

Návrh inteligentního rodinného domu

Design of intelligent house

Bc. Pavel Dvořák

Diplomová práce
2009



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2008/2009

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavel DVOŘÁK**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Návrh inteligentního rodinného domu**

Zásady pro vypracování:

1. Studie energeticky úsporných budov obsahující možné způsoby tvorby mikroklimatu.
2. Možnosti řízení, monitorování a komunikace systémů techniky v budově.
3. Aplikace poznatků na konkrétní budovu.
4. Návrh systému vytápění využívající obnovitelné zdroje energie.
5. Návrh použití tepelného čerpadla a vzduchotechnického systému umožňujícího vytápění i klimatizaci s možností rekuperace vzduchu a uplatněním solárních panelů.
6. Dům vybavte sběrníkovým systémem KNX, komunikační bránou a SCADA systémem.
7. Sběrníkový systém doplňte o systémy EZS a EPS.
8. Technicko ekonomické hodnocení projektu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. VALEŠ, Miroslav. Inteligentní dům. 2. vyd.: ERA, 2008. 136 s. ISBN 978-80-7366-137-3.
2. HUDEC, Mojmír. Pasivní rodinný dům. 1. vyd.: Grada, 2008. 112 s. ISBN 978-80-247-2555-0.
3. CENEK, Miroslav. Obnovitelné zdroje energie. 2. dopl. vyd.: FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8.
4. LADENER, Heinz, SPÄTE, Frank. Obnovitelné zdroje energie. 1. vyd.: Grada, 2003. 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
5. SmartHouse Code of Practise. 1st edition.: Cenelec, 2005. 230 s. CWA 50487.
6. KŘEČEK, Stanislav. Příručka zabezpečovací techniky. 4. autoriz. vyd.: Cricetus, 2002. 350 s. ISBN 80-902938-2-4.
7. KNX Association. Handbook for Home and Building Control : Basic Principles. 5th rev. edition.: ZVEI, 2006. 185 s.

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Zálešák, CSc.

Ústav automatizace a řídicí techniky

Datum zadání diplomové práce:

20. února 2009

Termín odevzdání diplomové práce:

27. května 2009

Ve Zlíně dne 13. února 2009



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou inteligentních systémů v budovách, které umožňují vytvořit komfortní a bezpečné bydlení s nízkými provozními náklady. Popsané systémy jsou v současné době spíše ojedinělé, ale v blízké budoucnosti se pravděpodobně stanou standardem. Hlavním cílem tzv. inteligentních domů je zjednodušení a zpříjemnění bydlení v daném objektu, za pomoci jednoduchého ovládání všech systémů s možností automatizace jednotlivých procesů

Klíčová slova: inteligentní dům, sběrníkový systém, KNX, tepelné čerpadlo, vzduchotechnika, solární panely

ABSTRACT

The main theme of the thesis is usage of intelligent systems in buildings. These systems provide a possibility to design a comfortable and safe housing with low operation costs. They are rather rare nowadays, but they will probably become a standart in the near future. The primary goal of intelligent buildings is to make living easier and more comfortable by implementing an easy control of all housing systems with a possibility of their automatization.

Keywords: intelligent house, bus system, KNX, heat pump, air conditioning, solar panel

Poděkování, motto

V první řadě bych rád poděkoval Ing. Martinu Zálešákovi CSc., který mi po celou dobu tvorby práce věnoval značné množství času a důležitých rad, které zvětšily můj přehled v dané problematice, a umožnili úspěšně dokončit mou práci.

Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli nápomocni při řešení daných problémů.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval.
V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	12
1 VNITŘNÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY	13
1.1 FAKTORY PROSTŘEDÍ.....	14
1.2 OSOBNÍ FAKTORY.....	14
1.3 TEPELNÁ POHODA	15
1.3.1 Operativní teplota	15
1.3.2 Index PMV	15
1.3.3 Index PPD	16
1.3.4 Index DR.....	16
1.3.5 Vlhkost vzduchu.....	17
2 HODNOCENÍ DOMŮ Z HLEDISKA SPOTŘEBY ENERGIE	19
2.1 NÍZKOENERGETICKÝ DŮM.....	19
2.2 PASIVNÍ DŮM	20
2.3 AKTIVNÍ A NULOVÉ DOMY	20
2.4 ZÁKLADNÍ PRAVIDLA KONSTRUKCE ÚSPORNÝCH DOMŮ.....	21
2.4.1 Orientace domu	21
2.4.2 Tvar domu	22
2.4.3 Stěny	22
2.4.4 Okna.....	23
2.4.5 Těsnost budovy.....	24
2.4.6 Větrání	24
2.5 ENERGETICKÝ PRŮKAZ BUDOVY	25
3 SYSTÉMY TVORBY VNITŘNÍHO KLIMATU	28
3.1 ZDROJE ENERGIE	28
3.1.1 Obnovitelné zdroje energie	28
3.1.2 Neobnovitelné zdroje energie.....	29
3.2 TEPELNÉ ČERPADLO	30
3.2.1 Historie tepelného čerpadla.....	30
3.2.2 Princip tepelného čerpadla	30
3.2.3 Topný vektor tepelného čerpadla	31
3.2.4 Typy tepelných čerpadel	32
3.3 SOLÁRNÍ KOLEKTORY	34
3.3.1 Konstrukce solárního kolektoru	34
3.3.2 Instalace solárního kolektoru	35
3.3.3 Solární systém	36
3.4 FOTOVOLTAICKÉ ČLÁNKY.....	37
3.4.1 Fotovoltaický jev	37
3.4.2 Historie fotovoltaických článků	38
3.4.3 Výrobní technologie fotovoltaických článků	38
3.4.4 Účinnost fotovoltaických článků.....	39
3.4.5 Výkon fotovoltaických článků	39
3.4.6 Ekonomická návratnost fotovoltaického článku	40

4	KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE	41
4.1	UZAVŘENÉ SYSTÉMY	41
4.2	OTEVŘENÉ SYSTÉMY	41
4.3	KNX	42
4.3.1	Základní charakteristika KNX	43
4.3.2	Typické oblasti použití.....	43
4.3.3	Struktura komunikace na sběrnici KNX	43
4.3.4	Vrstvy KNX	44
4.3.5	Fyzická přenosová média.....	45
4.3.6	Topologie sběrnice KNX	46
4.3.7	Struktura sběrnice	46
4.3.8	Komunikační rámec.....	47
4.3.9	Sběrnice KNX	48
4.4	LONWORKS	48
4.4.1	Základní vlastnosti sběrnice LonWorks	48
4.4.2	Využití sběrnice LonWorks	49
4.4.3	Protokol LonTalk.....	50
4.4.4	Vrstvy protokolu LonTalk	50
4.4.5	Hardwarová struktura uzlu.....	53
4.4.6	Síťový hardware	54
4.4.7	Sběrnice LonWorks	54
4.5	ZIGBEE	54
4.5.1	Charakteristika sběrnice ZigBee	55
4.5.2	Struktura komunikačního standardu ZigBee.....	55
4.5.3	Topologie sběrnice ZigBee	56
4.5.4	Adresování, směrování a zabezpečení sběrnice	57
4.5.5	Spotřeba zařízení	57
4.5.6	Sběrnice ZigBee	58
II	PRAKTICKÁ ČÁST	59
5	NÁVHR TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOVY	60
5.1	OKRAJOVÉ PODMÍNKY	60
5.2	POPIS NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU	63
5.3	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	63
5.3.1	Tepelné ztráty větráním	64
5.3.2	Zátopový tepelný výkon	66
5.3.3	Tepelná ztráta prostupem.....	68
5.3.4	Celková tepelná ztráta objektu	69
5.4	NÁVRH VYTÁPĚNÍ A KLIMATIZACE.....	70
5.4.1	Výběr tepelného čerpadla	70
5.4.2	Dimenzování zemních kolektorů.....	70
5.4.3	Hydraulické zapojení tepelného čerpadla	72
5.5	NÁVRH VZDUCHOTECHNICKÉHO SYSTÉMU	74
5.5.1	Výpočet plochy tepelného výměníku	74
5.5.2	Návrh směšovacího ventilu	75
5.5.3	Režim klimatizace	76
5.5.4	Návrh rozvodů vzduchu	77

5.6	NÁVRH SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	80
5.6.1	Výpočet velikosti vyrovnávací nádrže.....	82
5.6.2	Komponenty solárního systému.....	83
5.6.3	Dimenzování zásobníku TUV	84
5.7	NÁVRH PODLAHOVÉHO VYTÁPĚNÍ.....	86
6	NÁVRH SILNOPROUDÝCH ROZVODŮ.....	89
6.1	NÁVRH ZÁSUVKOVÝCH OBVODŮ.....	91
6.2	NÁVRH KOUPELNOVÝCH ROZVODŮ.....	92
6.3	NÁVRH SVĚTELNÝCH OBVODŮ.....	93
7	POUŽITÍ INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO ŘÍZENÍ BUDOVY	95
7.1	NÁVRH OVLÁDÁNÍ VZDUCHOTECHNICKÉ, TOPNÉ A SOLÁRNÍ SOUSTAVY	95
7.1.1	Regulace tepelného čerpadla.....	96
7.1.2	Regulace ventilační jednotky	97
7.1.3	Regulace natáčení škrticích klapek.....	97
7.2	NÁVRH REGULACE SOLÁRNÍHO SYSTÉMU	99
7.3	NÁVRH OVLÁDÁNÍ OSVĚTLENÍ A ŽALUZIÍ	99
7.3.1	Světelné scény	100
7.4	NÁVRH OVLÁDÁNÍ PRVKŮ KNX	102
7.4.1	Dálkové ovládání.....	106
7.5	POUŽITÉ PRVKY SBĚRNICE KNX.....	107
8	ELEKTRONICKÉ ZABEZPEČOVACÍ A POŽÁRNÍ SYSTÉMY.....	110
8.1	NÁVRH ELEKTRONICKÉHO ZABEZPEČOVACÍHO SYSTÉMU.....	110
8.2	NÁVRH ELEKTRONICKÉHO POŽÁRNÍHO SYSTÉMU.....	112
8.3	POUŽITÉ PRVKY SYSTÉMŮ EZS A EPS.....	113
9	TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ SYSTÉMU	115
9.1	NÁKLADY NA VYTÁPĚNÍ OBJEKTU	115
9.1.1	Ceny použitých zařízení.....	116
9.1.2	Technicko ekonomické hodnocení vytápěcího systému.....	116
9.2	PRVKY KNX.....	118
9.2.1	Technicko ekonomické hodnocení sběrnicového systému	118
9.3	HODNOCENÍ NAVRŽENÉHO SYSTÉMU.....	118
	ZÁVĚR	120
	ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ.....	122
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	123
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	125
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	126
	SEZNAM TABULEK	128
	SEZNAM PŘÍLOH	129

ÚVOD

Technologie využívané pro automatizaci budov se v poslední době začínají stále více používat také pro obytné domy. Současné trendy a zvyšující se požadavky lidí na komfort bydlení, podporují využití moderních technologií. Stále větší oblibu nových technologií je možné vidět nejen na ekonomických ukazatelích, ale také na množství a rostoucí úrovni jednotlivých instalací. Podle současného vývoje je tak možné předpokládat, že systémy tvořící tzv. inteligentní domy se v budoucnu stanou standardem pro vybavení domů.

Výhody instalace moderních systémů do budov lze rozdělit na dvě části – finanční a komfortní. Finanční hledisko se zpočátku může zdát sporné, protože pořizovací náklady jsou ve srovnání s konvenčními systémy vyšší. Používané technologie, mezi které patří tepelné čerpadlo nebo solární, případně fotovoltaické panely však umožní bezproblémový chod domu i s výrazně nižšími provozními náklady. Finanční návratnost vytápěcích systémů většinou bývá mezi 10-ti až 15-ti lety. Kromě finanční úspory jsou také systémy využívající obnovitelné zdroje energie šetrné vůči přírodě.

Komfortní hledisko může zahrnovat celoroční regulaci teploty v budově, která umožňuje udržení požadovaného klimatu bez ohledu na vnější podmínky. Sběrníkové systémy a další prvky, často označované jako inteligentní, umožňují automatizaci každodenních procesů. Všechny systémy v domě mohou být regulovány bez nutnosti zásahu uživatele.

V případě, že uživatel vyžaduje úpravu aktuálního nastavení jsou k dispozici centrální ovládací body, pomocí kterých je možné řídit celý dům z jediného místa. Také dálkové ovládání prostřednictvím internetu nebo mobilního telefonu není pro inteligentní systémy v budově neřešitelný problém. Přes jednotné grafické rozhraní má uživatel přístup ke všem nastavením domu, bez závislosti na faktu, zda je ovládání prováděno v domě nebo dálkově mimo dům.

Ke komfortu bydlení přispívají také elektronické zabezpečovací a požární systémy, zvyšující bezpečnost obyvatel i majetku. Použité bezpečnostní systémy mohou automaticky hlásit případné události policii, nebo hasičům.

Moderní technologie dávají nové možnosti také designérům. Jednotlivé systémy mohou být ovládány vkusně navrženými ovladači, které doplňují celkový design interiéru. Plynulá regulace osvětlení (v případě požadavku, také s možností změny barvy světla) umožňuje navození příjemné a neobvyklé atmosféry v místnosti.

Veškeré ovládací prvky systému musí, kromě vhodného designu, splňovat také požadavky na jednoduché a intuitivní ovládání. Podle zaměření domu mohou být jednotlivé prvky přizpůsobeny jeho obyvatelům pro jejich maximální spokojenost. Ovládání použitých technologií musí být uživatelsky přívětivé a v žádném případě nesmí odrazovat uživatele svou složitostí.

Jednotlivé domy, označované jako „inteligentní“ se mohou vzájemně lišit. Základní parametry, mezi které patří snaha o co nejnižší provozní náklady, maximální komfort obyvatel a využití pokročilých elektronických systémů je však stejná pro všechny domy této kategorie.

Cílem diplomové práce byla praktická ukázka možností využití a propojení jednotlivých systémů. Popsaný návrh není jedinou možností, ale naopak jednou z mnoha, které lze, za pomoci inteligentních technologií vytvořit.

Vývoj použitých technologií jde vysokým tempem dopředu a popsané prvky budou brzy nahrazeny novými. Navržená struktura a propojení systému je však víceméně nezávislá na použitých prvcích a je ji možné modifikovat pro další použití.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VNITŘNÍ KLIMATICKÉ PODMÍNKY

Jedním z hlavních cílů všech budov je umožnit lidem co nejpříjemnější pobyt v nich (případně bydlení, pokud se jedná o budovy obytné). Ani množství nejmodernější techniky však nemůže vytvořit příjemné místo k pobytu, pokud nejsou dodrženy vhodné vnitřní klimatické podmínky. Ty jsou z části definovány v normě ČSN 730540, která mimo jiné stanovuje požadavky na teplotu vnitřních povrchů, součinitel prostupu tepla, omezení kondenzace vodní páry uvnitř konstrukce, průvzdušnost, tepelnou stabilitu nebo například energetickou náročnost budovy.

V současnosti je na celkovou kvalitu pracovního prostředí a tepelný komfort člověka kladen stále větší důraz. Pro stanovení požadované tepelné pohody je nutné nejprve změřit několik fyzikálních veličin, které jsou vnímány člověkem a které ovlivňují kvalitu pobytu na daném místě.

Tepelnou pohodu člověka je možné definovat jako stav, vyjadřující spokojenost s teplotním klimatem, vycházející ze subjektivního hodnocení. Právě subjektivnost daného hodnocení znesnadňuje nastavení jednotlivých parametrů systému, který tvoří mikroklima v dané místnosti. I přes subjektivní faktory a složitost nastavení lze postupovat podle daných pravidel.

Nejprve je třeba vyhodnotit množství parametrů a to nejen spjatých s prostředím (teplota, vlhkost vzduchu, rychlost proudění vzduchu, nebo například střední radiační teplota), ale také osobních. Po naměření všech potřebných veličin následuje jejich zhodnocení a navržení efektivního způsobu řízení těchto parametrů s ohledem na dosažení tepelné pohody. Všechny parametry se nastavují s ohledem na co nejnižší spotřebu energie, při zachování požadovaných podmínek.

Každý člověk produkuje při různých činnostech větší či menší množství tepla. Aby nedocházelo ke zvyšování tělesné teploty, tak je nutné vyprodukované teplo odvádět do prostoru. Odvod tepla však nesmí být příliš intenzivní, aby nezpůsobil výrazný pokles teploty těla, ani příliš slabý, aby nedocházelo k přehřátí. Obecně je možné říci, že je nutné se vyvarovat pocitu tepla a chladu.

Ideální prostředí má být natolik příjemné a přirozené, aby jej člověk nevnímal. Faktory ovlivňující výměnu tepla mezi tělem a prostředím se dělí do dvou základních kategorií, na faktory prostředí a faktory osobní.

1.1 Faktory prostředí

Jedná se o faktory objektivní a měřitelné. Jednotlivé hodnoty nejsou závislé na lidech a mohou být snadno regulovány.

- Teplota vzduchu t_a [°C] – jedná se o teplotu vzduchu v interiéru bez jakéhokoliv vlivu tepelného sálání okolních povrchů.
- Rychlost proudění vzduchu w [m/s] – významně ovlivňuje subjektivní vnímání teploty vzduchu, je určena velikostí a směrem.
- Střední radiační teplota t_r [°C] – jedná se o rovnoměrnou společnou teplotu všech ploch v místnosti, při které by byl přenos tepla z těla sáláním stejný jako ve skutečnosti.
- Vlhkost vzduchu φ [%] – pokud je hodnota vlhkosti vzduchu v rozmezí 30 – 70 % je její vliv na vnímání teploty malý.

1.2 Osobní faktory

Faktory osobní jsou individuální pro každého člověka. Přizpůsobení prostředí podle osobních faktorů je možné, ale u větších skupin lidí obtížné a je nutné počítat kompromisy.

- Energetický výdej člověka M [W/m] – udává tepelný výkon člověka v závislosti na jeho tělesné aktivitě, osobních dispozicích (kondice, věk ...) a podmínkách, v nichž se osoba nachází.
- Tepelný odpor oděvu R [$m^2 \cdot K/W$] – je jedním z hlavních parametrů ovlivňujících přestup tepla z člověka do prostředí. Pro účely výpočtů tepelné pohody byla zavedena jednotka clo , kde hodnota jedno clo odpovídá $R_{cl} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$. Tato hodnota odpovídá tepelně izolačním vlastnostem běžného pánského obleku v kombinaci s bavlněným prádlem.

1.3 Tepelná pohoda

Tepelná pohoda člověka je hodnocena pomocí několika kritérií, mezi které patří operativní teplota – t_0 , předpověď středního teplotního pocitu – index PMV, předpověď procentuálního podílu nespokojených – index PPD, obtěžování průvanem – DR, a také ekvivalentní a efektivní teplota.

1.3.1 Operativní teplota

Operativní teplota je definována jako teplota černého uzavřeného prostoru, ve kterém by lidské tělo sdílelo, pomocí konvekce a sálání, stejné množství tepla jako ve skutečném prostředí. V případech, kdy je rychlost proudění vzduchu nízká (menší než $0.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), případně rozdíl mezi střední radiační teplotou t_r a teplotou vzduchu t_a je menší než 4K, tak lze operativní teplotu počítat jako aritmetický průměr teplot t_r a t_a . Při vyšších rychlostech proudění vzduchu, případně větším rozdílu teplot t_r a t_a se operativní teplota vypočte podle vzorce:

$$t_0 = \frac{h_c t_a + h_r t_r}{h_c + h_r} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (1)$$

h_c – součinitel prostupu tepla prouděním (konvekci) [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

h_r – součinitel prostupu tepla sáláním (radiací) [$\text{W}/\text{m}^2\text{K}$]

t_a – teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$]

t_r – střední radiační teplota [$^\circ\text{C}$]

1.3.2 Index PMV

PMV je zkratka z anglického výrazu Predicted Mean Vote, což se překládá jako střední tepelný pocit větší skupiny osob. Index lze stanovit za předpokladu, že je předem odhadnut energetický výdej člověka, hodnota tepelného odporu jeho oděvu a jsou změřeny faktory prostředí. Výsledný střední tepelný pocit se hodnotí podle sedmistupňové stupnice s hodnotami od +3 do -3, přičemž hodnota +3 odpovídá pocitu horka a naopak hodnota -3 pocitu zimy. Index PMV se počítá podle vzorce:

$$PMV = (0,303 \cdot \exp^{-0,036 \cdot M} + 0,028) \cdot L \quad (2)$$

M – energetický výdej člověka [W]

L – rozdíl energetického výdeje a množství odvedeného tepla [W]

Výsledná hodnota indexu PMV odpovídá jednomu ze sedmi tepelných pocitů, které jsou uvedeny v následující tabulce.

Tepelný pocit	Horko	Teplo	Mírné teplo	Neutrálně	Mírné chladno	Chladno	Zima
Index PMV	3	2	1	0	-1	-2	-3

Tab. 1 – Index PMV

1.3.3 Index PPD

Každý jedinec vnímá teplotu odlišným způsobem, a proto není možné zajistit všem lidem v jedné místnosti stejný pocit tepelné pohody. Vždy se mezi těmito jedinci najde někdo méně spokojený s tepelnými podmínkami a právě počet těchto jedinců je vyjádřen indexem PPD udávajícím procento nespokojených, tedy lidí pociťujících tepelnou nepohodu

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp^{(-0,03353 \cdot PMV_4 + 0,2179 \cdot PMV_2)} \quad (3)$$

Závislost indexu PPD na indexu PMV je zobrazena v následující tabulce.

Procentuální podíl nespokojených PPD z přítomných v určitém prostředí dle ISO 7730					
PMV	0	± 0,5	± 0,83	± 1	± 2
PPD	5 %	10 %	20 %	25 %	75 %

Tab. 2 – Index PPD

1.3.4 Index DR

Index DR popisuje stupeň obtěžování průvanem a opět se jedná o vyjádření nespokojenosti některých jedinců ve větší skupině lidí v jedné místnosti. Hodnota indexu DR, označovaná jako P_{DR} se určí podle vzorce:

$$P_{DR} = (34 - t_a) \cdot (w - 0,05)^{0,62} \cdot (0,37w \cdot T_u + 3,14) \quad (4)$$

t_a – teplota vzduchu [°C]

T_u – intenzita turbulence [%]

w – rychlost proudění vzduchu [m/s]

1.3.5 Vlhkost vzduchu

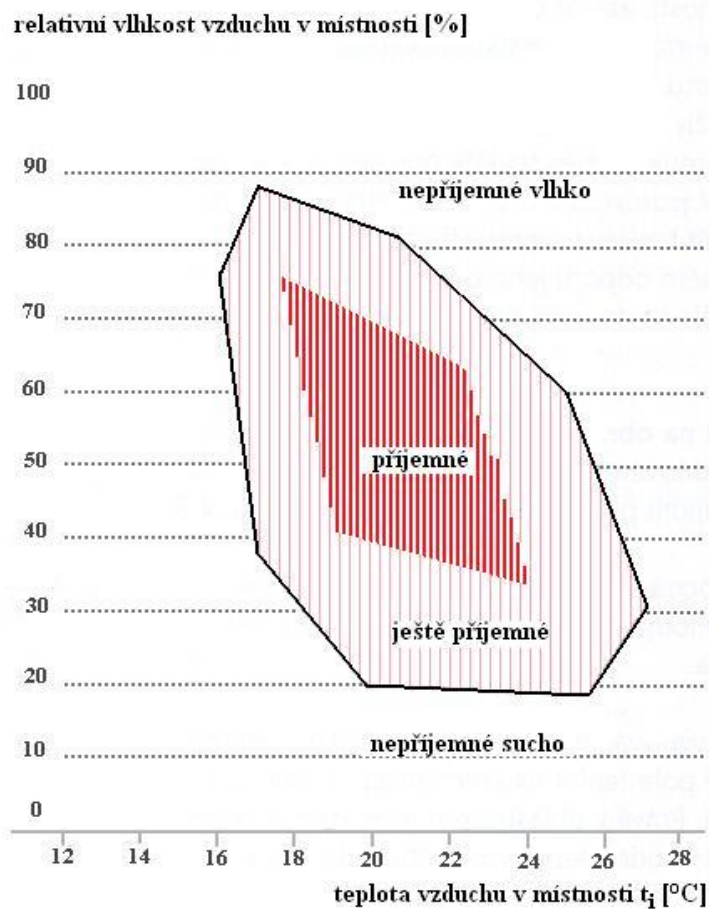
Relativní vlhkost vypovídá o obsahu vodní páry ve vzduchu v souvislosti s teplotou v dané místnosti. Přesný stav vzduchu je možné měřit Assmannovým aspiračním psychrometrem, což je přístroj s nasávacím ventilátorem a dvěma teploměry. Jeden teploměr měří „suchou“ teplotu v proudu nasávaného vzduchu a druhý, pokrytý navlhčeným obalem, teplotu „mokrou“. Mokrá teplota bývá nižší, protože dochází k odpařování vody z navlhčeného obalu, čímž teploměru odebírá teplo. Intenzita odpařování, tedy pokles teploty, je tím vyšší, čím je nižší vlhkost vzduchu. Následně se porovnávají údaje z obou teploměrů a stanoví se vlhkost vzduchu.

Zdrojů vodních par v budově je mnoho, patří mezi ně například sprchování (2600 g vodní páry za hodinu), vaření (1500 g/h), sušení prádla (500 g/h), květiny (20 g/h) a samozřejmě také člověk, který v závislosti na teplotě prostředí a intenzitě práce může vydávat vodní páru v množství až stovek gramů za hodinu.

Pokud je relativní vlhkost vzduchu vysoká (nad 70%), tak vyvolává při současné vysoké teplotě pocit dusna a vzniká možnost šíření plísní a množení roztočů.

Nízká relativní vlhkost vzduchu vzniká zpravidla v zimním období, kdy vysoká teplota radiátorů ústředního topení vysušuje vzduch. Při poklesu relativní vlhkosti pod 40% začínají vysychat sliznice dýchacích cest a navíc se zvyšuje prašnost, což vyvolává zvýšené dráždění dýchacích cest.

Tepelná pohoda člověka je závislá na relativní vlhkosti a teplotě vzduchu. Obr. 1 ukazuje které oblasti (kombinace teploty vzduchu a relativní vlhkosti) jsou pro člověka příjemné a které naopak nepříjemné. Obrázek vychází z h-X diagramu, ale pro lepší přehlednost je zjednodušen.



Obr. 1 – Oblast tepelné pohody

Tepelná pohoda člověka je individuální záležitost a každý člověk ji pociťuje při odlišných klimatických podmínkách. Vyznačená červená oblast na obrázku č. 1 však znázorňuje kombinaci teploty a vlhkosti vzduchu v místnosti, která je příjemná pro naprostou většinu lidí.

2 HODNOCENÍ DOMŮ Z HLEDISKA SPOTŘEBY ENERGIE

Nové i existující domy se běžně hodnotí podle spotřeby energie nutné k vytápění domu. V současné době se využívají čtyři základní kategorie, mezi které patří novostavby, nízkoenergetické, pasivní a nulové (případně aktivní) domy. Nejčastěji stavěné nové domy bývají z kategorie nízkoenergetických, protože tyto domy představují vhodný kompromis mezi náklady na pořízení domu a následnými náklady na jeho provoz.

Typ objektu	Charakteristika	Potřeba tepla [kWh/(m ² ·rok)]
Nulový, nebo aktivní dům	parametry lepší než u pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů	Méně než 5
Pasivní dům	teplovzdušné vytápění s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	Méně než 15
Nízkoenergetický dům	otopná soustava s nižším výkonem, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplená konstrukce, řízené větrání	Méně než 50
Novostavba	vytápění pomocí kotle s vysokým výkonem, větrání otevřením okna, konstrukce splňující požadavky normy	80 - 140
Domy běžné v 70. - 80. letech	zastaralá otopná soustava, zdroj tepla s vysokými emisemi, větrání otevřením oken, nezateplená konstrukce	Nad 200

Tab. 3 – Rozdělení domů podle energetické náročnosti

2.1 Nízkoenergetický dům

Maximální spotřeba domu, označeného jako nízkoenergetický, je dle českých norem 50 kWh/m² za rok. Nízkoenergetické domy mohou být postaveny z libovolného materiálu. Vhodnost jednotlivých materiálů se samozřejmě liší a mezi ty vhodnější patří děrované cihly, tvárnice z nepálené hlíny, bloky z cihlových kuliček, vápenopískové bloky nebo dřevo. Mezi méně vhodné materiály naopak, kvůli slabým tepelně akumulacním schopnostem, patří keramické nebo pórobetonové tvárnice.

V klasickém domě spotřebuje vytápění téměř tři čtvrtiny z celkové energie potřebné na provoz objektu. Nízkoenergetický dům umožní ve srovnání s domem „normálním“ ušetřit až dvě třetiny energie potřebné na vytápění. Celkové náklady na provoz domácnosti tedy klesají minimálně na poloviční hodnotu.

Při stavbě nízkoenergetického domu je třeba dodržovat několik zásad, mezi které patří kompaktní tvar bez zbytečných výčnělků, hlavní prosklené plochy orientované směrem na jih, kvalitní tepelná izolace, popřípadě vzduchotechnika v kombinaci s rekuperací tepla.

2.2 Pasivní dům

Jako pasivní dům je označován dům, který v podmínkách České Republiky spotřebuje méně, než 15 kWh/m^2 za rok. Mezi hlavní principy spořicí energii v pasivních domech patří kvalitní tepelná izolace, vzduchotěsnost, správná orientace domu (směrem na jih), nebo například rekuperace odpadního tepla.

Vytápění pasivního domu bývá realizováno teplovzdušným větráním, kdy veškerou vnitřní teplotu domu zajišťuje přivedený vzduch. Pouze v koupelně, a podobných místnostech, bývá systém, pro zvýšení komfortu, doplněn o podlahové vytápění, případně radiátory typu žebřík.

Zachování tepelného komfortu v letních měsících umožňuje vzduchotechnický systém s režimem klimatizace. Přechody mezi režimy vytápění a klimatizace by měly probíhat automaticky, bez nutnosti zásahu uživatele.

2.3 Aktivní a nulové domy

Zahraniční literatura zmiňuje termín nulový dům, neboli objekt s nulovou potřebou energie. Tento typ domu vyžaduje kromě vysoce kvalitní tepelné izolace také vlastní zdroj energie jako fotovoltaický panel. Nulový dům má mít, podle norem spotřebu energie pro vytápění nižší, než $5 \text{ kWh/m}^2/\text{rok}$.

Ještě nižší energetické nároky než dům nulový má tzv. Energy-plus, neboli dům s přebytkem energie, někdy také označovaný jako aktivní. Tento typ domů využívá vnější energetické zisky v takové míře, že je schopen pokrýt veškerou energetickou potřebu domu a navíc dodávat zbývající elektrickou energii do rozvodné sítě.

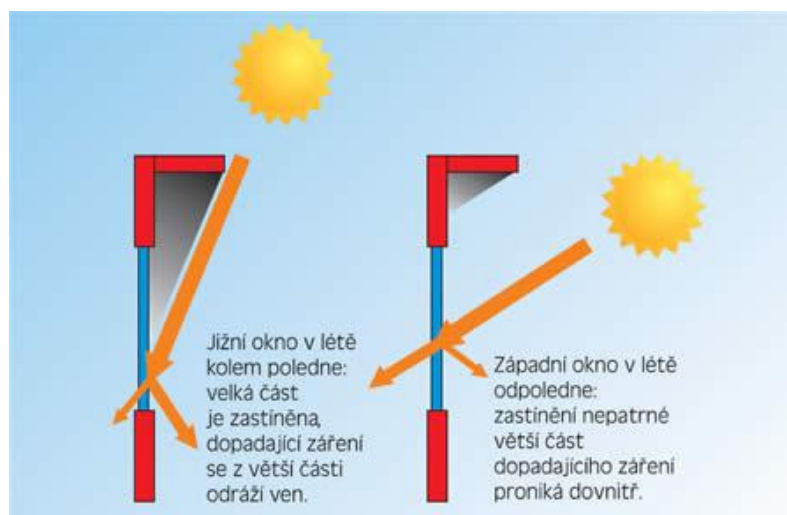
2.4 Základní pravidla konstrukce úsporných domů

Při stavbě nízkoenergetických domů je potřeba dodržet několik základních pravidel. Jednotlivá pravidla jsou univerzální a je možné je aplikovat na jakýkoliv stavěný dům.

2.4.1 Orientace domu

Pro maximální využití sluneční energie (pasivních slunečních zisků) je nutné, aby byla většina prosklených ploch orientována směrem na jih a prosklení domu bylo větší než u běžných domů. Objekty okolo domu (stromy, sloupy, další budovy) by měly poskytovat dostatek soukromí, ale zároveň by neměly stínit a bránit tak dopadání slunečních paprsků na prosklené plochy.

Orientace větších prosklených ploch směrem na východ nebo západ není vhodná, protože letní slunce má i nízko nad obzorem dostatek síly a v ranních a večerních hodinách by dům přehřívalo. Oproti tomu jižní zasklení lze mnohem lépe zastínit, protože slunce je vysoko na obloze a paprsky dopadají na sklo pod ostrým úhlem. Orientace oken směrem k severu značně zvyšuje ztráty tepla. Jako nepříliš vhodná jsou označována šikmá střešní okna, přes která, proniká do interiéru značné množství slunečních paprsků a je poměrně obtížné je zastínit.



Obr. 2 – Zastínění prosklených ploch

Pro snížení tepelných ztrát je vhodné objekt chránit před větrem, který intenzivně ochlazuje obvodové stěny a v případě netěsností může proniknout i dovnitř. Vítr může, při použití vláknitých izolací, snížit jejich izolační efekt tím, že z nich jednoduše „vytlačí“ vrstvu teplého vzduchu. Pokud není stavba provedena velice kvalitně, tak je náchylnost na pronikání vzduchu dovnitř vysoká.

2.4.2 Tvar domu

Dům by měl mít, pro dosažení nízké spotřeby tepla, kompaktní tvar. Každé navýšení plochy stěn, vůči vnitřnímu objemu, je nutné kompenzovat větší vrstvou tepelné izolace. Je tedy vhodné vyhnout se půdorysně rozlehlým domům a také různým výčnělkům a výstupkům. Jednoduchý tvar domu je také výhodnější pro eliminaci tepelných mostů.

Nevytápěné prostory jako garáž, komora, a sklad bývají někdy umístěny na severní stranu domu, kde působí jako další ochrana před chladem z venku. Příčky vedoucí k těmto místnostem však musí být zaizolovány stejně kvalitně jako venkovní stěny, jinak by docházelo k unikání tepla z vytápěných prostorů přes tepelné mosty.

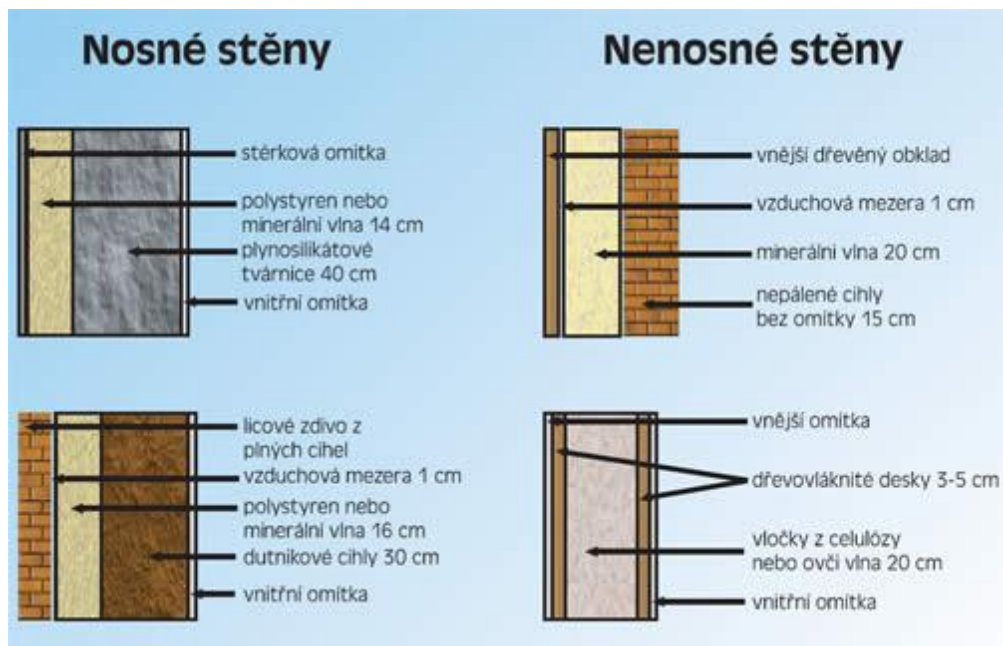
Také nevhodně navržená zimní zahrada může narušit přirozenou cirkulaci vzduchu v objektu a zvýšit tak spotřebu energie.

