



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKY SOBĚSTAČNÝ DŮM
ENERGY SELF SUFFICIENT HOUSE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

HANA HRNCSJAROVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAELA CHOVANCOVÁ, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Hana Hrnčejarová

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energeticky soběstačný dům

v anglickém jazyce:

Energy self sufficient house

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vzhledem k tomu, že platby za energie představují stále větší podíl na nákladech na bydlení, považují téma zabývající se energetickou nezávislostí za velmi atraktivní. Měla by řešitelé a čtenáře práce seznámit se zásadami návrhu takových budov, s jejich technickým řešením, současnými právními předpisy, které v této oblasti naše možnosti vymezují, s realizovanými projekty a s jejich ekonomickým zhodnocením.

Cíle bakalářské práce:

Cílem práce je provést rešerši technických řešení energeticky soběstačných domů.

Seznam odborné literatury:

K. Srdečný, Energeticky soběstačný dům, ERA 2006, ISBN 8073660520

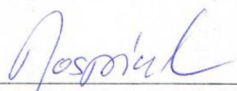
Ch. Nyerges, The Self-Sufficient Home, Going Green & Saving Money, Stackpole Books 2010, ISBN 9780811735582

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michaela Chovancová, Ph.D.

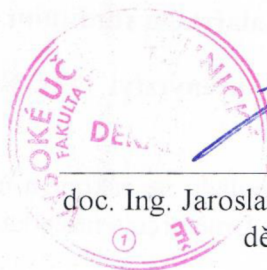
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 18. 12. 2014

L.S.



doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá problematikou energeticky soběstačných domů. Jedná se o rešerši požadavků a technických aplikací použitelných při návrhu energeticky soběstačného domu. Dále jsou uvedeny některé právní předpisy týkající se problematiky. Součástí práce jsou také příklady realizovaných projektů na území České republiky a návrh úpravy vybraného domu k možnosti energetické soběstačnosti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Energeticky soběstačný dům, autonomní dům, pasivní dům, technická zařízení budov, součinitel prostupu tepla, energetická náročnost, zpětné získávání tepla

ABSTRACT

The bachelor's thesis deals with the issue of energy self-sufficient houses. The search of requirements and technical applications usable in the design of energy self-sufficient house is presented. There are some of the legislation relating to the issue too. Thesis includes also the examples of implemented projects in the Czech Republic and the design of modifications of the particular house for the possible energy self-sufficiency.

KEYWORDS

Energy self-sufficient house, autonomous house, passive house, building services, heat transmission coefficient, energy performance, heat recovery

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRNCSJAROVÁ, H. *Energeticky soběstačný dům*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 52 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Michaela Chovancová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ AUTORA O PŮVODNOSTI PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně, dne 29.5.2015

Hana Hrnčejarová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala hlavně své rodině. Děkuji za umožnění studia a za podporu a pomoc při něm. Chtěla bych také poděkovat slečně Ing. Michaelle Chovancové, Ph.D. za pomoc a rady při zpracování bakalářské práce a panu Ing. arch. Pavlu Fojtovi a panu Karlu Otýsovi za ochotný přístup a zodpovězení mých otázek.

OBSAH

ÚVOD	11
1 TYPY DOMŮ S NÍZKOU SPOTŘEBOU ENERGIE	12
1.1 Nízkoenergetický dům	12
1.2 Pasivní dům	13
1.3 Nulový dům	14
1.4 Aktivní dům	15
1.5 Energeticky soběstačný dům	16
2 ZÁSADY NÁVRHU ENERGETICKY SOBĚSTAČÝCH BUDOV	18
2.1 Energetická bilance.....	18
2.2 Koncepce a dispoziční řešení.....	19
2.2.1 Pozemek pro budovu	19
2.2.2 Umístění budovy a faktor tvaru	20
2.3 Prostup tepla, izolace konstrukcí	20
2.3.1 Součinitel prostupu tepla	20
2.3.2 Tepelný odpor.....	22
2.3.3 Izolační materiály a součinitel tepelné vodivosti	23
2.4 Výplně otvorů	24
2.5 Průvzdušnost.....	25
2.6 Větrání	26
2.7 Spotřebiče	27
2.8 Zdroje a nakládání s vodou.....	27
3 TECHNICKÉ APLIKACE V ENERGETICKY SOBĚSTAČNÝCH DOMECH ...	28
3.1 Zdroje elektrické energie	28
3.1.1 Fotovoltaické systémy (FVE).....	28
3.1.2 Energie větru a vody.....	29
3.2 Zdroje tepla.....	29
3.2.1 Kotle na biomasu	29
3.2.2 Tepelná čerpadla.....	30
3.3 Zdroje chladu	32
3.4 Větrání	33
3.5 Příprava teplé vody	34
4 LEGISLATIVNÍ PROSTŘEDÍ	35
4.1 Energetická náročnost budovy.....	35
4.2 Požadavky na výstavbu v nejbližší budoucnosti	35
4.3 Programy podpory pro výstavbu nízkoenergetických domů	36
5 REALIZOVANÉ PROJEKTY.....	37
5.1 Ostrovní dům, Praha	37
5.2 Energeticky soběstačný dům v lesním prostředí	39

6 NÁVRH ÚPRAV KONSTRUKCE DOMU K ENERGETICKÉ SOBĚSTAČNOSTI	41
.....	
ZÁVĚR.....	44
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	45
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	49
SEZNAM OBRÁZKŮ	50
SEZNAM TABULEK.....	51
PŘÍLOHY	52

ÚVOD

V současné době se termíny „nízkoenergetický“, „pasivní“, ale i „nulový“ dům stávají čím dál více frekventovanými. V katalogích stavebních společností je již k nalezení nespočet projektů rodinných domů právě v nízkoenergetickém standardu a v nadcházejících letech můžeme rozhodně očekávat další rozšiřování nabídek. Jedním z důvodů se přitom stává realita, že podle legislativy se již brzy (od roku 2020) budou moci stavět pouze domy blízké se svou spotřebou energie k nule (tzv. téměř nulové domy). To plyne ze závazků, které byly již před lety přijaty Evropskou unií. A to snížit emise skleníkových plynů, snížit spotřebu energie v členských zemích a dosáhnout vyššího podílu spotřebované energie z obnovitelných zdrojů.

Ať už budou domy navrhovány a stavěny pro téměř nulovou spotřebu energie, stále zde existuje závislost na jejich dodávkách od energetických společností. Závislí jsme jak na dodávkách elektřiny, tak i například vody a plynu. Náklady na tyto dodávky přitom tvoří podstatnou část rodinných rozpočtů. Každoroční vyúčtování za energii a výše záloh může být důvodem ke snaze stát se na takových společnostech zcela nezávislími. Dalším faktorem, který hraje roli ve zvyšujícím se zájmu o energetickou soběstačnost, je ten, že energetické společnosti mohou kdykoliv své dodávky omezit či zastavit, bez ohledu na negativní vliv na jejich zákazníky. V neposlední řadě figuruje také zájem o životní prostředí, jeho ochranu a využívání obnovitelných zdrojů energie.

Cílem bakalářské práce je provést rešerši technických řešení energeticky soběstačných domů. V této souvislosti je v první části práce nejprve definován pojem energeticky soběstačný dům, a to ve srovnání s dalšími typy domů, které jsou zmiňovány ve spojitosti s nízkou spotřebou energie.

Další část práce se zaměřuje na zásady při navrhování energeticky soběstačných domů. Protože pro energeticky soběstačné domy nejsou v normách definované požadavky, je vycházeno hlavně z norem a poznatků týkajících se navrhování pasivních domů s přihlédnutím ke skutečnosti, že parametry u domu energeticky soběstačného by měly být minimálně na úrovni pasivního domu a lepší nebo požadavky přísnější.

Následuje rešerše technických aplikací, které mohou být využity v energeticky soběstačných budovách. Nejprve jsou popsány způsoby, jakými je možné získat elektrickou energii. Kromě toho práce popisuje možnosti vytápění, chlazení, větrání či ohřevu vody a příslušné aplikace vykonávající tyto úkony. Zmíněna je také legislativa, týkající se výstavby budov v nízkoenergetickém standardu a možnosti státní podpory. Součástí práce jsou dále dva příklady realizovaných energeticky soběstačných domů.

Závěrem práce je návrh úprav v konstrukci modelového domu pro možnost energetické soběstačnosti a s tím spojený výpočet součinitelů prostupu tepla.

1 TYPY DOMŮ S NÍZKOU SPOTŘEBOU ENERGIE

Při návrhu energeticky soběstačného domu je nutné vycházet ze zásad pro stavbu pasivních budov. V této části tedy jsou uvedeny základní informace o pasivních budovách a pro přehlednost také vysvětlení a srovnání s dalšími typy budov, o kterých je možné se doslechnout.

1.1 Nízkoenergetický dům

Charakterizujícím prvkem nízkoenergetických budov je nízká potřeba tepla na vytápění. Za nízkoenergetickou budovu je možno považovat takovou budovu, jejíž potřeba tepla na vytápění je výrazně nižší, než je požadováno aktuálními národními předpisy. Takovou měrnou potřebou tepla na vytápění se v současnosti rozumí hodnota nižší než $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Dalším požadavkem je instalace účinné otopné soustavy v budově. Tento požadavek není podle normy (ČSN 73 0540) dále specifikován, avšak namísto klasické otopné soustavy je v nízkoenergetických domech užito vytápění za pomoci solárních systémů, tepelných čerpadel nebo kotlů na biomasu.

Pro domy, jež mají mít nízkou spotřebu energie, je velmi důležitá volba orientace. Je vhodné, aby obytné místnosti nízkoenergetického domu směřovaly na jih. Za takového předpokladu pak mohou pasivní solární zisky pokrýt až 40 % tepla na vytápění.

Důležitým prvkem je také kvalitní izolace, která může být zajištěna výborně izolujícími přírodními materiály. Výhodou je minimální zatížení životního prostředí.

Větrání v nízkoenergetických domech sice může být realizováno i okny, ale za cenu ztráty tepla 50-70 %. Proto se lze v domech s nízkou spotřebou energie setkat hlavně s nuceným větráním s rekuperací tepla.

Obrázky 1-1 a 1-2 ukazují příklady nízkoenergetických domů. Prvním je fotografie budovy Centra ekologické výchovy u Kladna s potřebou tepla na vytápění $23 \text{ kWh}/\text{m}^2$ za rok. Obrázek 1-2 zachycuje koncept nízkoenergetického domu RONDO, jehož architektem je Ing. arch. Josef Smola. Zastavěná plocha činí 51 m^2 a měrná potřeba tepla na vytápění je dle PHPP $28,3 \text{ kWh}/\text{m}^2$ za rok.



Obr. 1-1 Budova Centra ekologické výchovy Kladno [7]



Obr. 1-2 Nízkoenergetický dům RONDO, architekt: Ing. arch. Josef Smola [6]

1.2 Pasivní dům

Název pasivní dům vychází z principu využití pasivních tepelných zisků. Těmi jsou zisky vnější (ze slunečního záření prostřednictvím oken) a vnitřní, vyjadřující teplo vyzařované lidmi, zvířaty a elektrickými spotřebiči. Tyto zisky jsou v budově uchovány díky kvalitní izolaci. Na tu je možno použít například izolaci z polystyrenu tloušťky 30 cm a více nebo izolace z přírodních materiálů (konopí, sláma). Opět platí, že obytné pokoje by měly být situovány na jih.

Pasivní budovou se rozumí budova s minimální potřebou energie na zajištění potřebného stavu vnitřního prostředí a minimální potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů pro chod budovy. Pasivní domy za rok spotřebují maximálně 15 kWh tepla na čtvereční metr plochy. Vytápění bývá realizováno například solárními kolektory, tepelnými čerpadly, kotlí na biomasu nebo systémem řízené rekuperace. Větrání probíhá opět rekuperací, která zajistí výměnu vzduchu bez značných energetických ztrát. S kvalitním rekuperačním zařízením je možné dosáhnout účinnosti zpětného zisku tepla až kolem 90 %.

Pasivní domy musí splňovat určité požadavky. Hlavní z nich jsou shrnuty v následující tabulce. V úvahu jsou brány hodnoty pro obytné budovy, konkrétně pro rodinné domy.

Tabulka 1-1 Požadavky na pasivní rodinný dům

Průměrný součinitel postupu tepla $U_{em}^{1)}$	$\leq 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ – požadovaná $\leq \mathbf{0,20} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$ – doporučená
Měrná roční potřeba tepla na vytápění	$\leq 20 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ – požadovaná $\leq \mathbf{15} \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ – doporučená
Měrná roční potřeba tepla na chlazení	$\mathbf{0} \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a})^2)$
Celková potřeba primární energie ³⁾ spojená s provozem budovy (pro obytnou budovu)	$\leq \mathbf{60} \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$
Neprůvzdušnost obálky budovy $n_{50}^{4)}$	$\leq \mathbf{0,6} \text{ h}^{-1}$

- 1) Doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce jsou uvedeny v tabulce 2-2.
- 2) Je požadováno takové stavební řešení, aby strojní chlazení nebylo potřebné.
- 3) Primární energie je energie, která neprošla žádnou přeměnou. Vyjadřuje množství energie spotřebované při výrobě určitého zdroje i se ztrátami při distribuci. Celková primární energie je součtem primární energie z obnovitelných a neobnovitelných zdrojů.
- 4) Při přetlaku nebo podtlaku 50 Pa se nesmí za hodinu vyměnit netěsnostmi v obálce budovy více než 60 % vnitřního objemu vzduchu.

Pro hodnocení energetické bilance a optimalizaci návrhu pasivních domů je v Evropě nejčastěji používán návrhový nástroj PHPP (*Passive House Planning Package*). V České Republice je využíváno hodnocení dle TNI 73 0329 a TNI 73 0330.

Výstavba pasivních domů je nákladově přibližně o 10 % dražší než výstavba běžného rodinného domu. Stát však výstavbu pasivních budov (a celkově budov s nižší spotřebou energie nebo i přestavbu budov na nižší energetický standard) podporuje. Programy státní podpory jsou zmíněny níže.



Obr. 1-3 Certifikovaný pasivní RD Buková [8]

Na obrázku 1-3 je fotografie pasivního domu v Bukové u Příbramě. Jde o pasivní dům, který obdržel mezinárodní certifikát PHI Darmstadt¹ (v ČR jsou zatím dva domy s tímto certifikátem). Energetická náročnost domu je dle PHPP 14,8 kWh/m² za rok.

