním i netradiční způsoby vytápění (např. tepelná čerpadla, solární vytápění, atd.).

Přímotopné vytápění

Přímotopné soustavy využívají odporové teplo, vznikající průchodem elektrického proudu topným tělesem. Odběr elektřiny a uvolňování tepla probíhá tedy současně. Pro provoz těchto soustav jsou navrženy sazby, u kterých je možný odběr elektřiny v levném tarifu po 20 hodin denně. Jako topidla pro tento způsob vytápění jsou využívány konvektory, sálavé systémy (panely, stropy, stěny), topné folie, infrazářiče, elektrické kotle, topné kabely, teplovzdušné systémy apod.

Akumulační vytápění

Akumulační způsob vytápění střádá v době platnosti nízkého tarifu (obvykle v noci) teplo v akumulačním médiu (voda, magnesium, beton, ...) odkud je ve dne k dispozici pro vytápěni místností. Nabíjecí doba (doba odběru elektrické energie a její přeměny v teplo) je obvykle až 16 hodin za den. Jako topidla jsou nejvíce používána akumulační kamna (statická či dynamická), akumulační bloky, akumulační teplovodní kotle a topné kabely pro podlahové vytápěni.

Smíšené vytápění

Smíšené soustavy jsou kombinací akumulačních a přímotopných systémů. Pro tyto systémy jsou vyvinuta speciální topidla (hybridní elektrická kamna či kotle), nebo se používá kombinace akumulačních a přímotopných topidel či systémů (např. topné kabely a konvektory).

Elektrické ústřední přímotopné vytápění

Za ústřední vytápění budeme uvažovat nepřetržité (každodenní) vytápění současně většího počtu místností v budově. Ústřední přímotopné vytápění se realizuje jako normální teplovodní soustava s elektrickým kotlem pro ohřev vody v otopném systému. Na trhu se vyskytuje celá škála elektrických odporových kotlů od nejmenších výkonů (např. 6 kW) až po výkony řádově tisíců kW. Celá vytápěcí

soustava se dimenzuje podobně jako běžné teplovodní vytápěni. V případech, kdy se jedná o velkou stavbu s velkou tepelnou kapacitou a velkým objemem otopné vody, je možno zařízení dimenzovat na poněkud menší tepelný výkon, než je určeno normou. Předpokládáme přitom, že akumulační schopnost stavby umožní překlenout krátkodobé špičky ve spotřebě tepla. Řádově je tak možno počítat s tepelným výkonem o 10 až 20 % nižším. Výhodou je potom snížení nákladů na pořízení otopné soustavy a lepší využití instalovaného tepelného výkonu.

2.3 Alternativní zdroje energie

Z důvodu zmenšujících se zásob klasických zdrojů energie (ropa, zemní plyn, černé uhlí, atd.) se v dnešní době začínají čím dál více uplatňovat i zdroje alternativní. Jedná se o zdroje vysoce ekologické a obnovitelné. Způsobů jak získat energii ekologicky je několik:

- tepelná čerpadla,
- sluneční energie,
- vodní energie,
- síla větru.

Problém alternativních zdrojů je, že některé tyto způsoby nelze požívat tam, kde bychom je potřebovali. Pro většinu míst v české republice připadá v úvahu pouze využití sluneční energie a nebo tepelných čerpadel. Dále se budu podrobněji věnovat problematice tepelných čerpadel a využití sluneční energie, protože mají v našich podmínkách největší uplatnění.

2.3.1 Tepelná čerpadla

Princip tepelného čerpadla byl popsán již v minulém století anglickým fyzikem lordem Kelvinem. Jde o chladicí zařízení, které je primárně určeno k produkci tepla. Tepelné čerpadlo dokáže zužitkovat teplo okolního prostředí nebo teplo odpadní. Na rozdíl od jiných zdrojů potřebuje ke svému provozu poměrně velké množství ušlechtilého paliva, nejčastěji elektřiny. Dá se tedy pokládat za zvláštní druh elektrického vytápění.

Princip zařízení

Podobně jako vodní čerpadlo, přečerpává vodu z nižší hladiny na vyšší, tepelné čerpadlo dělá totéž s teplem. Princip je stejný jako u obyčejné domácí chladničky. Výměníkem tepla na své zadní straně chladnička hřeje, vytápí naši kuchyni. Zbavuje se tak tepla, které převedla z nižší hladiny (+ 5 až +10°C uvnitř chladničky) na hladinu vyšší (asi + 30°C na povrchu tepelného výměníku). Tepelné čerpadlo není nic jiného, než veliká chladnička, která místo potravin ochlazuje jiný zdroj tepla. Tím může být například: vzduch v okolí domu, na půdě nebo ve sklepě, podzemní

voda (v hlubinných vrtech), povrchová voda (v řece, rybníku), pramen geotermální vody, půda na zahradě nebo v okolí domu.

Je také možné kombinovat tepelné čerpadlo s obrovským zásobníkem tepla, do něhož se během léta akumuluje sluneční energie.

Teoreticky je možné tepelné čerpadlo pohánět i plynem, benzínem atd. V praxi se však převážně používá k pohonu elektřina.

Běžná tepelná čerpadla dodají třikrát až čtyřikrát více tepla, než spotřebují elektřiny. Čím menší rozdíl hladin teplot musí tepelné čerpadlo překonávat, tím méně energie spotřebuje. Proto je výhodné tepelné čerpadlo používat v kombinaci s podlahovým vytápěním nebo jiným nízkoteplotním vytápěcím systémem. Klasické, u nás běžné otopné soustavy s radiátory ohřívají vodu v topení až na 90 °C. Naproti tomu v podlahovém vytápění je maximální teplota vody 40 až 50 °C. Rozdíl je tedy podstatný. Rovněž tak tepelná hladina zdroje tepla je významná pro celkovou spotřebu energie. Tepelné čerpadlo ochlazující venkovní vzduch bývá schopno poradit si i s teplotami -10 až -20 °C, avšak jeho efektivita je při těchto teplotách nižší. Jiné systémy, využívající hluboké podzemní vrty, ochlazují vodu v nich až na 0 °C. Máme-li však k dispozici například odpadní teplo (vzduch z klimatizace, odpadní voda z výrobních procesů), bude naše tepelné čerpadlo energeticky velmi výhodné.

Použitelnost a využitelnost zařízení

Tepelné čerpadlo slouží výhradně jako zdroj tepla, což určuje i způsob jeho použití. Pomineme-li některé speciální případy, používá se pro vytápění a pro ohřev teplé užitkové vody.

Protože jde o technicky náročné zařízení, nelze uvažovat o amatérské výrobě. Trh poskytuje širokou nabídku zařízení pro vytápění rodinných domků i pro průmyslové aplikace. Strojní část tvoří obvykle typové soustrojí. Druh a velikost výměníků tepla se vždy přizpůsobuje individuálním podmínkám investora. Některými tepelnými čerpadly lze přímo nahradit kotel ústředního vytápění. Pokud jde o novostavbu, musí být projekt vytápění navržen na provoz v nižším teplotním spádu (40/55 °C). V případě rekonstrukce je nutno stávající vytápěcí soustavu upravit, nebo navrhnout nový režim provozu (např. špičkový zdroj). U teplovzdušných tepelných čerpadel, která vhánějí do místnosti teplý vzduch, se často využívá možnost reverzního chodu. To, že jde v podstatě o chladicí zařízení, je výhodně využito v létě, kdy tepelné čerpadlo ochlazuje vzduch v obytných místnostech, zatímco v zimě topí. Tyto systémy se rozšiřují zejména v kancelářských prostorách.

V zemědělství jsou rozšířená tepelná čerpadla, která odpadním teplem z chlazení mléka ohřívají teplou užitkovou vodu. Obdobné aplikace, založené na kombinaci chlazení a ohřevu užitkové vody se používají i v průmyslových odvětvích. Pro větší objekty (hotel, farma, továrna) vyžadující větší výkon lze zakoupit vhodné soustrojí podle individuálních podmínek, mnohdy lze také výhodně upravit starší soustrojí.

Možnosti získávání tepla

Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy. Protože však teplota vzduchu je nejnižší právě v době, kdy je spotřeba tepla maximální, musí

tepelné čerpadlo překonávat velký rozdíl teplotních hladin a zároveň dodávat velké množství tepla. Jeho topný faktor klesá, a tím i stoupá spotřeba energie pro pohon. Pokud by takové čerpadlo bylo jediným zdrojem tepla, bylo by velmi nákladné. Proto se používá v kombinaci s jiným zdrojem tepla (elektřina, plyn, uhlí), tedy v bivalentním provozu. To znamená, že tepelné čerpadlo dodává jen část potřebného tepla a zbytek se získává ze špičkového zdroje. Je také možné odebírat vzduch ze sklepa nebo z půdních prostorů, kde je poněkud tepleji než venku.

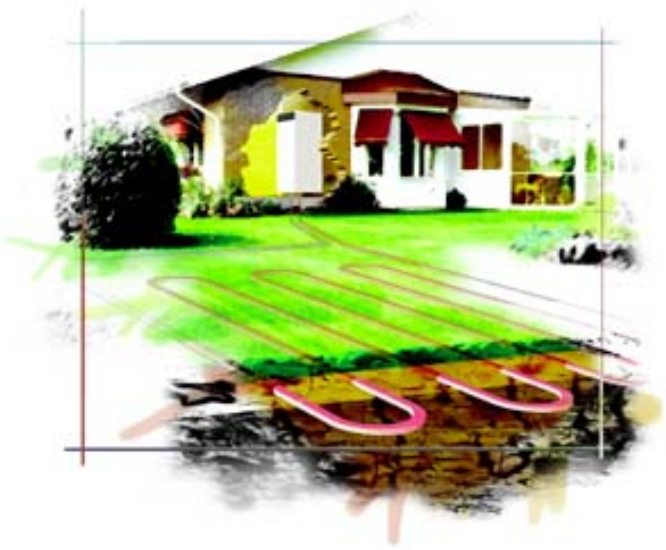
Z odpadního vzduchu (obrázek 2.1) Zde se ochlazuje vzduch odváděný větracím systémem objektu. Výhodné je, že tento vzduch má vždy relativně vysokou teplotu a tepelné čerpadlo může pracovat efektivně. V současné době se však místo tepelného čerpadla používají systémy zpětného získávání tepla. Pracují na jiném principu a jsou investičně a obvykle i provozně lacinější.

Obrázek 2.1: Získávání tepla z odpadního vzduchu.

Z povrchových vod (obrázek 2.2) Voda v toku nebo rybníku se může ochlazovat tepelným výměníkem umístěným buď přímo ve vodě, nebo zapuštěným do břehu, vždy tak, aby nehrozilo zamrznutí. Je také možné vodu přivádět potrubím přímo k tepelnému čerpadlu a ochlazenou vypouštět zpět. V tom případě se však platí poplatky správci toku za odběr vody. Zde ovšem hraje roli znečištění použité vody, jež může způsobovat zanášení výměníků a potrubí. Při větší vzdálenosti objektu od potenciálního zdroje je často stavba potrubí neúnosně drahá.

Obrázek 2.2: Získávání tepla z povrchové vody.

Z půdy (obrázek 2.3) Půda se ochlazuje tepelným výměníkem nejčastěji z plastových trubek, nebo trubek měděných obalených plastem. Výměník se umisťuje vedle objektu 1,2 až 1,6 m pod povrchem země; v nezámrzné hloubce. I zde se někdy používá akumulace letního slunečního tepla. Celé zařízení je pak poněkud dražší. Trubky půdního kolektoru se mohou ukládat na souvisle odkrytou plochu, nejméně 0,6 m od sebe. Velikost takovéto plochy je asi trojnásobkem plochy vytápěné. Je také možné ukládat trubku zemního kolektoru do rýhy ve tvaru uzavřené smyčky. Na 1 kW výkonu tepelného čerpadla je pak potřeba 5 až 8 metrů délky výkopu.



Obrázek 2.3: Získávání tepla z půdy.

Z hlubinných vrtů (obrázek 2.4) Tento systém je v současnosti velmi rozšířen. Využívá vrtů hlubokých až 150 m, zaplavených vodou, která se ochlazuje ponořeným výměníkem z plastových trubek. Vrty se umist

Obrázek 2.4: Získávání tepla z hlubinného vrtu.

Ze dvou studní (obrázek 2.5) Jiný způsob využívání tepla pracuje se dvěma hlubokými studněmi. Z jedné se odebírá voda, která se ochladí a vypustí do druhé, takzvané vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží. Teplota v zemi, v hloubkách větších než 10 metrů, je stálá během celého roku, čím blíže povrchu, tím více kolísá podle ročního období. Proto tepelné čerpadlo v posledních dvou zmiňovaných systémech pracuje velmi vyrovnaně a účinně.

Obrázek 2.5: Získávání tepla ze dvou studní.

Z geotermální energie Využívání pramenů teplé podzemní vody je velice výhodné. Voda v nich má obvykle stálou teplotu, zpravidla není znečištěná a mnohdy dokonce vyvěrá na povrch samovolně. Geotermální prameny mají i relativně velký tepelný výkon (MW), avšak jejich hromadnému využití brání jen sporadický výskyt těchto pramenů. V ČR se dají nalézt zejména na Karlovarsku a v oblasti Podkrušnohoří.

Z odpadního tepla z technologického procesu Tento případ je specifický, vhodný zejména pro výrobní podniky a průmyslové provozy. Zejména v chladírenských provozech se výhodně používá odpadní teplo na ohřev teplé užitkové vody. Často se zde však namísto tepelného čerpadla používají levnější systémy zpětného získávání tepla.

Přehled systémů

Tepelná čerpadla lze rozdělit podle použitého oběhu:

- kompresorová (nejběžnější druh),
- absorpční (zřídka se vyskytující),
- hybridní (obvykle zakázková výroba).

Typ tepelného čerpadla se určuje podle druhu ochlazovaného a ohřívaného média. Nejobvyklejší kombinace jsou v tabulce na obrázku 2.6:

Obrázek 2.6: Typy tepelných čerpadel.

Bivalentní provoz

Protože spotřeba tepla se během roku mění, není tepelné čerpadlo plně využito. Protože by bylo neekonomické pokrývat tepelným čerpadlem veškeré tepelné ztráty objektu, doplňuje se tepelné čerpadlo dalším špičkovým zdrojem tepla (elektrokotel, kotel na dřevo). Tento zdroj slouží i jako záloha pro případ výpadku TČ. V praxi tedy TČ funguje v tzv. bivalentním provozu, kdy po určitou dobu pracuje kromě tepelného čerpadla i jiný zdroj tepla. Instalovaný tepelný výkon čerpadla je v tomto provozu nižší než je maximální potřebný, například 60%.

Před instalací tepelného čerpadla je obvykle výhodné provést zateplení objektu.

Pro ohřev vody nebo pro vytápění rodinných domků jsou na našem trhu dostupná kompaktní tepelná čerpadla obvykle dovážená, nebo i české výroby. Jsou nenáročná na kvalitu zdroje tepla, mají velmi široký rozsah použití a jejich obsluha je komfortní. Bývá zaručen i velmi kvalitní servis. Tepelná čerpadla vyšších výkonů, zejména pro využití technologického odpadního tepla, lze zakoupit i u našich výrobců. Obecně platí, že zvyšuje-li se výkon zařízení, klesají náklady na jednotku instalovaného výkonu.

Topný faktor

Nejdůležitějším parametrem tepelného čerpadla je topný faktor T. Vyjadřuje, kolik tepla získáme na jednotku příkonu. Příkonem se zde obvykle rozumí elektrický příkon hnacího motoru.

ϵT = tepelný výkon/elektrický příkon.

Čím je tento faktor vyšší, tím je zařízení efektivnější. U běžných zařízení T = 2,8 až 4,0. To znamená, že například tepelné čerpadlo s topným faktorem 3,0 spotřebuje 1 kWh elektřiny a dodá 3 kWh tepla. Ve srovnání s elektrickým přímotopným vytápěním je tedy třikrát efektivnější.

Topný faktor během roku kolísá. Pro hodnocení provozu se proto používá tzv. provozní topný faktor, což je poměr celoroční spotřeby energie a celoroční produkce tepla.

Ekologie provozu

Tepelná čerpadla jsou nejčastěji plněna tzv. měkkými freony (HCFC, FCKW), nejčastěji typem R22, který poškozuje ozónovou vrstvu dvacetkrát méně, než dříve používané tvrdé freony (CFC, CKW) R11, R12. Při likvidaci nebo opravě zařízení je nutno freonovou náplň odsát, aby neunikla do atmosféry. Na trhu jsou i bezfreonová zařízení plněná propanem. U průmyslových aplikací se běžně používá čpavek, který je však jedovatý, a je proto třeba dbát bezpečnostních opatření pro případ havárie. Ztráty při výrobě a přenosu elektřiny činí 70%. Teplo pro vytápění budov, vyrobené z elektrické energie, je tedy zatíženo 70% ztrátou, zatímco průměrné ztráty při jiných způsobech získávání tepla činí 30%. Z hlediska spotřeby primárních zdrojů je tedy žádoucí, aby tepelné čerpadlo mělo provozní topný faktor alespoň 3,5.

2.3.2 Sluneční energie

2.3.2.1 Ohřev vody a vzduchu

Na území České republiky lze energii slunečního záření velmi dobře využít. Celková doba slunečního svitu (bez oblačnosti) je od 1400 do 1700 hod/rok. Energie dopadající kolmo na $1m^2$ plochy je 800 až 1000 Wh. Z těchto čísel je vidět, že při dobré účinnosti solárního systému lze získat z poměrně malé plochy (podstatně menší než je střecha rodinného domku) poměrně velký výkon.

Je několik možností, jak přeměnit energii slunečního záření na jinou pro nás použitelnou formu:

- aktivní přeměna solárního záření na teplo pomocí vzduchových nebo kapalinových kolektorů,
- aktivní přeměna solárního záření na elektrickou energii fotovoltaickými články,
- pasivní přeměna solárního záření na teplo vhodným architektonickým návrhem budovy (podobně jako funguje skleník).

Nejlepších výsledků se obvykle dosáhne kombinací jednotlivých systémů. Důvodem jsou různé výhody a nevýhody každého z nich včetně ekonomie. Příkladem jsou fotovoltaické články, které se pro jejich vysokou cenu a poměrně nízkou účinnost vyplatí používat spíše pro speciální účely (napájení radiomajáků, nabíječky akumulátorů), než pro topení v rodinném domku.

Kriteria použitelnosti a využitelnosti solárních zařízení v České republice

V našich podmínkách lze využívat solární energii aktivními a pasivními systémy. Pasivní systémy lze dobře využít zejména u nově budovaných staveb, kdy se jim musí přizpůsobit celé architektonické řešení, ale i u staveb staršího data vybudováním skleněných přístavků (příkladem mohou být skleněné verandy).

Solární systémy se u nás budují většinou dodatečně k již existujícím objektům. Proto mají největší význam aktivní systémy, jež získávají tepelnou energii pomocí kapalinových kolektorů. Ty lze téměř vždy dodatečně instalovat a využívat zejména

pro ohřev užitkové vody a přitápění. Často se jimi přihřívá voda v bazénu. Technická omezení pro nainstalování menších solárních systémů, například pro rodinné domky, jsou malá a záleží jen na finančních možnostech (platí pro případ odborné instalace specializovanou firmou). U systému dodávaného na klíč pak mohou být pořizovací náklady stejné nebo dokonce nižší, než při instalaci svépomocí. Firma totiž nakupuje veškeré díly s 5% DPH, kdežto soukromá osoba platí (kromě kolektorů) 22% DPH. Investovat do těchto zařízení se rozhodně vyplatí - zejména z dlouhodobého pohledu. Ceny energií se neustále zvyšují a očekává se jejich přechod na evropský standart. Další výhodou je určitá nezávislost na dodávkách tepelné energie a omezení ničení životního prostředí. Solární energií lze výhodně přitápět a v některých případech i vytápět. V České republice působí firmy jež solární systém napojí na ústřední vytápění. Solární zařízení je však vždy nutné zapojit paralelně s jiným tepelným zdrojem (plynový kotel, elektrokotel) pro případy, kdy Slunce nesvítí, nebo svítí málo (oblačnost, noc).

Vhodnost lokality a kriteria výběru

Plocha pro umístění solárních kolektorů by měla splňovat tato kriteria:

- **orientace na jih** - správná orientace je velmi důležitá, nejvyšší výkon je při nasměrování s odchylkou mírně na západ (asi o 8 až 15 stupňů), kdy lze lépe využít i energii zapadajícího Slunce. Některé systémy mají kolektory se natáčecím zařízením, ale moderní ploché kolektory mají dobrý výkon i bez natáčení,
- **celodenní osvit sluncem** - krátkodobé zastínění kolektorů je přípustné spíše dopoledne, protože maximum výkonu je kolem 14 h,
- **možnost umístění kolektorů s požadovaným sklonem** - optimální sklon pro celoroční provoz je kolem 32 stupňů , pro zimní a přechodné období 45 stupňů,
- **co nejkratší rozvody s kvalitní tepelnou izolací** - snižují se tepelné ztráty. Lokalita by měla dále splňovat ještě další kritéria, která již nejsou tak závažná. Kolektory by měly být chráněny před větrem, aby se nadměrně neochlazovaly (zbytečné tepelné ztráty) a aby nebyla nadměrně namáhána konstrukce. Rovněž musí být přístupné pro pravidelnou údržbu a kontrolu.

Sestava klasického systému pro solární ohřev TUV

Požadavky: celoroční provoz, nucený oběh, dvou okruhový

Kapalinové solární kolektory přeměňují sluneční záření zachycené absorbérem kolektoru na tepelnou energii. Ta se koncentruje v teplonosné kapalině, jež ji odvádí do místa spotřeby například solárního zásobníku. Solární kolektory můžeme dělit na:

- **ploché solární kolektory** - mají čelní plochu stejně velkou jako absorpční. Používají se většinou pro nízkoteplotní systémy (do 100°C). Jsou nejrozšířenější především díky svým dobrým parametrům, nízké ceně a snadnosti použití. Účinnost mají obvykle kolem 70%. Dnes jsou na trhu kolektory se selektivní absorpční vrstvou, která podstatně zlepšuje pohltivost slunečního záření. Jejich provozní teplota může překročit i 100°C, (zvlášť u vakuových plochých kolektorů se selektivní absorbční vrstvou),

- **Koncentrační solární kolektory** - čelní nebo odrazová plocha koncentruje záření na menší absorpční plochu. Toho se obvykle využívá u vakuových kolektorů. Absorbérem je pak potrubí umístěné ve vakuové trubici. Záření se soustřeďuje na tuto trubku a okolní vakuum značně omezí únik tepla konvekcí. Dosáhne se tak vyšších teplot. Tyto kolektory mají většinou účinnost až 90% a dosahují vyšší teplotní hladiny. Jsou mnohem dražší než ploché kapalinové kolektory.

