

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ
KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Porovnání spotřeby energie v pasivních domech a
v domech s téměř nulovou spotřebou energie**

Originál (kopie) zadání BP/DP

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na výpočet spotřeby energie v pasivním domě a budově s téměř nulovou spotřebou energie. Dále jsou v této práci rozebrány výsledky výpočtů podle pasivního standardu v programu PHPP a podle standardu pro budovy s téměř nulovou spotřebou v programu Energie. V závěru této práce jsou diskutovány rozdíly mezi těmito výpočty a přínos zavedení budovy s téměř nulovou spotřebou energie do české legislativy.

Klíčová slova

Pasivní dům, dům s téměř nulovou spotřebou energie, ztráty, zisky, izolace, PHPP, Energie

Abstract

The present Master's thesis is focused on calculation of energy consumption in passive houses and nearly zero energy houses. Additionally, there is also a description of the results of the energy consumption calculation according to passive house standards in a PHPP app and in an Energie app which calculates the consumption according to nearly zero energy house standard. In the last part of this thesis, there is a discussion about differences between both methods and analysis of the benefit of bringing the nearly zero energy houses into Czech Republic's legal framework.

Keywords

Passive house, nearly zero energy building, energy loss, energy gain, insulation, PHPP, Energie

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.

.....

V Plzni dne 9.5.2016

Oldřich Kučera

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu této práce panu Prof. Ing. Jiřímu Koženému CSc. a konzultantovi panu Václavu Švábovi za jejich čas, cenné a profesionální rady při tvoření této práce. Dále bych rád poděkoval své rodině za neutuchající podporu v mém téměř nekonečném studiu.

Obsah

OBSAH	8
ÚVOD	1
SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	2
1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI PASIVNÍCH A NULOVÝCH DOMŮ	3
1.1 DEFINICE	3
1.1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy	5
1.2 BILANČNÍ SCHÉMA	7
1.3 NÁSTROJE PRO DOSAŽENÍ PASIVNÍHO ČI NULOVÉHO STANDARDU	8
1.3.1 Orientace a umístění stavby	9
1.3.2 Tvar a dispozice domu	10
1.3.3 Tepelná izolace	10
1.3.4 Výplně otvorů	11
1.3.5 Vzduchotěsnost obálky a minimalizace tepelných mostů	12
1.3.6 Rekuperace tepla ventilací	14
1.3.7 Spotřebiče	15
1.4 ZDROJE ENERGIE	16
1.4.1 Elektřina	18
1.4.2 Tepelné čerpadlo	18
1.4.3 Biomasa	20
1.4.4 Solární energie	21
2 KALKULACE DOMU PODLE STANDARDU PASIVNÍHO DOMU V PROGRAMU PHPP	28
2.1 PROGRAM PHPP	28
2.2 VÝPOČET ENERGETICKÉ BILANCE	28
2.2.1 Úvod do programu PHPP	28
2.2.2 List „Hodnocení“	29
2.2.3 List „Plochy“	29
2.2.4 List „U-seznam“	30
2.2.5 List „U-hodnoty“	31

2.2.6	List „Materiály“	32
2.2.7	List „Zemina“	32
2.2.8	List „Okna“	33
2.2.9	List „OknaTyp“	35
2.2.10	List „Zastínění“	36
2.2.11	List „Větrání“	36
2.2.12	List „MěsíčníM“	38
2.2.13	List „TV+rozvody“	41
2.2.14	List „Elektřina“	41
2.2.15	List „PrimárníE“	43
3	KALKULACE NULOVÉHO DOMU POMOCÍ PROGRAMU ENERGIE	44
3.1	PROGRAM ENERGIE	44
3.2	VÝPOČET ENERGETICKÉ BILANCE.....	44
3.2.1	Popis objektu a klimatických podmínek	44
3.2.2	Popis jednotlivých zón.....	45
4	POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ.....	49
4.1	VÝSLEDKY VÝPOČTU V PROGRAMU PHPP	49
4.2	VÝSLEDKY VÝPOČTU V PROGRAMU ENERGIE LT	50
4.3	POROVNÁNÍ.....	51
5	PŘÍNOS NULOVÝCH BUDOV.....	54
6	ZÁVĚR	57
	POUŽITÁ LITERATURA:	58
	PŘÍLOHY	61

Úvod

Snaha o co nejbezpečnější a v pozdější době také co nejkomfortnější obydlí je součástí lidské kultury už odedávna. Domov je pro nás všechny místem odpočinku a relaxace. Tyto požadavky se v minulosti a současnosti příliš neliší, v dnešní době ale navíc do hry vstupují dva nové faktory, a to ekonomie a ekologie. Pasivní domy a domy s téměř nulovou spotřebou energie, stejně jako jejich vývojový předchůdce nízkoenergetický dům, se snaží skloubit všechny tyto faktory a nabídnout lepší vnitřní klima a zároveň snížit spotřebu energie na nezbytné minimum a zamezit tak plýtvání zdroji, které s postupujícím časem budou stále vzácnější.

První část je zaměřena na teoretický úvod do problematiky pasivních domů a domů s téměř nulovou spotřebou energie. V této kapitole je rozebrán princip těchto budov, jejich právní rámec a způsoby jak jejich standardů dosáhnout.

Ve druhé kapitole je proveden výpočet spotřeby budovy podle pasivního standardu v programu PHPP.

Obsahem třetí kapitoly je výpočet spotřeby též budovy, tentokrát podle standardu budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Výpočet je proveden v programu Energie.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány výsledky výpočtů, jejich porovnání a diskuze nad jejich rozdíly.

Pátá kapitola rozebírá přínos nulových budov zakotvených v evropské a české legislativě.

Seznam zkratk a symbolů

PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
CEVP	Celková energeticky vztažná plocha
LED	Light-emitting diod
PHPP	Passive house planning package
MPP	Maximum power point
OSB	Oriented strand board
COP	Coefficient of performance
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
n_{50}	intenzita výměny vzduchu při tlakovém rozdílu 50 Pa [l/h]
Q	teplo [kWh]
U	součinitel prostupu tepla [$W/m^2.K$]
λ	součinitel tepelné vodivosti [$W/(m.K)$]
ϵ_T	topný faktor [-]
R	tepelný odpor [m^2K/W]
ρc	tepelná kapacita v závislosti na objemu [$MJ/(m^3K)$]
b_j	činitel teplotní redukce [-]
g	celková propustnost slunečního záření [-]
d	tloušťka konstrukce [m]
A	plocha [m^2]
P	obvod [-]
Ψ	součinitel ztrát tepelnými mosty [$W/(mK)$]
D_t	časový integrál rozdílu teplot [kKh/a]
p	faktor primární energie [-]
E, e	energie [kWh/a], [kWh/m^2a]
l	délka, obvod [m]

1 Základní vlastnosti pasivních a nulových domů

1.1 Definice

V prvé řadě je důležité objasnit, co to obecně pasivní, respektive nulový dům je. Není žádná obecná definice těchto staveb ve smyslu předepsaného tvaru, či konstrukčních materiálů. Jediným měřítkem pro tyto budovy jsou jejich energetické bilance a stavební projektanti mají prakticky volnou ruku jak těchto cílů dosáhnout. Ostatně název „pasivní dům“ vychází z principu využívání pasivních tepelných zisků v budově. Jsou to vnější zisky ze slunečního záření procházejícího okny a zisky vnitřní – teplo vyzařované lidmi a spotřebiči. Díky tomu je logicky nejdůležitějším úkolem omezit na minimum energetické ztráty a maximalizovat energetické zisky. Společným jmenovatelem pro všechny tyto budovy je vysoká úroveň izolace, okna s dvojitým či trojitým zasklením, nízká úroveň průvzdušnosti konstrukce a vnitřní řízené větrání se zpětným ziskem tepla tzv. rekuperací.

- Passivhaus Institut v Darmstadtu definuje mezinárodně uznávaný standard pro pasivní domy následujícími požadavky:
- měrná roční potřeba tepla na vytápění je maximálně 15 kWh/m², nebo 10 W/m² okamžitého špičkového výkonu,
 - neprůvzdušnost obálky budovy n₅₀ ověřená zkouškou nesmí překročit hodnotu 0,6 h⁻¹, což znamená, že při přetlaku nebo podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit netěsnostmi v obálce více než 60 % vnitřního objemu vzduchu,
 - celková potřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů je nižší než 120 kWh/(m²). Primární energie představuje množství energie spotřebované při výrobě určitého zdroje včetně ztrát při distribuci. V případě elektřiny je nutné díky neefektivní výrobě při výpočtu primární energie vynásobit výsledek koeficientem 2,7, což v důsledku vyjadřuje i výši provozních nákladů vůči použitému zdroji energie,
 - tepelný komfort musí být zajištěn pro všechny obyvatelné místnosti, maximálně 10 % času obývání smí teplota překročit hodnotu 25 °C.

[6]

➤ Pojem „budova s téměř nulovou spotřebou energie“ byl zaveden ve směrnici 2010/31/EU, jejíž cíl 20-20-20 vyjadřuje záměr snížit emise skleníkových plynů o 20% a zvýšení podílu obnovitelných zdrojů o 20% do roku 2020 v porovnání s rokem 1990. Jedním z pilířů této směrnice je požadavek, aby do 31.12.2020 byly všechny nově postavené budovy „budovami s téměř nulovou spotřebou energie. V ČR byl tento pojem zaveden od 1.1.2013 zákonem č. 318/2012 Sb. Stejně jako pasivní domy, i tyto nově postavené budovy musí splňovat určité podmínky, které jsou splněny, pokud hodnoty následujících ukazatelů nepřekročí referenční hodnoty ukazatelů stanovených pro referenční budovu:

- neobnovitelná primární energie za rok nižší o 25 % (pro rodinné domy), o 20 % (pro bytové domy) a o 10 % (pro ostatní budovy), než u referenční budovy,
- celková dodaná energie do budovy za rok,
- průměrný součinitel prostupu tepla 0,7násobek hodnoty požadovaného součinitele prostupu tepla dle vyhlášky 78/2013 Sb.

[9]

Termíny zavádění budov s téměř nulovou spotřebou energie pro bytové, rodinné a administrativní budovy jsou následující:

- od 1. ledna 2018 - pro domy s podlahovou plochou větší než 1 500 m²
- od 1. ledna 2019 – pro domy s podlahovou plochou větší než 350 m²
- od 1. ledna 2020 – pro domy s podlahovou plochou menší než 350 m²

Termíny pro nové budovy veřejné správy:

- od 1. ledna 2016 – pro domy s podlahovou plochou větší než 1500 m²
- od 1. ledna 2017 – pro domy s podlahovou plochou větší než 350 m²
- od 1. ledna 2018 – pro domy s podlahovou plochou menší než 350 m²

Referenční budova je výpočtově definovaná budova stejného druhu, geometrického tvaru a velikosti, včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, ale s referenčními hodnotami vlastností budovy. U referenční budovy se počítá s nulovou vlastní produkcí elektrické energie a nulovým využitím obnovitelných zdrojů energie. Zda

dům splňuje podmínky domu s téměř nulovou spotřebou energie, se řeší vždy odborným výpočtem a dokládá průkazem energetické náročnosti domu dle novely vyhlášky 148/2007. [1][2][8]

1.1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budovy, zkráceně PENB, je zhodnocení budovy z energetického hlediska. Na Obr. 1 je vyobrazeno grafické znázornění průkazu energetické náročnosti budovy. PENB vychází z evropské směrnice 2002/91/ES a je zaveden i v ostatních členských státech Evropské unie. Je stanoven v souladu s vyhláškou č 78/2013 Sb. Průkaz energetické náročnosti zahrnuje:

- protokol k energetickému průkazu budovy shrnující údaje popisující tepelné chování budovy a její obálky,
- energetický průkaz budovy klasifikující prostup tepla obálkou budovy a její grafické znázornění.

[3]

Dle aktuálního (ke dni 25.11.2015) znění zákona č. 103/2015 Sb., který novelizuje zákon č. 406/2000 Sb. je PENB povinný pro:

- všechny novostavby nezávisle na jejich velikosti, stejně tak pro každého majitele, který svoji nemovitost pronajímá nebo ji výrazněji renovuje. Výraznější renovací se rozumí rekonstrukce alespoň 25 % obalové plochy budovy,
- při prodeji budovy nebo její ucelené části a při pronájmu domu,
- budovy užívané orgány veřejné správy s celkovou energeticky vztažnou plochou (CEVP) větší než 500 m²,
- stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP větší než 1 500 m²,
- budovy užívané orgány veřejné moci s CEVP větší než 250 m²,
- od 1. ledna 2016: Při pronájmu ucelené části budovy (bytu, nebytového prostoru) včetně družstevních domů,
- od 1. ledna 2017: Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP

větší než 1 000 m²,

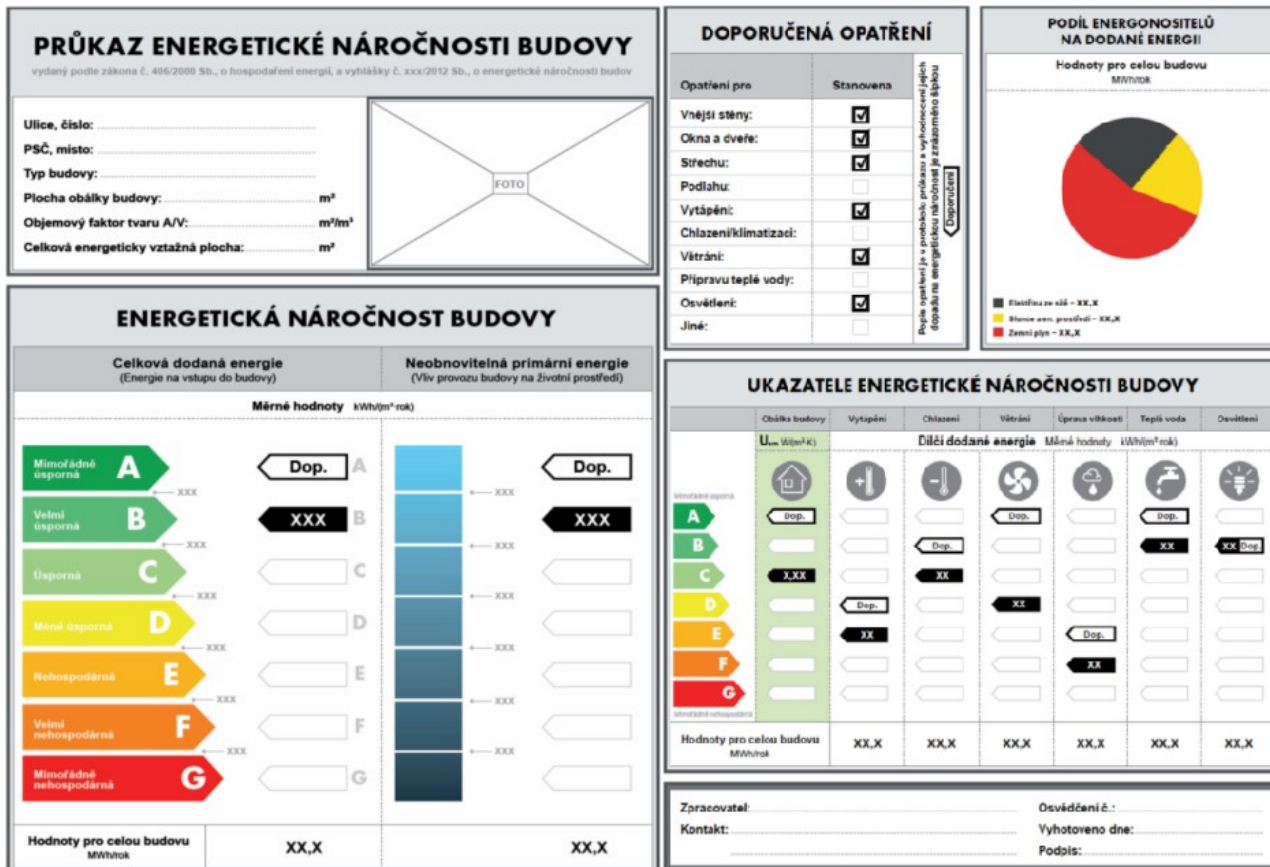
- od 1. ledna 2019: Stávající bytové domy nebo administrativní budovy s CEVP menší než 1 000 m²,
- od 1. ledna 2019: Stávající rodinné domy s CEVP menší než 350 m².

[5]

V souladu s vyhláškou č. 78/2013 Sb. klasifikuje energetický průkaz budovy do 7 kategorií značených A – G. Hranice těchto klasifikačních tříd se stanoví z referenční hodnoty klasifikovaného ukazatele energetické náročnosti budovy E_R , která se určí jednotně pro referenční podmínky uvedené pro novou budovu. Pro zpracování průkazu je třeba oprávnění vydané Ministerstvem průmyslu a obchodu. Klasifikační třídy energetické náročnosti budov jsou znázorněny v *Tab. 1*.

Klasifikační třída	Hodnota pro horní hranici klasifikační třídy		Slovní vyjádření klasifikační třídy
	Energie	U_{em}	
A	0,5 x E_R	0,65 x E_R	Mimořádně úsporná
B	0,75 x E_R	0,8 x E_R	Velmi úsporná
C	E_R		Úsporná
D	1,5 x E_R		Méně úsporná
E	2 x E_R		Nehospodárná
F	2,5 x E_R		Velmi nehospodárná
G			Mimořádně nehospodárná

Tab. 1: Klasifikační třídy energetické náročnosti budovy. [2]



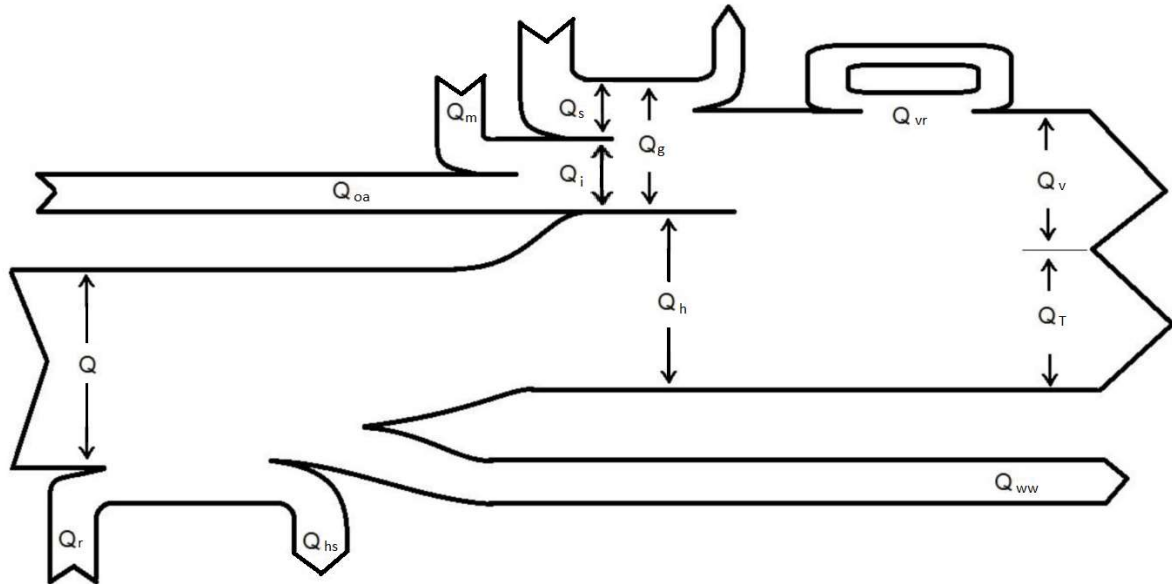
Obr. 1: Grafické znázornění průkazu energetické náročnosti budovy. Zdroj: [2]

1.2 Bilanční schéma

Přehledné bilanční schéma na Obr. 2 zobrazuje souvislosti jednotlivých rozhodujících energetických dějů v objektu. Tato bilance zahrnuje jak tepelnou ztrátu (prostupem tepla a výměnou vzduchu), tak i tepelné zisky (ze slunečního záření procházejícího prosklenými plochami, od metabolického tepla osob uvnitř budovy, domácích spotřebičů atd.). Energetické bilanční schéma není určené pro návrh technických systémů, ale pro stanovení energetických potřeb objektu, jež je možné stanovit jak pro okamžité hodnoty, tak pro delší časové úseky, např. měsíc nebo rok.

Ze schématu je patrné, že nejzásadnější jsou ztráty prostupem tepla (Q_T) a výměnou vzduchu (Q_V), tyto musí být na vstupu kompenzovány dodanou energií (Q). Ztráty ve výměně vzduchu lze částečně snížit užitím rekuperace (Q_{Vr}). Energie dodaná do systému sestává z vnitřních tepelných zisků (Q_g), které tvoří teplo z osob (Q_m), spotřebičů (Q_{oa}) a proměnlivých pasivních solárních zisků (Q_s). Zbývající deficit tepla je nutné dodat pomocí

otopné soustavy (Q_h), která se také často využívá na ohřev teplé vody (Q_{ww}). Mezi ztráty je nutné započítat i ztráty nevhodnou regulací systému (Q_{hs}). V některých případech je možné zpětně získat energii z technologických procesů (Q_r). Celkové teplo dodané do systému (Q) tedy musí být úměrné spotřebě budovy a ztrátám jejího technického systému.

