

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra mechaniky a strojnictví



**NÍZKOENERGETICKÉ
A PASIVNÍ DOMY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Vypracovala: Kristýna Davidová

© 2017 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Kristýna Davidová

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Nízkoenergetické a pasivní domy.

Název anglicky

Low energetic and passive houses.

Cíle práce

Vyhodnocení ekonomických a environmentálních efektů vyplývajících z výstavby a využívání nízkoenergetických a pasivních rodinných domů.

Metodika

1. Rešerše o současném stavu řešení problematiky v ČR a v zahraničí.
2. Analýza poznatků z rešerše.
3. Specifikace prognózy dalšího vývoje.
4. Diskuse a závěr.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

stavebnictví; nízkoenergetické domy; pasivní domy; hospodaření s energií; energetická náročnost; energetický faktor

Doporučené zdroje informací

- ČSN EN ISO 50001. Systémy managementu hospodaření s energií – Požadavky s návodem k použití. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012. 40 s. Třídící znak 011501.
- ČSN EN 12831. Tepelné soustavy v budovách – Výpočet tepelného výkonu. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 76 s. Třídící znak 060206.
- ČSN 73 0540-4 Tepelná ochrana budov – Část 4: Výpočtové metody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005. 60 s. Třídící znak 730540.
- DAMAŠKA David. Atlas nízkoenergetických domů. Praha: ABF, a.s., 2002. 144 s. ISBN 80-86165-46-9.
- Inflow: tzbinfo-stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov [online časopis]. 2010 – 2014. Dostupné z <http://www.tzb-info.cz/>. ISSN 1801-4399
- KULHÁNEK František a kol. Nízkoenergetické a pasivní domy – návrh a realizace (software). Praha: Nakladatelství Verlag Dashöfer, 2009.
- TYWONIAK Jan . Nízkoenergetické domy 3. Praha: Grada Publishing, a.s., 2012. 204 s. ISBN 978-80-247-3832-1.
- TYWONIAK Jan . Nízkoenergetické domy – Principy a příklady. Praha: Grada Publishing, a.s., 2005. 200 s. ISBN 978-80-247-1101-X.
-

Předběžný termín obhajoby

2016/17 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Radomír Adamovský, DrSc.

Garantující pracoviště

Katedra mechaniky a strojnictví

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2016

doc. Ing. Pavel Neuberger, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 2. 3. 2016

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 06. 2016

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně, pod vedením prof. Ing. Radomíra Adamovského, DrSc. a uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 2017

.....

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce panu prof. Ing. Radomírovi Adamovskému, DrSc. za odborné vedení, vstřícnost, ochotu a čas, který mi věnoval při zpracování této práce a všem, kteří mi jakýmkoliv způsobem pomáhali s jejím vytvořením.

V Praze 2017

.....

Nízkoenergetické a pasivní domy

Souhrn

Předmětem bakalářské práce je zhodnocení materiálů a zařízení nízkoenergetických a pasivních domů. V jednotlivých kapitolách jsou popsány předpoklady pro tyto stavby a srovnání České republiky se světem. Následují kapitoly popisující druhy materiálů, vrstev izolací a konstrukcí. Následuje část popisující získávání energie, solárních panelů, kotlů na biomasu a tepelných čerpadel. V další kapitole práce popisuje větrací systémy s rekuperací tepla ze vzduchu. V závěru je práce věnována diskuzi.

Klíčová slova: stavitelství; nízkoenergetické domy; pasivní domy; hospodaření s energií; energetická náročnost; energetický faktor

Low energetic and passive houses

Summary

This bachelor thesis is description of materials and device for low energy and passive houses. In each chapter are describes the prerequisites for these building and compared Czech Republic with the world. The next chapter describe type of materials, thickness of isolation and construction. The following chapter is describing obtaining energy from renewable sources, solar panels, biomass boilers and heat pumps. In the next chapter work is describing ventilation systems with heat recovery and air controlled ventilation. In the finally part of the work is devoted to the discussion.

