

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ



**VYTÁPĚNÍ INTELIGENTNÍHO RODINNÉHO DOMU S TĚMĚŘ
NULOVOU SPOTŘEBOU ENERGIE**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. Jakub Stejskal

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Karel Kabele, CSc.

2017/2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Stejskal Jméno: Jakub Osobní číslo: 410579

Zadávací katedra: K 11125 Technických zařízení budov

Studijní program: Inteligentní budovy- N3946

Studijní obor: Inteligentní budovy

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vytápění inteligentního rodinného domu s téměř nulovou spotřebou energie

Název diplomové práce anglicky: Nearly zero energy intelligent family house heating

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte průkaz energetické náročnosti budova a posuďte splnění požadavků na budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Zpracujte koncepci zásobování teplem daného objektu.

Pro navržené řešení zpracujte projektovou dokumentaci vytápění na úrovni rozšířené dokumentace pro vydání stavebního povolení dle vyhlášky 499/2006 Sb.

Navrhnete způsob inteligentního řízení systému vytápění.

Seznam doporučené literatury:

Kabele a kol.: Energetické a ekologické systémy budov 1 ČVUT (2010)

Valášek a kol: Zdravotně-technické instalace Jaga 2001

Petráš a kol: Vytápění rodinných a bytových domů, Jaga 2005

K. Kabele a kol.: Technická zařízení budov. Vytápění - podklady pro cvičení. Nakladatelství ČVUT 2013

Kolektiv: Topenářská příručka 3, ČSTZ, 2008. Anotaci najdete zde.

D. Petráš, D. Koudelková, K. Kabele: Teplovodní a elektrické podlahové vytápění. Jaga Media s.r.o 2004, ISBN:80-88905-97-4

J.Bašta, K.Kabele: Otopné soustavy teplovodní - Sešit projektanta č.1 - Společnost pro techniku prostředí 2008

Garlík, B.: Inteligentní budovy, BEN technická literatura, Praha, 2012, ISBN 978-80-7300-440-8.

Jméno vedoucího diplomové práce: prof.Ing.Karel Kabele, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 19.2.2018

Termín odevzdání diplomové práce: 20.5.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

PROHLÁŠENÍ:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: „**Vytápění inteligentního rodinného domu s téměř nulovou spotřebou energie**“ zpracoval sám a uvedl jsem všechny použité prameny.

V Praze dne 7.května 2018

.....

PODĚKOVÁNÍ

Za konzultace, cenné rady, připomínky a především trpělivost děkuji mému vedoucímu diplomové práce, prof. Ing. Karlu Kabelemu, CSc.

Anotace	6
Annotation.....	6
1 Cíl práce	7
2 Úvod	7
3 Přehled Energetických standardů	8
4 Popis objektu.....	10
4.1 Umístění objektu	10
4.2 Konstrukční část	10
4.3 Provozní část	10
4.4 Skladba konstrukcí.....	10
5 Průkaz PENB	12
5.1 Zónování objektu.....	12
5.2 Zhodnocení.....	12
6 Tepelná ztráta budovy.....	13
6.1 Tepelná ztráta prostupem tepla.....	13
6.2 Tepelná ztráta větráním	17
7 Potřeba teplé vody	21
8 Ohřev bazénové vody.....	24
8.1 Vstupní údaje.....	24
8.2 Zjednodušený výpočet	24
9 Solární bilance	28
9.1 Zjednodušená metoda.....	28
10 Koncept vytápění objektu	31
11 Zdroje tepla	32
11.1 Hybridní fotovoltaicko – termický kolektor.....	32
11.2 Teplovodní krbová vložka.....	36
11.3 Elektrické odporové topné těleso	39
11.4 Elektrokotel	40
11.5 Pojišťovací a zabezpečovací zařízení	43
11.6 Návrh expanzní nádoby pro okruh kotlové vody	45
12 Návrh otopné soustavy	47
12.1 Podlahové konvektory.....	47
12.2 Podlahové vytápění	51
12.3 Desková otopná tělesa	56
12.4 Materiál potrubí	56

12.5	Hydraulický výpočet	57
12.6	Návrh čerpadel	58
13	Regulace soustavy	60
14	Inteligentní budova	61
14.1	Zvolený systém řízení	61
15	Systém Loxone.....	62
15.1	Použité prvky inteligentního systému	62
15.2	Režimy budovy	66
15.3	Možnosti řízení teploty.....	66
15.4	Nastavení podlahového topení	71
15.5	Řízení konvektorů	73
15.6	Řízení zdrojů tepla	74
15.7	Solární systém	75
15.8	Závěr	77
16	Použitá literatura.....	78

Anotace

Diplomová práce se zabývá návrhem vytápění inteligentního rodinného domu s téměř nulovou spotřebou energie.

V textové části zhodnotím splnění budovu na požadavků na NZEB.

Dále popíšu provozní režim budovy, vybrané technologie a jejich návrh. Budova je v tomto ohledu poměrně pestrá, v suterénu se nachází interiérový bazén a herna, přízemí se dělí na dvě bytové jednotky a ze zdrojů tepla se zde nachází solární systém, teplovodní krb a elektrický kotel.

Také se zaměřím na principy regulací těchto zdrojů a jejich řízením nadřazeným inteligentním systémem.

Druhá část obsahuje doplňující výkresovou dokumentaci, která první část doplňuje.

Annotation

The content of this diploma thesis is design of a heating system for an intelligent nearly zero-energy family house. The building is designed in a higher standard - it is equipped with an interior swimming pool in the basement, has two dwelling units on the ground floor and uses a solar system, hot-water fireplace and an electric boiler as heat sources.

The text is mainly an assessment of building requirements. It also deals with the building's operation modes, technologies and its design. Emphasis is placed on the principles of regulation of those resources and its integration under an intelligent system.

The second part consists of technical drawings illustrating mentioned issues.

1 Cíl práce

Diplomová práce se zabývá návrhem vytápění pro rodinný dům s téměř nulovou spotřebou energie s inteligentní elektroinstalací.

Ze začátku vysvětlím pojmy energetická náročnost a uvedu základní problematiku a definice NZEB. První část této práce nahlíží na návrh z teoretického hlediska, popisuje principy a postupy návrhu, ukazuje dostupné technologie a jejich možnost provázání s inteligentním systémem. Součástí této části je i výběr technologie a její popis vlastností, výhody, nevýhody a různá úskalí. Bude prezentován vybraný inteligentní systém vhodný pro řízení a monitorování energií v menším objektu a ukázání jeho funkcí na simulaci.

V druhé části se pak budu věnovat technickému návrhu skutečné budovy. Výpočty provedu dle platných norem a dostupných TNI.

2 Úvod

Kvůli rostoucím cenám energií jsou nároky na provoz domů stále nákladnější, a proto se energeticky úsporné stavby stávají stále vyhledávanějšími. Tyto úsporné stavby nabízejí pro uživatele vyšší komfort a nižší výdaje za energie.

Jistý vliv mají pro potenciální stavebníky dotační programy typu Zelená úsporám, která se snaží podporovat instalaci zdrojů na vytápění s využitím obnovitelných zdrojů energie a motivuje stavebníky do investic kvalitního zateplení.

Protože jsou tyto programy pouze dobrovolné, nemají a nemohou mít stoprocentní dosah. Naštěstí, co nepokryje zelená úsporám, pokryje plán 20-20-20, alespoň co se nových staveb týče, ten totiž nedává na výběr a pokud stavebník chce své dílo zrealizovat, nezbývá mu než se vyhláše přizpůsobit.

Budovy spotřebují velkou část energie na vytápění. S tímhle úzce souvisí snaha o maximální využití obnovitelných zdrojů energie (OZE).

Z velké se totiž jedná o energii ze spalování fosilních paliv, při kterých se do ovzduší vypouští skleníkové plyny, což může mít za následek významnou změnu klimatu. A potřeby na energii všeobecně nadále rostou. Proto se Evropská unie snaží snížit podíl neekologické energie a zvýšit podíl OZE i v malém měřítku, takže pojmy fotovoltaika či tepelné čerpadlo už jsou známé i mezi laiky.

Zatím jsme ale na fosilních palivech až příliš závislí, proto se ubíráme spíše druhým směrem: snížit závislost budovy na dodávce energie. Toto se týká hlavně tepelné obálky budovy a spotřebou primární energie, i když už i bílá elektronika je vybavena energetickými štítky a nedávno jsme byli svědky zákazu prodeje vysavačů s příkonem nad 900W.

Přestože energeticky nejúspornější domy jsou tzv. nulové a velmi dobře si vedou dobře i domy pasivní, stále jsou nejvyhledávanějším termínem nízkoenergetické domy. Pravděpodobně se vytvořil univerzální termín, který zahrnuje všechny domy s nižší spotřebou energie nežli vysokou. V další kapitole uvedu nejběžnější energetické standardy budov.

3 Přehled Energetických standardů

Díky všeobecné osvětě ohledně šetření energetické náročnosti budov se o téma zajímá více a více lidí a tím přibývají definice různých energetických standardů budov. Může být tedy velice obtížné se v těchto pojmech orientovat, neboť v názvosloví jsou často označovány nesprávně, či mají velmi zavádějící definice, které mohou, ale také nemusí splňovat požadavky národní nebo evropské legislativy.

Česká technická norma ČSN 73 0540-2 rozlišuje budovy s velmi nízkou energetickou náročností následovně:

3.1.1 Nízkoenergetický standart

Budova je definována parametrem měrné potřeby tepla na vytápění, který nesmí překročit 50 kWh/m²a ročně. Současně se definice opírá o požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em,N,20}$, neprůvzdušnost obálky, atd. doplněné v technické normalizační informaci TNI 730329 [0].

S technologickým pokrokem ve stavebnictví však tyto požadavky splňují i budovy, které nebyly s tímto účelem projektovány a termín nízkoenergetická stavba přestává být používaný korektně a stává se z něj obecný pojem bez širších definic, pod který se zahrnují veškeré úsporné stavby.

3.1.2 Pasivní budovy

Pasivní budovy vycházejí svými požadavky z nízkoenergetických staveb, mají rovněž oporu v normě TNI 730329. Dochází u nich ke zpřísnění některých požadavků, měrná potřeba tepla se snižuje na 15 kWh/m²a, průvzdušnost objektu nesmí překročit $n_{50} < 0,6^{h^{-1}}$ a celkové množství primární energie spojené s provozem domu včetně spotřebičů nesmí přesáhnout 120kWh/m².rok.

Metoda hodnocení pasivního domu PHPP je založena na principu kvazistacionární metody s časovým odstupem jednoho měsíc, dle normy ČSN EN ISO 13790.

Tímto je uzavřena norma ČSN 73 0540-2 a níže uvedené standardy jsou ze zdrojů TNI či vyhlášek a zákonů.

3.1.3 Energicky pasivní standard

Vychází z principu pasivních domů. Ve výpočtu používá jiné metody hodnocení, rozdílně nakládá s vnitřními tepelnými zisky a liší se i v hodnotách klimatických dat. Měrná spotřeba tepla pro rodinné domy je limitována na 20 kWh/ m²a. Standard byl používán pro hodnocení staveb v případech Zelená úsporám a není jinak vázán na žádnou českou legislativu. Je popsán v TNI 730329.

3.1.4 Budova s velmi nízkou energetickou náročností

Standard používaný pro hodnocení novostaveb rodinných domů pro získání dotačního titulu Nová zelená úsporám. Požadovaná hodnota měrné potřeby tepla je pak diversifikována do dvou úrovní, 20 či 15 kWh/m².a. Výpočet je v souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb. O energetické náročnosti budov ve znění pozdějších předpisů a s využitím vstupních údajů [2] s použitím vstupních údajů uvedených v metodických pomůckách programu Nová zelená úsporám.

3.1.5 Energeticky nulová budova (net zero energy building)

Na tyto standardy můžeme narazit v českých normách ČSN 730540-2 a TNI 73039 a TNI 730330.

Pojem je zde definován jako budova, jejíž součástí jsou zařízení na energetickou produkci, a u které roční bilance dodávané a vyprodukované energie je vyrovnaná a zároveň měrná spotřeba primární energie musí být menší než $0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Budova nemá předepsané žádné další požadavky, ani na obálku budovy, ani na spotřebu energie.

3.1.6 Budova s téměř nulovou spotřebou energie (nearly zero energy building)

Standard budovy s téměř nulovou spotřebou energie (dále jen NZEB) primárně uvádí Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov (přepracování), takzvaná EPBD II (Energy Performance of Building Directive). Ze všech výše uvedených energetických standardů je v České republice budova s NZEB jediným legislativně závazným pojmem.

V České Republice byly požadavky směrnice EPBD II začleněny do zákona 318/2012, kterým se mění zákon 406/2000 o hospodaření energií a do novely vyhlášky 148/2007 o energetické náročnosti budov, technické parametry dále specifikuje vyhláška 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov (se změnou 230/2015 Sb.).

Současné nastavení požadavků v podstatě odpovídá budově v kategorii B s měrnou potřebou tepla na vytápění v rozsahu přibližně $30\text{--}70 \text{ kWh/m}^2$ za rok. U malých jednopodlažních objektů může tento požadavek činit i více než 80 kWh/m^2 za rok. Jedná se v podstatě o nízkoenergetickou budovu, která je doplněná o dílčí obnovitelný zdroj energie (nejčastěji tedy solární systém nebo tepelné). Dále se zpřísňuje požadavek průměrného součinitele tepla.

4 Popis objektu

4.1 Umístění objektu

Řešený objekt se nachází v Brně v městské části Vinohrady. Jedná se o čtvrt tvořenou dvěma celky, na jednom se rozprostírá panelové sídliště s padesáti domy, na druhém se nově dostavovaly rodinné domky. Přesto se jedná o relativně klidné místo na vyvýšenině, s výhledem na město. Objektem je solitérní dvougenerační rodinný domek umístěný do svahu.

4.2 Konstrukční část

Svislé nosné konstrukce jsou převážně řešeny jako zděné, z tepelně izolačních cihel Heluz 2in1 v obou nadzemních podlažích, v podzemním podlaží jsou stěny tvořeny betonovou konstrukcí bílé vany. Veškeré vodorovné konstrukce jsou ze železobetonu tl. 250mm. Střecha je plochá, pokrytá vrstvou kačírku a v pochozích částech je zřízena podlaha z dřevěného laťování. Objekt je značně členitý a tvarově se nedá přesně definovat, má ustupujícím horní podlaží, částečně vystupující první nadzemní podlaží a zapuštěné podzemní podlaží. Nejdelší rozměry budovy jsou 30x30m půdorysně.

Přístup do budovy je přes chodník podél příjezdové cesty do garáže. Zádveří vede do haly, kde se po levé straně nachází vstupní dveře do druhé jednotky, zatímco prostory rovně a po schodišti nahoru i dolů přísluší k první jednotce. Provozně budou části podzemního podlaží využívány i obyvateli druhé jednotky, v tomto případě jimi budou pravděpodobně rodiče.

4.3 Provozní část

Objekt je rozdělen na tři provozní části:

- Bytová jednotka 1 – tato část objektu bude v provozu celoročně vyjma dovolených
- Bytová jednotka 2 – tato část objektu bude v provozu dle využití, zpočátku se plánuje využít jej jako bydlení pro prarodiče, později potom jako oddělená jednotka pro vyrůstající děti. Je zde požadavek na oddělené měření spotřeby energie.
- Herna – Využívána jak obyvateli první, tak i druhé jednotky. Místnost nebude využívána trvale, ale pouze při společenských akcích a oslavách
- Bazén – Rovněž bude využíván všemi obyvateli

V 1.NP se pro první jednotku nachází zádveří, hala, obývací pokoj s kuchyní, pracovna, spižárna, garáž a WC.

Druhá jednotka je velikosti 2+KK, tedy hala, obývací pokoj s kuchyňským koutem, ložnice, koupelna a WC. Je umožněn přímý vstup na pozemek.

Ve 2.NP jsou na protilehlých stranách chodby umístěny dva dětské pokoje se společnou šatnou a koupelnou uprostřed chodby.

1.PP je vybaveno hernou, WC, prádelnou, sklady, technickou místností a bazénovou halou s koupelnou. Je umožněn přímý vstup na pozemek.

4.4 Skladba konstrukcí

Přehled konstrukcí je součástí přílohy 2.

Pro urychlení výpočtu součinitele prostupu tepla byly všechny konstrukce zadány v nástroji Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci, dostupným na TZB-info (2).

Výpočet je v souladu s ČSN 73 0540-4 a ČSN EN ISO 6946.

Podrobný přehled je v příloze č. 2.

Skladba konstrukcí je podkladem pro stanovení tepelných ztrát místností v objektu a vypracování PENB. Výpočet je uveden v kapitole 6 - .Protokol PENB je součástí přílohy 1.

Tepelná ztráta budovy.

5 Průkaz PENB

5.1 Zónování objektu

Objekt byl rozdělen na tři zóny. Zóna 1 je největší a pokrývá takřka celý dům, obytné místnosti, koupelny, WC a další.

V zóně dvě se nachází garáž, ve které je návrhová teplota stanovena na 15°C, větrání je nucené, ale řešeno pouze místní rekuperační jednotkou.

Třetí zónou je bazénová hala v podzemním podlaží, ve které je návrhová teplota 28°C/24°C (v provozní době/úsporném režimu). Místnost je vybavena samostatnou odvlhčovací jednotkou. Kromě rozdílných teplot se také liší provozním režimem.

5.2 Zhodnocení

Hodnocená budova vyšla jako mimořádně úsporná c celkové dodané energie a velmi úsporná ve spotřebě neobnovitelné primární energie. Obálka budovy je stavebně velmi kvalitně navržena, splňuje maximální požadovaný prostup tepla $U_{em,20}$, ale je mírně znehodnocena vlivem členitosti objektu. Velký vliv také hraje bazénová místnost, která vzhledem ke zvýšené vnitřní návrhové teplotě vykazuje výrazně vyšší ztráty než ostatní místnosti a to jak v ztrátách prostupem tepla, tak i výměnou vzduchu.

Vytápění a příprava teplé vody je velmi úsporné, největší vliv na výsledný stav jsem zaznamenal u položky měrná tepelná ztráta potrubí, která dokáže s výsledky hodně zahýbat.

Nejnepříznivějších hodnot nabývá budova v položce chlazení a větrání. U větrání jsem snížil hodnotu účinnosti výměníku ZZT (protože účinnost je vázána na objemový průtok vzduchu, a při malých objemech není tak vysoká) a protože je vytvořena pouze jedna zóna, nedokázal jsem zahrnout princip přivádění čerstvého vzduchu do místností obytných a odvod vzduchu přes místnosti hygienického zázemí.

Naopak osvětlení je vykresleno velice optimisticky, obzvlášť v inteligentním domě, kde je na dostatek světel a nastavení scén velký požadavek.

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY							
	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Díleč dodaná energie			Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)		
Mínorádné úsporné							
A	<input type="text"/>	121,5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	96,5	<input type="text"/>
B	0,29	121,5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	11,4
C	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12,7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
D	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	12,7	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
E	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
F	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
G	<input type="text"/>	<input type="text"/>	7,5	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		25,1	1,5	2,6	0,0	19,9	2,4

Obrázek č. 5.1 - Výstup z nástroje NKN

Protokol PENB je součástí přílohy 1.

6 Tepelná ztráta budovy

6.1 Tepelná ztráta prostupem tepla

Výpočet tepelných ztrát vychází z normy ČSN EN 12 831 Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu (3).

Norma popisuje výpočet tepelného výkonu pro vytápěný prostor (objekt) či jeho části pro dimenzování výkonu otopných ploch, které uvažovanou tepelnou ztrátu a zachovají v místnosti tepelnou pohodu. Uvažuje s tepelnými ztrátami prostupem konstrukcí do vnějšího prostředí a tepelnými ztrátami větráním nebo infiltrací pláštěm budovy do vnějšího prostředí nebo do nevytápěných a temperovaných prostor.

Vnější výpočtová teplota pro oblast Brno $\theta_e = -12^\circ\text{C}$. Vnitřní výpočtové teploty jsou zahrnuty v Tabulka 6.1 - Tabulka vypočtených tepelných ztrát místností. Výpočet je popsán v kapitole 6.2 a výpočet s hodnotami v příloze 3.

Celková návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru se vypočte dle vztahu:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{v,i} \text{ [W]} \quad (6.1)$$

kde:

$\Phi_{T,i}$ = návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru

$\Phi_{v,i}$ = návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru

Výpočet návrhové tepelné ztráty prostupem tepla

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{t,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_{int,e}) \text{ [W]} \quad (6.2)$$

kde:

$H_{T,ie}$ – součinitel TZ z vytápěného prostoru do venkovního prostředí pláštěm

$H_{T,iue}$ – součinitel TZ do venkovního prostředí přes nevytápěný prostor

$H_{T,ig}$ – součinitel TZ z vytápěného prostoru do zeminy

$H_{T,ij}$ – součinitel TZ z vytápěného prostoru do prostoru s jinou teplotou

$\theta_{int,i}$ – vnitřní výpočtová teplota vytápěného prostoru

$\theta_{int,e}$ – venkovní výpočtová teplota

Tepelná ztráta do venkovního prostředí zjednodušenou metodou určení lineárních tepelných mostů

$$H_{T,ie} = \Sigma(A_k \cdot U_{kc} \cdot e_k) [W/K] \quad (6.3)$$

kde:

A_k – plocha stavební konstrukce

U_{kc} – součinitel prostupu tepla konstrukce

e_k – korekční součinitel vystavení povětrnostním vlivům

Korekční součinitel e_k je volen 1,0.

Stanovení celkového součinitele prostupu tepla s přírážkou tepelných mostů

$$U_{kc} = U_k + \Delta U_{tb} [W/m^2 K] \quad (6.4)$$

kde:

ΔU_{tb} – korekční součinitel

Ve zjednodušené metodě se nepočítá s přesným vyčíslením lineárních tepelných vazeb, namísto toho se může zavést opravný součinitel, tzv. konstantní přírážku. Norma ČSN 73 0540-4 tento postup umožňuje. V našem případě by bylo přesné určení tepelných mostů zbytečně náročné, se zanedbatelným vlivem na výsledek, avšak při stanovení tepelných ztrát v simulačním softwaru je vhodné zvolit přesné stanovení vlivu tepelných vazeb.

Uvažujeme jednotnou hodnotu $\Delta U_{tb} = 0,05 W/m^2 \cdot K$.

Tepelná ztráta nevytápěným prostorem zjednodušenou metodou určení lineárních tepelných mostů

$$H_{T,iue} = \Sigma(A_k \cdot U_{kc} \cdot b_u) [W/K] \quad (6.5)$$

kde:

b_u – redukční součinitel teplotou vytápěného prostoru a venkovním prostředím

Určení redukčního součinitele

$$b_u = \frac{\theta_{int,i} - \theta_u}{\theta_{int,i} - \theta_e} [-] \quad (6.6)$$

kde:

θ_u – teplota nevytápěného prostoru [$^{\circ}K$]

Tepelná ztráta do přilehlé zeminy

$$H_{T,ig} = f_{g,1} \cdot f_{g,2} \cdot (\Sigma A_k \cdot U_{equie,k}) \cdot G_w \text{ [W/K]} \quad (6.7)$$

kde:

$f_{g,1}$ – korekční činitel vlivu ročních změn venkovní teploty

$f_{g,2}$

– teplotní redukční činitel rozdíl průměrné venkovní teploty a výpočtové venkovní teploty

G_w – korekční činitel zohledňující vliv spodní vody

$U_{equie,k}$ – ekvivalentní součinitel prostupu tepla dle typologie podlahy

Základní hodnota $f_{g,1}=1,45$.

Hodnota $U_{equie,k}$ z rovnice (6.7) byla převzata z tabulky 4 v technické normě ČSN EN 12 831 pro charakteristické vstupní hodnoty $B' = 3\text{m}$ pro podlahu v podzemním podlaží a obvodové stěny, $B' = 0\text{m}$ pro vstupní podlaží. Vzhledem k malému rozptylu hodnot není nutná interpolace. Neuvažuje se tepelný odpor přilehlé zeminy.

Výpočet redukčního součinitele $f_{g,2}$

$$f_{g,2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \text{ [-]} \quad (6.8)$$

kde:

$\theta_{m,e}$ – průměrná roční venkovní teplota [$^{\circ}\text{C}$]

Průměrná roční venkovní teplota pro oblast Brno je dána aritmetickým průměrem teplot v otopném období. Dle statistické tabulky vypočteme $\theta_{m,e} = 5,42^{\circ}\text{C}$.

Výpočet parametru B' pro určení součinitele $U_{equie,k}$

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \text{ [-]} \quad (6.9)$$

kde:

A_g – plocha podlahové konstrukce zvažované části [m^2]

P – obvod podlahové konstrukce zvažované části [m]

Tepelná ztráta do nebo z vytápěných prostorů při různých teplotách $H_{T,ij}$

$$H_{T,ij} = \Sigma(f_{ij} \cdot A_k \cdot U_k) \text{ [W/K]} \quad (6.10)$$

kde:

$f_{i,j}$ – činitel korigující teplotní rozdíl sousedního prostoru a venkovní výpřčtové teploty

V tomto výpočtu se nezahrnuje vliv tepelných vazeb.

