

Česká zemědělská univerzita v Praze
Technická fakulta

Energeticky aktivní dům

bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Autor práce: Štěpán Matoušek

PRAHA 2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Štěpán Matoušek

Technologická zařízení staveb

Název práce

Energeticky aktivní dům

Název anglicky

The energetic active house

Cíle práce

Z dostupné literatury popsat fyzikální podstatu energeticky aktivního domu – solární panely a tepelná čerpadla, obecně charakterizovat možnosti energeticky aktivního domu. Provést ekonomické a ekologické zhodnocení energeticky aktivního domu.

Metodika

1. Na základě studia dostupných materiálů vypracovat bakalářskou práci dle předložené osnovy. Předpokládá se rešeršní práce bez vlastních experimentů.

Doporučený rozsah práce

25 – 30 stran

Klíčová slova

aktivní dům, energie, solární panel,

Doporučené zdroje informací

HALLIDAY, D. et. al.: Fyzika. VUTIUM, Brno 2003, 1198 s. ISBN 80-214-1868-0

JARDINE, J.: Physics through Applications. Oxford University Press, Oxford, 1991, 247 pp. ISBN 0-19-914280-7

MECHLOVÁ, E., KOŠTÁL, K. et. al.: Výkladový slovník fyziky. Prometheus, Praha, 1999, 588 s. ISBN 80-7196-151-5

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

RNDr. Jan Sedláček, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra fyziky

Elektronicky schváleno dne 5. 11. 2016

prof. Ing. Martin Libra, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2017

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 31. 03. 2017

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Energeticky aktivní dům vypracoval samostatně a čerpal jen z pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uchována v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o autorském právu, o právech souvisejících s autorským právem a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla

V Praze dne 31. března 2017

.....
Štěpán Matoušek

Poděkování:

Na tomto místě bych velice rád poděkoval panu RNDr. Janu Sedláčkovi Ph.D., za odborné vedení, cenné rady, připomínky a čas, které mi poskytl při vypracování této bakalářské práce.

Abstrakt a klíčová slova

Abstrakt: Tato bakalářská práce si klade za cíl popsat podstatu a přehledně shrnout možnosti energeticky aktivního domu. Velký důraz je kladen především na technické a funkční vybavení domu. Obecně rozebírá možnosti energeticky aktivních domů. Postupně je v jednotlivých částech práce rozebrán vývoj nízkoenergetického bydlení a definice jednotlivých energeticky efektivních domů. Následují tři hlavní kapitoly. První je větrání a klimatizace a jejich možnosti u energeticky aktivních domů. Druhou jsou zdroje tepla, jak pro vytápění, tak pro ohřev vody. Třetí jsou pak zdroje elektrické energie. Pozornost je upřena především na fyzikální podstatu jednotlivých zařízení. V závěru se nachází ekonomický a ekologický pohled na energeticky aktivní domy.

Klíčová slova: aktivní dům, energeticky efektivní dům, tepelné čerpadlo, solární panel

The energetic active house

Summary: This bachelor thesis deals with energy active house. Great emphasis is put on technical and functional equipment in the building. Generally discusses the possibilities of energy active houses. Gradually the individual chapters discuss evolution and definition of energy efficient houses. Following are the three main chapters. The first is the ventilation and air conditioning and their possibilities for energy active houses. The second is the heat source for heating and hot water. The third main chapter is the main source of electricity. This work is focused primarily on the physical nature of the devices. In the end, it describes the general economic and ecological assessment of energy active house.

Key words: active house, energy efficient house, heat pump, solar panel

Obsah

1.	Úvod.....	1
2.	Vývoj a rozdělení nízkoenergetických domů	2
2.1	Vývoj	2
2.2	Rozdělení energeticky efektivních domů	3
3.	Stavební řešení	6
3.1	Volba konstrukcí.....	6
3.2	Vzduchotěsnost.....	6
4.	Větrání	8
4.1	Klimatizační soustavy.....	8
4.2	Větrací soustavy.....	8
4.3	Zpětné získávání tepla	9
4.4	Rekuperační výměníky tepla	10
4.5	Zemní výměníky tepla	11
5.	Zdroje tepla	13
5.1	Elektrické kotle a ohřivače	13
5.2	Plynové a olejové kotle a ohřivače	13
5.3	Spalovací zařízení na biopaliva	14
5.4	Tepelná čerpadla	15
5.4.1	Popis cyklu	15
5.4.2	Fyzikální princip	15
5.4.3	Druhy tepelných čerpadel	17
5.5	Solární tepelné soustavy	19
5.6	Akumulace tepla	21

5.7	Zpětné získávání tepla z odpadní vody	21
6.	Zdroje elektrické energie	23
6.1	Způsoby provozu zdroje	23
6.1.1	Provoz s připojením k veřejné elektrické síti	23
6.1.2	Ostrovní provoz.....	23
6.2	Elektřina ze slunce - Fotovoltaické články	24
6.2.1	Obecně.....	24
6.2.2	Rozdělení FV panelů.....	24
6.3	Elektřina z větru.....	25
6.4	Elektřina z vody	26
6.5	Mikrokogenerace	27
6.5.1	Spalovací motor	27
6.5.2	Plynové spalovací turbíny	27
6.5.3	Stirlingův motor	27
6.5.4	Palivové články	28
6.6	Akumulace elektrické energie	28
7.	Ekonomické a ekologické zhodnocení stavby	30
7.1	Ekonomické zhodnocení.....	30
7.2	Ekologické zhodnocení.....	30
8.	Závěr	32
9.	Použitá literatura	33

SEZNAM OBRÁZKŮ:

<i>OBRÁZEK 1: PRVNÍ ENERGETICKY NULOVÝ DŮM NA TECHNICAL UNIVERSITY OF DENMARK</i>	2
<i>OBRÁZEK 2: ROTAČNÍ REGENERAČNÍ VÝMĚNÍK</i>	9
<i>OBRÁZEK 3: PRŮCHOD VZDUCHU KŘÍŽOVÝM VÝMĚNÍKEM TEPLA</i>	10
<i>OBRÁZEK 4: DESKOVÝ PROTIPROUDÝ VÝMĚNÍK TEPLA</i>	10
<i>OBRÁZEK 5: KANÁLOVÝ PROTIPROUDÝ VÝMĚNÍK TEPLA</i>	11
<i>OBRÁZEK 6: SCHÉMA ZEMNÍHO VZDUCHOVÉHO VÝMĚNÍKU TEPLA</i>	12
<i>OBRÁZEK 7: OBĚH KOMPRESOROVÉHO CHLADÍČÍHO ZAŘÍZENÍ</i>	16
<i>OBRÁZEK 8: OBĚH KOMPRESOROVÉHO CHLADÍČÍHO ZAŘÍZENÍ V T-S DIAGRAMU</i>	16
<i>OBRÁZEK 9: TEPELNÉ ČERPADLO VODA – VODA SE ZDROJEM TEPLA V PODZEMNÍ VODĚ</i>	18
<i>OBRÁZEK 10: TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ - VODA S HORIZONTÁLNÍM KOLEKTOREM</i>	19
<i>OBRÁZEK 11: TEPELNÉ ČERPADLO ZEMĚ - VODA S VERTIKÁLNÍM KOLEKTOREM</i>	19
<i>OBRÁZEK 12: SYSTÉM PRO OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY SOLÁRNÍM KOLEKTOREM</i>	20
<i>OBRÁZEK 13: PANEL S ČLÁNKY Z KRYSTALICKÉHO KŘEMÍKU</i>	24
<i>OBRÁZEK 14: TENKOVrstvý ČLÁNEK</i>	25
<i>OBRÁZEK 15: INSTALACE VERTIKÁLNÍCH VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN VE SPOJENÝCH STÁTECH AMERICKÝCH</i>	26

1. Úvod

V dnešní technicky vyspělé době se stále více začíná řešit otázka dopadu lidské činnosti na životní prostředí. Jedním z hlavních faktorů ovlivňující životní prostředí je i spotřeba energie, na které se až ze 40 % podílejí budovy. Vyvíjející se technologie a stále větší tlak na úspornost budov daly vzniknout novému druhu domů, a to energeticky efektivním, někdy také označovaným jako energeticky úsporné, či nízkoenergetické. V těchto domech se kloubí vysoká energetická úspornost spolu s efektivní výrobou energie převážně z obnovitelných zdrojů. Tyto domy jsou tedy zajímavé nejenom z pohledu ekologického, ale také z pohledu ekonomického.

V úvodu se práce věnuje zasazením tématu energeticky aktivního domu do širšího kontextu rozebráním vývoje a základním rozdělením energeticky efektivních domů. Pokračuje obecným rozebráním budovy z konstrukčního pohledu, tak aby došlo k lepšímu pochopení použití jednotlivých technologií popsaných v dalších kapitolách. Následuje podrobné rozebrání třech hlavních prvků každého energeticky aktivního domu. Nejprve to jsou technologie pro větrání a klimatizaci, zajišťující výměnu vzduchu. Následují technologie obstarávající teplo, jak pro ohřev vzduchu, tak pro přípravu teplé vody. Zde se podrobněji věnuje tepelnému čerpadlu, které je považováno za významný prvek energeticky aktivního domu. Poslední z této trojice jsou technologie pro získávání elektrické energie. V této kapitole jsou podrobněji rozebrány zejména solární panely, jakožto zcela zásadní prvek u každého energeticky aktivního domu. V závěru práce je porovnání energeticky aktivního domu, jak s jinými energeticky efektivními domy, tak s běžnou zástavbou a to po ekologické i ekonomické stránce.

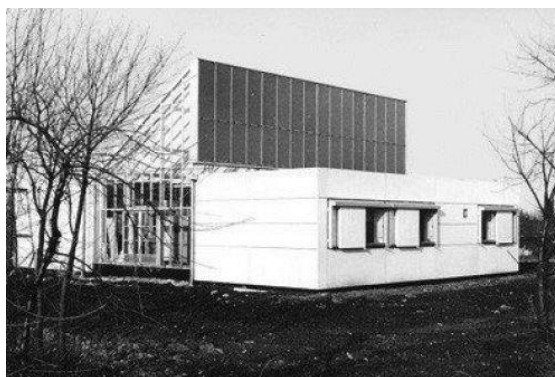
Celá práce je rešeršní a neobsahuje žádné vlastní experimenty.