Keywords: Engineering, low energy houses, passive houses, energy management, energy intensity, energy factor

Obsah

1. Úvod.....	14
1.1 Historie nízkoenergetických a pasivních domů	15
2. Současný stav řešené problematiky v ČR a ve světě	16
2.1 Tvary budovy a dispozice	20
2.1.1 Chladné zóny.....	20
2.1.2 Orientace ke světovým stranám	21
2.2 Tepelné mosty	22
2.3 Střechy	24
2.3.1 Šikmé střechy	25
2.3.2 Ploché střechy	25
2.4 Svislé konstrukce	26
2.4.1 Dřevěná konstrukce.....	28
2.5 Otvory ve zdech	32
2.5.1 Okna	32
2.5.1.1 Zasklení.....	33
2.5.1.2 Plastová okna	33
2.5.1.3 Dřevěná okna	34
2.5.2 Dveře.....	34
2.6 Podlaha a stropní konstrukce	35
2.7 Základová deska a spodní stavba	35
2.8 Vytápění.....	35
2.8.1 Moderní zdroje tepla spalující fosilní paliva.....	36
2.8.1.1 Kondenzační plynový kotel.....	36
2.8.1.2 Kotle na pelety	38
2.8.2 Obnovitelné zdroje energie	39
2.8.2.1 Solární kolektory.....	40
2.8.2.2 Tepelná čerpadla	44

2.9 Větrání.....	51
2.9.1 Teplovzdušné cirkulační vytápění s řízeným větráním s rekuperací tepla.....	52
3. Závěr	54
4. Seznam použité literatury.....	56

Seznam obrázků:

Obr. 1 Vliv tvaru objektu na tepelné ztráty	21
Obr. 2 Dispozice objektu vzhledem k morfologii terénu	21
Obr. 3 Porovnání průběhů teplot a parciálních tlaků vodní páry	22
Obr. 4 Metoda tlakového spádu Blower-door test	23
Obr. 5 Procentuální podíl dřevostaveb na pasivních domech v průběhu let	29
Obr. 6 Princip spalování zemního plynu při kondenzačním ohřevu	36
Obr. 7 Ocelový kotel na dřevěné pelety s automaticky čištěným hořákem	39
Obr. 8 Základní rozdělení kolektorů	40
Obr. 9 Konstrukce plochého solárního kolektoru	41
Obr. 10 Vakuový trubicový kolektor	42
Obr. 11 Příčný řez fotovoltaického hybridního kolektoru	43
Obr. 12 Konstrukce vzduchového solárního kolektoru	43
Obr. 13 Získané a přivedené tepelné toky v tepelném čerpadle	44
Obr. 14 Tepelné čerpadlo se zemním vrtem	46
Obr. 15 Zemní vrty – tepelný odpor	46
Obr. 16 Schéma odběru tepla zemní sondou ze zemního masívu	48
Obr. 17 Tepelné čerpadlo země – voda	48
Obr. 18 Průběh teploty a spotřeby tepla v ročním období	50

Obr. 19 Zleva – vnitřní provedení, zprava – vnější provedení	50
Obr. 20 Schéma teplovzdušného systému vytápění a větrání s řízeným provozem	53

Seznam tabulek:

Tab. 1 Porovnání spotřeby na energii na vytápění u jednotlivých typů staveb	14
Tab. 2 Tepelné vlastnosti přijatého konstrukčního řešení	19
Tab. 3 Ekvivalentní emise CO ₂ a svázané energie hlavních stavebních materiálů	30
Tab. 4 Celkové svázané energie pro varianty A-D	31
Tab. 5 Celkové ekvivalentní emise CO ₂ pro varianty A-D	31
Tab. 6 Teoretické využití latentního tepla	37
Tab. 7 Základní vlastnosti pelet	38
Tab. 8 Faktor produkce emisí energetických medií a energetické přeměny	40
Tab. 9 Energie zemského masivu	45
Tab. 10 Vlastnosti podloží a měrný tepelný tok	49

1. Úvod

V této bakalářské práci je popsáno, co si lze představit pod pojmem nízkoenergetický a pasivní dům. V dnešní době se často řeší otázka, zda investovat do moderních domů, které vám šetří čas a peníze.