1.3 Nulový dům

Nulový dům lze v normách najít pod označením dům s téměř nulovou spotřebou energie. V podstatě jde o pasivní dům se spotřebou energie krytou z obnovitelných zdrojů v největší možné míře. Pojem nulový dům je myšlen dům s bilančně nulovou spotřebou energie. To znamená, že dům je připojen k obvyklé energetické síti a rozdíly energií jsou touto sítí vyrovnávány (přebytky do sítě, nedostatky z ní).

V následující tabulce jsou uvedena srovnání v dnešní době užívaných obydlí z hlediska potřeby tepla na vytápění. U každého typu domu je uvedena stručná charakteristika.

¹ PHI Darmstadt je nezávislý výzkumný ústav s mimořádně důležitou rolí ve vývoji konceptu pasivního domu, který je mezinárodně uznávaný. [10]

Tabulka 1-2 Charakteristika a srovnání nynější zástavby [9]

Typ domu	Charakteristika	Potřeba tepla na vytápění [kWh/(m ² a)]
domy běžné v 70. – 80. letech	zastaralá otopná soustava, zdroj tepla je velkým zdrojem emisí, větrá se pouhým otevřením oken, nezateplené, špatně izolující konstrukce, přetápí se	většinou nad 200
současná novostavba	klasické vytápění pomocí plynového kotle o vysokém výkonu, větrání otevřením okna konstrukce na úrovni požadavků normy	80 až 140
nízkoenergetický dům	otopná soustava o nižším výkonu, využití obnovitelných zdrojů, dobře zateplené konstrukce, řízené větrání	méně než 50
pasivní dům	řízené větrání s rekuperací tepla, vynikající parametry tepelné izolace, velmi těsné konstrukce	méně než 15
nulový dům, dům s přebytkem tepla	parametry minimálně na úrovni pasivního domu, velká plocha fotovoltaických panelů	méně než 5

1.4 Aktivní dům

Aktivní dům je takový dům, který má vlastní zdroje energií (nejčastěji elektrické), jimiž je vyrobeno více energie, než je spotřebováno na jeho provoz, včetně provozu všech spotřebičů v domě. Vyrobené přebytky jsou dodávány do sítě. Pomocí větrných elektráren či solárních panelů může aktivní dům vyrobit až o 50 % elektrické energie navíc.

Aktivní dům lze charakterizovat třemi základními oblastmi [5]:

- Energetické hledisko
 - má nízkou energetickou náročnost
 - produkuje více energie, než spotřebuje
 - v celoročním provozu má nulovou uhlíkovou stopu
- Vnitřní klima
 - je světlý, vzdušný, větrá
 - vnitřní prostředí je zdravé a příjemné
 - materiály odpovídají regionálním zvyklostem

- Vztah k životnímu prostředí
 - dům je organickou součástí svého okolí
 - je postaven z materiálů, které životnímu prostředí neškodí nebo jen minimálně

Pro ohřev teplé vody v domě a z části též pro vytápění je použito solárních kolektorů umístěných na střeše. Vyrobená energie je akumulována v nádržích a využita v době potřeby. Jako další zdroje tepla mohou sloužit kotle na biomasu nebo tepelná čerpadla. Větrání je provedeno jako řízené s rekuperací tepla v kombinaci s přirozeným větráním okny v letních obdobích. Tuto kombinaci je možné nazvat jako hybridní větrání.



Obr. 1-4 Aktivní dům [12]

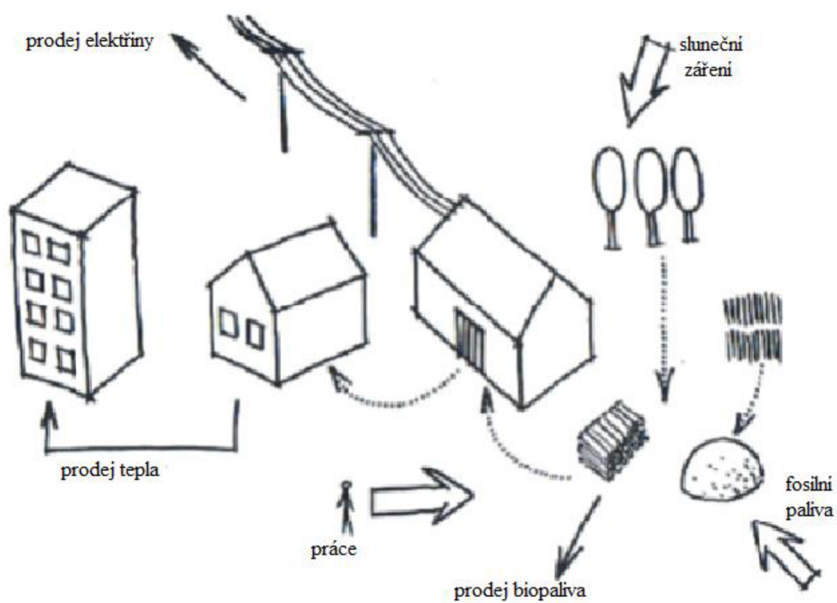
1.5 Energeticky soběstačný dům

Alternativním pojmenováním pro energeticky soběstačný dům je dům autonomní. Jedná se o dům nezávislý na dodávkách energie. Dodávaná energie, tedy ta energie, kterou je potřeba kupovat (například i biomasa, která musí být kupována, dálkové teplo pocházející z obnovitelných zdrojů nebo teplo produkované jako odpadní) je v každém okamžiku nulová. Za výpočtových provozních podmínek je budova schopná dlouhodobého provozu nezávislého na vnějších dodávkách energie.

Podle zdroje [1] je možné definovat dva modely energeticky soběstačných domů. Prvním z nich je model statku. Venkovský statek je historickým příkladem energeticky nezávislého domu. Základní vlastností toho modelu je dostatek pozemků náležících k domu, které jsou využity pro pěstování dřeva nebo dalších energetických plodin. Další potřebou je pak ochota obyvatel vynaložit více práce pro produkci energie. To může být zároveň jejich obživou (například prodej energie vyrobené navíc nad potřeby domu a jeho obyvatel).

Druhým modelem je model rodinného domu, který získává potřebnou energii ze Slunce a od svých obyvatel. U tohoto modelu je nezbytná minimalizace potřeb tepla na vytápění. Na první pohled nejsou k nalezení velké odlišnosti mezi tímto modelem a běžnou výstavbou, dům však může fungovat bez napojení na síť.

Termínem „energeticky soběstačný dům“ tedy rozumíme obydlí nezávislé na běžné infrastruktuře, soběstačné jak po stránce zásobení elektrickou energií, teplem či chladem, tak i po stránce nakládání s odpady. Některé koncepce počítají i s vlastní výrobou potravin.



Obr. 1-5 Model statku za předpokladu napojení na síť a prodeje energie do sítě [1]

2 ZÁSADY NÁVRHU ENERGETICKY SOBĚSTAČÝCH BUDOV

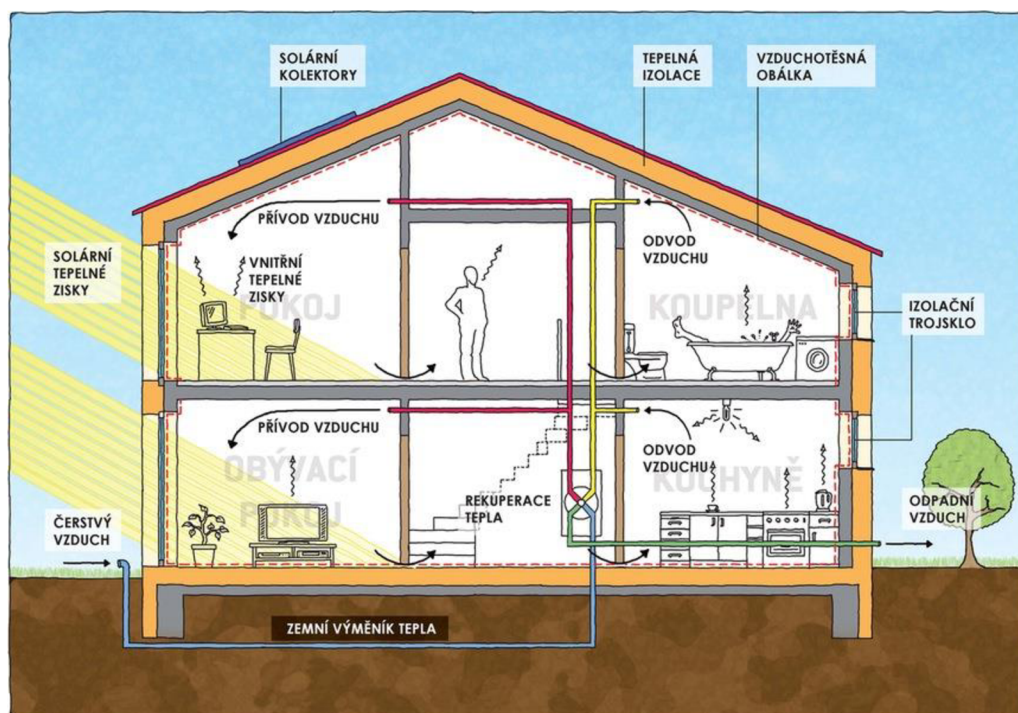
Před samotným návrhem je nutno stanovit energetickou bilanci, která je i prvním bodem této kapitoly. Kapitola se dále zabývá koncepcí a dispozicí domu, izolacemi, výplněmi otvorů, průvzdušností obálky domu, větráním spotřebičů v domě a zdroji vody.

2.1 Energetická bilance

Energetická bilance je základním stavebním kamenem při plánování energetické soběstačnosti. Pro její stanovení je nejprve nezbytné sečíst ztráty (potřeby). Poté je nutné zvážit, zda je možné tyto ztráty snížit a jak náročné to bude z hlediska financí. Dále je třeba zjistit zisky (zdroje) a procento jejich skutečného využití. Rozdíl mezi zisky a ztrátami je nezbytné krýt ze zdroje, při jehož volbě musíme zvážit technická a další omezení, způsob provozu a požadavky na komfort a spolehlivost. Zdroje se liší investičními a provozními náklady.

Tabulka 2-1 Energetická bilance [4]

Ztráty	Zisky
ztráty prostupem střechou	rekuperace tepla z odpadní vody
	zisky od osob
	zisky od spotřebičů
ztráty prostupem stěnami	rekuperace tepla z odpadního vzduchu
	dodávka tepla pro vytápění
	dodávka tepla pro ohřev vody
ztráty prostupem podlahou	pasivní solární zisky (okna, prosklení)
	elektřina z vnějšího zdroje (vlastní elektrárna)
	vodní energie
ztráty okny a prosklením	větrná energie
	zisk zemního výměníku tepla
	elektřina z fotovoltaických panelů
ztráty větráním	aktivní solární zisky (kolektory)
	palivo
teplo pro ohřev vody	ztráty ve vlastním zdroji
	dodávka elektřiny z kogenerace



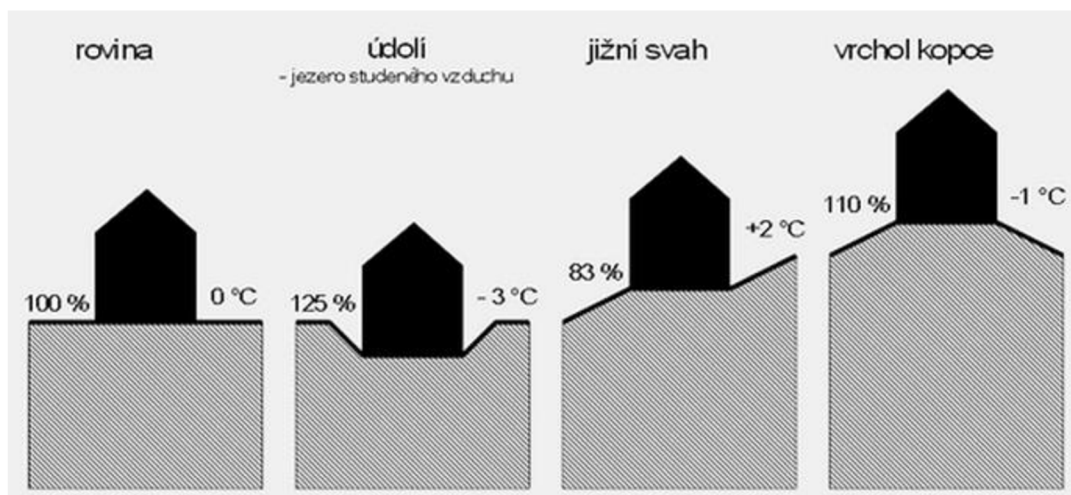
Obr. 2-1 Schéma pasivního domu se zobrazením možných zisků tepla [11]

2.2 Koncepce a dispoziční řešení

2.2.1 Pozemek pro budovu

Volba pozemku je důležitým rozhodnutím, které ovlivní mnoho dalších bodů při stavbě energeticky soběstačné budovy. Při výběru pozemku by měly být uváženy tyto body:

- Jeho vzdálenost od dostupné občanské vybavenosti:
 - Energie potřebné k dojíždění do škol, zaměstnání apod. by neměly převyšovat potřeby energie na provoz domu.
- Omezení lokality
 - Je zjišťováno, zdali je v dané lokalitě možné orientovat budovu optimálním způsobem a vystavět ji ve tvaru pro co největší šetření energiemi.
 - Omezení může být dáno například uliční čarou, přístupovou cestou nebo věcným břemenem zatěžujícím pozemek.
 - Okolní zástavba a vegetace v jižním směru od budovy má negativní vliv na množství tepelného zisku.
- Geodetické umístění pozemku
 - Průměrná teplota se snižuje s nadmořskou výškou (na každých 100 m přibližně o 0,5 – 0,8°C). Vhodnější jsou tedy místa níže položená.
 - Vrcholky kopců a návětrné svahy jsou nevhodné z hlediska zatížení větrem.
 - V údolích se naskytá hrozba záplav (při přítomnosti vodního toku) a navíc se zde vytváří tzv. jezera vlhkého vzduchu – jsou chladnější vlivem klesání studeného vzduchu.
 - Nejlepším možným umístěním je pozemek na jižním svahu, chráněném před studenými větry.