Solární zásobník pro ohřev užitkové vody. V solárním zásobníku můžeme teplou vodu ohřívat solární energií a někdy také elektricky nebo tepelnou energií z ústředního vytápění. Potom musí být vybaven dvěma výměníky tepla - jeden je napojen na okruh ústředního vytápění, druhý na solární okruh. Pro klasický ohřev elektřinou má běžné elektrické topné těleso. Plocha solárního výměníku musí být dostatečně velká pro co nejlepší přestup tepla z teplonosné kapaliny do vody v zásobníku. Ten má mít takový objem, aby i v parném létě stačil akumulovat zachycenou energii a nedošlo k poškození systému.

Výměník tepla se u solárního okruhu umísťuje v zásobníku co nejníže. Nad ním je výměník okruhu ústředního vytápění a nejvýše se umístí elektrické topné těleso. Plochy výměníků je třeba navrhnout s ohledem na materiál, z něhož jsou vyrobeny, na teplotu kapaliny v solárním okruhu a dále na průtok a objem zásobníku.

Elektrické topné těleso slouží pro ohřev užitkové vody, když nesvítí Slunce a netopíme. Jeho výkon musí odpovídat objemu vody v zásobníku.

Čerpadlo, potrubí a armatury. Potrubí je nutno navrhnout tak, aby odpovídalo požadovaným průtokům a teplotám teplonosné kapaliny v solárním okruhu. Průřezy potrubí se musí volit s ohledem na požadované průtoky a hydraulické ztráty. Vše je nutno dobře zaizolovat, aby tepelné ztráty byly minimální. V nejvyšším bodě okruhu musí být samo odvzdušňovací ventil. Správnou cirkulaci teplonosné kapaliny zajišťuje oběhové čerpadlo. Další armatury slouží k plnění teplonosnou kapalinou a zabezpečují správnou funkci včetně kontroly (manometr, teploměr, zpětný ventil).

Zabezpečovací zařízení. K vyrovnání tlaku vlivem značného kolísání teploty je nutné do okruhu připojit expanzní nádobu, jejíž konstrukce a umístění musí odpovídat předpokládané maximální teplotě, objemu a tepelné roztažnosti teplonosné

kapaliny. Pro případy extrémního zvýšení tlaku a následného poškození systému musíme instalovat pojistný ventil.

Regulační zařízení zabezpečuje optimální výkon systému, chrání ho před poškozením a umožňuje potřebnou regulaci tepla mezi spotřebiči.

Teplonosná kapalina. Pro sezónní ohřev užitkové vody se jako teplonosná kapalina používá voda. Pro celoroční provoz musíme použít nemrznoucí směs, která má mít podobné fyzikální vlastnosti jako voda (kromě bodu tuhnutí). Tomu vyhovují kapaliny na bázi glykolů, například Solaren.

2.3.2.2 Výroba elektřiny

Díky fotoelektrickému jevu v polovodičích můžeme energii slunečního záření přeměnit v solárních článcích na elektrickou energii.

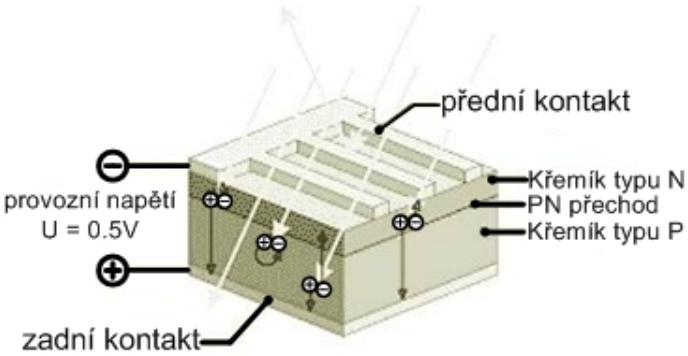
Ročně dopadne na území ČR během cca 1500 hodin slunečního svitu 80 000 TWh energie v podobě slunečního světla. Roční spotřeba energií v ČR činí přibližně 320 TWh (elektrická energie 50 TWh; tepelná energie 270 TWh), což představuje 0,4 % z množství energie slunečního záření dopadajícího na naše území. Na jeden čtvereční metr plochy ČR tak dopadne během roku přibližně 1000 kWh energie. Je to energie, která je přítomná kdekoliv na povrchu a je zdarma. Nevýhodou je závislost na denní době, ročním období a na oblačnosti v dané lokalitě. Přesto jde o energetický potenciál, který nelze přehlédnout.

Fotovoltaické články

Základním prvkem zařízení pro přeměnu slunečního záření na elektrickou energii je solární článek. Solární článek je polovodičový velkoplošný prvek alespoň s jedním PN přechodem. V ozářeném solárním článku jsou vybuzeny elektricky nabité částice (pár elektron - díra). Elektrony a díry jsou poté separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi předním (-) a zadním (+) kontaktem článku. Zátěží (elektrospotřebičem) připojenou mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárních článků a intenzitě dopadajícího slunečního záření. Struktura solárního článku je zobrazena na obrázku 2.7.

Energetická účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je u současných hromadně vyráběných solárních článků 14 až 17 % (v laboratorních podmínkách až 28 %). Pro ilustraci - mono krystalický solární článek s plochou 100 cm^2 je schopen dodávat do zátěže proud okolo 3 A při napětí 0,5 V.

V současné době jsou nejrozšířenější solární články vyrobené z krystalického křemíku ve formě monokrystalu nebo multikrystalu. Své praktické uplatnění mají i tenkovrstvé solární články na bázi amorfního křemíku. Do výroby jsou zaváděny nové tenkovrstvé technologie CdTe, CIS a CIGS struktury. Ke komerčnímu uplatnění se blíží technologie fotovoltaických skleněných tabulí.



Obrázek 2.7: Struktura solárního článku.

Fotovoltaické panely

Elektrickým propojením solárních článků vzniká po jejich zapouzdření solární panel. Články jsou sériově elektricky spojeny tak, aby napětí panelu umožnilo přímé využití generované elektrické energie. Panel musí zajistit hermetické zapouzdření solárních článků, musí zajišťovat dostatečnou mechanickou a povětrnostní odolnost (např. vůči silnému větru či krupobití). Konstrukce solárních panelů jsou značně rozmanité podle druhu použití. Panely jsou instalovány zpravidla na jižní (JV až JZ) střechy a fasády budov, případně na volnou plochu nebo na technické stavby jako např. protihlukové bariéry.

Využití elektřiny z fotovoltaických panelů

Se stejnými prvky (solární články) je možné realizovat aplikace s výkonem řádově od mW až po MW. Fotovoltaické systémy je možné provozovat kdekoliv na Zemi bez negativního dopadu na životní prostředí.

Pro využití elektrické energie ze solárních panelů je potřeba připojit k panelu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky - např. akumulátorovou baterii, regulátor, napěťový měnič, sledovač Slunce, indikační a měřicí přístroje. Sestava fotovoltaického modulu, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá fotovoltaickým systémem. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému závisí na druhu aplikace.

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off)

Jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat elektrickou přípojku (od vzdálenosti k rozvodné síti více než 500 až 1000 m). Výkony autonomních systémů se pohybují v intervalu 1 až 10 000 wattů. U autonomních systémů je kladen důraz na minimální ztráty energie a na používání energeticky úsporných spotřebičů.

Systémy s přímým napájením jsou realizovány všude tam, kde nevadí, že připojené elektrické zařízení je funkční jenom po dobu dostatečné intenzity slunečního záření. Jedná se pouze o propojení solárního panelu a spotřebiče.

Aplikace: čerpání vody pro závlahu, napájení oběhového čerpadla solárního systému pro přípravu teplé užitkové vody, napájení ventilátorů k odvětrání uzavřených prostor nebo nabíjení akumulátorů malých přistrojů - mobilní telefon, svítilna.

Systémy s akumulací elektrické energie. Doba, po kterou je k dispozici energie ze solárních panelů většinou není totožná s dobou, kdy nastává její největší potřeba. Z toho důvodu jsou nezbytnou součástí autonomních systémů akumulátorové baterie. Optimální nabíjení a vybíjení akumulátorové baterie je zajištěno solárním regulátorem. K autonomnímu systému lze připojit, jak spotřebiče napájené stejnosměrným proudem (napětí systému bývá zpravidla 12 nebo 24 V), tak běžné síťové spotřebiče 230 V/ 50 Hz napájené přes napěťový měnič.

Aplikace: zdroj elektrické energie pro chaty a rodinné domy, napájení dopravní signalizace, telekomunikačních zařízení nebo monitorovacích přístrojů v terénu, zahradní svítidla, světelné reklamy, kemping a jachting.

Hybridní autonomní systémy. V zimních měsících je možné získat z fotovoltaického zdroje podstatně méně elektrické energie než v letních měsících. Proto je nutné systémy s celoročním provozem a s častým užíváním počítat na zimní provoz. Instalovaný výkon fotovoltaických panelů však v takovém případě neúměrně naroste a s tím i pořizovací náklady. Mnohem výhodnější je potom z tohoto důvodu připojit do energetickému systému doplňkový zdroj elektřiny, který pokryje potřebu elektrické energie v obdobích s nedostatečným slunečním svitem. Takovým zdrojem může být větrný generátor, spalovací generátor (nejlépe s kogenerací - společná výroba elektrické a tepelné energie) nebo malá vodní elektrárna. Aplikace: větší systémy pro napájení budov s celoročním provozem.

Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on)

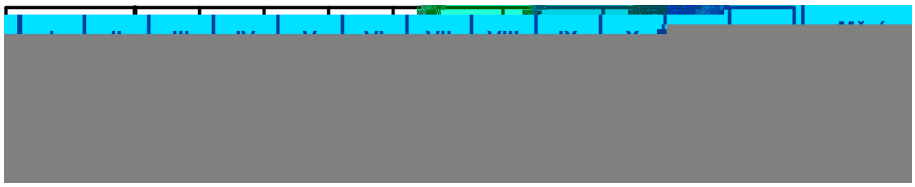
Tyto systémy jsou nejvíce uplatňovány v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. V případě dostatečného slunečního svitu jsou spotřebiče v budově napájeny vlastní "solární" elektrickou energií a případný přebytek je dodáván do veřejné rozvodné sítě. Při nedostatku vlastní energie je elektrická energie z rozvodné sítě odebírána.

Systém funguje zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového měniče. Připojení k síti podléhá schvalovacímu řízení u rozvodných závodů. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti je v rozmezí kW až MW. Fotovoltaické panely jsou většinou integrovány do obvodového pláště budov. Dnes představují cca 20 % z instalovaných systémů. Nejrozšířenější jsou v SRN (90 %) a Švýcarsku (67 %). V České republice jsou realizovány dva významnější systémy tohoto typu. Prvním z nich je fotovoltaická elektrárna s výkonem 10 kWh na hoře Mravenečník v Jeseníkách. Druhým systémem je solární prodloužení fasády s barevnými solárními články na hotelu Panorama v Praze-Pankráci o výkonu 6 kWh.

Aplikace: střechy rodinných domů do 1 až 10 kW, fasády a střechy administrativních budov 10 kW - 1 MW, dálniční protihlukové bariéry, fotovoltaické elektrárny, posilovače koncových větví rozvodné sítě.

Možnosti fotovoltaiky

Jeden čtvereční metr solárního modulu s monokrystalickými články má výkon 110 Wh (špičkový výkon) při standardním osvětlení 1000 W/m^2 a slunečním spektru AM 1,5. Ze solárního panelu s touto plochou je možné během jednoho roku získat 70 - 100 kWh elektrické energie. Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den], kterou lze získat ke spotřebě během jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 Wh dle měsíců jsou v tabulce na obrázku 2.8.



Obrázek 2.8: Průměrné hodnoty elektrické energie [Wh/den] jednoho dne ze solárního panelu s výkonem 110 Wh dle měsíců.

Největší překážkou rozšíření fotovoltaických článků v ČR jsou zatím vysoké pořizovací náklady a u systémů připojených na síť nízké výkupní ceny elektrické energie.

Kapitola 3

Způsoby vytápění

Materiály použité v této kapitole jsou čerpány z [3] a [4].

3.1 Rozdělení a druhy otopných soustav

Otopné soustavy lze třídit z mnoha hledisek:

- **lokální vytápěcí zařízení** (soustavu tvoří lokální topidla na tuhá, kapalná, plynná paliva nebo na elektřinu v kazdé místnosti). Tato topidla mají výhodu v tom, že je vytápěna vždy jen užívaná místnost. Spotřeba energie je až 2,5krát nižší než při trvalém ústředním vytápění objektu. Jednotlivé místnosti lze individualně vytápět na různé teploty, každá místnost může mít zcela jiný časový průběh vytápění,
- **ústřední otopné soustavy** se vyznačují tím, že otopná tělěsa jsou propojená potrubím s cirkulující teplonosnou látkou a opatřena regulačními ventlily.

Ústřední otopné soustavy lze dále dělit podle teplonosné látky:

- vodní,
- parní.

3.1.1 Teplovodní otopné soustavy

Teplovodných otopných soustav je většina a mohou se dále dělit:

Podle teploty teplonosné vody na:

- nízkoteplotní (do 60°C),
- teplovodní (do 95 °C),
- horkovodní (do 110°C).

Podle počtu přívodních a vratných potrubí na:

- jednotrubkové,
- dvoutrubkové.

Podle konfigurace propojovacích potrubí na:

- horizontální,
- vertikální.

Podle smyslu proudění v paralelně vedeném přívodním a vratném potrubí (jen u dvoutrubkových rozvodů) na:

- souproudé,
- protiproudé.

Podle zdroje energie pro cirkulaci teplonosné vody na:

- soustavy s přirozeným oběhem,
- soustavy s nuceným oběhem.

V posledních letech se často projektují horizontální soustavy jedno i dvoutrubkové (souproudé), jež mají uplatnění hlavně při rekonstrukcích otopných soustav.

Dvoutrubkové vertikální soustavy lze navrhout buď s přirozeným oběhem nebo nuceným oběhem. Horizontální soustavy jedno i dvoutrubkové musí mít nucený oběh.

Výhodou přirozeného oběhu je, že nepotřebuje ke své funkci žádnou přídavnou energii kromě tepelné.

Nevýhodou přirozeného oběhu je, že se spotřebuje více materiálu (velké průměry potrubí pro dosažení menších průtočných odporů) a dosahuje se nízké hydraulické stability potrubního rozvodu, což nakonec vede ke zvýšení spotřeby paliva. Nevýhodou je také špatná dynamika.

Výhodou otopných soustav s nuceným oběhem je naopak menší spotřeba materiálu na rozvodná potrubí, lze je navrhovat tak, aby byly hydraulicky stabilní (a to jak horizontální, tak vertikální), u otopných těles lze používat regulační ventily s termostatickými hlavicemi, což vede ke snížení spotřeby paliva a konečně lze snadněji měřit spotřebované teplo, zejména u horizontálních soustav.

Nevýhodou nuceného oběhu je závislost oběhového čerpadla na zdroji elektřiny a množství spotřebované elektřiny pro funkci soustavy, které je však s ohledem na dosažené úspory paliva téměř zanedbatelné.

3.1.2 Parní otopné soustavy

Parní otopné soustavy se používají v průmyslu, kde závod využívá technologickou páru ještě k jiným účelům. V obytných domech, veřejných budovách a všude tam, kde pára není nutná pro jiné účely než pro vytápění, se nově nevyužívají. Pokud bylo v těchto případech parní vytápění dříve instalováno, nahrazuje se teplovodním.

Parní otopné soustavy lze rozdělit podle tlaku páry na:

- nízkotlaké (do tlaku páry až 50 kPa a teploty do 110 °C),
- vysokotlaké (abs. tlak páry nad 0,15 MPa a teplota nižší než 100 °C),
- podtlakové (abs. tlak páry nižší než 100 KPa, teplota nižší než 100 °C).

Dále je lze dělit podle způsobu vedení a provozu kondenzátního potrubí na:

- soustavy se suchým kondenzátním potrubím,
- soustavy s mokrým kondenzátním potrubím.

Výhody oproti teplovodnímu vytápění jsou:

- malá tepelná setrvačnost a tedy rychlý zátop,
- menší nebezpečí zamrznutí vody při přerušení provozu,
- nízkotlaká parní otopná soustava je levnější než teplovodní.

Nevýhody oproti teplovodnímu vytápění jsou:

- velmi obtížná centrální regulace výkonu (způsobuje přetápění místností, zvýšení spotřeby paliva),
- vysoká povrchová teplota těles - nevhodná z hygienického hlediska (termální rozklad prachu),
- poškozování ocelového kondenzátního potrubí rychle postupující kyslíkovou korozí.

3.1.3 Teplovzdušné otopné soustavy

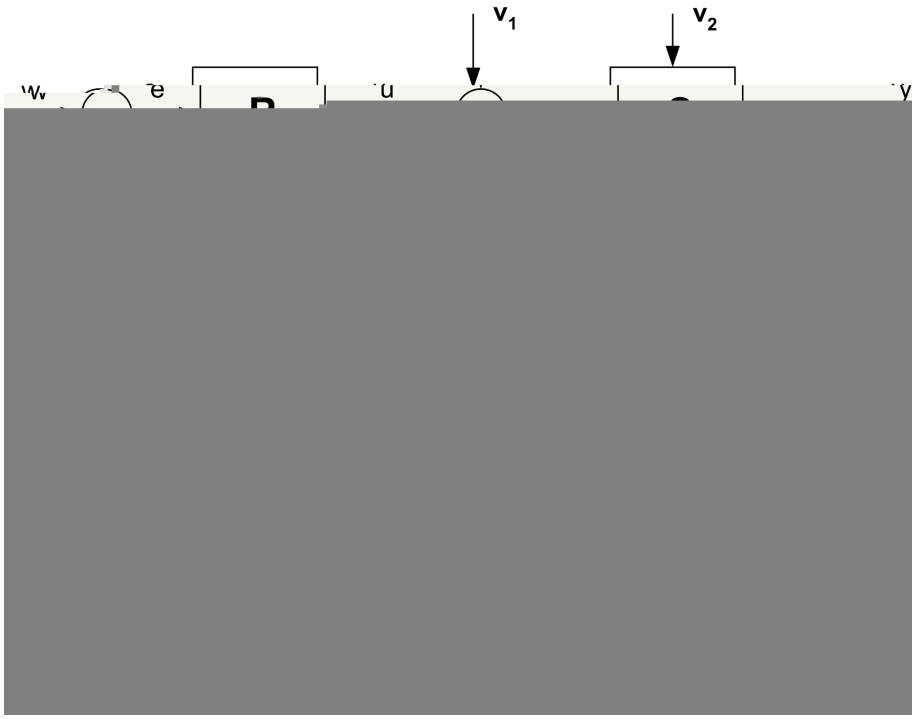
Teplovzdušné otopné soustavy jsou oblíbeny zejména ve Francii, ve Finsku a Kanadě. Zpravidla se uplatňuje nucená cirkulace odváděného i přiváděného vzduchu, protože tak se dosahuje malé teplené setrvačnosti, krátké doby zátopu a kvalitní regulace.

Teplovzdušné vytápění v porovnání s teplovodním vytápěním rodinného domku umožnuje snížit pořizovací náklady, zvyšuje provozní pohotovost, nehrozí zamrznutí, zlepšuje větrání místnosti. Má však i nedostatky, jako je větší vertikální rozložení teplot v prostoru, někdy vyšší prašnost způsobená intenzivnějším prouděním vzduchu a hlučnost ventilátorů.

Tradiční teplovzdušné vytápěcí zařízení s nuceným oběhem má tyto části:

- zdroj tepla na plynná paliva a nebo na elektřinu,
- ventilátory a filtr vzduchu (často tvoří jednotku se zdrojem tepla),
- rozvod vzduchu včetně výdechových mřížek a ostatního příslušenství,
- automatickou regulaci ovládající provoz zdroje tepla a chod ventilátoru.

Při teplovzdušném vytápění se nejvíce liší způsoby rozvodu přiváděného ohřátého vzduchu a odváděného znečištěného vzduchu. Vyžaduje, aby byly vytvořeny podmínky pro hospodárný rozvod a odvod vzduchu již při projektování stavební konstrukce a vnitřní dispozice bytu. V zahraničních projektech jsou časté rozvody vedené podkrovím nebo uložené v podlaze domku.



Obrázek 4.1: Základní blokové schéma jednoduchého regulačního obvodu

4.2 Způsoby regulace teploty

Regulátory můžeme rozdělit:

- **přímé regulátory** - nepotřebují pro svou funkci žádnou vnější energii, ale odebírají všechnu potřebnou energii pro svůj provoz přímo ze soustavy. Přímý regulátor teploty je například termostatický ventil,
- **nepřímé regulátory** - pracují vždy s pomocnou energií. Používají se hlavně při vyšších nárocích na přesnost regulace. Podle druhu pomocné energie se regulátory dělí na elektrické, pneumatické, hydraulické a kombinované.

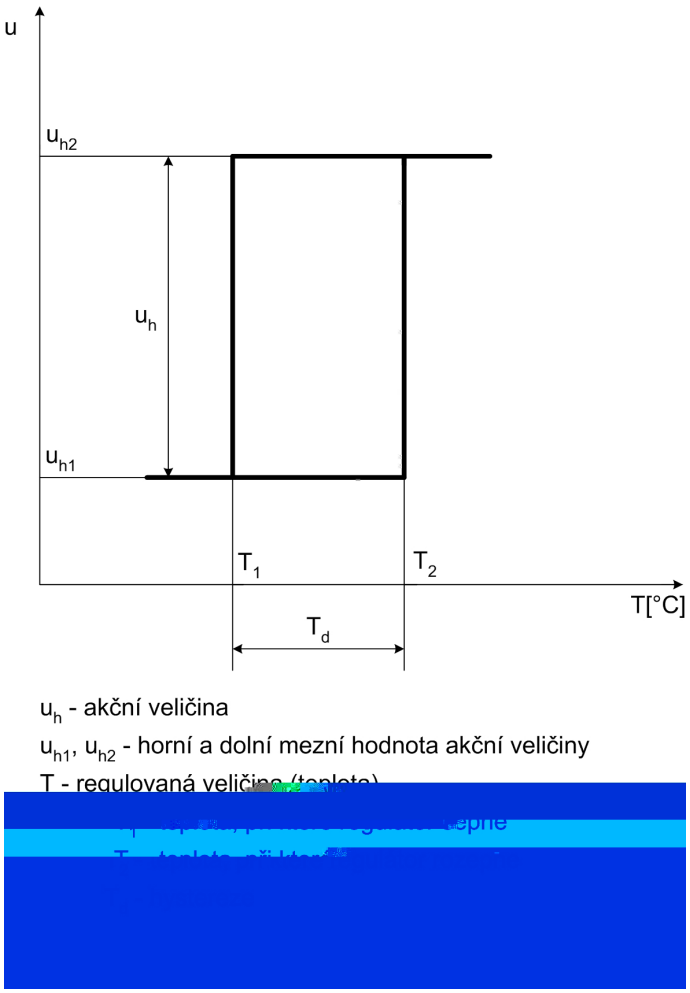
Rozlišujeme tyto základní druhy regulace:

- **spojitá regulace** - je regulace, při níž všechny členy regulačního obvodu pracují spojitě, tj. výstupní signály jsou spojitými funkcemi vstupních signálů,
- **nespojitá regulace** - je regulace, při níž alespoň jeden člen regulačního obvodu pracuje nespojitě (např. přenáší signál jen v určitých časových okamžicích nebo po dosažení určité hodnoty),
- **regulace na konstantní hodnotu** - je druhem automatické regulace, při níž je žádaná hodnota regulované veličiny konstantní,

- **programová regulace** - je druhem automatické regulace, při němž je žádaná hodnota regulované veličiny funkcí času podle předem známého programu,
- **vlečná regulace** - je druhem automatické regulace,při němž se žádaná hodnota regulované veličiny mění v závislosti na jiné důležité veličině. Typickým příkladem vlečné regulace je regulace teploty vody v otopné soustavě v závislosti na teplotě venkovního vzduchu.