2.4.3 Stěny

Pro nízkoenergetické domy je možné využít různé konstrukční systémy. V každém případě je však důležité, aby stěna dobře tepelně izolovala a to i v místech tepelných mostů. Obvodové zdi bývají obvykle široké do 50 cm, proto není možné postavit zeď s potřebnými tepelně izolačními vlastnostmi pouze z cihel. V ideálním případě je vhodné použít co nejtenčí nosné zdivo (samozřejmě je nutné, aby mělo dostatečné nosné schopnosti) a doplnit jej o tepelnou izolaci.

Izolace může být provedena mnoha způsoby, mezi které patří kontaktní zateplení s keramickým, nebo dřevěným obkladem, popřípadě šterková omítka. Použít lze také sendvičová konstrukce, ve které je izolace mezi dvěma vrstvami zdiva, případně mezi zdivem a fasádou.

Dřevostavby nabízí ještě širší možnosti konstrukcí. Mezi často používaný systém patří nosná dřevěná konstrukce vyplněná izolací z různých materiálů, například minerální vlny. Venkovní plášť stěn může být proveden z dřevěných desek nesoucích omítku. V případě potřeby navýšení akumulčních schopností konstrukce je možné použít masivnější omítky, případně použít tenkou přízdívku z cihel.



Obr. 3 – Typy používaných stěn

Speciální metodou stavby je konstrukce z dřevěných panelů, skládajících se ze sendvičové konstrukce z dřeva a tepelné izolace. Jednotlivé díly se vyrábí na zakázku pro každou stavbu a jsou kompletně vytvořeny v továrně. Na staveništi se jednotlivé díly pouze složí dohromady.

Nižší nosná schopnost dřevěné konstrukce může být v případě nutnosti vyřešena nahrazením dřevěného skeletu železobetonovou verzí. Skelet vytváří konstrukci vnitřních zdí a stropů a kromě nosné části slouží také k uchycení vnějších stěn. Výhodou železobetonového skeletu je také minimalizace tepelných mostů, jelikož celá konstrukce je z venkovní stěny zakryta.

2.4.4 Okna

Jedním z rysů nízkoenergetických domů jsou velké prosklené plochy umožňující vysoké solární zisky. Zasklení však musí být kvalitní, aby solární zisky nebyly nižší, než tepelné ztráty. Použitá okna bývají často vybavena trojsklem, případně je prostřední sklo nahrazeno odrazivou fólií.

Obvyklou součástí je selektivní, neboli polopropustná vrstva na vnitřním povrchu skla, zajišťující dobrou propustnost slunečního záření do interiéru a bránící unikání tepelného záření směrem do exteriéru.

Z hlediska tepelně izolačních vlastností okna je velmi důležitá mezera mezi skly. Její šířka je omezena konstrukčními možnostmi použitých okenních profilů. Mezery mezi skly proto bývají často plněny vzácnými plyny s lepšími tepelně izolačními vlastnostmi, než má vzduch. Problémem je, vyšší cena těchto oken a také fakt, že i z nejkvalitnějších oken vzácný plyn pomalu uniká a je samovolně nahrazen vzduchem, což negativně ovlivňuje izolační vlastnosti okna.

U objektů vybavených vzduchotechnickým systémem s nuceným větráním bývají použita tzv. pevná okna (není možné je otevřít). Výhodou je nižší cena oken a také větší prosklená plocha při stejných vnějších rozměrech. Pro lepší pocit obyvatel domu je však vhodné nechat v každé místnosti alespoň jedno okno otevíratelné.

Tepelně izolační vlastnosti okenního rámu jsou ve srovnání se skleněnou plochou výrazně horší a vytváří tepelný most. Kvalitní výrobci používají moderní mnoha komorové rámy z dřeva nebo plastu s polyuretanovou izolací. Další důležitou částí je distanční rámeček mezi skly. V současné době jsou používány rámečky z nerezů nebo plastu, místo dříve používaného hliníku.

2.4.5 Těsnost budovy

Novým parametrem, který nebyl u „klasických“ budov zkoušen, je těsnost budovy. Do domu, ani z domu nesmí pronikat/unikat vzduch spárami, okolo oken, krbem a podobně, jinak by spotřeba energie na vytápění bezdůvodně rostla. Kontrola těsnosti stavby je prováděna tzv. blower-door testem. Ten probíhá tak, že se uzavřou všechna okna a dveře, komínové průduchy, případně jiné otvory a do vstupních dveří se nainstaluje ventilátor. Ventilátor začne „tlakovat“ dům vzduchem a měří se rozdíl tlaků vně a uvnitř budovy. Konkrétní místo případné netěsnosti je však poměrně obtížné najít.

2.4.6 Větrání

Energie potřebná na ohřev vzduchu vyměněného při větrání tvoří cca 30% z celkové spotřeby domu. Požadavek na výměnu vzduchu z hygienických důvodů bývá kolem 0.3 – 0.5 objemu místnosti za hodinu, případně 30 – 50 m³/h na osobu.

V době, kdy se v objektu nevyskytují osoby, by neměla intenzita větrání poklesnout pod 0.1 objemu místnosti za hodinu z důvodu zabránění vzniku vlhkosti, případně zvýšení koncentrace nebezpečných látek.

Nízkoenergetické domy jsou často vybaveny nuceným (poháněným ventilátorem) větráním. Tento systém zajišťuje dostatek čerstvého vzduchu bez nutnosti otevírání oken. Přiváděný vzduch může být také filtrován, popřípadě zvlhčován, což zvyšuje komfort v domě. Filtrování pylu v přiváděném vzduchu významně zlepší bydlení osobám s alergiemi.

Nucené větrání umožní cirkulaci vzduchu mezi místnostmi. Teplejší vzduch z místností umístěných na jižní straně domu je možné odvést do chladnějších místností v domě. Hlavní výhodou strojního větrání je však bezesporu možnost využití tepla odváděného vzduchu.

Znečištěný vzduch je odváděn přes rekuperační výměník, kde předá své teplo přiváděnému čerstvému vzduchu. V případě režimu klimatizace je teplo vzduchu odebíráno. Tímto způsobem je možné využít až 90% tepla z odváděného vzduchu, což znamená velké úspory energie.

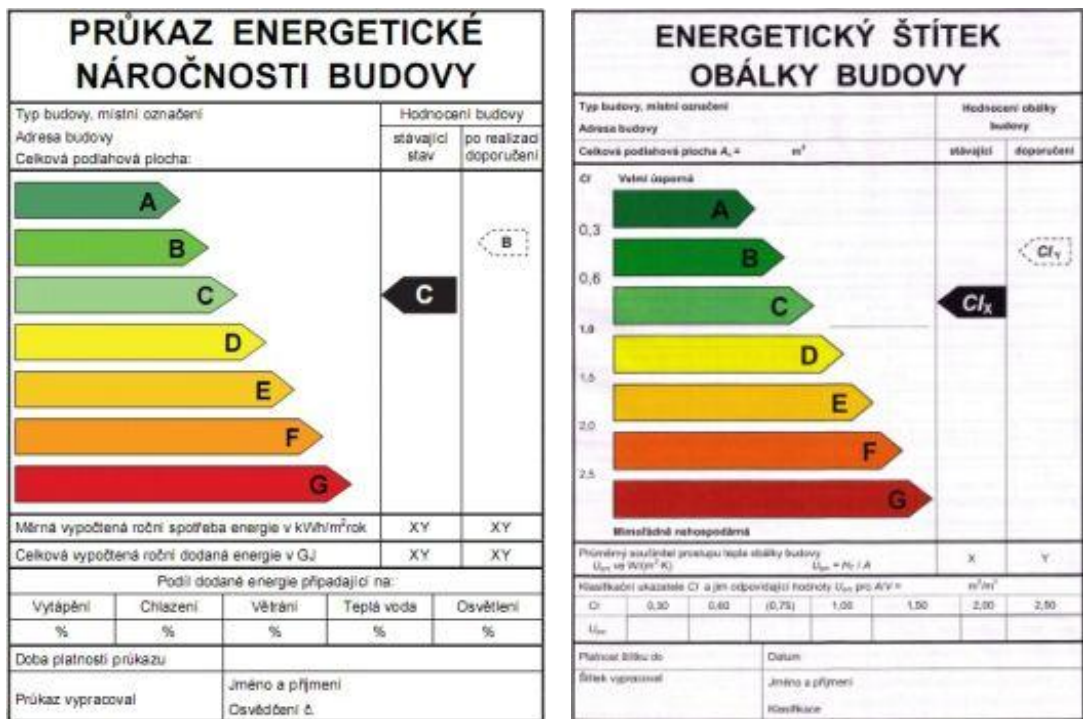
2.5 Energetický průkaz budovy

Energetický průkaz budovy lze označit jako druh certifikace, sdělující majiteli, případně investorovi, jak kvalitní bude daná budova z hlediska energetické náročnosti. Náklady na vytápění a ohřev teplé užitkové vody činí přibližně 75 – 85 % z celkových nákladů na provoz budovy. Je tedy vhodné zaplatit o něco vyšší cenu za stavbu kvalitního objektu, protože vložené peníze se brzo vrátí ve formě úspor z provozu budovy.

Mezi technické a energetické vlastnosti hodnocené při tvorbě energetického průkazu dané budovy patří:

- **Nejnižší povrchová teplota konstrukce** – veškeré vnitřní povrchy v budově (stěny, stropy a podlahy) musí mít na každém místě teplotu vyšší, než je teplota rosného bodu, čímž je vyloučeno riziko vzniku plísní. Teplota rosného bodu ukazuje teplotu, při níž se ve vzduchu s danou vlhkostí začne kondenzovat vodní pára do formy malých kapiček rosy. Jedná se tedy o bod, kdy začíná kondenzovat vodní pára ze vzduchu.
- **Součinitel prostupu tepla** – je dán tepelně izolačními vlastnostmi obvodové konstrukce budovy. Čím je hodnota prostupu tepla nižší, tím menší je teplená ztráta budovy.

- **Pokles dotykové teploty podlahy** – podlaha je povrch, se kterým je člověk většinu času v kontaktu. Je proto nutné, aby povrchová teplota podlahy dosahovala požadovaných hodnot a nedocházelo tak k ochlazení interiéru a nepříjemným chladným pocitům nohou.
- **Zkondenzované množství vodní páry v konstrukci** – v zimním období dochází ke kondenzaci páry uvnitř stavebních konstrukcí. Množství zkondenzované páry v konstrukci musí být nižší, než je schopné vyschnout v letním období, v opačném případě by začala konstrukce vlhnout a tím ztratit tepelně izolační, nosné, estetické a další vlastnosti.
- **Průvzdušnost obvodového pláště** – pro minimalizaci tepelných ztrát je nutné zajistit, aby spárová průvzdušnost výplní otvorů byla co nejnižší, ale zároveň dostatečná, aby docházelo k potřebnému „dýchání“ budovy.
- **Intenzita výměny vzduchu** – pokud nejsou hygienickými, nebo technickými předpisy dány jiné hodnoty, tak je kritérium minimální výměny vzduchu dáno normou. Pro zajištění výměny vzduchu je nutné použít přirozené nebo nucené větrání.
- **Tepelná stabilita v letním a zimním období** – při návrhu vytápěcího, případně klimatizačního systému je nutné stanovit parametry zařízení s ohledem na rozdílné podmínky v letním a zimním období tak, aby byla stále zajištěna tepelná pohoda obyvatel v objektu.
- **Energetická náročnost budovy** – jednotlivé budovy se hodnotí podle měrné potřeby tepla na vytápění. Potřeba tepla je určena z tepelných ztrát prostupem a větráním. Klasifikační skupiny budov jsou mimořádně úsporná, velmi úsporná, úsporná, vyhovující, nevyhovující, výrazně nevyhovující a mimořádně nevyhovující.



Obr. 4 – Průkaz energetické náročnosti a energetický štítek obálky budovy

3 SYSTÉMY TVORBY VNITŘNÍHO KLIMATU

Volba zdroje tepla je závislá na velikosti a určení objektu, ale také na dostupných možnostech jako je přítomnost plynové přípojky. Nízkoenergetické a pasivní domy bývají nejčastěji vybaveny systémy využívajícími obnovitelné zdroje energie, mezi které patří tepelná čerpadla a solární případně fotovoltaické panely.

3.1 Zdroje energie

Jako obnovitelný zdroj energie se označují některé vybrané formy energie, získané primárně ze sluneční energie, popřípadě z tepla zemského nitra nebo setrvačnosti soustavy Země – Měsíc. Tato energie je čerpána v různých formách, mezi které patří například sluneční záření, větrná, vodní, geotermální energie nebo energie získaná z biomasy.

Obecně lze obnovitelné zdroje energie definovat jako přírodní zdroje, které mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat, a to samy, respektive za přispění člověka.

Za rok 2006 bylo cca 18% celosvětově vyprodukované energie získáno z přírodních zdrojů. Z toho se udává, že 13% pocházelo z biomasy (největší podíl zde má dřevo), 3% z energie vodní a kolem 0,8% z dalších technologií, jako geotermálních, větrných, slunečních, nebo oceánských energií.

V roce 2007 se vrcholní představitelé států Evropské unie dohodli, že do roku 2020 bude minimálně 20% veškeré energie jednotlivých států vyráběno z přírodních zdrojů. Účelem je snížení emisí oxidu uhličitého a tedy minimalizace vlivu států na globální oteplování.

V dohodě pro vstup do Evropské unie se Česká republika zavázala, k navýšení minimálního podílu energie získané z obnovitelných zdrojů na 8% do roku 2010.

3.1.1 Obnovitelné zdroje energie

Sluneční energie – při termonukleárních reakcích probíhajících na slunci dochází (zjednodušeně řečeno) k přeměně vodíku na hélium spolu s uvolněním velkého množství energie. Sluneční energie se na Zemi dostává ve formě záření.

Energetický příkon sluneční energie je limitován vzdáleností mezi Sluncem a Zemí a je označován jako solární konstanta. Udávaná hodnota solární konstanty je přibližně 1366 W/m^2 .

Sluneční energie je využívána přímo, nebo přeměněná na jinou formu energie.

Přímé využití – o přímém využití sluneční energie se mluví v případě, že je energie přímo přeměněna technickým zařízením typu fotovoltaický článek nebo sluneční kolektor.

Nepřímé využití – sluneční energie je získávána z jiných forem, mezi které patří energie vln, sluneční, větrná a bioenergie.

- V případě energie vázané v živých organizmech (dřevo, obilí, olejnaté rostliny) se mluví o bioenergii. Jako zdroj pro bioenergii slouží biopaliva, které se podle skupenství dělí na tuhá (dřevo), kapalná (oleje) a plynná (bioplyny).
- Sluneční energie může být dále vázána do (a získávána z) potenciální energie vody, pak se mluví o vodní energii.
- Pokud je sluneční energie přeměněna na kinetickou energii vzdušných mas, pak se mluví o energii větrné.
- Poslední formou, ze které je sluneční energie získávána, je energie uvádějící do pohybu vodu na hladinách oceánů, v takovém případě mluvíme o energii vln.

3.1.2 Neobnovitelné zdroje energie

Mezi neobnovitelné zdroje energie patří suroviny souhrnně označované jako fosilní paliva, jedná se tedy hlavně o ropu, uhlí a zemní plyn. Akumulace sluneční energie do těchto surovin proběhla před velmi dlouhou dobou a také jejich přeměna na použitelnou formu je v tak velkých časových intervalech, že se mluví o zdroji neobnovitelné energie.

Stále avizované tenčící se zásoby fosilních paliv podporují širší využití obnovitelných zdrojů. Faktem ovšem zůstává, že cena energie získané z obnovitelných zdrojů je často výrazně vyšší, než v případě zdrojů neobnovitelných.

3.2 Tepelné čerpadlo

Tepelné čerpadlo je často využívaným zdrojem energie v moderních domech, mezi které se řadí domy nízkoenergetické, pasivní nebo aktivní. Tepelné čerpadlo patří do kategorie zařízení využívající tzv. obnovitelné zdroje.

V závislosti na elementu, z kterého je tepelná energie získávána, nebo naopak, kterému je předávána, dělíme tepelná čerpadla na druhy 1) vzduch – vzduch, 2) vzduch – voda, 3) země – voda, 4) voda – voda.

3.2.1 Historie tepelného čerpadla

Princip tepelného čerpadla byl objeven ve čtyřicátých letech minulého století americkým vynálezcem Robertem C. Webberem. Při provádění pokusů s hlubokým zmražením se vědec popálil o výstupní potrubí chladicího zařízení. Tato nepříjemná zkušenost přivedla Webbera k prvotní myšlence o základní funkci tepelného čerpadla.

Výstup z chladicího zařízení propojil se zásobníkem na teplou vodu. Množství produkovaného tepla však bylo větší, než by bylo možné v zásobníku využít, proto byla na systém napojena potrubní smyčka, ze které bylo teplo odebíráno vzduchem. Ohřátý vzduch byl následně vháněn do domu malým ventilátorem.

Webber se však nespokojil s aktuálním zdrojem tepla a začal pracovat na zemních kolektorech. Ty se vědci podařilo úspěšně vytvořit a dosažené výsledky jej přesvědčily o správnosti daného řešení. První tepelné čerpadlo světa, v provedení země – vzduch se následně stalo zdrojem tepla pro celý jeho dům.

3.2.2 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo je uzavřený systém převádějící tepelnou energii okolního prostředí na tzv. topné teplo. Uvnitř okruhu tepelného čerpadla koluje chladivo, označované také jako pracovní médium. Základní vlastností pracovního média je nízko položený bod varu, kdy i při nízkých venkovních teplotách dochází k odpařování. Pomocí kompresoru je zvyšována teplota pracovního média. Teplo je převáděno z nízkopotenciálního na vysokopotenciální.

Základní princip tepelného čerpadla lze jednoduše popsat ve čtyřech bodech.

1. **Vypařování** – teplo je od vzduchu nebo vody odebíráno přes tepelný výměník, pracovním médiem, které koluje ve vnitřním okruhu tepelného čerpadla. Dochází k odpaření média (změna skupenství z kapalné na plynnou)
2. **Kompresce** – pracovní médium je prudce stlačeno kompresorem. Díky fyzikálnímu principu se médiu stlačení zvyšuje teplota. Nízkopotenciální (0 – 20 °C) teplo je převedeno na vysokopotenciální (65 – 80 °C)
3. **Kondenzace** – zahřáté pracovní médium přichází do druhého výměníku (kondenzátoru) a předává teplo dále do vytápěcího systému. Vhodné médium pro rozvod získaného tepla po domě je voda. Ochlazením pracovního média dochází k jeho kondenzaci.
4. **Expanze** – pracovní médium prochází přes expanzní ventil, kde je snížen jeho tlak, směrem k prvnímu tepelnému výměníku.

3.2.3 Topný vektor tepelného čerpadla

Nejdůležitějším parametrem tepelného čerpadla je topný faktor ε . Ten je dán poměrem topného výkonu (získaného tepla) a příkonu (vložené elektrické energie) a vypočítá se podle vztahu

$$\varepsilon_{\tau p} = \frac{Q_{\tau c}}{P_{\tau c}} \text{ [W]} \quad (5)$$

$Q_{\tau c}$ – topný výkon [W]

$P_{\tau c}$ – příkon [W]

Vzorec č. 5 udává kolikrát je větší výkon získaný (získaná tepelná energie) oproti výkonu vloženému (vložené elektrické energii). Topný faktor je závislý na dvou parametrech – teplotě média, ze kterého je energie získávána a teplotě, na kterou je teplo produkováno (při kompresi pracovního média). Čím vyšší je teplota zdroje tepelné energie a čím nižší je teplota, při které se teplo spotřebovává, tím lepší a tedy vyšší je tepelný faktor.

Momentální hodnota topného faktoru tepelného čerpadla samozřejmě závisí na aktuálních podmínkách, nicméně obvyklé hodnoty se pohybují mezi $\varepsilon = (2 - 6)$.

3.2.4 Typy tepelných čerpadel

Vzduch – vzduch

Jedná se o nejméně výkonná tepelná čerpadla. Tento druh bývá nainstalován do klimatizačních jednotek, ve kterých mají možnost reverzibilního chodu a tím i funkce vytápění. Dále mohou být využity jako zdroj tepla pro vzduchotechnický systém

Teplo je odebíráno z vnějšího vzduchu a po převedení z nízkopotenciálního na vysokopotenciální je předáno opět vzduchu, tentokrát však ve vnitřním prostředí. V případě klimatizačních jednotek je vzduch ohříván přímo v místnosti. Při provedení s vzduchotechnickým systémem je ohřátý vzduch rozváděn po objektu systémem vzduchotechnických kanálů.

Výhody systému vzduch – vzduch - nízká cena systému, malé rozměry zařízení, dobrá energetická účinnost (topný faktor), přímé ohřívání vnitřního vzduchu

Nevýhody systému vzduch – vzduch – v případě provedení způsobem klimatizační jednotky se jedná o systém pro jednu místnost, dražší systém vzduchotechnických rozvodů, obtížnější čištění vzduchotechnických rozvodů

Vzduch – voda

Obdobný systém jako vzduch – vzduch, s tím rozdílem, že získané teplo je předáno vodě. Ta je využita k vyhřívání akumulární nádrže, z které se teplo následně odebírá pro potřeby systémů v domě.

Tepelné čerpadlo může být umístěno vně, i uvnitř objektu. Při vnitřním umístění je třeba dbát na správné provedení vzduchových kanálů přivádějících a odvádějících vzduch od tepelného čerpadla. Při nesprávném provedení, kdy je odváděný vzduch opětovně nasáván, dochází ke značnému snížení účinnosti tepelného čerpadla.

Jako teplonosné médium je využita voda, která přebírá získané teplo v kondenzátoru tepelného čerpadla a předává jej do akumulární nádrže.

Výhody systému vzduch – voda – jednoduchá instalace, nižší cena ve srovnání se systémy země – voda a voda – voda (není třeba vnějších tepelných kolektorů).

Nevýhody systému vzduch – voda – zejména v zimních měsících nižší tepelný zisk ve srovnání se systémy země – voda, voda – voda, hlučnější provoz

Země – voda

Systém získává teplo ze zemních kolektorů. Ty mohou být provedeny ve dvou formách, jako kolektory plošné (horizontálních) nebo kolektory hlubinné (vertikální, vrty).

Kolektory se skládají z plastových trubek, ve kterých koluje speciální nemrznoucí směs. V případě horizontálního provedení se kolektory ukládají do nezamrzé hloubky, kde je v zimních měsících výrazně vyšší teplota, než je teplota vzduchu. Hlubinné kolektory, vrty se provádějí až do hloubky 150m.

Výhody systém země – voda – stabilní zisk tepelné energie, tichý provoz celého systému, vysoký tepelný faktor tepelného čerpadla

Nevýhody systému země – voda – náročné a drahé zemní práce (pro umístění kolektorů), v případě plošných kolektorů náročnost na velikost zahrady

Voda – voda

Použití tepelného čerpadla systému voda – voda vyžaduje přítomnost vodního zdroje, jako jsou například studny s dostatečným průtokem nebo rybník, či řeka. Systém voda – voda může být aplikován na vody podzemní, stojaté i tekoucí.

V případě použití studny jako zdroje tepla je ze studny odebírána voda, ta prochází přes výměník (výparník) v tepelném čerpadle a následně je vrácena do druhé (vsakovací) studny. Zdrojem může být také rybník nebo řeka. V takovém případě je přímo do rybníku (řeky) vložen výměník v podobě PE hadic, naplněný nemrznoucí směsí, ze kterého je odebíráno teplo.

V případě studny a rybníku je třeba provést řadu zkoušek pro zjištění dostatečné průtočnosti (studna), nebo množství vody, aby nedocházelo k podchlazení a zamrznání zdroje (rybník).

Výhody systému voda – voda – ze všech systémů využívajících tepelné čerpadlo má nejvyšší topný faktor, nízké pořizovací náklady (vzhledem k účinnosti systému)

Nevýhody systému voda – voda – nutná přítomnost vhodného vodního zdroje, vysoké nároky na vodní zdroj

3.3 Solární kolektory

Solární kolektory slouží k získání tepelné energie z dopadajícího slunečního záření a její využití na ohřátí TUV. Solární konstanta udává průměrnou intenzitu dopadajícího záření 1366 W/m^2 , tato hodnota je však vztažena k rovníkovým oblastem. Pro Českou republiku vychází průměrná intenzita dopadajícího slunečního záření kolem 620 W/m^2 .

Existuje více druhů solárních kolektorů, které se dělí podle různých hledisek. Z hlediska tvaru rozlišujeme kolektory ploché, trubicové a koncentrační. V závislosti na způsobu přenosu získaného tepla rozlišujeme kolektory na kapalinové, teplovzdušné nebo kombinované.

Solární kolektory je vhodné umístit co nejbližší místu využití ohřáté vody, aby se omezily tepelné ztráty v potrubí. Vhodná tepelná izolace na přívodním potrubí je samozřejmostí.

3.3.1 Konstrukce solárního kolektoru

Popis konstrukce odpovídá nejčastěji používanému druhu solárních kolektorů - plochým kapalinovým kolektorům. Konstrukce se skládá ze čtyř hlavních dílů, konkrétně absorberu, skříň, izolace a krycího skla.

Absorbér

Nejdůležitější část solárního kolektoru, ve které probíhá přechod tepla ze slunečního záření do teplotnosné kapaliny. Těleso absorberu bývá nejčastěji vyrobeno z vytvarovaného měděného, případně hliníkového plechu, ke kterému jsou na zadní stranu připevněny měděné trubice. Teplo získané v absorberu je předáno vodě nebo nemrznoucí kapalině proudící v trubicích a odvedeno k dalšímu využití. Povrchová úprava absorberu má vysokou pohlcovací schopnost a tím zajišťuje až 96% účinnost.

Skříň

Slouží pro upevnění absorberu a dalších prvků. Nejčastěji použitým materiálem, ze kterého je skříň vytvořena, bývá plast, kov nebo dřevo. Vlastní konstrukce musí být dostatečně pevná a kvalitní, aby spolehlivě udržela kolektor na střeše domu (popřípadě jiném místě) a ochránila jednotlivé funkční prvky proti nepříznivým povětrnostním podmínkám.

Izolace

Omezuje tepelné ztráty kolektoru a zabraňuje unikání tepla z kolektoru stěnami skříně. Na materiál izolace jsou kladeny poměrně tvrdé požadavky v podobě nutnosti odolat teplotám do 200 °C a nulový příjem vlhkosti z okolí. Těmto požadavkům vyhovují materiály jako minerální vlna, nebo polyuretan.

Krycí sklo

Minimalizuje tepelné ztráty přední stěnou solárního kolektoru. Krycí sklo nepropouští dlouhovlnné záření ven z kolektoru, čímž vytváří skleníkový jev, zvyšující účinnost kolektoru. Použité sklo musí vykazovat velice dobrou propustnost ve směru dovnitř kolektoru a bránit průchodu daného spektra paprsků směrem ven.

3.3.2 Instalace solárního kolektoru

Solární kolektory se nejčastěji instalují na střechy nebo stěny budov, případně do volného terénu. Konstrukce držící kolektory je obvykle nepohyblivá, a proto je nutné při nastavování orientace a sklonu kolektoru volit kompromisní řešení.

Konstrukce

Musí být dostatečně pevná, aby udržela kolektor na správném místě i za nepříznivých podmínek (vítr, sníh). Vlastní váha konstrukce by měla být (v případě umístění na střechu nebo stěnu objektu) nízká, aby nedocházelo k přetěžování úchytných bodů na objektu.

Orientace kolektoru

V případě pevné konstrukce je vhodné volit jižní až jihozápadní orientaci slunečního kolektoru. Tento směr umožňuje dobré využití slunečního záření v období kolem poledne, kdy je intenzita záření nejvyšší. V případě otočné konstrukce se kolektor natáčí automaticky „za sluncem“ a tepelné zisky jsou vyšší.

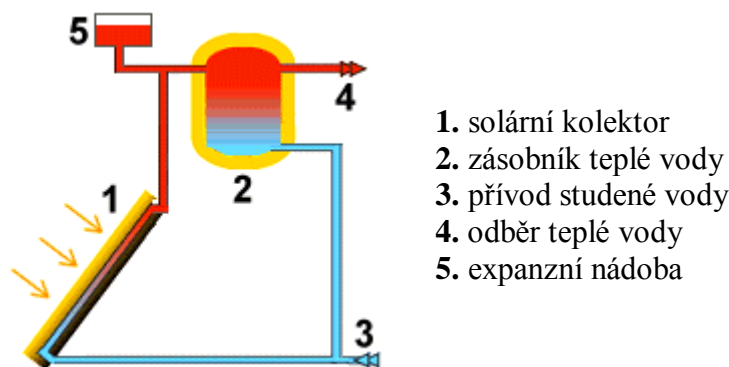
Sklon kolektoru

Ideální sklon pro maximální zisk sluneční energie je kolmý na dopadající záření. Poloha slunce se však v průběhu dne a roku mění a proto se nastavuje (v případě pevné konstrukce) kompromisní sklon kolektoru. Pro letní období je ideální sklon kolektoru 30° vzhledem k vodorovné ose, v zimním období se hodnota mění na 60° vzhledem k vodorovné ose. Obvykle volený kompromis je v rozmezí 35°- 45°.

3.3.3 Solární systém

Pro praktické využití energie získané solárním kolektorem je třeba vytvořit tzv. solární systém. Ten se kromě solárního panelu skládá z tepelného výměníku (umístěného nejčastěji v nádrži na TUV), oběhového čerpadla, regulačních prvků, expanzní nádrže, ventilů, přívodního potrubí, případně dalších prvků potřebných pro daný systém.

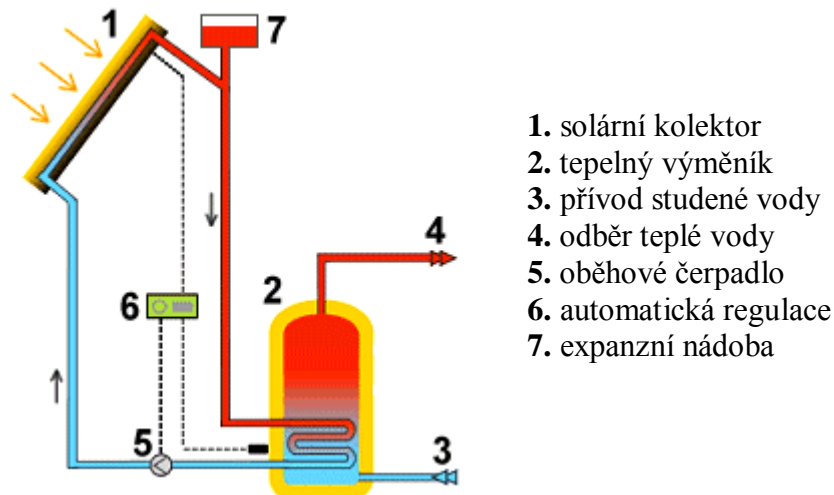
Jednodušší jednookruhové kapalinové solární systémy se používají například pro ohřev vody v bazénu. Studená voda (z bazénu) je čerpána do solárního kolektoru, kde je ohřívána a následně shromažďována v zásobníku nad kolektorem. Po dosažení potřebné teploty je voda ze zásobníku odebírána do bazénu.



Obr. 5 – Jednookruhový solární systém

Složitější dvouokruhové systémy bývají využívány na podporu ohřevu TUV. Podle provedení a použité teplotnosné kapaliny (voda, nemrznoucí směs) se jedná o systémy pro sezonní nebo celoroční provoz.

V případě systému určeného pro celoroční provoz je jako teplotnosná kapalina použita nemrznoucí směs, nejčastěji na bázi propylenglykolu. Teplo získané v solárním kolektoru je předáno pomocí výměníku umístěného v nádrži na TUV. Cirkulace teplotnosné kapaliny v solárním systému je zajištěna oběhovým čerpadlem, které je automaticky řízeno regulátorem podle nastavených parametrů. Součástí systému je také expanzní nádoba, umístěna nad solárním kolektorem, sloužící k vyrovnání změn objemu kapaliny v závislosti na teplotě.



Obr. 6 – Dvouokruhový solární systém

3.4 Fotovoltaické články

Fotovoltaický článek je polovodičová součástka se schopností přeměňovat dopadající světlo na elektrickou energii. Hlavní princip, který fotovoltaický článek používá a od kterého je odvozen název článku, je fotovoltaický jev.

3.4.1 Fotovoltaický jev

Fotovoltaický nebo také fotoelektrický jev byl objeven roku 1839 francouzským fyzikem Alexandrem Edmondem Becquerem, lépe popsán byl však až v roce 1887 Heinrichem Hertzem. Kvantové vysvětlení problému poskytl Albert Einstein, který za něj a za svůj přínos teoretické fyzice dostal v roce 1921 Nobelovu cenu.

Fotovoltaický, případně fotoefekt je fyzikální jev, při kterém jsou z látky uvolňovány (emitovány) elektrony v důsledku absorpce elektromagnetického záření látkou. Uvolňování elektronu (fotoelektronů) je označováno jako fotoelektrická emise, případně fotoemise.

Existují tři typy fotoelektrického jevu, rozdělené podle směru, do kterého jsou elektrony emitovány. O vnějším fotoelektrickém jevu hovoříme v případě, kdy jsou elektrony vlivem elektromagnetického záření emitovány do okolí látky. Naopak u vnitřního fotoelektrického jevu zůstávají emitované elektrony v látce a působí v ní jako vodivostní elektrony. V případě, že na látku dopadají elektrony způsobující vyzařování fotonů, tak mluvíme o inverzním fotoelektrickém jevu.

3.4.2 Historie fotovoltaických článků

První fotovoltaický článek byl sestrojen Charlesem Fritseem v roce 1883. Vědec potáhl polovodič selen tenkou vrstvou zlata a vzniklé zařízení vykazovalo 1% účinnost. V roce 1946 byl fotovoltaický panel patentován Russelem Ohlem. Nové zařízení však bylo odlišné od dnes známých a teprve v roce 1954 vznikla v laboratořích společnosti Bell současná podoba fotovoltaických panelů. Vědci ze společnosti Bell při provádění experimentů s dopovaným křemíkem, objevili jeho vysokou citlivost na záření. Výsledné zařízení dosahovalo účinnosti kolem 6%.

Fotovoltaické články mají velký význam pro vesmírný program, kde jsou využívány jako zdroj energie pro umělé družice nebo vesmírné stanice. První umělou družicí využívající fotovoltaické články byla v roce 1957 sovětská družice Sputnik 3.

V sedmdesátých letech minulého století se fotovoltaické články začali používat také na Zemi, zpočátku hlavně na ropných plošinách. V současné době je fotovoltaika instalována na domech, jachtách, karavanech nebo v oblastech bez elektrické sítě.

Fotovoltaické panely instalované na domech bývají často připojeny k energetické síti a získaná elektrická energie je prodávána provozovateli sítě. Pokud bude současný trend nadále pokračovat a fotovoltaických panelů bude na domech přibývat, tak energie z nich získaná může být v budoucnu sloužit jako významný zdroj k vyrovnání zvýšené spotřeby elektrické energie v denních hodinách.

3.4.3 Výrobní technologie fotovoltaických článků

Technologie tlustých vrstev

Vlastní fotovoltaický článek je tvořen velkoplošnou polovodičovou P-N diodou. Článek je vyráběn z křemíkových plátků, kde je podle typu využit buď monokrystalický, nebo polykrystalický křemík. Technologie tlustých vrstev je s cca 85% nejpoužívanější technologií na trhu.

Technologie tenkých vrstev

Základním prvkem fotovoltaických článků vytvořených technologií tenkých vrstev je nosná plocha, tvořená například sklem nebo textilií, na kterou je napařena velmi tenká vrstva křemíku. Technologie tenkých vrstev vyžaduje menší množství křemíku, díky čemuž je také nižší výrobní cena. Nevýhodou oproti technologii tlustých vrstev je nižší účinnosti a životnosti fotovoltaických článků.

Nekřemíkové technologie

Technologie nevyužívá klasický polovodičový P-N přechod, ale různé organické sloučeniny, polymery a další. Jedná se však vesměs o technologie, které jsou prozatím ve stádiu výzkumu. V roce 2005 se vědcům z University of California v Los Angeles podařilo vytvořit fotovoltaický článek, založený na vodivých polymerech, s účinností 4,4%. Výhodou nekřemíkových technologií by měla být výrazně nižší cena.

3.4.4 Účinnost fotovoltaických článků

Teoreticky vypočítaný zářivý výkon slunce je $3.85 \cdot 10^{23}$ kW. Většina z tohoto výkonu je vyzařena do prostoru a k Zemi dorazí jen zlomek, i tak je hodnota výkonu dopadajícího na ozářenou polokouli země $1.744 \cdot 10^{14}$ kW. Další část energie se ztratí při průchodu atmosférou, konkrétně kolem $300 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ se absorbuje a cca $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ se rozptýlí.

Pro přeměnu světla dopadajícího záření na elektřinu vyžadují křemíkové fotovoltaické články, aby záření disponovalo energií minimálně 1.12 eV. Energie přesahující hranici potřebnou pro výrobu energie se mění na teplo.