Obr. 2-2 Tepelné ztráty budovy (%) a teplota okolního vzduchu v závislosti na jejím umístění v terénu [14]

2.2.2 Umístění budovy a faktor tvaru

Při návrhu energeticky soběstačného domu je z pohledu jeho koncepce nejdůležitějším aspektem kompaktní tvar budovy. Ten závisí na mnoha faktorech, jako je například fakt, kolik lidí má dům užívat. Snahou však je dosažení co nejnižšího poměru ochlazovaných konstrukcí (plocha obvodového pláště A) k objemu budovy (objem obestavěné plochy V). U kvalitně izolovaných budov nemá tvar budovy tak vysoký vliv, protože ztráty prostupem tepla konstrukcí jsou z pohledu energetické bilance malé.

Co se týče orientace budovy, měla by být směřována jižně a nezastíněna okolní zástavbou. Takováto orientace zajistí dostatečné množství solárních zisků.

Dalším bodem je konstrukce budovy. Ta by měla být zbavená složitých tvarů a detailů, které mohou vytvářet tepelné mosty, kde následně dochází k největším ztrátám. Krom toho mohou tyto složité detaily zbytečně prodražovat stavbu.

V neposlední řadě musí být brán zřetel i na vnitřní dispozici domu. Umístění jednotlivých místností je opět vhodné realizovat s ohledem ke světovým stranám a využití zisků ze Slunce. Dále je nutné vzít v potaz větrání a délku rozvodů topení, teplé vody.

2.3 Prostup tepla, izolace konstrukcí

Při popisování prostupu tepla konstrukcemi a jejich izolací je třeba zmínit součinitel prostupu tepla, který je důležitým ukazatelem při zjišťování potřeby tepla na vytápění a pro výstavbu má ze zákona normové hodnoty (pro výstavbu pasivních budov má pak hodnoty doporučené). Dalšími uvedenými pojmy podkapitoly jsou tepelný odpor a součinitel tepelné vodivosti.

2.3.1 Součinitel prostupu tepla

Součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$] je definován jako celková výměna tepla mezi dvěma prostředími vzájemně oddělenými stavební konstrukcí o tepelném odporu R .

Jeho výpočet zahrnuje vliv přilehlých mezních vzduchových vrstev a tepelných mostů, včetně vlivu prostupujících hmoždinek a kotev, které jsou součástí konstrukce (ČSN 73 0540-1). Je definován vztahem:

$$U = \frac{1}{R_T}, \quad (2.1)$$

kde $R_T [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ je odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí).

Zjednodušeně součinitel prostupu tepla vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí o ploše 1 m^2 při rozdílu teplot jejích povrchů o 1 K .

Součinitel prostupu tepla je hodnocen dvěma způsoby, a to zaprvé pro jednotlivé konstrukce a zadruhé pro budovu jako celek. Oba požadavky přitom musí být až na výjimky splněny současně.

Následující tabulka uvádí již zmíněné, pro pasivní budovy doporučené, hodnoty součinitele prostupu tepla různých typů konstrukcí. Hodnoty jsou uvedeny dle ČSN 73 0540-2 s přihlédnutím na běžnou budovu s převažující návrhovou vnitřní teplotou $\theta_{in} = 18^\circ\text{C}$ až 22°C . Za takové budovy jsou považovány všechny obytné budovy a budovy s převážně dlouhodobým pobytem lidí (školy, úřady, ubytovny, nemocnice a podobné). Hodnoty součinitele prostupu tepla pro konstrukce při jiné návrhové vnitřní teplotě je možné stanovit přepočtem se zohledněním konkrétní teploty s pomocí tzv. součinitele typu budovy e_l . Pro rodinné domy je doporučeno volit spodní hodnoty příslušných uvedených intervalů součinitele prostupu tepla.

Tabulka 2-2 Normové hodnoty součinitele prostupu tepla (ČSN 73 0540-2) [3]

Typ konstrukce	Doporučené hodnoty pro PD $U_{N,20} [W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}]$
Stěna vnější	0,18–0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,18–0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,15–0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,15–0,10
Strop pod nevytápěnou půdou (se střechou bez tepelné izolace)	0,15–0,10
Stěna k nevytápěné půdě (se střechou bez tepelné izolace)	0,18–0,12
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině (bez vlivu zeminy) ¹⁾	0,22–0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,30–0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,38–0,25

Strop a stěna vnější z temperovaného prostoru k venkovnímu prostředí	0,38–0,25
Podlaha a stěna temperovaného prostoru přilehlá k zemině	0,45–0,30
Stěna mezi sousedními budovami ²⁾	0,5
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	0,8–0,6
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45°, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	0,9
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí (včetně rámu)	0,9
Výplň otvoru vedoucí z vytápěného do temperovaného prostoru	1,7
Výplň otvoru vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	1,7
Šikmá výplň otvoru se sklonem do 45° vedoucí z temperovaného prostoru do venkovního prostředí	1,4
Kovový rám výplně otvoru	1,0
Nekovový rám výplně otvoru	0,9–0,7
Rám lehkého obvodového pláště	1,2
Lehký obvodový plášť (LOP) hodnocený jako smontovaná sestava včetně nosných prvků, s poměrnou plochou průsvitné výplně otvoru $f_w = A_w / A$ [m^2/m^2], kde je: A celková plocha lehkého obvodového pláště (LOP) [m^2] A_w plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru vč. Příslušných částí rámu v LOP [m^2]	$0,15 + 0,85 \cdot f_w$

¹⁾ Do hodnoty součinitele prostupu tepla se v případě podlahového a stěnového vytápění počítají pouze vrstvy od roviny s umístěným vytápěním směrem do exteriéru.

²⁾ Nemusí jít vždy o teplosměnnou plochu, přesto je třeba zajistit tepelnou ochranu na odpovídající úrovni s ohledem na možné změny v užívání a postup výstavby.

2.3.2 Tepelný odpor

Tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$] je mírou odporu proti pronikání tepla. Cílem je, aby hodnota tepelného odporu byla co nejvyšší. Je definován následujícím vztahem:

$$R = \frac{d}{\lambda}, \quad (2.2)$$

kde je:

d [m] tloušťka vrstvy v konstrukci,

λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$] součinitel tepelné vodivosti. [15]

Celkový odpor při prostupu tepla konstrukcí $R_T [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ se stanoví ze vztahu:

$$R_T = R_{si} + R + R_{se}, \quad (2.3)$$

kde je:

$R_{si} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce,

$R [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ tepelný odpor konstrukce,

$R_{se} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$ odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce. [15]

Tabulka 2-3 Odpor při přestupu tepla, normové hodnoty [15]

Směr tepelného toku	nahoru	vodorovně	dolů
$R_{si} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	0,10	0,13	0,17
$R_{se} [m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	0,04	0,04	0,04

2.3.3 Izolační materiály a součinitel tepelné vodivosti

Obálka domu musí být velmi dobře izolovaná. Tloušťka izolace je stanovena výpočtem. Běžné tloušťky izolací jsou kolem 30 cm při stěnách a při střeše až 40 cm. Izolace musí být provedena bez přerušení a spár.

Jako tepelnou izolaci pro energeticky soběstačný dům je možné využít většinu běžně dostupných variant, jako například minerální vlnu a polystyren. Ekologičtějším řešením jsou však jejich přírodní varianty – konopné a lněné izolace, foukaná celulóza, dřevovláknité desky, sláma, ovčí vlna. V současnosti je k dostání již i vakuová izolace, která má hodnoty součinitele tepelné vodivosti podstatně nižší. Díky vysoké ceně je však vhodná k použití pouze na specifické části stavby.

Součinitel tepelné vodivosti $\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$ udává teplo, které projde za jednotku času každým čtverečním metrem desky o tloušťce 1 metr, jejíž jedna strana má teplotu o 1 kelvin vyšší než strana druhá. Cílem je, aby jeho hodnota byla co nejmenší. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty součinitele tepelné vodivosti pro vybrané materiály.

Tabulka 2-4 Součinitel tepelné vodivosti pro vybrané materiály [16]

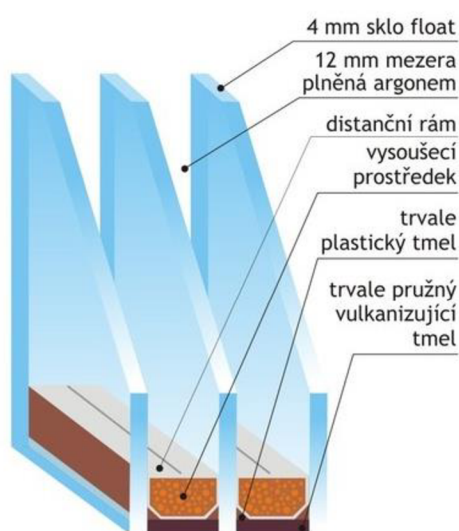
Materiál	$\lambda [W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$
Konopná izolace	0,038–0,040
Ovčí vlna	0,034–0,049
Dřevovláknitá deska	0,038–0,043
Lněná izolace	0,039
Sláma	cca 0,05
Celulóza	0,037–0,042
Korkové desky	0,064

Pěnový polystyren	0,033–0,044
Minerální vata	0,038–0,050
Pěnové sklo	0,038
Vzduch (za normálního tlaku)	0,0262
Dřevo měkké kolmo k vláknům	0,18
Vápenocementová omítka – MVC	0,88
Beton hutný	1,23–1,36
Zdivo z plných pálených cihel rozměrů 290/140/65	0,78–0,84
Zdivo z příčně děrovaných pálených prvků rozměrů 365/245/140	0,36
Nepálená cihla	1,1

2.4 Výplně otvorů

Na okna jsou při návrhu energeticky soběstačné budovy kromě požadavků funkčních a estetických kladeny taktéž požadavky energetické. Nutné je použití kvalitních izolovaných rámců pro minimalizaci tepelných mostů v místě vsazení okna do stěny. Hodnota součinitele prostupu tepla by u oken neměla přesáhnout $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Řešením může být zasklení s trojskly vyplněnými vzácným plynem. S tímto je běžně možné dosáhnout hodnoty součinitele prostupu tepla pod $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Okna v energeticky soběstačném domě jsou současně zdrojem pasivních solárních zisků, které významně přispívají k pokrytí potřeby tepla na vytápění. Tu mohou pokrývat až z více než jedné třetiny. Je tedy důležité okna vhodně orientovat (ideálně jižně) a určit optimální velikost prosklení. Úspory energie solárními zisky narůstají přibližně do 30–40 % prosklené plochy v jižní fasádě, dalším zvětšováním oken se energie neuspoří. U velkých prosklených ploch je nezbytné stínění. To může být realizováno pomocí horizontálních přesahů nebo venkovními žaluziemi.



Obr. 2-3 Schéma izolačního trojskla – $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [17]

2.5 Průvzdušnost

Průvzdušnost vypovídá o šíření vzduchu a vodních par konstrukcemi budovy a její obálkou. Souvisí se vzduchotěsností a jedná se o schopnost propouštět vzduch za podmínek existence cesty k proudění vzduchu (vedení tepla konvekci) a za podmínky existence tlakového rozdílu na rozhraní konstrukční vrstvy obálky budovy.

Veličiny používané pro hodnocení vzduchotěsnosti jsou nejčastěji intenzita výměny vzduchu n_{50} a vzduchová propustnost q_{50} . Jsou definovány vztahy:

$$n_{50} = \dot{V}_{50}/V, \quad (2.4)$$

$$q_{50} = \dot{V}_{50}/A_E, \quad (2.5)$$

kde je:

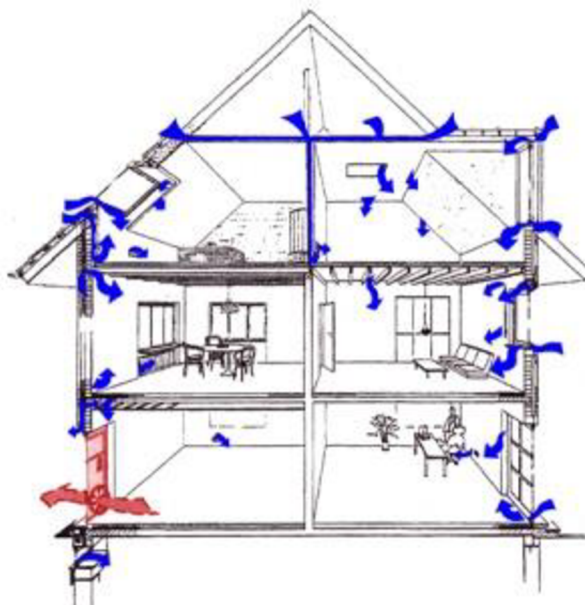
$\dot{V}_{50} [m^3 \cdot h^{-1}]$ objemový tok vzduchu při $\Delta p = 50 Pa$ zjištěný měřením

$V [m^3]$ vnitřní objem budovy vypočítaný z vnitřních rozměrů

$A_E [m^2]$ plocha obálky budovy vypočítaná z celkových vnitřních rozměrů [3]

Kýžená hodnota průvzdušnosti (neprůvzdušnosti) při návrhu energeticky soběstačné budovy je do $n_{50} = 0,6 h^{-1}$. Doporučeno je však držet se pod hodnotu $n_{50} = 0,4 h^{-1}$.

Hodnota průvzdušnosti nelze určit výpočtem. Provádí se měření – zkouška těsnosti, tzv. Blower door test. Při návrhu energeticky soběstačného domu je vhodné provést trojí měření. Prvním je předběžný test, který je prováděn v nedokončeném stavu budovy, kdy je přímý přístup k hlavní vzduchotěsnicí vrstvě. Po tomto testu jsou odstraněny nežádoucí nedostatky a provádí se mezikontrola měřením metodou B. Po dokončení obálky budovy je provedeno finální měření, a to podle účelu metodou A nebo B. **Metoda A** (test užívané budovy) odpovídá stavu, kdy je používáno topení nebo systém chlazení a neprovádí se utěšňování prostupů vrstvou snižující propustnost vzduchu. Tato metoda je využívána i pro programy Státního fondu životního prostředí (Nová zelená úsporám). Při kontrole **metodou B** (test obálky budovy) jsou všechny záměrně vytvořené otvory v obálce budovy uzavřeny či utěšněny. Touto metodou je možno dokladovat kvalitu provedených stavebních prací.