4.2.1 Nespojitá regulace

Pro regulaci vytápěcích soustav jsou velmi rozšířené nespojité regulátory, z nichž nejčastějšími jsou dvoupolohové regulátory s hysterezí. Jejich charakteristika je uvedena na obrázku 4.2.



Obrázek 4.2: Statická charakteristika dvoupolohového regulátoru s hysterezí.

Tento dvoupolohový regulátor s hysterezí se používá většinou tak, že dolní mezní hodnota akční veličiny nabývá hodnoty 0 (rozepnuto - tepelný zdroj je od otopné

soustavy odpojen) a horní mezní hodnota akční veličiny nabývá hodnotu 1 (sepnuto - tepelný zdroj dodává do otopné soustavy plný výkon).

Typickým příkladem tohoto dvoupolohového regulátoru je jednoduchý prostorový pokojový termostat (u nás vyráběný pod názvem REGO). Jeho činnost je založena na deformaci bimetalového pásku vlivem tepla. Tato deformace vyvolává sepnutí či rozepnutí mikrospínače. Žádaná hodnota je nastavována předepnutím pružiny na mikrospínači, jejíž sílu je třeba překonat, aby spínač sepnul. Hystereze je zajištěna mechanickými vlastnostmi bimetalového pásku a mikrospínače.

Jelikož vytápěné objekty jsou soustavami kapacitními, někdy navíc s nezanedbatelným dopravním zpožděním, překračuje regulovaná veličina T mezní hodnoty T_1 a T_2 a v soustavě dochází k oscilacím kolem žádané hodnoty. Amplituda těchto oscilací je tím větší, čím větší je setrvačnost a dopravní zpoždění soustavy. Tento nepříznivý jev je možné omezit pomocí zavedení tepelné zpětné vazby. Její princip spočívá v zabudování pomocného topného odporu, který je umístěn poblíž bimetalového pásku a je napájen z výstupu regulátoru (zahřívá se, je-li regulátor sepnut). Topný odpor způsobuje přídavné ohřívání bimetalového pásku, teplota čidla je tím o něco vyšší, než teplota vytápěné místnosti a regulátor vypne dříve, než soustava dosáhne žádané teploty. Žádané teploty potom soustava dosáhne pomocí své setrvačnosti. Vhodným nastavením velikosti vlivu této tepelné zpětné vazby můžeme dosáhnout podstatného omezení těchto oscilací. Přílišné zmenšování hystereze však způsobuje častější spínání regulátoru, a tím dochází k nadměrnému opotřebení spínacích kontaktů (vhodná frekvence spínání je 5 - 10 sepnutí za hodinu).

V dnešní době jsou na trhu dostupné i elektronické programovatelné termostaty. U malých aplikací (rodinné domky, bytové soustavy), kde by ekvitermní regulace vycházela příliš drahá vzhledem k soustavě je programovatelný pokojový termostat ideálním doplňkem místní regulace. U dnešních elektronických pokojových termostatů je možno optimalizovat jejich práci v reálném čase. Znamená to, že můžeme na základě nastavení přiřadit určitým časovým úsekům příslušnou teplotní úroveň a volit tak např. denní či víkendový režim provozování otopné soustavy.

U některých elektronických pokojových termostatů se můžeme setkat i se zabudovanou adaptivní regulací. Adaptivní způsob regulace je obecně vyhrazen spíše složitějším a větším regulátorům a znamená, že regulátor si sám sleduje mírné stoupání teploty ve vytápěném prostoru i poté, co již dal pokyn k vypnutí kotle. Stoupání teploty je přirozené díky tepelné setrvačnosti otopných ploch. Na základě této zkušenosti regulátor napříště dává pokyn k vypnutí kotle v předstihu a zpětně kontroluje, jaká je reakce na regulační zásah. Průběh sledované veličiny je neustále sledován v závislosti na regulačních zásazích a regulátor se neustále adaptuje konkrétním podmínkám ve vytápěném prostoru.

Pokojové termostaty se umisťují v tzv. referenční místnosti, měla by to být taková místnost, kde se neprojevují vnitřní ani venkovní tepelné zisky, která má nejmenší tepelnou kapacitu a nejnižší požadovanou teplotu.

4.2.2 Spojitá regulace

Méně časté je pro regulaci otopných systémů v rodinných domcích použití spojitých regulátorů. Je to dáno hlavně vyššími pořizovacími náklady. Ve většině

případů totiž dostačuje použití jednodušších typů regulace (např. nespojitá regulace).

Proti diskrétní regulaci se spojitá regulace liší použitím spojitých emulátorů, u kterých akční veličina **u** je spojitou funkcí regulační odchylky **e**. Spojité regulátory můžeme rozdělit na:

- lineární,
- nelineární.

Lineární spojité regulátory můžeme dělit na:

- **P - proporcionální regulátor** - je charakterizován konstantním poměrem výstupní a vstupní veličiny v každém okamžiku činnosti regulátoru. Nevýhodou regulátoru typu P je, že regulační odchylka v ustáleném stavu je nenulová,
- **PI - proporcionálně integrační regulátor** zajišťuje, aby regulační odchylka v ustáleném stavu byla nulová,
- **PID - proporcionální integračně derivační regulátor** má navíc oproti předchozímu typu regulátoru blok, který umožňuje reagovat na intenzitu změny regulační odchylky.

Regulátor PD je pro regulaci ústředního vytápění nevhodný, protože otopné soustavy mají poměrně velké časové konstanty. Díky tomu dochází v otopných soustavách k pomalým změnám.

4.2.3 Vlečná regulace

Ve vytápěcí technice je velmi rozšířena regulace podle určité vztažné teploty. Regulovanou veličinou zde však není teplota prostředí, ale teplota otopné vody vstupující do otopné soustavy. Podle toho, jakou vztažnou teplotu uvažujeme, můžeme rozdělit vlečnou regulaci na dva typy:

- regulace podle teploty referenční místnosti - teplota náběhové vody je úměrná rozdílu mezi požadovanou a skutečnou teplotou referenční místnosti,
- regulace podle teploty venkovního vzduchu (ekvitermní regulace) - teplota náběhové vody je nastavována v závislosti na teplotě venkovního vzduchu.

Ekvitermní regulace

Zde je potřeba tepla regulována proporcionálně k venkovní teplotě, je možné na tomto základě regulovat teplotu přívodní vody přímo v závislosti na teplotě venkovní. Závislost obou veličin je dána tzv. otopnou křivkou (obrázek 4.3). Křivka a její prohnutí odpovídá použitým otopným tělesům, respektive použité otopné ploše. Křivku lze přesně upravit nakláněním či posunem pro danou soustavu a její vlastnosti. Pro vyšší venkovní teploty se doporučuje přednostně posun otopné křivky

do jiné úrovně a u nižších venkovních teplot je vhodné upřednostnit změnu sklonu otopné křivky.

Regulace teploty je rychlá s malým dopravním zpožděním. Tato regulace se dnes používá u většiny soustav s eventulelními přídavnými funkcemi. Teplota přívodní vody se reguluje dvoupolohově (řízení hořáku), nebo třípolohově (spolu s řízením třícestné či čtyřcestné armatury).

Negativní stránkou ekvitermního regulátoru je, že při rychlém poklesu venkovní teploty T_e ihned reaguje a zvyšuje teplotu přívodní vody T_p, ačkoliv se vliv poklesu venkovní teploty uvnitř budovy projeví až později.

Obrázek 4.3: Otopná křivka ekvitermního regulátoru.

Kapitola 5

Sdílení tepla

Materiály použité v této kapitole jsou čerpány z [8] a [9].

Sdílení tepla je ve vytápění a větrání budov velice důležitý fyzikální jev. Sdílením tepla z povrchu lidského těla do okolí je zajišťována tepelná rovnováha člověka. Stejné je to i u vytápěných místností, kde z vytápěných místností prostupuje teplo stěnami do okolního prostředí a naopak v letních měsících se chlazením odvádí teplo přivedené z venkovního prostředí do místnosti. V některých případech je naším cílem zvětšit co nejvíce intenzitu sdílení tepla, a tak co nejlépe využít příslušné vytápěcí zařízení. Jindy se naopak snažíme sdílení tepla co nejvíce zabránit, a tím snížit tepelné ztráty na minimum.

Dle termodynamického zákona teplo přechází z místa vyššího teplotního potenciálu k místu nižšího teplotního potenciálu.

Sdílení tepla je nauka o zákonech šíření tepla. Teplo se šíří:

- vedením (kondukcí),
- prouděním (konvekcí),
- tepelným sáláním (radiací).

5.1 Sdílení tepla vedením

Sdílení tepla vedením je způsob šíření tepla v nestejnoměrně ohřátém tělese předáváním tepelné energie mezi přímo se stýkajícími částmi tělesa.

Pro technickou praxi má největší význam vedení tepla v tuhých tělesech. Teplo se ve hmotě šíří ve směru teplotního gradientu a intenzita vedení tepla je tomuto gradientu přímo úměrná. Schopnost látky vést teplo vyjadřuje tepelná vodivost (λ), jejíž velikost se liší podle druhu látky.

$$\lambda = -\frac{q}{grad\,(t)} = -\frac{q}{\frac{\Delta t}{s}}, \tag{5.1}$$

λ - měrná tepelná vodivost [W·m^{-1}·K^{-1}],
q - měrný tepelný tok [W·m^{-2}],

t - čas [s],
s - délka [m].

Vedení tepla rovinnou stěnou

Tepelný tok procházející rovinnou homogenní stěnou tloušťky s při stálém rozdílu povrchových teplot t_{p1} a t_{p2} je

$$Q = \frac{\lambda}{s} \cdot S \cdot (t_{p1} - t_{p2}), \tag{5.2}$$

λ - měrná tepelná vodivost materiálu stěny [W·m^{-1}·K^{-1}],
s - tloušťka stěny [m],
S - plocha, kterou teplo prochází [m^2],
t_{p1} - povrchová teplota na jedné straně stěny [°C],
t_{p2} - povrchová teplota na druhé straně stěny [°C].

5.2 Sdílení tepla prouděním

Sdílení tepla prouděním je způsob přenášení tepla proudící tekutinou (kapalinou nebo plynem) z místa o vyšší teplotě do místa o teplotě nižší, tj. též z povrchu tuhého tělěsa do tekutiny nebo naopak, vždy proti směru teplotního gradientu. Sdílení tepla konvekcí mezi povrchem tuhého tělesa a tekutinou a naopak se nazývá též *přestup tepla*.

Rozlišujeme přestup tepla:

- při nuceném proudění kapaliny nebo plynu (nucená konvekce),
- při přirozeném proudění kapaliny nebo plynu (přirozená konvekce).

Nucené proudění je takové, které je způsobováno vnějšími silami (např. silami vznikajícími spuštěním čerpadla nebo ventilátoru) a přirozené, takové které je způsobováno nerovnoměrným rozdělěním hustoty tekutiny v poli zemské tíže.

Přestup tepla konvekcí je tím větší, čím větší je rychlost proudění tekutiny při nucené konvekci, nebo čím větší je rozdíl teplot při přirozené konvekci. Tepelný tok konvekcí mezi plochou S o teplotě t_p a tekutinou o teplotě t_m je dán vztahem:

$$Q = \alpha \cdot S \cdot (t_p - t_m), \tag{5.3}$$

α - součintel přestupu tepla konvekcí [W·m^{-2}·K^{-1}].
Hodnota součinitele přestupu tepla se vyšetřuje převážně experimentálně.

5.3 Prostup tepla stěnou

Prostupem tepla nazýváme výměnu tepla mezi dvěma tekutinami , plyny nebo kapalinami oddělenými tuhou stěnou. Prostup tepla se tedy skládá z přestupu tepla, vedení tepla a opět přestupu tepla. Z hlediska lokálního rozložení teploty prostředí (tekutiny) podél stěny se rozlišuje:

- prostup tepla stěnou při stálých teplotách prostředí (např. prostup tepla stěnou z vytápěné místnosti do venkovního prostředí),
- prostup tepla stěnou při proměnlivých teplotách prostředí (např. prostup u ohříváků).

5.3.1 Prostup tepla při stálých teplotách prostředí

Prostup tepla rovinnou stěnou

Za stálých teplotních podmínek prostředí lze pro prostup tepla rovinnou stěnou z prostředí o teplotě t_1 do prostředí o teplotě t_2 psát rovnici:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot S \cdot (t_1 - t_2)\,, \tag{5.4}$$

S - plocha stěny [m^2],
s - tloušťka stěny [m],
λ - měrná tepelná vodivost [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$],
α_1 - činitel přestupu na jedné straně stěny [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
α_2 - činitel přestupu na druhé straně stěny [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
t_1 - teplota prostředí na jedné straně stěny [°C],
t_1 - teplota prostředí na druhé straně stěny [°C].

Dále můžeme psát rovnici:

$$Q = k \cdot S \cdot (t_1 - t_2)\,, \tag{5.5}$$

ve které

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \tag{5.6}$$

k - součinitel prostupu tepla stěnou [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$].

Hodnoty součinitele prostupu tepla najdeme pro obvyklé stavební materiály a obvyklé tloušťky zdiva v literatuře. Tyto hodnoty jsou zjištěny experimentálně.
Převrácena hodnota 1/k se nazývá ***tepelný odpor*** materiálu.

Pro vícevrstvou stěnu je tepelný odpor při prostupu:

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}, \tag{5.7}$$

tepelný tok je:

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \cdot S \cdot (t_1 - t_2)\,. \tag{5.8}$$

5.4 Sdílení tepla sáláním

Tepelné sálání (tepelné záření, termální radiace) je přeměna tepelné energie tělesa v zářivou a předávání (emise) zářivé energie do prostoru, obklopujícího těleso. Opětnou přeměnu zářivé energie, dopadající na těleso, v energii tepelnou nazýváme pohlcování (termální absorbce). Vzájemné vyzařování (emise) a pohlcování (absorbce) zářivé energie mezi dvěma nebo více tělesy s různými povrchovými teplotami nazýváme sdílení tepla sáláním (radiací).

5.5 Výpočet otopných těles

Pro výpočet tepelného výkonu otopných těles platí vztah:

$$Q = k \cdot S \cdot (t_m - t_i)\,, \tag{5.9}$$

k - součinitel prostupu tepla stěnou [W·m^{-2}·K^{-1}],
S - povrch otopného tělesa [m^2],
t_m - střední teplota otopného média [°C],
t_i - teplota v místnosti [°C].

Součinitel prostupu tepla k u otopných těles bez zákrytu závisí především na tvaru a charakteristických rozměrech (výšce a hloubce) tělesa a na rozdílu teplot $\Delta t = t_m - t_i$. V menší míře pak závisí součinitel k také na délce tělesa a na umístění tělesa v místnosti.

Součinitel prostupu tepla k se u kovových otopných těles přibližně rovná součiniteli přestupu tepla $\alpha = \alpha_s + \alpha_k$ na vnější straně, neboť tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní straně (na straně otopného média) a tepelný odpor při vedení tepla stěnou, jsou velmi malé, a lze je proto zanedbat.

Kapitola 6

Výpočet tepelných ztrát budov

Materiály použité v této kapitole jsou čerpány z [10].

Základní funkcí vytápěcího zařízení je zajištění tepelné pohody v objektu v zimním období. Pro stanovení požadovaných parametrů navrhovaného zařízení se budova transformuje do zjednodušeného modelu, kde jednotlivé vlastnosti jsou vyjádřeny fyzikálními veličinami. Pro běžnou praxi se používá kvazistacionárního modelu, který naznačuje výsledný tepelný stav prostředí za výpočtových podmínek bez uvažování časových změn těchto podmínek. Výsledky tohoto způsobu výpočtu, který je zakotven v normách, zajišťují bezpečný návrh vytápěcího zařízení pro běžné objekty.

Z hlediska stanovení potřebného příkonu zařízení je základní charakteristikou budovy její **tepelná ztráta**, která dohodnutým způsobem vyjadřuje potřebu tepla zohledňující tepelně - technické řešení ohraničujících konstrukcí objektu ve vazbě na umístění stavby a předpokládaný provoz.

Podle tepelných ztrát budov se navrhuje vlastní otopná soustava. Je nutné, aby se tepelné ztráty počítaly pro nejnepříznivější povětrnostní poměry, které mohou za normálních okolností nastat v daném místě v zimním období.

Postup výpočtu tepelných ztrát je u nás předepsán normou ČSN 06 0210.

6.1 Obecný postup výpočtu tepelných ztrát

Tepelná ztráta budovy vyjadřuje tepelný tok mezi vnitřním prostředím budovy (místnosti) a venkovním prostředím při stanovených výpočtových podmínkách. Tepelné ztráty se stanovují pro jednotlivé místnosti a pro celou budovu.

Celková tepelná ztráta Q_c (W) se rovná součtu tepelné ztráty prostupem a tepelné ztráty větráním. V případech, kdy je v místnosti trvalý zdroj tepla, je možné o něj snížit celkovou tepelnou ztrátu.

$$Q_c = Q_p + Q_v \left(-Q_z\right), \tag{6.1}$$

Q_p - tepelná ztráta prostupem [W],
Q_v - tepelná ztráta větráním [W],

Q_z - trvalý tepelný zisk [W].

Tepelná ztráta prostupem vzniká v důsledku rozdílu teplot v místnosti a vně a vychází z přenosu tepla prostupem jednotlivými ohraničujícími konstrukcemi.

Tepelná ztráta prostupem se stanový podle vztahu:

$$Q_p = Q_0 \cdot (1 + p_1 + p_2 + p_3)\,, \tag{6.2}$$

Q_0 - základní tepelná ztráta [W],
p_1 - přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn (-),
p_2 - přirážka na urychlení zátopu (-),
p_3 - přirážka na světovou stranu (-).

Základní tepelná ztráta je aritmetický součet tepelných toků prostupem jednotlivými ohraničujícími konstrukcemi vytápěné místnosti.

$$Q_0 = \sum_{j=1}^{j=n} k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_{e,j})\,, \tag{6.3}$$

S_j - plocha stěny [m^2],
k_j - součinitel prostupu tepla [$W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$],
t_i - výpočtová vnitřní teplota [°C],
$t_{e,j}$ - výpočtová teplota na vnější straně stěny [°C].

Přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn p_1 zohledňuje nepříznivé teplotní poměry v místnostech s nízkou povrchovou teplotou stěn. Tato přirážka se určuje podle průměrného součinitele prostupu tepla všech stěn místnosti k_c, který se stanoví ze vztahu:

$$k_c = \frac{Q_0}{\sum S \cdot (t_i - t_e)}, \tag{6.4}$$

$$p_1 = 0,15 \cdot k_c, \tag{6.5}$$

k_c - průměrný součinitel prostupu tepla všech konstrukcí místnosti [$W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$],
$\sum S$ - součet ploch všech stěn ohraničujících vytápěnou místnost [m^2],
t_i - výpočtová vnitřní teplota [°C],
t_e - výpočtová venkovní teplota [°C],
p_1 - přirážka na vyrovnání vlivu chladných stěn [-].

Přirážka na urychlení zátopu p_2 se uvažuje pouze v případech, kdy nelze ani při nejnižších venkovních teplotách zajistit nepřerušované vytápění objektu. Využívá se především u objektů se samostatnou kotelnou o jmenovitém výkonu menším než 150 000 W, kde se předpokládá, že nelze nepřerušovaný provoz zajistit.

Přirážka na světovou stranu p_3 zohledňuje orientaci místnosti ke světovým stranám. Pro její volbu je rozhodující poloha nejvíce ochlazované stavební konstrukce,

při více konstrukcích poloha jejich společného rohu. Pokud jsou v místnosti tři a více ochlazovaných stěn, uvažuje nejpříznivěji položená stěna.

Tepelná ztráta větráním Q_v je tepelný tok, potřebný k ohřátí venkovního vzduchu vnikajícího do místnosti buď neřízeně spárami oken a dveří při přirozeném větrání infiltrací nebo při podtlakovém nuceném větrání bez samostatně ohřívaného řízeného přívodu vzduchu. Obecný vztah pro stanovení její hodnoty je:

$$Q_v = V \cdot c \cdot \rho \cdot (t_i - t_e)\,, \tag{6.6}$$

V - objemový průtok větracího vzduchu [$m^3 \cdot s^{-1}$],
c - měrné teplo vzduchu [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
ρ - měrná hmotnost vzduchu [$kg \cdot m^{-3}$],
t_i,t_e - vnitřní a vnější výpočtová teplota [°C].

Podle toho, čím je dán objemový průtok větracího vzduchu V, rozlišujeme:

- **tepelnou ztrátu infiltrací** - působením větru vzniká na návětrné straně budovy přetlak. Tím vniká chladný venkovní vzduch spárami ve dveřích a oknech do budovy. Na protilehlé, závětrné straně je podtlak, který spárami v oknech a dveřích odsává teplý vzduch. Pro udržení požadované vnitřní teploty je nutné chladný venkovní vzduch ohřát, což vyžaduje množství tepla označované jako tepelná ztráta infiltrací,

- **tepelnou ztrátu při nuceném podtlakovém větrání** - je zřejmé, že provozem vzduchotechnických zařízení jsou ovlivněny tlakové poměry v budově a tím i základní předpokládaná intenzita výměny vzduchu. Při podtlakovém větrání s nepřetržitým provozem bez řízeného přívodu vzduchu se předpokládá, že odváděné množství vzduchu ventilátorem bude nahrazeno vzduchem, který vniká do budovy netěsnostmi, okny a dveřmi. Pokud je toto množství vzduchu větší než množství vzduchu infiltrací, je nutno ve výpočtu uvažovat objemový tok větracího vzduchu V stejný s objemovým tokem vzduchu ventilátorem.

