

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

**FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE**

MODERNÍ METODY REGULACE VYTÁPĚNÍ PRO RODINNÉ DOMY

MODERN METHODS OF HEATING FOR FAMILY HOUSES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JIŘÍ BARTUSEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF ŠTĚTINA, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jiří Bartusek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Moderní metody regulace vytápění pro rodinné domy

v anglickém jazyce:

Modern Methods of heating for family houses

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem je porovnat různé typy regulátorů teplených zdrojů (zejména plynových kotlů). Porovnat různé typy možností regulace otopných těles a podlahového vytápění. Řešení vzájemné vazby mezi regulací zdroje a vlastních otopných ploch, tj. komplexní regulace otopné soustavy. V práci by měli být uvedeny i obvyklé ceny jednotlivých prvků regulace

Cíle bakalářské práce:

Přehled a rešerše dostupných regulátorů a ekvitermních regulátorů plynových kotlů. Přehled a rešerše dostupných systémů pro Individual room controls. Přehled systémů komplexní regulace, tzv. inteligentní rodinné domy. Přehled cen a návratnosti jednotlivých systémů. Budoucnost řídicích systému pro rodinné domy.

Seznam odborné literatury:

- [1] Doubrava a kol., Regulace ve vytápění, STP 2007.
- [1] Merz, H., Hansmann, T., Hubner, Ch., Automatizované systémy budov, Grada Publishing 2009
- [2] Wang Shengwei, Intellogent Buidings and Building Automation, Spon Press 2010h
- [3] Engineering Manual of Automatic Control fo Commercial Buildings, Honeywell
- [4] Sinopoli James, Smart Building System for Architects, Owners, and Builders, Elsevier 2010

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/12.

V Brně, dne 19.11.2011





doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

Abstrakt

Tato bakalářská práce pojednává o moderních způsobech regulace ve vytápění se zaměřením především na vytápění teplovodní, které má v dnešní době stále nejrozšířenější zastoupení. Cílem této práce je popsat jednotlivé metody regulace, ukázat na nich specifické vlastnosti, jejich uplatnění v praxi, výhody a nevýhody. Práce obsahuje cenové srovnání jednotlivých regulačních prvků. Tato práce může rovněž vodítkem pro řadového uživatele při seznámení se s možnostmi regulace a výběru optimální varianty vzhledem ke komfortu bydlení a nákladům na pořízení a instalaci. Součástí práce je také zpracován konkrétní návrh, který se zabývá výběrem regulačních prvků pro otopnou soustavu. V tomto příkladě jsou řešena jak stránka efektivnosti, tak stránka nákladů.

Abstract

This thesis is dealing with the modern methods of control in heating, focusing especially on hot water heating, which is still the most widely represented method today. The aim of this work is to describe the various methods of control, show specific characteristics and then a practical application in the profession, advantages disadvantages. The work includes a price comparison of the different regulatory elements. This work may also give a guidance to the ordinary user, to familiarize himself with the regulatory options and selecting the optimal alternatives due to the comfort of living and the cost of purchase and installation. The work also contains a specific concept, which deals with the selection of control devices for heating system. In this example efficiency and costs are being solved.

Klíčová slova

Regulace vytápění, ekvitermní regulace, regulace podle vnitřní teploty, regulace zdroje, regulace otopných těles, zónová regulace, IRC, termopohon, servopohon, termostat

Keywords

Heating control, ekviterm control, source control, regulation of radiators, zone control, IRC, actuator, the electro-thermal relay, thermostat

Bibliografická citace

BARTUSEK, Jiří. *Moderní metody regulace vytápění pro rodinné domy: Bakalářská práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 54 s. Vedoucí práce doc. Ing. Josef Štětina, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího bakalářské práce doc. Ing. Josefa Štětiny Ph.D. a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 20. května 2012

.....
Jiří Bartusek

Poděkování

Děkuji tímto doc. Ing. Josefu Štětinovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce.

1 ÚVOD	13
1.1 OBEČNÁ CHARAKTERISTIKA.....	13
1.2 CÍLE PRÁCE	13
2 ÚVODNÍ POJMY	14
2.1 CO JE TO REGULACE VYTÁPĚNÍ.....	14
2.2 HLAVNÍMI DŮVODY REGULACE VYTÁPĚNÍ.....	14
2.3 HISTORICKÝ VÝVOJ REGULACE	15
2.4 REGULOVANÁ SOUSTAVA	15
2.5 REGULÁTORY.....	15
3 VYTÁPĚNÍ DLE TEPLONOSNÉ LÁTKY	17
3.1 TEPLOVODNÍ.....	17
3.2 TEPLOVZDUŠNÉ	17
3.3 HORKOVODNÍ.....	17
3.4 PARNÍ	17
3.5 ELEKTRICKÉ	17
4 REGULACE CENTRÁLNÍHO TEPELNÉHO ZDROJE	18
4.1 REGULACE PODLE VNITŘNÍ TEPLoty POKOJOVÝM TERMOSTATEM	19
4.2 EKVITERMNÍ REGULACE	22
5 REGULACE OTOPNÝCH TĚLES.....	26
5.1 RUČNÍ REGULACE.....	27
5.2 REGULACE TERMOSTATICKÝMI HLAVICEMI	27
5.3 ELEKTRICKÁ REGULACE TERMOPOHONEM.....	30
5.4 ELEKTRICKÁ REGULACE SERVOPOHONEM.....	31
6 REGULACE VELKOPLOŠNÉHO VYTÁPĚNÍ	33
6.1 REGULACE PODLE VNITŘNÍ TEPLoty	34
6.2 REGULACE PODLE VENKOVNÍHO VZDUCHU	34
6.3 REGULACE SE ZPĚTNOU VAZBOU NA VNITŘNÍ TEPLoty.....	34
7 KOMBINOVANÁ (KOMPLEXNÍ) REGULACE.....	36
7.1 REGULACE JEDNOTLIVÝCH VĚTVÍ	36
7.2 EKVITERMNÍ VYTÁPĚNÍ S TERMOSTATICKÝMI HLAVICEMI	36
7.3 PODLAHOVÉ VYTÁPĚNÍ S OTOPNÝMI TĚLESY	36
7.4 REGULACE S VYUŽITÍM AKUMULAČNÍ NÁDRŽE	36
7.5 REGULACE VÍCE TEPELNÝCH ZDROJŮ	37
8 INDIVIDUÁLNÍ REGULACE JEDNOTLIVÝCH POKOJŮ	39
8.1 REGULACE PODLE VNITŘNÍ TEPLoty	39
8.2 REGULACE PODLE VNĚJŠÍ TEPLoty.....	41
8.3 SOUHRNNÉ VLASTNOSTI A SPECIFIKA	41
8.4 NÁVRH KONKRÉTNÍHO SYSTÉMU	42
9 INTELIGENTNÍ DOMY	45
9.1 POPIS VYUŽITÝCH PRVKŮ V REGULACI	45
9.2 OVLADATELNOST A DESIGN REGULAČNÍCH PRVKŮ	48

10 ZÁVĚR	49
10.1 OBECNÉ POZNATKY.....	49
10.2 PRAKTICKÉ POZNATKY.....	49
10.3 OSOBNÍ PŘÍNOS	49
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	50
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	53
SEZNAM PŘÍLOH	54

1 Úvod

1.1 Obecná charakteristika

Vytápění obytných prostor je nezbytnou součástí života člověka již od nepaměti. Se zvyšujícími se nároky na životní úroveň roste i spotřeba energie. Snahou uživatele je dosáhnout co nejvyššího komfortu z hlediska regulace ve vytápění, tepelné pohody a bezúdržbovosti systému. Dalším podstatným úkolem regulace je co největší úspora paliv a jejich maximální energetické využití především v době prudce rostoucích cen (obr. 1), úbytku veškerých nerostných surovin a politické nestability, která má za následek nerovnoměrnou distribuci paliv.

S nástupem a miniaturizací elektronických zařízení došlo k rapidnímu rozvoji této tematiky a masové aplikaci do většiny domácností.

Moderní trendy pokračují ještě dál a mimo regulaci vytápění zahrnují regulaci a kontrolu nad celým domem a sjednocují je do jednoho kompaktního systému.

1.2 Cíle práce

- Popsat jednotlivé principy metod regulací na konkrétních typech regulátorů a ukázat praktické poznatky získané vlastní zkušeností, nebo na základě konzultací s jinými uživateli a projektanty
- U jednotlivých typů regulací uvést cenové srovnání
- Zpracovat tuto práci jako možné vodítko pro výběr konkrétního systému regulace pro individuálního uživatele
- Vytvořit konkrétní návrh regulace na vybrané otopné soustavě

2 Úvodní pojmy

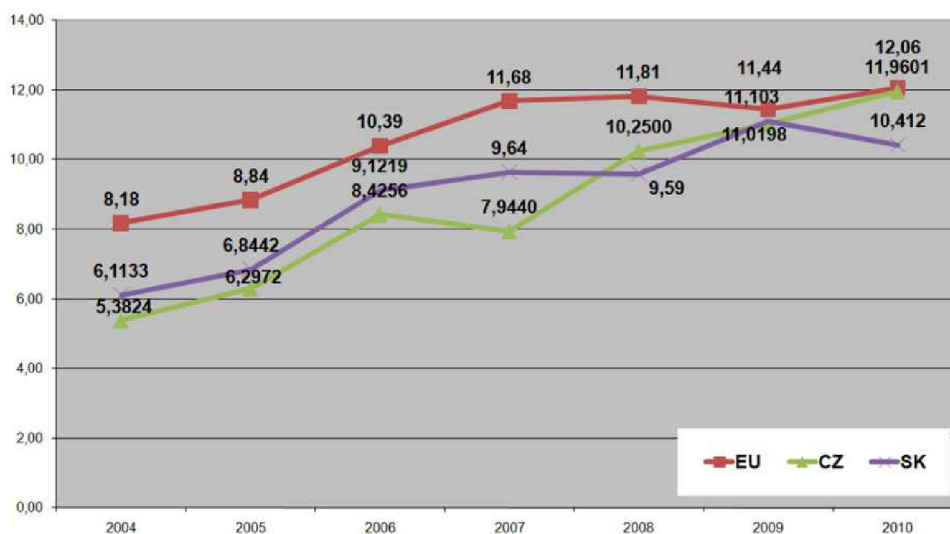
2.1 Co je to regulace vytápění

Regulace vytápění je proces, při kterém dochází k přizpůsobení výkonu otopné soustavy v čase v závislosti na aktuálních podmínkách. Tento děj probíhá za pomoci regulačních prvků (regulátory otopných těles, čidla, armatury apod.). Souhrnně se tyto systémy nazývají technické zařízení budov (TZB). [1, 15]

2.2 Hlavními důvody regulace vytápění

S důvody regulace jsou úzce spojeny i hlavní výhody.

- **Teplotní pohoda** – příjemný pocitový vjem teploty v obytné místnosti, obvyklé rozmezí denních teplot činí 20 – 22 °C, přičemž se jedná o individuální hodnotu každého uživatele, při které nepocituje ani chlad ani nadměrnou horkost a nedochází k podchlazování a přehřívání žádné tělesné části.
- **Úspora tepelné energie a finančních nákladů** (obr. 1) – omezení výkonu otopné soustavy v časových intervalech nevyužívání daných místností, čímž vzniká větší úspora paliv.
- **Komfort uživatele** – snaha o co největší automatizaci systému a minimum zásahů do regulace v průběhu času s minimem starostí.



Obr. 1 Růst ceny zemního plynu v závislosti na čase [11]

Nutností, proč dochází k regulaci, je i skutečnost, že soustava je navrhovaná na nejnižší venkovní teplotu, která v dané oblasti nastane (dle normy ČSN EN 12831 pro Ostravský region -15 °C) a její trvání je z hledisk a celého roku zanedbatelné. Jakýmkoliv úpravám či návrhům otopných soustav by měl předcházet výpočet tepelných ztrát konkrétní budovy dle normy ČSN EN 12831. Z toho vyplývá fakt, že otopná soustava je po většinu sezóny předdimenzovaná. [7, 12]

2.3 Historický vývoj regulace

Vývoj regulace se datuje od dávných dob prvních lidí, kteří měli snahu o udržování ohně v ohništích uvnitř i vně obydlí. Ohniště sloužilo rovněž k dobrému osvětlení.

Další zlomovou etapou byl středověk, kde bylo použito pecí a kamen a docházelo opět k ruční regulaci přísunu tuhých paliv. K odvodu a usměrnění zplodin a jisker sloužily komíny. Umístění bylo situováno nejčastěji do rohu místnosti. Za zmínku stojí vytápění teplovzdušní (tzv. hypocaustum), kde teplý vzduch byl vytvářen v topeništích pod podlahou místností. Regulace byla taktéž řízena přísunem tuhých paliv do topeniště. Tohoto typu bylo využito především ve velkých stavbách, jako byly kláštery a hrady. [14]

S nástupem průmyslové revoluce docházelo k vývoji nových způsobů vytápění, nastala mechanizace přísunu paliv do kotlů a využívání odpadních zbytků páry z průmyslových zařízení jako teplotnosné médium.

2.4 Regulovaná soustava

Regulovanou soustavu je nazývána ta část zařízení, ve které se uskutečňují regulační pochody. Skládá se ze zdrojů, rozvodů a odběru tepla. Skrz spotřebiče tepla dochází k vytápění místností na požadovaný stav. Rozsah soustavy může být od meziměstské přes objektovou až po bytovou. [1, 15]

2.4.1 Statické a dynamické charakteristiky

Statickými charakteristikami je míněna závislost vstupního a výstupního signálu v ustáleném stavu, které se nemění v průběhu času.

Dynamické vlastnosti charakterizují chování při změnách soustavy v závislosti na čase. Dokáží-li se při vychýlení hodnoty ustálit na nové hodnotě, jsou nazývány jako statické soustavy. Dochází-li při vychýlení k neustálé změně, pak se tedy jedná o astatické soustavy. [1]

2.5 Regulátory

Regulátor slouží k regulaci výkonu tepelného zdroje a proudění teplotnosného média. Realizace typu se volí podle vlastností regulátoru a konkrétních požadavků vytápěného objektu. Konkrétní používané prvky mohou být tvořeny kombinací typů zmíněných v rozdělení (viz. níže).

Dělení regulátorů podle fyzikálního principu:

- **Mechanické** – ukazatel regulované veličiny je mechanicky spojen s akčním členem (prvek schopný využít zpracovanou informaci). Funkce je na principu roztažnosti pevných látek (bimetal).
- **Pneumatické** – velikost akční a regulační veličiny se převádí na pneumatický signál v rozmezí 20 až 100 kPa, využívá se roztažnosti plynů.
- **Hydraulické** – k pohonu akčního členu slouží kapalina řízena tlakem, souvisí s teplotní roztažností popř. špatnou stlačitelností kapalin.
- **Elektrické** – velikost regulační veličiny je převedena na elektrický signál, který řídí akční člen poháněný elektrickým napětím, bimetal může sloužit jako spínací člen obvodu.

Dělení regulátorů podle statických přenosových vlastností:

- **Spojité** – realizace přístroji se spojitými přenosovými vlastnostmi, jedná se o optimální kvalitu regulace.
- **Nespojité** – alespoň jeden z členů regulátoru je nespojitý a bývá obvykle ovládán napěťovými signály.

Dělení regulátorů dle přenosových vlastností:

- **Regulátor typu P** (proporcionální) – okamžitá hodnota výstupní akční veličiny je přímo úměrná vstupní veličině, jedná se o základní typ regulátoru, nevýhodou je nepřesnost regulace.
- **Regulátor typu PI** (proporcionálně integrační) – integrační složka odstraňuje nepřesnost, ale vede k náchylnosti k rozkmitání, tento typ je nejrozšířenější.
- **Regulátor typu PD** (proporcionálně derivační) – využití pro zlepšení dynamických setrvačných vlastností regulačních obvodů.
- **Regulátor typu PID** (proporcionálně integračně derivační) – dochází k odstranění regulační odchylky (nepřesnosti) a zároveň k dobrým dynamickým vlastnostem.
- **Fuzzy regulátor** – plynule říditelný regulátor využívající fuzzy (neurčitou, neostrou) logiku, kde nevystupují pouze hodnoty pravda/nepravda, ale umí pracovat i s hodnotami nacházejícími se mezi těmito tvrzeními. Možnost nastavení pravidel pro vyhodnocování naměřených dat a následný zásah do regulace (např. odstranění krátkodobého vychýlení teploty důsledkem větrání).

3 Vytápění dle teplotnosné látky

Teplotnosná látka je nejčastěji tekutina (voda, pára, vzduch) schopna přenášet teplo. Obecně musí splňovat velké množství požadavků pro danou otopnou soustavu (měrná tepelná kapacita apod.).

Pro ucelení představy bude další dělení a popis zaměřen na realizaci vytápění především pro rodinné domy se zmínkou i o ostatních způsobech přenosu. Podle typu média souvisí míra složitosti regulace. [15]

3.1 Teplovodní

Teplovodnou látkou je teplá voda (pitná či užitková), která proudí v uzavřeném okruhu. Teplota vody dosahuje nejvýše 95 °C. Využití nachází v rodinných domech a v místech, kde je z hygienických důvodů požadována nízká teplota otopných těles. [3] Nevýhodou těchto soustav je usazování vodního kamene v jednotlivých prvcích okruhu, což vede ke snižování vedení tepla. Ohřev vody na požadovanou teplotu se děje v kotli (tepelný zdroj).

3.2 Teplovzdušné

Jedná se o rozvíjející se způsob vytápění v moderních domech s nízkými tepelnými ztrátami. Využití nachází i při vytápění rozlehlých hal. Vzduch je ohříván v centrálním ohříváči nebo nástěnných teplovzdušných soupravách vodou či párou. [3]

3.3 Horkovodní

Jde o vytápění vodou o teplotě okolo 110 °C. Slouží k vytápění větších prostor s menšími požadavky na teplotní pohodu (výrobní haly). [3]

3.4 Parní

V kotli dochází k přeměně vody na páru a její následný rozvod. Výhodou je snadné doplňování otopných těles, nevýhodou špatná regulace a vyšší teplota otopných těles. Realizace je vhodná u přerušovaného provozu vytápění. Nejčastěji se využívá v halách a výrobních závodech (pára je vedlejší produkt pro jiné technologické účely). [3]

3.5 Elektrické

Elektrický proud vytváří teplo svým průchodem přes odporový drát. Velikost tepla je závislá na hodnotách proudu a parametřům odporového drátu.

Druhým aspektem pro volbu média je i množství tepelných ztrát domů. V poslední době lze vidět mnoho novostaveb na principu využití dřeva a kvalitních izolačních materiálů. Mnohé z těchto domů splňují stavebně – energetické předpisy ohledně nízké spotřeby tepla. U těchto domů se volí ve velké míře vytápění teplovzdušné (pasivní domy), kde je dále využita rekuperace odvětrávaného vystupujícího vzduchu.

Možnosti regulace budou v této práci řešeny pro teplovodní vytápění, které je hojně uplatněno v dnešních novostavbách (nízkoenergetických domech).

4 Regulace centrálního tepelného zdroje

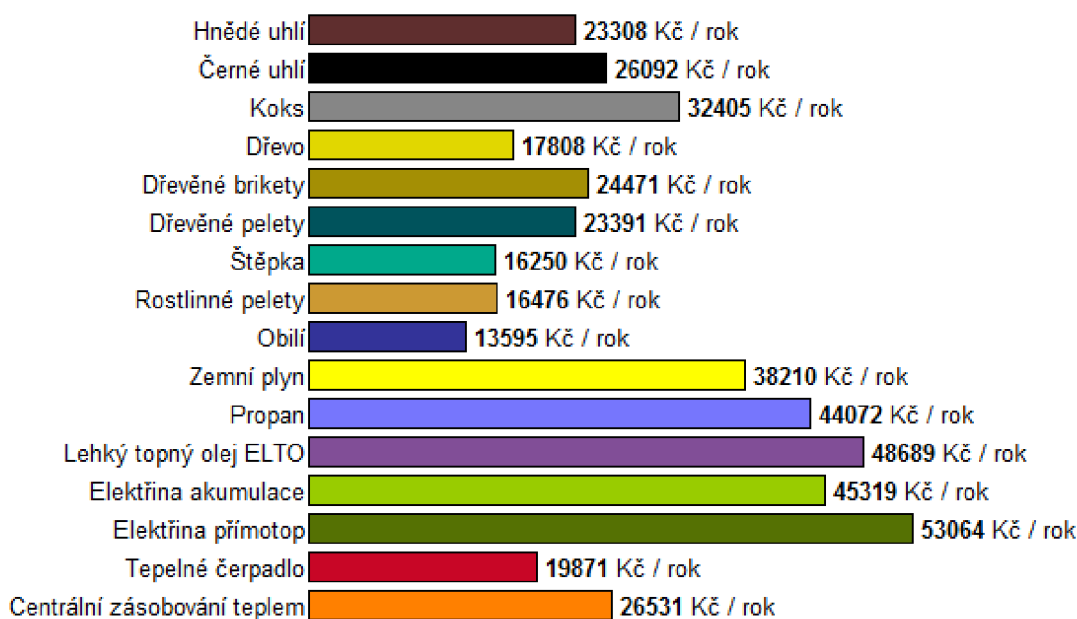
Tepelný zdroj je zařízení, ve kterém probíhá přeměna primární tepelné energie z paliva na energii tepelnou a vytváří teplo pro tepelnou soustavu, které je rozváděno do místa spotřeby. Zdrojem tepla může být kotelná, teplárna, kogenerační zařízení (výroba elektrické energie, kde odpadní produkt je teplo), výměníky tepla, tepelná čerpadla, sluneční kolektory. V kotlích může také docházet k přeměnám energií, např. z elektřiny na teplo. [15] V rodinných domech se lze nejčastěji setkat s kotli, nově i s tepelnými čerpadly a výměníky, u kterých je teplonosnou látkou především voda.

Teplovodní vytápění pracuje u starších objektů se jmenovitými hodnotami vody 90/70°C a mění se závislosti na teplotě venkovního vzduchu. Pod tímto číselným označením je myšlena teplota vystupující (90 °C) a teplota vstupující (70 °C) do tepelného zdroje ochlazená z otopných těles. Tento rozdíl teplot je nazýván teplotní spád. V souvislosti se zvyšování tepelné izolace budov jsou již běžným standardem hodnoty 70/50°C a u nízkoenergetických a pasivních staveb 55/45 °C, což vede ke zvyšování komfortu ve vytápěných místnostech a snižování množství tepelné energie. [1, 3, 15]

Kotle, kde teplonosnou látkou je voda:

- **na tuhá paliva** – spalování dřeva (v minulosti uhlí apod.), nutnost odvodu spalin, dnes na ústupu
- **plynové** – spalování zemního plynu, nutnost odvodu spalin, nejrozšířenější
- **elektrické** – přeměna elektrické energie na tepelnou, jsou bezemisní, nevýhodou jsou však vysoké provozní náklady

Novinkou mezi zdroji je kogenerační plynový kotel schopný vytvářet dostatek elektrické energie pro domácnost. Touto problematikou se zabývá v současné době společnost Viessmann.



Obr. 2 Náklady na vytápění k 1. 1. 2012 [11]

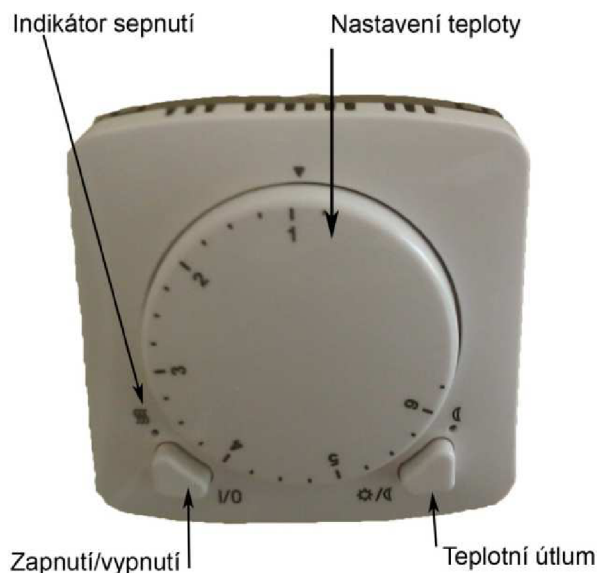
Výkon a množství tepelných zdrojů závisí na velikosti tepelných ztrát projektovaného objektu. Kritérium volby typu zdroje tepla je dostupná palivová základna primárního paliva, volba primárního paliva podle nákladů (obr. 2), typ zdroje a poté použití dalších typu regulačních prvků soustavy. Požadavky na energetickou náročnost technologického procesu jsou co nejmenší s co nejefektivnějším vyžitím primárního paliva. Hospodárnost se odráží na správné volbě zdroje, správně stanoveném výkonu, vhodném výběru regulačních prvků apod. [1]

4.1 Regulace podle vnitřní teploty pokojovým termostatem

Termostat je technické zařízení udržující v uzavřeném prostoru stálou teplotu. Jeho výstup řídí vytápění. Termostaty jsou nejrůznějších konstrukcí od mechanických, elektrických (ovládání potenciometrem - kolečko) až po elektronické.

Při realizaci je zvolena referenční místnost, jejíž průběh vytápění je vybrán jako vztažný a rozhoduje o míře vytápění celého objektu. Do této místnosti se umístí termostat. V rodinném domě se nejčastěji jedná o obývací pokoj. Při dosažení požadované teploty dojde na povel termostatu k vypnutí či útlumu výkonu kotle, po snížení teploty dá termostat impuls k opětovnému zvýšení výkonu. Regulace tedy probíhá na základě vnitřní teploty.

Při poklesu teploty dojde k sepnutí relé, které dá impuls kotli k náběhu. Potenciometrem řídíme okamžik (hodnotu teploty) sepnutí relé. Po dosažení teploty nastane rozpojení a útlum kotle. Starší kotle jsou tedy řízeny dvoupolohově (plně zapnuto / vypnuto). K sepnutí může sloužit také bimetalový spínač. Nevýhodou je udržování teploty po celý den, vznik hystereze a nutnost manuální regulace uživatelem. [1, 8]



Obr. 3 Univerzální termostat ABB (vlastní zpracování)

Dnes nejpoužívanější elektronické termostaty jsou ovládány polovodičovými senzory (čidly), jejichž signál je zesílen a následně zpracováván elektronicky nebo analogově. Čidla jsou například odporové (termistor) nebo napěťové. Elektronika

ovládající spínací relé pracuje se spojitou regulací a minimalizuje hysterezi. Nedílnou součástí je možnost nastavení několika útlumů a náběhů v jednotlivých dnech týdne. Moderní kotle jsou řízeny s proměnlivým výkonem hořáku. Díky snadnější komunikaci mezi kotlem a termostatem dochází k lepším, neefektivnějším průběhům výkonu a úspoře paliva. [12]

Příklad možnosti naprogramování

Cyklus pracovních dnů (obr. 3)

05:30 - sepnutí kotle před probuzením

07:30 - snížení teploty v nepřítomnosti

14:30 - sepnutí v době příchodu

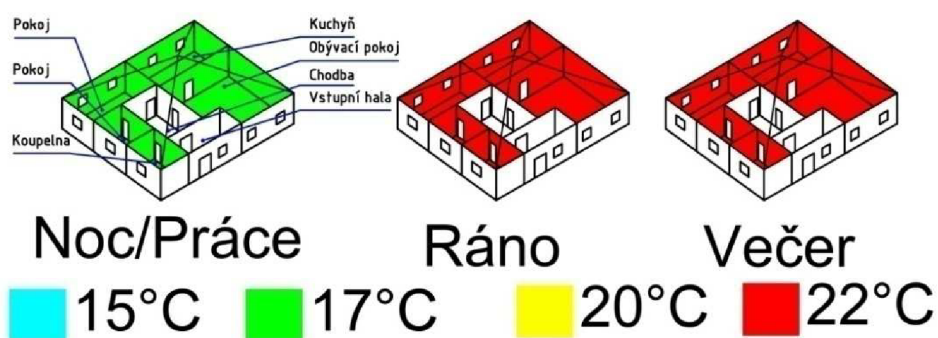
21:00 - noční provoz (snížení teploty)

Cyklus víkend

07:30 - sepnutí kotle před probuzením

teplota konstantní po celý den

22:30 - noční provoz (snížení teploty)



Obr. 4 Schéma teplot při regulaci pokojovým termostatem
(vlastní zpracování dle [12])

4.1.1 Tepelná setrvačnost

Jedná se o schopnost akumulace množství tepelné energie v materiálu (kapacita) a následná zpětná možnost uvolnění v čase. To závisí na objemu vody v otopných tělesech, materiálu popř. provedení otopného tělesa. [1]

4.1.2 Hystereze termostatu

S teplotní setrvačností úzce souvisí hystereze neboli zpoždění systému na regulační zásah termostatu. Jednoduše si lze tuto vlastnost představit, jak dlouho po příkazu termostatu k sepnutí kotle trvá ohřátí dané místnosti a jak dlouho po vypnutí kotle otopná látka zahřívá místnost. V praxi dojde k uzavření ventilu (vypnutí kotle), ale místnost se dále vytápí v důsledku horké vody v radiátoru a při poklesu teploty opět potrvá delší dobu, než se radiátor opět naplní teplou vodou. Výsledkem je silné kolísání teploty kolem nastavené hranice na termostatu. Tento jev umí ve velké míře eliminovat elektronické termostaty typu PI, PID či s fuzzy logikou. [1, 12]

4.1.3 Vybrané prodávané regulátory

Univerzální termostat **ABB 3292A-A10100** (Obr. 3)

Některé z charakteristických vlastností

Teplotní rozsah +13 – +27 °C

Teplotní hystereze ±0,25 °C

Teplotní útlum +2 – +8 °C

Napájecí napětí 230 V

Termostat je určen pro automatickou regulaci teploty v objektech vytápěných plynem, elektrickou energií nebo topnou vodou. Termostat měří teplotu prostoru prostřednictvím vestavěného snímače a porovnává ji s nastavenou hodnotou danou natočením ovládacího kolečka. Je-li měřená teplota nižší / vyšší než teplota nastavená, výstupní relé se zapne / vypne. [18]

Pořizovací cena (včetně DPH): 1 000 – 1 200 Kč

Sedmidenní programovatelný termostat **Honeywell CM907** (Obr. 5)

Některé z charakteristických vlastností

Teplotní rozsah +5 – +35 °C

Teplotní hystereze ±0,5 °C

Řídící funkce PI

Napájení bateriemi AA 2 x 1,5 V

6 nezávislých teplotních nastavení

životnost baterií cca 2 roky

Podsvícený LCD displej, automatická změna mezi letním a zimním časem, vstup pro připojení telefonního terminálu, servisní režim pro detailní nastavení, vstup pro připojení externího teplotního čidla nebo čidla pro venkovní teplotu. [27]

Pořizovací cena (včetně DPH): 2 000 – 2 600 Kč



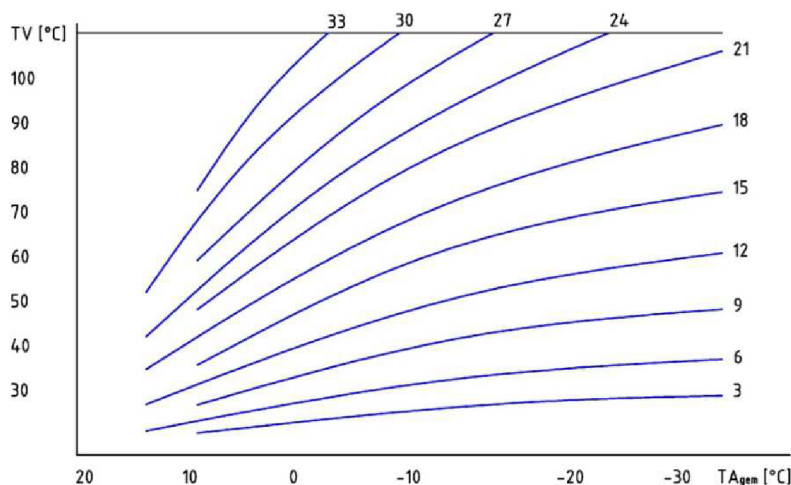
Obr. 5 Programovatelný termostat Honeywell CM907 [27]

4.2 Ekvitermní regulace

U ekvitermní regulace dochází k přizpůsobování teploty otopné vody v závislosti na venkovních podmínkách a potřebách uživatele. Název ekvitermní (ekvi = rovná) je poněkud zavádějící, protože teplota vody nebude v čase konstantní.

Závislost mezi venkovní teplotou a teplotou otopné vody se nazývá otopná (náběhová) křivka (obr. 6). Vyjádření této křivky platí pro jednu hodnotu teploty dané místnosti a je vždy individuální v závislosti na podmínkách vytápěného prostoru (např. teplotní propustnost oken, stěn). Čili křivky jsou paralelně posunuty a každá z nich náleží požadované teplotě v dané místnosti. Tvar křivky odpovídá mocninné funkci s exponentem např. $n=1,3$. Nutností je opět vybrat referenční místnost, kde velikost teploty zjišťuje termostat, kterým uživatel reguluje hodnotu požadované pokojové teploty. K určení venkovní teploty se zavádí teplotní čidlo, kde klíčové je jeho umístění pro přesnost měření - je nutno vyvarovat se přímému oslunění a vlivu větru. Tyto uvedené ekvitermní charakteristiky jsou implementovány v paměti zařízení označovaných jako ekvitermní regulátory, které mohou mít možnost dodatečné korekce tvaru křivky pro lepší průběh teplot. [1, 8, 12]

Teplota přírodní vody se reguluje řízením hořáku (dvupolohově), hovoříme o přímém okruhu. Řízením směšovací armatury (třípolohově) hovoříme o směšovacím okruhu. Tady je teplá přírodní voda smíchána s vodou výstupní a slouží např. při rozdílných typech otopných těles, kde je zapotřebí jiná teplota média. Moderní kotle je možno řídit s variabilním výkonem hořáku (kotel se nemusí zapínat pokaždé na maximální výkon – viz výše). [1, 12]

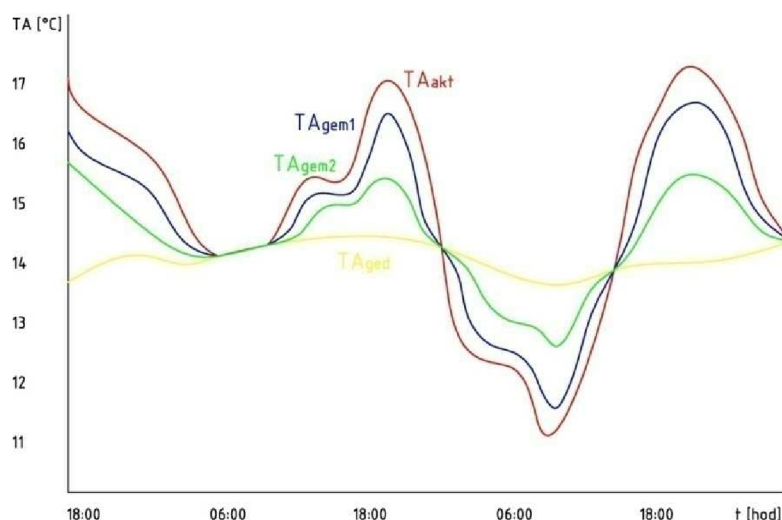


Obr. 6 Ekvitermní křivky pro různé prostorové teploty (vlastní zpracování dle [1])

TV – teplota otopné vody

$T_{A_{gem}}$ – geometrická venkovní teplota

Pro zamezení náchylnosti na krátkodobé aktuální výkyvy venkovní teploty dochází ke korigování na geometrickou venkovní teplotu (obr. 7). Důvodem je zamezení spínání kotle na maximální hodnotu. Tvar křivky geometrické venkovní teploty dále ovlivňuje míra izolace budovy – izolovaná (těžká) a špatně izolovaná (lehká).



Obr. 7 Graf geometrické venkovní teploty (vlastní zpracování dle [1])

TA_{akt} – aktuální venkovní teplota

TA_{ged} – tlumená venkovní teplota

TA_{gem1} – geometrická venkovní teplota pro lehkou budovu

TA_{gem2} – geometrická venkovní teplota pro těžkou budovu

Tyto křivky ovšem nezahrnují vlivy povětrnostních podmínek, které nemalým podílem ovlivňují teplotu v místnosti. Zavádí se tedy další prvek regulace a to zpětná vazba ve formě teplotního čidla kontrolující teplotu ve vytápěném prostoru (ekvitermní regulátor s teplotním čidlem v referenční místnosti). I na jeho umístění by měl být brán zřetel z hlediska oslunění. Toto řešení se ale v praxi moc nevyskytuje z důvodů vyšších cen a složitějších regulátorů.

Ekvitermní typ regulace vytápění je v ČR nejrozšířenější, stejně jako v dalších místech, kde dochází k větším teplotním rozdílům. Důvodem je zejména i to, že je tento typ doporučován výrobcí kotlů. S proměnlivým výkonem hořáku dochází taktéž k větší úspoře a díky snímání venkovní teploty je řídicí jednotka schopna inteligentně řídit jeho výkon. Jeho výhodou je schopnost odhadu trendu venkovních teplot, která má za následek lepší průběh řízení výkonu kotle.

Nejmodernější elektronické termostaty dokážou řídit více celků zároveň. Příkladem je elektronický termostat (obr. 9), schopný řídit vytápění, ohřev teplé užitkové vody (TV) a ohřev TV z alternativních zdrojů jako jsou např. solární trubice.

Ve srovnání s regulací podle vnitřní teploty se rozdíl v úspoře paliv u ekvitermní regulace pohybuje okolo 5 % právě z důvodu „předpovídání“ trendu venkovních teplot.

4.2.1 Nevýhody ekvitermní regulace vytápění

Zásadním problémem je skutečnost, že nelze vytápět místnosti, aniž by nebyla vytápěná referenční místnost. Prakticky to znamená, že např. v rodinném domku s termostatem v obývacím pokoji je nutno tuto místnost vytápět vždy, když je požadavek mít teplo v kterékoliv další místnosti a to i v případě, že obývací pokoj v tomto čase nikdo využívat nebude. [12]

Bude-li při použití ekvitermu a zpětnovazebního teplotního čidla svítit slunce do referenční místnosti, termostat dříve vypne a ostatní (i neosluněné) místnosti budou chladnější, než je obvyklé. Naopak, budou-li osluněny pouze některé jiné místnosti (nikoliv referenční), otopná soustava to nijak nezaznamená a tyto místnosti budou přetápěny. Nelze jednoduše efektivně zabezpečit např. běžnou situaci při ranním vstávání. Požadavkem je zpravidla přiměřeně vytopit koupelnu, kuchyni a jídelnu; je potřeba však (zbytečně) vytápět i obývací pokoj s termostatem a všechny ostatní místnosti. Večer, kdy je využíván především obývací pokoj se zase zbytečně vytápějí zbylé místnosti. [12]

4.2.2 Vybrané prodávané regulátory

Dálkové ovládání topného okruhu **Viessmann Vitotrol 300** (obr. 8)

Některé z charakteristických vlastností

Nastavení časových programů

Řízení až 3 okruhů

Podsvícený grafický displej

Zobrazení venkovních teplot, teplot TV, teploty primárního okruhu solárního ohřevu, doba činnosti hořáku apod.

Tento řídicí prvek slouží nastavování řídicí jednotky, která je zabudovaná v ekvitermním kotli. Čili regulátor je obsažen v kotli a tento prvek je jakýsi interface. Můžeme na něm sledovat a nastavovat veškeré parametry kotle, který se stará o ohřev TV, topného okruhu a řídí čerpadlo pro ohřev (předehřev) TV. [19]

Pořizovací cena (včetně DPH): 3 800 Kč



Obr. 8 Dálkové ovládání Viessmann Vitotrol 300 (vlastní zpracování)

Ekvitermní regulátor **Junkers FW 100** (obr. 9)

Některé z charakteristických vlastností

Teplotní rozsah +5 – +35 °C

Možnost instalace na stěnu
i vestavba do kotle

Snadná údržba díky systému hlášení
poruch

Pro kotle s řídicí jednotkou Bosch

Možnost připojení regulaci solárního
okruhu

Klasický typ moderního regulátoru obsahující veškeré funkce určené pro komfort
uživatele (párty mód, přednastavené programy teplot apod.). [22]

Pořizovací cena (včetně DPH): 5 988 Kč



Obr. 9 Ekvitermní regulátor Junkers FW 100 [22]

5 Regulace otopných těles

Otopné těleso je nejčastěji kovový prvek umístěný v místnosti schopný předávat tepelnou energii otopné vody do prostoru. Snahou je mít co největší plochu vhodnou k přenosu tepla. Podle typu tělesa je přenos konvekcí (prouděním), vedením nebo radiací (sáláním). Otopná tělesa dělíme dle umístění a to odpovídá tvaru a konstrukci.

Typy otopných těles:

- **Desková** (obr. 11) – svařovaná z ocelového plechu. Nejrozšířenější typ, povrch je nejčastěji hladký nebo lehce zvlněný. Výhodou je snadné čištění a malá hloubka do prostoru. Sálavá složka přenosu významně přispívá k rovnoměrnému vytopení místnosti. Paralelním spojením více desek a případným spojením vlnovce (tenký plech spojující desky) je dosaženo většího tepelného výkonu.
- **Čládková** – litinovými bloky spojující se sériově (za sebou) lze dosáhnout libovolné plochy. Teplo se šíří především konvekcí a radiací.
- **Trubková** – sériové spojení hladkých trubek (vertikálně i horizontálně) k vytápění koupelen, pomocných místností a schodišť.
- **Konvektory** (obr. 10) – otopné žebrované trubky (žebrovky) uložené dvojitým zákrytem, který slouží jako šachta podporující proudění. Přenos tepla se děje konvekcí, mají malou setrvačnost. Nevýhodou intenzivnějšího proudění je víření prachu. V moderních stavbách se setkáváme s podlahovým provedením, kdy žebrovka je umístěna v žlábků zakryta mříží a tvoří vhodný designový prvek.



Obr. 10 Podlahový konvektor [26]



Obr. 11 Deskové otopné těleso KORADO (vlastní zpracování)

Tato kapitola je dále zaměřena především na regulaci vodních otopných těles.

Regulace otopných těles je charakterizována nikoliv regulací tepelného zdroje a současného vytápění všech místností, ale regulací nesoučasného vytápění jednotlivých pokojů podle požadovaných hodnot uživatele. To znamená, že regulujeme výkon otopných těles díky průtoku teplotního média. Průtok je ovlivňován uzavíratelným ventilem. Zásadní je vliv na hydrauliku takovýchto soustav – rovnoměrné zaplavení jednotlivých větví soustavy a dodržení diferenčního tlaku.

Velký vliv na regulaci má i typ soustavy, způsob zapojení otopných těles a způsob oběhu vody. Rozlišujeme soustavu jednotrubkovou a dvoutrubkovou, která má lepší vlastnosti pro rovnoměrný přísun tepla do otopných těles a následnou lepší regulaci. Oběh vody může být buď nucený poháněný čerpadlem, nebo oběh přirozený (nenucený). Výhodou nuceného oběhu je snadnější regulace, kratší doba zátopy apod., nevýhodou nutnost elektrické energie pro pohon čerpadla.

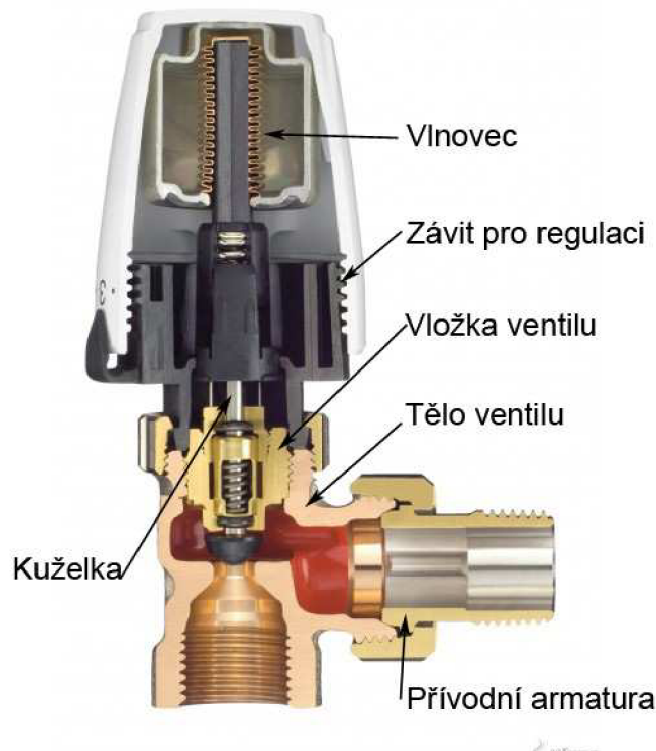
5.1 Ruční regulace

Manuální regulace kohoutu oddělující přívodní armaturu je velice nespolehlivá, pracná a především neekonomická metoda.

5.2 Regulace termostatickými hlavicemi

Termostatická hlavice je mechanický proporcionální regulátor, který nepotřebuje žádnou pomocnou energii. Pásmo proporcionality se pohybuje v rozmezí 2 K.

Celý akční člen (obr. 12) se skládá z těla ventilu, vložky ventilu (obsahující kuželku) a termostatické hlavice. Vložka je zašroubována do těla ventilu, kuželka ovlivňuje průtok média ventilem. Nejčastěji se setkáme s kuželkami talířovými. Nastavení vložky je dáno průtokovým součinitelem k_v , který určuje objemový průtok při tlakové ztrátě 1 bar na ventilu. Rozlišujeme ventily s pevně nastavenou a nastavitelnou hodnotou k_v . Podle průtokového diagramu (závislost tlakové ztráty na průtoku otopného média) je navržena hodnota k_v a podle toho vybrán ventil respektive vložka. Zdvih kuželky je většinou výrobců omezen na určitý rozsah. Důvodem je lineární závislost průtokového součinitele na zdvihu. U zdvihu vyššího pak klesá strmost křivky průtokového součinitele. [10]

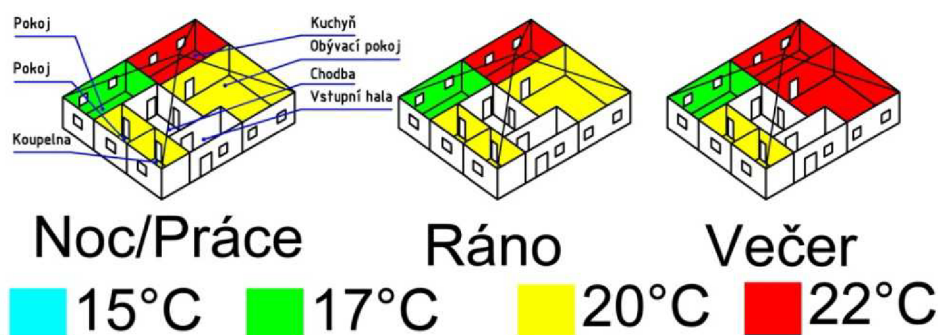


Obr. 12 Schéma termostatické hlavice a ventilu (vlastní zpracování dle [16])

Hlavice slouží k regulaci průtoku na základě teploty okolního vzduchu. Teplotní snímač hlavice funguje na fyzikálním principu teplotní roztažnosti kapaliny popř. vosku. Při ohřátí se kapalina roztáhne v pružné nádobce a tlačí na kuželku ventilu oddělující přívodní armaturu a radiátor a reguluje objemový průtok otopného média. Na stupnici hlavice (nejčastěji v rozsahu 1-5) se nastaví požadovaná hodnota teploty a podle toho se kuželka otevře, popř. zavře. Prakticky dochází k udržování požadované teploty v místnostech, které mohou být ovlivněny osluněním nebo vlivem větru (obr. 13). Snímače teploty okolního vzduchu nemusí být vždy umístěny na hlavici, ale mohou se umístit pomocí kapiláry do míst s lepším prouděním vzduchu, což vede k lepšímu komfortu uživatele. Podle typu místnosti lze volit vhodný materiál hlavice, které se na trhu objevují (např. celochromové provedení proti vlhkosti v koupelnách).

Nutností správné funkce je rovnoměrné hydraulické vyvážení soustavy s podobným rozložením tlakových ztrát, což bývá problém při rekonstrukcích stávajících otopných soustav. Při správném nastavení hlavice je možné dosáhnout úspor v rozmezí 5 – 15 %. [10]

Jsou-li brány v úvahu roční náklady na vytápění pohybující se okolo 45 000 Kč, vzniká tak úspora okolo 4 500 Kč/rok. Návratnost při použití 14 termostatických hlavice a ventilů (bez započítání práce) je tedy 1,7 let.



Obr. 13 Schéma teplot při regulaci termostatickou hlavicí (a manuální změnou)
(vlastní zpracování dle [12])

Nevýhodou termostatických hlavice je velmi dlouhá reakční doba a také ovlivňování průtoku v ostatních větvích (při zavření jednoho ventilu vznikne v okruhu vyšší tlak a zvýší se průtok v jiných větvích) a vzniku následné kavitace. Pokud uživatel odchází např. do zaměstnání, musí hlavici ručně nastavit na teplotu nižší, jinak dochází k zbytečnému vytápění a vrací se poté do prochládlého bytu. Dalším problémem je zatuhnutí ventilu působením vodního kamene přes letní měsíce, kdy byla hlavice bez pohybu (výrobci doporučují občasné ruční protočení ventilu).

5.2.1 Vybrané prodávané regulátory

Termostatická hlavice **Heimeier K 6000** (obr. 14)

Některé z charakteristických vlastností

Zarážky pro omezení teplotního rozsahu

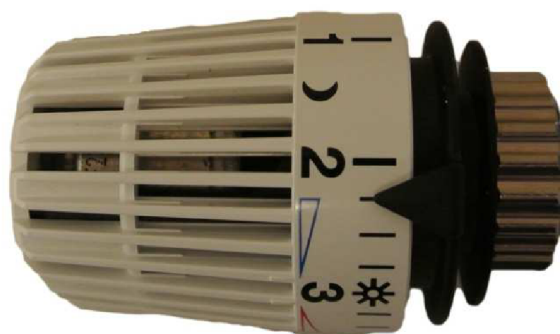
Ochrana před zamrznutím

Kapalinové čidlo

Rozsah teplot +6 – +28 °C

Klasický velmi používaný model termostatické hlavice. Připojovací závit M30 x 1,5. Různé barevné kombinace. [30]

Pořizovací cena (včetně DPH): 220 - 300 Kč



Obr. 14 Termostatická hlavice Heimeier K 6000 (vlastní zpracování)

Termostatická hlavice **Danfoss RAE-H** (obr. 15)

Některé z charakteristických vlastností

Ochrana před zamrznutím

Pořizovací cena (včetně DPH): 289 Kč

Rozsah teplot +8 – +28 °C



Obr. 15 Termostatická hlavice Danfoss RAE-H [29]

5.3 Elektrická regulace termopohonem

Termopohon je zařízení pracující na podobném principu jako termostatická hlavice s rozdílem, že řídicí veličinou není teplota okolního vzduchu, ale teplo vznikající přívodem elektrického proudu. Přívod proudu je řízen centrální řídicí jednotkou s mikropočítačem díky teplotním čidlům umístěným v každém pokoji podle požadované (naprogramované) hodnoty. Termopohony se vyrábějí pro napětí síťová (230V) i nižší (24V). Přivedený proud do hlavice termopohonu se přemění na teplo a zahřeje vlnovec a ten uzavře ventil, po odpojení proudu se ventil otevírá (tento princip otevírání může dle konstrukce pracovat i naopak). Při návrhu je důležité počítat i s ovlivněním tepla z okolí, které má na otevírání respektive zavírání také vliv. Regulace se provádí nespojitě spínáním a vypínáním elektrického proudu.

Nevýhodou je dlouhá reakční doba tohoto akčního členu, jeho trvalé napájení (odběr je okolo 2 W elektrické energie) a dvoustupňová poloha ventilu (otevřeno/zavřeno), což způsobuje kolísání teplot neboli hysterezi. [10]

Na trhu již můžeme objevit i spojité termopohony řízené rozsahem napětí 0 – 10 V.

5.3.1 Vybrané prodávané regulátory

Termopohon **Siemens STP21** (obr. 16)

Některé z charakteristických vlastností

Napájecí napětí AC 230 V nebo

AC/DC 24 V dvoupolohově

Přenastavovací doba 3 minuty

Ovládací síla 105 N

Zdvih 2,5 mm

Bezúdržbovost, tichost chodu

Hlavice ventilu slouží pro dvoupolohovou (popř. pulzní) regulaci teplé a studené vody ve vytápěcích, ventilačních a klimatizačních zařízeních. Řídicí jednotka není součástí ventilu. [23]

Požizovací cena (včetně DPH): 813 Kč



Obr. 16 Termopohon Siemens STP21 [23]

5.4 Elektrická regulace servopohonem

Servopohon je spojitý akční člen regulace řízený elektrickým proudem. Obsahuje elektrický motorek se šnekovou převodovkou, která ovládá plynulý průtok otopného média přes ventil. Rozdíl v porovnání s termopohonem je, že po přerušení přívodu proudu zůstane ventil otevřen na požadovaný průtok média a ten je konstantní. Řídící člen je rovněž centrální jednotka s mikropočítačem, která na základě informací z teplotního čidla řídí otevírání ventilu.

System regulace servomotory se využívá u komplexní vzájemné regulace otopných těles a tepelného zdroje, tzv. Individual room control (IRC), o kterém bude řeč dále. Reakční doba je mnohem kratší než u termopohonu a to v řádech sekund.

Při menších projektech či rekonstrukcích otopných soustav se setkáme častěji s programovatelnými elektronickými hlavici (někdy také programovatelné termostatické hlavice) využívající principu servopohonu, kde teplotní čidlo a řídicí jednotka je umístěna přímo na hlavici. Princip regulace je téměř stejný jako u termostatické hlavice s rozdílem, že tato hlavice obsahuje programovatelnou řídicí jednotku schopnou v průběhu dne automaticky měnit uživatelem nastavenou hodnotu teploty. Tento krok vede jednak k většímu komfortu uživatele, ale i vyšší úspoře energie (pokoj není zbytečně vytápěn v nevyužitém průběhu dne). Akčním členem je servomotor schopný ovládat kuželku průtokového ventilu. Na rozdíl od termostatické hlavice nefungují tyto hlavice na dilataci teplocitlivé látky, ale obsahují odporový teplotní snímač, který vlivem změny okolní teploty mění svůj odpor. Změna odporu je převáděna na elektrické napětí a to ovládá servomotor respektive polohu otevření ventilu. Výhodou je samosvornost šnekového mechanismu, čili není potřeba stálého přísunu elektrické energie. Negativum je, že změna průtokové plochy je doprovázena zvukovým vjemem. Snahou výrobců je co nejefektivnější zvuková izolace. [9, 10]

Prostřednictvím displeje a programovacího rozhraní (firmware a tlačítka) je uživatel schopen kontrolovat aktuální teplotu, nastavovat program teplotního průběhu apod. Rozsáhlost nastavení jednotlivých teplotních programů se odvíjí od firmwaru daného produktu a nejčastěji spočívá v nastavení teplot v průběhu dne celého týdne. Zpravidla se program skládá ze dvou teplot. Jedna se nazývá „komfortní“ (označována na displeji sluníčkem) a druhá „úsporná“ (symbol měsíce). Komfortní teplotou je rozuměna hodnota v přítomnosti uživatele a využívání pokoje, úspornou (útlumovou) je teplota nižší v době nepřítomnosti či během noci. [9]

Současné hlavice fungují na principu PI regulace nebo fuzzy logiky. Jedná se o rozdílnou cestu a časový interval dosáhnouti požadované změny teploty a následné udržování této teploty, ovšem pro koncového uživatele je tento rozdíl téměř nepostřehnutelný.

Napájení hlavic je možné díky tužkovým bateriím, kde výdrž se pohybuje okolo 2 let nebo pomocí napájecího adaptéru. Způsob závisí na výrobcí a konkrétním modelu hlavice, v některých případech lze využít obou možností.

Další obvyklou funkcí je nastavení módu hlavice. Z těch základních se jedná o automatický režim (AUTO), při kterém hlavice pracuje podle uživatelem přednastaveného programu. Druhý mód je manuální (MAN), který ignoruje přednastavený program a pracuje podle zásahu uživatele prostřednictvím řídicího kolečka (tlačítka). Třetím nejběžnějším módem je režim protizámrazový (značení vložkou). Ten slouží k temperování místnosti proti zamrznutí.

Nadstandardní funkcí hlavic je detekce rozpoznání otevřeného okna. Při náhlém prudkém poklesu teploty dojde k uzavření hlavice díky rozpoznání čidla teploty nebo kontaktního čidla v okně. V opačném případě by firmware automaticky vyhodnotil

pokles a otevřel ventil naplno a teplo by unikalo ven. Další možnou funkcí je dětská pojistka, která „zamkne“ hlavici proti nechtěné změně nastavení. Mezi neobvyklé funkční prvky nabízených hlavice také patří pravidelné protočení ventilu v době letních měsíců, což pomáhá k nezatuhnutí kuželky.

Při správném nastavení lze dosáhnout výrobcem udávaných až 20 % úspor na vytápění. Reálnější hodnota úspor se pohybuje okolo 15 %. Výhodou těchto hlavice je především komfort a větší úspora energie. Jistou daní je vyšší pořizovací cena a je proto nutné si propočítat návratnost popř. investici do jiného způsobu regulace. [9]

Vezmeme-li v úvahu roční náklady na vytápění pohybující se okolo 45 000 Kč, tak vzniká úspora okolo 6 750 Kč/rok. Návratnost při použití 14 elektronických hlavice a ventilů (bez započítání práce) je tedy 2,6 let.

5.4.1 Vybrané prodávané regulátory

Programovatelná hlavice servopohonu **Electroblock HD20** (obr. 17)

Některé z charakteristických vlastností

Rozsah teplot 3 – 40 °C

Napájení bateriemi AA 2 x 1,5 V

Funkce proti zatuhnutí ventilu

Zavření ventilu při otevřeném okně

Mnoho přednastavených programů

Přehledný displej

Tato hlavice je český výrobek, u kterého je snadná montáž. Výhodou je nízká cena. Výdrž baterií je odhadovaná na jednu topnou sezónu. Firmware hlavice obsahuje mnoho užitečných funkcí, které byly popsány výše (dětská pojistka, indikace stavu baterií, automatická adaptace, apod.) [20]

Pořizovací cena (včetně DPH): 990 Kč



Obr. 17 Programovatelná hlavice Electroblock HD20 [20]

6 Regulace velkoplošného vytápění

Velkoplošné vytápění představuje sdílení tepla do vytápěného prostoru prostřednictvím přenosu z podlahy, stěny nebo stropu. Převážná složka šíření tepla je sálavá. Otopná plocha je samostatné těleso (upevněno na povrchu stěny) nebo může být součástí stavební konstrukce. Povrchové teploty ploch jsou pak větší, než je teplota okolního vzduchu. Z hlediska konstrukce je topná plocha tvořena systémem trubek (popř. elektrický odporový kabel apod.), přes které prochází otopné médium. Ta je překryta podlahovou krytinou, která tvoří osálanou plochu a ta ohřívá okolní vzduch. Teplota otopného média je poměrně nízká a proto lze využít nízkopotenciální zdroj tepla (solární kolektor, tepelné čerpadlo, kondenzační plynový kotel). [13]

Rozdělení podle použité plochy (povrchová teplota dané plochy)

- **Podlahové** (25 - 35 °C)
- **Stěnové** (55 - 60 °C) – největší podíl sálavé složky (75 %)
- **Stropní** (40 - 45 °C)

S teplotní pohodou souvisí ideální prostorové rozložení tepla, kde teplota v oblasti nohou a kotníků by měla být vyšší o zhruba 2 – 3 °C než v oblasti hlavy. Tomuto rozložení odpovídá nejideálněji podlahové vytápění, které je z hlediska realizace v rodinných domech nejčastěji využívané a na které bude další část zaměřena. Z důvodu komfortu a hygienických norem by teplota otopné plochy neměla přesáhnout 29 °C (výjimku tvoří koupelny).

Rozdělení podle otopného média

- **Teplovodní**
- **Teplovzdušné**
- **Elektrické**

Největším úskalím při návrhu a regulaci je vysoká tepelná setrvačnost, která je způsobena velkým množstvím teplé vody v systému a nutnost prostupu tepla přes nivelační vrstvu a podlahovou krytinu, které mohou způsobovat akumulaci tepla. Setrvačnost náběhu T [min] vyjadřuje dobu potřebnou k dosažení požadovaného tepelného výkonu o jmenovitém průtoku a vstupní teplotě. Setrvačnost náběhu spolu s časovou konstantou otopné plochy T_A slouží k zjištění rychlosti odezvy na regulační zásah. Časová konstanta rozhoduje o míře akumulace otopné podlahové plochy. Rozlišujeme podlahové plochy akumuláční ($T_K \geq 10$ hod), poloakumulační ($T_K 4 \div 8$ hod) a přímotopné ($T_K < 4$ hod).

Regulace teploty otopného média se děje podle teplot vnitřního vzduchu v pokoji, podle venkovního vzduchu (ekvitermní regulace) nebo kombinací ekvitermní regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Pro regulaci je nejvhodnější plocha s co nejkratší dobou náběhu.

Velkoplošné otopné plochy mohou být v letních měsících využity pro účel chlazení. Do obvodu je vháněna studená voda, která odebírá teplo z prostoru bytu.

U rodinného domu (např. nízkoenergetický s teplotním spádem 55 °C / 45 °C) se velice často navrhuje velkoplošné vytápění pro přízemí a první patro je vytápěno pomocí otopných těles. V této situaci je regulace řešena pomocí směšovacího ventilu pro velkoplošné vytápění (teplota otopné vody musí být nižší), a teplota vody pro otopná tělesa je vyšší. O řízení se stará servopohon.

6.1 Regulace podle vnitřní teploty

Výkon tepelné soustavy je řízen prostorovým termostatem umístěným v referenční místnosti. Další variantou je proporcionální regulátor umístěný v jednotlivých místnostech, který řídí jednotlivé pohony u regulačních ventilů (v dané místnosti nebo v patrovém rozdělovači) daného otopného okruhu. Regulovat lze rovněž termostatickou hlavici, kde část okruhu je vyvedena do zdi nad podlahu k připojení hlavice nebo napojení pomocí kapiláry. Regulace je tedy na principu nastavení průtoku otopného média. [13]

Reakce akčního členu se projeví s velkou odezvou, a proto se mnohdy spoléhá na samoregulační schopnost podlahové plochy, která zajišťuje požadovanou povrchovou teplotu podlahy, a tepelné ztráty jsou dorovnány jinými otopnými tělesy.

6.1.1 Samoregulační schopnost

Samoregulační schopnost vychází ze základního vztahu pro přestup tepla pro otopnou plochu (1), kde měrný tepelný výkon podlahové otopné plochy je funkcí rozdílu teplot vzduchu a povrchové vrstvy podlahy. Změní-li se teplota vzduchu, změní se i tepelný výkon. [13]

$$q = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \quad [\text{W/m}^2] \quad (1)$$

Pro určení samoregulační schopnosti se vychází z experimentálně stanovených hodnot výkonů při zachování tepelně-technických a geometrických vlastností otopné plochy. Pro názorný příklad se při respektování těchto vlastností zavádí u rovnice (2) vycházející z rovnice (1) teplotní exponent, hodnota přestupu tepla je dána materiálem, tloušťkou apod. [13] Pro uvedený případ v rovnici (2) uvažujeme hodnotu např. $\alpha_p=8,92$.

$$q = 8,92 \cdot (t_p - t_i)^{1,1} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2)$$

Uvažujeme např. teplotu podlahové plochy $t_p=26 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Pro teplotu $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ platí $q = 64 \text{ W/m}^2$
- Pro teplotu $t_i = 22 \text{ }^\circ\text{C}$ platí $q = 41 \text{ W/m}^2$

6.2 Regulace podle venkovního vzduchu

K tomuto typu regulace je zapotřebí regulátor, snímač teploty venkovního vzduchu, snímač teploty otopného média a akční člen v podobě směšovacího ventilu. Při změně venkovní teploty dochází regulátorem k přestavení směšovacího ventilu tak, aby přívodní médium odpovídalo geometrické venkovní teplotě. I zde dochází k velkému zpoždění akčního členu a spoléhá se zde na samoregulační schopnost.

6.3 Regulace se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu

Tento typ je modifikací ekvitermní regulace, kde do termostatu zasahuje čidlo vnitřní teploty a koriguje systém ekvitermní regulace pro lepší optimalizaci. Termostat použitý v těchto systémech je elektronický, tzv. samoadaptivní (rovněž nazýván

termocyklický, nebo „schopný se učit“), který si na základě dříve získaných a vyhodnocených dat o průbězích teplot v minulých dnech dokáže přizpůsobit otopnou křivku a dát povel ke změně teploty v systému v dostatečném předstihu. [13]

Vliv prostorové teploty dělíme:

- **Dlouhodobý** – adaptace otopné křivky (změna posunu a strmosti) na základě dlouhodobějšího sběru dat
- **Krátkodobý** – změna teploty na základě aktuálně zjištěné teplotní odchylky v pokoji, korekce se děje podle rovnice (3)

$$t_{i,wk} = t_{i,w} + \frac{K}{2} \cdot (t_{i,w} - t_{i,x}) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (3)$$

$t_{i,w}$ – žádaná teplota v prostoru

$t_{i,wk}$ – korigovaná žádaná teplota v prostoru

$t_{i,x}$ – aktuální teplota v prostoru

K – faktor vlivu prostorové teploty

6.3.1 Vybrané prodávané regulátory

Třícestný směšovací ventil se servopohonem **IVAR.MODULO Compact3** (obr. 18)

Některé z charakteristických vlastností

Teploty cirkulující kapaliny -40 – 100 °C

Napájecí napětí 230 V

Přípustný provozní tlak PN40

Přípustný diferenciální tlak 6 bar

Časová konstanta 150 s

Vhodný pro použití v topných systémech, v systémech s alternativním zdrojem energie, v zavlažovacích a horkovodních systémech. Vyrábí se v různých velikostech a parametrech. [28]

Pořizovací cena (včetně DPH): od 4 663 Kč



Obr. 18 Třícestný ventil se servopohonem IVAR.MODULO Compact3 [28]

7 Kombinovaná (komplexní) regulace

Pro lepší efektivitu a snahu dosáhnout vyšších úspor pochopitelně dochází ke kombinování jednotlivých typů regulací. Tím jsou odstraněny nevýhody jednotlivých způsobů regulace. Princip činnosti regulátorů je stejný, jak bylo popsáno výše. Další podkapitoly budou pojednávat o nejčastějších kombinacích.

7.1 Regulace jednotlivých větví

Otopná soustava se rozdělí na okruhy, které jsou regulovány nezávisle na sobě podle referenčních místností jednotlivými metodami (regulace tepelného zdroje, regulace otopných ploch apod.). Tato regulace je přesnější, čímž jsme schopni dosáhnout lepších výsledků.

7.2 Ekvitermní vytápění s termostatickými hlavicemi

Do ekvitermní regulace tepelného zdroje zasahuje regulace průtoku jednotlivými otopnými tělesy pomocí termostatické hlavice na uživatelem nastavenou teplotu. Dojde k částečnému odstranění vlivů oslunění a rozdílných tepelných ztrát jednotlivých pokojů. Hlavice se chová jako jakýsi limitér.

Při použití elektronického termostatu lze nastavit denní programy teplot a snížit teplotu v nevyužitých částech dne. Teplota je po celý den konstantní ve všech místnostech. Problém nastane při snížení teploty, kdy hlavice se naplno otevrou, a může nastat hydraulická nevyváženost okruhu.

Tento způsob regulace je velice často využíván při rekonstrukcích z důvodu poklesu cen termostatických hlavic.

7.3 Podlahové vytápění s otopnými tělesy

Pro zamezení vysoké tepelné setrvačnosti velkoplošného vytápění, nebo pokud velkoplošné vytápění nevykryvá všechny tepelné ztráty je snaha do systému instalovat jiné otopné těleso, které usnadňuje regulaci teploty. Z důvodu rozdílu teploty otopné vody se volí dva na sobě nezávislé okruhy. Okruh otopných těles se reguluje podle vnitřní teploty, např. termostatickými hlavicemi.

Jinou možností je např. klasická ekvitermní regulace zdroje se zařazeným trojcestným směšovacím ventilem, kde otopná plocha splňuje podmínku nižších povrchových teplot než otopná tělesa. Zdroj tepla se pak může provozovat na konstantní teplotu. [8]

Obecně lze ale říct, že vhodnější je navrhovat dva nezávislé okruhy z důvodů rozdílných hydraulických a teplotních podmínek. Dalším problémem u ekvitermní regulace je odlišnost sklonu a průhybu otopných křivek pro otopnou plochu ($n \approx 1,1$) a pro otopné těleso ($n \approx 1,33$). [8]

7.4 Regulace s využitím akumulční nádrže

Princip spočívá v zavedení akumulční tlakové nádrže do systému, ve které se uchovává voda pro další vytápění. Regulace probíhá podle vnitřní teploty prostředí. Zdrojem můžou být kotle na tuhá paliva, tepelná čerpadla, solární trubice (kde není v průběhu času konstantní ohřev), nebo kotel ohřívající vodu v režimu největší efektivity i v době, kdy jeho použití není zcela potřeba. Zdrojem pro dohřev může být

i interní elektrická topná jednotka. V okamžiku potřeby máme dostatek teplé vody k vytápění. Voda je tedy již připravená na požadovanou teplotu. Díky tomu se můžou použít armatury s menší světlostí a zmenšuje se hystereze systému. Regulace probíhá nejčastěji řízením směšování pomocí vícecestného ventilu.

Nádrže lze použít či kombinovat pro využití teplé užitkové vody. Jejich objem se pohybuje podle vlastnosti vytápěného objektu, způsobu využití, typů tepelných zdrojů apod. v rozmezí od 150 litrů až po 100 m³. Výhodou je efektivní využití alternativních a obnovitelných zdrojů tepla, úspora nákladů díky optimálnímu provoznímu režimu a tím i prodloužení životnosti jednotlivých tepelných zdrojů. Nevýhodou nastává nutnost vyhrazení dostatečného prostoru pro nádrž větších rozměrů, podřídit tomu projekt objektu a vyšší cena kvalitní izolace nádrže.

V praxi se s akumulací nádržemi nejčastěji setkáme u tepelného čerpadla, které pak pracuje v pásnu nejvyšší účinnosti.

Rozmezí cen nádrží (vč. DPH) se orientačně pohybuje od 10 000 Kč (nádrž bez výměníku, 500 l) po 74 000 Kč (nádrž se 2 výměníky, 5000 l). Ceny izolace (vč. DPH) jsou 1 600 – 2 600 Kč.

7.5 Regulace více tepelných zdrojů

Díky státní dotaci se v minulých letech stala velmi populárním trendem instalace solárních trubíc. Jedná se o regulaci dvou tepelných zdrojů, které pracují současně nezávisle na sobě. Záleží na způsobu aplikace, kdy primární oběh vody v solárním systému ohřívá otopné médium, které se uchovává v akumulární nádrži (viz. kap. 7.4), nebo ohřívá teplou užitkovou vodu uskladněnou rovněž v akumulární nádrži.

Plynový kotel má plné využití v době nepřízně počasí, v jiných dnech kolektor teplou vodu minimálně dokáže předeřhát a plynový kotel ji ohřeje na potřebnou teplotu. V letních slunečných dnech je možné plynový kotel úplně vypnout.

Řízení takového kombinovaného systému je společné a v mnohých případech dodávané jedním výrobcem (není to ovšem podmínkou). O regulaci se stará společná řídicí jednotka např. ekvitermiálního vytápění a ohřevu TV (ovládá systém teplovodního vytápění, řídí systém čerpadla primárního okruhu kolektoru, vyhodnocuje pomocí teplotních čidel a přednastavených hodnot, zda-li je potřeba dořhát TV v akumulární nádrži apod.).

Jak je psáno výše, solární trubice je možno také připojit jako sekundární zdroj vytápění tepla, ale pro vytápění je to metoda zcela nepraktická. Větší efektivita se projeví pouze při ohřevu teplé užitkové vody, která je využita v průběhu celého roku.

Z vlastní zkušenosti bylo vypořováváno, že během slunečného dne při maximech venkovních teplot okolo 30 °C a použití vakuových solárních trubíc je možné běžně dosáhnout teplot v primárním okruhu přes 100 °C. Při polojasných dnech se teploty pohybují v rozmezí 50 – 70 °C (užitková voda je ohřívána o přibližně 10 °C méně - záleží na průtoku čerpadla).

7.5.1 Vybrané prodávané systémy

Paket trubic a akumulční nádrže **Viessmann Vitosol + Vitocell 300**

Některé z charakteristických vlastností

Provozní tlak 10 bar

Plocha kolektoru 3 m² (20 trubic)

Objem nádrže 300 l

Paket se skládá ze zásobníku, 1 ks kolektoru (vakuové trubice s absorbérem z měděného sol-titanového materiálu), upevňovací sady a připojovacích sad, čerpací stanicí Solar-Divicon s oběhovým čerpadlem typu PS 10 teplotosného média a regulací oběhu. O řízení se stará ekvitermní regulátor, který není součástí paketu. [31]

Pořizovací cena trubic a akumulční nádrže (včetně DPH): 135 000 Kč

Existuje celá řada možných kombinací regulování, které mají některé další přednosti i jiná negativa. Další směřování vývoje regulace vede v dnešní době k programově řízenému vytápění jednotlivých místností podle požadavku uživatele. O tomto typu kombinované regulace bude pojednáno zvlášť v následující kapitole.

8 Individuální regulace jednotlivých pokojů

Jak již bylo řečeno, ne všechny místnosti jsou využity po celý den a je zbytečné je přetápět v době nepřítomnosti uživatele. Trendem posledních let se tedy stala nesoučasná regulace teploty jednotlivých pokojů v závislosti na požadavcích uživatele (nazýváme zónová regulace nebo IRC – individual room control). Systém rovněž využívá principů zmíněných v předchozích kapitolách, a co možná nejefektivněji je kombinuje. Tohoto systému lze rovněž využít nejen v rodinných domech, ale také v rozsáhlejších administrativních budovách, hotelích apod. Další popis je čerpán také ze získaných zkušeností konkrétního uživatele.

Princip spočívá v regulaci výkonu tepelného zdroje v závislosti na otopných tělesech či otopných plochách, kde v čase probíhá změna teploty v prostoru. Hlavním členem je elektronická řídicí jednotka, kde její firmware vyhodnocuje informace z teplotních čidel a řídí výkon tepelného zdroje a regulační prvky otopných těles. Řízení jednotlivých místností probíhá nezávisle podle naprogramovaných průběhů teplot.

8.1 Regulace podle vnitřní teploty

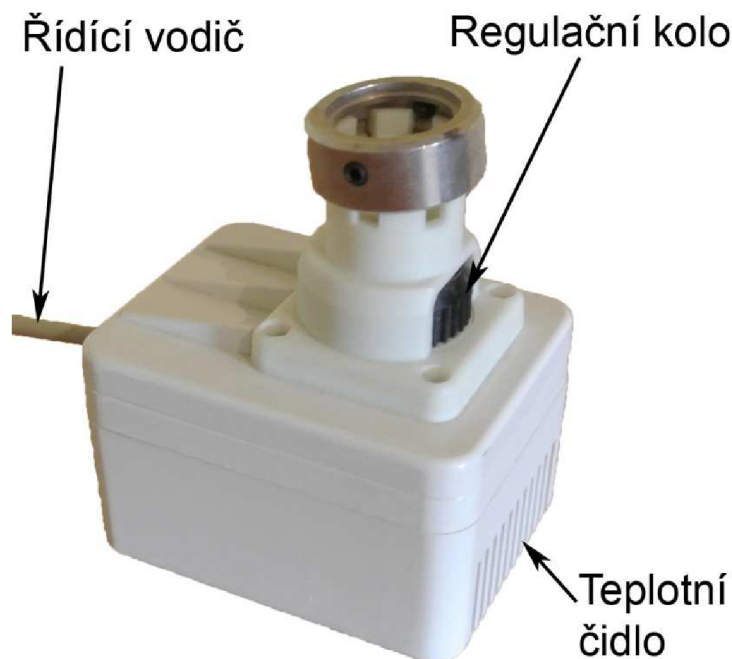
Dále bude následovat popis systému, kde řízení probíhá na základě zjišťování teploty podle vnitřního termostatu (čidla) a podle těchto informací je řízen tepelný zdroj (regulace podle vnitřní teploty – princip společnosti ETATHERM).



Obr. 19 Řídicí jednotka IRC regulace ETATHERM ETH 1 (vlastní zpracování)

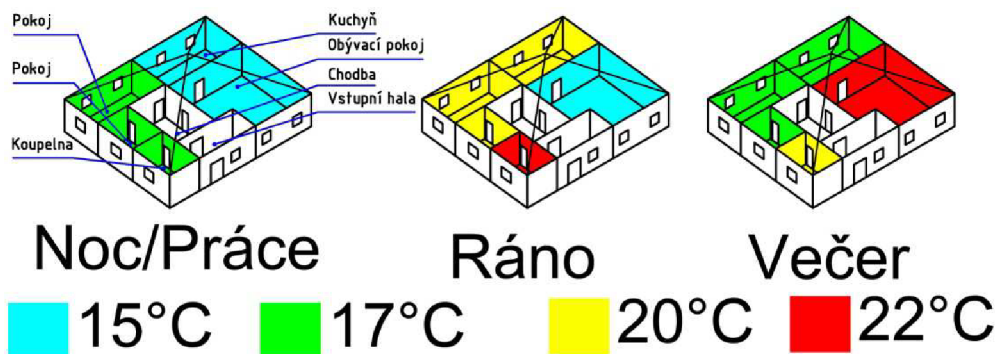
Elektronika regulátoru otopného tělesa je řízena elektrickým proudem (termopohon, servopohon) regulující průtok. Jak již bylo popsáno dříve, volba závisí podle energetického aspektu tohoto akčního členu (termopohon odebírá cyklicky elektrický proud po delší dobu, servopohon při konstantním průtoku proud neodebírání – pouze při změně, ale je hlučný). Podle provedených energetických propočtu společností Etatherm plyne jasná volba ve prospěch servopohonů. [12]

Ke komunikaci mezi regulátorem a jednotkou slouží dvou vodičová sběrnice nebo bezdrátové spojení. Regulátor navíc obsahuje regulační kolo určené pro korekci krajní polohy k příslušnému ventilu. Ventily lze použít od více výrobců a na něj nasadit hlavici servopohonu nebo použít redukční šroubení.



Obr. 20 Servopohon ETATHERM HS (vlastní zpracování)

Naprogramování, ovládání a další monitorování řídicí jednotky je nejčastěji prováděno pomocí počítače popř. pomocí mobilního telefonu či vzdáleného přístupu přes internet. Možné schéma naprogramovaných teplot můžeme vidět na obr. 21.



Obr. 21 Schéma teplot při IRC regulaci (vlastní zpracování dle [12])

Daná řídicí jednotka dokáže nezávisle řídit několik místností (větví) a na danou větev lze připojit více servomotorů, které jsou řízeny stejně (v jedné místnosti dochází k řízení třech radiátorů třemi hlaviciemi). Řízené nemusí být pouze radiátory s otopnou vodou, ale i elektrické velkoplošné vytápění apod.

Teplotní čidla jsou umístěna v servopohonu, proto musí být okolo něj dostatečné proudění vzduchu pro správnost měření. V opačném případě lze zavést čidla externí do míst pro měření vhodných. Při použití více hlavice v místnosti může pak být

množství čidel rovněž stejné jako regulačních hlavice, kde řídicí jednotka vyhodnocuje nejmenší naměřenou teplotu.

Pokyn při poklesu teploty k řízení výkonu hořáku tepelného zdroje může dávat kterékoliv čidlo v jednotlivé místnosti nebo může být jasně nastaveno, které čidla pro to mají právo. Toto má za následek zbytečné přetápění v době, kdy to není potřeba a tedy volíme jakousi „referenční“ místnost.

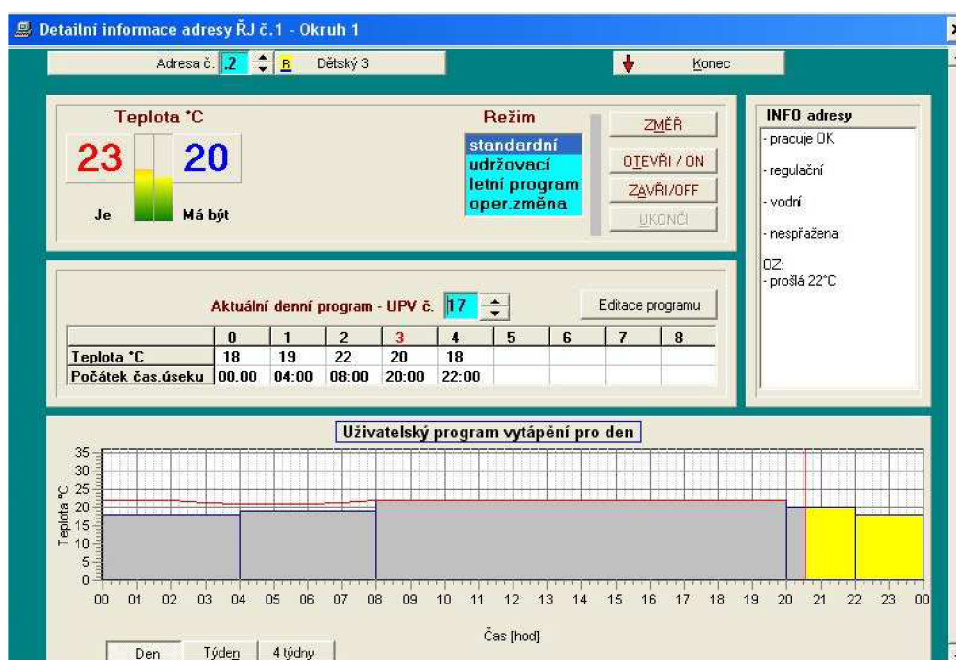
8.2 Regulace podle vnější teploty

System zónového vytápění lze aplikovat i u vytápění, kde řízení tepelného zdroje se děje podle ekvitermní regulace. Teplota otopné vody je řízena podle vnější teploty, hlavice jsou řízeny servopohonem podle přednastavených časových programů ovšem bez zpětné vazby na vnitřní teplotu.

8.3 Souhrnné vlastnosti a specifika

Užitečným prvkem v systému jsou okenní čidla zaznamenávající otevření okna a poté zavírají ventil daného otopného tělesa. Možnou funkcí firmware je pak jiná následná charakteristika pro průtok ventilem, která nezareaguje jeho prudkým otevřením při krátkodobém poklesu teplot (a ovlivnění čidla).

Každý systém dodávaný výrobcem má své uživatelské rozhraní (obr. 22), ve kterém se otopná soustava programuje a spravuje velice snadno a intuitivně. V drtivé většině případů se setkáváme s ovládáním z počítače spojeným linkou RS 232. Novějším trendem je přesun takovýchto prvků řízení do tabletů, kde stačí firmou vyvinout uživatelské rozhraní (viz. níže). Možné je samozřejmě řídicí jednotku naprogramovat pomocí tlačítek na řídicí jednotce. Pokud chceme regulovat rozsáhlejší objekt, je možné použít více řídicích jednotek, které jsou poté řízeny ve své kooperaci. Máme tedy stromovitou strukturu rozdělení pod správou jednoho počítače.



Obr. 22 Počítačové rozhraní systému ETATHERM (vlastní zpracování)

Jelikož je mnoho možností, které uživatel chce používat, je samozřejmě možné je i naprogramovat. Příkladem je i již zmíněná funkce pártý módu, čili okamžitý náběh teploty na vyšší komfortní hodnoty (návštěva, brzký příchod z práce apod.). Záleží již na konkrétním požadavku uživatele na způsobu aktivace této a podobných funkcí (počítačem, GSM modulem, přes internetové připojení, tlačítkem apod.).

Další praktickou a odzkoušenou funkcí je možnost paralelního využití kotle na tuhá paliva, který slouží jako záloha, nebo pro občasné použití. Nastavení systému se přepne, vyřadí primární zdroj a dá povel k otevření ventilům na vyšší hodnotu než je komfortní. Při nočním dohasínání pece se ventily otevírají k zbylému využití teple vody a následně dojde k přepnutí zpět na běžné časové schéma s primárním zdrojem.

Z uživatelské praxe dochází ke změně průtoku ventilu zhruba 2x do hodiny, což je doprovázeno mírným hlukem. Zvyknout si na tento jev není obtížné a u většiny uživatelů se to nejeví jako výrazná překážka.

Výhodou je nejvyšší úspora tepelné energie, která se při správném nastavení pohybuje až okolo 30 %. Za nevýhodu se může považovat složitější elektroinstalace (což může výrazně navýšit cenu při rekonstrukci zednickými pracemi). Odhadovaná návratnost se pohybuje okolo 5 let. [12]

Pokud srovnáme regulaci podle vnitřní a vnější teploty (ekviterm), tak můžeme sledovat jasné rozdíly. U ekvitermního vytápění je řídicí jednotka schopna sledovat trend venkovní teploty a podle toho inteligentně vyhodnocovat data a vhodně přizpůsobovat výkon zdroje. V případě použití vnitřních čidel je regulace značně přesnější, ale za cenu prudších výkyvu výkonu kotle. Tento rozdíl může podle odborníka činit až 5 %.

8.4 Návrh konkrétního systému

Pro názornou ukázkou byla vybrána výkresová dokumentace konkrétního otopného systému (příloha 1), která byla poskytnuta firmou Cond Klima a na něm bude mnou navrhnout regulační systém. Zaměření návrhu bude směřovat pouze na regulační prvky ve vytápění, jejich nákladnost a návratnost.

8.4.1 Parametry a požadavky systému

- Moderní nízkoenergetický dům
- Zónová regulace jednotlivých pokojů (IRC)
- Komunikace pomocí vodičů (drátová)
- Kondenzační plynový kotel Wolf CBG - 24 o výkonu 24,7 kW
- Kombinace vodního velkoplošného vytápění s otopnými tělesy
- Tři topné okruhy
 - garáž
 - otopná tělesa
 - velkoplošné vytápění

8.4.2 Popis systému

Tepelným zdrojem byl zvolen kondenzační plynový kotel, který pracuje s nižšími hodnotami tepelného spádu. Řízení výkonu hořáku je kontinuální. Oproti starším plynovým kotlům je kondenzační úspornější v důsledku rekuperace spalin a to až o 20 %. O oběh podlahového okruhu se stará čerpadlo Grundfos Alpha2 25-60, oběh do otopných těles je zajištěn čerpadlem kotle. Systém je tedy nucený (příloha 2).

Okruh velkoplošného vytápění slouží k vytápění všech často užívaných pokojů a obsahuje třicestný ventil pro směšování a pro případný zkrat podlahového vytápění. Okruh je rozdělen do dvou pater, kde jednotlivé větve podlahového vytápění mají svůj servopohon pro řízené vytápění jednotlivých pokojů v podlahovém rozdělovači.

Otopná tělesa KORADO slouží k lepší tepelné pohodě v konkrétních pokojích pro pokrytí tepelných ztrát (např. v důsledku použití velkých oken, kde je horší tepelná izolace) a k temperování pokojů, které se využívají zřídka. Ventily těchto otopných těles řídí rovněž servopohon.

8.4.3 Regulační prvky

Pro regulaci okruhu garáže by plně postačovala termostatická hlavice. Účelem je udržování stálé a neměnné teploty po celý rok z důvodů parkování auta a uskladnění potravin a nápojů. Požadavky na teplotu nejsou nijak zvlášť vysoké, dostačující teplota je 15 °C. Nižší cenou za hlavici by bylo nutno ventil alespoň jedenkrát týdně protočit, kvůli zatuhnutí kuželky a nebylo by možné monitorovat skutečnou teplotu v garáži. Proto pro pohodlí majitele bude navrhnout servopohon umístěný na otopném tělese -01- (příloha 1) řízený centrální řídicí jednotkou.

Teplotní čidlo bude umístěno v hlavici termopohonu. Proudění vzduchu bude okolo otopného tělesa dostatečné.

Regulace podlahového vytápění spočívá v řízení průtoku ve dvou patrech do jednotlivých větví. Celkem tedy 10 větví s označením A-1 – A-6, B-1 – B-4 (příloha 1). K regulaci bude použito 10 servopohonů umístěných na rozvaděči, které bude řídit centrální řídicí jednotka.

Teplotní čidla jsou v jednotlivých pokojích vyvedena ze stěny pro věrné snímání teploty. U místností s otopnými tělesy -102-, -103- je k oknům vyvedeno kontaktní čidlo, které zavírá servopohon po dobu otevření okna. U pokojů, kde je pouze podlahové vytápění, čidlo bude instalováno také, ale jelikož je u podlahového vytápění vysoká tepelná setrvačnost, tak bude sloužit pouze jako „informativní“ veličina pro řídicí jednotku, při kterém nebude docházet k rapidnějším změnám průtoku přes ventil. Předpokládá se, že by se v topných měsících nevětralo déle jak 10 minut.

Místnost, ve které se nachází pouze otopné těleso -101-, je regulována servopohonem. Teplotní čidlo je součástí hlavice.

Pro cenovou kalkulaci byly zvoleny prvky společnosti ETATHERM. Ceny uváděny vč. DPH a jsou platné k dubnu 2012.

Regulační prvek	Typové označení	Množ.	Cena za kus vč. DPH	Celková cena vč. DPH
Řídící jednotka	ETH1	1	5 200 Kč	5 200 Kč
Zdroj ŘJ	GS12E12	1	312 Kč	312 Kč
Hlavice servopohonu s teplotním čidlem	HS1	2	1 512 Kč	3 024 Kč
Hlavice servopohonu bez tepl. čidla	HS2	12	1 464 Kč	17 568 Kč
Redukční šroubení	HS Heimeier	14	82 Kč	1 148 Kč
Oddělená teplotní čidla	SIS	12	186 Kč	2 232 Kč
Okenní čidlo	OK 1B	11	55 Kč	605 Kč
Modul pro dálkové ovládání	WS1	1	4 650 Kč	4 650 Kč
Řídící relé kotle	KS1	1	702 Kč	702 Kč
Elektroinstalace				3 000 Kč
Práce				10 000 Kč
Celková cena regulačních prvků				48 441 Kč

Tab. 1 Cenový návrh regulačních prvků

Pokud je brán v úvahu roční odběr 22 MWh (2085 m³) zemního plynu při použití kondenzačního kotle, zaplatíme za něj podle aktuálního ceníku RWE Energie a.s. 42 374 Kč/rok.

Je-li brána v potaz odhadovaná úspora paliva za použití zónové regulace, která se pohybuje okolo 25 %, tak dle propočtů dojde k úspoře 10 593,5 Kč.

Výpočet návratnosti regulačního systému lze poté spočítat podílem pořizovací ceny regulační soustavy ku roční úspoře paliva. Tato doba tedy činí přibližně 4,6 roků (při stálém růstu ceny paliv se tato doba zkracuje).

9 Inteligentní domy

Nejnovejším trendem se pomalu ale jistě stává komplexní regulace celého domu, která je svázána do jednoho kompaktního celku. Souhrnně se hovoří také o automatizaci domácnosti nebo chytrém domě. Myšlenka konceptu inteligentních domů vznikla již v 80. letech dvacátého století a snaží se skloubit moderní technologie s klasickým stavitelstvím. Příčinou je celá škála potřeb člověka z hlediska komfortu ale i možných finančních úspor, úspor energií a bezpečnosti. Všechny tyto systémy jsou projektovány ve vzájemné kooperaci. U rozsáhlejších budov a komplexů jsou tyto systémy standardem a přispívají tak na ekonomiku a efektivitu provozu. [2, 5]

Základní prvky automatizace:

- Regulace vytápění a klimatizace
- Rekuperace tepla
- Osvětlení
- Zabezpečení
- Elektroinstalace (zásuvky, kamerové systémy apod.)
- Bezdrátová komunikační síť
- Multimédia, zábava a televize
- Kontrola elektronických pohonů (rolety, žaluzie, vrata atd.)
- Zahradní technika (čistička bazénu, zavlažování)

9.1 Popis využitých prvků v regulaci

Všechny tyto prvky lze zahrnout do správy jednoho systému, a snadno je ovládat prostřednictvím počítače nebo dnes již dotykových obrazovek a tabletů, u kterých dochází k bezdrátové synchronizaci s řídicí jednotkou. Tyto řídicí jednotky označujeme jako DDC moduly (direct digital control), které povětšinou nelze samostatně programovat a je nutné je připojit k řídicímu počítači (tabletů apod.). Počítač zde slouží pouze jako programovací nástroj, jeho neustálý běh není zapotřebí. Řídicí modul nejen ovládá výkon tepelného zdroje, průtok otopného média otopnými tělesy apod. (princip je stejný jako u IRC), ale i další výše zmíněné prvky domácnosti. Modul nemusí být pouze jeden, ale vždy mezi nimi probíhá komunikace. [5, 6]

Výhody modulů spočívají ve **flexibilitě** (snadná úprava nastavení regulace i po delším čase a po změně prvotních parametrů nastavení), snadné **kontrole a informovanosti uživatele** (monitorování aktuálních dat a hlášení závad), **přesnosti regulace** (proporcionální ovládání a možnost naprogramování dalších algoritmů), **úspora nákladů** (klesající ceny mikroprocesorů spolu s rostoucím výkonem elektroniky přispívají k lepší regulaci složitějších aplikací a to má za následek úsporu energií). [2]



Obr. 23 Ovládací panel Control4 Infinity Edge 5 [21]

Propojení mezi řídicí jednotkou a akčním členem (snímačem, regulátorem, regulačním zařízením apod.) je zprostředkováno pomocí komunikačního průmyslového systému, který se nazývá KNX/EIB (evropská instalační sběrnice). Dochází k digitálnímu přenosu dat pomocí různých typů vodičů. Výměna dat probíhá přímo mezi jednotlivými účastníky, kteří mají za úkol realizovat zadané funkce. [4] Tento systém komunikace se stal světovým standardem pro systémovou techniku budov. U modernizace starších budov lze použít bezdrátovou komunikaci WI-FI standardu IEEE a vyhnout se náročným stavebním zásahům při instalaci komunikačních vodičů. [5] V dalším odstavci bude zmíněno, v čem jsou výhody tohoto systému a jak se využívá.

Pro příklad jsou uvedeny následující možné aplikace. Osvětlení celého domu lze ovládat jednak z klasicky z konkrétního pokoje, ale i z jednoho místa. Jednotlivé pokoje jsou osazeny dotykovým displejem (obr. 23), nebo jiným elektronickým rozhraním (obr. 24), odkud je možné vypnout světlo (např. z ložnice dole na terase). To má za následek úsporu v množství vodičů. Zmíněný ovládací prvek slouží jako vypínač světla daného pokoje, regulátor sklonu žaluzií a rovněž jako volič teploty daného pokoje. Díky tomuto ovládacímu prvku lze v případě ohrožení aktivovat centrální bezpečnostní systém.

Pokud bereme v potaz instalaci IRC regulace vytápění, na daný řídicí systém je zapojena elektronická regulace sklonu žaluzií, která dokáže zabránit vlivu oslunění místností v letních měsících. Na noc je řídicí jednotka schopna dát příkaz k automatickému zatáhnutí žaluzií pro zachování soukromí uživatele.

Dalšími dobře využitelnými funkcemi jsou: simulace přítomnosti obyvatel v domě, automatické osvětlení na základě termočidla, vypnutí všech světel a zatažení žaluzií stiskem jednoho tlačítka, zapnutí sauny pomocí mobilního telefonu, spouštění hudby při příchodu a vypínání při odchodu, rozmrazování chodníků a okapů a mnoho dalších. [5, 6]

Určitě přichází na řadu mnoho otázek. Pokud se bude jednat čistě o regulaci vytápění, tak jak velká je spotřeba elektrické energie? Co se stane při výpadku proudu? Jedná se o opravdovou úsporu? Spotřeba elektřiny je určitě vyšší, než

u klasických regulačních systémů, které spotřebují energie méně. Ovšem zde dochází k smazání těchto rozdílů vlivem úspor na regulovaných soustavách (IRC regulace, osvětlení atd.). Při výpadku elektřiny lze použít záložní zdroje elektrické energie v podobě baterií nebo dieselových agregátů. Pořizovací cena těchto komplexních soustav není v dnešní době nejnižší. Záleží, jak velká část investice bude věnována prvkům regulace, které mají za následek úspornější vlivy na regulované soustavy a jaké prvky budou využívány jen pro naše pohodlí, které energii samozřejmě taky spotřebovávají. [6]

Doba návratnosti investice u automatizace celých budov se odvozuje složitě. Jelikož daný projekt už většinou zahrnuje všechny tyto prvky od regulace vytápění až po elektrické rozvody, není snadné udělat přesné přímé srovnání. Podle odhadovaných propočtů u rozsáhlejších staveb činí návratnost 4 roky. [4]

Je tedy nutné zhodnotit své finanční možnosti a spočítat případnou návratnost na ušetřených nákladech. Určitou výhodou je modulární řešení v podobě postupného nabalování jednotlivých systémů v několika etapách a tím menší prvotní výdaj.

9.1.1 Vybrané prodávané regulátory

Ovládací prvek kombinovaný s termostatem **ABB 6320-0-0048** (obr. 24)

Některé z charakteristických vlastností

Spínání, stmívání, žaluzie, světelné scény

Ovládací prvek s funkcemi řízení teploty v místnosti s využitím ovládacích hlavic ventilů

Jedná se o model dražšího provedení, kde lze naprogramovat řízení více prvků od osvětlení přes regulaci žaluzií až po nastavení teploty v dané místnosti. [17]

Pořizovací cena (včetně DPH): 13 705 Kč



Obr. 24 Ovládací spínač ABB 6320-0-0048 [17]

9.2 Ovladatelnost a design regulačních prvků

Nedílnou roli veškerých především elektronických částí regulace hraje jednoduchost ovládání a nastavení veškerých funkcí. To je jeden z důsledků velké konkurence mezi výrobci. Druhým výsledkem konkurence je snaha o co nejatraktivnější vnější vzhled viditelných částí.

Dobrým příkladem je nedávný návrh WI-FI termostatu NEST (obr. 25) vytvořený americkým designérem iPodu a iPhone, který je možné řídit na dálku se schopností učit se. Barevný displej přehledně ukazuje nastavení teplot a jejich denních průběhů a využívá barevných schémat pro aktuální děje otopného systému (červená – topení, modrá – chlazení apod.). Ovládání je realizováno kolečkem umístěným na obvodu konstrukce. Výrobce ve své reklamní kampani poukazuje na snadnost instalace, kterou zvládne každý sám a jednoduchost používání. Cena se pohybuje v přepočtu okolo 4 500 Kč. [24]



Obr. 25 Termostat NEST [24]

10 Závěr

10.1 Obecné poznatky

Regulace ve vytápění nás obklopuje mnohdy víc, než si myslíme a stala se jakousi samozřejmostí. Díky ní se cítíme nejen v domácnosti příjemně a to se odráží na spokojenosti a efektivitě naší činnosti. Na složitosti a efektivnosti regulace se odráží cena daného systému a proto je potřeba zvážit míru investice, kterou jsme ochotni vynaložit. Nemalou roli při tomto výběru hraje i fakt prudkého nárůstu cen energií a zvyšující se konkurence mezi výrobci. Z toho vyplývá větší propracovanost, kvalita a snaha dosáhnout maximálně efektivních hodnot energetických úspor.

Obecně zastávám názor, že i vyšší investice do regulace vytápění není v žádném případě špatná. Díky ušetřenému množství paliv se návratnost pohybuje v řádu jednotek let a rostoucí tendence ceny paliv tuto dobu zkracují.

Zajímavá otázka nastává, jak se změní systém vytápění, pokud dojde v budoucnosti k rozvoji nových technologií (zvláště pak k termojaderné fúzi) a bude nadbytek elektrické energie. Prognózy ovšem hovoří, že komerční nasazení slučování jader nebude dřív než v roce 2040.

10.2 Praktické poznatky

Největší výhodu shledávám v systému nestejněměrného vytápění pokojů (IRC), ze kterého vyplývá největší úspora tepelné energie pro vytápění pohybující se v reálných hodnotách okolo 25 %, nejlepší možnost individualizace systému podle potřeb uživatele, možnost celkového řízení (např. režim dovolená, kdy dojde v celém objektu útlum a udržování teplot na minimum jedním povelům apod.). Návratnost nákladů v podobě zónové regulace se pohybuje okolo 5 let.

Určitě bych se nebál obohatit regulační systém vytápění IRC dalšími elektronickými systémy inteligentních domů. Věřím, že tento trend bude i přes vyšší pořizovací cenu stále hojněji instalován do velkého počtu domácností a bude plně využit ku prospěchu uživatelů.

Z mírné obavy možných energetických krizí, které se vyskytují celosvětově čím dál častěji, bych do otopného systému zakomponoval kotel na tuhá paliva, který by sloužil čistě jako záloha a pro případ občasného zvýšení teplotního komfortu.

Praktickým prvkem je přiřazení akumulární nádrže do systému pro např. efektivní provoz tepelného čerpadla, zmenšení průměrů armatur (nižší náklady na menší průměry armatur) a tím menší teplotní setrvačnosti pro kvalitnější regulaci.

10.3 Osobní přínos

Zpracování této práce mě velice inspirovalo se touto problematikou zabývat v dalších etapách studia. Potenciál a uplatnění v tomto oboru shledávám rovněž perspektivním, protože šetřit své finance chce většina z nás. Investice v tomto odvětví je chytrou volbou a zároveň potřebou pro komfort každodenního života. Tato práce může být přínosná nejen pro mě, ale také pro potenciální uživatele regulačních prvků, ať už jde o firmy či jednotlivce. V práci jsou srovnány možnosti užití regulačních prvků a poskytují tak přehled o finanční náročnosti instalace. Pro v současné době nejúspornější regulační systém je vytvořen konkrétní návrh a finanční propočty.

Seznam použitých zdrojů

Knižní zdroje

[1] DOUBRAVA, Jiří. *Regulace ve vytápění*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2000, 155 s. Sešit projektanta - pracovní podklady (Společnost pro techniku prostředí). ISBN 80-020-1384-0

[2] HONEYWELL INC. *Engineering Manual of Automatic Control for Commercial Buildings*. Honeywell, 1997, 518 s.

[3] JANOTKOVÁ, Eva. *Technika prostředí* [online]. Brno: VUT, 2010, 74 s. Elektronická skripta. VUT Brno. Dostupné z: <http://www.ottp.vutbr.cz/vyuka/technikaprostredi/sylabyTP6.pdf>

[4] MERZ, Hermann, Thomas HANSEMANN a Christof HÜBNER. *Automatizované systémy budov: sdělovací systémy KNX/EIB, LON a BACnet*. 1. vyd. Praha: Grada, 2008, 261 s. ISBN 978-80-247-2367-9.

[5] SINOPOLI, James M. *Smart buildings systems for architects, owners and builders*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2009, 248 s. ISBN 18-561-7653-3.

[6] WANG, Shengwei. *Intelligent buildings and building automation*. New York: Spon Press, 2010, 248 s. ISBN 02-038-9081-7.

Normy

[7] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. 2005.

Elektronické zdroje

[8] BAŠTA, Jiří. *Regulace kombinovaných otopných soustav*. In: [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5315-regulace-kombinovanych-otopnych-soustav>

[9] MATZ, Václav. *Programovatelné termostatické hlavice*. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/6000-programovatelne-termostaticke-hlavice>

[10] MATZ, Václav. *Využití termostatických ventilů a termostatických hlavic pro regulaci vytápění*. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/5917-vyuziti-termostatickych-ventilu-a-termostatickych-hlavic-pro-regulaci-vytapani>

[11] *Nová data o vývoji cen elektrické energie a plynu v EU*. [online]. [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: <http://www.fenixgroup.cz/pages/cs/aktuality/clanky-zajimavosti/nova-data-o-vyvoji-cen-elektricke-energie-plynu-v-eu-0>

[12] Obecně o regulaci vytápění. [online]. [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://www.etatherm.cz/cesky/obecne.htm>

[13] *Podlahové vytápění* [online]. [cit. 2012-03-18]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/podlahove-vytapani>

[14] Příběh tepla aneb kachle ve středověku. [online]. [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://uhm-prednasky.fpf.slu.cz/index.php?page=dalsi-zarizeni-slouzici-k-vytapani-obytnych-prostoru>

[15] Slovníček pojmů. [online]. [cit. 2012-02-20]. Dostupné z: <http://esbeko.esel.cz/stranka.aspx?idstranka=1822>

[16] Řez termostatickou hlavicí a ventilem. [online]. [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: <http://www.agtopeni.cz/45553-1279-thickbox/hlavice-term-heimeier-dx-bl.jpg>

Firemní zdroje

[17] ABB ovládací prvek s termostatem, zapuštěný. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www117.abb.com/catalog.asp?thema=9858&category=3964>

[18] ABB termostat univerzální otočný. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www117.abb.com/catalog.asp?thema=10100&category=4167>

[19] Dálkové ovládání Viessmann Vitorol 300. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.viessmann.cz/cs/Bytove_domy/produkty/systemtechnik/Regelungstechnik/Fernbedienungen/vitotrol_300.html

[20] Digitální termostatická hlavice Electroblock HD 20. [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.elektrobock.cz/cs/digitalni-termostaticka-hlavice/product.html?id=41>

[21] Dotykový panel Control4. [online]. [cit. 2012-04-16]. Dostupné z: <http://www.control4.cz/produkty/dotykovy-panely/5-infinityedge-dotykovy-panel>

[22] Ekvitermní regulátor Junkers FW 100. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.junkers.cz/pro_nase_zakazniky/produkty_junkers/detail_produkty/detail_produkty_11456

[23] Elektronické pohony Siemens. [online]. [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/infrastructure-cities/IBT/mereni_a_regulace/ventily_a_pohony/pohony_25/Pages/STP21STP71.aspx

[24] *Elektronický termostat NEST*. [online]. [cit. 2012-04-12]. Dostupné z: <http://www.nest.com/>

[25] *IRC regulace ETATHERM* [online]. [cit. 2012-03-12]. Dostupné z: www.etatherm.cz

[26] MINIB Fan coil konvektory. [online]. [cit. 2012-02-22]. Dostupné z: <http://www.minib.com/cs>

[27] Sedmidenní programovatelný prostorový termostat CM907. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://products.ecc.emea.honeywell.com/cz/ecatdata/pg_cm900cz.html

[28] Směšovací ventily a servopohony IVAR. [online]. [cit. 2012-04-28]. Dostupné z: <http://www.ivarcs.cz/cz/smesovaci-ventily-a-servopohony>

[29] Termostatická hlavice Danfoss RAE-H. [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://cz.danfoss.com/Product/013G5035_MNU17386397.html

[30] Termostatická hlavice Heimeier K. In: [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: http://www.imi-international.cz/cz/products_catalog/all,c,473,p,2,Termostaticka_hlavice_K.html

[31] Vakuový solární systém Vitosol 300-T. [online]. [cit. 2012-04-17]. Dostupné z: http://www.viessmann.cz/cs/products/Solar-Systeme/Vitosol_300.html

Seznam symbolů a zkratk

Symbol	Jednotka	Název
DDC	[-]	řídící jednotka inteligentních domů
GSM	[-]	Evropský telekomunikační standart
IEEE	[-]	standard bezdrátové komunikace
IRC	[-]	individual room control
K	[-]	faktor vlivu prostorové teploty
KNX/EIB	[-]	Evropský standard instalační sběrnice
k_v	[-]	průtokový součinitel
q	$[W \cdot m^{-2}]$	hustota tepelného toku
T	[min]	čas
T_K	[hod]	časová konstanta velkoplošné otopné plochy
TA_{akt}	$[^{\circ}C]$	aktuální venkovní teplota
TA_{ged}	$[^{\circ}C]$	tlumená venkovní teplota
TA_{gem}	$[^{\circ}C]$	geometrická venkovní teplota
TA_{gem1}	$[^{\circ}C]$	geometrická venkovní teplota pro lehkou budovu
TA_{gem2}	$[^{\circ}C]$	geometrická venkovní teplota pro těžkou budovu
t_i	$[^{\circ}C]$	teplota okolí
$t_{i,w}$	$[^{\circ}C]$	žádaná teplota v prostoru
$t_{i,wk}$	$[^{\circ}C]$	korigovaná žádaná teplota v prostoru
$t_{i,x}$	$[^{\circ}C]$	aktuální teplota v prostoru
t_p	$[^{\circ}C]$	teplota podlahové plochy
TV	[-]	teplá užitková voda
TZB	[-]	technické zařízení budov
WI-FI	[-]	bezdrátová komunikační síť
α_p	$[W \cdot m^{-2}K^{-1}]$	koeficient přestupu tepla

Seznam příloh

Příloha 1 Rozvinuté schéma navrhované otopné soustavy

Příloha 2 Schéma zapojení tepelného zdroje

CD-ROM