Obr. 2-4 Místa netěsností v budově [18]

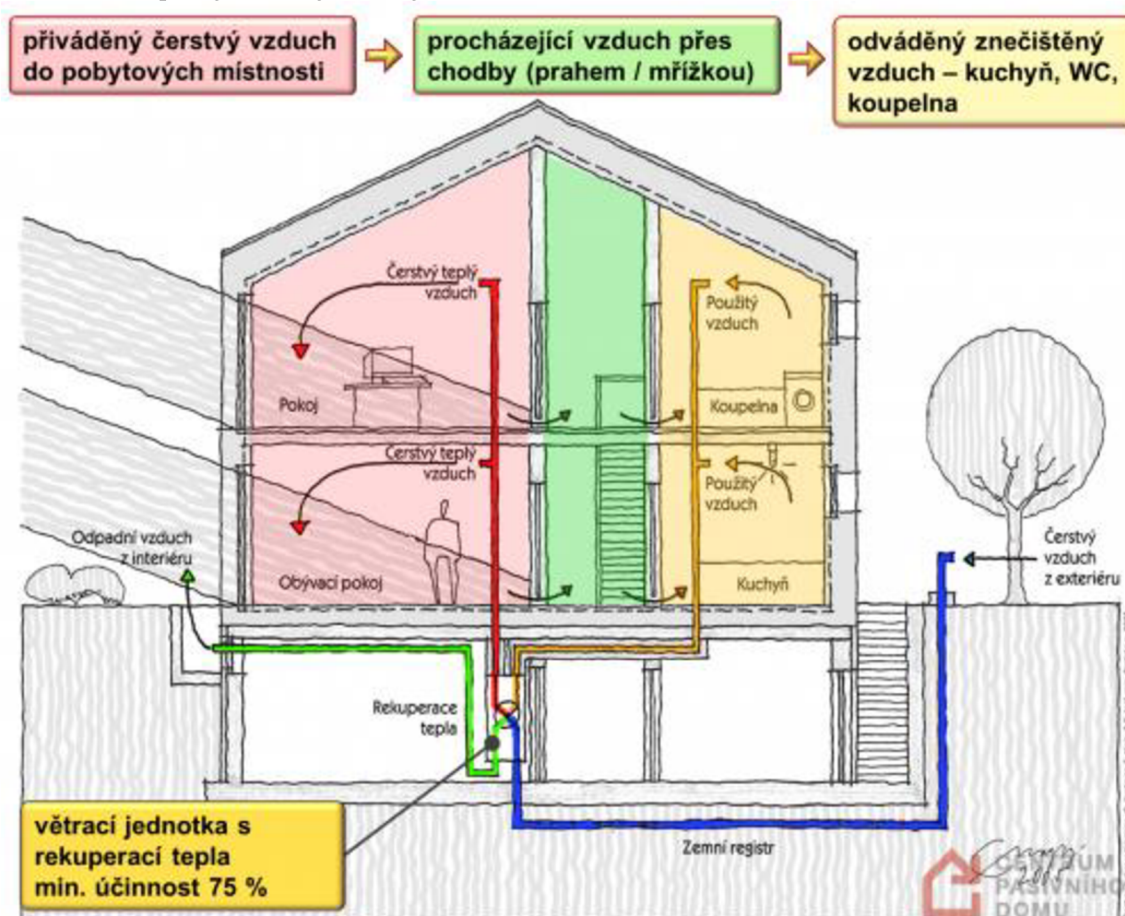
U masivních staveb se vzduchotěsnost stěn zajišťuje vrstvou omítky bez prasklin, u dřevostaveb to mohou být desky z lisovaných štěpek nebo folie se spoji přelepenými speciálními páskami. Místa styků různých konstrukcí, například oken, je nutno utěsnit vhodnou páskou, tmelem či fólií.

2.6 Větrání

Větrání by v energeticky soběstačném domě mělo být realizováno jako řízené s pomocí rekuperačního výměníku. Rekuperace znamená, že teplý (odpadní) vzduch předá cestou ven z domu svoji tepelnou energii čerstvému vzduchu přicházejícímu dovnitř. Účinnost rekuperace se pohybuje okolo 85 % (až 90 %). Nucené větrání je důležité také z hlediska hygienické normy (obálka budovy musí být co nejvíce vzduchotěsná, je však třeba zajistit výměnu vzduchu v objektu). Nezbytná hodnota výměny vzduchu je z hlediska hygieny $0,25\text{--}0,3\text{ h}^{-1}$. Požadavky na odvětrávání zatěžovaných prostor jsou pro kuchyň $40\text{--}60\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, koupelny $40\text{--}60\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a toaletu $20\text{--}30\text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. [9]

Na potrubí, určené pro rekuperaci, je několik požadavků. Základní jsou, aby jeho vnitřní strana pro vedení vzduchu byla hladká a dále by jeho rovné části neměly přesahovat 5 m (kvůli hluku z vibrací). Potrubí musí být přístupné k čištění. Rekuperační jednotku je možné umístit vně i uvnitř obálky domu, je přitom ale třeba myslet na odpovídající zateplení samotné jednotky (pokud je vně obálky) a potrubí.

Vhodné je rozdělit budovu na tři zóny. První pro přívod vzduchu, obsahující obytné místnosti, další pro transport vzduchu přes chodby (schodiště) a třetí pro odtah odpadního vzduchu z koupelny, toalety, kuchyně.



Obr. 2-5 Schéma větrání v budově [9]

2.7 Spotřebiče

V návrhu energeticky soběstačného domu je nezbytná volba energeticky úsporných spotřebičů. Spotřebiče a domovní techniku, jako čerpadla nebo ventilátory, je nutné volit s třídou účinnosti A+ a lepší.

Většina domácí elektroniky (televize, satelitní přijímač, hi-fi věž, počítač, tiskárna i některé lampičky) odebírají elektrickou energii i v době, kdy jsou vypnuté. Tato klidová spotřeba může u starších spotřebičů činit až 20 W. U novějších je to obvykle 1 až 5 W. Je vhodné se starší elektronice a spotřebičům vyhnout a při provozu domu používat například prodlužovací kabel se společným vypínáním a v době nevyužívání přívod elektrické energie k těmto spotřebičům vypínat.

Jako zdroje osvětlení do energeticky soběstačného objektu je vhodné volit energeticky úsporné zářivky (dosahují měrného výkonu 40–106 lm/W) nebo žárovky s LED diodami (40–75 lm/W).

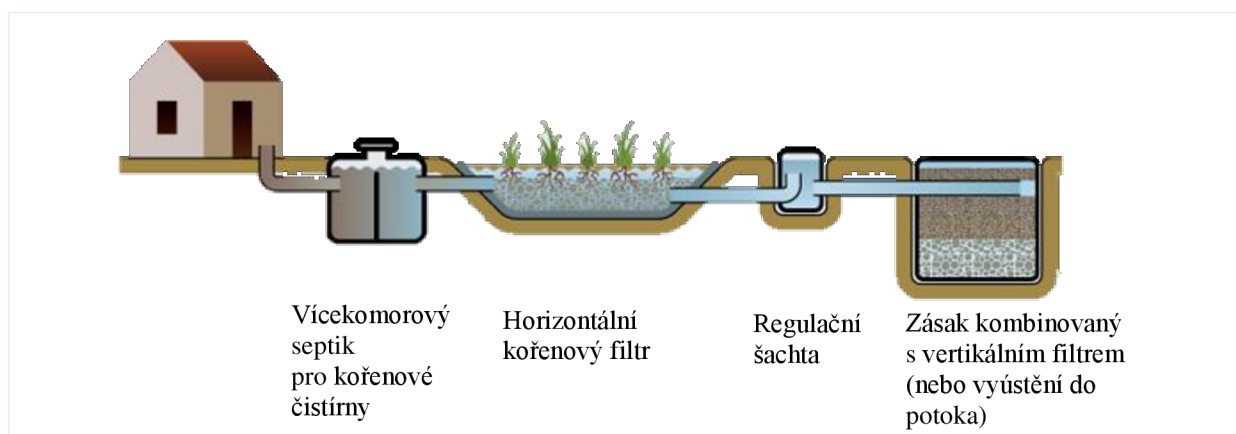


Obr. 2-6 Značení energeticky šetrných spotřebičů a elektroniky [20]

2.8 Zdroje a nakládání s vodou

V energetické soběstačnosti by měly padnout za zmínku i potřeby vody – pitné i užitkové. Energeticky soběstačný dům není napojen na inženýrské sítě, tedy ani na rozvod vody. Tím se zásadně liší od „obyčejného“ pasivního domu, na který mohou být aplikovány všechny výše zmíněné požadavky. V koncepci energeticky soběstačného domu musí být tedy počítáno navíc ještě se zdrojem pitné vody, kterým by měla být studna na pozemku domu. Jako další je potřeba zajistit sběr dešťové vody, která může být využita jako užitková.

Dále je třeba naložit s vodou odpadní. Vhodným a ekologickým řešením pro energeticky soběstačný dům je kořenová čistírna. Dostupné jsou také domácí čistírny odpadních vod.



Obr. 2-7 Schéma kořenové čistírky odpadních vod [21]

3 TECHNICKÉ APLIKACE V ENERGETICKY SOBĚSTAČNÝCH DOMECH

V této kapitole jsou zmíněna technická zařízení budov pro výrobu elektrické energie, dále se kapitola zaměřuje na zařízení fungující jako zdroje tepla, chladu a na větrací soustavy.

3.1 Zdroje elektrické energie

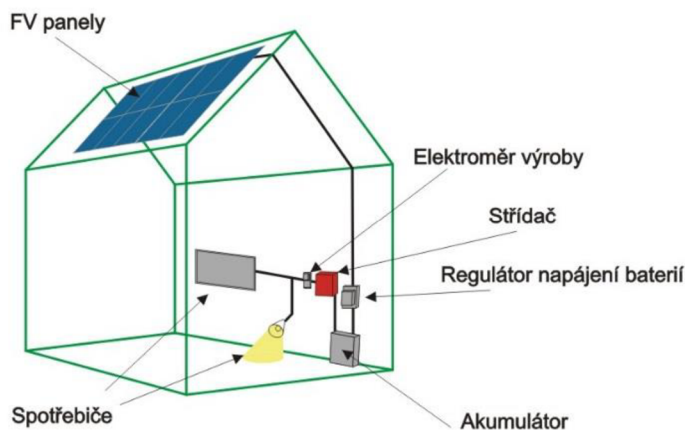
Chod zdrojů elektrické energie musí být optimalizován pro ostrovní provoz. Pro pokrytí potřeb domu a jeho obyvatel je možné využít i více různých aplikací najednou. Vážitelné jsou veškeré aplikace, kde není potřeba nákupu paliva. Těmi mohou být v první řadě fotovoltaické systémy, větrné mikroelektrárny, vodní turbíny.

Dalšími zdroji elektrické energie mohou být kogenerace (kombinovaná výroba elektřiny a tepla) se spalovacím motorem, kde pístový spalovací motor pohání generátor proudu. Palivem může být zemní plyn, dřevoplyn, bioplyn, řepkový olej, líh, nafta i benzín. Dále je možná kogenerace s parním strojem nebo kogenerace se Stirlingovým motorem, což je pístový motor s vnějším zdrojem tepla. Tímto zdrojem tepla mohou být v případě Stirlingova motoru již zmíněná paliva a kromě toho například i sluneční záření.

Při řešení zdrojů elektrické energie pro soběstačný dům je nezbytně důležitá její akumulace. To hlavně kvůli možným výkyvům množství získané energie během jednoho dne nebo delších časových úseků. Elektrickou energii je možno ukládat například pomocí kondenzátorů, akumulátorů, supravodivých cívek, setrvačnicků, stlačeného vzduchu, akumulací tepla v solné tavenině či ukládáním energie ve formě vodíku.

3.1.1 Fotovoltaické systémy (FVE)

FVE jsou zařízení vyživající energii ze Slunce. Tu poskytují ve formě stejnosměrného proudu a buď je přímo spotřebována (stejněměrný proud měněn střídačem na střídavý), nebo je uchována v bateriích. Nejrozšířenější fotovoltaické panely jsou křemíkové (amorfni nebo mikrokrytalický křemík v tenkých vrstvách na nosné ploše z textilu, skla). V jednom solárním panelu běžně bývá 36 článků o výstupním napětí 12 V nebo 72 článků o napětí 24 V. Dostupné jsou panely různých výkonů (obvykle kolem 150 Wp až 280 Wp).



Obr. 3-1 Schéma FVE ostrovního systému [25]

Jednotkou výkonu panelů je tzv. špičkový výkon – Watt-peak (Wp). Je to výkon naměřený za standardních testovacích podmínek (ozáření 1000 W/m^2 , teplota článku 25°C). Účinnost solárních panelů je 14 až 17 %, životnost přibližně 30 let. Místo křemíkových panelů je možností použití různých organických sloučenin, polymerů a podobně. Tyto technologie jsou zatím ve vývoji.

3.1.2 Energie větru a vody

Energie větru je využitelná prostřednictvím větrných mikroelektráren. Pomocí těchto zařízení je vyráběn stejnosměrný proud při napětí 12 V nebo 24 V. V bateriích akumulovaná elektrická energie pak slouží hlavně k provozu drobných spotřebičů, vytápění akumulčních nádrží na teplou užitkovou vodu nebo vytápění obecně.

K využití síly větru jsou používány tvarově různé rotory, dále se liší počtem a velikostí lopatek. V základu je možné mluvit o dvou typech mikroelektráren, a to o pomaloběžných (disponují velkým počtem křídel) a rychloběžných (dvě až čtyři aerodynamicky tvarovaná křídla). Běžně dostupné jsou větrné mikroelektrárny s výkonem do 5 kW. Teoreticky dosažitelná účinnost těchto zařízení je 60 %. Ta je ale reálně snížena o ztráty na křídlech rotoru, v ložiskách, převodech a další. Udávaná životnost je přes 20 let.

Možnost využití energie vody se naskýtá domům v blízkosti vhodného vodního toku. Pro vybudování vodní elektrárny je nutné zasáhnout do vlastního toku (například vybudovat jez nebo hráz), přičemž je nutné v toku udržovat minimálně sanační průtok (minimální stálý průtok nutný pro zachování biologické rovnováhy toku). Energii vody zachycují vodní turbíny, nejčastější jsou Bánkiho nebo Francisova turbína, pro vysoké spády (nad 30 m) pak Peltonova turbína. Existuje však mnoho dalších typů turbín.