Kapitola 7

Volba a návrh otopného systému

Materiály použité v této kapitole jsou čerpány z [11] a [12].

7.1 Výběr způsobu vytápění

Z ekologického a ekonomického hlediska se jeví jako optimální otopný systém solární systém. Nastává zde však jeden zásadní problém. Solární systémy mají v zimním období, tedy v období, kdy je potřeba vytápět objekty, mnohem menší výkon nežli v letním období. Nabízí se takovéto řešení: V letním období, kdy máme sluneční enegie dostatek, musíme tuto energii akumulovat a v otopném období touto akumulovanou energií dotovat nedostatečnou solární energii pro vytápění. Jedná se o tzv. nepřímé solární vytápění. Setkáváme se zde ovšem s dalším problémem, jak tuto energii akumulovat.

Řešením by bylo vybudovat v blízkosti vytápěného objektu velký rezervoár na teplou vodu. Solární energie by se používala pro ohřev vody v rezervoáru, akumulovala by se do vody. Zde nastává největší problém, tím je potřeba příliš velikého rezervoáru. Umístit tento rezervoár vedle vytápěného objektu je kvůli zabrání velké části pozemku a z estetického hlediska takřka nemožné a umístit rezervoár do země je zase příliš nákladné. Z těchto důvodů je pro rodinný domek toto řešení opravdu nevhodné.

Z tohoto důvodu jsem se rozhodl použít solární systém pouze pro celoroční ohřev TUV (teplé užitkové vody). Pro celoroční ohřev TUV je nutno v našich podmínkách doplnit sluneční systém ještě dalším zdrojem tepla, nejčastěji elektrickým nebo plynovým kotlem. Jde tedy o kombinované (bivalentní) zařízení.

Takže mnou vybraný otopný systém zahrnuje použití plynového kotle s radiátorovou otopnou soustavou a použití solárního systému pro celoroční ohřev TUV. Zvolil jsem ekvitermní regulaci teploty.

7.2 Návrh otopného systému

7.2.1 Výpočet tepelných ztrát objektu

Jako vytápěný objekt jsem si zvolil klasický typ rodinného domku pod označením TL - 42, výrobce a dodavatel firma Dřevostyl, Nové Strašecí, o zastavěné ploše 110,5 m^2, obytná plocha je 128,6 m^2. Celková tepelná ztráta objektu je po zaokrouhlení 16 300 W (viz. kapitola 11.1.1.2). Tepelná ztráta je spočítána pro venkovní výpočtovou teplotu -12°C.

7.2.2 Výpočet celkového otopného výkonu soustavy

Výkon plynového kotle musí být takový, aby pokryl i ohřev TUV v případě poruchy solárního systému, nebo při jeho menší účinnosti v zimním období.

- potřeba TUV,

  Denní spotřeba TUV pro 4 až 5ti členou rodinu je 300 l.

  V_{2P} = 0,3 m^3,

- potřeba tepla,

  $E_{2T} = V_{2P} \cdot c \cdot (t_2 - t_1)$ = 13,96 kWh,

  c = 1,163 [kWh·m^{-3}·K^{-1}] - měrná tepelná kapacita vody,
  t_1 = 10 [°C] - je teplota studené vody,
  t_2 = 50 [°C] - je teplota ohřáté vody,

- tepelné ztráty při ohřevu a dopravě TUV,

  $E_{2Z} = z \cdot E_{2T}$ = 0,5 · 13,96 = 6,98 kWh,

- teplo dodané do ohřívače,

  $E_{1PT} = E_{2P} = E_{2T} + E_{2Z}$ = 20,94 kWh,

- tepelný výkon ohřívače,

  Q_{TUV} = 20,94 / 24 = 0,87 kW.

- potřebný výkon plynového kotle,

  $Q_{KOTEL} = Q_{TUV} + \cdot Q_{ZTRATA}$ = 17,2 kW,

  Použiji kotel s malou výkonovou rezervou: Q_{KOTEL} = 18 kW.

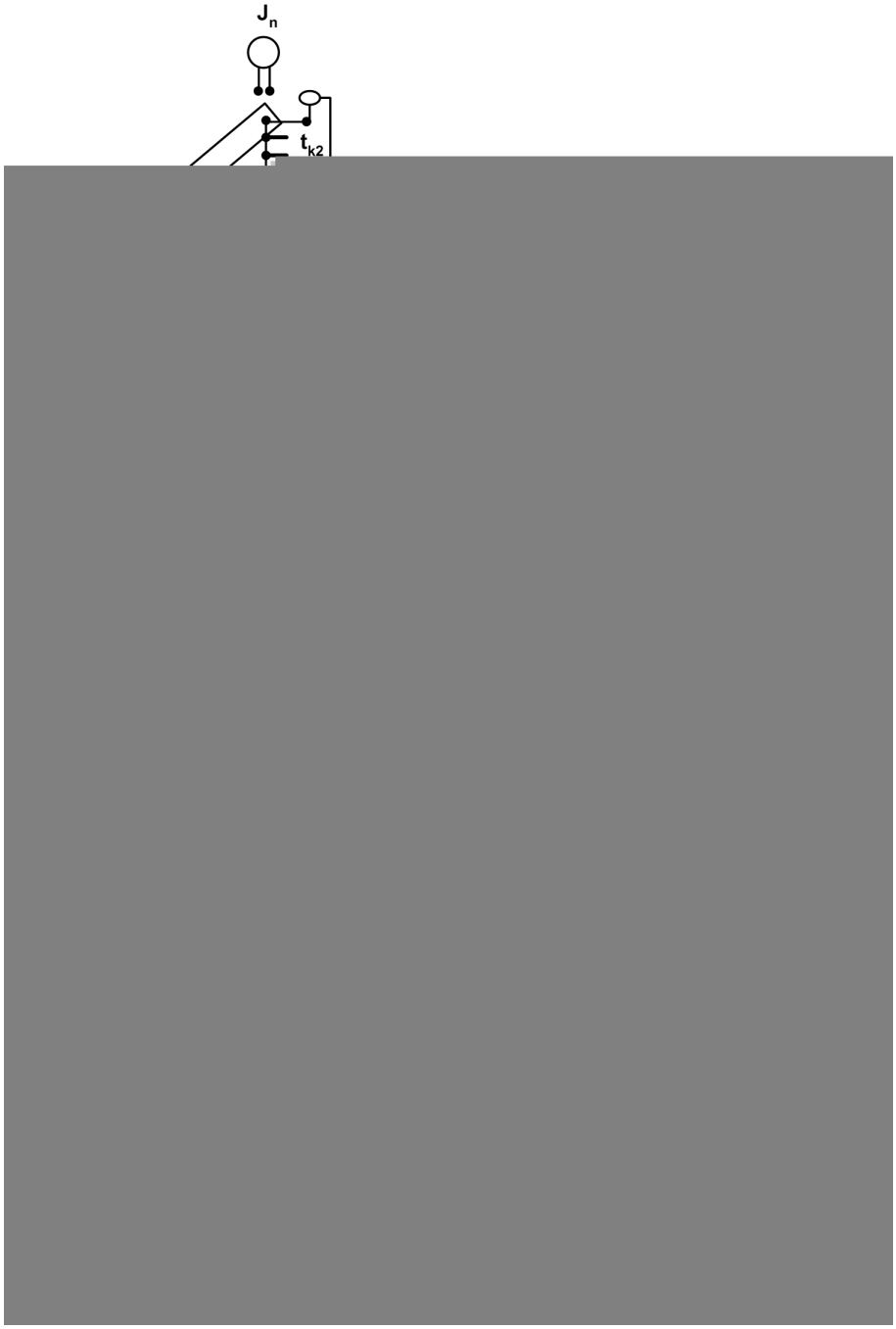
7.2.2.1 Volba plynového kotle

Pro vytápění objektu jsem se rozhodl použít kombinovaný závěsný plynový kotel od firmy Junkers, konkrétně typ Junkers ZS 23 KE NOVASTAR, který nabízí výhodný poměr ceny a užitné hodnoty. Tento kotel se vyrabí ve výkonovém rozmezí 8 až 22,6 kW a je nabízen za cenu 28 050 Kč včetně DPH.

7.2.3 Solární systém pro celoroční ohřev TUV

Tímto zařízením lze získat přibližně dvě třetiny (67%) celkové spotřeby z energie slunečního záření. Přitom se v letním období (od dubna do září) získá kolektory plných 100% energie, kdežto v zimním období (od října do března) pouze jedna třetina (33%). V nejchladnějších měsících, tj. v listopadu, prosinci, lednu a z části i v únoru, je však příspěvek slunečních kolektorů zanedbatelný, a proto veškerou energii musí dodávat klasický zdroj (v mém případě plynový kotel).

7.2.3.1 Schéma solárního systému na ohřev TUV



Obrázek 7.1: Schéma solárního systému na ohřev TUV.

Popis solárního systému zobrazeného na obrázku (7.1):

Kapalina ohřátá v kolektorech **(1)** je při dostatečném rozdíu teplot mezi výstupem kolektoru t_{k2} a teploty vody v solárním zásobníku **(2)** t_z. Je-li rozdíl teplot (t_{k2} - t_z) > Δt_n uvede regulátor R_1 do chodu oběhové čerpadlo **(4)**, které zajistí

průtok teplonosné látky M_k solárním okruhem. Při poklesu rozdílu teplot regulátor R_1 průtok kapaliny přeruší. Teplotní čidlo t_z musí být umístěno v zásobníku **(2)** tak, že snímá teplotu těsně nad výměníkem tepla **(5)**. Solární okruh je opatřen zabezpečovacím zařízením včetně uzavřené tlakové expanzní nádoby **(6)**.

Okruh teplé užitkové vody tvoří solární zásobníkový ohřívák TUV **(2)**, dodatkový ohřívák **(3)**, který může být realizován jako průtokový nebo zásobníkový. Potrubní rozvod je opatřen trojcestným ventilem **(7)**. Regulátor R_2 zajistí prostřednictvím trojcestného ventilu **(7)** požadovanou teplotu TUV na výtoku u spotřebitele. Při použití zásobníkového ohříváku trojcestný ventil **(7)** umožní přímý průtok TUV při dostatečné teplotě v solárním ohříváku t_{vo} nebo smíšením s vodou z dodatkového výměníku **(3)** je výsledná teplota t_{TUV} v požadovaném rozmezí. Podmínkou je, že v dodatkovém zásobníkovém výměníku je voda ohřívána na vyšší teplotu než je požadována u spotřebitele.

Teploty t_{k1} a t_{k2} snímají teplotová čidla umístěná na vstupu a výstupu kapaliny z kolektorů. M_k označuje umístění průtokoměru v solárním okruhu. Teplota t_{vo} teplé užitkové vody je snímána v potrubí za solárním zásobníkovým ohřívákem **(2)**. Teplota t_{TUV} na výtoku u spotřebitele je snímána v potrubí za smíšením průtoku vody od solárního ohříváku a od dodatkového ohříváku. Teplota přívodní vody t_{vp} je snímána na přípojce k solárnímu ohříváku. V tomtéž místě je instalován průtokoměr označený M_{vo}. M_o je obtok solárního ohříváku.

7.2.3.2 Výpočet plochy kolektorů

Spotřeba TUV rodinného domku pro 4 až 5 osob je 300 litrů za den. Voda se ohřívá z teploty $t_1 = 10°C$ na teplotu $t_2 = 50°C$. Vytápěný objekt se nachází v blízkosti Prahy (zeměpisná šířka 50° s . š). Vybral jsem kolektory se dvěma krycími skly. Kolektory jsou orientovány na jih a skloněny pod úhlem $\alpha = 45°$ (to odpovídá právě zeměpisné šířce 50° s . š).

Denní spotřeba tepla se určí podle následujícího vztahu:

$$Q_{spotr} = V \cdot c \cdot (t_2 - t_1)\,, \tag{7.1}$$

c = 1,163 [kWh·m^{-3}·K^{-1}] - měrná tepelná kapacita vody,
t_1 = 10 [°C] - je teplota studené vody,
t_2 = 50 [°C] - je teplota ohřáté vody.

Denní spotřeba je tedy: Q_{spotr} = 13,96 kWh.

Celková plocha kolektorů S_K se určí tak, aby v období od dubna do září se pokud možno vystačilo s energií zachycenou kolektory. Nejnepříznivější sluneční podmínky mohou nastat v okrajových měsících daného období, tj. buď v dubnu (IV), nebo v září (IX). Proto se v dalším výpočtu postupuje paralelně pro oba jmenované měsíce a bere se měsíc s menší hodnotou Q_{Kden}.

Podle tab. 2.8 v [11] je pro plochu orientovanou na jih a skloněnou pod úhlem $\alpha = 45°$ teoreticky možná dopadající energie:

- $Q_{Sdenteor}$ = 8,06 kW·h·m^{-2} - pro duben,
- $Q_{Sdenteor}$ = 6,70 kW·h·m^{-2} - pro září.

Pro Prahu je podle tab. 2.12 v [11] poměrná doba slunečního svitu:

- τ = 0,45 v dubnu,
- τ = 0,53 v září.

Skutečná dopadající energie je tedy:

- $Q_{Sden} = \tau \cdot Q_{Sdenteor}$ = 3,63 kW·h·m^{-2} - pro duben,
- $Q_{Sden} = \tau \cdot Q_{Sdenteor}$ = 3,55 kW·h·m^{-2} - pro září.

Podle tabulky 2.16 v [11] je pro Prahu střední teplota vzduchu v době slunečního osvitu:

- t_V = 12,1°C v dubnu,
- t_V = 19,4°C v září.

Podle tabulky 2.17 v [11] je střední intenzita záření I_{str} (= q_s) na plochu orientovanou na jih a skloněnou pod úhlem α = 45°:

- I_{str} = 580 W·m^{-2} pro duben,
- I_{str} = 558 W·m^{-2} pro září.

Účinnost kolektoru se dvěma krycími skly určíme podle následujícího vztahu:

$$\eta_K = 0,80 - 4\frac{t_k - t_V}{q_s}. \tag{7.2}$$

Podle rovnice 7.2 je tedy účinnost kolektoru:

- η_K = 0,54 pro duben,
- η_K = 0,58 pro září.

Energie zachycená plochou 1 m^2 za den s průměrnou oblačností se spočítá podle následujícího vztahu:

$$Q_{Kden} = \eta_K \cdot Q_{Sden}. \tag{7.3}$$

Podle rovnice 7.3 je tedy energie zachycená plochou 1 m^2 za den s průměrnou oblačností:

- Q_{Kden} = 1,96 kW·h·m^{-2} - pro duben,

- Q_{Kden} = 2,06 kW·h·m^{-2} - pro září.

Celková plocha kolektorů S_K se počítá pro okrajový měsíc s menší hodnotou Q_{Kden}, tj. pro duben.

Celková plocha kolektorů se určí podle následujícího vztahu:

$$S_K = \frac{(1+p) \cdot Q_{spotr}}{Q_{Kden}}, \tag{7.4}$$

p = 0,1 - přirážka na tepelnou ztrátu zásobníku a potrubního rozvodu.

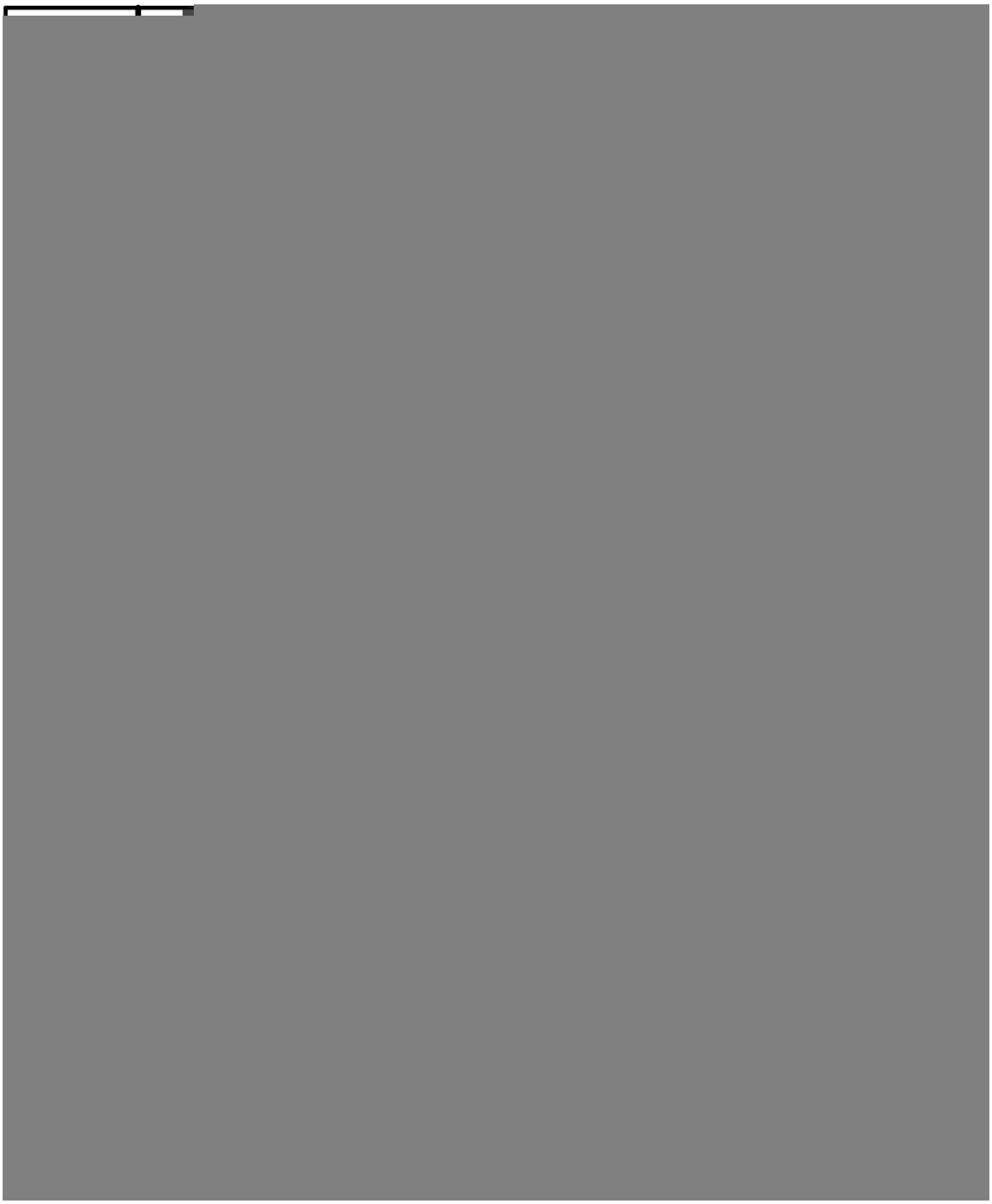
Podle vztahu 7.4 je celková plocha kolektorů S_K = 7,81 m^2.

Pro zařízení se zvolí plocha kolektorů S_K = 7,8 m^2 (na 1 m^2 připadá 38,6 litrů ohřívané vody) a pro tuto plochu sestavím tepelnou bilanci.

7.2.3.3 Další výpočty a sestavení tepelné bilance

V tabulce na obrázku 7.2 je vypočítaná účinnost a energie kolektorů v jednotlivých měsících.

Obrázek 7.2: Účinnost kolektorů a energie zachycená kolektory.

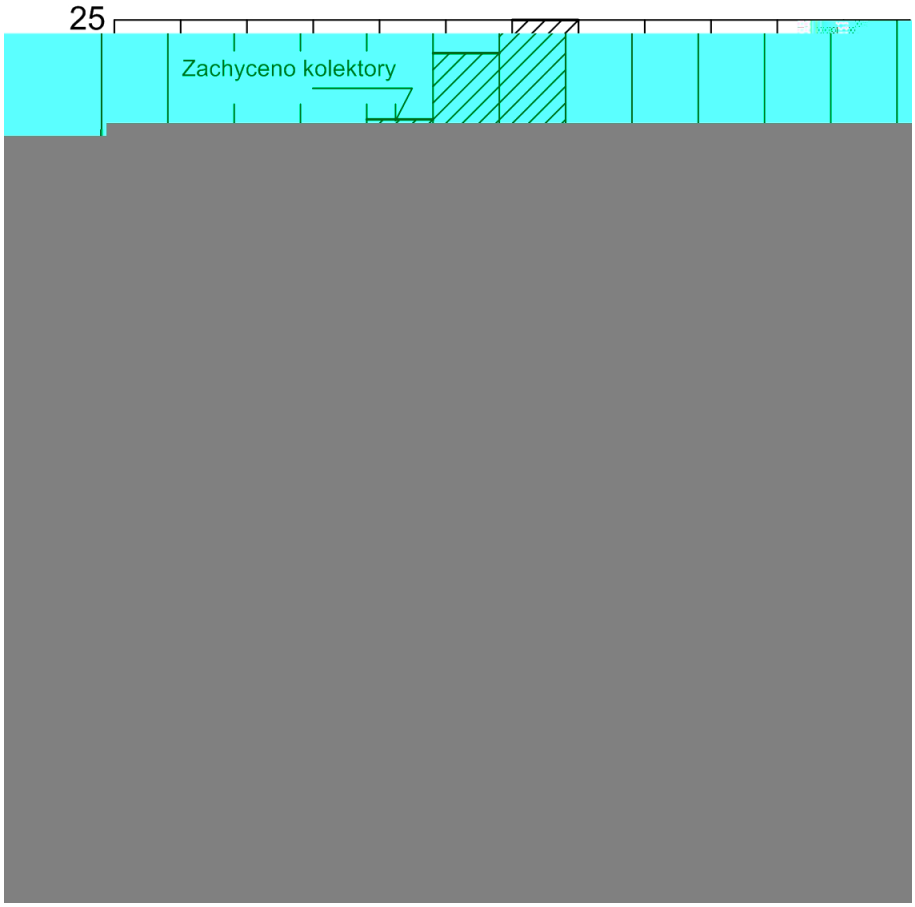


Obrázek 7.3: Tepelná bilance zařízení.

V tabulce na obrázku 7.3 je sestavená tepelná bilance zařízení. Z této tabulky vyplývá, že z celoroční spotřeby energie pro ohřev užitkové vody $365 \cdot 15{,}36 = 5585$ kWh musí být 1929 kWh (34,5%) hrazeno klasickým zdrojem tepla (v mém případě plynovým kotlem). Sluneční kolektory dodají 3656 kWh (65,5%). V květnu až září jsou jisté přebytky energie od kolektorů (celkem 959 kWh), které však nelze převést

na měsíce, kdy je sluneční energie nedostatek. Přebytky energie by mohly být využity jedině k ohřívání užitkové vody na teplotu poněkud vyšší, než je požadovaná teplota 50°C.

Tepelná bilance pří celoročním ohřevu TUV je zobrazena graficky na obrázku 7.4.



Obrázek 7.4: Tepelná bilance při celoročním ohřevu TUV.

7.2.3.4 Zvolená solární sestava pro celoroční ohřev TUV

Rozhodl jsem se použít plochý solární kolektor *Heliostar202* od slovenské firmy Thermosolar Žiar spol. s.r.o . Absorpční plocha je 1,76 m^2 meandrové konstrukce, vysoce selektivní vrstva na bázy oxidu hlinitého pigmentovaná koloidním niklem, výrobce Thermosolar. Al-Mg lisovaná kompaktní vana, Al absorbér-Cu meandr, minerální izolace.

Rozměry jsou (2009x1038x75mm). Vhodný pro celoroční přípravu TUV a ohřev bazénů. Energetický zisk 930kWh/rok. Záruka 10let , životnost 30let , hmotnost 43kg.

Komplet obsahuje komponenty vypsané v tabulce na obrázku 7.5.

Technická data

Obrázek 7.5: Solární komplet pro ohřev TUV.

7.2.3.5 Státní podpora

Státní fond životního prostředí České republiky poskytuje pro fyzické osoby podporu na ekologicky šetrné způsoby vytápění a ohřev vody pro byty a rodinné domy.

Solární systémy

Podporovány jsou dva typy opatření:

- použití solárních systémů pouze pro celoroční přípravu teplé vody,
- použití solárních systémů pro celoroční přitápění a přípravu teplé vody.

Výše příspěvku

U solárních systémů na přitápění a přípravu teplé vody tvoří příspěvek max. 50 % (maximálně však 100 000 Kč).

Postup a nezbytné doklady k žádosti o podporu

Žadatel vyplní Formulář žádosti o podporu ze SFŽP ČR a předloží ji se stanovenými doklady na místně příslušném krajském pracovišti Fondu.

Doklady, které jsou požadovány jako příloha k Formuláři žádosti:

- doklad, kterým je určena osoba pověřená jednáním s Fondem,
- dokumentace,
- energetický audit nebo odborný posudek, včetně dokladu o jeho zaplacení,
- předávací protokol o provedené topné zkoušce a uvedení zařízení do trvalého provozu, popřípadě kolaudační rozhodnutí,
- fakturaci (originály faktur)/úhradu nákladů dle rozpočtu,
- čestné prohlášení o vlastních zdrojích financování a o tom, že objekt neslouží a ani v budoucnu nebude sloužit ani z části k podnikání minimálně po dobu 10 let po realizaci dané investice (potvrdí žadatel podpisem ve Formuláři žádosti),
- tři barevné fotografie formátu 9x13 cm dokládající realizaci zařízení,
- vyjádření příslušného stavebního úřadu – stavební povolení, popř. ohlášení stavebních úprav,
- kopie dodavatelských smluv včetně rozpočtu,
- certifikát instalovaného zařízení.

U jednotlivých programů je Fond oprávněn stanovit další požadavky na doložení údajů uvedených v žádosti specifickými doklady.

Více inforamcí lze nalézt na internetové adrese <http://www.sfzp.cz/>.

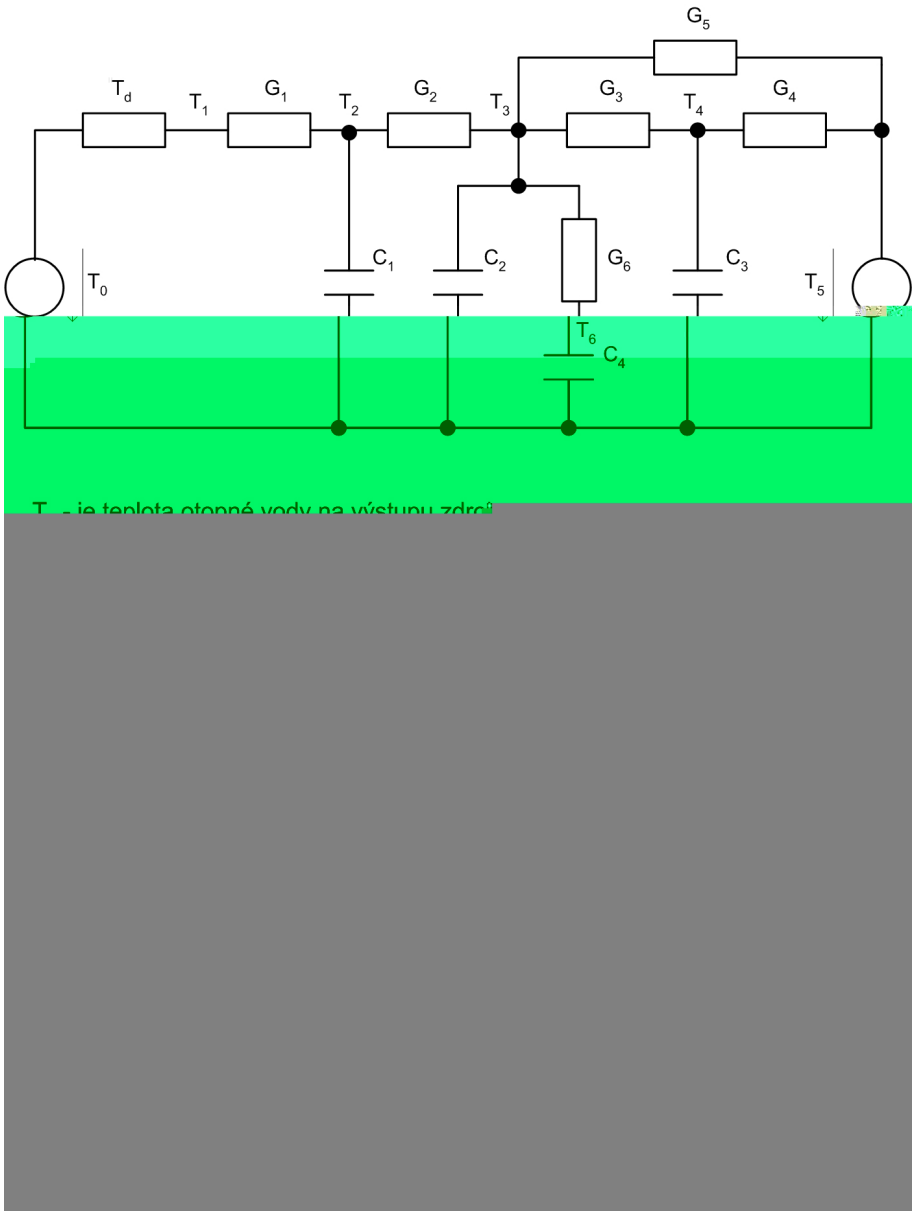
Kapitola 8

Návrh modelu otopného systému

8.1 Náhradní elektrické schéma vytápěného objektu

Na základě analogie mezi elektrickými a tepelnými systémy lze sestavit následující ekvivalentní náhradní elektrické schéma tepelného systému (obrázek 8.1). Zdroje tepelného výkonu (kotel, venkovní prostředí) jsou zde reprezentovány zdroji napětí, tepelné kapacity soustavy kapacitami elektrickými a tepelné odpory (vodivosti) tepelnými odpory elektrickými. Tepelnou vodivost označíme na základě elektrotepelné analogie podobně jako u elektrických obvodů písmenem **G**.

Z náhradního elektrického schématu vytápěné budovy dostaneme metodou uzlových napětí soustavu diferenciálních rovnic, která popisuje chování vytápěného objektu. Tato soustava nám reprezentuje matematický model vytápěného objektu.



Obrázek 8.1: Náhradní elektrické schéma vytápěného objektu.

Při zanedbání dopravního zpoždění T_d, můžeme náhradní elektrické schéma popsat soustavou rovnic:

$$(T_2 - T_1) \cdot G_1 + (T_2 - T_3) \cdot G_2 + C_1 \cdot \frac{dT_2}{dt} = 0, \tag{8.1}$$

$$(T_3 - T_2) \cdot G_2 + (T_3 - T_4) \cdot G_3 + (T_3 - T_5) \cdot G_5 + (T_3 - T_6) \cdot G_6 + C_2 \cdot \frac{dT_3}{dT} = 0, \tag{8.2}$$

$$(T_4 - T_3) \cdot G_3 + (T_4 - T_5) \cdot G_4 + C_3 \cdot \frac{dT_4}{dT} = 0, \tag{8.3}$$

$$(T_6 - T_3) \cdot G_6 + C_4 \cdot \frac{dT_6}{dt} = 0. \tag{8.4}$$

Po úpravě rovnic dostaneme:

$$-T_1 \cdot G_1 + T_2 \cdot (G_1 + G_2) - T_3 \cdot G_2 = -C_1 \cdot \frac{dT_2}{dt}, \tag{8.5}$$

$$-T_2 \cdot G_2 + T_3 \cdot (G_2 + G_3 + G_5 + G_6) - T_4 \cdot G_3 - T_5 \cdot G_5 - T_6 \cdot G_6 = -C_2 \cdot \frac{dT_3}{dt}, \tag{8.6}$$

$$-T_3 \cdot G_3 + T_4 \cdot (G_3 + G_4) - T_5 \cdot G_4 = -C_3 \cdot \frac{dT_4}{dt}, \tag{8.7}$$

$$T_6 \cdot G_6 - T_3 \cdot G_6 = -C_4 \cdot \frac{dT_6}{dt}. \tag{8.8}$$

Soustavu rovnic vynásobíme jednotlivými kapacitami C_i a dostaneme:

$$T_1 \cdot \frac{G_1}{C_1} - T_2 \cdot \frac{G_1 + G_2}{C_1} + T_3 \cdot \frac{G_2}{C_1} = \frac{dT_2}{dt}, \tag{8.9}$$

$$T_2 \cdot \frac{G_2}{C_2} - T_3 \cdot \frac{G_2 + G_3 + G_5 + G_6}{C_2} + T_4 \cdot \frac{G_3}{C_2} + T_5 \cdot \frac{G_5}{C_2} + T_6 \cdot \frac{G_6}{C_2} = \frac{dT_3}{dt}, \tag{8.10}$$

$$T_3 \cdot \frac{G_3}{C_3} - T_4 \cdot \frac{G_3 + G_4}{C_3} + T_5 \cdot \frac{G_4}{C_3} = \frac{dT_4}{dt}, \tag{8.11}$$

$$T_3 \cdot \frac{G_6}{C_4} - T_6 \cdot \frac{G_6}{C_4} = \frac{dT_6}{dt}. \tag{8.12}$$

Integrací soustavy rovnic dostaneme:

$$\int \left(T_1 \cdot \frac{G_1}{C_1} - T_2 \cdot \frac{G_1 + G_2}{C_1} + T_3 \cdot \frac{G_2}{C_1} \right) dt = \int \frac{dT_2}{dt} dt = T_2 + T_{20}, \tag{8.13}$$

$$\int \left(T_2 \cdot \frac{G_2}{C_2} - T_3 \cdot \frac{G_2 + G_3 + G_5 + G_6}{C_2} + T_4 \cdot \frac{G_3}{C_2} + T_5 \cdot \frac{G_5}{C_2} + T_6 \cdot \frac{G_6}{C_2} \right) dt = \int \frac{dT_3}{dt} dt = T_3 + T_{30}, \tag{8.14}$$

$$\int \left(T_3 \cdot \frac{G_6}{C_4} - T_6 \cdot \frac{G_6}{C_4} \right) dt = \int \frac{dT_6}{dt} dt = T_6 + T_{60}, \tag{8.15}$$

kde T_{20}, T_{30}, T_{40}, T_{60} jsou počáteční podmínky pro jednotlivé tepelné kondenzátory.

Pro přehlednost zavedu následující substituce:

$$a_{11} = \frac{G_1}{C_1}, a_{12} = -\frac{G_1 + G_2}{C_1}, a_{13} = \frac{G_2}{C_1}, \tag{8.16}$$

$$a_{14} = \frac{G_2}{C_2}, a_{15} = -\frac{G_2 + G_3 + G_5 + G_6}{C_2}, a_{16} = \frac{G_3}{C_2}, \tag{8.17}$$

$$a_{17} = \frac{G_5}{C_2}, a_{18} = \frac{G_6}{C_2}, a_{19} = \frac{G_3}{C_3}, \tag{8.18}$$

$$a_{20} = -\frac{G_3 + G_4}{C_3}, a_{21} = -\frac{G_4}{C_3}, a_{22} = \frac{G_6}{C_4}, a_{23} = -\frac{G_6}{C_4}. \tag{8.19}$$

Po zavedení substitucí dostaneme tuto soustavu rovnic:

$$\int (T_1 \cdot a_{11} + T_2 \cdot a_{12} + T_3 \cdot a_{13})\, dt = T_2 + T_{20}, \tag{8.20}$$

$$\int (T_2 \cdot a_{14} + T_3 \cdot a_{15} + T_4 \cdot a_{16} + T_5 \cdot a_{17} + T_6 \cdot a_{18})\, dt = T_3 + T_{30}, \tag{8.21}$$

$$\int (T_3 \cdot a_{19} + T_4 \cdot a_{20} + T_5 \cdot a_{21}) dt = T_4 + T_{40}, \tag{8.22}$$

$$\int (T_3 \cdot a_{22} + T_6 \cdot a_{23})\, dt = T_6 + T_{60}. \tag{8.23}$$

8.2 Simulační počítačový model vytápěného objektu

Ze získaného matematického modelu vytápěné budovy vytvořím blokové simulační schéma v programu SIMULINK, který je součástí programového balíku MATLAB.

Nejprve provedu výpočet konkrétních hodnot jednotlivých proměnných pro mnou zvolený objekt (rodinný domek TL-42, výrobce a dodavatel firma Dřevostyl).

8.2.1 Výpočet tepelných vodivostí

Tepelnou vodivost určitého rozhraní si můžeme představit jako schopnost tohoto rozhraní vést nebo převádět teplo. Její hodnota se liší podle druhu látky. Čím větší je tato vodivost, tím více tepla uniká z prostředí o vyšší teplotě do prostředí o nižší teplotě. Pro tepelnou vodivost G platí následujíci vztah:

$$G = k \cdot S, \tag{8.24}$$

G [W·K^{-1}] - je tepelná vodivost,
S [m^2] - je přestupní plocha,
k [W·m^{-2}·K^{-1}] - je součinitel prostupu tepla.

Abychom získali hodnoty těchto vodivostí, je nutno nejprve vypočítat jednotlivé součinitele prostupu tepla k_i a přestupní plochy S_i.

8.2.1.1 Výpočet přestupních ploch

Radiátorová otopná soustava

- S_1 - je vnitřní plocha radiátorů,
- S_2 - je vnější plocha radiátorů.

Pro vytápění jsem se rozhodl použít hliníková článková otopná tělesa Mondial 80. Z hygienického hlediska jsem zvolil teplotní spád 80 / 60°C namísto v prospektu uváděných a dříve používaných 90 / 70°C. Díky změně teplotního spádu jsem musel provést následující přepočet:
t_e = 80°C - teplota vody na vstupu,
t_u = 60°C - teplota vody na výstupu,
t_a = 20°C - pokojová teplota,
t_m = 70°C - průměrná teplota vody.
$\Delta_t = t_m - t_a = 50°C$

Koeficient změny K pro Δ_t = 50°C jsem odečetl z tabulky přiložené k prospektu, nebo uvedené na <www.regulus.cz> .

K = 0,78.

Výkon jednoho článku Mondial 80 (M(c).700): Q_{60} = 222 W pro teplotní spád 90/70°C,

Výkon jednoho článku Mondial 80 (M(c).700): $Q = Q_{60} \cdot K = 173.16$ W pro teplotní spád 80/60°C.

Vydělením celkových tepelných ztrát objektu tepelným výkonem jednoho článku získám celkový počet článků potřebných pro vytápění objektu. Poté vynásobím celkový počet článků přestupní plochou jednoho článku a dostanu celkovou přestupní plochu radiátorů.

Celková tepelná ztráta objektu je 16 300 W, když ji podělím výkonem jednoho článku vyjde mi, že potřebuji k vytopení celého objektu 94 článků.

Plocha jednoho článku je S_c = 0,702 m^2.

$S_1 = S_2 = 0.702 \cdot 94 = 65{,}988$ m^2.

Obsahy ploch S_{3Z}, S_{3P}, S_{3S}, S_{4Z},S_{4P}, S_{4S}, S_{5O}, S_{5D}, S_6 budou spočítány podle stavebních plánků vytápěného objektu (viz.kapitola 11).

- S_{3Z} - je vnitřní plocha obvodového zdiva,

  S_{3Z} = 135,21 m^2.

- S_{3P} - je vnitřní plocha sklepní podlahy,

  S_{3P} = 91,72 m^2,

- S_{3S} - je vnitřní plocha střechy,

  $S_{3S} = 160{,}6\ m^2$,

- S_{4Z} - je vnější plocha obvodového zdiva,

  $S_{4Z} = 162{,}4\ m^2$,

- S_{4P} - je vnější plocha sklepní podlahy,

  $S_{4P} = 106{,}87\ m^2$,

- S_{4S} - je vnější plocha střechy,

  $S_{4S} = 171\ m^2$,

- S_{5O} - je plocha oken,

  $S_{5O} = 23{,}4\ m^2$,

- S_{5D} - je plocha venkovních dveří,

  $S_{5D} = 3{,}45\ m^2$,

- S_6 - je plocha vnitřního zdiva,

  $S_6 = 299{,}78\ m^2$.

8.2.1.2 Výpočet součinitelů přestupu a prostupu tepla

Radiátorová otopná soustava - pro radiátorovou otopnou soustavu musíme spočítat součinitele přestupu tepla α_1 a α_2.

součinitel přestupu α_1 - rozhraní otopné vody a radiátoru určíme z následujícího vztahu:

$$\alpha_1 = \frac{Q}{S \cdot (t_m - t_p)}, \tag{8.25}$$

t_p - je teplota plochy radátoru,
t_m - je střední teplota otopné vody,
Q - je tepelný výkon radiátoru,
S - je přestupní plocha radiátoru.

Vypočtená hodnota je $\alpha_1 = 123{,}5\ W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}$.

součinitel přestupu α_2 - rozhraní radiátoru a interiéru určíme z následujícího vztahu:

$$\alpha_2 = \frac{Q}{S \cdot (t_p - t_i)}, \tag{8.26}$$

t_p - je střední teplota plochy radátoru,
t_i - je teplota inteiéru (vytápěné místnosti),
Q - jsou celkové tepelné ztráty vytápěného objektu,
S - je přestupní plocha radiátoru.

Vypočtená hodnota je $\alpha_2 = 4{,}94$ W·m^{-2}·K^{-1}.

Součinitel prostupu tepla k$_3$ - rozhraní interiéru a obvodového zdiva, sklepní podlahy, střechy.

- k_{3Z1} - součinitel prostupu tepla obvodových stěn v suterénu,

Obvodové stěny v suterénu jsou z nelehčených pálených cihel.
$k_{3Z1} = 1{,}2$ W·m^{-2}·K^{-1},

- k_{3Z2} - součinitel prostupu tepla v přízemí a v podkroví,

Obvodové stěny v přízemí a v podkroví jsou z montovaných dílců.
$k_{3Z2} = 0{,}32$ W·m^{-2}·K^{-1},

- k_{3P} - součinitel prostupu tepla sklepní podlahy,

$k_{3P} = 0{,}8$ W·m^{-2}·K^{-1},

- k_{3S} - součinitel prostupu tepla střechy,

Střecha je dvouplášťová strmá.
Složení: sádrokarton, Sarvanap 1000, ORSIL S, TYVEK, otevřená vzduchová vrstva, tašková krytina.
$k_{3S} = 0{,}27$ W·m^{-2}·K^{-1}.

Součinitel prostupu tepla k$_4$ - rozhraní interiéru a obvodového zdiva, sklepní podlahy, střechy.

- k_{4Z1} - součinitel prostupu tepla obvodových stěn v suterénu,

Obvodové stěny v suterénu jsou z nelehčených pálených cihel.
$k_{4Z1} = 1{,}2$ W·m^{-2}·K^{-1},

- k_{4Z2} - součinitel prostupu tepla v přízemí a v podkroví,

Obvodové stěny v přízemí a v podkroví jsou z montovaných dílců.
$k_{4Z2} = 0{,}32$ W·m^{-2}·K^{-1},

- k_{4P} - součinitel prostupu tepla sklepní podlahy,

  $k_{4P} = 0{,}8\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$,

- k_{4S} - součinitel prostupu tepla střechy,

Střecha je dvouplášťová strmá.
Složení: sádrokarton, Sarvanap 1000, ORSIL S, TYVEK, otevřená vzduchová vrstva, tašková krytina.
$k_{4S} = 0{,}27\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$.

Součinitel prostupu tepla $\mathbf{k_5}$ - rozhraní oken, venkovních dveří, balkónových dveří a exteriéru.

- k_{5O} - součinitel prostupu tepla rozhraní oken a exteriéru,

Okna jsou dvojitá dřevěná.
$k_{5O} = 2{,}8\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$,

- k_{5D1} - součinitel prostupu tepla rozhraní venkovních dveří a exteriéru,

Venkovní dveře jsou dřevěné.
$k_{5D1} = 4{,}1\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$,

- k_{5D2} - součinitel prostupu tepla balkónových dveří a exteriéru,

Balkónové dveře jsou jednoduché s dvojitou skleněnou výplní.
$k_{5D2} = 3{,}7\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$.

Součinitel prostupu tepla $\mathbf{k_6}$ - rozhraní interiéru a vnitřního zdiva.

- k_6 - součinitel prostupu tepla rozhraní interiéru a vnitřního zdiva v suterénu,

  $k_6 = 2\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$,

- k_6 - součinitel prostupu tepla rozhraní interiéru a vnitřního zdiva v přízemí a podkroví,

  $k_6 = 0{,}56\ \mathrm{W{\cdot}m^{-2}{\cdot}K^{-1}}$.

8.2.1.3 Vlastní výpočet tepelných vodivostí

Nyní, když máme spočítány jednotlivé přestupní plochy a součinitele přestupu tepla můžeme začít počítat jednotlivé tepelné vodivosti, které použijeme v počítačovém simulačním modelu. Výpočet provedeme podle vztahu (8.24).

V mém modelu potřebuji spočítat tepelné vodivosti G_1, G_2, G_3, G_4, G_5 a G_6. Jejich hodnoty budou zaokrouhlené na celá čísla.

- G_1 - je tepelná vodivost rozhraní otopné vody a radiátoru,

  $$G_1 = \alpha_1 \cdot S_1 = 8150 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}.$$

- G_2 - je tepelná vodivost rozhraní radiátoru a interiéru,

  $$G_2 = \alpha_2 \cdot S_2 = 326 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}.$$

- G_3 - je tepelná vodivost rozhraní interiéru a vnějšího zdiva, podlahy a střechy,

  $$G_3 = G_{3Z} + G_{3P} + G_{3S} = 190 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1},$$

  $G_{3Z} = 73{,}25 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní interiéru a vnějšího zdiva,
  $G_{3P} = 73.38 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní interiéru a sklepní podlahy,
  $G_{3S} = 43{,}36 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní interiéru a střechy.

- G_4 - je tepelná vodivost rozhraní vnějšího zdiva, podlahy, střechy a exteriéru,

  $$G_4 = G_{4Z} + G_{4P} + G_{4S} = 221 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1},$$

  $G_{4Z} = 89{,}38 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní vnějšího zdiva a exteriéru,
  $G_{4P} = 85{,}5 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní sklepní podlahy a exteriéru,
  $G_{4S} = 46{,}17 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní střechy a exteriéru.

- G_5 - je tepelná vodivost rozhraní oken, dveří a exteriéru,

  $$G_5 = G_{5O} + G_{5D} = 79 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1},$$

  $G_{5O} = 65{,}52 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní oken a exteriéru,
  $G_{5D} = 13{,}55 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}$ - je tepelná vodivost rozhraní venkovních dveří, balkónových dveří a exteriéru.

- G_6 - je tepelná vodivost rozhraní interiéru a vnitřního zdiva,

  $$G_6 = 236 \text{ W}\cdot\text{K}^{-1}.$$

8.2.2 Výpočet tepelných kapacit

Tepelnou kapacitou rozumíme schopnost látky akumulovat teplo. Čím větší je tepelná kapacita dané látky, tím více je nutno dodat (odebrat) tepla, aby se její teplota zvýšila (snížila). Tepelnou kapacitu počítáme podle následujícího vztahu:

$$C = m \cdot c = \rho \cdot V \cdot c, \tag{8.27}$$

C - je tepelná kapacita látky [J·K^{-1}],
m - je hmotnost dané látky [kg],
ρ - hustota dané látky [kg·m^{-3}],
V - je objem dané látky [m^3],
c - je měrná tepelná kapacita dané látky [J·kg^{-1}·K^{-1}].

Hodnoty měrné tepelné kapacity **c** a měrné hmotnosti ρ nalezneme v [9].

Pro můj počítačový model potřebuji vypočítat tyto tepelné kapacity:

- C_1 - je tepelná kapacita otopné vody,

  $C_1 = \rho_1 \cdot V_1 \cdot c_1 = 873{,}6$ kJ·K^{-1},

  $\rho_1 = 1000$ kg·m^{-3},
  $V_1 = 0{,}208$ m^3,
  $c_1 = 4{,}2$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

- C_2 - je tepelná kapacita vzduchu interiéru,

  $C_2 = \rho_2 \cdot V_2 \cdot c_2 = 637{,}57$ kJ·K^{-1},

  $\rho_2 = 1{,}166$ kg·m^{-3},
  $V_2 = 541{,}39$ m^3,
  $c_2 = 1{,}01$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

- C_3 - je tepelná kapacita vnějšího zdiva,

  $C_3 = \rho_{3sut} \cdot V_{3sut} \cdot c_{3sut} + \rho_{3priz} \cdot V_{3priz} \cdot c_{3priz} + \rho_{3pod} \cdot V_{3pod} \cdot c_{3pod} = 50456$ kJ·K^{-1},

  $\rho_{3sut} = 1450$ kg·m^{-3},
  $V_{3sut} = 12{,}78$ m^3,
  $c_{3sut} = 0{,}960$ kJ·kg^{-1}·K^{-1},

  $\rho_{3priz} = 2000$ kg·m^{-3},
  $V_{3priz} = 16{,}7$ m^3,
  $c_{3priz} = 0{,}880$ kJ·kg^{-1}·K^{-1},

  $\rho_{3pod} = 2000$ kg·m^{-3},
  $V_{3pod} = 1{,}86$ m^3,
  $c_{3pod} = 0{,}880$ kJ·kg^{-1}·K^{-1}.

- C_4 - je tepelná kapacita vnitřního zdiva,

$$C_4 = \rho_{4sut} \cdot V_{4sut} \cdot c_{4sut} + \rho_{4priz} \cdot V_{4priz} \cdot c_{4priz} + \rho_{4pod} \cdot V_{4pod} \cdot c_{4pod} = 66623\ \mathrm{kJ \cdot K^{-1}},$$

$\rho_{4sut} = 1800\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$,
$V_{4sut} = 14{,}21\ \mathrm{m^3}$,
$c_{sut} = 0{,}880\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$,

$\rho_{4priz} = 1800\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$,
$V_{4priz} = 14{,}66\ \mathrm{m^3}$,
$c_{4priz} = 0{,}880\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$,

$\rho_{4pod} = 1800\ \mathrm{kg \cdot m^{-3}}$,
$V_{4pod} = 13{,}19\ \mathrm{m^3}$,
$c_{4pod} = 0{,}880\ \mathrm{kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}}$.

8.2.3 Simulační počítačový model

Simulační počítačový model vytápěného objektu je na obrázku 8.2. Je navržen pro radiátorovou otopnou soustavu. Model postihuje regulaci teploty při konstantní venkovní a požadované vnitřní teplotě. Ekvitermní regulátor tedy nastaví teplotu otopné vody podle venkovní teploty a regulaci potom provádí dvoupolohový pokojový termostat.

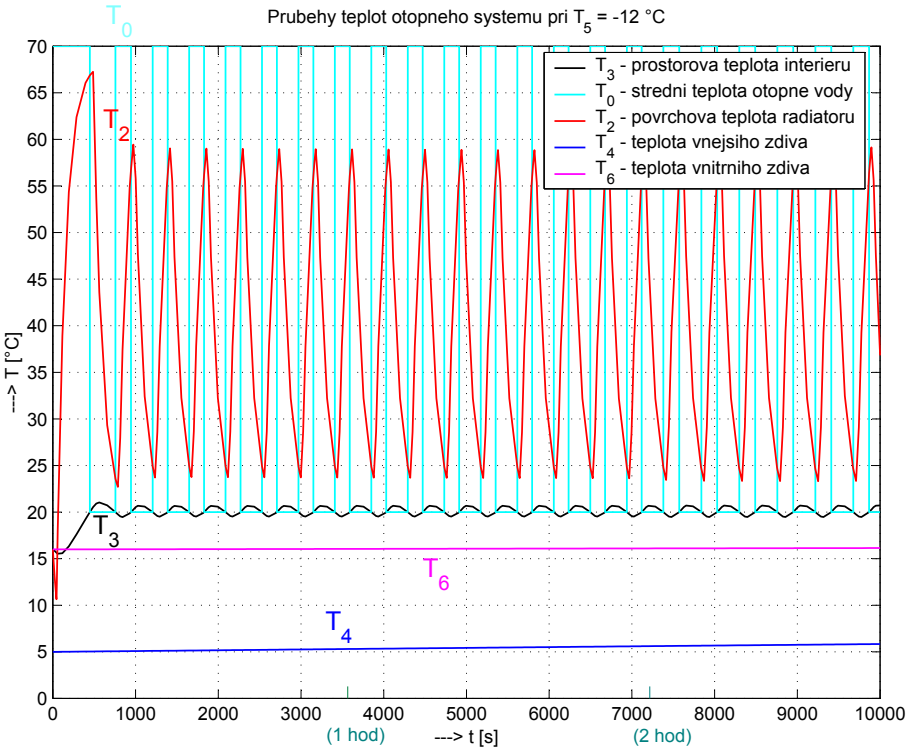
Obrázek 8.2: Simulační model objektu.

Radiátorová otopná soustava:

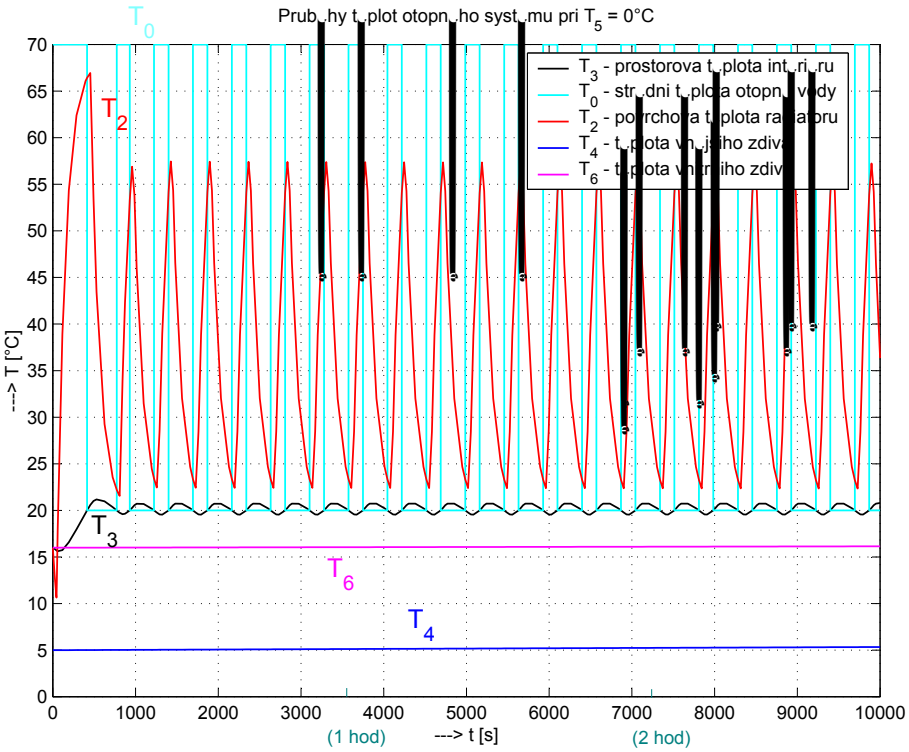
- dopravní zpoždění $T_d = 45$s,

- požadovaná teplota T_{pozad} = 20°C,
- teplota exteriéru T_5 = -12°C,
- teplota otopné vody na výstupu z plynového kotle T_0 = 70°C,
- počáteční teplota radiátorů T_{20} = 16°C,
- počáteční teplota interiéru T_{30} = 16°C,
- počáteční teplota venkovního zdiva T_{40} = 5°C,
- počáteční teplota vnitřního zdiva T_{60} = 16°C.

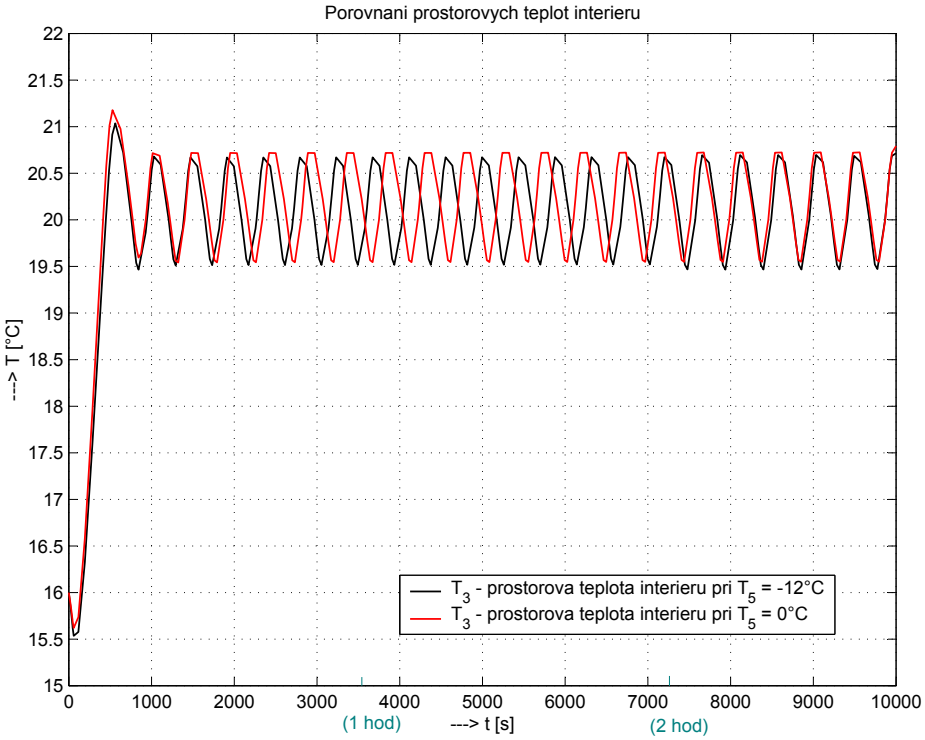
8.3 Výsledky získané na modelu



Obrázek 8.3: Průběhy teplot otopného systému při venkovní teplotě T_5 = -12°C.



Obrázek 8.4: Průběhy teplot otopného systému při venkovní teplotě $T_5 = 0°C$.



Obrázek 8.5: Porovnání prostorové teploty interiéru pro různé venkovní teploty .

Na obrázku 8.3 jsou zobrazeny průběhy teplot radiátorového otopného systému při stálé venkovní teplotě T_5 = -12°C, tedy při teplotě, pro kterou byl celý otopný systém navrhován. Tato výpočtová venkovní teplota odpovídá umístění mnou zvo-

leného objektu v okolí Prahy. Průběh teploty T_0 nás pouze informuje o spouštění plynového kotle. Teplota T_0 mění svůj průběh skokově (dvouúrovňově). Vyšší úroveň odpovídá situaci, kdy je plynový kotel v provozu, kdežto nižší úroveň odpovídá situaci, kdy je plynový kotel v klidu. Teplotní spád jsem zvolil 80/60°C a tudíž střední teplota otopné vody $T_0 = 70°C$.

Na obrázku 8.4 jsou zachyceny průběhy teplot otopného systému při stálé venkovní teplotě $T_5 = 0°C$. Střední teplota otopné vody je nezměněna a je taktéž 70°C.

Nejdůležitější průběhy jsou průběhy prostorových teplot interiéru, proto jsem je vynesl samostatně do jednoho grafu zobrazeného na obrázku 8.5. Černý průběh je prostorová teplota interiéru při stálé venkovní teplotě -12°C a červený průběh je prostorová teplota interiéru při stálé venkovní teplotě 0°C. Z těchto průběhů se dá posoudit dynamika otopné soustavy a kvalita regulace teploty. Je vidět, že pro vyšší venkovní teplotu (pro 0°C) je dynamika otopné soustavy větší. Prostorová teplota interiéru v ustáleném stavu se pohybuje přibližně v rozmezí +/- 0.5°C od požadované teploty interiéru 20°C, což je pro potřeby vytápění rodinného domku plně dostačující.

Matematický model může také sloužit k nastavení ekvitermního regulátoru. Pro dvě různé venkovní teploty dostaneme dvě teploty otopné vody. Takto vzniklé body nám udávají sklon otopné křivky ekvitermního regulátoru. Ukázka otopné křivky ekvitermního regulátoru je na obrázku 4.3.

Kapitola 9

Ekonomický rozbor

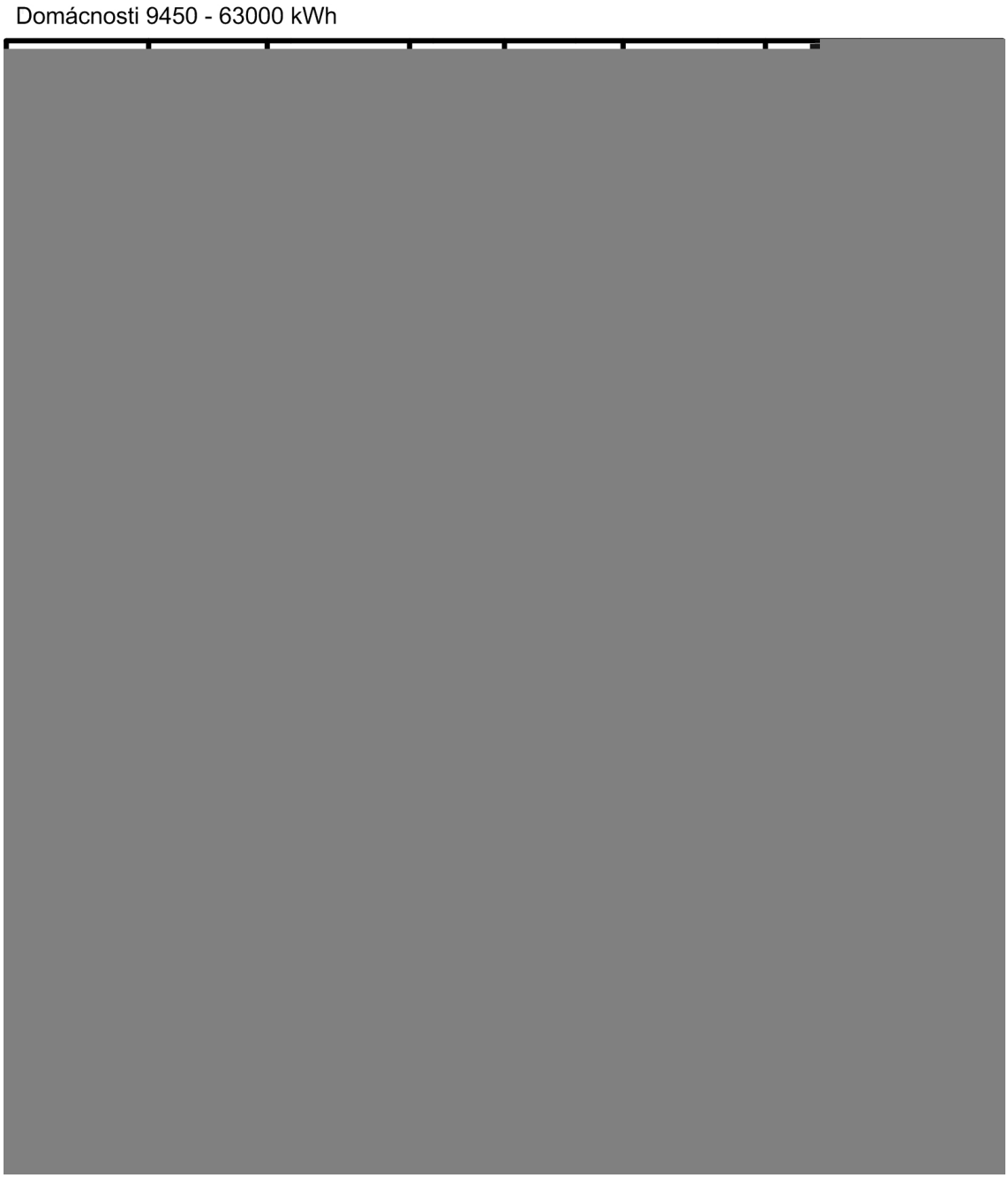
9.1 Porovnání nákladů na vytápění různými druhy energie

Hodnoty v tabulce na obrázku 9.1 a 9.2 jsou spočítány pro uvažovaný vytápěný objekt.

Uvažovaný vytápěný objekt (viz. kapitola 11):

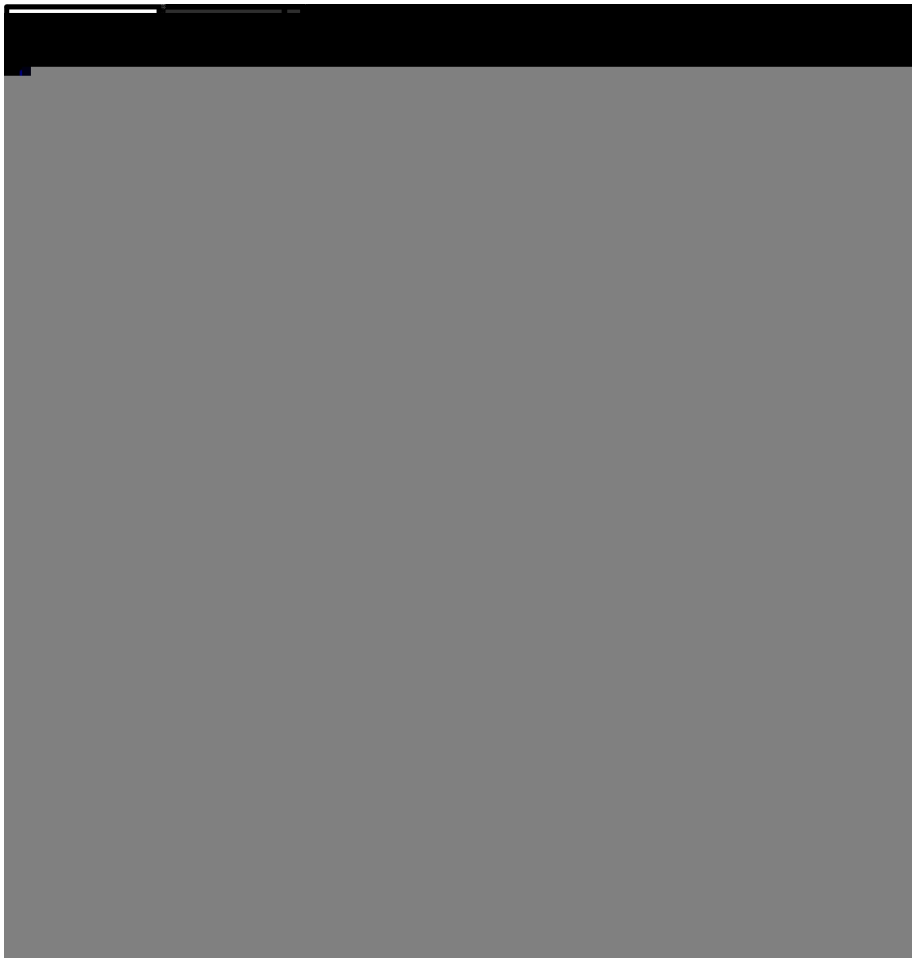
- výpočtová venkovní teplota je -12°C,
- průměrná venkovní teplota v otopném období je 4°C,
- teplota interiéru je 20°C,
- celkové tepelné ztráty objektu jsou 16,3 kW,
- průměrný počet vytápěcích dnů za rok je 216,
- roční spotřeba tepla pro vytápění činí 123 GJ, což odpovídá 34000 kWh.

Ceny paliv v tabulkách na obrázcích 9.1, 9.2 a 9.3 jsou uvedeny včetně DPH.



Obrázek 9.1: Výpočet ceny tepla v palivu.

Obrázek 9.2: Výpočet nákladů na vytápění.



Obrázek 9.3: Porovnání celkových nákladů na vytápění.

Poznámka:
El. akumulace - tarif: D26 jistič nad 3 x 50 A do 3 x 63 A včetně,
El. přímotop - tarif: D45 jistič nad 3 x 25 A do 3 x 32 A včetně,
Tepelné čerpadlo - tarif: D55 jistič nad 3 x 20 A do 3 x 25 A včetně.