Maximální teoretická účinnost fotovoltaických článků je kolem padesáti procent. Účinnost dnešních, běžně vyráběných, článků dosahuje patnácti procent při technologii tlustých vrstev a devět procent při technologii tenkých vrstev. V roce 2006 se podařilo vědcům v Národní laboratoři pro obnovitelnou energii v USA vytvořit fotovoltaický článek využívající trojnásobných přechodů, jež vykazoval účinnost až 40,7%.

3.4.5 Výkon fotovoltaických článků

Jednotka výkonu fotovoltaického článku je Wp – watt peak, neboli špičkový výkon. Výkon je závislý na úhlu a kvalitě dopadajícího světla, proto jsou testy prováděné za účelem zjištění maximálního výkonu fotovoltaického článku prováděny za specifických podmínek. Příkladem může být výkonová hustota slunečního záření $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, definované osvětlení AM1.5 nebo teplota solárního článku $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Výkon fotovoltaického článku udaný v jednotkách watt peak je pouze teoretická hodnota, protože při praktickém použití ideální (testovací) podmínky nenastanou. Výkon článku je nižší z mnoha důvodů jako ne ideální natočení článku vůči slunci, oblačnost a smog.

3.4.6 Ekonomická návratnost fotovoltaického článku

V závislosti na typu a velikosti instalovaného fotovoltaického systému je udávána ekonomická návratnost 9 – 12 let. Po dobu 20-ti let jsou výrobcem garantovány výkonové parametry článku (výkon nepoklesne pod 80% nominální hodnoty).

České zákony přikazují provozovateli elektrické rozvodné sítě sepsání smlouvy na odběr elektrické energie po dobu 20 let. Výkupní ceny energií z fotovoltaických článků byly pro rok 2009 stanoveny na 12.89 Kč/kWh pro instalace do výkonu 30 kWp a 12.79 Kč/kWh pro instalace nad 30 kWp. Výkupní cena energie v režimu „Zelených bonusů“ je 11.91 Kč/kWh.

Zelený bonus

Při použití fotovoltaických panelů existují dva hlavní způsoby využití vyrobené elektrické energie. Prvním způsobem je prodej veškeré vyrobené energie. Výhodou je vyšší výkupní cena. Druhá možnost se jmenuje Zelený bonus. Při tomto způsobu není všechna vyrobená energie prodána, ale část je spotřebována na provoz budovy, na které jsou fotovoltaické panely nainstalovány.

Výkupní cena energie vyrobené fotovoltaickými články je podstatně vyšší (cca 13 Kč/kWh), než cena, za kterou je možné energii nakoupit (cca 3 Kč/kWh). Proto se zdá nelogické spotřebovávat „drahou“ energii. Princip zeleného bonusu je však založen na zákonem dané povinnosti, která ukládá distributoru elektrické energie uhradit každou vyrobenou kWh energie, tedy i energii, která je spotřebována v domě. Finanční částka se tedy počítá za všechnu energii vyrobenou fotovoltaickým panelem, nikoliv za množství energie dodané do sítě.

Cena výkupní energie je u zeleného bonusu a cca 1 korunu nižší, než při výkupu celé energie. V případě, že vyrobenou energii lze v budově dobře využít (například na provoz tepelného čerpadla, vzduchotechniky, elektronických systémů a dalších), je vhodné propočítat si metodu, která je pro daného uživatele vhodnější.

4 KOMUNIKAČNÍ SBĚRNICE

Součástí nových budov, zejména těch označovaných jako inteligentní, je množství elektronických prvků a systémů. Pro efektivní využití všech systémů je nutné jejich vzájemné propojení. Ideálním propojovacím prvkem jsou moderní komunikační sběrnice pracující s otevřenými systémy.

Mezi významné standardy komunikačních sítí patří KNX (EIB – European Installation Bus), LonWorks a BACnet, dále jako méně známé (avšak v celosvětovém měřítku stále významné) jsou BatiBus nebo EHS (European Home System).

4.1 Uzavřené systémy

Uzavřené systémy jsou postaveny na neveřejném komunikačním protokolu, ke kterému má přístup pouze jeho tvůrce, případně partnerské společnosti. Mezi jednotlivými systémy (prvky, zařízeními, sběrnicemi, komunikačním protokolem) je, výrobcem cíleně vytvořená, nekompatibilita. Všechny zařízení, software, či servisní služby dodává vždy jeden výrobce nebo uzavřená skupina výrobců a firem.

Z nekompatibility plyne množství nevýhod pro zákazníky. Pořizovací a provozní náklady jsou vysoké, protože neexistuje konkurence, která by tlačila cenu dolů. Veškeré modifikace a rozšíření stávajícího systému provádí výhradně výrobce nebo jeho partneři, což se negativně projevuje na ceně za provedený úkon.

Uživatel je závislý na jednom výrobcí a jeho cenách. Náhradní díly nebo například servisní služby jsou často velmi drahé, ale neexistuje možnost použití ekvivalentních výrobků od jiných výrobců. Přechod na jiný systém by však byl finančně, technologicky i časově velice náročný, proto uživatelé zůstávají, i přes veškerá negativa, často celou dobu pouze u jednoho systému.

4.2 Otevřené systémy

Otevřené systémy jsou založeny na veřejně přístupném komunikačním protokolu, umožňujícím přístup různých výrobců. Prvky různých výrobců spolu mohou komunikovat po jedné sběrnici. Uživatelský software může být vyvíjen nezávisle na výrobcí hardwaru. Uživatel není závislý na jednom výrobcí, ale může si vybírat z široké nabídky na trhu.

Z konkurenčního boje mezi společnostmi samozřejmě těží zákazník, protože výrobci musí držet ceny jednotlivých prvků na přiměřené hodnotě. Množství nabízených prvků a softwarového vybavení je navíc výrazně vyšší, než v případě uzavřených systémů.

Mezi otevřené systémy patří KNX (EIB), LonWorks, BACnet. Pro jednotlivé systémy existuje velké množství výrobců, kde mezi známější patří například Merten, ABB, Gira, Siemens, Echelon, Schneider Electric, Moeller a mnoho dalších.

4.3 KNX

KNX je otevřená komunikační sběrnice využívaná pro automatizaci v budovách a v poslední době hlavně pro komunikaci mezi prvky v inteligentních budovách. Asociace KNXA (Konnex-Association) vznikla v roce 1999 spojením tří evropských standardů pro inteligentní budovy – BCI, EHS a hlavně EIB. Evropská sběrnice EIB byla vybrána jako základní kámen pro KNX díky její kompatibilitě výrobků různých firem, jasné certifikaci, snadným uváděním do provozu (EIB-Tools) a také stabilnímu místu a úspěchům na trhu.

Evropská instalační sběrnice EIB (European Installation Bus) vychází ze sběrnice Instabus firmy Siemens. Sběrnice se stala nejdříve německou a později i evropskou normou (EN 50090). Velké společnosti podporující sběrnici EIB založily v roce 1990 organizaci EIBA.

Asociace KNXA vznikla s cílem vytvořit otevřený standard pro automatizaci budov a domácích spotřebičů, včetně síťového spojení. Mezi členy organizace patří společnosti zabývající se automatizací budov a výrobou spotřebičů pro domácnost. V současné době vyrábí prvky pro sběrnici KNX více než 100 společností. Na programování prvků na sběrnici slouží počítačový program ETS (EIB Tool Software), existující v několika verzích.

Díky použití sběrnice EIB jako základ standardu KNX jsou všechny prvky určené pro EIB plně kompatibilní s KNX. Na zařízeních bývá často ochranná známka obou standardů. KNX rozšiřuje standard EIB o mnoho nových funkcí, umožňujících připojení, řízení a integraci většího spektra prvků a zařízení, možnost využití dalších přenosových médií, a také plnou automatizaci budov i domácností. Přechodem na KNX se z evropské sběrnice EIB stala sběrnice mezinárodní.

4.3.1 Základní charakteristika KNX

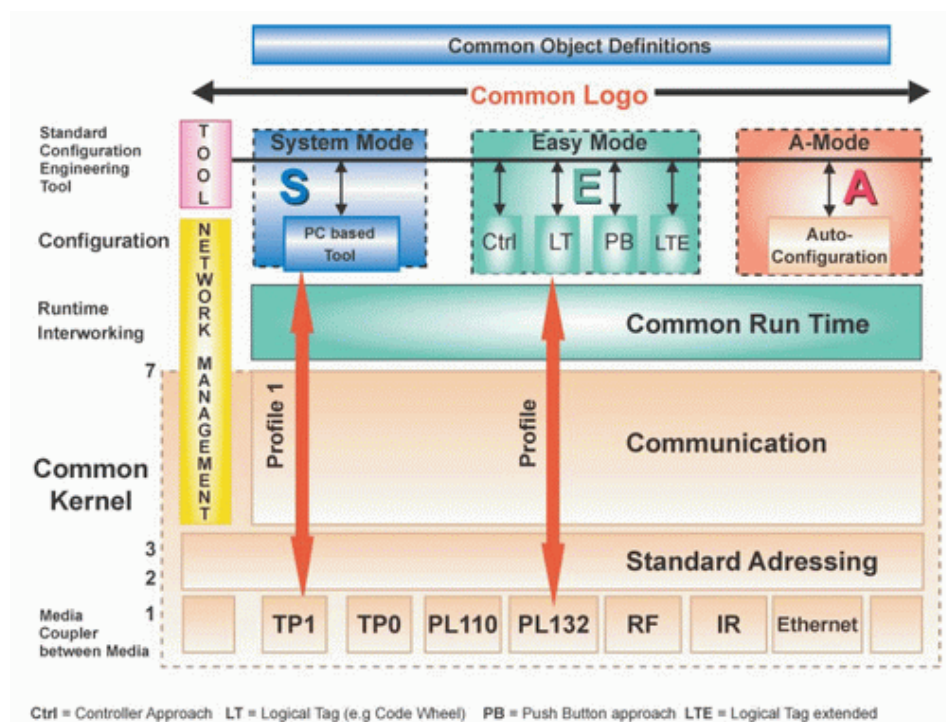
- Nejvyšší komunikační rychlost 32 kb/s
- Maximální délka sítě (end-to-end network distance): 1000m
- Maximální vzdálenost mezi dvěma zařízeními: 700m
- Až 255 prvků na linii, 15 linií na oblast, 15 oblastí
- Nejvyšší počet prvků v síti: 57 375
- Segmentace dat do rámců a bloků
- Délka datového paketu 14, nebo 248 Byte
- Napájení prvků po sběrnici
- Peer-to-peer komunikace s režimy Multicast a Broadcast

4.3.2 Typické oblasti použití

- Řízení a automatizace systémů v budovách – klimatizace, vzduchotechnika, osvětlení ...
- Elektronické zabezpečovací a požární systémy
- Dálkové ovládání systémů v budově
- Řízení v oblasti dopravy
- Měření a regulace
- SCADA a HIM – přenos a zpracování dat ze senzorů a jejich zobrazení na displejích
- Ovládání akčních členů jako jsou motory, topná tělesa a další

4.3.3 Struktura komunikace na sběrnici KNX

Model specifikující síťovou komunikaci a rozhraní aplikace sítě KNX se skládá ze čtyř hlavních prvků, které jsou Common Object Definitons, Configuration Tools, Communication – KNX Common Kernel a Media Coupler. Propojení jednotlivých vrstev je názorné na následujícím obrázku.



Obr. 7 – Propojení vrstev sítě KNX

Common Object Definitions

Vzájemně propojené distribuované aplikační modely určené pro zpracování a přizpůsobení úloh z oblasti automatizačních a inteligentních systémů v budovách.

Configuration Tools

Schéma pro řízení a konfiguraci síťových zdrojů a na logické propojení částí distribuovaných aplikací, které běží na jednotlivých uzlech.

Communication – KNX Common Kernel

Systém spravující komunikaci po fyzickém médiu, protokoly zpráv a komunikační modely. Podporuje a vyřizuje komunikační požadavky běžících distribuovaných aplikací.

Media Coupler

Hardwarové rozhraní pro připojení a přístup zařízení na komunikační médium.

4.3.4 Vrstvy KNX

Fyzická vrstva

Systém KNX je nezávislý na volbě fyzické vrstvy a v praxi je možné v rámci jedné sítě kombinovat několik standardů.

Linková vrstva

Řídí přístup prvků k médiu přenosovému a navazování vzájemných spojení. Provedení a konkrétní funkce linkové vrstvy je přímo závislá na použitém médiu.

Síťová vrstva

Řídí a provádí segmentaci rámců a řídí jejich směrování v síti.

Transportní vrstva

Vytváří komunikační propojení mezi jednotlivými komunikujícími uzly. Řídí vysílání a příjem dat.

Aplikační vrstva

Poskytuje aplikační procesy a služby podle typu použité komunikace. Pro správu sítě jsou určeny služby související s broadcast a point-to-point komunikací, zatímco pro provozní operace slouží služby související s multicast komunikací.

4.3.5 Fyzická přenosová média

Kroucený pár (Twisted pair)

- Přenos dat po metalických kabelech.
- Není nutné použít zakončovací odpory.
- Přenosový mód UART
- Napájení sběrnice 30V, maximálně 64 prvků, z nichž každý maximálně 10 mA
- Standard TP0 – převzaté ze standardu BatiBus. Komunikační rychlost 4.8 kb/s. Přístupová metoda CSAM/CA
- Standard TP1 - převzaté ze standardu EIB. Komunikační rychlost 9.6 kb/s. Přístupová metoda CSAM/CA

Síťové vedení (Power line)

- Přenos dat po síťových vodičích (elektrické rozvody). Společným znakem standardů je komunikace SFSK (Spread Frequency Shift Keying).
- Standard PL110 – převzaté ze standardu EIB. Přenosová rychlost 1,2 kb/s. Nosná frekvence 110 kHz. Přístupová metoda CSMA
- Standard PL132 – převzaté ze standardu EHS. Přenosová rychlost 2,4 kb/s. Nosná frekvence 132 kHz. Přístupová metoda CSMA

Rádiový přenos (RF)

- Bezdrátový přenos dat. Standard KNX plně specifikuje komunikaci na přenosové frekvenci 868 MHz, kódování FSK (Frequency Shift Keying), jednosměrný a obousměrný poloduplexní přenos.
- Přenosová rychlost 32 kb/s. Přístupová metoda CSMA.
- Specifikace média na úrovni linkové vrstvy pomocí standardu CEN TC 294, zajišťující možnost použití různých hardwarových platform. Přenos tak splňuje ERC doporučení ERC/REC 70-03 a ETSI European Standard ETS 300-220.

IP komunikace

- Přenos dat pomocí standardů Ethernet IEEE 802.2, Bluetooth, WiFi IEEE 802.11, případně FireWire. Pro IP komunikaci je využíván ANubis mód (Advanced Network for Unified Building Integration and Services).

4.3.6 Topologie sběrnice KNX

Fyzická topologie sítě KNX je závislá na volbě přenosového média. Pro kroucenou dvojlinku (TP) jsou povoleny topologie sběrnice, stromové a hvězdicové. Jediná zakázaná topologie je kruhová, protože síť KNX nesmí být nikde zapojena do smyčky.

Velikost sítě je dána omezeními standardu KNX. Maximální délka vodičů v jedné línii je 1000m. Maximální vzdálenost mezi dvěma sousedními prvky je 700m. Prvky využívající napájení ze sběrnice nesmí být dále, než 350 m od napájecího zdroje.

4.3.7 Struktura sběrnice

KNX je distribuovaný systém, ve kterém může teoreticky komunikovat až 65 536 zařízení (16 bitové adresování), v jedné síti však může být pouze 57 375 zařízení. Celá síť KNX má tři úrovně – páteřní línii, hlavní línii a línii.

Nejvyšší úroveň má páteřní línii (backbone line), na kterou je napojeno 15 hlavních linií (main line). Na každé hlavní línii může být napojeno 15 linií (line) a na každou línii až 255 zařízení. Odtud plyne omezení maximálního počtu zařízení v jedné síti na 57 375. Struktura sítě vyžaduje zónové oddělovací prvky (area coupler) a líniové oddělovací prvky (line coupler), bez kterých by byla síť omezena na maximální počet 255 prvků na jedné (páteřní) línii. Každý prvek v síti je jednoznačně identifikován individuální adresou. Domény jsou separovány 16bitovou doménovou adresou.

V rámci standardu KNX jsou definovány také „vazební“ členy umožňující segmentovat síť, případně propojovat s jinými médii. KNX dále umožňuje využití opakovačů, směrovačů, mostů, paketových filtrů, firewallů a podobných síťových prvků.

Data je možné v rámci sítě KNX vysílat způsoby multicast (jeden uzel komunikuje s více uzly), broadcast (jeden uzel komunikuje se všemi připojenými uzly) a point-to-point (jeden uzel komunikuje s jedním uzlem).

4.3.8 Komunikační rámec

Pro přenos dat jsou ve standardu KNX využity rámce, které přesně definují v jakém formátu a s jakými doplňkovými informacemi mají být data přenášeny. Délka rámce může být až 22 B u standardního rámce, nebo až 256 B u rámce rozšířeného.

První bajt (oktet 0) obsahuje řídicí pole definující prioritu rámce a rozlišuje mezi standardním a rozšířeným (extended) typem. Následující čtyři bajty jsou určeny pro adresu zdroje, který rámec poslal (Source Address) – bajty 1 a 2, respektive pro cílovou adresu (Destination Address) – bajty 3 a 4. Typ cílové adresy je určen v následujícím pátém bajtu v poli Type. Pátý bajt dále slouží k definici čítače přeskoků (hop counter) a délky rámce v poli NPCI a length. Čítač přeskoků slouží k zamezení zacyklení rámce.

Mezi další dva bajty 6 a 7 jsou rozděleny definice vlastností transportní a vyšších vrstev. Informace označené jako TPCI (Transport Layer Protocol Control Information) a slouží k řízení komunikace mezi transportními vrstvami. Další informace APCI (Application Layer Protocol Control Information) obsahují instrukce pro aplikační vrstvu o následných krocích (příkazy typu Read, Write, Response a další).

V závislosti na hodnotě APCI a schématu adresování může standardní rámec obsahovat až 14 bajtů dat. V případě potřeby přenesení většího množství dat jsou data segmentována. Rozšířený rámec může přenést až 248 bajtů dat. Poslední bajt rámce obsahuje kontrolní součet pro zabezpečení kvality a správnosti přenosu dat.

oktet 0	1	2	3	4	5	6	7	8	...	N - 1	N ≤ 22
Control Field	Source Address		Destination Address		Address Type; NPCI; length	TPCI	APCI	data /APCI	data		Frame Check

Obr. 8 – KNX rámec pro komunikaci a přenos sítí Konnex bus

4.3.9 Sběrnice KNX

Sběrnice KNX může být využita k ovládání a automatizaci velkého množství prvků v domech a komerčních budovách. Ovládat lze například osvětlení, žaluzie, topení, větrání, klimatizaci, bezpečnostní systémy, monitorování budov, alarmy a podobně. Standard KNX je koncipovaný jako otevřený, což jej činí nezávislým na jediném výrobci. KNX také podporuje širokou škálu přenosových médií (TP, PL, RF a IP) a kompletní sadu konfiguračních režimů (Systém mode, Easy mode a A-mode).

KNX je uznáván jako evropský i mezinárodní standard. Konceptně vychází ze standardů EIB, EHS a BatiBUS. Do Asociace KNXA je zapojeno více než 100 společností a spolupracuje s téměř 21 000 instalačními firmami v 70-ti zemích světa.

4.4 LonWorks

Standard LonWorks byl vyvíjen v letech 1989 až 1992, kdy byl uveden na trh, firmou Echelon ve spolupráci s firmami Toshiba a Motorola. LonWorks vychází z obecné definice pro datové sítě nazvané Local Operating Networks (LON). Síť je tvořena z inteligentních zařízení a uzlů, které jsou mezi sebou propojeny komunikačními médii.

Společnost Echelon kromě vývoje LonWorks také vyrábí velké množství hardwarových i softwarových komponent. LonWorks je však koncipováno jako otevřený standard, což umožňuje podporu mnoha firem (v dnešní době okolo 3000) a není tedy třeba využívat pouze produkty firmy Echelon.

Standard LonWorks umožňuje komunikaci po libovolném médiu, včetně síťového rozvodu (PL), RS-485 nebo například kabelové televize. Nezávislost na médiu rozšiřuje možnosti využití sítě, a kromě automatizace budov a řízení spotřebičů umožňuje také využití pro dálkové odečty hodnoty a regulaci v průmyslu.

4.4.1 Základní vlastnosti sběrnice LonWorks

Sběrnice LonWorks využívá přímé komunikace mezi uzly, tedy architektury typu peer-to-peer a prioritního systému zasílání zpráv. Základním prvkem sítě LonWorks je inteligentní uzel, nazývaný node. Každý uzel je založen na mikrokontrolérech zvaných Neuron chip, na kterých je spuštěn LanTalk protokol. Maximální počet uzlů (prvků) v síti je 32 385.

Celý komunikační model sběrnice LonWorks je nezávislý na přenosovém médiu a topologii sítě. Datové pakety lze fyzicky přenášet po libovolném médiu, které je možné v rámci jedné sítě kombinovat. Nezávislost LonWorks na topologii sítě je zajištěna použitím architektury peer-to-peer, která řídí přenos a směrování paketů. Použitá topologie je závislá na použitém transceiveru, nikoliv na komunikačním modelu. Systém priorit zpráv je řešen I/O buffery v Neuron chipu, které umožňují v případě potřeby pozastavit odesílání zprávy s nižší prioritou a upřednostnit odeslání zprávy s prioritou vyšší.

Řízení přenosu a směrování paketů je prováděno LonTalk protokolem, který je součástí každého Neuron chipu. Adresace v síti je prováděna 48 bitovým identifikátorem (nazvaným Neutron ID), unikátním pro každý Neuron chip, uloženým v jeho EEPROM.

Neuron chip je schopný provádět jednoduché operace s daty získanými z připojených senzorů. Programování chipu se provádí prostřednictvím jazyka Neuron C, jehož syntaxe je založena na klasickém programovacím jazyku C.

Každý Neuron chip obsahuje v rámci firmwaru operační systém, který vykonává aplikační programy potřebné k vzájemné komunikaci mezi uzly. Dalším úkolem operačního systému v Neuron chipu je ovládání 11-pinového I/O bloku.

Na vytváření aplikací pro prvky sítě LonWorks se používá vývojový software NodeBuilder Development System, navržený a dodávaný firmou Echelon. Software poskytuje uživateli grafické rozhraní a vývojové prostředky jako překladač pro aplikace psané v jazyce Neuron C, Neuron C debugger, prohlížeč síťových zpráv, program Loader pro nahrávání aplikací do Neuron chipu, DDE server a množství konfiguračních utilit.

4.4.2 Využití sběrnice LonWorks

- Řízení a automatizace budov
- Ovládání a řízení domácích spotřebičů
- Monitoring stavu elektroměrů, plynoměrů, vodoměrů a spotřebičů tepla
- Dálkové řízení procesů
- Ovládání akčních členů
- Měření a regulace (MaR)
- Telekomunikace, metropolitní sítě, přenos zvuku
- Oblast řízení dopravy
- HMI – zpracování dat ze senzorů, klávesnic a jejich zobrazení na displejích

4.4.3 Protokol LonTalk

Protokol LonTalk byl v roce 1989 vytvořen a standardizován (standard EIA 709.1) firmou Echelon. Protokol definuje metody přístupu ke sběrnici a řízení přenosu dat po existující síti. LonTalk byl navržen podle síťového modelu ISO OSI, což umožňuje aplikacím běžícím na různých Neuron čipech komunikovat mezi sebou.

OSI Layer	Purpose	Services
Application	Application Program	Standard objects & types, config props, file xfer, network services
Presentation	Data Interpretation	Network variables, application messages, foreign frames
Session	Remote Actions	Dialog, remote procedure calls, connection recovery
Transport	End-to-End Reliability	End-to-End acks, service type, pkt sequencing, duplicate detect
Network	Destination Addressing	Unicast & multicast, destination addressing, packet routing
Data Link	Media Access & Framing	Framing, data encoding, CRC, media access, collision detect
Physical	Electrical Interconnect	Media specific details, xceiver type, physical connect

Obr. 9 – Vrstvy protokolu LonTalk

4.4.4 Vrstvy protokolu LonTalk

Fyzická vrstva

Fyzická vrstva definuje připojení k fyzickému komunikačnímu médiu. Protokol LonTalk umožňuje přenos dat po libovolném médiu, pro které existuje vhodný transceiver.

- Kroucená dvojlinka (TP) v kombinaci kabelů s průřezem 0.65 až 1.3 mm
- Koaxiální kabel pro vysokorychlostní nebo velmi objemné přenosy
- Silové rozvody (PL), možnost přenosu dat, střídavého a stejnosměrného napětí. V Evropě je použitý standard CENELEC.
- Optické kabely, jednovláknový přenos (oba směry po jednom vláknu), dvouvláknový přenos (dopředný a zpětný přenos po samostatných vláknech)
- Rádio frekvenční přenos (RF) na frekvencích 49 MHz, 400 – 450 MHz, případně 900, 1200 a 2400 MHz u verze s rozprostřeným spektrem
- Infračervený přenos (IR) pracující podle obecně používaných standardů

V rámci jedné sítě je možné využít více druhů médií.

Linková vrstva

Úkolem linkové vrstvy je ovládat a řídit přístup na médium a provádět CRC kódování pro detekci a opravu případné chyby. Pro přístup k médiu se používá metoda CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Acces with Collision Avoidance). Je možné použít také detekci kolize (CSMA/CD), pokud ji podporují všechny transceivery v síti.

Neuron chipy sledují přenos dat na síti a čekají na stav nečinnosti (Idle state). Vysílání dat z předchozího uzlu je ukončeno synchronizačním bitem (End-of-frame Synchronization). Následuje odpočítávání času (Priority time slots), které zajišťuje prioritu odesílání zpráv. Upřednostněné zprávy a uzly odpočítávají kratší čas. V dalším kroku jednotlivé uzly čekají po náhodně vygenerovanou dobu (Randomly Allocated Time Slots) a následně zahájí přenos dat.

Síťová vrstva

Síťová vrstva zajišťuje správné doručení paketu k cílovému uzlu. LonWorks využívá tříúrovňovou adresaci cílového uzlu. První úroveň je doména, jejíž identifikátor může mít délku 0, 1, 3 nebo 6 bajtů. Každý uzel může být členem maximálně dvou domén. Jednotlivé domény mohou být mezi sebou propojeny pomocí bran (Gateways).

Druhá úroveň je podsít' (subnet). Každá doména může obsahovat až 255 podsítí, které jsou tvořeny logickou skupinou uzlů, složených z jednotlivých kanálů. Adresování uzlů je nezávislé na kanálech. Podsítě mohou být vzájemně propojeny pomocí routerů.

Třetí úroveň je vlastní uzel. Každý uzel má své 48 bitové identifikační číslo (Neuron ID), které je využíváno pro jeho adresování. V podsíti může být maximálně 127 uzlů, což znamená také omezení na 32 385 uzlů na jednu doménu. Každý uzel může být členem dvou domén najednou a je možné jej využít jako bránu mezi doménami.

Transportní vrstva

Úkolem transportní vrstvy je zajistit spolehlivé doručení paketů, za pomoci kontrolování správnosti přenosu paketů mezi uzly, odstranění duplikátních paketů nebo zajištění potvrzení o přijetí paketu. Mezi čtyři nejdůležitější služby, které transportní vrstva zajišťuje, je potvrzování došlé zprávy nebo paketu, žádost/odpověď, zasílání zpráv typu broadcast a nepotvrzené zasílání zpráv.

Relační vrstva

Relační vrstva sítě LonWorks definuje zprávy síťové diagnostiky (network diagnostic messages) a managementu (network management messages). Zprávy pro síťovou diagnostiku slouží pro diagnostiku sítě a případné opravy detekovaných problémů. Síťový management usnadňuje instalaci a následné řízení sítě.

Další funkcí relační vrstvy je definice protokolu na ověřování zpráv (Authenticated messages), zajišťující příjemci kontrolu oprávněnosti odesílatele. Možnost ověření odesílatele umožňuje zabránit neoprávněnému přístupu na uzly, případně do aplikací. Každý uzel je vybaven 48-bitovým ověřovacím klíčem (Authentication Key), který musí odpovídat identifikačnímu klíči zprávy. V opačném případě je zpráva zavrhnuta.

Prezenční vrstva

Hlavní činností prezenční vrstvy je výměna zpráv mezi aplikacemi a interpretace došlých paketů. Aplikační data jsou vyměňována pomocí síťových proměnných, tvořících třídu zpráv, ve které jsou data označena jako Neuron C proměnná. Účelem proměnných je definovat a přiřadit data skupin, odpovídajících jejich fyzikálnímu významu. Protokol LonTalk definuje několik standardních proměnných (Standard Network Variable Types), ve kterých jsou definovány typy s asociovanými fyzikálními jednotkami.

Explicitní zprávy slouží pro prezentaci dat, nepřiraditelných do některého typu síťových proměnných. Každá explicitní zpráva má dvě části, kód (message code) a data. V rámci sítě LonWorks je možné přenášet také rámce bez bližšího určení (foreign frames). Velikost dat, které mohou být přeneseny v cizím rámci je 228 bajtů.

Aplikační vrstva

V aplikační vrstvě běží vlastní aplikační program, který slouží k deklaraci síťových proměnných, kódování zpráv a podobně. Dále je možné využívat síťových proměnných, které umožní, aby jednotlivé uzly pracovaly se stejnými jednotkami a data stejným způsobem interpretovaly. Stejným způsobem je možné definovat proměnné pro společné aplikace.

4.4.5 Hardwarová struktura uzlu

Každý uzel (node) se fyzicky skládá z několika částí, z nichž nejdůležitější jsou Neuron chip, napájecí zdroj a propojovací rozhraní.

Neuron chip

Řídí uzel a běh uživatelských aplikací, zajišťuje komunikaci prostřednictvím protokolu LonTalk, komunikuje se senzory, spolupracuje s jinými CPU. Základem každého Neuron chipu jsou procesory a paměť. V Neuron chipu jsou tři odlišné CPU.

CPU pro přístup k médii (Media access CPU)

Ovládá a řídí sériové komunikační porty (600 – 1250 Mb/s) na úrovni Linkové vrstvy. Na výstupu je paket protokolu LonTalk určený k přenosu do dalšího uzlu. Mezi hlavní činnosti media access CPU patří řízení odesílání paketů v závislosti prioritě, tvorba komunikačních rámců, detekce kolize na sběrnici a kontrolní CRC kódování.

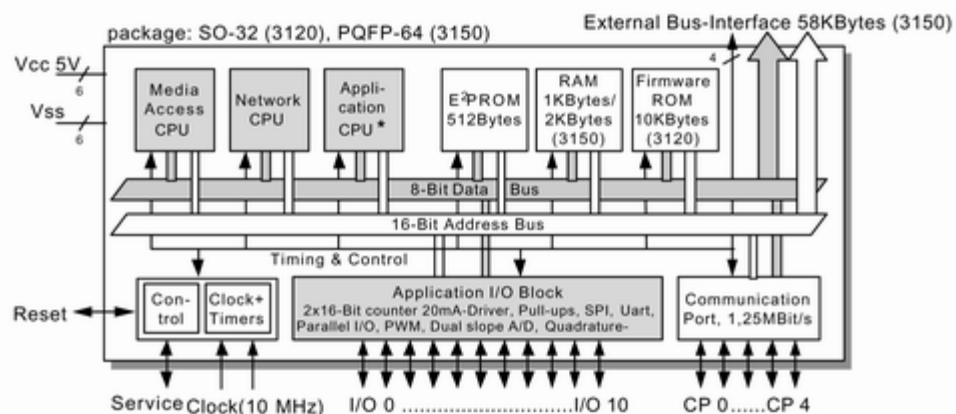
Síťové CPU (Neuron CPU)

Zpracovává informace a požadavky na služby protokolu LonTalk, na úrovni síťové vrstvy. Dále řídí adresování uzlů, směrování paketů a časovací služby.

Aplikační CPU (Application CPU)

Řídí zpracování uživatelských aplikací psaných v jazyce Neuron C. Aplikační CPU může být také využito jako libovolné externí CPU pro příjem, zpracování a odesílání dat.

Pro uložení aktualizací firmwaru, slouží v Neuron chipu flash EEPROM. Vnitřní paměť RAM slouží ke zpracování a ukládání dat z aplikačního programu. Vnitřní paměť typu ROM obsahuje jádro firmwaru.



Obr. 10 – Blokové schéma Neuron chipu Toshiba

4.4.6 Síťový hardware

Pro síť LonWorks existuje množství zařízení, které umožňuje propojit je s jinými sítěmi. Tyto routery mohou spojit síť LonWorks s Internetem, Intranetem, nebo například sítí typu Ethernet 10Base-T. Díky tomu je zajištěna nejen komunikace uvnitř jedné budovy, ale i dálková komunikace s objekty kdekoliv v dosahu Internetu. Technologie například umožňuje využít síť Ethernet k přenosu dat mezi jednotlivými částmi sítě LonWorks.

Routery umožňují tvorbu virtuálních sítí (Virtual Network Interface), pomocí kterých lze rozdělit jednu síť na několik virtuálně oddělených sítí. Princip je totožný jako při dělení sítí u technologie Ethernet.

4.4.7 Sběrnice LonWorks

Sběrnice LonWorks umožňuje široké možnosti automatizace a ovládání prvků v budovách a obytných domech. Mezi její výhody ve srovnání se standardem KNX patří hlavně podstatně vyšší rychlost přenosu dat a možnost použití a kombinování libovolných přenosových médií, včetně Internetu. Využití Internetu značně rozšiřuje možnosti v tvorbě rozsáhlých sítí.

Moduly pro sběrnici LonWorks vyrábí v současné době velké množství firem. Mezi nejznámější patří Echelon (tvůrce celého standardu, velice široká nabídka), Regmet (snímače teplot), Schneider Electric (prvky pro automatizaci budov, ovladače, relé, polohová čidla a další), Honeywell (prvky pro komunikaci, regulátory, snímače, frekvenční měniče a další), nebo například české firmy ATD s.r.o., případně ZPA Trutnov.

4.5 ZigBee

Mezi poměrně nové standardy (platnost od listopadu 2004) patří také bezdrátový ZigBee. Technologie je založena na standardu IEEE 802.15.4 a podobně jako Bluetooth je primárně určena na propojení zařízení v rámci sítě PAN s omezením maximální vzdálenosti 75 m. Přenosu dat na větší vzdálenost je možné dosáhnout pomocí multiskokového ad-hoc směrování.

Sítě standardu ZigBee byly vyvinuty pro průmyslové aplikace a senzorové sítě. Jejich bezdrátová technologie však umožňuje rychlou a poměrně levnou instalaci do stávajících budov a tím i využití pro ovládání prvků v budovách.

4.5.1 Charakteristika sítě ZigBee

Sběrnice ZigBee byla navržena jako jednoduchá a flexibilní síť vhodná pro aplikace, na kterých není požadován přenos velkých objemů dat. Na vývoji technologie se podílelo velké množství firem, mezi kterými lze jmenovat Motorolu, Siemens, ABB, Phillips, případně Honeywell.

Pracovní pásmo sítě ZigBee se nachází v bezlicenční oblasti o frekvencích 858 a 902 – 928 MHz a 2.4 GHz. Přenosová rychlost je 20, 40, případně 250 kbit/s. Základní dosah sítě ZigBee je, v závislosti na prostředí, kde se signál šíří, přibližně mezi 10 až 50 metry. Pro přístup k fyzickému médiumu je využita metoda CSMA/CA.

Mezi hlavní možnosti využití bezdrátové sítě ZigBee patří automatizace budov, průmyslová automatizace, ovládání spotřební elektroniky nebo například bezdrátové počítačové periferie. V rámci standardu ZigBee jsou definovány tři režimy přenosu dat. Periodicky se opakující přenos (získávání dat z čidel), nepravidelný přenos (náhodně nastalé události) a opakující se přenosy s požadavkem na malé zpoždění (bezdrátové počítačové periferie).

4.5.2 Struktura komunikačního standardu ZigBee

Jednou z výhod standardu ZigBee je jeho hardwarová nenáročnost. Ačkoliv se jedná o bezdrátovou technologii, tak si dali tvůrci dostatek práce se zjednodušením protokolu, tak aby mohl fungovat na slabých 8 bitových mikrokontrolerech. Vlastní jádro a potřebné části protokolu zaberou pouze 30 kB programové paměti.

Protokol se skládá ze tří základních vrstev. Nejnižší jsou vrstvy standardu IEEE 802.15.4 (fyzická a linková), nad nimi jsou definovány vrstvy síťová (NWK) a aplikační (APL), skládající se z aplikační podvrstvy (APS), uživatelských aplikačních objektů a ZigBee objektů.