3.2 Zdroje tepla

Vzhledem k omezeným zdrojům elektrické energie je nutné vyloučit jako zdroje tepla elektrické kotle a ohřívače. Další alternativou jsou plynové a olejové kotle a ohřívače. Ty však nezaštiťují energetickou soběstačnost. Paliva pro jejich provoz je nutné kupovat. Navíc je třeba uvážit, že dům není napojen na inženýrské sítě. Jako zdroje tepla může být využito spalování dřeva (v kotlích, kamnech), solárních tepelných soustav, tepelných čerpadel, teplovzdušných jednotek s rekuperací. Kromě toho jsou dalším zdrojem tepla pasivní tepelné zisky ze Slunce okny.

Teplo se musí opět vhodným způsobem akumulovat. Nejčastěji je realizována akumulace tepla do vodních zásobníků, malá část zásobníků pak využívá akumulaci prostřednictvím změny skupenství akumulční látky. Ve vývoji jsou termochemické zásobníky (využívající sorpce a chemických reakcí).

3.2.1 Kotle na biomasu

Spalováním biomasy je v prvním případě míněno spalování dřeva, a to ve formě kusového dřeva, štěrky či pelet. Podle toho lze tedy užívat kotlů na kusové dřevo, které fungují téměř výhradně jako zplyňovací – spaluje se v nich dřevoplyn, uvolňující se ze dřeva v násypce kotle.



Obr. 3-2 Příklad zplyňovacího kotle na dřevo, CZ Biom [28]

Další možností jsou kotle na štěpku, kde je umožněno automatické přikládání paliva nejčastěji pomocí šnekových dopravníků. Probíhá zde nejčastěji spalování syrové štěpky. Automatické přikládání paliva pomocí šnekových dopravníků funguje i u kotlů na peletky. Ty mohou být vyráběny i bez automatizace – s násypkou, a pokud mají náležitou certifikaci, je možné spalovat v nich i obilí.

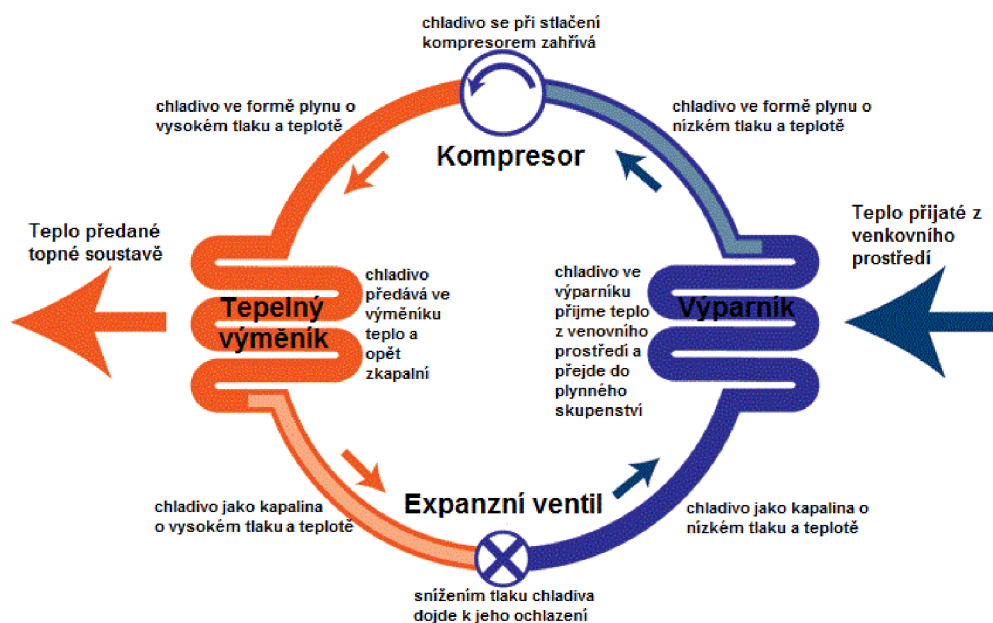
3.2.2 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla získávají teplo z okolního prostředí, kterým může být voda (povrchová, ze studny), vzduch nebo země (hloubkový vrt, zemní plošný kolektor), či odpadní voda a odpadní vzduch. Toto teplo je převáděno na vyšší teplotní hladinu a následně využíváno pro vytápění nebo ohřev teplé vody. Tepelná čerpadla se většinou skládají z venkovní a vnitřní části. Vnitřní jednotka je podobná běžnému plynovému kotli a zajišťuje předávání tepla topnému systému. Venkovní jednotka odebírá teplo ze zvoleného prostředí a její podoba a velikost závisí na zvoleném zdroji tepla.

Tabulka 3-1 Typy čerpadel dle druhu ochlazovaného a ohřívaného média [30]

Typ čerpadla	Možnosti použití
vzduch/voda	univerzální typ, pro ústřední vytápění
vzduch/vzduch	doplňkový zdroj tepla, teplovzdušné vytápění, klimatizace
voda/voda	využití odpadního tepla, geotermální energie, ústřední vytápění
nemrzoucí kapalina/voda	univerzální typ pro ústřední vytápění, zdrojem tepla je nejčastěji vrt nebo půdní kolektor
voda/vzduch	teplovzdušné vytápěcí systémy

Podle principu funkce čerpadel je možné vymezit dva základní typy, a to kompresorová a sorpční čerpadla. Kompresory tepelných čerpadel mohou být pístové, spirálové a rotační. Tepelná čerpadla s pístovými kompresory jsou levnější, s horším topným faktorem a mírně hlučnější. Pístový kompresor má udávanou životnost kolem 15 let. Nejpoužívanější tepelná čerpadla jsou se spirálovými kompresory. Jsou dražší, ale je u nich dosaženo nejlepších topných faktorů a jejich životnost je více než 20 let. Tepelná čerpadla s rotačními kompresory se využívají především u klimatizačních zařízení. Sorpční čerpadla jsou díky absenci kompresoru zcela nehlukná, mají však horší topný faktor. Využívají se taktéž hlavně u klimatizačních zařízení.



Obr. 3-3 Princip funkce kompresorového tepelného čerpadla [29]

Topný faktor (COP) je základním parametrem tepelných čerpadel, který vypovídá o účinnosti těchto zařízení. Je to poměr mezi vyprodukovaným teplem (teplem dodaným do topného systému) a spotřebovanou energií (množství elektřiny pro pohon tepelného čerpadla, resp. kompresoru tepelného čerpadla) [31]. Hodnota topného faktoru je nejčastěji z intervalu 2 až 5 (až 7). U elektricky poháněných tepelných čerpadel se normovými požadavky hodnotí ještě sezónní topný faktor celé soustavy (SFP).



Obr. 3-4 Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem, NIBE [29]

3.3 Zdroje chladu

Analogicky k tepelným čerpadlům jako zdrojům tepla se využívá kompresorového nebo sorpčního chlazení. Efektivita chladicích zařízení je porovnávána pomocí chladicího faktoru (*EER*, poměr mezi dodaným chladem a potřebou energie na provoz zdroje chladu).

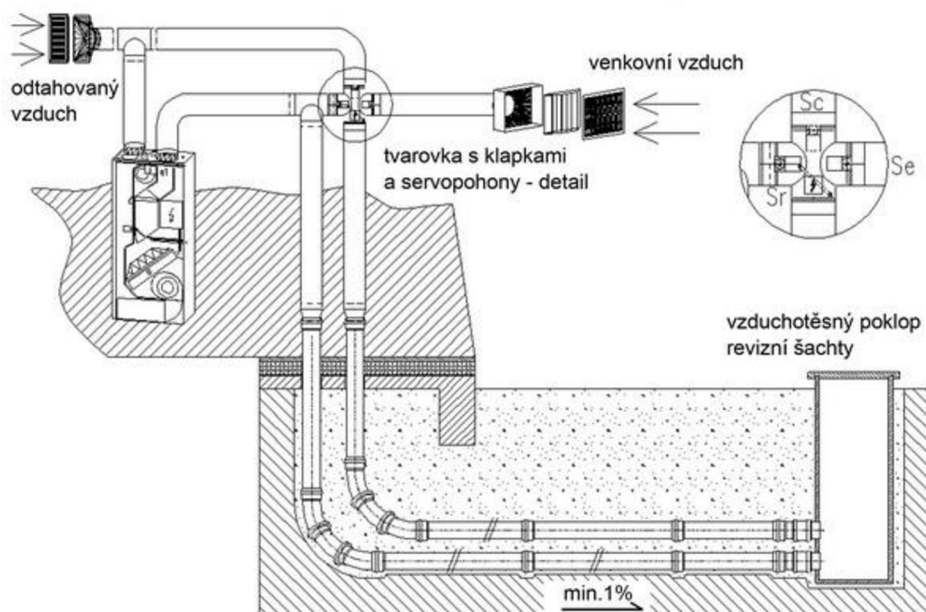
Další možností je nízkoenergetické chlazení. V potaz mohou být brány následující alternativy:

- noční větrání
 - přirozené – pasivní
 - nucené – za použití ventilátorů
- adiabatické chlazení (chlazení odpařováním)
 - přímé – použitelné spíše v suchém a teplém klimatu
 - nepřímé – sekundární vzduch nebo chladicí voda chlazený přes teplosměnnou plochu



Obr. 3-5 Adiabatická chladicí jednotka [32]

- využití chladu zemského polomasivu
 - vzduchové zemní výměníky (s přímým sáním, cirkulační)
 - kapalinové zemní výměníky
 - využití spodní (nebo i povrchové) vody



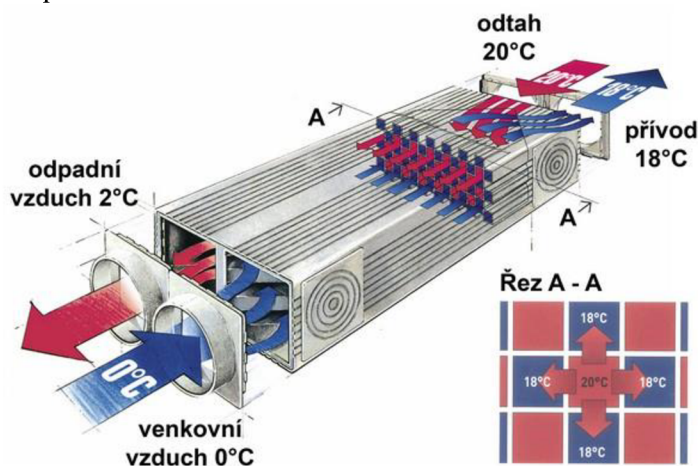
Obr. 3-6 Schéma cirkulačního vzduchového výměníku [33]

- noční radiační chlazení – využito sálání povrchů vůči chladnější obloze při jasné noci, nutná vysoká emisivita povrchu (v ČR příliš nevyužitelné díky kvalitnímu zateplení střech)

3.4 Větrání

Pro snížení energetické náročnosti větrání se využívá zpětného získávání tepla (ZZT). To je možné realizovat dvěma způsoby, a to rekuperačními nebo regeneračními systémy.

U rekuperačních systémů je mezi odváděným a přiváděným vzduchem předáváno teplo přímo přes stěnu výměníku. U běžně dostupných vzduchotechnických zařízení se účinnost rekuperace pohybuje od 30 do 90 (95) %. Využívají se hlavně rekuperační výměníky deskové (křížové nebo protiproudé) nebo trubkové rekuperační výměníky (vyšší pevnost trubek, menší teplosměnná plocha – účinnost 30–50 %). Větrací vzduch je možno přehřívát (v létě chladit) v zemním výměníku tepla.



Obr. 3-7 Schéma rekuperačního protiproudého výměníku [34]

Schéma				
Typ výměníku	křížový	křížový protiproudý	protiproudý	
Plocha výměníku [m ²]	4 – 10	6 – 14	17 – 60	
Profil proudění (řez)				
Účinnost rekuperace [%] efektivní účinnost dle PHPP	50 – 70	70 – 85 (60 – 75)	85 – 99 (75 – 92)	

Obr. 3-8 Rekuperační výměníky – typy a účinnosti [34]

Regenerační systémy využívají akumulace tepla z odváděného vzduchu do akumulární hmoty, ze které je teplo uvolňováno do přiváděného vzduchu. V domech je možno užít především regeneračních rotačních výměníků. Mezi proudem odváděného a přiváděného vzduchu zde rotuje akumulární hmota ve tvaru válce. Teplotní účinnost rotačních výměníků je 60 až 80 %. Současné přenášení vlhkosti zajišťují výměníky s hydrofobickou vrstvou.

Dalším použitelným systémem jsou kapalinové teplosměnné okruhy. Tvoří je dva rekuperační výměníky (vzduch–voda), které jsou odděleny kapalinovým okruhem. Účinnosti se u těchto systémů pohybují mezi 30 a 50 %.

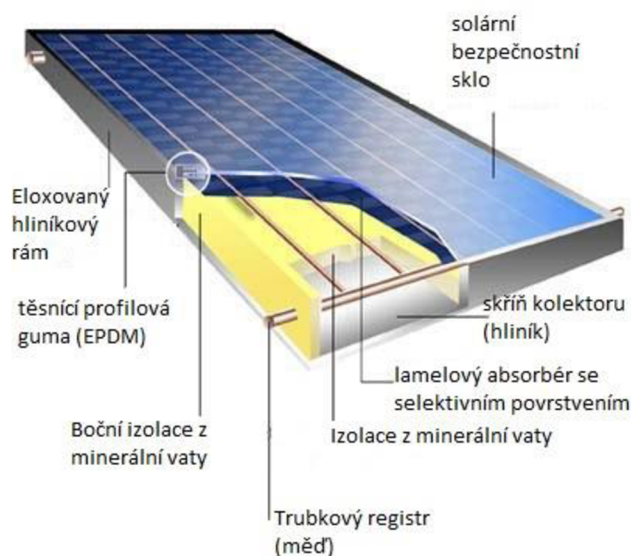


Obr. 3-9 Větrací jednotka s rekuperací tepla [35]

3.5 Příprava teplé vody

Při přípravě teplé vody je možné využít zpětného získávání tepla z odváděné odpadní vody (tzv. šedé vody – z umyvadel, sprchy, pračky, myčky). Systém však není příliš užívaný. Nevýhodou může být obava ze znečištění přiváděné vody při nedokonalém utěsnění výměníku nebo časté zanášení výměníku a nutnost ho čistit.