Z tabulky na obrázku 9.3 je vidět, že ekonomicky výhodné pro vytápění rodinného domku je použití pevných paliv (dřevo, hnědé a černé uhlí). Tuto výhodu však snižují dodatečné další náklady na odvoz popela, udržování kouřovodů a v neposlední řadě také vyšší pracnost oproti jiným typům vytápění. Nezanedbatelná je také vyšší zátěž pro životní prostředí (zvláště vysoce sirnaté hnědé uhlí pocházející ze Severočeské hnědouhelné pánve).

Nízké náklady na vytápění má také Tepelné čerpadlo, zde ovšem musíme brát v úvahu zatím stále vysoké pořizovací náklady, které brání většímu rozšíření tohoto ekologického způsobu vytápění, který má před sebou velkou budoucnost.

O něco dražší je vytápění pomocí zemního plynu. Zemní plyn je však k dispozici pouze ve větších městech a pro zavedení do dalších míst je třeba značných finančních prostředků. Zatížení životního prostředí je však při použití plynového

vytápění nejmenší ze všech běžně používaných typů. Vytápění pomocí zemního plynu patří také k nejkomfortnějším z hlediska snadné regulovatelnosti.

Vytápění koksem je opět problematické z hlediska zátěže životního prostředí, avšak nesrovnatelně méně než vytápění pomocí hnědého uhlí. Opět se zde vyskytují další dodatečné náklady, podobně jako při vytápění ostatními pevnými palivy.

Na dalším místě v žebříčku ekonomické výhodnosti se nachází vytápění elektrickou energií (akumulační, přímotopné a nebo smíšené vytápění). Vytápění pomocí elektrické energie je považováno za jeden z nejkomfortnějším běžně používaných typů vytápění, a to jak z hlediska dosažené tepelné pohody, tak i z hlediska velmi dobré regulovatelnosti. Nabízí se celá řada tarifů z nichž si může zákazník vybrat.

Ekonomicky nejnáročnějším typem vytápění je vytápění pomocí nejnovějších technologií (Propan - Butan a Ekopetrol - lehký topný olej). U techto technologií jsou také pořizovací náklady několikanásobně vyšší než u běžně používaných typů vytápění.

9.2 Náklady na navržený vytápěcí systém

- **otopná tělesa** - vybral jsem hliníková článková tělesa ***MONDIAL 80***. Radiátory jsou vyráběné tlakovým litím ze slitiny hliníku. Použitý materiál zaručuje vysokou antikorozní odolnost, výborné tepelné vlastnosti, dobrou mechanickou pevnost a nízkou hmotnost. Povrchová úprava dvojitým epoxidovým nátěrem má takřka neomezenou životnost a vynikající vlastnosti,

  Cena jednoho článku M (C).700 je 473 Kč (včtně DPH).

  Potřebuji 94 článků v celkové ceně 44 500 Kč (včetně DPH).

- **plynový kotel** - po vytápění objektu jsem se rozhodl použít kombinovaný závěsný plynový kotel od firmy Junkers, konkrétně typ Junkers ZS 23 KE NOVASTAR, který nabízí výhodný poměr ceny a užitné hodnoty. Tento kotel se vyrabí ve výkonovém rozmezí 8 až 22,6 kW,

  Junkers ZS 23 KE NOVASTAR je nabízen za cenu 28 050 Kč (včetně DPH).

- **solární komplet pro celoroční ohřev TUV** - návrh a použité zařízení viz. kapitola 7.2.3.4,

  Cena solárního kompletu na ohřev TUV je 70 405 Kč (včetně DPH).

Státní fond životního prostředí České republiky poskytuje pro fyzické osoby podporu na ekologicky šetrné způsoby vytápění a ohřev vody pro byty a rodinné domy. U solárních systémů na přitápění a přípravu teplé vody tvoří příspěvek max. 50 % (maximálně však 100 000 Kč).

Při uplatnění státní podpory je cena solárního kompletu 35 202 Kč (včetně DPH).

- **ekvitermní regulátor** - vybral jsem ekvitermní regulátor ELESTA řady *DOMOTESTA 300*, konkrétně typ RDO131A106, který je obsluhován digitálně, přičemž se volba provozního režimu a úprava požadované teploty prostoru děje otočným přepínačem,

Cena ekvitermního regulátoru ELESTA RDO131A106 je 8 397 Kč (včetně DPH).

Celkové náklady na navržený vytápěcí systém jsou tedy **151 352 Kč** (včetně DPH).

Pokud uplatníme státní podporu na solární ohřev TUV budou celkové náklady na navržený vytápěcí systém **116 149** Kč (včetně DPH).

9.2.1 Návratnost nákladů do solárního zařízení na ohřev TUV

Z tabulky na obrazku 7.3 vyplývá, že z celoroční spotřeby energie pro ohřev užitkové vody $365 \cdot 15{,}36 = 5585$ kWh musí být 1929 kWh (34,5%) hrazeno klasickým zdrojem tepla (v mém případě plynovým kotlem). Sluneční kolektory dodají 3656 kWh (65,5%).

Návratnost nákladů do solárního zařízení je vyčíslena v tabulce na obrázku 9.4.

Investiční náklady do solárního zařízení:

Bez podpory SFŽP	**70 405 Kč**

Obrázek 9.4: Návratnost nákladů do solárního zařízení na ohřev TUV.

9.3 Náklady na některé další alternativní způsoby vytápění

Solární panely

RADIX 72-100 - 100 W panel s plochou 0,87 m^2, lze z něho získat ročně 120 kWh tepla. Cena takovéhoto solárního panelu je 20 860 Kč.

Kdybychom si pořídily fotovoltaickou jednotku se jmenovitým výkonem 2 kW, vyrobili bychom ročně 2400 kWh. Takováto jednotka by nás včetně měniče, konstrukce a kabeláže vyšla na zhruba 500 000 Kč. Výkupní cena elektřiny z fotovoltaického systému je 6 Kč/kWh. Pokud by jsme se rozhodli dodávat veškerou získanou energii přímo do sítě tak by naše roční tržba byla 14 400 Kč. Návratnost takovéhoto zařízení je tedy necelých 35 let. Životnost systému se uvádí 20 a více let.

Z této kalkulace vidíme že největší překážkou rozšíření fotovoltaických solárních panelů v ČR jsou vysoké pořizovací náklady a u systémů připojených na síť nízké výkupní ceny elektrické energie.

Tepelná čerpadla

Náklady na vytápění tepelným čerpadlem uvedu na příkladě rodinného domku s tepelnou ztrátou 14 kW. Orientační investiční náklady na tepelné čerpadlo jsou vypsány v tabulce na obrázku 9.5.

Technické řešení: Dům je vytápěn tepelným čerpadlem IVT Greenline C 7 o výkonu 7,6 kW. Tepelné čerpadlo je doplněno vestavěným elektrokotlem o volitelném výkonu 3, 6 nebo 9 kW. Elektrokotel pomáhá tepelnému čerpadlu s vytápěním v období s extrémně nízkými venkovními teplotami a zároveň funguje jako záloha pro případ výpadku tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo je řízeno ekvitermní regulací REGO 600 a vytápí objekt v závislosti na venkovní teplotě. V případě potřeby tepelné čerpadlo prioritně ohřívá vodu ve vestavěném měděném nebo nerezovém bojleru. Tepelné čerpadlo IVT Greenline C7 je v kompaktním provedení včetně elektrokotle, bojleru, oběhových čerpadel a dalších armatur, takže zabírá v objektu minimum prostoru. Zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo je vrt nebo plošný kolektor, případně spodní voda.

Obrázek 9.5: Orientační investiční náklady na tepelné čerpadlo.

Kapitola 10

Závěr

Úkolem této diplomové práce bylo navrhnout kombinovaný vytápěcí systém, vytvořit počítačový model otopného systému, provést ekonomický rozbor pro navržený systém a porovnat náklady na vytápění různými druhy energie.

Veškerý návrh a výpočty jsem prováděl pro klasický typ rodinného domku pod označením Styl TL - 42, tento domek vyrábí a dodává firma Dřevostyl Nové Strašecí. Předpokládané umístění domku je v některé z okrajových částí Prahy, proto i návrh solárního zařízení pro ohřev TUV je proveden pro Prahu.

Pro volbu a návrh kombinovaného vytápěcího systému bylo nutné nejdříve nastudovat možné zdroje tepelné energie a různé způsoby regulace teploty, proto i úvodní kapitoly této práce jsou věnovány tomuto tématu. Při výběru kombinovaného vytápěcího systému jsem vycházel z toho, že má být ekologický a pokud možno ekonomicky příliš nenáročný. Po promyšlení různých variant jsem dospěl k závěru, že tato kriteria splňuje otopný systém, který zahrnuje použití plynového kotle s radiátorovou otopnou soustavou a pro ohřev TUV bude využívat solárního zařízení. Solární zařízení se v našich podmínkách dá s výhodou využít právě k ohřevu TUV nebo pro ohřev vody v bazénu. Pro vytápění se solární zařízení v současné době moc nepoužívá, protože zatím není znám dostatečně efektivní způsob akumulace solární energie.

Další část práce se zabývá tvorbou počítačového simulačního modelu systému pro konkrétní vytápěný objekt. S tím bylo spojeno velké množství výpočtů (tepelných vodivostí, tepelných kapacit, ...). Tyto výpočty spadají do oboru stavebního inženýrství a z toho důvodu bylo nutné nejprve nastudovat základní termomechanické zákony, které jsou uvedeny v kapitolách 5 a 6.

Pomocí simulačního počítačového modelu vytápěného objektu se dají posoudit dynamické vlastnosti použité otopné soustavy, kvalita regulace teploty a zároveň můžeme model použít pro správné nastavení ekvitermního regulátoru teploty. Model otopného systému vytápěného objektu je univerzální, pro objekt můžeme navrhnout jiný otopný systém, např. nízkoteplotní s tepelným čerpadlem a podlahovým vytápěním a potom by se daly jednotlivé otopné soustavy porovnat.

Z ekonomického rozboru v závěru diplomové práce je možné si udělat představu o ekonomické výhodnosti jednotlivých druhů vytápění. Je vidět, že použitím alternativních způsobů vytápění (solární energie, tepelné čerpadlo) se dá z dlouhodobého hlediska ušetřit. Státní fond životního prostředí České republiky poskytuje na tyto

způsoby vytápění státní dotace a tím podporuje jejich rozšíření. Zájem o alternativní způsoby vytápění se v budoucnu jistě ještě zvýší, protože se dá předpokládat, že se cena elektřiny, zemního plynu a dalších klasických zdrojů energie bude stále zvyšovat.

Literatura

[1] M. Lázňovský, M. Kubín, P. Fischer .: *Vytápění rodinných domků*, nakladatelství T. Malina, Praha 1996.

[2] EkoWATT 2003 .: *Obnovitelné zdroje energie*, [cit. 2003-2-20]. <http://www.ekowatt.cz>.

[3] K. Brož .: *Vytápění*, skriptum ČVUT, Vydavatelství ČVUT, 1995.

[4] K. Mrázek, K. Šustr, A. Janouš .: *Moderní vytápění bytů a rodinných domků*, SNTL PRAHA, 1986.

[5] J. John .: *Systémy a řízení*, skriptum FEL ČVUT, Vydavatelství ČVUT, 1998.

[6] J. Cikhart .: *Měření a regulace ve vytápění*, SNTL PRAHA, 1984.

[7] J. Bašta .: *Regulace vytápění*, skriptum ČVUT, Vydavatelství ČVUT, 2002.

[8] V. Jelínek a kolektiv .: *Technické zařízení budov II - vytápění - přednášky*, skriptum ČVUT, Vydavatelství ČVUT, 1993.

[9] J. Cihelka a kolektiv .: *Vytápění,větrání a klimatizace*, SNTL PRAHA, 1985.

[10] K. Papež a kolektiv .: *Technická zařízení budov II - vytápění - cvičení*, skriptim ČVUT, Vydavatelství ČVUT, 1996.

[11] J. Cihelka .: *Sluneční vytápěcí systémy*, SNTL PRAHA, 1984.

[12] K. Laboutka, L. Michalička, M. Ogoun, V. Šmíd .: *Využití sluneční energie*, Studijní texty, PRAHA, 1983.

Kapitola 11

Příloha

11.1 Podklady pro výpočet hodnot do matematického modelu

11.1.1 Rodinný domek STYL TL - 42

Jako podklad pro praktickou aplikaci veškerých výpočtů a schémat jsem si zvolil klasický typ rodinného domku pod označením TL - 42, výrobce a dodavatel firma Dřevostyl, Nové strašecí, okres Rakovník, o zastavěné ploše 110,5 m^2, obytná plocha je 128.6 m^2.

Rodinný domek TL -42 je navrhován jako volně stojící stavba s podsklepením a se samostatným podkrovím. Spodní stavba se skládá s prefabrikované dřevěné konstrukce, kde hlavní nosnou konstrukci tvoří ocelová konstrukce zakotvená do spodní stavby. Zastřešení je provedeno dřevěnými sedlovými vazníky hambálkové soustavy. Rodinný domek je určen pro venkovskou případně příměstskou zástavbu, především pro rovinné staveniště. Domek pro čtyř až pětičlenou rodinu, je uvažován pro teplotní pásmo do -15°C a do nadmořské výšky 600 m.

Suterén (1. podzemní podlaží) je navrhován v tradiční stavební technologii, prováděné přímo na stavbě. Svislé nosné obvodové konstrukce a příčky včetně komínového zdiva jsou navrženy z cihel pálených, nelehčených. Konstrukce přízemí a podkroví se skládá z lehce montovatelných dílců. Tyto jsou vyrobeny ze dřeva a z materiálu na bázi dřeva. Vrchní stavba dřevokonstrukce se montuje na ukončenou desku spodní stavby, kde jsou předem zabetonovány kotevní šrouby a jsou vytvořena lůžka pro osazení a zakotvení sloupců oelové konstrukce. Vnější a příčkové stěny včetně podkroví jsou z nenosných panelů. strop nad suterénem tvoří železobetonová deska, nebo keramické stropní desky HURDIS, vkládané mezi ocelové nosníky. Stropní konstrukci nad přízemím tvoří spodní pasy střešních vazníků, na kterých je připevněn stropní podhled a na něm je uložena tepelná izolace. Na horní straně pasů je podlaha podkroví. Střešní plášť tvoří bednění a izolační lepenka, vlastní krytina je podle přání zákazníka (v mém případě jsou to tašky).

Okna jsou dřevěná, zdvojená. Vnější povrch stěn tvoří obkladové dřevotřískové desky, opatřené nátěrem nebo stěrkovou omítkou. Spáry mezi deskami jsou kryty Al lištou.

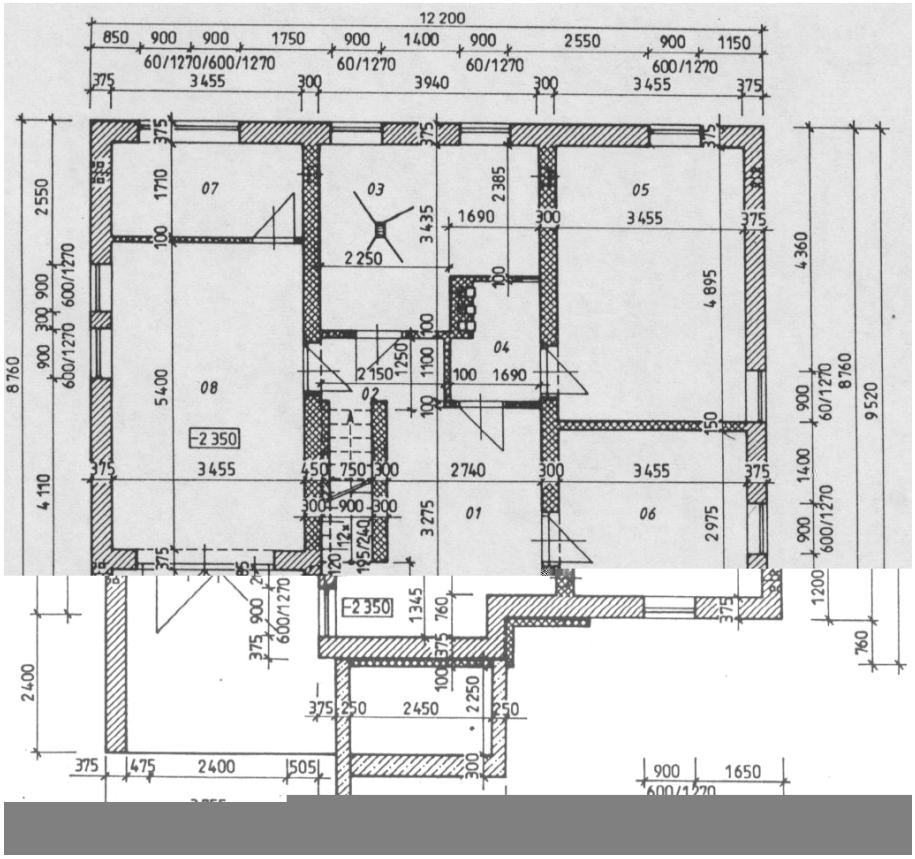
Tepelně technické vlastnosti stavebních konstrukcí rodinného domku odpovídají současným normovým požadavkům dle ČSN 730540/1994 Tepelná ochrana budov, výrobcem jsou uváděný tyto hodnoty:

Vnější obvodová stěna (panel) tl. 187 mm.
- tepelný odpor R = 3,05 (m^2·K/W),
- součinitel prostupu tepla k = 0,32 (W/(m^2·K)),
- teplotní útlum v = 25,8 (1).

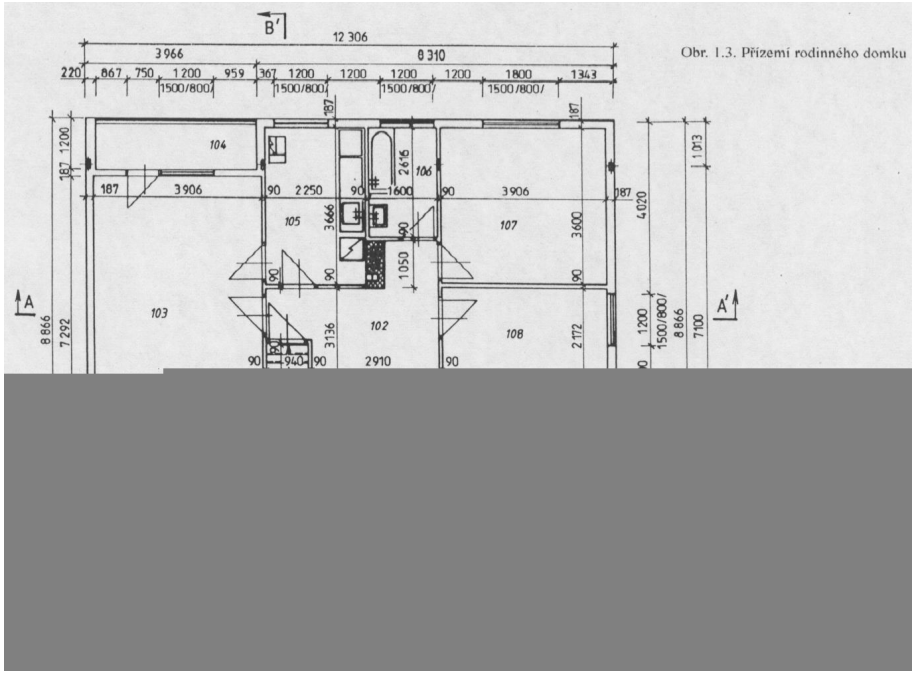
Stropní konstrukce (plášť) tl. 260 mm.
- tepelný odpor R = 2,92 (m^2·K/W),
- součinitel prostupu tepla k = 0,32 (W/(m^2·K)).

Příčkový panel tl. 140 mm.
- tepelný odpor R = 1,81 (m^2·K/W),
- součinitel prostupu tepla k = 0,56 (W/(m^2·K)).

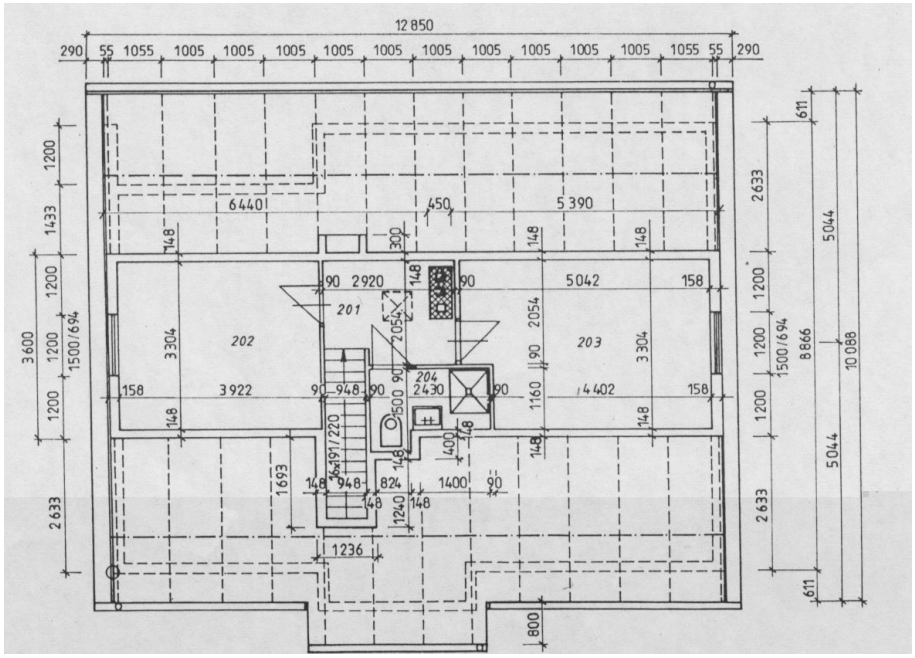
11.1.1.1 Stavební plánky pro rodinný domek STYL TL - 42



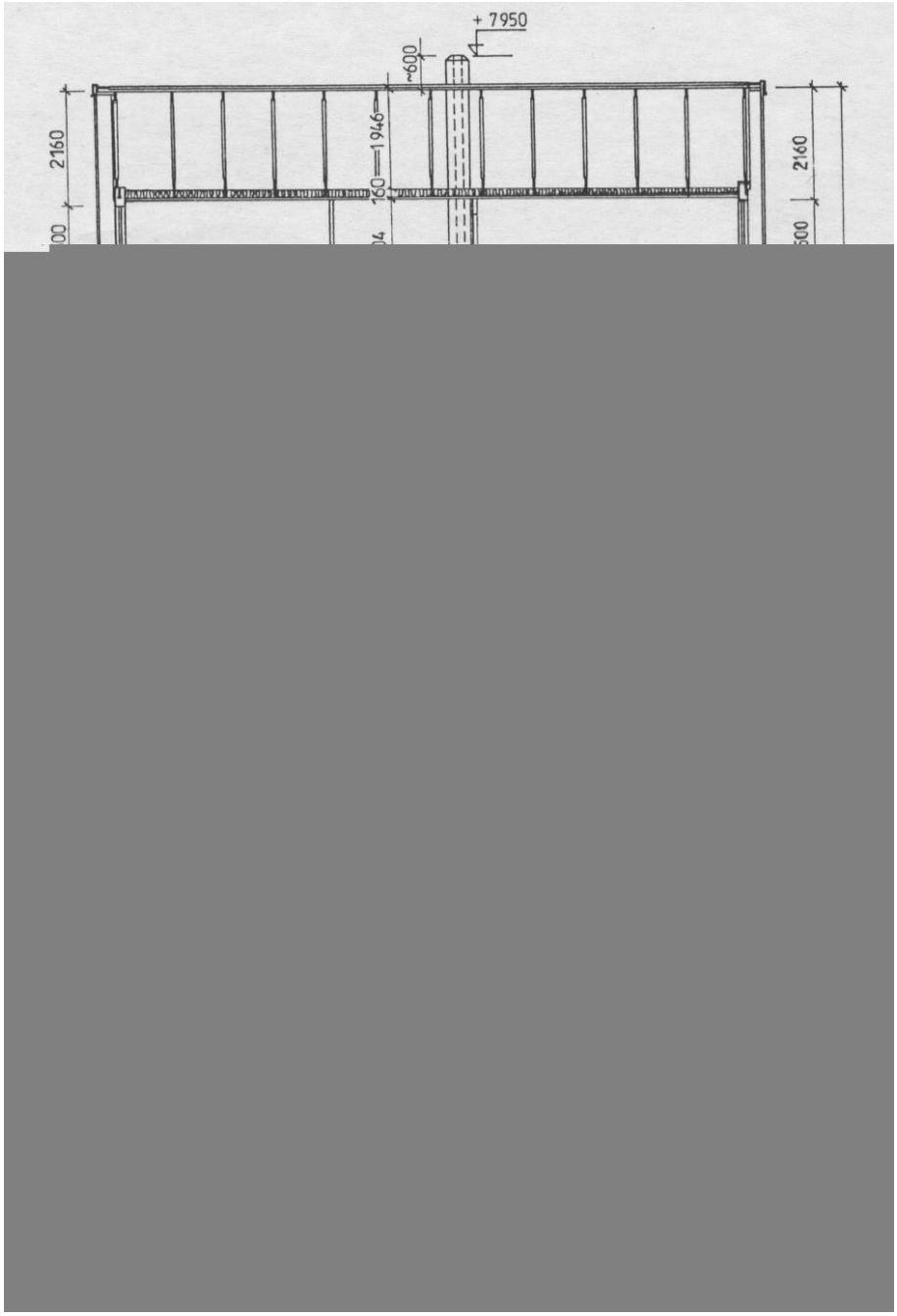
Obrázek 11.1: Suterén rodinného domku.