2. Vývoj a rozdělení nízkoenergetických domů

2.1 Vývoj

Pasivní domy jako takové se v určité podobě stavěli už odedávna. Jako příklad výborných tepelněizolačních schopností z historie se uvádí středověké domy stavěné na Islandu během 17. a 18. století. Tyto domy byly pokryté drny a důkladně utěsněné pomocí mechu a hlíny tak, aby výrazně snížily potřebu vytápění. V průběhu 70. a 80. let 20. století pak probíhaly pokusy o přenesení těchto kladných vlastností domů z různých částí světa i do podmínek kontinentální Evropy, ale často narážely na problémy se vzduchotěsností těchto domů a poruchovost některých technologií. První prototyp energeticky nulového domu (obr. č. 1) vytvořil v roce 1973 tým pod vedením profesora Vagna Korsgaarda na Technical University of Denmark. Další pokusy pak byly prováděny hlavně v Německu, Švédsku a Spojených státech amerických.

Obrázek 1: První energeticky nulový dům na Technical University of Denmark (20)



Poslední krok udělali členové mezinárodní výzkumné skupiny v Německu, kde vznikly čtyři testovací domy v Hessensku. Pro výstavbu domů už byly využity zkušenosti z předchozích projektů a také díky velkému důrazu na kvalitu materiálů fungují domy bez poruchy do dnes. Sběr dat z jejich užívání dal následně vzniknout standardu pasivních domů tak, jak jej známe dnes (10).

První směrnice o energetické náročnosti budov vznikla v Evropské unii teprve v roce 2002. Od té doby už však proběhlo několik revizí, přičemž v roce 2010 byla nahrazena novým zněním, které platí i v současnosti. Tato směrnice také počítá od roku 2019 s výstavbou novostaveb ve standardu domu blízkého nulovému a od roku 2021 ve standardu energeticky nulového domu (4).

2.2 Rozdělení energeticky efektivních domů

Energeticky efektivní domy lze rozdělit podle různých kritérií, nejčastěji dle měrné potřeby tepla na vytápění E_A [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$], průměrného součinitele prostupu tepla U_{em} [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$], neprůvzdušnosti n_{50} [h^{-1}] a měrné potřeby primární energie [$\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$] (1),(4).

Nízkoenergetický dům

$$E_A \leq 50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$$

Jako Nízkoenergetický dům (NED) se označuje budova, jejíž potřeba na vytápění je znatelně nižší, než jaký je aktuální požadavek národních předpisů. V současnosti se hodnota maximální měrné potřeby tepla ustálila na hodnotě $50 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$, avšak dá se předpokládat, že v budoucnu se tato hodnota bude zpříšňovat souběžně s tím, jak se budou zpříšňovat nároky na novostavby. (4) Jiná kritéria nejsou pevně stanovena, avšak v popředí jsou vysoké tepelněizolační vlastnosti, neprůvzdušnost obvodových konstrukcí, omezení vlivu tepelných mostů a využívání obnovitelných zdrojů energie i účinných systémů vytápění (1).

Energeticky pasivní dům

$$E_A \leq 20 \text{ kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$$

$$U_{em} \leq 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$$

$$N_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$$

Jako Energeticky pasivní dům (EPD) se označuje budova s maximální potřebou tepla do 20 kWh ($\text{m}^2\cdot\text{a}$). Není to však zdaleka jediný požadavek, který musí budova splňovat. Další povinně hodnocenou veličinou je celková průvzdušnost obálky budovy, která nesmí při rozdílu tlaku 50 Pa překročit hodnotu $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Opomenout také nesmíme průměrný součinitel prostupu tepla, který musí splňovat podmínku $U_{em} \leq 0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. Velký důraz je také kladen na zamezení jakýchkoliv tepelných ztrát a to díky kvalitě obvodového pláště, oken a větracího zařízení. Díky tomu je potřebné teplo velmi malé a obvykle se používá pouze jeden externí zdroj tepla (1),(4).

Energeticky nulový dům

$$E_A \leq 5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$$

$$U_{em} \leq 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$N_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$$

Jako Energeticky nulový dům (END), či Dům blízký energeticky nulovému se označuje budova, která dosahuje roční energetické bilance nulové, nebo blízké nule. Dále jsou určeny dvě základní úrovně hodnocení END:

Úroveň A – V úrovni A se do hodnocení započítá potřebná energie na vytápění a chlazení, energie k přípravě teplé vody, pomocná energie na provoz energetických systémů a energie pro umělé osvětlení a elektrické spotřebiče.

Úroveň B – Vychází z úrovně A, avšak do hodnocení se nezahrnuje elektrická energie na provoz elektrických spotřebičů.

Pro každou úroveň jsou pak dány nároky, na měrnou roční bilanci potřeby a produkce energie vyjádřené v hodnotách primární energie z obnovitelných zdrojů a to rozdílně pro END a dům blízký energeticky nulovému, které jsou vyobrazené v tabulce č. 1. Po stavební stránce by END měl vycházet ze standardů pro EPD (4).

Tabulka č. 1: Základní požadavky na energeticky nulové domy (4, s. 24).

	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů [kWh.m ⁻² .a ⁻¹]	
	Úroveň A	Úroveň B
Nulový	0	0
Blízký nulovému	80	30

Energeticky aktivní dům

$$E_A \leq 5 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$$

$$U_{em} \leq 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$$

$$N_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$$

Energeticky aktivní dům (EAD nebo také jen AD) je dům velmi podobný energeticky nulovému. Na rozdíl od END je však dimenzován tak, aby elektrická energie kterou vyrobí nejen pokryla spotřebu energie domu, ale také aby vyráběl přebytek, který dodává do distribuční soustavy, a odprodával ji tak jejímu majiteli. Energie vyprodukovaná by měla převyšovat energii potřebnou alespoň o 10 % (4).

Energeticky nezávislý dům

Energeticky nezávislé domy jsou takové, které nepotřebují dodávky energie ze zdrojů mimo dům samotný. Obvykle se jedná o budovy v hůře dostupných oblastech, kde by napojení na energetické sítě bylo velmi nákladné. Budova vychází ze standardů pro EPD a jako zásobárna elektrické energie pak slouží akumulátory (4).

3. Stavební řešení

Na počátku celého projektu je důležité položit si několik základních otázek, týkající se umístění a orientace budovy na pozemku, velikosti a členitosti budovy a je třeba zvážit rozsah i logiku celého stavebního programu. Například nepřiměřená velikost podlahové plochy či nevhodné prostorové uspořádání může vážně narušit optimální stavebně-energetické řešení. V dalším kroku se musí vybrat základní konstrukční řešení s ohledem na požadavky klienta, podmínkami v místě výstavby, nároky na rychlost výstavby apod. Jako vhodné se jeví dávat přednost osvědčeným systémovým řešením, avšak je třeba zvážit jejich vhodnost pro aktuální případ (4).

3.1 Volba konstrukcí

Z důvodu minimalizování spotřeby tepla v domě je kladen veliký důraz na výborné izolační schopnosti konstrukcí a vhodnou geometrii objektu, tak aby se minimalizovaly tepelné ztráty prostupem. Výhodné jsou především budovy s kompaktním tvarem.

Střecha, stěny a podlaha by měly být izolovány co nejlépe, tak aby byly dodrženy nároky pro energeticky pasivní dům $U_{em} \leq 0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ u všech konstrukcí. To si žádá relativně silnou izolaci, běžně i 20 - 30 cm. Jsou-li obvodové zdi zároveň nosné, může vycházet jejich tloušťka i přes půl metru a je třeba to zohlednit již v architektonickém návrhu.

Vzhledem k výborným tepelněizolačním vlastnostem použitých konstrukcí mají relativně velký vliv na spotřebu tepla tepelné mosty. Tepelná ztráta těmito místy může dosahovat i několika desítek procent z celkové tepelné ztráty prostupem tepla. Z tohoto důvodu je třeba věnovat těmto místům velkou pozornost, jak při návrhu tak při realizaci. Především na správné napojení tepelných izolací a okenních rámců, izolaci krokví, napojení izolace svislých stěn a střechy, izolace části zdi nad terénem atd. Řešením je důkladný návrh těchto detailů pomocí 3D modelování, které provádí specialista na stavební fyziku (5).

3.2 Vzduchotěsnost

Vzduchotěsnost (v odborné literatuře často také jako průvzdušnost) můžeme chápat jako schopnost propouštět vzduch. Energeticky aktivní dům se neobejde bez velmi účinných větracích systémů, jejichž správný chod je podmíněn výbornou vzduchotěsností obálky budovy. Tato schopnost se v praxi nejčastěji sleduje u obálky budovy jako celku. V současnosti už dosahuje vzduchotěsnost stavebních konstrukcí v ploše takové úrovně, že se zkoumá především množství a vzduchotěsnost

spojů. Zejména ve stycích jednotlivých konstrukcí, v místech prostupů konstrukčních prvků a v místě jiných složitých stavebních detailů (4).

Hodnocení vzduchotěsnosti

Pro hodnocení vzduchotěsnosti budovy se nejčastěji používají vzduchová propustnost q_{50} a intenzita výměny vzduchu n_{50} . Vztahy pro výpočet obou veličin:

$$n_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{V} \quad (4.1)$$

$$q_{50} = \frac{\dot{V}_{50}}{A_E} \quad (4.2)$$

kde je:

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

V vnitřní objem budovy vypočtený z vnitřních rozměrů [m^3],

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

Převodní vztah mezi těmito veličinami je pak:

$$n_{50} = \frac{A_E}{V} \cdot q_{50} \quad (4.3)$$

4. Větrání

Řízené větrání patří mezi nezbytné součásti energeticky efektivních domů. Na rozdíl od větrání okny a větrání odtahového je tento způsob větrání, z pohledu tepelné úspory, výrazně výhodnější (2).

4.1 Klimatizační soustavy

Klimatizační soustavy mají za úkol upravit vnitřní prostředí a zajistit tak tepelnou pohodu a kvalitní vzduch. Obstarávají větrání, vytápění, chlazení a upravují vlhkosti vzduchu. Klimatizační soustavy se rozdělují, podle látky, kterou přivádí, popřípadě odvádí teplo, na vodní, vzduchové, chladivové nebo kombinované soustavy. Při výběru se zohledňují požadavky na úpravu vnitřního prostředí a druh budovy (4).

Vzduchové soustavy využívají pro přenos energie vzduch, který se vhodně upravuje v centrální vzduchotechnické jednotce. Je vhodný zejména pro budovy s požadavky na vysoké průtoky čerstvého vzduchu nebo s požadavky na přesné dodržení teplot, vlhkostí a koncentrací v klimatizovaném prostoru (4).