6.2 Tepelná ztráta větráním

Tepelná ztráta větráním

$$\Phi_{v,i} = H_{v,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) [W] \quad (6.11)$$

kde:

$H_{v,i}$ – je součinitel tepelné ztráty větráním [W/K^{-1}]

$\theta_{int,i}$ – výpočtová teplota vytápěného prostoru (i) [$^{\circ}C$]

θ_e – venkovní výpočtová teplota [$^{\circ}C$]

$$H_{v,i} = \frac{c_p \cdot \rho \cdot V_i}{3600} [W] \quad (6.12)$$

kde:

V_i – Výměna vzduchu ve vytápěném prostoru [m^3/h]

c_p – měrná tepelná kapacita vzduchu při $\theta_{int,i}$ [kg/m^{-3}]

ρ – měrná tepelná kapacita vzduchu při $\theta_{int,i}$ [$kJ/(kg \cdot K)$]

Rovnice se zjednoduší za předpokladu konstantních hodnot součinitelů c_p a ρ

$$H_{v,i} = 0.34 \cdot V_i [W] \quad (6.13)$$

Kde:

V_i – Výměna vzduchu ve vytápěném prostoru [m^3/h]

Výpočet hygienické potřeby vzduchu

$$V_i = V_{min} \cdot n_{min} [m^3/h] \quad (6.14)$$

kde:

V_{min} – objem místnosti určený z vnitřních rozměrů [m^3]

n_{min} – minimální intenzita výměny venkovního vzduchu [$1/h$]

Infiltrace obvodovým pláštěm budovy

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_1 [m^3/h] \quad (6.15)$$

kde:

n_{50} – výměnu vzduchu při tlakovém rozdílu 50Pa mezi vnitřním a vnějším prostorem

e_i – stínící součinitel definovaný normou [–]

ε_i – výškový korekční součinitel zohledňující zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země. Základní hodnoty jsou uvedeny v [–]

Hodnota intenzity výměny vzduchu n50 se určuje experimentálně na základě blower-door testování. Výchozí hodnoty jsou popsány v příslušné normě.

Podíl infiltrace na větrání místností se v případě nízkoenergetických domů úmyslně snižuje, a to až k hodnotám $0,05\text{h}^{-1}$. V běžných domech může infiltrace nabývat až desetinásobných hodnot, což pochopitelně zvyšuje nežádoucí tepelnou ztrátu místnosti. Veškeré větrání v NED obstarává vzduchotechnický systém často v kombinaci se zpětným získáváním tepla.

Pro účely výpočtu je možné hodnoty infiltrace zcela zanedbat, jelikož nikdy nedosáhnou potřebného minima $V_{\text{int},i}$ (6.15) a neovlivní tak výpočet minimální výměny vzduchu, a to ani při udržovacím větrání bez pobytu osob v prostoru.

Výpočet množství větraného vzduchu při systému nuceného větrání

$$V_i = V_{\text{int},i} + V_{\text{su},i} \cdot f_{v,i} + V_{\text{mech,inf},i} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (6.16)$$

kde:

$V_{\text{su},i}$ – množství přiváděného vzduchu do větrané místnosti $[\text{m}^3/\text{h}]$

$f_{v,i}$ – teplotní redukční součinitel $[\text{m}^3/\text{h}]$, stanovený dle rovnice níže ()

$V_{\text{mech,inf},i}$ – rozdíl přívodního a odvodního vzduchu $[\text{m}^3/\text{h}]$, pro rovnotlaké = 0

Součinitel $f_{v,i}$

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{su},i}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e} \quad (6.17)$$

kde:

$\theta_{\text{su},i}$ – teplota přiváděného vzduchu do vytápěného místnosti

Rovnice (6.17) pro výpočet teploty přiváděného vzduchu se při použití vzduchotechniky vybavené zpětným získáváním tepla může stanovit pomocí úpravy následujícího vzorce (6.18). Pro ZZT se většinou využívá koeficient teplotní účinnosti φ , který je sice závislý na průtoku a tlaku, ale umožňuje snadný výpočet teploty vzduchu za výměníkem. Koeficient lze nalézt v podobě grafu v technických listech výrobce daného zařízení. Ve výpočtu je uvažováno s jednotnou hodnotou $\varphi = 65\%$.

Rovnice účinnosti ZZT

$$\varphi = \frac{\theta_{su,i} - \theta_e}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad (6.18)$$

Rovnice po úpravě

$$\theta_{su,i} = (\theta_{int,i} - \theta_e) \cdot \varphi + \theta_e \quad (6.19)$$

kde:

φ – koeficient teplotní účinnosti [–]

Zajímavá situace vzniká při výpočtu větracího vzduchu pro koupelnu, kde se počítá s tím, že přírodní vzduch je ve skutečnosti odváděný vzduch z obytných místností. Takový vzduch sice nemá parametry venkovního čerstvého vzduchu, ale pro větrání koupelny a toalety je dostatečný. Teplota přírodního vzduchu do těchto místností je pak teoreticky 20°C a tepelná ztráta větráním pak vychází mnohem příznivěji, neboť vzduch je potřeba ohřát jen o 4°C. Pro návrh otopného tělesa do koupelny je pak třeba tento fakt vzít v úvahu – výkon otopného tělesa musí být bezpodmínečně vyšší než celková tepelná ztráta místnosti, bez ohledu na pokrytí tepelných ztrát vzduchotechnikou.

Výpočtové tabulky jsou obsazené v Příloze 1 – Výpočet návrhových tepelných ztrát

Výsledky přílohy 1 jsou uvedeny níže: Tabulka 6.1 - Tabulka vypočtených tepelných ztrát místností

ozn.	název místnosti	návrhová vnitřní teplota t_i [°C]	tepelná ztráta prostupem [W]	tepelná ztráta větráním [W]	celková tepelná ztráta [W]
1.01	Zádveří	20	361	0	361
1.02	Garáž	15	699	938	1637
1.03	Chodba	20	0	0	0
1.04	Obývací pokoj	20	1224	256	1481
1.05	Kuchyň	20	78	139	217
1.06	Pracovna	20	141	36	176
1.07	Komora	20	0	0	0
1.08	WC	20	0	0	0
1.09	Sklad	20	0	0	0
1.10	Hala	20	359	0	359
1.11	Koupelna	24	228	20	248
1.12	Obývací pokoj + kuchyň	20	931	223	1153
1.13	Ložnice	20	508	71	579
2.01	Chodba	20	394	0	394
2.02	Koupelna	24	365	67	432
2.03	Pokoj	20	529	74	603
2.04	Šatna	20	140	0	140
2.05	Pokoj	20	525	83	608
0.01	Chodba	20	432	80	512
0.02	Herna	20	762	253	1015
0.03	Prádelna	20	0	0	0
0.04	Technická místnost	20	0	0	0
0.05	Koupelna	24	55	41	95
0.06	WC	20	0	0	0
0.07	Bazén	28	1732	798	2530

Tabulka 6.1 - Tabulka vypočtených tepelných ztrát místností

7 Potřeba teplé vody

Výpočet potřeby teplé vody je z hlediska hospodárnosti přípravy teplé vody rozhodující. Teplou vodu totiž na rozdíl od vytápění potřebujeme každý den celoročně.

Je proto navržen dvoustupňový ohřev teplé vody, tedy předeřev z akumulací nádrže přes výměník a následný dohřev v nádrži TV (opět přes výměník). Toto zapojení umožňuje ohřívát na vysokou teplotu (60°C) pouze minimální potřebný objem teplé vody, zatímco v akumulacím zásobníku může být teplota podstatně nižší, což je z ekonomického hlediska výhodnější. Omezí se tím tak ztráty na zásobníku TV a pro vytápění se dá uplatnit funkce ekvitermní regulace už na zdroji tepla a ne jen na samotných rozvodech.

Velikost zásobníku reflektuje s počtem osob i s režimem používání, podle tabulkových hodnot

Návrh bude proveden částečně dle ČSN EN 15316-3-1,2,3 (4) a ČSN EN 06 0320, přestože původně jsem chtěl vycházet pouze z výpočtu dle ČSN 15316-1,2,3, jak jej popisuje výpočet na TZB-info.

„Hodnoty denní potřeby uvedené v TNI 73 0302 slouží pro hodnocení solárních tepelných soustav a údaje z ČSN 06 0320 nelze pro energetické hodnocení použít, protože hodnoty potřeby teplé vody jsou v této normě vysoké a slouží pro návrh ohříváče vody. Při výpočtech potřeby teplé vody a tepla pro její přípravu se má postupovat podle ČSN EN 15316-3-1, 2, 3.“¹

Bohužel jsem narazil na úskalí, kdy se ve výpočtu předpokládá znalost provozu sestav s cirkulačním potrubím. Jedná se zejména o parametry četnosti protočení vody v cirkulaci, a výpočet je celkově založen na přesném započítání tepelných ztrát potrubí dle délek, armatur a objemů. Pro návrh vytápění je složitý výpočet irelevantní.

Denní potřeba teplé vody vychází ze vztahu:

$$V_{w,day} = \frac{V_{w,f,day} \cdot f}{1000} \text{ [m}^3\text{/den]} \quad (7.1)$$

kde:

$V_{w,day}$ = *Specifická potřeba teplé vody na měrnou jednotku a den (pro RD 40 – 50l)²*

f = *počet měrných jednotek (obyvatel)*

Pokud budeme brát počet obyvatel jako 2 rodiče, 3 děti a 2 prarodiče, vyjde nám z rovnice potřeba TV následovně:

$$V_{w/day} = \frac{39,5 \cdot \ln(f) - 90,2}{f} = \frac{39,5 \cdot \ln(426,08) - 90,2}{426,08} = 0,35 \text{ m}^3 \cdot \text{den}$$

¹ Ing. Jakub Vrána, Ph.D. 2010 – Potřeba vody a tepla pro přípravu teplé vody

² Hodnota dle ČSN 060320 je pro bytové domy 82l/os.den. Toto číslo se ukázalo značně naddimenzované, a běžně se používá 40-50l/os.den.

Následně přejdeme k návrhu zásobníku teplé vody dle ČSN 06 0320.

Stanovení potřeby teplé vody:

$$Q_{2p} = (1 + z) \cdot Q_{2t} = \frac{(1 + u) \cdot V_{2p} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)}{3600 \cdot 1000} [kWh/den] \quad (7.2)$$

Kde:

Q_{2t} – teoretické teplo odebrané z ohřívače TV [kWh/den]

z – poměrná ztráta tepla při ohřevu a distribuci TV [–]

V_{2p} – celková potřeba teplé vody [m^3 /den]

ρ – hustota vody při střední teplotě zásobníku [kg/m^3]

c – měrná tepelná kapacita vody [J/kg.K]

t_1 – teplota studené vody [$^{\circ}C$]

t_2 – teplota ohřátí vody [$^{\circ}C$]

Dosazením do rovnice nám vyjde:

$$Q_{2p} = \frac{(1 + 0,4^3) \cdot 0,35 \cdot 1000 \cdot 4200 \cdot (55 - 10)}{3600 \cdot 1000} = 25,7 kWh/den$$

Stanovení velikosti zásobníku

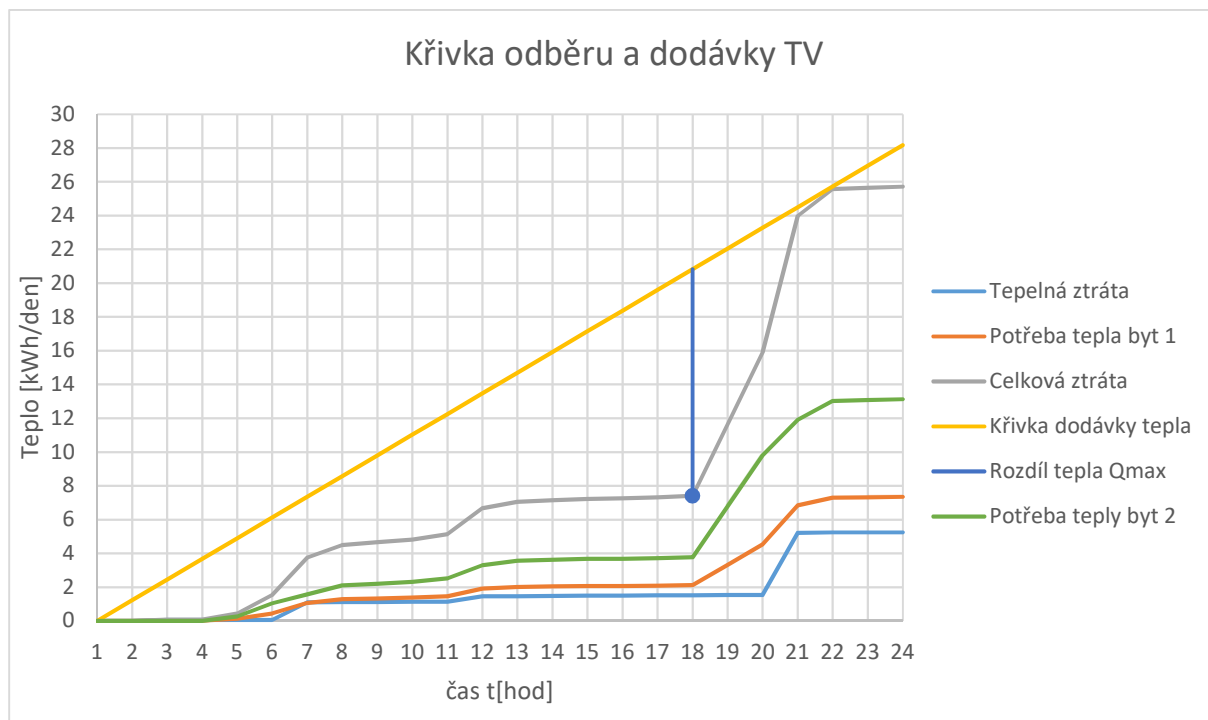
$$V_z = \frac{\Delta Q_{max} \cdot 1000}{\rho \cdot c \cdot (t_2 - t_1)} \cdot 3600 [m^3] \quad (7.3)$$

Kde:

V_z – objem zásobníku TV [m^3]

ΔQ_{max} – maximální rozdíl tepla mezi křivkou dodávky Q a odběrem tepla Q_2 [kWh]

³ Stanoveny na základě rozlehlosti objektu – dům je rozlehlý a opatřen cirkulačním potrubím



Z grafu odečteme hodnotu pro maximální rozdíl mezi dodávkou a odběrem tepla: 13,42kWh

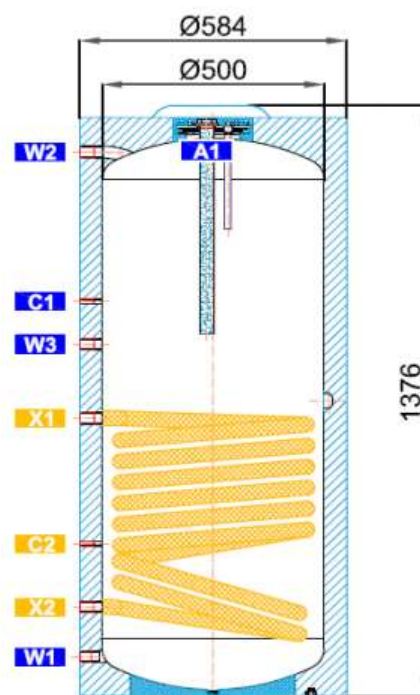
$$V_z = \frac{13,42 \cdot 1000}{1000 \cdot 4200 \cdot (55 - 10)} \cdot 3600 = 0,256 \text{ [m}^3\text{]}$$

Jako zásobník jsem dle závěru výpočtu navrhl Regulus RDC250 (5).

Zásobník má objem 267l a tepelnou ztrátu 87Wh/hod. Teplota v zásobníku může dosahovat maximálně 95°C. Disponuje jedním výměníkem a možností připojení topné spirály na vstupu E1 G6/4". Nahoře na A1 se nachází magnesiová anoda pro zabránění tvorby vodního kamene.

Pokud bych vzal v úvahu dvoustupňový ohřev přes akumulaci nádrž, pravděpodobně bych dostal výrazně menší zásobník TV. Jelikož uvažuji ekvitermní regulaci a v zásobníku tak v létě může být udržována teplota pouze 20°C, přestože je to nereálná situace, když vezmeme v potaz rychlost vychládání zásobníku a fakt, že na střeše je k dispozici 12kW solárního tepla. A pod tuto teplotu voda nikdy neklesne za předpokladu, že budu v místnosti udržovat alespoň 20°C.

Nutno ovšem zmínit, že v úvodu jsem de facto počítal v rovnici (7.1) s 50m³/os.den. Spotřeba vody se nicméně stále navyšuje, a tak mírně předimenzovaný zásobník nevádí, tepelná ztráta u 208l verze stejného výrobce zásobníku je 82W, tedy pouze o 5W nižší.



Obrázek č. 7.1 - Zásobník RDC 250 - řez

8 Ohřev bazénové vody

Ohřev bazénové vody bude probíhat přes dvojici výměníků. První výměník je napojený přímo na solární systém a podle priority systému se bude trojcestným ventilem přepínat mezi ohříváním bazénové vody a nabíjením akumulární nádrže. Druhý výměník je umístěn za ním a je zásobený vodou z akumulární nádrže přímo. Teoreticky je tedy možné použít k ohřevu vody i elektrokotel nebo krb.

8.1 Vstupní údaje

Okrajové podmínky:

Teplota vody v bazénu: 26°C

Úsporná teplota vody: 22°C

Teplota vzduchu v interiéru: 28°C

Úsporná teplota vzduchu v interiéru: 22°C

Relativní vlhkost požadovaná: 55%

Plocha bazénu

$$A = 3,05 * 6,145 = 18,74m^2$$

$$A_{stěny} = 2 * 3,05 * 2,2 + 6,145 * 2 * 2,2 + 3,05 * 6,145 = 59,198m^2$$

Objem bazénové haly:

$$V = 121,344m^3 - \text{Hodnota odečtena z výkresu}$$

$$V_{bazén} = A * v = 18,74 * 2,2 = 41,228m^3$$

8.2 Zjednodušený výpočet

Rovnice měsíční spotřeby tepla v kWh/měs pro dobu využití bazénu $\tau_p = 4h$ při aktivním využití

$$Q_{p,z} = \frac{n}{1000} \tau_p \left[\beta_p A_b (p_{v(tw,p)}'' - p_{v(t_{v,p})}) * \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,p} - t_{v,p}) \right] \quad (8.1)$$

Rovnice měsíční spotřeby tepla v kWh/měs pro dobu využití bazénu $\tau_p = 20h$ v zakrytém stavu

$$Q_{p,z,zak} = \frac{n}{1000} (24 - \tau_p) \left[\beta_p A_b (p_{v(tw,n)}'' - p_{v(n)}) * \frac{l_w}{3600} + \alpha_e A_b (t_{w,n} - t_{v,n}) \right] \quad (8.2)$$

Kde:

n = počet dní v měsíci

τ_p = denní provozní doba bazénu [h]

β_p = Součinitel přenosu pro vnitřní bazén při provozu; $\beta_p = 1,6 \times 10^{-4}$ [kg/h.m².Pa]

β_n = Součinitel přenosu pro vnitřní bazén mimo dobu provozu; $\beta_n = 0$ [kg/h.m².Pa]

$\tau_{w,p}$ = požadovaná teplota vody v bazénu v době provozu [°C]

$\tau_{w,n}$ = požadovaná teplota vody v bazénu mimo dobu provozu [°C]

$\tau_{v,p}$ = vnitřní teplota v místnosti v době provozu [°C]

$\tau_{v,n}$ = vnitřní teplota v místnosti mimo dobu provozu [°C]

$p_{v(tw)}''$ = tlak syté vodní páry u hladiny při teplotě vzduchu shodné s teplotou vody [Pa]

$P_{v(t,v)}$ = tlak syté vodní páry v okolním vzduchu při relativní vlhkosti φ_v [Pa]

l_w = výparné teplo vody, $l_w = 2,5 \times 10^6$ J/kg

α_i = součinitel přestupu tepla mezi hladinou a okolním vzduchem, uvažuj $\alpha_i = 10$ W/m²K

Parciální tlak syté vodní páry se stanoví z rovnice

$$p_{v(tw)}'' = e^{23,58 - \frac{4044,2}{235,6+t}} \text{ [Pa]} \quad (8.3)$$

Kde:

t = teplota vzduchu [°C]

Tlak vodní páry při teplotě t_v při relativní vlhkosti φ_v

$$P_{v(t,v)} = \varphi_v * p_{v(tw)}'' \quad (8.4)$$

Vzorové dosazení pro nezakrytý bazén s dobou provozu 4 hodiny

$$Q_{p,z} = \frac{31}{1000} * 4 * \left[1,6 \times 10^{-4} * 18,74 * (3362,7 - 2457,8) * \frac{2,5 \times 10^6}{3600} + 10 * 18,74 * (26 - 28) \right] \\ = 41,19 \text{ kWh/měs.}$$

Měsíční potřeba tepla na ohřev přiváděné studené bazénové vody

$$Q_{p,sv} = k \cdot \frac{V_{sv,os} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_w - t_{sv})}{3,6 \cdot 10^6} \text{ [kWh/měs]} \quad (8.5)$$

Kde:

k = počet osob využívajících bazén

$V_{sv,os}$ = měrná potřeba čisté vody na osobu v m^3 , udává se jednotně $0,03m^3/os$

ρ = hustota vody v kg/m^3

c = měrná tepelná kapacita vody, $c = 4180J/kgK$

t_{sv} = teplota přiváděné vody [$^{\circ}C$]

Uvažujeme s proměnlivými počty návštěvníků. Přes zimu stanovíme hranici 2os/den, v letním období plný počet obsazenosti, tj. 7os/den. Tímto se dostáváme průměrně na 133os/měsíc.

Tepelná ztráta prostupem konstrukce se běžně neuvažuje. Udává se, že ztráta prostupem téměř zanedbatelná, tím více, jedná-li se o zapuštěný interiérový bazén. Proto provedu jen velmi hrubý odhad na základě předpokládaných konstrukcí pro zimní návrhový stav.

Skladba:

Zemina	
Obetonování	300mm
Polystyren EXP	150mm
Stěna bazénu	dle výrobce, nebude započítáno
Lemovka	dle výrobce, nebude započítáno

$$R = 3,96m^2 \cdot K/W$$

$$U = 0,252W/m^2 \cdot K$$

Výpočet redukčního součinitele $U_{13370} = U \cdot b$

$$U_{13370} = \frac{\theta_i - \theta_g}{\theta_i - \theta_e} \cdot U = \frac{26 - 5}{26 - (-12)} \cdot 0,252 = 0,1139W/m^2 \cdot K^4$$

$$Q_s = U_{13370} \cdot A_{stěny} \cdot (\theta_w - \theta_e) = 0,139 \cdot 59,178 \cdot (26 - (-12)) = 313,1W$$

⁴ Teplota zeminy $5^{\circ}C$ je na základě doporučení z článku Dimenzování solárních soustav – Matuška 2007

Měsíční tepelná ztráta prostupem tepla bazénovou konstrukcí se pak rovná

$$Q_s = \frac{Q_s \cdot 24 \cdot n}{1000} = \frac{313,1.24.31}{1000} = 232,998 \text{ kWh/měs}$$

Tabulka s výpočty je samostatně v příloze 4. Koncové hodnoty budou vloženy do tabulky v kapitole níže.

Při porovnávání výpočtu z nástroje TZB-info.cz (6) jsem se nemohl dopočítat potřeby tepelného výkonu pro vyhřívání bazénu. Obě grafové čáry (Obrázek č. 9.1) jsou si v podobné, velmi hrubě souhlasí, nicméně je zajímavé, že jsou rozdílně vyklenuté. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že v online nástroji jsou automaticky započteny vlivy slunečního záření - tím se vysvětluje snížená potřeba tepla v letních měsících (Okrajové podmínky se totiž nemění, v místnosti je stejná teplota a je i stejný požadavek na teplotu vody, křivka by měla v zimních měsících klesat, protože bazén bude častěji zakrytý). Bohužel zde chybí možnost definování míry zaclonění. Protože bazén v objektu je v přízemí a má jen pásová okna, bude vliv slunce minimální a výpočet tak vypadá více optimisticky. V grafu níže jsou doplněny obě varianty, přičemž celkové potřebné teplo je počítáno z vlastního výpočtu v kapitole 8.2 - Zjednodušený výpočet.

9 Solární bilance

9.1 Zjednodušená metoda

Výpočet byl proveden dle TNI 73 0302. Jedná se o poměrně značně zjednodušený výpočet, skutečný stav může vypadat úplně jinak, pro přesnější propočty se nehodí. Přesto je to jediný výpočet, který je v české republice podložen technickou normalizační informací (TNI).

Výpočet je platný pro kolektory FotoTherm FT S250. Podrobnosti o zvoleném řešení jsou v kapitole 11.1 - Hybridní fotovoltaicko – termický kolektor.

Vzorec pro výpočet teoreticky využitelného zisku solární soustavy pro jednotlivé měsíce:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} - a_2 \cdot \frac{(t_{k,m} - t_{e,s})^2}{G_{T,m}} \right] \cdot H_{T,den} \cdot n \cdot A_k \cdot (1 - p) \quad [W] \quad (9.1.1)$$

kde:

η_0 – optická účinnost solárního kolektoru [–]

a_1 – lineární součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K$]

a_2 – kvadratický součinitel tepelné ztráty kolektoru [$W/m^2 \cdot K$]

$t_{k,m}$ – střední denní teplota teplotnosné kapaliny v solárním kolektoru [$^{\circ}C$]

$t_{e,s}$ – střední venkovní teplota v době slunečního svitu [$^{\circ}C$]

$H_{T,den}$ – skutečná denní dávka slunečního záření [$kWh/(m^2 \cdot den)$]

$G_{T,den}$ – Střední denní sluneční ozáření pro daný sklon a orientaci [W/m^2]

n – počet dnů v měsíci [den]

A_k – plocha aparatury solárních kolektorů [den]

p – srážka z tepelných zisků solárních kolektorů vlivem tepelných ztrát solární soustavy

ěsíc	n	t_{ep}	t_{es}	$G_{T,m}$	η_k	$H_{T,den}$	$H_{T,měs}$	$Q_{k,u}$	$Q_{p,TV}$	$Q_{p,BV}$	$Q_{p,BV,2}$	$Q_{p,c}$	$Q_{ss,u}$
	Den	°C		W/m ²	-	kWh/m ² .den	kWh/m ²	kWh	kWh				
Leden	31	1,50	1,8	408,0	0,00	1,09	33,7	0,0	664,0	207,9	197,4	871,9	871,9
Únor	28	0,00	2,7	479,0	0,00	1,94	54,3	0,0	600,0	177,3	206,6	777,3	777,3
Březen	31	3,2	6,3	526,0	0,06	3,16	97,9	111,9	664,0	171,5	234,2	835,5	723,5
Duben	30	8,8	10,7	521,0	0,13	3,92	117,6	290,0	643,0	123,9	247,1	766,9	476,9
Květen	31	13,6	16,0	516,0	0,22	4,81	149,1	612,3	664,0	90,9	217,7	754,9	142,6
červenec	30	17,3	18,6	512,0	0,27	5,25	157,5	772,7	643,0	60,2	242,1	703,2	0,0
Červenec	31	19,2	20,5	508,0	0,30	5,15	159,	876,3	498,0	47,5	230,5	545,5	0,0
Srpen	31	18,6	21,1	509,0	0,31	4,66	144,4	822,	498,0	52,1	186,9	550,1	0,00
Září	30	14,9	17,1	509,0	0,24	3,90	117,3	512,7	643,0	78,2	209,6	721,2	208,4
Říjen	31	9,4	11,	479,0	0,12	2,37	73,4	156,6	664,0	123,4	196,2	787,7	630,8
Listopad	30	3,2	6,4	417,0	0,00	1,20	36,0	0,00	643,0	165,9	187,0	808,9	808,9
Prosinec	31	-0,2	3,60	377,0	0,00	0,76	23,56	0,00	664,0	197,8	207,8	861,8	861,8

Tabulka 2 - tepelné zisky solárního systému

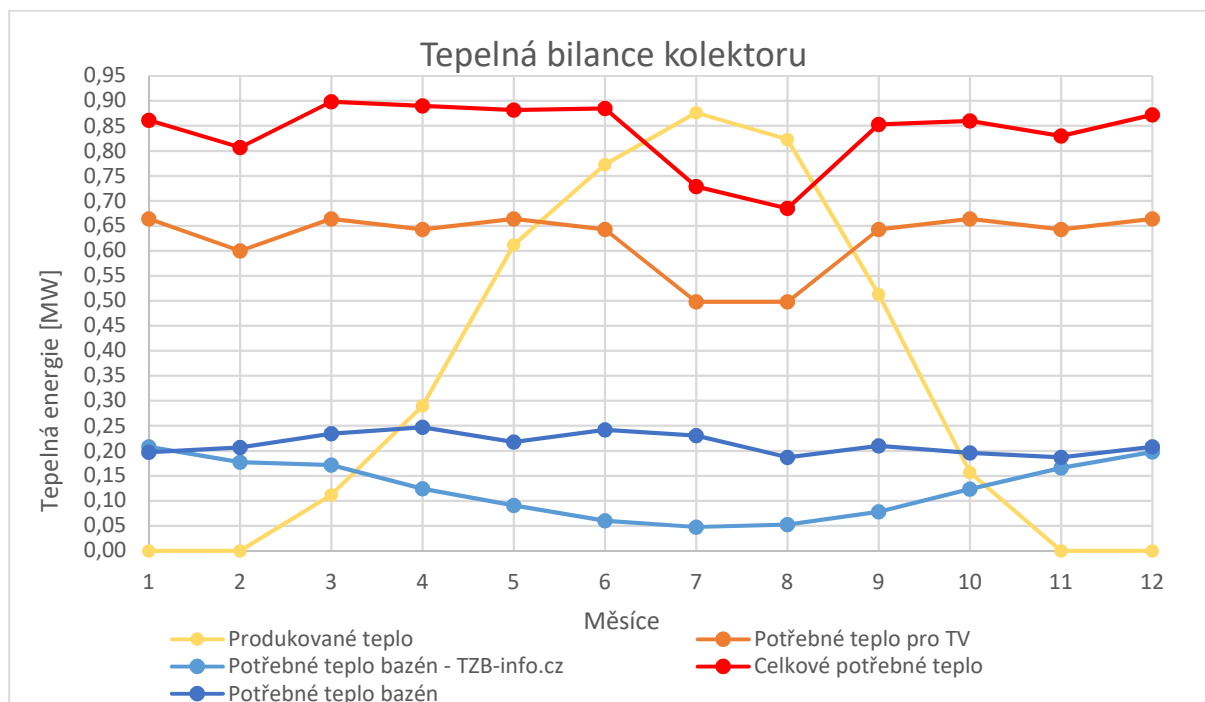
Q_{ku} – Množství získané tepelné energie [kWh]

Q_{ku} – Potřeba tepla na předehřev TV [kWh]

$Q_{p,BV}$ – Potřeba tepla na ohřev bazénové vody [kWh]

$Q_{p,PC}$ – Celková potřeba tepla [kWh]

$Q_{ss,u}$ – Potřeba tepla z dopňkového zdroje [kWh]



Obrázek č. 9.1 - Graf využití solárních zisků: Z grafu se dá vyčíst, že kolektory pokryjí potřebu tepla na předehřev (35°C) v pouze v měsících červen, červenec, srpen

Podíváme-li se na graf a pak rovnici podrobněji, uvidíme, že účinnost těchto konkrétních panelů značně klesá s klesající teplotou okolí $t_{e,s}$. V technickém listě uvedená hodnota $a_1=9,12\text{W/m}^2\text{K}$ je v porovnání s běžnými kolektory příliš extrémní, bohužel však je pro tyto typy kolektorů typická a bylo by vhodnější provést výpočet s hodinovými intervaly, s kterými by bilance vyšla pozitivněji.

Na začátku rovnice (9.1.1) je vztah, který způsobuje, že v měsících s teplotou nižší než 6°C kolektor neprodukuje žádnou tepelnou energii. Optická účinnost je tak nízká, že ji součinitel lineární tepelné ztráty dostane vztahem do záporných hodnot:

$$\eta_0 - a_1 \cdot \frac{t_{k,m} - t_{e,s}}{G_{T,m}} = 0,56 - 9,12 \cdot \frac{35 - 2,7}{479} = -0,054$$

Následující příklad je proveden dle TNI 73 0320 pro měsíc únor se střední teplotou $2,7^\circ\text{C}$. Po dosažení do rovnice (9.1.1) dostaneme měsíční zisky soustavy (Hodnota srážky z tepelných zisků vlivem tepelných ztrát na rozvodech je stanovena na 20%):

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[0,56 - 9,12 \cdot \frac{35 - 2,7}{479} - 0 \cdot \frac{(35 - 2,7)^2}{479} \right] \cdot 1,09 \cdot 31 \cdot 12 \cdot 1,59 \cdot (1 - 0,2) = 0\text{kW/m}$$

Tento výsledek ještě podělíme počtem dnů v měsíci a počtem hodin slunečního svitu v daném měsíci, abychom získali hodinový výkon – ať už budou taková čísla jakákoli, výsledek bude rovněž 0kW .

Na vině je střední venkovní teplota, která se počítá váženým průměrem všech hodnot za dobu slunečního svitu daného měsíce. Pokud jsou v lokalitě velké výkyvy teplot, budeme dosahovat méně optimistických výsledků, protože po zprůměrování bude hodnota opět nízká.

Když se zaměříme jednu hodinu v náhodně zvoleném měsíci, dosáhneme mírně povzbudivějších výsledků:

Data odpovídají ke dni 25.února 2017 – doba svitu 2 hodiny, teplota max. 7°C , min. -3°C , střední teplota 5°C . Hodnota osvětlenosti 479W/m^2 je převzata z hodnot TNI, jedná se opět o střední hodnoty, mohu si tedy dovolit tuto hodnotu převzít, byť tím zřejmě snižuji vypočtený výkon:

$$Q_{k,u} = 0,9 \cdot \left[0,56 - 9,12 \cdot \frac{35 - 7}{479} - 0 \cdot \frac{(35 - 7)^2}{479} \right] \cdot 0,25 \cdot 16 \cdot 1,59 \cdot (1 - 0,2) = 0,137\text{kWh/hod}$$

Nejedná se o velký rozdíl, nicméně během jedné hodiny solární systém vyprodukoval 137W tepla a to znamená, že celková měsíční bilance už nebude nulová.

Zjednodušená metoda mi nepřinesla moc pozitivní výsledky, avšak budou považovány za nejpřesnější a bude s nimi dále počítáno.

10 Koncept vytápění objektu

Objekt je stavěn v nízkoenergetickém standardu, potřeby energie na vytápění jsou tak poměrně nízké. Bohatě převyšujeme požadavky na budovu s téměř nulovou spotřebou energie.

Je počítáno s tím, že veškeré tepelné ztráty větráním budou hrazeny vzduchotechnickou jednotkou. Ta bude nastavena stabilně na 20°C, protože sladit potřebnou výměnu vzduchu a zároveň řídit teplotu napříč různými větvemi je velmi obtížné, o pokrytí tepelných ztrát prostupem se postará teplovodní systém vytápění. Vzduchotechnická jednotka je vybavená systémem zpětného získávání tepla (ZZT), díky kterému dokáže odpadní teplo využít pro ohřátí přiváděného vzduchu. Protože se účinnost ZZT mění v závislosti na objemovém průtoku vzduchu, bude uvažováno s nižší konstantní účinností, s hodnotou 60%.

Vzduchotechnická jednotka bude osazena regulátorem komunikujícím protokolem ModBus, díky kterému je možno ji propojit se systémem domácí automatizace.

Ve většině objektu slouží k vytápění podlahové vytápění. Je moderní, pohodlné, nepřekáží v dispozici. Bude umístěno v celém druhém nadzemním podlaží, včetně dětských pokojů, chodby, koupelny a šatny. V koupelnách je umístěno rovněž z pocitových důvodů. Dlažby jsou obecně studeným materiálem a po nahřátí se můžou stát velmi příjemným. Tento pocit umocňuje proložení topného hadu pod sprchový kout. Dlažby mají navíc nízký tepelný odpor, takže použití v těchto typech místnostech je více než vhodné.

Výhodou a zároveň nevýhodou podlahového topení je jeho dlouhý náběh. Výhodou proto, že pokryje výkyvy venkovních teplot, aniž by se výrazně změnila teplota uvnitř. Nevýhoda tkví v tom, že díky této vlastnosti neumožňuje tak dobrou zónovou regulaci regulaci ani vypínání a vychládání místnosti v průběhu spaní.

V obývacím pokoji jsou pak navrženy podlahové konvektory pod francouzská okna. Doplnkový zdroj nebyl nutný, konvektory mají dostatečný výkon pro pokrytí tepelné ztráty i v největších mrazech. Zvažoval jsem umístění druhého zdroje (podlahové vytápění), či napojení konvektorů na systém vzduchotechniky, například výrobce MINIB to má na svém webu jako novinku, ale upustil jsem od toho. Výhodou by bylo, že by v místnosti nebyly další vyústky a jednalo by se o jakési All-in-one řešení. Co se týče trasování, byl by to minimální zásah, protože by se pouze zhotovily průrazy z 1.PP a rozvod byl pod stropem. Po praktických zkušenostech diskutujících na různých webech ohledně zanášení podlahových mřížek prachem (vcelku logická věc, zvláště při úklidu, kdy se částice prachu zametáním dostávají mezi žebra mřížek) rozhodl je nepoužít.

Pro vytápění jsou v budově použity tři zdroje:

- Teplovodní krb

V dokumentaci, který jsem převzal z archiwebu byl krb v obývacím pokoji zakreslený. Rozhodl jsem se pro minimální „zásah“ do projektu a ponechal jsem jej. Z dokumentace ale nebylo jasné, zda je napojen na okruh teplé vody či nikoliv, pro účely zpracování DP jsem jej označil za teplovodní krb s vložkou a bude řešený jako doplnkový zdroj tepla s možností nahřívání zásobníku k podpoře vytápění, k nahřívání bojleru s TV a vzhledem k výkonům běžných krbů i k ohřevu bazénové vody. Tento zdroj tepla bude mít vždy nejvyšší prioritu v pořadí spínání zdrojů, tzn. pokud bude krb v provozu, neměl by mít potřebu spínat žádný jiný zdroj tepla.

Stále se jedná o jeden z nejlevnějších způsobů vytápění, dá se ale předpokládat, že krb s ručním přikládáním vždy zapíná jen uživatel a má k tomu nějaký důvod – ať už je to jen kvůli příjemnosti atmosféry. Toto rozhodnutí musí inteligentní systém v domě respektovat.

Pokud by došlo k plnému nabití zásobníku, bude uživatel upozorněn, omezí se přísun vzduchu do spalovací komory a spustí se nahřívání bazénu. Tento stav bude vyhodnocován jako poruchový a jedná se o první stupeň ochrany proti přehřátí kapaliny.

- Hybridní fotovoltaicko-termické moduly

V dokumentaci byly na střeše zakresleny fotovoltaické moduly nebo solární kolektory. Jejich orientace a rozmístění nasvědčovaly tomu, že se jedná o fototermiku, ale s jistotou to určit nešlo. Narazil jsem na hybridní FVT moduly, které mají všechny výhody fotovoltaiky a navíc umožňují získat i energii tepelnou. Bohužel je těchto modulů na trhu pomálu a bez odpovídající technické dokumentace pro návrh. Nakonec jsem našel moduly firmy FotoTherm, které splňovaly obě podmínky.

Fotovoltaická část bude přednostně vyrábět elektřinu pro spotřebu běžnými spotřebiči. Přebytečnou energií pak bude nahřívát akumulární nádrž.

Primární funkcí termické části je chránit fotovoltaiku proti přehřívání a zvyšovat tak její účinnost ve výrobě el. Energie. Sekundární funkcí je nabíjení akumulárního zásobníku přes dolní výměník. Pokud by se nahřívání stalo neefektivní z důvodu vysoké teploty teplotnosné látky, přepne se režim do ohřevu bazénové vody. Ohřev bazénové vody je vzhledem k její nízké teplotě efektivní vždy, ale priorita ohřevu je nižší.

- Elektrický kotel

V sítích infrastruktur jsem nenalezl plynovod, proto je navržen elektrický kotel. Dokumentace se o něm nezmiňuje, přesto bude kotel hlavním zdrojem tepla objektu. Bude nahřívát akumulární nádobu i přes výměník i zásobník teplé vody.

11 Zdroje tepla

11.1 Hybridní fotovoltaicko – termický kolektor

Fotovoltaika (FV) je technologie, která přeměňuje sluneční záření na stejnosměrnou elektrickou energii díky fotovoltaickému jevu na velkoplošných fotodiodách. V současné době se fotovoltaika stává velmi moderním a žádaným způsobem výroby elektrické energie i v domácím měřítku. Ceny sériově vyráběných modulů se neustále snižují a počet vyrobené elektřiny z fotovoltaických modulů roste, samozřejmě za podpory ze strany vlády a evropské unie.

Fotovoltaický modul vyrobí kolem 150-200Wp/m², nejúčinnější komerčně dostupné moduly jsou z monokrystalického křemíku od americké firmy SunPower jejichž účinnost se blíží 20% (účinnost jednotlivých monokrystalických křemíkových článků na tomto panelu je až 22%). Konverzní účinnost běžně dostupného fotovoltaického modulu se pohybuje v rozmezí 15-18% u běžně dostupných modelových řad, záleží také na typu použitého modulu. Zatímco monokrystalické mají vyšší účinnost na přímém slunci, s difuzním zářením dokáží lépe pracovat moduly polykrystalické, i když s trvale nižší účinností.

Solární kolektor naproti tomu nabízí pouze tepelnou energii. Sluneční záření, které dopadá na absorber kolektoru je absorbérem pohlceno a díky speciální povrchové úpravě se jen malá část odrazí zpět. K absorberu je připojen rozvod teplotné látky, který přenáší vygenerované teplo do zásobníku teplé vody. Jejich účinnost je daleko vyšší než u fotovoltaiky, dosahuje běžně 80% a dokáží vyprodukovat 600-800W/m² tepla. Momentálně nejúčinnějšími kolektory jsou vakuové trubice, které díky mají díky vakuové vrstvě minimální tepelné ztráty do okolí a dosahují tak až 95% optické účinnosti.

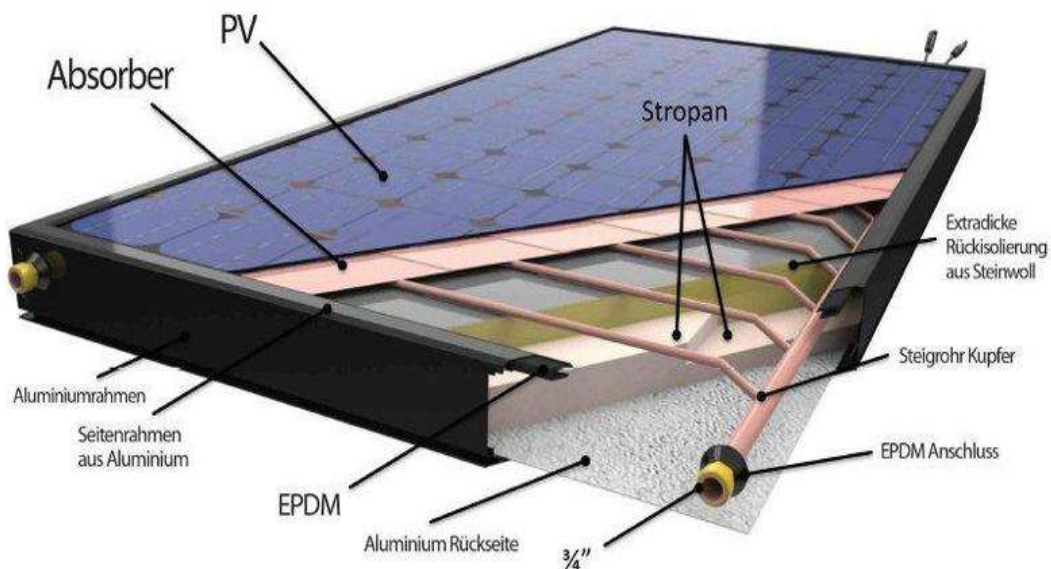
Přestože je jejich princip fungování jednodušší, jsou výrazně dražší než fotovoltaika. Jeden kolektor vyjde dle typu zasklení na 10-20tis. Kč, zatímco FV se pohybují v řádu 4-10tis. Kč.

11.1.1 Přehled

Fotovoltaický panel funguje jako tepelný absorber a z toho důvodu se o něm může uvažovat jako o potenciálním zdroji tepla a je vhodné o využití tohoto tepla uvažovat. Hybridní kolektory (FVT) jsou kombinací fotovoltaických modulů a solárních kolektorů, do určité míry tak přejímají výhody z obou „světů“. Přestože se vyvíjejí už poměrně dlouho, nezáměr výrobců je více protlačovat na trh způsobuje, že je o ně pramalý zájem a díky tomu jsou jejich ceny vysoké.

Velkým nepřítelem fotovoltaických je zvyšující se teplotou na povrchu článků, tím totiž klesá účinnost přeměny elektrické energie a navíc moduly dlouhodobým přehříváním degenerují. Zvláště u větších systému má pak teplota povrchu nezanedbatelný vliv. FVT systémy umožňují odvést odpadní teplo s povrchu absorberu, čímž zvyšují účinnost modulů a zároveň mohou sloužit jako předehřev akumulční nádrže nebo předehřev ke vzduchotechnice.

FVT



Obrázek č. 11.1 - Řez FVT nezaskleným kapalinovým kolektorem

panely se podle teplotné látky dělí na vzduchové a kapalinové. Protože vzduchové jsou rarita i co se týče prototypů, budu pokračovat pouze kapalinovými.

Kapalinové se rovněž dělí na dva typy:

- Zasklené – dosahují vyšších teplot teplotnosné látky díky izolovanému zasklení (až 80°C), ale mají nižší účinnost přeměny na elektrickou energii a vzhledem k vysokým teplotám je nutný stálý oběh čerpadla a pečlivé monitorování teploty.
- Nezasklené – mají nepoměrně vyšší tepelné ztráty (dají se však eliminovat zaizolováním zadní strany) a vlivem toho pracují s nižšími teplotami. Jejich solární účinnost je nižší, účinnost fotovoltaiky vyšší. Hodí se tedy spíše pro přehřev nebo ohřev bazénové vody, prioritou ale zůstává výroba elektrické energie.

Bohužel je na trhu poměrně málo výrobců, kteří tyto moduly nabízejí, a z těch co je nabízejí, jich ještě méně uvádí kompletní dokumentaci. Mezi výrobce patří FotoTherm, SunWin Energy, AMK či Solator. Z těchto zmíněných výrobců nabízí jen FotoTherm technický list s potřebnými údaji pro návrh. Tepelné technická část zřejmě kazí jinak rozumné parametry FV.

Vzhledem k omezenému výběru byl tedy zvolen parametrový střed, panel firmy FotoTherm s označením FT250CS.

11.1.2 Účinnost

Za zmínku stojí vztah, který popisuje pokles účinnosti s rostoucí teplotou povrchu. (7)

Vztah pro výpočet je popsán níže:

$$\eta_{FV,t} = \eta_{pv} \cdot \left(1 + \frac{\gamma}{100} \cdot (t_{FV,t} - t_{ret}) \right) [\%] \quad (11.1.1)$$

Kde:

$\eta_{FV,t}$ – referenční účinnost při referenčních zkušebních podmínkách STC⁵

$t_{FV,t}$ – teplota fotovoltaického článku [°C]

t_{ret} – referenční teplota článku – 25°C

γ – teplotní součinitel výkonu [%/K] pro daný modul⁶

Pokud si do vztahu dosadíme hodnoty konkrétního zvoleného modulu (FotoTherm Serie FT260CS),:

Typical power: 260 WP

Module efficiency: 16,2%

Temperature coefficient Pn (γ): -0,41%/°C

dostaneme se k následujícím hodnotám.

⁵ STC - Standardní testovací podmínky (Standard Test Condition) stanovují postup měření charakteristiky FV článků – intenzita záření 1000W/m², spektrum AM1,5 Global a teplota povrchu panelu 25°C

⁶ Běžně udávaná hodnota v datasheetu

$$\eta_{FV,t} = 0,162 \cdot \left(1 + \frac{-0,41}{100} \cdot (60 - 25)\right) = 13,87\%$$

Tímto jsme získali účinnost jednoho kolektoru při teplotě 60°C, což je běžná hodnota teploty modulu s přirozeným chlazením (8).

To je, v porovnání s katalogovou účinností, pokles o téměř o 2,5%, při rozmístění 16 modulů tak po dobu 6 hodin v letním období při podmínkách STC získáme místo 15,55kW jen 13,32kW. To je rozdíl ve výkonu téměř 2,2kW, který mohl být využit účelněji.

Vyšších teploty mají také vliv na stárnutí FV článků, které pak pomalu ztrácejí na výkonu (9).

11.1.3 Návrh

Návrh fotovoltaické části není předmětem diplomové práce, bude řešena jen část ze strany solárních kolektorů. FVT kolektory se vyznačují nízkou teplotou teplotnosné látky a proto jsou dimenzovány na nízký průtok. Doporučené hodnoty průtoku se pohybují mezi 1,5-2,5l/min, v porovnání s běžnými průtoky obyčejných solárních kolektorů je to málo a čerpadlové jednotky na to nejsou uzpůsobeny, většina z nich pracuje s průtoky řádově stokrát vyššími.

Zvolil jsem čerpadlovou skupinu S2 Solar 30, WILO, 2-12l/min, G ¾“.