Ohřev vody může být realizován solárními termickými systémy. Ty přeměňují dopadající sluneční energii na teplo pomocí absorbéru. Tepelná energie je rozváděna teplotnosnou látkou (nejčastěji nemrznoucí kapalina). Nejvyužívanější jsou systémy s plochými deskovými kolektory s jednoduchým zasklením, dále s vakuovou izolací (zvýšená účinnost) nebo vakuové trubicové kolektory. Kolektory se umísťují hlavně na střechu domu. S využitím sluneční energie je kromě solárních termických systémů možný ohřev vody fotovoltaikou.



Obr. 3-10 Solární plochý kolektor [36]

4 LEGISLATIVNÍ PROSTŘEDÍ

4.1 Energetická náročnost budovy

Základní legislativa:

- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií
- Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov
- Norma ČSN 73 0540-2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky

Pro každou novostavbu nebo i větší přestavbu domu (tj. z více jak 25 % celkové plochy obálky budovy) je povinné zpracování průkazu energetické náročnosti budovy (PENB). PENB sleduje energetickou náročnost budovy z hlediska vytápění, spotřeby energie na ohřev vody, větrání, chlazení, osvětlení a dále například na pohon podpůrných systémů (čerpadla, motory a ventilátory). PENB udává klasifikační třídu budovy písmenem A–G dle vztahu k hodnotám referenční budovy, jak je uvedeno v následující tabulce. Referenční budovou je budova uvažovaná za naprosto stejných podmínek, jako budova hodnocená, pro výpočty parametrů jsou ale použity referenční (požadované hodnoty). Obsah PENB je uveden v příloze 1.

Tabulka 4-1 Klasifikace energetické náročnosti budov [37]

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

4.2 Požadavky na výstavbu v nejbližší budoucnosti

Výchozí legislativa:

- Směrnice č. 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov
- Zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií
- Vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov

Směrnice 2010/31/EU, která je v platnosti od července 2010, ukládá členským státům:

- navrhování všech nových budov s téměř nulovou spotřebou energie do 31. prosince 2020;
- navrhování nových budov užívaných nebo vlastněných orgány veřejné moci v energetickém standardu téměř nulové spotřeby energie nejpozději 31. prosince 2018 [38]

V České Republice je v platnosti novela zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií č.318/2012 Sb. s účinností od 1. 1. 2013 a vyhláška 78/2013 Sb. s účinností od 1. 4. 2013, která požaduje, aby nové budovy byly stavěny jako budovy s téměř nulovou spotřebou energie dle následujícího časového rozvrhu:

- od 1. 1. 2016 veřejné budovy plocha > 1500 m²
- od 1. 1. 2017 veřejné budovy plocha > 350 m²
- od 1. 1. 2018 veřejné budovy plocha < 350 m²
- od 1. 1. 2018 ostatní budovy plocha > 1500 m²
- od 1. 1. 2019 ostatní budovy plocha > 350 m²
- od 1. 1. 2020 všechny nové budovy [38]

4.3 Programy podpory pro výstavbu nízkoenergetických domů

V minulosti proběhlo již několik programů Ministerstva životního prostředí a Státního fondu životního prostředí ČR s názvy Zelená úsporám a Nová zelená úsporám. Tyto programy byly vyvinuty na podporu snižování spotřeby energie a ochranu životního prostředí a realizovány byly prostřednictvím dotací na různé aplikace při výstavbě.

V současnosti běží další program Ministerstva životního prostředí, administrovaný Státním fondem životního prostředí ČR, s názvem Nová zelená úsporám 2015. Aktuálně přijímá SFŽP přihlášky do programu od 15. května do 31. října 2015, pokud nebudou prostředky vyčerpány dříve. Ty činí pro rok 2015 1,1 mld. korun. Program Nová zelená úsporám 2015 nabízí státní podporu na:

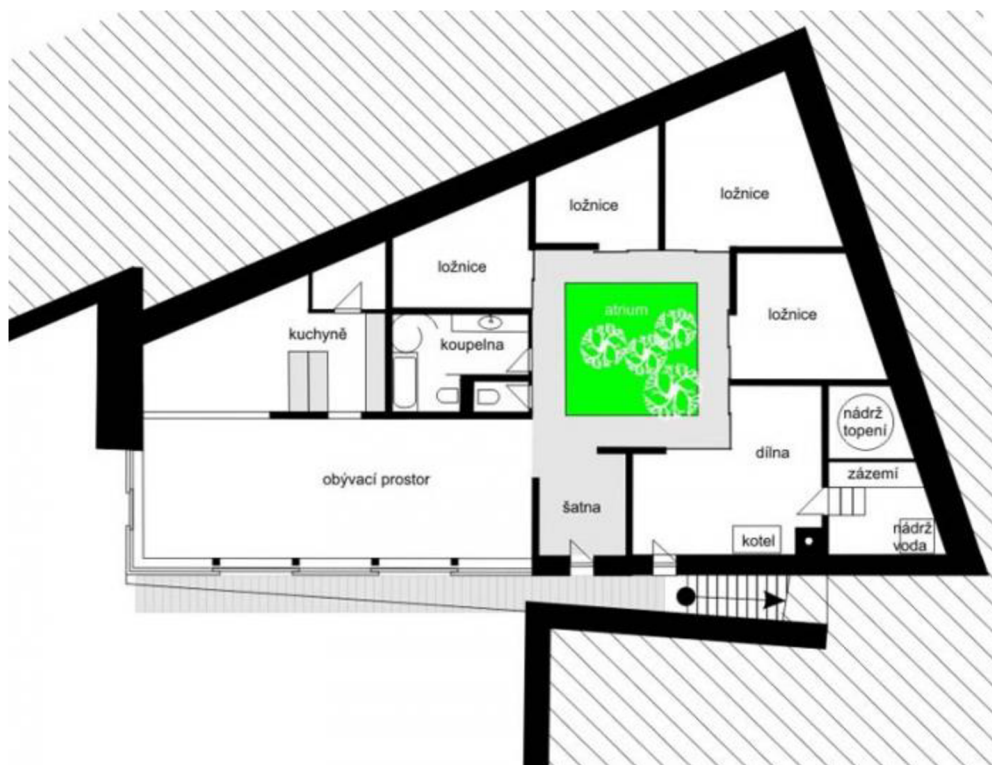
- zateplení domu
- výměnu oken
- úsporné kotle
- tepelná čerpadla
- větrání s rekuperací
- výstavbu nízkoenergetických domů
- odborné posudky

5 REALIZOVANÉ PROJEKTY

V této sekci bych chtěla zmínit dva projekty, a to ostrovní dům Ing. arch. Pavla Fojta a energeticky soběstačný dům pana Karla Otýše.

5.1 Ostrovní dům, Praha

Projekt pana Ing. arch. Pavla Fojta začal vznikat v roce 2002 a dům, nacházející se při okraji Prahy, funguje zcela bez připojení na síť, k čemuž byl již od začátku koncipován. Dům je velmi atypický oproti běžným stavbám (již na první pohled). Následující obrázek zachycuje půdorys domu.



Obr. 5-1 Půdorys ostrovního domu, Praha [41]

Konstrukce a aplikace v domě jsou popsány následujícími body:

- Konstrukce a zasklení:
 - podlaha a strop: železobetonové desky
 - stěny: betonové tvárnice ztraceného bednění zalité betonem
 - obývací prostor s prosklenou stěnou z trojskla 15 x 2,2 m
 - skleněná střecha nad atriem a světlík nad kuchyní z trojskla
- Tepelná izolace:
 - podlaha: 10 cm extrudovaný polystyren pod základy podlahy
 - stěny: 20 cm polystyren
 - dům je obklopený zeminou, má zelenou střechu (pokryta přibližně 30 cm zeminy)
- Dodávky vody: vlastní studna s pitnou vodou
- Elektřina:
 - solární elektrárna 4,5 kWp,
 - akumulace do baterie 24 V, kapacita 2250 Ah

- Vytápění:
 - litinový kotel Dakon (na dřevo, 34 kW) s akumulací do nádrže 4500 l
 - krbová vložka
 - rekuperace větraného vzduchu
 - zisky prosklené stěny
 - solární kolektory
- Větrání: rekuperační jednotka

Dům i chování obyvatel je uzpůsobeno k maximálním úsporám energie. V domě jsou používány pouze úsporné spotřebiče, vaření je na plyn. Velké spotřebiče (například pračka) jsou (v zimě) užívány v době, kdy je dostatečně jasno. V létě je přebytek energie, který je využíván například na filtraci bazénu, zahradní potůček.



Obr. 5-2 Fotografie ostrovního domu, Praha [41]

Následující informace, týkající se finančního zhodnocení, jsou uvedeny na základě konzultace s majitelem domu, panem Ing. arch. Pavlem Fojtem.

Pro srovnání je třeba uvést, že na provoz domu a pro potřebu jeho obyvatel je spotřebováno (v zimním období) přibližně 3 kWh energie denně s tím, že obyvatelé pracují z domova, což spotřebu zvyšuje. Roční spotřeba je tudíž kolem 1100 kWh. Spotřeba běžné domácnosti je dle zdroje [42] 2000 až 3000 kWh za rok, a to v případě, že se elektrinou netopí ani neohřívá voda.

V popisovaném domě byl zřízen systém FVE přibližně za 1 000 000 Kč. Majitel ale uvádí, že dnes by bylo možné zřídit takový systém s polovičními náklady. Udávaná životnost komponent je 20 let, životnost baterie (cena cca 100 000 Kč) k akumulaci energie je 5-7 let.

S uvažovanou průměrnou cenou energie ze sítě 4,75 Kč za 1 kWh [43] by v případě jejího nákupu byly náklady přibližně 5500 Kč ročně. Pokud budeme dále uvažovat cenu systému FVE za 500 000 Kč, systém by se „zaplatil“ za 91 let. Za tuto dobu by ovšem musel být několikrát obměněn kvůli životnosti komponent.

V případě uvážení běžné domácnosti se spotřebou 3000 kWh ročně a stejné ceny energie by roční náklady na tuto energii byly přibližně 14 500 Kč. S úvahou ušetření této částky ročně by byl systém zaplacen asi za 35 let.

Při uvážení maximální možné spotřeby, tedy 100% využití FVE (což je nereálné), je FVE schopna vyrobit 4350 kWh za rok, což dává návratnost asi 24 let. Vzhledem k životnosti komponent se tedy náklady na její pořízení neproplátí. Pro porovnání musí být také uváženo, že cena úsporných spotřebičů užívaných v domě je vyšší než cena spotřebičů v běžných domácnostech. Na druhou stranu majitel poznamenává, že se stejně výkonný systém FVE dá postavit i výrazně levněji, ale s nižší spolehlivostí a komfortem.

Pro další srovnání jsou uvedeny přibližné roční náklady na provoz domu, které činí do 15 000 Kč. V těchto nákladech je obsažen nákup plynových bomb na vaření (asi 5 x 10 kg za rok), nafta na provoz elektrocentrály při FVE, dřevo na vytápění (něco přes 5 m³ za rok).

5.2 Energeticky soběstačný dům v lesním prostředí

Informace v této podkapitole jsou uvedeny na základě konzultace se panem Karlem Otýsem a dle jeho webových stránek [44]. Oproti prvnímu zmíněnému projektu se tento značně liší. Jedná se o soběstačný dům v prostředí lesa, který vznikl z bývalé hájovny.



Obr. 5-3 Nezávislý dům z lesního prostředí [44]

Dům je přibližně 200 let starý, má silné zdi a špaletová okna. Větrání probíhá přirozeně okny. Silnostěnná konstrukce uvnitř v létě drží chlad a v zimě dobře izoluje. Voda je brána z vlastní studny a dále je využívána voda dešťová. Elektrická energie je vyráběna systémem FVE (24 panelů, jeden panel 240 Wp). V měsících listopadu, prosinci a lednu je využíváno doplňkového zdroje elektřiny, kterým je elektrocentrála na benzín o výkonu 4 kW. Vytápění je zajištěno pomocí kotle na dřevo a současně kotel zajišťuje i přípravu teplé vody. V době přebytku elektrické energie z FVE nad spotřebu domu se k přípravě teplé vody využívá přebytečná energie z FVE. V domě se užívají maximálně úsporné spotřebiče, vybrané

spotřebiče jsou užívány pouze sezónně. Pro případ nedostatku elektřiny jsou vytvářena alternativní řešení.

Co se týká velikosti investice, je v případě pana Otýse ovlivněna polohou domu v lese (hodně zastíněnou, nutno více panelů) a požadavkem na bezúdržbovou a spolehlivou kvalitní technologii - vyšší cena. Celkem vyšla celá technologie FVE zhruba na 400 000 Kč. Energie z FVE přitom domu stačí na provoz v devíti měsících v roce.

Roční náklady na provoz domu zahrnují výdaje na benzín pro provoz elektrocentrály ve třech měsících v roce, kdy částka činí asi 2000 až 3000 Kč měsíčně. Na vytápění a ohřev vody jsou roční náklady asi 12 000 Kč s tím, že majitel si dřevo zpracovává sám a částka je včetně všech provozních nákladů (například benzín do pily).

6 NÁVRH ÚPRAV KONSTRUKCE DOMU K ENERGETICKÉ SOBĚSTAČNOSTI

Pro stavbu v lokalitě Brna byl vybrán malý, nízkonákladový domek z katalogu firmy Stavby Jordán s.r.o. V zájmu zákazníků bylo zjistit, zda by tento domek splňoval normová doporučení pro pasivní domy a mohl by být užíván bez napojení na síť – jako energeticky soběstačný.



Obr. 6-1 Zobrazení modelového domu [45]

Výpočet se týká hodnot součinitele prostupu tepla při obvodových konstrukcích, doporučených normou. Parametry konstrukce, zásadní pro výpočet, shrnuje následující tabulka.

