

Návrh systémů vnitřního prostředí domu chráněného zemí

Design of indoor environment systems in earth sheltered house

Bc. Zuzana Kreizlová

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. Zuzana KREIZLOVÁ**
Studijní program: **N 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Návrh systémů vnitřního prostředí domu chráněného zemí**

Zásady pro vypracování:

1. Studie energeticky úsporných budov zahrnující možné způsoby tvorby mikroklimatu se zaměřením na domy chráněné zemí.
2. Možnosti řízení, monitorování a komunikace systémů techniky budov.
3. Aplikace poznatků na konkrétní budovu — dům chráněný zemí.
4. Návrh podlahového vytápění a ohřevu teplé užitkové vody s využitím solárního kolektoru a tepelného čerpadla.
5. Návrh řízení, monitorování a komunikace pomocí inteligentní sběrnice Lonworks.
6. Návrh SCADA systému a komunikační brány s protokolem TCP/IP vzdálené ovládání přes GSM.
7. Technicko ekonomické hodnocení projektu.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

1. FRKAL, Luděk. Domy chráněné zemí. 1. vyd. ERA, 2007. 112 s. ISBN 978-80-7366-095-6.
2. TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy. Grada, Praha 2005. 200 s. ISBN 80-247-1101-X.
3. HUDEC, Mojmir. Pasivní rodinný dům. Grada, Praha 2008. 112 s. ISBN 978-80-247-2555-0.
4. CENEK, Miroslav. Obnovitelné zdroje energie. FCC PUBLIC, Praha 2001. 202 s. ISBN 80-901985-8-9.
5. LADENER, Heinz, SPÄTE, Frank. Solární zařízení. Grada Publishing, Praha 2003. 368 s. ISBN 80-247-0362-9.
6. DANIELS, Klaus: Technika budov. Jaga Group v.o.d., Bratislava 2003. 530 s. ISBN 80-88905-63-X.
7. CENELEC - SmartHouse Code of Practice CWA 50487:2005. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín 2007. ISBN 978-80-7318-606-7.
8. HUMM, O. Nízkoenergetické domy. Grada Publishing, Praha 1999. 360 s. ISBN 80-7169-657-9.

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

Tato diplomová práce se zabývá návrhem inteligentního řízení systémů vnitřního prostředí domu chráněného zemí, který splňuje kritéria energeticky úsporné budovy. Hlavním cílem práce je návrh systémů vnitřního prostředí a jejich řízení s využitím informačních technologií, a to s důrazem na zachování vysoké kvality vnitřního prostředí při minimální spotřebě energie z vnějších zdrojů a s ohledem na specifické vlastnosti domu chráněného zemí. Dalším cílem práce je návrh vzdáleného ovládání systémů vnitřního prostředí prostřednictvím sítě GSM. Navržený řídicí systém má přispět ke zvýšení komfortu bydlení v domě chráněném zemí a umožnit jeho obyvatelům dálkové ovládání hlavních funkcí systémů vnitřního prostředí.

Klíčová slova: nízkoenergetický dům, pasivní dům, dům chráněný zemí, inteligentní budova, systémy vnitřního prostředí, vytápění, vzduchotechnika, osvětlení, obnovitelné zdroje energie, LonWorks, systémy řízení, monitorování, SCADA, GSM

ABSTRACT

This diploma work deals with design of an intelligent control of indoor environment systems for an earth sheltered house, which matches the requirements of an energy-saving building. The principal aim of this work is to design indoor environment systems and control system using information technology with an emphasis on indoor environment quality maintenance along with minimum outer energy consumption while considering specific characteristics of the earth sheltered house. The another aim of this work is to design remote control of indoor environment systems through the GSM network. The designed control system is to contribute to increase living comfort in the earth sheltered house and to enable its occupants a remote control of main functions of indoor environment systems.

Keywords: low-energy house, passive house, earth sheltered house, intelligent building, indoor environment systems, heating, air conditioning, lighting, renewable energy resources, LonWorks, control systems, supervision, SCADA, GSM

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Martinu Zálešákovi, CSc., za cenné rady, podněty a připomínky, které nemalým dílem přispěly ke konečné podobě této práce. Také děkuji Ing. Ludku Frkalovi za zapůjčení odborné literatury, z níž jsem při psaní této práce čerpala základní informace. Dále bych chtěla poděkovat a manželům Oswaldovým za poskytnutí podkladů, bez nichž by tato práce nevznikla. V neposlední řadě děkuji také své rodině za všestrannou podporu po celou dobu mého studia.

Motto

”

Nedědíme Zemi po našich předcích, nýbrž si ji vypůjčujeme od našich dětí.

”

ANTOINE DE SAINT-EXUPÉRY (1900 – 1944)

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové 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 práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou 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 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 práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové 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 pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

V případě publikace výsledků budu uvedena jako spoluautorka.

Ve Zlíně

.....

Zuzana Kreizlová

OBSAH

„ÚVOD	12
I TEORETICKÁ ČÁST.....	14
1 INTELIGENTNÍ BUDOVOVY	15
1.1 SYSTÉMY ŘÍZENÍ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV	17
1.1.1 Topologie systémů řízení vnitřního prostředí budov	17
1.1.2 Sběrníkové systémy používané k řízení vnitřního prostředí budov	18
1.2 MONITOROVÁNÍ A ŘÍZENÍ SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ BUDOV	20
1.2.1 SCADA systémy.....	20
1.2.2 Integrované systémy automatizace budov	21
1.3 MOŽNOSTI KOMUNIKACE INTELIGENTNÍCH BUDOV	22
1.3.1 Komunikační protokoly používané v inteligentních budovách	22
1.3.2 Komunikační média používaná v inteligentních budovách.....	22
2 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVOVY	24
2.1 NÍZKOENERGETICKÉ DOMY	26
2.1.1 Vznik a historie nízkoenergetických domů	26
2.1.2 Vymezení pojmu „nízkoenergetický dům“ a základní kritéria.....	27
2.1.3 Prostředky využívané ke snížení energetické náročnosti NED	27
2.1.4 Výhody a nevýhody nízkoenergetických domů	29
2.2 PASIVNÍ DOMY	30
2.2.1 Vznik a historie pasivních domů	30
2.2.2 Vymezení pojmu „pasivní dům“ a základní kritéria	31
2.2.3 Prostředky využívané ke snížení energetické náročnosti pasivních domů	32
2.2.4 Srovnání pasivního a nízkoenergetického domu	37
2.3 NULOVÉ DOMY, PLUSOVÉ DOMY A ENERGETICKY AUTONOMNÍ CELKY	37
2.3.1 Energeticky autonomní celky	38
2.3.2 Trvale udržitelný rozvoj	39
2.4 DOMY CHRÁNĚNÉ ZEMÍ	40
2.4.1 Vznik a historie domů chráněných zemí	40
2.4.2 Vymezení pojmu „dům chráněný zemí“ a základní kritéria.....	41
2.4.3 Specifické vlastnosti domů chráněných zemí.....	41
2.4.4 Výhody a nevýhody domů chráněných zemí	42
2.4.5 Náklady na stavbu domu chráněného zemí a jejich návratnost.....	44
3 SYSTÉMY TVORBY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOVÁCH.....	45
3.1 SYSTÉM VZDUCHOTECHNIKY	46
3.1.1 Vzduchotechnické systémy používané v energeticky úsporných budovách.....	48
3.1.2 Obnovitelné zdroje energie využívané v oblasti vzduchotechniky	49
3.2 SYSTÉM VYTÁPĚNÍ.....	50
3.2.1 Otopné soustavy používané v energeticky úsporných budovách.....	51

3.2.2	Ohřev teplé užitkové vody.....	53
3.2.3	Obnovitelné zdroje energie využívané v oblasti vytápění.....	54
3.3	SYSTÉM OSVĚTLENÍ.....	56
3.3.1	Zásady návrhu osvětlení.....	57
3.3.2	Zařízení umožňující úsporu energie.....	58
3.3.3	Zařízení umožňující zvýšení kvality osvětlení.....	58
II	PRAKTICKÁ ČÁST.....	62
4	STANOVENÍ POSTUPU NÁVRHU SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	63
4.1	POSTUP NÁVRHU SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	63
5	VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU PODLE NORMY ČSN EN 12831 A STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	64
5.1	OKRAJOVÉ PODMÍNKY.....	64
5.1.1	Výchozí parametry objektu.....	64
5.2	VÝPOČET TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU PODLE NORMY ČSN EN 12831.....	65
5.2.1	Norma ČSN EN 12831.....	65
5.2.2	Výpočet minimálního množství větracího vzduchu.....	66
5.2.3	Výpočet tepelných ztrát objektu.....	66
5.2.4	Výpočet zátopového tepelného výkonu.....	68
5.2.5	Výpočet návrhového tepelného výkonu.....	68
5.3	STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ.....	69
6	NÁVRH SYSTÉMŮ VZDUCHOTECHNIKY, VYTÁPĚNÍ, OSVĚTLENÍ A ZÁSOBENÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ V DOMĚ CHRÁNĚNÉM ZEMÍ.....	71
6.1	NÁVRH SYSTÉMU VZDUCHOTECHNIKY.....	71
6.1.1	Provoz systému v zimním období.....	73
6.1.2	Provoz systému v letním období.....	73
6.1.3	Provoz systému v přechodném období.....	73
6.1.4	Režimy větrání.....	74
6.1.5	Komponenty systému vzduchotechniky.....	74
6.2	NÁVRH SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A OHŘEVU TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY.....	77
6.2.1	Provoz systému v zimním období.....	79
6.2.2	Provoz systému v letním období.....	79
6.2.3	Provoz systému v přechodném období.....	79
6.2.4	Komponenty systému vytápění a ohřevu TUV.....	80
6.3	NÁVRH OSVĚTLENÍ.....	83
6.3.1	Použité osvětlovací prvky.....	84
6.4	NÁVRH ZÁSOBENÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ.....	86
6.4.1	Návrh zásobení elektrickou energií s využitím fotovoltaických panelů.....	86
7	NÁVRH SYSTÉMU MONITOROVÁNÍ A ŘÍZENÍ DOMU CHRÁNĚNÉHO ZEMÍ.....	88

7.1	OBECNÝ NÁVRH MONITOROVÁNÍ A ŘÍZENÍ SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	88
7.1.1	Funkce systému řízení zajišťované řídicími jednotkami IRC	89
7.1.2	Funkce systému řízení zajišťované LNS serverem.....	91
7.1.3	Komunikace systému řízení s uživatelem	92
7.2	INTEGRACE SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ S VYUŽITÍM INTELIGENTNÍ SBĚRNICE LONWORKS	93
7.2.1	Komponenty systému řízení a jejich funkce.....	94
7.3	MONITOROVÁNÍ A ŘÍZENÍ POMOCÍ SCADA SYSTÉMU TAC VISTA	98
7.3.1	Moduly systému TAC Vista a jejich funkce.....	99
7.4	VZDÁLENÁ KOMUNIKACE S UŽIVATELEM PROSTŘEDNICTVÍM INTERNETU A MOBILNÍ SÍŤE GSM.....	101
7.4.1	Komunikace prostřednictvím internetu	101
7.4.2	Komunikace prostřednictvím sítě GSM	103
8	TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NAVRŽENÝCH SYSTÉMŮ	105
8.1	HODNOCENÍ SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ	105
8.1.1	Ekonomické hodnocení navržených systémů vnitřního prostředí	105
8.1.2	Obecné hodnocení přínosů navržených systémů vnitřního prostředí	107
8.2	HODNOCENÍ SYSTÉMU MONITOROVÁNÍ A ŘÍZENÍ.....	107
8.2.1	Náklady na navržený systém monitorování a řízení	108
8.2.2	Přínosy navrženého systému monitorování a řízení	110
	ZÁVĚR.....	111
	CONCLUSION.....	113
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	115
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	117
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	119
	SEZNAM TABULEK	120
	SEZNAM PŘÍLOH.....	121
	PŘÍLOHA P I: VÝPOČET MINIMÁLNÍHO MNOŽSTVÍ VĚTRACÍHO VZDUCHU	122
	PŘÍLOHA P II: VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU PODLE NORMY ČSN EN 12831	124
	Výpočet tepelné ztráty větráním	124
	Výpočet tepelné ztráty prostupem.....	128
	Výpočet celkové tepelné ztráty	134
	PŘÍLOHA P III: UMÍSTĚNÍ KOMPONENTŮ SYSTÉMU VZT A VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ V OBJEKTU	135
	PŘÍLOHA P IV: UMÍSTĚNÍ KOMPONENTŮ SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A ROZVODŮ TOPNÉ VODY A TUV V OBJEKTU	137
	PŘÍLOHA P V: UMÍSTĚNÍ OSVĚTLOVACÍCH PRVKŮ V OBJEKTU.....	138
	PŘÍLOHA P VI: UMÍSTĚNÍ KOMPONENTŮ SYSTÉMU ŘÍZENÍ A	

SLABOPROUDÝCH ROZVODŮ V OBJEKTU	139
---------------------------------------	-----

ÚVOD

V průběhu posledních několika desítek let se zásadním způsobem změnila požadavky kladené na budovy a jejich funkci. Zatímco ještě před sto lety bylo hlavní úlohou budov zajištění ochrany člověka před nepřízní počasí, současné nároky kladené na funkce budov jsou mnohem rozmanitější. Patří k nim požadavky z oblasti managementu, energetiky, ekologie, bezpečnosti, zdravotnictví a dalších. Pro splnění těchto požadavků jsou budovy vybavovány různými zařízeními a systémy, které využívají různé způsoby komunikace a řízení, což při rostoucím počtu systémů značně komplikuje jejich obsluhu. Proto jsou v poslední době stále častěji využívány řídicí systémy, umožňující integraci jednotlivých systémů, jejich efektivní využití a snadnou obsluhu. Pro budovy vybavené integrovanými systémy řízení se vžil označení „Inteligentní budovy“.

Tyto budovy jsou schopny vyhodnocovat aktuální požadavky uživatelů a pružně na ně reagovat tak, aby byly zajištěny optimální podmínky pro aktuální činnost uživatelů při současné minimální spotřebě energie. Umožňují také snadné a rychlé ovládání základních funkcí systémů vnitřního prostředí, a to i na dálku, například prostřednictvím internetu nebo mobilní sítě GSM.

Zajištění uživatelského komfortu při minimální spotřebě energie je v současné době jedním z hlavních požadavků, které jsou na budovy kladeny. Tento požadavek splňují energeticky úsporné stavby, k nimž patří nízkoenergetické a pasivní domy. Tyto stavby využívají k dosažení úspor energie především pasivních způsobů, k nimž patří dobrá tepelná izolace, vzduchotěsnost obvodového pláště budovy a využití pasivních solárních zisků. Kromě toho bývají vybaveny také zařízeními pro získávání energie z obnovitelných zdrojů, což dále snižuje jejich energetickou náročnost. Účinnost těchto zařízení však může výrazně kolísat v závislosti na aktuálních podmínkách, což může snižovat uživatelský komfort i energetickou efektivitu budov. Řešení tohoto problému nabízí vybavení energeticky úsporných budov integrovanými systémy řízení, které umožňují pružně reagovat na aktuální podmínky a v závislosti na nich řídit výkon jednotlivých zařízení tak, aby bylo dosaženo optimálního poměru uživatelského komfortu a energetické efektivity.

Tato práce se zabývá návrhem integrovaného řízení systémů vnitřního prostředí domu chráněného zemí, který spadá do kategorie nízkoenergetických domů. Cílem práce je návrh systémů vnitřního prostředí vhodně kombinovaných s obnovitelnými zdroji a návrh řízení

těchto systémů tak, aby byly splněny požadavky na energetickou efektivitu domu a jeho uživatelský komfort a současně bylo umožněno snadné a rychlé ovládání jednotlivých parametrů vnitřního prostředí jak přímo v domě, tak i dálkově prostřednictvím internetu a mobilní sítě GSM.

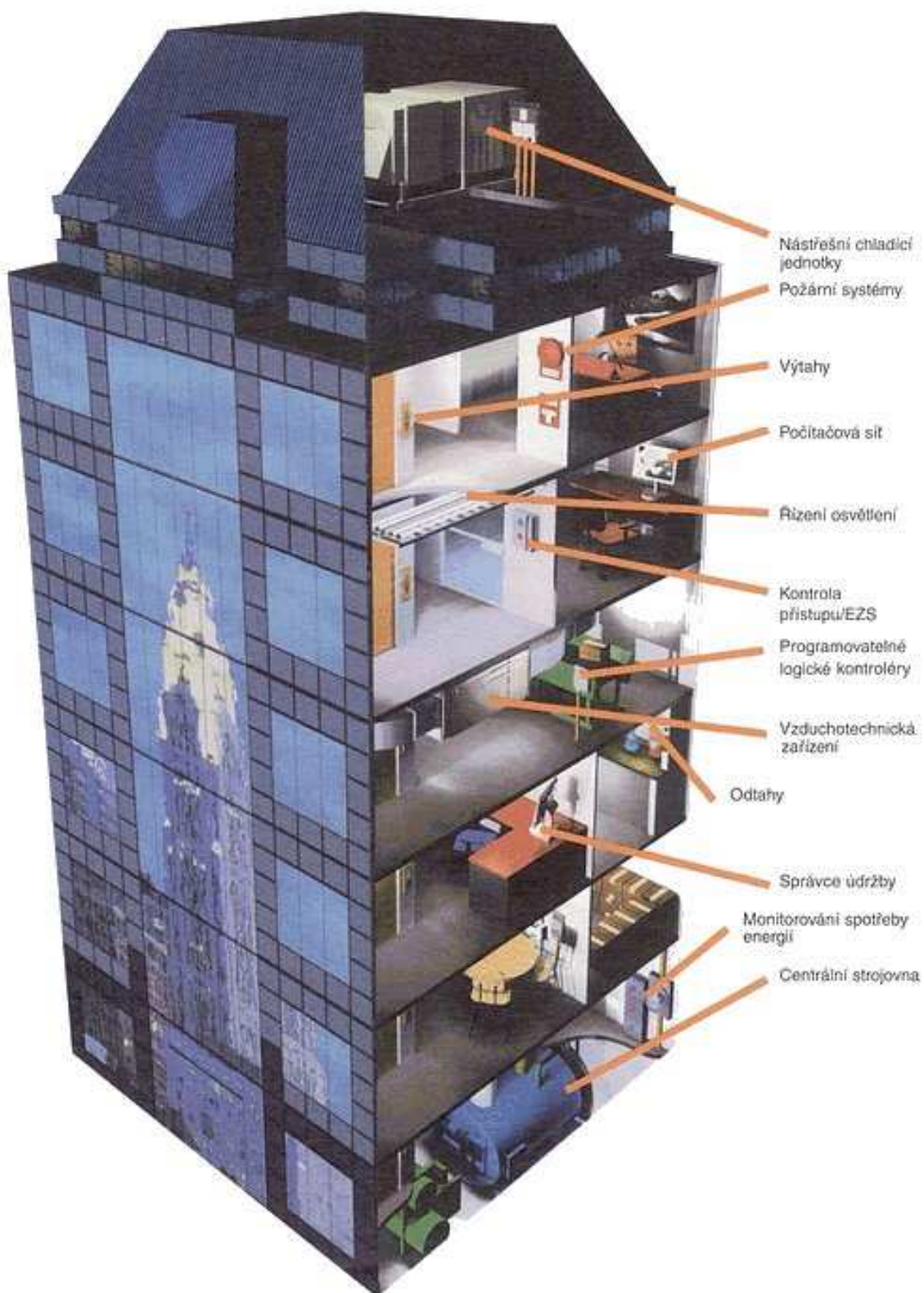
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 INTELIGENTNÍ BUDOVY

Pojem „inteligentní budova“ vznikl v devadesátých letech dvacátého století v USA, kde byl použit k definici vzájemně spolupracujících technických a správních systémů velkých budov. Tento pojem je v současné době chápán různými způsoby v závislosti na požadavcích na funkce budovy a na tom, z jakého hlediska je budova posuzována, což je možná důvodem, proč stále neexistuje jeho jednotná a všeobecně uznávaná definice. Společným prvkem všech existujících definic inteligentní budovy však zůstává multidisciplinární přístup k projektu stavby tak, aby byly optimálním způsobem splněny požadavky jak vlastníka budovy, tak i jejích uživatelů.

Takto je pojem „inteligentní budova“ definován na serveru TZB-info [10]: *„Inteligentní budovy jsou objekty s integrovaným managementem, tj. se sjednocenými systémy řízení (technika prostředí, komunikace, energetika), zabezpečení (kontrola přístupu, požární ochrana, bezpečnostní systém) a správy budovy (plánování, pronájem, leasing, inventář). Optimalizací těchto složek a vzájemných vazeb mezi nimi je zabezpečeno produktivní a nákladově efektivní prostředí. Inteligentní budova pomáhá vlastníkovi, správci i uživateli realizovat jejich vlastní cíle v oblasti nákladů, komfortu prostředí, bezpečnosti, dlouhodobé flexibility a prodejnosti. Inteligentní budova uspokojuje současné potřeby vlastníka a nájemce budovy a může být jednoduše přizpůsobena jejich rostoucím nárokům v budoucnosti, umožňuje úspory pořizovacích i provozních nákladů.“*

Integrace jednotlivých systémů a funkcí v inteligentní budově je názorně zobrazena na obrázku 1.



Obrázek 1: Integrace systémů a funkcí v inteligentní budově (Zdroj: TZB-info [10])

Inteligentní budova by měla splňovat základní požadavky svých vlastníků a uživatelů, k nimž patří zejména:

- minimalizace nákladů na energii
- minimalizace provozních nákladů
- minimalizace nákladů na opravy a rekonstrukce
- flexibilita využití jednotlivých vnitřních prostor
- kvalita vnitřního prostředí budovy přispívající ke zvýšení produktivity práce

1.1 Systémy řízení vnitřního prostředí budov

Systémy řízení vnitřního prostředí budov zajišťují řízení a vzájemnou komunikaci jednotlivých zařízení a subsystémů tvorby vnitřního prostředí. Cílem řízení systémů vnitřního prostředí je zajištění optimálního stavu vnitřního prostředí budov při minimální spotřebě energie a umožnění monitorování jednotlivých parametrů vnitřního prostředí a komunikace systémů s uživatelem.

1.1.1 Topologie systémů řízení vnitřního prostředí budov

Základním kritériem pro rozdělení systémů vnitřního prostředí je jejich topologie. Podle ní lze rozdělit systémy řízení na centralizované, zónové a decentralizované.

Centralizované (ústřední) řízení

Jako centralizovaný systém řízení je označován takový systém, který se skládá z mnoha čidel a akčních členů, ale pouze jedné řídicí jednotky. Tato topologie řízení vnitřních systémů budov byla používána v době začátků integrovaného řízení budov a postupem času byla zejména u větších budov vytlačována řízením zónovým a decentralizovaným. Výhodou centralizovaných systémů je menší potřeba řídicích jednotek oproti zónovým a decentralizovaným systémům. Jejich nevýhodou je snadná zranitelnost, vyplývající ze závislosti celého systému na jediné řídicí jednotce, a dlouhá reakční doba, vyplývající z nutnosti odesílat veškerá data ze všech čidel jediné řídicí jednotce, která je zpracovává a poté stejně dlouhou cestou posílá příkazy akčním členům. Délka reakční doby centralizovaných systémů narůstá s jejich rostoucí velikostí, proto je centralizované řízení vhodné spíše pro malé objekty a systémy menšího rozsahu.

Zónové řízení

Pro potřeby zónového řízení je budova rozčleněna do logických zón, které mohou reprezentovat například jednotlivá patra. Tyto zóny pak mají vlastní řídicí jednotky, které přijímají a zpracovávají informace z čidel umístěných v dané zóně a na jejich základě odesílají příkazy příslušným akčním členům. Zónové systémy představují z hlediska délky reakční doby a množství řídicích jednotek jakýsi kompromis mezi systémy centralizovanými a decentralizovanými. Ve srovnání s centralizovanými systémy nabízejí kratší reakční dobu, nevyžadují však tolik řídicích jednotek jako systémy decentralizované, což snižuje jejich celkové pořizovací náklady.

Decentralizované řízení

Systémy s decentralizovaným řízením jsou vybaveny lokálními řídicími jednotkami, které jsou zpravidla umístěny v jednotlivých místnostech. Tyto jednotky, nazývané IRC (Individual Room Control), přijímají a zpracovávají informace z čidel umístěných v dané místnosti a na jejich základě odesílají příkazy příslušným akčním členům. IRC jednotky bývají obvykle připojeny k decentralizované datové sběrnici, která slouží ke vzájemnému sdílení dat a umožňuje odesílání požadavků na výkon primárních zdrojů (kotle, vzduchotechnické jednotky apod.), monitorování aktuálního stavu systému nebo dálkovou komunikaci s uživatelem. Výhodou decentralizovaného systému je malá zranitelnost výpadky řídicích jednotek a krátká reakční doba, jeho nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady vyplývající z velkého počtu řídicích jednotek. Decentralizované systémy jsou vzhledem ke svým vlastnostem obzvláště vhodné pro velké budovy a složitější systémy.

1.1.2 Sběrníkové systémy používané k řízení vnitřního prostředí budov

K řízení systémů vnitřního prostředí budov jsou používány různé sběrníkové systémy, které se navzájem liší používaným komunikačním protokolem, možnostmi přenosu dat a často také používanými zařízeními, jimiž jsou nejčastěji čidla, akční členy a řídicí jednotky.

K nejčastěji používaným sběrníkovým systémům v oblasti řízení systémů vnitřního prostředí budov patří tyto:

- KNX
- LonWorks

- Profibus
- BACnet

Systém KNX

Decentralizovaný sběrniceový systém pro automatizaci budov KNX (Konnex), označovaný také jako EIB/KNX, byl vyvinut na základě systémů EIB, EHS a Batibus. Standard Konnex byl definován v roce 2003 a je založen na evropské normě EN 50090. Tomuto standardu v současné době odpovídá přes 5 000 produktů z různých oborů techniky vnitřního prostředí budov od více než 120 výrobců. O certifikaci těchto produktů, servis a prodej konfiguračního softwaru se starají asociace Konnex a EIBA (European Installation Bus Assotiation). Produkty splňující standard KNX jsou zpětně kompatibilní také s produkty odpovídajícími staršímu standardu EIB, jichž je přes 4000 a jsou k dostání i v dnešní době. Systémy KNX využívají software ETS, EITT, Falcon a OPC Server. Výhodou systému KNX je široká škála použitelných produktů, jeho nevýhodou je nutnost napájení komunikační sběrnice EIB.

Systém LonWorks

Univerzální decentralizovaný sběrniceový systém LonWorks, určený pro průmyslovou automatizaci a vnitřní prostředí budov, byl vyvinut společností Echelon pod původním názvem LON (Local Operating Network). Základem systému jsou tzv. neuronové čipy, což jsou integrované obvody obsahující procesor, sběrniceové připojení a firmware zajišťující sběrniceovou komunikaci. Neuronové čipy tvoří uzly sítě, která může být dále rozdělena na domény a podsítě. Systém LonWorks používá komunikační protokol LonTalk, k programování se používá jazyk Neuron C, který je odvozen od jazyka ANSI C. Standardizací produktů používaných v síti LonWorks a jejich vzájemnou kompatibilitou se zabývá standardizační uskupení LonMark International, které v současné době sdružuje asi 300 výrobců. Výrobky splňující tento standard jsou označovány značkou konformity LonMark. Výhodou systému LonWorks je jeho velká flexibilita týkající se komunikačních médií a přenosových rychlostí.

Systém Profibus

Sběrniceový systém Profibus (Process Field Bus) je určen pro automatizaci výrobních linek, řízení výroby a distribuce energie a pro automatizaci systémů vnitřního prostředí budov.

V současné době existují tři varianty komunikačního standardu Profibus, které umožňují komunikaci v různých typech prostředí: Profibus DP (Decentralized Periphery) pro rychlou komunikaci v nenáročném prostředí, Profibus FMS (Fieldbus Message Specification) pro využití v heterogenním prostředí a Profibus PA (Process Automation) vhodný zejména pro pomalou komunikaci ve výbušném prostředí. Jako komunikační médium lze využít sběrnici RS-485, kroucenou dvojlinku nebo optické vlákno, přenosová rychlost se pohybuje od 9 kbps do 12 Mbps v závislosti na vzdálenosti a použitém přenosovém médiu.

Systém BACnet

Systém BACnet (Building Automation and Control Networks), určený pro automatizaci budov, byl vyvinut americkým sdružením ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers). BACnet umožňuje integraci systémů různých výrobců, primárně určených pro automatizaci budov. K přenosu dat využívá systém BACnet síť Ethernet, ARCNET, sériovou linku RS-485 a protokol LonTalk používaný v sítích LonWorks. Nejrychlejší komunikaci lze realizovat při využití sítě Ethernet, u níž je přenosová rychlost až 100 Mbps.

1.2 Monitorování a řízení systémů vnitřního prostředí budov

Jako inteligentní budovu lze označit pouze takovou budovu, která je vybavena integrovaným řídicím systémem, umožňujícím jednotné centrální řízení a monitorování všech subsystémů potřebných pro její provoz.

1.2.1 SCADA systémy

K monitorování a řízení systémů tvorby vnitřního prostředí budov slouží systémy typu SCADA (Supervisor, Control And Data Acquisition). Tyto systémy v reálném čase monitorují a zpracovávají data z různých senzorů, které jsou součástí daného systému, a na základě těchto dat ovlivňují činnost systému tak, aby bylo dosaženo jeho optimální funkce bez nutnosti zásahů uživatele. Kromě toho zprostředkovávají komunikaci mezi systémem a uživatelem, která probíhá prostřednictvím různých rozhraní typu HMI (Human Machine Interface), umožňují vzdálené ovládání systému a archivaci naměřených dat.

SCADA systémy mají velmi široké možnosti využití, od malých aplikací, jako je řízení klimatizace, po velké aplikace, jako je monitorování a řízení jaderných elektráren nebo

systémů hromadné dopravy. Umožňují také používání otevřených protokolů a jejich software lze snadno nakonfigurovat pro téměř jakoukoliv aplikaci, což eliminuje potřebu vývoje softwaru na míru.

Součástí SCADA systémů je celá řada komponentů, k nimž obvykle patří vstupní a výstupní zařízení, regulátory, síťové prvky, uživatelské rozhraní (HMI), komunikační vybavení a software.

Uživatelské rozhraní systémů SCADA (HMI)

Úkolem HMI je zpracování a zobrazení dat, umožňující jejich prohlížení uživatelem. Součástí tohoto rozhraní jsou také ovládací prvky, jejichž prostřednictvím může uživatel komunikovat se systémem - např. přístupový terminál, dálkové ovládání pomocí IR ovladače nebo vzdálený přístup prostřednictvím internetu. HMI umožňuje snadno monitorovat činnost celého systému i jednotlivých dílčích zařízení, pro která dosud neexistuje žádná standardizovaná metoda prezentace dat. HMI může být napojeno také na databázi, která může využívat data získaná ze systému k vykreslování grafů trendů a dalších informací. Prakticky všechny SCADA systémy vyvinuté v průběhu posledních deseti let obsahují integrované HMI a další prvky, které velmi usnadňují provoz a monitorování SCADA systémů.

1.2.2 Integrované systémy automatizace budov

Ačkoliv jednotlivých SCADA systémů, které řídí jednotlivé subsystémy tvorby vnitřního prostředí, je v současné době k dispozici celá řada, integrovaných informačních systémů pro automatizaci budov je stále poměrně málo. K systémům, které již dosáhly jisté rozšířenosti patří tyto:

- BuilDog, který byl vyvinut společnostmi Hewlet Packard Hungary a ScadaSys Ltd.
- Sky-Walker, jehož výrobcem je belgická společnost Entelec
- EnNET, vyvinutý americkou společností Gridlogix
- TAC Vista, vyvinutý společností Schneider Electric pro systémy LonWorks a Modbus

Integrované informační systémy budov zajišťují integraci jednotlivých subsystémů vzduchotechniky, vytápění, osvětlení, zásobení elektrickou energií, komunikace,

zabezpečení a požární ochrany. Nutnou podmínkou integrace je přitom zajištění komunikace s jednotlivými subsystemy, umožňující jejich snadnou centrální správu.

1.3 Možnosti komunikace inteligentních budov

V integrovaných systémech inteligentních budov hraje významnou roli jak komunikace systému s jednotlivými subsystemy, tak i komunikace systému s uživatelem. Ke komunikaci s jednotlivými subsystemy, které často používají odlišné protokoly a různá přenosová média, slouží komunikační brány, které zajišťují přechod z jednoho komunikačního protokolu na druhý. Totéž platí i pro vzdálenou komunikaci s uživatelem např. pomocí internetu nebo mobilního telefonu.

1.3.1 Komunikační protokoly používané v inteligentních budovách

Používané komunikační protokoly do značné míry závisí na používaných zařízeních a sběrnicovém systému, pro který jsou tato zařízení určena - například systém LonWorks používá komunikační protokol LonTalk. Jednotlivé komunikační protokoly jsou založeny na modelu ISO/OSI, který se skládá ze sedmi vrstev. Struktura modelu ISO/OSI je znázorněna na obrázku 2.



Obrázek 2: Struktura modelu ISO/OSI

1.3.2 Komunikační média používaná v inteligentních budovách

Ke komunikaci mezi jednotlivými komponenty integrovaných systémů budov jsou nejčastěji používána tato komunikační média:

- kroucená dvojlinka (STP, UTP)
- koaxiální kabel
- silové vodiče (PL)
- optická vlákna
- radiofrekvenční přenos (RF)
- infračervený přenos (IR)

Dálková komunikace integrovaného systému s uživatelem probíhá prostřednictvím internetu s využitím běžných přenosových médií pro internetové připojení nebo prostřednictvím mobilní sítě GSM. Na stejném principu probíhá také kontaktování bezpečnostních a záchranných složek v případě mimořádných situací, jako je například vloupání, požár apod.

2 ENERGETICKY ÚSPORNÉ BUDOVY

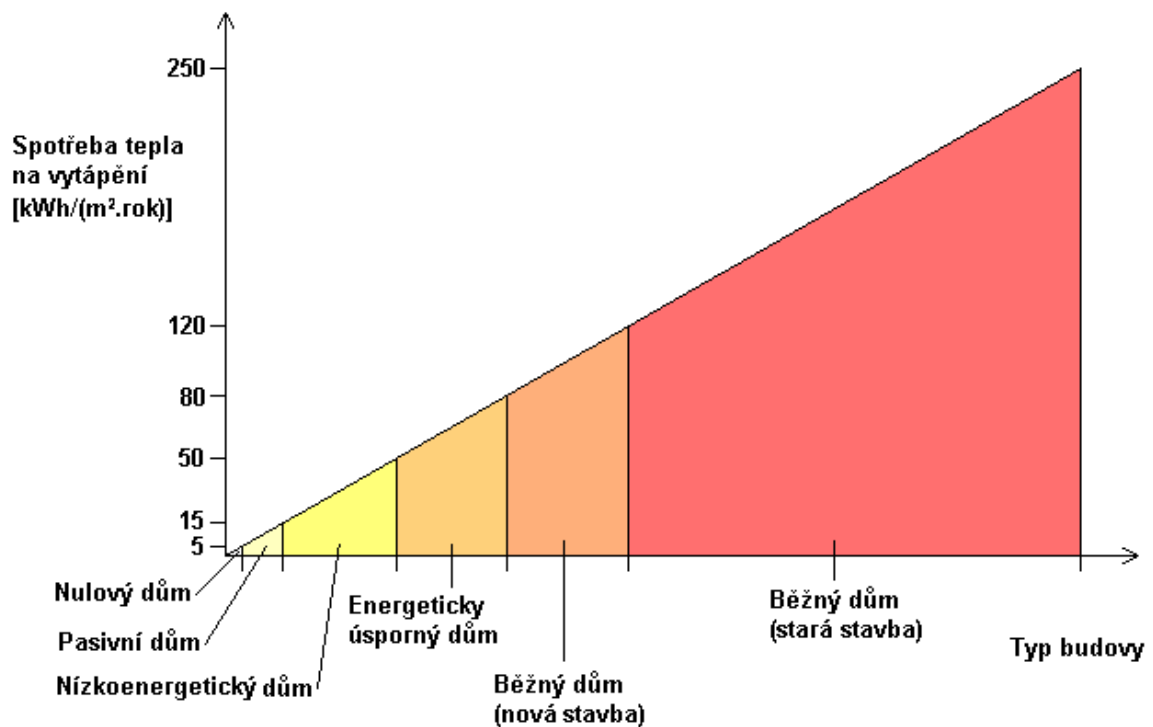
Energeticky úsporné budovy se od běžných staveb liší nižší celkovou potřebou energie a nižší spotřebou energie odebírané z veřejné rozvodné sítě. Tento fakt přináší vedle menšího dopadu na životní prostředí také značnou výhodu z hlediska ekonomického, především v dnešní době, kdy spotřeba i ceny energií neustále rostou. Úspora energie přitom není na úkor kvality vnitřního prostředí, která je naopak často dokonce vyšší než u konvenčních staveb, u nichž se někdy setkáváme se snížením požadavků na vnitřní prostředí ve snaze dosáhnout úspory energie, což může mít mnoho negativních důsledků.

Do kategorie energeticky úsporných budov spadá několik druhů staveb, které se od sebe liší spotřebou energie vynaložené na vytápění (tzv. plošná měrná potřeba tepla e_A). Tato veličina je hlavním kritériem, podle něhož je posuzována energetická úspornost staveb. Plošná měrná potřeba tepla je roční spotřebou energie na vytápění připadající na jeden metr čtvereční vytápěné plochy, její jednotkou je $kWh/(m^2.rok)$. Přehled jednotlivých kategorií energeticky úsporných staveb a jejich plošná měrná potřeba tepla jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Spotřeba energie u jednotlivých kategorií staveb

Druh budovy	Plošná měrná potřeba tepla e_A [$kWh/(m^2.rok)$]
Běžný dům stavěný před rokem 2003	120 - 250
Běžný dům stavěný po roce 2003	80 - 120
Energeticky úsporný dům	50 - 80
Nízkoenergetický dům (NED)	15 - 50
Pasivní dům (EPD)	5 - 15
Nulový dům	0 - 5

Pro lepší představu je srovnání jednotlivých kategorií budov a jejich plošné měrné potřeby tepla graficky znázorněno na obrázku 3.



Obrázek 3: Jednotlivé kategorie budov a jejich plošná měrná potřeba tepla

Energeticky úsporné budovy využívají k dosažení lepší energetické bilance následujících prostředků:

- vhodný výběr stavebního pozemku a volba orientace domu (ideálně jižní svah)
- dobrá tvarová charakteristika (poměr obvodových konstrukcí vůči obestavěnému prostoru v m³)
- solární architektura (využití pasivních slunečních zisků, vhodné začlenění stínících prvků)
- účinná tepelná izolace (zvýšení tepelného odporu obvodového pláště domu)
- eliminace vzniku tepelných mostů v obvodovém plášti domu (zejména okna a jejich okolí)
- neprůvzdušnost (zabraňuje tepelným ztrátám netěsnostmi v obvodovém plášti domu)
- vzduchotechnický systém s rekuperací tepla (snižuje tepelné ztráty větráním)
- využití aktivních slunečních zisků (fototermické a fotovoltaické panely)

- využití dalších zdrojů energie (tepelná čerpadla, zemní výměníky tepla)

Mnohé z těchto bodů spolu úzce souvisí, například solární architektura spočívá ve využití aktivních i pasivních solárních prvků, tj. využití solárních kolektorů (aktivní prvky) a vhodné orientaci oken (pasivní solární zisky), což zase souvisí s vhodným umístěním domu v terénu, které může mít značný vliv na velikost pasivních i aktivních solárních zisků. Energeticky úsporná budova představuje komplexní celek, jehož jednotlivé složky se vzájemně ovlivňují a doplňují a nelze na ně pohlížet odděleně, necht' je proto výše uvedený výčet těchto složek považován pouze za pokus o stručný a jednoduchý přehled používaných prvků. Zároveň je třeba zdůraznit, že ne všechny kategorie energeticky úsporných budov využívají všechny výše uvedené prvky, obecně ale platí, že čím nižší spotřebou energie se daná budova vyznačuje, tím více těchto prvků využívá a tím větší je jejich vzájemná provázanost.

2.1 Nízkoenergetické domy

První skupinou domů s výraznější úsporou energie jsou nízkoenergetické domy. Tyto domy mohou být chápány jako přechod mezi běžnými stavbami a pasivními domy.

2.1.1 Vznik a historie nízkoenergetických domů

První nízkoenergetické domy byly postaveny v Německu v 70. letech dvacátého století, v době ropné krize, kdy vyvstala potřeba snížit energetické nároky budov. Později se tyto stavby rozšířily také do Rakouska, Švýcarska a dalších zemí včetně České republiky. Z německého výrazu Niedrig-Energie-Haus vznikl také český název „nízkoenergetický dům“.

V České republice se nízkoenergetické domy začaly stavět po roce 1989. V současné době u nás těchto domů stojí přibližně tisíc. Z celkového počtu nových staveb na našem území připadá na nízkoenergetické domy přibližně jedno procento. To je velmi malé množství zejména ve srovnání s německy mluvícími zeměmi, kde se tyto domy postupně stávají běžným standardem - například ve spolkové zemi Horní Rakousko musí od 1. 1. 2008 všechny nové budovy splňovat kritéria pro nízkoenergetické domy a domy s vyšší energetickou náročností stavět nelze.

2.1.2 Vymezení pojmu „nízkoenergetický dům“ a základní kritéria

Nízkoenergetickým domem se rozumí budova, jejíž **plošná měrná potřeba tepla** nepřevyšuje $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Oproti běžným stavbám tak dosahuje až 75% úspory energie. Tepelně izolační parametry nízkoenergetických domů se řídí podle doporučených hodnot normy ČSN 730540 „Tepelná ochrana budov“.

Kromě tepelně izolačních kritérií musí nízkoenergetický dům splňovat také kritérium **neprůvzdušnosti**, jehož výpočet se řídí podle pravidel určených normou ČSN EN 13829 „Tepelné chování budov - Stanovení průvzdušnosti budov - Tlaková metoda“. Maximální hodnota neprůvzdušnosti pro nízkoenergetické domy je $0,6/h$.

2.1.3 Prostředky využívané ke snížení energetické náročnosti NED

Nízkoenergetický dům obvykle využívá všech prostředků k úspoře energie uvedených v úvodní části kapitoly „Energeticky úsporné budovy“.

Rekuperace vzduchu a zemní výměník

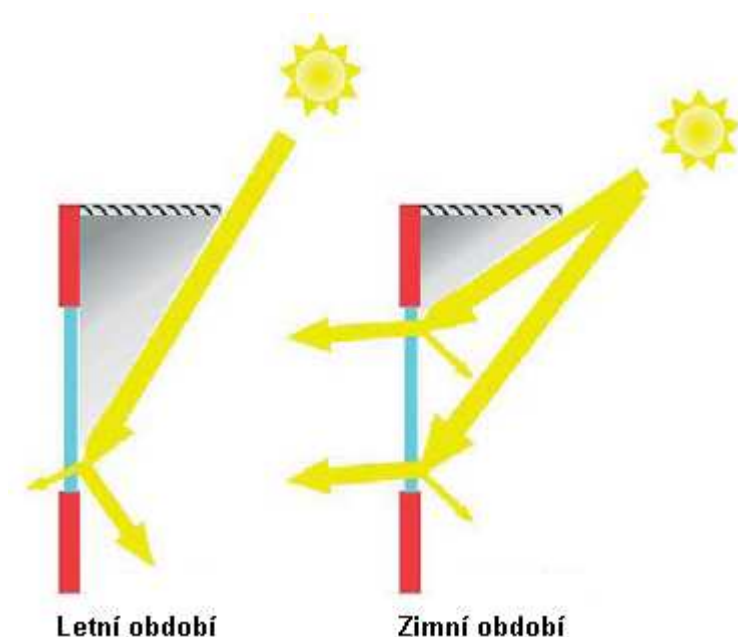
Využití vzduchotechnického systému s rekuperační jednotkou je vzhledem k požadavkům na neprůvzdušnost u těchto staveb nutnou podmínkou pro splnění hygienických požadavků na výměnu vzduchu v budově. Tepelnou ztrátu větráním dále snižuje využití zemního výměníku tepla pro předehřev větracího vzduchu, jeho použití však není pro provoz domu nezbytně nutné.

Solární architektura

Uplatnění zásad solární architektury, k nimž patří vhodné umístění domu na pozemku, orientace oken a využití stínících prvků, významně přispívá ke zvýšení tepelných zisků domu v zimním období a k udržení tepelného komfortu v létě. Podle encyklopedie Enviwiki [13] lze využitím pasivních solárních zisků snížit spotřebu energie na vytápění o 5 až 15 procent.

Ideálním terénem pro umístění nízkoenergetického domu je jižní svah, není to však nutnou podmínkou. Aby mohl dům efektivně využívat pasivních solárních zisků, musí být zajištěn přístup slunečních paprsků k jižní a jihozápadní straně domu, kde bývá umístěna většina oken. Proto je vhodné umístění domu v severní nebo severovýchodní části stavebního pozemku.

Významnou součástí solární architektury jsou také nadokenní římsy, slunolamy, lamely nebo jiné stínící prvky, které jsou koncipovány tak, aby v zimním období, kdy je slunce nízko nad obzorem, propouštěly sluneční paprsky okny a umožňovaly jim ohřívat interiér domu, zatímco v létě, kdy je slunce vysoko, okna naopak stíní a zamezují tak přehřívání interiéru, čímž přispívají k udržení teploty vnitřního prostředí na požadované úrovni. Funkce těchto stínících prvků je znázorněna na obrázku 4.



Obrázek 4: Funkce stínících prvků v letním a zimním období

Tepelné čerpadlo

Dalším prvkem umožňujícím snížení spotřeby energie na vytápění je tepelné čerpadlo. Toto zařízení využívá k ohřevu vody teploty půdy v hloubce dvou a více metrů pod povrchem. Využití tepelného čerpadla je výhodné zejména v kombinaci s nízkooteplotním vytápěním, které se v nízkoenergetických domech obvykle používá místo konvenční otopné soustavy.

Sluneční kolektory

K ohřevu teplé užitkové vody (TUV) se v nízkoenergetických domech často používá fototermický sluneční kolektor, který umožňuje přeměnu sluneční energie na energii tepelnou. K přeměně sluneční energie na elektřinu slouží fotovoltaický kolektor, který jednak přispívá ke snížení množství elektrické energie odebírané z veřejné rozvodné sítě,

může však sloužit také jako záložní zdroj v případě výpadku elektřiny, zejména je-li využíván v kombinaci s akumulátorem.

2.1.4 Výhody a nevýhody nízkoenergetických domů

Některé z předností nízkoenergetických domů už byly zmíněny výše, přesto zde pro úplnost uvádím jejich celý výčet.

Výhody NED

- méně zatěžují životní prostředí - nižší energetická náročnost domu je spojena s nižší produkcí CO₂
- mají nižší provozní náklady - vzhledem k tomu, že náklady na vytápění představují asi 70% celkových nákladů na provoz budov, jejich snížení výrazně ovlivní celkovou výši provozních nákladů, nižší spotřeba také snižuje dopad růstu cen energií
- vysoká kvalita vnitřního prostředí - díky nízkým tepelným ztrátám a automatické řízení vnitřní teploty je v nízkoenergetických domech zajištěna tepelná pohoda v průběhu celého roku, řízené větrání zajišťuje stálý přívod čerstvého vzduchu
- pozitivní vliv na zdraví obyvatel - díky řízenému větrání nevzniká průvan, nedochází ke vzniku plísní, filtrace přívodního vzduchu odstraňuje pevné nečistoty a zvyšuje jeho kvalitu
- částečná energetická nezávislost - vzhledem k nízké spotřebě energie a využívání vlastních zdrojů jsou nízkoenergetické domy mnohem méně zranitelné výpadky vnější dodávky energie, nízké tepelné ztráty i při výpadcích umožňují zachování tepelné pohody vnitřního prostředí po delší dobu, než je tomu u běžných staveb

Nevýhody NED

- omezení polohou domu - energetická náročnost nízkoenergetického domu je do značné míry ovlivněna kvalitou pasivních solárních zisků, proto je nutné zvolit takovou polohu domu, aby byly tyto zisky zajištěny, tj. aby nebyl dům z jižní a jihozápadní strany stíněn, a současně je nutné tomuto požadavku přizpůsobit orientaci oken jižním a jihozápadním směrem a naopak minimalizovat počet a velikost oken orientovaných na sever

- vyšší pořizovací náklady - nízkoenergetický dům vyžaduje použití vhodných stavebních materiálů a zařízení, nutností je také dokonalé provedení všech stavebních prací
- nároky na chování obyvatel domu - aby mohl nízkoenergetický dům sloužit svému účelu, je třeba dodržovat určité zásady chování, jako je důsledné zavírání dveří a oken, vypínání elektrických spotřebičů, používání spotřebičů s nižší spotřebou energie

2.2 Pasivní domy

Druhou skupinou energeticky úsporných staveb jsou pasivní domy. Tyto domy umožňují v porovnání s běžnými stavbami až devadesátiprocentní úsporu energie na vytápění.

2.2.1 Vznik a historie pasivních domů

Dalo by se říct, že pasivní domy jsou dalším vývojovým stupněm, který se postupem času vyvinul z domů nízkoenergetických. S pokrokem ve vývoji nových materiálů a technologií se dařilo dosahovat u nových nízkoenergetických domů stále nižší energetické náročnosti, která časem klesla hluboko pod původní hranici $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$. Proto byla stanovena nová hranice $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$ a vznikl pojem „pasivní dům“.

Standard pasivního domu byl podle Wikipedie [11] formulován v roce 1988 Dr. Wolfgangem Feistem z německého Institut für Wohnen und Umwelt a profesorem Bo Adamsonem ze švédské Lund University. První pasivní domy byly postaveny v roce 1990 v německém Darmstadtu a u jejich realizace stáli architekti Bott, Ridder a Westemeyer.

V roce 1996 byla založena nadace Passivhaus-Institut, která se zabývá propagací a kontrolou standardu pro pasivní domy. Také byla založena pracovní skupina zaměřená na projektování pasivních staveb a vývoj potřebných technologií, především oken a větracích systémů. Od roku 1998 byl koncept pasivního domu financován skrze Evropský projekt CEPHEUS (Cost Efficient Passive Houses as European Standards), v jehož rámci bylo realizováno 250 pasivních staveb v pěti evropských zemích.

Postupně vznikaly také další organizace zaměřené na podporu pasivních domů v jednotlivých evropských zemích. V Rakousku to byl v roce 2004 národní program klima: aktive, ve Švýcarsku národní standard MINERGIE-P. V České republice se propagací

pasivních domů a osvětou široké veřejnosti od roku 2000 zabývá Ekologický institut Veronica. Od roku 2005 funguje také občanské sdružení Centrum pasivního domu, které na téma pasivní domy pořádá přednášky a odborné konference a vydává odborné publikace zaměřené na toto téma.

V současné době se v Evropě nachází přibližně 11 000 budov splňujících kritéria pro pasivní domy, a to jak rodinných domů, tak i bytových komplexů a kancelářských budov. Z tohoto množství se přibližně 7 000 nachází v Německu a 3 000 v Rakousku. V České republice stojí v současné době pasivních domů pouze několik desítek.

2.2.2 Vymezení pojmu „pasivní dům“ a základní kritéria

Vzhledem k velmi nízkým tepelným ztrátám se u pasivních domů ukázalo hodnocení podle plošné měrné potřeby tepla jako nedostačující a vyvstala potřeba pohlížet na pasivní dům jako na komplexní celek. Proto byla zavedena další kritéria, která umožňují přesnější určení celkové energetické náročnosti domu, včetně náročnosti výroby použité energie.

Přehled všech kritérií, která musí budova splňovat, aby mohla být posuzována jako pasivní dům, je uveden v tabulce 2.

Tabulka 2: Základní kritéria pro pasivní domy

Veličina	Požadovaná hodnota
Roční potřeba tepla na vytápění	$\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Celková roční potřeba energie	$\leq 42 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Celková roční potřeba primární energie	$\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{rok})$
Vzduchotěsnost	$< 0,6/h$

Vysvětlivky k tabulce 2:

- **Roční potřeba tepla na vytápění** je plošná měrná potřeba tepla, do níž nejsou započítány solární zisky. Její hodnota je odvozena od tepelných ztrát budovy vztahených k její celkové podlahové ploše.
- **Celková roční potřeba energie** zahrnuje veškerou energii dodanou do domu bez rozdílu jejího účelu a formy. Obecně je to veškerá elektřina a teplo vynaložené na

vytápění, ohřev teplé užitkové vody, chlazení, osvětlení, provoz vzduchotechniky, provoz domácích spotřebičů apod.

- **Celková roční potřeba primární energie** vyjadřuje celkové množství energie, které je třeba vynaložit na zajištění dodávky energie do domu. Tato hodnota zahrnuje ztráty, které vznikají při výrobě energie pro dům, je zde tedy zohledněna také účinnost tepelných elektráren nebo jiného způsobu výroby energie, které je v domě používána.
- **Vzduchotěsnost** domu udává míru infiltrace vzduchu z venkovního prostředí. Vzduchotěsnost $n_{50} \leq 0,6/h$ znamená, že při poklesu tlaku o $50 Pa$ vzhledem k venkovnímu tlaku může dojít za 1 hodinu k infiltraci maximálně 60% objemu vzduchu celé budovy. U mnohopodlažních budov je vzhledem k rozdílu tlakového spádu uvnitř budovy a ve venkovním prostředí doporučená hodnota vzduchotěsnosti pro pasivní domy $n_{50} \leq 0,2/hod$.

Pátým, doporučeným, kritériem je **topný příkon**, který by při nejnižší venkovní teplotě (v ČR -12 až -18 °C) neměl překročit $10 W/m^2$. Splnění tohoto kritéria však u pasivních domů není nutnou podmínkou.

Pro modelování chování pasivního domu z hlediska energií se obvykle používá metodika Passivhaus Projektierungspaket (PHPP), vyvinutá Passivhaus Institutem.

2.2.3 Prostředky využívané ke snížení energetické náročnosti pasivních domů

Vzhledem k tomu, že předchůdci pasivních domů byly nízkoenergetické domy, používají pasivní domy k dosažení nízké energetické náročnosti z velké části také stejné prostředky. Protože jsou však kritéria pro stavbu pasivních domů podstatně přísnější, jsou používány prostředky často technicky vspělejší, nebo je jejich využití důslednější.

Tvarová charakteristika

Druhá možnost platí zejména pro tvarovou charakteristiku domů a uplatnění zásad solární architektury. Zatímco u nízkoenergetických domů se často setkáváme s členitějším tvarem, u pasivních domů převažují spíše tvary kompaktní a z hlediska tvarové charakteristiky energeticky méně náročné. Větší důraz je kladen také na orientaci většiny oken k jihu, případně jihozápadu, a eliminaci prosklených ploch na severní straně domu. Rozdíl mezi

tvary používanými u nízkoenergetických domů a typickým tvarem pasivního domu je patrný při porovnání obrázků 5 a 6.



Obrázek 5: Nízkoenergetický dům

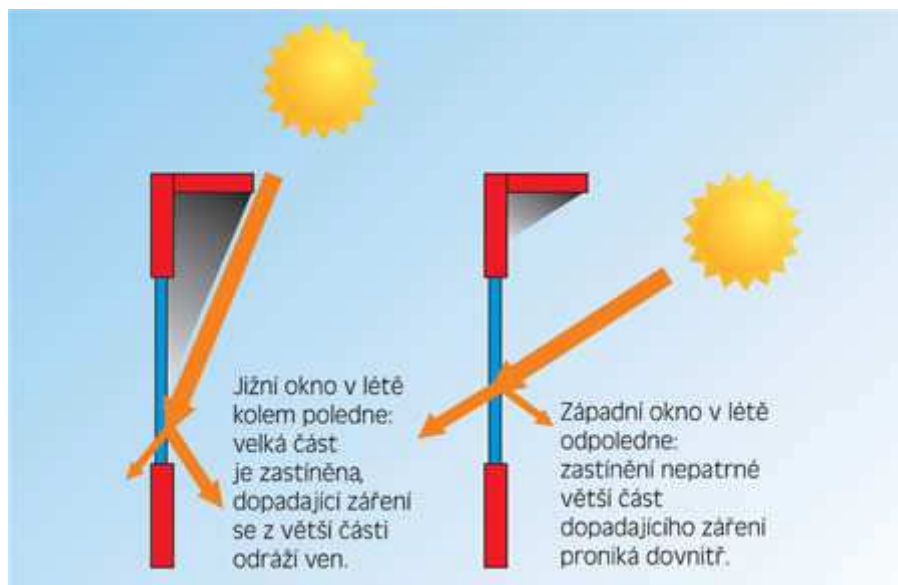


Obrázek 6: Pasivní dům

Zatímco nízkoenergetický dům na obrázku 5 je přízemní a půdorysně rozlehlejší, pasivní dům na obrázku 6 je kompaktnější a díky patrové koncepci má lepší poměr ochlazovaných obvodových konstrukcí k obestavěnému prostoru (poměr povrch/objem, označovaný také A/V ; ideální hodnota tohoto poměru pro pasivní domy je $0,5 - 0,8$). Šikmá střecha, která je typickým znakem řady pasivních domů, umožňuje zvětšit plochu jižního průčelí a tím i zvýšit pasivní solární zisky a současně zmenšit plochu protější severní stěny, což přispívá ke snížení tepelných ztrát. K vyšším pasivním solárním ziskům významně přispívají také velká okna, umístěná na jižním průčelí, zatímco okna na západní stěně domu jsou spíše malá.

Orientace oken

Orientace oken vzhledem ke světovým stranám hraje velkou roli při udržování tepelné pohody v místnostech. Zatímco z jižní strany v létě svítí slunce v době, kdy je vysoko nad obzorem a tudíž není těžké okna zastínit pomocí pasivních stínících prvků (což je v případě domu na obrázku 6 realizováno pomocí přečnávající střechy pro okna v patře a pomocí balkonu pro okna v přízemí), z východní a západní strany svítí slunce v době, kdy je nízko nad obzorem a k zastínění oken je proto nutné využít aktivní prvky (například žaluzie s řízeným natáčením), což je složitější a více energeticky náročné. U oken orientovaných na západ nebo na východ často dochází k přehřívání vnitřního prostředí domu, což komplikuje proces udržování tepelné pohody a zvyšuje jeho energetickou náročnost potřebou vyššího výkonu chlazení. Tento problém dobře ilustruje obrázek 7.



Obrázek 7: Vliv orientace oken na jejich stínění (Zdroj: Ekowatt [14])

Ke stínění jižní strany pasivního domu lze také využít listnatou vegetaci, která v létě díky listům poskytuje stín a brání přehřívání domu a v zimě, kdy je vegetace bez listů, nebrání průchodu slunečních paprsků a využití pasivních solárních zisků.

Vnitřní uspořádání domu

Uspořádání místností v pasivních domech obvykle koresponduje s umístěním oken. Obytné místnosti bývají umístěny v jižní části, v níž je díky velkým oknům zajištěn dostatek denního světla. V severní části domu bývá umístěno technické zázemí a místnosti, u nichž nejsou nezbytná okna. Vstup do domu bývá kombinován se zádveřím, které snižuje tepelné ztráty větráním při otevírání dveří.

Minimalizace tepelných ztrát

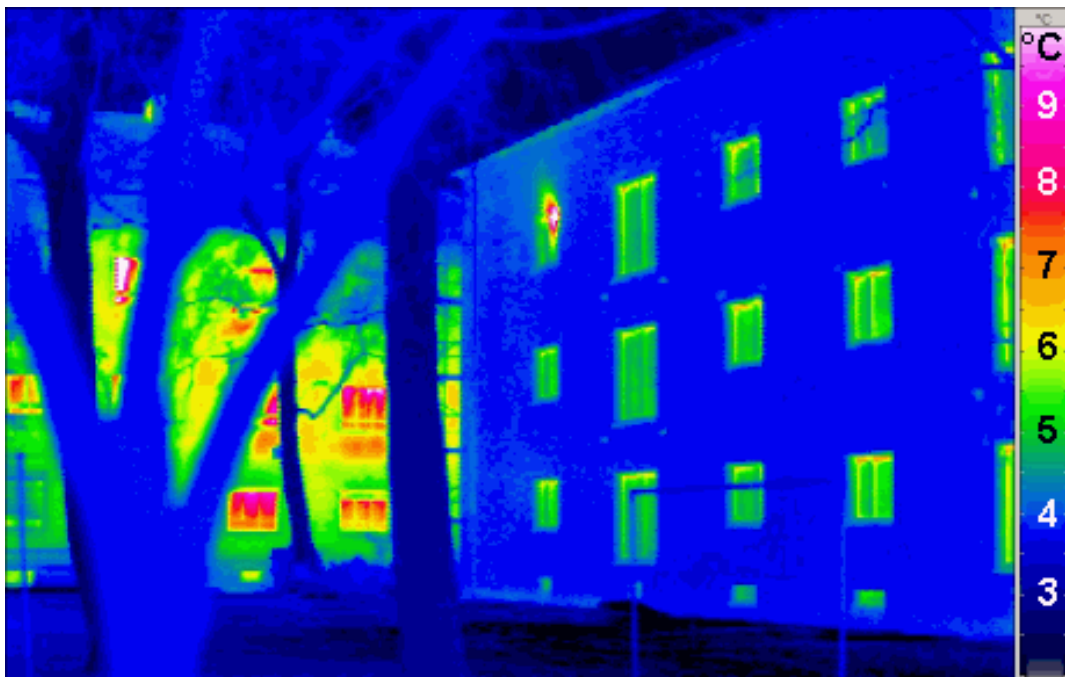
Ve srovnání s nízkoenergetickými domy mají pasivní domy nižší tepelné ztráty, čehož je dosaženo především dvěma prostředky. Prvním z nich je tepelná izolace, která bývá provedena ve větší vrstvě a také z kvalitnějších izolačních materiálů s menším součinitelem prostupu tepla ($\lambda = 0,060 \sim 0,035$). Celkový součinitel prostupu tepla neprůhledných obvodových konstrukcí U_{by} u pasivního domu neměl překročit hodnotu $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Druhým prostředkem jsou okna se speciálním zasklením. Zatímco nízkoenergetické domy bývají vybaveny okny s izolačními dvojskly, u pasivních domů se často používají izolační

trojskla, která mají lepší tepelně izolační vlastnosti. Ty je možné dále zvýšit použitím solárních fólií a vyplněním prostoru mezi skly vzácnými plyny (argon, krypton, xenon).

Vyšší tepelně izolační vlastnosti oken však současně snižují pasivní solární zisky, proto je třeba mezi těmito dvěma požadavky nalézt optimální kompromis. Součinitel prostupu tepla U by měl být menší než $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, současně by však celková energetická propustnost slunečního záření g neměla klesnout pod hodnotu $0,5$. Pro okna umístěná na jižním průčelí domu se kvůli zvýšení pasivních solárních zisků častěji volí izolační dvojskla, zatímco okna na východní a západní stěně bývají vybavena izolačními trojskly, která současně zmírňují již zmíněné přehřívání vnitřního prostředí vlivem slunečního záření.

Výrazný rozdíl mezi tepelnými ztrátami pasivního domu a tepelnými ztrátami běžné stavby je dobře patrný na termovizním snímku na obrázku 8.



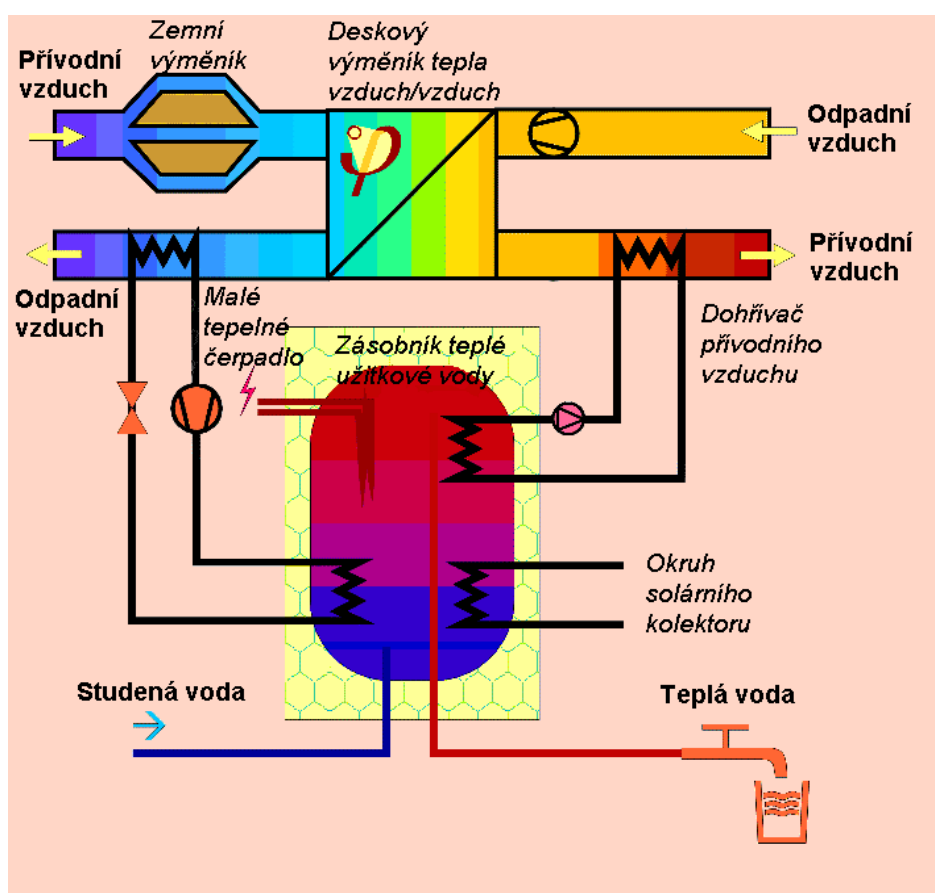
Obrázek 8: Termovizní snímek, který zobrazuje teplotu povrchu pasivního domu (vpravo) v porovnání s běžnou stavbou. (Zdroj: Wikipedie [11])

Obnovitelné zdroje energie

Stejně jako NED využívají i pasivní domy aktivní solární prvky pro ohřev teplé užitkové vody i pro výrobu elektrické energie. K ohřevu vody může být rovněž použito tepelné čerpadlo. Nezbytností je u pasivních domů rekuperační jednotka pro ohřev větracího

vzduchu, přichozí vzduch může být stejně jako u nízkoenergetických domů v zimě předehříván a v létě chlazen prostřednictvím zemního výměníku. Pasivní domy navíc využívají také další zařízení, jako jsou například svislé solární kolektory umístěné na jižní stěně domu nebo Trombeho stěny.

Výše uvedená zařízení bývají často použita v kombinaci s centrálním zásobníkem tepla, který umožňuje akumulaci tepla do látky s velkou tepelnou kapacitou, nejčastěji vody, a jeho uchování k pozdějšímu využití. Schéma zapojení centrálního zásobníku tepla v kombinaci s dalšími zařízeními je znázorněno na obrázku 9.



Obrázek 9: Schéma zapojení akumulčního zásobníku tepla v kombinaci s okruhem větrání s rekuperační jednotkou, zemním výměníkem a solárním kolektorem. (Zdroj: Wikipedie [11])

Díky velmi nízkým tepelným ztrátám lze pokrýt veškeré nároky na vytápění pasivního domu pomocí teplovzdušného vytápění, přičemž teplota přivodního vzduchu nepřekračuje 50 °C. Odpadá tak potřeba instalace konvenční otopné soustavy, jejíž výkon je pro pasivní dům i při minimálním provozu často příliš vysoký.

Veškeré tepelné a energetické zisky hrají u pasivního domu významnou roli, neboť přispívají ke snížení celkové roční potřeby primární energie, která je jednou ze základních charakteristik udávajících energetickou náročnost domu. Tyto zisky současně přispívají ke snížení spotřeby energie z veřejné rozvodné sítě, proto jsou významné také z ekonomického hlediska.

2.2.4 Srovnání pasivního a nízkoenergetického domu

Přestože pasivní a nízkoenergetické domy mají mnoho společných rysů a jejich výhody a nevýhody oproti běžným stavbám jsou prakticky stejné, mohou pasivní domy ve srovnání s nízkoenergetickými nabídnout několik výhod:

- nižší provozní náklady, vyplývající z nižších tepelných ztrát
- větší energetická nezávislost, vyplývající z nižší celkové potřeby energie a z využití vlastních obnovitelných zdrojů energie, a tím i menší zranitelnost výpadky dodávky elektrické energie
- lepší schopnost zachování tepelné pohody vnitřního prostředí při výpadcích dodávky elektrické energie, vyplývající z nižších tepelných ztrát a z využití vlastních obnovitelných zdrojů energie
- menší zátěž pro životní prostředí, vyplývající jak z nižších tepelných ztrát, tak z využití obnovitelných zdrojů energie

2.3 Nulové domy, plusové domy a energeticky autonomní celky

Domy splňující pasivní standard, jejichž plošná měrná potřeba energie nepřesahuje 5 kWh/(m².rok), jsou označovány jako nulové domy. Tyto domy se ve srovnání s pasivními domy mohou vyznačovat nižšími tepelnými ztrátami, lepší energetické bilance však dosahují především důsledným využitím všech možností úspor energie a větším využitím energie z obnovitelných zdrojů, například větší plochou solárních kolektorů. Jejich nulová spotřeba však nespočívá v úplné energetické nezávislosti, ale spíše v tom, že v letním období vyprodukují nadbytek energie, který dodávají do veřejné rozvodné sítě, a v zimním období tuto energii ze sítě čerpají pro pokrytí svých potřeb. Nulové domy jsou v současnosti zatím spíše ojedinělé, a to jak v České republice, tak i v zahraničí.