Sestava se dodává včetně regulátoru SRS2 TE, který ale nebude zapojen. Tyto regulátory sice podporují komunikaci přes sběrnici CAN, ale pro Loxone neexistuje žádný oficiálně vydaný převodník a tak veškeré funkce regulátoru převezme systém domácí automatizace. Regulátor umožňuje čtení z třech teplotních čidel PT1000 a zvládne ovládat dva okruh, dále má funkce dochlazování kolektorů či ochranu zásobníkové nádrže, funkce předehřevu zpátečky a to vše je zabaleno v krabici s dotykovým displayem.

Dle solární bilance získáme v červenci přibližně 4kWh během hodiny. Maximální měsíční výkon soustavy je 876,36kWh, při délce slunečního svitu 7 hodin⁷ a počtu dnů v měsíci 31, vychází přibližně zmíněné 4kWh.

Kalorimetrické rovnice pro stanovení maximální hmotnostní průtoku:

$$m = \frac{Q}{c \cdot (t_1 - t_2)} \quad (11.1.2)$$

Kde:

Q – získané teplo [kWh]

c – merná tepelná kapacita směsi etylenglykol + voda = 3,63 J/Kg.K

t_1 – teplota ohřáté teplotnosné látky [°C] – uvažuji 55°C

t_2 – teplota přívodní teplotnosné látky [°C] – uvažuji teplotu AKU nádrže 25°C

⁷ Jiří Beranovský, Jan Truxa, 2003, Alternativní energie pro Váš dům

Po dosazení získáme:

$$m = \frac{4000}{3630 \cdot (55 - 25)} = 0,036 \text{ kg/s} = 2,2 \text{ l/min}$$

Při vyšším teplotním rozdílu bude potřebný průtok menší, avšak je potřeba zajistit, aby teplota zásobníku nestoupala příliš nad 40°C, pak už by mohlo docházet k přehřívání modulů. Situaci lze vyřešit ohřevem bazénové vody, která je dostatečným akumulacním prvkem v budově. Ukazuje se, že v letním období jsou solární zisky natolik veliké, že se vyplatí nádrž se dvěma výměníky (horní a dolní ohřev)

Čerpadlo WILO Yonos Para 25/7 je schopno měnit otáčky v rozmezí 2-12l dle externího signálu PWM. Čerpadlo bude mít nastavené otáčky na dolní hranici a v případě požadavku na vyšší průtok dojde ke zhodnocení situace, zda raději nevyužít vyšší teplotu vratné vody k ohřevu zásobníku v horní části, kde se dá využít i pro predehřev TV, anebo otáčky zvýšit.

11.2 Teplovodní krbová vložka

Při topení v krbu nebo krbových kamnech je využíváno odpadní teplo pro ohřev vody proudící přes výměník. Ty většinou bývají součástí vložky, ale může být řešeny i doplněním již stávajícího krbu. Výměníky jsou schopny předat do zásobníku teplé vody přibližně 50-70% tepelného výkonu, 25% je pak pro ohřev vzduchu v místnosti a zbylá procenta jsou nevyužitá teplo vycházející z komínu.

Krby už dávno nejsou jen výsadou venkovských domů a chalup, bývá to poměrně žádaný doplněk i do moderního domu, přestože míra užívání je pak většinou nízká a počáteční investice se nikdy nezaplatí, jde především o design a občasné navození příjemné atmosféry.

Vytápění tuhými palivy je stále nejlevnější variantou vytápění, ale takový způsob sebou nese i dost nevýhod, hlavně co se týká zásahu do pohodlí: krby se musí čistit, komíny z nich podléhají pravidelným revizím, je nutné počítat s prostory pro skladování dřeva, v místnosti je zvýšená prašnost a to nejdůležitější: většina krbů je s ručním příkládáním.

Převzatý dům byl vybaven teplovzdušným krbem, protože jsem ale v rámci zadání řešil vytápění NZEB domu, nahradil jsem jej za teplovodní, ze kterého je větší užitek.

V nízkoenergetických stavbách je s krbem po výkonové stránce spíše opačný problém, uvolňují až příliš tepla. Výkonové řady krbů začínají na 3kW a pokud je takový krb umístěn v místnosti bez odvodu tepla do dalších místností, dochází k přetápění prostoru (10). Stejný princip platí i pro teplovodní krby, kde ovšem je možnost část tepla předat a uchovat v zásobníku, a omezit tak sálavé teplo do místnosti.

11.2.1 Bezpečnost

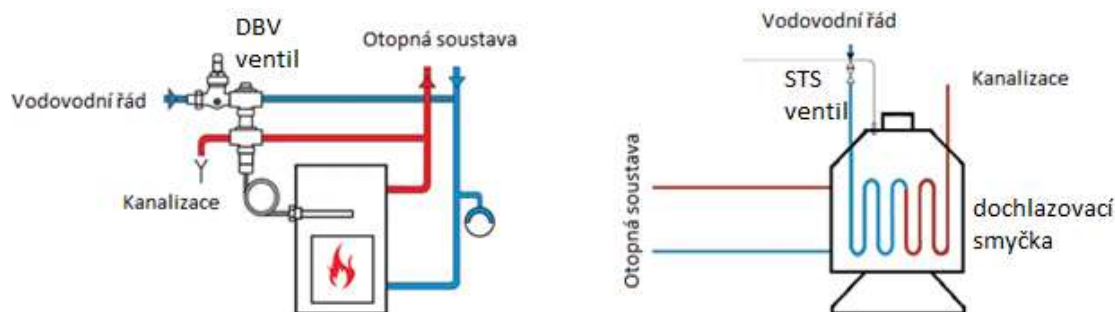
Bezpečnost u teplovodních krbů hraje významnou roli při návrhu systému. Voda ve výměníku by neměla být příliš horká, aby nezačala vřít, protože by to způsobilo otevření pojistného ventilu a její únik.

Nejpodstatnější je ochrana proti přetopení, protože krb se obsluhuje ručně a snadno může dojít k tomu, že akumulace je dostatečně naakumulovaná, další možností je selhání oběhového čerpadla (např. při výpadku elektrické energie) a horká voda přestane cirkulovat.

Proti přetopení se dají kamna chránit různými způsoby, v krajním případě musí samozřejmě zareagovat pojišťovací ventil. Mezi další způsoby aktivní ochrany patří zajištění napájení čerpadla přes záložní zdroj a použití ventilu DBV anebo dochlazovací smyčky.

DBV ventil už se většinou nepoužívá, avšak stále na něj můžeme narazit u starších krbových vložek, které nemají zabudovanou dochlazovací smyčku. Na DBV ventil je připojený snímač teploty, který při přetopení ventil otevře, část horké vody se upustí do kanalizace a naopak se připustí chladná voda z vodovodu.

Dochlazovací smyčka ochlazuje krbovou vložku druhým výměníkem, a tak snižuje dodávané množství tepla do soustavy. Připojuje se k soustavě ventilem STS.



Obrázek č. 11.2 - Zabezpečení proti přetopení: vlevo DBV ventil, vpravo řešení s dochlazovací smyčkou

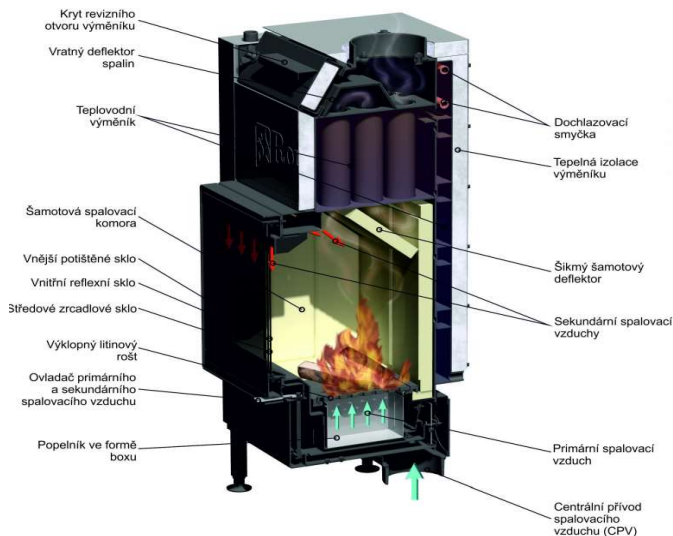
V obou případech je nutné vlastnit záložní zdroj energie. Záložní zdroj sice bude dále pohánět čerpadlo, ale jen po omezenou dobu a neochrání soustavu před přetopením vinou uživatele.

Do pasivní ochrany patří návrh dostatečně velké akumulace. Při jejím nahřátí se aktivuje regulace ventilu přírodního vzduchu a dojde ke zpomalení procesu hoření. Nádrž může být i bazén, ale je nutné jej rovněž ochránit před přehřátím vody. V obou případech by měl být uživatel i vzniklé situaci vhodně informován. V budově řízené inteligentním systémem se může jednat o projevy, jako např. probliknutí osvětlení nebo zvuková signalizace.

Další komplikací teplovodních krbů je schopnost usazování sazí a dehtových částic na tělo výměníku, kterému tím tak snižují účinnost. Tento jev je umocněn cirkulací studené vody ve výměníku, díky které se částice snáze usazují. Regulátory proto spustí oběhové čerpadlo až při dostatečném zahřátí smyčky.

11.2.2 Navržené řešení

S ohledem na tepelné ztráty objektu byla zvolena krbová vložka Regulus KV 025 W02 s předním příkládáním. Vložka disponuje regulovaným sálavým výkonem 5-19kW a regulovaným výkonem výměníku 3,5-14kW. Krbová vložka je napojena na externí přívod vzduchu a nevysává tak vzduch v místnosti.



Obrázek č. 11.3 - řez krbovou vložkou



Obrázek č. 11.4 - Krbová vložka Regulus KV 025 W02

11.2.3 Regulace

Elektronická regulace krbových vložek se zdála být poměrně jednoduchá, ale po ponoření do problematiky regulace a zabezpečení zjišťují, že se jedná o jeden z nejsložitějších systémů vůbec. Nejenže takřka neexistuje regulace schopná spolupracovat s jakýmkoli jiným systémem (ať už se bavíme o KNX, Modbus, Froling nebo primitivní analog) a na vytvoření ovládacího systému přes domácí automatizaci nejsou potřebné senzory ani patřičné know-how a spolehlivost takového systému by byla bez záruk.

Po podrobné rešerši jsem se spokojil s tím, kdy krb bude řízen vlastní regulací a inteligentní systém bude pouze odebírat data a vyhodnocovat mimo elektroniku krbu.

Regulátory hoření hlídají teplotu místnosti, teplotu spalování, vlhkost vzduchu a ovládají přísun spalovacího vzduchu, kterým regulují výkon, kontrolují proces spalování a mnoho dalšího. Vybraný regulátor Timpex je vybaven teplotním čidlem spalin, teplotním čidlem interiéru, regulační klapkou a servopohonem, v rozšířeném příslušenství pak nalezneme dveřní spínač.



Obrázek č. 11.5 - Regulátor Timpex REG110

Regulátor pracuje s třemi režimy hoření:

- Navýšený – aktivuje se při studeném startu po dobu rozhořívání paliva a po přikládání
- Optimální - mírné tlumení přívodního vzduchu, sledování optimální účinnosti hoření dle teploty spalin
- utlumený – místnost je vytopena, klapka EPV se uzavírá a krb dohořívá, po dohoření se klapka zavírá úplně

11.3 Elektrické odporové topné těleso

Těleso je určeno pro ohřev vody v akumulační nádrži pomocí elektrické energie z rozvodu 24V DC. Zvolená patrona TF116 je vybavena třemi spirálami rozdělenými na tři okruhy spínání s výkony 3x800W s celkovým výkonem 2400W. Instaluje se do závitu G 6/4“.

Bude sloužit v případě, že vzniknou přebytky elektrické energie na systému FV-T a bude tato energie zůžitkována v podobě tepla a při požadavku na rychlý zátop. Elektrokotel má proti patroně příliš velkou spotřebu a mohlo by dojít ke zničení invertoru.

Patrona bude řízena systémem Loxone s jednoduchým spínáním pomocí stykače.



Obrázek č. 11.6 - Topná patrona TF116

11.3.1 Výpočet doby ohřevu

Výpočet doby ohřevu

$$\tau = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{E}{P} \text{ [hod]} \quad (11.3.1)$$

Kde:

E – potřebná energie pro nabití zásobníku [W.h]

η – účinnost ohřevu [–], pro odporová zařízení uvažují 98%

P – příkon zdroje tepla [W]

Stanovení potřebné energie pro ohřev vody s daným teplotním rozdílem

$$E = \frac{m \cdot c \cdot (t_h - t_p)}{3600} \text{ [W.h]} \quad (11.3.2)$$

Kde:

m – hmotnost vody [kg]

c – měrná tepelná kapacita vody [J/(kg.K)]

t_h – teplota výstupní vody ze zásobníku [°C], uvažujeme 55°C

t_p – teplota přiváděné vody z vodovodního řádu [°C], uvažujeme 13,5°C

Dosazením do výše uvedených rovnic získáme teoretickou dobu ohřevu pro 1000l akumulační nádrž:

$$\tau = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{m \cdot c \cdot (t_h - t_p)}{P} = \frac{1}{0,98} \cdot \frac{873,4186 \cdot (55 - 20)}{2400 \cdot 3600} = 14,8 \text{ hodin}$$

Doba nabíjení akumulární nádrže 14,8 je extrémní. Výše řešený vztah by platil za předpokladu, že akumulární zásobník bude naprosto vybitý, v praxi taková situace nastane pouze v letním období, kdy potřeby tepla na vytápění objektu budou nulové a elektrokotel bude dle ekvitermní křivky udržovat teplotu na 20°C. Tím dojde k vyrovnání teplot po celém objemu na teplotu místnosti (22-24°C kvůli tepelným ziskům z technologie) a tím, že je patrona umístěna přibližně uprostřed zásobníku a generuje na svou malou plochu velké teplo, teplá voda stoupající vzhůru obnoví vrstvení zásobníku. Pro ohřev tak stačí počítat přibližně s polovinou objemu 500l při změně teploty z 22 na 55°C pro následné odčerpání vody do zásobníku TV.

Doba ohřevu horní části akumulární nádrže při upravení okrajových podmínek:

$$\tau = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{m \cdot c \cdot (t_h - t_p)}{P} = \frac{1}{0,98} \cdot \frac{500 \cdot 4186 \cdot (55 - 22)}{2400 \cdot 3600} = 8 \text{ hodin}$$

11.4 Elektrokotel

Protože se v oblasti (Brno) dle výkresové dokumentace nenachází plynovodní přípojka, byl navržen elektrokotel. Tepelné čerpadlo bylo zamítnuto z důvodu hluku a nedostatečného prostoru na pozemku. V otázce regulace je navíc elektrokotel nejjednodušším řešením.

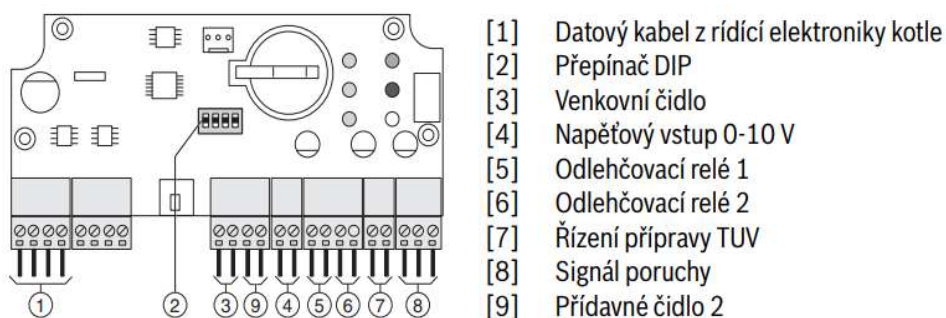
Vybrán byl elektrický kotel Junkers Tronic HEAT 3500 s výkonem 15kW, je cenově srovnatelný s ostatními kotly, je vybaven modulem EKR pro ekvitermní regulaci a má možnost externího napěťového řízení signálem 0-10V. Napájení je provedeno stejnosměrným napětím 24VDC. Kotel podporuje připojení nepřímo ohřívaného zásobníku pro přípravu TV.



Obrázek č. 11.7 - kotel Junkers Tronic Heat

11.4.1 Ovládání kotle napětím 0-10V

Při použití regulačního systému EKR otopné soustavy je možno využít uživatelského řízení napěťovým signálem 0-10V.



Obrázek č. 11.8 - Schéma zapojení modulu EKR

Kotel ohřívá otopnou vodu na požadovanou teplotu, která je daná velikostí vstupního napětí potřebným výkonem. V servisním menu regulátoru je pouze nutné nastavit parametr PA03=4, kterým

se aktivuje externí řízení. O řízení výkonu jako takového se postará regulátor kotle, ať už je to regulací PWM⁸ nebo vypínáním některých patron.

Parametr	Popis	Nastavení	Rozsah nastavení
SE70	Aktivace externího řízení výkonu kotle signálem 0-10 V <ul style="list-style-type: none"> • externí ovládání je vypnuto • externí napětí řídí počet topných tyčí v provozu (výkon) • externí napětí řídí teplotu otopné vody 	0 1 2	0/1/2
PA03	Zapnutí funkce externího řízení napětím 0-10 V	4	

Obrázek č. 11.9 - Nastavení modulu EKR

Principiálně se řízení externím signálem neliší od řízení kotle s vestavěným ekvitermem, díky jednotnému ovládání ale můžeme v systému snáze provádět globální změny a přidávat vlastní funkce – např. rychlý zátop nebo přepínání mezi nahříváním zásobníku, bojleru či bazénu. Nadřazeným systémem regulace navíc můžeme nadefinovat křivku s nelineárním průběhem, což není u dodávané regulace možné.

Všechny ostatní funkce kotle zůstávají aktivní podle vestavěného regulátoru, například pro blokování přípravy TV je třeba připojit další výstup z řídicí jednotky Loxone, kterým se potvrdí blokování výkonu kotle.

Blokování kotle má význam přes noc, kdy není třeba udržovat v nádrži vysokou teplotu, ale spokojíme se s teplotou nižší, pro mytí rukou po toaletě například. Dohřev může nastat až v ranních hodinách, kdy budou nároky na teplou vodu vyšší.

Při aplikování stejného vzorce (11.3.2) z kapitoly 11.3 Výpočet doby ohřevu stanovíme dobu potřebnou pro nahřátí zásobníku TV:

$$\tau = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{m \cdot c \cdot (t_h - t_p)}{P} = \frac{1}{0,98} \cdot \frac{264.4186 \cdot (60 - 22)}{1500.3600} = 0,75 \text{ hodin} = 45 \text{ minut}$$

Výkon výměníku přenos tepla dalece přesahuje, je tedy možné 45 minut považovat za reálný čas.

Stanovení času vychladnutí zásobníku na teplotu 45°C během noci při statické ztrátě zásobníku 87W:

$$\tau = \frac{1}{\eta} \cdot \frac{m \cdot c \cdot (t_h - t_p)}{P} = \frac{1}{0,98} \cdot \frac{264.4186 \cdot (60 - 50)}{87.3600} = 35 \text{ hodin}$$

Reálná doba se může lišit, protože nejsou započítány tepelné ztráty cirkulačního potrubí, naproti tomu je statická ztráta zásobníku je uváděna pro teplotu 95°C a pro teplotu 60°C bude nižší.

⁸ PWM – Pulse Width Modulation. Metoda přenosu signálu pomocí dvou stavů (0 a 1)

Elektrokotel bude nejčastěji využívaným zdrojem tepla. V budově se nacházejí dva zásobníky na teplou vodu, akumulární nádrž a zásobník TV. Teplá voda je ohřívána dvoustupňově, probíhá tedy předeřev v akumulární nádrži.

Kotel bude celoročně pracovat v prioritním režimu ohřevu vody v zásobníku TV a po jeho nahřátí a překročení míry hystereze⁹ přepne na nahřívání akumulární nádoby. Při zátopu v krbu bude kotel ve stavu vypnuto, dokud teplota v akumulární nádrži nezačne chladnout (signalizace nedostatečného výkonu krbu či jeho vyhasnutí).

Letní stav:

Při nastavení řízení teploty akumulární nádrže pomocí ekvitermní křivky bude docházet ke stavu, kdy v letním období nebude fungovat předeřev vody pro zásobník - průtokový ohřev ohřeje vodu na cca 20°C a tato relativně chladná voda bude přečerpána do zásobníku TV, kde bude dohřívána až na 60°C.

Teplota na vstupu hlavního rozvaděče otopné vody bude regulována ekvitermní křivkou s výslednou nižší teplotou (pro podlahové vytápění 25/20°C), zatímco teplota v nádrži bude udržována vyšší díky offsetu a na teplotu přibližně o 5°C vyšší, tj. v horní části na hodnotě 25-30°C. Je to kompromis mezi tepelnou ztrátou zásobníku a dopravním zpožděním¹⁰ při požadavku na zvýšený odběr teplé vody.

Do zásobníku dle návrhu bude proudit voda o teplotě 25-30°C (s možným poklesem na 22°C – pravděpodobná teplota v místnosti) a bude potřeba ji dohřát na 60°C. Tato teplota byla stanovena dle vyhlášky č. 237/2014 SB., Pravidla pro dodávku teplé vody (11), která uvádí minimální teplotu u výtoku 45°C.

Zimní stav:

V zimním stavu bude nahřívána především akumulární nádrž, protože výměník teplé vody má dostatečný výkon (12) na ohřev vody až na 60°C (teplota horní části nádrže). Elektrokotel pak bude jen dohřívát tepelné ztráty zásobníku a ztráty cirkulací teplé vody.

⁹ Hystereze je teplotní rozsah nečinnosti kotle, používá se pro omezení cyklování kotle.

¹⁰ Jev, vlivem kterého dochází ke zpomalení reakce řízené veličiny v reakci na řídicí veličinu

11.5 Pojišťovací a zabezpečovací zařízení

Návrh pojistného ventilu vychází z normy ČSN 06 0830 – Tepelné soustavy v budovách – zabezpečovací zařízení (13).

Průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_o = \frac{Q_p}{\alpha_w \cdot K} [mm^2] \quad (11.5.1)$$

kde:

Q_p – pojistný výkon [kW]

α_w – výtokový součinitel [–]

P_{ot} – otevírací přetlak pojistného ventilu [kPa]

Pojistný výkon se vypočte ze vztahů:

pro výměníky:

$$Q_p = 2 \cdot Q_n [kW] \quad (11.5.2)$$

pro ostatní zdroje:

$$Q_p = Q_n [kW] \quad (11.5.3)$$

kde:

Q_n – jmenovitý výkon zdroje tepla [kW]

Vnitřní průměr pojistného potrubí:

Pro případy, kdy nemůže dojít k vývinu páry:

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{Q_p} [mm] \quad (11.5.4)$$

Pro případy, kdy může dojít k vývinu páry:

$$d_v = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{Q_p} [mm] \quad (11.5.5)$$

Pojistný výkon je stanovený jako součet všech zdrojů tepla na jednom okruhu. Je to teplovodní krb a elektrokotel. Přestože bude elektrokotel v provozu jen v době nevyužívání krbu, ze strany bezpečnosti je lepší uvažovat se situací, kdy budou v provozu oba zdroje tepla zároveň.

Pojistný výkon je tedy:

$$Q_p = Q_n = 14 + 18 = 32kW$$

Průřez sedla pojistného ventilu:

$$S_o = \frac{32}{0,444 \cdot 1,41} = 51,1 \text{ mm}^2$$

Průměr sedla pojistného ventilu:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot 43}{\pi}} = 8,1 \text{ mm}$$

Vnitřní průměr pojistného potrubí

$$d_v = 15 + 1,4 \cdot \sqrt{Q_p} = 22,9 \text{ mm}$$

Vyhovuje pojistný ventil DUO MEIBES 1/2" x 3/4" KD pro otevírací přetlak 3,5bar = 350kPa

$$P_{OT} = 350 \text{ kPa}, \alpha = 0,444; \text{ konstanta } K = 1,41 \text{ kW/mm}^2$$

11.6 Návrh expanzní nádoby pro okruh kotlové vody

Objem expanzní nádoby se vypočte ze vztahu:

$$V_E = 1,3 \cdot V_0 \cdot n \cdot \frac{1}{\eta} [l] \quad (11.6.1)$$

Kde:

V_0 – celkový objem vody v soustavě [l]

n – součinitel zvětšení objemu [–]

η – stupeň využití expanzní nádoby [–]

Stupeň využití expanzní nádoby:

$$\eta = \frac{P_{h,dov,A} - P_{d,A}}{P_{h,dov,A}} [-] \quad (11.6.2)$$

Kde:

$P_{h,dov,A}$ – nejvyšší absolutní dovolený tlak [kPa]

$P_{d,A}$ – hydrostatický absolutní tlak [kPa]

Výpočet hydrostatického tlaku:

$$P_{d,A} = \rho \cdot g \cdot h \cdot 10^{-3} + P_b [kPa] \quad (11.6.3)$$

Kde:

ρ – hustota vody = 1000kg/m³

g – tíhové zrychlení = 9,81m/s²

h – výška vodního sloupce nad expanzní nádobou [m]

P_b – barometrický tlak [kPa]

Tabulka pro určení součinitele n :

$\Delta t = t_{max} - 10$ [K]	20	30	40	45	50	55	60	65	70
n [-]	0,00401	0,00749	0,01169	0,01413	0,01672	0,01949	0,02243	0,02551	0,02863
$\Delta t = t_{max} - 10$ [K]	75	80	85	90	95	100	105	110	115
n [-]	0,03198	0,03553	0,03916	0,04313	0,04704	0,05112	0,05529	0,05991	0,06435

Obrázek č. 11.10 - Tabulka převzata z normy

$$P_{d,A} = 1000 \cdot 6,6 \cdot 9,81 \cdot 10^{-3} + 100 = 164,7 \text{ kPa} = 165 \text{ kPa}$$

Protože neznáme přesné umístění expanzní nádoby, připočteme ještě rezervu 10kPa

$$P_{d,A} = 165 + 10 = 175 \text{ kPa}$$

Hodnota $P_{h,dov,A}$ je předběžně stanovena na 250kPa. Přesná hodnota je vyčíslena v kapitole pojišťovací a zabezpečovací zařízení.

$$\eta = \frac{250 - 175 + 100}{250 + 100} = 0,5$$

Součinitel n byl zvolen pro maximální možnou teplotu, tj. 95°C.

$$V_E = 1,3 \cdot 883,15 \cdot 0,03916 \cdot \frac{1}{0,5} = 22,4 \text{ l}$$

NA základě vypočtených hodnot byla zvolena expanzní nádoba REGULUS R8 025 IN LINE o objemu 25 l a maximálním přetlakem 600kPa. Protože se jedná o nejslabší část otopné soustavy, bude pojišťovací ventil dimenzován pod tuto hodnotu tlaku.