Tabulka 6-1 Parametry konstrukce modelového domu

Typ konstrukce		Materiál / značka	Tloušťka d [m]	Součinitel tepelné vodivosti λ [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$]
vnější obvodové stěny	cihelné bloky	Porotherm 44 EKO+	0,44	0,099
	vnitřní omítka	Porotherm TO	0,01	0,1
	vnější omítka	Porotherm TO	0,02	0,1
podlaha	50 m ²	dřevěná podlaha	0,015	0,18
	6 m ² (WC, koupelna)	keramická dlažba	0,007	1,01
	tepelná izolace	pěnový polystyren	0,2	0,039
strop	vnitřní omítka	Porotherm TO	0,01	0,1
	stropní tvárnice	keramické tvárnice	0,19	0,84
	vyrovnávací vrstva	beton	0,04	1,23
	tepelná izolace	pěnový polystyren	0,2	0,039
střecha	Neizolovaná	pálené tašky	-	-

V návrhu domu je užito běžných oken s tepelně izolačním dvojsklem se součinitelem prostupu tepla $1,4 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$. Vstupní dveře mají součinitel prostupu tepla $1,2 W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$.

Hodnoty součinitele prostupu tepla se stanoví dosazením do vztahů (2.1), (2.2) a (2.3), přičemž odpory při přestupu tepla na vnější a vnitřní straně konstrukce stanovuje tabulka 2-3. Výstupní hodnoty jsou zaznamenány v následující tabulce.

Tabulka 6-2 Vypočítané tepelné odpory a součinitele prostupu tepla

Typ konstrukce		Tepelný odpor R [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Celkový odpor při přestupu tepla R_T [$m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$]	Součinitel prostupu tepla U [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]	Doporučené hodnoty pro PD $U_{N,20}$ [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$]
vnější obvodové stěny	cihelné bloky	4,444	4,914	0,203	0,18–0,12
	vnitřní omítka	0,1			
	vnější omítka	0,2			
podlaha	dřevo (50 m ²)	0,083	5,382	0,186	0,22–0,15
	dlažba (6 m ²)	0,007	5,305	0,188	
	tepelná izolace	5,128	–	–	
strop	vnitřní omítka	0,1	5,627	0,178	0,15–0,10
	stropní tvárnice	0,226			
	vyrovnáv. vrstva	0,033			
	tepelná izolace	5,128			
střecha	neizolovaná	–	–	–	–

Vzorový výpočet k tabulce 6-2 pro součinitel prostupu tepla **vnějších obvodových stěn**:

- Tepelný odpor cihelných bloků: $R_1 = \frac{d_1}{\lambda_1} = \frac{0,44}{0,099} = 4,444 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

- Tepelný odpor vnitřní omítky: $R_2 = \frac{d_2}{\lambda_2} = \frac{0,01}{0,1} = 0,1 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

- Tepelný odpor vnější omítky: $R_3 = \frac{d_3}{\lambda_3} = \frac{0,02}{0,1} = 0,2 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

- Odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce: $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

- Odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce: $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$

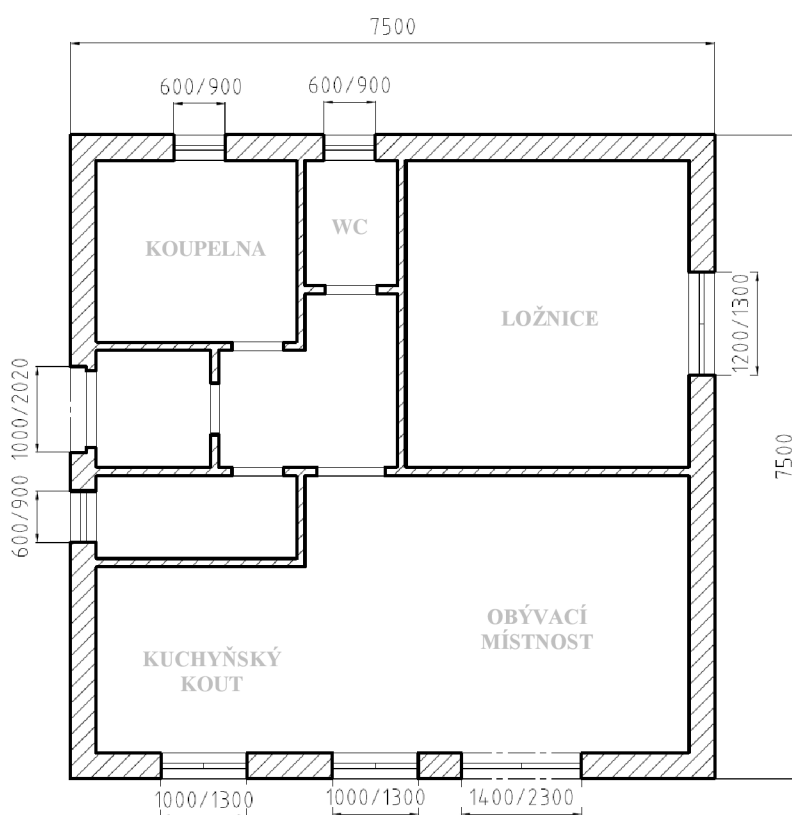
- Celkový odpor při přestupu tepla: $R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + R_3 + R_{se}$

$$R_T = 0,17 + 4,444 + 0,1 + 0,2 + 0,04 = 4,914 \text{ m}^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

- Součinitel prostupu tepla: $U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{4,914} = 0,203 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot K^{-1}$

Pokud by požadavkem bylo, aby součinitel prostupu tepla spadl do rozmezí normou doporučených hodnot, je z tabulky patrné, že při vnějších obvodových stěnách a při stropu tento požadavek splněn není. Dosáhnout doporučené hodnoty se dá přidavkem izolační vrstvy. Pokud zateplíme vnější obvodové stěny deskami z expandovaného polystyrenu o tloušťce 12 cm, hodnota součinitele prostupu tepla se sníží na $0,125 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Hodnotu součinitele prostupu tepla při stropu můžeme snížit použitím silnější izolační vrstvy. Při zvýšení tloušťky izolace (polystyrenu) z 20 cm na 30 cm hodnota součinitele prostupu tepla klesne na $0,122 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$. Pokud by se jednalo o úpravu již postaveného domku, dalo by se stejného efektu dosáhnout dodatečným zateplením. Jelikož půda domu je nepochozí, její dodatečné zateplení by bylo možné realizovat volně loženými izolačními pásy ze skelné plsti (například výrobek Isover Domo se součinitelem tepelné vodivosti $0,039 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$). Použitím takových pásů o tloušťce 10 cm dosáhneme tedy stejné hodnoty součinitele prostupu tepla jako v prvním případě při zvýšení tloušťky polystyrenu. Strop i vnější obvodové stěny by pak splňovaly požadavek na součinitel prostupu tepla v rozmezí doporučených hodnot pro PD. Jelikož je ale domek malý a původní popisované hodnoty součinitele prostupu tepla se od těch normou doporučených příliš nevzdalují, jeho energetická náročnost bude i tak nízká. Domek by mohl být energeticky soběstačným i bez zmíněných úprav.

Co se týče oken a dveří, v projektu uvedená okna ani dveře nesplňují doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla. Místo navrhovaných oken by měla být použita okna s izolačními trojskly vyplněnými vzácným plynem. Hodnota součinitele prostupu tepla okny by v tom případě mohla klesnout až na $0,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ podle typu vybraných oken. Pokud by se jednalo o již realizovanou stavbu, bylo by vhodné okna vyměnit.



Obr. 6-2 Půdorys modelového domu

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo popsat dostupné technické aplikace vhodné pro realizaci v energeticky soběstačných domech. Začátek práce je věnován vysvětlení a definici pojmu energeticky soběstačný dům a jeho srovnání s dalšími typy domů s nízkou spotřebou energie. Pojem energeticky soběstačný dům může ale každý chápat poněkud odlišným způsobem. Na začátku práce jsou nastíněny jeho dvě koncepce – statek a rodinný dům. Model statku ukazuje, že v zásadě jakýkoliv dům může být domem energeticky soběstačným. Záleží pouze na jeho obyvatelích, kolik energie jsou schopni a ochotni dát a jakého komfortu se vzdát, aby mohli být takto nezávislí. Dalším pochopením energeticky soběstačného domu je dům, který se snažíme navrhnout včetně všech moderních technických řešení tak, aby byl bez napojení na inženýrské sítě a bez závislosti na dodavateli energií stejně komfortní jako běžný dům, a to bez vkládání další energie jeho obyvatel. Tímto modelem se také zabývá tato bakalářská práce.

Základem tohoto modelu je vhodné umístění domu, orientace vzhledem ke Slunci, kompaktní tvar a užití materiálů s dobrými izolačními vlastnostmi. Při konstrukci jsou pak kladeny další požadavky na vzduchotěsnost a nejen z toho důvodu i na způsob větrání domu, které musí být řízené se zpětným získáváním tepla. Nutné je užití úsporných spotřebičů a svítidel. Co se týče zmíněných technických aplikací, první a nejdůležitější je využití energie ze Slunce prostřednictvím fotovoltaických panelů. Elektrickou energii jde sice získávat mnoha jinými způsoby, ale ne vždy k tomu má dům vhodné podmínky. Energie ze slunce je využitelná vždy a proto je u většiny domů možné uvažovat fotovoltaické elektrárny za hlavní zdroj elektrické energie. Kromě toho může být solární energie využívána pro ohřev vody solárními kolektory nebo částečně i pro vytápění. Pro pokrytí potřeb na vytápění je nejpravděpodobnější variantou využití energie ze dřeva a kotlů. Dalšími zmíněnými zařízeními jsou pak tepelná čerpadla, která mají výhodu v tom, že v zimě mohou zajišťovat vytápění a v letních měsících naopak sloužit jako zdroj chladu. Celkově je provoz energeticky soběstačných domů spojený s využíváním obnovitelných zdrojů energie. Větší podíl využívání obnovitelných zdrojů energie a větší úspory energie jsou také jednou ze snah Evropské unie a České republiky. Od státu je tedy možné získat dotace na výstavbu takového domu nebo na jednotlivé technické aplikace. U nových staveb je také povinností vypracování průkazu energetické náročnosti budovy.

K závěru práce jsou uvedeny dva příklady energeticky soběstačných domů, z nichž plyne zajímavé srovnání. První dům je navržený podle požadavků zmíněných v této práci tak, aby byly minimalizovány ztráty a maximalizovány zisky. Druhý je 200 let starý dům, který je i přesto energeticky soběstačný. Přitom hlavním zdrojem elektrické energie je v obou případech energie z fotovoltaické elektrárny a vytápění je realizováno prostřednictvím kotle na dřevo.

V poslední části je uveden výpočet součinitelů prostupu tepla u domku v lokalitě Brna, který by měl být energeticky soběstačným. Na základě výpočtu a hodnot součinitele prostupu tepla je navrženo zesílení izolace a výměna oken.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SRDEČNÝ, Karel. *Energeticky soběstačný dům - realita či fikce?*. 2., aktualiz. vyd. Praha: EkoWATT, 2007, viii, 92 s. ISBN 978-80-7366-103-8.
- [2] NYERGES, Christopher. *The self-sufficient home: going green and saving money*. 1st ed. Mechanicsburg, PA: Stackpole Books, c2009, xvi, 265 p. ISBN 08-117-3558-3
- [3] TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. 1. vyd. Praha: Grada, 2012, 195 s. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
- [4] Ekowatt: Katalog technických a energeticky soběstačných řešení nejen pro nízkoenergetické domy. 2008. *Ekowatt*[online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/uspory/>
- [5] Aktivní domy. 2012. *Pasivní domy, Aktivní, Nízkoenergetické domy* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivni-domy-pasea.cz/aktivni-domy>
- [6] Nízkoenergetický dům RONDO - Ing. Arch. Josef Smola. [obrázek] 2012. *ISOVER* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/nizkoenergeticky-dum-rondo-ing-arch-josef-smola>
- [7] Podlahy Fermacell na Centru ekologické výchovy ve Cvrčovicích u Kladna.[obrázek] 2013. *Katalog expertů na suchou stavbu*[online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.fermacell-expert.com/clanky/21/>
- [8] Pasivní RD Buková. 2013. *Pasiv Projekt* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasiv-projekt.cz/item/epd-bukova/>
- [9] Jak stavět pasivní dům. 2014. *Centrum pasivního domu* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/jak-stavet-pasivni-dum-infolisty/s102>
- [10] *Passivhaus Institut* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://passivehouse.com/>
- [11] Pasivní, nízkoenergetické a nulové domy - co je co? *Nazeleno.cz* [online]. 2008 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/nizkoenergeticke-domy/pasivni-nizkoenergeticke-a-nulove-domy-co-je-co.aspx>
- [12] Aktivní domy: projekty Euroline.[obrázek] 2015. *Rodinné domy: projekty domů Euroline* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.euroline.cz/cz/projekty/rodinne-domy/aktivni-domy.html>
- [13] HAMERNÍK, Ivo. 2015. *Pasivní domy* [online]. [cit. 2015-05-09]. ISBN 978-80-88058-11-3. Dostupné z: <https://publi.cz/books/92/Cover.html>
- [14] Pasivní domy III. 2015. *Archiweb* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.archiweb.cz/salon.php?action=show&id=1204&type=10>
- [15] VRÁNA, Jakub. *Technická zařízení budov v praxi: [příručka pro stavaře]*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007, 331 s. ISBN 978-80-247-1588-9.