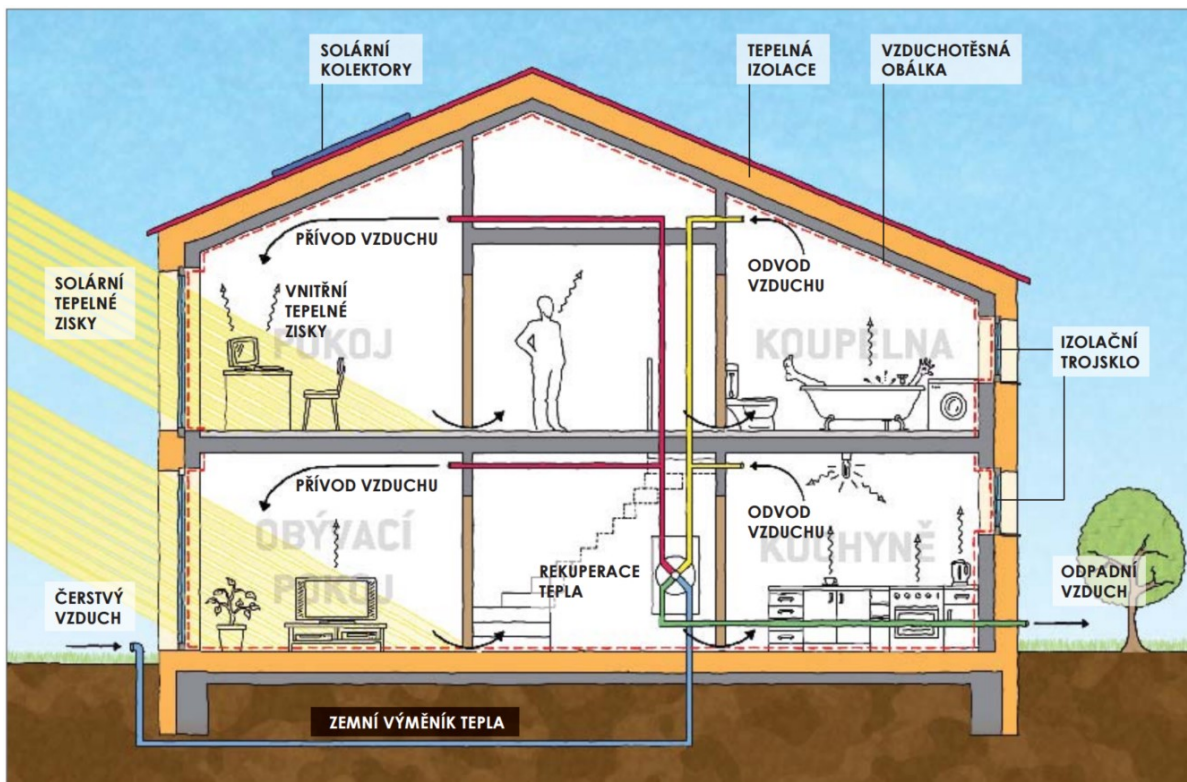


Obr. 2.: Bilanční schéma pasivního domu[14]

1.3 Nástroje pro dosažení pasivního či nulového standardu

Jelikož je tato práce zaměřena na energetické vlastnosti budov, nebudu se zde věnovat stavebním materiálům, ale pouze konstrukčním řešením vedoucím ke snížení energetické náročnosti stavby. V otázce konstrukčních řešení se pasivní budovy a domy s téměř nulovou spotřebou energie prakticky neliší, budu tedy v této kapitole popisovat tento postup pouze pro dům pasivní. Pro nulové domy je cesta jak dosáhnout nízké měrné potřeby tepla prakticky totožná. Pasivní a nulové domy v sobě kombinují maximální míru tepelného komfortu a velice nízkou spotřebu energie. Existuje několik nástrojů jak pasivního standardu dosáhnout. Vše začíná již od samotného návrhu budovy a jejím umístěním, kvalitní konstrukční prvky samy o sobě nemohou stačit na dosažení parametrů pasivního standardu. Výsledná cena celého projektu, náklady na provoz a i jeho funkčnost, to vše lze zoptimalizovat co nejdůsledněji provedeným návrhem projektu. Stejně tak, kvalitní projekt může být znehodnocen nedůsledností při stavebních pracích. Ačkoli princip pasivního standardu je jednoduchý, kvalitně navrhout a následně zrealizovat

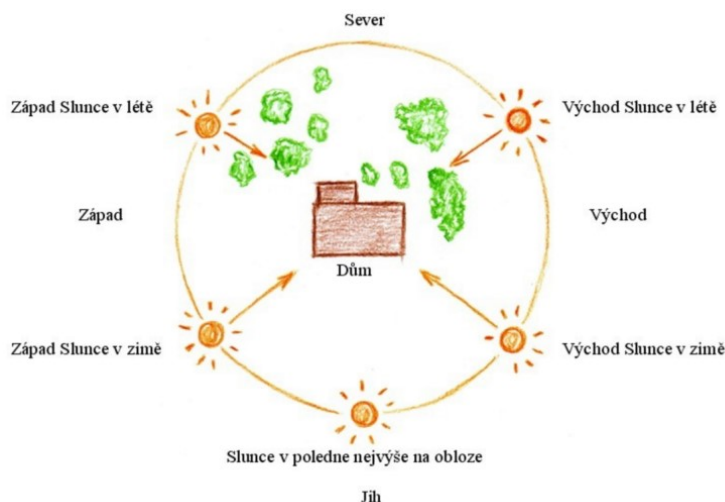
pasivní dům vyžaduje mnoho zkušeností a dobře odvedenou práci.



Obr. 3: Názorné schéma pasivního domu [10]

1.3.1 Orientace a umístění stavby

I samotné umístění budovy a její orientace v terénu má významný podíl na celkové energetické náročnosti a s tím ruku v ruce jdoucími náklady na výstavbu a provoz budovy. Teplo ze Slunce pokrývá cca 30% spotřeby tepla u pasivních domů. V zimě, kdy je potřeba tepla největší, Slunce svítí v největší míře na jižní část budovy, na severní část naopak vůbec. Proto by i orientace oken měla směřovat na jih, protože právě okna zajišťují majoritní část takzvaných solárních zisků. Zároveň je důležité zajistit, aby v zimě jižní okna nebyla zastíněná, čímž mohou solární zisky do značné míry omezit. Vhodnou konstrukcí přesahu střechy je pak možné stínu využít a v letních měsících, kdy je Slunce na obloze výše, omezit pronikání slunečních paprsků do objektu a tím zamezit případnému přehřívání.



Obr. 4: Znárodnění slunečního cyklu a jeho vlivu na budovu [11]

1.3.2 Tvar a dispozice domu

Jelikož tepelné ztráty jsou úměrné ploše, na které dochází k výměně tepla, ideálním řešením by byla koule, což je samozřejmě v praxi nereálné. V praxi je tedy nejlepším řešením z hlediska kompromisu mezi energetickou úsporností a uživatelským komfortem tvar kvádrů s delší stranou obrácenou k jihu. Současně je vhodné „vyhladit“ tvar budovy, zbytečně složité tvary v konstrukci jednak způsobují tepelné ztráty a zároveň vytvářejí tepelné mosty.

Dalším bodem, nad kterým je třeba uvažovat, je umístění místností, od kterého se do značné míry odvíjí využitelnost prostoru, spotřeba energie a komfort uživatelů. Vnitřní dispozice domu se odvíjí od teplotního režimu, jeho regulace, potřebné míry denního osvětlení, dispozice pozemku, atd. Ve většině případů jsou obytné místnosti s větší potřebou oken umístěné na jižní straně budovy, zatímco pomocné prostory s nižšími nároky na přirozené osvětlení jako sociální zařízení, chodby, schodiště či technické místnosti se umísťují na severní straně.

1.3.3 Tepelná izolace

Všechny neprůhledné části budovy musí být velice dobře, ve srovnání s konvenčními budovami až extrémně, izolovány. Tloušťka tepelné izolace se určuje individuálně výpočtem, přibližně se však pohybuje okolo 25 - 30 cm, v konstrukci střechy

pak kolem 40 cm v závislosti na sklonu střechy. Stejně tak je třeba izolovat podlahu od zeminy, kde se obvykle používá tloušťka izolace okolo 25 – 30 cm. Aby izolace účinně fungovala, musí být provedena beze spár a přerušení, které vytvářejí nežádoucí tepelné mosty. Na izolaci je možné bez obtíží použít klasické izolační materiály jako polystyren, minerální vlnu, foukanou celulózu, slámu či konopné izolace. Na tloušťce izolace se nevyplatí šetřit, její cena je ve srovnání s ostatními konstrukčními materiály malá, tudíž nijak dramaticky nezvyšuje cenu projektu.

Základním parametrem pro hodnocení tepelné izolace je součinitel prostupu tepla U , který vyjadřuje, kolik tepla unikne z konstrukce o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot na obou stranách konstrukce 1 K .

Typ konstrukce	Hodnota U konstrukcí pro pasivní domy [$\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$]
Obvodová stěna	0,10 – 0,15
Střecha	0,08 – 0,12
Podlaha na terénu	0,12 – 0,15
Okna	0,8

Tab. 2: Hodnota U konstrukcí pro pasivní domy [10]

1.3.4 Výplně otvorů

Okna jsou u pasivních domů jedním z klíčových a zároveň rizikových prvků. Jelikož jsou okna běžně přibližně pětkrát tepelně slabší než obvodové konstrukce, z hlediska tepelné izolace tvoří nejslabší prvek. Zároveň ale jsou zdrojem solárních zisků a proto jsou při kvalitně provedeném návrhu tepelně zisková. Za tímto účelem musí okna pro pasivní domy splňovat následující podmínky:

- U_w hodnota celého okna včetně rámu menší než $0,80 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- zasklení s trojskly vyplněné vzácným plynem, běžně dosahuje hodnotu $U_g < 0,6 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ s vysokou propustností slunečního záření nad 50 %
- minimalizovány tepelné mosty v místě osazení okna do stěny – řeší se umístěním okna do vrstvy tepelné izolace a použitím kvalitních izolovaných rámu

Pasivní solární zisky tvoří významný příspěvek k pokrytí potřeby tepla na vytápění, v závislosti na podmínkách až více než třetinový. Proto je důležitá volba velikosti, kvality a orientace prosklení. V ideálním případě je to jižní, případně jihovýchodní či jihozápadní orientace, v ostatních směrech by mělo být zasklení co nejmenší. Tepelné zisky z oken rostou přibližně do 30 – 40 % zasklení v jižní fasádě, vyšší poměr již nevede k podstatným energetickým úsporám a dochází k nežádoucímu tepelnému přehřívání interiéru. Tento jev lze částečně eliminovat instalací vhodného stínění, které v letních měsících omezí množství dopadajícího slunečního záření na zasklenou plochu.



Obr. 5: Princip ochrany proti přehřívání interiéru[10]

1.3.5 Vzduchotěsnost obálky a minimalizace tepelných mostů

S kvalitně provedenou tepelnou izolací jde ruku v ruce i vzduchotěsnost a eliminace tepelných mostů, pasivní dům nemá „dýchat“ svoji obálkou, ale řízeným větráním. Obálka domu nesestává pouze z celistvých elementů, jako jsou zdi, střechy a stropy, ale zahrnuje také hrany, rohy a různá napojení a prostupy. Teplo těmito elementy proniká mnohem snadněji, než je tomu u zbytku obálky domu, tento jev je znám pod názvem tepelný most. Současně s teplem může těmito prvky pronikat vlhkost, která může v konstrukci kondenzovat a tím ji poškodit. Netěsnost obálky zároveň negativně ovlivňuje i efektivitu zpětného zisku tepla větracího systému, protože vzduch místo rekuperačním výměníkem prochází netěsnostmi. Obr. 6 znázorňuje zdánlivou čáru, kterou by mělo být možné nakreslit kolem tepelné obálky budovy bez jediného zvednutí pera. Nevyhnutelné průniky do izolace by měly být vyrobeny z materiálu s co nejnižší tepelnou vodivostí.



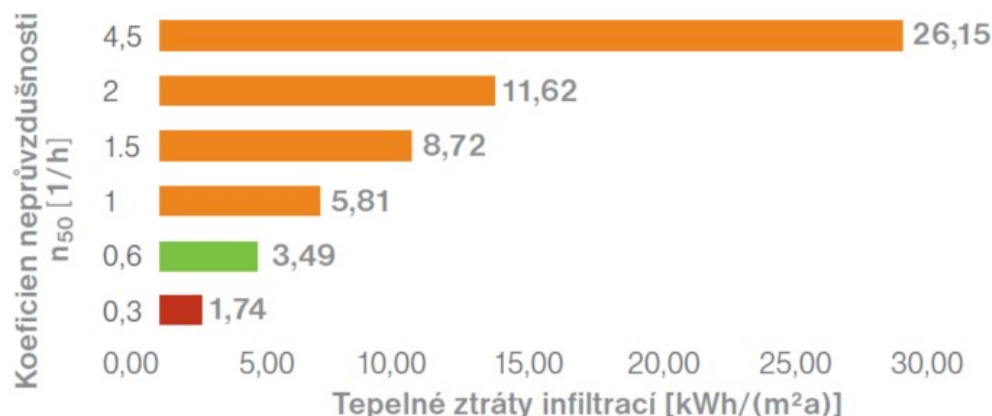
Obr. 6: Znárodnění neprůvzdušnosti obálky budovy [10]

U masivních staveb je vzduchotěsnost stěn zajištěna vrstvou omítky bez prasklin. U dřevostaveb plní tuto funkci vzduchotěsnicí vrstvy desky – např. OSB (z lisovaných stěpek) nebo folie se spoji přelepenými speciálními vzduchotěsníci páskami. Neméně důležitá je kontrola utěsnění oken a všech napojení a prostupů konstrukcí. Běžné vyplnění spár pěnou je v tomto případě nedostačující, kritická místa styku konstrukcí je nutné utěsnit vhodnou páskou, tmelem či folií.

Jako kontrola vzduchotěsnosti stavby se provádí tzv. zkouška těsnosti, neboli Blower-door test. Postup celého měření je standardizovaný a vcelku jednoduchý, ventilátor se umístí do okenního nebo dveřního otvoru, který je utěsněn plachtou a vytvoří přetlak nebo podtlak. Výsledkem měření je hodnota objemu vyměněného vzduchu za hodinu n_{50} , která by měla být nižší, než $0,6 \text{ h}^{-1}$. Tato hodnota znamená, že při stejném tlakovém rozdílu 50 Pa se za hodinu netěsnostmi nevymění více než 60 % celého objemu vzduchu v objektu. Tlak 50 Pa odpovídá přibližně tlaku vznikajícímu při větru o rychlosti 10 – 13 m/s. Velice důležité je provádět tuto zkoušku před finální fází stavby objektu, aby bylo možné jednoduše najít a opravit vady v konstrukci. Pro ilustraci vlivu hodnoty neprůvzdušnosti n_{50} přikládám graf (Obr. 7), který znázorňuje ekvivalent tepelných ztrát pro určité hodnoty neprůvzdušnosti. Pro pasivní dům a hodnotu $0,6 \text{ h}^{-1}$ jsou ztráty infiltrace přibližně $3,5 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, což tvoří nezanedbatelný podíl na uvažované měrné potřebě tepla $15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$.

Pro srovnání běžný dům s přirozeným větráním s hodnotou $n_{50} = 4,5 \text{ h}^{-1}$ by měl ztráty infiltrací zhruba $26 \text{ kWh/m}^2\text{a}$. Tato hodnota je více než 1,5násobek hodnoty nutné pro dosažení pasivního standardu, z čehož je zřejmé jak důležité je dostatečné zabezpečení neprůvzdušnost.

[10]

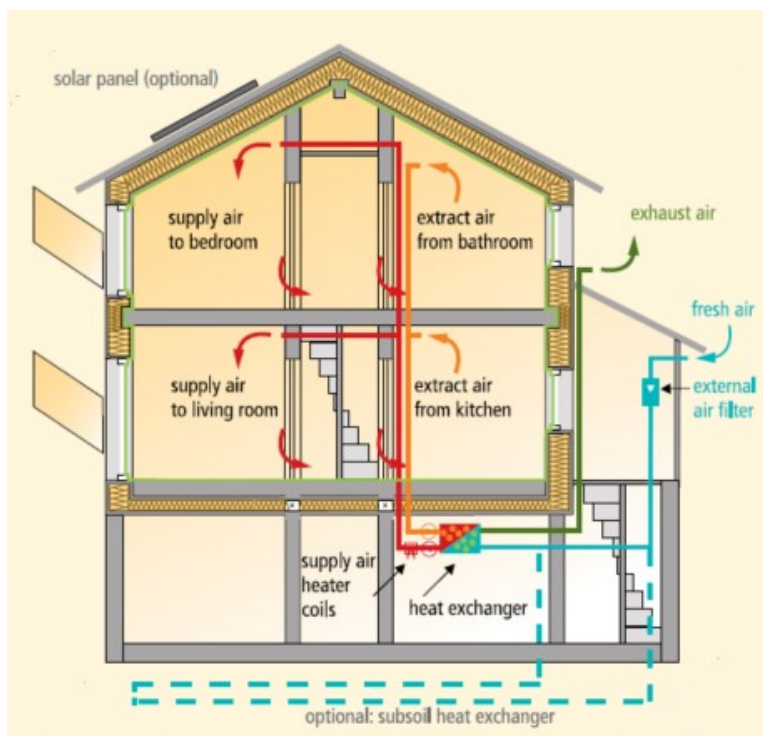


Obr. 7: Vliv hodnoty n_{50} na potřebu tepla na vytápění [13]

1.3.6 Rekuperace tepla ventilací

Další, neméně důležitou, částí pasivního domu je ventilační systém. Ten zásobuje dům čerstvým vzduchem bez prachu, pylu, nežádoucí vlhkosti či případného zápachu. Prosté otevírání oken by totiž vedlo k příliš vysokým energetickým ztrátám a tudíž nemožnosti dosáhnout pasivního, či dokonce nulového standardu. O potřebnou výměnu vzduchu se tedy stará systém řízeného větrání se zpětným ziskem tepla z odpadního vzduchu (tzv. rekuperací). Ve výměníku je příchozí venkovní vzduch ohříván s účinností až 90 %, tudíž je dovnitř vypouštěn vzduch téměř o pokojové teplotě, což přispívá k vyššímu tepelnému komfortu díky absenci tepelných rozdílů. Tento systém rekuperace je zvláště nutný v chladných oblastech, za kterou se dá považovat i území České Republiky. Naopak v letních horkých měsících dokáže rekuperační jednotka fungovat i v obráceném cyklu a chladit příchozí vzduch a zabránit tak přehřívání objektu. Při návrhu se běžně dům rozdělí na tři zóny – přívod vzduchu (obytné místnosti), transport vzduchu (chodby, schodiště) a odtah odpadního vzduchu (koupelna, WC, kuchyň). Větrací rozvody lze zároveň použít i jako součást teplovzdušného vytápění, díky nízkým energetickým ztrátám objektu lze totiž tyto domy vytápět ohřátým vzduchem.

[12]

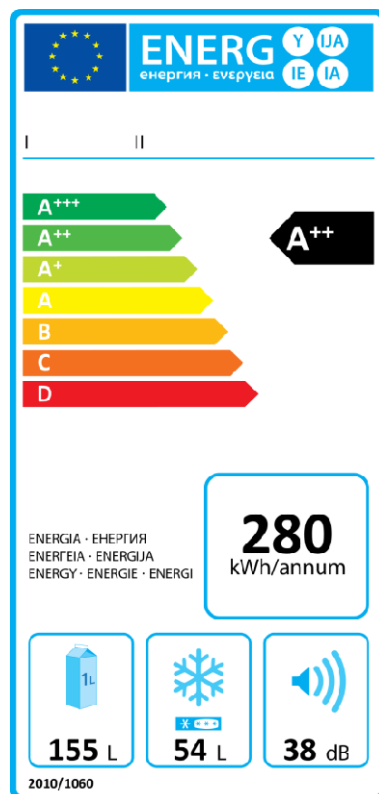


Obr. 8: Princip ventilace pasivního domu [12]

1.3.7 Spotřebiče

Jedním ze základních kritérií pro získání certifikátu pasivního domu je roční potřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů. Tato energie musí být nižší než $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2)$. Je tedy důležité, aby nejen budova samotná, ale i spotřebiče vykazovaly co nejnižší spotřebu energie. Pro snazší orientaci v energetické náročnosti spotřebičů byla v roce 2001 v Evropské unii zavedena povinnost označovat domácí spotřebiče energetickými štítky. Vzor tohoto štítku je zobrazen na Obr. 9.

Na energetických štítcích se od roku 2010 uvádí především energetická třída spotřebiče a rovněž odhadovaná roční spotřeba elektřiny v kWh, dále výrobce spotřebiče, model a jeho specifické parametry. Stupnice pro energetické třídy spotřebičů je v rozsahu A+++ až G, přičemž rozsah se může lišit v závislosti na druhu spotřebiče. Pro pasivní dům přicházejí většinou v úvahu spotřebiče s energetickou třídou alespoň A nebo A+.



Obr. 9: Vzor energetického štítku pro spotřebič [15]

Například pro osvětlení je vhodné nahradit klasické světelné zdroje úspornými zářivkami, nebo v dnešní době již spíše LED, které mají účinnost (poměr příkonu a svítivosti) až 10x větší než žárovky, což i přes jejich vyšší pořizovací cenu vede k návratnosti investice během cca 1 roku. Pračku a myčku nádobí je vhodné volit takové, které disponují přípojkou teplé vody a nezatěžují tak domácnost dalším ohřevem teplé vody.

[15]

1.4 Zdroje energie

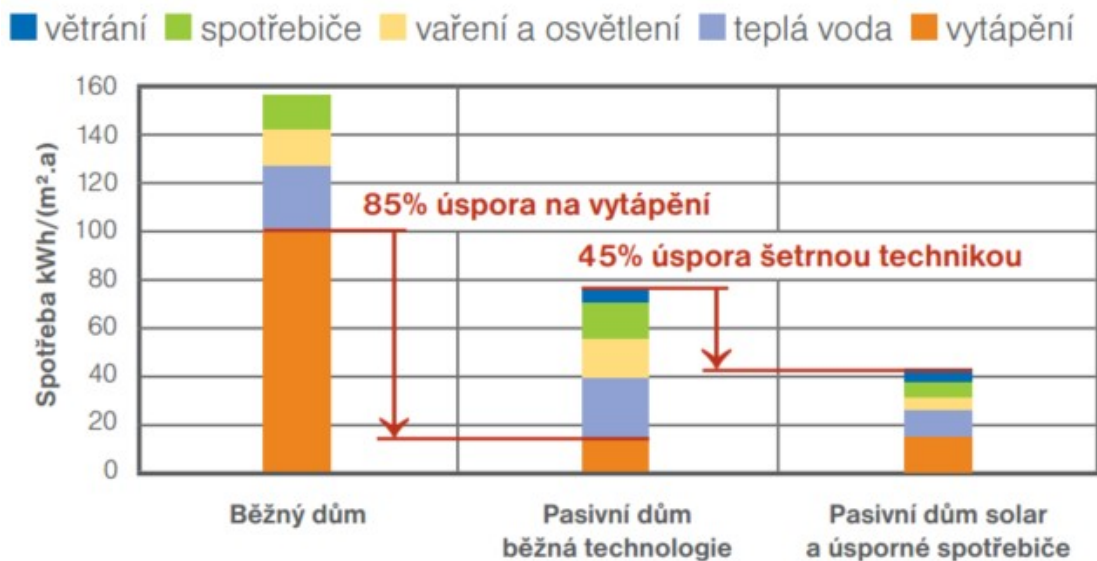
Jedním ze základních kritérií pro získání certifikátu pasivního domu je roční potřeba primární energie spojená s provozem budovy včetně domácích spotřebičů. Tato energie vyjadřuje jaké množství neobnovitelných zdrojů je spotřebováno a vypovídá nejen o celkové energetické náročnosti objektu, ale i o jeho provozních nákladech.

Roční potřeba této energie musí být nižší než $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2)$ a je do ní započten podíl vytápění, přípravu teplé užitkové vody, provozní energie (ventilátory, čerpadla), osvětlení a domácích spotřebičů. Potřebu primární energie můžeme výrazně ovlivnit volbou zdroje

energie, jelikož pro elektřinu jakožto neefektivní zdroj energie (výroba elektrické energie probíhá s nízkou účinností kolem 30 %) se počítá s faktorem energetické přeměny 2,7. Podle této úvahy tedy na každý 1 kWh elektrické energie, je při výrobě spotřebováno 2,7 kWh z neobnovitelných zdrojů. Tato hodnota platí v případě výpočtu podle standardu pasivního domu. Podle vyhlášky 78/2013 Sb, které odpovídá výpočet nulového domu je tento faktor roven 3. Ani u obnovitelných zdrojů ovšem tento koeficient není přesně nulový, vždy je potřeba nějakého množství energie neobnovitelného původu, např. na pohon čerpadel, dopravu, řízení atd.