Všechny nové objekty od roku 2020 se budou muset stavět s energetickou spotřebou blízkou nule. Podle novelizované směrnice Evropské unie budou muset splňovat kritéria pro nízkoenergetické domy. [1]

Evropský parlament očekává, že v souladu s Kjótským protokolem o změně klimatu dojde v souladu s dlouhodobým závazkem k udržení celosvětového růstu teploty o méně než 2 °C do roku 2020. Tím by došlo k celkovému snížení emisí skleníkových plynů nejméně o 20 % oproti roku 1990. [1] Z tohoto důvodu se koncept pasivního domu ukázal jako velmi slibné řešení ohledně snižování energetické náročnosti budov.

Cílem projektu nízkoenergetického a pasivního domu je dosáhnout zlepšení kvality vzduchu v obytném prostoru a tepelného komfortu při minimální energetické náročnosti a nákladech. [2] Koncept nízkoenergetických a pasivních domů je založen na pěti základních principech, které musejí být dodrženy. Jsou to odpovídající tepelná izolace, vzduchotěsnost, tepelně izolační vlastnosti oken, minimalizace tepelných mostů a ventilační systém s rekuperací tepla. [3]

TYP STAVBY	SPOTŘEBA ENERGIE NA VYTÁPĚNÍ
STARŠÍ VÝSTAVBA	225 kW/m ² /rok
NOVOSTAVBA DLE ČSN 73 05 40	100 kW/m ² /rok
ENERGETICKY ÚSPORNÉ DOMY	72 kW/m ² /rok
NÍZKOENERGETICKÉ DOMY	50 kW/m ² /rok
PASIVNÍ DOMY	15 kW/m ² /rok
NULOVÉ DOMY	0-5 kW/m ² /rok
PLUSOVÉ DOMY	Přebytek energie – vydávají teplo

Tab. 1 Porovnání spotřeby na energii na vytápění u jednotlivých typů staveb [4]

Domy s nižší energetickou spotřebou se rozdělují do několika typů. Podle tab. 1 je zřejmé, kde se naše stavba pohybuje ve spotřebě energie na vytápění. Základem hodnocení spotřeby energie je energetický štítek, kde se dům hodnotí podle stupně tepelné náročnosti. Nulové domy mají bilanci okolo 0 kW/m²/rok viz tab. 1, jsou konstrukčně řešeny jako pasivní stavby, kdy v letním období je přebytek a dodávají ho do akumulátoru. V zimním období zase čerpají z akumulátoru. U plusových staveb je to jiné než u ostatních staveb. U spotřeby energie na vytápění máme vždy přebytek energie, která je prodávána do sítě. [5]

1.1 Historie nízkoenergetických a pasivních domů

První nízkoenergetické domy byly stavěny v Německu již v sedmdesátých letech dvacátého století v souvislosti s energetickou a ropnou krizí. [6]

V této době se začal řešit problém ohledně snížení energetické spotřeby budov. Později se nízkoenergetické stavby rozšířily do Rakouska, Švýcarska a mnoha dalších zemí, mimo jiné i do České republiky. [6]

V České republice se začaly stavět po roce 1989. Dnes jich na území České republiky může stát okolo tisíce. Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, od roku 2020 bude povinnost stavět na celém území České republiky všechny nové objekty v nízkoenergetickém provedení. Například v Horním Rakousku již od 1. 1. 2008 musejí všechny nové objekty splňovat kritéria pro nízkoenergetické domy. Vyšší energetickou náročnost, než je u nízkoenergetického domu mít nesmějí. [6]

První zmínky a diskuze o pasivních domech proběhly v roce 1988 na Univerzitě Lund ve Švédsku mezi Dr. Wolfgangem Feistem s prof. Bo Adamsonem. Později v roce 1990 v Německu byl zafinancován výzkumný projekt s názvem „Pasivní domy“. V roce 1991 byl dokončen první pasivní dům. [7] Wolfgang Feist byl v čele institutu pasivního domu, který sídlil ve městě Darmstad v Německu. Institut v roce 2007 vypal program, který se zabývá energetické náročnosti pasivního domu. Software je stále aktualizován díky novým poznatkům ze simulace, měření a výzkumných projektů. Česká verze program vychází v německém modelu a jsou do ní vloženy klimatické podmínky z českého prostředí. Z tohoto programu byly vytvořeny podmínky s názvem „Passivhaus standard“. [8]