- [16] Součinitel tepelné vodivosti λ . 2013. *Přirodní stavba, EKO a BIO materiály* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.prirodnistavba.cz/popup/soucinitel-tepelne-vodivosti-33e.html>
- [17] Izolační dvojskla a trojskla VPO PLAST: prodej, výměna a montáž. [obrázek] 2015. *Plastová okna a dveře - JUBO okna s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.jubookna.cz/1770/izolacni-skla/>
- [18] Bower Door test: ČSN EN 13829 Stanovení průvzdušnosti budov. 2014. *ZSTV - Zkušebna stavebně truhlářských výrobků* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.zstv.cz/testovani-vyrobu/blowerdoor/blowerdoor.html>
- [19] Rekuperace tepla a větrání v nízkoenergetických a pasivních rodinných domech. 2014. *DOMI: nízkoenergetické a pasivní rodinné domy* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.domydomi.cz/detail/rekuperace-nucene-vetrani-nizkoenergeticke-pasivni-domy>
- [20] Úspory energie. 2011. *Ekowatt: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie>
- [21] Shéma kořenovky. [obrázek] 2015. *Kořenové čističky odpadních vod* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.korenova-cisticka.cz/o-korenovkach/fungovani/Korenova-cisticka%E2%80%93korenova-cistirna%E2%80%93schema-fungovani.html>
- [22] Ukládání elektřiny z fotovoltaických a větrných elektráren. MURTINGER, Karel. *Nazeleno.cz* [online]. 2011 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/energie/energetika/ukladani-elektřiny-z-fotovoltaických-a-větrných-elektřaren.aspx>
- [23] *Fotovoltaické systémy* [online]. 2014. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.fotovoltaicke-systemy.info/>
- [24] Fotovoltaika. 2012. *Stavba domu* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.stavba-domu.cz/fotovoltaika/>
- [25] Úvod do FV systémů. 2015. *CNE Czech Nature Energy, a.s.* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [26] Větrné mikro-elektřárny: Základní informace. *Alter-eko s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://www.alter-eko.cz/energie/vetrne-elektřarny/vetrne-informace.php>
- [27] *Abeceda malých vodních pohonů* [online]. 2015 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://mve.energetika.cz/index.htm>
- [28] Zplynovací kotel na dřevo Hoval AgroLyt [obrázek]. *Biom* [online]. 2009 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/obrazek/zplynovaci-kotel-na-drevo-hoval-agrolyt>

- [29] Tepelná čerpadla. 2015. *CNE Czech Natural Energy, a.s.* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/tepelna-cerpadla/>
- [30] Obnovitelné zdroje energie: Energie prostředí, geotermální energie, tepelná čerpadla. 2011. *Ekowatt* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geotermalni-energie-tepelna-cerpadla>
- [31] Topný faktor. *Nazeleno.cz* [online]. 2008 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/topny-faktor.dic>
- [32] Adiabatické chladicí jednotky. *SORKE s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.sorke.cz/chladici-jednotky.htm>
- [33] PONCAROVÁ, Jana. Rekuperace: Představení technologie aneb proč ji zvolit? [obrázek] *Nazeleno.cz* [online]. 2010 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/stavba/rekuperace/rekuperace-predstaveni-technologie-aneb-proc-ji-zvolit.aspx>
- [34] Větrání v pasivních domech. *Centrum pasivního domu* [online]. 2009 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379?chapterId=1670>
- [35] Větrací jednotka s rekuperací tepla duplex 1100 - 3600 Flexi [obrázek]. *Koupelny VENTA s.r.o.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.koupelny-venta.cz/34187,vetraci-jednotka-s-rekuperaci-tepla-duplex-1100-3600-flexi.html>
- [36] Úvod do termických systémů [obrázek]. *CNE Czech Natural Energy, a.s.* [online]. 2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: <http://www.cne.cz/solarni-ohrev-vody/uvod-do-termickych-systemu/>
- [37] Vyhláška o energetické náročnosti budov - č. 78/2013 Sb.: Aktuální znění. 2013. *Zákony pro lidi: Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2013-78>
- [38] Nulové domy od roku 2020!. 2014. *Nízkoenergetické a pasivní domy* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.nizkoenergetickydum.cz/nulove-domy-od-roku-2020>
- [39] Nová zelená úsporám. 2015. *ISOVER* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/nova-zelena-usporam>
- [40] *Nová zelená úsporám 2015* [online]. 2015. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.jaknazelenou.cz/>
- [41] *Ostrovni dům* [online]. 2009. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://www.ostrovnidum.cz/>
- [42] SRDEČNÝ, Karel. Elektricky soběstačná domácnost: jde to. *ZO ČSOP Veronica* [online]. 2012, (6/2012) [cit. 2015-05-24]. ISSN 1213-0699. Dostupné z: <http://www.casopisveronica.cz/clanek.php?id=860>

- [43] Cena 1 kWh: Srovnání cen energií 2015. *Energie123.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24].
Dostupné z: <http://www.energie123.cz/elektrina/ceny-elektricke-energie/cena-1-kwh/>
- [44] *Nezávislý dům* [online]. 2015 [cit. 2015-05-24].
Dostupné z: <http://www.nezavislydum.cz/>
- [45] *Stavby Jordán s.r.o.* [online]. 2010 [cit. 2015-05-27].
Dostupné z: <http://www.levnedomyjordan.cz/#>
- [46] Porotherm 44 EKO+. *Wienerberger* [online]. 2015 [cit. 2015-05-27].
Dostupné z: http://www.wienerberger.cz/porotherm-44-eko_1112108758592_1273507944300.html?lpi=1119439164442

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

A	$[m^2]$	celková plocha lehkého obvodového pláště
A_E	$[m^2]$	plocha obálky budovy vypočítaná z celkových vnitřních rozměrů
A_i	$[m^2]$	plocha jednotlivých konstrukcí
A_w	$[m^2]$	plocha průsvitné výplně otvoru sloužící převážně k osvětlení interiéru vč. příslušných částí rámu v LOP
COP	[-]	topný faktor tepelného čerpadla (Coefficient of performance)
d	$[m]$	tloušťka vrstvy v konstrukci
EER	[-]	chladicí faktor
E_R	[-]	ukazatel pro celkovou dodanou energii
f_w	$[m^2/m^2]$	poměrná plocha průsvitné výplně otvoru
λ	$[W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}]$	součinitel tepelné vodivosti
n_{50}	$[h^{-1}]$	intenzita výměny vzduchu
Δp	$[Pa]$	tlakový rozdíl
q_{50}	$[m \cdot h^{-1}]$	vzduchová propustnost
θ_e	$[^{\circ}C]$	vnější návrhová teplota
θ_{int}	$[^{\circ}C]$	vnitřní návrhová teplota
R	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	tepelný odpor konstrukce
R_{se}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	odpor při přestupu tepla na vnější straně konstrukce
R_{si}	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	odpor při přestupu tepla na vnitřní straně konstrukce
R_T	$[m^2 \cdot K \cdot W^{-1}]$	odpor konstrukce při prostupu tepla (z prostředí do prostředí)
SFP	[-]	sezónní topný faktor soustavy
U	$[W/(m^2 \cdot K)]$	součinitel prostupu tepla konstrukcí
U_{em}	$[W/(m^2 \cdot K)]$	průměrný součinitel prostupu tepla
U_g	$[W/(m^2 \cdot K)]$	součinitel prostupu tepla pro zasklení
$U_{N,20}$	$[W/(m^2 \cdot K)]$	doporučený součinitel prostupu tepla pro PD
V	$[m^3]$	vnitřní objem budovy vypočítaný z vnitřních rozměrů
\dot{V}_{50}	$[m^3 \cdot h^{-1}]$	objemový tok vzduchu při $\Delta p = 50 Pa$ zjištěný měřením
FVE		fotovoltaická elektrárna
LOP		lehký obvodový plášť
PD		pasivní dům
PENB		průkaz energetické náročnosti budovy
PHPP		Passive House Planning Package
RD		rodinný dům
SFŽP		Státní fond životního prostředí
ZZT		zpětné získávání tepla

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1-1 Budova Centra ekologické výchovy Kladno [7]	12
Obr. 1-2 Nízkoenergetický dům RONDO, architekt: Ing. arch. Josef Smola [6].....	13
Obr. 1-3 Certifikovaný pasivní RD Buková [8].....	14
Obr. 1-4 Aktivní dům [12]	16
Obr. 1-5 Model statku za předpokladu napojení na síť a prodeje energie do sítě [1].....	17
Obr. 2-1 Schéma pasivního domu se zobrazením možných zisků tepla [11]	19
Obr. 2-2 Tepelné ztráty budovy (%) a teplota okolního vzduchu v závislosti na jejím umístění v terénu [14].....	20
Obr. 2-3 Schéma izolačního trojskla – $U_g = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ [17].....	24
Obr. 2-4 Místa netěsností v budově [18].....	25
Obr. 2-5 Schéma větrání v budově [9].....	26
Obr. 2-6 Značení energeticky šetrných spotřebičů a elektroniky [20].....	27
Obr. 2-7 Schéma kořenové čističky odpadních vod [21].....	27
Obr. 3-1 Schéma FVE ostrovního systému [25]	28
Obr. 3-2 Příklad zplyňovacího kotle na dřevo, CZ Biom [28]	30
Obr. 3-3 Princip funkce kompresorového tepelného čerpadla [29].....	31
Obr. 3-4 Tepelné čerpadlo s plošným kolektorem, NIBE [29].....	31
Obr. 3-5 Adiabatická chladicí jednotka [32].....	32
Obr. 3-6 Schéma cirkulačního vzduchového výměníku [33]	32
Obr. 3-7 Schéma rekuperačního protiproudého výměníku [34]	33
Obr. 3-8 Rekuperační výměníky – typy a účinnosti [34].....	33
Obr. 3-9 Větrací jednotka s rekuperací tepla [35].....	34
Obr. 3-10 Solární plochý kolektor [36].....	34
Obr. 5-1 Půdorys ostrovního domu, Praha [41]	37
Obr. 5-2 Fotografie ostrovního domu, Praha [41]	38
Obr. 5-3 Nezávislý dům z lesního prostředí [44].....	39
Obr. 6-1 Zobrazení modelového domu [45]	41
Obr. 6-2 Půdorys modelového domu	43

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1-1 Požadavky na pasivní rodinný dům	13
Tabulka 1-2 Charakteristika a srovnání nynější zástavby [9]	15
Tabulka 2-1 Energetická bilance [4]	18
Tabulka 2-2 Normové hodnoty součinitele prostupu tepla (ČSN 73 0540-2) [3]	21
Tabulka 2-3 Odpor při přestupu tepla, normové hodnoty [15].....	23
Tabulka 2-4 Součinitel tepelné vodivosti pro vybrané materiály [16]	23
Tabulka 3-1 Typy čerpadel dle druhu ochlazovaného a ohřívaného média [30]	30
Tabulka 4-1 Klasifikace energetické náročnosti budov [37].....	35
Tabulka 6-1 Parametry konstrukce modelového domu	41
Tabulka 6-2 Vypočítané tepelné odpory a součinitele prostupu tepla.....	42

PŘÍLOHY

Příloha 1 – Průkaz energetické náročnosti budovy

Příloha 2 – CD s elektronickou verzí práce

PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

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

Ulice, číslo:

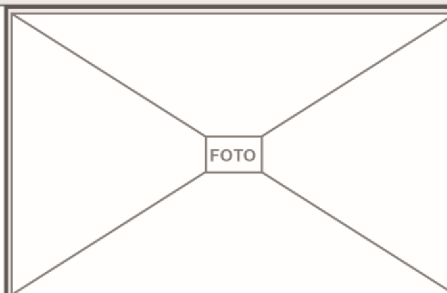
PSČ, místo:

Typ budovy:

Plocha obálky budovy: m²

Objemový faktor tvaru A/V: m²/m³

Celková energeticky vztažná plocha: m²

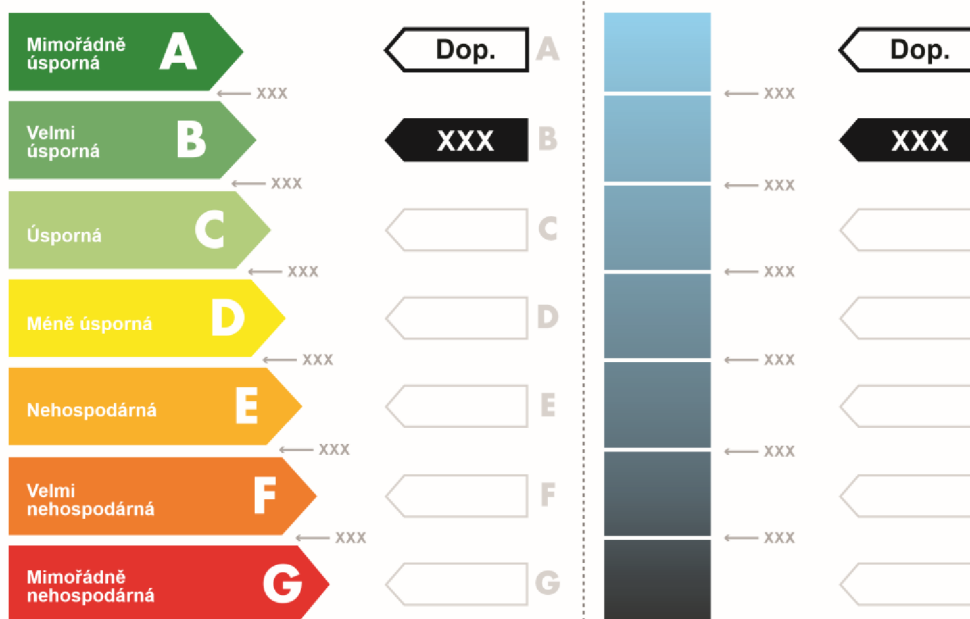


ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie
(Energie na vstupu do budovy)

Neobnovitelná primární energie
(Vliv provozu budovy na životní prostředí)

Měrné hodnoty kWh/(m²·rok)



Hodnoty pro celou budovu
MWh/rok

XX,X

XX,X


DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

Opatření pro	Stanovena
Vnější stěny:	<input checked="" type="checkbox"/>
Okna a dveře:	<input checked="" type="checkbox"/>
Střechu:	<input checked="" type="checkbox"/>
Podlahu:	<input type="checkbox"/>
Vytápění:	<input checked="" type="checkbox"/>
Chlazení/klimatizaci:	<input type="checkbox"/>
Větrání:	<input checked="" type="checkbox"/>
Přípravu teplé vody:	<input type="checkbox"/>
Osvětlení:	<input checked="" type="checkbox"/>
Jiné:	<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 – **XX,X**
- Slunce a en. prostředí – **XX,X**
- Zemní plyn – **XX,X**

UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U_{em} W/(m ² ·K)	Dílní dodané energie				Měrné hodnoty kWh/(m ² ·rok)	
Mimořádně úsporná	 Dop.						
A	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.
B			Dop.			XX	XX Dop.
C	x,xx		xx				
D		Dop.		XX			
E		XX			Dop.		
F					XX		
G							
Mimořádně neúsporná							
Hodnoty pro celou budovu MWh/rok		XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X

Zpracovatel:	Osvědčení č.:
Kontakt:	Vyhotoveno dne:
.....	Podpis: