

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Analýza efektivních způsobů snížení spotřeby energie v
pasivním domě**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Bc. Petr ŘÍHA
Osobní číslo: E13N0084P
Studijní program: N2612 Elektrotechnika a informatika
Studijní obor: Elektroenergetika
Název tématu: Analýza efektivních způsobů snížení spotřeby energie v pasivním domě
Zadávající katedra: Katedra elektroenergetiky a ekologie

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

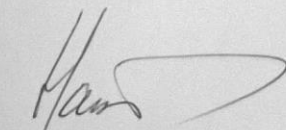
1. Uveďte základní vlastnosti energeticky pasivních domů
2. Navrhněte model pasivního domu
3. Analyzujte vliv jednotlivých opatření na snížení spotřeby energie
4. Vyhodnoťte opatření nebo technologie s největším vlivem na snížení spotřeby energie a formulujte doporučená řešení pro snížení spotřeby energie v budovách

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

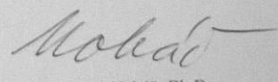
1. Literaturu určí vedoucí práce při předběžném kontaktu

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Jiří Kožený, CSc.
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2014
Termín odevzdání diplomové práce: 11. května 2015


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2014

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na problematiku energeticky pasivních domů a jejich návrh v programu PHPP z pohledu spotřeby energie. Dále je v práci provedena analýza vlivu změny technologického vybavení a parametrů domu na celkovou roční spotřebu energie modelového pasivního domu použitím programu PHPP. Z výsledku práce je zřetelně vidět, že největšího snížení celkové potřeby tepla pro vytápění dosáhneme použitím kvalitních izolačních materiálů a větrací jednotky s co nejvyšší účinností rekuperace tepla.

Klíčová slova

Pasivní dům, tepelné čerpadlo, neprůvzdušnost, nízkoenergetické budovy

Abstract

The master thesis presents passive houses and method of design by PHPP software in terms of energy consumption. This thesis also analyses impact of changes of house parameters to the total annual energy consumption using PHPP software. The result clearly shows that the largest reduction of total heating demand is achieved by using high quality insulation materials and ventilation unit with the highest efficiency of heat recovery.

Key words

Passive house, heat pumps, airtightness, low energy buildings

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....

podpis

V Plzni dne 6.5.2015

Petr Říha

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. CSc. Jiřímu Koženému a konzultantovi z občanského sdružení Envic panu Švábovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 NÍZKOENERGETICKÉ BUDOVY	11
1.1 ČLENĚNÍ NÍZKOENERGETICKÝCH DOMŮ	11
1.2 PASIVNÍ DŮM	12
1.3 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI PASIVNÍHO DOMU	13
1.4 BILANČNÍ SCHÉMA PASIVNÍHO DOMU	14
1.5 TECHNOLOGICKÉ VYBAVENÍ PASIVNÍCH DOMŮ	15
1.5.1 Větrací jednotka	15
1.5.2 Zemní výměník	20
1.5.3 Solární kolektory	21
1.5.4 Fotovoltaické panely	23
1.5.5 Běžné domácí spotřebiče	26
2 NÁVRH PASIVNÍHO DOMU V PROGRAMU PHPP	28
2.1 PROGRAM PHPP	28
2.2 NÁVRH PASIVNÍHO DOMU	28
2.2.1 Seznámení s programem PHPP	28
2.2.2 List „Hodnocení“	29
2.2.3 List „Plochy“	30
2.2.4 List „U-seznam“	31
2.2.5 List „U-hodnoty“	31
2.2.6 List „Zemina“	32
2.2.7 List „Okna“	33
2.2.8 List „Zastínění“	34
2.2.9 List „Větrání“	34
2.2.10 List „Teplo pro vytápění“	36
2.2.11 List „Topná zátěž“	39
2.2.12 List „Léto“ a list „Zastínění – léto“	41
2.2.13 List „Elektřina“	42
2.2.14 List „Primární energie“	43
2.2.15 List „Kompaktní jednotka“	44
3 ANALÝZA VLIVU JEDNOTLIVÝCH OPATŘENÍ NA SNÍŽENÍ SPOTŘEBY ENERGIE	46
3.1 STAVEBNÍ PRVKY	46
3.1.1 Obvodové zdi	46
3.1.2 Podlahová deska	47
3.1.3 Střecha	47
3.1.4 Okna	47
3.1.5 Vzduchotěsná obálka	50
3.2 TECHNOLOGICKÉ PRVKY	51
3.2.1 Větrací jednotka	51
3.2.2 Solární kolektory	52
3.2.3 Běžné elektrické spotřebiče	53
3.2.4 Fotovoltaické panely	54
3.2.5 Zdroje tepla	54
ZÁVĚR	58
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	60
PŘÍLOHY	1

Seznam symbolů a zkratek

<i>COP</i>	.....	<i>Coefficient of performance</i>
<i>FVE</i>	.....	<i>Fotovoltaická elektrárna</i>
<i>LED</i>	.....	<i>Light emitting diode</i>
<i>MPP</i>	.....	<i>Maximum power point</i>
<i>PHPP</i>	.....	<i>Passive house planning package</i>
<i>SFP</i>	.....	<i>Specific fan power</i>
<i>TUV</i>	.....	<i>Teplá užitková voda</i>
<i>A</i>	.....	<i>plocha [m²]</i>
<i>b_j</i>	.....	<i>Činitel teplotní redukce [-]</i>
<i>c</i>	.....	<i>měrná tepelná kapacita [Wh/m²K]</i>
<i>d_i</i>	.....	<i>Tloušťka konstrukce [m]</i>
<i>F</i>	.....	<i>činitel redukce [-]</i>
<i>G</i>	.....	<i>globální sluneční záření [kWh/m²a]</i>
<i>g</i>	.....	<i>celková propustnost slunečního záření [-]</i>
<i>I</i>	.....	<i>obvod [m]</i>
<i>n</i>	.....	<i>intenzita výměny vzduchu [m³/h]</i>
<i>P</i>	.....	<i>tepelné ztráty/zisky [W]</i>
<i>Q</i>	.....	<i>tepelné ztráty/zisky [kWh/a]</i>
<i>R</i>	.....	<i>Tepelný odpor konstrukce [m²K/W]</i>
<i>U</i>	.....	<i>součinitel ztrát vlivem tepelných mostů [W/m²K]</i>
<i>V</i>	.....	<i>objem [m³]</i>
<i>Ψ</i>	.....	<i>součinitel ztrát tepelnými mosty [W/mK]</i>
<i>λ_i</i>	.....	<i>Tepelná vodivost [W/mK]</i>
<i>ρ_c</i>	.....	<i>Tepelná kapacita [MJ/(m³K)]</i>
<i>η</i>	.....	<i>účinnost [%]</i>
<i>v</i>	.....	<i>teplota [K]</i>

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na problematiku energeticky pasivních budov. Cílem práce je vyhodnotit opatření nebo technologie s největším vlivem na snížení spotřeby energie využitím programu PHPP, který slouží k návrhu a certifikaci pasivních budov.

První kapitola se zabývá úvodem do problematiky nízkoenergetických a pasivních budov a základních požadavků na tyto budovy, včetně detailního rozboru technologie používané v těchto budovách.

V druhé kapitole je popsán postup návrhu pasivní budovy v programu PHPP podle zadané projektové dokumentace.

Třetí kapitola popisuje úpravy návrhu pasivní budovy za účelem snížení celkové potřeby tepla pro vytápění a celkové potřeby primární energie.

V závěru práce hodnotím úpravy budovy, které mají největší vliv na snížení spotřeby energie pasivních budov.

1 Nízkoenergetické budovy

Vzhledem k tomu, že provoz budov je ve vyspělých zemích zodpovědný za více než 40% spotřeby energie a tomu odpovídající množství emisí CO₂, je žádoucí, aby nově stavěné či projektované budovy měly spotřebu energie co nejmenší.

1.1 Členění nízkoenergetických domů

Nízkoenergetické domy lze členit do několika skupin dle měrné potřeby tepla na vytápění. Myšleno je tím množstvím tepla za rok vztažené na 1 m² plochy vytápěné části budovy.

Obecně lze budovy dělit na:

- Starší budovy
- Novostavby
- Nízkoenergetické domy
- Pasivní domy
- Nulové domy

Potřeba tepla na vytápění u novostaveb se běžně pohybuje mezi 80 - 140 kWh/(m²a). Pokud mluvíme o nízkoenergetickém domě, mluvíme o domě s potřebou tepla na vytápění menší než 50 kWh/(m²a) dle ČSN 730540:2. Pasivní domy jsou budovy s roční potřebou tepla na vytápění menší než 15 kWh/(m²a). U pasivních domů už ovšem potřeba tepla na vytápění není jediným požadavkem. Dalším požadavkem, který musí být splněn, pokud má být budova označena jako pasivní, je celková neprůvzdušnost budovy, která musí být menší než 0,6 h⁻¹ při rozdílu tlaků venku a vevnitř 50Pa. Současně je nutné, aby celkové množství primární energie nepřekračovalo hodnotu 120 kWh/(m²a). Nulové domy, či domy s nulovou spotřebou energie, se objevují jen velmi zřídka, neboť dosáhnout nulové spotřeby energie lze jen při mimořádně vhodných podmínkách. Označení nulový dům splňují domy s potřebou tepla na vytápění menší než 5 kWh/(m²a).[1]

Dále se lze setkat s domy označovanými jako „domy s energetickým přebytkem“, obvykle se jedná o pasivní domy s instalací fotovoltaických panelů, dodávajících energii do rozvodné sítě. V ročním součtu je potom energie dodaná do sítě větší než energie potřebná k provozu budovy.

1.2 Pasivní dům

První myšlenka na energeticky úsporné domy pochází z roku 1988, kdy Wolfgang Feist a Bo Adamson začali pracovat na projektu nízkoenergetického domu. V roce 1991 úspěšně dokončili stavbu prvního pasivního domu, jež je i po více než 20 letech stále využíván a jeho roční potřeba tepla na vytápění na m² je menší než 15kWh.

Pasivní dům je mezinárodně známý standard pro energeticky efektivní budovy. Potenciál pasivních budov je již znám po celém světě a je čím dál více celosvětově využíván. Hlavním důvodem úspěchu pasivních budov je univerzálnost standardu pasivních budov pro jakékoliv klimatické podmínky. Zároveň nám pasivní domy umožňují efektivnější využívání energetických zdrojů. Oproti starším budovám jsou pasivní domy schopny úspory až 90% energie potřebné na vytápění a chlazení a oproti novostavbám je úspora až 75%. [2] [3]

Pasivní domy nabízejí uživatelům vysokou úroveň komfortu při využití co nejmenšího množství energie na vytápění a chlazení budovy. Vzhledem k rostoucím cenám energie jsou tedy atraktivní možností při rozhodování výstavby nových budov. Standard pasivního domu lze využít nejen při návrhu rodinných domů, ale i pro stavbu kancelářských budov, škol, supermarketů, hotelů a dalších typů budov. Standard pasivního domu se netýká pouze novostaveb, ale lze ho též využít i při rekonstrukci starých budov.

Základní ideou pasivních domů je co největší snížení tepelných ztrát domu, čímž je možné dosáhnout výrazného snížení výkonu tepelného zdroje až na hranici, kdy není třeba konvenčního systému vytápění. Konstrukce pasivního domu je velmi dobře zaizolována, dům je též opatřen vzduchotěsnou obálkou a stavebně je řešen tak, aby se co nejvíce zamezilo ztrátám tepelnými mosty. [3]

Obálka budovy se skládá nejen z prvků, jako jsou stěny, stropy a střecha, ale obsahuje také hrany, rohy, spoje a prostupy. Těmito prvky dokáže teplo procházet lépe než zbylými prvky budovy. Tento jev je známý pod názvem tepelný most a tepelná vazba. Zamezení výskytu tepelných mostů je jeden z nejučinnějších způsobů, jak zamezit únikům tepla z budovy. Kupříkladu výstavba balkónu jednoduchým protažením betonové konstrukce stropu mimo budovu způsobuje tepelné ztráty, neboť dojde k přerušení izolační vrstvy budovy. Při projektování balkónů je tedy nutno realizovat izolační prvek k zamezení vzniku tepelného mostu.

Název pasivní dům vyplývá z principu pasivních tepelných zisků. Jedná se zejména o zisky vnější ze slunečního záření a také zisky vnitřní produkované spotřebiči a lidmi. Po většinu roku poté tyto zisky plně dostačují k zajištění tepelné pohody. Například teplo vyprodukované 4 osobami postačuje na udržení příjemné teploty v místnosti o 20 m² i během zimního období. Při velmi nízkých venkovních teplotách dochází k přehřívání vzduchu v systému ventilace k zajištění požadované vnitřní teploty, naopak v horkých letních měsících slouží jednotka ventilace k ochlazení interiérů a odpadá tak potřeba vybavení domu klimatizační jednotkou. Díky dokonalé izolaci budovy jsou tak pasivní domy charakterizovány konstantní teplotou všech interiérových povrchů a konstantním vnitřním klimatem bez teplotních výkyvů a průvanu. Zároveň větrací jednotka neustále zajišťuje požadovanou kvalitu vnitřního vzduchu. [3]

Pasivní domy mají oproti klasickým budovám nejen výhody v malé energetické náročnosti. V případě výpadku zdroje elektrické energie si pasivní domy dokáží udržet vnitřní teplotu na obyvatelné úrovni po několik dní i v zimním období. Vzhledem k úrovni izolace, konstrukce bez tepelných mostů a vzduchotěsné obálky spolu s větrací jednotkou nedochází v pasivních domech ke vzniku plísní na konstrukci budovy a díky tomu mají pasivní domy předpoklad k dlouhé životnosti bez náročné údržby.

1.3 Základní vlastnosti pasivního domu

Základní vlastností pasivních domů, na kterou jsou kladeny vysoké nároky, je neprůvzdušnost. Neprůvzdušnost je vlastnost budovy, díky které nedochází k tepelným ztrátám malými otvory a netěsnostmi v konstrukci. Neprůvzdušnost je zajištěna vzduchotěsnou obálkou kolem objektu.

Neprůvzdušnost se pro ověření kvality vzduchotěsné obálky zkouší jednak po provedení vzduchotěsné obálky před dokončením celkové stavby a konečný test je proveden po dokončení stavby. Test neprůvzdušnosti sestává z vyvolání různých úrovní tlaku a podtlaku v budově pomocí ventilátoru umístěného obvykle ve dveřích budovy. Pro měření kvantity vstupujícího vzduchu se používají mikroanemometry. Jak již bylo uvedeno, pasivní budovy musí splňovat hodnotu celkové neprůvzdušnosti menší jak 0,6 h⁻¹. Hodnota udává výměnu 60% objemu vzduchu budovy za jednu hodinu při rozdílu tlaků venku a vevnitř 50Pa.

V následující tabulce jsou uvedeny základní parametry pasivního domu pro evropské podmínky.

Veličina	Požadavek	Jednotka
Základní vlastnosti		
Měrná potřeba tepla na vytápění	≤ 15	kWh/(m ² a)
Celková spotřeba primární energie	≤ 120	kWh/(m ² a)
Celková neprůvzdušnost n ₅₀	$\leq 0,6$	h ⁻¹
Certifikace		
1. Výpočet součinitele prostupu tepla	$\leq 0,15$	W/(m ² K)
2. Kontrola projektové dokumentace: konstrukce bez tepelných mostů a relativně vzduchotěsná		
3. Měření celkové neprůvzdušnosti n ₅₀	$\leq 0,6$	h ⁻¹
4. Výpočet potřeby tepla na vytápění	≤ 15	kWh/(m ² a)
5. Výpočet měrného příkonu tepla	≤ 10	W/m ²
6. Kontrola projektové dokumentace: zajištění pohody prostředí větráním		
7. Výpočet zajištění pohody prostředí v letním období		
8. Hodnocení efektivity přípravy teplé vody		
9. Výpočet roční energetické účinnosti zásobování teplem		
10. Výpočet celkové potřeby primární energie	≤ 120	kWh/(m ² a)

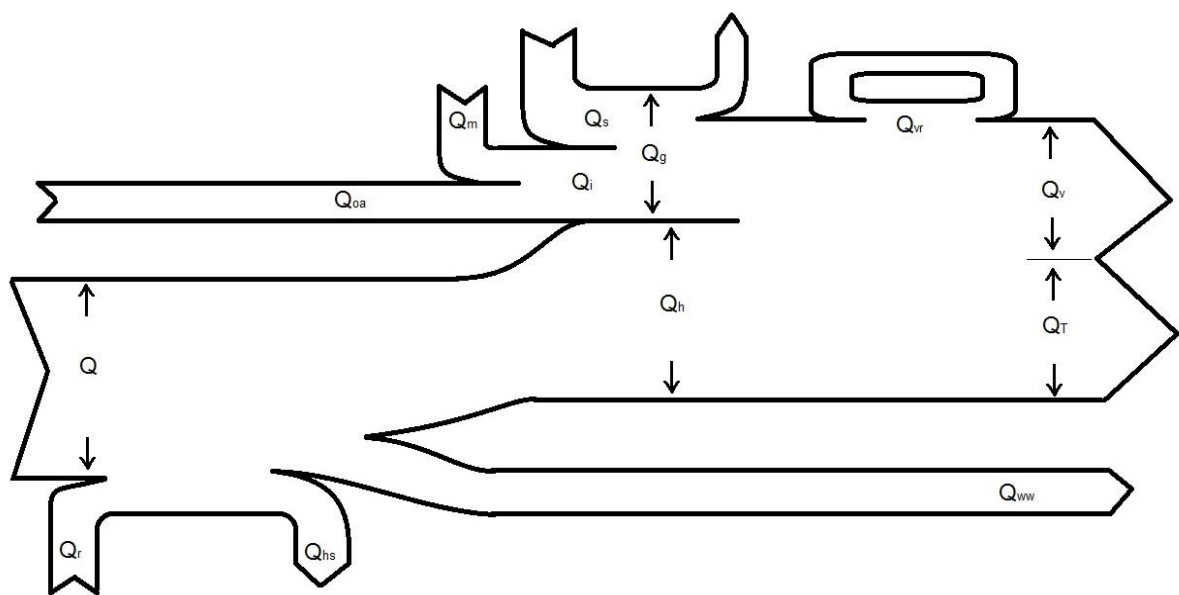
Tab. 1 Základní vlastnosti pasivního domu

Základní vlastnosti pasivních domů, které je třeba dodržet, abychom mohli budovu nazývat pasivní, jsou uvedeny v první části tabulky. Pro získání certifikátu pasivní budovy je třeba splnit kroky uvedené v druhé části tabulky. Výpočty roční spotřeby tepla a primární energie se nejčastěji provádějí pomocí programu PHPP, do něhož jsou zaneseny všechny parametry budovy, technického zařízení budovy a jejího okolí včetně klimatických podmínek. Výpočty v programu PHPP pro modelový dům jsou uvedeny v kapitole 2. a 3.

1.4 Bilanční schéma pasivního domu

Na přehledném bilančním schématu viz Obr. 1 lze jednoduše ukázat základní souvislosti energetických dějů v budově. Bilance zahrnuje tepelné ztráty a tepelné zisky. Tato energetická bilance neslouží k návrhu jednotlivých technických systémů, ale pro stanovení energetických potřeb budovy. Bilanci lze stanovit jak pro okamžité hodnoty, tak pro určité časové úseky. [16]

Z bilančního schématu na Obr. 1 lze vidět, že největší tepelné ztráty jsou způsobeny prostupem tepla (Q_T) a výměnou vzduchu (Q_V). Ztráty výměnou vzduchu lze částečně omezit rekuperací (Q_{vr}). Tepelné zisky budovy sestávají z vnitřních tepelných zisků (Q_g) a z tepla dodaného otopnou soustavou (Q_h). Vnitřní tepelné zisky se skládají z tepla osob (Q_m), spotřebičů (Q_{oa}), a proměnlivých solárních zisků (Q_s). Otopná soustava také často řeší přípravu teplé vody (Q_{ww}). Mezi ztráty patří i ztráty nevhodnou regulací systému (Q_{hs}). Ve specifických případech lze využít zpětně získanou energii z technologických procesů (Q_r). Na vstupu do budovy tedy musíme zajistit dostatečné množství energie (Q) tak, aby byla pokryta spotřeba budovy a její ztráty technickými systémy či konstrukcí budovy. [16]



Obr. 1 Bilanční schéma pasivního domu [16]

1.5 Technologické vybavení pasivních domů

V následujících podkapitolách si uvedeme několik technických zařízení, které se mohou či musí vyskytovat v pasivním domě.

1.5.1 Větrací jednotka

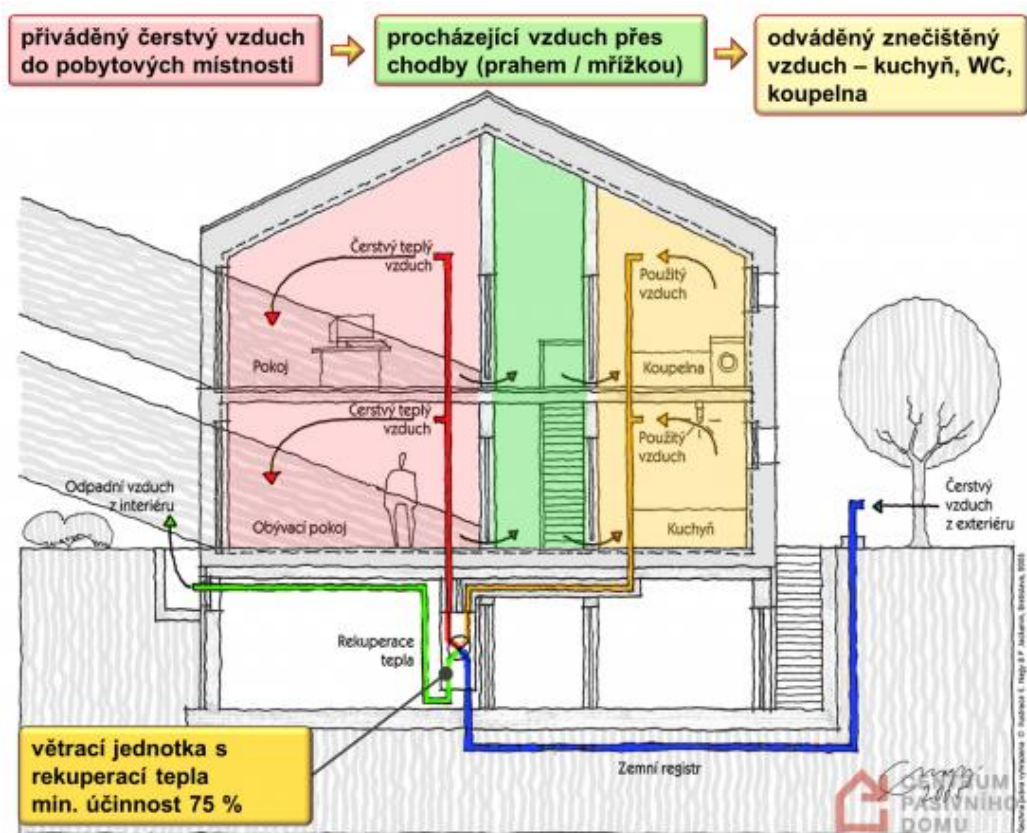
Infiltrace vzduchu skrze mezery a spáry v běžných budovách je vnímána jako průvan. Takové větrání je nespolehlivé a nepříjemné. Zároveň je nedostatečné pro zajištění kvality vnitřního ovzduší, což vede k nutnosti větrat otvíráním oken v pravidelných intervalech. Vzduchotěsná obálka pasivních budov zajišťuje, že větrací jednotka funguje s maximální

efektivností. Dále také zajišťuje ochranu proti škodám způsobených plísněmi vznikajících ve vnitřní konstrukci budovy.

Základním účelem větrací jednotky je přivést do prostor určených pro obývání obvykle 30m^3 čerstvého vzduchu na osobu za jednu hodinu. Uživatel je schopen si množství vzduchu přiváděného jednotkou jednoduše nastavit pomocí několika přednastavených režimů. Na trhu jsou též jednotky, které upravují množství přiváděného vzduchu podle úrovně CO_2 ve vnitřním prostředí.

Při návrhu větrací jednotky je žádoucí dosáhnout co největší účinnosti jednotky. Toho se dosahuje použitím jednotky vybrané přesně dle charakteristik konkrétního větracího systému.

Jak je vidět z Obr. 2 základním principem udržování kvalitního prostředí v pasivním domě je odsávání vzduchu z místností s pravděpodobností největšího znečištění a přivádění čistého vzduchu do obývaných místností.

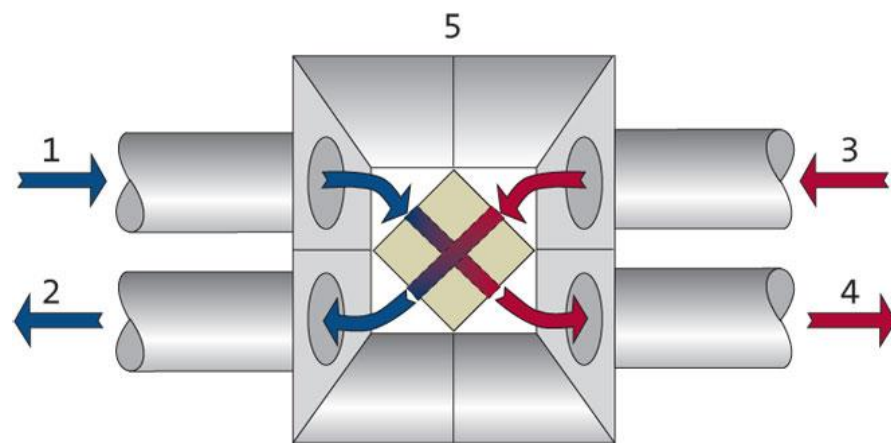


Obr. 2 Schéma ventilace [14]

Větrací jednotky můžeme rozdělit na dvě hlavní kategorie, na jednotky s rekuperačními výměníky a na jednotky s regeneračními výměníky. Jednotky s rekuperačními výměníky lze dále rozdělit na jednotky s pasivní rekuperací a na jednotky s aktivní rekuperací tepla.

Jednotky s pasivní rekuperací tepla se vyznačují nízkou pořizovací cenou. Základním prvkem takovéto větrací jednotky je tepelný výměník, pomocí kterého se teplo z odsávaného vzduchu předává vzduchu přiváděnému z venkovního prostředí. Výměna tepla obvykle probíhá bez mísení vzduchu odváděného a přiváděného. V porovnání s jednotkami s aktivní rekuperací dosahují ovšem nižší účinnosti a nedají se použít v domě bez jiného tepelného zdroje. [4]

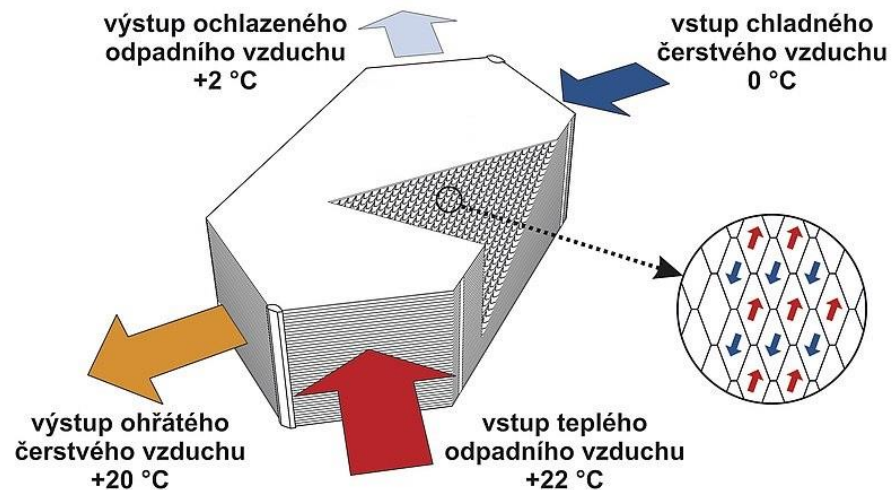
Mezi základní typy výměníků tepla v jednotkách s rekuperačními výměníky patří výměníky křížové a protiproudé. Liší se konstrukcí a svojí tepelnou účinností. Na Obr. 3 je znázorněna výměna tepla vzduchu v křížovém výměníku tepla. Přiváděný studený čerstvý vzduch (1) je ohříván odváděným teplým vzduchem (3), který je po předání tepelné energie vyfukován z domu (2). Do domu je přiváděn vzduch čerstvý a ohřátý (4). Tepelná účinnost těchto výměníků se pohybuje v rozmezí 40-65% a předávání tepla probíhá bez mísení odpadního a čerstvého vzduchu. Vzhledem ke své nízké účinnosti se křížové výměníky tepla v pasivních domech již nepoužívají.



Obr. 3 Křížový výměník tepla [5]

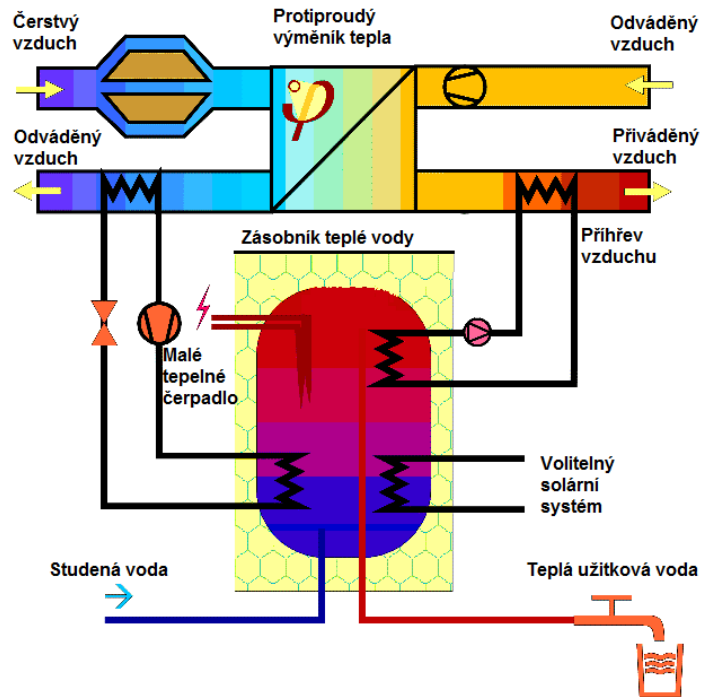
Nejčastěji používaným typem je protiproudý výměník tepla. U křížového výměníku tepla prochází čerstvý a odpadní vzduch kolmo na sebe, zatímco v protiproudém výměníku tepla

prochází čerstvý a odpadní vzduch rovnoběžně proti sobě. Díky tomu tak výměna tepla probíhá na delší dráze a následkem je vyšší účinnost tepelné výměny. U těchto výměníků tepla lze dosáhnout tepelné účinnosti až 90%. Na Obr. 4 je znázorněna konstrukce a výměna tepla v těchto výměnících.



Obr. 4 Protiproudý výměník tepla [6]

Jednotky s aktivní rekuperací tepla se vyznačují vyšší účinností, ovšem také vyšší pořizovací cenou. Oproti jednotkám s pasivní rekuperací neprobíhá ohřívání přiváděného vzduchu jen předáváním tepla z odváděného vzduchu, ale na ohřevu se podílí další aktivní technické prvky. Větrací jednotky s aktivní rekuperací nejčastěji využívají malé tepelné čerpadlo, které umožňuje přehřev vzduchu na požadovanou teplotu při co nejmenší možné spotřebě elektrické energie. Přiváděný vzduch prochází kondenzátorem a je přehříván na požadovanou teplotu. Odváděný vzduch předává svou energii do chladiva a je vyfukován z domu. Výhodou těchto jednotek je nejen vyšší účinnost, ale také možnost ohřevu vody jak v zimním, tak i v letním provozu, kdy zároveň dochází k ochlazení přiváděného vzduchu a není tak třeba instalovat drahou klimatizační jednotku. Na Obr. 5 je znázorněno principiální schéma jednotky s aktivní rekuperací tepla a s ohřevem vody v zásobníku. [4]



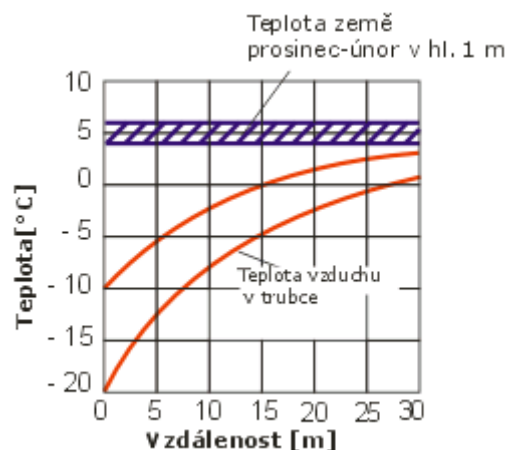
Obr. 5 Schéma větrací jednotky s ohřevem vody [15]

Jednotky s regeneračními výměníky tepla využívají akumulaci tepelné energie a vlhkosti do akumulační hmoty výměníku. Akumulační hmota je střídavě vystavována vzduchu odváděnému a přiváděnému. Konstrukčně jsou tyto výměníky řešeny jako rotační, kdy je akumulační hmota tvořena válcem s průtočnými kanálky, který se otáčí a střídavě zasahuje půlkou svého objemu do prostoru s odváděným a přiváděným vzduchem nebo je pevný výměník protékán střídavě odpadním a přiváděným vzduchem pomocí přepínání klapky v přívodech vzduchu. Tepelná účinnost těchto výměníků je v rozmezí 60-80%. Jednotky s regeneračními výměníky tepla se až do nedávna používali jen ve větších objektech. Nyní se již ovšem díky svým vlastnostem začínají rozšiřovat i do rodinných domů. Regenerační výměníky tepla jsou, na rozdíl od rekuperačních výměníků, schopny přenášení vlhkosti z odváděného vzduchu do přiváděného. Tato schopnost je výhodná zejména v zimním období, kdy dochází při větrání ke snižování vlhkosti vnitřního prostředí až na hodnotu, která může způsobit zdravotní problémy obyvatelům domu. Množství vlhkosti, které se přenesou ze vzduchu odváděného do přiváděného, lze ovlivnit volbou úpravy povrchu akumulační hmoty. [7]

1.5.2 Zemní výměník

K předehřevu či ochlazování přiváděného vzduchu do větrací jednotky lze v pasivních budovách využít velmi jednoduché zařízení nazývané zemní výměník. Konstrukčně je realizováno jako trubka uložená v zemi, pomocí které je do budovy nasáván čerstvý vzduch. Princip tohoto zařízení je velmi jednoduchý. V zimním období se teplota zeminy pohybuje mezi 4 až 8°C a je tedy výhodné nenasávat do větrací jednotky vzduch přímo z okolního prostředí, ale využít teplo zeminy k předehřátí nasávaného vzduchu a zároveň tak ochránit větrací jednotku před zamrzáním. Z měření na realizovaných zemních výměnících je dokázáno, že po celé zimní období zůstaly teploty zeminy v hloubce uložení (1,5 až 2m) zemního výměníku nad bodem mrazu i při venkovních teplotách blízkých -20°C. Teplota výstupního vzduchu se během měření ze zemního výměníku pohybovala v rozmezí 1 až 5°C. V letním období se teploty zeminy pohybují okolo 15°C a lze tedy využít opačného efektu, kdy je v horkých letních měsících výhodné nasávání vzduchu přes chladnější zeminu, díky čemuž ušetříme část energie na chlazení přivodního vzduchu. [8]

Jak již bylo řečeno, zemní výměník tepla je velmi jednoduché zařízení realizované pomocí trubky uložené v zemině v hloubce 2m. Trubky používané pro zemní výměníky jsou nejčastěji z tvrdého PVC, obvykle používané pro kanalizační potrubí, o průměru od 150 do 200mm. V praxi se osvědčily zemní výměníky o délce mezi 25 až 35m, u delších výměníků už nedochází k většímu ohřevu nasávaného vzduchu, jelikož se teplota vzduchu po průchodu 30m zemního výměníku ohřeje na teplotu velmi blízkou teplotě zeminy, jak je vidět na Obr. 6. Potrubí je obvykle uloženo s 2 % spádem ve směru proudění vzduchu. V letních měsících dochází při ochlazování vstupního vzduchu ke srážení vlhkosti na stěnách potrubí a takto vzniklá vlhkost musí být stále odváděna, to je docíleno spádem potrubí a realizací odvodu zkondenzované vody u vstupu do přivodní jednotky. Z toho důvodu je také nemožné využití zvlněných trubek, které by poskytovaly lepší přestup tepla, ale znemožňovaly by odvod zkondenzované vody. Vstupní část do zemního výměníku je třeba chránit proti vstupu nečistot a hmyzu, to je docíleno použitím filtrů umístěných ve vstupní části. Zároveň je třeba dbát na umístění vstupní části s ohledem na okolní prostředí, aby bylo omezeno pronikání vlhkosti do výměníku či nadměrné zanášení filtrů prachem. [8]



Obr. 6 Závislost teploty vzduchu na délce trasy v zemním výměníku [8]

I přes všechny výše popsané výhody zemního výměníku je toto zařízení používáno jen několik měsíců v roce. I v topné sezóně může nastat situace, kdy je výhodnější přímé nasávání vzduchu místo nasávání přes zemní výměník. V našich klimatických podmínkách není rovněž třeba intenzivního chlazení přiváděného vzduchu v letních měsících, tato možnost je využívána zejména v kancelářských budovách. Je tedy nutné, aby při použití zemního výměníku byla možnost přepnutí na přímé přivádění vzduchu. To může být realizováno manuálně nebo automaticky pomocí sledování teploty přiváděného vzduchu pomocí zemního výměníku. Vzhledem k tomu, že zemní výměník lze provozovat výhodně jen 3-4 měsíce v roce, je třeba zvážit návratnost počáteční investice do zemního výměníku. Významnou výhodou zemních výměníků je poskytování ochrany rekuperačního výměníku větrací jednotky před zamrznáním.

1.5.3 Solární kolektory

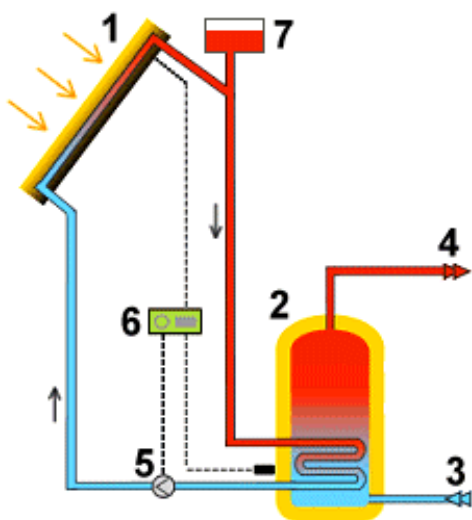
Energie slunce je v pasivních domech využívána zejména návrhem velké plochy zasklení směřované na jih. Další velmi rozšířenou možností jak využít energii slunce, je použití solárních kolektorů a fotovoltaiky. Nyní se zaměřím na problematiku solárních kolektorů.

Nejčastěji používaným typem solárních kolektorů jsou kolektory ploché, proto se zaměřím zejména na tento typ. Základem každého solárního kolektoru je absorbér. Ten zachytává krátkovlnné sluneční záření a přeměňuje ho na teplo. Nejčastěji je zhotoven z kovu, obvykle z hliníku či mědi. Povrch absorbéru musí být upraven tak, abychom dosáhli co největší účinnosti. Dnes se pro úpravu povrchu používají dvě metody. První a levnější je úprava povrchu absorbéru nátěrem. Jedná se o matné barvy, které dosahují dobrých parametrů

v letním období, ale v zimním období jsou jejich ztráty sáláním příliš vysoké. Druhou metodou je úprava absorbéru galvanickým nanášením vrstev (černý chrom, černý nikl). Takto upravený absorbér má vysokou hodnotu absorpce a zároveň je potlačena emisivita na nízkou úroveň. Díky tomu dosahují takto upravené absorbéry dobrých hodnot, jak v letním období, tak i v zimním. Tepelná energie získaná absorbérem je odebírána teplonosným médiem, které proudí v kanálech absorbéru (obvykle realizováno měděnými trubičkami). Teplonosným médiem jsou obvykle nemrznoucí kapaliny či voda. Absorbér a kanálky jsou umístěny v konstrukci, která je chrání před povětrnostními vlivy a také zvyšuje celkovou účinnost solárního kolektoru. To je docíleno snížením ztrát tepla pomocí izolace. Strana solárního kolektoru směřující k slunci je kryta tzv. solárním sklem, to má maximální možnou propustnost v oblasti viditelného a blízkého infračerveného spektra, ale nepropouští dlouhovlnné tepelné záření. Uvnitř kolektoru tak vzniká skleníkový efekt. Pro další omezení tepelných ztrát je třeba, aby byly přívodní hadice uloženy v kvalitní tepelné izolaci. Solární kolektory se obvykle umísťují na střechy budov, v tom případě je třeba, aby bylo již při projektování domu a jeho polohy vůči jihu vzat v potaz nejvhodnější úhel sklonu solárního kolektoru. Pokud jsou solární kolektory umístěny na střeše plochého typu, je třeba zajistit podpůrnou konstrukcí sklon kolektoru v rozmezí $35^\circ - 45^\circ$, díky čemuž se dosáhne největšího využití solární energie v průběhu celého roku. [9] [10]

K využití teplé vody získané pomocí solárních kolektorů je třeba tzv. solární systém. Jedná se o soubor zařízení, které umožňují skladování teplé vody pro následné využití. Na

Obr. 7 je schematicky znázorněn dvouokruhový celoroční solární systém.



- Solární kolektor (1)
- Tepelný výměník (2)
- Přívod studené vody (3)
- Odběr teplé vody (4)
- Automatická regulace (6)
- Expanzní nádoba (7)
- Oběhové čerpadlo (5)

Obr. 7 Schéma solárního systému [10]

Jak již bylo uvedeno výše, v tomto systému je k přenosu tepla z kolektoru do výměníku používána nemrznoucí směs na bázi propylenglykolu. V tepelném výměníku předává teplonosná kapalina teplo užitkové vodě. Cirkulaci teplonosné kapaliny v hermeticky uzavřeném systému zajišťuje oběhové čerpadlo. Expanzní nádoba slouží k vyrovnání změn objemu v systému při různých úrovních teploty. Automatická regulace sbírá informace z čidel umístěných v systému a dle nich řídí chod solárního systému. [10]

V praxi je používán i jednookruhový kapalinový solární systém, ten je používán zejména pro ohřev vody v zahradních bazénech.

1.5.4 Fotovoltaické panely

Fotovoltaický jev poprvé pozorovali William Grylls Adams a jeho žák Richard Evans Day v roce 1876 na PN přechodu vytvořeném mezi selenem a platinou. První fotovoltaický článek použitelný pro výrobu elektřiny vznikl ovšem až v roce 1954 v Bellových laboratořích. Jednalo se o článek z monokrystalického křemíku, který měl účinnost kolem 6 %. V počátcích výroby a používání fotovoltaických panelů se na výrobu fotovoltaického panelu spotřebovalo více energie, než dokázal panel po dobu své životnosti vyrobit. Jednalo se o velmi drahou technologii, která byla využívána zejména pro armádní účely a pro napájení kosmických družic. Díky ropné krizi v 70. letech ovšem vzrostl zájem o obnovitelné zdroje energie a díky velkým pokrokům ve výzkumu se dnes již jedná o dostupnou a výhodnou technologii. [11] [12]

Základními částmi fotovoltaické elektrárny jsou: fotovoltaický panel, střídač a nosná konstrukce. Volitelnou možností jsou baterie, které umožňují využití energie z panelů v noci, kdy je z nich čerpána energie, která nebyla využita či prodána v průběhu dne.

Ve fotovoltaických panelech se dopadající sluneční záření přemění na stejnosměrný proud a ten je pro potřeby dalšího využití měněn pomocí střídače na střídavý proud. Fotovoltaické panely jsou tvořeny sérioparalelním zapojením fotovoltaických článků, díky tomu se dosahuje požadovaného výkonu. Fotovoltaické panely se podle způsobu výroby dělí na:

- Monokrystalický
- Polykrystalický
- Tenkovrstvý

K výrobě monokrystalického článku je třeba vyrobit jednolitý ingot křemíkového krystalu. Kulatý ingot je poté rozřezán na tzv. wafery, které jsou ořezány na požadovanou velikost. Struktura takového článku je velice čistá a jednolitá díky tomu, že článek vznikl z jednoho krystalu. Tato technologie výroby vykazuje nejvyšší účinnost blížící se k 20% a pomalejší stárnutí v porovnání s technologií polykrystalickou. Její nevýhodou jsou vyšší výrobní náklady. Tyto články jsou využívány zejména pro panely umístěné na pohyblivých konstrukcích, které zajišťují optimální úhel dopadu světla po většinu dne. [11] [12]

Polykrystalický článek vzniká ze substrátu, který je složen z několika menších křemíkových krystalů. Technologicky je jednodušší nechat vykrytalizovat několik menších křemíkových krystalů, než jeden kompaktní. Substrát, který vznikne touto metodou, je poté slisován do jednoho celku a z toho jsou poté stejnou metodou jako u monokrystalického článku vyráběny jednotlivé články. Účinnost těchto článků se pohybuje okolo 15%. Výhodou těchto článků je větší zisk energie z rozptýleného světla. Toho je využito zejména u panelů, které jsou umístěny pevně. [11] [12]

Tenkovrstvý článek je tvořen nosným prvkem (sklo, folie), na který jsou napařeny velmi tenké vrstvy amorfního nebo mikrokrytalického křemíku. Výhodou fotovoltaických panelů vyrobených z těchto článků je nízká váha a cena, toho je dosaženo použitím menšího množství materiálu při výrobě. Dalšími výhodami těchto článků je nižší teplotní koeficient výkonu panelu, který udává pokles výkonu s rostoucí teplotou panelu, a nejlepší energetická návratnost z uvedených technologií, která se pohybuje do 2 let provozu. Nevýhodou je ovšem zhruba poloviční účinnost oproti ostatním technologiím. [11]

Vzhledem k tomu, že výstupem z fotovoltaických panelů je stejnosměrný proud, je nezbytnou součástí fotovoltaické elektrárny střídač. Toto zařízení zajišťuje změnu parametrů elektrického proudu na použitelných 230/400V 50Hz. Účinnost tohoto zařízení se pohybuje okolo 96%, u střídačů bez transformátoru je účinnost vyšší, takovéto střídače se ovšem dají použít jen pro nízkonapěťové systémy s tenkovrstvou technologií. Výhodou střídačů s transformátorem je vyšší kvalita výstupní energie. Součástí střídačů jsou tzv. MPP trackery, které zajišťují největší výkon solárního panelu při proměnném osvětlení pomocí nastavení optimálního pracovního bodu vstupního odporu střídače. [12]

Nezbytnou částí každé fotovoltaické elektrárny je nosná konstrukce pro fotovoltaické panely. Konstrukční systémy se dají rozdělit podle typu instalace na:

- Konstrukce pro sedlové střechy
- Konstrukce pro ploché střechy
- Konstrukce pro volná prostranství
- Polohovatelné systémy

Výše uvedené typy konstrukcí se liší v materiálu použitém na konstrukci a ve způsobu kotvení k zemi či k budově. Zajímavé jsou polohovatelné systémy, které umožňují až 30% nárůst využití solární energie oproti pevným systémům. Jedná se o tzv. trackery, které automaticky otáčejí a naklání fotovoltaické panely podle astronomické dráhy Slunce. U těchto systémů musí být brána v potaz vyšší počáteční investice a vlastní spotřeba systému na pohony naklápění. [12]

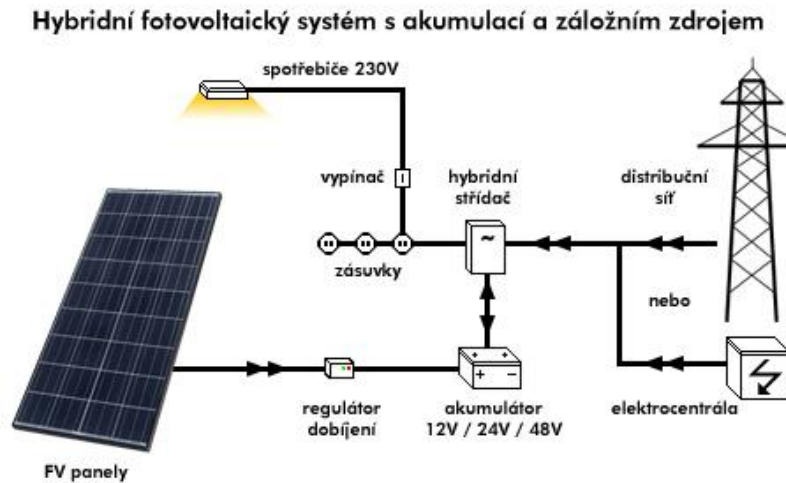
Domácí fotovoltaické elektrárny lze provozovat v několika odlišných režimech daných zejména místními podmínkami a legislativními podmínkami v dané zemi. Z hlediska připojení elektrárny do distribuční sítě tak lze rozdělit následovně:

- Přímé připojení do sítě a prodej provozovateli distribuční sítě
- Připojení do rozvodů v objektu a prodej provozovateli distribuční sítě
- "Off grid" připojení

Při přímém připojení do sítě je veškerá vyrobená elektrická energie prodávána provozovateli distribuční sítě. Druhá možnost, kdy je elektrárna zapojena do rozvodů budovy, umožňuje vlastníkovvi budovy pokrýt vlastní spotřebu energií dodanou solárními panely a případný přebytek energie prodat provozovateli distribuční sítě. Možnost "Off grid" připojení se používá zejména v oblastech, kde není možné připojení elektrárny do distribuční sítě. Veškerá vyrobená energie je spotřebována v objektu či ukládána do baterií. [11] [12]

V poslední době se též rozšířil provoz elektrárny v režimu, kdy je budova připojena do běžné distribuční sítě, ze které odebírá energii, pokud na pokrytí spotřeby nestačí energie vyrobená fotovoltaikou. Energie vyrobená fotovoltaikou se ovšem do distribuční sítě nedodává. Tyto elektrárny jsou obvykle označovány jako Hybridní fotovoltaické elektrárny. Schéma hybridního fotovoltaického systému je zobrazeno na Obr. 8. Hlavní výhodou tohoto provozu je nezávislost na udělování povolení připojení k distribuční soustavě. Hybridní FVE je galvanicky oddělena od distribuční soustavy, takže lze legálně vyrábět elektřinu ze solárních fotovoltaických panelů a efektivně ji spotřebovávat z vlastních zdrojů. Na připojení je však připravena a po získání souhlasu distributora se pouhou změnou v nastavení tento systém připojí k distribuční soustavě a případné přebytky, které jsou však minimální, začne

dodávat do sítě.



1.5.5 Běžné domácí spotřebiče

Vzhledem k tomu, že u pasivních domů je třeba dodržet roční spotřebu primární energie pod hranicí $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2)$, je důležité, aby i běžné domácí spotřebiče dosahovaly co nejmenší možné spotřeby elektrické energie. Proto se volí spotřebiče nejméně třídy A či A+. V případě myčky a pračky je žádoucí vybírat spotřebiče, které disponují přípojkou na teplou vodu a nepoužívají tak vlastní elektrický ohřev vody. Abychom zamezili ztrátám tepla při používání digestoří, je též vhodné použít digestoř s cirkulačním provozem s kovovými lapači tuku.

S rozvojem LED technologie je dnes též velmi výhodné nahradit klasické světelné zdroje či zdroje úsporné (zářivky) zdroji s technologií LED. Použitím technologie LED osvětlení je možné ušetřit až 85% elektrické energie oproti spotřebě při použití klasických světelných zdrojů. Finanční návratnost při aktuálních cenách LED zdrojů světla již klesla na 1 rok.

S rostoucím rozvojem elektromobility, LED osvětlení, fotovoltaických elektráren a elektroniky v domácnostech se vrací idea používání stejnosměrného proudu v celé domácnosti. Díky tomu bychom byli schopni odstranit ztráty energie během transformace v jednotlivých zdrojích, podle IEEE by tak bylo možné snížit spotřebu elektrické energie o více jak 5%. Při nabíjení baterií elektromobilů se pak může ztratit až 24 % energie. Rozvoj této technologie tak bude především záležet na ustavení příslušných standardů a lepší dostupnosti příslušných technologií. Reálné provedení stejnosměrných obvodů v objektech ovšem není jen vizí, ale již dlouhodobě využívanou možností. Se stejnosměrnými rozvody se

už běžně pracuje v domech, které nejsou připojeny k rozvodné síti. IEEE uvádí, že jen v USA je bez připojení k distribučním sítím bezmála jeden milion domů a firem. Většina z nich používá DC zařízení určená původně do karavanů a lodí. [17]

2 Návrh pasivního domu v programu PHPP

2.1 Program PHPP

Pro návrh pasivních domů se dnes nejčastěji používá program PHPP, který poskytuje dostatečně přesné výsledky a zároveň je uživatelsky lehce ovladatelný. Jedná se o jednoduše strukturovaný návrhový nástroj v prostředí tabulkového editoru (MS Excel). Výpočet daného projektu pasivního domu pomocí programu PHPP je zároveň jednou z mnoha podmínek pro získání certifikátu pasivního domu.

V následujících kapitolách uvedu postup výpočtu pasivního domu podle zadané projektové dokumentace. Program PHPP použitý v následujících kapitolách je ve verzi PHPP 2007. Dnes je již na trhu novější verze PHPP 8.5 (2013), základní principy výpočtu pasivních domů jsou stále stejné a dochází tedy obvykle jen k rozšiřování knihoven a rozšiřování kompatibility.

2.2 Návrh pasivního domu

Níže navrhovaný pasivní dům odpovídá projektové dokumentaci poskytnuté občanským sdružením Envic. Dům již byl realizován na území Slovenska, v následujících kapitolách bude proveden výpočet tohoto domu pro klimatické podmínky v oblasti města Plzně a budou hodnoceny možnosti snížení spotřeby této budovy. Parametry zadávané do výpočetního programu PHPP odpovídají dodané výkresové dokumentaci, viz Příloha A a Příloha B. Budova je navržena jako dvoupodlažní rodinný dům s dvougaráží nezasahující do tepelné obálky budovy.