Další kategorií nízkoenergetických staveb jsou plusové domy neboli domy s energetickým přebytkem. Tyto domy se vyznačují stejnými vlastnostmi jako nulové domy, množství vyprodukované energie u nich však převyšuje množství energie, kterou při svém provozu spotřebují. Této bilance bývá stejně jako u nulových domů dosaženo zvýšením počtu solárních kolektorů, případně jiných obnovitelných zdrojů energie.

Specifickou kategorií energeticky úsporných budov jsou energeticky nezávislé budovy. Tyto budovy si zajišťují veškerou energii, kterou potřebují ke svému provozu, bez připojení k veřejné rozvodné síti. Uplatnění nacházejí především v extrémních podmínkách vysokohorských oblastí.

2.3.1 Energeticky autonomní celky

Běžné budovy v současné době spotřebují ročně obrovské množství energie. Jejich vysoká energetická náročnost je činí zcela závislými na dodávkách energie z vnějších zdrojů, což znamená jednak závislost na místní energetické infrastruktuře, jednak závislost na dodávce paliv z fosilních zdrojů. Toto centralizované uspořádání dodávky energií činí energetickou infrastrukturu snadno zranitelnou, výpadky způsobené poruchami a živelnými pohromami mohou mít výrazný dopad na tisíce koncových uživatelů.

Evropská Unie má zájem na realizaci energeticky nezávislých autonomních celků, využívajících vlastní obnovitelné zdroje energie. Toto uspořádání vyžaduje výstavbu energeticky úsporných až energeticky soběstačných budov, v ideálním případě využívajících lokálních zdrojů vody a dalších surovin a uplatňujících hospodárné využití těchto zdrojů podle zásad trvale udržitelného rozvoje. Realizace energeticky autonomních celků přináší následující výhody:

- jsou schopny vyrobit dostatek energie pro pokrytí své vlastní spotřeby
- nejsou zranitelné výpadky ani poškozením energetické infrastruktury
- nejsou závislé na zahraničních dodávkách fosilních paliv
- nejsou omezeny množstvím fosilních paliv
- mají výrazně nižší produkci CO₂ a tím i menší dopad na životní prostředí
- díky využití lokálních zdrojů do značné míry odpadá transport energií a surovin

2.3.2 Trvale udržitelný rozvoj

Trvale udržitelný rozvoj je podle Wikipedie [11] definován jako „*zlepšování životní úrovně a blahobytu lidí v mezích kapacity ekosystémů při zachování přírodních hodnot a biologické rozmanitosti pro současné a příští generace*“.

Vznik myšlenky trvale udržitelného rozvoje

Myšlenka nutnosti ekologicky přijatelného rozvoje vznikla v roce 1972 na konferenci Spojených národů, zaměřené na téma životního prostředí člověka a problematiku interakce ekonomického růstu a celkového stavu planety. Této konferenci předcházelo zveřejnění zprávy o výsledku počítačové simulace, provedené vědci z Massachusetts Institute of Technology. Tato simulace byla zaměřena na vývoj lidské populace a využívání přírodních zdrojů do roku 2100. Ze zveřejněné zprávy, která byla později vydána pod názvem Meze růstu, bylo patrné, že při zachování stávajících trendů v simulovaných dějích dojde v průběhu 21. století k drastickému populačnímu pádu v důsledku znečištění životního prostředí, vyčerpání obdělávatelných půd a zdrojů fosilních paliv a nedostupnosti zdrojů energie. Vlastní definice trvale udržitelného rozvoje vznikla v roce 1987.

Základní principy a cíle trvale udržitelného rozvoje

Trvale udržitelný rozvoj je založen na dodržování tří základních principů. Podle Wikipedie [11] to jsou tyto:

- *„Obnovitelné zdroje by měly být čerpány maximálně rychlostí, kterou se stačí obnovovat.*
- *Vyčerpatelné zdroje by měly být čerpány maximálně rychlostí, kterou budou budovány jejich náhrady, na něž bude možno plynule přejít.*
- *Část současných technologií by měla být investována na redukci znečištění, snížení plýtvání a zvýšení efektivity (výrobků, energie, výrobních postupů, ...).“*

Cílem trvale udržitelného rozvoje je podle Světové komise pro životní prostředí a rozvoj (WCED) zajistit naplňování potřeb současných generací, aniž by byla ohrožena schopnost naplňovat tyto potřeby i generacím budoucím. Heslem tohoto pojetí trvale udržitelného rozvoje se stal citát Antoina de Saint-Exupéry, který jsem si zvolila i jako motto této práce.

Uplatnění principů trvale udržitelného rozvoje v oblasti provozu budov

Uplatnění principů trvale udržitelného rozvoje v oblasti provozu budov, zejména v ohledu jejich hospodaření s energií, je možné shrnout do následujících bodů:

- minimalizace energetické náročnosti budov
- minimalizace využívání neobnovitelných zdrojů nebo jejich úplné nahrazení obnovitelnými zdroji
- minimalizace negativního dopadu provozu budov na životní prostředí

Těmto zásadám plně vyhovují zejména pasivní a nulové domy a nízkoenergetické domy blížící se pasivnímu standardu.

2.4 Domy chráněné zemí

Zvláštní skupinou energeticky úsporných budov jsou domy chráněné zemí. Tyto domy obvykle spadají do kategorie nízkoenergetických nebo pasivních domů, přičemž příslušnost k jedné z těchto kategorií závisí na konkrétních parametrech dané budovy.

2.4.1 Vznik a historie domů chráněných zemí

První domy chráněné zemí byly postaveny v USA v sedmdesátých letech dvacátého století, v době ropné krize - ve stejné době, kdy v Německu vznikly první nízkoenergetické domy. Odtud se v průběhu několika let rozšířily také do dalších států, včetně Německa, Rakouska, Švýcarska, Velké Británie, Srbska a dalších evropských zemí. V České republice se domy kryté zemí začaly stavět po roce 1989.

Podle Ing. Luďka Frkala [1] se v současné době nachází nejvíce domů chráněných zemí v USA, kde je jejich počet odhadován na 6 000 až 8 000. Většinu z tohoto počtu představují rodinné domy, kromě nich se zde však vyskytuje asi 500 veřejných budov, jako jsou školy nebo muzea. V evropských zemích stojí domů chráněných zemí několik desítek, například ve Velké Británii je jejich počet odhadován přibližně na 60. V České republice je tento druh staveb stále poměrně ojedinělý, proto se počet domů chráněných zemí na našem území pohybuje okolo desíti.

2.4.2 Vymezení pojmu „dům chráněný zemí“ a základní kritéria

Aby bylo možné určit počet domů chráněných zemí v jednotlivých státech, bylo třeba jasně vymežit, které stavby lze za domy chráněné zemí považovat a které nikoliv. Proto byla v roce 2006 v diskusi, které se zúčastnili Luděk Frkal, Malcolm Wells, Charles Woods a představitelé společností Davis Caves Construction a Earth Sheltered Technology, největších společností zabývajících se stavbou domů chráněných zemí v USA, stanovena základní kritéria, odlišující domy chráněné zemí od podobných staveb.

Jako dům chráněný zemí lze označit stavbu, která splňuje následující kritéria:

- vegetační střecha o ploše odpovídající alespoň dvěma třetinám půdorysu domu
- vegetační střecha je alespoň na jedné hraně propojena s okolním terénem
- alespoň polovina obvodových stěn je až po střechu krytá zemí

Stavby, které sice tato kritéria nespĺňují, ale přesto mají některé stěny chráněné zemí, jsou označovány jako domy přihnuté zemí a z hlediska vlastností typických pro domy chráněné zemí je lze chápat jako jakýsi přechod mezi domem chráněným zemí a běžnou stavbou.

2.4.3 Specifické vlastnosti domů chráněných zemí

Domy chráněné zemí jsou obecně přízemní nebo patrové stavby, které jsou shora a v ideálním případě ze tří bočních stran kryty vrstvou zeminy o tloušťce minimálně jeden metr, která je osázena vegetací. Čtvrtá stěna je obvykle, stejně jako u běžných nízkoenergetických a pasivních domů, z velké části prosklená a orientovaná k jihu nebo jihozápadu. Účelem velkých oken je jednak dostatečné osvětlení interiéru domu, jednak zajištění pasivních solárních zisků v zimním období. V letním období jsou okna obvykle stíněna nadokenní římsou nebo jinými stínicími prvky, které brání přehřívání interiéru. Osvětlení zadních místností v severní části domu je realizováno prostřednictvím trubkových světlovodů, které jsou nezbytným vybavením domů chráněných zemí.

Specifické vlastnosti domů chráněných zemí jsou založeny na vlastnostech a funkcích krycí vrstvy zeminy. Patří k nim:

- vysoká schopnost akumulace tepla - přispívá ke snížení tepelných ztrát
- téměř žádné výkyvy teplot v průběhu dne - usnadňují řízení teploty vnitřního prostředí

- malé kolísání teplot v průběhu roku - umožňuje snížení spotřeby energie na vytápění a chlazení
- chladičí efekt vegetační střechy v letním období

Vzhledem k jejich typické konstrukci se domy chráněné zemí odlišují od běžných staveb také svým vzhledem. Typický dům chráněný zemí je zobrazen na obrázku 10.



Obrázek 10: Typický dům chráněný zemí

Ke zvýšení úspor energie využívají domy kryté zemí stejná zařízení jako nízkoenergetické a pasivní domy, včetně obnovitelných zdrojů energie.

2.4.4 Výhody a nevýhody domů chráněných zemí

Vzhledem k tomu, že domy chráněné zemí odpovídají nízkoenergetickému nebo pasivnímu standardu, patří k jejich výhodám a nevýhodám také výhody a nevýhody náležející příslušné energetické kategorii budov, které už byly popsány výše. Přesto je zde pro úplnost ve stručnosti uvádím.

Výhody domů chráněných zemí

- nižší náklady na vytápění - nižší plošná měrná potřeba tepla, odpovídající standardu nízkoenergetického nebo pasivního domu

- nulové náklady na chlazení - chlazení budovy v letním období zajišťuje přilehlá zemina a vegetační střecha, chlazení větracího vzduchu lze realizovat pomocí zemního výměníku tepla
- minimální nároky na údržbu - malá plocha fasády, malá nebo žádná plocha klasické střechy
- nižší cena stavebního pozemku - ideálním pozemkem pro stavbu domu krytého zemí je jižní nebo jihozápadní svah, tedy terén nevhodný pro klasickou zástavbu a zemědělské využití
- velmi malá zranitelnost výpadky dodávek elektrické energie - akumulace tepla v konstrukci obvodových zdí a přilehlé zemině v kombinaci s pasivními solárními zisky umožňuje udržet v zimním období teplotu vnitřního prostředí nad hranicí 20°C i při delších výpadcích dodávky elektrické energie
- snadné řízení teploty vnitřního prostředí - velmi malé výkyvy teplot zeminy, která tvoří převážnou většinu okolního prostředí domu
- ochrana vnitřního prostředí proti vnějšímu hluku a vibracím - zvukově izolační vlastnosti okolní zeminy umožňují bydlení i v hlukově velmi exponovaných lokalitách, například v blízkosti rušných silnic nebo letišť
- ochrana stavby před požárem - v případě požáru může dojít ke zničení interiéru, vlastní konstrukce stavby však zůstává nepoškozena
- odolnost vůči živelným pohromám, jako jsou větrné smrště, přívalové deště nebo zemětřesení
- zvýšená bezpečnost proti vloupání a vandalismu - jedinou odkrytou částí domu je zpravidla jižní stěna, kterou lze zabezpečit mnohem snadněji, než běžnou stavbu; při použití bezpečnostních dveří a předokenních rolet je dům chráněn zemí prakticky nedobytný
- minimální vliv na okolní krajinu - díky vegetační střeše dům zabírá jen minimum využitelné plochy a maximálně zachovává původní ráz krajiny i asimilační plochu zeleně, plochu střechy je zároveň možné využít k pěstování okrasných či užitkových rostlin

Nevýhody domů chráněných zemí

- omezení polohou domu - přestože umístění domu chráněného zemí na jižním nebo jihozápadním svahu není nutnou podmínkou, musí být zajištěn přístup slunečních paprsků k odkryté jižní či jihozápadní straně domu, aby byly umožněny pasivní solární zisky, které jsou významnou součástí energetické bilance domu
- vyšší pořizovací náklady - stavba domu chráněného zemí vyžaduje odbornou projektovou přípravu a vysoce kvalifikované provedení stavebních prací
- nároky na chování obyvatel domu - stejně jako u běžných nízkoenergetických a pasivních domů je i u domů chráněných zemí třeba dodržovat určité zásady chování, jako je důsledné zavírání dveří a oken, aby mohl být plně využit jejich energeticky úsporný potenciál
- absence přirozeného osvětlení v zadních místnostech domu - místnosti, které nemají okna, vyžadují použití speciálních osvětlovacích prvků
- absence přirozeného větrání v zadních místnostech domu - tyto místnosti je nutné větrat nuceně pomocí vzduchotechnického systému

2.4.5 Náklady na stavbu domu chráněného zemí a jejich návratnost

Náklady na stavbu domu chráněného zemí jsou podle Ing. Lud'ka Frkala [1] jak v USA, Rakousku a Velké Británii, tak i v České republice maximálně o 10 až 15 procent vyšší než náklady na stavbu běžného domu srovnatelné velikosti, přičemž výše vícenákladů závisí na cenách použitých materiálů a dalších faktorech, jako je kvalita stavebního pozemku.

Maximální doba návratnosti vícenákladů na stavbu domu chráněného zemí se pohybuje okolo deseti až patnácti let v závislosti na výši vícenákladů a roční úspoře nákladů na vytápění. Po uplynutí této doby se začíná projevovat růst cen energií, který se v současné době pohybuje okolo 10 % ročně, a výrazně narůstá výše úspor provozních nákladů dosažených ve srovnání s běžnými budovami. Stavba domu chráněného zemí proto představuje výhodnou investici do budoucna.

3 SYSTÉMY TVORBY VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ V ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOVÁCH

V dnešní době tráví lidé v budovách různého typu až 90% svého života. Vnitřní prostředí budov je proto významným faktorem, ovlivňujícím lidské zdraví, psychiku, pracovní výkonnost a další aspekty, které mají pro člověka mimořádnou důležitost. Tvorbě vnitřního prostředí a zajištění optimálních hodnot jeho fyzikálních, chemických a biologických parametrů je proto třeba věnovat maximální pozornost.

Přehled základních parametrů vnitřního prostředí a jejich požadovaných hodnot je uveden v tabulce 3.

Tabulka 3: Parametry vnitřního prostředí a jejich požadované hodnoty

Parametr vnitřního prostředí	Požadovaná hodnota
Operativní teplota θ_o	$22 \pm 2 \text{ } ^\circ\text{C}$
Relativní vlhkost vzduchu φ	30 - 70 %
Rychlost proudění vzduchu v	0,1 - 0,2 m/s
Intenzita výměny vzduchu n	0,3 - 0,6/h
Koncentrace chemických látek ve vzduchu	maximální hodnoty závisí na konkrétní látce
Koncentrace mikroorganismů ve vzduchu	< 500 KTJ
Intenzita osvětlení E	100 - 150 lx
Hlučnost	< 45 dB
Intenzita elektromagnetického pole Φ	< 5 000 E/(V.m)

Požadované hodnoty parametrů vnitřního prostředí závisí také na řadě dalších faktorů, k nimž patří například typ daného prostoru, pobyt osob, jejich práce, zdravotní stav, roční období apod. Konkrétní hodnoty jednotlivých parametrů se řídí příslušnými zákony a vyhláškami. V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty pro místnosti bez mimořádných nároků na parametry vnitřního prostředí, s pobytem zdravých, přiměřeně oblečených osob vykonávajících lehkou nebo žádnou práci, a to pro zimní období.

K dosažení optimálního stavu vnitřního prostředí slouží systémy tvorby vnitřního prostředí. K základním systémům tvorby vnitřního prostředí patří systém vzduchotechniky, systém vytápění a systém osvětlení, jimiž se budu zabývat v této kapitole.

Úlohou systémů tvorby vnitřního prostředí v energeticky úsporných budovách je zajištění optimálního stavu vnitřního prostředí při minimální spotřebě energie. To vyžaduje kromě správného návrhu daného systému také co možná největší využití úsporného potenciálu obnovitelných zdrojů energie. Zařízením umožňujícím využití těchto zdrojů bude proto v této kapitole věnována zvláštní pozornost.

3.1 Systém vzduchotechniky

Hlavní úlohou systému vzduchotechniky je výměna vzduchu v budovách, jeho filtrace a úprava jeho teploty a vlhkosti. K hlavním funkcím vzduchotechnického systému patří zajištění výměny vzduchu v budově, tzn. přívod čerstvého vzduchu a odvod vzduchu odpadního, filtrace přívodního vzduchu, cirkulace vzduchu, jeho ohřevu a chlazení a řízení vzdušné vlhkosti. Systém vzduchotechniky zpravidla ovlivňuje tyto parametry vnitřního prostředí:

- Intenzita výměny vzduchu n [$1/h$]
- Rychlost proudění vzduchu v [m/s]
- Relativní vlhkost přívodního vzduchu φ [%]
- Teplota přívodního vzduchu θ [$^{\circ}C$]

Intenzita výměny vzduchu je dána hygienickými požadavky. Její velikost se vztahuje buď k čistému objemu větraného prostoru (udává se v násobcích čistého objemu větraného prostoru za hodinu), nebo k počtu osob, které se v daném prostoru pohybují (udává se v m^3 na osobu za hodinu). Intenzita výměny vzduchu o velikosti $0,3/hod$ znamená, že za jednu hodinu musí dojít k výměně vzduchu o objemu $0,3$ násobku čistého objemu větraného prostoru.

Rychlost proudění vzduchu v je dána hygienickými požadavky, je udávána v m/s . Její velikost závisí zejména na fyzické aktivitě osob pohybujících se v daném větraném prostoru. Doporučená rychlost proudění vzduchu v obytných místnostech je obecně $0,1 - 0,2$ m/s . Podle MUDr Marie Hrazdilové [15] by v zimním období rychlost proudění

vzduchu neměla překročit hodnotu $0,15 \text{ m/s}$, v letním období pak $0,25 \text{ m/s}$. Překročení těchto hodnot může být citlivými jedinci subjektivně pocíťováno jako průvan, rychlost proudění vzduchu vyšší než $0,35 \text{ m/s}$ vyvolává nepříjemné pocity i u méně citlivých jedinců, má značný ochlazovací účinek a může způsobit prochladnutí organismu a následné zdravotní komplikace. Nízká rychlost proudění vzduchu naopak podle TZB-info [10] vyvolává pocit stojícího vzduchu a výrazně snižuje ochlazovací účinek proudícího vzduchu, což vede k přehřívání organismu a prudkému poklesu výkonnosti.

Rychlost proudění vzduchu je ovlivňována řízením výkonu ventilátorů vzduchotechnického systému.

Relativní vlhkost přívodního vzduchu φ ovlivňuje výslednou relativní vlhkost vnitřního prostředí. Při relativní vlhkosti 100% dochází k dosažení tzv. teploty rosného bodu a ke kondenzaci vodní páry na povrchu pevných těles, čehož se využívá například při odvlhčování vzduchu. Dosažení 100% relativní vlhkosti mimo zařízení s odvodem kondenzátu je však nežádoucí, proto je třeba v tomto směru vždy dodržovat určitou rezervu.

Relativní vlhkost vnitřního prostředí patří k parametrům významně ovlivňujícím subjektivní pocit tepelné pohody člověka. Její optimální hodnota se pohybuje mezi 30 a 70% . Při hodnotách relativní vlhkosti nižších než 20% dochází podle MUDr Marie Hrazdilové [15] k intenzivnímu vysoušení sliznice horních cest dýchacích, což snižuje obranyschopnost organismu a zvyšuje riziko vzniku onemocnění. Při relativní vlhkosti vyšší než 70% dochází k porušení tepelné rovnováhy organismu, omezení respirace a ztrátě tepla. Hodnota relativní vlhkosti má rovněž výrazný vliv na množení mikroorganismů, roztočů a plísní a pohyb aerosolových částic ve vzduchu.

Relativní vlhkost je závislá na teplotě vnitřního prostředí, proto má vzduch s konstantním obsahem vodní páry při různých teplotách různou relativní vlhkost. Obecně platí, že relativní vlhkost vzduchu s rostoucí teplotou klesá. Závislost relativní vlhkosti vzduchu na jeho teplotě je nelineární a popisuje ji tzv. Molierův diagram.

Relativní vlhkost vzduchu je ovlivňována řízením výkonu odvlhčovacích zařízení a výparníků.

Teplota přívodního vzduchu θ ovlivňuje výslednou teplotu vnitřního prostředí. Její minimální hodnota závisí na relativní vlhkosti přívodního a cirkulačního vzduchu a musí

být vždy o několik stupňů vyšší než teplota rosného bodu cirkulačního vzduchu, aby nedocházelo ke kondenzaci vzdušné vlhkosti. Proto musí být v zimním období přívodní vzduch vždy přehříván. Zároveň nesmí teplota přívodního vzduchu přesáhnout 50 °C, aby nedocházelo ke spalování prachu obsaženého ve vzduchu.

Teplota přívodního vzduchu je ovlivňována řízením výkonu ohřivačů a chladičů, kterými mohou být také rekuperační jednotky a zemní výměníky tepla.

Kromě toho lze filtrací přívodního vzduchu dosáhnout také snížení koncentrace chemických látek, mikroorganismů, plísní a pevných aerosolů (prach, pyl), které pocházejí z vnějšího prostředí. Zvýšená koncentrace těchto látek může vést ke vzniku alergií a dalších onemocnění.

3.1.1 Vzduchotechnické systémy používané v energeticky úsporných budovách

Volba vzduchotechnického systému pro energeticky úspornou budovu závisí především na energetické kategorii dané budovy. Používané systémy se liší především funkcí, kterou v daném typu staveb plní. Zatímco u nízkoenergetických domů jsou vzduchotechnické systémy využívány především pro zajištění výměny vzduchu a jeho úpravy (větrání), u pasivních domů je funkce vzduchotechnických systémů většinou spojena také s vytápěním (teplovzdušné vytápění).

Vzduchotechnické systémy používané v NED

V nízkoenergetických domech jsou obvykle používány vzduchotechnické systémy s parametry, které jsou uvedeny v tabulce 4 .

Tabulka 4: Parametry vzduchotechnických systémů používaných v NED

Funkce systému	Větrání
Úprava vzduchu	Centrální
Tlakový spád	Rovnotlaké
Zdroj tlakového spádu	Nucený

Vzduchotechnické systémy používané v EPD

V pasivních domech jsou obvykle používány vzduchotechnické systémy s parametry, které jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5: Parametry vzduchotechnických systémů používaných v EPD

Funkce systému	Větrání a teplovzdušné vytápění
Úprava vzduchu	Zónová
Tlakový spád	Rovnotlaké
Zdroj tlakového spádu	Nucený

3.1.2 Obnovitelné zdroje energie využívané v oblasti vzduchotechniky

Rekuperační jednotka

Rekuperační jednotky slouží v zimním období k minimalizaci tepelné ztráty větráním prostřednictvím ohřevu studeného příchozího vzduchu od teplého odpadního vzduchu, v letním období k minimalizaci potřeby energie na chlazení prostřednictvím ochlazení teplého příchozího vzduchu chladným odpadním vzduchem. Tento proces probíhá v rekuperačním výměníku tepla. Rekuperační jednotky dosahují účinnosti 30 až 90 %, přičemž účinnost nad 60 % je považována za dobrou a účinnost nad 80 % za špičkovou. Účinnost rekuperace závisí na velikosti rekuperační jednotky, průtoku vzduchu a velikosti rekuperačního výměníku. Rekuperační výměníky tepla jsou nejčastěji součástí vzduchotechnických jednotek.

Zemní výměník tepla

Zemní výměník tepla, označovaný také jako zemní kolektor, je zařízení sloužící k předehřátí, popř. předchlazení větracího vzduchu před vstupem do rekuperační jednotky. Priváděný větrací vzduch je veden potrubím uloženým v zemi a během průchodu tímto potrubím dochází k tepelné výměně mezi větracím vzduchem a okolní zeminou. V zimním období, kdy je teplota zeminy v hloubce dvou metrů pod povrchem vyšší než teplota venkovního vzduchu, slouží zemní výměník k předehřevu větracího vzduchu, v letním období, kdy je teplota zeminy v této hloubce nižší než teplota venkovního vzduchu, je větrací vzduch naopak ochlazován. Zemní výměník umožňuje při dosažení optimálních

parametrů zvýšit v zimním období teplotu přiváděného vzduchu až o 20 K a v letním období snížit jeho teplotu až o 12 K.

3.2 Systém vytápění

Úkolem systému vytápění je výroba a distribuce tepla v budovách, nutná pro zajištění tepelné pohody vnitřního prostředí. Tepelná pohoda je stav, kdy je produkce metabolického tepla, daného fyzickou aktivitou, v rovnováze s teplem odváděným z lidského těla do okolního prostředí, což se subjektivně projevuje tak, že člověk nepocítuje ani horko, ani chlad. Člověk v klidu nebo vykonávající lehkou práci pocítuje tepelnou pohodu při teplotě $22 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, tedy v rozmezí od 20 do 24 $^\circ\text{C}$. Tyto hodnoty platí pro obytné prostory v zimním období, pro letní období jsou udávány hodnoty od 22 do 26 $^\circ\text{C}$, což souvisí s vyšší teplotou venkovního prostředí. Pro noční období jsou doporučeny hodnoty nižší, teplota by však neměla klesnout pod 16 $^\circ\text{C}$, kdy dochází ke snížení obranyschopnosti organismu vůči respiračním onemocněním.

Kromě teploty je pocit tepelné pohody ovlivněn také rychlostí proudění vzduchu a jeho relativní vlhkostí, jejichž úprava je úkolem systému vzduchotechniky, z čehož vyplývá vzájemná provázanost sfér působnosti obou systémů.

Operativní teplota

Základním hodnotícím parametrem tepelné pohody vnitřního prostředí je operativní teplota θ_o [$^\circ\text{C}$]. Její hodnota se určí podle vztahu:

$$\theta_o = (h_c \cdot \theta_a + h_r \cdot \theta_r) / (h_c + h_r) \text{ } [^\circ\text{C}]$$

kde je θ_a vnitřní teplota vzduchu [$^\circ\text{C}$]

θ_r střední radiační teplota okolních ploch [$^\circ\text{C}$]

h_c součinitel přestupu tepla konvekcí i radiací [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

h_r součinitel přestupu tepla sáláním (radiací) [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$]

Operativní teplota je veličina, která vyjadřuje sálavou a konvekční složku sdílení tepla mezi člověkem a okolním prostředím. Podíl těchto složek může být při stejné hodnotě operativní teploty různý, v závislosti na velikosti jednotlivých dílčích veličin pro výpočet operativní teploty. To může vést k různému subjektivnímu pocitu tepelné pohody při stejné velikosti operativní teploty.

3.2.1 Otopné soustavy používané v energeticky úsporných budovách

Podobně jako u vzduchotechnických systémů závisí volba otopné soustavy na kategorii energeticky úsporné stavby. V nízkoenergetických domech je často využíváno nízkoteplotní podlahové vytápění, které umožňuje kombinaci s nízkopotenciálními zdroji tepla, jako jsou tepelná čerpadla a solární kolektory. V pasivních domech plní funkci otopné soustavy vzduchotechnický systém, jak už bylo řečeno v kapitole 3.1.

Sálavé podlahové a stěnové vytápění

Podlahové a stěnové vytápění, nazývané také velkoplošné, předává větší část tepla (50 - 80 %) do vytápěného prostoru sáláním, pouze malé množství tepla je předáváno konvekcí. Proto jsou nejprve ohřívány stavební konstrukce a další pevná tělesa (včetně lidského těla), která následně předávají teplo vzduchu ve vytápěném prostoru. To významně ovlivňuje subjektivní pocit tepelné pohody, která je pociťována již při teplotách o 2 až 3 °C nižší, než je tomu u vytápění s převažující konvekční složkou.

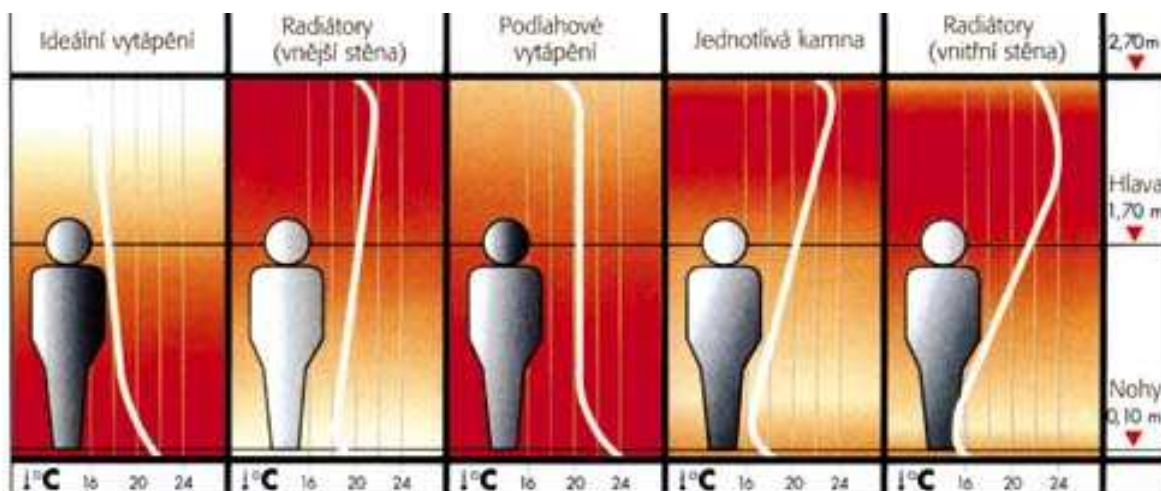
Velkoplošné sálavé vytápění lze dělit podle typu otopných ploch na podlahové, stěnové a stropní, přičemž použití stropního vytápění se z důvodu negativního vlivu na lidské zdraví nedoporučuje. Dále lze systémy sálavého vytápění rozdělit podle teplonosné látky na elektrické, teplovodní a teplovzdušné. Povrchová teplota otopných ploch je u podlahového vytápění 25 až 34 °C, u stěnového vytápění 55 až 60 °C. To umožňuje u teplovodního vytápění využití nízkoteplotní otopné soustavy s teplotou topné vody do 65 °C. Tyto otopné soustavy umožňují využití nízkopotenciálních zdrojů tepla, jako jsou tepelná čerpadla a solární kolektory. Velkoplošné teplovodní vytápění vyžaduje z důvodu velké tlakové ztráty vždy zařazení oběhového čerpadla pro zajištění cirkulace topné vody. Otopnými plochami jsou v soustavách velkoplošného vytápění obvykle celé stěny, zpravidla venkovní, nebo celé podlahové plochy jednotlivých místností.

Podlahové vytápění, které je z velkoplošných otopných soustav používáno nejčastěji, nabízí ve srovnání s konvekčním teplovodním vytápěním několik výhod:

- rovnoměrné vertikální rozložení teplot v místnosti, které se blíží ideálnímu teplotnímu profilu
- minimální cirkulace vzduchu a tím i víření prachu

- nižší teplota vzduchu, potřebná k dosažení tepelné pohody, a tím i vyšší relativní vlhkost vzduchu
- samoregulační efekt zabraňující přetápění

Vertikální rozložení teplot v místnosti se u podlahového vytápění nejvíce ze všech druhů vytápění blíží ideálnímu teplotnímu profilu. Vertikální rozložení teplot u jednotlivých druhů vytápění je znázorněno na obrázku 11.



Obrázek 11: Vertikální rozložení teplot u jednotlivých druhů vytápění

Minimální víření prachu a vyšší relativní vlhkost vzduchu činí podlahové vytápění obzvláště vhodné zejména pro osoby trpící alergiemi. Nižší teplota vzduchu potřebná k dosažení tepelné pohody přispívá spolu s možností využití nízkopotenciálních zdrojů tepla ke snížení nákladů na vytápění.

Nevýhodou podlahového vytápění je jeho větší tepelná setrvačnost a s tím spojené obtížné řízení, což je však do jisté míry kompenzováno samoregulačním efektem, který vyplývá ze závislosti měrného tepelného výkonu otopné plochy na rozdílu teploty povrchu podlahy a vnitřního vzduchu.

Podlahové vytápění je vhodné pro všechny typy staveb s dobrými tepelně technickými vlastnostmi, zvláště pak pro nízkoenergetické domy, u nichž by výkon klasické otopné soustavy byl v poměru k jejich potřebě tepla neúměrně vysoký. V kombinaci s tepelným čerpadlem lze podlahové vytápění využít také k chlazení budov v letním období.

Teplovzdušné vytápění vzduchotechnickým systémem

Teplovzdušným vytápěním se rozumí vytápění budov přívodním teplým vzduchem, zajišťované vzduchotechnickým systémem. Narozdíl od teplovzdušného větrání, které pokrývá pouze tepelné ztráty větráním a u něhož je přívodní vzduch ohříván na žádanou teplotu vzduchu ve vytápěném prostoru, pokrývá teplovzdušné vytápění veškeré tepelné ztráty budovy a teplota přívodního vzduchu je vyšší než žádaná teplota vzduchu ve vytápěném prostoru. Teplý vzduch v budově cirkuluje a prouděním (konvekcí) předává teplo do jednotlivých vytápěných prostor. Teplovzdušné vytápění může být kombinováno s větráním, při němž je do cirkulačního vzduchu přidáván určitý podíl větracího vzduchu z vnějšího prostředí, který je ohříván na požadovanou vytápěcí teplotu.

V soustavě teplovzdušného vytápění je zdrojem tepla ohříváč, který může být součástí vzduchotechnické jednotky, otopná tělesa zastupují přívodní výustky v jednotlivých místnostech, které bývají nejčastěji umístěny v podlaze, zpravidla u venkovní stěny pod okenním otvorem.

Výhodou teplovzdušného vytápění je pružné řízení jeho výkonu a vhodnost pro stavby s nízkou potřebou tepla. Nevýhodou je snížená možnost individuálního řízení teploty vzduchu v jednotlivých místnostech a absence sálavé složky, což vyžaduje vyšší teplotu vzduchu než u jiných druhů vytápění.

Teplovzdušné vytápění je vhodné především pro pasivní domy, u nichž lze pokrýt veškeré tepelné ztráty pomocí teplého přívodního vzduchu, aniž by jeho teplota přesáhla již zmíněnou hranici 50 °C.

3.2.2 Ohřev teplé užitkové vody

Ohřev teplé užitkové vody (TUV), která se připravuje ohřátím pitné vody na teplotu 55 až 60 °C, často úzce souvisí s ohřevem vody pro vytápěcí soustavu, neboť často sdílí stejné zdroje tepla. K ohřevu teplé užitkové vody lze použít elektrickou energii, zemní plyn, pevná paliva, topnou vodu nebo kombinaci topné vody a elektrické energie.

Ohříváče TUV lze rozdělit podle způsobu ohřevu na průtokové, v nichž je voda ohřívána při průtoku ohříváčem, a zásobníkové, které jsou tvořeny nádobou s teplosměnnou plochou, v níž je ohřívána zásoba vody o určitém objemu. Dále lze ohříváče rozdělit na

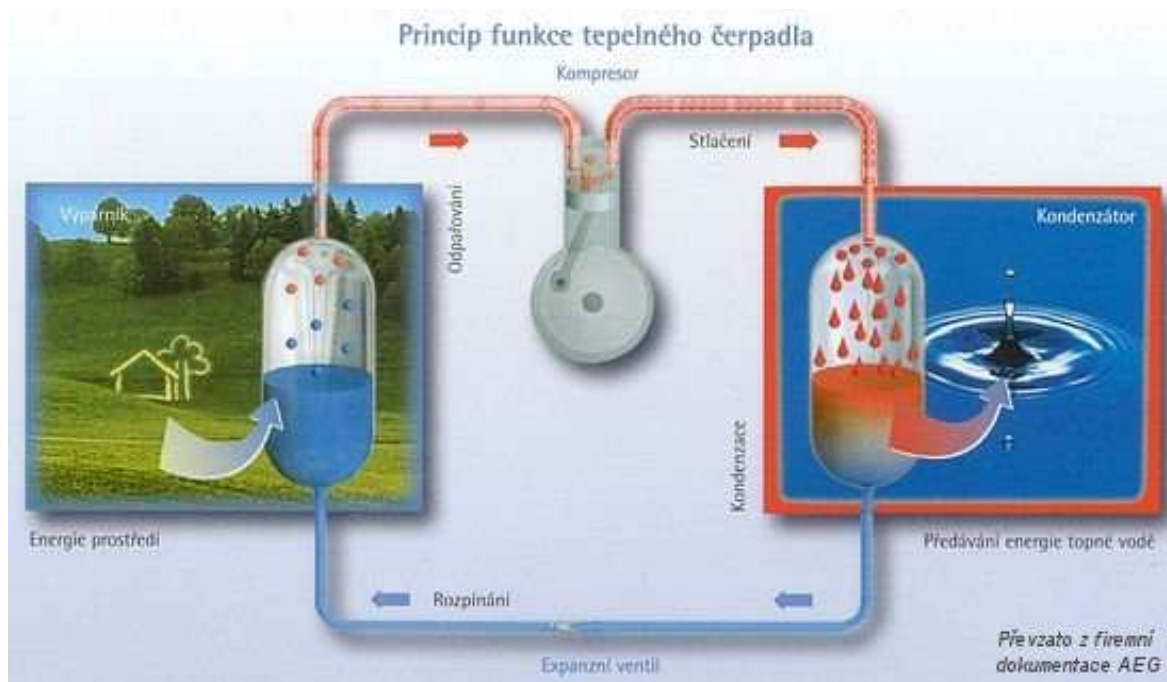
lokální, sloužící k ohřevu vody pro jednu nebo několik výtokových armatur, a ústřední, zajišťující ohřev TUV pro potřeby celé budovy nebo více budov.

Pro ohřev TUV s využitím obnovitelných zdrojů energie, jako jsou tepelná čerpadla a solární kolektory, je výhodné použití ústředního zásobníkového ohříváče, do kterého lze současně dodávat teplo z několika zdrojů, které se mohou vzájemně doplňovat.

3.2.3 Obnovitelné zdroje energie využívané v oblasti vytápění

Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo je zařízení, které odebírá teplo z vnějšího prostředí - vody, vzduchu nebo země, převádí toto teplo na vyšší teplotní hladinu a využívá ho k ohřevu teplotněného média, které je dále využíváno. Podle TZB-info [10] pracuje tepelné čerpadlo na principu uzavřeného chladicího okruhu. Pracovní cyklus tepelného čerpadla je následující: teplo odebrané venkovnímu prostředí je předáváno kapalnému chladivu, které funguje jako pracovní látka tepelného čerpadla. Zahřáté chladivo přechází ve výparníku do plynného skupenství a následně je kompresorem stlačeno na vysoký tlak. Stlačené chladivo je přivedeno do kondenzátoru, kde při kondenzaci předává získané teplo topné vodě za vyšší teploty, než bylo ve výparníku odebráno. Nakonec v expanzním ventilu dochází ke snížení tlaku chladiva na původní hodnotu a celý cyklus se opakuje. Pracovní cyklus tepelného čerpadla je znázorněn na obrázku 12.



Obrázek 12: Pracovní cyklus tepelného čerpadla. (Zdroj: TZB-info [10])

Účinnost tepelného čerpadla udává jeho topný faktor. Tato hodnota vyjadřuje poměr elektrického příkonu a topného výkonu tepelného čerpadla. Topný faktor udává, kolikrát je větší získaná energie oproti energii vynaložené, a je tím vyšší, čím vyšší je teplota přírodního zdroje tepla a čím nižší je teplota média v topném systému (proto je výhodné kombinovat tepelné čerpadlo s nízkoteplotním podlahovým vytápěním). V současné době jsou na trhu dostupná tepelná čerpadla s topným faktorem 2 až 5.

Existuje několik typů tepelných čerpadel, které se liší zdrojem tepla, teplonosným médiem a způsobem získávání tepla. Jednotlivé typy jsou označovány jako země/voda, voda/voda, vzduch/voda apod., přičemž např. označení země/voda znamená, že tepelné čerpadlo získává teplo ze země a předává jej topné vodě. Jako zdroj tepla může být využíván venkovní vzduch, odpadní vzduch ze systému vzduchotechniky, povrchová voda, podzemní voda, půda nebo hlubinné vrty.

Výhodou tepelného čerpadla je kromě snížení spotřeby energie na vytápění také možnost využít jej v letním období k chlazení a dosáhnout tak další úspory energie. Jeho nevýhodou je závislost jeho účinnosti na řadě faktorů, což má za následek kolísání hodnoty topného faktoru v průběhu roku.

Fototermické kolektory

Fototermický kolektor je zařízení umožňující přeměnu slunečního záření na tepelnou energii. Pro přeměnu slunečního záření na teplo je však nutné doplnit kolektor o další zařízení, která společně s kolektorem tvoří fototermický systém. Těmito zařízeními jsou zásobník vody, oběhové čerpadlo a řídicí jednotka.

Kolektor je tvořen absorbérem, kterým je obvykle měděný plech s černou selektivní vrstvou, na jehož spodní straně jsou připevněny měděné trubky naplněné teplotnosným médiem. Jako teplotnosné médium se často používá nemrznoucí kapalina, která umožňuje provoz kolektoru i v zimním období. Pracovní cyklus kolektoru je následující: sluneční záření dopadající na absorber způsobuje jeho zahřívání a zvyšování teploty teplotnosného média. Jakmile teplota média překročí teplotu vody v zásobníku, řídicí jednotka spustí oběhové čerpadlo, které dopraví zahřáté médium do zásobníku, kde dojde k předání tepla ohřívání vodě. Po vyrovnání teplot média a vody dojde k zastavení čerpadla a celý cyklus se opakuje.

Účinnost přeměny slunečního záření na teplo ve fototermickém systému se pohybuje kolem 50 %. To znamená, že při 1100 až 1200 kWh energie dopadající na 1 m² vyrobí kolektor o ploše 1 m² přibližně 550 až 600 kWh tepelné energie. K největším ztrátám přitom dochází při transportu teplotnosného média v potrubí a zásobníku, skutečná účinnost samotného kolektoru dosahuje až 75 %. Účinnost kolektoru také ovlivňuje místo instalace, sklon kolektoru a orientace vzhledem ke světovým stranám.

Fototermické systémy lze rozřadit do různých kategorií podle velkého množství kritérií, k nimž patří doba provozu, druh teplotnosného média a způsob jeho oběhu, tvar absorberu a využití. K nejčastějším využitím patří ohřev teplé užitkové vody, topné vody, bazénu, a teplotovzdušné přitápění budov.

3.3 Systém osvětlení

Úkolem osvětlení v budovách je vytvoření podmínek pro zrakovou pohodu. Zraková pohoda je podle TZB-info [10] „příjemný a příznivý psychofyziologický stav organismu, vyvolaný optickou situací vnějšího prostředí, který odpovídá potřebám člověka při práci i při odpočinku“. Dosažení tohoto stavu umožňuje lidskému zraku optimálně plnit jeho funkce a je základem zrakového výkonu, který je podmínkou produktivity práce. Zraková pohoda závisí nejen na kvalitě osvětlení, ale také na řadě dalších faktorů, k nimž patří

zraková náročnost prováděné činnosti, psychický stav člověka, stav jeho zraku, jeho věk, únava a barevné řešení prostoru.

Nevyhovující osvětlení může vyvolat nebo urychlit zrakovou únavu, která se projevuje zhoršeným viděním a řadou obtíží, jako je pálení očí, bolesti očí a hlavy nebo i zánět spojivek. Následkem zrakové únavy je pokles produktivity práce, stoupající nervozita a stres.

Kvalitu osvětlení, která je významnou podmínkou zrakové pohody, ovlivňuje řada faktorů. Nejvýznamnějšími z nich jsou:

- intenzita osvětlení E - je vyjádřena jako podíl části světelného toku dopadajícího na plochu povrchu tělesa a velikosti této plochy. Jejím označením je E a její jednotkou je lux $[lx]$.
- jas - je definován jako podíl svítivosti plochy zdroje v daném směru a průmětu této plochy do roviny kolmé k danému směru. Jednotkou jasu je kandela na metr čtvereční $[Cd/m^2]$. Příliš vysoký jas může způsobovat oslnění, což je stav, který vzniká, když je sítnice nebo její část vystavena většímu jasu, než na který je adaptována. Oslnění snižuje zrakovou pohodu a zhoršuje nebo i znemožňuje vidění
- kontrast - poměr jasů pozorovaného předmětu a jeho okolí, nebo také poměr jasů nejvíce a nejméně osvětlených ploch v zorném poli. Udává se v procentech $[%]$. Příliš vysoký nebo příliš nízký kontrast vede k urychlení nástupu zrakové únavy.
- barva světla - převažující vlnová délka světelného spektra zdroje osvětlení (značí se λ a udává se v nanometrech $[nm]$). Ve spektru slunečního světla jsou zastoupeny všechny barevné složky, zatímco u různých zdrojů umělého osvětlení některé barvy spektra převažují a jiné zcela chybí. Složení barevného spektra zdroje osvětlení rovněž ovlivňuje nástup zrakové únavy a produktivitu práce.

Všechny tyto faktory je proto při volbě osvětlení třeba brát v úvahu.

3.3.1 Zásady návrhu osvětlení

Při návrhu osvětlení je třeba postupovat s ohledem na druh činnosti, která bude v daném prostoru vykonávána, její zrakovou náročnost a další faktory. Základními požadavky, které by mělo splňovat správně navržené osvětlení, jsou podle TZB-info [10] tyto:

- *„odpovídající úroveň osvětlení podle druhu práce*
- *rovnoměrnost osvětlení*
- *přiměřené rozložení jasů ploch v zorném poli*
- *vhodný převažující směr osvětlení a stínivost*
- *omezení oslnění*
- *vhodné spektrální složení světla zdroje a přiměřené podání barev*
- *možnost použití místního přisvětlení a regulace celkového osvětlení*
- *údržba a pravidelná kontrola osvětlovací soustavy“*

Tyto zásady platí nejen pro návrh umělého osvětlení, ale také pro využití přirozeného osvětlení a jeho kombinaci s umělým osvětlením.

3.3.2 Zařízení umožňující úsporu energie

Osvětlení je jednou z oblastí, ve které lze dosáhnout úspor energie a lepšího přizpůsobení skutečným potřebám uživatelů budov prostřednictvím využití řídicích prvků. Optimální řízení osvětlení s ohledem na potřeby uživatelů daného prostoru by mělo zohledňovat potřeby uživatelů, úsporu energie a vliv na životnost osvětlovacích prvků.

K optimálnímu řízení osvětlení podle potřeb uživatelů lze využít čidla (detektory přítomnosti osob, čidla intenzity osvětlení), řídicí jednotky (např. pro snížení intenzity osvětlení v nočních hodinách, pro časové spínání osvětlení) a akční členy (stmívače pro nastavení intenzity osvětlení, pohon žaluzií pro zabránění oslnění slunečním světlem)

Úspora energie dosažená prostřednictvím optimálně navrženého řídicího systému by měla převyšovat množství energie potřebné pro provoz tohoto systému.

3.3.3 Zařízení umožňující zvýšení kvality osvětlení

Pro lidský zrak je nejvhodnějším osvětlením sluneční světlo, které má dostatečnou intenzitu a optimální složení barevného spektra. Sluneční světlo ovlivňuje kromě zrakového výkonu člověka také jeho psychiku, metabolismus a celkový zdravotní stav. Zvýšením kvality osvětlení je zde proto myšleno maximální využití přirozeného osvětlení nebo světla, které se svou kvalitou přirozenému osvětlení blíží.

Tubusové světlovody

Světlovody jsou trubicové střešní světlíky, které umožňují dopravit přirozené světlo do místností, ve kterých není možné zajistit přirozené osvětlení okny, nebo do míst, kde je intenzita přirozeného osvětlení nedostatečná. Bývají to různé chodby, schodiště, rozličná zákoutí, ale také hygienické místnosti nacházející se uprostřed domu. Světlovody jsou využívány také v domech krytých zemí, kde slouží k osvětlení zadních místností, které nemají okna, a k přisvětlování zadních částí místností s okny.

Světlovod se skládá z vnější skleněné kopule, hliníkového tubusu s vnitřní reflexní úpravou na bázi stříbra nebo hliníku a difuzeru. Vnější kopule má speciální tvar, díky němuž dokáže zachytit sluneční paprsky a odvést je do tubusu, což zaručuje dostatečnou účinnost světlovodu i v době východu a západu slunce, kdy je slunce nízko nad horizontem. Tubusem s reflexní úpravou je světlo pomocí odrazů vedeno do difuzéru, který ho následně rovnoměrně rozptýlí do místnosti. Postup světla světlovodem je znázorněn na obrázku 13.



Obrázek 13: Šíření světla světlovodem (Zdroj: www.svetlovody.com [17])

Do spodní části světlovodu je také možné instalovat běžnou žárovku a světlovod pak může fungovat zároveň jako svítidlo v době, kdy je přirozené osvětlení nedostatečné.

Rozhodujícím faktorem, který ovlivňuje účinnost světlovodu, je jeho průměr. Pro rodinné domy činí obvykle 35 cm, v průmyslových objektech se montují světlovody cca

padesáticentimetrové. Čím je průměr vyšší, tím vyšší je i účinnost. Velkou roli hraje také celková délka světlovodu, proto se světlovody někdy montují i na obvodové zdi domů.

Účinnost světlovodu se podle TZB-info [10] pohybuje mezi 30 a 40 % v závislosti na povětrnostních podmínkách. Intenzita osvětlení v místnostech vybavených tubusovým světlovodem se pohybuje od 300 do 1 300 lx.

Využití tubusových světlovodů umožňuje přímý vizuální kontakt s dynamikou denního světla v prostorech, které by jinak musely být trvale osvětlovány uměle, což v konečném důsledku vede k významným energetickým úsporám.

Plnospektrální umělé osvětlení

Variantu umělého osvětlení, která se svými vlastnostmi nejvíce blíží slunečnímu světlu, představuje plnospektrální osvětlení. Jak již bylo řečeno, běžné zdroje umělého osvětlení se od slunečního světla odlišují nejen nižší intenzitou osvětlení, ale také odlišným složením barevného spektra. Různé složení barevného spektra světla má různé účinky na zdravotní a psychický stav člověka. Například běžné žárovky produkují světlo s převahou žluté a červené barvy. Toto světlo má stimulační účinky a při dlouhodobém působení udržuje člověka v permanentním stresu, který způsobuje předčasnou únavu a další komplikace. U zářivek zase téměř chybí modré světlo, které je ve slunečním záření zastoupeno nejvíce. Světlo zářivek pracující na nízkém kmitočtu 50 Hz zapíná a vypíná stokrát za vteřinu, což lidský mozek registruje a udržuje ho to v neustálém vypětí, podobně jako světlo žárovek. Ultrafialové záření, jehož malý podíl je pro lidský organismus stejně důležitý jako ostatní složky slunečního světla, u běžných zdrojů umělého osvětlení zcela chybí. Při umělém osvětlení, které nemá vyvážené barevné spektrum, se navíc rozšiřují oční zorničky podstatně více než při slunečním svitu stejné intenzity, což může vést jednak ke světlolachosti, ale také k predispozici zeleného zákalu.

Plnospektrální osvětlení je umělé osvětlení, které se svým složením barevného spektra blíží slunečnímu záření. Bylo prokázáno, že tento typ osvětlení má výrazný pozitivní vliv na lidskou psychiku i zdravotní stav, zvyšuje výkonnost, produktivitu práce, oddaluje nástup zrakové i celkové únavy, zvyšuje schopnost soustředění, zmírňuje některé zrakové vady a umožňuje nezkraslené vnímání barev. Kromě toho také přispívá ke snížení úrazovosti, agresivity, omezení výskytu konfliktů a snížení výskytu depresí. Při použití

v domácnostech usnadňuje plnospektrální světlo ranní vstávání a urychluje regeneraci organismu.

Na trhu je v současné době dostupných několik typů zdrojů plnospektrálního osvětlení. Patří k nim trubkové i kompaktní zářivky, žárovky a stolní i stojací lampy.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 STANOVENÍ POSTUPU NÁVRHU SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Cílem této práce je návrh systémů vnitřního prostředí pro dům chráněný zemí, který spadá do kategorie nízkoenergetických budov. Dalším cílem práce je návrh řízení systémů vnitřního prostředí s využitím informačních technologií, a to tak, aby byl zajištěn vysoký komfort vnitřního prostředí při minimální spotřebě energie. Systém řízení má rovněž umožnit vzdálený přístup k ovládání jednotlivých parametrů vnitřního prostředí.

4.1 Postup návrhu systémů vnitřního prostředí

Pro návrh systémů s optimálními parametry a jejich řízení je třeba dodržet následující postup:

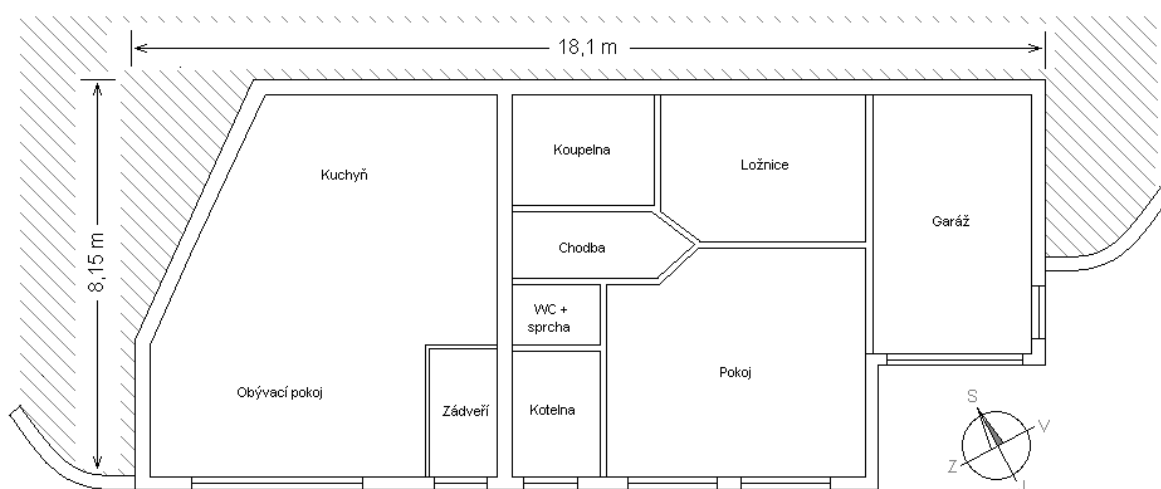
- Výpočet tepelných ztrát objektu na základě okrajových podmínek
- Stanovení výkonových parametrů systémů vnitřního prostředí na základě vypočtených tepelných ztrát
- Volba systémů vnitřního prostředí na základě stanovených výkonových parametrů
- Návrh řízení navržených systémů vnitřního prostředí s využitím informačních technologií
- Zhodnocení navržených systémů a jejich přínosů z technického a ekonomického hlediska

5 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU PODLE NORMY ČSN EN 12831 A STANOVENÍ ZÁKLADNÍCH PARAMETRŮ SYSTÉMŮ VNITŘNÍHO PROSTŘEDÍ

Návrh systémů vnitřního prostředí, splňujících požadavky na komfort vnitřního prostředí a energetickou úspornost, vyžaduje znalost základních parametrů (tzv. okrajových podmínek) objektu, pro který jsou systémy navrhovány. Na základě těchto parametrů jsou určeny základní požadavky, jimiž se řídí návrh systémů vnitřního prostředí a volba použitých zařízení.

5.1 Okrajové podmínky

Předmětný objekt je samostatně stojící rodinný dům, nacházející se v lokalitě Jižní Chlum u Zlína. Objekt je umístěn na jižním svahu, zapuštěn do terénu a je shora a ze severní a západní strany krytý okolní zeminou. Z východní strany k objektu přiléhá garáž, jejíž venkovní stěna je z větší části rovněž kryta okolní zeminou. Jižní strana je nekrytá a z větší části prosklená. Výška krycí vrstvy zeminy na střeše objektu je přibližně 1 m. Půdorys objektu je znázorněn na obrázku 14.



Obrázek 14: Půdorys předmětného objektu

5.1.1 Výchozí parametry objektu

V tabulce 6 jsou uvedeny hodnoty výchozích parametrů předmětného objektu a okolních podmínek.

Tabulka 6: Výchozí parametry objektu a okrajové podmínky

Parametr	Hodnota
Oblastní výpočtová teplota - zima	- 12 °C
Oblastní výpočtová teplota - léto	30 °C
Průměrná teplota půdy v oblasti	10 °C
Délka otopného období	216 dní
Průměrná venkovní teplota v otopném období	3,6°C
Součinitel znečištění atmosféry	4,25
Výpočtová zimní entalpie venkovního vzduchu	-9 kJ/kg s.v.
Výpočtová letní entalpie venkovního vzduchu	56 kJ/kg s.v.
Charakteristické číslo budovy	4 Pa ^{0,67}
Užitková plocha objektu	101,3 m ²
Užitkový prostor objektu	273,5 m ³
Počet trvale žijících osob	3

5.2 Výpočet tepelné ztráty objektu podle normy ČSN EN 12831

Na základě výchozích parametrů byla vypočtena celková tepelná ztráta objektu podle normy ČSN EN 12831. V rámci výpočtu tepelné ztráty byly vypočteny také hodnoty parametrů určujících základní požadavky na systémy vnitřního prostředí a další hodnoty, které jsou použity při výpočtu celkové tepelné ztráty.

5.2.1 Norma ČSN EN 12831

Norma ČSN EN 12831 nahrazuje normu ČSN 06 0210. Norma stanovuje postup výpočtu dodávky tepla nutného k bezpečnému dosažení výpočtové vnitřní teploty. Norma popisuje výpočet návrhového topného výkonu (tepelné ztráty):

- pro jednotlivé místnosti nebo vytápěný prostor pro dimenzování otopných ploch;
- pro celou budovu nebo její funkční část pro dimenzování tepelného výkonu.

Norma udává postupy pro výpočet návrhové tepelné ztráty a návrhového tepelného výkonu pro standardní případy při návrhových podmínkách. Standardní případy zahrnují všechny budovy:

- s omezenou výškou místnosti (nepřesahující 5 m);
- s vytápěním do ustáleného stavu při návrhových podmínkách.

5.2.2 Výpočet minimálního množství větracího vzduchu

Minimální množství větracího vzduchu se požaduje z hygienických důvodů. Minimální intenzita výměny vzduchu je stanovena v národní příloze k normě ČSN EN 12831 nebo ve specifikaci.

Minimální množství větracího vzduchu se stanovuje podle několika kritérií, přičemž za výslednou hodnotu je vždy považována nejvyšší z těchto hodnot. Ke kritériím pro stanovení minimálního množství větracího vzduchu patří:

- počet osob pohybujících se v daném prostoru
- doporučená intenzita výměny vzduchu ve větraném prostoru

Postup výpočtu minimálního množství větracího vzduchu oběma způsoby je uveden v příloze P I. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 7.

Tabulka 7: Minimální množství větracího vzduchu v objektu

Kritérium	Minimální množství větracího vzduchu V_{min} [m ³ /h]
Počet osob	150,0
Intenzita výměny vzduchu	197,58

Minimální množství větracího vzduchu pro předmětný objekt je větší z obou vypočtených hodnot, tedy $V_{min} = 197,58 \text{ m}^3/\text{h}$.

5.2.3 Výpočet tepelných ztrát objektu

Byly stanoveny tepelné ztráty objektu v letním a zimním období. Postup výpočtu tepelných ztrát předmětného objektu je uveden v příloze P II. Vypočtené hodnoty pro zimní období jsou uvedeny v tabulce 8.

Tabulka 8: Tepelné ztráty objektu v zimním období

Parametr	Hodnota [W]
Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$	1183,71
Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$	1637,46
Celková tepelná ztráta Φ_i	2821,17

Pro letní období byly vypočteny hodnoty tepelné ztráty větráním pro vnitřní teplotu 23 °C a pro variantu s použitím rekuperace a bez použití rekuperace. Tyto hodnoty umožnily volbu nejvhodnější varianty řešení větrání v letním období s ohledem na požadavky na parametry vnitřního prostředí. V příloze P II je uveden výpočet tepelné ztráty v letním období jak pro variantu s rekuperací, tak pro variantu bez rekuperace. Vypočtené hodnoty tepelné ztráty pro obě varianty jsou uvedeny v tabulce 9. Tepelná ztráta prostupem je ve všech případech stejná a její velikost je $\Phi_{T,i} = 301,14 \text{ W}$.

Tabulka 9: Tepelné ztráty v letním období v závislosti na vnitřní teplotě a použití rekuperace

	S rekuperací	Bez rekuperace
Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	-251,09	-460,77
Celková tepelná ztráta Φ_i [W]	50,05	-159,63

Z tabulky 9 je patrné, že u varianty s rekuperací dochází i v letním období k tepelné ztrátě, kterou je nutné kompenzovat dohříváním větracího vzduchu, zatímco u varianty bez rekuperace dochází k tepelnému zisku, který vyžaduje chlazení. Ani jedna z těchto variant tedy sama o sobě není z hlediska úspory energie výhodná. Proto jsem zvolila kombinaci obou variant - část vzduchu prochází rekuperačním výměníkem a část by-passem. Výhodou tohoto řešení je to, že nevyžaduje ohřev ani chlazení větracího vzduchu, což umožňuje úsporu energie.

5.2.4 Výpočet zátopového tepelného výkonu

Zátopový výkon je parametr závisející na typu budovy, její celkové podlahové ploše, poklesu vnitřní teploty během přerušení vytápění a zátopové době. Typ budovy udává, zda se jedná o stavbu lehkou, středně těžkou nebo těžkou a odvozuje se od materiálů konstrukcí stěn, podlah a stropů. Zátopová doba je doba nutná k dosažení požadované teploty po přerušení vytápění.

Postup výpočtu zátopového tepelného výkonu

Zátopový tepelný výkon požadovaný pro nahrazení účinku přerušovaného vytápění, $\Phi_{RH,i}$, ve vytápěném prostoru (i) se stanoví ze vztahu:

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} [W]$$

kde A_i je podlahová plocha vytápěného prostoru (i) v metrech čtverečních (m^2);

f_{RH} korekční činitel závisející na zátopové době a předpokládaném poklesu vnitřní teploty v útlumové době, ve wattech na metr čtvereční (W/m^2).

Výpočet zátopového tepelného výkonu

Zátopový tepelný výkon je počítán pro zátopový čas 2 h a předpokládaný pokles vnitřní teploty během teplotního útlumu 2 K. Předmětný objekt je klasifikován jako těžká stavba s betonovými podlahami, stropy a obvodovými stěnami.

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} [W]$$

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} = 101,3 * 11 = 1114,3 [W]$$

5.2.5 Výpočet návrhového tepelného výkonu

Postup výpočtu návrhového tepelného výkonu

Tepelný výkon pro funkční část budovy nebo budovu Φ_{HL} se stanoví ze vztahu:

$$\Phi_{HL,i} = \Sigma \Phi_{T,i} + \Sigma \Phi_{V,i} + \Sigma \Phi_{RH,i} [W]$$

kde je $\Sigma \Phi_{T,i}$ suma tepelných ztrát prostupem tepla všech vytápěných prostorů s výjimkou tepla sdíleného uvnitř funkční části budovy nebo budovy [W];

$\Sigma \Phi_{V,i}$ tepelné ztráty větráním všech vytápěných prostor s výjimkou tepla sdíleného

uvnitř funkční části budovy nebo budovy $[W]$.

$\Sigma \Phi_{RH,i}$ součet tepelných zátěpových výkonů všech vytápěných prostorů požadujících vyrovnání účinků přerušovaného vytápění $[W]$.

Výpočet návrhového tepelného výkonu

$$\Phi_{HL,i} = \Sigma \Phi_{T,i} + \Sigma \Phi_{V,i} + \Sigma \Phi_{RH,i} [W]$$

$$\Phi_{HL,i} = 1637,46 + 1183,71 + 1114,3 = 3935,47 [W]$$

5.3 Stanovení základních parametrů systémů vnitřního prostředí

Na základě výpočtů provedených v kapitole 4.2 a popsanych v přílohách P I a P II byly stanoveny základní požadavky na parametry vnitřního prostředí pro předmětný objekt. Přehled těchto parametrů je uveden v tabulce 10.

Tabulka 10: Přehled stanovených parametrů vnitřního prostředí

Parametr	Hodnota
Minimální množství větracího vzduchu V_{min}	$197,58 m^3$
Vnitřní teplota v zimním období θ_{iz}	$21 \text{ } ^\circ\text{C}$
Vnitřní teplota v letním období θ_{il}	$23 \text{ } ^\circ\text{C}$

Ostatní parametry, jejichž hodnoty nebyly pro tento konkrétní případ vypočteny, se řídí obecnými požadavky uvedenými v tabulce 3 v kapitole 3.

Dále byly vypočteny další parametry objektu, které mají zásadní význam pro návrh systémů vnitřního prostředí. Přehled těchto parametrů je uveden v tabulce 11.

Tabulka 11: Přehled vypočtených parametrů objektu

Parametr	Hodnota
Tepelná ztráta objektu větráním v zimním období $\Phi_{V,i}$	$1183,71 W$
Tepelná ztráta objektu prostupem v zimním období $\Phi_{T,i}$	$1637,46 W$

Celková tepelná ztráta objektu v zimním období Φ_i	2821,17 W
Zátopový tepelný výkon $\Phi_{RH,i}$	1114,30 W
Návrhový tepelný výkon $\Phi_{HI,i}$	3935,47 W
Tepelná ztráta objektu větráním v letním období $\Phi_{V,i}$	- 251,09 W
Tepelná ztráta objektu prostupem v letním období $\Phi_{T,i}$	301,14 W
Celková tepelná ztráta objektu v letním období Φ_i	50,05 W
Plošná měrná potřeba tepla e_A	26,26 kWh/(m ² .rok)

Z vypočtených parametrů objektu a požadavků na parametry vnitřního prostředí vyplývají požadavky na systémy, které mají dodržení těchto parametrů zajišťovat. Základní požadavky jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Přehled základních požadavků na systémy vnitřního prostředí

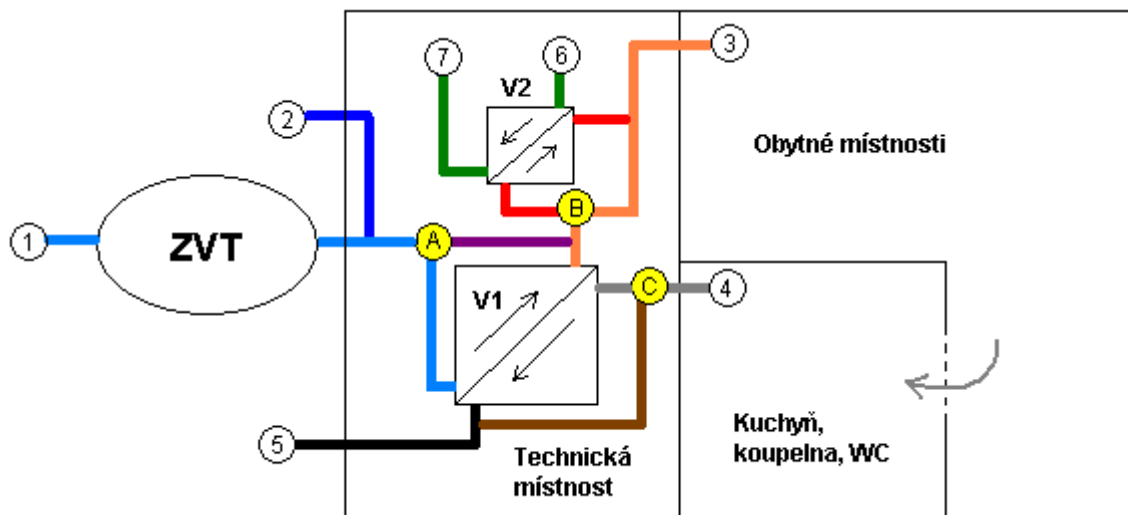
Požadavek	Hodnota
Minimální tepelný výkon otopné soustavy $\Phi_{H,min}$	2751,76 W
Minimální výkon vzduchotechnického systému V_{min}	289,92 m ³ /h
Minimální výkon zařízení pro ohřev větracího vzduchu $\Phi_{V,min}$	1183,71 W

6 NÁVRH SYSTÉMŮ VZDUCHOTECHNIKY, VYTÁPĚNÍ, OSVĚTLENÍ A ZÁSOBENÍ ELEKTRICKOU ENERGIÍ V DOMĚ CHRÁNĚNÉM ZEMÍ

Systémy vnitřního prostředí v domě chráněném zemí jsou navrženy s důrazem na vysoký komfort bydlení při minimální spotřebě energie z vnějších zdrojů. Hlavními prostředky k dosažení tohoto cíle jsou volba vhodného systému vzduchotechniky, vytápění a osvětlení, maximální využití obnovitelných zdrojů energie a využití specifických vlastností domů chráněných zemí.

6.1 Návrh systému vzduchotechniky

Vzduchotechnický systém je nepostradatelnou součástí systémů vnitřního prostředí domů chráněných zemí především proto, že zajišťuje hygienicky nutnou výměnu vzduchu v zadních místnostech, která nemají okna a tudíž je není možné větrat přirozeným způsobem. Aby bylo dosaženo vyššího komfortu vnitřního prostředí, zvolila jsem pro výměnu vzduchu v objektu systém teplovzdušného větrání, který dohřívá chladný větrací vzduch na teplotu vnitřního prostředí, takže uživatelé nejsou vystaveni nepříjemnému působení studeného vzduchu. Vzhledem k tomu, že objekt spadá do kategorie nízkoenergetických domů, jsem pro jeho větrání zvolila systém nuceného rovnotlakého větrání s rekuperací tepla. Pro dosažení vyšší úspory energie jsem zvolila řešení využívající k přehřevu větracího vzduchu zemní výměník tepla (ZVT). Pro přehřev větracího vzduchu v zimním období jsem zvolila teplovodní výměník, který umožňuje využití nízkopotenciálního tepla z obnovitelných zdrojů. Schéma navrženého systému je zobrazeno na obrázku 15.



Obrázek 15: Schéma systému vzduchotechniky

Vysvětlivky k obrázku 15:

1, 2 - nasávání čerstvého vzduchu (přes zemní výměník a přímo z venkovního prostředí)

3 - výstupy pro přívod upraveného čerstvého vzduchu do vnitřního prostředí

4 - odtahy pro odvod znehodnoceného vzduchu z vnitřního prostředí

5 - výstuka pro vyfukování znehodnoceného vzduchu do vnějšího prostředí

6 - přívod teplé vody do výměníku voda/vzduch (V2)

7 - odvod studené vody z výměníku voda vzduch (V2)

A, B, C - regulační klapky

V1 - rekuperační výměník vzduch/vzduch pro ohřev větracího vzduchu v zimním období

V2 - výměník voda/vzduch pro ohřev větracího vzduchu

ZVT - zemní výměník tepla

Šedá šipka naznačuje pohyb vzduchu v budově infiltrací mezerami pod dveřmi.

Umístění jednotlivých komponentů systému vzduchotechniky a vzduchotechnických rozvodů v objektu je zakresleno v příloze P III.

6.1.1 Provoz systému v zimním období

Čerstvý vzduch z vnějšího prostředí vstupuje do systému v bodě 1, prochází zemním výměníkem tepla a přes klapku A vstupuje do rekuperačního výměníku V1. Zde se ohřívá od znehodnoceného vzduchu, nedochází však k jejich smíšení. Po výstupu z výměníku pokračuje ke klapce B. Pokud je jeho teplota dostatečně vysoká, pokračuje k přívodním výustkám (3), kterými je přiváděn do obytných místností. Pokud je třeba vzduch dohřát, prochází výměníkem V2, kde dojde k jeho ohřátí vodou z akumulčního zásobníku, která je přiváděna potrubím 6 a odváděna potrubím 7. Poté pokračuje k přívodním výustkám (3) stejně jako v prvním případě.

Znehodnocený vzduch je odváděn z kuchyně, koupelny a WC odtahovými výustkami (4) a přes klapku C pokračuje do rekuperačního výměníku V1, kde je využit k ohřevu přívodního čerstvého vzduchu. Poté pokračuje k výustce 5, kterou je vypouštěn do vnějšího prostředí.

6.1.2 Provoz systému v letním období

V letním období je čerstvý vzduch z vnějšího prostředí nasáván výustkou umístěnou na nechráněné jižní stěně domu (2). Přes klapku A pokračuje menší část vzduchu by-passem (fialová barva) ke klapce B, větší část vzduchu prochází rekuperačním výměníkem. Poté vzduch pokračuje k přívodním výustkám (3), kterými je přiváděn do obytných místností.

Znehodnocený vzduch je odváděn z kuchyně, koupelny a WC odtahovými výustkami (4) a přes klapku C pokračuje část vzduchu by-passem (hnědá barva) a část rekuperačním výměníkem k výustce 5, kterou je vypouštěn do vnějšího prostředí.

6.1.3 Provoz systému v přechodném období

V přechodném období je čerstvý vzduch z vnějšího prostředí nasáván částečně výustkou umístěnou na nechráněné stěně domu, částečně přes zemní výměník tepla. Tento způsob je volen proto, aby nedocházelo k vyčerpání tepelné kapacity zeminy a k jejímu vymrzání, ke kterému může dojít zejména v jarním období, kdy je teplo akumulované v horních vrstvách půdy již z velké části vyčerpáno. Vzduch dále prochází rekuperačním výměníkem a poté je podle potřeby dohříván pomocí teplovodního výměníku. Řízení teploty přívodního vzduchu je stejně jako v zimním období realizována prostřednictvím řízení množství vzduchu procházejícího výměníkem.

Znehodnocený vzduch je odváděn z kuchyně, koupelny a WC odtahovými výustkami (4) a pokračuje rekuperačním výměníkem k výustce 5, kterou je vypouštěn do vnějšího prostředí.

6.1.4 Režimy větrání

Navržený systém umožňuje větrání ve třech režimech:

- **Rovnotlaké větrání** s rekuperací a průtokem vzduchu $197,58 \text{ m}^3/\text{h}$. Tento režim je používán v zimním období.
- **Nárazové větrání** vyvolané buď automaticky sepnutím spínačem kvality vzduchu nebo spínačem vlhkosti, nebo manuálně tlačítkem v kuchyni, koupelně nebo WC. Průtok vzduchu při nárazovém větrání může být až $500 \text{ m}^3/\text{h}$.
- **Přerušované větrání** umožňující úsporu energie vynaložené na pohon ventilátoru, v zimním období také na ohřev větracího vzduchu. Je vhodné zejména v době, kdy je v domě přítomno méně osob.

6.1.5 Komponenty systému vzduchotechniky

Vzduchotechnická jednotka Duplex 500 EC

Na základě požadavků uvedených v tabulce 12 jsem zvolila vzduchotechnickou jednotku Duplex 500 EC od společnosti Atrea. Jednotka Duplex 500 EC je určena pro komfortní větrání všech typů obytných budov, zvláště pak pro nízkoenergetické a pasivní rodinné domy.

Jednotka Duplex 500 EC umožňuje řízené rovnotlaké větrání s rekuperací tepla a dohřev přiváděného vzduchu pomocí volitelně dodávaného elektrického nebo teplovodního ohřívače. Systém zajišťuje přívod čerstvého filtrovaného vzduchu do každé obytné místnosti a kuchyně a současně odtah odpadního vzduchu ze sociálních zařízení, WC, koupelny

a kuchyně. U nízkoenergetických domů doplňuje větrací systém základní otopnou soustavu.

Součástí jednotky Duplex 500 EC je protiproudý rekuperační výměník z plastu s účinností 90 %, dva radiální ventilátory s elektronickým EC řízením, filtr G4 přívodního vzduchu,

předfiltr odpadního vzduchu, automaticky řízená klapka by-passu, řídicí modul CP 01 a připojovací svorkovnice.

Vestavěný digitální řídicí modul je vybaven čidly teploty, výkonovými spínacími a ochrannými prvky, dvěma kontaktními vstupy a jedním vstupem 0 až 10 V, umožňujícím připojení dalších čidel nebo řídicích senzorů, případně napojení na nadřazený řídicí systém.

Výkonové parametry jednotky Duplex 500 EC jsou uvedeny v tabulce 13.

Tabulka 13: Výkonové parametry vzduchotechnické jednotky Duplex 500 EC

Parametr	Hodnota
Maximální množství přiváděného vzduchu	<i>500 m³/h</i>
Maximální množství odváděného vzduchu	<i>500 m³/h</i>
Maximální účinnost rekuperace	<i>90 %</i>
Výška	<i>360 mm</i>
Hloubka	<i>735 mm</i>
Délka (bez hrdel)	<i>830 mm</i>
Průměr připojovacích hrdel	<i>200 mm (kruh/elipsa)</i>
Hmotnost	<i>31 kg</i>
By-pass	Ano (automatick řízení)
Napětí	<i>230 V/50 Hz</i>
Třída filtrace přívodního vzduchu	G4 (alternativně F7)
Odvod kondenzátu	<i>1 x ø 14 mm (alternativně ø26 mm)</i>

Jednotka Duplex 500 EC je umístěna v technické místnosti v blízkosti energetické věže.

Zemní výměník tepla

K předehřevu větracího vzduchu před vstupem do rekuperační jednotky v zimním období slouží zemní výměník tepla. Zemní výměník je tvořen nasávací výstmkou a podzemním potrubím pro přívod a předehřev vzduchu. Nasávací výstka je umístěna ve venkovním prostředí a je opatřena stříškou proti dešti a hrubým a jemným filtrem proti vniknutí

drobných zvířat, hmyzu a nečistot. Pro předehřev požadovaného průtokového objemu čerstvého vzduchu jsou použity dvě paralelní plastové kanalizační trubky s kruhovým průřezem o délce $2 \times 25 \text{ m}$ a průměru 200 mm . Trubky jsou položeny v hloubce 2 m pod povrchem se sklonem $1 - 2 \%$, který zajišťuje odvod případného kondenzátu a zabraňuje tak vzniku nežádoucího zápachu. Navržený zemní výměník předehřívá větrací vzduch při průtokovém objemu $197,58 \text{ m}^3/\text{h}$ z $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ na $2 - 5 \text{ }^\circ\text{C}$ v závislosti na teplotě okolní zeminy.

Teplovodní ohříváč vzduchu

Pro dohřev větracího vzduchu je použit teplovodní ohříváč TPO 200 EC od společnosti Atria, který je volitelně dodáván k jednotkám Duplex 500 EC. Teplovodní ohříváč TPO 200 EC má následující parametry:

- plášť z galvanizovaného plechu
- lamely hliníkové na měděných trubičkách
- maximální pracovní tlak je 10 bar
- maximální provozní teplota je $100 \text{ }^\circ\text{C}$

Ohříváč je standardně dodáván včetně:

- protimrazového kapilárního termostatu
- elektricky ovládaného uzavíracího ventilu
- regulačního ventilu s termostatickou hlavicí a kapilárním čidlem teploty do potrubí

Výkonové parametry teplovodního ohříváče jsou uvedeny v tabulce 14.

Tabulka 14: Výkonové parametry teplovodního ohříváče TPO 200 EC

průtok vzduchu (m^3/h)	průtok vody (l/hod)	Tlaková ztráta (kPa)	Q (kW)
100	30	0,12	0,7
150	40	0,19	0,94
200	54	0,31	1,25
250	67	0,46	1,56
300	80	0,62	1,87
350	94	0,81	2,18

Uvedené parametry platí pro teplotu topné vody $55 / 35 \text{ }^\circ\text{C}$, vstupní vzduch po rekuperaci $12 \text{ }^\circ\text{C}$ a výstupní vzduch min. $30 \text{ }^\circ\text{C}$. Protože však u navrženého systému jde o teplovzdušné větrání, u kterého se přívodní vzduch ohřívá pouze na teplotu vnitřního

prostředí, tj. 21 °C, bude výměníkem procházet pouze taková část větracího vzduchu, aby přírodní vzduch dosahoval požadované teploty.

Potrubí pro rozvod vzduchu

Pro rozvod vzduchu v objektu je použito tepelně izolované hliníkové potrubí s plochým průřezem o rozměrech 200 x 50 mm. Potrubí je vedeno v tepelně izolační vrstvě podlahy a je podloženo tepelnou izolací z polystyrenu o tloušťce 50 mm, která zamezuje ochlazování vzduchu od podložní zeminy.

Výustky

Čerstvý vzduch je do obytných místností přiváděn podlahovými výustkami o rozměrech 125 x 225 mm, které jsou umístěny pod okny. V obytných místnostech, které okna nemají, jsou výustky umístěny na jiném vhodném místě.

Odpadní vzduch z koupelny a WC je odváděn prostřednictvím talířových ventilů umístěných ve stěně proti dveřím. Odpadní vzduch z prostoru kuchyně je odváděn digestoří a talířovými ventily o průměru 150 mm, umístěnými ve stěně nad kuchyňskou linkou.

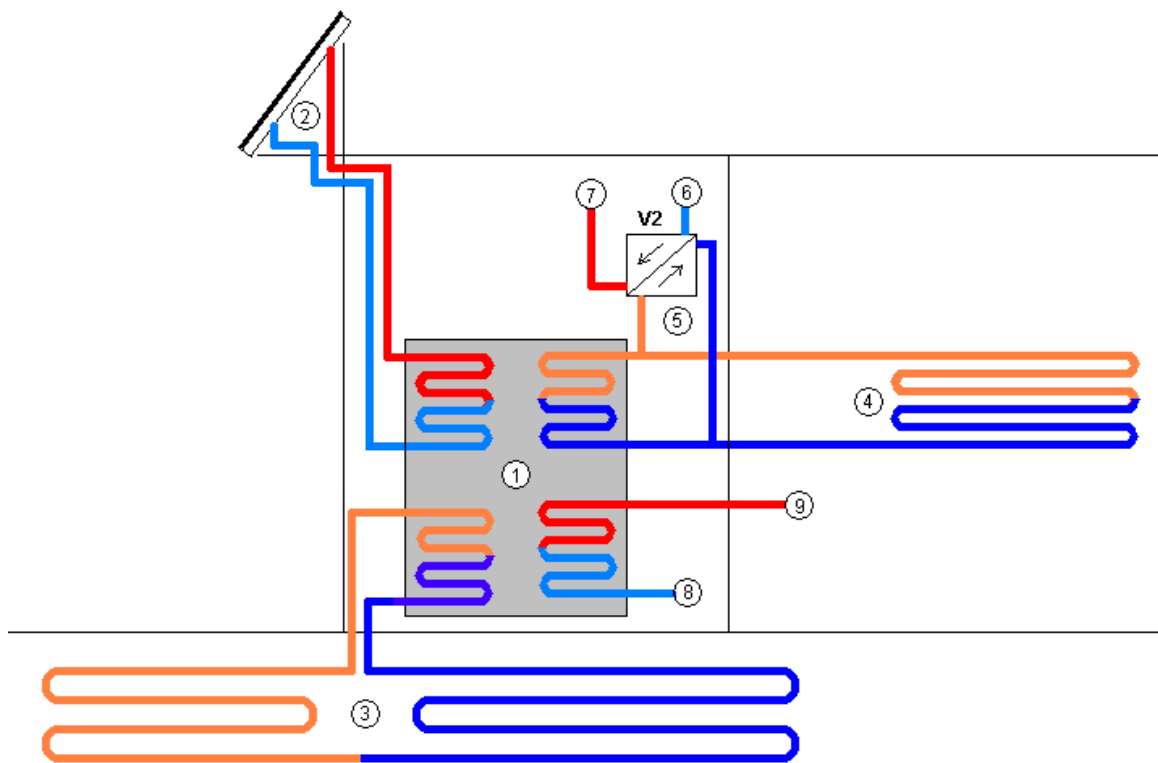
Čerstvý vzduch z venkovního prostředí je nasáván buď prostřednictvím zemního výměníku, nebo přes protidešťovou žaluzii umístěnou na vnější stěně domu, nebo kombinací obou způsobů. Protidešťová žaluzie je umístěna na nechráněné jižní stěně domu pod nadokenní římsou, která v letním období zajišťuje její zastínění.

Odpadní vzduch je do venkovního prostředí vypouštěn výdechem umístěným na jižní stěně domu nad nadokenní římsou, v dostatečné vzdálenosti od protidešťové žaluzie pro přívod čerstvého vzduchu.

6.2 Návrh systému vytápění a ohřevu teplé užitkové vody

Nízká tepelná ztráta domu umožňuje využití nízkoteplotního podlahového vytápění. Tento způsob vytápění jsem zvolila také proto, že nabízí řadu výhod, k nimž patří nižší teplota vzduchu potřebná k dosažení tepelné pohody a možnost využití nízkopotenciálních zdrojů tepla. Jádrem komponentem systému je energetická věž Viessmann Vitocal 242-G, která umožňuje integraci obnovitelných zdrojů tepla a společný ohřev topné vody a TUV. Jako zdroj tepla je v systému využíváno tepelné čerpadlo země/voda a fototermitický solární

kolektor. Schéma navrženého systému vytápění a ohřevu TUV je znázorněno na obrázku 16.



Obrázek 16: Schéma systému vytápění a ohřevu TUV

Vysvětlivky k obrázku 16:

- 1 - energetická věž Viessmann Vitocal 242-G
- 2 - fototermický kolektor
- 3 - tepelné čerpadlo země/voda
- 4 - okruh podlahového vytápění
- 5 - tepelný výměník voda/vzduch pro ohřev větracího vzduchu (V2)
- 6 - přívod studeného vzduchu ze systému vzduchotechniky
- 7 - odvod teplého vzduchu do systému vzduchotechniky
- 8 - přívod studené pitné vody
- 9 - odvod TUV k jednotlivým armaturám

Umístění jednotlivých komponentů systému vytápění a rozvodů topné vody a TUV v objektu je zakresleno v příloze P IV.

6.2.1 Provoz systému v zimním období

V zimním období bude objekt vytápěn na teplotu $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ prostřednictvím podlahového vytápění, které bude pokrývat tepelnou ztrátu prostupem. Tepelnou ztrátu objektu větráním bude pokrývat teplovodní výměník pro ohřev větracího vzduchu. Toto řešení jsem zvolila z důvodu vyššího komfortu vnitřního prostředí. Zajišťuje, že uživatelé objektu nebudou vystavováni proudění chladného přívodního vzduchu. Teplovzdušné větrání současně částečně kompenzuje nízký podíl konvekční složky u podlahového vytápění.

Jako hlavní zdroj tepla bude v zimním období použito tepelné čerpadlo, doplněné fototermickým kolektorem. V případě nedostatečného výkonu těchto zařízení bude použito elektrické dohřívání topné vody a TUV, které je součástí energetické věže Viessmann.

6.2.2 Provoz systému v letním období

V letním období bude hlavním využívaným zdrojem tepla fototermický kolektor, který bude sloužit k ohřevu TUV. V případě nedostatečného výkonu kolektoru bude při krátkodobém nedostatku použit jako doplňkový zdroj tepla elektrický dohřev, v případě delšího trvání tohoto stavu bude použito tepelné čerpadlo. V případě poklesu venkovní teploty pod $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bude přednostně použito teplovzdušné přitápění s využitím teplovodního výměníku pro dohřev větracího vzduchu. V případě nedostatečnosti tohoto způsobu vytápění bude využito podlahové vytápění. Jako zdroj tepla pro podlahové vytápění bude v takovém případě využito tepelné čerpadlo. Důvodem tohoto řešení je snadné řízení teplovzdušného přitápění a jeho nižší energetická náročnost ve srovnání s podlahovým vytápěním.

6.2.3 Provoz systému v přechodném období

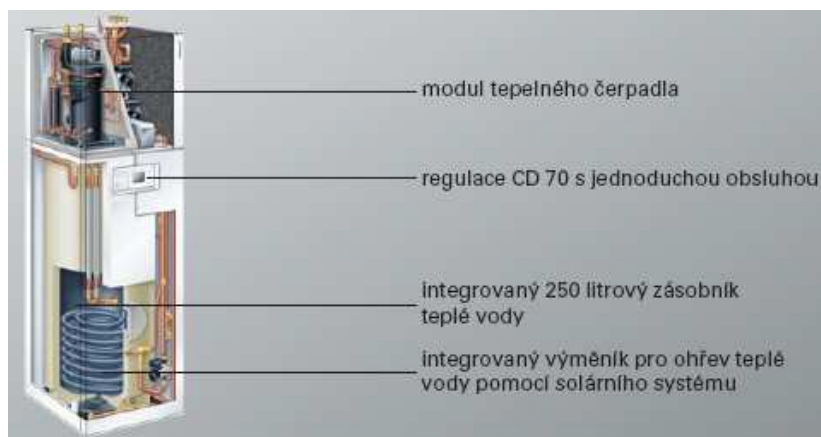
V přechodném období bude využívána kombinace všech dostupných zdrojů tepla, a to jednak s ohledem na energetickou efektivitu, ale také se snahou o zamezení vyčerpání tepelné kapacity zeminy, k němuž může dojít především v jarním období vlivem intenzivního využívání tepelného čerpadla. K vytápění objektu bude v závislosti na ročním období a tepelné ztrátě využíváno buď teplovzdušné vytápění (při malé tepelné ztrátě, např. na začátku podzimu a na konci jara), nebo podlahové vytápění (při velké tepelné ztrátě, např. na konci podzimu a na začátku jara).

6.2.4 Komponenty systému vytápění a ohřevu TUV

Energetická věž Viessmann Vitocal 242-G

Vitocal 242-G BWT 106 od společnosti Viessmann je kompaktní energetická věž, která představuje kompletní řešení pro nízkoenergetické domy. Její součástí je tepelné čerpadlo země/voda, zásobníkový ohřivač vody a komponenty potřebné k solární integraci. Je plnohodnotným zdrojem energie, který komfortně a spolehlivě zajišťuje vytápění a přípravu teplé vody.

Integrace jednotlivých zařízení v energetické věži Vitocal 242-G je znázorněna na obrázku 17.



Obrázek 17: Integrace zařízení v energetické věži Vitocal 242-G (Zdroj: Viessmann [19])

Energetická věž Vitocal 242-G má následující výhody:

- Součástí systému je kompletní tepelné čerpadlo země/voda
- Tepelné čerpadlo má tichý provoz díky plně zapouzdřenému spirálovému kompresoru a hlukové izolaci.
- Tepelné čerpadlo je vybaveno řízením ovládaným pomocí menu pro ekvitermně řízený topný provoz a režim chlazení „Natural cooling“, která je dodatečně k dispozici i pro solární systém.
- Systém je vybaven příslušenstvím potřebným k zapojení solárního systému, včetně integrovaného řízení, hydraulických přípojek a Solar-Divicon.

- Systém je vybaven integrovaným elektrickým dohřevem, proto ho lze celoročně využívat jako plnohodnotný topný systém.
- Součástí systému je integrovaný zásobník teplé vody.
- Malá prostorová náročnost, není potřeba bočního odstupu pro servis.

Základní parametry energetické věže Vitocal 242-G BWT 106 jsou uvedeny v tabulce 15.

Tabulka 15: Základní parametry energetické věže Vitocal 242-G BWT 106

Parametr	Hodnota
Jmenovitý tepelný výkon tepelného čerpadla	<i>6,1 kW</i>
Tepelný výkon elektrického dohřevu	<i>6 kW</i>
Chladicí výkon	<i>4,7 kW</i>
Maximální teplota topné vody	<i>60 °C</i>
Objem zásobníku TUV	<i>250 l</i>
Elektrický příkon	<i>1,4 kW</i>
Duh krytí	<i>IP 20</i>
Plocha základny	<i>600 x 677 mm</i>

Tepelné čerpadlo

Jedním ze dvou hlavních zdrojů tepla v systému vytápění je tepelné čerpadlo, které je součástí systému Viessmann Vitocal 242-G. Toto tepelné čerpadlo je typu země/voda s plošným kolektorem z měděných trubek o celkové ploše 160 m^2 a se vzájemnou vzdáleností jednotlivých trubek 1 m . Základním komponentem tepelného čerpadla je vysoce výkonný spirálový kompresor typu Scroll. Vlastní modul tepelného čerpadla je plně zapouzdřený a proto je velmi tichý. Tepelné čerpadlo dosahuje výkonu $6,1 \text{ kW}$. Jeho topný faktor je $4,3$.

Fototermické kolektory

Aby byla zajištěna kompatibilita s energetickou věží Viessmann Vitocal 242-G, zvolila jsem fototermické kolektory od stejného výrobce. Viessmann Vitosol 100 je plochý chladivový fototermický kolektor, určený k umístění na střechu ve svislé nebo vodorovné poloze. Ze dvou slunečních kolektorů Vitosol 100 lze na jaře za jeden slunečný den získat 15 kWh tepla, v létě 30 kWh i více. Denní výkon kolektoru v letním období postačuje k ohřevu 520 l vody z 10 °C na 60 °C. Základní parametry kolektoru Vitosol 100 jsou uvedeny v tabulce 16.

Tabulka 16: Parametry fototermického kolektoru Vitosol 100x

Technické údaje kolektorů Vitosol 100 - SV1 a SH1			
Typ	jednotka	SV1	SV2
Celková plocha ^{*1}	m ²	2,51	2,51
Plocha absorbéru	m ²	2,30	2,30
Plocha kolektoru ^{*2}	m ²	2,32	2,32
Rozměry šířka výška hloubka	mm mm mm	1056 2380 90	2380 1056 90
Optická účinnost ^{*3}	%	81	81
Součinitel ztráty tepla k_1 ^{*3}	W/(m ² ·K)	3,48	3,48
Součinitel ztráty tepla k_2 ^{*3}	W/(m ² ·K)	0,0164	0,0164
Tepelná kapacita	kJ/(m ² ·K)	6,4	6,4
Hmotnost	kg	52	52
Objem kapaliny (teplonosné médium)	litr	1,83	2,48
Přípustný provozní tlak ^{*3}	bar	6	6
Max. klidová teplota ^{*5}	°C	221	221
Připojení	Ø mm	22	22
Požadavky na podklad a zakotvení	dostatečně odolná střešní konstrukce proti působení síly větru		

^{*1}) Údaj potřebný k žádosti o státní dotace, ^{*2}) Údaj pro dimenzování zařízení, ^{*3}) vztaheno na plochu absorbéru, ^{*4}) V kolektorech musí být v uzavřených systémech za studena tlak minimálně 1 bar (100 kPa), ^{*5}) Klidová (stagnační) teplota je teplota, která se vyskytuje na nejteplejším místě kolektoru (většinou absorbéru) při intenzitě dopadajícího slunečního záření 1000 W/m², když z něho není odebráno teplo.

Pro výrobu tepla pro vytápění a ohřev TUV v předmětném objektu jsou použity dva kolektory typu Vitosol 100 SV2 o celkové ploše 5,02 m². Kolektory jsou umístěny na jižní straně domu nad nadokenní římsou.

Podlahové vytápění

Podlahové vytápění je navrženo pro místnosti, u nichž se předpokládá nízký tepelný odpor podlahy. Těmito místnostmi jsou kuchyň, WC se sprchou, koupelna, chodba a zádveří. Celková podlahová plocha vytápěných místností je 32 m^2 , což je přibližně třetina celkové plochy domu. Výkon podlahového topení pokrývá tepelnou ztrátu objektu prostupem a zátopový výkon, tedy celkem $2751,76 \text{ W}$.

Podlahové topení je provedeno z vysoce kvalitních pětivrstvých plastových trubek TopHeating o průměru 15 mm , položených ve vzdálenosti 150 mm na izolační systémové desce a podložených fólií Profi Reflex 3000, která zajišťuje odraz tepelných paprsků do obytného prostoru, rovnoměrnou povrchovou teplotu podlahy a až o 30% kratší dobu zátoku.

Ohřev TUV

Ohřev teplé užitkové vody je realizován zásobníkovým způsobem s využitím akumulčního zásobníku o objemu 250 l , který je součástí energetické věže Viessmann 242-G. Teplota vody v zásobníku je 55 °C , což brání kontaminaci vody bakterií legionelou. Teplá voda je ze zásobníku vedena k výtokovým armaturám v kuchyni, koupelně a sprše.

Teplovodní ohříváč vzduchu

Teplovodní ohříváč větracího vzduchu TPO 200 EC od společnosti Atrea je napojen na okruh podlahového vytápění a v systému vytápění figuruje jako další otopné těleso. Průtok vody ohříváčem je řízen prostřednictvím regulačního ventilu na základě potřeby ohřevu větracího vzduchu.

6.3 Návrh osvětlení

Osvětlení objektu je navrženo se snahou o maximální využití přirozeného osvětlení a zajištění jeho dostatečné intenzity ve všech obytných místnostech. Parametrem, který udává míru přirozeného osvětlení interiéru budov, je činitel denní osvětlenosti. Tento parametr patří k hygienickým požadavkům kladeným na nové stavby a jeho minimální přípustná hodnota pro obytné místnosti a kuchyně je $0,5 \%$.

Nevýhodou domů chráněných zemí je absence oken v místnostech umístěných v severní části domu. Aby tyto místnosti splňovaly požadavky na činitel denní osvětlenosti, je nutné zajistit přirozené osvětlení jiným způsobem. Výhodnou možností řešení tohoto problému představují tubusové světlovody, jejichž princip je popsán v kapitole 3.3.3.

U umělého osvětlení jsou voleny osvětlovací prvky s důrazem na kvalitu osvětlení a na možnost řízení jeho intenzity. Proto jsou využita plnospektrální svítidla a řídicí prvky umožňující nastavení intenzity osvětlení.

Přesné umístění jednotlivých osvětlovacích prvků v objektu je zakresleno v příloze P V.

6.3.1 Použité osvětlovací prvky

Světlovody SunPipe

Pro osvětlení místností bez oken a přisvětlování zadních částí místností s okny jsem zvolila tubusové světlovody SunPipe. Při návrhu světlovodů pro jednotlivé místnosti jsem postupovala podle informací uvedených na stránkách www.svetlovody.com [17]. Nejdůležitějším údajem, ze kterého jsem při návrhu vycházela, byla podlahová plocha osvětlovaných místností nebo jejich částí. Podle velikosti osvětlované plochy jsem volila průměr použitých světlovodů. Velikost osvětlené plochy a hodnoty intenzity osvětlení pro standardní průměry světlovodů SunPipe jsou uvedeny v tabulce 17.

Tabulka 17: Parametry světlovodů SunPipe

Průměr světlovodu [mm]	Jasná letní obloha	Zatažená letní obloha	Jasná zimní obloha	Osvětlená plocha A [m ²]
300 (12")	740 lx	420 lx	210 lx	14
450 (18")	1440 lx	740 lx	320 lx	22
530 (21")	1880 lx	930 lx	415 lx	40

Z tabulky 17 je patrné, že na průměru světlovodu závisí kromě osvětlované plochy také jeho účinnost, a tím i intenzita osvětlení v osvětlovaném prostoru. Ta závisí také na délce světlovodu. Hodnoty uvedené v tabulce platí pro světlovody o délce 60 cm. Světlovody instalované v domě chráněném zemí procházejí betonovým stropem, metrovou vrstvou krycí zeminy a kvůli lepšímu zachycení slunečního záření vyčnívají několik desítek centimetrů nad okolní terén. Jejich celková délka je proto přibližně 150 cm. Podle údajů uvedených na www.svetlovody.com [17] klesá u světlovodů intenzita osvětlení o 6 % na

jeden metr délky. Při větších délkách světlovodů je proto třeba kompenzovat pokles účinnosti volbou světlovodu s větším průměrem. Tento fakt jsem také zohlednila při návrhu světlovodů pro jednotlivé místnosti.

Parametry světlovodů navržených pro osvětlení nebo přisvětlování jednotlivých místností jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18: Parametry světlovodů navržených pro osvětlení jednotlivých místností

Místnost	Podlahová plocha [m^2]	Průměr světlovodu [mm]	Intenzita osvětlení [lx]
Ložnice	12	300	198,66
Koupelna	6,7	300	198,66
WC + sprcha	2	300	198,66
Chodba	3,6	300	198,66
Zádveří	3,6	300	198,66
Kuchyň	16,1	450	302,72

Požadovaná minimální intenzita osvětlení pro kuchyně, koupelny, WC a další obytné prostory je 100 až 150 lx, což všechny světlovody splňují s rezervou i v zimním období, pro které platí hodnoty uvedené v tabulce.

Plnospektrální zdroje světla

Pro umělé osvětlení jsem zvolila plnospektrální zdroje světla Nasli, jejichž světelné spektrum se nejvíce blíží přirozenému osvětlení. Tyto zdroje světla jsou dostupné ve formě žárovek nebo kompaktních a trubcových úsporných zářivek. Jejich vlastnosti a výhody jsou popsány v kapitole 3.3.3.

Plnospektrální zdroje světla jsou doplněny prvky pro řízení intenzity osvětlení, které umožňují pružně reagovat na nedostatek denního světla a dosahovat tak úspory energie spotřebované na osvětlení a současně zajišťovat zrakovou pohodu v každou denní dobu, což má pozitivní vliv na zdraví uživatelů objektu.

6.4 Návrh zásobení elektrickou energií

Zásobení objektu elektrickou energií je realizováno kombinovaně pomocí fotovoltaických panelů a přípojky k veřejné rozvodné síti.

6.4.1 Návrh zásobení elektrickou energií s využitím fotovoltaických panelů

Fotovoltaické panely

Fotovoltaický kolektor je zařízení sloužící k přeměně slunečního záření na elektrickou energii, naruší od kolektoru fototermického, který využívá slunečního záření k výrobě tepla. Fotovoltaické panely se skládají z fotovoltaických článků a podle technologie jejich výroby se dělí na monokrystalické, polykrystalické a tenkovrstevné (amorfní). Výkon fotovoltaických panelů se udává ve Wp (Watt peak), což je jednotka špičkového výkonu dodávaného panelem za ideálních podmínek, např. za bezoblačného letního dne. Nominální výkon fotovoltaických panelů se pohybuje od 10 do 300 Wp , přičemž platí, že výkon panelu je přímo úměrný jeho velikosti. 1 kWp nainstalovaného výkonu, který odpovídá přibližně 8 m^2 panelů, vyrobí za rok průměrně 900 kWh elektrické energie. Přesná hodnota závisí na počtu slunečních dnů v daném roce a na klimatických podmínkách v dané lokalitě, přičemž statisticky nejvíce slunečních dnů je na našem území na Jižní Moravě a v Jižních Čechách. Životnost fotovoltaických panelů je přibližně 25 let, přičemž obvykle platí, že po 12 letech provozu klesá jejich účinnost na 90 % a po 25 letech na 80 %. Spíše než fyzickou životností je tedy doba používání fotovoltaických panelů limitována výhodností jejich použití při dané účinnosti.

Možnosti využití fotovoltaických panelů

Fotovoltaické panely se využívají buď v tzv. ostrovních systémech (grid-off), tedy v místech bez elektrické přípojky, nebo v místech, kde je k dispozici elektrická přípojka (grid-on). Ostrovní systémy slouží k výrobě elektřiny, která se uchovává v akumulátorech pro pozdější spotřebování. Systémy v místech s elektrickou přípojkou nabízí dvě možnosti využití vyrobené elektrické energie:

- spotřeba energie v místě výroby a prodej přebytků do sítě
- prodej veškeré vyrobené energie do sítě a zásobení objektu energií ze sítě běžným způsobem

Výkupní cena pro energii vyrobenou fotovoltaickými systémy je stanovena Energetickým regulačním úřadem. V případě prodeje veškeré energie do sítě je tato cena $13,46\text{Kč/kWh}$ bez DPH, v případě spotřeby části energie přímo v místě výroby je za každou spotřebovanou kWh placen tzv. zelený bonus ve výši $12,65\text{Kč/kWh}$ bez DPH. Výkupní cena i zelený bonus jsou garantovány na 20 let od uvedení systému do provozu a v jejich výši je každoročně zohledňována průmyslová inflace.

Návrh zásobení elektrickou energií s využitím fotovoltaických panelů

Pro výrobu elektrické energie jsem zvolila fotovoltaické panely Solartec SG-230-6Z, doplněné síťovým měničem napětí Fronius IG 20, akumulátorem Banner 975 51 a solární řídicí jednotkou CX 10 s komunikačním rozhraním. Počet fotovoltaických panelů je limitován volným místem na nadokenní římsě. Celková délka římsy je $14,4\text{ m}$, přičemž $4,4\text{ m}$ již zabírají instalované fototermické kolektory Viessmann. Na zbývajících 10 m římsy lze tedy instalovat 9 fotovoltaických panelů o šířce 1041 mm . Základní parametry navrženého fotovoltaického systému jsou uvedeny v tabulce 19.

Tabulka 19: Základní parametry navrženého fotovoltaického systému

Parametr	Hodnota
Počet panelů	9
Celková plocha panelů	$15,75\text{ m}^2$
Celkový výkon panelů	$2173,5\text{ Wp}$
Celkové roční množství vyrobené energie	$1965,15\text{ kWh}$

Z obou variant využití vyrobené elektrické energie se jako výhodnější jeví první možnost, jednak z důvodu obdržení zeleného bonusu a také proto, že u této možnosti výrazně klesá zranitelnost objektu případnými výpadky dodávky elektrické energie, zejména v případě použití akumulátoru. Energie dodávaná fotovoltaickými panely je nejprve využívána k nabíjení akumulátoru a teprve po jeho nabití je dodávána do sítě. Akumulátor slouží jako zdroj elektrické energie pro předmětný objekt, teprve po jeho vybití se použije energie z veřejné rozvodné sítě.

7 NÁVRH SYSTÉMU MONITOROVÁNÍ A ŘÍZENÍ DOMU CHRÁNĚNÉHO ZEMÍ

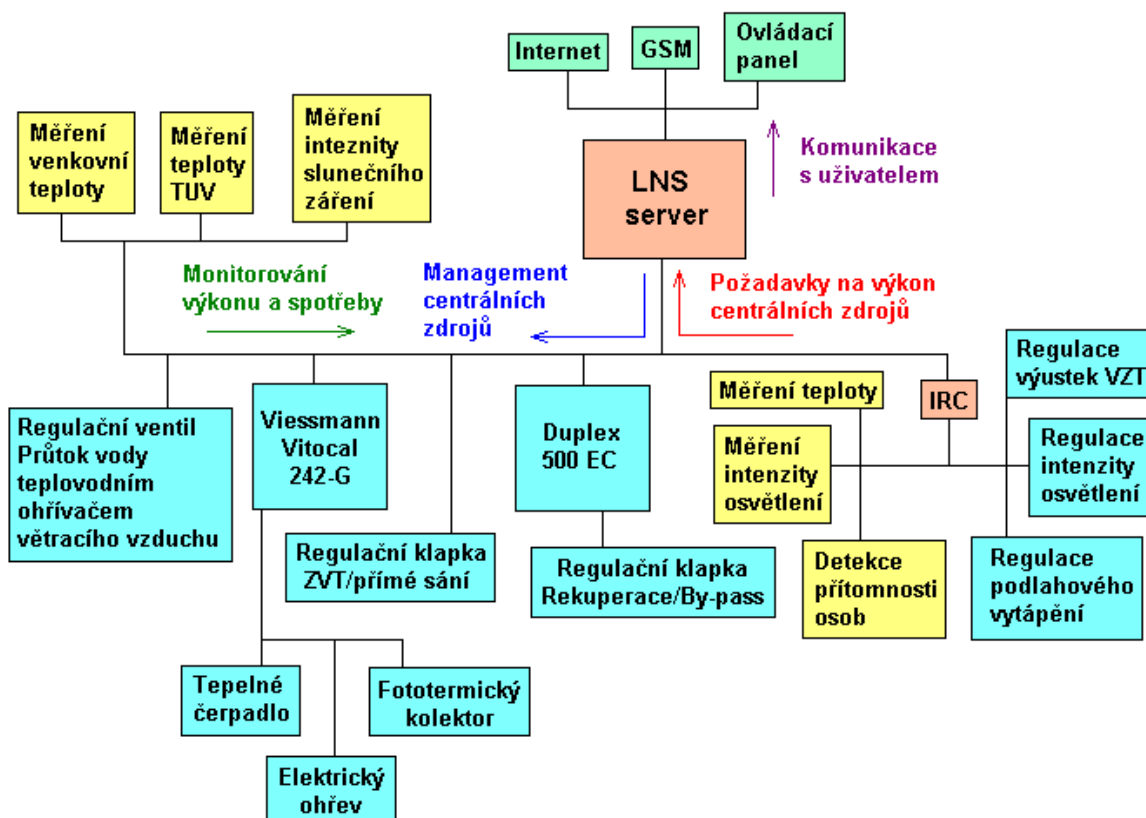
Cílem návrhu systému monitorování a řízení domu chráněného zemí je vytvoření inteligentního řízení systémů vnitřního prostředí, zajišťujícího splnění následujících požadavků:

- zajištění vysoké kvality vnitřního prostředí kompenzací nedostatků specifických pro domy chráněné zemí
- inteligentní řízení kvality vnitřního prostředí s minimálními požadavky na obsluhu ze strany uživatelů
- maximální efektivita využití všech zdrojů energie dosažená prostřednictvím vhodného managementu těchto zdrojů
- integrace jednotlivých systémů a zařízení od různých výrobců umožňující jejich jednotné řízení a komunikaci s uživatelem prostřednictvím jedné komunikační brány
- možnost dálkového ovládání systémů vnitřního prostředí prostřednictvím internetu a mobilní sítě GSM
- monitorování chování systému a jednotlivých subsystémů a archivace naměřených dat, umožňující jejich využití při případné budoucí optimalizaci řízení

7.1 Obecný návrh monitorování a řízení systémů vnitřního prostředí

Pro řízení systémů vnitřního prostředí předmětného objektu jsem zvolila decentralizovaný řídicí systém založený na inteligentní sběrnici LonWorks. Součástí systému jsou čidla, akční členy, řídicí jednotky IRC a LNS server. Řízení parametrů vnitřního prostředí v jednotlivých místnostech je realizováno prostřednictvím řídicích jednotek IRC, které na základě požadavků uživatelů a informací z čidel umístěných v dané místnosti ovládají akční členy ovlivňující příslušné parametry v místnosti a LNS serveru odesílají pouze požadavky na změnu výkonu centrálních zdrojů, jako je např. zdroj tepla nebo vzduchotechnická jednotka. LNS server zajišťuje management centrálních zdrojů, vyhodnocuje aktuální vhodnost použití těchto zdrojů a monitoruje spotřebu energie, tepla, vody a větracího vzduchu v objektu. Kromě toho provádí měření veličin, jako je teplota

venkovního vzduchu nebo přilehlé zeminy, a naměřené hodnoty využívá při managementu centrálních zdrojů. Také zajišťuje lokální i vzdálenou komunikaci s uživatelem prostřednictvím ovládacího panelu, internetu nebo sítě GSM. Schéma systému monitorování a řízení je znázorněno na obrázku 18.



Obrázek 18: Schéma systému monitorování a řízení

Žlutou barvou jsou znázorněna čidla, modrou akční členy, oranžovou řídicí jednotky a zelenou prostředky komunikace s uživatelem.

7.1.1 Funkce systému řízení zajišťované řídicími jednotkami IRC

Řídicí jednotky IRC (Individual Room Control) zajišťují individuální řízení parametrů vnitřního prostředí v jednotlivých místnostech a zprostředkování operací řízených LNS severem. Hlavní funkce IRC jednotek jsou následující:

- lokální měření teploty a intenzity osvětlení
- lokální řízení teploty a intenzity osvětlení
- lokální komunikace s uživatelem (nastavení teploty a režimu osvětlení v místnosti)

- pokles teploty a vypínání osvětlení v celém objektu na základě instrukcí LNS serveru

Řízení teploty v jednotlivých místnostech

Teplota v místnostech je řízena na základě hodnot naměřených snímači teploty a uživatelských požadavků. Způsob řízení teploty závisí na aktuálně používaném způsobu vytápění. Při teplovzdušném přitápění je teplota řízena nastavením přívodních výustek v místnosti, při podlahovém vytápění nastavením řídicích ventilů pro příslušný okruh. Při každé změně požadavků na výkon centrálních zdrojů (výroba tepla, průtok topné vody, průtok větracího vzduchu) odesílá řídicí jednotka informaci o této změně LNS serveru, který řídí výkon centrálních zdrojů.

Řízení intenzity osvětlení

Intenzita osvětlení je řízena na základě uživatelských požadavků, doporučených hodnot intenzity osvětlení a hodnot naměřených kombinovanými snímači pro měření intenzity osvětlení a detekci přítomnosti osob. Pokud bude detekována přítomnost osob v místnosti a současně poklesne intenzita osvětlení v místnosti pod doporučenou hodnotu, bude aktivován akční člen pro řízení intenzity osvětlení, který zajistí přisvětlování tak, aby bylo dosaženo doporučené hodnoty intenzity osvětlení. Pokud vnější snímač intenzity osvětlení detekuje pokles intenzity osvětlení na noční hodnotu, bude intenzita umělého osvětlení zvýšena na 100 % výkonu daného svítidla. Pokud v místnosti nebude detekována přítomnost osob, osvětlení bude po určité době, závisující na uživatelských požadavcích, vypnuto.

Kromě toho je možné nastavit světelné režimy pro různé činnosti, umožňující například volbu režimu pro čtení, sledování televize nebo omezení intenzity osvětlení v nočních hodinách (aby nedocházelo k oslnění, pokud se uživatel například v noci probudí a půjde se napít).

Jednotky IRC jsou v návrhu umístěny v ložnici, pokoji, koupelně, WC se sprchou a v obývacím pokoji. Všechny jednotky IRC jsou doplněny ovládacím panelem s displejem pro zobrazení teploty a osmi tlačítky, která umožňují nastavení teploty a režimu osvětlení v místnosti. Jednotka v obývacím pokoji slouží současně i pro kuchyň a je doplněna ovládacím panelem s osmnácti tlačítky. U místností, které nejsou vybaveny IRC jednotkou,

je sledování teploty, přítomnosti osob a intenzity osvětlení a ovládání světla zajišťováno IRC jednotkou umístěnou v jedné ze sousedních místností.

7.1.2 Funkce systému řízení zajišťované LNS serverem

Funkce zajišťované LNS serverem je možné rozdělit do několika skupin:

- zasílání požadavků IRC jednotkám a přijímání a vyhodnocování jejich požadavků
- management centrálních zdrojů na základě aktuální vhodnosti jejich využití a požadavků IRC jednotek
- monitorování požadavků na centrální zdroje, jejich výkonu, hodnot naměřených venkovními snímači (teplota vzduchu, teplota půdy, intenzita slunečního záření)
- přímé řízení spouštění a vytahování předokenních rolet
- komunikace s uživateli prostřednictvím ovládacího panelu, internetu a sítě GSM

Komunikace LNS serveru s IRC jednotkami

Komunikace LNS serveru s IRC jednotkami zahrnuje požadavky na výkon centrálních zdrojů (výroba tepla, průtok větracího vzduchu a topné vody), odesílané IRC jednotkami na základě lokálních požadavků, a odesílání instrukcí IRC jednotkám v případě operací, které se týkají celého domu. K těmto operacím patří:

- vypnutí osvětlení, pokles teploty a spuštění předokenních rolet v době nepřítomnosti uživatelů
- pokles teploty v době, kdy je přerušeno vytápění

Management centrálních zdrojů

Management centrálních zdrojů je prováděn na základě aktuální vhodnosti využití jednotlivých zdrojů a požadavků IRC jednotek na jejich výkon. Patří sem:

- řízení výroby tepla na základě požadavků IRC jednotek - zapínání a vypínání dalších zdrojů podle aktuální spotřeby tepla, a to v pořadí daném aktuální vhodností využití jednotlivých zdrojů
- řízení výkonu čerpadel podlahového topení, ventilátorů vzduchotechniky a čerpadla teplovodního ohřívače větracího vzduchu na základě požadavků IRC jednotek

- vyhodnocování vhodnosti využití jednotlivých zdrojů tepla na základě jejich aktuální efektivity (měření teploty vstupní a výstupní vody, topný faktor tepelného čerpadla) a dalších faktorů (omezení provozu zemního výměníku tepla pro přehřev větracího vzduchu a tepelného čerpadla v době, kdy hrozí riziko tepelného vyčerpání zeminy)
- sledování podmínek, za jakých jednotlivé zdroje tepla pracovaly efektivně (aktuální teplota média ve fototermickém kolektoru a v tepelném čerpadle, teplota půdy, intenzita slunečního záření), a na základě jejich podobnosti s aktuálními podmínkami vyhodnocování vhodnosti využití jednotlivých zdrojů v době, kdy nejsou využívány a proto nemůže být vyhodnocena jejich aktuální efektivita na základě jejich výkonu
- řízení teploty větracího vzduchu v letním období pomocí řízení množství vzduchu procházejícího rekuperačním výměníkem a by-passem

Monitorování významných parametrů

Monitorování významných parametrů a archivace a vyhodnocování získaných dat přispívá k důkladnému zmapování chování systému a souvislostí jeho chování s klimatickými jevy. To umožňuje nejen lepší určení efektivity a vhodnosti využití jednotlivých zdrojů, ale také predikci chování systému na základě zjištěných souvislostí, vzhledem k tomu, že se jedná o těžkou stavbu, což je systém s velkou tepelnou setrvačností.

Přímé řízení předokenních rolet

Vzhledem k tomu, že jeden akční člen LON SMI umožňuje řízení až 12 pohonů předokenních žaluzií, což je dostačující pro celý objekt, jsou tyto pohony řízeny centrálně, což umožňuje úsporu nákladů na nákup akčních členů. Akční člen LON SMI zajišťuje ovládání žaluzií na základě instrukcí od LNS serveru. Ovládání předokenních rolet spočívá v jejich nočním spouštění v zimním období za účelem snížení tepelné ztráty, případně i v letním období za účelem zvýšení soukromí

7.1.3 Komunikace systému řízení s uživatelem

Komunikace systémů řízení s uživatelem může probíhat na lokální nebo centrální úrovni. Komunikace na lokální úrovni probíhá prostřednictvím tlačítkových spínačů připojených k jednotkám IRC a umožňuje uživateli nastavení teploty v dané místnosti nebo režimu

osvětlení. Ke komunikaci na lokální úrovni patří také ovládání nárazového větrání, jehož vypínače jsou umístěny v místnostech vybavených odtahy vzduchotechniky (kuchyň, koupelna, WC se sprchou). Nárazové větrání je kromě toho spouštěno také automaticky snímači kvality vzduchu při zjištění jejího poklesu a snímači vlhkosti při překročení nastavené hranice.

Komunikace na centrální úrovni probíhá prostřednictvím ovládacího panelu, umístěného v obývacím pokoji, nebo vzdáleně prostřednictvím internetu a sítě GSM. Komunikace na centrální úrovni uživateli umožňuje:

- přehled nad aktuálními i minulými hodnotami parametrů vnitřního i vnějšího prostředí (venkovní teplota, vnitřní teplota, teplota TUV v zásobníku), spotřebou energie a výkonem jednotlivých zařízení
- nastavení světelných režimů, doby nočního poklesu teploty, nočního spouštění předokenních rolet apod.
- nastavení poklesu teploty, vypnutí osvětlení a spuštění předokenních rolet při odchodu z domu
- vzdálené ovládání systémů vnitřního prostředí umožňující např. zapnutí topení při dřívějším návratu domů

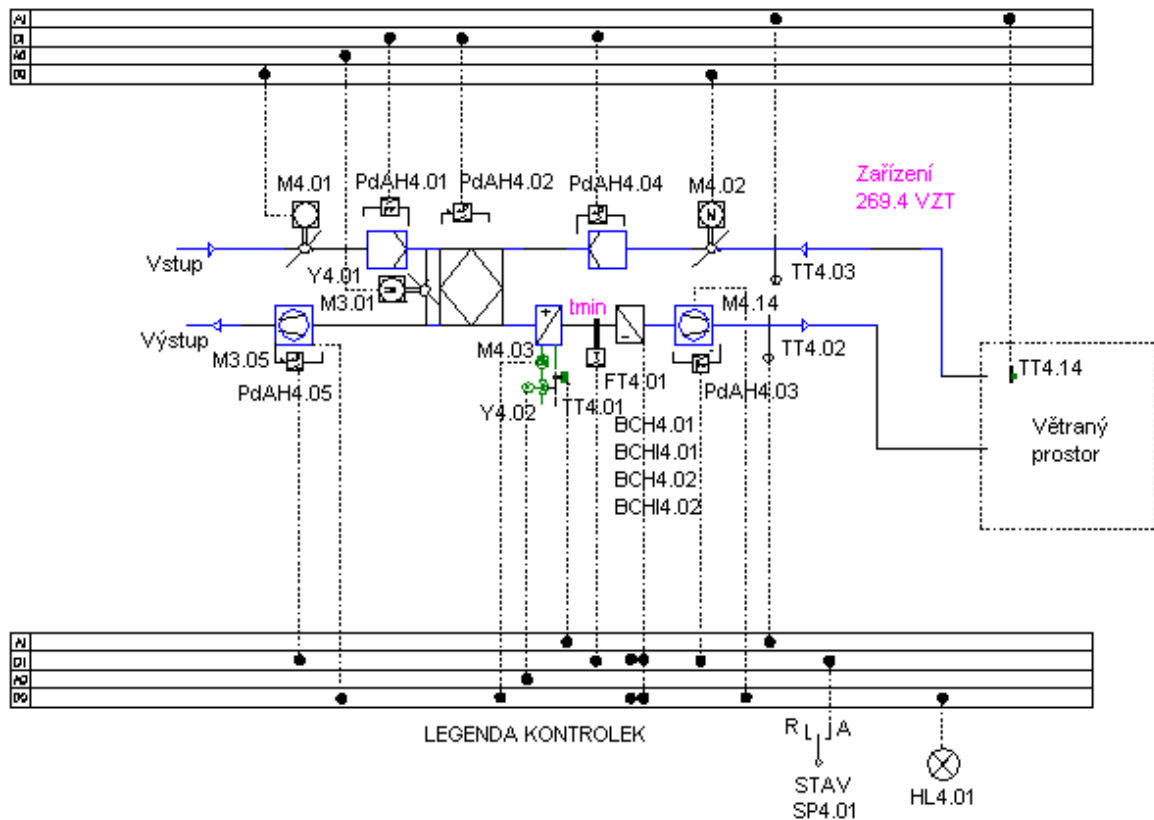
7.2 Integrace systémů vnitřního prostředí s využitím inteligentní sběrnice LonWorks

K integrovanému řízení systémů vnitřního prostředí je využita inteligentní sběrnice LonWorks, jejíž základní vlastnosti jsou popsány v kapitole 1.1.2. K hlavním výhodám sběrnice LonWorks patří:

- finanční úspora, primární (investice do instalace) i sekundární (úspora energie, času, práce atd.)
- snadná modifikovatelnost systému podle požadavků uživatelů
- otevřenost systému, umožňující pozdější doplnění o další subsystemy s minimálními náklady
- vysoká výkonnost systému díky distribuované inteligenci (inteligentní uzly)

Jako komunikační médium systému LonWorks je v návrhu použita kroucená dvojlinka, k jejíž výhodám patří vyšší přenosová rychlost, mechanická odolnost a odolnost vůči elektromagnetickému rušení.

Ukázka schématu řízení vzduchotechniky s využitím sběrnice LonWorks je znázorněna na obrázku 19.



Obrázek 19: Ukázka schématu řízení vzduchotechniky s využitím sběrnice LonWorks

7.2.1 Komponenty systému řízení a jejich funkce

Na sběrnici LonWorks je připojen LNS server, vzduchotechnická jednotka Duplex 500 EC, energetická věž Viessmann Vitocal 242-G a další zařízení, k nimž patří řídicí jednotky, snímače a akční členy. Přehled těchto zařízení a jejich funkcí je uveden v tabulce 20.

LNS server je na sběrnici připojen prostřednictvím sériového komunikačního rozhraní, jednotky Duplex a Vitocal prostřednictvím vestavěných řídicích jednotek a komunikačního modulu LON. Ostatní zařízení jsou připojena přímo.

Tabulka 20: Přehled komponentů systému řízení a jejich funkcí

Zařízení	Zařazení	Funkce	Umístění
P10LON	snímač	měření teploty v místnostech	v jednotlivých místnostech
ILA-22	snímač	měření intenzity osvětlení a detekce přítomnosti osob v místnostech	v jednotlivých místnostech
MWG-AT	snímač	měření teploty venkovního vzduchu	ve venkovním prostředí
P18LON	snímač	měření teploty okolní zeminy	ve venkovním prostředí
MWG-H	snímač	měření intenzity slunečního záření	ve venkovním prostředí
P12LON	snímač	měření teploty přívodního vzduchu	v přívodním potrubí před rozvětvením k výustkám
P13	snímač	měření teploty vstupní vody u tepelného čerpadla	výstupní potrubí do TČ z energetické věže Vitocal
P13	snímač	měření teploty výstupní vody u tepelného čerpadla	vstupní potrubí z TČ do energetické věže Vitocal
P12	snímač	měření teploty výstupního vzduchu u zemního výměníku tepla	na výstupu ze zemního výměníku tepla
P13	snímač	měření teploty vstupního média u fototermického kolektoru	výstupní potrubí do fototermického kolektoru z energetické věže Vitocal
P13	snímač	měření teploty výstupního média u fototermického kolektoru	vstupní potrubí z fototermického kolektoru do energetické věže Vitocal
VIS7814617	snímač	měření teploty média ve fototermickém kolektoru	fototermický kolektor
SQA	snímač a akční člen	měření kvality vzduchu a spínání nárazového větrání	kuchyň, WC se sprchou
HYG 2	snímač a	měření vzdušné vlhkost a spínání	koupelna, WC se sprchou

	akční člen	nárazového větrání	
LON SMI	akční člen	ovládání žaluzií	okna jednotlivých místností
Merlin Gerin TV	akční člen	ovládání intenzity osvětlení	jednotlivé místnosti
TAC Forta	akční člen	řízení průtoku vody u podlahového vytápění	jednotlivé okruhy podlahového vytápění
VK 225X75	akční člen	řízení průtoku větracího vzduchu přívodní výstykou	přívodní výstky v jednotlivých místnostech
IJK 200/40-20	akční člen	řízení nasávání venkovního vzduchu přes ZVT a přímo	vzduchotechnické potrubí (klapka A)
IJK 200/40-20	akční člen	řízení průtoku vzduchu teplovodním výměníkem	vzduchotechnické potrubí (klapka B)
TAC Forta	akční člen	řízení průtoku vody teplovodním výměníkem	místo připojení teplovodního výměníku k topnému okruhu
CP 01	regulátor	řízení VZT jednotky Duplex	VZT jednotka Duplex
SVEA IRC	regulátor	řízení teploty a osvětlení v jednotlivých místnostech, ovládání předokenních rolet	jednotlivé místnosti
RCP-81	ovládací prvek	nastavení teploty a režimu osvětlení v jednotlivých místnostech	koupelna, WC se sprchou, ložnice, pokoj
RCP-81	ovládací prvek	nastavení teploty a režimu osvětlení v obývacím pokoji a kuchyni	obývací pokoj
ProLite T1530SR	ovládací prvek	centrální nastavení parametrů a celkový přehled nad systémem	obývací pokoj
Unica Plus	ovládací prvek	manuální zapínání nárazového větrání	kuchyň, WC se sprchou, koupelna

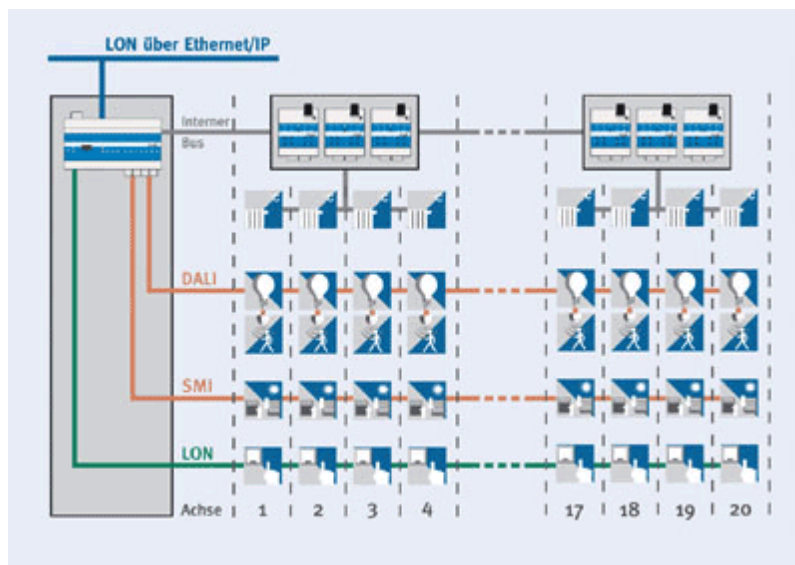
LNS server

LNS server je modul, který je zpravidla připojený k operátorskému počítači, který umožňuje jeho programování, zobrazování monitorovaných dat, nastavování parametrů apod. K funkcím LNS serveru patří pravidelné odečty hodnot z jednotlivých čidel, obsluha požadavků IRC jednotek, vyhodnocování výhodnosti využití centrálních zdrojů a provádění naplánovaných úloh. Současně umožňuje komunikaci s uživatelem a přístup k aktuálním i archivovaným datům. Důležitou roli hraje také jeho zabezpečení před nepovolaným přístupem vzhledem k tomu, že je stále připojen k internetu a je důležitým komponentem domovního systému.

Řídicí jednotky SVEA IRC

Řídicí jednotka SVEA IRC (Individual Room Controller) od společnosti Schneider Electric je úsporný a flexibilní automatizační systém pro řízení osvětlení, zastíňovacích doplňků a pokojové teploty. Systém se skládá ze základní řídicí jednotky IRC a vhodných rozšiřujících modulů. Provoz IRC systému vyžaduje napájecí zdroje a terminátor. Napájení je zajišťováno přes interní IRC sběrnici. Pro každý rozváděč musí být jedna napájecí jednotka IRC.

Regulační jednotka IRC umožňuje připojení externích zařízení přes speciální sběrníkové systémy pro řízení osvětlení (DALI) a zastíňovacích doplňků (SMI). Výměna dat se zařízeními pro řízení místnosti probíhá přes standardní LON TP/FT rozhraní. Všechna další obvyklá čidla a spotřebiče jsou připojena rozšiřujícími IRC moduly. Základní blokové schéma zapojení řídicích jednotek SVEA IRC je znázorněno na obrázku 20.



Obrázek 20: Základní blokové schéma zapojení řídicích jednotek IRC (Zdroj: Schneider Electric [20])

V základní verzi nabízí řídicí jednotka SVEA IRC následující rozhraní:

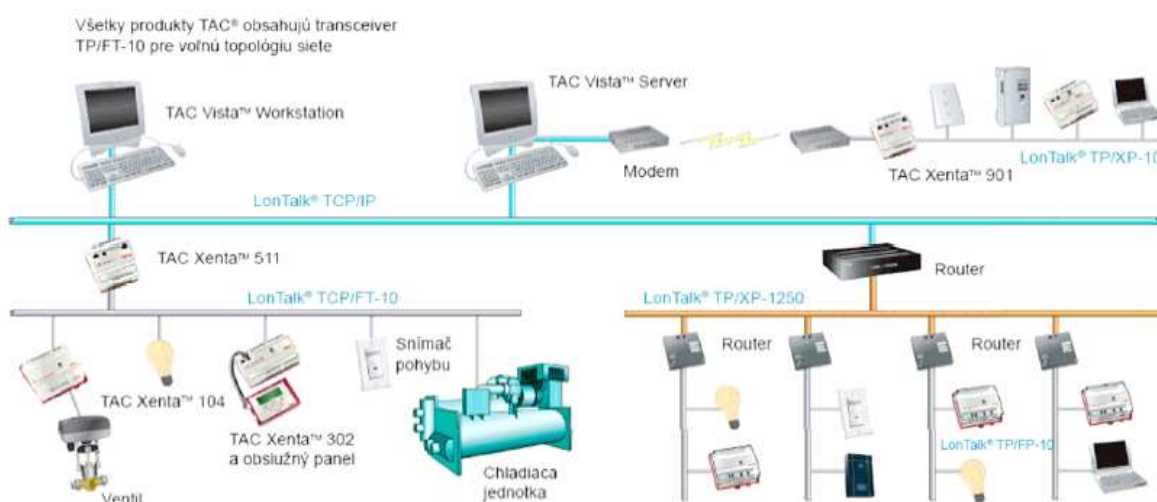
- Ethernetové rozhraní (LON přes IP) pro propojení několika řídicích jednotek IRC a pro připojení nadřazených systémů, například systémů řízení budovy
- standardní TP/FT-LON rozhraní pro připojení LON řídicích zařízení
- až 4 DALI rozhraní, každé pro řízení 64 DALI zařízení
- eventuálně až 4 SMI rozhraní (rozhraní SMI se připravuje)
- interní sběrnici pro připojení rozšiřujících IRC modulů a napájecího zdroje
- EIA-232 rozhraní pro konfiguraci zařízení

Umístění jednotlivých komponentů systému řízení a slaboproudých rozvodů v objektu je zakresleno v příloze P VI

7.3 Monitorování a řízení pomocí SCADA systému TAC Vista

K monitorování a řízení systémů vnitřního prostředí v předmětném objektu je využit SCADA systém TAC Vista, vyvinutý společností Schneider Electric. Tento systém jsem zvolila především proto, že pracuje s komponenty kompatibilními se sběrníkovým systémem LonWorks, což zaručuje vzájemnou kompatibilitu obou systémů a jejich bezproblémovou spolupráci. Systém TAC Vista představuje podle společnosti Schneider

Electric [20] softwarové řešení, které efektivně řídí, kontroluje a analyzuje denní provoz a ekonomický chod budovy. TAC Vista je k dispozici v celé řadě konfigurací navržených tak, aby maximalizovaly výkonnost a hospodárnost. Systém je také modulární, takže jej lze v případě potřeby snadno rozšířit. Systém TAC Vista je vhodný nejen pro systémy měření a regulace (MaR), ale také pro řízení dalších systémů v budově. Vedle komplexního lokálního řízení systémů v budovách umožňuje také jejich operátorské řízení přes webové rozhraní. Architektura systému TAC Vista je znázorněna na obrázku 21.



Obrázek 21: Architektura systému TAC Vista

Hlavní výhody systému TAC Vista:

- využívá nejmodernější IT technologie
- objektový přístup k aplikacím z pohledu vývoje i uživatele
- jednoduché vytvoření rozhraní operátora pro webový prohlížeč
- otevřená databáze pro alternativní zpracování dat – MS SQL server
- jednotné rozhraní pro vývoj s provázáním všech potřebných aplikací a utilit

7.3.1 Moduly systému TAC Vista a jejich funkce

Systém TAC Vista 5 je dostupný v pěti verzích: Standalone, Standard, Manager, Professional a Enterprise. Každá z těchto verzí obsahuje různý počet modulů umožňujících provádění různých operací. Těmito moduly jsou:

- **TAC Vista 5 Webstation** - programový modul umožňující přístup k systémům TAC Vista 5 přes intranet/internet. Používá se ke každodenním operacím a prezentaci dat. Spolupracuje s Microsoft IIS, který musí běžet na stejném počítači jako Vista server.
- **TAC Vista 5 Screenmate** - úlohou tohoto programového modulu je nahradit funkce, které je možné najít u sofistikovaných prostorových termostatů. ScreenMate umožňuje uživatelům místností prohlížet si přímo na jejich osobním počítači nastavení dané místnosti a další údaje z řídicího systému, např. venkovní teplotu, a provádět v nich změny, jako např. nastavení požadované teploty místnosti. ScreenMate je založený na standardních webových technologiích a přístup k němu je možný z libovolného PC pomocí internetového prohlížeče.
- **TAC Vista 5 Report Generator** - modul řídicí centrály TAC Vista určený k tvorbě diagramů, prezentací a tiskových zpráv. Spolupracuje s Microsoft Excel a využívá všechny jeho výpočetní možnosti, funkce, různé typy diagramů a tiskových zpráv.
- **TAC Vista 5 Graphic Editor TGML** - modul řídicí centrály TAC Vista určený k tvorbě a úpravě grafiky reprezentující strukturu řízeného objektu a zařízení, která se v něm nacházejí. Obsahuje všechny potřebné funkce k vytváření grafiky, symbolů, textů, grafické prezentace měřených hodnot, alarmů apod.
- **TAC Vista 5 Database Generator** - databázový generátor, který nabízí efektivní metodu programování všech provozních dat systému. Je výhodný při vícenásobném využívání dat nebo použití dat z jiných projektů (re-use). Pomocí databázového generátoru je možné zkopírovat parametry ze vzdáleného zařízení, RPU nebo zónové podstanice a potom tato data použít v jiné RPU nebo zónové podstanici.
- **TAC Vista 5 Signature** - nástroj k zaznamenávání, rozpočtování a analýze spotřeby energií. Je to samostatná aplikace spolupracující s Microsoft Excel.
- **TAC Vista 5 INET Security** - TAC I/NET Host Tool pro funkce Security
- **TAC Vista 5 OPC Server**
- **TAC Vista 5 OPC Client** - serverový modul umožňující komunikaci TAC Vista s programy od jiných výrobců pomocí protokolu OPC

- **TAC Vista 5 Menta** - programový modul určený k programování a testování podstanic TAC Xenta 200/300/400.
- **TAC Xbuilder** - objektově orientovaný nástroj pro programování podstanic TAC Xenta 511, 527 a 555, který řeší proces programování ze systémového hlediska. Všechna generovaná data jsou ukládána do projektového kontejneru.
- **TAC ZBuilder** - programovací nástroj pro podstanice TAC Xenta 121, určený pro programování aplikací typu fancoil a aplikací s tepelnými čerpadly.

V návrhu je použita verze TAC Vista Manager, která představuje softwarový balík obsahující server a pracovní stanici (workstation) se síťovou komunikací a modulem Report Generator, doplněná o moduly Graphics Editor, Webstation, Screenmate a Signature.

7.4 Vzdálená komunikace s uživatelem prostřednictvím internetu a mobilní sítě GSM

Vzdálená komunikace mezi uživatelem a předmětným objektem probíhá prostřednictvím internetu a mobilní sítě GSM. Tato komunikace poskytuje uživateli přehled nad základními parametry vnitřního prostředí předmětného objektu a umožňuje mu nastavení jejich hodnot. Zároveň při dodatečném vybavení objektu požárním a zabezpečovacím systémem umožňuje v případě mimořádné události (požár, vniknutí cizí osoby) informovat jak uživatele, tak policii, hasičskou záchrannou službu a bezpečnostní agenturu.

7.4.1 Komunikace prostřednictvím internetu

Ke komunikaci prostřednictvím internetu jsem zvolila zařízení Level GB 202 010. Jedná se o. Výhodou tohoto řešení je integrace obou způsobů komunikace v jednom zařízení a tím dosažená úspora nákladů. Další výhodou je nezávislost na zavedení telefonní přípojky, což může rovněž vést k úspoře nákladů v případě, že tato přípojka není v objektu zavedena a bylo by nutné její dodatečné zřízení.

GSM brána Level GB 202 010 s integrovaným GPRS modemem

GSM brána Level GB 202 010 poskytuje internetové připojení, umožňuje odesílání SMS a slouží jako obousměrný převodník volání mezi mobilním telefonem a pevnou linkou, který

umožňuje automatickou volbu levnějšího tarifu. GSM Brána Level dále slouží pro dálkové ovládání spotřebičů a pro nadstandardní zabezpečení objektů i bez přivedené telefonní linky. Pokud je počítač připojený ke GB 202 zapojen i v síti LAN, nabízí GB 202 velmi snadné odesílání a příjem SMS zpráv všem počítačům zapojeným v síti. GPRS modem, který GB 202 obsahuje, navíc umožňuje hlavní nebo záložní datovou cestu pro připojení domácí sítě k internetu.

K hlavním funkcím GSM brány Level GB 202 010 patří:

- Zajištění hovorů v nejvyšší kvalitě bez echa a rušení
- Duální 900 MHz/1800 MHz
- Tarifkace hovorů 12/16 kHz
- Datové spojení s PC po RS 232
- Integrovaný GPRS modem class 10
- Obousměrný přenos SMS zpráv do LAN
- 8 výstupních signálů pro dálkové ovládání spotřebičů
- Přenos poplašných zpráv pro nadstandardní zabezpečení objektů
- Automatický výběr ze dvou vložených SIM karet podle voleného čísla

Základní technické parametry GSM brány Level GB 202 010 jsou uvedeny v tabulce 21.

Tabulka 21: Základní technické parametry GSM brány Level GB 202 010

Pro síť	900 / 1800 MHz
GSM rozhraní	modul WAVECOM
GPRS	Class 10
Výstupy ovládané SMS	až 8
Vstupy pro alarm SMS	až 8
Napájení	12 V / 600 mA DC
Volba čísla	Pulzní i tónová
Rychlost RS 232	115 kbd
Napětí výstupní tel. linky	24 V
Rozměry	230 x 160 x 50 mm

Vzdálenou komunikaci se SCADA systémem TAC Vista pomocí protokolu TCP/IP zajišťuje programový modul TAC Vista Webstation.

7.4.2 Komunikace prostřednictvím sítě GSM

Ke komunikaci prostřednictvím sítě GSM je rovněž využita GSM brána Level GB 202 010, konkrétně její funkce pro obousměrný přenos SMS zpráv do LAN. Součástí příslušenství dodávaného s GSM bránou je software pro WINDOWS SMS SERVER. Pokud je počítač připojený ke GB 202 zapojen i v síti LAN, nabízí tento program velmi snadné odesílání a příjem SMS zpráv všem počítačům zapojeným v síti. Příchozí SMS zprávy umožňují také dálkové nastavení všech parametrů GSM brány na dálku a zároveň je s nimi možno na dálku měnit stavy až osmi standardních výstupních signálů pro přímé ovládání spotřebičů mobilním telefonem nebo e-mailem.

Příklad nastavení parametrů vnitřního prostředí pomocí SMS

Ovládání základních parametrů vnitřního prostředí prostřednictvím GSM brány probíhá prostřednictvím SMS, která může být například v takovémto tvaru:

Teplota 22 1700

Zpráva slouží k nastavení teploty na 22 °C, přičemž této hodnoty by mělo být dosaženo v čase 17:00. Systém může odpovědět několika způsoby:

Potvrzeno: Teplota 22 1700

nebo

Zmena: Teplota 22 1730

nebo

Chyba

přičemž první způsob bude použit, pokud systém přijal zprávu v pořádku a požadovanou operaci lze provést v požadovaném čase. Druhý způsob bude použit v případě, že systém přijal zprávu v pořádku, ale daný požadavek nelze splnit v požadovaném čase. Pak bude místo zadaného času uveden čas, v němž bude požadavek splněn. Třetí způsob bude použit, pokud byla zpráva doručena poškozená, neúplná, pokud byla chybně zadána nebo pokud byla zpráva sice přijata v pořádku, ale požadavek z nějakého důvodu, např. technické závady, nelze splnit vůbec. V tomto případě by zpráva systému měla obsahovat také specifikaci chyby (chybný tvar zprávy, technická závada apod.).

Funkce GSM brány pro přenos poplašných zpráv

Další funkcí GSM brány je přenos poplašných zpráv pro nadstandardní zabezpečení objektů. Level GB 202 slouží jako vysoce bezpečný komunikátor pro přenos poplašných zpráv ze zabezpečovacích ústředen. Aktivací jednoho ze vstupů 1 až 8 je odeslána na zadaná dvě čísla mobilního telefonu SMS zpráva 1 až 8 s připraveným textem a zároveň je na zadané číslo veden automaticky hovor s poplašným signálem. Tato funkce umožňuje pozdější integraci požárního a zabezpečovacího systému a jejich napojení na pult centralizované ochrany, policii a hasičskou záchrannou službu.

8 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ NAVRŽENÝCH SYSTÉMŮ

Technicko-ekonomické hodnocení navržených systémů spočívá v porovnání nákladů vynaložených na vybudování a provoz jednotlivých systémů a jejich přínosů. U systémů vnitřního prostředí jsou známy jak jejich pořizovací a provozní náklady, tak i přibližná úspora nákladů dosažená jejich využitím, což umožňuje vyčíslit jejich ekonomickou přínosnost a stanovit dobu návratnosti vložených investic. U systémů monitorování a řízení vnitřního prostředí jsou také známy počáteční investiční náklady, jejich provozní náklady a úsporu nákladů dosaženou jejich využitím však nelze předem určit a hodnotu některých jejich dalších přínosů lze vyčíslit jen velmi obtížně nebo vůbec. Proto jsou oba systémy hodnoceny odděleně.

8.1 Hodnocení systémů vnitřního prostředí

Navržené systémy vnitřního prostředí jsou hodnoceny z ekonomického hlediska podle počátečních investičních nákladů, provozních nákladů a úspory dosažené jejich využitím. Na základě těchto hodnot jsou určeny základní ekonomické parametry, z nichž nejvýznamnější je doba návratnosti investovaných nákladů.

Kromě toho jsou systémy vnitřního prostředí hodnoceny také obecně z hlediska jejich celkových přínosů

8.1.1 Ekonomické hodnocení navržených systémů vnitřního prostředí

Náklady na navržené systémy vnitřního prostředí

Zařízení použítá v systémech vnitřního prostředí, jejich počty a ceny jsou uvedeny v tabulce 22.

Tabulka 22: Zařízení použítá v systémech vnitřního prostředí, jejich počty a ceny

Zařízení	Výrobce	Popis	Cena za kus [Kč]	Počet kusů
Duplex 500 EC	Atrea	vzduchotechnická jednotka	50 800	1
TPO 200 EC	Atrea	teplovodní ohříváč vzduchu	8 100	1

CP 01	Atrea	řídící jednotka VZT jednotky Duplex	6 700	1
šachta ZVT	BMTO Group	vstupní šachta ZVT	15 000	1
KGEM	dp danex-plast	plastové potrubí ZVT	820 / 5 m	55 m
BEST CT	BEST	potrubí vzduchotechniky	297 / 5,5 m	52 m
IWG200/40-20	VSM Teplice	protidešťová žaluzie	882	2
VK 225X125	VSM Teplice	podlahové výustky	478	8
KO 150	VSM Teplice	talířové ventily	218	3
G 45 I	VSM Teplice	digestoř	3 353	1
Vitocal 242-G	Viessmann	energetická věž s TČ	184 310	1
Vitosol 100	Viessmann	fototermický kolektor	14 499	2
Cu 15x0,7	Axo	kolektor tepelného čerpadla	84 / m	180 m
Top Heating	Eurosystemy	potrubí podlahového vytápění	250/ m ²	32 m ²
TB 20 P 05	Ivar CS	systémová deska	241 / 0,72 m ²	32 m ²
Profi Reflex 3000	Eurosystemy	reflexní fólie	175 / m ²	32 m ²
501 NS	Ivar CS	rozdělovač a sběrač podlahového vytápění	2973	1
SG-230-6Z	Solartec	fotovoltaické panely	19 952	9
Fronius IG 20	Solartec	síťový měnič napětí	29 746,22	1
Banner 975 51	Solartec	akumulátor	5 037,50	1
CX 10	Solartec	řídící jednotka fotovoltaického panelu	896	1
CX USB	Solartec	komunikační rozhraní řídící jednotky CX 10	896	1

Základní ekonomické parametry systémů vnitřního prostředí jsou uvedeny v tabulce 23.

Tabulka 23: Základní ekonomické parametry systémů vnitřního prostředí

Celkové náklady na nákup systémových komponentů	573 879 Kč
Roční výnos systému	88 768 Kč
Čistá současná hodnota projektu	2 011 597 Kč
Roční ekvivalentní finanční toky investice	102 630 Kč
Prostá doba návratnosti	6 let
Diskontovaná doba návratnosti	7 let
Vnitřní výnosové procento investice	18 %

Ekonomické parametry uvedené v tabulce 23 byly vypočítány s využitím finančního kalkulátoru na stránkách TZB info, které je dostupný na adrese <http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=110&h=38>. Roční úspora nákladů na vytápění byla uvažována jako srovnání se systémem bez rekuperace, ZVT a obnovitelných zdrojů energie. Roční výnos z provozu fotovoltaického systému byl počítán pro sazbu 13,46 Kč/kWh.

8.1.2 Obecné hodnocení přínosů navržených systémů vnitřního prostředí

K přínosům využití navržených systémů vnitřního prostředí patří:

- úspora nákladů na provoz objektu díky využití energie z obnovitelných zdrojů
- snížení negativního dopadu provozu objektu na životní prostředí díky snížení spotřeby primární energie
- snížení zranitelnosti objektu výpadky dodávek elektrické energie díky využití fotovoltaického kolektoru

8.2 Hodnocení systému monitorování a řízení

Navržený systém monitorování a řízení vnitřního prostředí nelze hodnotit z ekonomického hlediska, jednak proto, že údaje o výši úspor dosažených využitím tohoto systému je možné získat až při jeho praktickém využití a také proto, že přínosy tohoto systému nejsou

pouze ekonomické, ale také např. zdravotní apod. Proto je systém monitorování a řízení hodnocen z hlediska jeho přínosů a vynaložených nákladů.

8.2.1 Náklady na navržený systém monitorování a řízení

Zařízení použitá v systému monitorování a řízení, jejich počty a ceny jsou uvedeny v tabulce 24.

Tabulka 24: Zařízení použitá v systému monitorování a řízení, jejich počty a ceny

Zařízení	Výrobce	Popis	Počet kusů	Cena za kus
P10LON	Regmet	snímač teploty vnitřního vzduchu	9	2650
ILA-22	Schneider Electric	snímač intenzity osvětlení a detektor přítomnosti osob	10	4879
MWG-AT	Schneider Electric	snímač teploty venkovního vzduchu	1	503
P18LON	Regmet	snímač teploty půdy	1	2850
MWG-H	Schneider Electric	snímač intenzity slunečního záření	1	4599
P12LON	Regmet	snímač teploty do VZT	2	2800
P13LON	Regmet	snímač teploty do potrubí	4	3000
VIS7814617	Viessmann	snímač teploty fototermického kolektoru	1	1527,6
VIES	Viessmann	komunikační modul pro LonWorks	1	3910
SQA-SA1	VSM Teplice	snímač kvality vzduchu a spínač nárazového větrání	2	4840
HYG 2-SA2	VSM Teplice	snímač vzdušné vlhkosti a spínač nárazového větrání	2	1933
LON SMI	Schneider Electric	akční člen pro ovládání žaluzií	4	4879

Merlin Gerin TV	Schneider Electric	stmívač	10	782
VK 225X75	VSM Teplice	regulovatelná výustka VZT	8	445
IJK 200/40-20	VSM Teplice	regulační klapka VZT	2	1772
TAC Forta	Schneider Electric	pohon regulačního ventilu	2	5 439
SVEA IRC	Schneider Electric	jednotka pro individuální řízení jednotlivých místností	5	6042
RCP-81	Schneider Electric	ovládací panel s displejem a osmi tlačítky	4	4750
RCP-241	Schneider Electric	ovládací panel s displejem a osmnácti tlačítky	1	5320
ProLite T1530SR	iiyama	dotykový LCD monitor	1	9652,24
Unica Plus	Schneider Electric	vypínač nárazového větrání	3	65
DELL Vostro420	Dell	operátorský počítač	1	21 586
Level GB 202 010	Level	GSM brána s GPRS modemem	1	11 048,84
UTP kat.5e pro RJ45	Datacom	kroucená dvojlinka	305 m	1406/ 305 m

Celkové investiční náklady systému monitorování a řízení jsou 260 912 Kč.

8.2.2 Přínosy navrženého systému monitorování a řízení

K přínosům využití navrženého systému monitorování a řízení vnitřního prostředí patří:

- zvýšení komfortu bydlení
- úspora energií dosažená pomocí inteligentního managementu zdrojů
- pozitivní vliv zvýšené kvality vnitřního prostředí na zdraví uživatelů
- umožnění dálkového ovládnání systému
- možnost budoucí spolupráce s dalšími systémy (EPS, EZS, pečovatelská služba)
- získání poznatků o chování systému umožňující lepší pochopení chování domů chráněných zemí a optimalizaci řízení systému v budoucnosti

ZÁVĚR

Cílem práce bylo navrhnout systémy vnitřního prostředí pro dům chráněný zemí a jejich řízení pomocí inteligentní sběrnice LonWorks. Navržený systém řízení měl umožňovat vzdálené ovládání a kontrolu systémů vnitřního prostředí prostřednictvím internetu a mobilní sítě GSM.

V první části práce jsem na základě okrajových podmínek stanovila tepelné ztráty objektu a základní požadavky na parametry vnitřního prostředí. Na základě těchto hodnot jsem stanovila požadavky na výkon systémů vnitřního prostředí, z nichž jsem pak při vlastním návrhu systémů vycházela.

Při návrhu systémů vnitřního prostředí byl kladen důraz na zohlednění specifických vlastností domů chráněných zemí a na využití obnovitelných zdrojů energie. Pro pokrytí tepelné ztráty objektu jsem zvolila kombinaci nízkoteplotního podlahového vytápění a teplovzdušného větrání. Oba systémy využívají společný zdroj tepla, kterým je energetická věž Viessmann Vitocal 242-G. Toto zařízení umožňuje ohřev topné vody a TUV s využitím tepelného čerpadla a fototermického kolektoru. V předmětném případě bylo použito tepelné čerpadlo typu země/voda s plochým kolektorem o výkonu $6,1 \text{ kW}$ a dva fototermické kolektory Viessmann Vitosol 100 o celkové ploše $5,02 \text{ m}^2$.

Pro zajištění výměny vzduchu v objektu jsem zvolila vzduchotechnickou jednotku s rekuperací tepla Duplex 500 EC o maximálním větracím výkonu $500 \text{ m}^3/\text{h}$. Pro předehřev větracího vzduchu byl navržen zemní výměník tepla o celkové délce 50 m . Dohřev větracího vzduchu zajišťuje teplovodní výměník TPO 200 EC, který je dodáván jako volitelné příslušenství k jednotce Duplex 500 EC.

Pro přirozené osvětlení místností v severní části domu, které nemají okna, jsem zvolila světlovody SunPipe o průměrech 300 a 450 mm a délce 150 cm . Jako zdroje umělého osvětlení jsem v návrhu použila plnospektrální zářivky Nasli, které se svým složením světelného spektra nejvíce ze všech dostupných zdrojů světla blíží slunečnímu světlu.

Pro zásobení objektu elektrickou energií jsem zvolila kombinovaný způsob využívající fotovoltaický systém a veřejnou rozvodnou síť. Součástí navrženého fotovoltaického systému je 9 panelů Solartec SG-230-6Z o celkové ploše $15,75 \text{ m}^2$ a celkovém výkonu $2173,5 \text{ Wp}$ a akumulátor Banner 975 51 o kapacitě 100 Ah .

Pro řízení systémů vnitřního prostředí v předmětném objektu jsem zvolila decentralizovaný řídicí systém založený na inteligentní sběrnici LonWorks. K řízení parametrů vnitřního prostředí v jednotlivých místnostech jsou v návrhu využity řídicí jednotky SVEA IRC od společnosti Schneider Electric. Řízení výkonu vzduchotechnické jednotky, management obnovitelných zdrojů energie a operace týkající se budovy jako celku zajišťuje LNS server.

Pro vlastní řízení a monitorování systémů vnitřního prostředí jsem zvolila SCADA systém TAC Vista 5, vyvinutý společností Schneider Electric. Navržený monitorovací a řídicí systém integruje všechny systémy vnitřního prostředí do jednoho celku a umožňuje komunikaci se všemi systémy prostřednictvím jediného uživatelského rozhraní.

Komunikace systému s uživatelem může probíhat prostřednictvím tlačítkových ovládacích panelů, které umožňují nastavení základních parametrů vnitřního prostředí v rámci jednotlivých místností, nebo pomocí centrálního dotykového displeje umístěného v obývacím pokoji, který umožňuje kromě nastavení parametrů vnitřního prostředí také přehled o aktuálním stavu systému a přístup k archivovaným datům.

Vzdálené ovládání systémů vnitřního prostředí prostřednictvím internetu umožňuje programový modul Webstation, který je součástí systému TAC Vista. Pro vzdálené ovládání pomocí SMS zpráv jsem zvolila GSM bránu Level GB 202 010, jejíž součástí je také GPRS modem zajišťující připojení systému k internetu.

V závěru práce jsem provedla technicko-ekonomické hodnocení navržených systémů. Podle dosažených výsledků jsou celkové investiční náklady na systémy vnitřního prostředí 573 839 Kč, návratnost této investice je 7 let. Náklady na systém monitorování a řízení jsou 260 912 Kč, přičemž návratnost této investice nelze předem určit, protože výše úspor dosažených využitím tohoto systému není předem známa. Přínos systému monitorování a řízení však není pouze ekonomický, ale spočívá mimo jiné také ve zvýšeném komfortu bydlení, lepších možnostech přizpůsobení vnitřního prostředí potřebám uživatelů nebo v možnosti budoucí integrace dalších systémů, což jsou faktory, které lze jen těžko vyčíslit.

CONCLUSION

The aim of this work was to design indoor environment systems for an earth sheltered house and to design a control system using the LonWorks intelligent bus. The designed systems was to enable remote operating and control of indoor environment systems via internet and the GSM network.

In the first part of the work, thermal losses of the building and basic indoor environment parameters requirements were set on the basis of boundary conditions. On the basis of these values were set the demands on output parameters of indoor environment systems which became a basis for the design of the systems itself.

The design of the indoor environment systems was maintained with an emphasis on considering specific characteristics of earth sheltered houses and on the use of renewable energy resources. For the coverage of the heat loss of the building was chosen a combination of a low-temperature floor heating and warm-air ventilation. Both systems are using the same heat source, a Viessmann Vitocal 242-G energy tower. This device allows heating and drinking water warming, using a heat pump and a solar collector. In the case in question, a flat collector earth/water heat pump with an output of $6,1 \text{ kW}$ and two Viessmann Vitosol 100 solar collectors with total area of $5,02 \text{ m}^2$ were used.

For the air exchange provision in the building was chosen the Duplex 500 EC air-conditioning unit with a heat recovery function and maximum ventilation throughput of $500 \text{ m}^3/\text{h}$. For the pre-warming was designed an earth heat exchanger with a total length of 50 m . An after-heating of the ventilation air is provided by a TPO 200 EC warm-water heat exchanger, which is supplied as an optional equipment for the Duplex 500 EC unit.

For a natural lighting in the rooms situated in the northern part of the house which have no windows were chosen the SunPipe lightguides with a diameter of 300 and 450 mm and length of 150 cm . As artificial lighting sources were used a full-spectral Nasli lightbulbs whose light spectra structure is most similar to sunlight of all obtainable light sources.

For the electric power supply for the building in question was chosen a combined way using a photovoltaic system and the public supply system. To the designed photovoltaic system belong 9 Solartec SG-230-6Z panels with a total area of $15,75 \text{ m}^2$ and total output of $2173,5 \text{ Wp}$ and a Banner 975 51 storage battery with a capacity of 100 Ah .

For the indoor environment systems control in the objective building was chosen a decentralised control system based on the LonWorks intelligent bus. For the indoor environment parameters control in the individual rooms are used the Schneider Electric's SVEA IRC control units. The air-conditioning unit output control, the renewable energy resources management and the operations concerning the whole building are provided by the LNS server.

For the indoor environment systems control and monitoring itself was chosen the TAC Vista 5 SCADA system which was developed by Schneider Electric. The designed monitoring and control system integrates all indoor environment systems in one complex and enables communication with all systems through a single user interface.

The communication between the system and the user may run through button control panels which allows basic indoor environment parameters setting within individual rooms, or through a central touchscreen placed in the living room which allows next to indoor environment parameters setting also an actual system status review and access to archived data.

The indoor environment systems remote control via internet is enabled by the Webstation program module which is a part of the TAC Vista system. For a remote control via SMS was chosen the Level GB 202 010 GSM gate which contains also a GPRS modem providing a connection to the internet.

At the end of this work, an technical-economic evaluation of designed systems was carried out. According to the obtained findings, the total investment costs of the designed indoor environment systems are *573 839 Kč* and the recovery time of this investment is *7 years*. The monitoring and control system investment costs are *260 912 Kč* while the recovery time of this investment can't be estimated in advance, because the amount of the savings achieved by use of this system is in advance not known. The contribution of the monitoring and control system is not only economical, but consists also in higher living comfort, better possibilities of adjustment of the indoor environment to the needs of the users and in the possibility of future integration of another systems, which are factors which are hard to express in numbers.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] FRKAL, Luděk (2007): Domy chráněné zemí. 1. vyd. ERA, Praha. 112 s. ISBN 978-80-7366-095-6.
- [2] TYWONIAK, Jan (2005): Nízkoenergetické domy. Grada, Praha. 200 s. ISBN 80-247-1101-X.
- [3] HUDEC, Mojmír (2008): Pasivní rodinný dům. Grada, Praha. 112 s. ISBN 978-80-247-2555-0.
- [4] CENEK, Miroslav (2001): Obnovitelné zdroje energie. FCC PUBLIC, Praha. 202 s. ISBN 80-901985-8-9.
- [5] LADENER, Heinz, SPÄTE, Frank (2003): Solární zařízení. Grada Publishing, Praha. 368 s. ISBN 80-247-0362-9.
- [6] DANIELS, Klaus (2003): Technika budov. Jaga Group v.o.d., Bratislava. 530 s. ISBN 80-88905-63-X.
- [7] CENELEC - SmartHouse Code of Practice CWA 50487:2005 (2007): Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Zlín. ISBN 978-80-7318-606-7.
- [8] HUMM, O (1999): Nízkoenergetické domy. Grada Publishing, Praha. 360 s. ISBN 80-7169-657-9.
- [9] Rozdělovače pro podlahové vytápění. Ivar CS, poslední revize 13. 12. 2006 [online]. [cit. 1. února 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.condata.cz/inteligent.html>>.
- [10] TZB-info - stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online]. [cit. 1. února 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.tzb-info.cz>>.
- [11] Wikipedie, otevřená encyklopedie [online]. [cit. 4. dubna 2009]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org>>.
- [12] AT&P journal 3/2006 [online]. [cit. 12. dubna 2009]. Dostupné z WWW: <http://www.atpjournal.sk/casopisy/atp_06/pdf/online37.pdf>.
- [13] Eviwiki [online]. [cit. 18. dubna 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.enviwiki.cz>>.

- [14] Ekowatt [online]. [cit. 19. dubna 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.ekowatt.cz/>>.
- [15] Pasivní domy 2005 (2005). Centrum pasivního domu, Brno. 290 s.
- [16] ENVIC [online]. [cit. 27. dubna 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.envic-sdruzeni.cz>>.
- [17] www.svetlovody.com [online]. [cit. 22. května 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.svetlovody.com>>.
- [18] Atrea [online]. [cit. 22. května 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.atrea.cz>>.
- [19] Viessmann [online]. [cit. 22. května 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.viessmann.cz>>.
- [20] Schneider Electric [online]. [cit. 25. května 2009]. Dostupné z WWW: <<http://www.schneider-electric.cz>>.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SCADA	Supervisor, Control And Data Acquisition
GSM	Global System for Mobile communications
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
CEPHEUS	Cost Efficient Passive Houses as EUropean Standards
NED	Nízkoenergetický dům
EPD	Energeticky pasivní dům
PHPP	Passivhaus Projektierungspaket
WCED	World Commission on Environment and Development
ENVIC	Environmentální informační centrum
TUV	Teplá užitková voda
TZB	Technická zařízení budov
IRC	Individual Room Control
EIB	European Installation Bus
EIBA	European Installation Bus Assotiation
BMS	Building Management Systems
BACnet	Building Automation and Control Networks
LON	Local Operating Network
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers
HMI	Human Machine Interface
ISO/OSI	International Standardization Organization / Open Systems Interconnection
STP	Shielded Twisted Pair
UTP	Unshielded Twisted Pair
PL	Power Line
RF	Radio Frequency

IR	Infra Red
ZVT	Zemní výměník tepla
TČ	Tepelné čerpadlo
VZT	vzduchotechnika
SIM	Subscriber Information Module
GPRS	General Packet Radio System
TAC	Terminal Access Controller
TGML	TAC Graphics Markup Language,
IIS	Internet Information Server
MS	MicroSoft
SQL	Structured Query Language
IT	Informační Technologie
SMI	Standard Motor Interface
DALI	Digital Addressable Lighting Interface
TP/FT	Transport Protocol/File Transfer
EIA	Electronic Industries Association
RPU	Remote Processing Unit
INET	Integrated Network Enhanced Telemetry
OPC	OLE for Process Control
OLE	Object Linking and Embedding
LAN	Local Area Network
SMS	Short Message Systems
EPS	Elektronická požární signalizace
EZS	Elektronický zabezpečovací systém
LNS	L2TP Network Server

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Integrace systémů a funkcí v inteligentní budově (Zdroj: TZB-info [10]).....	16
Obrázek 2: Struktura modelu ISO/OSI	22
Obrázek 3: Jednotlivé kategorie budov a jejich plošná měrná potřeba tepla	25
Obrázek 4: Funkce stínících prvků v letním a zimním období	28
Obrázek 5: Nízkoenergetický dům Obrázek 6: Pasivní dům.....	33
Obrázek 7: Vliv orientace oken na jejich stínění (Zdroj: Ekowatt [14]).....	34
Obrázek 8: Termovizní snímek, který zobrazuje teplotu povrchu pasivního domu (vpravo) v porovnání s běžnou stavbou. (Zdroj: Wikipedie [11]).....	35
Obrázek 9: Schéma zapojení akumulčního zásobníku teplé užitkové vody v kombinaci s okruhem větrání s rekuperační jednotkou, zemním výměníkem a solárním kolektorem. (Zdroj: Wikipedie [11])	36
Obrázek 10: Typický dům chráněný zemí.....	42
Obrázek 11: Vertikální rozložení teplot u jednotlivých druhů vytápění	52
Obrázek 12: Pracovní cyklus tepelného čerpadla. (Zdroj: TZB-info [10])	55
Obrázek 13: Šíření světla světlovodem (Zdroj: www.svetlovody.com [17]).....	59
Obrázek 14: Půdorys předmětného objektu	64
Obrázek 15: Schéma systému vzduchotechniky	72
Obrázek 16: Schéma systému vytápění a ohřevu TUV	78
Obrázek 17: Integrace zařízení v energetické věži Vitocal 242-G (Zdroj: Viessmann [19])	80
Obrázek 18: Schéma systému monitorování a řízení	89
Obrázek 19: Ukázka schématu řízení vzduchotechniky s využitím sběrnice LonWorks	94
Obrázek 20: Základní blokové schéma zapojení řídicích jednotek IRC (Zdroj: Schneider Electric [20]).....	98
Obrázek 21: Architektura systému TAC Vista.....	99

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Spotřeba energie u jednotlivých kategorií staveb	24
Tabulka 2: Základní kritéria pro pasivní domy	31
Tabulka 3: Parametry vnitřního prostředí a jejich požadované hodnoty.....	45
Tabulka 4: Parametry vzduchotechnických systémů používaných v NED	48
Tabulka 5: Parametry vzduchotechnických systémů používaných v EPD.....	49
Tabulka 6: Výchozí parametry objektu a okrajové podmínky	65
Tabulka 7: Minimální množství větracího vzduchu v objektu.....	66
Tabulka 8: Tepelné ztráty objektu v zimním období	67
Tabulka 9: Tepelné ztráty v letním období v závislosti na vnitřní teplotě a použití rekuperace.....	67
Tabulka 10: Přehled stanovených parametrů vnitřního prostředí	69
Tabulka 11: Přehled vypočtených parametrů objektu	69
Tabulka 12: Přehled základních požadavků na systémy vnitřního prostředí	70
Tabulka 13: Výkonové parametry vzduchotechnické jednotky Duplex 500 EC	75
Tabulka 14: Výkonové parametry teplovodního ohříváče TPO 200 EC	76
Tabulka 15: Základní parametry energetické věže Vitocal 242-G BWT 106.....	81
Tabulka 16: Parametry fototerminického kolektoru Vitosol 100x.....	82
Tabulka 17: Parametry světlovodů SunPipe	84
Tabulka 18: Parametry světlovodů navržených pro osvětlení jednotlivých místností	85
Tabulka 19: Základní parametry navrženého fotovoltaického systému.....	87
Tabulka 20: Přehled komponentů systému řízení a jejich funkcí	95
Tabulka 21: Základní technické parametry GSM brány Level GB 202 010	102
Tabulka 22: Zařízení použitá v systémech vnitřního prostředí, jejich počty a ceny	105
Tabulka 23: Základní ekonomické parametry systémů vnitřního prostředí.....	107
Tabulka 24: Zařízení použitá v systému monitorování a řízení, jejich počty a ceny	108
Tabulka 26: Objem jednotlivých místností, minimální intenzita výměny vzduchu a minimální množství větracího vzduchu.....	123
Tabulka 27: Parametry předmětného objektu pro výpočet tepelné ztráty větráním.....	126

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Výpočet minimálního množství větracího vzduchu

Příloha P II: Výpočet tepelných ztrát objektu podle normy ČSN EN 12831

Příloha P III: Umístění komponentů systému vzduchotechniky a vzduchotechnických rozvodů v objektu

Příloha P IV: Umístění komponentů systému vytápění a rozvodů topné vody a TUV v objektu

Příloha P V: Umístění osvětlovacích prvků v objektu

Příloha P VI: Umístění komponentů systému řízení a slaboproudých rozvodů v objektu

PŘÍLOHA P I: VÝPOČET MINIMÁLNÍHO MNOŽSTVÍ VĚTRACÍHO VZDUCHU

Výpočet množství větracího vzduchu podle počtu osob ve větraném prostoru

Minimální množství větracího vzduchu připadající na jednu osobu je stanoveno v závislosti na činnosti, která je danou osobou ve větraném prostoru prováděna. Minimální množství větracího vzduchu na osobu V_{ps} je pro osoby provádějící lehkou práci vsedě nebo vestoje $50 \text{ m}^3/\text{h}$. Minimální množství větracího vzduchu V_{min} se určí podle vztahu:

$$V_{min} = p \cdot V_p [\text{m}^3/\text{h}],$$

kde je p počet osob obývajících daný prostor.

V předmětném případě je tedy minimální množství větracího vzduchu vypočtené podle počtu osob ve větraném prostoru

$$V_{min} = 3 \cdot 50 = 150 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Výpočet množství větracího vzduchu podle doporučené intenzity výměny vzduchu ve větraném prostoru

Minimální intenzita výměny vzduchu ve větraném prostoru závisí na typu daného prostoru. Protože předmětný objekt zahrnuje několik různých typů místností, celkové množství větracího vzduchu se určí jako součet množství větracího vzduchu potřebných pro jednotlivé místnosti. Intenzita výměny vzduchu v jednotlivých místnostech $V_{min,i}$ se určí podle vztahu:

$$V_{min,i} = n_{min} \cdot V_i [\text{m}^3/\text{h}],$$

kde je n_{min} minimální intenzita výměny venkovního vzduchu za hodinu [$1/\text{h}$]

V_i objem vytápěné místnosti (i) vypočtený z vnitřních rozměrů v metrech krychlových (m^3).

Objemy jednotlivých místností, minimální intenzita výměny vzduchu a množství větracího vzduchu jsou uvedeny v tabulce 26.

Tabulka 25: Objem jednotlivých místností, minimální intenzita výměny vzduchu a minimální množství větracího vzduchu

Místnost	Podlahová plocha [m ²]	Objem místnosti [m ³]	Intenzita výměny vzduchu [1/h]	Množství větracího vzduchu [m ³ /h]
zádveří	3,6	9,684	0,5	4,84
technická místnost	4,4	11,836	0,5	5,92
obývací pokoj	26,9	72,361	0,5	36,18
kuchyň	16,1	43,309	1,5	64,96
chodba	3,6	9,684	0,5	4,84
wc + sprcha	2	5,38	1,5	8,07
koupelna	6,7	18,023	1,5	27,03
ložnice	12	32,28	0,5	16,14
pokoj	22	59,18	0,5	29,59
celkem	97,3	261,737	-	197,58

Minimální množství větracího vzduchu pro předmětný objekt je větší z obou vypočtených hodnot, tedy $V_{min} = 197,58 [m^3/h]$.

PŘÍLOHA P II: VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT OBJEKTU PODLE NORMY ČSN EN 12831

Výpočet tepelné ztráty větráním

Tepelná ztráta větráním udává množství tepla, které uniká do vnějšího prostředí výměnou větracího vzduchu ve vnitřním prostoru a infiltrací netěsnostmi v obvodovém plášti budovy. Při výpočtu tepelné ztráty větráním bylo uvažováno použití rekuperačního zařízení o minimální účinnosti 52 %. Použití zemního výměníku tepla při výpočtu uvažováno nebylo.

Postup výpočtu tepelné ztráty větráním

Návrhová tepelná ztráta větráním, $\Phi_{V,i}$ pro vytápěný prostor (i) se stanoví ze vztahu:

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

kde je $H_{V,i}$ součinitel návrhové tepelné ztráty větráním $[W/K]$;

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

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

Součinitel návrhové tepelné ztráty větráním $H_{V,i}$ vytápěného prostoru (i) se stanoví ze vztahu

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i [W/K]$$

kde je V_i výměna vzduchu ve vytápěném prostoru (i) $[m^3/s]$.

Při nuceném větrání s použitím zařízení pro zpětné využití tepla se použije teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl teplot přiváděného vzduchu a výpočtové venkovní teploty. Rovnice pro stanovení množství přiváděného vzduchu do vytápěné místnosti (i), které se použije pro výpočet návrhového součinitele ztráty tepla větráním, je následující:

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{vi} + V_{mech,inf} [m^3/h]$$

kde je $V_{inf,i}$ množství vzduchu infiltrací ve vytápěné místnosti (i) $[m^3/h]$;

$V_{su,i}$ množství přiváděného vzduchu do vytápěné místnosti (i) $[m^3/h]$;

$V_{mech,i}$ rozdíl množství mezi nuceně odváděným a přiváděným vzduchem z vytápěné místnosti (i) $[m^3/h]$;

f_{vi} teplotní redukční činitel:

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

kde je $\theta_{su,i}$ teplota přiváděného vzduchu do vytápěného prostoru (i) (buď z ústřední teplovzdušné soustavy, ze sousedních vytápěných i nevytápěných prostorů, nebo z venkovního prostředí) [°C]. Při užití zařízení pro zpětné využití tepla se může $\theta_{su,i}$ vypočítat z účinnosti zařízení pro zpětné využití tepla. $q_{su,i}$ může být vyšší nebo nižší než je vnitřní teplota vzduchu.

V_i musí být stejné nebo vyšší než je minimální množství větracího vzduchu.

Množství vzduchu infilrací $V_{inf,i}$ vytápěného prostoru (i) způsobená větrem a účinkem vztlaku na plášť budovy, se může stanovit podle vztahu:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i [m^3/h]$$

kde je n_{50} intenzita výměny vzduchu za hodinu při rozdílu tlaků 50 Pa mezi vnitřním prostředím a vnějším prostředím budovy a zahrnující účinky přívodů vzduchu [1/h];

e_i stínící činitel;

ε_i výškový korekční činitel, který zohledňuje zvýšení rychlosti proudění vzduchu s výškou prostoru nad povrchem země.

Hodnota $V_{inf,i}$ musí být rovna nebo větší než 0. Hodnoty pro n_{50} jsou uvedeny v tabulkách. Při použití nuceného větrání se přiváděné množství vzduchu do vytápěné místnosti (i) $V_{su,i}$ stanoví při návrhu větrací soustavy na základě požadavku na minimální množství větracího vzduchu.

Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu $V_{mech.,inf}$ je vyrovnáván venkovním vzduchem přiváděným obvodovým pláštěm budovy. Není-li toto množství vzduchu stanoveno jiným způsobem, může být vypočteno pro celou budovu ze vztahu:

$$V_{mech.,inf} = \max(V_{ex} - V_{su}, 0) [m^3/h]$$

kde je V_{ex} množství odváděného vzduchu soustavou pro celou budovu [m³/h];

$V_{su,0}$ množství přiváděného vzduchu soustavou pro celou budovu [m³/h].

$V_{mech,inf}$ se nejprve stanoví pro celou budovu. Následně se rozdělí množství venkovního vzduchu do každého prostoru podle průvzdušnosti každého prostoru v poměru k průvzdušnosti celé budovy. Nejsou-li dostupné hodnoty průvzdušnosti, rozdělení venkovního množství vzduchu se může spočítat jednoduchým způsobem podílem objemů jednotlivých prostorů:

$$\dot{V}_{mech,inf,i} = \dot{V}_{mech,inf} \cdot \frac{V_i}{\Sigma V_i} \quad [m^3/h]$$

kde je V_i objem prostoru (i).

Tato rovnice se také použije pro určení množství přiváděného vzduchu do každého prostoru je-li známo pouze přiváděné množství vzduchu pro celou budovu.

Výpočet tepelné ztráty větráním

Parametry předmětného objektu potřebné pro výpočet tepelné ztráty větráním jsou uvedeny v tabulce 27.

Tabulka 26: Parametry předmětného objektu pro výpočet tepelné ztráty větráním

Parametr	Hodnota
Výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru $\theta_{int,i}$ v zimním období	21 °C
Výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru $\theta_{int,i}$ v letním období	23 °C
Výpočtová venkovní teplota θ_e	-12 °C
Průměrná roční teplota půdy θ_g	10 °C
Minimální účinnost rekuperačního výměníku η	52 %
Objem vnitřního prostoru V_i	261,74 m ³
Množství přiváděného vzduchu soustavou pro celou budovu $V_{su,0}$	198 m ³ /h
Množství odváděného vzduchu soustavou pro celou budovu V_{ex}	198 m ³ /h
Rozdíl množství nuceně odváděného a přiváděného vzduchu $V_{mech,inf}$	0 m ³ /h
Intenzita výměny vzduchu n_{50}	4/h
Stínící činitel e	0,02

Výškový korekční činitel ε	1,0
--	-----

Výpočet teploty vzduchu přiváděného do vytápěného prostoru s použitím rekuperace:

$$\theta_{su,i} = \theta_e + (\theta_{int,i} - \theta_e) \cdot \eta \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Zimní období:

$$\theta_{su,i} = -12 + (21 - (-12)) \cdot 0,52 = 5,16 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Letní období:

$$\theta_{su,i} = 30 + (23 - 30) \cdot 0,52 = 26,36 \text{ [}^\circ\text{C]}$$

Výpočet teplotního redukčního činitele:

$$f_{v,i} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{su,i}}{\theta_{int,i} - \theta_e}$$

Zimní období:

$$f_{v,i} = (21 - 5,16)/(21 - (-12)) = 0,48$$

Letní období:

$$f_{v,i} = (23 - 26,36)/(23 - 30) = 0,48$$

Výpočet množství vzduchu infilrací:

$$V_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$V_{inf,i} = 2 \cdot 261,74 \cdot 0,02 \cdot 1,0 = 10,47 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Výpočet výměny vzduchu ve vytápěném prostoru:

$$V_i = V_{inf,i} + V_{su,i} \cdot f_{vi} + V_{mech.,inf} \text{ [m}^3\text{/h]}$$

$$V_i = 10,47 + 198 \cdot 0,48 + 0 = 105,51$$

Výpočet součinitele návrhové tepelné ztráty větráním:

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot V_i \text{ [W/K]}$$

$$H_{V,i} = 0,34 \cdot 105,51 = 35,87 \text{ [W/K]}$$

Výpočet tepelné ztráty větráním:

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

Zimní období:

$$\Phi_{V,i} = 35,87 \cdot (21 - (-12)) = 1183,71 [W]$$

Letní období (s použitím rekuperace):

$$\Phi_{V,i} = 35,87 \cdot (23 - 30) = -251,09 [W]$$

Letní období (bez použití rekuperace):

$$\Phi_{V,i} = 10,47 + 198 \cdot 0,34 \cdot (23 - 30) = -460,77$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem

Tepelná ztráta prostupem udává množství tepla, které uniká do vnějšího prostředí prostupem obvodovými konstrukcemi budovy.

Postup výpočtu celkové tepelné ztráty prostupem

Návrhová tepelná ztráta prostupem tepla $F_{T,i}$ se pro vytápěný prostor (i) vypočítá:

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

kde je $H_{T,ie}$ součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) pláštěm budovy [W/K];

$H_{T,iue}$ součinitel tepelné ztráty prostupem z vytápěného prostoru (i) do venkovního prostředí (e) nevytápěným prostorem (u) [W/K];

$H_{T,ig}$ součinitel tepelné ztráty prostupem do zeminy z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) v ustáleném stavu [W/K];

$H_{T,ij}$ součinitel tepelné ztráty z vytápěného prostoru (i) do sousedního prostoru (j) vytápěného na výrazně jinou teplotu, např. sousedící místnost uvnitř funkční části budovy nebo vytápěný prostor sousední funkční části budovy [W/K];

θ_{int} výpočtová vnitřní teplota vytápěného prostoru (i) [°C];

θ_e výpočtová venkovní teplota [°C].

Postup výpočtu tepelné ztráty prostupem do vnějšího prostředí

Součinitel tepelné ztráty z vytápěného (i) do vnějšího (e) prostředí, $H_{T,ie}$ zahrnuje všechny stavební části a lineární tepelné mosty, které oddělují vytápěný prostor od venkovního prostředí, jako jsou stěny, podlaha, strop, dveře, okna. $H_{T,ie}$ se stanoví ze vztahu

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi_i \cdot l_i \cdot e_i \quad [W/K]$$

kde je A_k plocha stavební části (k) v metrech čtverečních [m^2];

e_k korekční činitel vystavení povětrnostním vlivům při uvažování klimatických vlivů jako je různé oslunění, pohlcování vlhkosti stavebními díly, rychlost větru a teplota, pokud tyto vlivy nebyly uvažovány při stanovení U hodnot (EN ISO 6946). Základní hodnota pro korekční činitele, e_k a e_i je 1,0;

U_k součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$W/m^2.K$]

l_i délka lineárních tepelných mostů (l) mezi vnitřním a venkovním prostředím v metrech [m];

ψ_i součinitel lineárního prostupu tepla lineárního tepelného mostu (l) [$W/m.K$].
 ψ_i se stanoví jedním ze dvou dále uvedených postupů:

– pro hrubé stanovení se užijí tabelární hodnoty uvedené v EN ISO 14683;

– nebo se vypočtou podle EN ISO 10211-2.

Tabelární hodnoty, ψ_i v EN ISO 14683 jsou stanoveny pro výpočtový postup uvažující celou budovu.

Pro výpočet lineárních tepelných ztrát se může použít uvedená zjednodušená metoda:

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

Kde je U_{kc} korigovaný součinitel prostupu tepla stavební části (k), který zahrnuje lineární tepelné mosty [$W/m^2.K$];

U_k součinitel prostupu tepla stavební části (k) [$W/m^2.K$];

ΔU_{tb} korekční činitel [$W/m^2.K$], závisející na druhu stavební části.

Postup výpočtu tepelné ztráty prostupem do nevytápěných prostor

Je-li mezi vytápěným prostorem a venkovním prostředím (e) nevytápěný prostor (u), návrhový součinitel tepelné ztráty prostupem tepla $H_{T,iue}$ z vytápěného prostoru do venkovního prostředí se stanoví ze vztahu

Základní hodnoty pro korekční činitel ΔU_{tb} jsou uvedeny v tabulkách.

$$H_{T,iue} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi_i \cdot l_i \cdot b_u \text{ [W/K]}$$

kde je b_u teplotní redukční činitel zahrnující teplotní rozdíl mezi teplotou nevytápěného prostoru a venkovní návrhové teploty.

Teplotní redukční činitel b_u se může stanovit jedním z následujících tří postupů:

- a) je-li teplota nevytápěného prostoru θ_u stanovená nebo navržená podle návrhových podmínek, je b_u :

$$b_u = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_u}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e}$$

- b) je-li θ_u neznáma, vypočte se b_u :

$$b_u = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}}$$

H_{ue} je součinitel tepelné ztráty z nevytápěného prostoru (u) do venkovního prostředí (e) [W/K], přičemž se zohledňují:

- tepelné ztráty prostupem (do venkovního prostředí a do přilehlé zeminy);
- tepelné ztráty větráním (mezi nevytápěným a venkovním prostředím).

- c) Redukční činitel b_u se stanoví se základními hodnotami podle tabulky.

Postup výpočtu tepelné ztráty prostupem do zeminy

Hodnota tepelné ztráty prostupem do zeminy v ustáleném stavu $H_{T,ig}$ z vytápěného prostoru (i) do zeminy (g) se stanoví ze vztahu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k} \right) \cdot G_w \text{ [W/K]}$$

kde je f_{g1} korekční činitel zohledňující vliv ročních změn venkovní teploty. Použije se hodnota $f_{g1} = 1,45$;

f_{g2} teplotní redukční činitel zohledňující rozdíl mezi roční průměrnou venkovní teplotou a výpočtovou venkovní teplotou, který se stanoví ze vztahu

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{m,e}}{\theta_{int,i} - \theta_e};$$

A_k plocha stavebních částí (k), které se dotýkají zeminy [m^2];

$U_{equiv,k}$ ekvivalentní součinitel prostupu tepla stavební částí (k) ve wattech na čtvereční metr a stupeň kelvina [$W/m^2 \cdot K$], stanovený podle typologie podlahy;

G_w korekční činitel zohledňující vliv spodní vody. Tento vliv se musí uvažovat, je-li vzdálenost mezi předpokládanou vodní hladinou spodní vody a úrovní podlahy podzemního podlaží (podlahové desky) menší než 1 m. Tento činitel se může vypočítat podle EN ISO 13370. jinak se použijí hodnoty:

$G_w = 1,00$, je-li vzdálenost mezi předpokládanou hladinou spodní vody a úrovní základů větší než 1 m;

$G_w = 1,15$, je-li vzdálenost mezi předpokládanou hladinou spodní vody a úrovní základů menší než 1 m.

Hodnota $U_{equiv,k}$ se určí podle typologie podlahy podle EN ISO 13370 v závislosti na U hodnotě stavebních částí a charakteristického parametru B' . Předpokládaná hodnota tepelné vodivosti zeminy je přitom $\lambda_g = 2,0 W/m \cdot K$. Zanedbávají se účinky rohové tepelné izolace.

Charakteristický parametr B' se stanoví podle vztahu:

$$B' = \frac{A_g}{0,5 \cdot P} \quad [m]$$

kde je A_G plocha uvažované podlahové konstrukce [m^2]. Pro budovu se A_G stanoví jako celková plocha podlahové konstrukce. Pro výpočet části budovy, např. funkční části budovy v řadových domech je A_G je plocha podlahové konstrukce uvažované části;

P obvod uvažované podlahové konstrukce $[m]$. Hodnota P pro budovu je celkový obvod budovy. Hodnota P pro výpočet části budovy, např. funkční části budovy v řadových domech, je délka obvodových stěn oddělujících vytápěný prostor uvažované části budovy od venkovního prostředí.

V EN ISO 13370 je parametr B' vypočítán pro celou budovu. Při výpočtu jednotlivých místností metodou místnost po místnosti B' se vypočte pro každou místnost jedním z uvedených tří způsobů:

- pro všechny místnosti bez venkovních stěn oddělujících vytápěný prostor od venkovního prostředí se užije B' vypočtené pro celou budovu;
- pro všechny místnosti s dobře izolovanou podlahou ($U_{podlahy} < 0,5 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) se užije B' vypočtené pro celou budovu;
- pro všechny ostatní místnosti se vypočítá samostatně B' metodou místnost po místnosti (tradiční výpočet).

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla podzemním podlažím je uveden v tabulkách. Je funkcí součinitele prostupu tepla podlahy a charakteristického parametru B' .

Výpočtový princip ekvivalentního součinitele prostupu tepla pro vytápěné podzemní podlaží ležící částečně nebo zcela pod úrovní zeminy je podobný výpočtu podlahové desky na zemině, ale zahrnuje dva druhy stavebních částí. Např. $U_{equiv,bf}$ pro podlahové části a $U_{equiv,bw}$ pro stěnové části.

Ekvivalentní součinitel prostupu tepla pro podlahové části je funkcí součinitele prostupu tepla podlahy a charakteristického parametru B' . Ekvivalentní součinitel prostupu tepla pro stěnové části je funkcí součinitele prostupu tepla stěny a hloubky pod úrovní zeminy.

Pro vytápěné podzemní podlaží částečně pod úrovní zeminy se stanoví přímé tepelné ztráty do venkovního prostředí z částí podzemního podlaží nad úrovní zeminy. Neuvažují se vlivy zeminy a uvažují se pouze ty části budovy, které leží nad úrovní zeminy.

Výpočet tepelné ztráty prostupem

Výpočet tepelné ztráty prostupem do vnějšího prostředí

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi_i \cdot l_i \cdot e_i \quad [W/K]$$

Protože hodnoty parametrů tepelných mostů nejsou známy, byl vzorec pro výpočet tepelných ztrát prostupem zjednodušen:

$$H_{T,ie} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k \text{ [W/K]}$$

$$H_{T,ie} = (29,01 \cdot 0,25 \cdot 1) + (11,14 \cdot 1,2 \cdot 1) + (1,71 \cdot 2 \cdot 1) = 24,04 \text{ [W/K]}$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem do nevytápěných prostor

$$H_{T,iue} = (\sum A_k \cdot U_k \cdot e_k + \sum \psi_i \cdot l_i) \cdot b_u \text{ [W/K]}$$

Protože hodnoty parametrů tepelných mostů nejsou známy, byl vzorec pro výpočet tepelných ztrát prostupem zjednodušen:

$$H_{T,iue} = \sum A_k \cdot U_k \cdot e_k \cdot b_u \text{ [W/K]}$$

Zimní období:

$$b_u = (21-5)/(21-(-12)) = 0,4848$$

$$H_{T,iue} = 12,74 \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 0,4848 = 2,35 \text{ [W/K]}$$

Letní období:

$$b_u = (23-26)/(23-30) = 0,4286$$

$$H_{T,iue} = 12,74 \cdot 0,38 \cdot 1 \cdot 0,4286 = -2,07 \text{ [W/K]}$$

Výpočet tepelné ztráty prostupem do přilehlé zeminy

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot \left(\sum_k A_k \cdot U_{\text{equiv},k} \right) \cdot G_w \text{ [W/K]}$$

$$f_{g2} = \frac{\theta_{\text{int},i} - \theta_{\text{m},e}}{\theta_{\text{int},i} - \theta_e};$$

Zimní období:

$$f_{g2} = (21 - 5,85)/(21 - (-12)) = 0,459$$

$$H_{T,ig} = 1,45 \cdot 0,459 \cdot ((101,3 \cdot 0,115) + (101,3 \cdot 0,14) + (50,44 \cdot 0,18)) \cdot 1 = 23,23 \text{ [W/K]}$$

Letní období:

$$f_{g2} = (23 - 13,44)/(23 - 30) = -1,3657$$

$$H_{T,ig} = 1,45 \cdot (-1,3657) \cdot ((101,3 \cdot 0,115) + (101,3 \cdot 0,14) + (50,44 \cdot 0,18)) \cdot 1 = -69,13 \text{ [W/K]}$$

Výpočet celkové tepelné ztráty prostupem:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij}) \cdot (\Theta_{int,i} - \Theta_e) [W]$$

Zimní období:

$$\Phi_{T,i} = (24,04 + 2,35 + 23,23 + 0) \cdot (21 - (-12)) = 1637,46 [W]$$

Letní období:

$$\Phi_{T,i} = (24,04 + 2,07 - 69,13 + 0) \cdot (23 - 30) = 301,14 [W]$$

Výpočet celkové tepelné ztráty

Celková návrhová tepelná ztráta vytápěného prostoru (i), Φ_i , se vypočítá z rovnice:

$$\Phi_i = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} [W]$$

kde je $\Phi_{T,i}$ návrhová tepelná ztráta prostupem tepla vytápěného prostoru (i) [W];

$\Phi_{V,i}$ návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru (i) [W].

Výpočet celkové tepelné ztráty v zimním období:

$$\Phi_i = 1637,46 + 1183,71 = 2821,17 [W]$$

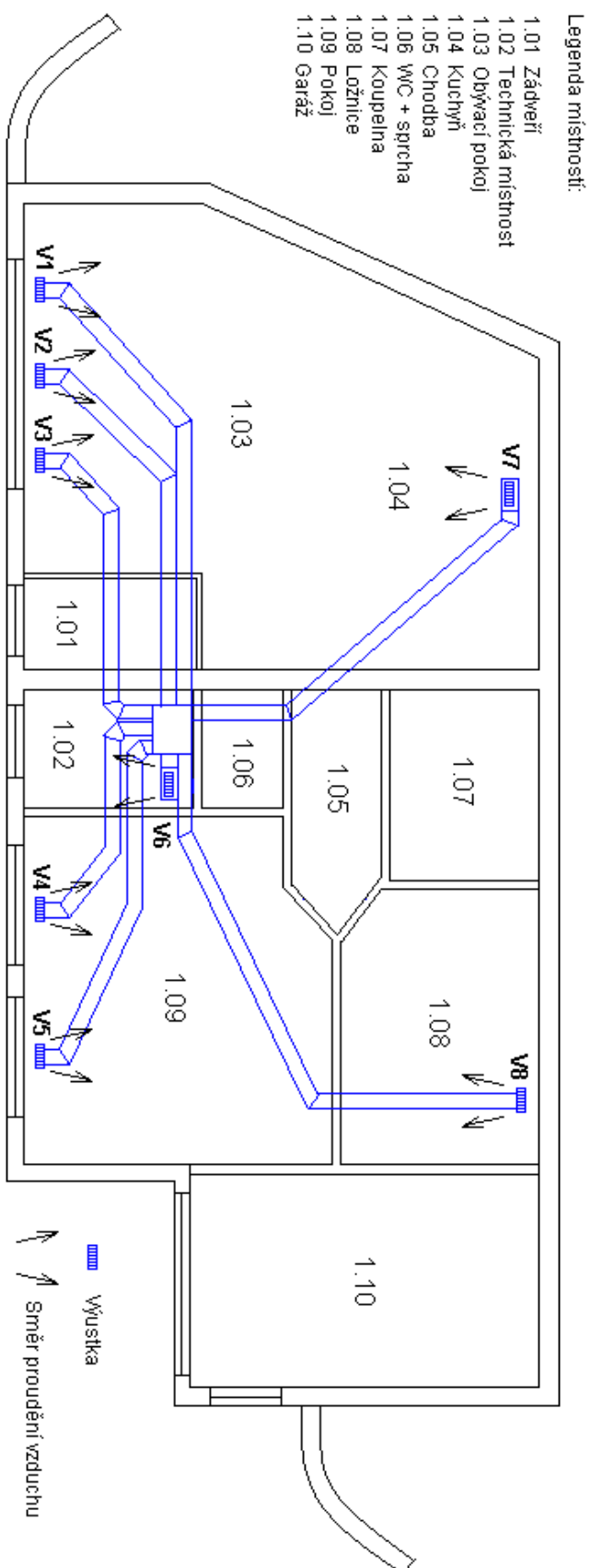
Výpočet celkové tepelné ztráty v letním období s použitím rekuperace:

$$\Phi_i = 301,14 - 251,09 = 50,05 [W]$$

Výpočet celkové tepelné ztráty v letním období bez použití rekuperace:

$$\Phi_i = 301,14 - 460,77 = -159,63 [W]$$

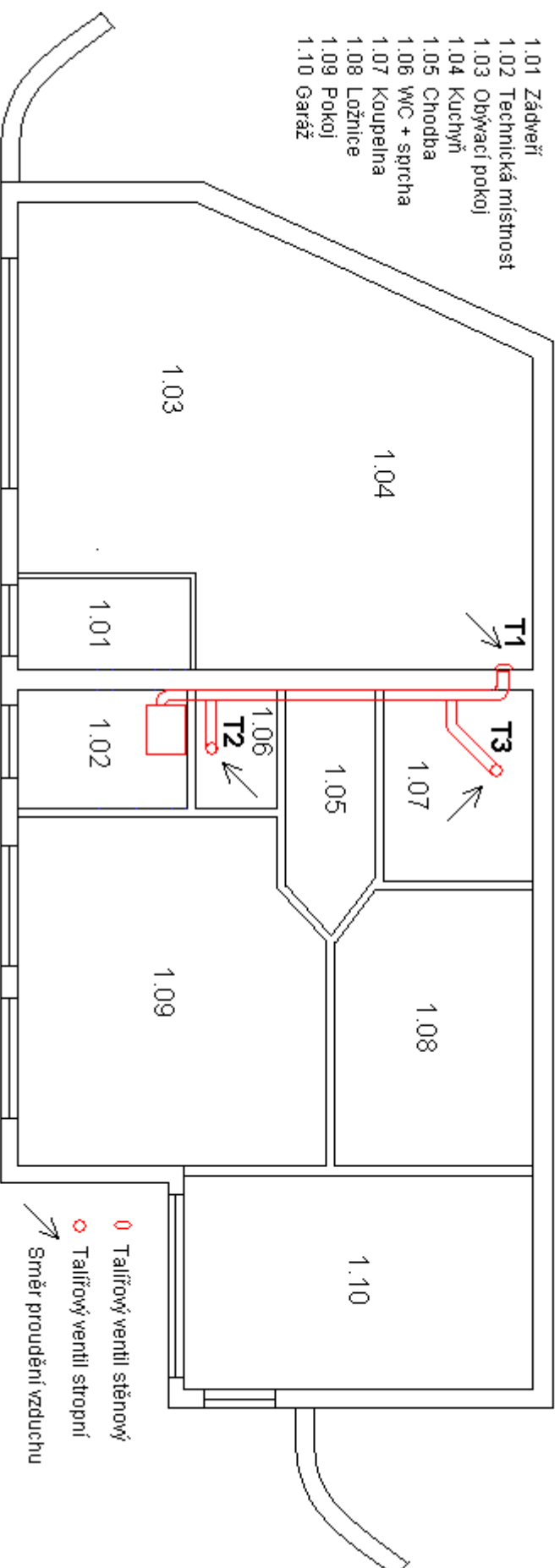
PŘÍLOHA P III: UMÍSTĚNÍ KOMPONENTŮ SYSTÉMU VZT A VZDUCHOTECHNICKÝCH ROZVODŮ V OBJEKTU



Umístění potrubí pro odtah odpadního vzduchu a odtahových ventilů v objektu

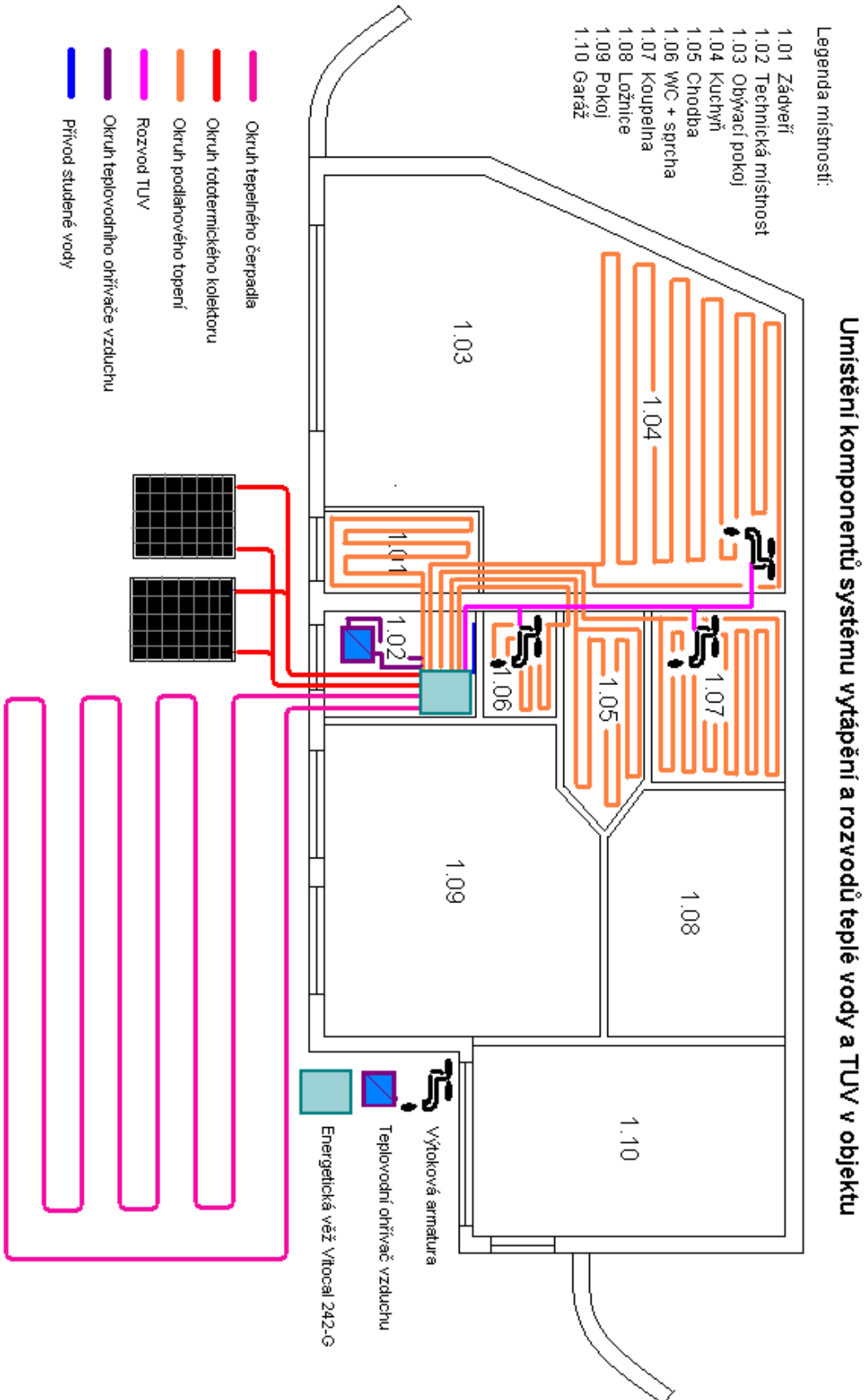
Legenda místnosti:

- 1.01 Zádveř
- 1.02 Technická místnost
- 1.03 Obývací pokoj
- 1.04 Kuchyň
- 1.05 Chodba
- 1.06 WC + sprcha
- 1.07 Koupelna
- 1.08 Ložnice
- 1.09 Pokoj
- 1.10 Garáž

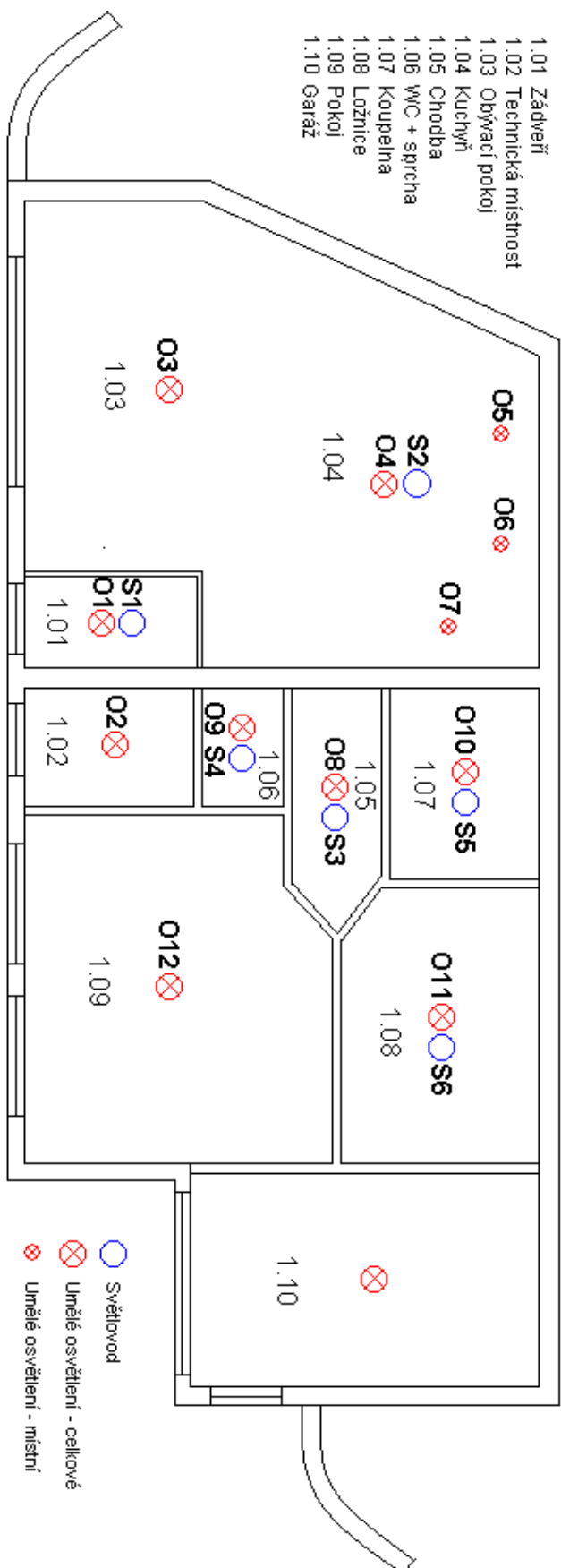


- Tallířový ventil stěnový
- Tallířový ventil stropní
- ↖ Směr proudění vzduchu

PŘÍLOHA P IV: UMÍSTĚNÍ KOMPONENTŮ SYSTÉMU VYTÁPĚNÍ A ROZVODŮ TOPNÉ VODY A TUV V OBJEKTU



PŘÍLOHA P V: UMÍSTĚNÍ OSVĚTLOVACÍCH PRVKŮ V OBJEKTU



PŘÍLOHA P VI: UMÍSTĚNÍ KOMPONENTŮ SYSTÉMU ŘÍZENÍ A SLABOPROUDÝCH ROZVODŮ V OBJEKTU