Vodní soustavy využívají pro přenos energie otopnou nebo chladící vodu. Jako koncové prvky jsou vhodné nízkoteplotní otopné a vysokoteplotní chladící plochy s převažující sálavou složkou nebo otopná tělesa s vyrovnaným poměrem mezi konvekční a sálavou složkou (4).

Chladivové soustavy využívají pro přenos energie přímo oběhu chladiva mezi venkovní a vnitřními jednotkami rozmístěnými v klimatizovaných prostorách. Tyto soustavy tvoří optimalizované sítě pro vytápění i chlazení většího počtu místností, či celých budov. Výměnu škodlivin za čerstvý vzduch musí obstarávat větrací soustava (4).

4.2 Větrací soustavy

Větrání slouží k přívodu čerstvého, vhodně upraveného, venkovního vzduchu do vnitřních prostorů budov, tak aby byla zajištěna požadovaná kvalita vnitřního prostředí. Současně slouží k odvodu vzduchu znehodnoceného od osob, prachovými částicemi, škodlivinami z palivových spotřebičů apod. Návrh větracích soustav se musí řídit požadavky definovanými legislativou (16,17,18), popřípadě normovanými standardy (19). U obytných budov se vychází z hodnot dávky čerstvého vzduchu od 15 do 30 m³/h na jednu osobu. Druhý způsob vychází z doporučené intenzity

větrání od 0,3 do 0,5 h⁻¹, což znamená, že za jednu hodinu se musí vyměnit minimálně 0,3 až 0,5 celkového objemu vzduchu v domě. Tyto hodnoty platí v době přítomnosti osob, v jejich nepřítomnosti se hodnoty snižují na nutné minimum, tak aby se zabránilo vzniku plísní (4).

Větrací systém by měl umět účinně regulovat průtok větracího vzduchu podle aktuálních provozních požadavků. Ideálním způsobem větrání pro nízkoenergetické domy je nucené rovnotlaké větrání se zpětným získáváním tepla a vlhkosti. Naopak nedoporučuje se větrání podtlakové s nuceným / přirozeným odvodem vzduchu (4).

4.3 Zpětné získávání tepla

Energetická náročnost větracího procesu se snižuje pomocí zpětného získávání tepla (případně vlhkosti). Zpětné získávání tepla dále můžeme dělit na rekuperaci, kde se teplo vyměňuje přímo přes stěnu výměníku mezi vzduchem odváděným a přiváděným, a regeneraci, kde se teplo z odváděného vzduchu předává do akumulární hmoty a z té se poté dostává do přiváděného vzduchu. Ke zpětnému získávání tepla se využívají:

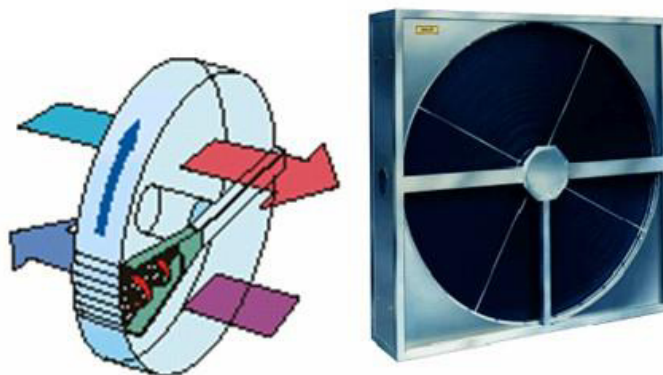
- **rekuperační výměníky**

Teplejší a chladnější tekutina jsou odděleny pevnou stěnou. Nejčastější provedení jsou křížové a protiproudé, viz kapitola 4.4 (4), (9),

- **regenerační výměníky**

Obě tekutiny proudí střídavě podél téhož povrchu stěny, která nejprve teplo přijímá z tekutiny teplejší a následně teplo uvolňuje do tekutiny chladnější (obr. č. 2). Uplatnění najde především u větších zařízení. Jejich hlavními výhodami jsou vysoká účinnost, relativně malé rozměry a možnost přenášení vlhkosti (4), (9), (27),

Obrázek 2: Rotační regenerační výměník (27)



- **směšovací výměníky**

Teplo se sděluje bezprostředním stykem díky směřování teplejší a chladnější tekutiny. Při sdílení tepla mezi kapalinou a vzdušinou dochází také k přenosu hmoty (9).

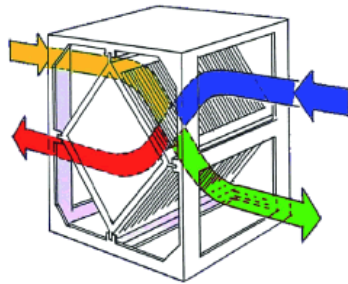
4.4 Rekuperační výměníky tepla

Efektivita rekuperačního výměníku je dána jeho konstrukcí, hlavně teplosměnnou plochou mezi oběma vzduchovými proudy. Vzduchové výměníky tepla dělíme na tři základní typy:

- **křížový výměník tepla**

Účinnost zpětného získávání tepla je nízká ($\eta_{zst} = 50$ až 70 %) z důvodu krátké délky proudění (obr. č. 3) je krátká i doba kontaktu obou vzduchových proudů. Teplosměnná plocha je přibližně 4 až 10 m^2 (2).

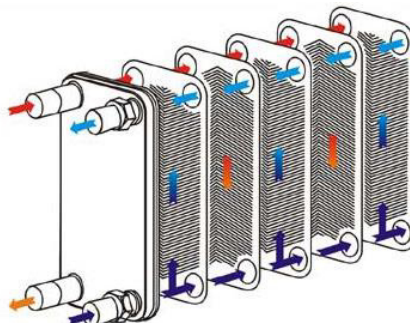
Obrázek 3: Průchod vzduchu křížovým výměníkem tepla (21)



- **deskový protiproudý výměník tepla**

Účinnost zpětného získávání tepla je už na slušné úrovni ($\eta_{zst} = 70$ až 80 %). Deskový výměník tepla se skládá ze sady desek seřazených a stažených pomocí šroubů (obr. č. 4). Oba proudy vzduchu jsou zde vedeny štěrbinami protiproudem a díky tomu je delší doba kontaktu i lepší účinnost. Teplosměnná plocha je přibližně 6 až 14 m^2 (2),(22).

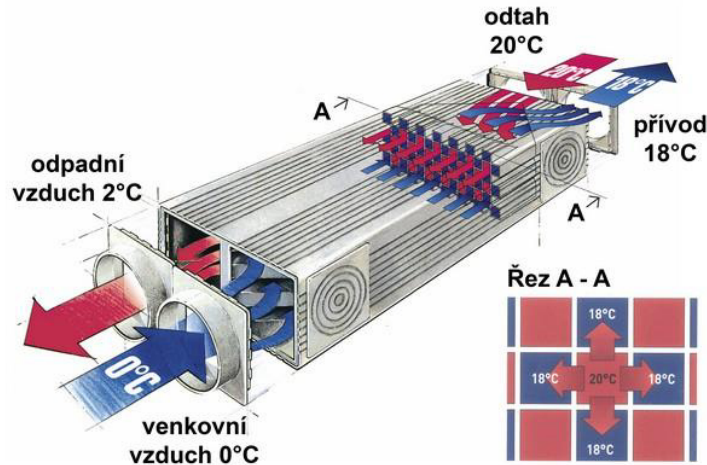
Obrázek 4: Deskový protiproudý výměník tepla (23)



- **kanálový protiproudý výměník tepla**

Účinnost zpětného získávání tepla je ze všech tří nejlepší ($\eta_{zst} = 85$ až 95 %) a to díky změně profilu proudění vzduchu. Oba proudy vzduchu jsou zde vedeny skrze kanálky čtvercového průřezu s šachovnicovým uspořádáním (obr. č. 5). Teplosměnná plocha je přibližně 17 až 60 m² (2).

Obrázek 5: Kanálový protiproudý výměník tepla (24)



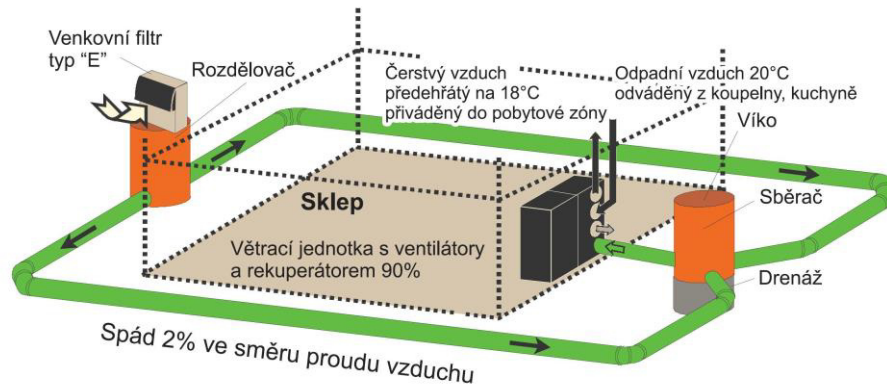
4.5 Zemní výměníky tepla

Zemní výměník tepla je jednoduchý potrubní systém instalovaný v zemi. Tento koncept je velmi univerzální, proto během chladných dní slouží k předehřívání přiváděného vzduchu a během teplých k předchlazování. Kvůli zemní tepelné setrvačnosti se ZVT ukládá do hloubky $1,5$ až $2,5$ m. Půda má v této hloubce vyhovující teplotu jak během zimy (min. 4 až 8 °C), tak během léta (max. 10 až 14 °C). Zemní výměníky tepla se dělí na:

- **vzduchové zemní výměníky tepla (VZVT)**

U vzduchových zemních výměníků tepla proudí přiváděný vzduch skrze soustavu trubek (obr. č. 5). Tyto trubky mají vnitřní průměr 15 až 20 cm a délku přibližně 25 až 45 m. Jsou zakopány v hloubce minimálně $1,8$ m. Celé potrubí je třeba udržovat čisté a suché, aby se předešlo růstu choroboplodných zárodků. Proto je třeba nasávaný vzduch filtrovat, celou trubku pravidelně čistit a zároveň musí být vyspádovaná (min. 2 %) směrem k revizní šachtě, do které musí odtékat kondenzát. Navíc musí být celé potrubí dokonale izolováno proti podzemní vodě (2).

Obrázek 6: Schéma zemního vzduchového výměníku tepla (25)



- **kapalinové zemní výměníky tepla (SZVT)**

U kapalinových zemních výměníků tepla (častěji nazývané solankové zemní výměníky tepla) neproudí venkovní vzduch potrubím, nýbrž vstupuje do domu přímo. Teplo se předává ještě před větrací jednotkou a to výměníkem typu solanka – vzduch, který je napojený na potrubí uložené v zemi. Tímto potrubím protéká solanka (nemrznoucí vodný roztok chloridu sodného), která vstřebává teplotu z půdy a díky ní následně ohřívá/ochlazuje nasávaný vzduch proudící výměníkem. Samotný výměník pak může být umístěn buď v technické místnosti uvnitř domu, nebo ve vnějším prostředí (např. pod přístřeškem).

Celý podzemní kapalinový okruh je tvořen polyetylenovými hadicemi o vnitřním průměru 20 až 32 mm. Ty jsou uloženy v hloubce přibližně 1,2 až 2,0 m a jejich celková délka je zhruba 130 m. Tyto hodnoty se však mění v závislosti na objemu předehřívajícího vzduchu, průtoku kapaliny výměníkem a teplotě podloží (2).

K oběma druhům je vhodné přidat regulační zařízení, aby v letních měsících nedocházelo k nadměrnému ochlazení teplého venkovního vzduchu a v zimních naopak k přílišnému ohřevu a tím zbytečnému odebrání tepla ze země.

Oba druhy jsou rovnocenné jak ve velikosti dílčích nákladů, tak z hlediska tepelného přínosu. Z hlediska hygieny, odolnosti a možnosti regulace je výhodnější výměník solankový (2).

5. Zdroje tepla

Zdroje tepla zajišťují v budovách vytápění, přípravu teplé vody, ohřev větracího vzduchu a využívají se i u dalších navazujících technologií. U energeticky efektivních domů je doporučeno využívat k těmto účelům především obnovitelné zdroje tepla, čehož využívají například tepelná čerpadla, solární tepelné soustavy, kotle na spalování biopaliv apod. (4).

5.1 Elektrické kotle a ohřivače

Elektrická energie je dnes dostupná téměř všude. Jako zdroj tepla je využitelná v podobě ne příliš drahých zařízení (přímotopná otopná tělesa, elektrické kotle, sálavé panely, topné fólie, apod.), které mají navíc velmi vysokou účinnost přeměny elektrické energie na teplo (98 až 100 %). Avšak nepříznivá bilance potřeby primární energie na výrobu elektrické energie a s tím související emise se neshodují s ekologickou šetrností energeticky efektivních domů, proto není elektrická energie z hlavní rozvodné sítě vhodná jako hlavní zdroj tepla pro vytápění ani pro přípravu teplé vody. Lze ji však uvažovat jako záložní či doplňkové tepelné zařízení k jinému hlavnímu zdroji (4).

5.2 Plynové a olejové kotle a ohřivače

Na spalování paliv plyných a kapalných se užívá kotlů s hořáky k tomu přizpůsobenými. Z plyných paliv se používá nejvíc zemní plyn, z 98 % tvořený metanem, rozváděný pomocí plynovodů, a propan, který je skladován v tlakových zásobnících. Z kapalných to jsou pak především lehké topné oleje, skladující se v netlakových nádržích. Spalováním těchto paliv se jejich chemická energie přeměňuje na energii tepelnou. Rozlišuje se mezi množstvím tepla uvolněným spálením, pokud je vzniklá voda vysrážena do kapalného skupenství o teplotě 25 °C (spalné teplo), nebo vzniklá voda zůstane ve formě páry (výhřevnost). Běžně je účinnost kotlů vztažena právě k výhřevnosti paliva, proto se můžeme setkat s účinností vyšší než 100 %. Pro spalování plyných a kapalných paliv se používají tři druhy kotlů a to:

- **standardní** – kotle bez kondenzace vodní páry ze spalin s účinností okolo 88 %,
- **nízkoteplotní** – kotle s možnou kondenzací (ne však nutnou) s účinností okolo 92 %,
- **kondenzační** – kotle záměrně navržené ke kondenzaci vodní páry ze spalin s účinností kolem 101 % u kotlů olejových a až 106 % u kotlů plynových.

Ke kotlům bez regulace výkonu se doporučuje instalovat zásobník tepla. Kotel pak odevzdává teplo do tohoto zásobníku a díky tomu se zvyšuje provozní účinnost kotle až o 30 % (4).

5.3 Spalovací zařízení na biopaliva

Ze známých technologií energetického využívání biomasy se pro zásobení budovy teplem využívá především přímé spalování tuhých biopaliv (dřevních briket, kusového dřeva, peletek, popřípadě štěpky) a v menší míře i spalování kapalných biopaliv (biolih a bioolej) v kotlích či lokálních topidlech. Pro účinné spalování tuhých biopaliv je nutné použít zplyňovacích kotlů s dvojestupňovým spalováním. V těch dochází nejprve ke zplyňování tuhého paliva v topeništi a až poté ke spalování vzniklých plynů ve spalovací komoře. Použití klasických kotlů není vhodné zejména kvůli jejich odlišné konstrukci, která je určena pro jiný druh spalovacího procesu. Kvalitu spalování a účinnost tohoto zdroje tepla ovlivňuje především vlhkost v palivu (neměla by být vyšší než 20%), teplota spalování a její stabilita, množství přiváděného spalovacího vzduchu či tepelné ztráty do okolí. Spalovací zařízení na biopaliva pak můžeme rozřadit na tři typy a to:

- **Zplyňovací kotle s ručním příkládáním** – Je třeba, aby takový kotel pracoval s vysokými provozními teplotami okolo 80 až 90 °C ve stabilním neměnném režimu. Účinnost kotle je poté okolo 85 %. Regulace výkonu je možná pouze v rozsahu 50 až 100 % jmenovitého výkonu a navíc pouze řízením přístupu spalovacího vzduchu, což má negativní vliv na účinnost a emise. Pro zajištění plynulého chodu kotle je vhodné přidat zásobník, který umožňuje akumulaci tepla. Navíc je z bezpečnostních důvodů potřeba ke kotli nainstalovat ochranu proti přehřátí, např. bezpečnostní chladicí smyčku s přímo ovládaným ventilem přívodu studené vody a odvodem teplé vody (4).
- **Automatické kotle** – Tyto kotle jsou určeny pro palivo sypké v podobě dřevěných pelet ze dřeva nebo z alternativních materiálů, štěpky či pilin. Palivo je dopravováno automaticky pomocí mechanické samočinné dopravy do spalovacího prostoru. Provoz automatického kotle je tedy bezobslužný. Regulace je prováděna řízením přívodu paliva mechanickým dávkováním v kombinaci s řízením přívodu vzduchu. To umožňuje regulaci výkonu v rozsahu 25 až 100 % a zároveň zachování vysoké účinnosti kotle mezi 85 až 92 %. I u automatických kotlů je vhodné přidat zásobník na akumulaci tepla (4).
- **Interiérové lokální topidla** – Jsou vyráběny v podobě krbů, krbových vložek, krbových kamen či kachlových akumulačních kamen a patří mezi velmi oblíbené doplňkové zdroje

tepla. Otevřené krby a jednoduché krbové vložky nejsou příliš vhodné z důvodu nízké účinnosti a velké potřeby spalovacího vzduchu. Daleko lépe na tom jsou krbová kamna s integrovaným teplovodním výměníkem, který odvádí velkou část tepelného výkonu z kamen do zásobníku tepla s otopnou vodou. Krbová kamna s moderní konstrukcí využívají k regulaci svého výkonu ventilátorů. Za optimálních podmínek mohou dosahovat účinnosti kolem 80 % (4).

5.4 Tepelná čerpadla

Tepelné čerpadlo patří do skupiny takzvaných tepelných strojů a funguje na principu chladícího zařízení (6).

5.4.1 Popis cyklu

Do zařízení se nejprve přivede voda či vzduch, kde se přivede k výparníku. Zde se tomuto zdroji odebere potřebné výparné teplo a chladivo změní své skupenství na plynné, přičemž se zdroj tepla ochladí o několik stupňů. Poté kompresor nasaje chladivo a stlačí jej. Se zvyšujícím se tlakem dochází ke zvyšování jeho teploty a dostane se tak na vyšší teplotní úroveň. K tomuto kroku je zapotřebí dodání elektrické energie na pohánění kompresoru a díky této energii se zvyšuje tepelný potenciál samotného chladiva. Své celkové teplo odevzdává chladivo v kondenzátoru, kde se předá do prostředí otopné vody nebo vzduchu. Tím se chladivo přemění zpět do stavu kapalného. Následně se v expanzním ventilu seškrtní tlak na původní hodnotu a celý cyklus se opakuje (1).

5.4.2 Fyzikální princip

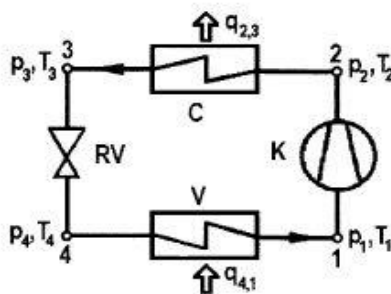
Princip tepelného čerpadla je založen na II. Zákonu termodynamiky. Podle něj může teplo samovolně přecházet z teplotní hladiny vyšší na nižší. Pokud chceme nějakou látku chladit, musíme ji včlenit do termodynamického procesu, k čemuž je potřeba teplo dodat. Toto teplo získáme z látky, která bude chlazena (9).

Mezi jednoduché termodynamické děje, k jejichž uskutečnění je potřeba dodat teplo, patří i změny skupenství. Pro potřebu chlazení se jeví jako nejvhodnější vypařování látky, protože teplo výparné je znatelně větší než skupenské teplo tání. Je-li k chlazení při nízkých teplotách určeno výparné teplo nějaké látky (chladiva), musí bod varu této látky být v těchto požadovaných teplotách. Podle zvoleného chladiva budou různé body varu odpovídat různým tlakům (9).