Na závěr ještě stanovíme průměr potrubí vedoucí k expanzní nádobě dle vztahu (11.5.4):

$$d_v = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{Q_p} = 10 + 0,6 \cdot \sqrt{(18 + 14)} = 13,39 \text{ mm}$$

Nejbližší vyšší průměr měděného potrubí je 18x1 = DN 16mm.

Skutečný nejvyšší provozní přetlak:

$$P_h = \frac{P_{d,A}}{1 - \eta} = \frac{175}{1 - 0,5} = 350 \text{ kPa}$$

12 Návrh otopné soustavy

12.1 Podlahové konvektory

12.1.1 Obecně

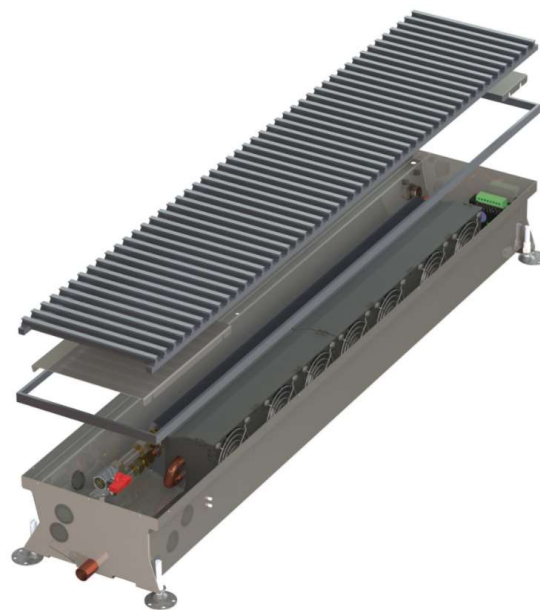
Instalace podlahových konvektorů se uplatní zejména v místnostech s velkými prosklenými stěnami či francouzskými okny, kde je obtížné umístit jiné otopné těleso. Podlahové vytápění není příliš vhodné, protože pracuje s nízkými teplotami otopné vody a tak v zimním období může docházet ke kondenzaci páry na skle (14). U konvektoru se vzestupné proudění teplého vzduchu v úrovni oken míchá s chladným vzduchem ochlazeným od povrchu prosklené konstrukce, otepluje se a zamezuje šíření studeného vzduchu dál do místnosti.

Podlahové konvektory předávají teplo do vytápěné místnosti pouze konvekcí, tj. pouze ohřívají vzduchu ve vytápěné místnosti. Podle umístění se rozdělují na zapuštěné a soklové. Skládají se z výměníku tepla, skříň konvektoru a výdechové mřížky. Skříň konvektoru vytváří nad výměníkem tepla šachtu a vzniká tak komínový efekt, který hlavně u konvektorů s přirozenou konvekcí zvyšují účinnost.

Zvolil jsem konvektory MINIB HCA 1062 s rozměry (ŠxVxD) 200x110x2500mm.

Jedná se o konvektory s nízkou hloubkou uložení a jsou tedy vhodné pro zapuštění do podlahy. Konvektor je určen pro tradiční dvoutrubkové systémy (mají společný výměník pro chlazení i topení) a lze ho připojit na všechny zdroje tepla s teplovodním rozvodem.

Vzhledem ke stavební šířce otvoru byl vybrán nejméně výkonný konvektor, který lze sehnat. Je to z toho důvodu, že celková tepelná ztráta místnosti je vypočtena na 1730W pro zimní stav s venkovní návrhovou teplotou -12°C a při rozmístění konvektorů po délce otvoru je by byl výkon zbytečně velký, téměř 8kW, u běžného typu se výkony pohybují mezi 800-1000W/m už na první stupeň rychlosti otáček ventilátoru.



Obrázek č. 12.1 - Rozložený řez kolektorem Minib RCA 1062

12.1.2 Přepočet výkonu

Pro další snížení tepelného výkonu byl změněn teplotní spád otopné vody ze $70/60^{\circ}\text{C}$ na $55/40^{\circ}\text{C}$. Vyšší teploty jsou vzhledem k použitému zdroji tepla a délkám rozvodů neekonomické, při nižších teplotách by už nemusel správně fungovat rychlý zátop.

Ke stanovení výkonu otopného tělesa pro jiné podmínky musíme nejdříve stanovit opravný součinitel teplotního rozdílu. Tento postup popisuje norma ČSN 06 1101 (15).

Opravný součinitel teplotního rozdílu:

$$c = \frac{t_{w2} - t_i}{t_{w1} - t_i} \quad (12.1.1)$$

Kde:

c – teplotní podílový součinitel [–]

t_{w1} – teplota vstupní vody [°C]

t_{w2} – teplota výstupní vody [°C]

t_i – vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti [°C]

Po dosazení dostáváme hodnotu c :

$$c = \frac{50 - 20}{70 - 20} = 0,6$$

Protože je $c < 0,7$, dále platí rovnice pro výpočet výkonu:

$$Q = Q_n \cdot \left(\frac{\Delta t}{\Delta t_n} \right)^n \quad (12.1.2)$$

Kde:

Δt_n – logaritmicky určený rozdíl teplot, vypočten dle vztahu níže:

n – teplotní exponent tělesa, dle katalogového listu: $n = 0,994$

$$\Delta t_n = \frac{t_{w1} - t_{w2}}{\ln \frac{t_{w1} - t_i}{t_{w2} - t_i}} \quad (12.1.3)$$

Po dosazení do těchto vzorců nám vyjde předávané teplo do místnosti při různém nastavení otáček:

$Q_0 = 132\text{W}$ pro přirozenou konvekci

$Q_1 = 825\text{W}$ pro první stupeň otáček

$Q_1 = 1721\text{W}$ pro druhý stupeň otáček

$Q_1 = 2310\text{W}$ pro třetí stupeň otáček

S takovými hodnotami už se dá pracovat lépe, možná by se daly ještě snížit, např. na teplotu otopné vody 50/40. Díky většímu rozptylu hodnot (využijeme všechny tři stupně) bude prostor lépe regulovatelný. Zároveň je i výkon přirozené konvekce dostatečný pro pokrytí tepelných ztrát po

většinu otopného období. Stupeň otáček 1 pak bude spínán jen při výrazném ochlazení a stupně 2 a 3 budou sloužit k rychlému zátoku – stupně jsou pouze orientačně pro naznačení principu, jedná se o spojitou regulaci, takže ve skutečnosti žádné stupně nejsou.

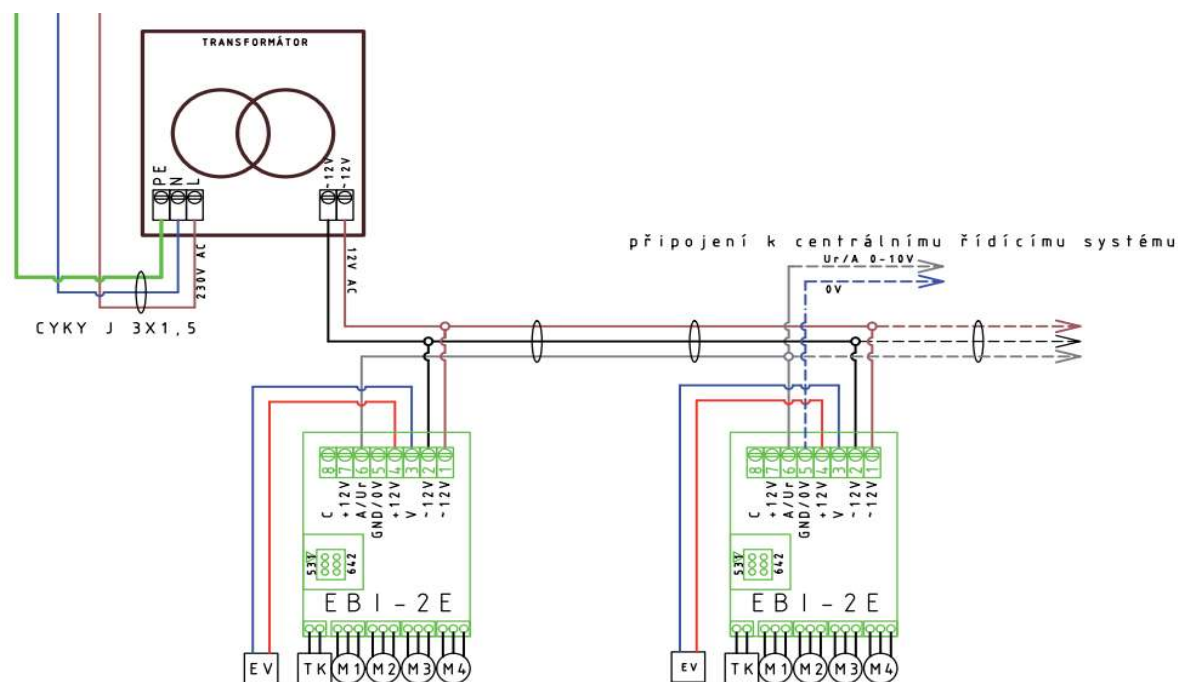
12.1.3 Regulace výkonu

Konvektor umožňuje regulaci výkonu výstupním napětím 0-10V. Přesto je potřeba doplnit EB blok, který má na starosti překlad signálu. Při použití řízení nadřazeným systémem se EB blok musí nastavit na regulaci vytápění EB-A (16).

Řídící napětí EB-A bloku:

- 0-1V ventilátory vypnuty, sepnuto napětí pro ventil (ventil je zavřený)
- 1-2V ventilátory vypnuty, vypnuto napětí pro ventil (ventil je otevřený – topení konvekcí)
- 2-10V otáčky proporcionální k napětí (2V=0%, 10V=100%), vypnuto napětí pro ventil (ventil je otevřený)

Drobný zádrhel nastává při vytápění teplovzdušně v krbu, protože systém by měl rozpoznat zátok v krbu a zareagovat vypnutím konvektorů. Pokud by ale konvektory neofukovaly okna, mohlo by zase docházet ke srážení vlhkosti na jejich povrchu. Bohužel pro tento stav není možné konvektory nijak nastavit, je to možné pouze obejít umístěním termoelektrického ventilu na přívodní trubku před konvektory. Déle přikládám výpočet, zda může nebo nemůže ke kondenzaci na površích oken dojít.



Obrázek č. 12.2 - Schéma zapojení konvektorů blokem EB-A

Ve schématu zapojení (Obrázek č. 5.1) je patrné, že k zapojení bloků je třeba externí transformátor pro konverzi 230VAC na 12VDC, který bude potřeba umístit poblíž EB bloků, aby se eliminovaly poklesy napětí. Z nadřazeného systému stačí do bloku připojit dvoulinku se signálem (signál a zem) a o řízení elektromechanického ventilu se postará blok sám. Ve schématu je znázorněno řízení pouze jednoho bloku, přičemž se signál rozvádí na všechny ostatní už jen jedním vodičem a všechny jsou tak řízeny jedním výstupem z jednotky. Jestliže ale chceme ovládat každý konvektor samostatně (v

závislosti na otevřeném okně), musíme konvektory zapojit každý samostatně. Druhou možností je připojit všechny na jeden logický výstup, ale před napájení každého z nich umístit relé, které ten konkrétní odepne od napájení – digitálních výstupů je oproti analogovým mnoho. Zřejmě by se ale jednalo o zbytečnou komplikaci a nebudu to dále rozvádět.

12.1.4 Rosení oken

Výpočet byl proveden dle časopisu stavebnictví, později byl vydán i článek na internetu (17)

Výpočet povrchové teploty okna:

$$t_p = \frac{R_p \cdot U \cdot (t_i - t_e)}{1 + U \cdot (R_p - R_N)} \quad (12.1.4)$$

kde:

t_p – teplotní podílový součinitel [–]

t_{w1} – teplota vstupní vody [°C]

t_{w2} – teplota výstupní vody [°C]

t_i – vnitřní výpočtová teplota vytápěné místnosti [°C]

R_p – tepelný odpor konstrukce na vnitřní straně povrchu, tabulková hodnota, $0,15 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

R_N – tepelný odpor konstrukce na vnější straně povrchu, hodnota $0,013 \text{ m}^2 \text{ K/W}$

$$t_p = \frac{R_p \cdot U \cdot (t_i - t_e)}{1 + U \cdot (R_p - R_N)} = \frac{0,15 \cdot 0,75 \cdot (22 - (-12))}{1 + 0,75 \cdot (0,15 - 0,13)} = 16,4^\circ\text{C}$$

Výpočet teploty rosného bodu:

$$t_R = \frac{5745}{\frac{5745}{(t_i + 273,15)} - \ln \frac{RH}{100}} \quad [^\circ\text{C}] \quad (12.1.5)$$

Kde:

RH – předpokládaná hodnota relativní vlhkosti v místnosti [%]

$$t_R = \frac{5745}{\frac{5745}{(20 + 273,15)} - \ln \frac{50}{100}} = 10^\circ\text{C}$$

Z uvedeného výpočtu vyplývá, že by na oknech při relativní vlhkosti 50% kondenzace vznikat neměla. Vlhkost by musela stoupnout až na hranici 80%, aby se okna začala rosit. Pokud by se uvažovalo s během ventilátorů v otopném období permanentně, musel by se před konvektory osadit další elektromechanický ventil ke škrcení výkonu tělesa. Pak bychom mohli považovat odpor R_p za blízký

nule (v závislosti na rychlosti proudícího vzduchu). Teplota na oknech by poté dosahovala teoretické teploty místnosti a kondenzace by nehrozila za žádných situací.

12.2 Podlahové vytápění

U podlahových vytápění tvoří veškerou otopnou plochu buď podlaha, stěna nebo strop příslušící vytápěnému prostoru. Velkoplošné vytápění umožňuje sdílet teplo převážně sáláním, i když u podlahového ho tvoří jen asi 55%.

Výhodou podlahového vytápění je jeho velká otopná plocha a s tím související nižší teplota otopné vody, než např. u deskových těles. Tento parametr sebou nese jednu významnou výhodu, protože tepelný rozdíl mezi teplotou látkou a vytápěnou místností je nižší, a to znamená nižší tepelné ztráty na tomto potrubí.

Je vhodné do prostor, kde je požadavkem plošně rovnoměrná teplota nebo do místností, kde člověk většinu času chodí na boso a kde je žádoucí mít teplou podlahu – např. studené povrchy dlažeb. Doporučuje se proto nepřekračovat teplotu povrchu nad 29°C pro obytné místnosti a 33°C pro koupelny, kde člověk tráví jen poměrně málo času.

Naopak nevhodné umístění podlahového vytápění je v prostorách s vysokými skleněnými stěnami nebo rozlehlými okny, kde se může vlivem nízkého tepelného odporu zasklení tvořit kondenzace.

12.2.1 Návrh

Návrh podlahového vytápění je vypracován dle normy se značnou pomocí přednášek¹¹.

Výpočet tepelné propustnosti vrstev podlahy od osy trubky směrem k hornímu okraji:

$$\Lambda_h = \frac{1}{\sum \frac{d}{\lambda_h} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad (12.2.1)$$

kde:

d – tloušťka konstrukční vrstvy [m]

λ_h – součinitel tepelné vodivosti vrstev nad trubkami [W/m.k]

α_p – součinitel přestupu tepla na horní hraně otopné plochy [W/m².K]

Výpočet tepelné propustnosti vrstev podlahy od osy trubky směrem k dolnímu okraji:

$$\Lambda_d = \frac{1}{\sum \frac{d}{\lambda_d} + \frac{1}{\alpha_p}} \quad (12.2.2)$$

¹¹ Boháč 2017

Kde:

λ_h – součinitel tepelné vodivosti vrstev pod trubkami [$W/m \cdot K$]

α'_p – součinitel přestupu tepla na spodní hraně otopné plochy [$W/m^2 \cdot K$]

Součinitel přestupu tepla α je znám jako tepelný odpor mezní vzduchové vrstvy přiléhající bezprostředně k vnější/venkovní straně konstrukce. Ačkoliv ho pod tímto názvem většina lidí nezná, určitě s ním přišli do styku ve formě součinitele „Rsi a Rse“. Tyto součinitele stanovuje pro obálkovou metodu norma ČSN 73 0540-2 a samozřejmě další normy pro různé typy konstrukcí i podmínek, za kterých platí. Skutečný součinitel se počítá zvláště obtížně, počítá se při teplotách média, teplotě povrchu trubek, rychlosti proudění a turbulentním proudění, vizkozitě...a dalších veličinách.

Pro výpočet výkonu podlahového vytápění jsem zvolil součinitele α následovně: (s ohledem na běžné hodnoty při navrhování)

$$\alpha_p = 10,2 W/m^2 \cdot K$$

$$\alpha'_p = 6,0 W/m^2 \cdot K$$

Charakteristické číslo podlahy (pouze pro válcové zdroje tepla-trubky):

$$m = \sqrt{\frac{2 \cdot (\Lambda_h + \Lambda_d)}{\pi^2 \cdot \lambda \cdot D_{tr}}} [m^{-1}] \quad (12.2.3)$$

kde:

D_{tr} – vnější průměr trubek [m]

λ – součinitel tepelné vodivosti vrstvy, do níž jsou trubky uloženy [$W/m \cdot K$]

Výpočet střední povrchové teploty podlahy:

$$t_p = t_i + \frac{\Lambda_h}{\alpha_p} \cdot \left(\frac{t_{w1} + t_{w2}}{2} - t_i \right) \cdot \frac{\tanh\left(\frac{m \cdot l}{2}\right)}{\left(\frac{m \cdot l}{2}\right)} [^\circ C] \quad (12.2.4)$$

kde:

t_i – výpočtová vnitřní teplota [$^\circ C$]

t_p – teplota povrchu podlahy [$W/m^2 \cdot K$]

t_{w1} – teplota vody v přívodním potrubí [$^\circ C$]

t_{w2} – teplota vody v odvodním potrubí [$^\circ C$]

m – charakteristické číslo podlahy [$1/m$]

l – navrhovaný rozteč trubek [m]

λ_h – součinitel tepelné vodivosti vrstev nad trubkami [$W/m \cdot K$]

α_p – součinitel přestupu tepla na horní hraně otopné plochy [$W/m^2 \cdot K$]

Teplota povrchu by neměla překračovat 29°C u místností pro trvalý pobyt a 33°C u místností, kde člověk chodí bos, tedy koupelny, plovárny..)

Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem nahoru:

$$q = \alpha_p \cdot (t_p - t_i) \quad [W/m^2] \quad (12.2.5)$$

Měrný tepelný tok podlahové otopné plochy směrem dolů:

$$q' = \frac{\Lambda_d}{\Lambda_h} \alpha'_p \cdot (t_p - t_i) \quad [W/m^2] \quad (12.2.6)$$

Tepelný tok q' udává, kolik tepla na jednotku plochy prochází konstrukcí na spodní straně a přispívá k vytápění místností pod touto místností. Za předpokladu, že se nad námi nachází místnost se stejným tepelným režimem, můžeme tepelný tok dolů z místnosti nad námi uvažovat jako tepelné zisky k podpoře vytápění místnosti řešené.

Výpočet potřebné otopné plochy

$$S_p = \frac{Q_p}{q + q'} \quad [m^2] \quad (12.2.7)$$

kde:

Q_p – celková tepelná ztráta místnosti [W]

q – měrný tepelný tok směrem nahoru [W/m^2]

q – měrný tepelný tok směrem dolů [W/m^2]

Do plochy S_p se započítává pouze plocha, která je tepelný výkon přenést. Je nutno od ní odečíst zastavěné plochy, které by přenosu tepla bránily, např. nábytek se soklem, kuchyňská linka, nízké skříňky, dekorační koberce s vysokým odporem či křesla. Tyto předměty se odečítají jako půdorysná ploše vynásobená součinitelem zakrytí. Tento součinitel vychází z umístění nábytku nad podlahou, tj. nábytek na nohách, a určuje se experimentálně. Pro nábytek se soklem se uvažuje 100% zakrytí, pro nábytek na nízkých nohách 50% a na vyšších nohách mezi 20-30%.

Dále se do této podlahy nezapočítává šířka okraje místnosti r , která je tvořena podlahou mezi stěnou a osovou vzdáleností poslední řady trubky.

Výpočet skutečné potřebné otopné plochy

$$S_{skut} = \frac{Q_p - Q_o}{q + q'} + S_r + S_z \quad [m^2] \quad (12.2.8)$$

Kde:

 S_r – podlahová plocha okrajové zóny místnosti [m^2] S_z – podlahová plocha zařizovacích předmětů [m^2] Q_o – tepelný výkon okrajové zóny [W]*Výpočet tepelného výkonu okrajové plochy:*

$$Q_o = Q_p \cdot \frac{O_p}{S_p} \cdot \frac{0,448 \cdot l}{\tanh\left(m \cdot \frac{l}{2}\right)} \quad [W] \quad (12.2.9)$$

kde:

 O_p – obvod otopné podlahové plochy [m] S_p – otopná plocha ohraničená krajní trubkou [m^2] l – rozteč topných trubek [m] l – rozteč topných trubek [m] Q_p – Tepelný výkon směrem nahoru [W]

V praxi se většinou vliv okrajové zóny většinou vynechává. Já jsem jej musel započítat u návrhu podlahového vytápění do bazénové haly, kde mi díky tomuto součiniteli vyšla rozumná rozteč trubek.

Výpočet plochy okrajové zóny:

$$S_r = \sum \frac{2,3}{m} \cdot l_p \quad [m^2] \quad (12.2.10)$$

kde:

 l_p – délka řešené okrajové zóny [m] m – charakteristické číslo podlahy [m^{-1}]

Do všech místností s podlahovým vytápěním byly zvoleny trubky PEX/AL/PEX v průměrech 12x2 – 26x2. Protože průměry trubek měly na tepelný návrh malý vliv, byl návrh proveden na základě hydraulického výpočtu. Vzhledem k různým délkám topných hadů jsem použil k vyvážení jejich průměr a využil toho, že nižší průměry způsobují vyšší tlakové ztráty.

12.2.2 Samoregulační mechanismy

Protože je teplota otopné vody v podlahovém topení nižší než u klasických deskových těles, setkáme se s efektem samoregulace. Ten je vyšší, čím je teplota otopné vody blíže k teplotě interiéru. Při teplotní spádu 90/70°C se takřka neprojevívá, u teplot 40/35°C už se projevívá výrazně. Tento jev platí pro oba dva stavy:

Regulace dle teploty v interiéru:

Účinek samoregulace je v tom, že čím vyšší je teplota interiéru, tím méně měrného tepla se do místnosti předává. Pokud dosadíme do vzorce (12.2.4) s upravenou hodnotou teploty interiéru z 24°C na 25°C, teplota stoupne z 29,65°C na 30,14°C.

Výpočet teploty povrchu podlahy:

$$t_{p24} = 24 + \frac{6,47}{10,2} \cdot \left(\frac{40 + 30}{2} - 24 \right) \cdot \frac{\tanh\left(8,58 \cdot \frac{0,2}{2}\right)}{\left(8,58 \cdot \frac{0,2}{2}\right)} = 29,65^\circ\text{C}$$

$$t_{p25} = 25 + \frac{6,47}{10,2} \cdot \left(\frac{40 + 30}{2} - 25 \right) \cdot \frac{\tanh\left(8,58 \cdot \frac{0,2}{2}\right)}{\left(8,58 \cdot \frac{0,2}{2}\right)} = 30,14^\circ\text{C}$$

Dosazením do vzorce (12.2.5) získáme hodnotu měrného tepelného toku z povrchu podlahy:

$$q_{24} = 10,2 \cdot (29,65 - 24) = 57,63 \text{ [W/m}^2 \text{]}$$

$$q_{25} = 10,2 \cdot (30,14 - 25) = 52,43 \text{ [W/m}^2 \text{]}$$

Rozdíl sníží se podíl předávaného tepla do místnosti ze 57,6W/m² na 52,4W/m². Není to mnoho, ale je to téměř 10% snížení výkonu. Při nižších teplotách otopné vody by se to projevilo ještě více.