Linková vrstva definuje komunikační protokol a čtyři typy komunikačních rámců:

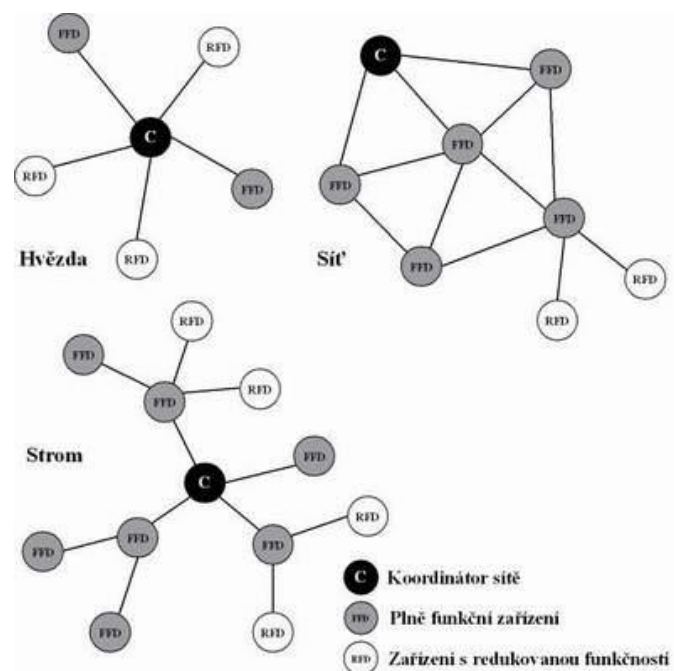
- Data frame – využití pro datové přenosy, 104 bytu na přenos dat
- Acknowledgement frame – přenos potvrzovací informace,
- Beacon frame – pro vysílání „beacons“ sloužících pro uvádění zařízení do režimu spánku za účelem snížení spotřeby energie
- MAC Command frame – pro centralizované konfigurování, nastavování a řízení klientských zařízení

Důvodem zavedení beacons a možnosti uspávání jednotlivých zařízení je snaha o co největší minimalizaci spotřeby energie koncovými zařízeními. Ve předem stanovenou dobu dochází k probuzení daného zařízení, odečtu hodnot a opětovném uspání. Synchronizační interval může být nastaven v rozmezí 15 ms až téměř 15 minut.

Získaná data jsou ukládána a v intervalech, daných technologickými požadavky, odesílána k cílovým zařízením. Snížení spotřeby energie je natolik výrazné, že zařízení mohou být napájena bateriově s možností provozu až 2 roky na jednu alkalickou baterii. V případě sítě bez beacon sekvencí se jednotlivá zařízení periodicky dotazují koordinátora.

4.5.3 Topologie sběrnice ZigBee

Technologie ZigBee definuje tři možné síťové topologie – hvězdicovou, stromovou a typ mesh. Základní topologií je hvězdicová, ve které je potřebný centrální řídicí uzel, zvaný koordinátor sítě. Stromová topologie umožňuje zvětšit vzdálenost mezi koordinátorem a koncovým prvkem. Poslední topologie zvaná mesh má libovolné uspořádání.



Obr. 11 – Povolené topologie sítě ZigBee

4.5.4 Adresování, směrování a zabezpečení sítě

Standard ZigBee rozpoznává dva druhy zařízení – FFD a RFD. Zařízení typu FFD implementují kompletní rámec protokolu a zajišťují veškeré služby stanovené standardem. RFD zařízení implementují pouze nezbytné knihovny, což značně minimalizuje hardwarovou náročnost. Zařízení typu RFD mohou pracovat pouze jako koncová a jejich komunikace je omezena pouze na výměnu dat s koordinátorem sítě a tedy i na nutnost použití hvězdicové topologie sítě.

Pro adresaci jednotlivých zařízení se používá identifikačního čísla o délce 64 bitů, případně 16 bitů u zkrácené verze. Zkrácená adresa umožňuje využití 65 535 zařízení v rámci jedné sítě. Každá síť je také identifikována pomocí 16 bitového PAN ID, sloužícího pro rozpoznání sítě v případě překrývání více sítí standardu IEEE 802.15.4. Přidělování PAN ID je spravováno koordinátorem sítě. Připojení k síti, zabezpečení, synchronizace a směrování dat je zajišťováno sítíovou vrstvou. Koordinátor sítě ještě navíc přiřazuje adresy novým zařízením a řídí start sítě.

Zabezpečení v síti ZigBee je zajištěno metodou AES, využívající 128 bitový klíč, implementovaný v sítíové vrstvě. V případě požadavku může být zajištěno také zabezpečení MAC Command Frame, Beacon Frame a Acknowledgement Frame pomocí AES, umožňující ověření autenticity, integrity a důvěrnosti MAC rámce.

Důvěryhodnost MAC rámce může být zajištěna přidáním klíče Frame Count a Key Sequence Count. Číslo rámce je udržováno na obou stranách (vysílací i přijímací) a je kontrolováno ihned po přijetí rámce. Pro zabezpečení sítíové vrstvy je využito SSP, zajišťující dekodování a ověření pravosti příchozích rámců a zabezpečení rámců odchozích. Sítíová vrstva je zodpovědná za vlastní realizaci zabezpečení.

4.5.5 Spotřeba zařízení

Jednou z hlavních charakteristik komunikačního standardu ZigBee je zaměření na minimalizaci spotřeby energie jednotlivými koncovými zařízeními. Standard je primárně navržen pro aplikace, které vyžadují odesílání a příjem malých objemů dat. Protokoly jsou navrhovány s ohledem na co nejnižší spotřebu energie, protože je předpoklad bateriového napájení koncových zařízení. Hlavní zařízení - koordinátor a směrovač by neměly být napájeny bateriově, protože je potřebná jejich stálá funkčnost.

Při použití topologie typu hvězda je koncové zařízení vždy aktivováno přijetím beacon sekvence, po které následuje vlastní přenos dat. Koordinátor přijatá data ukládá do vlastní paměti. Následuje odeslání beacon sekvence zařízení, pro které jsou určena data a následné odeslání dat. V době, kdy nejsou zařízení vyžadována koordinátorem, jsou přepnuta do úsporného režimu. Nejvyšší energetické nároky má koordinátor, který musí obsahovat dostatečné množství paměti na uložení dat z jednotlivých zařízení.

Průměrná spotřeba prvků v síti ZigBee se pohybuje kolem hodnoty 0.1 mW. Jedna alkalická baterie typu AA tak umožňuje provoz po dobu až dvou let.

4.5.6 Sběrnice ZigBee

Mezinárodní bezdrátový standard ZigBee je zaměřený především na aplikace z oblasti automatizace a řízení budov. Jedná se o nový standard, a proto je stále ve fázi aktivního vývoje. Mezi hlavní přednosti patří spolehlivost přenosu dat, minimální spotřeba energie a nízká cena koncových zařízení.

Jednoduchý a flexibilní standard ZigBee je vhodný pro bezdrátový přenos dat v průmyslu a inteligentních aplikacích v rodinných domech, kde kvalitní a cenově dostupná technologie prozatím chyběla. Bezdrátové technologie se rychle rozvíjí, jsou však využívány pouze v oblasti informačních technologií. Komunikační standard ZigBee má však všechny potřebné požadavky, aby dostal bezdrátové technologie i do oblasti automatizace budov a průmyslu.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVHR TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOVY

Navrhovaný systém bude používat moderní technologie pro dosažení maximálního komfortu obyvatel při nízkých provozních nákladech. Vytápěcí systém, v čele s tepelným čerpadlem, využívá obnovitelné zdroje energie. Přenos tepla do jednotlivých místností domu zajišťuje vzduchotechnický systém s možností režimu klimatizace pro letní provoz. Oba systémy jsou doplněny o solární panely na podporu ohřevu TUV.

Ovládání jednotlivých prvků bude zajištěno prvky sběrnice KNX. V návrhu sběrnicevého systému jsou využity široké možnosti ovládání včetně přístupu z internetu a mobilního telefonu. Pro lepší přehlednost je pro ovládání navrženo SCADA/HMI rozhraní. Sběrnicevý systém je doplněn o bezpečnostní systémy EZS a EPS. Součástí návrhu je technicko ekonomický rozbor a hodnocení systému.

5.1 Okrajové podmínky

Dům, ze kterého vychází tato práce je v současné době ve fázi existujícího projektu rodinného domu. Z původního projektu je využita pouze část hrubé stavby. Veškeré vnitřní systémy jsou navrženy nově, protože originální návrh nepočítá s využitím „inteligentních“ systémů, ani obnovitelných zdrojů energie.

Okrajové podmínky stanovené zadavatelem původního projektu jsou respektovány. Mezi hlavní okrajové podmínky, ovlivňující stavbu, patří tyto

- samostatně stojící dům v okrajové části Šumperka
- orientace domu směrem na jih
- přízemní budovy tzv. bungalov
- předpokládaný počet osob – 4
- celková zastavěná plocha – 115,6 m²
- celkový obstavený prostor – 289 m³
- celkový vytápěný prostor – 217,6 m³
- venkovní výpočtová teplota pro danou oblast -15°C
- průměrná venkovní teplota v otopném období pro danou oblast 3°C
- délka otopného období – 230 dní
- krajina s intenzivními větry
- nadmořská výška – 331 m. nm.
- nepřítomnost plynové přípojky

Uvedené okrajové podmínky významně ovlivňují celý projekt rodinného domu a je nutné veškeré parametry zohlednit při návrhu a výpočtech jednotlivých parametrů.

Celková zastavěná plocha budovy je 115,67 m², z čeho je 87,04 m² plocha vytápěných místností. Vytápěné místnosti jsou uvedeny v tabulce č. 4.

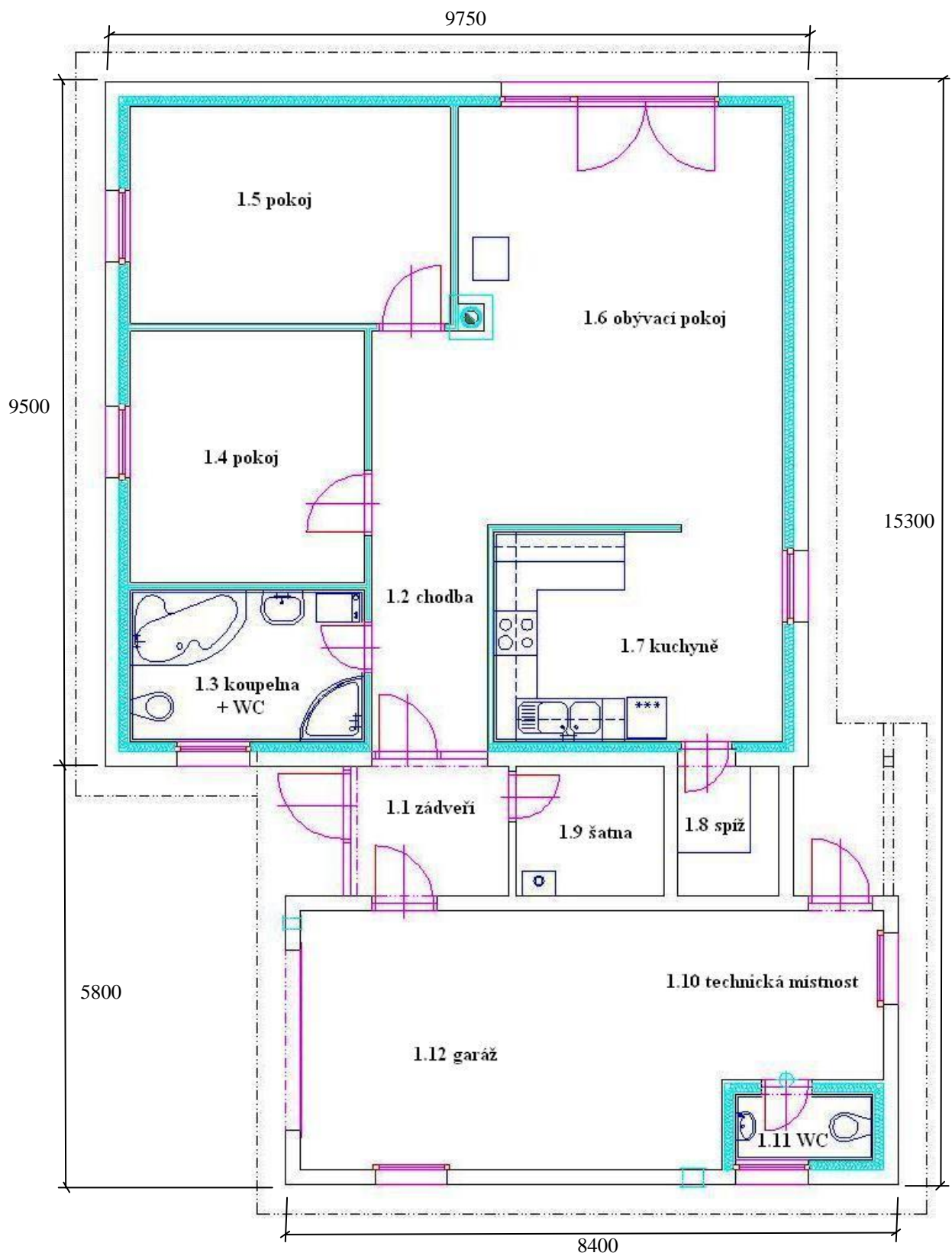
Kód místnosti	Název místnosti	Plocha místnosti [m ²]
1.1	Zádveří	3,78
1.2	Chodba	9,36
1.3	Koupelna + WC	6,82
1.4	Pokoj	11,37
1.5	Pokoj	13,35
1.6	Obývací pokoj	24,40
1.7	Kuchyně + jídelna	12,56
1.9	Šatna	3,69
1.11	WC	1,71

Tab. 4 – Seznam vytápěných místností

Plocha nevytápěných místností je zbývajících 28,63 m². Seznam nevytápěných místností je uveden v tabulce č. 5.

Kód místnosti	Název místnosti	Plocha místnosti [m ²]
1.8	Spíž	2,52
1.10	Technická místnost	5,05
1.12	Garáž	21,06

Tab. 5 – Seznam nevytápěných místností



Obr. 12 – Základní půdorys domu

5.2 Popis navrhovaného systému

Návrh rodinného domu kombinuje několik moderních systémů, které se vzájemně dobře doplňují. Jako zdroj tepla (chlada) je využito tepelné čerpadlo typu země - voda. Energie získaná tepelným čerpadlem bude přes tepelný výměník ohřívat, případně chladit vzduch procházející ventilační jednotkou. Upravený vzduch je po domu rozváděn podlahovými vzduchovody a odsáván stropními vzduchovody. Odpadní vzduch prochází ventilační jednotkou, ve které je instalována rekuperační jednotka pro znovuzískání tepelné energie. Tepelné čerpadlo slouží také na ohřívání teplé užitkové vody.

Na podporu ohřevu TUV jsou na střeše objektu nainstalovány solární panely. Pro zamezení potenciálních problémů v zimním období (zamrzání), případně v období bez odběru TUV (přehřívání) jsou solární panely připojeny k tzv. otevřenému solárnímu systému.

Pro ovládání systémů v domě (vzduchotechnika, solární systém, osvětlení, EZS, EPS) je využita otevřená síť KNX. V domě jsou použity prvky pro komfortní osvětlení. Ovládání je možné provádět centrálně (obrazovka se HMI/SCADA), případně dálkově (internet, GSM). V objektu jsou nainstalovány také zabezpečovací systémy EZS a EPS s možností dálkového ovládání a kontroly.

Technické parametry použitých zařízení jsou uvedeny v přílohách.

5.3 Výpočet tepelných ztrát

Jednotlivé tepelné ztráty domu (větráním a prostupem) jsou počítány podle normy ČSN EN 12831. Norma stanovuje metody výpočtu množství tepla nutného k dosažení vnitřní výpočtové teploty pro jednotlivé místnosti nebo pro celou budovu.

Normou popsané postupy výpočtu tepelné ztráty a tepelného výkonu platí pro standardní návrhové podmínky, mezi které patří omezení výšky místností na 5 metrů a metoda vytápění do ustáleného stavu.

Pro výpočty související s tepelnými ztrátami je v první řadě nutné znát dvě základní teploty - venkovní výpočtovou teplotu $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ a vnitřní výpočtovou teplotu $\theta_{int,i}$, která je $\theta_{int,i} = 20^\circ\text{C}$, případně $\theta_{int,i} = 24^\circ\text{C}$ pro koupelnu. Při výpočtech se využívá rozdílu obou teplot, který je $\theta_e - \theta_{int,i} = 35^\circ\text{C}$ a $\theta_e - \theta_{int,i} = 39^\circ\text{C}$ pro koupelnu.

Název místnosti	Vnitřní výpočtová teplota $\theta_{int,i}$ [°C]	Plocha místnosti A_i [m ²]	Objem místnosti V_i [m ³]
Zádveří	20	3,78	9,45
Chodba	20	9,36	23,4
Koupelna + WC	24	6,82	17,05
Pokoj	20	11,37	28,425
Pokoj	20	13,35	33,375
Obývací pokoj	20	24,40	61
Kuchyně	20	12,56	31,4
Šatna	20	3,69	9,225
WC	20	1,71	4,275

Tab. 6 – Parametry místností pro výpočet tepelných ztrát

5.3.1 Tepelné ztráty větráním

Moderní domy bývají ve většině případů stavěny s ohledem na minimalizaci nákladů na jejich provoz. Snižování tepelných ztrát prostupem stavební konstrukcí je poměrně snadné, protože jej lze zajistit použitím kvalitnější, případně větší tepelné izolace. U kvalitně zaizolovaných domů nabírá na významu tepelná ztráta způsobená větráním. Z hygienických důvodů je nutné obytné prostory pravidelně provětrávat, a proto není možné snižovat tepelné ztráty větráním minimalizací výměny vzduchu.

Navržený vzduchotechnický systém využívá ventilační jednotku, která je vybavena jednotkou rekuperační. Pomocí rekuperace je možné získat část (až 90%) tepla z odváděného vzduchu. Přestože v domě, díky vzduchotechnickému systému, nebude potřeba větrat, tak je nutné s tepelnou ztrátou větráním počítat. Ačkoliv je udávaná účinnost rekuperační jednotky až 90%, tak je pro dosažení přesnějšího výsledku lepší počítat s nižší hodnotou (50%, $U=0,5$), protože maximální účinnosti dosáhne jednotka pouze za ideálních podmínek.

Nejmenší intenzita výměny vzduchu za hodinu n_{min} [h^{-1}] pro obytné budovy je stanovena v normě ČSN EN 12831 na hodnotu $0,5 h^{-1}$. Hodnota znamená, že každou hodinu je třeba vyměnit minimálně polovinu vzduchu v dané místnosti. Kvalitní konstrukce a postupy, pomocí kterých jsou dnešní domy stavěny, zajišťují poměrně vysokou neprůvzdušnost vnější konstrukce, což na jedné straně značně snižuje tepelné ztráty, ale na straně druhé nedochází v objektu k dostatečné samovolné výměně čerstvého vzduchu.

Instalovaný vzduchotechnický systém zajistí dostatečnou výměnu vzduchu v místnosti spolu s vytápěním, případně chlazením objektu.

Tepelná ztráta $\Phi_{V,i}$ větráním se počítá podle vzorce

$$\Phi_{V,i} = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_p) [W] \quad (6)$$

V – průtok vzduchu [m^3/h] ($V \cdot n_{min}$)

ρ – hustota vzduchu - $1,2 [kg/m^3]$

c – měrná tepelná kapacita vzduchu - $1010 [kJ/kg \cdot K]$

θ_i – požadovaná teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}C$]

θ_p – teplota přiváděného vzduchu [$^{\circ}C$] (rovnice č. 6)

Tepelná ztráta větráním se u objektu vybaveného vzduchotechnickým systémem počítá s ohledem na kvalitu rekuperační jednotky, tedy množství tepla, které může být pomocí jednotky získáno zpět z odpadního vzduchu. Na množství využitého tepla z odváděného vzduchu závisí teplota přiváděného vzduchu.

Teplota přiváděného vzduchu θ_p se počítá podle vzorce:

$$\theta_p = \theta_e + U \cdot (\theta_i - \theta_e) [^{\circ}C] \quad (7)$$

U – účinnost rekuperačního výměníku [%]

θ_e – teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}C$]

θ_i – teplota vnitřního (odváděného) vzduchu [$^{\circ}C$]

Název místnosti	Vnitřní výpočtová teplota θ_p [°C]	Objem místnosti V_i [m ³]	Nejnižší intenzita výměny vzduchu za hodinu n_{min} (h ⁻¹)	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]
Zádveří	20	9,45	0,5	55,7
Chodba	20	23,4	0,5	137,8
Koupelna + WC	24	17,05	0,5	111,2
Pokoj	20	28,425	0,5	167,5
Pokoj	20	33,375	0,5	196,6
Obývací pokoj	20	61	0,5	359,4
Kuchyně	20	31,4	0,5	188,1
Šatna	20	9,225	0,5	54,3
WC	20	4,275	0,5	25,2
				1295,8

Tab. 7 – Tepelné ztráty větráním

Celková tepelná ztráta větráním má při předpokládané dlouhodobé účinnosti rekuperační jednotky 50%, hodnotu cca 1300 W.

5.3.2 Zátopový tepelný výkon

Zátopový tepelný výkon $\Phi_{RH,i}$ se vyžaduje pro nahrazení účinku přerušovaného vytápění v daném prostoru (i) a stanoví se podle vztahu:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \text{ [W]} \quad (8)$$

A_i – podlahová plocha vytápěného prostoru [m²]

f_{RH} – korekční činitel závislý na zátopové době a předpokládaném poklesu vnitřní teploty v době útlumu [W/ m²]

Hodnota korekčního činitele f_{RH} se stanoví, s ohledem na parametry budovy, podle tabulky „Zátopový činitel f_{RH} “ která je v příloze P I. Hodnoty v tabulce jsou platné pro místnosti, jejichž průměrná výška stropu je nižší, než 3,5m což je v případě navrhovaného objektu splněno.

V tabulce je rozdělena hmotnost budovy do tří skupin – vysoká hmotnost (betonové podlahy a stropy kombinované s betonovými, nebo cihlovými stěnami), střední hmotnost (betonové podlahy a stropy spolu s lehkými stěnami) a nízká hmotnost (zavěšené podhledy, zvýšené podlahy a lehké stěny).

Pro výpočet zátopového výkonu byly zvoleny parametry – těžká budova, pokles vnitřní teploty 2 K a zátopový čas 3 hodiny. Kombinací těchto parametrů je zátopový činitel $f_{RH} = 9$.

Název místnosti	Plocha místnosti A_i [m ²]	Zátopový činitel f_{RH} [W/m ²]	Zátopový tepelný výkon $\Phi_{RH,i}$ [W]
Zádveří	3,78	9	34,1
Chodba	9,36	9	84,2
Koupelna + WC	6,82	9	61,4
Pokoj	11,37	9	102,3
Pokoj	13,35	9	120,1
Obývací pokoj	24,40	9	219,6
Kuchyně + jídelna	12,56	9	113,1
Šatna	3,69	9	33,2
WC	1,71	9	15,4
Celkem			783,4

Tab. 8 – Zátopový tepelný výkon

5.3.3 Tepelná ztráta prostupem

Hodnota tepelné ztráty prostupem závisí hlavně na tepelně izolačních vlastnostech budovy a venkovní výpočtové teplotě. Norma ČSN EN 12831 pro zjednodušenou výpočtovou metodu stanovuje teplotní korekční činitel f_k , jehož hodnoty jsou uvedeny v tabulce „Teplotní korekční činitel f_k “, která je v příloze P II.

Hodnota tepelné ztráty prostupem $\Phi_{T,i}$ se vypočítá podle vztahu

$$\Phi_{T,i} = \sum f_k \cdot A_k \cdot U_k \cdot (\theta_i - \theta_e) \text{ [W]} \quad (9)$$

f_k – teplotní korekční činitel

A_k – plocha stavební části [m^2]

U_k – součinitel prostupu tepla danou konstrukcí [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

θ_i – požadovaná teplota vnitřního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

θ_e – teplota venkovního vzduchu [$^{\circ}\text{C}$]

Výpočet tepelné ztráty se provádí zvlášť pro každou stavební část (stěnu, strop, podlahu, dveře, okno ...) a ze získaných hodnot se následně sečte výsledná tepelná ztráta prostupem pro celou místnost, nebo objekt.

Součinitel prostupu tepla konstrukcí U_k vyjadřuje množství tepla, které projde konstrukcí, a je tedy číselným vyjádřením tepelně izolační kvality konstrukce. Součinitel prostupu tepla konstrukcí se vypočte podle vzorce:

$$U_k = \frac{1}{(\alpha_i)} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{(\alpha_e)} \text{ [W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (10)$$

α_i – přestup tepla z vnější strany konstrukce [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

δ – šířka konstrukce [m]

λ – tepelná vodivost [$\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$]

α_e – přestup tepla z vnitřní strany konstrukce [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

Norma ČSN 73 0540 požaduje, respektive doporučuje součinitele prostupu tepla pro různé konstrukce. Tabulka prostupů stanovených zmíněnou normou je uvedena v příloze P III s názvem „Součinitel prostupu tepla U podle normy ČSN 73 0540“.

Místnosti 1.6 a 1.7, tedy obývací pokoj a kuchyně s jídelnou jsou počítány jako jedna místnost, protože se jedná o částečně oddělený prostor sdílející venkovní stěnu.

Název místnosti	Vnitřní teplota θ_i [°C]	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]
Zádveří	20	252,7
Chodba	20	35,9
Koupelna + WC	24	172,5
Pokoj	20	165,3
Pokoj	20	249,9
Obývací pokoj + kuchyně	20	747,7
Šatna	20	93,1
WC	20	131,8
Celkem		1848,9

Tab. 9 – Tepelné ztráty prostupem

5.3.4 Celková tepelná ztráta objektu

Název místnosti	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Zátopový tepelný výkon $\Phi_{RH,i}$ [W]	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	Celkem [W]
Zádveří	55,7	34,1	252,7	342,5
Chodba	137,8	84,2	35,9	257,9
Koupelna + WC	111,2	61,4	172,5	345,1
Pokoj	167,5	102,3	165,3	435,1
Pokoj	196,6	120,1	249,9	566,6
Obývací pokoj + kuchyně	547,5	332,7	747,7	1627,9
Šatna	54,3	33,2	93,1	180,6
WC	25,2	15,4	131,8	172,4
Celkem	1295,8	783,4	1848,9	3928,1

Tab. 10 – Celková tepelná ztráta objektu

Celková tepelná ztráta objektu je cca 3,9 kW. Na tuto hodnotu je třeba navrhnout vytápěcí a klimatizační systém domu.

5.4 Návrh vytápění a klimatizace

Pro vytápění domu a ohřev teplé užitkové vody bude sloužit kombinace tepelného čerpadla (systém země – voda), vzduchotechnického systému s rekuperační jednotkou a solárních panelů. Celý systém je schopen zajistit tepelnou pohodu v zimních (režim vytápění) i letních (režim klimatizace) měsících a navíc využívá obnovitelných zdrojů energie, což odpovídá současným trendům a snižuje náklady na provoz domu. Veškeré prvky systému pracují v automatickém režimu a nevyžadují po uživateli žádné speciální znalosti na jejich ovládání.

5.4.1 Výběr tepelného čerpadla

Jako zdroj tepla pro vytápění objektu je použito tepelné čerpadlo. Konkrétně se jedná o typ WPF 5 německého výrobce Stiebel Eltron s topným výkonem 5kW a topným faktorem až 4,3. Tepelné čerpadlo je typu země – voda. Na venkovní straně je připojeno na zemní kolektory, Na straně vnitřní na vyrovnávací nádrž, ze které se ohřívá akumulační nádrž na TUV. Tepelné čerpadlo je doplněno o chladicí modul WPAC, který vodu neohřívá, ale naopak chladí. Chladicí výkon v režimu cool je 3,8 kW.

5.4.2 Dimenzování zemních kolektorů

Schopnost země předávat teplo závisí na kvalitě půdy, přičemž se obvykle pohybuje v rozmezí 10 – 40 W/m², při rozteči trubek zemního kolektoru 0,5 – 1 m a hloubce kolem 1,5m. Objemová tepelná kapacita a tepelná vodivost jsou velmi závislé na složení půdy. Rozhodujícími faktory jsou obsah vody, minerálů a podíl a velikost vzduchových pórů v půdě.

Typ půdy	Měrný výkon jímání q_z [W/m ²]
Suché nesoudržné	10 – 15
Vlhké soudržné	15 – 20
Velmi vlhké soudržné	20 – 25
Obsahující vodu	25 – 30
S výskytem spodní vody	30 - 40

Tab. 11 – Typy půdy

Potřebná plocha zemních kolektorů se stanoví z tepelné potřeby domu a jakosti půdy. Nejprve je potřeba určit chladicí výkon tepelného čerpadla Q_{CH} pomocí vztahu

$$Q_{CH} = Q_{TC} - P_{TC} \quad [\text{W}] \quad (11)$$

Q_{TC} – topný výkon tepelného čerpadla [W]

P_{TC} – příkon tepelného čerpadla [W]

Navržené tepelné čerpadlo WPF 5 má při kombinaci teplot 0°C (teplonosná látka) a $+50^\circ\text{C}$ (topná voda) topný výkon 5,8 kW a příkon 2 kW.

$$Q_{ch} = 5,8 - 2 = 3,8 \text{ kW} \quad (12)$$

V oblasti, kde je dům postaven je velmi vlhká soudržná půda, pro výpočet je proto použita hodnota měrného jímání $q_z = 25 \text{ W/m}^2$. Plocha půdy A_p [m^2] se vypočte ze vztahu

$$A_p = Q_{CH} / q_z \quad [\text{m}^2] \quad (13)$$

Q_{CH} – chladicí výkon tepelného čerpadla [W]

q_z – hodnota měrného jímání půdy [W/m^2]

Zadáním hodnot pro použité tepelné čerpadlo a danou půdu získáme.

$$A_p = 3800 / 25 = 152 \text{ m}^2$$

Potřebná délka potrubí zemního kolektoru L_p [m], je závislá na ploše půdy A_p a typu uspořádání potrubí v zemi S_p .

$$L_p = A_p \cdot S_p \quad [\text{m}] \quad (14)$$

A_p – potřebná plocha půdy [m^2]

S_p - uspořádání potrubí v zemi [m/m^2]

Při uspořádání 1,5 m potrubí na 1 m^2 půdy a vypočtené potřebné půdě získáme.

$$L_p = 152 \times 1,5 = 228 \text{ m}$$

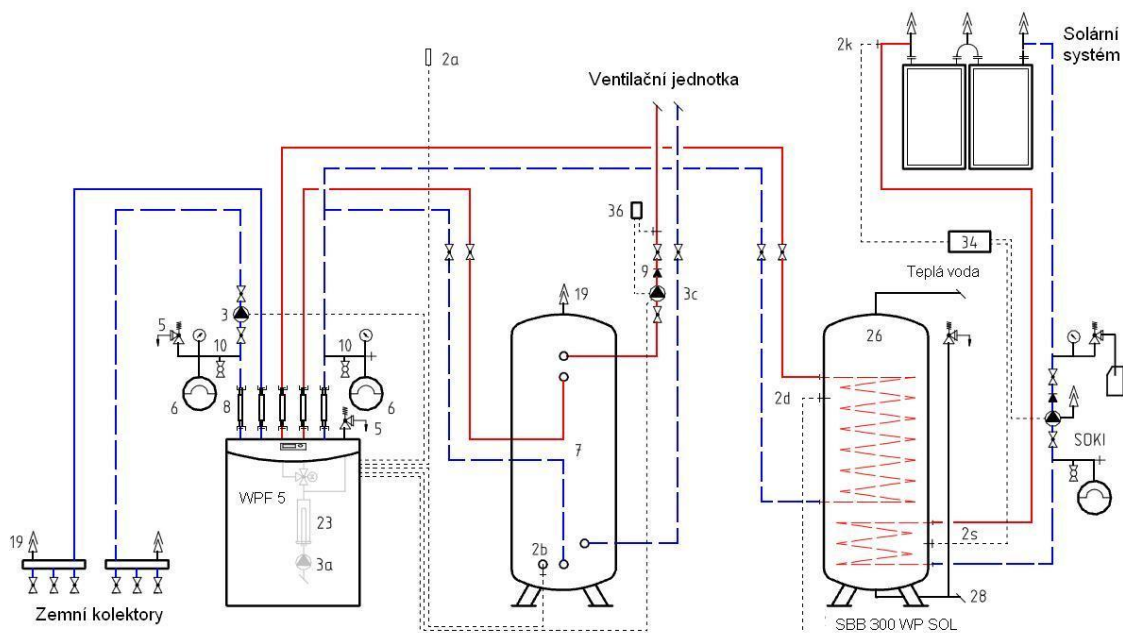
Potrubí zemních kolektorů se dimenzuje pomocí větví o délce cca 100 m z PE trubek 25 x 2,3 – PN 10. Pro potřebnou délku 228 m je potřeba udělat 3 větve v hloubce 1,2 m a vzájemné vzdálenosti 0,75 m. Na propojení primárního okruhu s jednotlivými větvemi zemního kolektoru je potřeba použít rozdělovač a sběrač. Pro tři větve kolektoru lze využít sadu sběrače a rozdělovače WPSV 425. Rozdělovač i sběrač je vybaven odvodušňovacím ventilem.

Jako teplotonosná kapalina je v zemních kolektorech použita směs 33% Antifrogeneru a 67% vody. Do 3 větví je potřeba dát přibližně 50 l kapaliny. Výrobce doporučuje pro tepelné čerpadlo WPF 5 a délku potrubí zemního kolektoru 300 m sadu pro připojení primárního okruhu označovanou WPSB 307. Sada obsahuje oběhové čerpadlo TOP-S a expanzní nádrž s objemem 12 l.

5.4.3 Hydraulické zapojení tepelného čerpadla

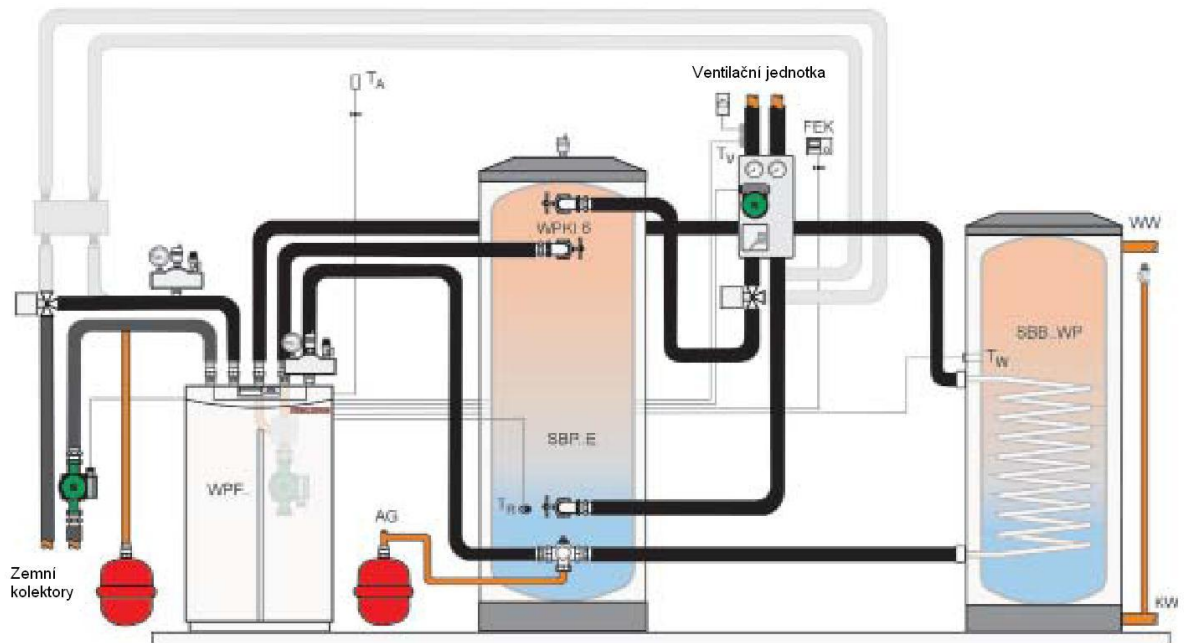
Tepelná energie získaná přes zemní kolektory a navýšená v tepelném čerpadle je dále rozvedena do dvou akumulčních nádrží. První nádrž slouží na akumulaci tepla pro vytápění a druhá jako zásobník teplé užitkové vody.

Velikost prvního akumulčního zásobníku pro teplou (režim vytápění) a studenou (režim klimatizace) vodu je zvolena na 100 l. Tato velikost je plně dostatečná pro použité tepelné čerpadlo o topném výkonu 5 kW. Akumulční zásobník je od firmy Stiebel Eltron model SBP 100. Druhá akumulční nádrž slouží jako zásobník pro TUV. Kromě tepelného čerpadla je na ni napojen také solární systém. Vybraná akumulční nádrž je označována jako solární zásobník na TUV (Stiebel Eltron SBB 300), má objem 300 l a je vybavena dvěma emailovými hladkostěnnými trubkovými výměníky umístěnými v horní a dolní části nádrže. Výpočet velikosti akumulčního zásobníku je uveden v kapitole 5.6.3. s názvem „Dimenzování zásobníku TUV“.

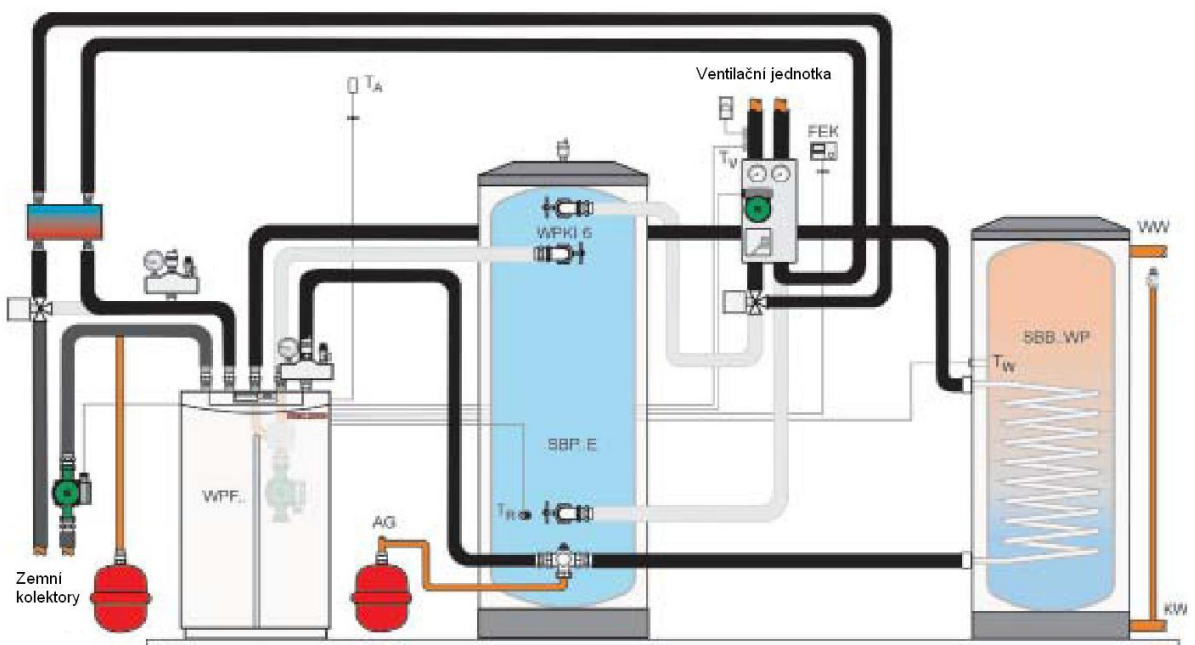


Obr. 13 – Hydraulické zapojení systému tepelného čerpadla

Pro zajištění tepelné pohody v letních měsících je tepelné čerpadlo schopné vzduchotechnickému systému dodávat studenou vodu pro režim klimatizace. Zapojení systému pro oba režimy je zobrazeno na obrázcích č. 14 a 15.



Obr. 14 – Zapojení tepelného čerpadla v režimu vytápění



Obr. 15 – Zapojení tepelného čerpadla v režimu chlazení

5.5 Návrh vzduchotechnického systému

Celkový objem vytápěných a tedy i větraných místností je 217,6 m³. Požadovaná výměna vzduchu je $n = 0,5/h$, proto je třeba za hodinu vyměnit 108,8 m³ vzduchu. Použitá centrální větrací jednotka (Stiebel Eltron LWZ 170) je schopna přenést 50 – 250 m³ vzduchu za hodinu a splňuje tak požadavek na dostatečnou dodávku vzduchu i pro případ náhlé potřeby zvýšení dodávky (prudké zvýšení / snížení teploty). Větrací jednotka obsahuje rekuperační výměník s účinností až 90%.

Ve vzduchotechnickém vedení za větrací jednotkou je instalován tepelný výměník, který vzduchu předává tepelnou energii získanou z akumulární nádrže SBP 100.

5.5.1 Výpočet plochy tepelného výměníku

Pro výpočet plochy tepelného výměníku pro ohřev přiváděného vzduchu je třeba vycházet z daných parametrů uvedených v tabulce č. 12.

Parametry pro výpočet plochy tepelného výměníku			
Maximální tepelný výkon výměníku	Q	W	5800
Součinitel prostupu tepla (materiál výměníku)	K	W/m ² ·K	4200
Vstupní teplota primární strana	θ_{11}	°C	45
Výstupní teplota primární strana	θ_{12}	°C	27
Vstupní teplota sekundární strana	θ_{21}	°C	17
Výstupní teplota sekundární strana	θ_{22}	°C	21

Tab. 12 – Parametry pro výpočet plochy tepelného výměníku

Z uvedených hodnot je třeba vypočítat teplotní rozdíly

$$\Delta\theta_1 = \theta_{11} - \theta_{21} = 45 - 17 = 28 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (15)$$

$$\Delta\theta_2 = \theta_{12} - \theta_{22} = 27 - 21 = 6 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (16)$$

Střední teplotní rozdíl:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}} = \frac{28 - 6}{\ln \frac{28}{6}} = 14 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (17)$$

Plocha výměníku

$$S = \frac{Q}{K \cdot \Delta\theta} = \frac{5800}{4200 \cdot 14} = 0,098 \text{ m}^2 \quad (18)$$

Q – maximální tepelný výkon výměníku [W]

K – součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]

$\Delta\theta$ – střední teplotní rozdíl [$^{\circ}\text{C}$]

Vypočtená plocha tepelného výměníku je $0,1 \text{ m}^2$. Výměník bude vyroben z nerezových trubek a lamel a nainstalován do teplovzdušného potrubí za centrální větrací jednotkou. Před montáží výměníku je třeba provést tlakovou zkoušku na tlak do 1 MPa.

5.5.2 Návrh směšovacího ventilu

Na řízení teploty vzduchu v jednotlivých místnostech bude použita ekvitermní regulace. Ta řídí teplotu přiváděného vzduchu na základě aktuálních teplotních podmínek. Mezi tepelným čerpadlem a ventilační jednotkou je umístěný třicestný ventil, který smíchává výstupní vodu s vodou, která se vrací z tepelného výměníku umístěného ve ventilační jednotce.

Nejdříve je třeba stanovit objemový průtok okruhem \dot{m} pro daný teplotní spád ΔT_s (rozdíl mezi teplotou vody vstupující do a vystupující z tepelného výměníku) pomocí následujícího vztahu

$$\dot{m} = \frac{(Q \cdot 3600)}{(\rho \cdot c \cdot \Delta\theta_s)} \text{ [m}^3/\text{h]} \quad (19)$$

Q – přenášený tepelný výkon [W]

ρ – hustota vody [kg/m^3]

c – měrná tepelná kapacita vody [$\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$]

$\Delta\theta_s$ – teplotní spád [K]

Pro dané podmínky získáme hodnotu objemového průtoku

$$\dot{m} = \frac{(5800 \cdot 3600)}{(1000 \cdot 4200 \cdot 18)} = 0,276 \text{ m}^3/\text{h} \quad (20)$$

Pro správnou funkci směšovacího ventilu je nutné, aby na něm při plném otevření vznikla tlaková ztráta 3 – 8 kPa. Jmenovitý průtokový součinitel k_{vS} vypočítáme dle vzorce

$$k_{vS} = \frac{\dot{m}}{\sqrt{\frac{\Delta p_{v100}}{100}}} \text{ [m}^3\text{/h]} \quad (21)$$

\dot{m} – objemový průtok [m³/h]

Δp_{v100} – tlaková ztráta plně otevřeného ventilu [kPa]

Pro předpokládanou tlakovou ztrátu na ventilu 6 kPa získáme

$$k_{vS} = \frac{0,276}{\sqrt{\frac{6}{100}}} = 1,13 \text{ m}^3\text{/h} \quad (22)$$

Jako směšovací ventil jsem zvolil model RV 103L firmy LDM, který odpovídá vypočteným hodnotám. Ventil je vybaven elektrickým pohonem Siemens řady SQX.

5.5.3 Režim klimatizace

Pro stanovení potřebného výkonu jednotlivých prvků vytápěcího systému, pro režim klimatizace, je třeba vypočítat tepelné zisky navrhovaného objektu. Výpočet tepelných zisků je výrazně složitější a časově náročnější, než v případě tepelných ztrát, proto je obvykle počítán za pomoci specializovaného softwaru. Při výpočtech se postupuje po jednotlivých hodinách (0-24) a měsících (leden – prosinec), aby bylo možné pracovat s přesnějšími hodnotami dopadajícího slunečního záření. Výsledkem je tabulka s velikostí 12 (měsíců) x 24 (hodin) s vyznačením oblasti s největšími tepelnými zisky.

Pro výpočet byla použita aplikace s názvem „Výpočet tepelných zisků“ který je k dispozici na stránkách firmy Qpro. Výstupem aplikace jsou tabulky s vypočtenými hodnotami pro každou místnost a pro celý zkoumaný objekt. Tabulka hodnot pro celý objekt je uvedena v příloze P IV „Tepelné zisky“.

Nejvyšší hodnota tepelných zisků objektu 3675 kW vychází na 16tou hodinu v měsíci srpnu. Maximální výkon použitého tepelného čerpadla v režimu cool je 3800 W, což je pro pokrytí daných tepelných zisků dostačující.

Navržená soustava není příliš vhodná pro přechodné období, kdy dochází ke střídání režimů klimatizace a vytápění. Tepelný výměník umístěný ve ventilační jednotce ohřívá, nebo chladí procházející vzduch pomocí vody, která je do něj čerpána z akumulární nádrže. Není tedy technicky možné (ani finančně výhodné), aby se teplota vody v 100 l akumulární nádrži rychle měnila (několikrát za den) podle aktuální potřeby.

Podle převažujících venkovních hodnot bude stanoveno, zda je výhodnější, aby byla v nádrži udržována voda teplá, či studená a podle toho bude aktivován daný režim vytápěcí soustavy.

V přechodovém období je také možné, že bude vyžadováno vytápění jedné a chlazení druhé místnosti. Technologicky to při použití systému možné není. Řešením by mohlo být nainstalování malých tepelných výměníků do jednotlivých rozvodných větví vzduchového potrubí. Z hlediska složitosti a hlavně ceny není takové řešení výhodné, vzhledem k faktu, že dnů kdy by bylo využíváno chlazení i vytápění není mnoho.

5.5.4 Návrh rozvodů vzduchu

Pro rozvod vzduchu z centrální větrací jednotky do jednotlivých místností a odtah zpět budou využity rozvody firmy Atrea. Přívod vzduchu bude veden plochými podlahovými rozvody a odtah odpadního vzduchu kulatými stropními rozvody.

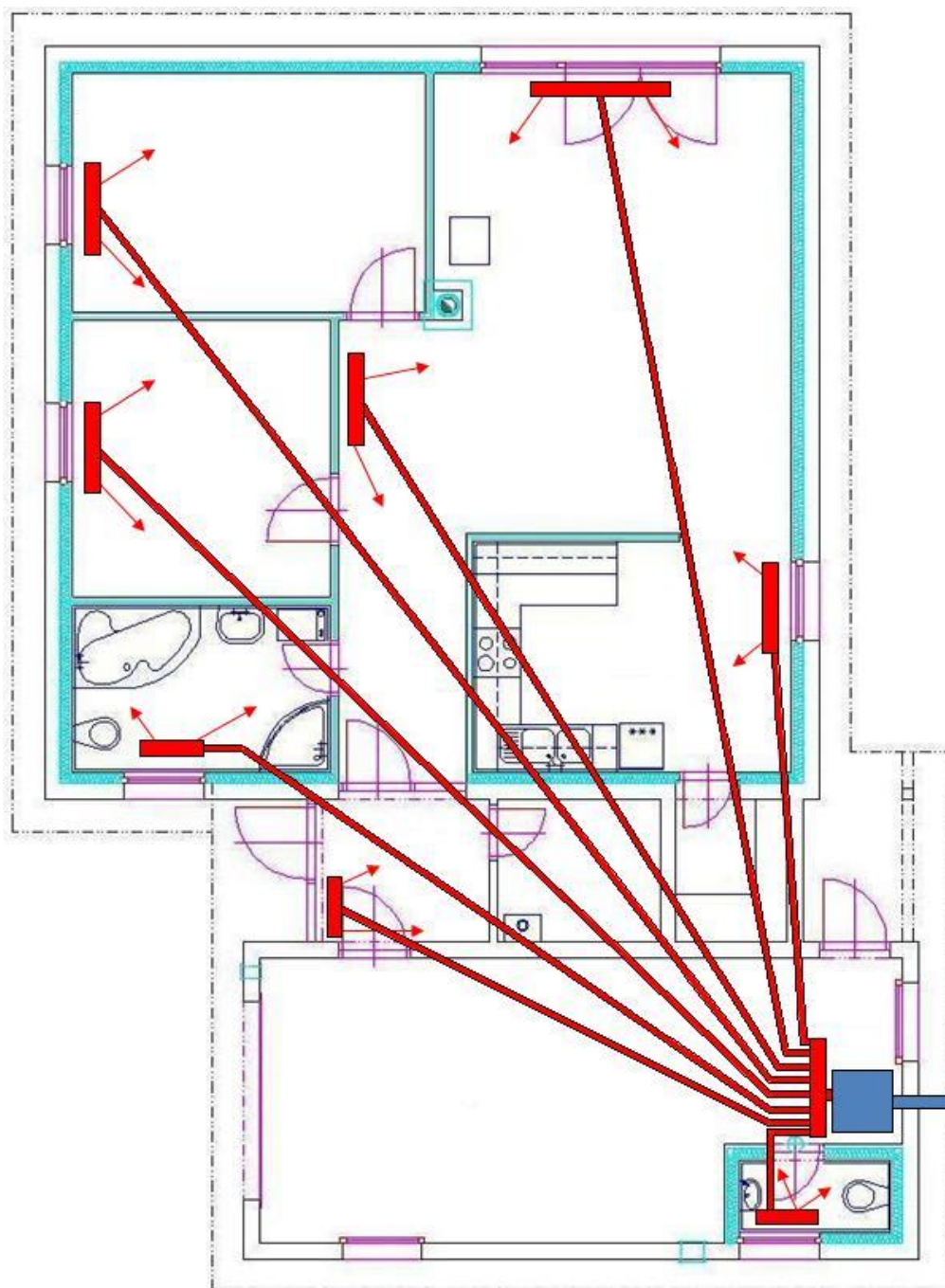
Regulace množství přiváděného a odváděného vzduchu bude zajištěna škrticími klapkami umístěnými na každé rozvodné větvi. Ovládací prvek v místnosti bude regulovat natočení dvojice klapky, z nichž jedna bude umístěna na přívodním potrubí a druhá na potrubí odvodním. Navržené opatření zajistí, aby bylo stejné množství vzduchu přiváděno i odváděno a nedocházelo k přetlaku, případně podtlaku v místnosti.

Použité škrticí klapky vyrábí firma Atrea pod označením KEL 160 LM230, kde číslo 160 udává průměr potrubí v milimetrech a LM230 je označení servopohonu ovládacího klapku. Stejná škrticí klapka bude použita také na odvodním potrubí.



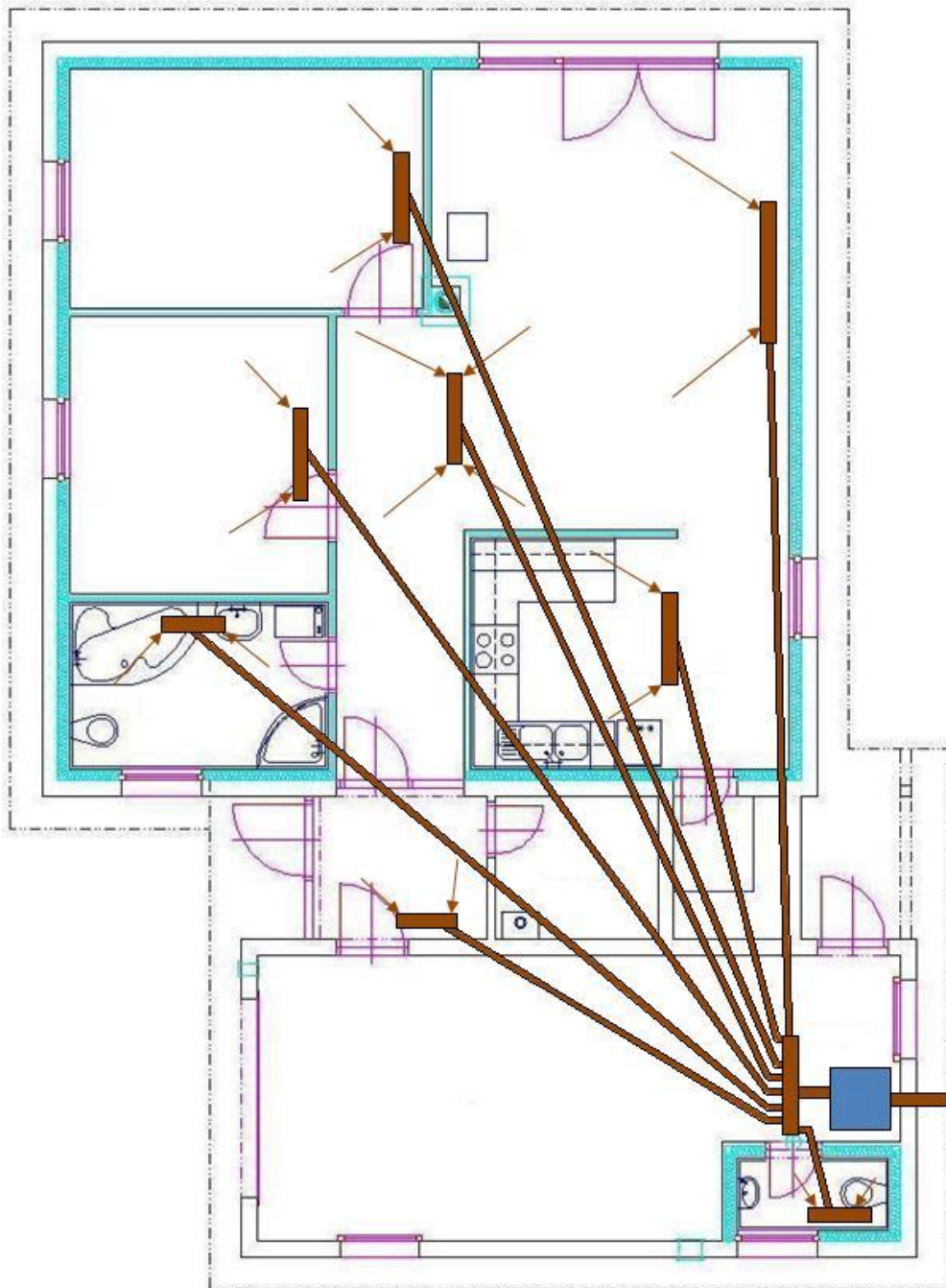
Obr. 16 – Škrticí klapka KEL 160

Na škrticí klapku bude navazovat přechodka z kulatého profilu na profil plochý označená PPK 200x50/Ø160. Dalším prvkem jsou ploché podlahové kanály PKP 200x50, které budou v místnostech ukončeny podlahovou mřížkou s regulací PMR 4“–10“ 250x97. Ploché podlahové kanály budou po domě rozvedeny podle obrázku č. 18.



Obr. 17 – Rozmístění podlahových kanálů

Odtah odpadního vzduchu je veden kruhovým stropním potrubím, které začíná v místnostech kruhovými talířovými ventily odtahu vzduchu KO 160. Na talířové ventily jsou napojeny ohebné hadice se zvukovou izolací Sono M Ø160. Před vstupem do ventilační jednotky je odvodní potrubí vybaveno škrticími klapkami KEL 160 LM230, které jsou párově propojeny s příslušnými klapkami na potrubí přívodním.



Obr. 18 – Rozmístění odvodního stropního potrubí

5.6 Návrh solárního systému

Při návrhu solárního systému je třeba nejprve stanovit potřebnou plochu kolektorů. Potřeba TUV v litrech na osobu je při teplotě vody 45 °C a střední spotřebě v domácnosti 30 – 80 l / osoba · den, což odpovídá přibližně 1,2 – 3,2 kWh / osoba · den.

Nejdříve je třeba stanovit celkovou potřebu TUV na den A_{TUV} , kterou získáme vynásobením průměrného množství potřeby TUV a počtu lidí v objektu

$$A_{TUV} = 50 \cdot \text{počet osob} = 50 \cdot 4 = 2000 \quad [\text{l/den}] \quad (23)$$

Kolektory typu Sol 27 plus jsou (dle údajů výrobce) schopny ohřát v dané solární klimatické zóně až 125 l TUV na kolektor. Tuto hodnotu je však potřeba upřesnit pro daný sklon střechy a nasměrování kolektoru (hodnota 125 l je udána pro orientaci směrem na jih a úhel postavení kolektoru 45°). Střecha objektu, na které budou solární kolektory umístěny má úhel 20°, přičemž činitel pro tento úhel je 1,1. Kolektory budou orientovány směrem k jihu. Hodnoty korekčního činitele kolektoru jsou uvedeny v tabulce č. 13.

Nasměrování kolektoru	Korekční činitel	Úhel postavení kolektoru	Korekční činitel
Jih	1	45°	1
Jihozápad	1,1	20°	1,1
Jihovýchod	1,1	30°	1,1
Západ	1,2	60°	1,2
Východ	1,2	70°	1,2

Tab. 13 – Korekční činitel solárních kolektorů

Dílčí korekční činitele se pro výpočet sčítají. Výsledný korigovaný výkon solárních panelů P_{SPK} se vypočte dle vztahu

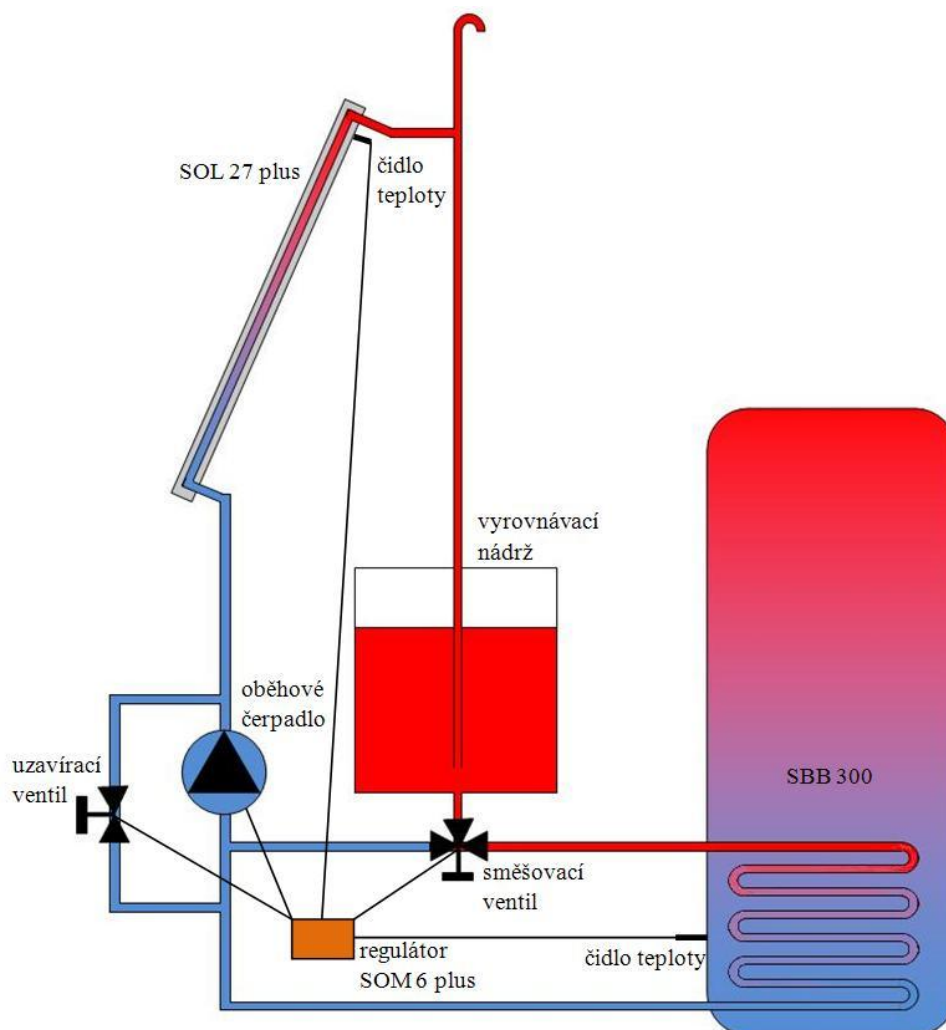
$$P_{SPK} = \frac{A_{TUV}}{\text{korekční činitel}} = \frac{125}{1,1} = 113 \quad [\text{l/den}] \quad (24)$$

Dále se vydělí potřeba TUV A_{TUV} korigovaným výkonem solárních panelů P_{SPK}

$$\text{Počet solárních kolektorů} = \frac{A_{TUV}}{P_{SPK}} = \frac{200}{113} \approx 1,8 \quad (25)$$

Pro ohřev požadovaného množství teplé užitkové vody je dle výpočtu potřeba dvou solárních panelů Sol 27 plus.

Solární kolektory budou napojeny na „otevřený“ solární systém. Schematický náčrt systému je na obrázku č. 19.



Obr. 19 – Navržený solární systém

Otevřenost solárního systému spočívá v nahrazení expanzní nádoby vyrovnávací nádrží. V případě období, kdy nebude solární systém využíván a mohlo by dojít k přehřátí, případně zamrznutí teplotné kapaliny v systému je možné kapalinu vypustit ze solárních kolektorů a přívodního potrubí a nechat ji pouze ve vyrovnávací nádrži a tepelném výměníku (umístěném v akumulární nádrži na TUV). Princip je poměrně jednoduchý, stačí otevřít uzavírací ventil, který vytvoří bypass okolo oběhového čerpadla a samovolně nechat kapalinu stéct do níže umístěných částí, mezi kterými je i vyrovnávací nádrž. Při konstrukci systému je třeba zajistit, aby byl konec potrubí, přivádějící teplou vodu ze solárních kolektorů do vyrovnávací nádrže, za každé situace ponořen. V opačném případě by při chodu systému mohlo docházet ke „šplouchání“ což by bylo při dlouhodobém používání systému nepříjemné pro obyvatele domu.

5.6.1 Výpočet velikosti vyrovnávací nádrže

Velikost vyrovnávací nádrže je závislá na množství kapaliny, které je v systému a které je potřeba v případě vypnutí systému do nádrže napustit.

Objem teplotnosného média kolektorů						
Typ	Objem [l]		Počet [ks]	=	Objem [l]	
SOL 27 plus	1,72	x	2	=	3,44	
Kolektorová skupina	0,39	x	1	=	0,39	
celkem					3,83	
Objem teplotnosného média potrubí						
Měděná trubka	Objem [l/m]		Délka [m]	=	Objem [l]	
18 x 1,0	0,2	x	10	=	2	
Objem teplotnosného média výměníku						
Typ	Objem [l]		Počet [ks]	=	Objem [l]	
SBB 300	14,7	x	1	=	14,7	
Mezisoučet						
Kolektorové pole [l]		Potrubí [l]		Tepelný výměník [l]		Mezisoučet [l]
3,83	+	2	+	14,7	=	20,53
Rezerva kapaliny						
Mezisoučet [l]		Součinitel		Rezerva kapaliny [l]		
20,53	x	0,05	=	1,03		
Celkový součet objemu teplotnosného média H - 30 L						
Mezisoučet [l]		Rezerva kapaliny [l]		Součet [l]		
20,53	+	1,03	=	21,56		
Expanzní objem						
Celkový objem [l]		Objem kolektoru [l]		Součinitel		Expanze [l]
21,56	-	3,83	x	0,0849	=	1,5
Potřebný objem vyrovnávací nádrže						
Celkový objem teplotnosného média [l]			Expanzní objem [l]		Objem nádrže [l]	
21,56			+	1,5	=	23,06

Tab. 14 – Výpočet velikosti vyrovnávací nádrže

Celkový objem teplotnosného média je 23,06 litrů a proto jsem navrhl vyrovnávací nádrž s objemem 25l. V solárním systému je použita H-30 L, případně, H-30 LS.

5.6.2 Komponenty solárního systému

K použitému solárnímu systému doporučuje výrobce instalační sadu SOKI 7 plus, obsahující mimo jiné třístupňové oběhové čerpadlo, pojistný ventil na tlak 6 bar, manometr a regulátor SOM 7 plus.

Solární regulátor SOM 7 plus umožňuje automatické ovládání oběhového čerpadla a směšovacího ventilu pro dosažení efektivního chodu solárního systému. V případě, nižší teploty kapaliny v solárním systému, ve srovnání se zásobníkem TUV, je možné přesměrovat systém, aby nedocházelo k ochlazování teplé užitkové vody v zásobníku.

Ačkoliv otevřený systém zabraňuje vzniku nebezpečného přetlaku (pro jednotlivé komponenty), tak je z hlediska bezpečnosti lepší opatřit systém pojistným ventilem. Použité solární panely jsou schopny pracovat s maximálním přetlakem 6 kPa (6 bar), tuto hodnotu má i výrobcem doporučený pojistný ventil, který je součástí instalační sady.

Pracovní přetlak P_{PS} v solární soustavě se zjednodušeně vypočte podle vzorce

$$P_{PS} = 1,3 + (0,1 \cdot h) \text{ [bar]} \quad (26)$$

h – vzdálenost manometru od nejvyššího bodu soustavy [m]

Výška hřebene domu je 4,7 m nad okolním terénem. Nejvýše umístěný bod solárního systému je výšce 4,5 m a manometr je umístěn 0,5 m, tedy $h = 4$ m.

$$P_{PS} = 1,3 + (0,1 \cdot 4) = 1,7 \text{ [bar]} \quad (27)$$

Výslednou hodnotu 1,7 bar je třeba nastavit na manometru umístěném v čerpadlové skupině solárního systému.

Výrobcem doporučený průtok pro dané solární kolektory má hodnotu 1 – 2,5 l/min, což je hodnota pro kterou je nutné vybrat oběhové čerpadlo. Při použití množství dvou kolektorů je možné je zapojit do série díky čemuž se nesčítá průtok jednotlivých kolektorů. Navržené oběhové čerpadlo Vilo Star ST20/6-3 má tři režimy chodu Eco (1,5 l/min, 12 W), Normal (2,1 l/min, 22 W) a Max (2,5 l/min, 37 W), které vyhovují použitým solárním panelům.

5.6.3 Dimenzování zásobníku TUV

Nejjednodušší způsob stanovení potřebné velikosti Akumulačního zásobníku na TUV vychází z počtu osob v budově. Při 4 osobách a průměrné spotřebě 50 l/den je potřeba minimálně 200 l/den. Velikost zásobníku se však volí na 1,5 denní zásobu, tedy $V_{ZTUV} = 200 \cdot 1,5 = 300$ l.

Další metodou na výpočet velikosti zásobníku na TUV je dimenzování podle normy ČSN 06 0320. Opět je nutné stanovit denní potřebu teplé vody V_{TUVk} . Celkové potřebné množství teplé vody tedy spočteme podle vzorce č. 27.

$$V_{TUVk} = \text{počet osob} \cdot V_{TUVo} = 4 \cdot 80 = 320 \text{ l/den} = 0,32 \text{ m}^3/\text{den} \quad (28)$$

Použitá norma dále vyžaduje výpočet energie potřebné na ohřátí daného množství vody ze vstupní teploty t_1 na teplotu výstupní t_2 .

$$E_{TUV} = c \cdot V_{TUVk} \cdot (\theta_2 - \theta_1) \text{ [kWh/den]} \quad (29)$$

c – měrná tepelná kapacita vody (1,161 [kWh/kg·K])

V_{TUVk} – požadované množství teplé vody [l/den]

θ_2 – teplota výstupní vody (45 [°C])

θ_1 – teplota vstupní vody (10 [°C])

Pro dané podmínky vypočteme.

$$E_{TUV} = 1,161 \cdot 0,32 \cdot (45 - 10) = 13 \text{ kWh/den} \quad (30)$$

Při ohřevu a dopravě teplé vody dochází ke ztrátám a je nutné počítat se ztrátovým koeficientem alespoň $z = 0,5$. Ztrátový výkon tedy vypočteme podle vzorce.

$$E_{TUVz} = E_{TUV} \cdot z = 13 \cdot 0,5 = 6,5 \text{ kWh/den} \quad (31)$$

Výsledná celková potřeba energie na ohřátí daného množství vody je součtem předchozích dvou hodnot.

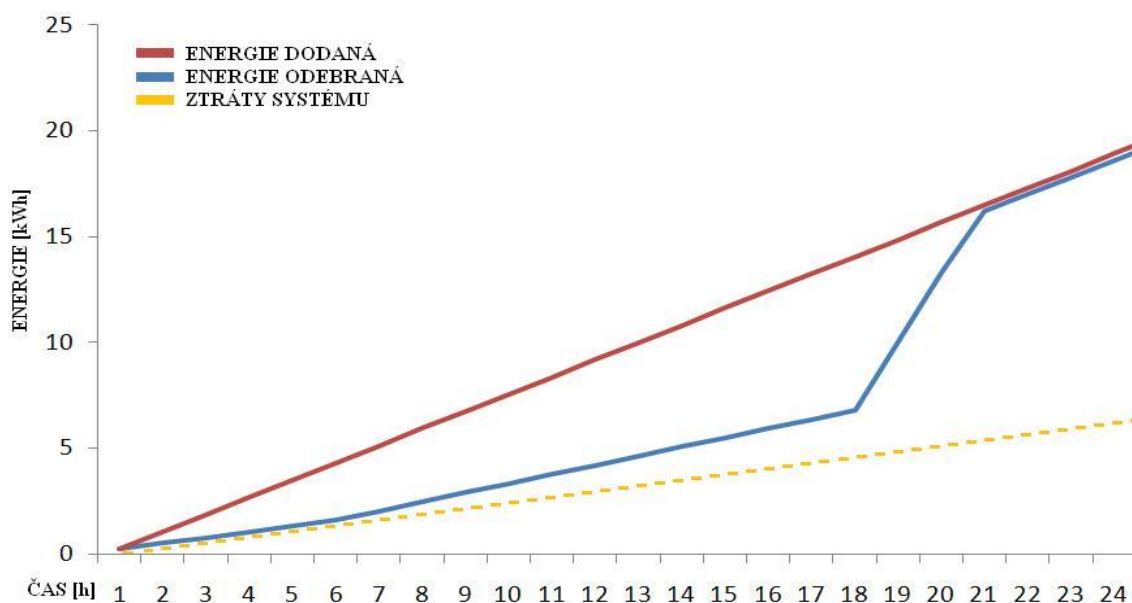
$$E_{TUVall} = E_{TUV} + E_{TUVz} = 13 + 6,5 = 19,5 \text{ kWh/den} \quad (32)$$

Denní spotřeba teplé vody není rovnoměrná a je možné ji rozdělit do několika intervalů. Předpokládaný procentuální odběr i dělení na intervaly vychází z použité normy.

Časový interval [h]		Odběr TUV	Odebraná energie
od	do	[%]	[kWh]
0	5	0	0
5	17	35	6,82
17	20	50	9,75
20	24	15	2,92

Tab. 15 – Předpokládaný odběr TUV

Největší rozdíl mezi dodávkou a předpokládaným odběrem energie má hodnotu $\Delta E_{max} = 7,25 \text{ kWh}$ a vycházející na 17 hodinu.



Obr. 20 – Graf rozdílu dodávky a předpokládaného odběru energie

Ze získaných hodnot již lze vypočítat objem zásobníku TUV podle vzorce

$$V_{ZTUV} = \frac{\Delta E_{max}}{c \cdot (\theta_2 - \theta_1)} \quad [\text{m}^3] \quad (33)$$

ΔE_{max} – největší rozdíl mezi dodávanou a odebíranou energií [Wh]

c – měrná tepelná kapacita vody (1,161 [kWh/kg·K])

θ_2 – teplota výstupní vody (45 [°C])

θ_1 – teplota vstupní vody (10 [°C])

Pro dané podmínky vypočteme

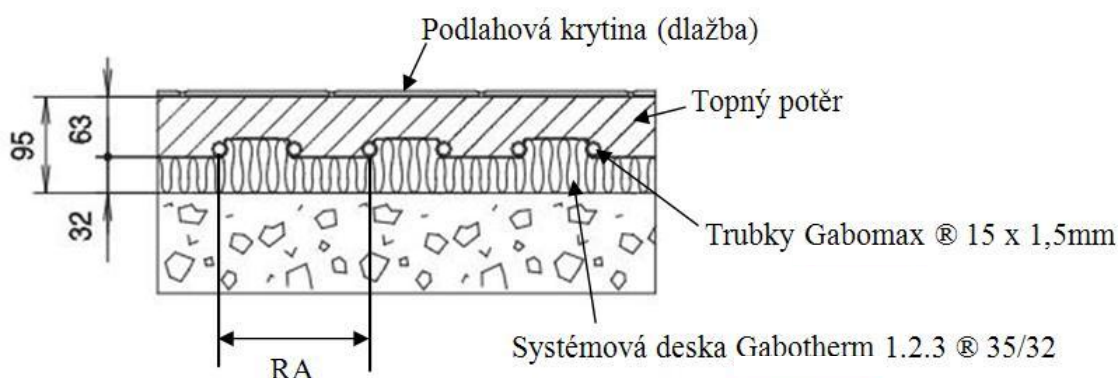
$$V_{ZTUV} = \frac{7250}{1,161 \cdot (45 - 10)} \approx 179l \quad (34)$$

Při volbě velikosti zásobníku TUV na 1,5 denní rezervu je požadovaný objem $V_{ZTUV} = 118 \cdot 1,5 = 268,5l$. Získaná hodnota je nižší než u předchozího výpočtu. Je však nutné přihlídnout k faktu, že předpokládaný odběr energie je pouze teoretický a může se v praxi výrazně lišit. I z tohoto důvodu vybírám (výrobce doporučenu) akumulční nádrž na TUV SBB 300 plus o objemu 300 l.