Schéma oběhu tepelného čerpadla (obecně kompresorového chladícího zařízení) je znázorněno na

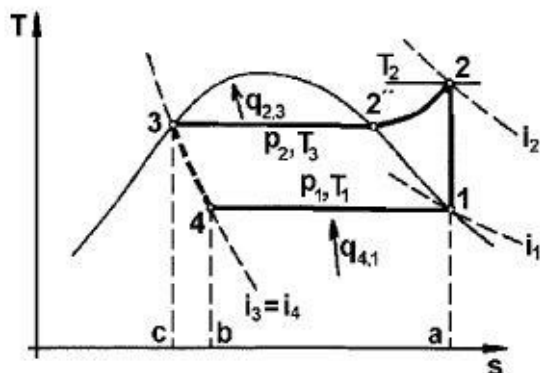
obr. č. 7. Mechanismus je složen z kompresoru K , kde se nasávají chladivové páry o teplotě T_1 a tlaku p_1 a stlačují se na teplotu T_2 a tlak p_2 . Dále kondenzátoru C , kde se parám při stálém tlaku p_2 odvádí měrné teplo $q_{2,3}$, tak že jsou ochlazeny vodou nebo vzduchem. Z kondenzátoru odchází sytá kapalina s teplotou T_3 . Ta se přivádí do redukčního ventilu RV , kde je škrcena zpět na teplotu T_1 a tlak p_1 , čímž vznikne mokrá pára, která se odvádí do výparníku V . Ve výparníku dochází k odběru měrného tepla $q_{4,1}$ chlazené látky při stálém tlaku p_1 , které se předává mokré páře. Ta se postupně vysušuje, takže při výstupu z výparníku je z ní pára sytá. Tam ji znovu nasává kompresor K a celý cyklus se opakuje (9).

Obrázek 7: Oběh kompresorového chladicího zařízení (9, st.105)



Cyklus je levotočivý, proto musíme kompresoru práci dodávat. Pokud předpokládáme, že kompresor pracuje adiabaticky vratně, pak se celý oběh skládá ze dvou izobar, izoentropie a adiabatického škrcení. Celý cyklus je vyobrazen na obr. č. 8. (9)

Obrázek 8: Oběh kompresorového chladicího zařízení v T - s diagramu (9, st. 105)



Pro jednotlivé změny platí:

1 – 2: izoentropická komprese (*K*)

$$q_{1,2} = 0 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.1)$$

2 – 3: izobarický odvod tepla (*C*)

$$q_{2,3} = i_2 - i_3 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.2)$$

3 – 4: škrcení (*RV*)

$$i_3 = i_4 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.3)$$

4 – 1: izotermicko – izobarický přívod tepla (*V*)

$$Q_{4,1} = i_1 - i_4 = i_1 - i_3 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.4)$$

Měrná technická práce kompresoru je :

$$a_{t1,2} = i_2 - i_1 \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.5)$$

Měrné teplo přivedené $q_{4,1}$, které je odebráno chlazené látce ve výparníku *V* je dáno na obrázku č. 8 - *a,1, 4, b, a* (9).

Měrné teplo odvedené z kondenzátoru $q_{2,3}$ lze vyjádřit pomocí rovnic 6.2 a 6.5 jako:

$$Q_{2,3} = i_2 - i_3 = i_2 - i_1 + i_1 - i_3 = a_{t1,2} + q_{4,1} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.6)$$

Činnost tepelných čerpadel je pak charakterizována tzv. topným faktorem ε_t :

$$\varepsilon_t = \frac{q_{2,3}}{a_{t1,2}} = \frac{i_2 - i_3}{i_2 - i_1} \quad [\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}] \quad (6.7).$$

5.4.3 Druhy tepelných čerpadel

Vzduch - voda

Zdrojem tepla je okolní vzduch, který je nejsnáze přístupným zdrojem. Nevýhodou je, že v otopné sezóně má vzduch nejnižší teplotu a tepelné čerpadlo tak má nejnižší topný faktor. Teplota, do které je tento typ schopný ještě pracovat, bývá běžně -20 °C, u některých strojů až -25 °C. Tato tepelná čerpadla mohou být v provedení venkovním, děleném nebo vnitřním. Z důvodu větší hlučnosti tohoto typu je také nutno brát ohled na umístění této jednotky na pozemku (1), (11).

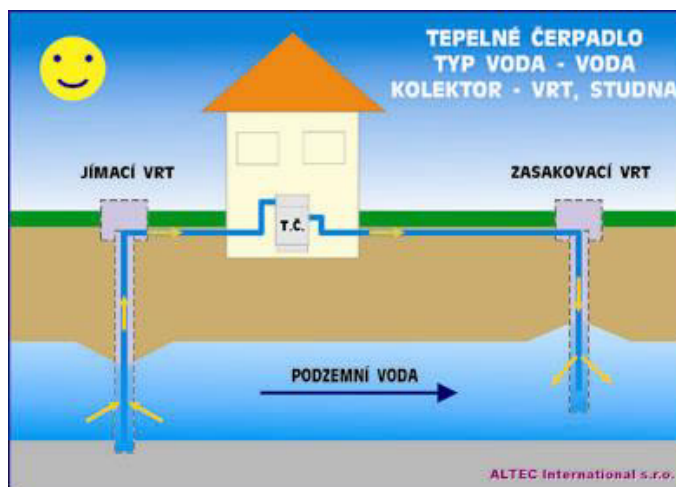
Vzduch – vzduch

Tyto čerpadla fungují na stejném principu jako typ vzduch – voda, pouze s tím rozdílem, že tepelný výkon je předáván přímo vnitřnímu vzduchu daného objektu (11).

Voda – voda

Zdrojem tepla je voda povrchová nebo podzemní (obr. č. 9). Tento druh tepelných čerpadel dává nejvyšší topný faktor a navíc patří mezi velmi stabilní zdroje tepla. U podzemní vody jsou teploty celoročně kolem 8-10 °C, u geotermální vody jsou tyto teploty i přes 30 °C. Povrchové zdroje jako například řeky a rybníky se příliš nevyužívají a to hlavně z důvodu náročné administrativy. Mezi nevýhody patří také velké nároky na vhodnost lokality (11).

Obrázek 9: Tepelné čerpadlo VODA – VODA se zdrojem tepla v podzemní vodě (28)



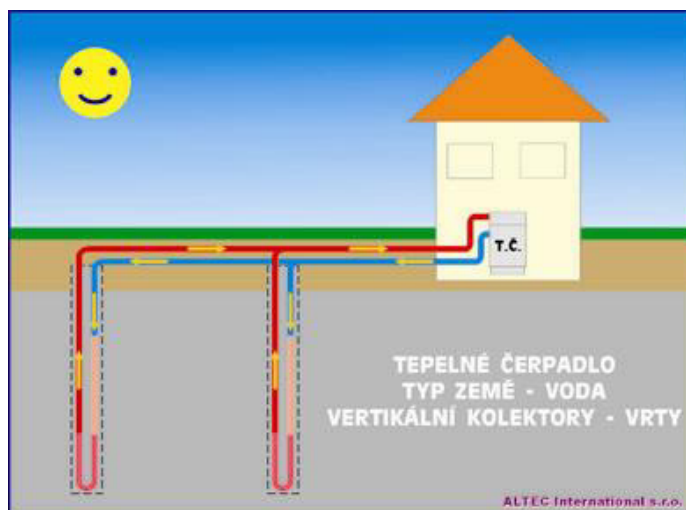
Země - voda

Zdrojem tepla je teplo obsažené v půdě, tzv. geotermální. Díky stabilní teplotě půdy v daných vrstvách je tento systém ze všech uvedených nejstabilnější. Teplo je z půdy dostáváno pomocí soustavy trubek (z mědi či polyetylenu) uložených pod povrchem země, které se nazývají zemní kolektory. Tepelné čerpadlo samotné je pak umístěno uvnitř budovy, kde nehrozí riziko zamrznutí. Vyrábí se ve dvou možných provedeních a to v horizontálním (obr. č. 10) nebo vertikálním (obr. č. 11). U horizontálního typu je zdrojem tepla půda do hloubky 2 m. Toto provedení se upřednostňuje před vertikálním a to zejména díky nižším nákladům na jeho pořízení, avšak je zapotřebí dostatečného prostoru kolem budovy. Vertikální typ pak využívá geotermálních vrtů do hloubky od 30 do 150 m (1), (11).

Obrázek 10: Tepelné čerpadlo ZEMĚ - VODA s horizontálním kolektorem (28)



Obrázek 11: Tepelné čerpadlo ZEMĚ - VODA s vertikálním kolektorem (28)



5.5 Solární tepelné soustavy

Solární soustavy se vyznačují snižováním energetické náročnosti budov a zároveň tak přispívají k úspoře primární energie. Navíc vlastní solární tepelné soustavy neprodukují emise znečišťujících látek, potřebují pouze malé množství pomocné elektrické energie pro svůj provoz (oběhová čerpadla, regulace). U rodinných domů bývá potřeba pomocné energie kolem 3 % z využitých tepelných zisků solární soustavy (4).

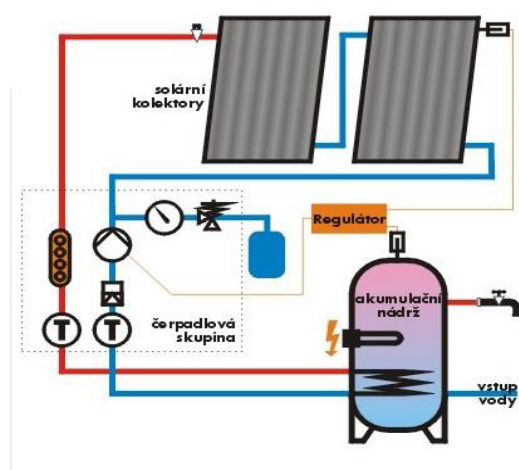
Solární tepelné soustavy využívají fototermální přeměny energie slunečního záření na tepelnou energii v solárních kolektorech. Z těch se teplo nejčastěji odvádí do tepelného akumulátoru pro uchování k pozdějšímu použití. Zdrojem tepla jsou solární kolektory, které lze rozdělit buď podle

druhu teplotnosné látky (vzduchové, kapalinové) nebo dle konstrukčního uspořádání (zasklené, nezasklené, ploché, trubkové jednostěnné, trubkové dvojstěnné). Výkon i účinnost solárních kolektorů nelze bez bližšího popisu provozu uvádět z důvodu významné závislosti na provozních podmínkách. Obecně však platí, že s nárůstem provozní teploty rostou tepelné ztráty kolektorů a zároveň tím klesá jejich účinnost (4).

Vzhledem k dostupnosti slunečního záření je solární teplo v naprosté většině aplikací ve funkci spořiče energie či paliva s omezeným krytím potřebného tepla, není tedy bráno jako hlavní zdroj tepla. Využívání solárních zisků je závislé především na kvalitě navržených komponent, na tepelných ztrátách soustavy, na orientaci a sklonu solárních kolektorů a v neposlední řadě také na návrhu plochy solárních kolektorů ve vztahu k požadovanému pokrytí tepla. Podobně jako solární zisky je ovlivněna i účinnost solárních kolektorů. Obecně pro solární soustavy platí, čím vyšší je solární pokrytí potřeby tepla solární soustavou, tím nižší jsou měrné zisky a účinnost soustavy (4).

Nejčastější využití sluneční energie je pomocí **solárních soustav pro předehřev a přípravu teplé vody** (obr. č. 12). Jejich dobrá využitelnost je založena především na celoročně přibližně konstantní potřebě teplé vody. Tyto soustavy se pro rodinné domy projektují zpravidla s pokrytím potřeby tepla kolem 50 až 70 % (4).

Obrázek 12: Systém pro ohřev teplé užitkové vody solárním kolektorem (29)



Stále častějším řešením se stávají **solární kombinované soustavy**, které se starají jak o přípravu teplé vody, tak o vytápění. Potřeba tepla na vytápění budov se však v průběhu roku časově rozchází se špičkami dostupných solárních zisků, proto lze vždy dosáhnout pouze částečného pokrytí

potřeby tepla. Jako ekonomicky přijatelné se považují hodnoty pokrytí do 30 % celkové roční potřeby tepla pro přípravu teplé vody a vytápění (4).

Využívání solárního ohřevu vzduchu pomocí **solárních vzduchových kolektorů** může být velmi výhodné především v oblasti větrání, kde dokáže výrazně snížit energetickou náročnost, v případě kdy je potřeba předehřát přiváděný větrací vzduch. V letním období však mají tyto systémy omezenou využitelnost. Vhodná je například hybridní kombinace s tepelným výměníkem vzduch – voda pro předehřev teplé vody. Využití vzduchu jako teplonosné látky se u solárních soustav příliš často neuplatňuje, kvůli řadě úskalí s tím spojených. Tepelná kapacita vzduchu je ve srovnání s kapalinami výrazně nižší, proto je k přenesení tepelného výkonu z kolektorů potřeba vysokých průtoků vzduchu. Další nevýhodou je potřeba elektrické energie potřebné k provozu těchto vzduchových soustav (4).

5.6 Akumulace tepla

Většina soustav využívající obnovitelných zdrojů tepla (tepelná čerpadla, solární tepelné soustavy, zdroje na spalování tuhých biopaliv) potřebují pro efektivní provoz akumulaci energie. Naprostá většina prodávaných zásobníků tepla pracuje na principu akumulace citelného tepla ve vodních zásobnících, malá část pak využívá změny skupenství akumulací látky (4).

U **solárních soustav** je potřeba akumulace podmíněna především nestálým přísunem sluneční energie pro pokrytí nepravidelné potřeby tepla během dne a během roku (4).

Zásobníky tepla pro **tepelná čerpadla**, která nemají regulaci tepelného výkonu, slouží pro omezení četnosti spínání kompresorů a také pro hydraulické oddělení okruhu tepelného čerpadla s požadavkem na konstantní průtok (4).

Kotle pro spalování tuhých biopaliv se vybavují akumulací pro zvýšení své účinnosti a také pro omezení produkce emisí. Navíc hydraulické oddělení okruhu zdroje tepla od tepelné soustavy umožňuje navzájem nezávislou regulaci teplot a průtoků v obou okruzích (4).

5.7 Zpětné získávání tepla z odpadní vody

Možností jak dosáhnout nízké energetické náročnosti přípravy teplé vody je zařazení využívání tepla, z odpadní vody, k předehřevu přiváděné studené vody. Podle průtoků a teplotní úrovně lze

takto uspořít běžně kolem 20 až 50 % potřebné energie. Systém pro využívání tepla z odpadních vod může být řešen vícero způsoby, jednak jako:

- **centrální** – zařízení pro zpětné získávání tepla je umístěno před vstupem studené vody do centrální přípravy teplé vody a zvyšuje tak její teplotu,
- **decentrální** – zařízení pro zpětné získávání tepla je umístěno přímo u zařizovacího předmětu (umyvadlo, sprcha); mezi tyto varianty patří například horizontální výměník umístěný pod sprchovým koutem, kde je omýván odpadní vodou a předehtívá tak studenou vodu jdoucí do baterie, kde se dále mísí s teplou vodou; předehtívání funguje pouze v případě aktivního užití sprchy a zvýšení teploty vody se pohybuje okolo 10 K;

a jednak jako:

- **průtočný** – odtékající odpadní voda přímo ohřívá, přes teplosměnnou plochu, přiváděnou studenou vodu vstupující do baterie nebo do přípravy teplé vody; mezi průtočné způsoby patří kromě výměníku umístěného pod sprchou i trubkový měděný výměník obtočený kolem kanalizačního potrubí,
- **akumulační** – odtékající odpadní voda se odvádí do centrálního zásobníku, kde se zdrží do doby než se z ní odčerpá teplo pomocí rekuperačního výměníku nebo tepelného čerpadla; používá se u větších budov s dostatkem odpadní vody (4).

6. Zdroje elektrické energie

6.1 Způsoby provozu zdroje

6.1.1 Provoz s připojením k veřejné elektrické síti

Takto připojený zdroj musí splňovat technické předpisy dané provozovatelem sítě a musí dodávat elektřinu o předepsaných parametrech. Fotovoltaické panely a všechny ostatní zdroje produkující stejnosměrný proud musejí být doplněny o střídač, který převede proud stejnosměrný na proud střídavý s požadovanou frekvencí. Pro dodávání elektrické energie do sítě je dále potřeba získat licenci pro podnikání v energetice, kterou lze získat od Energetického regulačního úřadu. Držitel licence pak musí dodržovat povinnosti z toho plynoucí, dané zákonem (č. 406/2000 Sb.) a je oprávněn odprodávat elektřinu provozovateli sítě. Největší výhodou je to, že veřejná síť slouží jako nekonečně velký akumulátor elektřiny, který pojme všechny přebytky, které zdroj vyrobí. Zároveň lze, v případě momentálního nedostatku, elektřinu ze sítě odebírat.

Zapojení lze dále zrealizovat dvěma způsoby. Prvním je ten, kdy se veškerá vyrobená elektřina prodává do veřejné sítě a zdroj se tak nepodílí na krytí potřeb domu. Dům si pak veškerou potřebnou elektřinu odebírá z veřejné sítě, nezávisle na zdroji.

Druhým způsobem je ten, kdy se část energie použije pro vlastní potřeby domu a přebytky se buď akumulují (pro spotřebu během noci), nebo dodávají do sítě. Na veškerou produkovanou elektřinu z obnovitelných zdrojů lze uplatnit tzv. zelené bonusy, přičemž je lze uplatnit jak na elektřinu dodanou do sítě, tak na elektřinu spotřebovanou v objektu samotném (5).

6.1.2 Ostrovní provoz

Ostrovní provoz je způsob zapojení zdroje tak, že je zcela nezávislý na veřejné síti. Používá se zejména v odlehlých místech, kde není k dispozici elektřina ze sítě. U energeticky aktivních domů však tento způsob zapojení nemá opodstatnění, z důvodu nemožnosti odprodeje přebytkové elektřiny do sítě, proto se jím nebudeme více zabývat (5).

6.2 Elektřina ze slunce - Fotovoltaické články

6.2.1 Obecně

Fotovoltaické panely představují velmi atraktivní možnost pro všechny energeticky efektivní domy. U domů s hodnocením energeticky nulové, energeticky blízké nule, či energeticky aktivní se bez užití fotovoltaických panelů zřejmě nelze obejít. Mezi největší výhody patří minimální zátěž životního prostředí, stále klesající cena této technologie a relativní jednoduchost řešení. Další výhodou je možnost realizace aplikací od nepatrných výkonů až po velké elektrárny s výkony v řádech MW. To vše díky malé velikosti základního stavebního prvku – solárního článku, který se řadí do sérií a tím vytváří solárními panely. FV zdroj se nejčastěji skládá ze soustavy FV pole – střídač. FV polem se rozumí skupina sérioparalelně zapojených panelů, které generují stejnosměrný výkon. Ten se pak mění na střídavý pomocí střídače a pokračuje dál buďto do budovy nebo do veřejné sítě. Účinnost těchto střídačů se pohybuje okolo 96 % (4), (5).

Fotovoltaické články fungují na principu fotoelektrického jevu. Na rozhraní dvou materiálů, na které dopadá světlo, vzniká elektrické napětí. Uzavřením tohoto obvodu lze získat elektrický proud (8).

6.2.2 Rozdělení FV panelů

Fotovoltaické panely se dělí do dvou skupin podle materiálu, ze kterého jsou vyrobeny.

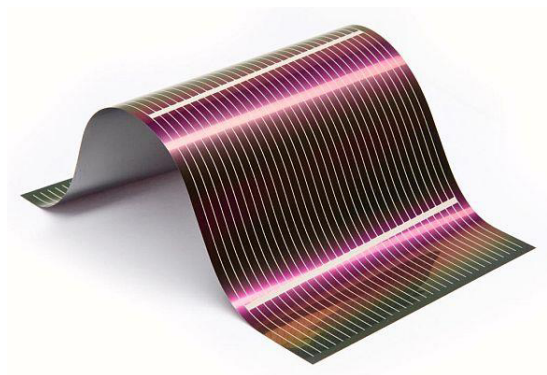
První skupinou jsou **panely s články z krystalického křemíku (c-Si)** (obr. č. 13). Ty vykazují mezi komerčně dostupnými nekoncentračními technologiemi nejvyšší účinnost mezi 13 a 15 % a jsou zároveň v současnosti nejpoužívanějším typem. Tato skupina se dále dělí na monokrystalické a polykrystalické články. Tyto panely jsou nejúčinnější při vysokém ozáření, proto se nejčastěji volí tam, kde lze zajistit jejich poloha a sklon blízko celoročního optima (jih, sklon 35 °) (4).

Obrázek 13: Panel s články z krystalického křemíku (30)



Druhou skupinou jsou **panely s tenkovrstvými články** (obr. č. 14). Historicky nejstarší a nejlevnější jsou články z amorfního křemíku (a-Si), nicméně jejich účinnost u komerčně vyráběných modelů je pouze kolem 6 %. Tenkovrstvé články dále využívají polykrystalických článků na bázi teluridu kadmia (CdTe), které mají účinnost okolo 10 %, nebo složitější struktury CIS a CIGS s účinností okolo 11 %. Výhodou článků v tenkovrstvém provedení je jejich pružnost a ohebnost, nízká citlivost na zastínění a malý vliv teploty na jejich výkon. Dále také malá spotřeba materiálu a výborný poměr cena/výkon při účinnosti do 10 %. Tyto panely se nejčastěji volí tam, kde dochází k nižší intenzitě ozáření, například u západních šikmých střech nebo u fasádní instalace a to díky jejich relativně vysoké účinnosti i při nízkých stupních slunečního ozáření (4), (5).

Obrázek 14: Tenkovrstvý článek (31)



6.3 Elektřina z větru

Dříve se využívání energie větru pro rodinné domy nevěnovala velká pozornost z důvodu omezeného potenciálu. V současnosti se, s příchodem nových technologií, tato skutečnost mění a energie větru se postupně stává poměrně zajímavým zdrojem elektrické energie. Nejběžněji se používají větrné mikroelektřárny, které se dále dělí na **horizontální** a **vertikální** (obr. č. 15) (8).

U použití větrných mikroelektřáren se musí uvážit zejména vhodnost lokality a přítomnost překážek v okolí ovlivňujících charakter proudění. Oproti velkým větrným elektrárnám mají větrné mikroelektřárny nízkou rozbíhací rychlost větru okolo 2 až 3 m/s, což usnadňuje jejich použití i v nízkých výškách nad terénem. Z obou uvedených typů se v současné době začínají prosazovat spíše mikroelektřárny vertikální, nežli dříve používanější horizontální (4). Vertikální mikroelektřárny totiž dokáží zachytávat vítr přicházející ze všech směrů a tak jsou vhodnější pro

použití v malých výškách například na střechách či průčelích budov. Navíc je jejich provoz velmi tichý a mají vysokou účinnost. Umístění větrných mikroelektráren sebou nese i některá úskalí v podobě vysokých nároků na bezpečnost a u mikroelektráren horizontálních i možné vibrace vlivem silného větru (12).

Obrázek 15: Instalace vertikálních větrných elektráren ve Spojených státech amerických (32)



6.4 Elektřina z vody

Vodní energie je pro výrobu elektřiny velmi vhodná, avšak nároky na vhodnost vodního toku a současně jeho umístění v blízkosti domu z ní dělají ne příliš využívanou možnost. Pro zásobování elektrickou energií jediného domu lze využít i lokality s relativně malým potenciálem, který lze zjistit dle dostupného spádu a průtoku této lokality. Pro vybudování vodní mikroelektrárny je vždy nutno provést zásah do vlastního toku (vybudovat jez, hráz, přivaděč), přičemž je nutno dát pozor na zachování tzv. sanačního průtoku. Tyto zásahy vyžadují stavební povolení, v jehož rámci je nutné získat i souhlas správce toku a povolení pro nakládání s vodami. Provoz vodních elektráren také vyžaduje určitou obsluhu, zejména pravidelnou údržbu toku, čištění a servis strojního zařízení (5).

Většina elektráren, které dodávají elektřinu do sítě, využívá Francisovu nebo Bánkiho turbínu. Pro rodinné domy, které budou vyrobenou elektřinu samy využívat, je však vhodnější použít komerčně dostupnou řadu mikroturbín, které jsou schopny využívat malé spády i průtoky. Vzhledem k malým průtokům lze vodu k turbíně přivádět například požární hadicí. Vhodná je také řada odstředivých čerpadel v reverzním chodu nebo poměrně nedávno vynalezená turbína SETUR, která dokáže využívat i velmi malé spády a průtoky. U požadavku na velmi malé výkony lze

uvažovat také vodní kolo na horní (využívá potenciální energii vody) či spodní vodu (využívá kinetickou energii vody) (5), (13).

6.5 Mikrokogenerace

Mikrokogenerací se rozumí kombinované výrobě elektrické energie a tepla v malých výkonech od jednotek kW_e do přibližně 50 kW_e. Využití energie paliva lze dosáhnout i vyšší než 90 % a to za předpokladu, že je tento systém použit u budov s celoročně nízkou potřebou tepla na vytápění a zároveň významnou potřebou tepla na přípravu teplé vody.

6.5.1 Spalovací motor

Mikrokogenerace je využívána především se spalovacími motory. Účinnost výroby elektrické energie je 30 až 40 % a celková účinnost dosahuje 85 až 100 % v závislosti na výkonu těchto jednotek. Poměr mezi tepelným a elektrickým výkonem bývá zhruba 2:1. Jednou z výhod spalovacích motorů je relativně široký rozsah použitelných paliv jak kapalných (nafta, biooleje), tak plyných (zemní plyn, vyčištěný bioplyn), avšak je poměrně náchylný na jejich čistotu. Další výhodou je rychlý start a široký rozsah regulace výkonu. Životnost těchto motorů je omezená vzhledem k opotřebením velkého počtu pohyblivých částí (4), (5).

6.5.2 Plynové spalovací turbíny

Plynové spalovací turbíny se používají díky nízkým emisím (zhruba desetkrát nižší než u spalovacích motorů), malým rozměrům, vysoké životnosti a svým nízkým požadavkům na údržbu. Teplo se odebírá ze spalin. Poměr mezi tepelným a elektrickým výkonem je obdobný jako u spalovacích motorů 2:1. Jako palivo slouží v naprosté většině aplikací zemní plyn, nicméně rozsah vhodných paliv je široký. Účinnost výroby elektrické energie se pohybuje mezi 25 až 35 % a celková účinnost v rozmezí 70 až 80 % podle využití tepla (4).

6.5.3 Stirlingův motor

Zástupce řady motorů s vnějším spalováním. V současnosti ještě není příliš rozšířen, nicméně na trhu se již objevují první komerční modely například od značky Viessman, které jsou kombinovány s plynovými kotli (4).

6.5.4 Palivové články

Další z poměrně nových a ne příliš rozšířených možností. Pracují na principu přímé přeměny chemické energie paliva na energii elektrickou. Základním typem je vodíko-kyslíkový článek, v němž dochází ke slučování molekul vodík a kyslíku za přítomnosti katalyzátoru a vzniká vodní pára a teplo a z elektrod článku je odváděn elektrický proud. Výhodou palivových článků je tichý chod, dlouhá životnost a minimální údržba. Z důvodu vysoké ceny samotného vodíku se pozornost upírá k používání dostupnějších paliv bohatých na vodík. Mezi ně patří metan, zemní plyn, bioplyn, metanol, etanol apod. Palivový článek pak musí být rozšířen o zařízení upravující toto palivo na čistý vodík. Menší zařízení pro rodinné domy mívají účinnost výroby elektrické energie mezi 30 a 40 %, celková účinnost pak bývá kolem 90 %. Životnost samotného palivového článku se pohybuje kolem 10 let a celého systému kolem 20 let (4), (14), (15).

6.6 Akumulace elektrické energie

Zařízení využívající sluneční a větrné energie jsou typická svým nestabilním výkonem dodávaným do budovy. Proto je u takovýchto zdrojů potřeba užití akumulátoru. V případě dodávání elektrické energie do veřejné sítě slouží tato síť jako nekonečně velký akumulátor. V případě spotřebovávání elektrické energie přímo v budově je třeba použít akumulátor vlastní (4).

Nejběžnější akumulátory jsou založeny na principu elektrochemickém, jelikož akumulují elektrickou energii ve formě energie chemické (4).

Nejrozšířenějším provedením jsou **akumulátory olověné**, které se vyznačují zejména svou nízkou pořizovací cenou. Jejich životnost je přibližně 3 až 5 let (zhruba 500 cyklů) a účinnost akumulace se pohybuje okolo 70 až 80 % (4).

Z pokročilejších typů se používají především **akumulátory lithiové**, které mají vysokou účinnost akumulace (80 až 90 %) avšak také vysokou cenu. Jejich životnost je až 10 let (až 1500 cyklů) (4).

Z nejvyšší řady to pak jsou převážně **akumulátory průtokové** s elektrodami na bázi oxidů vanadu, které jsou složeny ze dvou zásobníků elektrolytu, a ten je přečerpáván pomocí elektrochemického článku. Vyznačují se vysokou kapacitou závislou na objemu elektrolytu a velmi dlouhou životností, která je i více než 12 000 cyklů. Účinnost akumulace se pohybuje od 75 do 85 % (4).

Stále ještě ve stádiu vývoje jsou **superkondenzátory** (ultracapacitory), u kterých je energie akumulována do elektrického pole nabitého kondenzátoru. Mohou přijmout velké množství náboje během krátké doby, díky čemuž jsou vhodné jako vyrovnávací akumulátory pro vyrovnání krátkodobých výkyvů a špiček výkonu zdrojů, jako jsou například fotovoltaika nebo větrné elektrárny (4).

7. Ekonomické a ekologické zhodnocení stavby

Dlouhou dobu převládal názor, že ekologie a ekonomie představují u novostaveb dva neslučitelné cíle, u kterých je nutné přijmout kompromisy. Moderní energeticky efektivní domy však tento názor vyvrací a dokazují, že oba faktory mohou dosáhnout svých vytyčených cílů uspokojivým způsobem (2).

7.1 Ekonomické zhodnocení

O tom zdali se vyplatí stavět domy ve standardech nulovém či aktivním se vedla už nejedná vášnivá diskuze. V dostupné literatuře lze najít, že dům ve standardu energeticky pasivní si vyžádá o 10 až 15 % vyšší náklady na svou výstavbu, než běžný dům. Tyto náklady se však mohou lišit vzhledem k velkému množství faktorů, od klimatických podmínek až po ekonomickou situaci v dané zemi. Vyšší náklady jsou spojeny především s nutností použití kvalitnějších materiálů a použití více či méně drahých technologií pro získávání tepla či elektřiny. Tyto vyšší náklady jsou však investicí do budoucna, jelikož se díky tomu rapidně snižují budoucí výdaje na samotný provoz domu. Do čeho se vyplatí investovat, pak musí zvážit sám investor (33).

Energetická náročnost budovy hraje velkou roli ve výsledném ekonomickém zhodnocení. Ačkoliv nejsou požadavky na stavbu energeticky aktivního domu ještě legislativně dány, předpokládá se, že budou vycházet ze standardu pasivního. Rozdílné jsou však v tom, že dům energeticky aktivní musí nejenom pokrýt veškerou svou energetickou potřebu z obnovitelných zdrojů, ale ještě vyrobit i jeho dostatečný přebytek, za účelem odprodeje do veřejné sítě (33).

7.2 Ekologické zhodnocení

Jedním z hlavních úkolů ekologického zhodnocení je bilancování potřebného množství energie za celý životní cyklus budovy. Mezi fyzikální veličiny, které se také srovnávají, patří i celkové ekvivalentní emise, např. CO₂ nebo SO₂. Minimum ekologického zhodnocení představuje stanovení množství primární energie pro provoz domu, pocházející z neobnovitelných energetických zdrojů. Díky extrémně nízké potřebě tepla u energeticky aktivních domů se minimalizuje spotřeba paliv a s tím spojené množství škodlivých emisí (34).

Velkou váhu bychom měli přikládat především návrhu a použití stavebních materiálů a jiných zdrojů. Ty by měli být co nejekologičtější, aby se tak minimalizoval dopad na životní prostředí,

proto je doporučeno používat především přírodních zdrojů a materiálů dostupných v místě výstavby či v jeho blízkém okolí. Nesmí se zapomínat ani na odpad z výstavby, který by měl být omezen na nutné minimum (34).

Díky své nízké energetické náročnosti v kombinaci s výrobou veškeré potřebné energie z obnovitelných zdrojů má provoz energeticky aktivního domu jen minimální dopad na životní prostředí. Výsledkem toho je i neutrální bilance uhlíkových emisí z provozu domu. Například u hlavního prvku celého domu, fotovoltaických panelů, představuje největší zátěž spotřeba elektrické energie na jejich výrobu. To je však vyváženo nadbytkem jejich produkce elektrické energie. Díky tomu dokážou v době kolem 3 let vyrobit tolik elektřiny, kolik bylo použito na jejich výrobu (34).

Ohleduplnost k životnímu prostředí je tak hlavním prvkem všech energeticky aktivních domů od jejich výstavby až po jejich případnou demolici (34).

8. Závěr

Energeticky aktivní dům s sebou nese řadu výhod, mezi které patří např. nízké energetické nároky či vlastní soběstačnost. Díky použití moderních technologií je schopen využívat z velké části pouze obnovitelné zdroje, což jde ruku v ruce se současnými snahami o ochranu životního prostředí a předcházení klimatických změn. Konstrukce domu jen podtrhuje ekologickou šetrnost celého domu tím, že je tvořena z velké části přírodními nebo recyklovanými materiály.

V současné době není v České republice výstavba energeticky efektivních domů, na rozdíl jiných evropských států, příliš rozšířena. Celá situace se ale pomalu mění a to díky několika vlivům. Mezi ty hlavní patří snahy pomocí evropské legislativy snížit energetickou náročnost budov a stanovit nízkoenergetický standard pro veškeré novostavby. Opomenout nelze ani ekonomické hledisko. Díky neustále rostoucí ceně energií a návratnosti celého projektu, se energeticky aktivní dům jeví jako velmi dobrá dlouhodobá investice. Ekonomické hledisko je podrobněji rozvedeno v podkapitole 7.1. Dalším z důvodů proč stavět energeticky aktivní dům je vysoký komfort bydlení. Do detailů promyšlená konstrukce umožňuje velký přísun slunečního záření i čerstvého vzduchu a tím poskytuje ideální podmínky ke komfortnímu užívání domu. V budoucnu také může hrát roli nezávislost na fosilních palivech, o které se začíná v současné době diskutovat stále více, a to z důvodu snižujících se celosvětových zásob tohoto zdroje.

Při psaní této bakalářské práce jsem vycházel z ověřených informací obsažených v uvedených zdrojích. Hlavní podklady mé práce tvořily obecné knihy o nízkoenergetických domech a knihy rozebírající využívání obnovitelných zdrojů. Tyto informace jsem doplnil o poznatky z webových stránek specializovaných výrobců technologií využívaných u energeticky aktivních domů.

Po vypracování této rešeršní práce jsem došel k názoru, že energeticky aktivní dům bude hrát v budoucnu stále větší roli ve výstavbě energeticky efektivních domů. Díky vysoké ceně některých technologií si myslím, že by se do budoucna měla pozornost upírat především na snížení těchto cen. Tím by se zvedla cenová dostupnost těchto technologií a tím i atraktivita výstavby energeticky aktivních domů. Pozornost by se také měla věnovat zvyšování účinností u jednotlivých technologií, především solárních panelů, čímž by se ještě podpořila ekonomická výhodnost celého domu.

9. Použitá literatura

1. POČINKOVÁ, Marcela, Danuše ČUPROVÁ a Olga RUBINOVÁ. *Úsporný dům*. Brno: CPress, 2012. Stavíme. ISBN 978-80-264-0014-1.
2. NAGY, Eugen. *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava: Jaga group, 2009. Home. ISBN 978-80-8076-077-9.
3. TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. Praha: Grada, 2008. Stavitel. ISBN 978-80-247-2061-6.
4. TYWONIAK, Jan. *Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další*. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1.
5. SRDEČNÝ, Karel. *Energeticky soběstačný dům - realita či fikce?. 2., aktualiz. vyd.* Praha: EkoWATT, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-103-8.
6. HALLIDAY, David, Robert RESNICK a Jearl WALKER. *Fyzika: vysokoškolská učebnice obecné fyziky*. Brno: VUTIUM, 2000. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 80-214-1868-0.
7. BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. *Alternativní energie pro váš dům*. Brno: ERA, 2003. ISBN 80-86517-59-4.
8. MURTINGER, Karel a Jan TRUXA. *Solární energie pro váš dům*. 2. vyd. Brno: ERA, 2006. 21. století. ISBN 80-7366-076-8.
9. NEUBERGER, Pavel, Daniel ADAMOVSKEÝ a Radomír ADAMOVSKEÝ. *Termomechanika*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1634-8.
10. PASSIPEDIA - *The Passive House – historical review* [online] [cit. 25. 03. 2017]. Dostupné z: https://passipedia.org/basics/the_passive_house_-_historical_review
11. Tepelné čerpadlo vzduch/vzduch princip: Abeceda tepelných čerpadel [online] [cit. 25. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.abeceda-cerpadel.cz/cz/tepelne-cerpadlo-vzduch-vzduch>
12. AVAS ENERGY - *Vertikální větrné elektrárny, větrné elektrárny* [online] [cit. 25. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.wind-systems.eu/vertikalni-vetrne-turbiny-hivawt.php>

13. FORPSI.COM – *Turbína SETUR* [online] [cit. 25. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.mechanikakd.cz/turbina.html>
14. VIESSMANN ČESKÁ REPUBLIKA - *Kogenerace pro decentralizovanou výrobu tepla a elektřiny. Topné, průmyslové a chladicí systémy* [online] [cit. 25. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.viessmann.cz/cs/obytno-budovy/ktery-topny-system/kogeneracni-jednotky-pro-kombinovanou-vyrobu-tepla-a-elektricke-energie.html>
15. MBA – *Vitovator 300-P* [online] [cit. 25. 03. 2017]
Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/inteligentni-budovy/28.php>
16. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb.
17. Vyhláška č.137/2004 Sb., o hygienických požadavcích na stravovací služby a o zásadách osobní a provozní hygieny při činnostech epidemiologicky závažných
18. Vyhláška č.410/2005 Sb., o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých a její novelizace ve vyhlášce č. 343/2009
19. ČSN EN 15665/Z1 *Větrání budov – Stanovení výkonových kritérií pro větrací systémy obytných budov*, ÚNMZ, 2011
20. TREEHUGGER - *Your source for green design & living news, commentary and advice* [online] [cit. 30. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.treehugger.com/green-architecture/passivhaus-precedents-zero-energy-housh-1970s-recognized-award.html>
21. TZB - INFO – *Zpětné získávání tepla a větrání objektů* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/6325-zpetne-ziskavani-tepla-a-vetrani-objektu>
22. BCB PLZEŇ – *Pájené výměníky tepla* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.bcb-plzen.eu/alfalaval/pajene.htm>
23. G-MAR PLUS s.r.o. – *letované výměníky* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.g-mar.cz/letovane-vymeniky/>
24. PASIVNIDOMY - *Centrum pasivního domu* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/vetrani-a-vytapeni/t379?chapterId=1670>

25. TZB - INFO – *Zpětné získávání tepla a větrání objektů* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vetrani-s-rekuperaci/2772-vyuziti-zemnich-vymeniku-tepla-ve-spojzeni-se-zarizenim-pro-bytove-vetrani-a-rekuperaci-tepla>
26. Zemní kapalinový výměník ED-KZ-R. Vzduchotechnika a ventilace [online] [cit. 30. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.vzduchotechnika-eshop.cz/zemni-kapalinovy-vymeni-k-edkzr-p-8341.html>
27. TZB - INFO – *Zpětné získávání tepla a větrání objektů* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/3688-zpetne-ziskavani-tepla-ve-vetrani-a-klimatizaci-ii>
28. EKOENERGIE ALTEC INTERNATIONAL s.r.o. – *tepelné čerpadlo – princip* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://ekoenergie.altec-int.cz/tepelny-cerpadlo-princip-a-funkce.htm>
29. ALTER EKO – *Solární kolektory* [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.alter-eko.cz/energie/solarni-kolektory/solarni-prikklad.php>
30. CZECH RE AGENCY – *Fotovoltaika pro každého* [online]. [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika>
31. SOLÁRNÍ NOVINKY CZ [online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.solarninovinky.cz/index.php?rs=4&rl=2010032102&rm=29>
32. TREEHUGGER - *Your source for green design & living news, commentary and advice* [online] [cit. 30. 03. 2017]. Dostupné z: <http://www.treehugger.com/wind-technology/largest-vertical-axis-wind-turbine-installation-us-operating-texas-m.html>
33. BERANOVSKÝ, J. et. al. *Ekonomika energeticky úsporné výstavby* [Online] [cit. 30. 03. 2017]. Dostupné z: http://www.mpoefekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/4580_ekowatt_ekonomika_energeticky_usporne_vystavby.pdf. ISBN 978-80-87333-10-5
34. ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ - *Aktivní dům* [Online] [cit. 30. 03. 2017].
Dostupné z: <http://www.aktivni-dum.cz/zivotni-prostredi/>