Regulace dle teploty exteriéru:

Mluvíme o centrálním řízení ekvitermu pro celou otopnou soustavu. Pokud změním teplotu otopné vody, opět dojde ke změně teploty na povrchu podlahy a měrný tepelný tok se sníží.

Při poklesu teploty otopné vody o 5°C, dostáváme:

$$t_p = 24 + \frac{6,47}{10,2} \cdot \left(\frac{35 + 25}{2} - 24 \right) \cdot \frac{\tanh\left(8,85 \cdot \frac{0,2}{2}\right)}{\left(8,85 \cdot \frac{0,2}{2}\right)} = 27,08^\circ\text{C}$$

A následně dopočítáme měrný tepelný tok:

$$q = 10,2 \cdot (27,08 - 24) = 31,4 \text{ [W/m}^2 \text{]}$$

Porovnáním výsledku zjistíme, že se měrný tepelný tok snížil z 57,63W/m² na 31,4W/m².

Zde je vidět, že došlo k výraznému poklesu výkonu – téměř na polovinu a bez jakékoliv další regulace. Dá se tedy říci, že ekvitermním řízením teploty otopné vody se zaručí téměř žádaný stav a další regulace už není nutná.

Právě s rozvojem podlahového vytápění se objevily první ekvitermní regulátory.

12.3 Desková otopná tělesa

Deskové otopné těleso je v soustavě navrženo pouze jedno, v zádveři. Jedná se o designové těleso Bitherm TechoLux. V zádveři je žádoucí otopné těleso s vyšší teplotou a sálavým účinkem pro rychlé vysoušení oblečení. Protože v objektu kvůli podlahovým konvektorům probíhá příprava otopné vody s teplotním spádem 55/40°C, rozhodl jsem se umístit do zádveři deskové těleso. Těleso je zároveň opatřeno topným tělesem EL.05 a tím je možné rozšířit způsob provozu na kombinované vytápění ÚT/EL (18).

12.3.1 Přepočet výkonu

Přepočet výkonu je dle vztahu (12.1.1) následující:

$$c = \frac{50 - 20}{70 - 20} = 0,6$$

Následně vypočteme výkon tělesa

$$Q = 1277 \cdot \left(\frac{55 - 40}{\ln \frac{55 - 20}{40 - 20}} \cdot \frac{75 - 65}{\ln \frac{75 - 20}{65 - 20}} \right)^{1,27} = 580W$$

Výkon je i v tomto případě dostatečný, tepelná ztráta místnosti je 360W.

Trasa potrubí k tělesu vykazuje malé hydraulické ztráty. Aby se těleso nemuselo škrtit RŠ, je navržena trasa z trubky 10x1, která tlakové ztráty zvýší. Těleso bude vybaveno elektromechanickou hlavicí pro další regulaci.

12.4 Materiál potrubí

Materiál potrubí podlahového vytápění je z kompozitního PEX/AL/PEX s průměry od 12x2 (DN8) do 26x2 (DN22). U tohoto potrubí bude zabráněno roztahování vlivem teploty uložením do betonu/anhydritu.

Rozvody k rozvaděčům, konvektorům a otopnému tělesu jsou z CU10x1, 15x1 a v kotelně 22x.

Pro tyto rozvody je proveden výpočet protažení trubky a návrh kompenzátorů.

Stanovení prodloužení trubky rovnoběžně s její osou:

$$\Delta l_x = l \cdot \alpha \cdot (t_m - t_i) \text{ [mm]} \quad (12.4.1)$$

Kde:

l – délka úseku potrubí [mm]

α – součinitel teplotní roztažnosti materiálu [K^{-1}] – pro měď uvažujeme $1,7 \times 10^{-5} K^{-1}$.

t_m – nejvyšší teplota teplonosné látky [$^{\circ}C$]



Obrázek č. 12.3 - Deskové těleso TechoLux

t_i – teplota okolí (interiéru) [°C]

Délka pružného ramene se vypočte ze vztahu:

$$L_p = C \cdot \sqrt{\Delta l_x} \cdot d \text{ [mm]} \quad (12.4.2)$$

Kde:

C – materiálová konstanta dle EN 806 – 4 – pro měď je daná hodnota 61

d – vnější průměr trubky [mm]

Na úseku potrubí mezi hlavním rozvaděčem a konvektory v obývacím pokoj či k podlahovému rozvaděči R1-3 je třeba posoudit potrubí na délkovou roztažnost a případně navrhnout kompenzátory.

$$\Delta l_x = 7,58 \cdot 10^{-5} \cdot (55 - 20) = 4,51 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 4,5 \text{ mm}$$

Nyní vypočteme minimální délku pružného ramene

$$L_p = 61 \cdot \sqrt{4,5 \cdot 18} = 549 \text{ mm}$$

Pružná ramena budou mít délku min. 600mm, hodnota je spočítána pro nejdelší úsek potrubí, tzn. že všechny ostatní měděné trubky v tomto ohledu vyhoví. Použití U kompenzátorů není potřeba.

12.5 Hydraulický výpočet

Veškerá potrubí se ve výpočtu považují za hladká. U potrubí PEX/AL/PEX byla dodržena doporučená rychlost $w_{max} = 0,3 \text{ m/s}$. Průměry potrubí pro vyrovnání tlaků na přívodech rozvaděčů byly upraveny a zpětně promítnuty pro posouzení, zda budou schopny místnost vytopit.

Hydraulický výpočet je zanesen v tabulce přílohy č. 6.

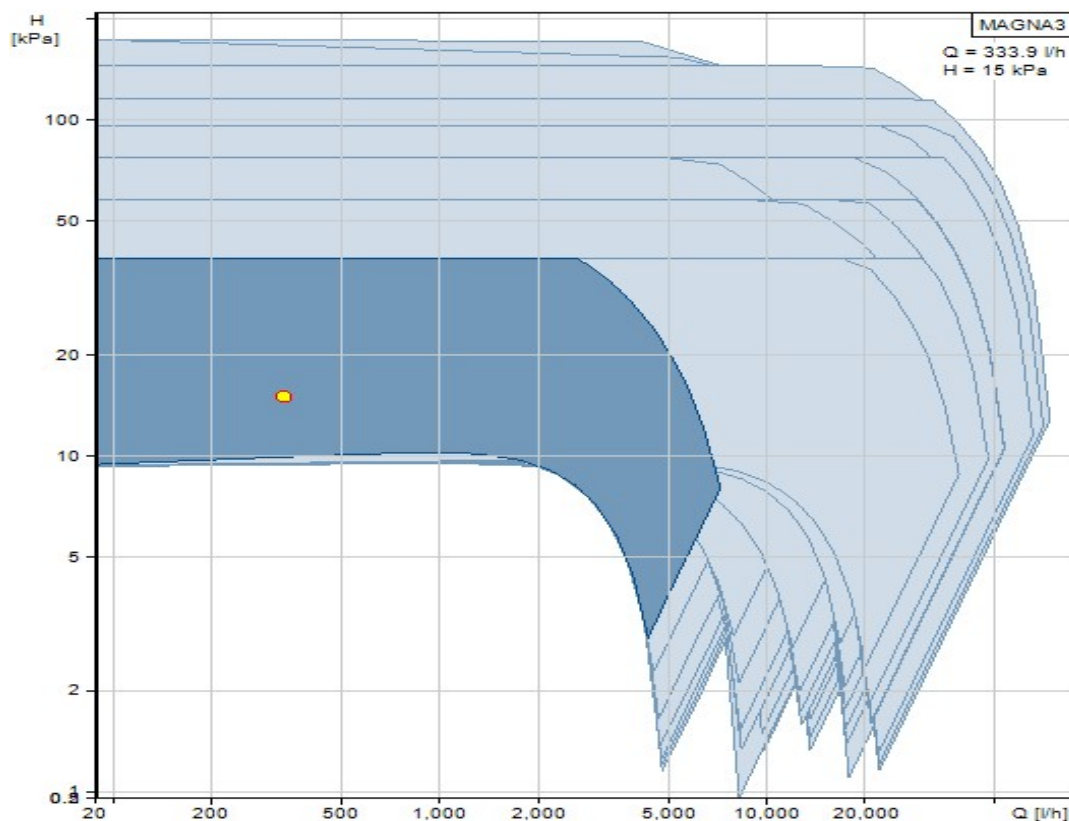
12.6 Návrh čerpadel

Soustava je až na některé drobné výchylky vyvážená kromě jediné větve, na níž jsou připojeny dva rozvaděče podlahového o vytápění. Jedná se o větev na stoupačce S2. Tato větev vykazuje tlakovou ztrátu 22,8 kPa, zatímco ostatní větve se pohybují kolem 7,4-7,6 kPa (vyjma otopného tělesa v zádveři, které má 6,85 kPa). Tato větev bude posílena samostatným oběhovým čerpadlem, pro ostatní větve bude proveden návrh druhého čerpadla.

ávrh čerpadla pro rozvaděče R1-1 a R1-2:

	Δt [°C]	m [kg/g]	Δp [kPa]
Směšovací ventil	40/30	333,9	0,5
zpětná klapka			1
kulový kohout			1
kulový kohout			1
tlaková ztráta okruhu			15,2
Celkem			18,7

Čerpadlo je navrženo na dopravní výšce 18,7kPa a průtok 333.9l/h. Jedná se o čerpadlo Grundfos Magna 3 25-40. Čerpadlo má různé stupně otáček a umí přizpůsobovat výkon aktuálním požadavkům soustavy.

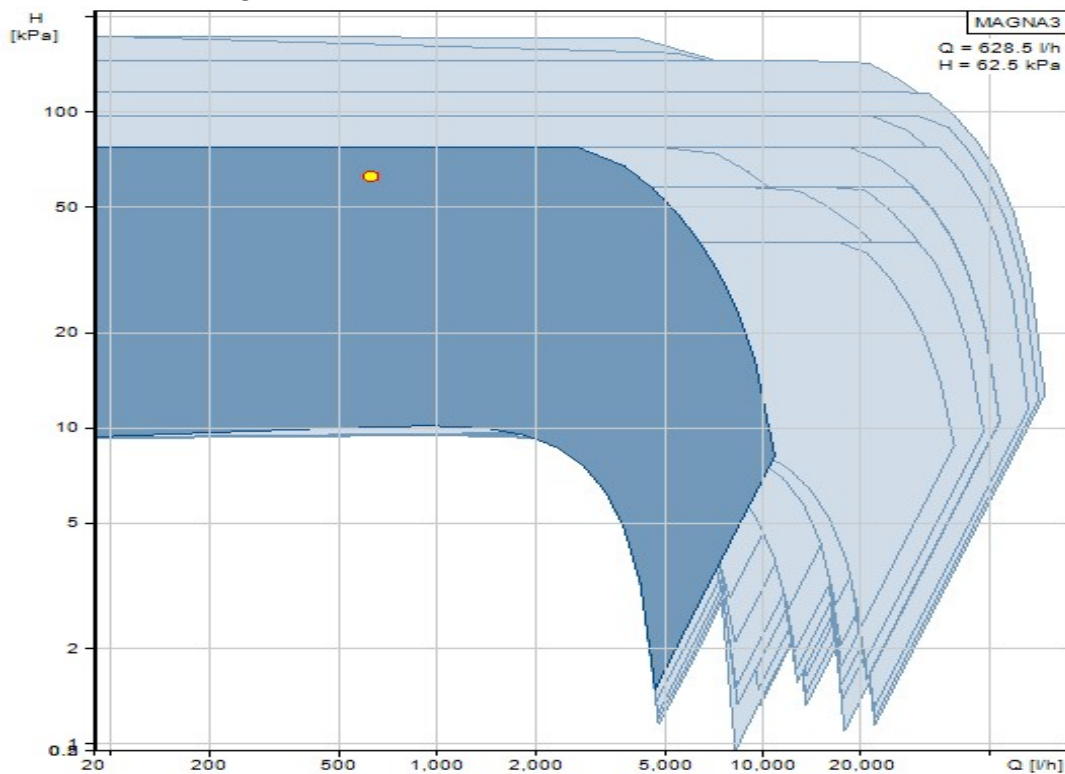


Obrázek č. 12.4 - Pracovní diagram čerpadla Grundfos Magna 3 25-40

Návrh čerpadla před rozvaděč RH v technické místnosti:

	Δt [°C]	m [kg/g]	Δp [kPa]
Směšovací ventil	55/40	628,5	2,5
zpětná klapka			5
kulový kohout			5
kulový kohout			5
tlaková ztráta okruhu			44,99
Celkem			62,5

Pro zbylé větve navrhují čerpadlo pro pokrytí tlakové ztráty 62,5kPa. Navrhl jsem čerpadlo stejného výrobce, Grundfos Magne3 25-80.



Obrázek č. 12.5 - Pracovní diagram čerpadla Grundfos Magna 3 25-80

13 Regulace soustavy

V objektu se setkáme se dvěma typy regulací:

Ruční

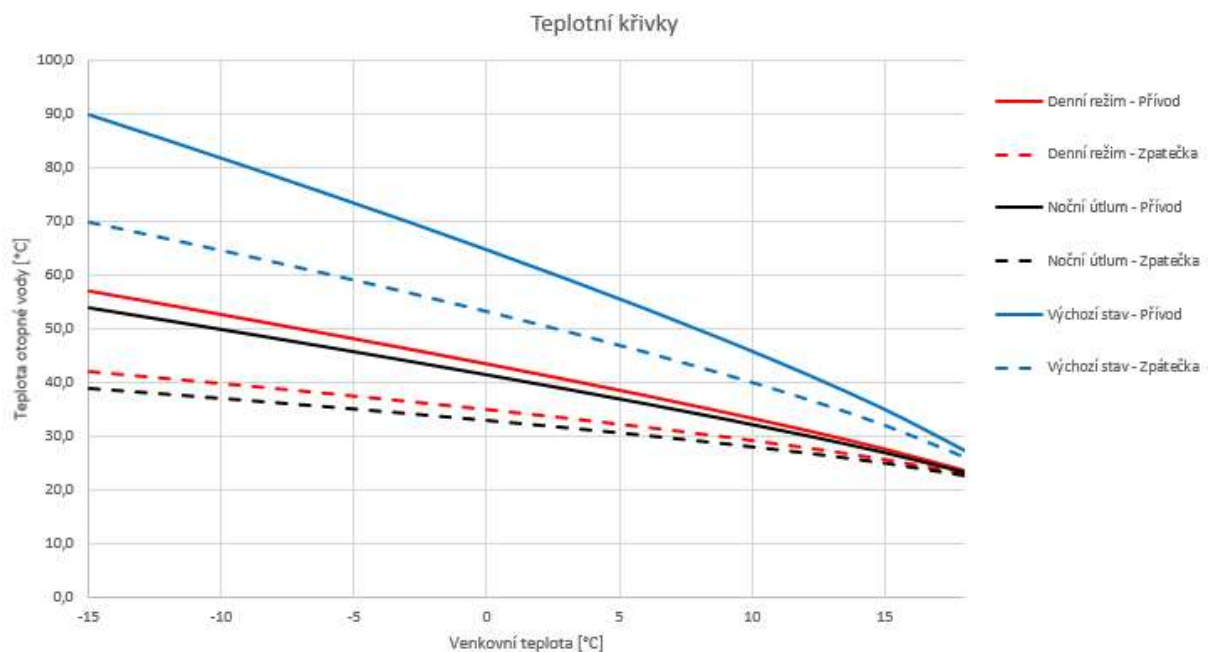
Ruční regulace je nejjednodušší způsob regulace. Řídicím objektem je člověk, který svými smysly sleduje hodnoty regulované veličiny a provádí zásah pomocí akčního členu. Jedná se tak o regulaci se zpětnou vazbou, byť velmi pomalou. V otopné soustavě je takto řešena pouze regulace kotlů na tuhá paliva bez automatického přikládání – např. krby.

Automatická

Automatická regulace je samočinné zařízení plnící stejnou funkci. Udržuje hodnoty regulované veličiny dle nastavených podmínek na základě hodnot měřených veličin. Automatické umožňují mnohem rozsáhlejší systém řízení i nastavení chování s ohledem na cíleně sledované veličiny

Regulace podle venkovní teploty

Patří do skupiny automatické regulace. Ekvitermní regulace funguje na principu nastavení teploty topné vody v závislosti na venkovní teplotě vzduchu. Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota topné vody, tím dojde ke zvýšení výkonu otopného tělesa a, které je pak schopné dorovnat i zvýšené tepelné ztráty místnosti. Jedná se tedy o kvalitativní regulaci. Na trhu existuje mnoho výrobců otopných systémů (v dnešní době v podstatě všichni), kteří řeší tuto regulaci řeší pomocí vlastních řídicích jednotek. Konkrétním řešením můžou být regulátory Regulus, které umí ovládat více než jeden zdroj tepla, topné okruhy, řízení solárních kolektorů a čerpadel, ale nedokáží komunikovat s žádným jiným systémem.



Obrázek č. 13.1 - Graf ekvitermní křivky, zdroj: Tzb-info.cz

14 Inteligentní budova

Pro inteligentní budovy dosud neexistuje žádná ustálená definice, která by tento pojem vysvětlovala. Přes řadu definic Inteligentní budovy, bývá za inteligentní budovu považována taková budova, v níž jsou jednotlivé inteligentní prvky či systémy integrovány a řízeny prostřednictvím jediného řídicího systému. Hlavním úkolem inteligentních technologií je samostatně reagovat na podněty z okolí s cílem dosáhnout co nejvyššího komfortu uživatelů. To vše za předpokladu minimalizace spotřeby energií a nákladů.

„Inteligentní budovy jsou stavby, které obsahují nejlepší dostupné koncepce, materiály, systémy a technologie sjednocené do integrovaného řízení jednotlivých funkčních celků, které vytvářející pro uživatele efektivní prostředí a provoz s cílem minimalizovat spotřebu energií a provozních nákladů.“¹²

Klíčem každého inteligentního domu je automatizace, tj. ovládání funkcí domu tak, aniž by člověk musel do systému za běžných situací zasahovat. Něco takového předpokládá vzájemnou kompatibilitu a schopnost komunikace všech strojních zařízení s pokročilým systémem řízení, s regulací a monitoringem.

14.1 Zvolený systém řízení

Jaký inteligentní systém řízení zvolit? Trh už dnes není tak černobílý, každý výrobce, který se dříve věnoval jednomu sektoru, se snaží využít momentálního rozmachu inteligentních domů a nabízí komplexní řešení pro jejich ovládání. Jako typický příklad uvádím výrobce zabezpečovací techniky Jablotron nebo HoneyWell nebo z jiného odvětví výrobce regulační techniky Regulus. Systém regulus bude mít propracovaný systém vytápění, kterého se od Jablotronu pravděpodobně nedočkáme. Jablotron zase bude vynikat ve vzdáleném ovládání a senzorech. Svým způsobem se o domácí automatizaci snaží i společnost Apple či Bosch.

Pro svoji diplomovou práci jsem zvolil rakouský systém Loxone, a to z několik důvodů:

- Mám s ním osobní zkušenosti
- Je otevřený, může fungovat i s prvky třetích stran
- Je často diskutovaným na diskuzích a fórech – což přináší zkušenosti a další návody
- Systém zvládá základní logické výpočty a není limitovaný přednastavenými funkcemi
- V programovacím prostředí je možnost ověření funkčnosti simulací

¹² Definice dle European Intelligent Building Group (EIGB)

15 Systém Loxone

Systém Loxone je představitelem centrálního systému řízení. To znamená, že je zde jedna řídicí jednotka, která shromažďuje data ze všech senzorů, vyhodnocuje a následně podle nich ovládá různá zařízení. Systém umožňuje připojení jak pomocí klasických vstupů a výstupů (známé např. ze systému Regulus) tak i připojení pomocí sběrnice, kterou může být buď Loxone Tree nebo celosvětově užívaná sběrnice KNX. Způsob využití má svá specifika, na některé aplikace se hodí více sběrnice, na některé je vhodnější řízení pomocí analogových a digitálních vstupů.

15.1 Použité prvky inteligentního systému

15.1.1 Loxone miniserver

Miniserver je označení pro řídicí jednotku, která obstarává všechny funkce v domě. Skládá se z analogových vstupů a výstupů, digitálních vstupů a výstupů, sběrnice KNX, sběrnice Loxone a reléových výstupů. Nechybí připojení na ethernetovou síť a slot na paměťovou kartu. Každý vstup má své specifické určení, analogové vstupy snímají hodnotu napětí v rozmezí 0-10V s rozlišením 1024V, zatímco digitální vstupy pracují s logickou úrovní 0/24V a rozlišují pouze tyto dvě hodnoty. Výstupy pak fungují úplně stejně. Na miniserveru jsou pak ještě reléové výstupy pro spínání větších zátěží, kterou by obyčejné výstupy nebyly schopny přenést (např. pohony žaluzií)



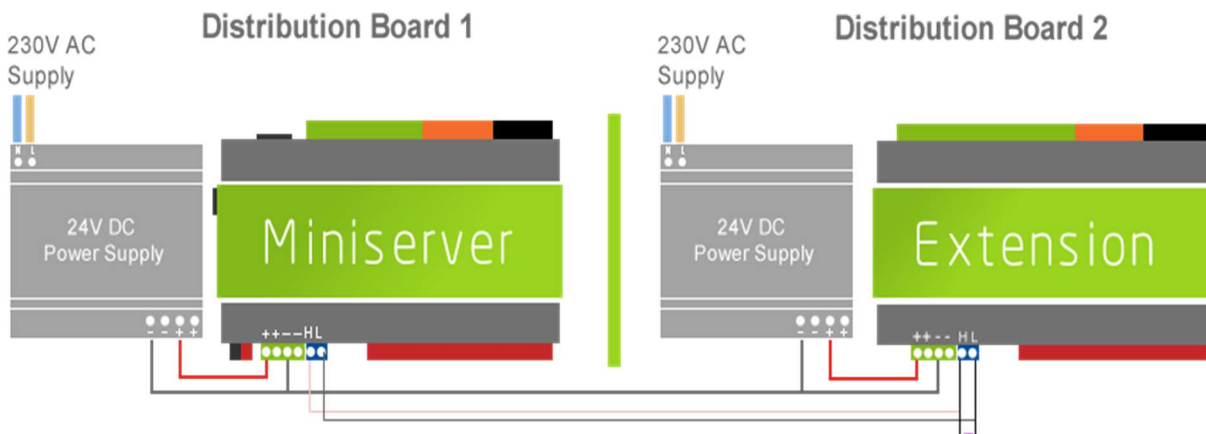
Obrázek č. 15.1 - Loxone Miniserver

Všechny komponenty se přednostně umísťují do skříně rozvaděče. Protože tyto prvky zabírají v rozvaděči poměrně hodně místa, vznikají pak obrovské plechové skříně a rozvaděče mají nezřídka rozměry přesahující výšku 2m.

Protože má server omezené počty vstupů/výstupů, jsou k dispozici různé rozšiřovací moduly, označovány jako Extensions. Výhodné je využívat všechny vstupy rovnoměrně a šetřit analogovými vstupy a výstupy, kterých je nejméně. Proto jsem např. pro ovládání ventilů termoelektrickými hlavicemi použil sběrnicovou variantu.

15.1.2 Extensions

Extension jsou rozšiřující moduly miniserveru. Momentálně je druhově přes 20 typů, a postupně přirůstají další. Každý modul má své specifické použití, přestože spousta z nich má duplicitní funkce. Všechny jsou napájeny 24V DC a připojují se přes sběrnici loxone.



Obrázek č. 15.2 - Princip zapojení Loxone Extensions, poslední modul musí být zakončen odporem.

Pro systém vytápění budou použity moduly 1-wire pro připojení teplotních čidel, modbus, který komunikuje s klimatizacemi a vzduchotechnikou a také pro při měření výkonů a průtoků pulzním vodoměrem. K dispozici je i Froling Extension pro řízení kotlů na pevná paliva, bohužel výběr těchto kotlů je velmi omezený a krby mezi nimi nejsou zatím žádné.

Nejpoužívanějším modulem je Extension. Je to univerzální rozšíření miniserveru, které nabízí v podstatě totožné výstupy : 12 digitálních vstupů, 8 digitálních výstupů (24VDC), 4 analogové vstupy, 4 analogové výstupy (0-10V) a 8 výstupů s relé s maximálním zatížením 5A.



Obrázek č. 15.3 - Ukázka použitých rozšiřujících modulů, zleva 1-Wire, Modbus, Tree a Extension

Co se týče rozvaděčové části systému, zde jsme u konce. Více modulů používat nebudeme.

Teploměr PT1000

Pro přesné měření teploty v otopné soustavě bylo zvoleno teplotní čidlo PT1000 s převodníkem napětí na mez 0-10V pouze logický výstup. V nastavení vstupu je potřeba provést dvoubodovou kalibraci, nastavení hodnot $0V=t_1$ a $10V=t_2$, je popsána v návodu teploměru a liší se použitým rozsahem. Napájeno je stejnosměrným nebo střídavým napětím 24V. Snímač je neinvazivní, instaluje se na vnější plášť trubky a měří její povrchovou teplotu, nehodí se proto pro plastové rozvody.