Před volbou typu zdroje energie je nutné dimenzování velikosti zdroje a otopného systému v závislosti na konkrétních podmínkách daného objektu a jeho využití. Podmínky se liší, pokud jde o samostatně stojící rodinný dům, řadovou zástavbu, či administrativní a veřejné budovy. Vliv na dimenzování mají také vnitřní zdroje tepla a obsazenost budovy. Spotřebu budovy mohou do značné míry ovlivnit i samotní uživatelé, dva identické domy se stejným počtem obyvatel mohou mít spotřebu diametrálně odlišnou v závislosti na zvycích jejich obyvatel. Pro výpočet určení potřeby tepla se používá teplota 20 °C, každý stupeň navíc navyšuje potřebu energie přibližně o 10 %. Z toho důvodu je třeba uvažovat vnitřní teplotu 22 °C, aby nedošlo k poddimenzování zdroje či otopného systému. Díky nízkým tepelným ztrátám (do 15 W/m²) pasivních domů může být tepelným zdrojem prakticky cokoliv, například pro vytápění místnosti o výměře 15 m² by stačil výkon odpovídající dvěma stowattovým žárovkám. Kromě velikosti zdroje hraje důležitou roli i jeho regulovatelnost, je nutné, aby zdroj pracoval po celý rok vždy v optimálním režimu. V opačném případě, zejména u sálavých panelů, může docházet k přehřívání interiéru. Na *Obr.10.* je naznačena úspora energie vytápěním ve srovnání s běžným domem a zároveň úspora až 45 % při použití úsporných spotřebičů a solárních kolektorů, dalších úspor lze dosáhnout použitím fotovoltaických panelů, zdrojem na biomasu, kvalitní regulací a větrací jednotkou s rekuperací tepla.

[16] [2]



Obr.10.: Porovnání spotřeby energie domů s různými standardy a technickou výbavou [16]

1.4.1 Elektřina

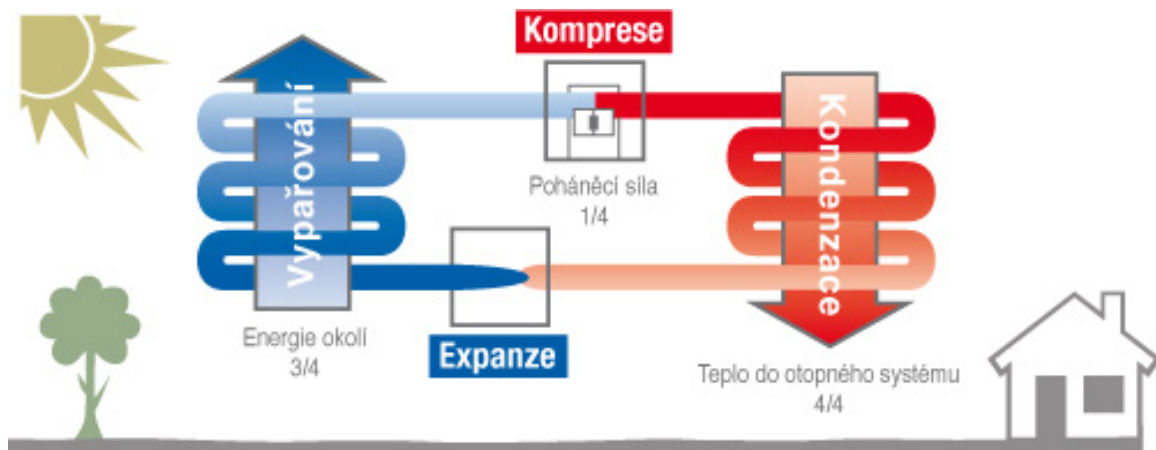
U elektrických zdrojů jsou výhodou nízké pořizovací náklady, nevýhodou naopak vyšší provozní náklady a nejistý vývoj cen. Pro pasivní dům prakticky nepřichází v úvahu, protože faktor energetické přeměny se pro elektřinu rovná 2,7 a díky tomu je téměř nemožné splnit podmínku potřeby primární energie.

1.4.2 Tepelné čerpadlo

Historie tepelného čerpadla se datuje k roku 1852, kdy jeho základní myšlenku formuloval lord Kelvin ve své druhé větě termodynamické. Ta hovoří o tom, že teplo nemůže samovolně přejít z nižší teplotní hladiny na vyšší. Ve čtyřicátých letech 20. století Robert Weber při svých pokusech zjistil, že se kompresor při chlazení přehřívá, začal tedy toto teplo odebírat a pomocí ventilátoru ho využil k vytápění místnosti.

Princip tepelného čerpadla je tedy prakticky stejný jako princip chladničky. Ochlazováním jednoho prostředí ohříváme prostředí jiné. energii nutnou pro ohřátí relativně chladného tělesa na teplotu např. 50 °C je nutné dodat pomocí vnější energie, většinou je tento zdroj energie realizován pomocí kompresoru. Princip kompresorového tepelného čerpadla je naznačen v Obr.11. V první fázi chladivo (v současné době jsou to fluorované uhlovodíky a jejich směsi (HFC)) kolující v tepelném čerpadle odebírá teplo z nízkopotenciálního zdroje energie, čímž mění skupenství a vypařuje se. Páry chladiva se

dostávají do kompresoru, který stlačením dodává další energii ve formě práce. V další fázi se chladivo dostává do kondenzátoru, kde se kondenzací chladivo ochladí a odevzdané teplo přebírá ohřívána teplotonosná látka, nejčastěji voda ústředního topení. Dále chladivo putuje průchodem přes expanzní ventil zpět k prvnímu výparníku, kde se celý cyklus opakuje.



Obr.10: Princip kompresorového tepelného čerpadla [26]

Jako většina energetických zařízení, i tepelné čerpadlo posuzujeme podle jeho účinnosti, v tomto případě vyjádřenou topným faktorem ε_T , nebo také COP (Coefficient of Performance). Ten udává poměr mezi spotřebovanou vstupní energií k množství získaného tepla. Je vždy větší než 1, protože neuvažuje teplo získané z okolí.

$$\varepsilon_T = \frac{Q}{E} \quad (1)$$

Kde značí:

Q: teplo dodané do vytápění [kWh]

E: energie pro pohon tepelného čerpadla [kWh]

Zdrojem tepla pro tepelné čerpadlo nejčastěji je:

- zemské teplo (zemní vrty)
- venkovní vzduch
- podzemní či povrchová voda

Tepelné čerpadlo má tu vlastnost, že jeho efektivita klesá s rostoucí výstupní teplotou, nejlépe tedy pracuje s nízkoteplotními systémy, kde teplota vstupní vody nepřesahuje 40 °C. To může být problém u starších špatně izolovaných budov, ale u pasivních budov je nízkoteplotní zdroj tepla naopak žádoucí.

1.4.3 Biomasa

Pro účely domovního vytápění se pojmem biomasa rozumí kusové dřevo, dále dřevní odpad jako je kůra, štěpka, piliny, sláma a další energeticky zhodnotitelné rostliny, např. lisované brikety, pelety atd. Velkou výhodou biomasy je skutečnost, že jde o obnovitelný zdroj, který při správném způsobu spalování vykazuje minimální negativní účinky na životní prostředí. Což vyplývá ze skutečnosti, že stejný objem CO₂, který se uvolní při jejím spalování, byl předtím touto biomasou z atmosféry odebrán. V případě biomasy jsou však vyšší počáteční náklady z důvodu nutnosti uskladnění paliva, nutnosti komína a akumulace, odměnou za tuto investici je naopak ekologičnost a nezávislost na vnějších dodávkách energie.

Teoreticky není díky nízké potřebě tepla pasivního domu třeba velkých kamen, naopak i malá kamna mohou vést k přetápění místnosti. Zkušenosti ukazují, že je výhodnější použít kamna větší, avšak vybavená teplovodním výměníkem a propojená se zásobníkem tepla.

Z důvodu požadavku na regulovatelnost zdroje se jeví vhodné spalování pelet, u kterých je hlavní výhodou kromě nízké ceny i možnost automatického provozu vytápění. Spalování pelet je snadno regulovatelné a dosahuje vysoké účinnosti až 90 %. Spotřeba pelet se pohybuje kolem 1 kg na 5 kW výkonu, díky tomu stačí dávkování např. jednou týdně a termostatem s časovačem se nastaví doba a čas topení. Kusové dřevo znamená ještě levnější provoz a nižší závislost na průmyslových dodávkách, avšak za cenu větší časové náročnosti na obsluhu.

Nevýhodou biomasy je, že pro dosažení žádoucí efektivity a delší životnosti zdroje je nutné systém vybavit akumulacími nádržemi o velikosti alespoň 50 l na 1 kW výkonu zdroje. Toto řešení spolu s komínem navyšuje počáteční investici.

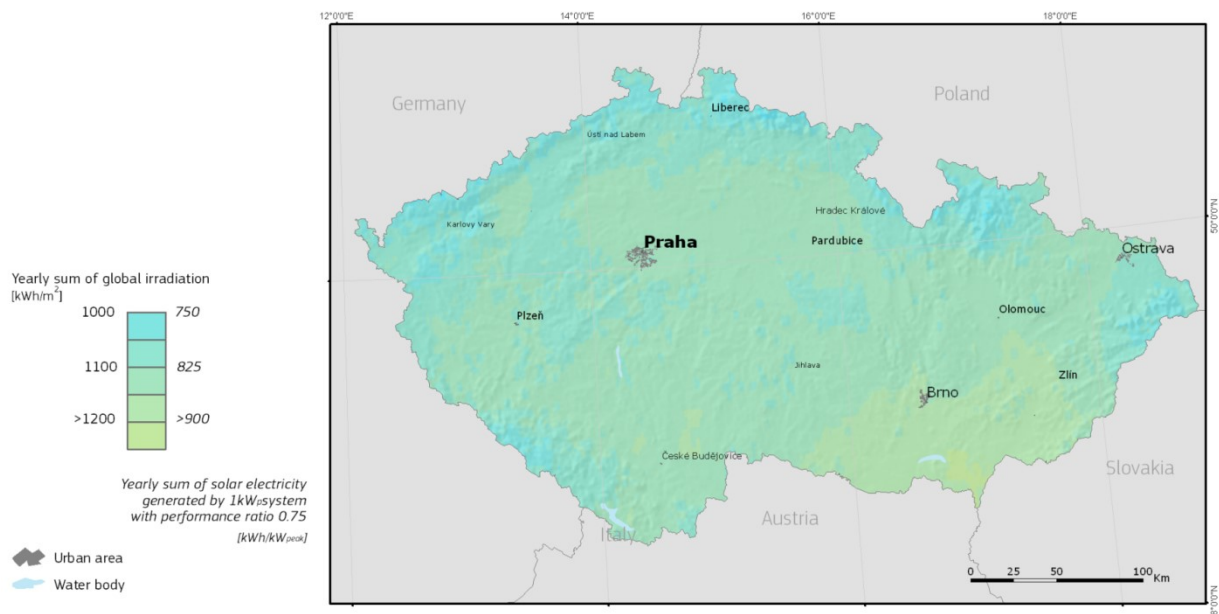
[16]

1.4.4 Solární energie

Solární energie má jednu velkou výhodu, a to že je dostupná prakticky všude a zcela zdarma, a v horizontu existence naší civilizace je nevyčerpatelná. Nevýhodou naopak je právě čerpání této energie, jelikož nemáme žádnou kontrolu nad její dostupností, díky čemuž tento zdroj nelze využít jako samostatný zdroj energie a je potřeba využít doplňkový regulovatelný zdroj energie, který bude pokrývat zvýšenou základní spotřebu v době, kdy je slunečního záření nedostatek.

Každoročně dopadne na povrch České Republiky sluneční záření poskytující přibližně 90 000 TWh energie, reálně využitelných je asi 5 500 GWh. Mapa vyjadřující dopadající solární záření je znázorněna na *Obr.11*, ze kterého je zřejmé, že průměrná energie dopadajícího záření na horizontálně umístěný povrch se v ČR pohybuje lehce nad 1000 kWh/m² a poměrně rychle se zvyšuje směrem k rovníku. Energii ze solárního záření lze využít pasivně nebo aktivně, pasivní prvky jsou součástí architektury budovy a mají za úkol maximalizovat tepelné zisky v topném období. Na aktivní prvky jsem se zaměřil v následujících dvou kapitolách.

[18]



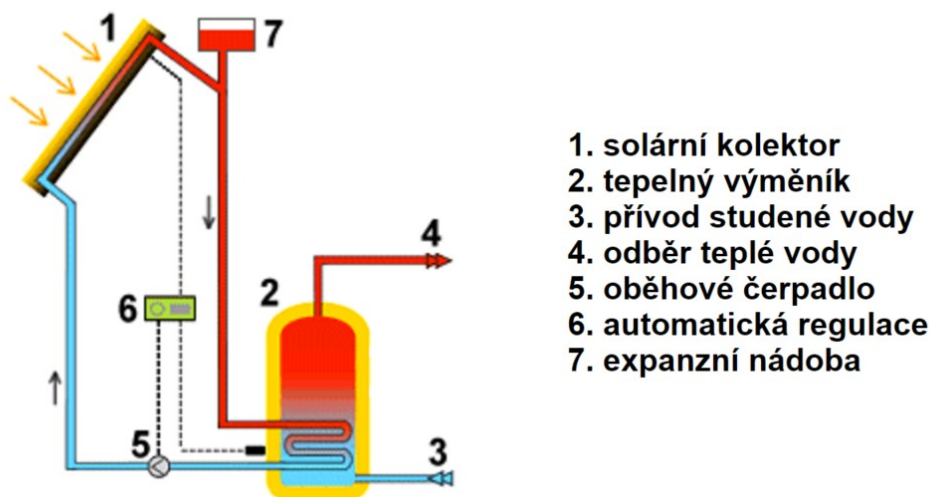
Obr.11: Množství sluneční energie dopadající na povrch České Republiky [17]

1.4.4.1 Solární kolektory

Pomocí solárních kolektorů lze ohřívat vodu, vzduch nebo jiné látky. Jejich nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady, které jsou však vyvážené minimálními náklady na provoz. Jsou vhodným doplňkem pro systémy ohřevu teplé vody, kde se dimenzují na pokrytí cca 60 – 70 % potřeby teplé vody. Využití solárních kolektorů pro vytápění se v našich podmínkách příliš nevyužívá, neboť v zimě, kdy je potřeba tepla největší, je slunečných dnů nejméně. Nízká využitelnost v zimě by vyžadovala naddimenzování systému, což by dále vedlo k velkému nárůstu počátečních nákladů a prodloužení návratnosti.

Pro zajímavost uvádím zkušenost z mého ročního studijního pobytu na řeckém ostrově Kréta, kde jsou solární kolektory naprostou samozřejmostí pro každé obydlí. Na mé běžné denní využití, což je sprchování, příprava pokrmů a mytí nádobí, vše jedenkrát denně byl náš solární systém dostačující i v zimních měsících kdy se venkovní teplota pohybovala kolem 10 °C a zataženo bylo i několik dní v řadě. I bez přítomnosti přímého slunečního záření má záření difuzní v těchto oblastech dostatek energie k ohřátí vody na uživatelsky příjemnou teplotu.

Solární kolektory existují v několika provedeních, které se liší tvarem a uložením absorbéru, použitou absorpční vrstvou, a tedy i účinností. Podle tvaru se dělí na trubicové, koncentrační a nejčastější ploché. Dalším hlediskem je způsob přenosu tepla, podle tohoto se kolektory dělí na kapalinové, teplovzdušné, nebo kombinované. Typickým příkladem je plochý kapalinový kolektor.



Obr.12: Schéma solárního kolektoru [19]

Základním prvkem plochého solárního kolektoru, znázorněného na Obr.12 je absorbér, který je nejčastěji vyroben z měděného nebo hliníkového plechu. Od absorbéru vyžadujeme pohlcení maximálního možného množství dopadajícího záření a minimální ztráty vyzařováním, což se u levnějších kolektorů docílí natřením matnou černou barvou. U kvalitnějších a dražších kolektorů se toto provádí galvanickým nanášením selektivní vrstvy, který pohlcuje kolem 95 % dopadajícího záření. Tyto nátěry dokáží využít i difuzní světelné záření a tím umožňují celoroční provoz kolektoru. Získané teplo v absorbéru se předává kapalině proudící v (nejčastěji) měděných trubkách a je následně odevzdáno ve výměníku tepla, což bývá nejčastěji akumulární nádrž či zásobník teplé vody. Jako teplotnosné médium se nejčastěji používají nemrznoucí kapaliny nebo voda. Absorbér společně s trubkami je umístěn pod krycím sklem, které má za účel omezit ztráty vyzařováním přední stěnou. Viditelné světlo jím prochází a v absorbéru se přeměňuje na teplo, zatímco dlouhovlnné záření je sklem odraženo. Uvnitř kolektoru zároveň dochází ke skleníkovému efektu, který dále zvyšuje účinnost ohřevu proudící kapaliny. Všechny tyto prvky jsou uloženy v kovové či plastové konstrukci, která slouží k uchycení kolektoru na střeše budovy a k jeho ochraně před povětrnostními vlivy. Tato konstrukce musí být dobře tepelně odizolována, aby se zabránilo úniku tepla stěnami konstrukce. Posledním prvkem je samotná instalace kolektoru, ta by měla být ideálně provedena natočením kolektoru na jižní stranu se sklonem 45 °, který se uvádí jako optimální v případě požadavku na celoroční provoz zařízení.

[16]

1.4.4.2 Fotovoltaický systém

Jako první se o fotoelektrickém jevu zmínil ve své prezentaci Alexandre Edmond Becquerel v roce 1839, dále v roce 1887 Heinrich Rudolf Hertz objevil, že ultrafialové záření dokáže usnadnit vznik elektrického výboje ve vzduchu. První vysvětlení fotoelektrického jevu ale poskytl až Albert Einstein za užití svých znalostí kvantové fyziky v roce 1905. Za objev zákonitostí tohoto jevu nakonec obdržel v roce 1921 Nobelovu cenu za fyziku. Tyto objevy se ale vztahují k fotoelektrickému jevu vnějšimu, kdy jsou elektrony z vodivostního pásu kovu emitovány do okolí. Princip, který využívají fotovoltaické systémy, se nazývá příznačně fotovoltaický jev. Ten vzniká na polovodičích, když se foton s dostatečnou energií přesune z valenčního pásu do vodivostního a ve valenčním pásu po něm zůstane prázdné místo, tzv. díra – elementární kladný náboj. Elektron tedy v tomto případě není emitován do okolí, ale zůstává v materiálu. Dopadem fotonu se tedy v materiálu vytvoří pohyblivý pár nábojů elektron-díra. Při propojení s vnějším obvodem pak elektrony putují k opačné elektrodě a rekombinací s dírami vzniká stejnosměrný elektrický proud. Tento jev poprvé pozoroval William Grylls Adams společně s Richardem Evansem Dayem v roce 1876 na PN přechodu mezi selenem a platinou. První prakticky využitelný článek pro výrobu elektřiny, byl vyroben v Bellových laboratořích v roce 1954 a dosahoval účinnosti kolem 6 %. U dnešních průmyslově vyráběných článků se účinnost přeměňuje pohybuje v závislosti na druhu článku přibližně v rozmezí 13 – 20 %. V laboratoři v Berlíně byla však v roce 2013 dosažena účinnost až 44,7 %, což naznačuje značné budoucí možnosti v růstu solárních technologií. V posledních letech se účinnost v poměru k ceně dostala na takovou úroveň, že již fotovoltaické systémy vytlačují solární kolektorové systémy za účelem ohřevu užitkové vody.

[20] [21] [22]

Fotovoltaické články se v drtivé většině případů vyrábějí z křemíku, zbývajících přibližně 10 % připadá na galium, případně některé z organických sloučenin. Vzhledem k tomu se zaměřím na výrobu článků z křemíku, které se podle způsobu výroby dělí na:

- Monokrystalické – vyrábějí se z jednolitého ingotu křemenného krystalu, který se rozřeže na tzv. wafery (základní plochý disk polovodiče), tyto se následně oříznou na požadovanou velikost článku (obvykle 156 x 156 mm). Z těchto článků se

následně sestavují dohromady samotné panely. Monokrystal má větší účinnost přeměny energie z přímo dopadajícího záření, což ho předurčuje k použití na pohyblivých konstrukcích, které zajišťují v průběhu celého dne optimální úhel dopadu světla. Další výhodou je i mírně delší životnost článku.

- Polykrystalické – tyto se vyrábějí odléváním tekutého křemíku do formy a jeho následným postupným ochlazováním, čímž dochází k tvorbě různě velkých a různě orientovaných krystalů. Další postup je stejný jako v případě monokrystalu. Účinnost polykrystalických článků se pohybuje kolem 15 %, avšak oproti monokrystalu má mírně větší účinnost přeměny z difuzního záření. Z tohoto důvodu je vhodnější jejich použití na stacionárních instalacích.
- Tenkovrstvé – zásadní rozdíl oproti předchozím typům je použití amorfního křemíku namísto krystalického. Ten se v tenké vrstvě napařuje při teplotách kolem 200 °C na skleněnou tabuli, případně plast či kov. Pro ilustraci uvádím, že tloušťka tenkovrstvých článků se pohybuje okolo 2 – 5 μm, na rozdíl od 0,2 do 0,3 mm u krystalů. Amorfní panely sice dosahují přibližně poloviční účinnosti v porovnání s monokrystalu. Ale to však proto, že účinnost se určuje podle nutné plochy k dosažení špičkového výkonu 1 kWp, v reálném počasí však vyrobí tenkovrstvé panely až o 15 % energie více, protože jejich účinnost roste s nižší intenzitou slunečního záření a v našich podmínkách je až 70 % záření složeno z difuzní složky. Díky nízké potřebě křemíku k výrobě tohoto druhu panelu je jeho další výhodou nízká cena. Osobně spatřuji v této technologii velký potenciál, což dokládá i obrovský vědecký výzkum věnovaný právě těmto druhům panelů.

[22][23]

Protože na výstupu z fotovoltaických článků je elektrické napětí stejnosměrné, je nutné ho pro použití v domácí síti transformovat na napětí střídavé o standardních hodnotách 230/400 V a frekvenci 50 Hz. O tuto transformaci se stará střídač. Důležitou součástí střídače je MPP (maximum power point) tracker, který změnou vstupního odporu střídače udržuje ideální pracovní bod fotovoltaického systému. Účinnost střídače dosahuje až 96 %.