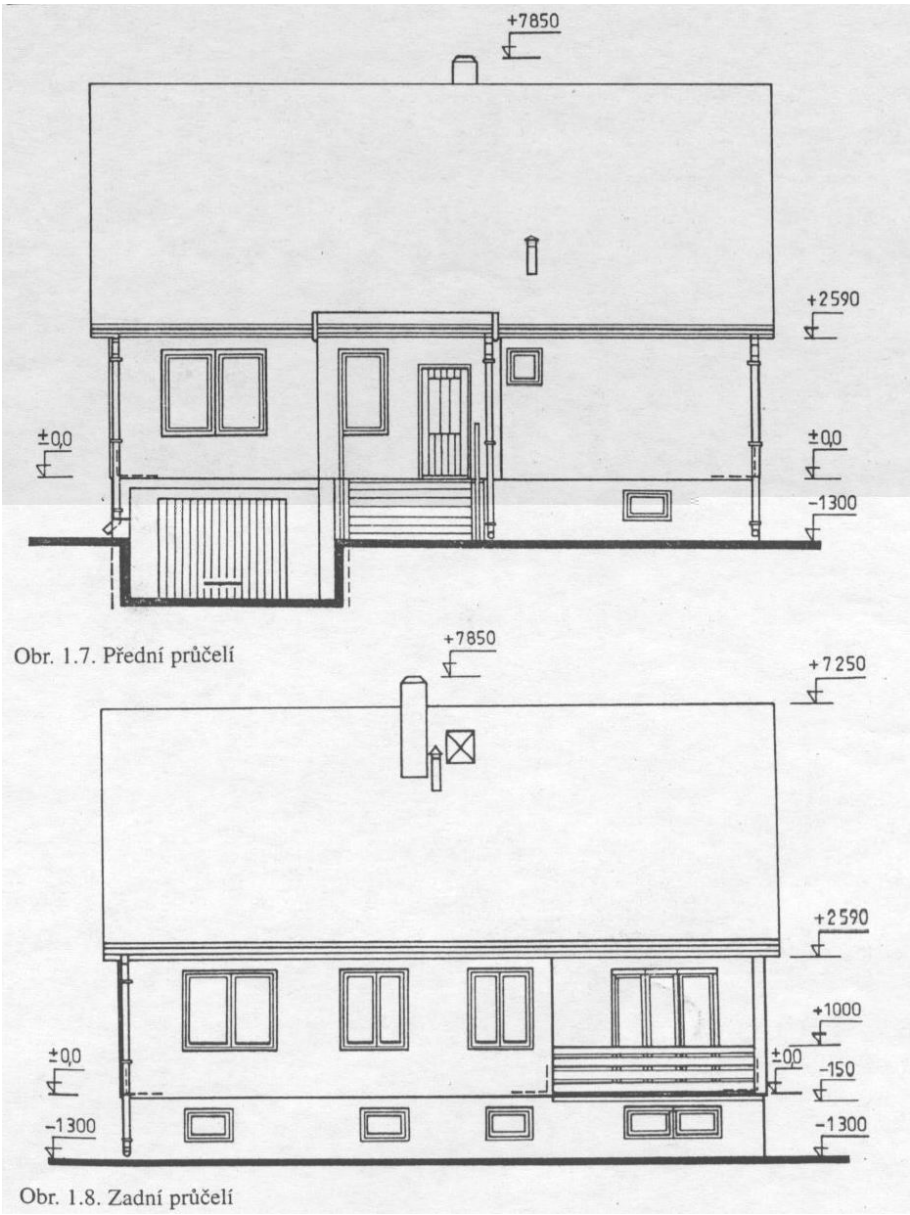
Obrázek 11.2: Přízemí rodinného domku.



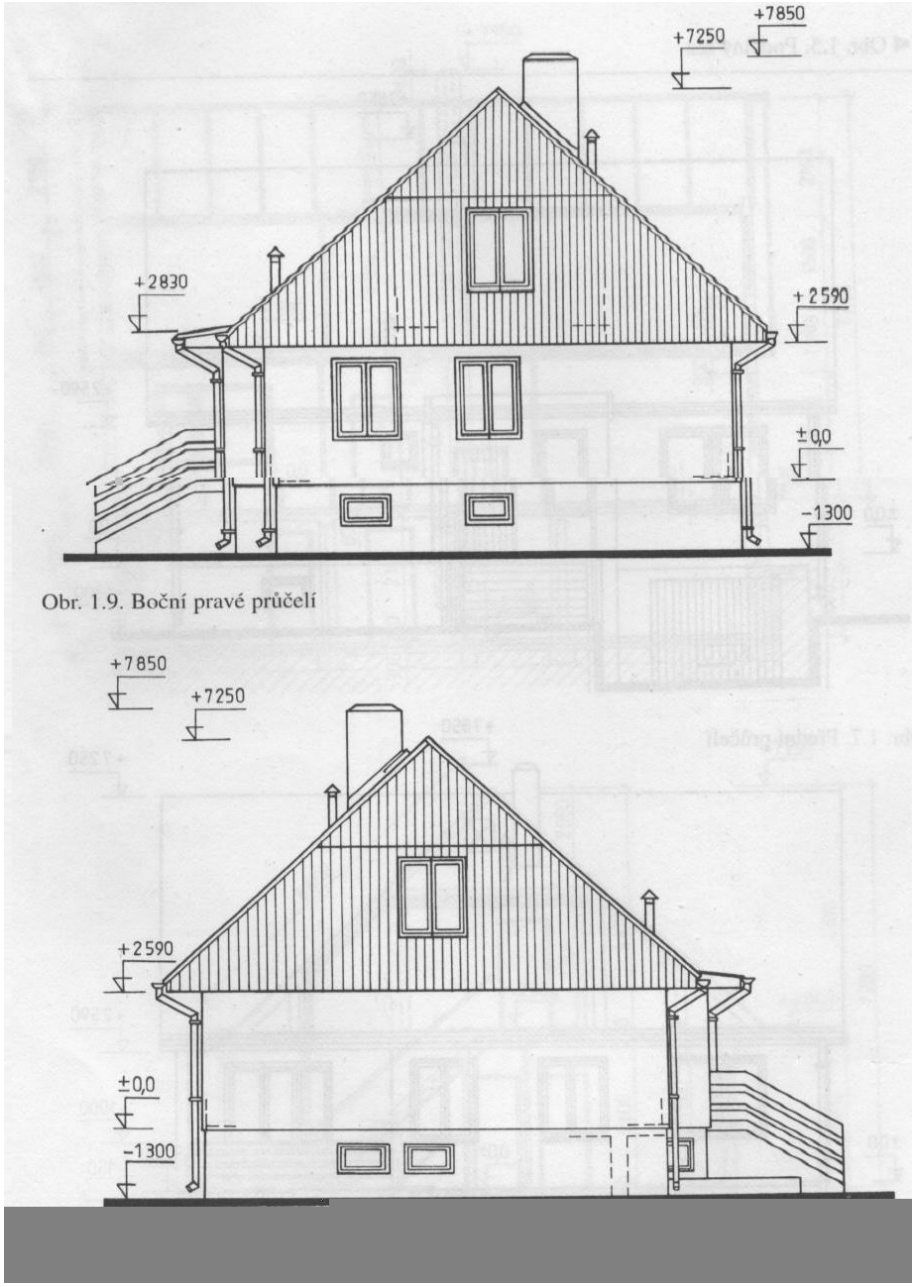
Obrázek 11.3: Podkroví rodinného domku.



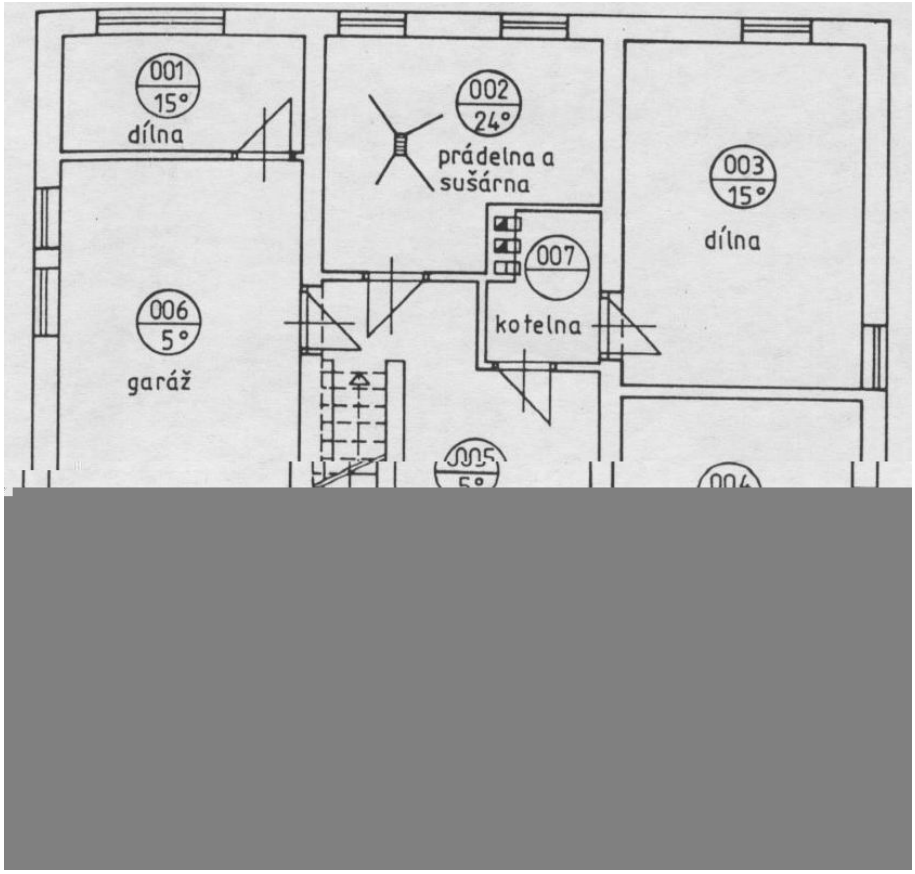
Obrázek 11.4: Podélný a příčný řez rodinného domku.



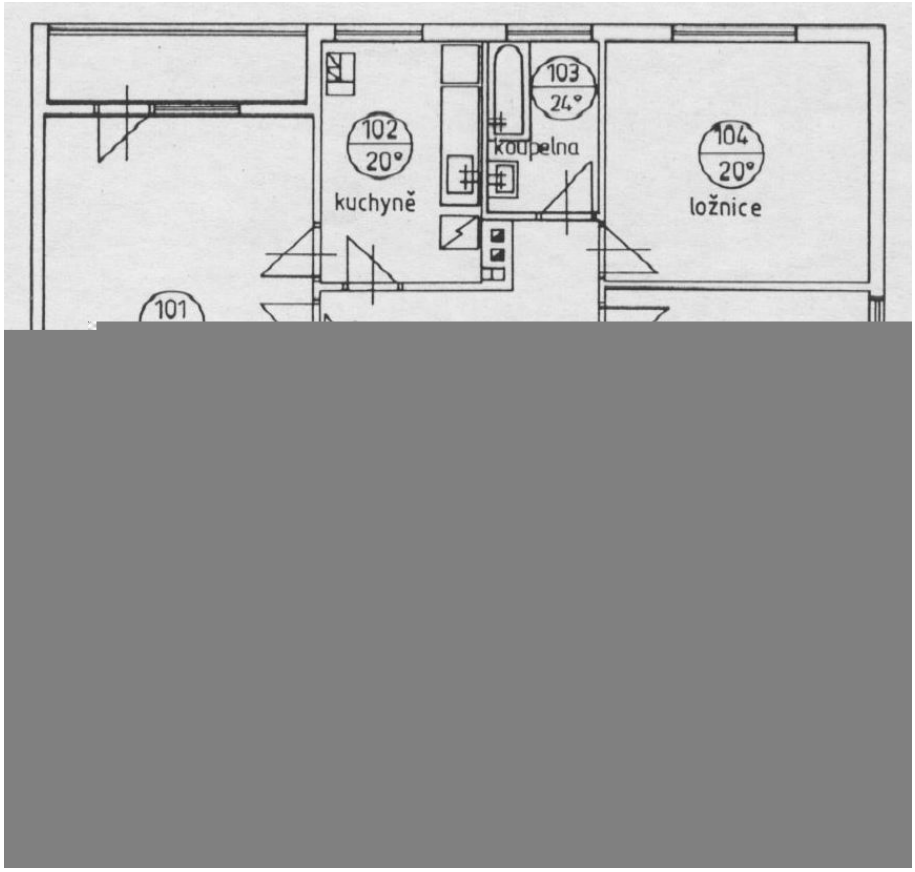
Obrázek 11.5: Přední a zadní průčelí rodinného domku.



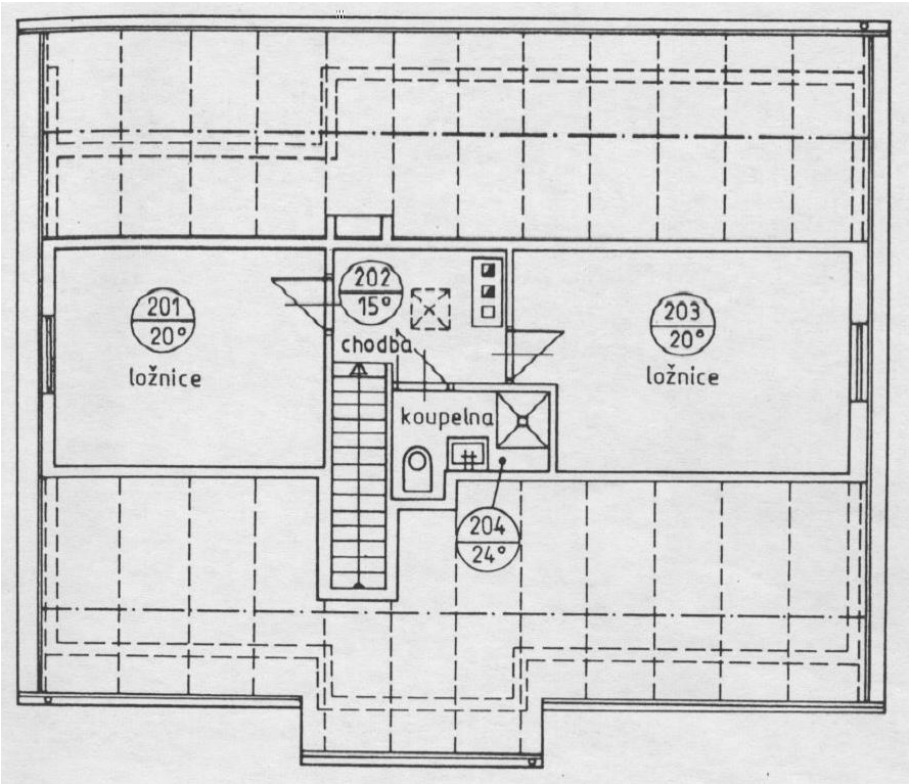
Obrázek 11.6: Pravé a levé boční průčelí rodinného domku.



Obrázek 11.7: Suterén rodinného domku pro výpočet tepelných ztrát.

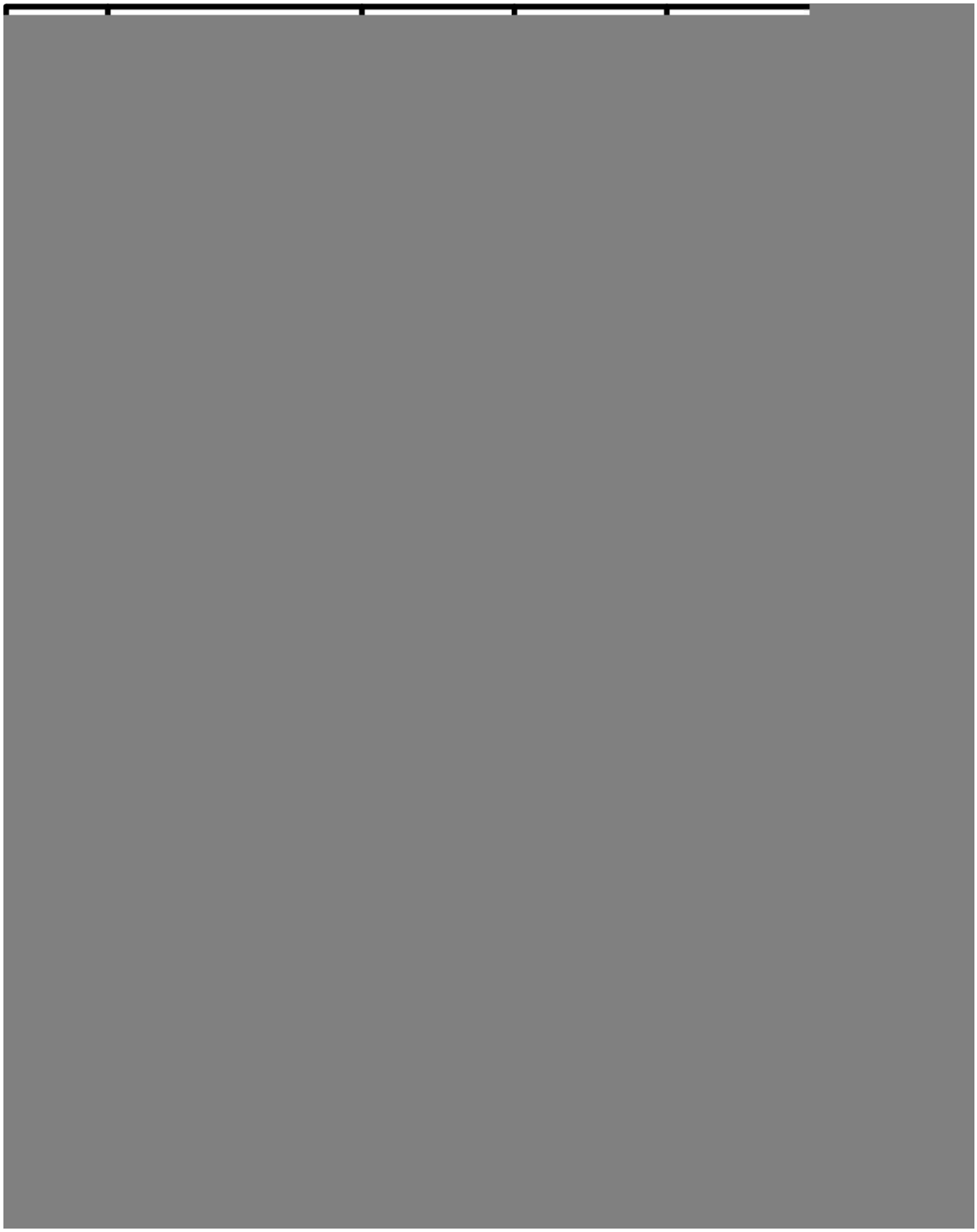


Obrázek 11.8: Půdorys přízemí rodinného domku pro výpočet tepelných ztrát.



Obrázek 11.9: Půdorys patra rodinného domku pro výpočet tepelných ztrát.

11.1.1.2 Tepelné ztráty objektu



Obrázek 11.10: Celkové sestavení tepelných ztrát podle místností.

	Rozdělění na	Bez přirážek	S přirážkami	Podíl
			p = 1,26	(%)

Obrázek 11.11: Podíl jednotlivých tepelných ztrát rodinného domku.

11.2 Příloha: CD-ROM

Obsah CD-ROM

CD-ROM obsahuje následující data v těchto adresářích:

- **Diplomka:** V tomto adresáři se nacházejí zdrojové texty této diplomové práce, použité obrázky a výsledný soubor Diplomka.pdf, který vznikl překladem pomocí typografického systému PDFLaTeX.

- **Simulacni_model_objektu:** Tento adresář obsahuje simulační model objektu vytvořený v programu SIMULINK. Dále obsahuje m-file pro výpočet hodnot do simulačního modelu a m-fily pro vykreslení jdnotlivých průběhů.