Obrázek č. 15.4 - Snímač teploty PT1000 od výrobce S+S REGELTECHNIK

15.1.3 Teploměr DS18B20

Digitální teploměr DS18B20(Z) je vhodný spíše pro orientační měření, v technickém listě se uvádí rozlišení snímání $\pm 0,5^\circ\text{C}$, což opravdu není mnoho. Připojuje se tří-žilovým kabelem přes rozhraní 1-wire (sběrníkový typ), pro své nízké provozní napětí (5V DC) se ale nehodí pro aplikace v rozsáhlých objektech, kde může docházet k rušení komunikace. Příklad uplatnění by byl v kontrole povrchové teploty podlahy, detekce otevřeného okna, často se však používá i k měření pokojové teploty.

Osobně s nimi nemám nejlepší zkušenost, při orientačním měření jsem dosáhl rozdílu teplot 1°C . To už je i pro použití jako pokojový termostat příliš velká odchylka.

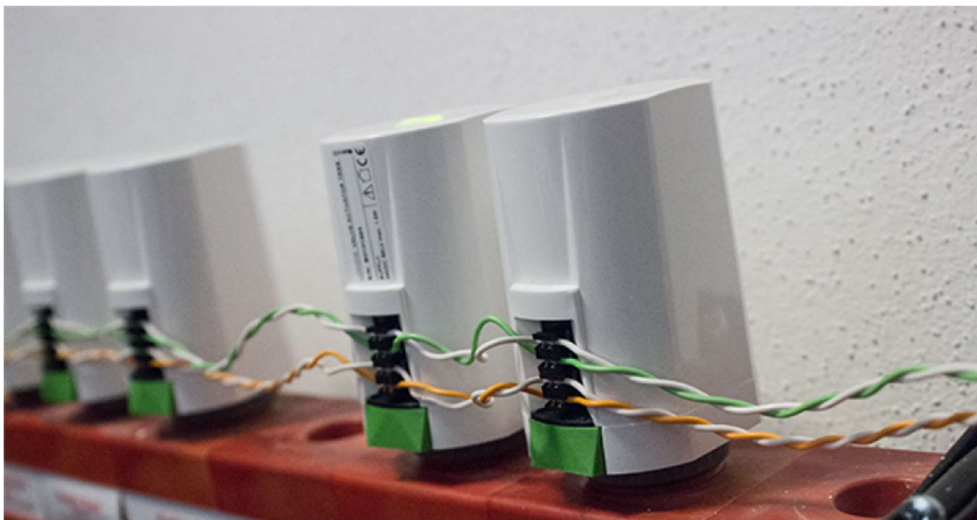


Obrázek č. 15.5 - Příklad provedení teplotního 1-wire senzoru. Zleva doprava: Vodotěsné provedení do podlahy, Závitové G1/2" provedení, Pouzdro TO-92 pro umístění pod vypínač, SMD provedení (na plošné spoje)

15.1.4 Termoelektrické hlavice

Loxone už obvyčejné analogové hlavice na svých oficiálních stránkách neprodává, rozhodl se je odepsat a místo toho se zaměřil na vývoj hlavice postavených na sběrnicovém systému Loxone TREE a bezdrátovém Loxone Air. Obě mají jednu nespornou výhodu: nedají se propojit s žádným jiným systémem, což je vlastně takovým společným cílem všech výrobců.

Přesto jsem se rozhodl je použít, neboť v rozvaděčích podlahového vytápění jsou hlavice osazeny v jedné řadě a dají se tak propojit pomocí dvou dvoulinkových kabelů paralelně. Navíc tím zachráním analogové výstupy, kterých je na řídicí jednotce zoufale málo.



Obrázek č. 15.6- Propojení hlavice Loxone Tree. Zdroj: shop.loxone.com

Alternativou k hlavici TREE by byly například hlavice IVAR. TE 3061. Napájecí soustava je totožná, ovládací napětí je 0-10V a princip ovládání rovněž. Znamenalo by to ale ke každé hlavici přivést samostatný ovládací kabel a za minimální úsporu prostředků.

Hlavice Loxone mají na čelní straně umístěné tlačítko, které může být naprogramováno pro jakoukoliv funkci, v rozvaděčích má opodstatnění snad jen pro servisní mód.

15.1.5 Pokojové termostaty

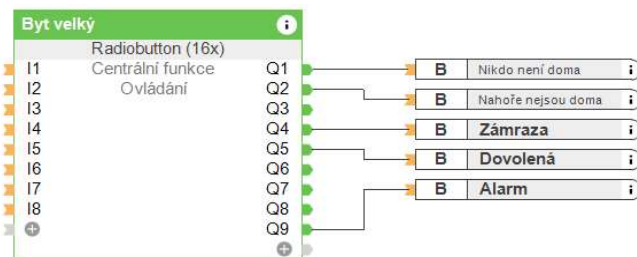
Pro pokojové termostaty (pro zónovou regulaci) je možné zvolit kombinaci obvyčejného spínače a teplotního 1-Wire senzoru nebo sáhnout k prodejčům vypínačů s KNX, které je mívají vestavěné. Loxone žádné vlastní řešení nemá a pravděpodobně mít nebude, jeho vývoj se ubírá jiným směrem.



Obrázek č. 15.7 - Spínače s vestavenými teplotěry a možností nastavení teplot, vlevo: Loxone Tree-Touch, napravo: KNX Jung F50

15.2 Režimy budovy

Uživatelské režimy se používají pro ovládání domu v předem definovaných stavech v průběhu roku. Typicky se jedná o stav Zima, Léto, Oslava, Plný_dům, Nikdo_není_doma a podobně. Při spuštění jednoho z režimů se pak budova přizpůsobí jeho nastavení podle nadefinovaných parametrů. Například režim **Nikdo_není_doma** může spustit procedury: zhasni všechna světla, zatáhni rolety, aktivuj PZTS, změň komfortní teplotu v místnostech na úspornou teplotu a nastav výměnu vzduchu na hygienické minimum.



Obrázek č. 15.8 - Vytvoření funkčního bloku výběrového tlačítka s přiřazením režimů

Na vstupy I1-I8 je možné připojit tlačítko, které bude danou funkci plnit. Takto jsou volby přístupné pouze přes vizualizaci v aplikaci. Je vhodné na tento blok mít funkci odchodového tlačítka, ale o tom až jindy. Takto vytvořený blok bude centrálně ovládat všechny místnosti (které budou do bloku zahrnuty). Uživatelské režimy je možné rozšířit podle skutečného užívání, které se projeví až časem.

15.3 Možnosti řízení teploty

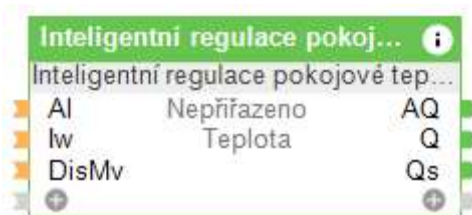
Vytápění místností lze v Loxone nastavit následovně:

- Využijeme předprogramovaný blok Inteligentní regulace pokojové teploty (IRPT)
- Můžeme ovládat teplotu v místnosti pomocí hystereze
- Můžeme využít bloku PI Regulátor
- Sestavíme vlastní systém s využitím všech výše zmíněných možností

Každá z uvedených možností regulace má své výhody a nevýhody. Proto jsem se zaměřil především na poslední možnost – a sestavil jsem vlastní systém.

Loxone má ve svém configu předprogramovaný blok s názvem Inteligentní regulace pokojové teploty, který by pro většinu aplikací měl stačit. Ze stran uživatelů se však objevují poznámky na její nefunkčnost či chaotické řízení teplot.

Blok Blok IRPT je v současnosti nejjednodušší a nejefektivnější metodou regulace teploty v místnosti. V defaultním rozložení se zobrazuje pouze těchto 6 spojů.



Obrázek č. 15.9 - Blok inteligentní regulace pokojové teploty

Pokud do hodnoty **A1** přivedeme **analogovou hodnotu teploty v místnosti** a na výstup **AQ** přiřadíme elektromechanickou hlavici na ventilu otopného tělesa (**analogový výstup pro topení**), systém bude funkční. Hodnota **AQ** se pohybuje v rozmezí 0-10V a dorozumí se tak s většinou hlavíc. Pokud teplota vzduchu v místnosti poklesne pod minimální teplotu, regulace v bloku to zaregistruje a upraví hodnotu **AQ**.

Po nakliknutí na symbolu „+“ se otevírají další volby, především definice teplot pro různé režimy budovy. Výpis z programu na obrázku níže. Při přidání vstupu do programového bloku se dají vstupy nastavit proměnnými čísly, měnit je v závislosti na jiných blocích a zpětně pak na ně reagovat.

Zobrazit spojení		
<input type="checkbox"/>	As	0=Servisní režim VYP. 1=topení a chlazení VYP: AQ=0, Q=Vyp., AQ2=0, Q2=...
<input type="checkbox"/>	Ic	Výběr komfortní teploty Při zapnutí (náběžná hrana) spustí komfortní teplot...
<input type="checkbox"/>	Is	Vstup zpožděného opuštění (výběr úsporné teploty) Při zapnutí (náběžná hra...
<input type="checkbox"/>	Mv	Vstup pro pohybový senzor (zajistí prodloužení doby topení/chlazení na ko...
<input type="checkbox"/>	R	Zastaví časovač teploty. Časovač je možné znovu spustit přes vstupy (Ic,Is,M...
<input type="checkbox"/>	St	Vstup pro STOP Vypnutí všech výstupů a deaktivace automatického pohybu ...
<input type="checkbox"/>	Ts	3,000 Úsporná teplota ve °C, relativní ke komfortní teplotě. Topení: Požadovaná te...
<input type="checkbox"/>	Tch	22,000 Absolutní komfortní teplota ve ° pro topení
<input type="checkbox"/>	Tcc	23,000 Absolutní komfortní teplota pro chlazení ve °
<input type="checkbox"/>	Tp	1,000 Teplota režimu Oslava ve °C, relativní ke komfortní teplotě Topení a chlazení...
<input type="checkbox"/>	Th	1,000 Zvýšená teplota ve °, relativně ke komfortní teplotě Chlazení a topení: Požad...
<input type="checkbox"/>	Td	5,000 Teplota pro režim 'Zámraza' ve ° 'Zámraza' se používá při dlouhodobé absen...
<input type="checkbox"/>	Tm	5,000 Absolutní ochranná teplota proti přetopení ve ° Maximální teplota ve ° (pro ...
<input type="checkbox"/>	Tsm	14,000 Maximální doba nehybnosti ventilu v období topení (ve dnech) Pokud se ve...
<input type="checkbox"/>	Tcm	14,000 Maximální doba ventilu bez pohybu v režimu chlazení (ve dnech) Pokud se v...
<input type="checkbox"/>	Tsc	15,000 Čas komfortního režimu v sekundách - Při sestupné hraně na vstupu (Ic) bu...
<input type="checkbox"/>	Tss	15,000 Čas úsporného režimu v sekundách - Při sestupné hraně na vstupu (Is) bude ...
<input type="checkbox"/>	Tmv	15,000 Prodloužení doby topení/chlazení komfortní teploty [s] - při sestupné hraně ...
<input type="checkbox"/>	Ths	1,000 Doba [min], která je nutná k ohřátí místnosti o 1°. Hodnota > 0 přepíše hodn...
<input type="checkbox"/>	Tcs	1,000 Doba [min], která je nutná k ochlazení místnosti o 1°. Hodnota > 0 přepíše h...

Obrázek č. 15.10 – Nastavení dalších vstupních parametrů

Zde stojí za zmínku prvek **Tsm**, **Ths** a souhrně veškeré teploty **Ts**, **Tcc**, **Tm**...

Tsm číselný vstup vyjadřuje, jak dlouho může být hlavice v neměnném stavu – například otevřená hlavice v tuhé zimě. Po uplynutí této doby se hlavice přepne do stavu ochrany proti zareznutí a dojde k plnému otevření a uzavření hlavice. Následně se vrátí do původního stavu.

Teplota **Tp** je absolutní navýšení komfortní teploty o definovanou hodnotu. Ostatní teploty jsou definované teploty pro různé režimy místnosti. Loxone bohužel nepodporuje možnost využití pokojového termostatu (KNX) ze zobrazením aktuální teploty a požadované teploty, kterou by bylo možno navyšovat a snižovat po nastavených hodnotách. Ne, u Loxonu si musíte pamatovat, že toto tlačítko mi zapne režim zvýšená úspora tepla, což znamená snížení komfortní teploty (asi 22°C, ale kdo ví, jak to mám nastavené?) o 3°C na 4 hodiny. Pro nastavení přesné teploty musíte vzít do ruky mobil.

Ths – Doba v minutách, která je potřeba k vytopení místnosti o 1°C. Slouží k ranním zátopům nebo v závislosti na události v kalendáři ke změně požadované teploty za určitý čas. Loxone pak začne topit o tuto dobu dříve, než událost začne. Pokud tuto hodnotu manuálně nastavíme na „0“, bude spuštěn samoučící režim, ve kterém si hlavice sama vyhledá optimální nastavení pro danou místnost. Tento režim trvá několik dnů.

Právě režim učení je na diskuzních fórech často probírané téma, protože se hromadí lidi, kterým způsobuje celkovou nestabilitu otopné soustavy, systém podivně reaguje na změnu teploty přívodní i vratné vody a při plném otevření ventilu se ovlivní hodnota druhého ventilu, přičemž druhý ventil na tuto změnu zareaguje a tím ovlivní ventil první. Když se na to podíváme teoreticky, systém se bude

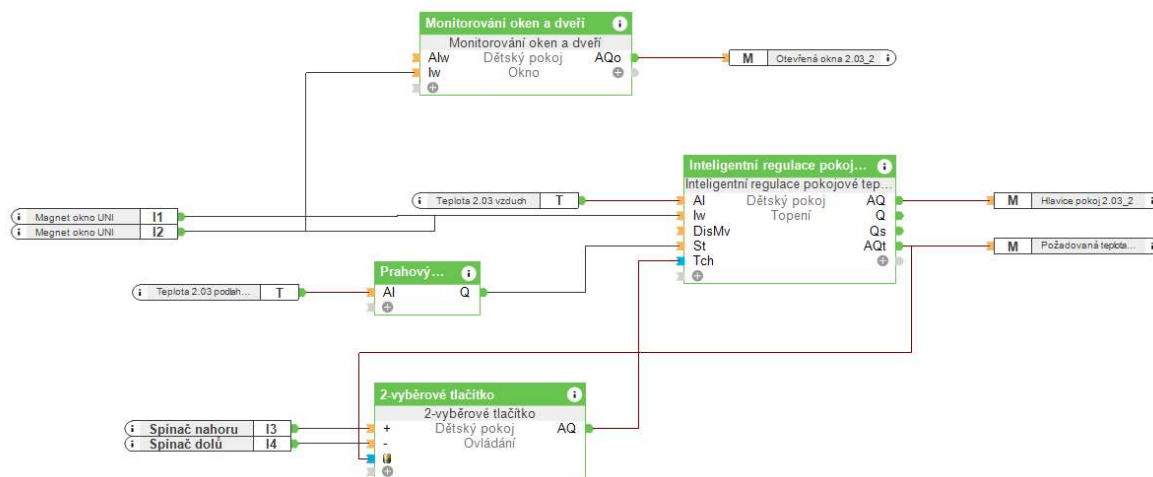
učit po celou dobu životnosti objektu, neboť těchto situací může vzniknout nepopsatelně mnoho a nebude vždy možné na ně reagovat.

Automatický režim s nastaveným časem by pak měl fungovat teoreticky lépe, ale platí stejná zásada: do algoritmu výpočtu nevidíme a nevíme tak, co právě Loxone počítá a na co reaguje.

Při testování (v simulačním módu) mi v případě rychlého nárůstu teploty v místnosti systém zavřel hlavici a automaticky zatáhl veškeré žaluzie – zřejmě dostal informaci, že do místnosti svítí slunce, ačkoliv k systému nebyla zatím připojena žádná meteorologická stanice, ani nadefinovány rozměry oken a orientace ke světovým stranám.

Pro některé uživatele pak může být matoucí i samotné nastavení doby ohřevu místnosti – pro jakou venkovní teplotu to systém počítá? Je zahrnuta teplota otopné vody? A jak vlastně vypadá křivka náběhu, jedná se o P, PI nebo PID regulaci?

Pokud nás tyto otázky nezajímají, můžeme se spokojit s tím, že v Loxone vědí, co dělají a blok je tedy funkční. Pak by program mohl vypadat následovně:



Obrázek č. 15.11 - Využití bloku inteligentní regulace pokojové teploty s rozšířením o tlačítko

Vstupy **I1** a **I2** jsou napěťové vstupy okenních kontaktů. Při aktivaci těchto vstupů se vypíná topení v místnosti a nastavuje režim zámrazu – vytápění na 5°C. Nedochází tak ke známému slovnímu spojení: topíme pánu bohu do oken.

Blok Monitorování oken a dveří je zde jen informativně, pro potřeby vizualizace, kde je pak pod touto položkou přesně vidět, která okna jsou otevřená, a která nikoli. Při stisknutí odchodového tlačítka (poslední člověk v domě) pak může systém uživatele na tuto skutečnost upozornit.

Dále je zde blok Prahový přepínač pro kontrolu teploty podlahy. Najde využití především v místnostech typu bazén a koupelna, kde vlivem vyšších požadovaných teplot k tomuto jevu dochází.

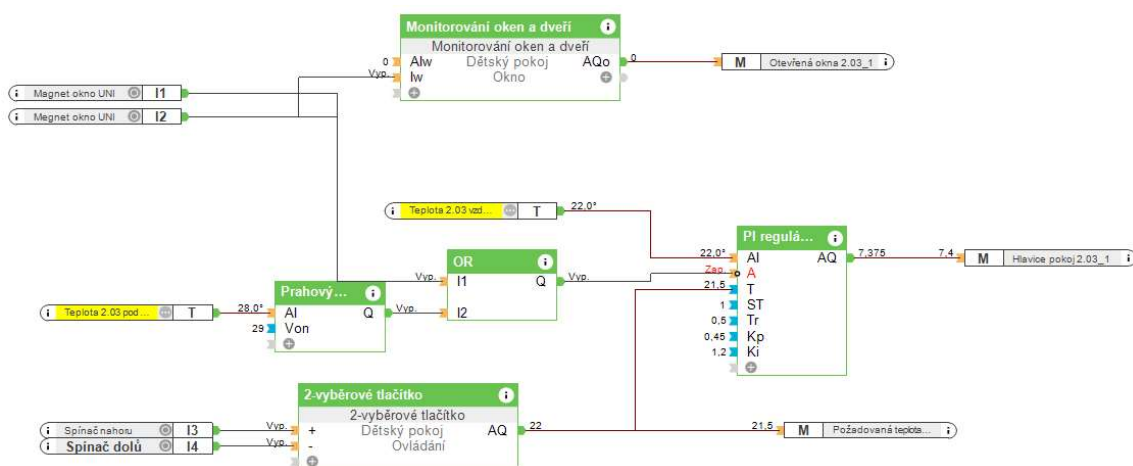
Výstupem z tohoto bloku je hodnota 0 či 1. Prahový přepínač je vypnutý, pokud měřená hodnota ze vstupu **AI** je vyšší než nastavená, tj. teplota podlahy < nastavená maximální. Tento výstup je možné znegovat a připojit do vstupu **lw** pro okna anebo samostatně do vstupu **St**, který vypne veškeré výstupy z bloku a hlavice se tak nastaví na 0. Předpokládáme, že doba otevřeného okna nepřekročí dobu kontroly zareznutí hlavice, neboť toto nastavení deaktivuje veškeré funkce ventilu.

Blok výběrové tlačítka je zde zcela volitelně a nastavujeme jím manuální požadovanou teplotu. Jak jsem popisoval výše, Loxone nepodporuje možnost zvyšování teplot inkrementem. Spínač nahoru zvýší teplotu o 0,5°C, spínač dolů naopak sníží. Aby snižování teploty probíhalo od aktuální nastavené, je nutné propojit zpětnou vazbu ze vstupu **AQt** do vstupu **P** a **D**.

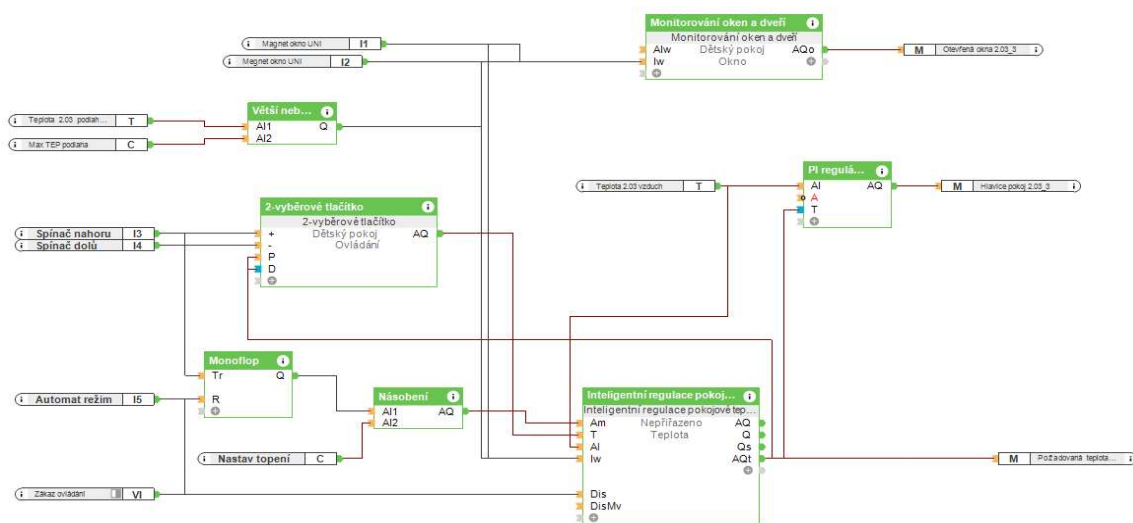
Další možností řízení vytápění je přenesení parametrů do PI regulátoru.

PI regulátor pracuje s aktuální teplotou **AI** a požadovanou teplotou **T**. Hlouběji v nastavení (modré hodnoty) se nastavuje čas obnovy výpočtu **ST** (1 sekunda), **Tr** je hodnota potlačení vlivu kmitání, **Kp** je zesílené a **K** je integrální hodnota. Ještě jsou dostupné minimální a maximální vstupy. Jejich použití bude předvedeno v kapitole o konvektorech.

V obrázku jsou vidět hodnoty nastavení PI regulátoru. Za těchto hodnot by zcela určitě nebyl funkční, ale pro simulace funkčnosti jsem potřeboval rychlejší změny na výstupu, z hodin na vteřiny.



Protože vstup PI regulátoru nemá žádné pomocné funkce jako měl blok Inteligentní regulací pokojové teploty musíme maximální teplotu podlahy a monitorování oken vyhodnocovat funkcí OR, která je zapojena do vstupu **A**. Vstup **A** vypíná automatiku regulátoru a nastavuje na výstupu 0V. Dále tu nejsou žádné funkce k občasnému pohybu hlavic nebo režimy místnosti. Teplota lze nastavit pouze na termostatu. Výše uvedený postup je značně omezený a pro použití nejméně vhodný, proto uvádím ještě kombinaci předchozích dvou sestaven.



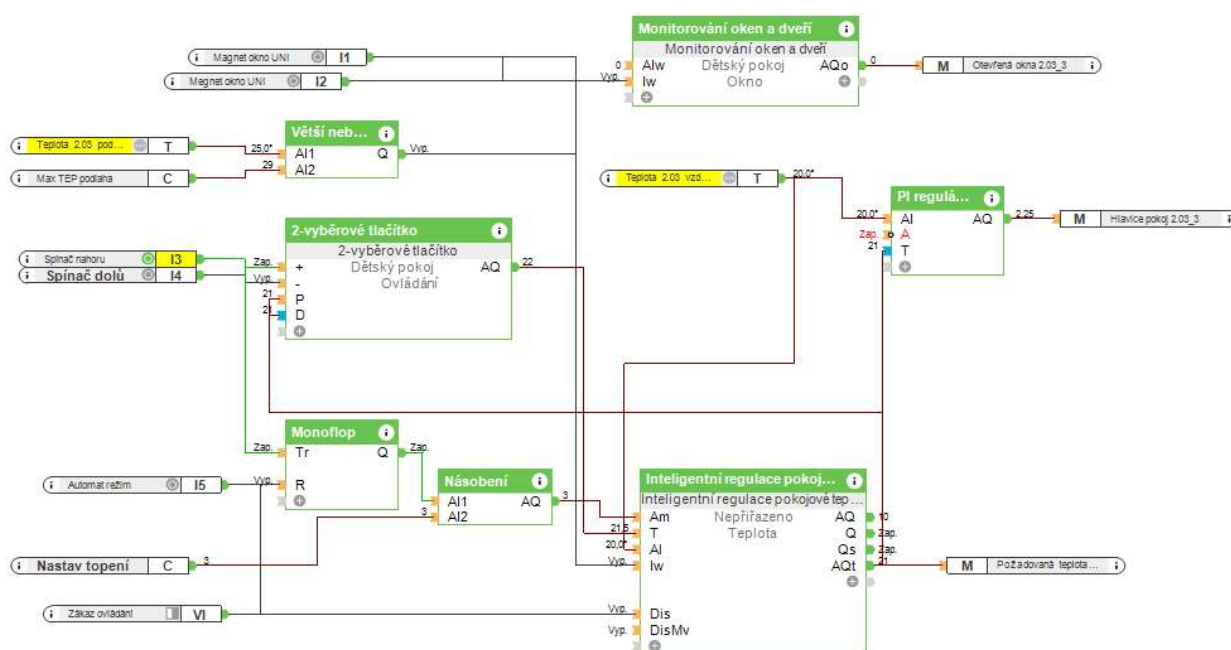
Obrázek č. 15.12 - Konečné schéma propojení prvků pro řízení vytápění

V tomto schématu jsem odpojil hlavici od výstupu **AQ** v IRPT a přes PI regulátor ji připojil na výstup požadované teploty. Požadovaná teplota se nyní určuje režimy místnosti (zvýšené teplo, zámraza..), manuálně termostatem i podle oken a pohybových senzorů (nepoužity).