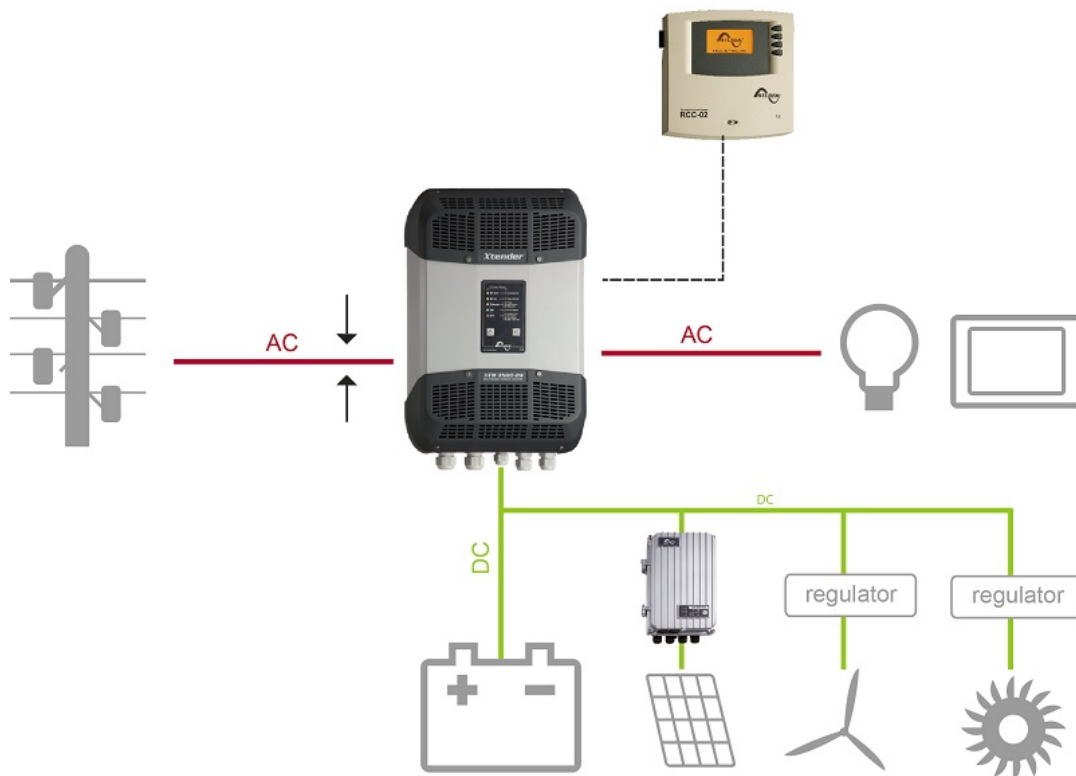
Fotovoltaický systém lze provozovat ve čtyřech různých režimech:

- Přímé připojení do sítě a prodej provozovateli distribuční sítě – při tomto způsobu připojení je veškerá vyrobená elektrická energie dodávaná do distribuční sítě a je prodávána za tzv. „výkupní cenu“.
- Přímé připojení do sítě a prodej obchodníkovi s elektrickou energií – méně obvyklý způsob připojení, kdy je veškerá vyrobená energie prodána obchodníkovi, který ji vykupuje za sjednanou cenu.
- Připojení do rozvodů v objektu – při tomto druhu připojení je valná většina elektřiny spotřebovávána přímo v objektu a případné přebytky prodávány distribuční společnosti.
- „Offgrid“ připojení – využívá se v odlehlých lokalitách, kde není možné napojení na distribuční síť. Elektřina je spotřebovávána přímo v objektu a zpravidla ukládána do akumulátorů.

[24]

Variantou offgrid připojení jsou hybridní systémy. Pracuje podobně jako offgrid elektrárna, s tím rozdílem, že je připojena na běžnou distribuční síť. Tento systém pracuje tak, že fotovoltaika dodává veškerou potřebnou energii domu a energii z distribuční sítě odebírá pouze v případě nedostatku energie vlastní. Základní vlastností tohoto systému je, že do distribuční sítě, od níž musí být galvanicky oddělen, energii nedodává. Díky tomu odpadají různé překážky s povolením od Energetického regulačního úřadu. Pro instalaci tohoto typu systému tedy stačí prosté povolení od stavebního úřadu. Klíčovou součástí hybridního systému je hybridní měnič (střídač) napětí, které umožňuje odběr energie z distribuční sítě. Tento prvek zabezpečuje nutné galvanické oddělení od sítě a řídí všechny toky energie v domě, zároveň je to však nejdražší položka v systému. Dalším důležitým prvkem systému jsou akumulátory, teoreticky lze tento systém provozovat bez nich, pro plynulou funkci a pro lepší využití solární energie jsou akumulátory nutným doplňkem. Schéma hybridního systému je naznačeno na *Obr. 13*, domácí spotřebiče se napájí proudem z fotovoltaických panelů či akumulátorů a v případě nedostatku se využívá energie z distribuční elektrické sítě.

[25]



Obr.13: Schéma hybridní fotovoltaické elektrárny[25]

2 Kalkulace domu podle standardu pasivního domu v programu PHPP

2.1 Program PHPP

Historie pasivních domů se datuje k roku 1991, kdy byl postaven první dům splňující tento standard. A stejně tak dlouhá je historie výpočtů energetické bilance pro tyto domy. V začátcích se používaly složité nestacionární simulační programy, v průběhu let však německý Passivhaus Institut přišel s programem PHPP (Passive House PlanningPackage). Jedná se o jednoduše strukturovaný návrhový nástroj v prostředí tabulkového editoru MS Excel (případně OpenOffice). Tento program je průběžně aktualizován. Poslední verzí je v současné době PHPP 9, nicméně k výpočtům v této práci jsem použil verzi 2007. PHPP je nejpoužívanějším nástrojem pro výpočet energetické bilance pasivní domu, mimo jiné proto, že na základě výpočtu v tomto programu Passivhaus Institut uděluje certifikace pasivního standardu.

2.2 Výpočet energetické bilance

Výkresová dokumentace řešeného domu byla poskytnuta občanským sdružením Envic. V době vytváření této práce byl dům v procesu návrhu a v budoucnosti bude realizován v obci Blahousty na severu Plzeňska. Jedná se o jednopodlažní objekt s podkrovním prostorem, který však nezasahuje do tepelné obálky budovy. Rozměry použité k výpočtu v programu PHPP jsou převzaty z architektonického návrhu, viz příloha A.

2.2.1 Úvod do programu PHPP

Po spuštění programu v prostředí MS Excel se objeví množství listů, základním je list „Hodnocení“. Tento list obsahuje základní informace o projektu, jako je jeho název, adresa či druh objektu, ale především shrnutí výsledků, podle kterého je možno rozhodnout jestli řešená stavba splňuje či nesplňuje podmínky pasivního standardu. Konkrétní listy jsem podrobněji rozebral v následujících kapitolách.

Ppožadavky ve vztahu k vytápěné podlahové ploše			
Vytápěná podlahová plocha:	<input type="text" value="0,0"/>	m ²	
	Použito:	Měsíční metoda	Certifikát:
Měrná potřeba tepla pro vytápění:		kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)
Výsledek zkoušky neprůvzdušnosti:		h⁻¹	0,6 h ⁻¹
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, chlaz., pom. a dom. spotřebiče):		kWh/(m²a)	120 kWh/(m ² a)
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocné a domácí spotřebiče):		kWh/(m ² a)	
Měrná potřeba primární energie Úspora elektřiny pomocí solární energie:		kWh/(m ² a)	
Topná zátěž:		W/m²	
Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu:		%	nad <input type="text" value="25"/> °C
Měrná potřeba energie pro chlazení:		kWh/(m²a)	15 kWh/(m ² a)
Chladicí zátěž:		W/m²	
			Splněno?

Tab.3:Příklad shrnutí výsledků

2.2.2 List „Hodnocení“

Jak jsem již naznačil výše, tento list je věnován základním informacím o objektu, jako jeho umístění, projektant, stavebník, způsob užívání, předpokládaný počet obyvatel atd. Po vyplnění polí týkajících se administrativních záležitostí (adresa objektu, stavebník, architekt, rok výstavby) je nutné zadat vnitřní teplotu. Za normální teplotu používanou pro hodnocení a projektování se uvažuje hodnota 20 °C. Tuto teplotu použijí i při svém návrhu. Dále je třeba nadefinovat vnitřní zdroje tepla. Nejdříve je třeba určit typ budovy (objekt pro bydlení nebo nebytový objekt) a její způsob využití, v tomto případě bydlení. Hodnota interních zdrojů tepla se tímto automaticky doplní. Plánovaný počet osob pro tento objekt volím 4. Poslední definovatelnou položkou na tomto listu je výběr výpočtové metody. Na výběr je roční metoda podle EN 13790, která používá roční klimatické údaje s bilančním hodnocením pro období topné sezóny. Druhou volbou je metoda měsíčních bilancí, také podle EN 13790 využívající měsíční klimatické údaje vypočtené ze součtu měsíčních bilancí v topné sezóně. Rozdíl v těchto dvou metodách spočívá v tom, že měsíční je použitelná vždy, zatímco roční může vykazovat nepřesnosti při roční potřebě tepla nižší, než 8 kWh/(m²a). Přestože v hodnoceném objektu neočekáváme nižší potřebu, než zmíněných 8 kWh/(m²a), rozhodl jsem se pro měsíční variantu.

2.2.3 List „Plochy“

V tomto listu se provádí zadávání údajů o obálce budovy. V programu PHPP se posuzují pouze plochy tepelné obálky, proto není třeba věnovat tolik pozornosti stěnám a stropům uvnitř budovy. V záhlaví listu „Plochy“ je uveden souhrn veškerých zadaných

ploch, sloužící především u rozsáhlejších projektů k zachování přehlednosti. Hned pod tímto souhrnem je další prvek „Zadání plochy“, ve kterém uživatel definuje veškeré plochy budovy. Tím se myslí nejen stěny, ale i plochy podlahy a střechy. Důležité je vždy zadávat vnější rozměry, jelikož jako tepelná obálka se uvažuje nejsvrchnější vrstva, která předává teplo okolí. Po zadání rozměrů a parametrů stěn budovy program automaticky odečte plochu oken instalovaných v těchto stěnách. Z tohoto důvodu je důležité rozlišit stěny podle orientace ke světovým stranám. Pro zadání parametrů oken slouží list „Okna“, více v kapitole 2.2.8. Zároveň je třeba zadat typ stěny, neboť různé typy stěn mají i různé součinitele prostupu tepla U , viz kapitola 2.2.5. Za účelem co nejpřesnějšího vystižení tepelných toků stavebních konstrukcí, používají se činitelé teplotní redukce b_j , respektující různé umístění stavebních konstrukcí a s tím související odlišné rozdíly teplot. V programu PHPP se rozlišují následující teplotní zóny:

- A – styk s venkovním vzduchem
- B – styk se zeminou nebo nevytápěným suterénem
- P – tepelný most v oblasti perimetru (na obvodu objektu)
- X – zvláštní plocha s individuálně vypočteným činitelem teplotní redukce (např. nevytápěné schodiště)

V dolní části listu zbývá zadat vstupy tepelných mostů. Tepelné mosty jsou nežádoucím jevem, který se snažíme eliminovat jak při návrhu tak samotné konstrukci budovy. Při konstrukci pasivních domů se uplatňuje princip „konstrukce bez tepelných vazeb a mostů“, v takovém případě jsou totiž tepelné toky tak nízké, že je možné je při výpočtu zanedbat. Pokud je však hodnota $\Psi > 0,01 \text{ W/(mK)}$, je nutné tento tepelný tok zohlednit. V hodnoceném objektu se výpočtově zohledňují tepelné mosty v podobě všech čtyř rohů budovy, základů obvodové stěny a tepelný most na rozhraní stěn a střechy.

2.2.4 List „U-seznam“

Tento list je seznamem U součinitelů nadefinovaných v listu „U-hodnoty“, ve spodní části doplněným o databázi typických konstrukcí. Zde jsou k nalezení veškeré konstrukce certifikované PassivHaus institutem pro standard pasivního domu. V seznamu je k nahlédnutí označení stavební konstrukce, její celková tloušťka a součinitel U .

2.2.5 List „U-hodnoty“

Po nadefinování rozměrů ploch je dále nutné vypočítat hodnoty součinitele prostupu tepla U , k tomu slouží list „U-hodnoty“. Výpočet podléhá normě DIN EN ISO 6946. Vzorec (2) pro výpočet součinitele U v homogenní stavební konstrukci je následující:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_b + R_{se}} \quad (2)$$

Kde značí:

R_{si}, R_{se} : tepelný odpor konstrukce při přestupu tepla na vnitřní a vnější straně dle DIN EN ISO 6946 [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

$R_1 \dots R_n$: tepelný odpor jednotlivých vrstev konstrukce 1...n [$\text{m}^2\text{K}/\text{W}$]

Tepelný odpor vyjadřuje jakou plochou materiálu nebo konstrukce a při jakém rozdílu teplot dojde k přenosu 1 W.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad (3)$$

Kde značí:

d : tloušťka konstrukce [m]

λ : součinitel tepelné vodivosti [$\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$]

[27]

Pro každou plochu se v tomto listu zadají její dílčí součásti, součinitele tepelné vodivosti a tloušťka jednotlivých vrstev. Program z těchto vstupů vyhodnotí celkovou šířku a součinitel U stavebního prvku (plochy). V *Tab.4* jsem uvedl příklad pro vnější stěnu. Pokud je stavební plocha složena z více dílčích ploch, je nutné toto respektovat zadáním dílčí plochy do pole „Dílčí plocha 2“, případně „Dílčí plocha 3“.

1 Vnější stěna						
Konstrukce č. Popis konstrukce						
Odpor při přestupu tepla na straně konstrukce [m ² K/W]		vnitřní R _{si} : 0,13				
		vnější R _{se} : 0,04				
Díličí plocha 1	λ [W/(mK)]	Díličí plocha 2 (nepovinný)	λ [W/(mK)]	Díličí plocha 3 (nepovinný)	λ [W/(mK)]	Celková šířka Tloušťka [mm]
1. Vnitřní omítka	0,350					10
2. Vápenopísková cihla	0,770					175
3. Drcená celulóza	0,039	dřevěný nosník	0,374			300
4. Vnější omítka	0,700					10
5. Dřevovláknitá deska	0,046					40
6.						
7.						
8.						
		Podíl díličí plochy 2		Podíl díličí plochy 3		Celkem 53,5 cm
		5,0%				
Součinitel U: 0,139 W/(m ² K)						

Tab.4: Výpočet součinitele U pro vnější stěnu

Pro každou stavební konstrukci je dále nutné zadat hodnoty odporu R. Přehled těchto odporů je uveden v Tab.5 Tepelné toky ve směru odklonu od vodorovné roviny ±30° a méně, jsou považovány za horizontální.

Směr toku tepla			
Odpor konstrukce při přestupu tepla	Nahoru	Vodorovně	dolů
R _{si} [m ² K/W]: na vnitřní straně	0,10	0,13	0,17
R _{se} [m ² K/W]: na vnější straně	0,04		
R _{se} [m ² K/W]: na vnější straně proti zemině	0		

Tab.5: Hodnoty odporu konstrukce při přestupu tepla R podle DIN EN ISO 6946 [28]

2.2.6 List „Materiály“

Do tohoto listu se nezapíše, je obdobně jako list „U-seznam“, databází, v tomto případě hodnot fyzikálních veličin vybraných stavebních materiálů.

2.2.7 List „Zemina“

Tento list slouží k výpočtu tepelných ztrát stavebních konstrukcí přilehlých k zemině, dle DIN EN ISO 13370. První zadávanou hodnotou je tepelná vodivost a kapacita zeminy. V Tab.6 jsou pro vlastnosti zeminy znázorněny následující standardní hodnoty:

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

Tab.6: Tepelná vodivost a tepelná kapacita v závislosti na objemu pro různé typy zeminy
[28]

Pro řešenou lokalitu vybírám kategorii „Mokrý písek/štěrk, vlhký jíl“. Dalším bodem jsou data k objektu, což je plocha podlahové desky A, obvod podlahové desky P a součinitel U pro podlahovou desku. Jelikož řešený objekt je nepodsklepený, jako druh podlahové desky zvolím „Podlahová deska na zemině“. Volitelně lze ještě doplnit údaje pro obvodovou izolaci podlahové desky. Ta je v našem případě provedena extrudovaným polystyrenem tloušťky 250 mm. Dále je možné zadat informace o spodní vodě, pokud jsou k dispozici, na základě kterých program určí korekční faktor podzemní vody. Spodní vodu není nutné uvažovat, pokud její hloubka není menší než 3 m a rychlost vyšší než 0,2 m/d. Pro řešenou oblast jsem uvažoval hloubku spodní vody 3 m a rychlost 0,05 m/d, pro tyto hodnoty je korekční faktor prakticky roven jedné, konkrétně 1,004, což potvrzuje předpoklad, že pro hloubku 3 m a více nemá spodní voda prakticky žádný význam.

Výstupem tohoto listu je několik hodnot. První je redukční faktor zeminy pro list „Teplo pro vytápění“, dalším jsou průměrné měsíční teploty zeminy pro výpočet pomocí měsíční metody, třetí je návrhová teplota zeminy pro list „Topná zátěž“ a poslední návrhová teplota zeminy pro list „Chladicí zátěž“.

2.2.8 List „Okna“

Okna a jejich tepelné ztráty a zisky jsou jedním z klíčových prvků pasivního domu, proto je vhodné věnovat jejich návrhu velkou pozornost. V tomto listu jsou počítány okenní plochy, součinitele U oken, sluneční ozáření a odpovídající redukční faktory. Vzorec (3) ukazuje výpočet součinitele U_w ze zadaných hodnot:

$$U_w = \frac{1}{A} \cdot [U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + l_g \cdot \Psi_{okraj\ skla} + l_f \cdot \Psi_{osazení}] \quad (4)$$

Kde značí:

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 [$W/(m^2K)$]

l_g : obvod zasklení [m]

l_f : obvod okenního rámu [m]

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

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

Zkušenosti ukázaly, že intenzita globálního slunečního záření v závislosti na orientaci se dá přibližně vyjádřit goniometrickou funkcí, která je odvislá pouze od úhlové odchylky a úhlu odklonu od pevně definovaného bodu. Tím je v programu PHPP sever. Jako první krok v tomto listu se tedy definuje odchylka jednotlivých oken od severu. V našem případě jižní strana domu kopíruje plot na jižní straně, který je mírně odkloněn v protisměru pohybu hodinových ručiček, takže severní strana domu je umístěna nikoliv v úhlu 0° , ale 340° . Všechny ostatní stěny jsou na sebe kolmé, následují tedy v úhlech po 90° . Dalším parametrem je odchylka od horizontály, v našem případě jsou všechny okna kolmá k této rovině. Před zadáním typů zasklení ještě zbývá zadat rozměry oken. V případě řešeného domu se i vstupní dveře na východní straně hodnotí jako okna, a jelikož se jedná o dveře skleněné, jejich parametry budou odpovídat francouzským oknům na protější západní straně. Dalším krokem je zvolit typ okna a rámu z rolující nabídky. Řešený dům bude vybaven okny od firmy Slavona, konkrétně trojsklem SGG – LUX zasazeným do rámu Progression, oba výrobky podléhají certifikaci PassivHaus institutu. Posledním zadávaným parametrem je osazení oken, program PHPP totiž rozlišuje okna zasazená samostatně a okna zasazená v řadě vedle sebe. Pro každý okraj okna se zadává faktor osazení, který je roven 1, pokud je dotyčný okraj napojen na vnější stěnu. Druhou možností je, pokud je okraj okna přímo napojen na další okno, v tomto případě je faktor osazení roven 0. V případě řešeného domu jsou všechna okna umístěna samostatně, faktor osazení je tedy pro všechna okna ve všech směrech roven 1. Výstupem z listu jsou hodnoty znázorněné

v Tab.7 a Tab.8.

Klima:		CZ - Plzeň-sever									
Orientace plochy okna	Globální sluneční záření (hlavní směry)	Zastínění	Nečistota	Nekořmý dopad záření	Podíl zasklení	Souč. g	Činitel redukce solárního ozáření	Plocha okna	Souč. U okna	Plocha zasklení	prům. globální sluneční záření
	kWh/(m ² a)							m ²	W/(m ² K)	m ²	kWh/(m ² a)
maximum:		0,75	0,95	0,85							
Sever	108	0,55	0,95	0,85	0,723	0,62	0,32	3,15	0,74	2,3	117
Východ	200	0,35	0,95	0,85	0,765	0,62	0,22	2,45	0,72	1,9	158
Jih	375	0,71	0,95	0,85	0,723	0,62	0,42	4,73	0,74	3,4	359
Západ	224	0,81	0,95	0,85	0,827	0,62	0,54	8,63	0,69	7,1	273
Vodorovný	312	0,75	0,95	0,85	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0	312
Celkové hodnoty nebo průměr ze všech oken.						0,62	0,43	18,95	0,71	14,7	

Tab.7: Činitel redukce solárního ozáření a další parametry

88,3	
Ztráty prostupem	Tepelné zisky ze solárního záření
kWh/a	kWh/a
205	73
155	52
308	437
524	785
0	0
1192	1346

Tab.8: Ztráty prostupem a tepelné zisky ze solárního záření

Nejdůležitějším výstupním parametrem jsou v tomto listu hodnoty ztrát prostupem a tepelné zisky ze solárního záření, které do značné míry ovlivňují celkovou energetickou bilanci objektu. Ztráta prostupem tepla pro danou konfiguraci dosahuje 1192 kWh za rok, tepelné zisky se rovnají 1346 kWh ročně. Tepelné zisky by bylo možné dále zvýšit natočením domu proti směru hodinových ručiček, jelikož na západní straně je plocha zasklení největší a tudíž je možné osvětlením této strany dosáhnout nejvyšších tepelných zisků.

2.2.9 List „OknaTyp“

V tomto listu jsou obsažena data o zasklení a rámu, stejně jako v ostatních databázových listech, jsou zde již předvolena certifikovaná skla a rámy a zároveň má uživatel možnost přidat do databáze svá vlastní. Vlastnosti (a zároveň hodnoty nutné pro výpočet U_w podle vzorce 4) rámu a zasklení uvedené v tomto listu jsou následující:

- Označení zasklení
- Součinitel g zasklení (podle EN 410)
- Součinitel U_g zasklení (podle EN 673)
- Označení a rozměry ráků (pohledová šířka profilu parapetu, ostění a nadpraží)
- Součinitel U_f rámu
- Součinitel ztrát tepelnými mosty na okraji skla (Ψ_g) a osazení oken ($\Psi_{osazení}$)

2.2.10 List „Zastínění“

Tento slouží k výpočtu faktorů zastínění jednotlivých oken, které se odvíjejí od geometrie oken a stínících prvků, orientace okenních ploch a také od roční doby. Součinitele vypočtené v tomto listu mají vliv pouze na období topné sezóny. Součinitel zastínění F_s je určen vzorcem:

$$F_s = F_H \cdot F_L \cdot F_{nad} \cdot F_{othe} \quad (5)$$

Kde značí:

F_H : zastínění oken řadou domů [-]

F_L : zastínění ostěním oken nebo jinými vertikálními prvky [-]

F_{nad} : zastínění vyčnívajícími horizontálními prvky nad oknem [-]

F_{othe} : zastínění respektující ostatní stínící prvky [-]

Tento list používá data již dříve zadaná do listu „Okna“, vstupní data zadávaná přímo do toho listu obsahují geometrické rozměry, případně vzdálenost, stínících prvků. Kromě hodnot zastínění vlastními konstrukčními prvky budovy jsem zadal výšku stínícího objektu 10 m ve vzdálenosti 100 m pro zohlednění náhodných zastínění či zastínění náhodnými objekty. Výstupem tohoto listu je činitel zastínění F_s , který je programem automaticky dosazen zpět do listu „Okna“.