5.7 Návrh podlahového vytápění

Pro vyšší komfort je v koupelně nainstalováno podlahové vytápění, které slouží jako doplněk k vytápění teplovzdušnému. Hlavním úkolem použitého podlahového vytápění je zamezit nepříjemnému pocitu studených nohou, nikoliv vytápění místnosti.

Komponenty podlahového vytápění pochází ze systému Gabotherm® 1.2.3. Použitý systém se skládá ze tří částí - polybutenových trubek Gabomax® 15 x 1,5 mm, systémové desky z tvarovaného polystyrénu a rozdělovací stanice s integrovanými násuvnými spojkami. Systémová deska má pravidelné výstupky, pomocí kterých je možné rozmístit trubky v požadovaných rozestupech. Použití polystyrénu jako materiálu na výrobu systémové desky zabraňuje nežádoucímu unikání tepla směrem dolů. Trubky podlahového vytápění jsou propojeny s rozdělovací stanicí Gabotherm® GTF – VSS.



Obr. 21 – Řez podlahovým vytápěním

Tepelný výkon podlahového vytápění jsem nevolil s ohledem na vytápění celého prostoru, ale pouze jako komfortní doplněk. Celkový ztrátový výkon místnosti je 345,1 W. Pro zajištění příjemné teploty podlahy bude dostačující vytápění o výkonu 200 W.

Při výpočtu je potřeba určit využitelnou plochu pro podlahové vytápění. Podlahová plocha koupelny je $A_i = 6,82$ m, přičemž využitelná plocha je přibližně $A_{iv} = 4$ m. Z obou předchozích hodnot je možné vypočítat potřebnou hustotu tepelného toku q_K .

$$q_K = \frac{P_P}{A_{iv}} \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (35)$$

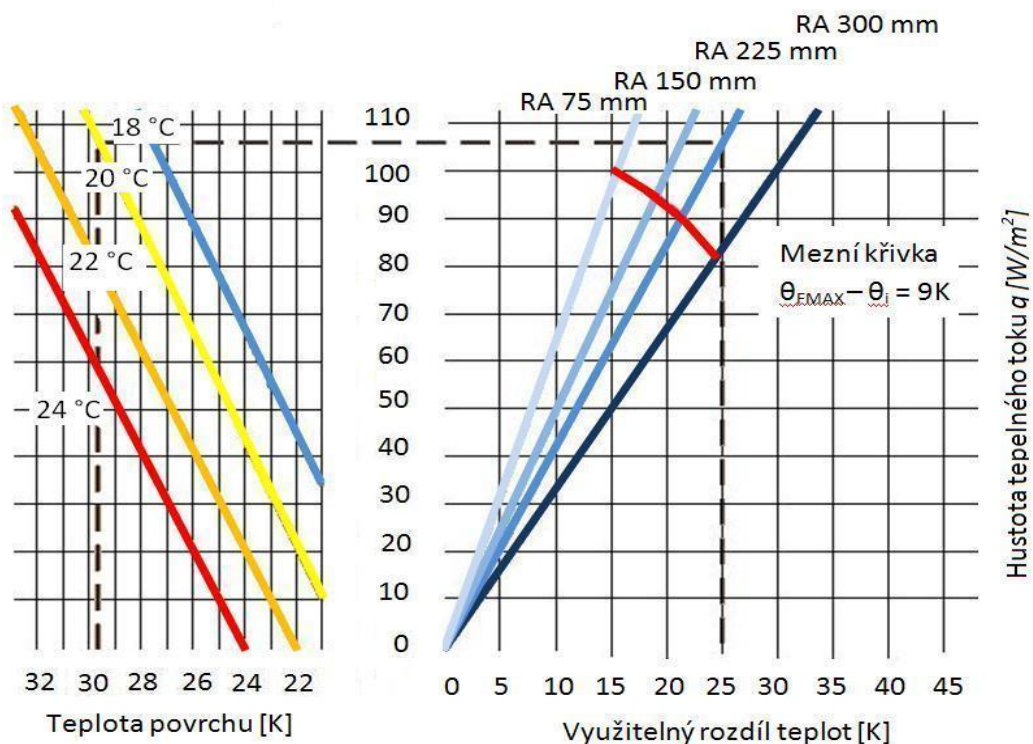
P_P – požadovaný výkon podlahového vytápění [W]

A_{iv} – využitelná plocha místnosti [m²]

Pro dané podmínky vypočteme

$$q_K = \frac{200}{4} = 50 \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (36)$$

Při navrhování výkonů topných těles je nutné zajistit, aby nebyla překročena mezní hustota tepelného toku podlahového vytápění. Na základě charakteristických křivek jsem zvolil rozestupy jednotlivých trubek podlahového vytápění na $RA_{Koupelna} = 150$ mm. Využitelný rozdíl teplot má hodnotu $\Delta\theta_{koupelna} = 10,5$ K. Teplonosnou látku jsem proto navrhl na teplotu 35 °C. Z mezních křivek lze stanovit povrchovou teplotu podlahy θ_p . Pro navržený systém a teplotu vzduchu v místnosti $\theta_i = 24$ °C bude hodnota $\theta_p = 28,5$ °C.



Obr. 22 – Charakteristické křivky podlahového vytápění

Jako poslední krok je potřeba vypočítat hmotnostní průtok v okruhu podlahového vytápění \dot{M}_{pvk} . Pro tento výpočet je nutné stanovit teplotní pokles mezi kapalinou vstupující a vystupující z podlahového vytápění. Pro použitý systém je vhodný pokles $\Delta\theta_{PVR} = 5$ K. Součinitel 1,1 odpovídá prostupu 10-ti % tepla směrem dolů.

$$\dot{M}_{pvk} = 1,1 \cdot \frac{P_P}{c \cdot \Delta\theta_{PVR}} \cdot 3600 \text{ [kg/h]} \quad (37)$$

P_P – požadovaný výkon podlahového vytápění [W]

c – měrná tepelná kapacita vody (4180 [J/kg · K])

$\Delta\theta_{PVR}$ – pokles teploty mezi vstupní a výstupní vodou [K]

Pro dané parametry tedy vypočteme

$$\dot{M}_{pvk} = 1,1 \cdot \frac{200}{4180 \cdot 5} \cdot 3600 = 37,8 \text{ [kg/h]} \quad (38)$$

Místnost	Plocha místnosti	Vnitřní výpočtová teplota	Požadovaný výkon	Hustota tepelného toku	Rozestupy trubek	Hmotnostní průtok
	A_i [m ²]	θ_i [°C]	P_P [W]	q_K [W/m ²]	$RA_{Koupelna}$ [mm]	\dot{M}_{pvk} [kg/h]
Koupelna + WC	6,82	24	200	50	150	37,8

Tab. 16 – Parametry podlahového vytápění

Technické parametry zařízení použitých ve vzduchotechnickém, vytápěcím a solárním systému jsou uvedeny v příloze P V s názvem „Technické parametry použitých zařízení“.

6 NÁVRH SILNOPROUDÝCH ROZVODŮ

Mezi navrhované silnoproudé instalace patří veškeré elektrické rozvody v domě, sloužící k napájení spotřebičů, hlavně světelné a zásuvkové obvody. Hlavní domovní skříň navrhovaného objektu je napojena k rozvodné síti nízkého napětí pomocí připojovacího vedení. Skříň je umístěna na východní stěně (na garáži) ve výšce 0,6 m nad zemí a je provedená jako koncová, se třemi pojistkami. Z hlavní domácí skříňě vede hlavní domovní vedení do bytové modulární rozvodnice. Vedení je provedeno kabelovým svazkem s jednožilovými izolovanými vodiči přes zeď do garáže, kde je na vnitřní straně stěny umístěna v plastové skříni modulární rozvodnice.

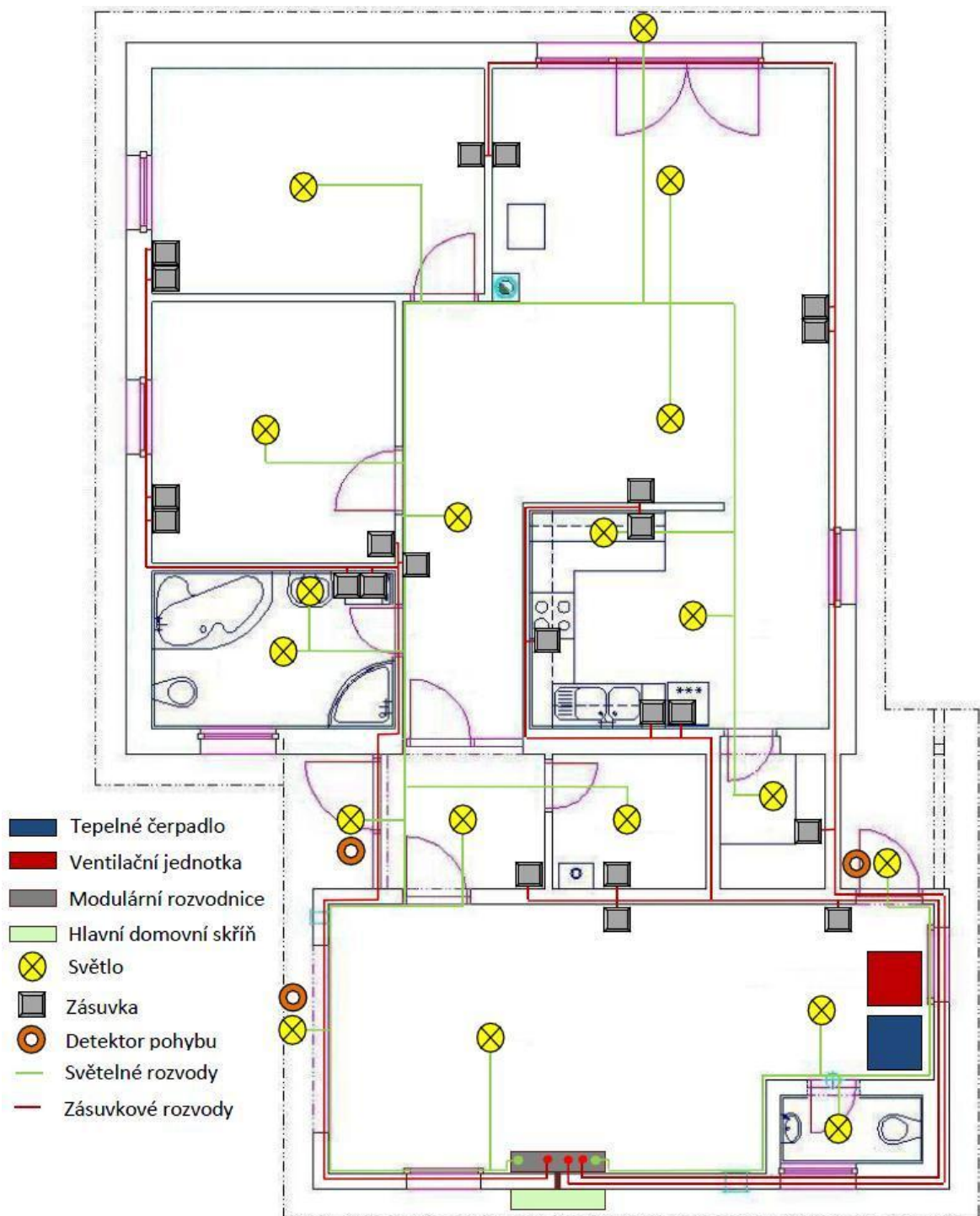
V rozvodnici je umístěn hlavní vypínač, jednotlivé proudové chrániče a jističové moduly. V domě jsou použity tři elektrické okruhy, a to světelný, zásuvkový a obvod pro vzduchotechniku, tepelné čerpadlo a vybavení s ním spojené. Zásuvkové obvody jsou z rozvodnice vedeny pod omítkou ve zdech a ústí v jednotlivých místnostech 30 cm nad podlahou.

V místnostech jako je kuchyň nebo koupelna jsou umístěny zásuvky i ve vyšších místech (nad pracovní deskou v kuchyni, u zrcadla v koupelně), čímž je zajištěn snazší přístup uživatelů. Navrženy jsou také zásuvky pro vestavěné spotřebiče – troubu, vařič, mikrovlnná troubu, myčku na nádobí, případně pračku.

Rozvodnice použitá pro koupelňové rozvody je vybavena proudovým jističem, aby byla zajištěna vyžadovaná míra bezpečnosti. Jednotlivé elektrické prvky jsou zde navíc rozmístěny v souladu s normou ČSN 33 2000-7-701. Podrobnější popis navržených rozvodů je v kapitole 6.2 s názvem „Koupelňové rozvody“.

Obvody pro světla jsou vedeny pod omítkou a stropním obložením. Světla jsou umístěna s ohledem na dosažení nejlepších světelných podmínek v daných místnostech. Ovládání jednotlivých světel je řešeno dotykovými ovladači umístěnými na vhodných místech.

Více informací o ovládání světel je uvedeno v kapitole č. 7.3 s názvem „Ovládání osvětlení a žaluzií“. Osvětlení venkovních ploch (vchod, terasa) je vyřešeno světly ovládanými snímačem pohybu, případně možností stálého zapnutí. Rozmístění jednotlivých zásuvek a světel je na obrázku č. 24 s názvem „Světelné a zásuvkové rozvody“.



Obr. 23 – Světelné a zásuvkové rozvody

6.1 Návrh zásuvkových obvodů

Každá instalovaná zásuvka musí být v souladu s platnou normou, a proto je nutné, aby byla vybavena ochranným kolíkem připojeným na ochranný vodič. V použité normě ČSN 33 2000, části 46N6.1 – 46N6.5 je kladen důraz pouze na zapojení ochranného vodiče ve smyslu ochrany před úrazem. Postavení ostatních vodičů je dle normy, z hlediska bezpečnosti, nepodstatné, přesto je však doporučeno dodržení standardního rozestavení, tedy nulový vodič vpravo a fázový vodič vlevo, při pohledu zepředu.

Jištění zásuvkových obvodů je provedeno jističi 10 A a 16A. Na jednom okruhu může být maximálně deset zásuvek, bez ohledu na použitý jistič. Jistič určuje maximální současný příkon, ten činí pro jistič 10 A celkem 2300 VA ($230V \cdot 10A$) a pro jistič 16 A hodnotu 3680 VA ($230V \cdot 16A$).

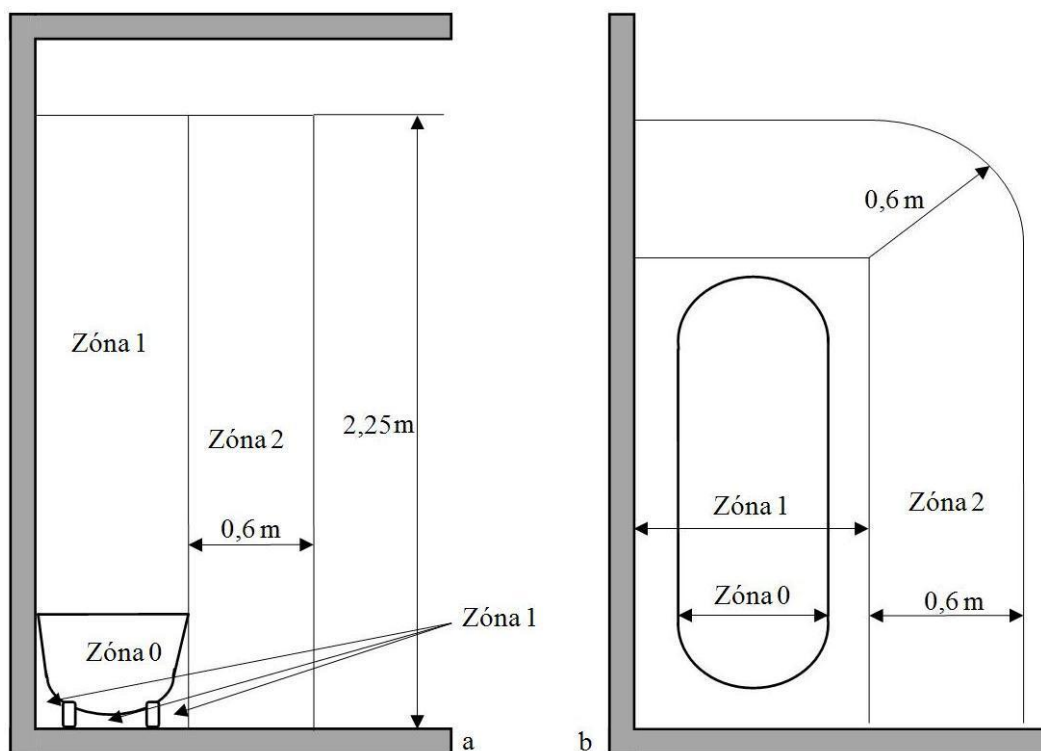
Elektrické rozvody v bytě jsou provedeny v síti TN-S, což znamená, že je jeden bod uzemněný přímo a neživé části elektrických zařízení jsou s tímto bodem spojeny prostřednictvím ochranného vodiče, který je oddělen od vodiče středního.

Místnost	Počet zásuvek	Určení
Zádveří	1	vysávání, sušení bot ...
Chodba	1	vysávání ...
Koupelna + WC	2	pračka, holicí strojek, fěn ...
Pokoj 1	3	vysávání, PC, lampa, rádio ...
Pokoj 2	3	vysávání, PC, lampa, rádio ...
Obývací pokoj	4	vysávání, TV, audiovizuální vybavení ...
Kuchyně	4	kuchyňské spotřebiče vestavěné i ostatní ...
Spíž	1	sušička ovoce ...
Šatna	1	vysávání
Garáž	1	nabíjení autobaterie, vrtačka
Technická místnost	1	napájení zahradních zařízení
WC	0	není potřeba

Tab. 17 – Zásuvky v jednotlivých místnostech

6.2 Návrh koupelnových rozvodů

Veškeré rozvody a umístění elektrických spotřebičů, respektive zásuvek je provedeno v souladu s normou ČSN 33 2000-7-701.



Obr. 24 – Ochranné zóny

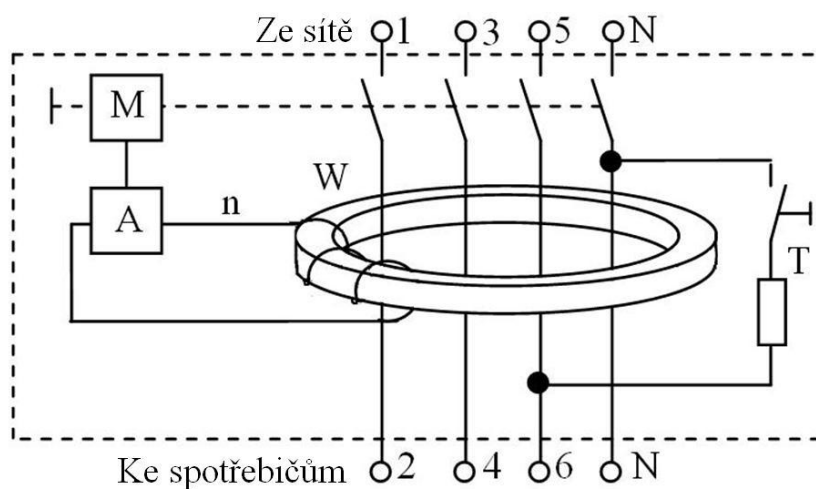
Zóna 0 – Vnitřní prostor koupací nebo sprchové vany. V zóně nesmí být umístěny žádné spínací zařízení, je povolena ochrana malým napětím AC 12 V.

Zóna 1 – Je ohraničena povrchem podlahy a nejvýše upevněným sprchovým výtokem. V případě, že je sprchový výtok upevněn níže, je zóna ohraničena výškou 2,25 m. Zóna 1 je dále ohraničena plochami obalujícími sprchovou, nebo koupací vanu. Spotřebiče umístěné v zóně 1 musí být konstruovány pro tuto zónu a musí být chráněny proudovým jističem s citlivostí 30 mA. Spínací zařízení mohou obsluhovat pouze obvody s malým napětím AC 12V. Zdroj bezpečného napětí musí být umístěn mimo zóny 0 a 1.

Zóna 2 – je ohraničena povrchem podlahy a horizontální rovinou odpovídající nejvýše upevněnému sprchovému výtoku minimálně však 2,25 m nad podlahou. Ve svislé rovině je zóna 2 definována rovnoběžnou svislou plochou ve vzdálenosti 0,6 m od hranice zóny 1. V zóně 2 mohou být umístěny světla, ventilátory a zařízení pro zóny 1 a 2, případně vířivé vany, které ovšem musí vyhovovat daným podmínkám. Dále mohou být v zóně 2 umístěny zásuvky pro obvody malého napětí, pokud jsou jištěny proudovým chráničem do 30 mA.

Ve všech třech uvedených zónách musí být zajištěna ochrana před dotykem živých částí pomocí přepážek nebo krytů se stupněm ochrany alespoň IPXXB a IP2X. Dále musí být použity izolace schopné odolat napětí AC 500 V po dobu jedné minuty.

Jako doplňková ochrana je použit proudový jistič s vypínacím reziduálním proudem nižším než 30 mA. Proudový jistič zajišťuje včasné odpojení spotřebiče, pokud dojde k situaci vzniku nebezpečného dotykového napětí. Vypínací čas proudového jističe se pohybuje v řádech jednotek až desítek milisekund.



M – spínací mechanismus A – diferenciální relé
 n – sekundární vinutí W – součtový transformátor
 T – testovací tlačítko

Obr. 25 – Proudový jistič

6.3 Návrh světelných obvodů

Energetická úspornost moderních domů nespočívá pouze v kvalitním zateplení a ve využití obnovitelných zdrojů energie, ale také v efektivním nakládání s energií. V domě budou využity úsporná zářivková, LED, případně halogenová svítidla. Pro místa, kde není vyžadována plynulá regulace osvětlení (viz tabulka č. 18 s názvem „Světla v jednotlivých místnostech“), budou využity světla zářivkového typu. Pro místnosti, kde je vyžadováno časté rozsvěcování a zhasínání, nejsou světla zářivkového typu vhodná, protože zářivky mají obecně delší dobu mezi zapnutím a poskytnutím plného světelného výkonu. Proto zde budou použity světla typu LED. Pro místnosti, kde je plánované využití světelných schémata (plynulá regulace intenzity, případně využití jiné barvy světla), jsem navrhl využití zářivkových světel s elektronicky regulovatelným předřadníkem.

Umístění dotykových spínačů bude ve výšce přibližně 1,2 m nad podlahou, případně na jiném, lépe dostupném místě. Jištění světelného okruhu je provedeno jističem s hodnotou 10 A.

Místnost	Počet světel	Typ a určení
Zádveří	2	Zářivkové (venkovní osvětlení), LED (vnitřní prostor)
Chodba	1	LED (vnitřní prostor)
Koupelna + WC	2	LED (vnitřní prostor, zrcadlo)
Pokoj 1	1	Zářivkové (vnitřní prostor) + případné stojaté světlo (lampa)
Pokoj 2	1	Zářivkové (vnitřní prostor) + případné stojaté světlo (lampa)
Obývací pokoj	3	Zářivkové (venkovní osvětlení, vnitřní prostor) + případné stojaté světlo (lampa)
Kuchyně	2	Zářivkové (vnitřní prostor + pracovní plocha)
Spíž	1	LED (vnitřní prostor)
Šatna	1	LED (vnitřní prostor)
Garáž	2	Zářivkové (venkovní osvětlení, vnitřní prostor)
Technická místnost	2	Zářivkové (venkovní osvětlení, vnitřní prostor)
WC	1	LED (vnitřní prostor)

Tab. 18 – Světla v jednotlivých místnostech

Kromě hlavních světel, uvedených v tabulce, budou v domě nainstalována také světla orientační. Ve výšce přibližně 15 cm nad podlahou umístěná LED světla budou osvětlovat interiér jemným světlem, jehož intenzita však bude dostačující pro orientaci v prostoru. Tyto světla budou využívána v noci, aby neoslňovala obyvatele, ale zároveň zabránila jejich kolizím s objekty v domě.

7 POUŽITÍ INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ PRO ŘÍZENÍ BUDOVY

Jako centrální ovládací prvek hlavních systémů v domě (vzduchotechnika, tepelné čerpadlo, osvětlení, žaluzie, zabezpečení) je využit otevřený sběrniceový systém KNX. Využití sběrnice umožňuje zjednodušení a automatizaci každodenních procesů a přináší nové možnosti v podobě délkového ovládání, případně komfortního osvětlení.

Vlastní sběrnice KNX je tvořena párem vodičů, na které jsou napojeny jednotlivé prvky (ovládací a ovládané a řídicí a řízené). Jako přenosové médium jsou využity metalické vodiče typu TP, neboli kroucená dvojlinka. Vodiče jsou rozvedeny po domě společně se silovým vedením a jsou uloženy v lištách pod omítkou.

Mezi hlavní prvky, které jsou napojeny na sběrnici patří napájecí zdroj, který dodává jednotlivým prvkům elektrickou energii. Zdroj je připojen k síti nízkého napětí AC 230 V, 50Hz, přičemž výstupní napětí má hodnotu DC 29 V a maximální odebíraný proud je 320 mA. Pro napájení prvků jsem vybral zdroj Merten Power supply 320 REG-K, který je designován pro napájení až 64 prvků. Napájecí zdroj je spolu s dalšími řídicími moduly uchycen na liště v zádveři. Lišta je instalována ve vestavěné skříni a proto nejsou technické prvky sběrnice KNX viditelné. Více technických informací o napájecím zdroji Merten Power supply 320 REG-K a ostatních prvcích sběrnice KNX je v příloze P VI s názvem „Prvky KNX“.

7.1 Návrh ovládání vzduchotechnické, topné a solární soustavy

Regulační soustava vzduchotechnického vytápěcího systému je rozdělena do tří částí. První částí je regulace výkonu tepelného čerpadla, další je regulace otáček ventilátoru vzduchotechnické jednotky a poslední je ovládání natáčení škrticích klapek v přívodním a odtahovém potrubí ventilačního systému.

Ovládací prvky budou vždy umístěny v příslušných místnostech na lehce dostupných místech. Kromě individuálního ovládání parametrů pro danou místnost budou nainstalovány také dva centrální body. Jeden z centrálních ovládacích bodů bude umístěn v obývacím pokoji, druhý v zádveři.

7.1.1 Regulace tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron WPC 5 cool je vybaveno vestavěným regulátorem WPMi. Regulátor je schopný vyhodnocovat hodnoty ze sedmi teplotních vstupů a podle nich automaticky upravovat výkon tepelného čerpadla. Rozmístění jednotlivých teplotních čidel je zobrazeno na obrázku č. 37 s názvem „Rozmístění prvků KNX“.

Regulátor umožňuje využití několika pracovních režimů, mezi kterými je také program protibakteriální dezinfekce na ochranu před legionelou. Dále je možné přednastavit hodinové programy pro topný okruh a okruh TUV. Regulátor je také schopen zajišťovat ochranné činnosti pro tepelné čerpadlo, jako je krátkodobé spínání kompresoru a oběhových čerpadel v době odstávky a jako ochranu čerpadla před zamrznutím.

Komunikace regulátoru s PC, případně dalšími prvky probíhá přes vestavěné rozhraní RS 232. Diagnostika tepelného čerpadla je možná i bez nutnosti připojení k PC, díky diagnostickému systému, který zobrazuje případné chyby na vestavěný displej.

Ovládání tepelného čerpadla je možné pomocí originálního dálkového ovládání s čidlem teploty a vlhkosti pro regulátor WPMi. Použití tohoto ovládání je nezbytné, pokud má být využíván systém chlazení, protože kromě teploty kontroluje ovládací zařízení také rosný bod a tím zamezuje tvorbě kondenzátu. Čidlo bude umístěno na přístupném místě v obývacím pokoji.

Komunikace prvků KNX s regulátorem WPMi probíhá přes datové rozhraní KNX/RS 232 s modelovým označením JUNG 2131REG. Připojení tepelného čerpadla k síti KNX umožní dálkové ovládání, nejen pomocí originálního WPMi ovladače, ale také přes centrální body v obývacím pokoji a zádveří a z internetu, případně přes GSM.

Při instalaci tepelného čerpadla budou do regulátoru WPMi nastaveny hodinové programy pro topný i TUV okruh. Nastavení programů se bude automaticky upravovat podle údajů z teplotních čidel. Úpravy aktuálního nastavení bude možné provádět přes všechny centrální a dálkové komunikační body.

7.1.2 Regulace ventilační jednotky

Ventilační jednotka LWZ 170 má vlastní integrovaný regulátor, který obstarává hlavní řízení jednotky. Regulátor se k jednotce připojuje třížilovým vodičem s minimálním průřezem $0,5 \text{ mm}^2$ a maximální vzdáleností 30m. Obě podmínky budou splněny a ovládací panel bude umístěn v obývacím pokoji vedle dálkového ovládání regulátoru tepelného čerpadla. Na panelu regulátoru je možné ovládat vypínání a zapínání přístroje, nastavit stupeň ventilátoru, případně plynule nastavit objemový tok. Vestavěná diagnostika regulátoru plynule informuje uživatele o teplotách a provozním stavu ventilační jednotky a zobrazuje upozornění na nutnost výměny filtrů, popřípadě o poruše. Regulátor bude napojen na síť KNX přes datové rozhraní KNX/RS 232, což zajistí možnost dálkového ovládání se stejnými možnostmi jako u tepelného čerpadla.

Regulátor pracuje s třístupňovým nastavením otáček ventilátoru. Základní nastavení bude při instalaci upraveno tak, aby první stupeň odpovídal šetřicímu režimu s objemovým průtokem $55 \text{ m}^3/\text{h}$, který bude vhodné využívat v době nepřítomnosti osob v objektu. Druhý stupeň bude nastaven na objemový průtok $110 \text{ m}^3/\text{h}$, což přesně odpovídá požadované nutnosti výměny vzduchu. Tento stupeň bude využíván jako základní nastavení pro stálé používání. Poslední třetí stupeň bude nastaven na hodnotu $200 \text{ m}^3/\text{h}$ a bude sloužit k intenzivnímu provětrání objektu.

7.1.3 Regulace natáčení škrticích klapek

Množství přiváděného a odváděného vzduchu do jednotlivých místností bude dáno kombinací objemového toku z ventilační jednotky a nastavení škrticích klapek ve vzduchotechnických rozvodech. Při instalaci bude provedeno měření a nastavení pozice škrticí klapky pro dosažení požadovaného objemového toku pro každou místnost.

Pro ovládání servopohonů na jednotlivých klapkách bude využit akční člen GIRA Heating actuator 6-gang, který je vybaven šesti nezávisle ovládanými výstupy, přičemž na každý z těchto výstupů je možné připojit až čtyři servomotory ventilů.

Šest výstupů pro navrhovaný objekt stačí, protože budou ovládané škrticí klapky pro místnosti – zádveří, koupelna + WC, pokoj 1, pokoj 2, obývací pokoj a kuchyně. Připojení klapek na výstupy akčního členu je zobrazeno v tabulce č. 19.



Obr. 26 – Akční člen Gira

Ovládání škrticích klapek		
Výstup akčního členu	Počet ovládaných škrticích klapek X (přívod vzduchu) + Y (odvod vzduchu)	Ovládané místnosti
1	1 + 1	Zádveří
2	2 + 2	Koupelna + WC, druhé WC
3	1 + 1	Pokoj 1
4	1 + 1	Pokoj 2
5	2 + 2	Obývací pokoj, chodba
6	1 + 1	Kuchyně

Tab. 19 – Ovládání škrticích klapek

Pomocí softwaru přiloženého k akčnímu členu GIRA Heating actuator 6-gang, je možné nastavit rozsah pohybu jednotlivých škrticích klapek, aby se předešlo možnému poškození klapky. Akční člen umožňuje také skupinové ovládání všech připojených klapek najednou. Při delším nevyužívání klapek (což je málo pravděpodobné) je možné nastavit, aby se jednou za určený čas provedlo pootočení klapek v celém rozsahu a navrácení do původní pozice, a tak by mělo předejít možnému „zatuhnutí“ pohyblivých částí.

V případě nekorektní funkčnosti použitých servopohonů LM230, dodávaných spolu se škrticími klapkami firmou Atrea (výrobce neuvádí, zda jsou kompatibilní s prvky KNX), je vhodné využít servopohonů Merten Thermoelectric valve drive 230 V. U servopohonů Merten je zaručena 100% funkčnost s použitým akčním členem.

Ověření správné spolupráce akčního členu se servopohonu LM230 je nutné provést v ranných fázích montáže vzduchotechnického systému, aby bylo možné, v případě potřeby, zajistit alternativní řešení v podobě pohonů Merten.

Ovládání jednotlivých škrticích klapek a tím i teploty vzduchu v jednotlivých místnostech bude možné na ovladačích v uvedených místnostech, případně přes centrální body a také dálkově. Více o použitých ovládacích prvcích v kapitole 7.4 s názvem „Ovládání prvků KNX“.

7.2 Návrh regulace solárního systému

Solární systém je vybaven regulátorem SOM 7 Plus, který je součástí instalační sady SOKI 7 plus. Regulátor je spolu s oběhovým čerpadlem umístěn v tepelně izolovaném obalu, na přívodním potrubí k solárním panelům. Veškerá regulace výkonu oběhových čerpadel a směšovacích ventilů je plně automaticky ovládaná v závislosti na hodnotách získaných z teplotních čidel umístěných v jednotlivých částech solárního systému (před a za solárními panely, před a za tepelným výměníkem). Ovládání solárního systému proto nevyžaduje žádný zásah uživatele.

Hlavně z důvodu možnosti monitorování hodnot získané energie je solární regulátor SOM 7 Plus propojen přes rozhraní RS 232 pomocí datové brány JUNG 2131REG. Přes centrální ovládací prvky je možné solární systém vypínat a zapínat a také monitorovat a ukládat data o hodnotách získané energie. Data mohou být dále využívána pro databázové účely a přetvářena do přehledných tabulek a grafů. Získané dlouhodobé hodnoty mohou být využity pro výpočet finanční návratnosti solárního systému, případně jako záznam počasí v daném období.

7.3 Návrh ovládání osvětlení a žaluzií

Ovládání osvětlení za pomoci prvků sběrnice KNX umožňuje použití ergonomicky příjemných a designově vkusných kombinovaných (spojené s ovládáním teploty) ovládacích prvků. Mezi možnosti plynoucí z využití sběrnice KNX patří také plynulá regulace osvětlení a tzv. světelné scény.

Pro zajištění plynulé regulace osvětlení je nutné použít prvek zvaný stmívač (dimmer), případně binární výstup s možností funkce stmívání. V navrženém objektu budou pro ovládání světel využity binární výstupy MERTEN Switch actuator REG-K/4x230/10 with manual mode.

Rozsvěcování a zhasínání světel bude prováděno jedním krátkým stiskem ovládacího tlačítka. Zapnutí, případně vypnutí světla proběhne plynule, nikoliv skokově. Rychlost zapínání a vypínání osvětlení však musí být téměř srovnatelná s klasickým osvětlením, aby se efekt nestal spíše otravným a zdržujícím. Podržením ovládacího tlačítka dojde ke zvýšení, případně snížení intenzity světla v závislosti na délce držení tlačítka. Díky tomu je možné nastavit si intenzitu osvětlení přesně podle aktuálních požadavků.

Ovládání žaluzií řídí akční člen s názvem Venetian blind actuator 4-gang, 24 V - Instabus EIB/KNX, který je schopen ovládat 4 servomotory. Žaluzie budou umístěny v místnostech - pokoj 1, pokoj 2, obývací pokoj a kuchyně. Jejich ovládání bude možné přes kombinované ovladače v jednotlivých místnostech, případně přes centrální ovládací body a také dálkově. Akční člen bude ovládat žaluzie ve třech různých režimech. První je režim manuální, kde bude možné manuálně regulovat výšku žaluzie v každém pokoji. Druhý režim je automatický a bude spuštěn při uzamčení domu a to hlavně v letních měsících. Automaticky budou upravovány výšky jednotlivých žaluzií podle hodnot z jednotlivých teplotních čidel tak, aby nedocházelo k přehřívání objektu a bylo možné snížit výkon klimatizace. Posledním režimem je poloautomatický režim pracující podle aktuálně použitých světelných scén.