Funkce Monoflop znamená aktivaci signálu po dobu **T** při objevení impulzu na vstupu **Tr** a restart bloku vstupem **R**. Manuální režim se vypne po doběhnutí času **T** (např. 24 hodin) nebo aktivací vstupu **R** (tlačítko či vizualizace) a spustí se automatický režim s nastavenou komfortní teplotou. Pro zapnutí manuální funkce IRPT je třeba přivést hodnotu 3 do vstupu **Am**, proto je zde funkce násobení.

Opět zde nechybí zpětná vazba do vstupů výběrového tlačítka **P** a **D**. V případě absence této vazby při snížené teplotě (18°C) při stisku spínače nahoru vyskočila teplota na 22,5°C, protože výchozí hodnota na tlačítku je 22°C. Zpětnou vazbou ji vždy aktualizujeme na poslední hodnotu.

Posledním použitým vstupem je **Dis**, do kterého přivedením signálu zablokujeme nastavení manuální teploty a výběr režimu v místnostech – typicky využitelné pro pokoje s dětmi.



Obrázek č. 15.13 - Ukázka simulace aktivací spínač nahoru - manuální režim

Na obrázku výše je vidět, že po aktivaci spínače (**13**) dochází k sepnutí funkce Monoflop, v Násobení přivede hodnotu „3“ na IRPT a dojde k aktivaci manuálního režimu. **AQ** požadovaná teplota je 21°C, zatímco teplota v místnosti je 20°C, PI regulátor tedy nastaví v první sekundě napětí hlavice na 2,25V (AQ). A protože nedochází ke změně teploty v místnosti (stále je 20°C), tato hodnota postupně poroste až na hodnotu 10, tedy plně otevřeného ventilu. Pokud bych teplotu v místnosti v průběhu otevírání ventilu změnil (došlo by ke změně regulované veličiny), na 21°C PI regulátor zastaví a nechá napětí na poslední spočtené hodnotě.

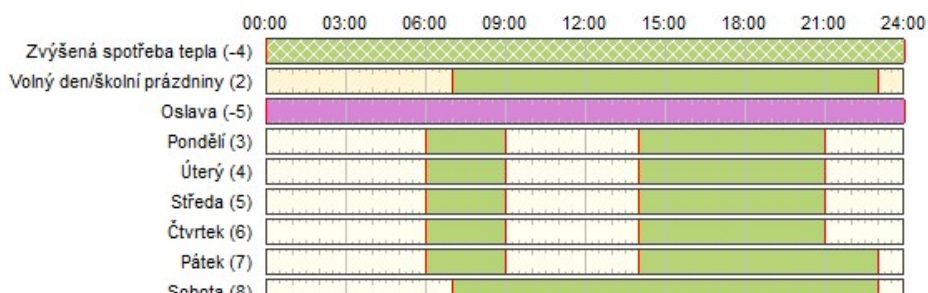
Pro správnou funkci takového schématu je potřeba správně nastavit hodnoty PI regulátoru. Více o PI regulátoru je v kapitole Regulace PI.

15.4 Nastavení podlahového topení

15.4.1 Vytápění dětského pokoje

Vytápění dětských pokojů, respektive pokojů s podlahovým vytápěním a využíváním spínání komfortní a úsporné teploty lze shrnout pod jedno typové nastavení, které bude funkční pro jakoukoliv další místnost se stejným ovládním. U dětských pokojů budeme pracovat s režimy úsporná teplota, komfortní teplota, oslava a zvýšená potřeba tepla. Přes týden bude nastavena automatická teplota dle tabulky níže.

Z tabulky lze vyčíst, že tzv. komfortní teplota (T_{cc} , plná zelená barva) se aktivuje v časových



Obrázek č. 15.14 - Nastavené teploty v pracovním týdnu

intervalech 6:00-9:00 hodin a 14:00-21:00 hodin.

Regulace je nastavena s ohledem na denní režim dítěte školního věku.

- 1) 21:00-6:00 – režim spánku, požadovaná teploty v místnosti $T_m = T_{cc} - Tr_u = 22 - 3 = 19^\circ\text{C}$
- 2) 6:00-9:00 – Vstávání, nabíhá komfortní režim s teplotou $T_m = T_{cc} = 22^\circ\text{C}$
- 3) 9:00-14:00 – Místnost je prázdná, děti jsou ve škole, zapínám úspornou teplotu $T_m = 19^\circ\text{C}$
- 4) 14:00-21:00 – Návrat ze školy domů, teplota místnosti $T_m = T_{cc} = 22^\circ\text{C}$

O víkendech a svátcích je tento režim upravený o posun doby vstávání a usínání. Předpokládá se, že místnost bude využívána po celý den, i když tomu tak pravděpodobně nebude.

Zvýšenou potřebu tepla a oslavu bude možno nastavit ve vizualizaci anebo v dané místnosti prostřednictvím termostatu. Použití těchto režimů je velmi sporadické, první z nich se používá při nachlazení a znamená to, že požadovaná teplota v místnosti stoupne o teplotu T_h ; $T_m = T_{cc} + T_h$, druhý režim, oslava, teplotu v místnosti naopak snižuje o hodnotu T_o , protože se předpokládá vyšší obsazenost místnosti a tím i vyšší tepelné zisky místnosti. Obě hodnoty jsou nastaveny experimentálně na absolutní hodnotu 2°C .

Dále je k zamyšlení, do jaké míry se uplatní snižování na úspornou teplotu přes noc v reálné situaci. Vzhledem k tepelné akumulaci masivní vrstvy podlahy se může doba vychládání podlahy protáhnout na několik hodin a její náběh rovněž. Je proto možné, že se ve skutečném provozu tato funkce odstaví a prostor bude vytápěn na konstantní teplotu neustále.

Pro řízení teploty dětského pokoje je možné použít poslední sestavený blok.

15.4.2 Vytápění místnosti Heryn

V této místnosti se uplatní systém regulace více než v jakékoliv jiné, protože se nepředpokládá trvalé obývání místnosti či obývání, ale s přestávkami. Naopak bude většinu času vytápěna pouze na úspornou teplotu 19°C a na komfortní teplotu 22°C bude vytápěna pouze při požadavku uživatele na vytopení. Místnost bude používána při větších akcích a oslavách, takže vytápění bude podpořeno i vnitřními zisky od lidí. Změna nastavení teploty bude ovládána naplánováním akce v kalendáři či manuální zvýšení teploty na termostatu.

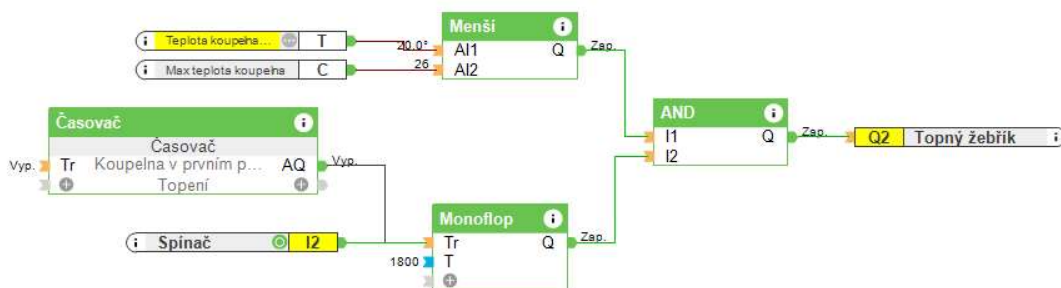
Vzhledem k pomalému náběhu podlahového vytápění bude nejvhodnějším řízením zmíněný kalendář, ve kterém se událost nastaví klidně několik hodin dopředu a systém tak stihne zareagovat. Zde se uplatní základní blok IRPT, neboť dokáže na základě stanovení parametrů místnosti zatopit o přesně určený čas předem.

Zde bych uplatnil blok inteligentní regulace pokojové teploty (Obrázek č. 15.11).

15.4.3 Koupelny

V koupelnách bude systém nastavený tak, aby byla vždy požadované teploty dosaženo při večerním a ranním sprchování. Teplota v průběhu může kolísat mezi touto teplotou a na teplotu okolního interiéru, tj. 22°C. Toto kolísání bude způsobeno větráním – ať už vzduchotechnikou či větráním dveřmi.

Podlahové topení bude v této místnosti topit na konstantní teplotu. V časových špičkách bude ale spínán přímotopný trubkový radiátor. Radiátor slouží spíše k vysoušení ručníků po sprchování, nicméně výkon 500W, který výrobce udává, postačuje na vytopení celé místnosti. Radiátor bude možno vypnout i zapnout vypínačem.

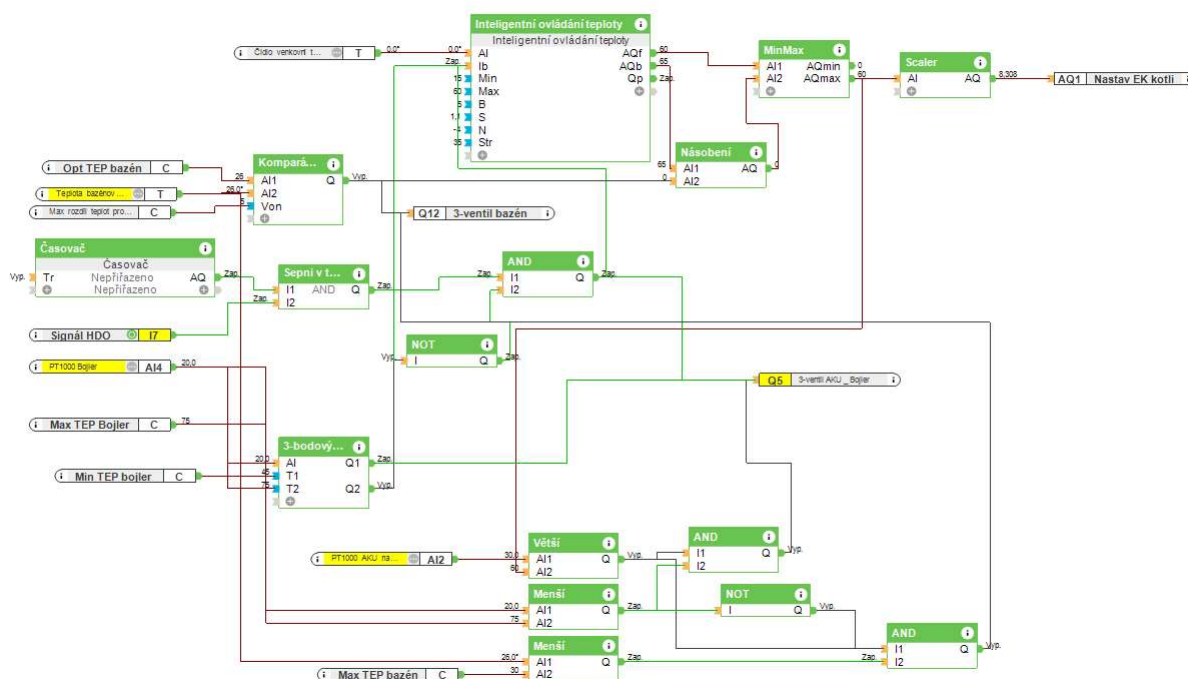


Obrázek č. 15.15 - Zapínání otopného žebříku

V časovači budou nastaveny předpokládané časy sprchování, po kterých dojde k aktivaci žebříku na 20minut (hodnota Monoflop) To samé se stane při stisknutí spínače. Pokud dojde k překročení teploty vzduchu v koupelně, dojde k vypnutí.

Dále je zde vstup od klapky krbu, který při jejím otevření manuálně nastaví požadovanou teplotu v místnosti na 20°C (vlevo dole). Při poklesu pod tuto teplotu tak bude ventil na přívodu tepla do konvektoru opět otevřen a začne se přitápět až na dosažení požadované teploty. Reálně by se ale tato teplota měla pohybovat výrazně nad touto hranicí. Nakonec, v pravé dolní části se nachází ovladač zmíněného ventilu, který reaguje na zapnutí krbu. V tu chvíli konvektory sníží svůj výkon na minimum (ale nevypnou) a díky uzavřenému ventilu přes ně neprochází žádné teplo. Konvektory tak pouze rozhánějí vzduch po místnosti.

15.6 Řízení zdrojů tepla



Obrázek č. 15.17 - Nastavení elektrického zdroje tepla

Zde si ovládání zdrojů ukážeme přímo názorně. Figuruje zde elektrický kotel.

Při řízení zdroje je důležité správně nastavit priority systému – zda má prioritně ohřívat vodu v nádrži TV nebo akumulární nádrž pro vytápění. Ve chvíli, kdy máme v objektu hlavně podlahové vytápění je rozhodování snazší, protože vytápění má dlouhou akumulaci a prioritní bude tak ohřev teplé vody.

V levé části je vstup signálu HDO a časovač. Tímto ovládáme vysílání požadavku na nahlátí zásobníku, pokud je teplota v zásobníku vyšší než nastavených 50°C. Pokud je tato teplota vyšší, systém vyčkává na signál HDO pro přepnutí do nízkého tarifu. Pokud tato teplota poklesne pod 50°C, dojde k sepnutí kotle a nahlátí alespoň na tuto hodnotu (s hysterezí).

Elektrický kotel je řízen signálem 0-10V, kde na velikosti vstupního napětí závisí požadovaná teplota zahřívání teplotonosné látky. Při nahlátí zásobníku je tedy do kotle přivedeno plných 10V, zatímco při ohřevu otopné vody se signál upraví dle venkovní teploty. K tomu slouží blok Inteligentní ovládání teploty (IOT). Tento blok má na vstupu AI přiveden senzor venkovní teploty a do vstupu Ib (režim BOOST) signál pro aktivaci ohřev teplé vody v maximální výkonu. Blok IOT je provázán se všemi bloky IRPT a z nich si odečítá maximální požadovanou hodnotu teploty v interiéru, kterou pak koriguje

topnou křivku. Topná křivka se v Loxonu nastavuje hodnotami **S** (který vyjadřuje strmost křivky) a **N** (paralelní posun) topné křivky.

Dále zde figuruje blok Komparátor, který porovnává aktuální a optimální teplotu bazénové vody. Konstantou maximální rozdíl teplot pro ohřev BV nastavujeme míru hystereze a zároveň se tím dá ohřev bazénu vypnout zavřením ventilu.

Ve spodní části obrázku se pak nachází zabezpečení proti přetopení. Jsou zde definovány maximální hodnoty pro akumulční nádrž (60°C), zásobník (75°C) a bazén (30°C).

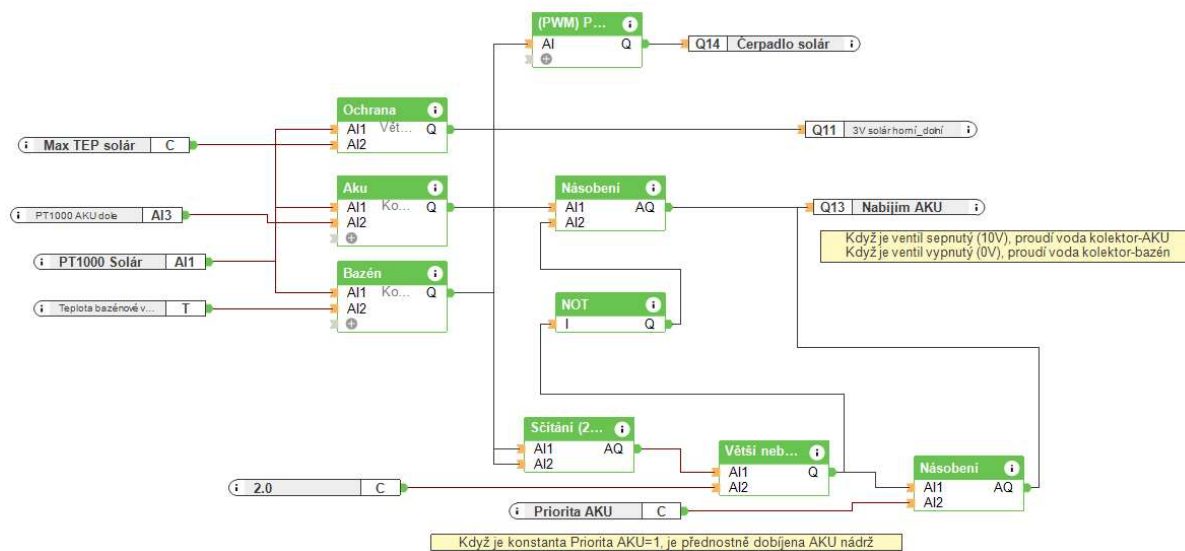
15.7 Solární systém

Solární systém je ovládaný na základě rozdílových teplot kapaliny v solárním kolektoru a teploty v akumulční nádrži nebo bazénu. Při nastavení priority č.1 pro bazén bude stanoven rozdíl teploty v bazénu a teplota v kolektoru a po překročení daného rozdílu teplot (10°C například) dojde k sepnutí čerpadla.

Velmi často by se mohlo stát (zvláště v případě priority nabíjení zásobníku), že zásobník bude mít vyšší teplotu než vykazuje solární systém a docházelo by tak k nečinnosti systému, přestože by teplota mohla být dostatečná pro ohřev bazénu.

Principiálně to tedy funguje tak, že je teplem zásobován zdroj s aktuálně nižší teplotou a v okamžiku, kdy tuto podmínku splňují oba, se rozhodne dle nastavené priority.

Stejné podmínky pak fungují i při poruchovém stavu přetopení.



Obrázek č. 15.18 - Nastavení řízení solárních kolektorů

Bohužel není ve schématu zpracováno přepínání nahřívání přes horní a dolní výměník, proto bude trojcestný ventil pouze termický a nastavený na fixní hodnotu.

Loxone nabízí daleko elegantnější řešení řízení jednotlivých zdrojů tepla, nicméně vývojáři mají také ve zvyku zastaralé bloky ze systému odebírat a nahrazovat je novými, které mohou fungovat úplně jiné. V předchozích verzích byl například k dispozici blok vzduchotechnika pro kompletní ovládání včetně klapek, průtoků, teploty, blok byl schopný komunikovat s centrálním nastavením režimu budovy. V další verzi však blok zmizel a při načítání z původní verze nelze používat. Proto mám většinu systému založený na již zaběhlých funkcích, které se z nejvyšší pravděpodobností měnit nebudou, a pokud ano, dají se snadno nahradit dalšími podmínkami.

15.8 Závěr

Cílem práce bylo navrhnout vytápění budovy s téměř nulovou spotřebou energie inteligentním řízením. Zjistil jsem, že řízení objektu systémem, který nebyl stvořen primárně pro účel vytápění má v tomto ohledu svá omezení a nese sebou určitá rizika. Při řešení jsem narazil na četné problémy ať už s návrhem otopné soustavy nebo s volbou zdrojů a otopných ploch.

Během vypracování práce jsem pochopil některé principy návrhu a řízení vytápění, které pro mne byli do této chvíle neznámé. V souvislosti s tím postupem času zjišťuji, že jsou v návrhu věci, které bych nyní udělal jinak.

Velmi mě mrzí, že jsem se už od začátku nezabýval navrhováním ve specializovaném softwaru, protože ruční způsob mne značně připravil o čas, který jsem mohl věnovat jiné části práce, např. rozsáhlejšímu studiu inteligentního řízení. A to důležitější, při ručním návrhu se velmi obtížně provádí jakékoliv změny, aniž by to zasáhlo celou práci do základu, a tím se i nedokonalé řešení postupně stává dokonalým.

Jako pozitivní beru hlubší seznámení se s Loxonem a dalšími technologiemi na poli vytápění. Předně jsem se dozvěděl víc o technice hybridních solárních panelů a teplovodních krbech.

16 Použitá literatura

- [1] Ing. ČEJKA, Michal. *Budovy s téměř nulovou spotřebou energie – porovnání energetických standardů*. In: tzb-info.cz [Online]. [vyd. 2017-02-16]. <https://stavba.tzb-info.cz/budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-energie/15181-budovy-s-temer-nulovou-spotrebou-porovnani-energetickych-standardu>
- [2] Prostup tepla vícevrstvou konstrukcí a průběh teplot v konstrukci [Online]. <https://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/140-prostup-tepla-vicestvrou-konstrukci-a-prubeh-teplot-v-konstrukci>.
- [3] ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [4] ČSN EN 15316. *Výpočtová metoda pro stanovení potřeb energie a účinností soustavy – soustava teplé vody, charakteristiky potřeb, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010*
- [5] Regulus. Zásobníky TV. [online] 2017 [cit. 2018-05-15]. <https://www.regulus.cz/>
- [6] Doc. Ing. Matuška, Ph.D. Tomáš. *Zjednodušený výpočtový postup energetického zhodnocení solárních systémů*.
- [7] Doc. Ing. Matuška, Ph.D. Tomáš. *Zjednodušený bilanční výpočet ročních přínosů fotovoltaických instalací*. In: tzb-info.cz [online] 2016. [cit. 2018-04-20] <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/13878-zjednoduseney-bilancni-vypocet-rocnich-prinosu-fotovoltaickych-instalaci>.
- [8] ŠEVELA Ševela. *Vývoj hybridního fotovoltaicko-termálního kolektoru*. In: Tzb-info.cz [Online] 2014. [Citace: 15. 05 2018.] <https://oze.tzb-info.cz/12028-vyvoj-hybridniho-fotovoltaicko-termalniho-kolektoru>.
- [9] HLINICA, Pavel. *Série článků: Jaké fotovoltaické panely použít - 5.díl*. In: Deramax.cz. [online] <https://www.deramax.cz/5-jake-fotovoltaicke-panely-pouzit-5-dil-ze-serialu-clanku>
- [10] Krby s výměníkem. In: krby-turyna.cz [online] <https://www.krby-turyna.cz/krbove-vlozky-s-vymenikem>.
- [11] Vyhláška č. 237/2014 Sb., *kteou se stanoví pravidla pro vytápění a dodávku teplé vody, měrné ukazatele spotřeby tepelné energie pro vytápění a přípravu teplé vody a požadavky na vybavení vnitřních tepelných zařízení budov přístroji regulujícími dodávku tepelné energie konečným spotřebitelům*, 2014
- [12] Regulus. Akumulační nádrže. [online] 2017 [cit. 2018-05-01]. <https://www.regulus.cz/>
- [13] ČSN 06 0320. *Tepelné soustavy v budovách – Příprava teplé vody – navrhování a projektování*. Český normalizační institut, 2006.
- [14] Proč topit konvektory? In: ceskestavby.cz [online] <https://www.ceskestavby.cz/clanky/proc-topit-konvektory-19241.html>
- [15] ČSN 06 1101. *Otopná tělesa pro ústřední vytápění*, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.

- [16] Minib. Podlahové konvektory s ventilátorem. [online] 2017 [cit. 2018-04-17]. <https://www.minib.cz/>
- [17] Rosení oken – proč vzniká a jak mu předcházet [online]. In: Stavebnictvi3000.cz, 2011 [vyd. 2011-01-06]. <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/roseni-oken-proc-vznika-a-jak-mu-predchazet/>
- [18] Bitherm. Otopná tělesa. [online] 2018. <https://www.elvl.cz>
- [19] směrnice EPBD II. Směrnice Evropského parlamentu a Rady, 2010
- [21] ČSN 38 3350. Zásobování teplem - Venkovní výpočtové teploty. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a zkušebnictví, 1993
- [22] Regulus. Expanzní nádoby. [online] 2017 [cit. 2018-05-03]. <https://www.regulus.cz/>
- [23] Průměrné měsíční doby slunečního svitu ve vybraných lokalitách ČR. [Online] <https://www.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/99-prumerne-mesicni-doby-slunecniho-svitu-ve-vybranych-lokalitach-cr>.
- [24] Ing. BOHÁČ, Jindřich. *Základy sálavého vytápění*. [soubor přednášek]. Praha: ČVUT v Praze, 2017