2.2.11 List „Větrání“

V tomto listu probíhá výpočet potřebných hodnot přivedeného vzduchu a dalších parametrů větracího systému. Jako první se určuje množství přivedeného vzduchu, které je závislé pouze na počtu osob. Dle normy DIN 1946 je potřeba přívodu vnějšího vzduchu do bytových prostor stanovena na 30 m³/h na osobu. Pro řešený objekt s navrhovaným obsazením třemi osobami celkově tedy 90 m³/h. Pro získání hodnoty potřebného množství odvedeného vzduchu je nutné specifikovat místnosti s odvodem vzduchu. V našem případě

je to pouze kuchyň, koupelna a chodba (sprcha i WC se nacházejí v koupelně), výsledkem pro tyto tři místnosti je návrhový maximální objemový tok $120 \text{ m}^3/\text{h}$. Toto je však hodnota maximální, která nerespektuje skutečné využití místnosti. Průměrná intenzita výměny vzduchu pro normální obytné budovy se vypočítá vynásobením koeficientem 0,77 zohledňujícím standardní využití budovy. Z hygienických důvodů by průměrná intenzita výměny vzduchu neměla být nižší, než $0,3 \text{ l/h}$, zároveň by však neměla být příliš vysoká, neboť tak by mohlo docházet k vysoušení vzduchu interiéru v topné sezóně. V našem případě je průměrná hodnota intenzity rovna $0,63 \text{ l/h}$, tudíž hygienický požadavek byl splněn. Průměrná intenzita výměny vzduchu se vypočítá pomocí následujícího vzorce:

$$n_{L,\text{systém}} = \frac{V_{PRV}}{V_L} \quad (6)$$

Kde značí:

V_{PRV} : průměrný objemový tok za hodinu [m^3/h]

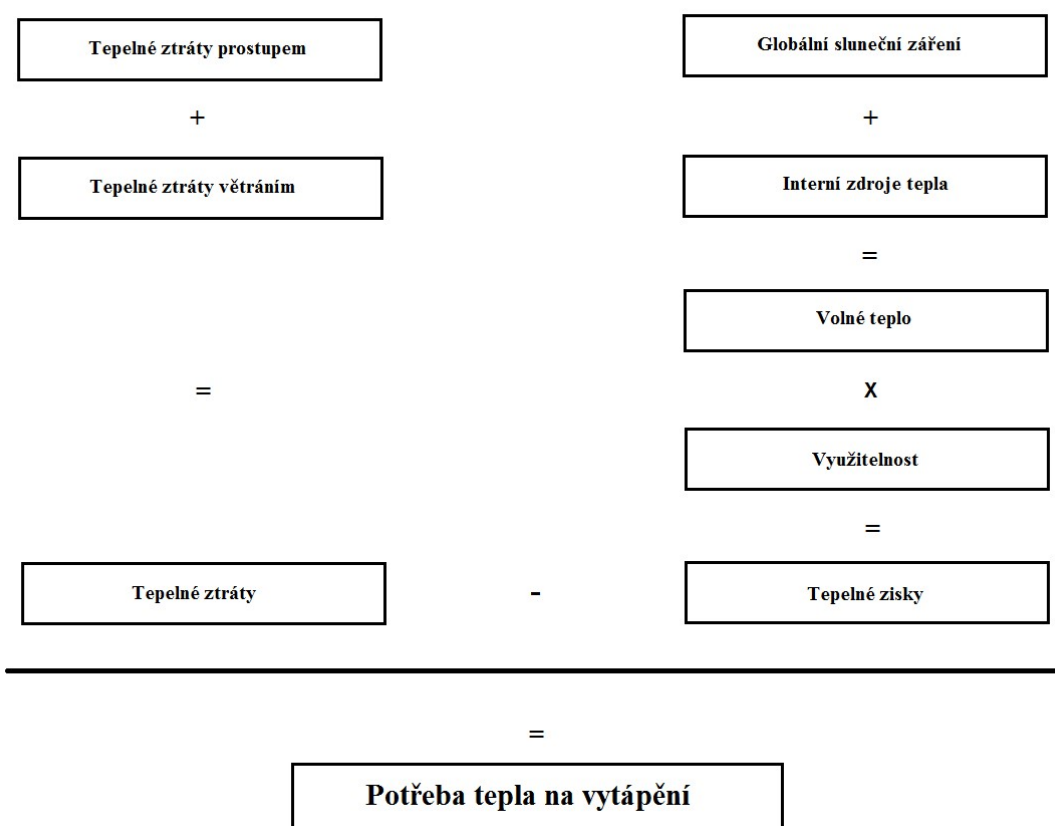
V_L : objem větraného prostoru [m^3]

Dalším krokem je specifikace větrací jednotky s rekuperací tepla. V našem případě se rekuperační jednotka bude nacházet uvnitř tepelné obálky budovy. Jedná se o jednotku VENUS 15EC s efektivní účinností zpětného získávání tepla $90,5 \%$ a účinností elektrické energie $0,35 \text{ Wh/m}^3$. Toto je účinnost samotného zařízení, která se však liší od účinnosti reálného systému. Ke zpřesnění je třeba zadat součinitele větrné expozice „e“ a „f“, které zohledňují na kolik je obálka domu vystavena působení větru a její ochranu proti tomuto působení. Vystavena větru bude více než jedna strana objektu a ochrana proti větru je mírná, tedy $e = 0,07$ a $f = 15$. Na celkovou účinnost systému mají vliv i přívodní a odvodní kanály vzduchu. Z tohoto důvodu je třeba i tyto prvky specifikovat, k čemuž slouží pomocný výpočet „ Ψ -hodnota kanálu vnitřního nebo vnějšího přívodu vzduchu“. V případě řešeného objektu bude použit po jednom přívodním a jedním odvodním kanálu, oba až na délku se stejnými parametry. Délka přívodního kanálu vnějšího vzduchu bude 1 m a délka kanálu odvodu vzduchu 2 m , jejich průměr roven 100 mm , tloušťka izolace 34 mm a jejich tepelná vodivost $0,04 \text{ W/(mK)}$. Program následně vypočte hodnotu tepelné vodivosti kanálů a použije je ke zpřesnění výpočtu efektivní účinnosti zemního výměníku tepla. V tomto případě účinnost po zadání parametrů přívodních a odvodních kanálů klesla

z 90,5 % na 86,9 %.

2.2.12 List „MěsíčníM“

V tomto listu se nachází výpočet jednoho z klíčových parametrů pasivních domů, a to měrné potřeby tepla. Jelikož jsem na začátku zvolil měsíční metodu výpočtu podle EN 13790, je teplo pro vytápění určeno pro každý měsíc roku. Do tohoto listu uživatel žádné hodnoty nezadáva, hodnoty jsou přebírány z ostatních listů, případně jsou přednastaveny implicitně. Schéma výpočtu energetické bilance je znázorněno na Obr. 14.



Obr.14: Schéma energetické bilance [28]

Tepelné ztráty prostupem se počítají pro každou stavební konstrukci zvlášť podle následujícího vzorce:

$$Q_T = A \cdot U \cdot b_j \cdot D_t \quad (7)$$

Kde značí:

A: Plocha stavební konstrukce [m²]

U: Součinitel U stavební konstrukce [W/(m²K)]

b_j: Redukční factor pro snížené rozdíly teplot [-]

D_t : Časový integrál rozdílu teplot – denostupně [kKh/a]

Celkové tepelné ztráty všemi konstrukcemi odpovídají podle předešlého vzorce hodnotě 59,3 kWh/(m²a).

Další položkou v tomto listu je výpočet tepelných ztrát větráním Q_V , které jsou určeny pomocí následujícího vztahu:

$$Q_V = V_L \cdot n_L \cdot c \cdot D_t \quad (8)$$

Kde značí:

V_L : Objem větraného prostoru [m³]

n_L : Energeticky účinná intenzita výměny vzduchu [-]

c : Měrná tepelná kapacita vzduchu: 0,33 [Wh/(m³K)]

D_t : Časový integrál rozdílu teplot – denostupně [kKh/a]

Tyto ztráty jsou v tomto případě rovné 7,7 kWh/(m²a).

Celkové tepelné ztráty budovy Q_L jsou dány součtem tepelných ztrát prostupem Q_T a tepelných ztrát větráním.

$$Q_L = Q_T + Q_V \quad (9)$$

Po dosazení $Q_T = 59,3$ a $Q_V = 7,7$ vychází celkové tepelné ztráty budovy 67,1 kWh/(m²a).

Další položkou jsou solární tepelné zisky, jež se určí podle vzorce:

$$Q_s = F \cdot g \cdot A_o \cdot G \quad (10)$$

kde značí:

F : Činitel redukce zastíněním vypočítaný v listu „Okna“ [-]

g : Celková propustnost slunečního záření zasklením, z listu „Okna“ [-]

A_o : Plocha oken [m²]

G : Globální sluneční záření v topné sezóně, převzaté z listu okna [kWh/(m²a)]

Hodnota zisků vyvolaných dopadajícím slunečním zářením je pro uvažovaný dům rovna $Q_S = 24,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Poslední položkou jsou vnitřní zdroje tepla, za ty je považováno odpadní teplo z osob a z přístrojů, pouze však v době vytápění. Od těchto hodnot se odečítá energie pro ohřev a vypařování vody, která působí jako spotřebič tepla. Tato hodnota je zadána implicitně a pro rodinné domy je rovna $2,1 \text{ W}/\text{m}^2$, celkově tedy $Q_I = 10,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Z hodnot solárních tepelných zisků a vnitřních zdrojů tepla lze jejich sečtením určit celkové dostupné teplo:

$$Q_F = Q_I + Q_S \quad (11)$$

Dosazením $Q_S = 24,9$ a $Q_I = 10,7$, dostáváme hodnotu $Q_F = 35,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

Toto teplo však nelze využít beze zbytku, proto je nutné určit stupeň využití tepelných zisků, který popisuje nakolik se dá volné teplo využít pro vytápění prostoru. Stupeň využití tepelných zisků se určí podle vzorce:

$$\eta_G = \frac{1 - (Q_F/Q_L)^5}{1 - (Q_F/Q_L)^6} \quad (12)$$

kde značí:

Q_F : Volné teplo [kWh/a]

Q_L : Celkové tepelné ztráty [kWh/a]

Dalším krokem je výpočet výsledných tepelných zisků po započtení stupně využití:

$$Q_G = Q_F \cdot \eta_G \quad (13)$$

Dosazením 0,98 za η_G a 35,6 za Q_F dostáváme výsledné tepelné zisky, které jsou za rok rovny $Q_G = 35 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Posledním krokem pro zjištění celkové potřeby tepla Q_H na vytápění je zjistit rozdíl mezi celkovými ztrátami a celkovými zisky:

$$Q_H = Q_L - Q_G \quad (14)$$

Tuto hodnotu je ještě třeba vydělit podlahovou plochou k určení měrné potřeby tepla na vytápění. Ta v našem případě činí $32 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Jak jsem se již zmínil v

předcházejících kapitolách, mezní hodnota pro splnění kritéria pasivního domu je rovna 15 kWh/(m²a), čili řešený dům tento požadavek nesplnil.

2.2.13 List „TV+rozvody“

V tomto listu je definován rozvod tepla a teplé vody. Nabízí množství variant jak tento systém specifikovat, v případě hodnoceného domu však nejsou zatím detailně naplánované. Některé parametry program PHPP nastavuje implicitně, jako je spotřeba TV na osobu a den, návrhová teplota na vstupu a průměrná teplota studené vody na přívodu. Odborným odhadem jsme dospěli k celkové délce jednotlivých větví vedení na 20 m a k vnějšímu průměru potrubí 24 mm. Stejně jako v případě rozvodu vzduchu, je i v tomto případě vhodné zadat parametry rozvodů, ze kterých program dokáže určit součinitel Ψ a tím dále zpřesnit výpočet. Celková potřeba tepla na přípravu TV, přepočtená na upravenou podlahovou plochu, je v tomto případě $q_{gDHW} = 36,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$.

2.2.14 List „Elektřina“

Tento list obsahuje výpočet bilance elektrické energie, do které je zahrnuta veškerá práce obvykle vykonávaná za použití elektřiny. Výjimku tvoří energie vynaložená na přípravu teplé vody a vytápění, která je hodnocena samostatně v listu Primární Energie, viz následující kapitola. Tato a následující kapitola spolu úzce souvisejí, protože od spotřeby elektrické energie se přímo odvíjí nutná primární energie, jejíž velikost je jedním ze základních kritérií pasivního domu.

V záhlaví listu je převzato několik informací nutných k výpočtu celkové spotřeby energie. Tyto informace jsou převzaty z již vyplněných listů a jsou to: počet osob, obytná plocha a potřeba tepla na vytápění. Dále jsou zobrazeny různé druhy spotřebičů a jejich aplikací, u kterých je nutno specifikovat jestli jsou v objektu vůbec použity, dále zda-li jsou součástí tepelné obálky a jejich normovaná spotřeba za jeden cyklus nebo den. U aplikací vyžadujících ke svému provozu vodu, jako je mytí nádobí a praní, je k dispozici výběr přípojky studené nebo teplé vody. V případě řešené stavby budou přítomny všechny klasické aplikace spotřebičů, vyjma chlazení a zmrazování. Přípojka vody bude pouze realizována pouze pro vodu studenou. Pro každou dílčí aplikaci se počítá roční spotřeba elektrické energie podle vzorce (15):

$$E_{el} = s_1 \cdot s_2 \cdot V_{norm} \cdot f_{užit} \cdot h \cdot G \cdot f_{el} \quad (15)$$

kde značí:

- s_1 : udává, zda se příslušný spotřebič/aplikace v objektu nachází, či ne. (0/1) [-]
 s_2 : udává, zda se příslušný spotřebič/aplikace nachází uvnitř, či vně tepelné obálky (0/1) [-]
 V_{norm} : jmenovitá spotřeba příslušného spotřebiče [kWh/cykl] [kWh/d]
 $f_{užit}$: korekční faktor využití energie, zpravidla 1 [-]
 h : četnost využití na vztažnou veličinu za rok [-]
 G : vztažná veličina pro hodnotu h , počet osob nebo domácností [-]
 f_{el} : podíl elektrické energie [-]

Z této dílčí energie pro jednotlivé aplikace se součtem určí celková spotřeba energie a dále určí měrná potřeba elektřiny pomocí vzorce (16):

$$e_{el} = \frac{E_{el}}{A_{TFA}} \quad (16)$$

kde značí:

A_{TFA} : upravená podlahová plocha [m²]

Doporučená maximální hodnota měrné potřeby pro pasivní domy se uvádí 18 kWh/(m²a), v našem případě se $e_{el} = 24,1$ kWh/(m²a). Vzhledem k tomu, že architektonický návrh stavby je pevně daný, řešením by mohla být instalace spotřebičů s nižším příkonem, lepší účinností, případně úplné vynechání některých spotřebičů.

Dalším krokem je přepočítání na primární energii, vzhledem k tomu, že veškerá dodaná energie je v podobě elektřiny, vzorec pro výpočet primární energie bude následující (17):

$$e_{prim} = e_{el} \cdot p_{el} \quad (17)$$

kde:

p_{el} : faktor primární energie, pro elektřinu roven 2,7 [-]

Podle programu PHPP je doporučená maximální hodnota potřebné primární energie pro pasivní domy $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Jelikož již měrná potřeba energie přesáhla doporučenou hodnotu, stejně tak i hodnota primární energie je vyšší, než hodnota doporučená. V našem případě $e_{\text{prim}} = 66,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Jak jsem již zmínil v úvodu této kapitoly, v této hodnotě není zohledněna energie potřebná na ohřev užitkové vody a na vytápění. Tato energie bude popsána v kapitole následující.

2.2.15 List „PrimárníE“

Hodnota potřeby primární energie je třetím zásadním kritériem pro hodnocení pasivního domu. Podle definice pasivního domu PassivHaus institutem nesmí tato hodnota překročit $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Primární energie v sobě spojuje energii potřebnou na vytápění, přípravu teplé vody, pomocné energie a elektrickou energii pro domácnost. Tato energie zohledňuje jak energetický obsah suroviny, tak také energii nutnou na její přepravu a zpracování. Program PHPP nabízí výpočet pro různé systémy dodávky tepla včetně jejich kombinací. Každá sekce tohoto listu představuje jeden druh zdroje energie a uživatel zadává jejich procentní podíl na krytí potřeby tepla a krytí potřeby přípravy teplé vody. V řešeném objektu bude podle projektu instalováno tepelné čerpadlo a fotovoltaický systém, které ale nebudou dimenzovány na pokrytí 100 % potřeby. Tepelné čerpadlo by mělo dle návrhu pokrýt 80 % potřeby tepla na vytápění, zbylých 20 % připadá na infrapanely. Ohřev užitkové vody bude dle návrhu ze 60 % pokryt fotovoltaickým systémem a ze 40 % elektrickým ohřevem. Nicméně pro potřeby této práce byla tato skutečnost zjednodušena. V další kapitole bude popsán energetický výpočet stejné budovy podle standardu téměř nulové budovy v programu Energie LT. Verze, kterou jsem měl k dispozici však nepodporuje zadání více zdrojů tepla či elektřiny. Aby bylo možné lépe porovnat oba výpočty, bude pro krytí potřeb ohřevu užitkové vody výpočtově použita v obou případech čistě elektřina a potřebné teplo na vytápění bude dodáno ze 100 % tepelným čerpadlem. U tepelného čerpadla je nutné definovat jeho roční tepelný faktor a účinnost zdroje tepla. Pro případ řešeného domu je hodnota potřeby primární energie rovna $203 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$, čímž nebyl splněn požadavek pasivního domu.

3 Kalkulace nulového domu pomocí programu Energie

3.1 Program Energie

Domy s téměř nulovou spotřebou energie, nebo zkráceně pouze nulové domy, mají velice krátkou historii, poprvé byly definovány ve směrnici EU v roce 2010 a do českého právního systému zaneseny v roce 2013. Tyto domy však lze nazvat domy budoucnosti, jelikož dle zákona č. 318/2012 o hospodaření energií musí všechny nově postavené budovy splňovat kritéria nulového domu. Prostředek jak ověřit, jestli hodnocený objekt splňuje tato kritéria je program Energie. K výpočtům v této práci jsem použil verzi Energie 2015 LT, která je zdarma ke stažení. Tato verze postrádá některé komponenty z plné verze programu, nicméně tyto nejsou klíčové pro mnou hodnocený dům a proto je tato verze dostačující. Na rozdíl od programu PHPP běžícím v tabulkovém editoru MS Excel, funguje Energie jako samostatný program.

3.2 Výpočet energetické bilance

V této kapitole bude hodnocen též objekt jako v kapitole 2, tudíž veškeré informace a parametry objektu jsou identické s předchozí kapitolou. Výpočet v tomto programu je podstatně zjednodušen tím, že veškerá optimalizace a dodatečné výpočty byly již provedeny v předchozí kapitole.

3.2.1 Popis objektu a klimatických podmínek

Po spuštění programu se objeví dialogové okno žádající o vytvoření nové úlohy a deklarování počtu zón v objektu. V našem případě bude zóna v objektu pouze jedna, jelikož se návrhové teploty v jednotlivých částech objektu neliší o více než 4 °C, ve všech částech je stejný systém vytápění a větrání a intenzita větrání se neliší o více než 80 %, jak určuje norma EN ISO 13790. Po vytvoření nové úlohy program vyzývá k zadání názvu objektu a zpracovatele, dále je nutné na úvodní obrazovce úlohy zadat klimatické údaje a typ výpočtu. Volím možnost měsíčního výpočtu pro komplexní hodnocení energetické náročnosti budov ve smyslu vyhlášky MPO ČR č 78/2013 Sb. Následně je nutné definovat klimatické podmínky v okolí objektu, program obsahuje katalog sluneční energie, volím proto lokalitu jihozápadně od Prahy a program z databáze dosadí hodnoty průměrných venkovních teplot v jednotlivých měsících a celkové energie globálního slunečního záření

dopadajícího za daný úsek na jednotlkové plochy orientované, viz Obr.15. Další specifikace objektu je dostupná přes volbu „Popis jednotlivých zón“, viz kapitola 3.2.2.

The screenshot shows the 'Energie LT' software interface. It is divided into several sections:

- Obecné údaje:** Fields for 'Název objektu' (Blahousty), 'Zpracovatel' (olda.kuceraa@gmail.com), 'Datum' (18.04.2016), and 'Zakázka'. A button 'Podrobnější identifikace budovy a zpracovatele posouzení' is also present.
- Klimatické údaje:** 'Typ výpočtu' is set to 'měsíční pro komplexní hodnocení energ. náročnosti budov podle vyhl. MPO ČR č. 78/2013 Sb.'. A button 'Vložit data podle TNI 730331' is visible. A calendar shows 'Leden' selected. Below, 'Délka úseku' is 31 dnů and 'Prům. venkovní teplota' is -1,3 C.
- Energy Data Table:** A table showing global solar radiation for different orientations:

na sever:	29,5 MJ/m2	na severovýchod:	29,5 MJ/m2
na jih:	123,1 MJ/m2	na severozápad:	29,5 MJ/m2
na východ:	50,8 MJ/m2	na jihovýchod:	96,5 MJ/m2
na západ:	50,8 MJ/m2	na jihozápad:	96,5 MJ/m2
horizontálně:	74,9 MJ/m2		
- Formuláře:** A sidebar on the right with 'Formulář č. 1' and 'Blok 1-1'.
- Navigation Buttons:** At the bottom, three buttons: 'Popis jednotlivých zón', 'Popis spojení zón', and 'Popis přídatných spotřeb'.

Obr.15: Popis objektu a klimatických podmínek v programu Energie LT

3.2.2 Popis jednotlivých zón

V tomto okně jsou dostupné karty pro základní popis zóny, vnitřní tepelné zisky, definice použitých energonositelů atd., viz následující kapitoly. Zároveň je v dolní části přístup do dalších podoken pro definování oken, stěn a střechy, případně dalších konstrukčních prvků.

3.2.2.1 Základní popis zóny

V této kartě je nutné definovat několik hodnotících parametrů, podle kterých bude budova hodnocena. Prvním je typ zóny pro stanovení požadavku ČSN 730540-2 na průměrný součinitel prostupu tepla, v tomto případě „nová obytná budova“. Dále typ zóny pro určení parametrů referenční budovy podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb., v našem případě se jedná o rodinný dům. Posledním parametrem je typ hodnocení zóny podle

vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb., a tím je „nová budova“. Návrhová teplota je obvykle pro běžně vytápěné objekty 20 °C, stejně tomu bude i v tomto případě. Poslední položkou v tomto okně je karta „Geometrie zóny“. Zde jsou definovány geometrické rozměry zóny na základě zadáním celkového obestavěného objemu zóny a podlahové plochy stanovené na základě vnějších a vnitřních rozměrů.