7.3.1 Světelné scény

Světelné scény jsou v podstatě kombinací nastavení několika prvků, případně systémů, které je možné ovládat jedním tlačítkem. Přínosem je hlavně minimalizace úkonů nutných, nebo vyžadovaných pro konkrétní, často opakovanou činnost. Uživatel domu si může světelné scény vymyslet, případně upravit podle své potřeby, nicméně v navrženém domě budou nastaveny tyto scény.

Standard – používána jako výchozí nastavení, pokud není třeba některé speciální scény. Použitá scéna je platná pro celý dům.

Popis scény – vzduchotechnický systém je nastavený na druhý stupeň, teploty v místnostech, osvětlení a žaluzie jsou nastaveny na manuální ovládání.

TV – používána v případě sledování TV jako hlavní činnosti (nikoliv pouze jako kulisy). Použitá scéna je platná pouze pro místnost, kde byla aktivována.

Popis scény – snížení osvětlení na minimální hodnotu, zatažení žaluzií.

Noc – použití poté, kdy jde poslední obyvatel domu spát, případně po překročení nastavené hodiny (s možností automatického vypnutí v nastavenou hodinu ráno).

Platnost pro celý dům.

Popis scény – vypnutí osvětlení, zatažení žaluzií, aktivace světelných tras za pomoci orientačních světel, které po stisku tlačítka rozsvítí trasy do koupelny a obývacího pokoje, aktivace alarmu, uzamčení venkovních dveří, snížení teploty vytápění o 2°C, vypnutí TV.

ECO – používaná v případě malého obsazení domu, například pouze jednou osobou.

Platnost pro celý dům.

Popis scény – scéna se týká okolních místností, nikoliv místnosti, kde byla aktivována. V místnostech je vypnuto osvětlení, snížení výkonu vzduchotechnického systému na režim jedna a přestavění škrticích klapek, aby byla zachována požadovaná výměna vzduchu v místnosti, kde byla scéna aktivována. Každé dvě hodiny zvýšení výkonu vzduchotechnického systému po dobu pěti minut na zajištění provětrání místností.

MAX – používaná v případě velkého obsazení domu, například několikačlennou návštěvou. Použitá scéna je platná pro obývací pokoj.

Popis scény – Zvýšení výkonu vzduchotechnického systému na stupeň tři, úprava natočení škrticích klapek, aby v ostatních místnostech kromě obývacího pokoje nedocházelo ke zvýšení výměny vzduchu, zvýšení výkonu tepelného čerpadla pro rychlejší ohřev TUV.

Prázdný dům krátkodobě – používaná v případě, kdy bude dům prázdný po kratší dobu, například při odchodu obyvatel do práce, školy a podobně.

Platnost pro celý dům.

Popis scény – Snížení výkonu vzduchotechnického systému na stupeň jedna, snížení výkonu tepelného čerpadla na úroveň postačující k vytápění / chlazení objektu, zatažení žaluzií tak, aby nedocházelo k přehřívání domu, vypnutí světel, aktivace alarmu systému EZS a uzamčení venkovních dveří.

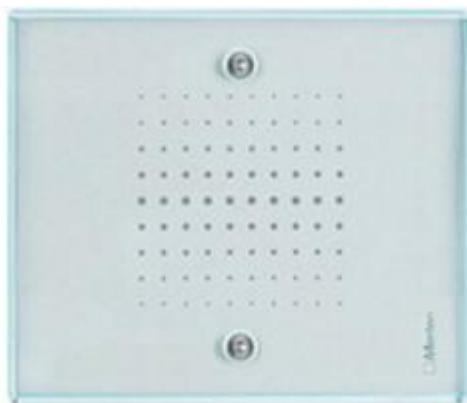
Prázdný dům dlouhodobě – scéna používaná v případě, kdy bude dům prázdný po delší dobu (odjezd obyvatel na dovolenou).

Platnost pro celý dům.

Popis scény – vychází z krátkodobé verze scény a navíc dvakrát denně přidává zvýšení výkonu vzduchotechnického systému na stupeň tři na dobu pěti minut pro intenzivní provětrání objektu. Do scény je možné nastavit automatické spínání vnitřního osvětlení v různém pořadí pro vytvoření iluze obydleného domu, jako ochranu před zloději.

7.4 Návrh ovládání prvků KNX

Ovládání osvětlení na chodbě, v šatně, spíži, garáži, technické místnosti a druhém WC bude zajištěno dotykovým senzorem Merten TRANCENT. Pro změnu stavu světla (zhasnuto → rozsvíceno, nebo naopak) se stačí snímače dotknout. Delším dotykem je možné plynule měnit intenzitu světla, což je možné využít u světla na chodbě.



Obr. 27 – Dotykový senzor Merten

V místnostech, kde je kromě světla potřeba ovládat také klimatizaci a žaluzie (zádveří, koupelna + WC, pokoj 1, pokoj 2 a kuchyně) budou použity kombinované ovladače ABB 6326-24G-101 Busch-triton Switch Sensor 3-fold with Thermostat FM, které umožňují ovládání tří zařízení – vytápění, osvětlení a žaluzie. Ovládací prvek je vybaven termostatem pro automatickou regulaci teploty a také jako orientační teploměr pro uživatele. Nastavené hodnoty jsou zobrazovány na vestavěném podsvíceném displeji.



Obr. 28 – Kombinovaný ovladač ABB

V domě jsou instalovány dva centrální ovládací body. V zádveři je umístěn dotykový displej INZennio Z38. Na displeji je možné nastavit osvětlení a parametry vzduchotechnického systému a tepelného čerpadla. Dále je možné nastavovat světelné scény, které budou spouštěny s minutovým zpožděním, aby bylo možné opustit dům, než dojde k aktivaci scény a tím i alarmu. Menu ovládacího přístroje je v českém jazyce.



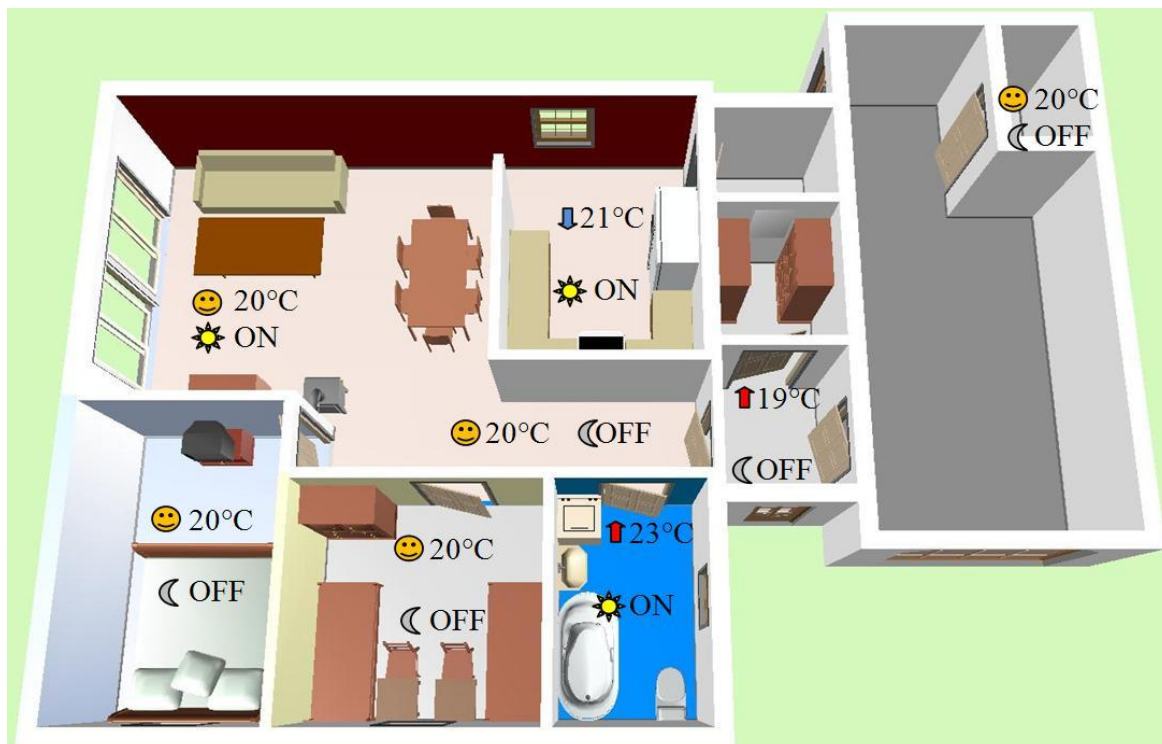
Obr. 29 – INZennio Z38S

Hlavním ovládacím centrem domu je barevná dotyková obrazovka výrobce Eelectron, model Theo 12“. Ačkoliv výrobce produkt označuje jako touch panel, tedy dotykový panel (obrazovka), tak by bylo přesnější mluvit o zařízení typu tablet PC, vzhledem k přítomnosti CPU, RAM, případně operačního systému Windows CE.NET 5.0.



Obr. 30 – Eelectron Theo

Barevný dotykový displej spolu s operačním systémem a kvalitním softwarovým vybavením umožňuje široké možnosti využití. Ovládání osvětlení, žaluzií, vytápění, solárního systému je provedeno ve dvou úrovních. První je možnost zobrazení celého objektu s informačními ikonami a hodnotami o jednotlivých systémech. Vybráním dané místnosti se zobrazení přepne do druhé úrovně, kde je zobrazena pouze vlastní místnost a možnost nastavení jednotlivých parametrů.

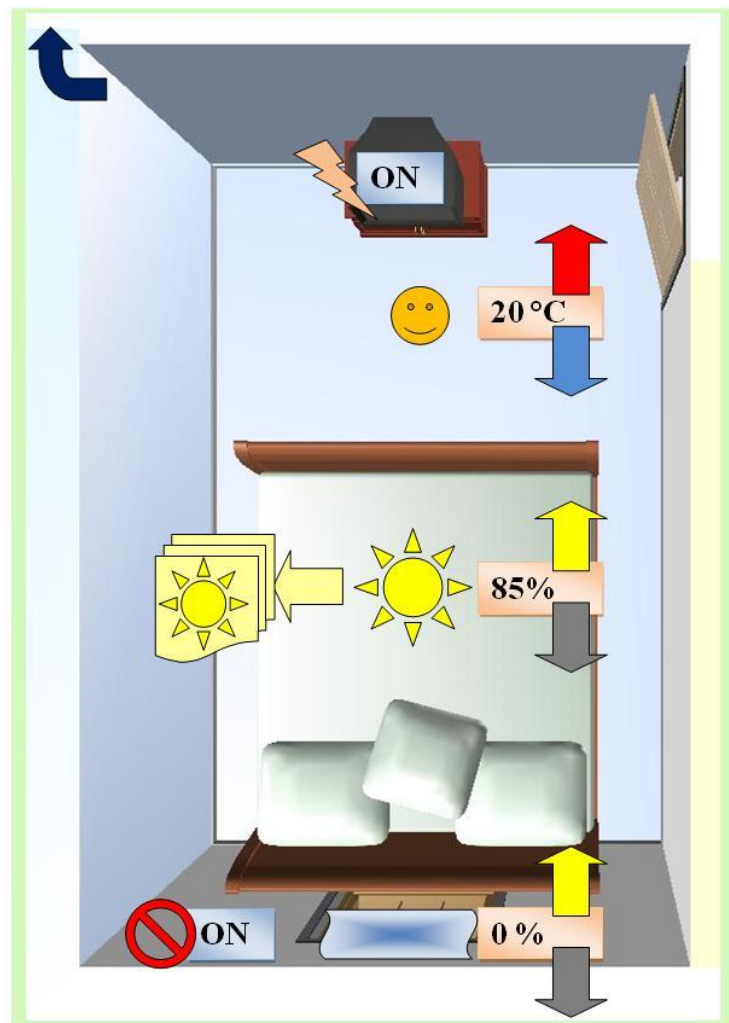


Obr. 31 – Ovládací rozhraní

Každá místnost je označena dvěma hodnotami a příslušnými symboly zvyšujícími přehlednost zobrazení.

Teplota je označena číselnou hodnotou a symbolem 😊 v případě, že je v místnosti dosaženo požadované teploty, nebo symboly ↑ a ↓ v případě, že se v místnosti teplota zvyšuje nebo snižuje. Druhý údaj ukazuje, zda je v místnosti zapnuté hlavní světlo. V případě, že ano, tak je zobrazen symbol ☀ a nápis ON. V opačném případě doplňuje nápis OFF symbol ☾.

Pro přesnější informace a možnosti nastavení stačí stisknout displej v místě odpovídající dané místnosti a dojde k přepnutí zobrazení na druhou úroveň. Ta obsahuje více informací a umožňuje podrobnější nastavení jednotlivých systémů.



Obr. 32 – Ovládací rozhraní druhé úrovně

Aktuální nastavení osvětlení je v procentech uvedeno vedle symbolu ☀. Novou hodnotu je možné nastavit pomocí šipek na pravé straně. Stejným způsobem jsou ovládány žaluzie 🪟 a teplota vzduchu 😊. Symbol 📺 slouží pro vstup do menu světelných scén. V levém horním rohu umístěný symbol ↶ je možné využít pro návrat na předchozí obrazovku (menu první úrovně).

V případě, že je místnost vybavena televizí, je menu doplněno o další tlačítko s podobou ⚡ a ovládacím prvkem po pravé straně s možností ON/OFF. Poledním ovládaným systémem je EZS, který je pro danou místnost možné aktivovat přes tlačítko se symbolem 🚫.

Každý systém – ventilační jednotka, tepelné čerpadlo, škrticí klapky, solární systémem, osvětlení, EZS, a EPS má také vlastní menu s možnostmi nastavit parametry pro každý konfigurovatelný prvek systému. Speciální menu je také věnováno světelným scénám.



Obr. 33 – Menu světelných scén

7.4.1 Dálkové ovládání

Monitoring a ovládání jednotlivých systémů v domě je možné také dálkově prostřednictvím internetové, případně GSM brány. Přístup z internetu probíhá přes datovou bránu IN/S 3.1 Internet Gateway firmy ABB. Ovládání jednotlivých prvků je prováděno prostřednictvím webového rozhraní, jehož logika ovládání odpovídá centrálním ovládacím prvkům.



Obr. 34 – Internetové rozhraní ovládání prvků KNX

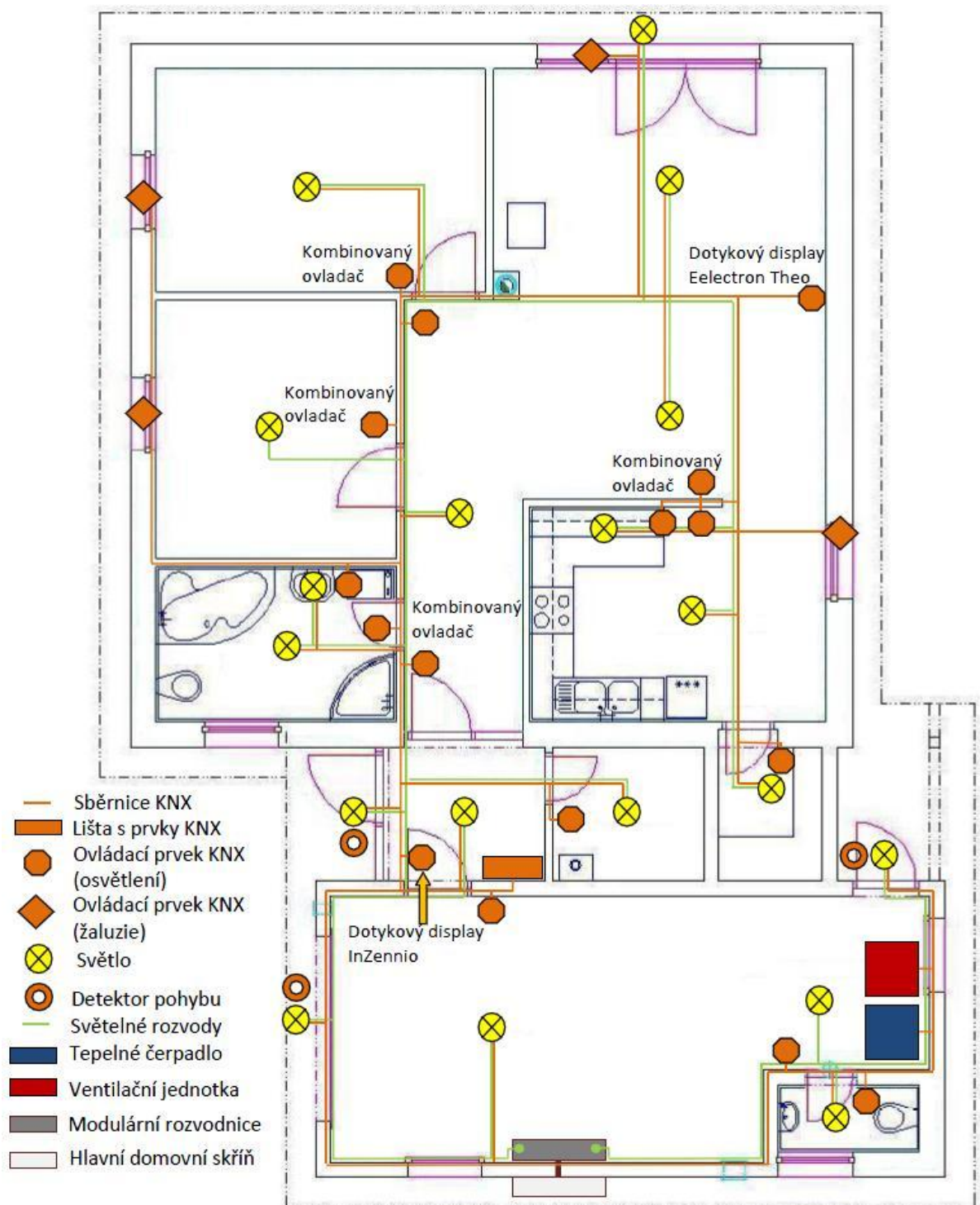
Prostřednictvím datové GSM brány TG/S 3.1 Telephone Gateway firmy ABB je možné ovládání systémů v domě pomocí mobilního telefonu. Ovládání přes zjednodušené rozhraní mobilního telefonu nabízí stejné možnosti jako webové rozhraní. Ovládání je možné provádět jak telefony vybavenými operačním systémem (Symbian, Windows mobile), tak i ostatními telefony s podporou jazyku Java.



Obr. 35 – GSM ovládací rozhraní

7.5 Použité prvky sběrnice KNX

V domě je rozmístěno množství ovládacích a ovládaných, případně řídicích a řízených prvků sběrnice KNX. Ovládací prvky v podobě vypínačů, kombinovaných ovladačů a dotykových obrazovek jsou umístěny v příslušných místnostech. Systémové prvky jako napájecí modul, komunikační a datové brány, případně akční členy jsou umístěny na liště v zádveří. Rozmístění prvků je zobrazeno na obrázku č. 36.



Obr. 36 – Rozmístění prvků KNX

Propojení, umístění, funkce a využití jednotlivých prvků sběrnice KNX je popsáno v tabulce č. 20. Jednotlivé prvky jsou vždy v tabulce zapsány pouze jednou, i v případě, že se fyzicky v systému nacházejí vícekrát.

Tabulka neobsahuje prvky systémů EZS a EPS, které jsou pro lepší přehlednost uvedeny v tabulce č. 21 v kapitole 8. 3. s názvem „Použité prvky systémů EZS a EPS“.

Prvek KNX	Model	Umístění	Funkce	Ovládaný prvek	Umístění ovládaného prvku
Systémové a řídicí prvky					
Napájecí zdroj	Merten Power supply	Zádveří	Napájení prvků sběrnice KNX	Prvky sběrnice KNX	Celý dům
Datové rozhraní RS232/KNX	JUNG 2131REG	Zádveří	Prostředník komunikace prvků se sběrnici KNX	Tepelné čerpadlo, ventilační jednotka, solární systém	Technická místnost
Akční člen	GIRA Heating actuator	Zádveří	Ovládání servopohonů škrticích klapek	Servopohony LM230, MERTEN Thermolectric valve drive 230 V	Technická místnost
Servopohon škrticích klapek	MERTEN Thermolectric valve drive	Technická místnost	Natačení škrticích klapek	Škrticí klapky	Technická místnost
Binární výstup	MERTEN Switch actuator	zádveří	Plynulá regulace osvětlení	Světla	Celý dům
Akční člen	Venetian blind actuator 4-gang	Zádveří	Ovládání servopohonů žaluzií	Žaluzie	Pokoj 1, pokoj 2, obývací pokoj, kuchyně
Komunikační prvky					
Komunikační brána	IN/S 3.1 Internet Gateway	zádveří	Připojení sběrnice KNX k internetu	Prvky sběrnice KNX	Všechny prvky sběrnice KNX
Komunikační brána	TG/S 3.1 Telephone Gateway	zádveří	Připojení sběrnice KNX k síti GSM	Prvky sběrnice KNX	Všechny prvky sběrnice KNX
Ovládací prvky					
Ovládací prvek	Merten TRANCENT	Šatna, spíž, garáž, technická místnost	Ovládání světel	Světla	Šatna, spíž, garáž, technická místnost
Kombinovaný ovládací prvek	6326-24G-101 Busch-triton Switch Sensor	Zádveří, koupelna, pokoj 1, pokoj 2	Ovládání světel, vytápění a žaluzií	Světla, škrticí klapky, žaluzie	Zádveří, koupelna, pokoj 1, pokoj 2
Dotykový display	INZennio Z38S	Zádveří	Ovládání všech systémů napojených na sběrnici KNX	Prvky sběrnice KNX	Celý dům
Dotykový display	Eelectron Theo	Obývací pokoj	Ovládání všech systémů napojených na sběrnici KNX	Prvky sběrnice KNX	Celý dům

Tab. 20 – Použité prvky KNX

8 ELEKTRONICKÉ ZABEZPEČOVACÍ A POŽÁRNÍ SYSTÉMY

V navrženém domě jsou nainstalovány také systémy EZS a EPS. Oba zmíněné systémy značně zvyšují bezpečnost obyvatel a majetku a tím přispívají ke komfortu bydlení. Elektronické zabezpečovací systémy (EZS) využívají prvků plášťové a prostorové ochrany a zaměřují se převážně na ochranu objektu vůči nechtěnému vniknutí cizí osoby. Elektronické požární systémy (EPS) slouží primárně k detekci kouře, případně nebezpečných plynů.

Navržené systémy EZS a EPS využívají pro svou činnost prvků standardu KNX, čímž je zajištěna plná kompatibilita s ostatními systémy. Integrace bezpečnostních systémů do sítě KNX umožňuje jejich centrální a dálkové ovládání.

8.1 Návrh elektronického zabezpečovacího systému

Hlavním úkolem systému EZS je včasná detekce vniku cizí osoby do objektu. Typickými místy nechtěných průniku osob do objektu jsou okna a dveře a na ty je potřeba soustředit hlavní pozornost při zabezpečování objektu. Navrhovaný systém EZS bude kombinovat prvky plášťové ochrany, mezi kterými se jedná o akustické senzory rozbití skla v okně a magnetické dveřní senzory. Plášťovou ochranu bude doplňovat ochrana prostorová, využívající detektory pohybu.

Akustické senzory rozbití skla budou nainstalovány na oknech v koupelně, obou pokojích, kuchyni a také na francouzském okně v obývacím pokoji. Okna garáže, technické místnosti a druhého WC nejsou chráněny akustickými čidly, protože jejich umístění a malá velikost, značně snižují možnost průniku osoby touto cestou. V případě, že by se i přesto do garáže, nebo technické místnosti někdo oknem dostal, tak bude detekován pohybovým čidlem. Použité senzory Gira Glass-breakage sensor vyhodnocují akustické signály charakteristické pro zvuk tříštění skla. Elektronika čidla minimalizuje možnost falešných poplachů.

Magnetické senzory slouží k detekci otevření dveří, případně oken. Každý senzor se skládá ze dvou částí, z magnetu a vlastního senzoru. Magnetická část je připevněna na pohyblivé části dveří (oken). Senzory budou umístěny na vstupních a garážových dveřích a také na dveřích do technické místnosti. Vybrané magnetické senzory pochází z nabídky firmy WINN, která se dlouhodobě zabývá výrobou bezpečnostních prvků pro budovy.

Při aktivaci světelné scény s názvem *Noc* dojde k aktivaci prvků plášťové ochrany, tedy akustického senzoru rozbití oken a magnetických senzorů oken a dveří. Detektory pohybu uvnitř objektu zůstávají vypnuty.

Všechny prvky systému EZS jsou napojeny na sběrnici KNX. Prostřednictvím datové GSM brány bude navržený systém informovat majitele domu o alarmech systému EZS. Uživateli bude zaslána textová zpráva obsahující informace o čidle, které zaznamenalo nekorektní situaci a také o době počátku alarmu. Systém EZS je také možné ovládat a monitorovat přes internetové rozhraní ovládání prvků KNX.

Dveřní videotelefon lze také nepřímo zařadit mezi prvky elektronického zabezpečovacího systému. Použitý videotelefon Gira Door communication System bude nainstalován u vstupní brány. Prvek je plně kompatibilní se systémem KNX a jeho audiovizuální výstup bude zobrazován přes dotykový display Eelectron Theo.

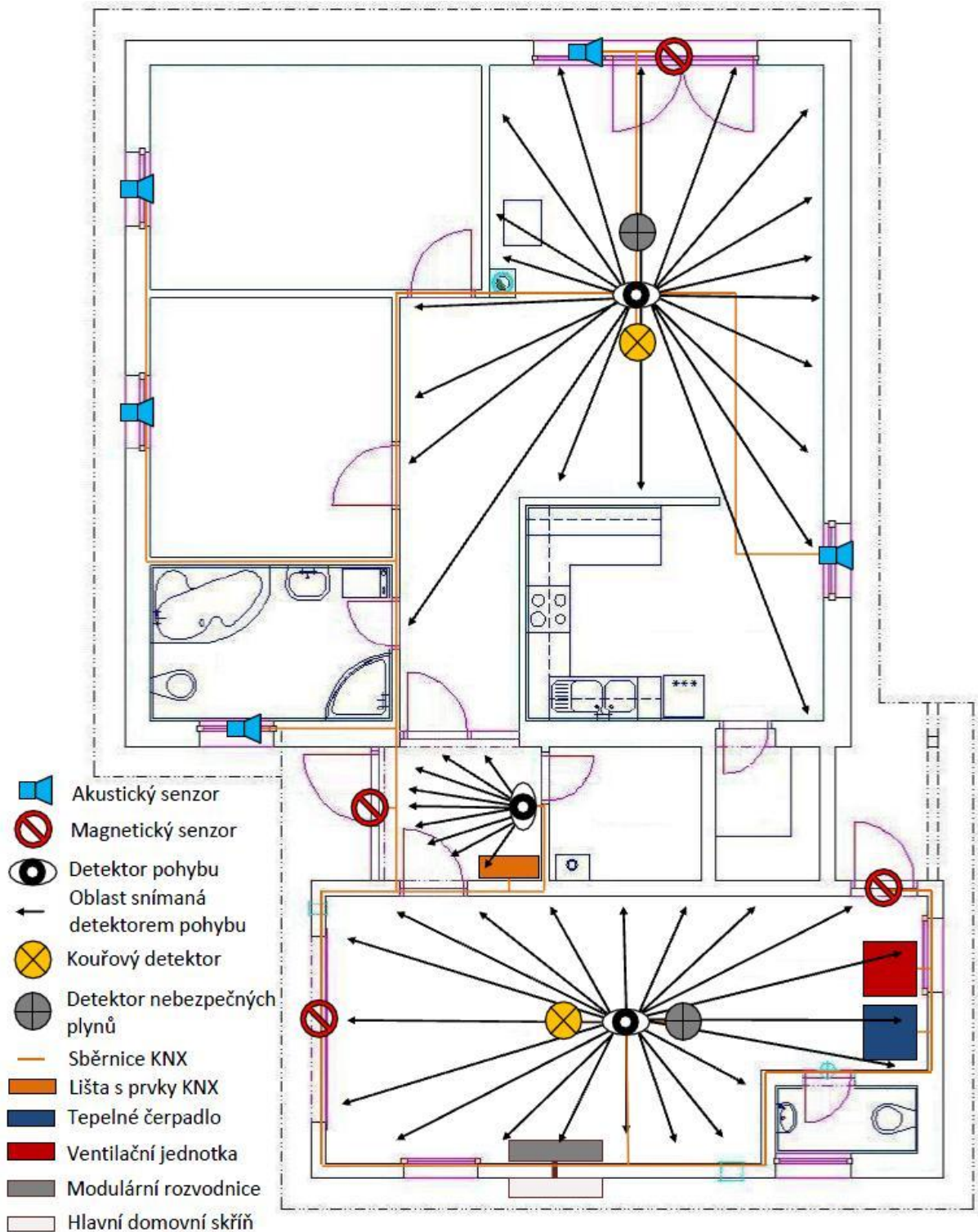
8.2 Návrh elektronického požárního systému

Ochranu obyvatel a majetku před požáry zajišťuje systém EPS, který za pomoci detektorů kouře a nebezpečných plynů detekuje potenciální problém již v počátku. V garáži a v obývacím pokoj budou umístěny stropní detektory kouře Gira Smoke detector. Detektory pracují na optickém principu a neobsahují radioaktivní látky, které bývaly dříve u detektorů kouře používány. Detektor obsahuje funkce pro automatický self-testing (testování vlastní funkčnosti) a případná chyba bude v ovládacím systému prvků KNX nahlášena. V případě zaznamenání kouře (požáru) aktivuje detektor akustický i vizuální alarm a zašle majiteli SMS zprávu. Hlasitost zvukového alarmu je přibližně 85 dB.

Detektory kouře jsou doplněny o detektor plynu CO₂ AMUN 716 výrobce Theben. V obývacím pokoji jsou umístěna krbová kamna, ve kterých může docházet k nedokonalému hoření, a proto je zde nainstalován také detektor oxidu uhličitého. V případě zaznamenání zvýšených hodnot zvýší systém automaticky výkon ventilační jednotky, aby došlo k rychlejšímu provětrání místnosti, a zároveň na danou skutečnost upozorní akustickým a zvukovým signálem. Také v garáži bude umístěn detektor nebezpečných plynů, protože zde kromě automobilu mohou být umístěny těkavé látky jako ředidla a podobně. Garáž není napojena na vzduchotechnický systém, ale je vybavena dvěma ventilátory v jižní a východní stěně. Výkon ventilátorů může být, v případě zvýšené koncentrace nebezpečných plynů, navýšen, aby byla urychlena výměna vzduchu v garáži.

8.3 Použité prvky systémů EZS a EPS

Rozmístění jednotlivých prvků elektronického zabezpečovacího a požárního systému a pokrytí pohybových senzorů je zobrazeno na obrázku č. 39. Pro větší přehlednost jsou na schématu zobrazeny pouze prvky systémů EZS a EPS.



Obr. 39 – Rozmístění prvků EZS a EPS

Prvky zajišťující chod systémů EZS a EPS jsou, spolu s dalšími prvky sběrnice KNX, umístěny na liště v zádveři. Propojení, umístění, funkce a použití jednotlivých prvků systémů EZS a EPS je popsáno v tabulce č. 21. Jednotlivé prvky jsou vždy v tabulce uvedeny pouze jednou, i v případě, že se fyzicky v systému nacházejí vícekrát.

Prvek KNX	Model	Umístění	Funkce
EZS			
Akustický senzor	Gira Glass-breakage sensor	Koupelna, pokoj 1, pokoj 2, obývací pokoj, kuchyně	Akustický detekce rozbití okna
Magnetický senzor	WINN BR-1015	Zádveři, obývací pokoj, garáž, technická místnost	Detekce otevření dveří
Binární vstup	MERTEN Binary input REG-K/8x10	Zádveři	Připojení akustických a magnetických senzorů
Pohybový senzor	Gira E22	Zádveři	Detekce pohybu
Pohybový senzor	Hager 360 DEG PRESENCE DETECTOR	Obývací pokoj, garáž	Detekce pohybu
Klávesnice	Cytech KP04	Vedle vstupních dveří na venkovní straně	Zadání kódu pro deaktivaci alarmu
Datové rozhraní UCM / KXN	Cytech UCM Interface to KNX	Zádveři	Prostředník komunikace klávesnice Cytech KP04 se sběrnici KNX
Videotelefon	Gira Door communication System	Vstupní brána	Prostředník audiovizuální komunikace
EPS			
Detektor kouře	Gira Smoke detector	Obývací pokoj, garáž	Detekce kouře
Detektor nebezpečných plynů	Theben AMUN 716	Obývací pokoj, garáž	Detekce člověku nebezpečných plynů

Tab. 21 – Použité prvky EPS a EZS

9 TECHNICKO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ SYSTÉMU

Stinnou stránkou moderních systémů vytápění využívajících obnovitelných zdrojů energie a jejich integrace za pomoci sběrnice KNX jsou vysoké počáteční náklady. Použitý systém teplovzdušného vytápění a klimatizace však umožní ušetřit velkou část nákladů na provoz domu, což kompenzuje vysoké vstupní náklady.

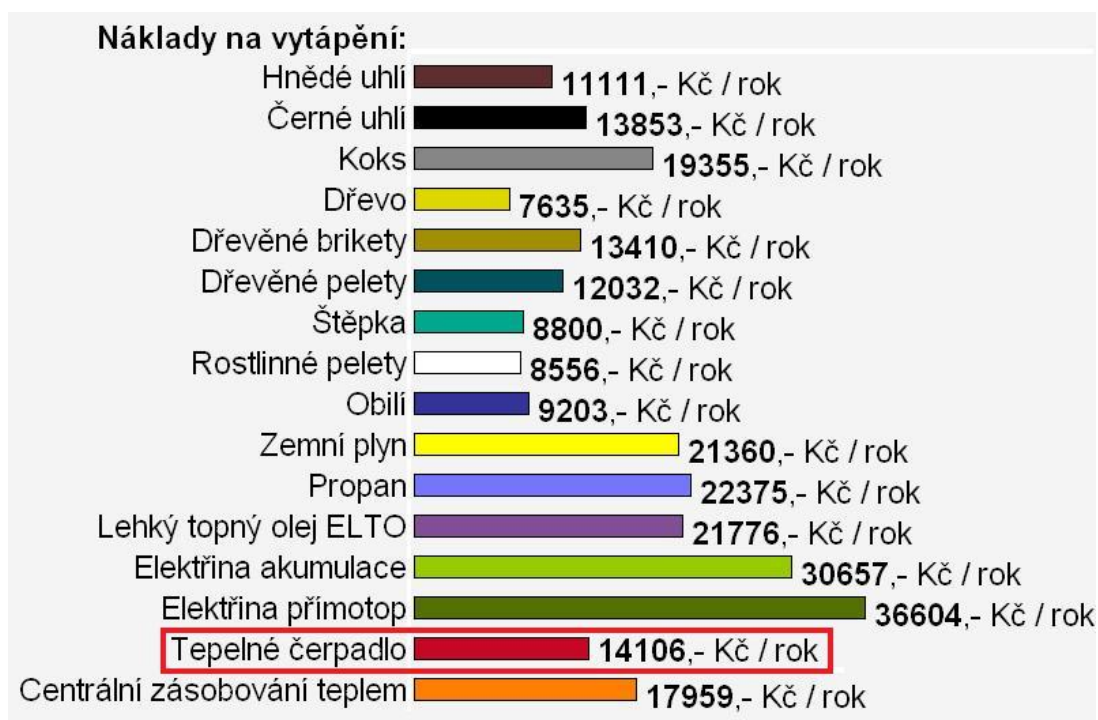
9.1 Náklady na vytápění objektu

Při výpočtu nákladů na vytápění objektu je třeba počítat nejen s náklady na vytápění, ale také na ohřev TUV. Pro navržený objekt vychází náklady na vytápění $Q_{VYT,r} = 9,7$ MWh/rok a ohřev TUV $Q_{TUV,r} = 2,5$ MWh/rok.

Celkové náklady na vytápění navrženého objektu jsou $Q_r = 12,2$ MWh/rok.

Primárním zdrojem na ohřev TUV je solární systém, který je navržený tak, aby byl schopný zajistit dostatek energie pro ohřev požadovaného množství TUV. Solární systém však nebude, za nepříznivých slunečních podmínek, vykazovat požadovaný výkon a proto je nutné počítat s nutností elektrického dohřevu TUV pomocí tepelného čerpadla.

Pro přepočet nákladů na vytápění z MWh na Kč je možné využít například výpočtovou pomůcku ze stránek tzb-info.cz, která byla použita i pro navržený systém.



Obr. 40 – Graf nákladů na vytápění

Výstupem je obrázek č. 40, obsahující několik grafů porovnávající náklady na vytápění podle druhu použitého zdroje energie. Tepelné čerpadlo je pro lepší přehlednost zvýrazněno červeným obdélníkem.

9.1.1 Ceny použitých zařízení

Podrobný rozpis cen jednotlivých použitých zařízení je uveden v příloze P VII s názvem “Ceny zařízení vytápěcího systému“. Výsledné ceny jednotlivých skupin prvků jsou uvedeny v tabulce č. 22.

Skupina prvků	cena
Tepelné čerpadlo WPF 5	233 676,-
Příprava TUV	36 546,-
Ventilační jednotka	58 487,-
Kolektory a rozvody	76 360,-
Solární systém	65 055,-
Celkem	470 124,-

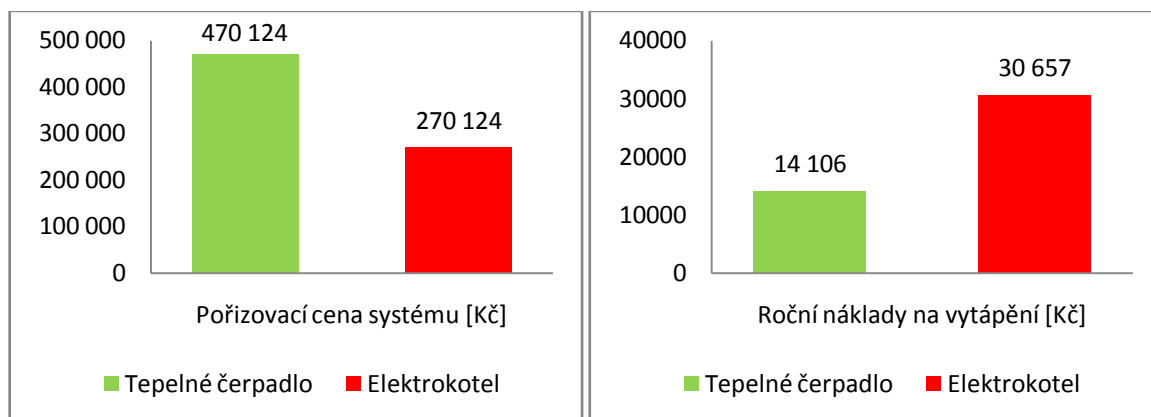
Tab. 22 – Ceny použitých zařízení

9.1.2 Technicko ekonomické hodnocení vytápěcího systému

Obrázek č. 42 ukazuje náklady na vytápění navrženého objektu v závislosti na použitém zdroji energie. Finančně nejvýhodnější vytápění představuje dřevo, štěpka, případně rostlinné pelety. Použití pevných paliv jsem však zavrhl, protože vyžaduje speciální prostory pro skladování, ale hlavně také manuální přikládání. Samozřejmě existují automatizované systémy, ovšem jejich cena je vysoká. Objekt se nachází v oblasti bez plynové přípojky, a proto je možné na vytápění použít pouze elektřinu v podobě akumulčních kamen, případně v podobě přímotopných radiátorů. Vytápění elektřinou je však finančně nevýhodné.

Použití tepelného čerpadla pro navržený systém je tak logickou volbou nejen z pohledu vhodného kompromisu nákladů na vytápění, ale také díky možnosti integrace do systému KNX. Tepelné čerpadlo navíc, na rozdíl od ostatních zdrojů energie, umožňuje funkci chlazení pro režim klimatizace.

Při návrhu obdobného systému (tepl vzdušné vytápění, solární panely), s elektrokotlem na místo tepelného čerpadla, je pořizovací cena o cca 200 000 Kč nižší. Na druhou stranu jsou však náklady na vytápění elektrickým kotlem o 16 551 Kč za rok vyšší. Použití tepelného čerpadla se teoreticky začne vyplácet za cca 12 let. Prakticky se však oba systémy nedají porovnávat, protože tepelné čerpadlo bude fungovat také v letních měsících v režimu klimatizace.



Obr. 41 – Grafy porovnání systémů

Ekonomické parametry navrženého systému byly vypočítány pomocí finančního kalkulátoru pro hodnocení ekonomické efektivity investic uvedeného na webových stránkách tzb-info.cz.

Investiční náklady projektu	470 124 Kč
Provozní náklady	14 106 Kč/rok
Doba hodnocení	25 let
Úspora ve srovnání s alternativním řešením	16 551 Kč/rok
Prostá doba návratnosti	13 let
Diskontní doba návratnosti	13 let
Čistá současná hodnota NPV	355 834 Kč

Tab. 23 – Ekonomické parametry navrženého systému

9.2 Prvky KNX

Podrobný rozpis cen jednotlivých použitých prvků sběrnice KNX je uveden v příloze PVIII s názvem "Ceny prvků sběrnice KNX". Výsledné ceny jednotlivých skupin prvků jsou uvedeny v tabulce č. 24.

Skupina prvků	cena
Systémové a řídicí prvky	63 471,-
Komunikační prvky	58 405,-
Ovládací prvky	156 039,-
EZS	70 497,-
EPS	13 764,-
Celkem	362 176,-

Tab. 24 – Ceny prvků KNX

9.2.1 Technicko ekonomické hodnocení sběrnicevého systému

Celkové pořizovací náklady na systém využívající sběrnici KNX jsou 362 176 Kč. Z celkové částky je 277 915 Kč na ovládání domu (vytápění, osvětlení ...) a 84 261 Kč na bezpečnostní systémy EPS a EZS.

Hodnotit instalaci sběrnicevého systému z hlediska financí je obtížné. Na rozdíl od využití tepelného čerpadla není možné porovnávat použitý systém se systémy konvenčními. Zjednodušeně je však možné říci, že pořizovací náklady na sběrnicevý systém KNX se vrátí při první detekci zloděje, případně požáru.

Hlavní výhodou sběrnicevého systému není úspora energie, ale zvýšení komfortu bydlení. Navržený sběrnicevý systém KNX zvyšuje bezpečnost a pohodu lidí v domě.

9.3 Hodnocení navrženého systému

Energetická (a tím i finanční) úspornost a využití obnovitelných zdrojů, navrženého systému jsou v souladu s dnešními trendy. Malé provozní náklady však nejsou tím, co odlišuje navržený systém od ostatních nízkoenergetických domů.

Primárním cílem při návrhu systému bylo zajištění maximálního komfortu obyvatel v domě. Individuální regulace teploty pro každý z hlavních pokojů v kombinaci s režimem klimatizace, umožňuje vytvořit příjemné prostředí pro kteréhokoliv obyvatele domu.

Možnost celoroční regulace teploty v domě a přítomnost pylových filtrů ve vzduchotechnickém systému také přispívá ke zdravému prostředí uvnitř domu.

Největší přínos ke komfortu bydlení má zástavba sběrnice systému KNX jako komunikační a ovládací páteř domu. Ovládání všech prvků systému přes SCADA rozhraní v obývacím pokoji, ovládání a monitoring domu na dálku přes internet, či mobilní telefon a mnohé další, jsou vymoženosti, na které obyvatele „ne-inteligentních“ domů mohou zapomenout. Automatizace dějů v domě umožňuje příjemné bydlení s minimální potřebou zásahů do systému. Jako pomyslnou třešničku na dortu je možné zmínit světelné scény, které stiskem jednoho tlačítka mění nastavení a také atmosféru v domě.

Posledním krokem ke zvýšení komfortu bydlení je použití systémů EZS a EPS. Elektronický zabezpečovací a požární systém chrání obyvatele a jejich majetek před nechtěnými návštěvníky, případně ohněm. V kombinaci s komunikačními branami sítě KNX je majitel domu o případných problémech informován za pomoci SMS.

Stinnou stránkou použitého systému je poměrně vysoká pořizovací cena. Navržený systém kombinující tepelné čerpadlo, ventilační jednotku a solární kolektory, spolu s dalším příslušenstvím stojí 470 124 Kč. Sběrnice systému KNX spolu se systémy EZS a EPS stojí 362 176 Kč. Celková cena navrženého systému je 832 300 Kč.

Cena navrženého systému je na jednu stranu poměrně vysoká, na druhou stranu však odpovídá použitým technologiím. V současné době existuje poměrně velké množství lidí, kteří preferují komfort a nevdají jim připlatit si za něj, protože plně ocení možnosti a výhody navrženého systému.

ZÁVĚR

Cílem mé práce byl návrh inteligentního nízkoenergetického domu využívajícího obnovitelné zdroje energie a sběrnici KNX. Návrh všech systémů byl tvořen s ohledem na možnou realizaci na skutečný objekt a v souladu s dnešními trendy, s využitím moderních prvků. Použité prvky jsou nejdříve popsány v teoretické části a následně navrženy pro konkrétní příklad v části praktické.

První část praktického návrhu je věnována větrací a vytápěcí soustavě. Využití obnovitelných zdrojů energie je zajištěno instalací tepelného čerpadla typu země – voda. Tepelné čerpadlo využívá zemních kolektorů a slouží také jako zdroj pro ohřev TUV. Tepelné čerpadlo využívá zemních kolektorů a slouží také jako zdroj pro ohřev TUV. Pro rozvod tepla po objektu je využit ventilační systém. Vzduch je do jednotlivých místností rozváděn plochými podlahovými kanály a odváděn pomocí kulatého stropního potrubí. Systém vytápění je doplněn o solární panely sloužící primárně k ohřevu TUV. Navržený systém umožňuje funkci v režimu klimatizace pro chlazení objektu v letních měsících.

V druhé části praktického návrhu je popsána kompletní silnoproudá domovní elektroinstalace. Všechny zásuvkové obvody jsou v místnostech navrhovány s ohledem na plánované rozmístění elektrických spotřebičů. Součástí silnoproudé elektroinstalace jsou také světelné obvody s možností plynulé regulace osvětlení.

Instalace sběrnice KNX jako centrálního komunikačního bodu umožňuje jednoduché ovládání všech systémů v domě pomocí dotykových senzorů, centrálních ovládacích prvků nebo dálkově přes Internet, případně mobilní telefon. Moderní ovládací prvky sběrnice KNX jsou ergonomicky příjemné a designově vkusné a zapadají do celkového konceptu navrženého domu.

Poslední částí návrhu jsou bezpečnostní systémy EZS a EPS, kombinující prvky plášťové a prostorové ochrany spolu s detektory kouře a nebezpečných plynů. Oba systémy jsou napojeny na sběrnici KNX, pomocí které mohou být také ovládány a monitorovány.

Celý systém byl navržen s ohledem na maximální komfort uživatelů a minimální provozní náklady. Teplovzdušné vytápění s režimem klimatizace zajišťuje tepelný komfort obyvatelům po celý rok. Bezpečnostní systémy chrání obyvatele domu a jejich majetek a zvyšují pohodu bydlení.

Navržený systém může být realizován na výchozí objekt, případně na objekty podobného typu. Výsledkem by byl moderní dům přesně zapadající do kategorie označované slovem inteligentní.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The goal of the thesis was to provide the design of an intelligent house, which uses renewable sources of energy and KNX bus. This design is practical in a way that the proposed systems can be built in a real world and is compactible with all current trends and modern component units as well. All relevant component units are described in the theoretical part of the thesis and then a particular example is given in the practical part.

The design of heater-and-ventilator system is described in the first practical part. Heat Pump, which uses an underground collector, ensures the usage of renewable resources for heating and water warming. Ventilator system is used for distribution of heat in the building. The air is blown into each room through flat rectangular floor channels and channeled off through circular roof ducts. Solar panels are included to provide warm water as well. The proposed design has an air-conditioning mode which can be used for cooling of the building in summer.

An entire house power current is described in the second practical part. All plug sockets are placed in rooms with regards to proposed position of electric appliances. Adjustable lighting installation is also part of power current house installation.

Simple operating of all house systems by touch sensors, central controlling items or remote control via Internet or mobile phone is provided by KNX bus used as central communication point. Modern KNX bus controlling items are comfortable, elegant and integrated well into the whole house koncept.

Electronic security system and electronic fire system combining panel and space shielding items with smoke and hazardous gas detectors are the last part of design. Both systems are connected to, controlled and monitored by the KNX bus.

The entire system was designed with regards to a maximal comfort of inhabitants and minimal operating cost. Air-heating system with air-conditioning mode provides thermal comfort during the whole year. Security systems protect inhabitants and their property and increase level of well-being. The proposed system can be implemented in buildings that are similar to the one used in this paper. The final result is a modern house that can be labeled as “intelligent”.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] VALEŠ, Miroslav. Inteligentní dům. 2. vyd.: ERA, 2008. 136 s. ISBN 978-80-7366-137-3.
- [2] HUDEC, Mojmír. Pasivní rodinný dům. 1. vyd.: Grada, 2008. 112 s. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [3] CENEK, Miroslav. Obnovitelné zdroje energie. 2. dopl. vyd.: FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8.
- [4] LADENER, Heinz, SPÄTE, Frank. Obnovitelné zdroje energie. 1. vyd.: Grada, 2003. 267 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [5] SmartHouse Code of Practise. 1st edition.: Cenelec, 2005. 230 s. CWA 50487.
- [6] KŘEČEK, Stanislav. Příručka zabezpečovací techniky. 2. autoriz. vyd.: Cricetus, 2002. 350 s. ISBN 80-902938-2-4.
- [7] KNX Association. Handbook for Home and Building Control : Basic Principles. 5th rev. edition.: ZVEI, 2006. 136 s.
- [8] *VTM Science*. Mladá fronta a.s. 2009, roč. 63, č. 2/2009. ISSN 1214-4754.
- [9] <http://www.wikipedia.org>
- [10] <http://www.alternativni-zdroje.cz/>
- [11] <http://www.vtm.cz>
- [12] <http://www.tzb-info.cz>
- [13] <http://www.automatizace.hw.cz/>
- [14] <http://www.pasivnidomy.cz>
- [15] <http://www.karon.cz>
- [16] <http://www.ekowatt.cz>
- [17] <http://elektrika.cz>
- [18] <http://www.hw.cz>
- [19] <http://www.zigbee.com>
- [20] <http://www.gvmyto.cz>
- [21] <http://www.stiebel-eltron.cz>
- [22] <http://www.qpro.cz>
- [23] <http://www.atrea.cz>

- [24] <http://www.kkh.cz>
- [25] <http://www.ldm.cz>
- [26] <http://www.knxshop.co.uk>
- [27] <http://www.winnsecurityproducts.com>
- [28] <http://www.eelectron.com>
- [29] <http://www.wilo.cz>
- [30] <http://www.ldm.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

TUV – teplá užitková voda

EZS – elektronický zabezpečovací systém

EPS – elektronický požární systém

CCTV – uzavřený televizní okruh

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition

HMI – Human-Machine Interface

BPSK – Binary phase shift keying

O-QPSK – Offset Quadrature phase-shift keying

DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum

CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance

CSMA/CD – Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection

FFD – Full Functional Device

RFD – Reduced Functionality Device

ID – identification

PAN – Personal Area Network

AES – Advanced Encryption Standard

MIC – Message Integrity Code

SSP – Security Services Provider

CPU – Central procesor unit

RAM – Random access memory

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Oblast tepelné pohody	18
Obr. 2 – Zastínění prosklených ploch	21
Obr. 3 – Typy používaných stěn	23
Obr. 4 – Průkaz energetické náročnosti a energetický štítek obálky budovy	27
Obr. 5 – Jednookruhový solární systém	36
Obr. 6 – Dvouokruhový solární systém.....	37
Obr. 7 – Propojení vrstev sítě KNX	44
Obr. 8 – KNX rámec pro komunikaci a přenos sítě Konnex bus	47
Obr. 9 – Vrstvy protokolu LonTalk	50
Obr. 10 – Blokové schéma Neuron chipu Toshiba	53
Obr. 11 – Povolené topologie sítě ZigBee.....	56
Obr. 12 – Základní půdorys domu	62
Obr. 13 – Hydraulické zapojení systému tepelného čerpadla.....	72
Obr. 14 – Zapojení tepelného čerpadla v režimu vytápění.....	73
Obr. 15 – Zapojení tepelného čerpadla v režimu chlazení	73
Obr. 16 – Škrticí klapka KEL 160	77
Obr. 17 – Rozmístění podlahových kanálů.....	78
Obr. 18 – Rozmístění odvodního stropního potrubí.....	79
Obr. 19 – Navržený solární systém	81
Obr. 20 – Graf rozdílu dodávky a předpokládaného odběru energie	85
Obr. 21 – Řez podlahovým vytápěním.....	86
Obr. 22 – Charakteristické křivky podlahového vytápění	87
Obr. 23 – Světelné a zásuvkové rozvody	90
Obr. 24 – Ochranné zóny.....	92
Obr. 25 – Proudový jistič.....	93
Obr. 26 – Akční člen Gira.....	98
Obr. 27 – Dotykový senzor Merten.....	102
Obr. 28 – Kombinovaný ovladač ABB	102
Obr. 29 – INZennio Z38S.....	103
Obr. 30 – Eelectron Theo.....	103
Obr. 31 – Ovládací rozhraní	104
Obr. 32 – Ovládací rozhraní druhé úrovně	105

Obr. 33 – Menu světelných scén	106
Obr. 34 – Internetové rozhraní ovládání prvků KNX	106
Obr. 35 – GSM ovládací rozhraní	107
Obr. 36 – Rozmístění prvků KNX	108
Obr. 37 – Magnetický senzor Winn BR-1015	111
Obr. 38 – Klávesnice Cytech KP04	111
Obr. 39 – Rozmístění prvků EZS a EPS.....	113
Obr. 40 – Graf nákladů na vytápění	115
Obr. 41 – Grafy porovnání systémů	117

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Index PMV	16
Tab. 2 – Index PPD	16
Tab. 3 – Rozdělení domů podle energetické náročnosti.....	19
Tab. 4 – Seznam vytápěných místností	61
Tab. 5 – Seznam nevytápěných místností	61
Tab. 6 – Parametry místností pro výpočet tepelných ztát	64
Tab. 7 – Tepelné ztráty větráním	66
Tab. 8 – Zátopový tepelný výkon	67
Tab. 9 – Tepelné ztráty prostupem.....	69
Tab. 10 – Celková tepelná ztráta objektu	69
Tab. 11 – Typy půdy	70
Tab. 12 – Parametry pro výpočet plochy tepelného výměníku	74
Tab. 13 – Korekční činitel solárních kolektorů	80
Tab. 14 – Výpočet velikosti vyrovnávací nádrže.....	82
Tab. 15 – Předpokládaný odběr TUV	85
Tab. 16 – Parametry podlahového vytápění	88
Tab. 17 – Zásuvky v jednotlivých místnostech	91
Tab. 18 – Světla v jednotlivých místnostech	94
Tab. 19 – Ovládaní škrticích klapek.....	98
Tab. 20 – Použité prvky KNX	109
Tab. 21 – Použité prvky EPS a EZS.....	114
Tab. 22 – Ceny použitých zařízení.....	116
Tab. 23 – Ekonomické parametry navrženého systému	117
Tab. 24 – Ceny prvků KNX.....	118

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha P I Zátopový činitel f_{RH}
- Příloha P II Teplotní korekční činitel f_k
- Příloha P III Součinitel prostupu tepla U podle normy ČSN 730540
- Příloha P IV Tepelné zisky
- Příloha P V Technické parametry použitých zařízení
- Příloha P VI Prvky KNX
- Příloha P VII Ceny zařízení vytápěcího systému
- Příloha P VIII Ceny prvků sběrnice KNX

PŘÍLOHA P I: ZÁTOPOVÝ ČINITEL f_{RH}

Zátopový čas v hodinách	f_{RH} (W/m ²)								
	Předpokládaný pokles vnitřní teploty během teplotního útlumu								
	2 K			3 K			4 K		
	Hmotnost budovy			Hmotnost budovy			Hmotnost budovy		
	nízká	střední	vysoká	nízká	střední	vysoká	nízká	střední	vysoká
1	18	23	25	27	30	27	36	27	31
2	9	16	22	18	20	23	22	24	25
3	6	13	18	11	16	18	18	18	18
4	4	11	16	6	13	16	11	16	16

PŘÍLOHA P II: TEPLOTNÍ KOREKČNÍ ČINITEL f_k

Tepelná ztráta	f_k	Tepelné mosty
přímo do venkovního prostředí	1,00	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,40	tepelné mosty nejsou tepelně pro okna, dveře izolované
nevytápěným prostorem	0,80	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,12	tepelné mosty nejsou tepelně izolované
zemí	0,3	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	0,42	tepelné mosty nejsou tepelně izolované
podkrovím	0,90	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,26	tepelné mosty nejsou tepelně izolované
zvýšenou podlahou	0,90	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	1,26	tepelné mosty nejsou tepelně izolované
do sousední budovy	0,50	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	0,70	tepelné mosty nejsou tepelně izolované
do sousední funkční části budovy	0,30	tepelné mosty jsou tepelně izolované
	0,42	tepelné mosty nejsou tepelně izolované

PŘÍLOHA P III: SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA U PODLE NORMY ČSN 730540

Druh konstrukce	Typ konstrukce	Normové hodnoty U_N [W/m ² ·K]	
		Požadováno	Doporučeno
střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° strop pod nevytápěným podstřešním prostorem, podlaha nad venkovním prostorem, podlaha s podlahovým vytápěním, stěna se stěnovým vytápěním	Lehké	0,24	0,16
	Těžké	0,30	0,20
Stěna venkovní, střecha strmá se sklonem nad 45°	Lehké	0,30	0,20
	Těžké	0,38	0,25
Podlaha a stěna přilehlá k zemině, strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		0,60	0,40
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru		0,75	0,50
Stěna mezi sousedními budovami, strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C		1,05	0,70
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C		2,2	1,45
Stěna mezi vnitřními prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně		2,7	1,8
Okno a dveře venkovní z vytápěného prostoru (pro rám se požaduje nejvýše 2,0 W/(m ² ·K))	Nové	1,8	1,2
	Upravené	2,0	1,35
Dveře, vrata a jiná výplň otvoru z částečně vytápěného nebo nevytápěného prostoru vytápěné budovy		3,5	2,3

PŘÍLOHA P IV: TEPELNÉ ZISKY

Objekt	Hodiny																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Měsíc	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	-1481	-1532	-1569	-1596	-1575	-1522	401	480	570	659	744	874	893	934	951	987	823	788	-984	-1068	-1140	-1234	-1345	-1420
2	-1099	-1153	-1179	-1203	-1200	-1150	1313	1394	1483	1572	1658	1780	1804	1846	1882	1915	1709	1673	-603	-667	-745	-838	-944	-1038
3	-751	-796	-822	-839	-832	-803	2185	2265	2356	2442	2525	2619	2669	2726	2956	2998	2542	2493	-239	-305	-382	-480	-581	-678
4	-463	-517	-539	-553	-540	-76	2516	2595	2690	2776	2868	2951	3018	3067	3101	3217	2874	2834	46	-30	-112	-207	-308	-399
5	-230	-276	-308	-315	33	472	2818	2890	2988	3077	3164	3248	3316	3363	3391	3528	3166	3126	1063	206	121	21	-80	-168
6	-77	-123	-150	-141	288	687	2848	2919	3008	3097	3184	3271	3338	3383	3407	3427	3196	3154	1343	375	272	181	79	-13
7	-1	-48	-76	-85	220	657	2918	2989	3083	3172	3257	3342	3409	3451	3484	3497	3269	3227	1056	438	353	259	158	59
8	-5	-55	-81	-93	-82	382	2983	3064	3155	3245	3328	3412	3478	3525	3558	3675	3334	3296	507	438	354	261	158	59
9	-117	-165	-190	-207	-198	-163	2578	2667	2758	2847	2932	3016	3078	3130	3162	3187	2960	2907	396	330	250	157	44	-45
10	-309	-360	-389	-409	-409	-358	2107	2187	2287	2374	2461	2581	2608	2649	2688	2717	2512	2475	199	136	62	-44	-152	-247
11	-596	-646	-683	-711	-688	-638	1286	1365	1456	1543	1631	1766	1785	1825	1843	1879	1715	1679	-97	-182	-254	-346	-458	-536
12	-923	-976	-1012	-1037	-1010	-956	758	838	928	1018	1101	1217	1248	1293	1309	1337	1182	1149	-425	-508	-589	-683	-786	-858

PŘÍLOHA P V: TECHNICKÉ PARAMETRY POUŽITÝCH ZAŘÍZENÍ

Tepelné čerpadlo Stiebel Eltron WPF 5				
Výkonová data				
Teplota zdroje tepla	°C	0	0	2,5
Teplota topné vody	°C	+35	+50	+60
Topný výkon	kW	5,8	5,5	5,0
Elektrický příkon	kW	1,3	2	2,5
Výkonové číslo	ε	4,3	2,8	2,2
Technické údaje				
Akustický výkon	dB	46		
Hmotnost	kg	108		
Výška x šířka x hloubka	mm	960 x 510 x 680		
Elektrické krytí	IP	20		
Maximální provozní přetlak	MPa	0,3		
Objemový průtok	m ³ /h	0,5		



Přípojovací sada Stiebel Eltron WPSB 307		
Technické údaje		
Expanzní nádoba	l	12
Pojistný ventil	bar	2,5
Přípojka TČ	“	G 5/4
Oběhové čerpadlo		
Typ	TOP-S 30/7	
Objemový průtok	m ³ /h	2,0
Výtlačná síla	m	6,0
Elektrické napájení	V/Hz	3/PE ~ 400V 50 Hz



Akumulační zásobní Stiebel Eltron SBP 100		
Technické údaje		
Maximální provozní přetlak	bar	6
Objem	l	100
Přípojka vytápění	“	G 5/4
Přípojka odvzdušnění	“	G 1/2
Rozměry a hmotnost		
Výška	mm	955
Šířka	mm	510
Hloubka	mm	520
Hmotnost	kg	40



SBB 300		
Technické údaje		
Objem nádrže	l	295
Objem horního tep. výměníku	l	8,5
Objem dolního tep. výměníku	l	11,6
Přípustný provozní přetlak TUV	bar	10
(sériový zkušební přetlak TUV)	bar	(15)
Přípustný provozní přetlak	bar	10
Maximální provozní teplota	°C	95
Hmotnosti		
Hmotnost zásobníku prázdného včetně tepelné izolace	kg	163
Hmotnost zásobníku naplněného včetně tepelné izolace	kg	458




Ventilační jednotka LWZ 170		
Technická data		
Jmenovité napětí	V/Hz	1/N/PE ~ 230 V 50 Hz
Maximální odběr proudu	A	0,54
Příkon	W	10 – 105
Množství vzduchu	m ³ /h	50 – 250
Využitelný tlak	Pa	160 (při průtoku 250 m ³ /h)
Hladina zvukového tlaku	dB(A)	49
Maximální teplota prostředí	°C	60
Stupeň účinnosti rekuperační jednotky	%	až 90
Filtrační třída		G 3
Rozměry a hmotnost		
Výška	mm	602
Šířka	mm	675
Hloubka	mm	445
Hmotnost bez obalu	kg	31





Ventilační jednotka LWZ 170		
Technická data		
Celková plocha	m ²	2,63
Plocha absorbéru	m ²	2,41
Jmenovité průtočné množství	l/hod	50 -300
Konverzní faktor	η ₀	0,81
Minimální provozní tlak	bar	3,5
Přípustný provozní tlak	bar	6
Rozměry a hmotnost		
Výška	mm	2205
Šířka	mm	1195
Hloubka	mm	106
Hmotnost bez obalu	kg	48





PŘÍLOHA P VI: PRVKY KNX


Prvek		Výrobce	Model
Napájecí zdroj		Merten	683429
Parametry			
Počet připojených zařízení	64 prvků		
Napájecí napětí	230 V AC, 50-60 Hz		
Výstupní napětí	29 V DC + 1 V		
Výstupní proud	Max. 320 mA		


Prvek		Výrobce	Model
Akční člen		Gira	1018 00
Parametry			
Počet připojených zařízení	6 prvků		
Napájecí napětí	230 V AC, 50-60 Hz		
Spínací proud	Max. 1,5 A		
Nominální proud	0,05 A		
Provozní teplota	-5 °C do +45 °C		


Prvek		Výrobce	Model
Servopohon		Merten	639125
Parametry			
Napájecí napětí	230 V AC, 50-60 Hz		
Spouštěcí proud	300 mA		
Řídící proud	8 mA		
Spotřeba energie	1,8 W		
Rozsah pohybu	4 mm		


Prvek		Výrobce	Model
Binární výstup		Merten	649204
Parametry			
Počet připojených zařízení	4 prvky		
Napájecí napětí	230 V AC, 50-60 Hz		
Nominální proud	10 A		
Kapacitní zátěž	AC 232 V, max 105µF		

Prvek		Výrobce	Model
Akční člen		Gira	1049 00
Parametry			
Počet připojených zařízení	4 prvky		
Výstupní napětí	24 V DC		
Výstupní proud	6 A		
Typ ochrany	IP 20		


Prvek		Výrobce	Model
Komunikační brána KNX/IP		ABB	GH Q605 0068 R0001
Parametry			
Počet skupinových adres	255		
Napájecí napětí	12 - 24 V DC		

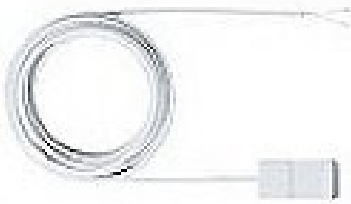
Prvek		Výrobce	Model
Komunikační brána KNX/GSM		ABB	GH Q631 0083 R0111
Parametry			
Počet skupinových adres	40		
Napájecí napětí	12 - 24 V DC		


Prvek		Výrobce	Model
Dotykový senzor		Merten	569100
Parametry			
Počet ovládaných zařízení	1 - 4		
Počet nastavitelných parametrů	12		


Prvek		Výrobce	Model
Kombinovaný ovládací prvek		ABB	6300-0-1218
Parametry			
Počet ovládaných zařízení	3		
Regulace	PI, PWM, dvoubodová		


Prvek		Výrobce	Model
Dotykový display		Zennio	ZN1 VI-TP38-S
Parametry			
Počet přímo ovládaných funkcí	12		
Počet dalších obrazovek	6		
Počet funkcí na obrazovku	6		


Prvek		Výrobce	Model
Dotykový display		Eelectron	VS00A02KNXB
Parametry			
Velikost	12"		
Rozlišení	800 x 600		
Počet barev	65 536		
Paměť	32 MB flash / 128 SDRAM		
CPU	PXA 270 – 520 MHz		
Operační systém	Windows CE.NET 5.0		
Napájecí napětí	12 V DC		


Prvek		Výrobce	Model
Akustický senzor		Gira	0887 02
Parametry			
Síťové napětí	18 V SC		
Proud naprázdno	10 mA		
Spínací výkon	Max. 350 mW		
Provozní teplota	-30 °C do +55 °C		
Typ ochrany	IP 27		


Prvek		Výrobce	Model
Magnetický senzor		Winn	1015
Parametry			
Průměr	1/4“		
Standardní dosah	1“		


Prvek		Výrobce	Model
Pohybový senzor		Gira	0880 20
Parametry			
Zorný úhel	180°		
Rozsah	10 m dopředu, 6 m po stranách		
Provozní teplota	-5°C do +45 °C		
Typ ochrany	IP 20		

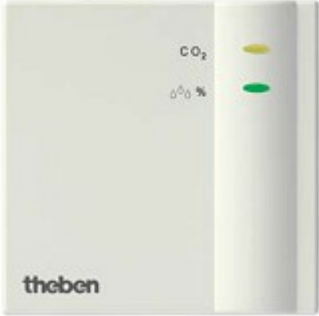
Prvek		Výrobce	Model
Pohybový senzor		Hager	TX510
Parametry			
Zorný úhel	360°		
Rozsah	13 x 7m		
Potřebná intenzita světla	5 – 1200 Lux		
Napájecí napětí	30 V DC		

Prvek		Výrobce	Model
Klávesnice		Cytech	KP04-AL
Parametry			
Přijímač	IR		
Standard	UCM		

Prvek		Výrobce	Model
Datové rozhraní UCM/KNX		Cytech	UCM/EIB
Parametry			
Standard	UCM		

Prvek		Výrobce	Model
Videotelefon		Gira	1269 65
Parametry			
Rozlišení	582 x 380		
Napájecí napětí	26 V DC		
Zobrazovací úhel kamery	150 °		
Provozní teplota	-20°C do +50 °C		

Prvek		Výrobce	Model
Detektor kouře		Gira	1141 04
Parametry			
Hlasitost akustického alarmu	85 dB(A)		
Provozní teplota	+5°C do +45°C		
Typ ochrany	IP 42		
Napájecí napětí	9 V baterie		

Prvek	Výrobce	Model
Detektor nebezpečných plynů	Theben	716 9 200
Parametry		 <p>The image shows a white, rectangular gas detector with a vertical strip on the right side. The strip has two indicator lights: a yellow one at the top and a green one below it. To the left of the lights, the text 'CO₂' is positioned above the yellow light, and 'ΔO₂ %' is positioned above the green light. The 'theben' logo is visible in the bottom left corner of the device's face.</p>
Mezní koncentrace CO ₂	0,1%	

PŘÍLOHA P VII: CENY ZAŘÍZENÍ VYTÁPĚCÍHO SYSTÉMU

Tepelné čerpadlo				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Tepelné čerpadlo	Stiebel Eltron	WPF 5	1	143 170,-
Akumulační zásobník 100l	Stiebel Eltron	SBP 100	1	12 031,-
Propojovací sada pro WPF	Stiebel Eltron	WPKI-V	1	4 270,-
Propojovací sada pro WPF	Stiebel Eltron	WPKI-H	1	5 131,-
Oběžné čerpadlo	Stiebel Eltron	UP 25-60	1	3 574,-
Tlumič chvění 1m, DN 25	Stiebel Eltron	SD 25-1	4	5 504,-
Chladicí modul WPAC	Stiebel Eltron	WPAC 1	1	59 996,-
Celkem				233 676,-

Příprava TUV				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Zásobník na TUV 300l	Stiebel Eltron	SBP 301 WP	1	35 170,-
Tlaková hadice DN 25	Stiebel Eltron	DN 25-1	1	1 376,-
Celkem				36 546,-

Ventilační jednotka				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Ventilační jednotka	Stiebel Eltron	LWZ 170	1	42 380,-
Tepelný výměník	Stiebel Eltron	DN 160	1	12 470,-
Senzor kvality vzduchu	Stiebel Eltron	FEQ	1	3 637,-
Celkem				58 487,-

Kolektory a rozvody				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Potrubí zemního kolektoru			300 m	10 000,-
Připojovací sada Zemního kolektoru	Stiebel Eltron	WPSB 307	1	16 730,-
Rozdělovač a sběrač zemního kolektoru	Stiebel Eltron	WPSV 25-4	1	14 630,-
Těplovdušné rozvody + škrťací klapky	Atrea		1	35 000,-
Celkem				76 360,-

Solární systém				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Solární kolektor	Stiebel Eltron	SOL 27+	2	37 980,-
Montážní rám	Stiebel Eltron	R2	1	3 320,-
Solární instalace	Stiebel Eltron	SOKI 7 +	1	15 593,-
Trubice pro průchod střechou	Stiebel Eltron		2	3 362,-
Vyrovňovací nádrž			1	2 500,-
Teplonosná kapalina	Stiebel Eltron	H-30L	25 l	2 300,-
Celkem				65 055,-

PŘÍLOHA P VIII: CENY PRVKŮ SBĚRNICE KNX

Systémové a řídicí prvky				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Napájecí zdroj	Merten	Power supply 320 REG-K	1	7 156,-
Datové rozhraní RS232/KNX	Jung	Data interface for RS 232	1	5 903,-
Akční člen	Gira	Heating actuator 6-gang	1	7 182,-
Servopohon škrticích klapek	Merten	Thermoelectric valve drive 230V	16	14 932,-
Binární výstup	Merten	Switch actuator	2	15 200,-
Akční člen	Gira	Venetian blind actuator 4-gang	1	9 033,-
Datové rozhraní USB/KNX	Siemens	UP 146 E USB interface	1	4 065,-
Celkem				63 471,-

Komunikační prvky				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Komunikační brána	ABB	IN/S 3.1 Internet Gateway	1	33 762,-
Komunikační brána	ABB	TG/S 3.1 Telephone Gateway	1	24 643,-
celkem				58 405,-

Ovládací prvky				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Ovládací prvek	Merten	TRANCENT	10	30 072,-
Kombinovaný ovládací prvek	ABB	Busch-triton Switch Sensor	4	18 664,-
Dotykový display	Zennio	INZennio Z38S	1	5 856,-
Dotykový display	Eelectron	Theo	1	101 447,-
celkem				156 039,-

EZS				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Akustický senzor	Gira	Glass-breakage sensor	5	4 792,-
Magnetický senzor	WINN	BR-1015	4	4 230,-
Binární vstup	Merten	Binary input REG-K/8x10	1	9 721,-
Pohybový senzor	Gira	E22	1	2 662,-
Pohybový senzor	Hager	360 deg presence detector	2	12 313,-
Klávesnice	Cytech	KP04	1	2 685,-
Datové rozhraní UCM / KXN	Cytech	UCM Interface to KNX	1	4 125,-
Videotelefon	Gira	Door communication System	1	29 969,-
celkem				70 497,-

EPS				
Název	Výrobce	Typ	Počet kusů	Cena [Kč]
Detektor kouře	Gira	Smoke detector	2	2 056,-
Detektor nebezpečných plynů	Theben	AMUN 716	2	11 708,-
celkem				13 764,-