2.2.1 Seznámení s programem PHPP

Jak již bylo uvedeno výše, program PHPP je vytvořen v prostředí tabulkového editoru. Po spuštění programu se nám otevře množství listů, z nichž základní a úvodní je list „Hodnocení“. Tento list obsahuje základní popis stavby jako je umístění stavby, způsob využívání, projektant a dále obsahuje výběr výpočtové metody a shrnutí výsledků. Ukázka tabulky shrnutí výpočtů viz Tab. 2.

Ppožadavky ve vztahu k vytápěné podlahové ploše			
Vytápěná podlahová plocha:	146,1 m ²		
	Použito:	Roční metoda	Certifikát:
Měrná potřeba tepla pro vytápění:	15	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)
Výsledek zkoušky neprůvzdušnosti:	0,6	h⁻¹	0,6 h ⁻¹
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, chlaz., pom. a dom. spotřebiče):	81	kWh/(m²a)	120 kWh/(m ² a)
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocné a domácí spotřebiče):	50	kWh/(m ² a)	
Měrná potřeba primární energie Úspora elektřiny pomocí solární energie:	17	kWh/(m ² a)	
Topná zátěž:	17	W/m ²	
Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu:	0	%	nad 25 °C
Měrná potřeba energie pro chlazení:		kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)
Chladicí zátěž:	4	W/m ²	
			Splněno?
			ano
			ano
			ano

Tab. 2 Shrnutí výsledků

V následujících kapitolách je uveden postup návrhu pasivního domu, jednotlivé kapitoly odpovídají jednotlivým listům v programu PHPP.

2.2.2 List „Hodnocení“

Jak již bylo uvedeno v přechodí kapitole, základním listem je list „Hodnocení“. Do tohoto listu se zadávají základní údaje o budově, jako je umístění budovy, projektant a stavebník. Dále se v tomto listu zvolí, zda je budova určena jako objekt pro bydlení nebo se jedná o nebytový objekt. Důležitou informací pro následující výpočty je zadání počtu osob, které budou budovu obývat a požadovaná hodnota vnitřní teploty. Za normální požadovanou teplotu interiéru se obvykle požaduje hodnota 20°C, tato hodnota je použita i v našem návrhu.

Pro námi zvolený objekt volíme objekt pro bydlení s plánovaným počtem osob 4. Další specifikace využití budovy je důležitá pro určení vnitřních zdrojů tepla. Na výběr máme z možností „Bydlení“, „Domov“, „Ostatní“. Pro naši budovu volíme možnost „Bydlení“, pokud bychom zvolili možnost „Domov“, bylo by ve výpočtu počítáno s nepřerušným pobytem osob v budově. Umístění objektu se volí v listu „Klimadata“, pro náš objekt je zvolena oblast Plzeň město. Dále je nutné zvolit metodu výpočtu. Na výběr máme metodu roční a měsíční. Roční metoda dle EN 13790 používá roční klimatické údaje s bilančním hodnocením pro období topné sezóny. Metoda měsíčních bilancí podle EN 13790 používá měsíční klimatické údaje vypočtené ze součtu měsíčních bilancí v topné sezóně. Obě metody vykazují téměř shodné výsledky. Pouze pro hodnoty roční potřeby tepla na vytápění menší než 8kWh/m² dosahuje měsíční metoda přesnějších výsledků. V našem návrhu volíme metodu roční, neboť neočekáváme potřebu tepla pod hranicí 8kWh/m²a. Dále je třeba z rozměrů budovy určit a zadat obestavěný objem budovy. Pro námi zvolenou budovu tato

hodnota činí 670m^3 . Tímto máme vyplněný list „Hodnocení“ a postoupíme na list „Plochy“.

2.2.3 List „Plochy“

V tomto listu je provedeno zadání jednotlivých rozměrů obálky budovy. Vzhledem k tomu že se v PHPP posuzují pouze plochy tepelné obálky, není třeba zadávat vnitřní stěny a stropy. Po otevření listu „Plochy“ je jako první uveden souhrn ploch, který shromažďuje všechny hodnoty zadané níže v listu a poskytuje tak přehledně všechny údaje o jednotlivých plochách tepelné obálky budovy. Dalším prvkem listu je tabulka „Zadání plochy“, do které se postupně zadávají rozměry jednotlivých stěn budovy. Do tohoto listu se nezadávají pouze stěny budovy, ale též i rozměry střechy a podlahy. Rozměry tepelné obálky jsou brány jako vnější, z tohoto důvodu probíhá hranice bilance pod podlahovou deskou. Při zadávání parametrů stěny budovy je třeba brát ohled na umístění stěny vůči světovým stranám. Ze zadané plochy obvodových stěn jsou automaticky odečteny plochy oken zadaných v listu „Okna“ viz kapitola 2.2.7. V souhrnu ploch jsou již předdefinovány různé typy stavebních konstrukcí. Při zadávání jednotlivých stěn a parametrů podlahy a střechy, je nutné přiřadit ke každé položce, o jaký konstrukční prvek se jedná, neboť se tyto prvky liší svým průměrným součinitelem prostupu tepla U a činitelem teplotní redukce b_j . Výpočet součinitele prostupu tepla U je proveden v listu „U-hodnoty“ viz kapitola 2.2.5. Činitel teplotní redukce b_j zohledňuje tepelné toky stavebních konstrukcí s různými rozdíly teplot, způsobenými rozdílným umístěním stavební konstrukce. V PHPP se rozlišují následující teplotní zóny:

- Styk s venkovním vzduchem
- Styk se zeminou nebo nevytápěným suterénem
- Styk s ostatními zónami (např. nevytápěné schodiště)

Každá zóna je specifikována odpovídajícím činitelem teplotní redukce.

Po kompletní specifikaci tepelné obálky je dále nutné provést zadání tepelných mostů v plášti budovy. Přestože se při návrhu a výstavbě pasivních budov snažíme o minimalizaci ztrát tepelnými mosty a obvykle je možné tento parametr zanedbat, je nutné ověřit, jakých hodnot dosahují součinitelé ztrát vlivem tepelných mostů pro jednotlivé stavební konstrukce. Pokud hodnoty součinitelů přesahují hodnotu $0,01\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, je nutné do výpočtu budovy zahrnout i ztráty tepelnými mosty. Při návrhu daného pasivního domu byla překročena hodnota $0,01\text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, a proto jsou do výpočtu bilance budovy zahrnuty též ztráty tepelnými mosty.

Souhrnná tabulka listu „Plochy“ viz Příloha C.

2.2.4 List „U-seznam“

V tomto listu jsou shrnuty součinitelé U vypočtené v listu „U-hodnoty“ viz kapitola 2.2.5. Zároveň je v tomto listu možné vytvořit si vlastní databázi stavebních konstrukcí a jejich příslušných hodnot součinitele U.

2.2.5 List „U-hodnoty“

Tento list slouží k výpočtu součinitele U pro jednotlivé stavební konstrukce. Součinitel U dané stavební konstrukce se vypočítá dle vzorce (2.1).

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}} \quad (2.1)$$

R_{si}, R_{se} : odpor konstrukce při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně dle DIN EN ISO 6946 (m^2K/W)

$R_1 \dots R_n$: tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce (m^2K/W)

Tepelný odpor vrstvy se vypočítá z její tloušťky a tepelné vodivosti dle vzorce (2.2).

$$R_i = \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (2.2)$$

Při návrhu daného domu byly pro jednotlivé stavební konstrukce zadány parametry jednotlivých vrstev dle stavební dokumentace. Pro příklad je uveden výpočet součinitele U pro obvodovou stěnu 1.NP viz Tab. 3. Při výpočtu součinitele U je třeba brát v potaz nejen tepelné vlastnosti zdiva a izolace, ale také vlastnosti vnitřní a vnější omítky.

1 Obvodová stěna 1.NP						
Konstrukce č. Popis konstrukce						
Odpor při přestupu tepla na straně konstrukce [m^2K/W]		vnitřní R_{si}		vnější R_{se}		
		0,13		0,04		
Díleč plocha 1	λ [W/mK]	Díleč plocha 2 (nepovinný)	λ [W/mK]	Díleč plocha 3 (nepovinný)	λ [W/mK]	Celková šířka Tloušťka [mm]
1. vnitřní omítka	0,350					5
2. zdivo KS (RDK 1,4)	0,770					175
3. EPS 100F	0,036					300
4. vnější omítka	0,700					6
5.						
6.						
7.						
8.						
		Podíl díleč plochy 2		Podíl díleč plochy 3		Celkem
						48,6 cm
Součinitel U:						0,114 $W/(m^2K)$

Tab. 3 Výpočet hodnot součinitele U

Pro určení tepelných ztrát u stavebních konstrukcí přilehlých k zemině je možné využít list „Zemina“ nebo paušální redukční faktor stanovený v listu „Klimadata“. Pro výpočet zvoleného modelového domu jsem použil výpočet tepelných ztrát pomocí listu „Zemina“. Dále viz kapitola 2.2.6.

2.2.6 List „Zemina“

Výpočet tepelných ztrát konstrukcí přilehlých k zemině odpovídá DIN EN ISO 13370. Výpočet ztrát v závislosti na geometrii daných konstrukcí poskytuje mnohem přesnější údaje oproti použití paušálního faktoru.

Prvním krokem při výpočtu ztrát je zvolení tepelné vodivosti a tepelné kapacity zeminy vyskytující se pod budovou. Lze vybírat ze standardních hodnot viz Tab. 4.

Typ zeminy	Tepelná vodivost λ [W/(mK)]	Tepelná kapacita v závislosti na objemu ρ_c [MJ/(m ³ K)]
Prašný jíl / hlína	1,5	3
Rašelina	0,4	3
Suchý písek / štěrk	1,5	1,5
Mokrý písek / štěrk, jíl	2	2
Jíl nasycený vodou	3	3
Skalní hornina	3,5	2

Tab. 4 Tepelná vodivost a tepelná kapacita různých typů zeminy

Pro náš případ volíme hodnoty pro „Mokrý písek / štěrk, jíl“. Dále je nutné zadat plochu a obvod základové desky, pro kterou provádíme výpočet. Pro náš případ je plocha základové desky 101,5m² a její obvod činí 40,5m. Z listu „U-hodnoty“ zadáme do buňky „Součinitel U“ podlahové desky hodnotu 0,136 W/(m²K). V tabulce „Druh podlahové desky“ volíme možnost „Podlahová deska na zemině“. Dalším krokem je definování izolace podlahové desky, ta je provedena extrudovaným polystyrenem o tloušťce 250mm. Tepelná vodivost polystyrenu je uvedena v listu „Materiály“. Při výpočtu tepelných ztrát podlahou jsou zohledněny ztráty tepelnými mosty. Hodnoty jsou automaticky převedeny z listu „Plochy“. Pokud máme dostupné údaje o podzemní vodě v místě výstavby a hloubka spodní vody je menší než 3m, je nutné ve výpočtu zahrnout vliv ztrát způsobených spodní vodou. Pro náš případ je počítáno s hloubkou spodní vody 3m a rychlostí toku 0,05m/d. Ze zadaných hodnot

je poté automaticky určen korekční faktor.

Výstupem listu „Zemina“ jsou 3 výsledky, první udává redukční faktor zeminy pro list „Teplota pro vytápění“. Druhým výstupem je návrhová teplota zeminy pro list „Topná zátěž“ a poslední výstup udává teplotu pro výpočet chladicí zátěže.

2.2.7 List „Okna“

Tento list slouží k výpočtu tepelných zisků a tepelných ztrát okny v plášti budovy. V listu „Okna“ je automaticky prováděn výpočet součinitele U oken, slunečního ozáření oken a redukčních faktorů.

Pro získání správných výpočtů je nutné zadat několik vstupních hodnot. První z nich je odchylka jednotlivých oken od severu a odchylka od horizontály. Pro okna směřující na sever je tedy odchylka 0° . Pro svisle umístěná okna je odchylka od horizontály 90° . Dle předané stavební dokumentace byly zadány odchylky všech oken od severu a horizontály. Dalším ručně zadávaným parametrem jsou rozměry jednotlivých oken. Další potřebné parametry pro výpočet je již možné vybrat z roletových nabídek. Jedná se o přiřazení jednotlivých oken odpovídajícím stěnám budovy, dále se jedná o druh zasklení a typ rámu. Z námi zadaných hodnot je v listu proveden výpočet součinitele U_w oken dle vzorce (2.3).

$$U_w = \frac{1}{A_w} \cdot [U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + I_g \cdot \Psi_{okrajkskla} + I_f \cdot \Psi_{osazení}] \quad (2.3)$$

A_w : celková plocha okna (m^2)

A_g : plocha zasklení (m^2)

A_f : plocha rámu (m^2)

U_g : součinitel U zasklení (W/m^2K)

U_f : součinitel U rámu (W/m^2K)

I_g : obvod zasklení (m)

I_f : obvod okenního rámu (m)

$\Psi_{okrajkskla}$: součinitel ztrát tepelnými mosty osazením skla do rámu (W/mK)

$\Psi_{osazení}$: součinitel ztrát tepelnými mosty osazením okna (W/mK)

Hodnoty součinitelů U_g , U_f , $\Psi_{okrajkskla}$, $\Psi_{osazení}$ jsou zadány pro jednotlivé typy oken v listu „OknaTyp“. Dále je proveden výpočet činitele redukce pro solární zisky dle vzorce (2.4).

$$F = F_s \cdot F_{znečnečist} \cdot F_{nekolmý} \cdot F_f \quad (2.4)$$

- F_s : součinitel zastínění z listu „Zastínění“
- $F_{znečištění}$: činitel redukce zohledňující znečištění oken, standardně používána hodnota 0,95
- $F_{nekolmý}$: činitel redukce zohledňující snížený prostup záření u nekolmého dopadu záření na plochu okna, standardně používána hodnota 0,85
- F_f : činitel redukce zohledňující podíl neprůsvitných okenních ploch

Výstupem z listu „Okna“ jsou hodnoty tepelné ztráty způsobené okny a hodnoty tepelných zisků ze solárního záření. Pro náš modelový příklad vychází tepelné zisky 3471kWh ročně a tepelné ztráty dosahují 2871kWh ročně.

Volba typu oken a rámu značně ovlivňuje celkovou bilanci objektu. Podrobněji bude ovlivnění roční potřeby tepla na vytápění objektu volbou oken popsáno v kapitole 3.

2.2.8 List „Zastínění“

V tomto listu je proveden výpočet faktorů určujících zastínění oken. Vypočtené hodnoty se promítají pouze do topné sezóny. Součinitel zastínění F_s je určen dle vzorce (2.5).

$$F_s = F_H \cdot F_L \cdot F_{nad} \cdot F_{další} \quad (2.5)$$

- F_H : součinitel zohledňující zastínění řadou domů (-)
- F_L : součinitel zohledňující zastínění ostěním oken nebo jinými vertikálními prvky (-)
- F_{nad} : součinitel reprezentující zastínění horizontálními prvky nad okny (-)
- $F_{další}$: součinitel reprezentující ostatní stínící prvky (-)

Vstupní data listu obsahují výšku a vzdálenost objektů, které mohou způsobit stínění, od budovy. Dále obsahuje rozměry okrajů zasklení a přesahů konstrukčních prvků nad okny.

Výstupem tohoto listu je hodnota výše uvedeného součinitele zastínění F_s , která je zohledněna v listu „Okna“ při výpočtu solárních zisků.

2.2.9 List „Větrání“

V první části listu „Větrání“ je prováděno zadávání a výpočet hodnot potřebného množství vzduchu odváděného a přiváděného větrací jednotkou. Při návrhu řízeného větrání budovy je nutné dbát na správné dimenzování výkonu jednotky. V praxi stále běžně dochází k případům, kdy je jednotka dimenzována či provozována na příliš vysoký výkon. Z tohoto důvodu poté dochází ke zvýšené spotřebě elektrické energie, větším tepelným ztrátám a nadměrnému vysoušení vzduchu v topné sezóně.

Vstupními hodnotami listu „Větrání“, které je nutné zadat, jsou vnější přívod vzduchu na osobu, který udává množství vzduchu, které je třeba přivést do objektu za jednu hodinu na jednu osobu. Dle DIN 1946 je pro byty nutné přivést $30\text{m}^3/\text{h}$ na osobu. Dále se specifikují místnosti, ve kterých dochází k odvodu vzduchu. Pro naši budovu specifikujeme kuchyň, koupelnu, WC a sprchu. Do programu je dále zadáno množství odváděného vzduchu z dané místnosti odpovídající DIN 1946. Pro kuchyň zadáváme $60\text{m}^3/\text{h}$, pro koupelnu $40\text{m}^3/\text{h}$ a pro WC a sprchu $20\text{m}^3/\text{h}$. Ze zadaných hodnot získáme celkové množství vzduchu, které je nutné odvést za jednu hodinu tzv. návrhový objemový tok. Pro náš případ dostáváme $140\text{m}^3/\text{h}$. Jedná se ovšem o maximální hodnotu, která by byla využitelná jen při nepřerušovaném využívání místností. Skutečné množství vzduchu, které je třeba odvést je určeno hodnotou průměrné výměny vzduchu, která zohledňuje skutečné využívání místností. V obytných budovách tuto hodnotu dostaneme vynásobením maximálního množství potřebného odváděného vzduchu koeficientem 0,77, který zohledňuje využívání místností v průběhu dne. Po provedení této korekce dostaneme pro naši budovu hodnotu průměrné výměny vzduchu $110\text{m}^3/\text{h}$. Ověření, zda tato hodnota vyhovuje hygienickým podmínkám, je provedeno výpočtem intenzity výměny vzduchu dle vzorce (2.6).

$$n_{L,\text{system}} = \frac{V_{PR}}{V_L} \quad (2.6)$$

V_{PR} : hodnota průměrné výměny vzduchu (m^3/h)

V_L : větrací objem prostoru (m^3)

Z hygienických důvodů by neměla být hodnota intenzity výměny vzduchu nižší než $0,3\text{h}^{-1}$. Pro naši budovu, s průměrnou výměnou vzduchu $110\text{m}^3/\text{h}$, je hodnota intenzity výměny vzduchu $0,3\text{h}^{-1}$. Navržená hodnota průměrné výměny vzduchu tedy splňuje hygienické podmínky pro obytné domy. Výsledek této části je dále zahrnut ve výpočtech v listu „Teplo pro vytápění“.

V druhé části listu „Větrání“ je určena intenzita výměny vzduchu infiltrací v důsledku netěsností v obálce budovy. Dle EN 13790 se tato hodnota určí dle vzorce (2.7).

$$n_{L,Res} = n_{50} \cdot e \cdot \frac{V_{n50}}{V_L} \quad (2.7)$$

n_{50} : výsledek tlakové zkoušky (při návrhu používáme max možnou hodnotu $0,6\text{h}^{-1}$) (h^{-1})

e : součinitel větrné expozice, viz Tab. 5 (-)

V_{n50} : čistý objem vzduchu – hodnota použitá pro tlakovou zkoušku (m^3)

V_L : větrací objem prostoru (m^3)

Součinitel větrné expozice	Více stran vystavených větru	Jedna strana vystavená větru
Bez ochrany	0,10	0,03
Mírná ochrana	0,07	0,02
Velká ochrana	0,04	0,01
Součinitel f	15	20

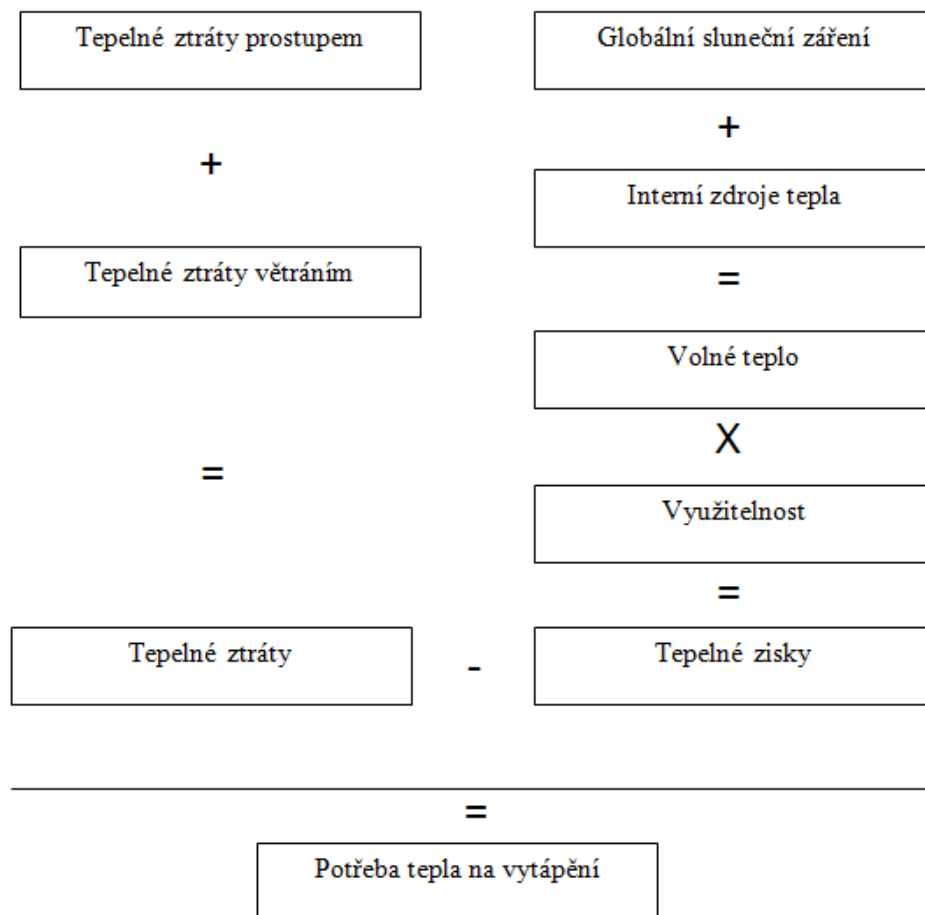
Tab. 5 Součinitelé větrné expozice

Pro naši budovu volíme součinitel pro prostředí bez ochrany a budova je vystavena větru z více stran. Hodnota součinitele větrné expozice se pro použití při výpočtu topné zátěže zvětší 2,5 násobně vzhledem k zvýšenému náporu větru. Výsledek této části je dále zahrnut ve výpočtech v listu „Teplo pro vytápění“ a „Topná zátěž“.

Poslední část listu „Větrání“ se zabývá efektivní účinností rekuperace tepla větrací jednotky. Rekuperační jednotka může být umístěna vně i uvnitř tepelné obálky. Dle projektové dokumentace volíme možnost umístění rekuperační jednotky uvnitř tepelné obálky. Dalším krokem je volba rekuperační jednotky. Na výběr máme několik předdefinovaných a certifikovaných typů jednotek, nebo máme možnost si jednotku nadefinovat ručně dle dokumentace výrobce námi zvolené jednotky. Jednotky se liší zejména v účinnosti rekuperačního výměníku a vlastní spotřebě elektrické energie. Podrobněji bude ovlivnění roční potřeby tepla na vytápění objektu volbou rekuperační jednotky popsáno v kapitole 3. Na celkovou účinnost výměníku tepla mají velký vliv tepelné toky v přívodních a odvodních kanálech vzduchu. Proto je třeba specifikovat průměr, délku a typ použité izolace těchto kanálů. Pro náš případ jsou použity 2 kanály, jeden přívodní a odvodní, oba o délce 2m, průměru 110mm a použita je izolace o tloušťce 34mm a tepelné vodivosti 0,04W/(mK). Ze zadaných parametrů jsou určeny tepelné vodivosti kanálu, které jsou dále zahrnuty do výpočtu efektivní účinnosti rekuperačního výměníku. V případě realizace zemního výměníku tepla je v tomto listu možnost zahrnout jeho účinnost do výpočtu. Vliv použití zemního výměníku na roční potřebu tepla na vytápění bude popsán v kapitole 3.

2.2.10 List „Teplo pro vytápění“

V listu „Teplo pro vytápění“ je provedena výpočetní metoda dle PHPP, jejímž výsledkem je množství roční potřeby tepla na vytápění na m^2 . Vstupní hodnoty tohoto listu jsou automaticky brány z listů předešlých. Schéma výpočtu potřeby tepla na vytápění je vidět na Obr. 9.



Obr. 9 Schéma výpočtu energetické bilance

Tepelné ztráty prostupem se určují pro každou stavební konstrukci zvlášť dle vzorce (2.8).

$$Q_T = A \cdot U \cdot b_j \cdot D_t \quad (2.8)$$

A: plocha stavební konstrukce (z listu „Plochy“) (m^2)

U: součinitel U stavební konstrukce (z listu „Plochy“) ($\text{W}/\text{m}^2\text{K}$)

b_j : redukční faktor pro snížené rozdíly teplot (z listu „Plochy“) (-)

D_t : časový integrál rozdílu teplot tzv. denostupně (z listu „Klimadata“) (kKh/a)

Tepelné ztráty větráním se určí podle vzorce (2.9).

$$Q_V = V_V \cdot n_V \cdot c \cdot D_t \quad (2.9)$$

V_V : větrací objem prostoru (m^3)

n_V : energeticky účinná intenzita výměny vzduchu (-)

c: měrná tepelná kapacita vzduchu ($\text{Wh}/\text{m}^3\text{K}$)

D_t : časový integrál rozdílu teplot tzv. denostupně (z listu „Klimadata“) (kKh/a)

Energeticky účinná intenzita výměny vzduchu se určí dle vzorce (2.10).

$$n_L = n_{L,\text{system}} \cdot (1 - \Phi_{rek}) + n_{\text{infiltrace}} \quad (2.10)$$

$n_{L,\text{system}}$: průměrná intenzita výměny vzduchu určená v listu „Větrání“ (-)

Φ_{rek} : účinnost přípravy tepla rekuperačního výměníku tepla (-)

$n_{\text{infiltrace}}$: intenzita výměny vzduchu infiltrací zbytkovými netěsnostmi z listu „Větrání“ (-)

Účinnost výměny tepla rekuperačního výměníku tepla Φ_{rek} se určí ze vzorce (2.11).

$$\Phi_{rek} = 1 - (1 - \eta_{eff}) \cdot (1 - \eta_{zvt}) \quad (2.11)$$

η_{eff} : efektivní účinnost výměníku tepla se započítáním tepelných ztrát v rozvodech z listu „Větrání“ (-)

η_{zvt} : účinnost zemního výměníku tepla z listu „Větrání“ (-)

Celkové tepelné ztráty se pak určí jako součet ztrát prostupem a větráním:

$$Q_L = Q_T + Q_V \quad (2.12)$$

Q_T : tepelné ztráty prostupem (kWh/a)

Q_V : tepelné ztráty větráním (kWh/a)

Interní zdroje tepla se určí z paušální hodnoty pro rodinné domy, která činí 2,1W na m² upravené podlahové plochy. Interní zdroje tepla jsou uvažovány jen pro dny topné sezóny.

Tepelné zisky vznikající dopadajícím tepelným zářením okny do budovy se určí dle vzorce (2.13).

$$Q_S = F \cdot g \cdot A_o \cdot G \quad (2.13)$$

F: činitel redukce z listu „Okna“ (-)

g: celková propustnost slunečního záření zasklením z listu „Okna“ (-)

A_o : celková plocha oken (m²)

G: globální sluneční záření v topné sezóně z listu „Okna“ (pro každou světovou stranu zvlášť) (kWh/m²a)

Tepelné zisky, které jsou k dispozici, se poté určí jako součet interních zisků tepla a zisků tepla ze solárního záření ve dnech vytápění, viz vzorec (2.14).

$$Q_F = Q_I + Q_S \quad (2.14)$$

Q_I : teplo z interních zdrojů (kWh/a)

Q_S : teplo získané ze slunečního záření (kWh/a)

Využitelné tepelné zisky se posléze určí dle rovnice (2.16) z vypočteného volného tepla a z hodnoty využitelnosti tepelných zisků, ta udává podíl volného tepla, které lze využít pro vytápění volného prostoru. Stupeň využitelnosti volného tepla se určí dle vzorce (2.15).

$$\eta_G = \frac{1 - (Q_F / Q_V)^5}{1 - (Q_F / Q_V)^6} \quad (2.15)$$

Q_F : volné teplo (kWh/a)

Q_V : celkové tepelné ztráty (kWh/a)

$$Q_G = Q_F \cdot \eta_G \quad (2.16)$$

Výstupní hodnotou tohoto listu je hodnota spotřeby tepla na vytápění určená dle vzorce (2.17).

$$Q_H = Q_L + Q_G \quad (2.17)$$

Q_L : celkové tepelné ztráty (kWh/a)

Q_G : využitelné tepelné zisky (kWh/a)

Jak již bylo v předchozích kapitolách zmíněno, jednou z podmínek pro splnění standardu pasivních budov je hodnota spotřeby tepla na vytápění menší než 15kWh/(m²a).

2.2.11 List „Topná zátěž“

V listu „Topná zátěž“ je vypočítán potřebný výkon zdroje tepla a provedena kontrola schopnosti vytápění pasivního domu pouze větrací jednotkou a to výpočtem maximální topné zátěže budovy pro nejchladnější dny v roce. Vstupními hodnotami tohoto listu jsou údaje o klimatu automaticky převzaté z listu „Klimatické údaje“, stavební a technické parametry tepelné obálky a větracího systému jsou automaticky převzaty z listu „Teplo pro vytápění“. Výpočet je proveden pro 2 základní typy klimatických podmínek. Jedná se o tzv. studený, jasný den a o mírný, zatažený den. Pro studený den je počítáno s venkovní teplotou -15,5°C a s vyššími solárními zisky, pro mírný den je použita venkovní teplota -12,5°C a nižší solární zisky.

Prvním krokem v tomto listu je určení celkových tepelných ztrát, které se skládají ze ztrát prostupem stavební konstrukcí a ztrát větráním. Ztráty prostupem stavební konstrukcí se určují pro každý prvek zvlášť dle vzorce (2.18) a celkové ztráty prostupem jsou poté určeny

jako suma jednotlivých ztrát pro každý stavební prvek.

$$P_T = A \cdot U_i \cdot b_j \cdot \Delta v_i \quad (2.18)$$

A: plocha stavebního prvku (m^2)

U_i : součinitel U pro daný stavební prvek (W/m^2K)

b_j : činitel redukce pro daný stavební prvek (obvykle $b_j=1$)

Δv_i : teplotní rozdíl dané stavební konstrukce pro jednotlivé typy počasí (hodnoty zadávané ve stupních Kelvina) (K)

Ztráty větráním se určí dle vzorce (2.19) pro jednotlivé typy počasí.

$$P_V = V_v \cdot n_v \cdot c_a \cdot \Delta v_i \quad (2.19)$$

V_v : větrací objem prostoru (m^3)

n_v : energeticky účinná intenzita výměny vzduchu (-)

c: měrná tepelná kapacita vzduchu (Wh/m^3K)

Δv_i : teplotní rozdíl dané stavební konstrukce pro jednotlivé typy počasí (hodnoty zadávané ve stupních Kelvina) (K)

Druhým krokem je určení celkových tepelných zisků, které se skládají ze solárních a vnitřních tepelných zisků. Celkové solární zisky se určí jako suma solárních zisků z jednotlivých světových stran pro oba typy klimatických podmínek pomocí vzorce (2.20).

$$P_S = A_i \cdot g \cdot F_i \cdot G_i \quad (2.20)$$

A_i : plocha oken směřujících na danou světovou stranu (m^2)

g: propustnost slunečního záření zasklením z listu „Okna“ (-)

F: činitel redukce z listu „Okna“ (-)

G: sluneční záření pro danou světovou stranu a typ klimatických podmínek (W/m^2)

Celkové vnitřní tepelné zisky se na rozdíl od předchozích výpočtů v tomto listu určí pomocí paušální hodnoty měrného výkonu p_i , který zohledňuje ojedinělé případy, kdy je například budova po určitou dobu bez obyvatel. Pro výpočty je použita hodnota měrného výkonu $1,6W/m^2$. Hodnota vnitřních tepelných zisků se určí dle vzorce (2.21).

$$P_i = A \cdot p_i \quad (2.21)$$

A: celková vytápěná plocha (m^2)

p_i : měrný výkon (W/m^2)

Celková topná zátěž je určena jako rozdíl tepelných ztrát a tepelných zisků dle vzorce (2.22).

$$P_H = (P_T + P_V) - (P_S + P_i) \quad (2.22)$$

P_T : celkové tepelné ztráty prostupem (W)

P_V : celkové tepelné ztráty větráním (W)

P_S : celkové solární tepelné zisky (W)

P_i : celkové vnitřní tepelné zisky (W)

Jak již bylo uvedeno na začátku této podkapitoly, slouží list „Topná zátěž“ k návrhu výkonu zdroje tepla a ke kontrole schopnosti vytápění budovy pouze pomocí větrací jednotky. Po výpočtu celkové topné zátěže je nutné určit, zda je větrací jednotka schopna tuto topnou zátěž pokrýt. Tepelný výkon, který je větrací jednotka schopna dodat, se určí dle vzorce (2.23).

$$P_{ae,max} = (\phi_{ae,max} - \phi_{ae,min}) \cdot c \cdot V_{L,system} \quad (2.23)$$

$\phi_{ae,max}$: max. teplota vnitřního přívodu vzduchu (°C)

$\phi_{ae,min}$: teplota vnitřního přívodu vzduchu bez dohřívání (°C)

c : měrná tepelná kapacita vzduchu (Wh/ m³K)

$V_{L,system}$: objemový tok vzduchu přepravený větracím systémem (m³/h)

Teplota vnitřního přívodu vzduchu bez dohřívání se určí z teploty čerstvého vzduchu a z účinnosti přípravy tepla větracího systému. Pro náš případ vychází $\phi_{ae,min} = 11,4^\circ\text{C}$ pro venkovní teplotu $-15,5^\circ\text{C}$ a $\phi_{ae,min} = 12,2^\circ\text{C}$ pro venkovní teplotu $-12,5^\circ\text{C}$. Pro naši stávající konfiguraci budovy poté vychází možnost přivést až 671W tepelného výkonu větrací jednotkou, pokud je jednotka vybavena elektrickým dohřevem vzduchu, topná zátěž budovy je ovšem rovna 3036W. Je tedy vidět, že podmínka $P_H \leq P_{ae,max}$ není splněna a je nutné doplnit větrací jednotku konvenčním zdrojem tepla.

2.2.12 List „Léto“ a list „Zastínění – léto“

List „Léto“ a list „Zastínění“ jsou určeny k výpočtům možného přehřívání interiéru budovy v letních měsících. Z provedených výpočtů vychází pravděpodobnost přehřívání interiéru 0%, a jelikož tato kapitola nemá v případě minimální pravděpodobnosti přehřívání vliv na spotřebu energie na vytápění pasivních domů, nebude v rámci této diplomové práce řešena.

2.2.13 List „Elektřina“

List „Elektřina“ slouží k výpočtu bilance elektrické energie v budově a zahrnuje většinu zařízení, které pro svoji činnost potřebují elektrickou energii. Výjimkou jsou zařízení pro přípravu teplé vody a tepla na vytápění, jejichž spotřeba je samostatně zohledněna v listu „Primární energie“ viz kapitola 2.2.14.

Mezi základní vstupní hodnoty tohoto listu patří počet osob v domácnosti, obytná plocha a potřeba tepla na vytápění. Tyto hodnoty jsou automaticky převedeny z předchozích listů. Další vstupní hodnoty jsou tvořeny určením způsobu využití běžných domácích elektrických přístrojů. Detailně jsou do výpočtu zahrnuty přístroje s největší spotřebou elektrické energie, jako je myčka, pračka, chladnička a elektrické vařiče. Pro jednotlivé spotřebiče je nutné zadat, zda se vyskytují uvnitř či vně tepelné obálky, dále je nutné zadat normovanou spotřebu, ta je udána jako spotřeba na jeden cyklus či den. Dále se u spotřebičů s potřebou teplé vody pro provoz specifikuje, zda je zařízení připojeno na přívod studené nebo teplé vody. Vliv této volby na celkovou spotřebu elektrické energie bude popsán dále v kapitole 3. Pro každý spotřebič je poté ze zadaných parametrů určena celková roční spotřeba elektrické energie dle vzorce (2.24).

$$E_{el} = V_{norm} \cdot f_{užit} \cdot h \cdot G \cdot f_{el} \quad (2.24)$$

V_{norm} : jmenovitá spotřeba příslušného spotřebiče (kWh/cykl)

$f_{užit}$: korekční faktor využití (obvykle 1)

h : četnost využití na vztažnou veličinu za rok (-)

G : vztažná veličina pro hodnotu h (počet osob, počet domácností)

f_{el} : podíl služby pokrytý elektrickou energií (-)

Ze součtu určených hodnot pro všechny elektrické spotřebiče je dále určena měrná spotřeba elektrické energie na m^2 vytápěné plochy dle vzorce (2.25).

$$e_{el} = \frac{E_{el}}{A_{TFA}} \quad (2.25)$$

A_{TFA} : vytápěná podlahová plocha (m^2)

Doporučená hodnota měrné spotřeby elektrické energie pro pasivní domy je $18 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$. Pro naši stávající konfiguraci domu vychází tato hodnota $16,4 \text{ kWh}/(m^2 \cdot a)$. V kapitole 3 budou popsány možnosti dalšího snížení této hodnoty.

Dalším krokem je určení spotřeby primární energie jednotlivých spotřebičů. Pro

spotřebiče, jejichž provoz je zajišťován výlučně elektricky, se tato hodnota určí vynásobením roční spotřeby elektrické energie E_{el} hodnotou faktoru primární energie pro elektřinu, jehož hodnota činí 2,7kWh/kWh. Pokud je provoz spotřebiče zajišťován částečně či úplně neelektricky, určí se pro spotřebič nejprve hodnota spotřeby neelektrické energie dle vzorce (2.26).

$$E_{ost} = V_{norm} \cdot f_{užit} \cdot h \cdot G \cdot f_{ost} \cdot (1 + v_{more}) \cdot e_{sys} \cdot (1 - f_{solar}) \quad (2.26)$$

f_{ost} : podíl služby pokrytý neelektricky (např. teplo z přípravy teplé vody a vytápění) (-)

v_{more} : relativní zvýšení spotřeby užitkové energie použitím neelektrické energie (-)

e_{sys} : účinnost výroby tepla otopného systému z listu „Primární energie“ (-)

f_{solar} : příspěvek solárního krytí (-)

Poté se hodnota spotřeby primární energie pro daný spotřebič určí dle vzorce (2.27).

$$E_{prim} = E_{el} \cdot p_{el} + E_{ost} \cdot p_{el} \quad (2.27)$$

p_{el} : faktor primární energie pro elektřinu (2,7kWh/kWh)

Ze součtu určených hodnot pro všechny elektrické spotřebiče je dále určena měrná spotřeba primární energie na m^2 vytápěné plochy dle vzorce (2.28).

$$e_{prim} = \frac{E_{prim}}{A_{TFA}} \quad (2.28)$$

Doporučená hodnota měrné spotřeby primární energie pasivních domů je 50kWh/(m^2 a). Do této hodnoty není zahrnuta energie spotřebovaná na přípravu teplé vody a na přípravu tepla pro vytápění. Pro naši stávající konfiguraci domu vychází tato hodnota 47,5kWh/(m^2 a).

2.2.14 List „Primární energie“

List „Primární energie“ slouží k výpočtu spotřeby primární energie budovy. Spotřeba primární energie udává celkové množství primární energie (včetně energie vynaložené na přepravu a zpracování energonositele) spotřebované na vytápění, přípravu teplé vody, pomocné energie a elektrické energie pro domácnost (el. spotřebiče viz list „Elektřina“).

List je rozdělen na několik sekcí. Každá sekce reprezentuje jiný zdroj tepla pro vytápění a ohřev teplé vody. Vstupní hodnoty zadávané uživatelem určují procentní podíl jednotlivých zdrojů tepla na krytí potřeby tepla na vytápění a potřeby teplé vody. V tomto listu tedy

dochází k volbě typu tepelného zdroje či kombinaci více zdrojů tepla pro výpočet spotřeby primární energie. Ostatní potřebné hodnoty pro výpočty jsou převzaty z listů předchozích.

Výstupní hodnotou tohoto listu je celková měrná spotřeba primární energie. Její hodnota, jak již bylo v předchozích kapitolách uvedeno, nesmí pro pasivní domy překročit $120\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

2.2.15 List „Kompaktní jednotka“

Tento list slouží k výpočtu účinnosti a potřeby primární energie kompaktních jednotek. Kompaktní jednotka v pasivních domech slouží k vytápění a přípravě teplé vody s využíváním principu tepelného čerpadla a zároveň slouží jako jednotka větrací. Při výběru kompaktní jednotky je tedy nutné brát ohled na potřebu tepla na vytápění a přípravu teplé vody a potřebné množství větracího vzduchu.

Vstupní hodnoty definující potřebu tepla na vytápění a přípravu teplé vody jsou automaticky převzaty z předchozích listů. Vstupními hodnotami, které jsou zadávány uživatelem, jsou zkušební hodnoty dané kompaktní jednotky, které dále slouží k výpočtu účinnosti zdroje tepla a konečné potřeby primární energie dané kompaktní jednotky. Mezi tyto hodnoty patří efektivní účinnost rekuperace tepla a elektrická účinnost. Tyto hodnoty jsou měřeny při vypnutém kompresoru, jednotka tedy funguje jen jako větrací zařízení. Zadávané hodnoty charakterizující jednotku při režimu vytápění jsou hodnoty pro více zkušebních bodů odlišujících se teplotou venkovního vzduchu. Minimálně jedna z nich musí být menší než -3°C . Pro každý bod je změřena hodnota tepelného výkonu při vytápění $P_{T\check{c},vyt}[\text{kW}]$ a hodnota topného faktoru při vytápění $\text{COP}_{vyt}[-]$, která udává poměr mezi vyprodukovaným teplem a spotřebovanou energií. Hodnota topného faktoru se obvykle pohybuje v rozmezí 2 – 5 a je zjištěna při laboratorním měření na jednotce, stejně jako ostatní zadávané hodnoty. Obdobně jsou zadávány hodnoty pro režim přípravy teplé vody. Hodnoty jsou opět zadávány pro několik zkušebních bodů odlišujících se teplotou. Stejně jako pro vytápění je nutné, aby jedna z teplot byla nižší než -3°C a zároveň jedna z teplot musí být vyšší než 20°C , jelikož jednotka v tomto režimu pracuje po celý rok na rozdíl od režimu vytápění. Zadávanými hodnotami pro jednotlivé teploty jsou měřené hodnoty tepelného výkonu při ohřátí $P_{DHW,vyhř}[\text{kW}]$ a dohřátí $P_{DHW,dohř}[\text{kW}]$ zásobníku teplé vody a hodnoty tepelného faktoru při ohřátí $\text{COP}_{DHW,vyhř}[-]$ a dohřátí $\text{COP}_{DHW,dohř}[-]$ zásobníku teplé vody. Ztráty v kompaktní jednotce jsou zahrnuty v hodnotě měrné tepelné ztráty zásobníkem vč. přípojek $U \cdot A_{zásobník} [\text{W} \cdot \text{K}^{-1}]$. Tato hodnota je opět zjištěna pomocí měření na zkušebním

zařízení. Příklad zadaných hodnot pro kompaktní jednotku Nilan 8722 viz Obr. 10.

Výstupními hodnotami listu jsou, jak již bylo výše zmíněno, účinnost zdroje tepla pro přípravu teplé vody a vytápění, konečná potřeba energie pro přípravu tepla a roční potřeba primární energie.

2 Nilan 8722 (9m)				
Měřené hodnoty z laboratorní zkoušky				
Větrání				
Efektivní účinnost rekuperace tepla	η_{tep} (měření na zkušebním zaříz.	77%		
Účinnost elektřiny	(měření na zkušebním zaříz.	0,43	Wh/m ³	
(Zadejte min. 2 - max. 4 zkušební body; tříděny podle T_a vzestupně)				
Vytápění		zkušební bod 1	zkušební bod 2	zkušební bod 3
Teplova venkovního vzduchu	T_{amb}	-7,0	2,1	7,1
Měřená hodnota tepelného výkonu při vytápění	$P_{\text{TC,vyt}}$	0,49	0,62	0,67
Měřená hodnota topného faktoru při vytápění	COP_{vyt}	2,43	2,55	2,78
(Zadejte min. 2 - max. 4 zkušební body; tříděny podle T_a vzestupně; zkušební bod při 20 °C povinný)				
Teplá voda		zkušební bod 1	zkušební bod 2	zkušební bod 3
Teplova venkovního vzduchu	T_{amb}	-6,9	1,9	7,2
Měřená hodnota tepelného výkonu při ohřátí zásobníku TV	$P_{\text{DHW,vyt}}$	0,51	0,72	0,89
Měřená hodnota tepelného výkonu při dohřátí zásobníku TV	$P_{\text{DHW,doh}}$	0,54	0,71	0,83
Měřená hodnota topného faktoru při ohřátí zásobníku TV	$\text{COP}_{\text{DHW,vyt}}$	2,11	2,60	3,08
Měřená hodnota topného faktoru při dohřátí zásobníku TV	$\text{COP}_{\text{DHW,doh}}$	1,94	2,50	2,80
Pohotovost (Zadání je nutné jen tehdy, liší-li se od dohřívání zásobníku)		zkušební bod 1	zkušební bod 2	zkušební bod 3
Teplova venkovního vzduchu	T_{amb}	-6,9	1,9	
Měřená hodnota tepelného výkonu v pohotovostním režimu	$P_{\text{TC,poh}}$	2,11	2,60	
Měřená hodnota topného faktoru v pohotovostním režimu	COP_{poh}	2,13	2,87	
Měrné tepelné ztráty zásobníkem vč. přípojek	$U \cdot A_{\text{zásobník}}$ (měření na zkušebním zaříz.	1,63		W/K
Průměrná teplota zásobníku v pohotovostním režimu	$T_{\text{DHW,poh}}$ (měření na zkušebním zaříz.	50,5		°C
Prioritní zapojení tepelného čerpadla	(prosím označte "X" vhodný údaj) (výroba, techn. údaje)	priorita teplé vody	x	priorita vytápění
Objemový tok přiměsí výstupního vzduchu (je-li použito)	$V_{\text{přim}}$ (měření na zkušebním zaříz.	0		m ³ /h

Obr. 10 Zadání zkušebních hodnot pro kompaktní jednotku

3 Analýza vlivu jednotlivých opatření na snížení spotřeby energie

V této kapitole se zaměřím na zhodnocení vlivu jednotlivých stavebních či technologických prvků navrhovaného pasivního domu. Zhodnocení vlivu jednotlivých opatření na spotřebu energie pasivního domu je provedeno v softwaru PHPP na modelovém pasivním domě, jež byl navrhnout v kapitole 2. *Návrh pasivního domu v programu PHPP.*

3.1 Stavební prvky

3.1.1 Obvodové zdi

Základní stavební konstrukcí každé budovy jsou samozřejmě obvodové zdi. Náš navrhovaný dům je navržen ze stavebního systému Kalksandstein. Nosná obvodová stěna v přízemí je dle předané stavební dokumentace tvořena vápenopískovým zdivem o tloušťce 175mm a izolací z polystyrenu EPS 100F o tloušťce 250mm. Obvodová stěna 2. nadzemního podlaží je tvořena zdivem o tloušťce 175mm a izolací z polystyrenu EPS 100F o tloušťce 300mm.

Použitý stavební systém Kalksandstein umožňuje, díky své vysoké pevnosti, značné zmenšení tloušťky zdiva. Díky tomu lze značně zvětšit šířku tepelné izolace. Pokud bychom pro stavbu domu použili např. tvárnice Ytong, které se vyznačují skoro 10x menší tepelnou vodivostí, museli bychom zmenšit tloušťku izolace o 20mm za účelem dodržení stejné pevnosti a tloušťky nosné obvodové zdi. I přestože se tvárnice Ytong vyznačují velmi dobrými tepelnými vlastnostmi, zmenšení tloušťky tepelné izolace polystyrenem má značné následky na celkový součinitel prostupu tepla. Při použití systému Kalksandstein s izolací tloušťky 250mm vychází součinitel prostupu tepla $0,118 \text{ W/m}^2\text{K}$. Při použití zdiva Ytong o tloušťce 375mm a izolace EPS 100F o tloušťce 50mm, vychází součinitel prostupu tepla $0,154 \text{ W/m}^2\text{K}$. Výsledkem náhrady systému Kalksandstein za tvárnice Ytong je zvýšení měrné potřeby tepla pro vytápění o 14%. I přes lepší tepelné vlastnosti tvárnic Ytong je tak jejich použití při stavbě našeho pasivního domu nevýhodné.

Použitá tepelná izolace z polystyrenu označeného EPS 100F má uvedenou tepelnou vodivost $0,036 \text{ W/mK}$. Pro danou konfiguraci domu vychází potřeba tepla pro vytápění pro izolaci EPS 100F $24,2 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Použitím tepelné izolace s nižší tepelnou vodivostí, kupříkladu izolace Isover EPS GreyWall Plus s tepelnou vodivostí $0,031 \text{ W/mK}$, můžeme dosáhnout snížení měrné potřeby tepla pro vytápění při stejné šířce izolace až o 7,9% na

hodnotu 22,3kWh/m²a.

Při návrhu domu máme možnost výběru z několika druhů materiálu pro omítku. Vzhledem k velmi malé tloušťce omítky, přibližně 6mm, se ovšem tepelné vlastnosti omítky promítnou do výsledné potřeby tepla na vytápění jen minimálně. Při použití omítky s 10x menší tepelnou vodivostí je změna potřeby tepla na vytápění přibližně 0,5%. Volbě omítky tedy není nutné při návrhu pasivních domů věnovat velkou pozornost.

3.1.2 Podlahová deska

Podlahová deska se skládá z několika vrstev. Základní vrstvou je vrstva železobetonu, dále vrstva polystyrenové izolace, mazaniny, mirelonu a vrchní dlažby.

Použitá tepelná izolace z polystyrenu EPS 100-Z má uvedenou tepelnou vodivost 0,036W/mK. Pro danou konfiguraci domu vychází potřeba tepla pro vytápění, při použití izolace EPS 100-Z, 21,9kWh/m²a. Použitím tepelné izolace s nižší tepelnou vodivostí, které je dosaženo přísadou grafitu, kupříkladu izolace Bachl Extrapor 150-S s tepelnou vodivostí 0,03W/mK, můžeme dosáhnout snížení měrné potřeby tepla pro vytápění při stejné šířce izolace až o 2,7% na hodnotu 21,7kWh/m²a. Volbou izolace tedy, stejně jako u obvodových zdí, můžeme snížit měrnou potřebu tepla na vytápění.

3.1.3 Střecha

Střecha budovy je realizována jako železobetonová. Izolace střechy je realizována dle projektu minerálními vlákny o celkové tloušťce 500mm. Použitá izolace minerálními vlákny má uvedenou tepelnou vodivost 0,048W/mK. Pro stávající konfiguraci domu vychází potřeba tepla pro vytápění 21,7kWh/m²a. Stejně jako u podlahové desky a obvodových zdí lze potřebu tepla na vytápění snížit volbou izolace s menší tepelnou vodivostí. Použitím polystyrenové izolace např. Synthos XPS Prime s tepelnou vodivostí 0,032W/mK, lze docílit snížení potřeby tepla na vytápění až o 7,8% na hodnotu 20kWh/m²a.

Jak je vidět, pokud při návrhu použijeme izolační materiály s menší tepelnou vodivostí, lze pouhou změnou izolace obvodových stěn, podlahové desky a střechy snížit potřebu tepla pro vytápění až o 17,4%. Limitem pro použití materiálů s lepšími vlastnostmi pro realizaci pasivní budovy je pouze cena.

3.1.4 Okna

Okna tvoří velmi důležitou část pasivního domu. Nejenže mají za úkol vytvářet příjemné

prostředí pro obyvatele z pohledu prosvětlení interiéru, ale hlavně slouží v chladnějších obdobích jako solární radiátory. Při výběru oken pro navrhovaný pasivní dům se tak snažíme dostat v celkové roční bilanci solárních zisků a ztrát prostupem tepla okny do kladných čísel. Kvalita okna nezáleží pouze na kvalitě zasklení, ale též na kvalitě rámu.

V listu „Okna“ máme možnost volby typu zasklení a rámu pro každé okno zvlášť. Výslednou hodnotou listu, které je třeba věnovat vyšší pozornost je hodnota součinitele U_w okna, která zahrnuje vliv vlastností zasklení a rámu. Dle normy ČSN 730540-2 by tato hodnota neměla překročit $0,8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Dosavadní návrh dané budovy je proveden při použití zasklení typu IBE Solar+. Tento typ zasklení má hodnotu součinitele propustnosti slunečního záření $g=0,5$ a součinitele $U_g=0,6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Typ rámu je zvolen Optiwin s rozlišením okna pevného a otvíratelného. Součinitel prostupu tepla tohoto typu rámu je $U_f=0,93\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Rozdíl mezi oknem otvíratelným a pevným je pouze v rozměrech rámu. Celkový součinitel prostupu tepla U_w tohoto typu okna se pohybuje v rozmezí od $0,72$ až $0,93\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, v závislosti na rozměrech okna. Je vidět, že je překročena doporučená hodnota činitele prostupu tepla U_w $0,8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, i přesto pro tuto konfiguraci jsou hodnoty solárních zisků vyšší než hodnoty ztrát prostupem tepla. Pro tuto konfiguraci vychází celková měrná potřeba tepla pro vytápění $20\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$.

Jako druhý navrhovaný typ zasklení volím typ Profi+ se čtyřkomorovým sklem. Tyto okna se vyznačují hodnotami součinitele propustnosti slunečního záření $g=0,24$ a součinitelů $U_g=0,23\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ a $U_f=0,76\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. I přestože hodnoty součinitelů prostupu tepla jsou oproti předcházejícímu typu oken výrazně nižší a celkový součinitel prostupu tepla U_w toho typu okna se pohybuje v rozmezí od $0,37$ až $0,65\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, dochází vzhledem k velmi nízkému činiteli propustnosti slunečního záření k výraznému poklesu solárních zisků, a to až na hodnotu nižší než hodnotu ztrát prostupem tepla. Pro tuto konfiguraci vychází celková měrná potřeba tepla pro vytápění $22,3\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$. Na tomto příkladu je vidět, že při výběru oken je důležité věnovat pozornost nejen hodnotám činitele prostupu tepla zasklením a rámem, ale také hodnotám činitele propustnosti slunečního záření, neboť solární zisky tvoří u pasivních domů velkou část zisků tepelných a pomáhají tak snižovat celkovou potřebu tepla na vytápění.

Jako další typ volím zasklení ze seznamu v programu PHPP označené LOW-E 0,51 Guardian. Toto zasklení je charakterizováno hodnotami součinitele propustnosti slunečního záření $g=0,52$ a součinitele $U_g=0,51\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Rám oken volím Optiwin Solarfassade

s hodnotou součinitele $U_f=0,69\text{W/m}^2\text{K}$. Celkový součinitel prostupu tepla U_w tohoto typu okna se pohybuje v rozmezí od 0,66 až 0,85 $\text{W/m}^2\text{K}$. Tato kombinace nám, i přes překročení hodnoty součinitele U_w 0,8 $\text{W/m}^2\text{K}$, poskytuje velmi dobrý výsledek tepelné bilance oken. Použitím oken s těmito parametry je docíleno snížení celkové měrné potřeby tepla pro vytápění až o 15% na hodnotu 17,1 $\text{kWh/m}^2\text{a}$.

Nejlepších výsledků lze tedy dosáhnout výběrem oken s hodnotami součinitele propustnosti slunečního záření $g>0,5$ a součinitele prostupu tepla zasklením $U_g<0,5$, zároveň je třeba vybírat okna s nízkým součinitelem prostupu tepla rámem.

3.1.4.1 Poloha oken vůči jihu

Jak již bylo v předchozích kapitolách řečeno, významnou část teplotních zisků budovy tvoří zisky solární. Pokud máme možnost umístit budovu na stavební parcele v libovolném směru, je pro nás výhodné věnovat pozornost i tomuto opatření. Při současném návrhu je uvažováno umístění budovy s odchylkou jižní strany od jihu o 4° směrem k východu. Při tomto umístění vychází pro dané klimatické podmínky hodnota celkové měrné potřeby tepla na vytápění 15 kWh/a . Celkové tepelné zisky ze solárního záření dosahují 3363 kWh/a . Postupným otáčením budovy směrem k západu dochází ke zvyšování zisků ze solárního záření a maximální hodnoty nabývají pro odchylku jižní strany budovy od jihu o 15°. Pro toto umístění dosáhneme snížení hodnoty celkové měrné potřeby tepla na vytápění na hodnotu 14,5 kWh/a a celkové tepelné zisky ze solárního záření dosahují 3455 kWh/a .

3.1.4.2 Rozměry oken

Celkové tepelné zisky ze solárního záření lze významně ovlivnit změnou velikostí oken. Při současném návrhu je plocha zasklení směrem na jih rovna 18,3 m^2 . Zvětšením šířky oken v přízemí a zvětšením šířky a výšky oken v patře lze zvětšit plochu zasklení na 20,7 m^2 . Díky zvětšení plochy zasklení klesla hodnota celkové měrné potřeby tepla na vytápění na 14 kWh/a . Celkové tepelné zisky ze solárního záření dosahují 3703 kWh/a . Při 13% zvětšení plochy zasklení na jižní straně došlo ke snížení hodnoty celkové měrné potřeby tepla na vytápění o 6,6%.

Zvyšováním plochy oken na ostatní světové strany již nemá významný vliv na hodnotu celkové měrné potřeby tepla na vytápění. Například při zvětšení plochy východního zasklení o 21% klesla hodnota celkové měrné potřeby tepla na vytápění o 0,8% na 13,9 kWh/a . Zvyšováním plochy severního zasklení dochází k nežádoucímu zvyšování hodnoty celkové

měrné potřeby tepla.

Při návrhu pasivních budov je třeba dbát na správný výběr typu zasklení a rámu a také správnou volbu plochy zasklení, která nám umožní dosáhnout co nejvyšších tepelných solárních zisků. Se zvyšováním plochy zasklení roste celková cena stavby a zároveň narůstá riziko přehřívání interiéru budovy v letních měsících. Je tedy třeba sledovat list chlazení a zvolit takovou plochu oken, která nezpůsobí nadměrné přehřívání a zároveň nám umožní dosáhnout požadovaných tepelných zisků.

3.1.5 Vzduchotěsná obálka

Vzduchotěsnost vnitřní obálky pasivního domu je jednou z nejdůležitějších vlastností pasivního domu a má znatelný vliv na celkovou potřebu tepla pro vytápění. Bohužel při návrhu pasivního domu nelze předem určit, jaké hodnoty vzduchotěsnosti bude při stavbě domu dosaženo. Při návrhu domu v programu PHPP je tedy doporučeno počítat s maximální dovolenou hodnotou vzduchotěsnosti pro pasivní domy, která je určena maximální intenzitou výměny vzduchu $0,6\text{h}^{-1}$. Pokud má ovšem projektant již praktické zkušenosti s konstrukčně podobnou budovou, lze při návrhu počítat s hodnotou intenzity výměny vzduchu nižší než maximální povolenou.

Na následujících příkladech uvedu jaký je rozdíl v celkové potřebě tepla pro vytápění pro 3 hodnoty intenzity výměny vzduchu. Výpočty jsou provedeny již se změnami v modelu provedenými v kapitole 3.2.1 Větrací jednotka. Pro hodnotu intenzity výměny vzduchu $0,6\text{h}^{-1}$ dostáváme hodnotu celkové měrné potřeby tepla pro vytápění $15\text{kWh/m}^2\text{a}$. Pro hodnotu intenzity výměny vzduchu $0,4\text{h}^{-1}$, jež je dnes v průměru u nově postavených pasivních budov dosahováno, dostáváme hodnotu celkové měrné potřeby tepla pro vytápění $13,7\text{kWh/m}^2\text{a}$. Jde tedy o rozdíl hodnot potřeby tepla na vytápění až 8,7%. U některých pasivních budov se dnes již můžeme setkat i s hodnotami intenzity výměny vzduchu nižšími než $0,2\text{h}^{-1}$. Pro tuto hodnotu dostáváme pro naši budovu hodnotu celkové měrné potřeby tepla pro vytápění $12,4\text{kWh/m}^2\text{a}$. Rozdíl potřeby tepla na vytápění oproti hodnotě při intenzitě výměny vzduchu $0,6\text{h}^{-1}$ činí až 17%.

Jak je vidět z provedených výpočtů, neprůvzdušnost obálky budovy má velký vliv na celkovou potřebu tepla pro vytápění, a je tedy důležité, aby byl při návrhu a stavebním provedení budovy kladen velký důraz na dosažení co nejmenší hodnoty neprůvzdušnosti.

3.2 Technologické prvky

3.2.1 Větrací jednotka

V dosavadním návrhu dané pasivní budovy je větrací jednotka realizována kompaktní jednotkou s tepelným čerpadlem. Tato jednotka slouží k vytápění, přípravě teplé vody a řízenému větrání. Pro tuto konfiguraci vychází celková měrná potřeba tepla na vytápění $17,1\text{kWh/m}^2\text{a}$.

Pokud nezvolíme použití kompaktní jednotky, je třeba použít zařízení pro přípravu teplé vody a tepla pro vytápění a zvláště větrací jednotku. Tento případ uvedu na následující modelové situaci.

V listu „Větrání“ volíme místo kompaktní jednotky jednu z nabízených větracích jednotek. Dříve použitá kompaktní jednotka byla charakterizována efektivní účinností rekuperace tepla 80% a SFP parametrem ventilátoru $0,4\text{Wh/m}^3$. Nyní zvolím větrací jednotku Climos 150 DC, která je svými parametry podobná uvedené kompaktní jednotce. Větrací jednotka dosahuje následujících parametrů: efektivní účinnost rekuperace tepla 78% a SFP parametr ventilátoru $0,41\text{Wh/m}^3$. Kompaktní jednotka, sloužící zároveň pro přípravu tepla pro vytápění a teplé vody, je nahrazena ve výpočtech kondenzačním plynovým kotlem. Pro tuto konfiguraci vychází celková měrná potřeba tepla na vytápění $16,7\text{kWh/m}^2\text{a}$ a měrná potřeba primární energie $112\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Nyní zvolíme větrací jednotku, která dosahuje lepších parametrů v oblasti účinnosti rekuperace tepla. Jednotka Thermos 200 DC je charakterizována efektivní účinností rekuperace tepla 87,7% a SFP parametrem ventilátoru $0,36\text{Wh/m}^3$. Pro tuto konfiguraci vychází celková měrná potřeba tepla na vytápění $15\text{kWh/m}^2\text{a}$ a měrná potřeba primární energie $109\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Náhradou kompaktní jednotky větrací jednotkou s vyšší účinností rekuperace tepla je možné snížit celkovou měrnou potřebu tepla pro vytápění až o 12%.

Vzhledem k tomu, že není třeba, aby jednotka pracovala neustále v režimu větrání se stejnou intenzitou výměny vzduchu, lze v programu PHPP rozdělit 24h pracovní cyklus větrací jednotky na několik režimů. Tyto režimy se odlišují hodnotou výměny vzduchu, a lze tak respektovat noční režim jednotky, kdy není po určitou dobu, vzhledem ke snížené fyzické aktivitě obyvatel, nutno dodržet hodnotu výměny vzduchu $0,3\text{h}^{-1}$. V dosavadním návrhu byl nastaven režim větrání jako standard, který je charakterizován 77% výkonu z maximální hodnoty výměny vzduchu a zaručuje dosažení minimální hodnoty výměny vzduchu $0,3\text{h}^{-1}$.

S nastavením tohoto režimu je hodnota celkové měrné potřeby tepla na vytápění $15\text{kWh/m}^2\text{a}$. Při nastavení 19h standardního režimu, 2h maximálního režimu charakterizovaného 100% výkonu z maximální hodnoty výměny vzduchu a 3h základního režimu charakterizovaného 54% výkonu z maximální hodnoty výměny vzduchu, dosáhneme hodnoty celkové měrné potřeby tepla na vytápění $14,9\text{kWh/m}^2\text{a}$. Hodnota měrné potřeby primární energie je pro obě situace shodná.

Potřebu tepla na vytápění lze také snížit použitím zemního výměníku tepla předřazeného větrací jednotce, který v zimním období zvyšuje teplotu nasávaného čerstvého vzduchu a tím snižuje spotřebu energie na vytápění v zimních měsících. Dle zdroje [8] je obvyklá účinnost zemního výměníku tepla 92%. Při zadání této hodnoty do programu PHPP se zvýší hodnota efektivní účinnosti rekuperace tepla na 88,4%, celková měrná potřeba tepla na vytápění klesne na hodnotu $14,1\text{kWh/m}^2\text{a}$ a měrná potřeba primární energie na hodnotu $108\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Použitím zemního výměníku tepla můžeme ročně ušetřit až 120kWh tepla na vytápění. Jeho využití vzhledem k vyšším pořizovacím nákladům není obvyklé, jak již bylo uvedeno v kapitole 1.5.2.

Jak je vidět z předcházejících návrhů větracího systému, je při výběru větrací jednotky hlavním faktorem, ovlivňujícím celkovou potřebu tepla pro vytápění, efektivní účinnost rekuperačního výměníku.

3.2.2 Solární kolektory

Program PHPP nám umožňuje určit příspěvek tepla pro ohřev teplé vody získaný ze systému solárních kolektorů. Výpočet příspěvku tepla pro vytápění solárními kolektory není v této verzi dostupný. Pro stávající konfiguraci domu není systém solárních kolektorů zahrnut. Použití solárních kolektorů příznivě ovlivní celkovou měrnou potřebu primární energie. Pro stávající konfiguraci domu, s ohřevem teplé vody pomocí plynového kondenzačního kotle, je tato hodnota rovna $109\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Při návrhu systému solárních kolektorů postupujeme následovně. Prvním krokem je výběr typu solárních kolektorů. Na výběr máme klasický plochý kolektor a vakuový trubicový kolektor. Rozdíl mezi těmito typy je v konstrukci, celkové účinnosti a v pořizovací ceně. Vakuový trubicový kolektor dosahuje lepších vlastností při získávání tepla i při menším slunečním svitu či nízkých venkovních teplotách, jeho pořizovací cena je ovšem dvojnásobná oproti klasickému plochému kolektoru. Pro první modelový případ volíme standardní plochý

kolektor. Dále volíme plochu kolektoru. Pro náš případ volíme 4 kusy kolektoru o celkové ploše $7,32\text{m}^2$. Uvažujeme kolektory umístěné na střeše na speciální konstrukci, odchylka od jihu je tedy 0° . Odchylku od vodorovné plochy volíme 50° , pro tuto hodnotu vychází největší solární příspěvek tepla. Dále je třeba zadat parametry stínění, pro naši modelovou budovu a umístění kolektorů na střeše neuvažujeme žádné stínící objekty. Dalším krokem je výběr zásobníku teplé vody. Na výběr máme opět několik typů zásobníků, lišících se svými tepelnými ztrátami a celkovým objemem. Pro první modelový příklad volíme jednoduchý zásobník, jehož celkové tepelné ztráty zásobníkem vycházejí 98W. Pro tuto konfiguraci je odhadovaný solární příspěvek na krytí přípravy teplé vody roven 60% a solární příspěvek tepla k užitkovému teplu dosahuje hodnoty 1927kWh/a. Použitím solárních kolektorů klesla hodnota celkové měrné potřeby primární energie o 14,6% až na 93 kWh/(m²a).

Na další modelové situaci si ukážeme použití dražších komponent systému solárních kolektorů. Při výběru typu solárního kolektoru volím vakuový trubicový kolektor. Bez zásahu do plochy kolektoru či jeho umístění na konstrukci dojde ke zvýšení odhadovaného solárního příspěvku na krytí přípravy teplé vody z 60% na 79% a solárního příspěvku tepla k užitkovému teplu z hodnoty 1927kWh/a na 2571kWh/a. Použitím těchto solárních kolektorů klesla hodnota celkové měrné potřeby primární energie o 6,5% na 87 kWh/(m²a). Použitím zásobníku vody s menšími tepelnými ztrátami, lze též ovlivnit solární příspěvek k přípravě tepla, ovšem zvýšení hodnoty solárního příspěvku tepla již není tak velké jako v případě použití jiného typu solárního kolektoru. Například při použití vrstveného zásobníku s tepelným výměníkem pro ohřev pitné vody, jehož celkové tepelné ztráty vycházejí 70W, dosáhneme navýšení solárního příspěvku tepla k užitkovému teplu pouze o 12kWh/a. Na hodnotu celkové měrné potřeby primární energie tedy použití kvalitnějšího zásobníku teplé vody nemá výrazný vliv.

Jak je vidět z předcházejících návrhů systému solárních kolektorů, lze použitím tohoto systému výrazně ovlivnit celkovou měrnou potřebu primární energie a to až o 20%. Parametrem, který při použití tohoto systému nejvíce ovlivňuje celkovou hodnotu potřeby primární energie, jsou celkové tepelné ztráty kolektoru.

3.2.3 Běžné elektrické spotřebiče

Další možností jak ovlivnit celkovou potřebu primární energie je volba běžných domácích spotřebičů v listu „Elektrina“. Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.5.5 pro pasivní domy je doporučeno používat spotřebiče třídy A či A+. Věnovat se tedy budu jiným

parametrům, které může projektant či investor ovlivnit.

Prvním z nich je použití myčky nádobí a pračky s přípojkou na teplou vodu, místo klasického použití přípojky pouze studené vody a elektrického ohřevu. Použitím spotřebičů s přípojkou na teplou vodu lze snížit hodnotu celkové měrné potřeby primární energie o 3,5% na 84kWh/(m²a).

Dalším parametrem, kterým lze výrazně ovlivnit spotřebu elektrické energie v budově, je osvětlení. Volit lze ze tří základních typů světelných zdrojů, klasické žárovky, kompaktní zářivky a LED zdroje. V listu „Elektřina“ je možné vliv spotřeby světelných zdrojů určit zadáním normované spotřeby pro jednu aplikaci zdroje odpovídající 720 Lumen. Při použití klasických žárovek o příkonu 60W je spotřeba elektrické energie na osvětlení 696kWh/a a celková hodnota měrné potřeby primární energie 92kWh/(m²a). Pro stejnou aplikaci lze použít kompaktní zářivku o příkonu 12W. Spotřeba elektrické energie na osvětlení je při použití kompaktních zářivek 139kWh/a a celková hodnota měrné potřeby primární energie 82kWh/(m²a). Pro stejnou aplikaci lze použít LED zdroj o příkonu 9W. Spotřeba elektrické energie na osvětlení je při použití LED zdrojů 104kWh/a a celková hodnota měrné potřeby primární energie 81kWh/(m²a).

Pokud použijeme spotřebiče s přípojkou teplé vody a LED zdroje osvětlení, snížíme hodnotu celkové měrné potřeby primární energie až o 6,9%. Je tedy vhodné věnovat pozornost při návrhu i běžným spotřebičům.

3.2.4 Fotovoltaické panely

List „Primární energie“ nám umožňuje určit možnou úsporu při použití fotovoltaických panelů.

Dle zdroje [6] vyrobí v našich podmínkách jižně orientovaný panel z každého Wp ročně zhruba 1 kWh. Pro ukázkou možné úspory elektrické energie použijeme pro navrhovanou budovu fotovoltaickou elektrárnu s 5-ti fotovoltaickými panely, každý o výkonu 250Wp. Pro tuto konfiguraci vychází roční množství vyprodukované elektrické energie 1250kWh. Použitím fotovoltaických panelů lze dosáhnout úspory měrné potřeby primární energie až 17kWh/(m²a).

3.2.5 Zdroje tepla

V kapitole 2.2.11 byl proveden výpočet topné zátěže budovy a kontrola schopnosti

vytápění budovy pouze větrací jednotkou. Dle výsledků listu „Topná zátěž“ je větrací jednotka schopna dodat tepelný výkon o hodnotě 507W, pokud by byla jednotka vybavena dohřevem větracího vzduchu. Hodnota topné zátěže objektu po optimalizaci spotřeby je ovšem 2534W. Z výsledků vyplývá nutnost použití dodatečného konvenčního zdroje tepla. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.2.14, zdroj tepla pro vytápění a teplou vodu je vybírán v listu „Primární energie“. V dosavadním návrhu budovy bylo počítáno se zdrojem tepla realizovaným kompaktní jednotkou a následně kondenzačním plynovým kotlem. V následujících několika odstavcích uvedu další možnosti přípravy tepla pro vytápění a přípravu teplé vody a jejich vliv na celkovou potřebu primární energie.

Stávající konfigurace budovy využívá pro přípravu tepla pro vytápění a teplé vody kondenzační kotel na plyn o výkonu 6kW s regulací výkonu od 2kW. Kondenzační plynové kotle se od klasických plynových kotlů odlišují vyšší účinností, které je dosaženo použitím speciálního tepelného výměníku. Pro tuto konfiguraci je hodnota celkové měrné potřeby primární energie 81kWh/(m²a). Dalším typem plynových kotlů pro vytápění rodinných domů je nízkoteplotní plynový kotel. Tyto kotle se vyznačují nižší provozní teplotou teplonosné látky. Při použití nízkoteplotního kotle o jmenovitém výkonu 6kW s regulací výkonu od hodnoty 2,4kW, dosáhneme hodnoty celkové měrné potřeby primární energie 83kWh/(m²a). Z plynových kotlů má tedy příznivější vliv na potřebu primární energie kotel kondenzační, díky jeho vyšší účinnosti přípravy tepla.

Další variantou při vytápění budov jsou kotle pro spalování dřeva. Při návrhu zdroje tepla v programu PHPP máme na výběr kotle pro spalování pelet či kusového dřeva s přímým i nepřímým výdejem tepla. Kotle se odlišují jak v úpravě pro daný typ paliva, tak jejich hodnoty účinnosti jsou odlišné. Při použití kotle pro spalování dřeva o navrhovaném výkonu 2kW a účinnosti 85% dosáhneme hodnoty celkové měrné potřeby primární energie 46kWh/(m²a). Takto razantní snížení potřeby primární energie není způsobeno menší spotřebou kotle, ale rozdílnou hodnotou faktoru energetické přeměny daného energonositele, který má na výpočet zásadní vliv. Faktor energetické přeměny pro dřevo je $0,2\text{kWh}_{\text{prim}}/\text{kWh}_{\text{end}}$, pro zemní plyn nabývá hodnoty $1,1\text{kWh}_{\text{prim}}/\text{kWh}_{\text{end}}$.

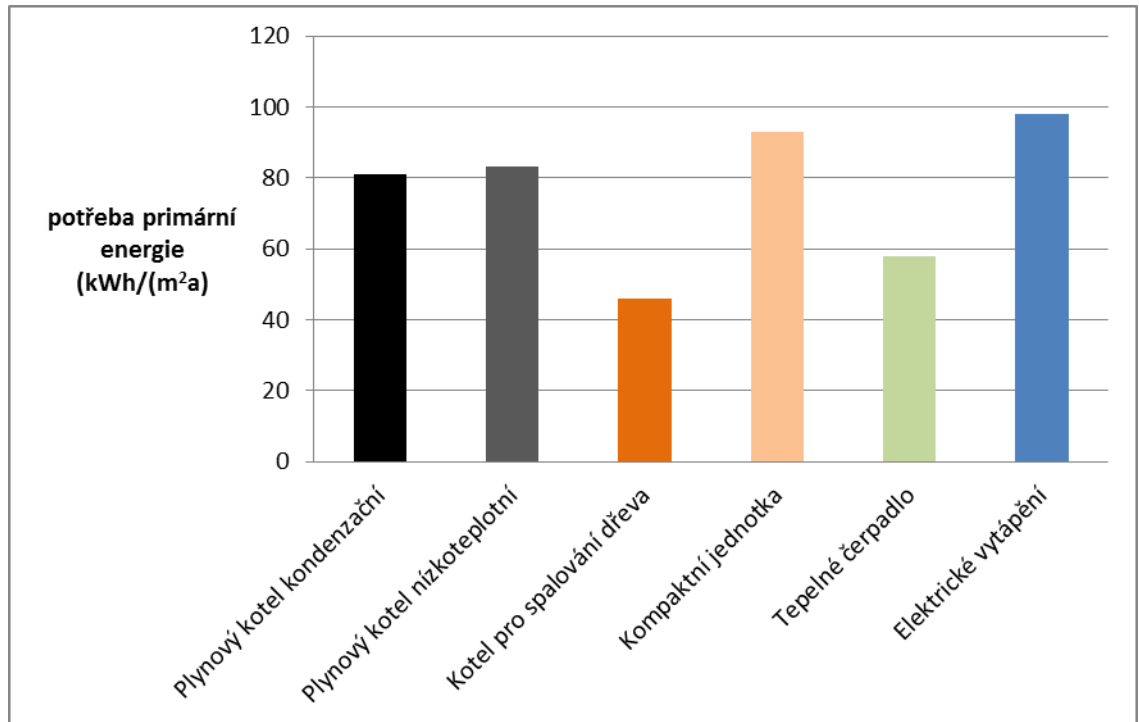
Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.2.1, lze pro přípravu tepla pro vytápění a teplé vody použít tzv. kompaktní jednotku, která slouží zároveň jako jednotka větrací. Při použití kompaktní jednotky o parametrech efektivní účinnosti rekuperace tepla 80% a SFP parametru ventilátoru 0,4Wh/m³ dosáhneme hodnoty celkové měrné potřeby primární energie

93kWh/(m²a) a zároveň zvýšení hodnoty měrné potřeby tepla pro vytápění na hodnotu 17,1kWh/(m²a). Tato konfigurace tedy není pro naši budovu z energetického hlediska výhodná.

Pro vytápění pasivních budov i budov klasických se v dnešní době často využívají tepelná čerpadla. Pro zhodnocení vlivu použití tepelného čerpadla na celkovou potřebu primární energie uvedu modelovou situaci vytápění navrhované budovy tepelným čerpadlem. Při návrhu vytápění tepelným čerpadlem v programu PHPP je třeba zadat pro daný systém roční topný faktor tepelného čerpadla a účinnost zdroje tepla. Uvažujeme systém tepelného čerpadla vzduch-voda. Pro dané klimatické podmínky a stavební situaci se roční topný faktor tepelného čerpadla obvykle pohybuje v rozmezí 2 – 3. Pro naši situaci zadáváme topný faktor rovný hodnotě 2,5. Účinnost zdroje tepla udává, kolik kWh elektřiny je potřeba na přípravu 1 kWh užitečného tepla. Tato hodnota je pro zvolené tepelné čerpadlo o výkonu 4,3kW rovna hodnotě 0,33. Pro tuto variantu vytápění dosáhneme hodnoty celkové měrné potřeby primární energie 58kWh/(m²a).

Vzhledem k velmi nízké topné zátěži navrhované budovy, lze při návrhu zdroje tepla pro vytápění uvažovat jako vhodnou variantu vytápění elektrické. V listu „Primární energie“ tedy zvolím 100% elektrické krytí potřeby tepla na vytápění. Pro přípravu teplé vody je použita kombinace elektrického ohřevu a solárních kolektorů. Pro tuto variantu vytápění dosáhneme hodnoty celkové měrné potřeby primární energie 98kWh/(m²a). V porovnání s přípravou tepla pro vytápění kondenzačním kotlem se jedná o navýšení spotřeby primární energie o 18%. Elektrické vytápění se vyznačuje nižšími náklady na realizaci ovšem vyššími provozními náklady, je tedy nutné zvážit, zda se prvotní úspora při realizaci vyplatí v dlouhodobém provozu budovy.

Přehledný souhrn vlivu použitého typu tepelného zdroje na hodnotu celkové měrné potřeby primární energie budovy je zobrazen v grafu na Obr. 11. Pokud chceme u navrhované budovy dosáhnout co nejnižší hodnoty celkové měrné potřeby primární energie, je výhodné použití kotle pro spalování dřeva či dřevěných pelet. Vhodné je též použití tepelného čerpadla, které poskytuje vyšší uživatelský komfort, a lze jeho použitím také dosáhnout velmi nízkých hodnot celkové měrné potřeby primární energie.



Obr. 11 Celková měrná potřeba primární energie budovy v závislosti na použitém zdroji tepla

Závěr

Úkolem této práce byl návrh a vyhodnocení opatření nebo technologie s největším vlivem na snížení spotřeby energie pasivního domu s použitím programu PHPP. Dům navržený dle zadané projektové dokumentace byl charakterizován celkovou měrnou potřebou tepla na vytápění $24,2\text{kWh/m}^2\text{a}$. Pro splnění certifikace pro pasivní domy musí být tato hodnota maximálně $15\text{kWh/m}^2\text{a}$, z čehož vyplývá, že bylo nutné udělat několik změn v provedení oproti zadané dokumentaci.

Razantní snížení hodnoty celkové měrné potřeby tepla na vytápění můžeme dosáhnout kombinací několika opatření. Prvním z nich je použití izolačních materiálů s menší tepelnou vodivostí. Změnou izolace obvodových stěn, podlahové desky a střechy, lze snížit potřebu tepla pro vytápění až o 17,4%. Druhým hlediskem, které výrazně ovlivní celkovou potřebu tepla na vytápění, jsou vlastnosti použitých oken. Použitím oken s lepšími parametry, lze dosáhnout snížení potřeby tepla pro vytápění až o 15%. Nejlepších výsledků lze dosáhnout výběrem oken s hodnotami součinitele propustnosti slunečního záření $g > 0,5$ a součinitele prostupu tepla zasklením $U_g < 0,5$. Důležitým parametrem při výběru oken je též jejich plocha a odchylka od jihu. Zvětšováním plochy oken na jižní straně budovy lze zvýšit solární tepelné zisky a díky tomu snížit celkovou měrnou potřebu tepla na vytápění budovy. Rozměry oken je třeba volit tak, aby nedocházelo k přehřívání budovy v letních měsících, a zároveň jsme získali co nejvyšší solární tepelné zisky. Třetím parametrem je typ použité větrací jednotky. V prvotním návrhu budovy bylo počítáno s použitím kompaktní jednotky, jež slouží jako jednotka větrací a zároveň jako zařízení pro přípravu tepla pro vytápění a přípravu teplé vody. Použití samostatné větrací jednotky s větší účinností rekuperace tepla, než jakou byla charakterizována kompaktní jednotka, a použití samostatného tepelného zdroje umožnilo snížení celkové potřeby tepla o 12%.

Pasivní domy musí splnit nejen podmínku potřeby tepla na vytápění menší než $15\text{kWh/m}^2\text{a}$, ale též hodnota celkové potřeby primární energie musí být menší než $120\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Hodnotu celkové potřeby primární energie ovlivňují výše zmíněné úpravy, které byly provedeny za účelem snížení celkové potřeby tepla na vytápění. Pro konfiguraci domu se samostatnou větrací jednotkou, kondenzačním kotlem, díky které bylo dosaženo hodnoty potřeby tepla pro vytápění $15\text{kWh/m}^2\text{a}$, je hodnota celkové potřeby primární energie rovna $109\text{kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Tato konfigurace domu již splňuje certifikaci pro pasivní domy. Pokud požadujeme další snížení hodnoty celkové potřeby primární energie, máme na výběr

z několika možných opatření. Prvním z nich je použití solárních kolektorů pro přípravu teplé vody a tepla pro vytápění. Program PHPP bohužel v použité verzi neumožňuje výpočet příspěvku tepla solárních kolektorů pro vytápění. Pro naši pasivní budovu byl navržen systém solárních kolektorů o ploše 7,32m², jeho použitím pouze pro přípravu teplé vody lze dosáhnout snížení celkové potřeby primární energie až o 20%. Další, dnes velmi rozšířenou možností snížení spotřeby budov, je použití fotovoltaických panelů. Pro navrhovanou budovu jsem zvolil fotovoltaickou elektrárnu s 5-ti fotovoltaickými panely, každý o výkonu 250Wp. Použitím této fotovoltaické elektrárny lze dosáhnout úspory měrné potřeby primární energie až 20%. Při volbě systému pro přípravu teplé vody máme dnes na výběr z další možnosti a tou je stejnosměrný ohřev vody v zásobníku. Stejnosměrný proud je v tomto případě získáván z fotovoltaických panelů. Výhodou tohoto systému je nižší hmotnost systému umístěného na střeše, absence potrubí prostupujícího vzduchotěsnou obálkou a možnost ohřevu teplé vody i při velmi nízkých venkovních teplotách. Nevýhodou je nižší účinnost, která je kompenzována větší plochou panelů, v porovnání se systémem solárních kolektorů. Při koupi domácích spotřebičů je u pasivních budov nutné brát ohled na jejich vliv na celkovou spotřebu energie budovy. Např. pokud použijeme spotřebiče s přípojkou teplé vody a LED zdroje osvětlení, snížíme hodnotu celkové měrné potřeby primární energie až o 6,9%.

Hodnotu celkové měrné potřeby primární energie lze výrazně ovlivnit volbou tepelného zdroje. Nejnížší hodnoty bylo dosaženo při použití kotle pro spalování dřeva, nejvyšší hodnoty bylo dosaženo použitím elektrického vytápění. Rozdíly jsou ovšem způsobeny rozdílnou hodnotou faktoru energetické přeměny daného energonositele, který má na výpočet zásadní vliv. Při výběru zdroje tepla je tedy vhodné se zaměřit na zhodnocení počáteční investice a provozních nákladů, než na výslednou hodnotu celkové potřeby primární energie.

Z výše uvedeného tedy vyplývá, že největší dopad na spotřebu energie pasivních domů mají použité izolační materiály a hodnota účinnosti rekuperace tepla použité větrací jednotky. Významně lze hodnotu celkové potřeby tepla pro vytápění též ovlivnit projektem a stavebním provedením budovy, které ovlivňuje hodnotu neprůvzdušnosti.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada, 2005, 193 s. Stavitel. ISBN 80-247-1101-X.
- [2] PASSIVE HOUSE INSTITUTE. Active for more comfort: Passive house [online]. 2014 [cit. 2014-10-27]. Dostupné z: www.passivehouse-international.org
- [3] Pasivní stavby. *Pasivní stavby s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2014-10-12]. Dostupné z: <http://www.pasivni-stavby.com>
- [4] NILAN [online]. 2014 [cit. 2014-11-28]. Dostupné z: www.nilan.cz
- [5] GRUNDFOS. *Thinking buildings universe* [online]. 2014 [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://cbs.grundfos.com>
- [6] *Stavebnictví3000* [online]. 2014 [cit. 2014-11-29]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz>
- [7] QPRO. *Technika prostředí* [online]. 2014 [cit. 2014-11-30]. Dostupné z: <http://www.qpro.cz>
- [8] Technická zařízení budov: Využití zemních výměníků tepla ve spojení se zařízením pro bytové větrání a rekuperaci tepla, TZB info [online]. 2005 [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/2772-vyuziti-zemnich-vymeniku-tepla-ve-spojzeni-se-zarizenim-pro-bytove-vetrani-a-rekuperaci-tepla>
- [9] Solární kolektory. *TZB info* [online]. 2005 [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory>
- [10] Solární energie. *ČEZ* [online]. 2014 [cit. 2014-12-22]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>
- [11] Obnovitelná energie a úspory energie: Fotovoltaika. *TZB info* [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika>
- [12] Fotovoltaická elektrárna. *Isofen energy* [online]. 2009 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaicka-elektrarna.aspx>
- [13] Solární elektrárny. *Solarenství* [online]. 2014 [cit. 2014-12-23]. Dostupné z: <http://www.solarencvi.cz/slunecni-elektrarny/produkty/instalace-na-klic/hybridni-system-grid-free-2-00-kwp-na-klic/>
- [14] Centrum pasivního domu. *Pasivní domy* [online]. 2014 [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379>
- [15] Le Maison Passive. *Le chauffage* [online]. 2014 [cit. 2014-12-25]. Dostupné z: <http://archicaro.pagesperso-orange.fr/chauffage.htm>

- [16] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [17] Nazeleno. *Energetika* [online]. 2014 [cit. 2014-12-26]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/>

Příloha C – Souhrn ploch

Souhrn							Přehled stavebních konstrukcí	průměrný souč. U [W/(m²K)]
skupina č.	skupina ploch	tepelná zóna	Plocha	Jedn.	Poznámka			
1	Vytápěná podlahová plocha		146,05	m²	Obytná plocha podle Woffli nebo užitková plocha podle DIN 277 uvnitř tepelné obálky		0,930	
2	Okna Sever	A	2,25	m²			0,799	
3	Okna Východ	A	13,90	m²			0,776	
4	Okna Jih	A	23,28	m²	Výsledky z listu "Okna".		0,822	
5	Okna Západ	A	2,50	m²				
6	Okna horizontální	A	0,00	m²				
7	Vnější dveře	A	0,00	m²	Odečtete prosím sami plochu dveří v příslušné stavební konstrukci			
8	Vnější stěna - vnější vzduch	A	203,97	m²	Plochy oken se odečítají od jednotlivých ploch uvedených v listu "Okna".		0,096	
9	Vnější stěna - zemina	B	0,00	m²	Teplotní zóna "A" je venkovní vzduch.			
10	Střecha/šrop - vnější vzduch	A	105,62	m²	Teplotní zóna "B" je zemina.		0,096	
11	Podlahová deska	B	101,53	m²			0,136	
12			0,00	m²	Mohou být použity teplotní zóny "A", "B", "P" a "X". NE "!"			
13			0,00	m²	Mohou být použity teplotní zóny "A", "B", "P" a "X". NE "!"	Faktor pro X		
14	Konstrukce k zádveři	X	18,11	m²	Teplotní zóna "X": Uvedte prosím číselní teplotní redukce (0 < b _i < 1):	1,00%	0,236	
15	Tepelné mosty vnější vzduch	A	73,55	m	úděle v bm		Ψ [W/(mK)]	
16	Tepelné mosty perimetr	os.	40,45	m	úděle v bm; teplotní zóna "P" je perimetr (viz list "Zemina").		-0,065	
17	Tepelné mosty základová deska	B	22,92	m	úděle v bm		0,011	
18	Stěna sousedící	I	0,00	m²	Bez tepelných ztrát, uvažuje se pouze v náhrnu topné zátěže		0,187	
Celkem tepelná obálka budovy							Průměrná hodnota tepelné	0,172