3.2.2.2 Vnitřní zisky a osvětlení

Na této kartě je nutné nejprve definovat vnitřní zisky od osob, které jsou programem již předvolené ve smyslu TNI 730331. Podle tohoto dokumentu se volí, že osoby jsou přítomné v zóně 70 % času a jejich průměrná měrná produkce tepla je 1,5 W/m². Dále se stejným způsobem a podle stejného dokumentu definují vnitřní zisky od spotřebičů. Spotřebiče budou výpočtově zapnuté 20 % času s průměrnou měrnou produkcí tepla 3 W/m². Dále je třeba specifikovat osvětlení, program tentokrát navrhuje hodnoty odpovídající dotačnímu programu Nová zelená úsporám. Minimální přípustná osvětlenost v zóně se volí 90 lx, v budově nebude instalován inteligentní systém osvětlení, takže ovládání osvětlení bude ruční. Program následně dosazuje hodnoty roční doby provozu osvětlení za dne (1600 h) a za noci (1200 h), činitele závislosti na denním světle a činitele obsazenosti, obě hodnoty rovné jedné. Osvětlení bude realizováno LED žárovkami o celkovém příkonu 80 W.

3.2.2.3 Větrání zóny, ventilátory a úprava vlhkosti

Větrací systém byl již popsán v kapitole 2.2.11. Rozdílem v programu Energie je možnost specifikovat teplotu nasávaného venkovního vzduchu. Po kliknutí na tlačítko „Počáteční teplota vzduchu“ program načte z databáze průměrnou teplotu vzduchu pro jednotlivé měsíce v roce.

3.2.2.4 Zdroje tepla

Zdrojem tepla pro objekt bude tepelné čerpadlo typ vzduch/vzduch. Program Energie LT však tento typ nepodporuje, proto je volím možnost „obecný typ“, výstupní teplota pro tento typ je implicitně nastavena na možnost „méně než 35 °C“, faktor COP je pro zvolený typ čerpadla roven 3. Dále je ve spodní části karty nutné definovat účinnost sdílení a distribuce tepla, obě účinnosti jsme bez příslušných dokumentací stanovili odhadem na 90 %.

3.2.2.5 Příprava teplé vody

Návrhově se dle programu Nová zelená úsporám počítá s průměrnou denní potřebou teplé vody 40 l na osobu a den, s průměrnou teplotou studené vody 10 °C a teplotou vody ve zdroji ohřevu 55 °C. Zdrojem teplé vody bude elektrický boiler s účinností 93 %. Dále bude použit zásobník o objemu 200 l s měrnou tepelnou ztrátou 7 Wh/(l.den) a referenční měrnou tepelnou ztrátou o stejné hodnotě. Součástí systému budou také rozvody teplé vody o délce 20 m s měrnou tepelnou ztrátou 114,6 Wh/(m.den).

3.2.2.6 Energonositele, primární energie a emise

Jediným energonositelem je v tomto výpočtu elektřina dodávající energii do všech systémů v objektu. Faktor neobnovitelné primární energie je pro elektřinu roven třem, faktor celkové primární energie 3,2 a součinitel emisí CO₂ odpovídá pro elektřinu 1,17 kg/kWh.

3.2.2.7 Okna

Dalším podoknem dostupným z okna „Základní popis zóny“ je definice průsvitných konstrukcí. Jako první se definují geometrické rozměry oken, z čehož program zjistí jejich plochu a tu následně automaticky odečítá z plochy stěny, ve které je okno umístěné. Další vyžadované parametry víceméně korespondují s těmi v programu PHPP, tudíž je nutné zadat celkový součinitel prostupu tepla, činitel teplotní redukce, orientaci okna vzhledem ke světovým stranám, čímž se určí ve které stěně bude okno umístěno. V dolní části je pak nutné definovat korekční činitele stínění pro zastínění jinými budovami, přečnívajícími vodorovnými částmi a přečnívajícími svislými částmi. Jako poslední je možné zvolit počet oken zadaného typu, což značně zjednodušuje výpočet v případě, že jsou okna na každé straně objektu identická.

3.2.2.8 Stěny a střecha

V tomto podokně jsou definované neprůsvitné konstrukce ve styku s vnějším vzduchem. Zde je nutné zařadit konstrukci do kategorie a těmi jsou v našem případě „Obvodová stěna“, „Střecha“ a „Podlaha“. Pro všechny konstrukce je třeba zadat jejich plochu a tepelné parametry. Program, stejně jako PHPP, nabízí možnost automaticky odečíst plochu oken, čímž se zároveň definuje natočení objektu ke světovým stranám. V této kartě se také definují tepelné mosty stejným způsobem jako v kapitole 2.2.3.

3.2.2.9 Podlaha a suterén

Posledním podoknem týkajícím se stavebních konstrukcí je „Podlaha a suterén“. U tohoto formuláře je třeba jako první zvolit správný typ podlahové konstrukce odpovídající normě EN ISO 13370, která rozlišuje čtyři druhy podlahových konstrukcí – podlaha na zemině, zvýšená podlaha, vytápěný suterén a částečně či zcela nevytápěný suterén. Řešený objekt je nepodsklepený a podlaha je umístěna přímo na zemině, typ podlahové konstrukce je tedy „podlaha na zemině“. Dalšími údaji, které je nutné definovat v této kartě je plocha konstrukce (v kontaktu se zeminou), součinitel tepelné vodivosti zeminy a také je třeba zahrnout vliv spodní vody. V dolní části okna se zadávají parametry týkající se styku s obvodovými stěnami a doplňkové okrajové izolace podlahy.

4 Porovnání výsledků

4.1 Výsledky výpočtu v programu PHPP

Jak jsem se již zmínil, pro hodnocení splnění požadavků pasivního domu slouží tři základní kritéria, měrná potřeba tepla pro vytápění, zkouška neprůvzdušnosti a měrná potřeba primární energie. Měrná potřeba tepla pro vytápění je rovna 32 kWh/(m²a), čímž byl více než dvojnásobně překročen požadavek pro pasivní domy 15 kWh/(m²a). Stejně tak nebyl splněn požadavek na měrnou potřebu energie, jejíž hodnota pro hodnocený dům je rovna 203 kWh/(m²a) a překročila tak požadavek 120 kWh/(m²a). Důležitý je však rozměr těchto druhů energie, obě jsou vztažené na podlahovou plochu, která je v tomto případě velice malá, což komplikuje snahu o co nejnižší měrnou potřebnou energii. Požadavek na neprůvzdušnost budovy se kontroluje až v průběhu vlastní realizace stavby, tudíž při vlastním návrhu není možné neprůvzdušnost jednoznačně určit, nicméně vzhledem k použité technologii se dá předpokládat výsledek 0,3 h⁻¹ a tím splnění požadavku pasivního domu. Vzhledem k absenci chladicího systému nelze hodnotit měrnou potřebu energie pro chlazení a zároveň ze stejného důvodu je četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu vyšší než požadovaných 10 %. Výsledky výpočtu z programu PHPP jsou znázorněny v Tab.9.

Ppožadavky ve vztahu k vytápěné podlahové ploše			
Vytápěná podlahová plocha:	58,9	m ²	
Použito:	Měsíční metoda	Certifikát:	Splněno?
Měrná potřeba tepla pro vytápění:	32	kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)
Výsledek zkoušky neprůvzdušnosti:	0,3	h ⁻¹	0,6 h ⁻¹
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění, chlaz., pom. a dom. spotřebiče):	203	kWh/(m²a)	120 kWh/(m²a)
Měrná potřeba primární energie (TV, vytápění a pomocné a domácí spotřebiče):	145	kWh/(m ² a)	
Měrná potřeba primární energie Úspora elektřiny pomocí solární energie:		kWh/(m ² a)	
Topná zátěž:	22	W/m ²	
Četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu:	38	%	nad 25 °C
Měrná potřeba energie pro chlazení:		kWh/(m ² a)	15 kWh/(m ² a)
Chladicí zátěž:	13	W/m ²	

Tab.9: Výsledky výpočtu z programu PHPP

4.2 Výsledky výpočtu v programu Energie LT

Výsledky výpočtu jsou k nahlédnutí po kliknutí na možnost „výpočet“, kde má následně uživatel možnost zvolit podrobný výpočet, nebo protokol o měření. Pro zhodnocení výsledků je dostačující protokol o měření. Ten je rozdělen na dvě části, první jsou výsledky pro hodnocenou budovu a druhá karta obsahuje výsledky výpočtu pro referenční budovu podle vyhlášky MPO ČR č 78./2013 Sb. Kompletní výsledky výpočtu pro hodnocenou budovu jsou k nahlédnutí v příloze B a pro referenční budovu v příloze C. Průkaz energetické náročnosti budovy vyhotovený programem Energie je vyobrazen v příloze D.

První podmínkou, kterou musí hodnocený dům splnit je kritérium průměrného součinitele prostupu tepla. Tato hodnota je pro hodnocený dům $U_{em} = 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ a pro referenční budovu $U_{emR} = 0,26 \text{ W/m}^2\text{K}$, požadavek pro hodnocený objekt je maximálně 0,7násobek hodnoty pro referenční budovu, tudíž toto kritérium splněno je.

Druhým hodnotícím kritériem pro nulové domy je celková dodaná energie do budovy za rok, která musí být pro hodnocený objekt nižší, než pro objekt referenční. Tato hodnota se pro hodnocený dům rovná 6 718 MWh, v případě vztažení na podlahovou plochu tato energie odpovídá 84 kWh/(m²a), pro referenční budovu je měrná dodaná energie více jak dvojnásobná, konkrétně 218 kWh/(m²a), čili i tento požadavek byl splněn.

Posledním hlediskem pro porovnání je neobnovitelná primární energie, jejíž potřeba musí být v hodnoceném domě nižší než v budově referenční. Referenční budova vykazuje potřebu primární energie ve výši 203 kWh/(m²a), podle výpočtu je tato hodnota pro hodnocený objekt rovna 189 kWh/(m²a). Přestože byl požadavek splněn, velikost této energie je ovlivněna nemožností zahrnout do výpočtu více tepelných zdrojů, využití elektřiny s vysokým faktorem přeměny energie na přípravu teplé vody podstatně zvyšuje potřebu primární energie, dá se očekávat že s použitím fotovoltaiky, případně dalšího zdroje s nižším faktorem přeměny by pomohlo snížit potřebu primární energie na nižší úroveň.

Výsledky jsou podrobněji znázorněny v Tab 10,11 a 12.

Zóna	Převažující návrhová vnitřní teplota	Objem zóny	Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla zóny	Součin
	$\Theta_{im,j}$ [°C]	V_j [m ³]	$U_{em,R,j}$ [W/(m ² .K)]	$V_j \cdot U_{em,R,j}$ [W.m/K]
Rodinný dům Blahousty	20,0	325,7	0,26	84,68
Celkem	x	325,7	x	84,68

Budova	Průměrný součinitel prostupu tepla budovy		
	Vypočtená hodnota U_{em} ($U_{em} = H_T/A$)	Referenční hodnota $U_{em,R}$ ($U_{em,R} = \Sigma(V_j \cdot U_{em,R,j})/V$)	Splněno
	[W/(m ² K)]	[W/(m ² K)]	[ano/ne]
Budova jako celek	0,13	0,26	ano

Tab.10: Požadavky na průměrný součinitel prostupu tepla

(6)	Referenční budova	[MWh/rok]	17,552	Splněno (ano/ne)	ano
(7)	Hodnocená budova		6,718		
(8)	Referenční budova	[kWh/m ² .rok]	218		
(9)	Hodnocená budova		84		

Tab.11: Požadavek na celkovou dodanou energii

(10)	Referenční budova	[MWh/rok]	16,294	Splněno (ano/ne)	ano
(11)	Hodnocená budova		15,170		
(12)	Referenční budova (ř.10 / m ²)	[kWh/m ² .rok]	203		
(13)	Hodnocená budova (ř.11 / m ²)		189		

Tab.12: Požadavek na neobnovitelnou primární energii

4.3 Porovnání

Existuje několik důvodů, proč výsledky z programů PHPP a Energie nemohou být rovnocenné. Je důležité si uvědomit, že jak měrná potřeba tepla na vytápění, tak měrná potřeba primární energie se vztahují na plochu. A právě tato plocha, na kterou jsou výpočty vztažené tvoří zásadní rozdíl mezi výpočtem pasivního a nulového domu. V případě pasivního domu je tato plocha, nazývaná „upravená podlahová plocha“, pouze podlahovou plochou, která se nachází uvnitř tepelné obálky. Do této plochy se tedy nezapočítávají zdi, příčky, komíny, schodiště apod. Zatímco spotřeba nulových domů se vztahuje na tzv.

„celkovou energeticky vztažnou plochu“, což je celková podlahová plocha určená vnějšími rozměry tepelné obálky. Rozdíl velikostí těchto ploch je markantní, zatímco program PHPP počítá s plochou 58,93 m², program Energie vztahuje energii na plochu 80,41 m². Proto výsledek měrné potřeby tepla bývá ve většině případů nižší při výpočtu v programu Energie, než je tomu v případě pasivního standardu. Tento předpoklad potvrzuje i případ hodnoceného objektu, program PHPP určil měrnou potřebu tepla na úrovni 32 kWh/(m²a), výpočet v programu Energie ukázal hodnotu 25 kWh/(m²a). Tento rozdíl je sice z největší části způsoben rozdílnou vztažnou plochou, ale jsou zde i další faktory, které rozeberu v následujících odstavcích.

V absolutních číslech dům řešený podle pasivního standardu potřebuje za rok na vytápění energii o hodnotě 1894 kWh, v případě výpočtu v programu Energie je tato hodnota 2019 kWh. V absolutních číslech se tedy situace obrací a nyní se podle programu Energie dům jeví jako energeticky náročnější. Tímto se ukazuje jak velkou měrou se na rozdíl měrných hodnot podílí odlišná definice podlahové plochy. Zároveň však dokazuje, že toto není jediný rozdíl ve výpočtech obou programů. Program PHPP kromě měsíční metody podle platných norem nabízí i svůj vlastní výpočet podle doby vytápění, založený na zkušenostech s pasivními domy, tento výpočet je dostupný v listu „Teplota pro vytápění“. Podle této metody je roční potřeba tepla pro vytápění rovna 1962 kWh. Obě metody využívají tutéž databázi, jejich výsledky jsou tedy velice podobné. Výjimku tvoří především budovy s velkým procentem zasklení, případně budovy s extrémně nízkou potřebou energie (pod 8 kWh/(m²a)), v těchto případech se dle zkušeností jeví měsíční metoda jako přesnější.

Dalším důležitým rozdílem je definice klimatických dat. V programu PHPP uživatel může zadat oblast, v našem případě „plzeň-sever“ a program z databáze načte hodnoty o teplotě vzduchu, teplotě zeminy, slunečním záření atd. V případě programu Energie jsou také k dispozici hodnoty z databáze, ale pouze jako celorepublikový průměr. Jelikož zákon platí ve všech částech republiky stejný, jsou k dispozici pouze průměrné hodnoty teploty a slunečního záření napříč celou republikou. Dalším rozdílem je započítávání solárních zisků, program Energie oproti PHPP značně nadhodnocuje využitelnost solárních zisků. Tomuto předpokladu odpovídají i výsledky výpočtů, podle metodiky PHPP jsou solární zisky rovné 1466 kWh/a, podle programu Energie jsou tyto zisky 3566 kWh/a. Solární

zisky se v tomto konkrétním případě mohou lišit i na základě toho, že program PHPP nabízí možnost nastavit detailně po jednotlivých stupních natočení objektu. V programu PHPP jsem počítal na základě umístění objektu na pozemku s natočením jižní strany vůči severu o 160 stupňů, Energie umožňuje zadat pouze Jih, případě Jihovýchod čímž dochází k dalším odchylkám mezi oběma výpočty solárních zisků.

Dalším rozdílem, který už však nemá vliv na potřebu tepla na vytápění, ale na hodnotu potřebné primární energie, je faktor primární energie. V PHPP se bere jako faktor primární energie pro elektřinu hodnota 2,7, v programu Energie je tento faktor podle vyhlášky 78/2013 Sb roven třem. V Tab.10 jsou uvedeny různé hodnoty faktoru primární energie pro různé energonositele. Primární energie je energie, která neprošla žádným procesem přeměny, celková primární energie je součtem obnovitelné a neobnovitelné primární energie. Za neobnovitelný zdroj energie se považuje ten, jehož vyčerpání se očekává maximálně za stovky let a jeho obnovení by trvalo mnohonásobně déle. Z tohoto znázornění je zřejmé, že elektřina je z hlediska primární energie velice nevýhodným zdrojem a její využívání znesnadňuje splnění pasivního či nulového standardu. Nízkoenergetické budovy jako takové byly zavedeny za účelem uspoření energie, tedy jak v zájmu snížení provozních nákladů, tak v zájmu ochrany přírody. Faktor primární energie plní stejný účel a tím znevýhodňuje elektřinu jako nejméně efektivní zdroj energie. Logicky nejekologičtější by bylo stoprocentní pokrytí potřeb energie energií z okolního prostředí, jakožto plně obnovitelného zdroje energie. Tyto zdroje však nejsou k dispozici za každých okolností a skladování energie zatím ještě není na dostatečné úrovni aby plošně nahradili konvenční neobnovitelné zdroje. Nicméně v moderním pasivním či nulovém domě by rozhodně měly krýt potřebu energie v maximální možné míře a neobnovitelné zdroje by měly být instalovány pouze jako doplňkové.

Ergonositel	Faktor celkové primární energie (-)	Faktor neobnovitelné primární energie (-)
Zemní plyn	1,1	1,1
Černé a hnědé uhlí	1,1	1,1
Elektřina	3,2	3
Dřevěné peletky	1,2	0,2
Kusové dřevo, dřevní štěpka	1,1	0,1
Energie okolního prostředí (elektřina a teplo)	1	0

Tab.10: Faktor primární energie pro různé typy energonositele[7]

5 Přínos nulových budov

Pro vyhodnocení rozdílů ve spotřebě energie budu uvažovat pouze teplo pro vytápění, jakožto hlavní hodnotící parametr budov snažících se o nízkou spotřebu energie. Domácí spotřebiče a jejich využití je spíše individuální záležitostí každého konkrétního vlastníka a jeho návyků. Jak jsem již zmínil v předchozí kapitole, absolutní roční potřeba tepla pro vytápění podle pasivního standardu je 1894 nebo 1962 kWh/a, v závislosti na použité metodě výpočtu. Program Energie LT výpočtem podle vyhlášky Ministerstva průmyslu a obchodu České Republiky č. 78/2013 Sb. určil tuto energii rovnu hodnotě 2019 kWh/a. V tomto konkrétním případě se tedy výpočtově jeví jako energeticky úspornější dům pasivní, bez ohledu na to, jestli se uživatel rozhodne pro měsíční nebo roční metodu výpočtu. Nicméně zkušenosti z praxe prokazují opak, ve většině případů vychází v programu PHPP energie na vytápění vyšší, než v případě Energie. Je tomu tak z již zmíněných důvodů, z nichž nejmarkantnější je nadhodnocování solárních zisků v případě programu Energie a rozdílnost klimatických údajů.

Přestože název „budova s téměř nulovou spotřebou energie“ asociuje spotřebu velmi blízkou nulové hodnotě, kritéria pro pasivní dům jsou dle zkušeností přísnější a pokud dům vyhoví pasivnímu standardu, je téměř jisté že vyhoví i požadavkům na dům s téměř nulovou spotřebou energie. Tato teorie se potvrdila i mém případě, kdy při výpočtu v PHPP hodnocený objekt poměrně značně, v případě měrného tepla na vytápění a celkové měrné potřeby primární energie dokonce téměř dvojnásobně, překročil požadované hodnoty. Naopak v případě výpočtu v programu Energie byla splněna všechna hodnocená kritéria včetně požadavku na primární energii, který byl splněn i přestože veřejně dostupná verze programu Energie nepodporuje zadání více zdrojů energie. Díky tomu jsem mohl do výpočtu zahrnout pouze elektrický ohřev namísto fotovoltaického, což vedlo k nárůstu potřeby primární energie z důvodu vysokého faktoru přeměny pro elektřinu.

Srovnání pasivního a nulového domu není zcela jednoduché, protože oba standardy jsou definovány odlišnými parametry a oba využívají jiné výpočetní metody. Nejlépe vypovídající jsou tedy zkušenosti z praxe, podle kterých je co se týče energetické úspornosti přísnější pasivní standard. Pokud by tedy bylo snahou zákona č. 318/2012 Sb. o hospodaření energií, který zavádí do českého právního systému evropskou směrnici

2010/31/EU, čistě snaha o maximální možnou úsporu energie, bylo by efektivnější definovat nulové budovy podle standardu pasivního domu. I pasivní domy však mají své nevýhody, které by se naplno projevíly, pokud by stejně jako nulové domy, od roku 2020 měly nahradit veškerou produkci. Již samotné nulové budovy představují obrovský skok ve srovnání s klasickými budovami. Stačí vzít v potaz počáteční investice, které se dají očekávat o přibližně 5 – 10 % vyšší ve srovnání s konvenčními stavbami. V případě pasivního standardu by počáteční investice, díky vyšším nárokům, byla pravděpodobně ještě o několik procent vyšší. Stejně tak technologická náročnost na vybavení, či samotnou stavbu objektu. Zálžitosti, které by pravděpodobně neměly příliš velký vliv v případě jednoho konkrétního objektu mohou v republikovém či dokonce evropském měřítku nabýt na důležitosti.

Mimo snahu o úsporu energie z ekologického hlediska, je stejně tak důležitý v dnešní době všude přítomný ekonomický aspekt. Počáteční vyšší investice jsou sice nevýhodou pro investora, ale naopak výhodou pro stavební průmysl u kterého se očekává vzestup a vznik nových pracovních míst. Společnost CBRE realizovala ve Spojených státech několikaletou studii, podle jejíchž výsledků budovy s LEED certifikací (tamní označení pro energeticky a ekologicky šetrné budovy) vykazovaly průměrně o 3,1 % vyšší obsazenost a vyšší výnos z nájemného než standardní budovy. Tento výzkum sice proběhl na druhé straně zeměkoule, ale přesto může naznačovat jakým způsobem lidé, možná i podvědomě, o těchto budovách smýšlejí.

Podle údajů statistického úřadu se v roce 2013 postavilo 15013 rodinných domů, z tohoto celkového počtu dokončených rodinných domů jich nejvíce, a to 64,4 %, připadlo do energetické třídy účinnosti C (vyhovující). Označení B (úsporná) získalo 31,2 % domů a do mimořádně úsporné třídy A bylo zařazeno 4,4 % rodinných domů. Obdobná situace byla i na trhu s bytovými domy, ve třídě C bylo dokončeno 61,9 % domů, ve třídě B 34,8 % a 3,3 % bytových domů bylo vyhodnoceno jako třída A. Skutečnost, že každý rok je postaveno přibližně pouze několik desítek, maximálně stovek domů splňujících podmínky pasivního standardu vypovídá o tom, že jejich energetická úspora je v kontextu s celkovým objemem stavebního průmyslu minimální a hraje roli pouze pro samotného majitele objektu. Dobrovolný certifikát pasivního domu tedy není cesta jak plošně snížit spotřebu energie. Kalkulace celkových energetických a finančních úspor, které po roce 2020

nastanou, by vydaly na další diplomovou práci. Hrubým odhadem lze nicméně říci, že na každém rodinném domě se přechodem na nulový standard dá ušetřit každý rok několik jednotek až desítek MWh energie, což při každoročním objemu výstavby 14 – 18 tisíc domů dává úsporu desítek až stovek GWh ročně. A to pouze v oblasti rodinných domů, každý rok je také postaveno několik stovek bytových jednotek, administrativních budov a budov veřejné správy, které také budou muset být stavěny jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

[30]

Zmíněná evropská směrnice 2010/31/EU hovoří o budově s téměř nulovou spotřebou energie jako o budově jejíž spotřeba energie je velmi nízká a také se zmiňuje, že téměř nulová či nízká spotřeba požadované energie by měla být ve značném rozsahu pokryta z obnovitelných zdrojů, včetně energie z obnovitelných zdrojů vyráběné v místě či v jeho okolí. Tato myšlenka zní velmi ambiciózně, na druhou stranu také zároveň velice nejistě, jelikož nic není definováno konkrétně. Výsledná podoba budovy s téměř nulovou spotřebou energie je tedy záležitostí vnitrostátního plánu dané země.

6 Závěr

Jsem toho názoru, že jak naše planeta jako taková, tak zdroje, které nám poskytuje jsou jedinečné a je třeba je chránit a neplýtvat s nimi. Proto považuji za důležité jakékoliv snahy o zamezení dalšího růstu spotřeby energie. Spotřeba energie v zemích Evropské unie má dlouhodobě mírně stoupající tendenci a podíl spotřebované energie v budovách se pohybuje okolo 40 % a podíl na emisích CO₂ dosahuje kolem 35 – 36 % [32]. Což jsou v absolutních číslech obrovské hodnoty energie, stejně jako množství spotřebovaných zdrojů. Evropská unie se zavázala do roku 2020 snížit spotřebu energie o 20 % ve srovnání s rokem 1990 a snížení spotřeby u budov je jedním z nástrojů jak toho dosáhnout.

Dle mého názoru jsou nulové domy jsou za současných podmínek správným mezikrokem, ale rozhodně ještě nejsou finálním krokem na cestě za minimalizací energetické náročnosti. Teoreticky by se daly jejich energetické potřeby ještě snižovat, jako například u pasivního domu, ale i tak čeká evropské stavebnictví v následujících letech pravděpodobně velká změna a bude jen dobře pokud se podmínky pro energetickou náročnost budov budou nadále postupně zpříšňovat.

Použitá literatura:

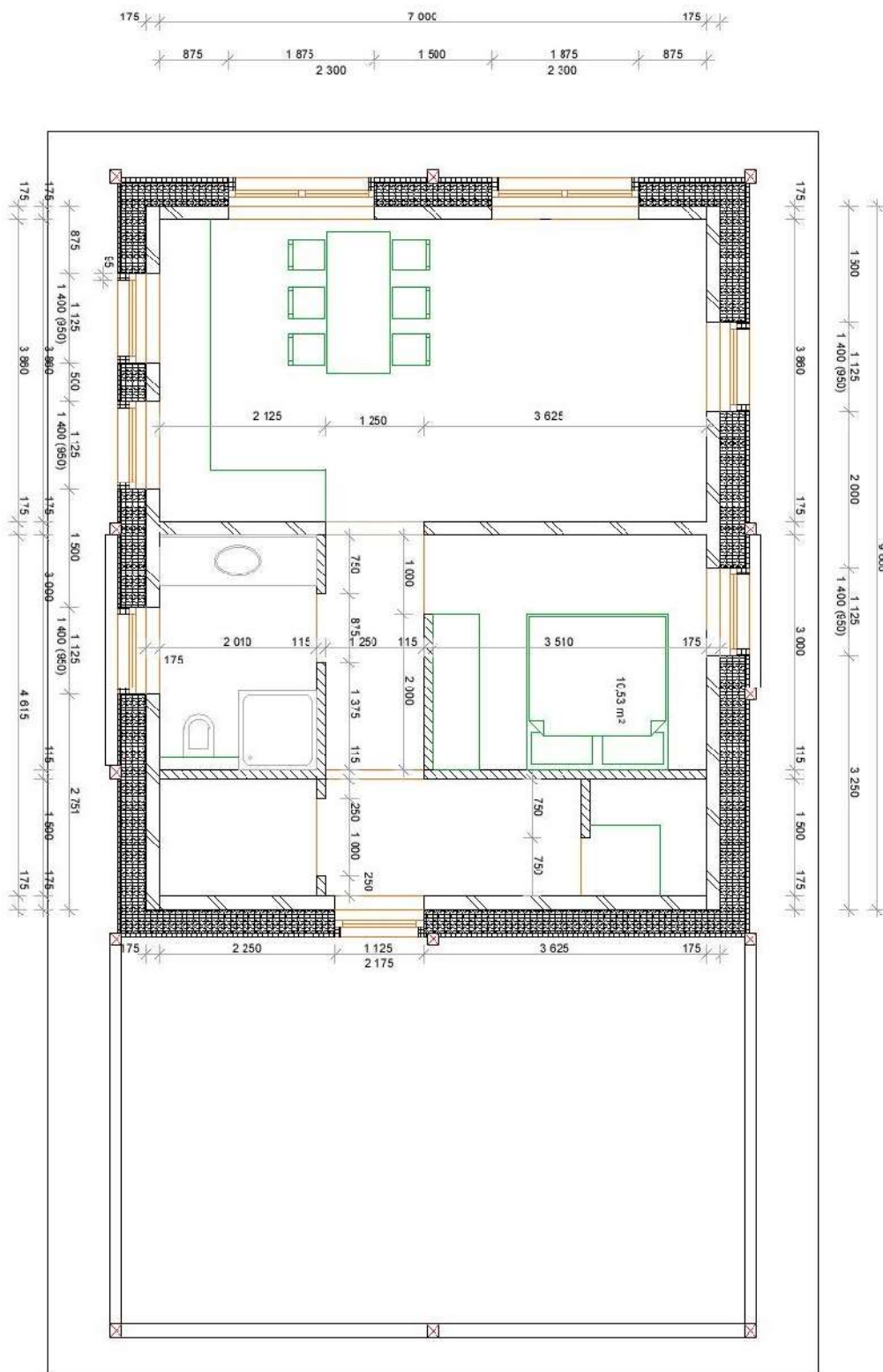
- [1] CO JE PASIVNÍ DŮM? [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [2] *Předpis č. 78/2013 Sb: Vyhláška o energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
- [3] *PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY* [online]. [cit. 2015-11-23]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/prukaz-energeticke-narocnosti-budovy>
- [4] *Předpis 103/2015 Sb.* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?O=7>
- [5] *Průkaz energetické náročnosti budovy a energetický audit* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/10584-prukaz-energeticke-narocnosti-budovy-a-energeticky-audit>
- [6] *CO JE PASIVNÍ DŮM?* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/co-je-pasivni-dum/t2>
- [7] *Nové požadavky na hodnocení energetické náročnosti budov od 1. dubna 2013* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/9745-nove-pozadavky-na-hodnoceni-energeticke-narocnosti-budov-od-1-dubna-2013>
- [8] *Revize evropské směrnice 2002/91/ES o energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/energeticka-narocnost-budov/6739-revize-evropske-smernice-2002-91-es-o-energeticke-narocnosti-budov>
- [9] *Zákony ČR o nulových domech* [online]. [cit. 2015-11-25]. Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/co-stanovuji-zakony/zakony-cr-o-nulovych-domech.htm>
- [10] *Infolist pasivního domu* [online]. [cit. 2015-12-06]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/webove-infolisty-01-zakladni-principy/f2521>
- [11] *Jak musí být nulový dům navržen?* [online]. [cit. 2015-12-07]. Dostupné z: <http://www.nulovedomy.org/co-jsou-nulove-domy/jak-musi-byt-nulovy-dum-navrzen.htm#!prettyPhoto>
- [12] *Passive House Brochure* [online]. [cit. 2016-02-21]. Dostupné z: <http://www.passivehouse-international.org/upload/ipha-brochure/>

- [13] *NEPRŮVZDUŠNOST, ZKOUŠKY KVALITY* [online]. [cit. 2016-02-23]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/webove-infolisty-08-kvalita-neprovzdušnost/f2528>
- [14] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1.vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [15] *Energetický štítek* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Energetick%C3%BD_%C5%A1t%C3%ADtek
- [16] *Úsporné zdroje energie* [online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/usporne-zdroje-energie-pro-vytapeni-a-chlazenit4032>
- [17] *Solar radiation and photovoltaicelectricitypotential country and regionalmapsforEurope* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/cmaps/eur.htm>
- [18] *Sluneční záření jako zdroj energie* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <http://www.transformacni-technologie.cz/slunecni-zareni-jako-zdroj-energie.html>
- [19] *Topení ze Slunce* [online]. [cit. 2016-03-15]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k22.htm>
- [20] *WorldRecord Solar Cell with 44.7% Efficiency* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.soitec.com/en/news/press-releases/world-record-solar-cell-1373/>
- [21] *Stručná historie fotovoltaiky* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/11652-strucna-historie-fotovoltaiky>
- [22] *Solární (fotovoltaické) články* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [23] *Tenkovrstvé FV technologie* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.votum.cz/Thin-film/>
- [24] *Fotovoltaická elektrárna* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/fotovoltaicka-elektrarna.aspx>
- [25] *Hybridní fotovoltaická elektrárna* [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/solarni-energie/hybridni-fotovoltaicka-elektrarna-casem-bude-v-kazdem-dome.aspx>

- [26] *Tepelná čerpadla pro rodinné domy - princip tepelného čerpadla* [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z: <http://www.tepelna-cerpadla-mach.cz/tepelna-cerpadla-pro-rodinne-domy/princip-tepelneho-cerpadla.php>
- [27] *Tepelný odpor R* [online]. [cit. 2016-03-31]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/prostup-tepla-stavebni-konstrukci/312-tepelny-odpor-r>
- [28] FEIST, Wolfgang. *Navrhování pasivního domu*. 2007.
- [29] *Manuál Energie 2015* [online]. [cit. 2016-04-21]. Dostupné z: <http://kcad.cz/cz/stavebni-fyzika/tepelna-technika/energie/>
- [30] *Jak se daří českému stavebnictví - 2014* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/jak-se-dari-ceskemu-stavebnictvi-2014-k2r7grd9zu>
- [31] *Jaké jsou ekonomické přínosy šetrných budov?* [online]. [cit. 2016-05-02]. Dostupné z: <http://www.czgbc.org/zpravy/zprava/68/jake-jsou-ekonomicke-prinosy-setrnych-budov>
- [32] *Nová evropská směrnice o energetické náročnosti budov* [online]. [cit. 2016-05-03]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/nova-evropska-smernice-o-energeticke-narocnosti-budov_N3707

Přílohy

Příloha A – Půdorys hodnoceného objektu



Příloha B – Protokol o výpočtu v programu Energie LT pro hodnocenou budovu

VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOV A PRŮMĚRNÉHO SOUČiniteLE PROSTUPU TEPLA podle vyhlášky č. 78/2013 Sb. a ČSN 730540-2

a podle EN ISO 13790, EN ISO 13789 a EN ISO 13370

Energie 2015 LT

Název úlohy: **Blahousty**
Zpracovatel: olda.kuceraa@gmail.com
Zakázka:
Datum: 18.04.2016

ZADANÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY:

Počet zón v budově: 1
Typ výpočtu potřeby energie: měsíční (pro jednotlivé měsíce v roce)

Okrajové podmínky výpočtu:

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m2]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
leden	31	-1,3 C	29,5	123,1	50,8	50,8	74,9
únor	28	-0,1 C	48,2	184,0	91,8	91,8	133,2
březen	31	3,7 C	91,1	267,8	168,8	168,8	259,9
duben	30	8,1 C	129,6	308,5	267,1	267,1	409,7
květen	31	13,3 C	176,8	313,2	313,2	313,2	535,7
červen	30	16,1 C	186,5	272,2	324,0	324,0	526,3
červenec	31	18,0 C	184,7	281,2	302,8	302,8	519,5
srpen	31	17,9 C	152,6	345,6	289,4	289,4	490,3
září	30	13,5 C	103,7	280,1	191,9	191,9	313,6
říjen	31	8,3 C	67,0	267,8	139,3	139,3	203,4
listopad	30	3,2 C	33,8	163,4	64,8	64,8	90,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	104,4	40,3	40,3	53,6

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m2]			
			SV	SZ	JV	JZ
leden	31	-1,3 C	29,5	29,5	96,5	96,5
únor	28	-0,1 C	53,3	53,3	147,6	147,6
březen	31	3,7 C	107,3	107,3	232,9	232,9
duben	30	8,1 C	181,4	181,4	311,0	311,0
květen	31	13,3 C	235,8	235,8	332,3	332,3
červen	30	16,1 C	254,2	254,2	316,1	316,1
červenec	31	18,0 C	238,3	238,3	308,2	308,2
srpen	31	17,9 C	203,4	203,4	340,2	340,2
září	30	13,5 C	127,1	127,1	248,8	248,8
říjen	31	8,3 C	77,8	77,8	217,1	217,1
listopad	30	3,2 C	33,8	33,8	121,7	121,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	21,6	83,2	83,2

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO JEDNOTLIVÉ ZÓNY :

VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO ZÓNU Č. 1 :

Název zóny: Rodinný dům Blahousty
Vnitřní teplota (zima/léto): 20,0 C / 20,0 C
Zóna je vytápěna/chlazená: ano / ne
Regulace otopné soustavy: ano

Měrný tepelný tok větráním Hv: 6,993 W/K
Měrný tok prostupem do exteriéru Hd: 30,462 W/K
Ustálený měrný tok zeminou Hg: 10,509 W/K
Měrný tok prostupem nevytápěnými prostory Hu,t: ---
Měrný tok větráním nevytápěnými prostory Hu,v: ---

Měrný tok Trombeho stěnami H,tw: ---
Měrný tok větranými stěnami H,vw: ---
Měrný tok prvky s transparentní izolací H,ti: ---
Přídavný měrný tok podlahovým vytápěním dHt: ---
Výsledný měrný tok H: 47,964 W/K

Potřeba tepla na vytápění po měsících:

Měsíc	Q,H,ht[GJ]	Q,int[GJ]	Q,sol[GJ]	Q,gn [GJ]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd[GJ]
1	2,612	0,361	0,369	0,730	1,000	100,0	1,882
2	2,234	0,311	0,612	0,923	0,999	100,0	1,312
3	2,034	0,332	1,031	1,363	0,981	100,0	0,697
4	1,475	0,310	1,465	1,775	0,783	37,4	0,086
5	0,923	0,311	1,670	1,980	0,466	0,0	---
6	0,579	0,298	1,660	1,957	0,296	0,0	---
7	0,379	0,308	1,595	1,902	0,199	0,0	---
8	0,390	0,311	1,611	1,922	0,203	0,0	---
9	0,871	0,311	1,139	1,450	0,600	0,0	---
10	1,501	0,331	0,908	1,239	0,943	86,9	0,333
11	2,024	0,333	0,477	0,810	0,999	100,0	1,215
12	2,404	0,360	0,301	0,661	1,000	100,0	1,743

Vysvětlivky: Q,H,ht je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty; Q,int jsou vnitřní tepelné zisky; Q,sol jsou solární tepelné zisky; Q,gn jsou celkové tepelné zisky; Eta,H je stupeň využitelnosti tepelných zisků; fH je část měsíce, v níž musí být zóna s regulovaným vytápěním vytápěna, a Q,H,nd je potřeba tepla na vytápění.

Potřeba tepla na vytápění za rok Q,H,nd: 7,268 GJ

Vysvětlivky: Ql je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty prostupem za rok; Qs,ini jsou celkové solární zisky za rok; Qs,fin jsou využitelné solární zisky za rok; Qs/Ql je poměr ukazující, kolikrát jsou využitelné solární zisky vyšší než ztráty prostupem, U,eq,min je nejnižší ekvivalentní součinitel prostupu tepla okna (rozdíl Ql-Qs vydělený plochou okna a počtem denostupňů) během roku a U,eq,max je nejvyšší ekvivalentní součinitel prostupu tepla okna během roku.

Energie dodaná do zóny po měsících:

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,C[GJ]	Q,f,RH[GJ]	Q,f,F[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	2,323	---	---	0,119	1,092	0,104	---	3,639
2	1,620	---	---	0,107	1,049	0,077	---	2,854
3	0,860	---	---	0,119	1,092	0,071	---	2,143
4	0,107	---	---	0,115	1,078	0,056	---	1,356
5	---	---	---	0,119	1,092	0,048	---	1,259
6	---	---	---	0,115	1,078	0,043	---	1,236
7	---	---	---	0,119	1,092	0,045	---	1,256
8	---	---	---	0,119	1,092	0,048	---	1,259
9	---	---	---	0,115	1,078	0,058	---	1,251
10	0,411	---	---	0,119	1,092	0,071	---	1,692
11	1,500	---	---	0,115	1,078	0,082	---	2,775
12	2,152	---	---	0,119	1,092	0,103	---	3,466

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Celková roční dodaná energie Q,fuel: 24,186 GJ

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny

Měrný tepelný tok prostupem obálkou zóny Ht: 41,0 W/K
Plocha obalových konstrukcí zóny: 306,7 m²

Výchozí hodnota požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 (2011) Uem,N,20: 0,37 W/m²K

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny U.em: 0.13 W/m²K

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :

Rozložení měrných tepelných toků

Zóna	Položka	Plocha [m ²]	Měrný tok [W/K]	Procento [%]
1	Celkový měrný tok H:	---	47,964	100,00 %
z toho:	Měrný tok větráním Hv:	---	6,993	14,58 %
	Měrný (ustálený) tok zeminou Hg:	---	11,121	23,19 %
	Měrný tok přes nevytápěné prostory Hu:	---	---	0,00 %
	Měrný tok tepelnými vazbami H,tb:	---	-3,693	-7,70 %
	Měrný tok do ext. plošnými kcemí Hd,c:	---	33,543	69,93 %
rozložení měrných toků po konstrukcích:				
	Obvodová stěna:	126,9	13,329	27,79 %

Střecha:	80,4	6,674	13,91 %
Podlaha:	80,4	11,121	23,19 %
Otvorová výplň:	18,9	13,541	28,23 %

Měrný tok budovou a parametry podle starších předpisů

Součet celkových měrných tepelných toků jednotlivými zónami Hc:	47,964 W/K
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	325,7 m ³
Tepelná charakteristika budovy podle ČSN 730540 (1994):	0,15 W/m ³ K
Spotřeba tepla na vytápění podle STN 730540, Zmena 5 (1997):	10,8 kWh/(m ³ .a)

Poznámka: Orientační tepelnou ztrátu budovy lze získat vynásobením součtu měrných toků jednotlivých zón Hc působícím teplotním rozdílem mezi interiérem a exteriérem.

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy

Měrný tepelný tok prostupem obálkou budovy Ht:	41,0 W/K
Plocha obalových konstrukcí budovy:	306,7 m ²

Výchozí hodnota požadavku na průměrný součinitel prostupu tepla podle čl. 5.3.4 v ČSN 730540-2 (2011) U_{em,N,20}: 0,37 W/m²K

Průměrný součinitel prostupu tepla budovy U_{em}: 0.13 W/m²K

Celková a měrná potřeba tepla na vytápění

Celková roční potřeba tepla na vytápění budovy:	7,268 GJ	2,019 MWh
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	325,7 m ³	
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	80,4 m ²	
Měrná potřeba tepla na vytápění budovy (na 1 m ³):	6,2 kWh/(m ³ .a)	

Měrná potřeba tepla na vytápění budovy: 25 kWh/(m².a)

Hodnota byla stanovena pro počet denostupňů D = 3557.

Poznámka: Měrná potřeba tepla je stanovena bez vlivu účinností systémů výroby, distribuce a emise tepla.

Celková energie dodaná do budovy

Měsíc	Q _{f,H} [GJ]	Q _{f,C} [GJ]	Q _{f,RH} [GJ]	Q _{f,F} [GJ]	Q _{f,W} [GJ]	Q _{f,L} [GJ]	Q _{f,A} [GJ]	Q _{fuel} [GJ]
1	2,323	---	---	0,119	1,092	0,104	---	3,639
2	1,620	---	---	0,107	1,049	0,077	---	2,854
3	0,860	---	---	0,119	1,092	0,071	---	2,143
4	0,107	---	---	0,115	1,078	0,056	---	1,356
5	---	---	---	0,119	1,092	0,048	---	1,259
6	---	---	---	0,115	1,078	0,043	---	1,236
7	---	---	---	0,119	1,092	0,045	---	1,256
8	---	---	---	0,119	1,092	0,048	---	1,259
9	---	---	---	0,115	1,078	0,058	---	1,251
10	0,411	---	---	0,119	1,092	0,071	---	1,692
11	1,500	---	---	0,115	1,078	0,082	---	2,775
12	2,152	---	---	0,119	1,092	0,103	---	3,466

Vysvětlivky: Q_{f,H} je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q_{f,C} je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q_{f,RH} je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q_{f,F} je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q_{f,W} je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q_{f,L} je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q_{f,A} je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q_{fuel} je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Dodané energie:

Vyp. spotřeba energie na vytápění za rok Q _{fuel,H} :	8,973 GJ	2,492 MWh	31 kWh/m ²
Pomocná energie na vytápění Q _{aux,H} :	---	---	---
Dodaná energie na vytápění za rok EP,H:	8,973 GJ	2,492 MWh	31 kWh/m²
Vyp. spotřeba energie na chlazení za rok Q _{fuel,C} :	---	---	---
Pomocná energie na chlazení Q _{aux,C} :	---	---	---
Dodaná energie na chlazení za rok EP,C:	---	---	---
Vyp. spotřeba energie na úpravu vlhkosti Q _{fuel,RH} :	---	---	---
Pomocná energie na úpravu vlhkosti Q _{aux,RH} :	---	---	---
Dodaná energie na úpravu vlhkosti EP,RH:	---	---	---
Vyp. spotřeba energie na nucené větrání Q _{fuel,F} :	1,400 GJ	0,389 MWh	5 kWh/m ²
Pomocná energie na nucené větrání Q _{aux,F} :	---	---	---
Dodaná energie na nuc. větrání za rok EP,F:	1,400 GJ	0,389 MWh	5 kWh/m²
Vyp. spotřeba energie na přípravu TV Q _{fuel,W} :	13,008 GJ	3,613 MWh	45 kWh/m ²
Pomocná energie na přípravu teplé vody Q _{aux,W} :	---	---	---
Dodaná energie na přípravu TV za rok EP,W:	13,008 GJ	3,613 MWh	45 kWh/m²
Vyp. spotřeba energie na osvětlení a spotř. Q _{fuel,L} :	0,806 GJ	0,224 MWh	3 kWh/m ²
Dodaná energie na osvětlení za rok EP,L:	0,806 GJ	0,224 MWh	3 kWh/m²

Celková roční dodaná energie $Q_{fuel}=EP$: 24.186 GJ 6.718 MWh 84 kWh/m²

Měrná dodaná energie budovy

Celková roční dodaná energie: 6,718 MWh
 Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 325,7 m³
 Celková energeticky vztázná podlah. plocha budovy: 80,4 m²
 Měrná dodaná energie EP,V: 20,6 kWh/(m³.a)
Měrná dodaná energie budovy EP,A: 84 kWh/(m².a)

Poznámka: Měrná dodaná energie zahrnuje veškerou dodanou energii včetně vlivů účinností tech. systémů.

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO₂

Energo- nositel	Faktory transformace			Vytápění				Teplá voda			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	0,8	2,5	2,7	1,0	3,6	10,8	11,6	4,2
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	1,7	---	1,7	---	---	---	---	---
SOUČET				2,5	2,5	4,3	1,0	3,6	10,8	11,6	4,2

Energo- nositel	Faktory transformace			Osvětlení				Pom.energie			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	0,2	0,7	0,7	0,3	---	---	---	---
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				0,2	0,7	0,7	0,3	---	---	---	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání				Chlazení			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	0,4	1,2	1,2	0,5	---	---	---	---
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				0,4	1,2	1,2	0,5	---	---	---	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Úprava RH				Export elektřiny		
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,el	Q,pN	Q,pC
elektřina ze sítě	3,0	3,2	1,1700	---	---	---	---	---	---	---
Slunce a jiná energie prostředí	0,0	1,0	0,0000	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				---	---	---	---	---	---	---

Vysvětlivky: f,pN je faktor neobnovitelné primární energie v kWh/kWh; f,pC je faktor celkové primární energie v kWh/kWh; f,CO₂ je součinitel emisí CO₂ v kg/kWh; Q,f je vypočtená spotřeba energie dodávaná na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,el je produkce elektřiny v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO ₂ [t/a]
elektřina ze sítě	5,057	15,170	16,182	5,916
Slunce a jiná energie prostředí	1,662	---	1,662	---
SOUČET	6,718	15,170	17,843	5,916

Vysvětlivky: Q,f je energie dodaná do budovy příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Měrná primární energie a emise CO₂ budovy

Emise CO₂ za rok: 5,916 t
 Celková primární energie za rok: 17,843 MWh 64,236 GJ
Neobnovitelná primární energie za rok: 15,170 MWh 54,613 GJ
 Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 325,7 m³
 Celková energeticky vztázná podlah. plocha budovy: 80,4 m²
 Měrné emise CO₂ za rok (na 1 m³): 18,2 kg/(m³.a)
 Měrná celková primární energie E,pC,V: 54,8 kWh/(m³.a)
 Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,V: 46,6 kWh/(m³.a)
 Měrné emise CO₂ za rok (na 1 m²): 74 kg/(m².a)
Měrná celková primární energie E,pC,A: 222 kWh/(m².a)
Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,A: 189 kWh/(m².a)

Příloha C - Protokol o výpočtu v programu Energie LT pro referenční budovu budovu

VÝPOČET ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI REFERENČNÍ BUDOVY podle vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Energie 2015 LT

Název úlohy: **Blahousty**
REFERENČNÍ BUDOVA
Zpracovatel: olda.kuceraa@gmail.com
Zakázka:
Datum: 18.04.2016

ZADANÉ OKRAJOVÉ PODMÍNKY:

Počet zón v budově: 1
Typ výpočtu potřeby energie: měsíční (pro jednotlivé měsíce v roce)

Okrajové podmínky výpočtu:

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]				
			Sever	Jih	Východ	Západ	Horizont
leden	31	-1,3 C	29,5	123,1	50,8	50,8	74,9
únor	28	-0,1 C	48,2	184,0	91,8	91,8	133,2
březen	31	3,7 C	91,1	267,8	168,8	168,8	259,9
duben	30	8,1 C	129,6	308,5	267,1	267,1	409,7
květen	31	13,3 C	176,8	313,2	313,2	313,2	535,7
červen	30	16,1 C	186,5	272,2	324,0	324,0	526,3
červenec	31	18,0 C	184,7	281,2	302,8	302,8	519,5
srpen	31	17,9 C	152,6	345,6	289,4	289,4	490,3
září	30	13,5 C	103,7	280,1	191,9	191,9	313,6
říjen	31	8,3 C	67,0	267,8	139,3	139,3	203,4
listopad	30	3,2 C	33,8	163,4	64,8	64,8	90,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	104,4	40,3	40,3	53,6

Název období	Počet dnů	Teplota exteriéru	Celková energie globálního slunečního záření [MJ/m ²]			
			SV	SZ	JV	JZ
leden	31	-1,3 C	29,5	29,5	96,5	96,5
únor	28	-0,1 C	53,3	53,3	147,6	147,6
březen	31	3,7 C	107,3	107,3	232,9	232,9
duben	30	8,1 C	181,4	181,4	311,0	311,0
květen	31	13,3 C	235,8	235,8	332,3	332,3
červen	30	16,1 C	254,2	254,2	316,1	316,1
červenec	31	18,0 C	238,3	238,3	308,2	308,2
srpen	31	17,9 C	203,4	203,4	340,2	340,2
září	30	13,5 C	127,1	127,1	248,8	248,8
říjen	31	8,3 C	77,8	77,8	217,1	217,1
listopad	30	3,2 C	33,8	33,8	121,7	121,7
prosinec	31	0,5 C	21,6	21,6	83,2	83,2

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO JEDNOTLIVÉ ZÓNY :

VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO ZÓNU Č. 1 :

Název zóny: Rodinný dům Blahousty
 Vnitřní teplota (zima/léto): 20,0 C / 20,0 C
 Vnitřní teplota pro určení Uem,R: 20,0 C
 Zóna je vytápěna/chlazená: ano / ne
 Regulace otopné soustavy: ano

Měrný tepelný tok větráním Hv: 17,646 W/K
 Měrný tepelný tok prostupem Ht: 80,077 W/K
 Výsledný měrný tok H: 97,723 W/K

Potřeba tepla na vytápění po měsících:

Měsíc	Q,H,ht[GJ]	Q,int[GJ]	Q,sol[GJ]	Q,gn [GJ]	Eta,H [-]	fH [%]	Q,H,nd[GJ]
1	5,575	0,587	0,298	0,884	0,996	100,0	4,694
2	4,752	0,479	0,493	0,972	0,992	100,0	3,788
3	4,266	0,486	0,831	1,317	0,977	100,0	2,980
4	3,014	0,432	1,181	1,613	0,917	100,0	1,536
5	1,754	0,415	1,346	1,761	0,742	95,7	0,448
6	0,988	0,391	1,338	1,729	0,571	0,0	---
7	0,523	0,404	1,286	1,690	0,310	0,0	---
8	0,550	0,415	1,299	1,714	0,321	0,0	---
9	1,646	0,436	0,919	1,354	0,811	72,8	0,549
10	3,062	0,484	0,732	1,216	0,957	100,0	1,898
11	4,255	0,511	0,385	0,895	0,991	100,0	3,368
12	5,104	0,583	0,243	0,825	0,996	100,0	4,282

Vysvětlivky: Q,H,ht je potřeba tepla na pokrytí tepelné ztráty; Q,int jsou vnitřní tepelné zisky; Q,sol jsou solární tepelné zisky; Q,gn jsou celkové tepelné zisky; Eta,H je stupeň využitelnosti tepelných zisků; fH je část měsíce, v níž musí být zóna s regulovaným vytápěním vytápěna, a Q,H,nd je potřeba tepla na vytápění.

Potřeba tepla na vytápění za rok Q,H,nd: 23,542 GJ

Energie dodaná do zóny po měsících:

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,C[GJ]	Q,f,RH[GJ]	Q,f,F[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	8,629	---	---	0,156	1,288	0,355	---	10,428
2	6,963	---	---	0,141	1,232	0,263	---	8,600
3	5,478	---	---	0,156	1,288	0,243	---	7,165
4	2,823	---	---	0,151	1,269	0,192	---	4,436
5	0,823	---	---	0,156	1,288	0,163	---	2,431
6	---	---	---	0,151	1,269	0,147	---	1,567
7	---	---	---	0,156	1,288	0,152	---	1,596
8	---	---	---	0,156	1,288	0,163	---	1,608
9	1,008	---	---	0,151	1,269	0,196	---	2,625
10	3,489	---	---	0,156	1,288	0,240	---	5,174
11	6,191	---	---	0,151	1,269	0,280	---	7,891
12	7,872	---	---	0,156	1,288	0,350	---	9,666

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinností technických systémů.

Celková roční dodaná energie Q,fuel: 63,186 GJ

Průměrný součinitel prostupu tepla zóny

Měrný tepelný tok prostupem obálkou zóny Ht: 80,1 W/K
 Plocha obalových konstrukcí zóny: 306,7 m²
Průměrný součinitel prostupu tepla zóny U,em: 0,26 W/m²K

PŘEHLEDNÉ VÝSLEDKY VÝPOČTU PRO CELOU BUDOVU :

Referenční hodnota průměrného součinitele prostupu tepla budovy

Zóna č.	Název zóny	Objem zóny [m3]	Uem,R zóny [W/(m2K)]
1	Rodinný dům Blahousty	325,70	0,26

Referenční hodnota prům. součinitele prostupu tepla Uem,R: 0,26 W/m2K

Pro zařazení budovy do klasifik. třídy bude použita hodnota Uem,R,klas: 0,30 W/m2K

Poznámka: Uem,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Celková a měrná potřeba tepla na vytápění

Celková roční potřeba tepla na vytápění budovy:	23,542 GJ	6,540 MWh
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	325,7 m3	
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	80,4 m2	
Měrná potřeba tepla na vytápění budovy (na 1 m3):	20,1 kWh/(m3.a)	

Měrná potřeba tepla na vytápění budovy: 81 kWh/(m2.a)

Poznámka: Měrná potřeba tepla je stanovena bez vlivu účinnosti systémů výroby, distribuce a emise tepla.

Celková energie dodaná do budovy

Měsíc	Q,f,H[GJ]	Q,f,C[GJ]	Q,f,RH[GJ]	Q,f,F[GJ]	Q,f,W[GJ]	Q,f,L[GJ]	Q,f,A[GJ]	Q,fuel[GJ]
1	8,629	---	---	0,156	1,288	0,355	---	10,428
2	6,963	---	---	0,141	1,232	0,263	---	8,600
3	5,478	---	---	0,156	1,288	0,243	---	7,165
4	2,823	---	---	0,151	1,269	0,192	---	4,436
5	0,823	---	---	0,156	1,288	0,163	---	2,431
6	---	---	---	0,151	1,269	0,147	---	1,567
7	---	---	---	0,156	1,288	0,152	---	1,596
8	---	---	---	0,156	1,288	0,163	---	1,608
9	1,008	---	---	0,151	1,269	0,196	---	2,625
10	3,489	---	---	0,156	1,288	0,240	---	5,174
11	6,191	---	---	0,151	1,269	0,280	---	7,891
12	7,872	---	---	0,156	1,288	0,350	---	9,666

Vysvětlivky: Q,f,H je vypočtená spotřeba energie na vytápění; Q,f,C je vypočtená spotřeba energie na chlazení; Q,f,RH je vypočtená spotřeba energie na úpravu vlhkosti vzduchu; Q,f,F je vypočtená spotřeba energie na nucené větrání; Q,f,W je vypočtená spotřeba energie na přípravu teplé vody; Q,f,L je vypočtená spotřeba energie na osvětlení (popř. i na spotřebiče); Q,f,A je pomocná energie (čerpadla, regulace atd.) a Q,fuel je celková dodaná energie. Všechny hodnoty zohledňují vlivy účinnosti technických systémů.

Referenční dodané energie

Vyp.spotřeba energie na vytápění za rok Q,fuel,H:	43,276 GJ	12,021 MWh	149 kWh/m2
Pomocná energie na vytápění Q,aux,H:	---	---	---
Dodaná energie na vytápění za rok EP,H,R:	43,276 GJ	12,021 MWh	149 kWh/m2
Hodnota pro zařazení do klasifik. třídy EP,H,R,klas:	50,588 GJ	14,052 MWh	175 kWh/m2
Poznámka: EP,H,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.			
Vyp.spotřeba energie na chlazení za rok Q,fuel,C:	---	---	---
Pomocná energie na chlazení Q,aux,C:	---	---	---
Dodaná energie na chlazení za rok EP,C,R:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na úpravu vlhkosti Q,fuel,RH:	---	---	---
Pomocná energie na úpravu vlhkosti Q,aux,RH:	---	---	---
Dodaná energie na úpravu vlhkosti EP,RH,R:	---	---	---
Vyp.spotřeba energie na nucené větrání Q,fuel,F:	1,840 GJ	0,511 MWh	6 kWh/m2
Pomocná energie na nucené větrání Q,aux,F:	---	---	---
Dodaná energie na nuc.větrání za rok EP,F,R:	1,840 GJ	0,511 MWh	6 kWh/m2
Vyp.spotřeba energie na přípravu TV Q,fuel,W:	15,326 GJ	4,257 MWh	53 kWh/m2
Pomocná energie na přípravu teplé vody Q,aux,W:	---	---	---
Dodaná energie na přípravu TV za rok EP,W,R:	15,326 GJ	4,257 MWh	53 kWh/m2
Vyp.spotřeba energie na osvětlení a spotř. Q,fuel,L:	2,744 GJ	0,762 MWh	9 kWh/m2
Dodaná energie na osvětlení za rok EP,L,R:	2,744 GJ	0,762 MWh	9 kWh/m2
Celková roční dodaná energie Q,fuel=EP,R:	63,186 GJ	17,552 MWh	218 kWh/m2

Referenční hodnota dodané energie budovy

Referenční hodnota celkové roční dodané energie EP,R: 17,552 MWh

Pro zařazení budovy do klasifik. třídy bude použita hodnota EP,R,klas: 19,583 MWh
Poznámka: EP,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů: 325,7 m³
Celková energeticky vztázná podlah. plocha budovy: 80,4 m²
Měrná dodaná energie EP,V: 53,9 kWh/(m³.a)

Referenční hodnota měrné dodané energie budovy EP,A,R: 218 kWh/(m².a)

Poznámka: Měrná dodaná energie zahrnuje veškerou dodanou energii včetně vlivů účinností tech. systémů.
Pro zařazení budovy do klasifik. třídy bude použita hodnota EP,A,R,klas: 244 kWh/(m².a)
Poznámka: EP,A,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.

Rozdělení dodané energie podle energonositelů, primární energie a emise CO₂

Při výpočtu neobnovitelné primární energie referenční budovy se pro hodnocenou zónu používá redukce podle tab. 5 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb. ve výši 25 %.

Energo- nositel	Faktory transformace			Vytápění				Teplá voda			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	MWh/a		t/a		MWh/a		t/a	
				Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	12,0	9,9	13,2	---	4,3	3,5	4,7	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
SOUČET				12,0	9,9	13,2	---	4,3	3,5	4,7	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Osvětlení				Pom.energie			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	MWh/a		t/a		MWh/a		t/a	
				Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	0,8	1,7	2,4	---	---	---	---	---
SOUČET				0,8	1,7	2,4	---	---	---	---	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Nuc.větrání				Chlazení			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	MWh/a		t/a		MWh/a		t/a	
				Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂	Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	---	---	---	---	---	---	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	0,5	1,1	1,6	---	---	---	---	---
SOUČET				0,5	1,1	1,6	---	---	---	---	---

Energo- nositel	Faktory transformace			Úprava RH			
	f,pN	f,pC	f,CO ₂	MWh/a		t/a	
				Q,f	Q,pN	Q,pC	CO ₂
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	1,1	1,1	0,0000	---	---	---	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	3,0	3,2	0,0000	---	---	---	---
SOUČET				---	---	---	---

Vysvětlivky: f,pN je faktor neobnovitelné primární energie v kWh/kWh; f,pC je faktor celkové primární energie v kWh/kWh; f,CO₂ je součinitel emisí CO₂ v kg/kWh; Q,f je vypočtená spotřeba energie dodávaná na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,eI je produkce elektřiny v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá na daný účel příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Součty pro jednotlivé energonositele:	Q,f [MWh/a]	Q,pN [MWh/a]	Q,pC [MWh/a]	CO ₂ [t/a]
Ref. energonositel 1 (f=1,1)	16,279	13,430	17,906	---
Ref. energonositel 2 (f=3,0)	1,273	2,865	4,074	---
SOUČET	17,552	16,294	21,981	---

Vysvětlivky: Q,f je energie dodaná do budovy příslušným energonositelem v MWh/rok; Q,pN je neobnovitelná primární energie a Q,pC je celková primární energie použitá příslušným energonositelem v MWh/rok a CO₂ jsou s tím spojené emise CO₂ v t/rok.

Referenční hodnota primární energie budovy

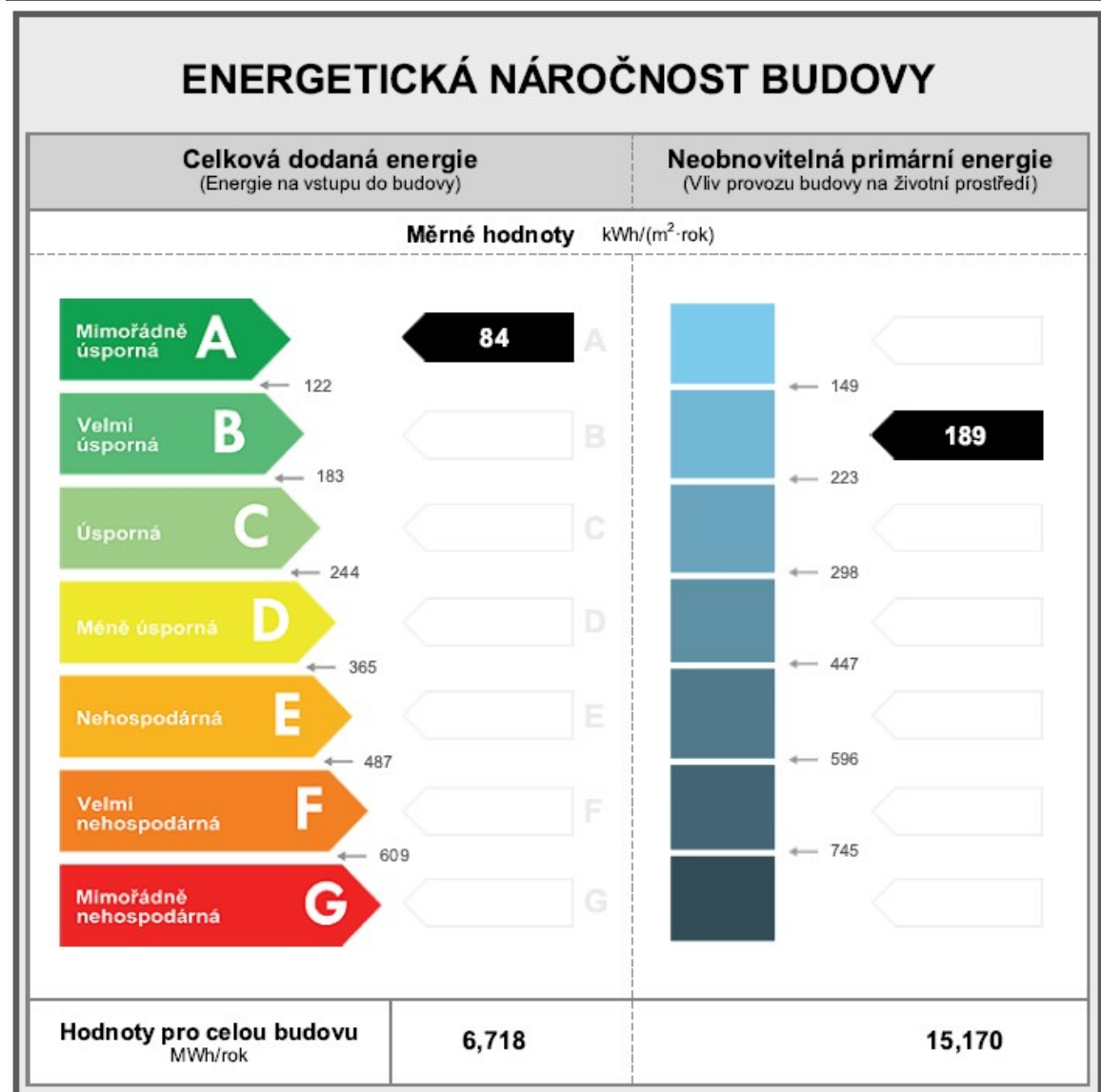
Emise CO ₂ za rok:	0,000 t	
Celková primární energie za rok:	21,981 MWh	79,130 GJ
Referenční hodnota neobnov. primární energie:	16,294 MWh	58,660 GJ
Hodnota pro zařazení budovy do klasifik. třídy E,pN,R,klas:	23,960 MWh	86,256 GJ
Poznámka: E,pN,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.		
Objem budovy stanovený z vnějších rozměrů:	325,7 m ³	
Celková energeticky vztažná podlah. plocha budovy:	80,4 m ²	
Měrné emise CO ₂ za rok (na 1 m ³):	0,0 kg/(m ³ .a)	
Měrná celková primární energie E,pC,V:	67,5 kWh/(m ³ .a)	
Měrná neobnovitelná primární energie E,pN,V:	50,0 kWh/(m ³ .a)	
Měrné emise CO ₂ za rok (na 1 m ²):	---	
Měrná celková primární energie E,pC,A:	273 kWh/(m².a)	
Referenční hodnota měrné neobnov. primární energie E,pN,A,R:		203 kWh/(m².a)
Pro zařazení do klasifikační třídy bude použita ref. hodnota E,pN,A,R,klas:		298 kWh/(m ² .a)
Poznámka: E,pN,A,R,klas je referenční hodnota pro novou budovu v souladu s §9 vyhlášky MPO ČR č. 78/2013 Sb.		

Příloha D – Energetický průkaz pro řešený objekt

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a vyhlášky č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

<p>Ulice, číslo: <input style="width: 100%;" type="text"/></p> <p>PSC, místo: <input style="width: 100%;" type="text"/></p> <p>Typ budovy: <input style="width: 100%;" type="text"/></p> <p>Plocha obálky budovy: 306,7 m²</p> <p>Objemový faktor tvaru A/V: 0,94 m²/m³</p> <p>Energeticky vztázná plocha: 80,4 m²</p>	
---	--



DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input type="checkbox"/>
Střechu:	<input type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input type="checkbox"/>
Jiné: <input style="width: 80%;" type="text"/>	<input type="checkbox"/>

Popis opatření je v protokolu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je znázorněno šipkou **Doporučení!**

PODÍL ENERGO NOSITELŮ NA DODANÉ ENERGII

Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok

Elektřina ze sítě: 5,1
 Slunce a energie prostředí: 1,7

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílicí dodané energie		Měrné hodnoty			
				kWh/(m ² ·rok)			
Mimořádně úsporná A B C D E F G Mimořádně neúsporná	 0,13	 31		 5	 45	 3	 3
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		2,49		0,39		3,61	0,22