2. Současný stav řešené problematiky v ČR a ve světě

V zemích s chladnějším klimatem jsou předpisy velmi často odlišné. Musíme si uvědomit, že v těchto zemích jsou daleko problematictější povětrnostní podmínky než u nás. V Norsku se používají stejná kritéria jako v původním pasivním standardu v Německu. [9]

Na rozdíl od Norska je ve Švédsku platná norma, která má jiné požadavky na topný výkon, které jsou od 10 do 14 W/m². Pro přirozené větrání je hodnota n50 = 0,3 l/s [m²]. Autor uvádí, že v místnosti o výšce 2,5 m se rychlost výměny vzduchu rovná 0,43 l/h. [9]

Ve Finsku jsou kritéria a požadavky na pasivní standard jiné a méně striktní. Tato země je rozdělena do tří zón s jinými teplotními podmínkami. Severní část, jižní pobřeží a střední část. Na jižním pobřeží by hodnota spotřeby energie na vytápění neměla převýšit 20 kWh/m²/rok. Ve střední a severní části země může být požadavek na teplo a primární energie vyšší než 5 kWh/m²/rok. Pro přirozené větrání autor uvádí hodnotu pro výměnu vzduchu 0,5 l/h. [9] Národní stavební zákon Finska ohlašuje pravidla pro každou novou stavbu. Hodnoty „U“ pro vnější zdi 0,17 W/m²K, střecha a strop 0,09 W/m²K, podlaha nad terénem 0,17 W/m²K a okna 1,0 W/m²K. Z toho vyplývá, že každý nově postavený objekt musí dodržovat stejné požadavky jako jsou ve střední Evropě. Součinitel prostupu tepla, U-hodnota vyjadřuje, kolik tepla unikne konstrukcí při ploše 1 m² při rozdílu teplot jejich povrchů.

Mezi dalšími požadavky, které autor uvádí je povinná vzduchotěsnost (q = 50) při 2 m³/m²h, v místnosti o výšce 2,5 m je n50 = 0,8 l/h. Tyto hodnoty jsou stejné jako u německého pasivního standardu. Pouze v zeměpisných šířkách nad 60° severní šířky není možné splňovat u pasivního standardu tyto podmínky. [10]

Musí být přihlédnuto k tamním klimatickým podmínkám. Co se týká zasklení a orientace oken, zasklení směřující na jih by mělo činit z celkové podlahové plochy budovy okolo 5–12 %. Okna musejí mít trojí zasklení a velmi dobře izolované rámy. [11] Musejí mít tedy nízkou hodnotu U, která může být dosažena pouze trojsklem. [12] Stavebním materiálem v pasivním standardu může být například kámen, cihla, beton a keramické dlaždice protože tyto materiály akumulují teplo a velmi pomalu ho zase ztrácejí. [13]

Ve Finsku se během zimního období objeví sluneční záření jen málokdy. Z tohoto důvodu musíme dbát zejména na zateplení obvodového pláště budovy. Aby byly splněny

požadavky na energetickou náročnost budov, U-hodnoty jsou ve Finsku mnohem nižší. Tloušťka izolace v pasivním domu bude pro stěny 500-600 mm, pro podlahy 400 mm a pro střechy 700-800 mm. [12]

Velká pozornost by měla být věnována zateplení podlahových konstrukcí, protože zámrazná hloubka ve Finsku je do 1,5 m a v Laponsku je až do 2,5 m. [12]

Jako všude jinde na světě je největší výskyt tepelných mostů především v rozích konstrukce a na hranách. Proto „Passivhaus Standard“, uvádí požadavky na koeficient tepelného prostupu ψ by neměl překročit 0,01 W/(mK). [14]

Jedna z nejdůležitějších vlastností pasivního domu je vzduchotěsnost. Hodnota vzduchotěsnosti říká dle „Passivhaus Standard“, že únik vzduchu $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$. Z toho vyplývá, že vzduch v místnosti se vymění 0,6 krát za hodinu pod nebo při tlaku $p = 50 \text{ Pa}$. [14]

Ventilační systém podle „Passivhaus Standard“ musí mít účinnost rekuperační jednotky alespoň 70 % nebo i vyšší. Vzhledem k tomu, že ve Finsku jsou teploty nižší, riskuje se, že rekuperace tepla může selhat. Jedna z možností, jak tomu zabránit, je zvýšení venkovní teploty vzduchu před vstupem do výměníku tepla. Předehřev se provádí buď pasivně, pomocí výměníku tepla v půdě (systém zemní smyčky), nebo aktivně, pomocí topné spirály. [12] Teplota by neměla být vyšší jak $-4 \text{ }^\circ\text{C}$, jinak by došlo k zamrznutí rekuperační jednotky. [15] Podle „Passivhaus Standard“ by měla být výměna vzduchu 0,3 až 0,4 násobkem objemu místnosti za hodinu. [16]

K nejčastějšímu získání energie z obnovitelných zdrojů slouží biomasa, palivové dříví, pelety a dřevní štěpka. Jednou z největších výhod Finska je množství zdrojů a malá přepravní vzdálenost zdroje energie. Solární kolektory, které se využívají ve střední a jižní Evropě, jsou použitelné pouze na jihu Finska, a to i přesto, že v zimním období mají vzhledem ke krátkému slunečnímu svitu nízký výkon. V severním Finsku se tento zdroj energie nedá vůbec využít, protože v zimním období tam slunce nesvítí několik měsíců. [16]

Podle „Passivhaus Standard“ musí být větrací systém vybaven rekuperační jednotkou, u které musí být záložní systém pro ohřev ventilačního vzduchu. Pasivní solární zisky jsou v pasivním domě obvykle dosaženy prostřednictvím solárních zisků (40-60 %), vnitřní

tepelné zisky (20-30 %) a zbytek (10-40%), musí být dosažen z pomocného vytápění. [16] K získání energie z obnovitelných zdrojů jsou pro tento systém vhodné biomasa, elektřina a plyn. Tepelné ztráty vzniklé ventilací je nutno kompenzovat vytápěním. Je třeba vzít v úvahu ventilační ztráty, kde teplota přiváděného vzduchu je určena vytápěním a omezena na 50 °C. V letním období, kdy je topné těleso vypnuto, by měla teplota přiváděného vzduchu být kolem 17 °C. [15]

Pro nároky pasivního domu vyhovuje systém podlahového topení, neboť využívá nízkou teplotu teplotonosného média k vytápění podlahové plochy. Podlahová otopná plocha umístěna pod nášlapnou vrstvou, předchází rizikům průvanu a drží přijatelnou teplotu vertikálního stoupání. Dokonalý tepelný komfort zajišťuje tepelný systém kombinující sálání a proudění. [17] Teplovodní podlahové vytápění je mnohem využitelnější v případě, kdy by uživatel využíval zdroj energie pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Distribuční teploty v podlahovém systému jsou okolo 30 až 45 °C, kdy je povrch podlahy vytápěn na teplotu 26 °C. [18] Ideálním zemním zdrojem této otopné soustavy je tepelné čerpadlo.

Další alternativa pro vytápění jsou kotle na pelety. [17] Peletové kotle můžeme použít v pasivním domě i pro ohřev teplé užitkové vody. Přibližný tepelný výkon 3kW je dostatečný pro ohřev teplé vody v pasivním domě. [16]

Požadavky na „Passivhaus Standard“ byly vytvořené a realizované v teplejším podnebí, než je ve Finsku, ale praxe ukazuje, že je možné stavět a používat těchto technik i v chladných podmínkách Skandinávie. Studie a výzkum ukázaly, že návratnost investovaných peněz do nízkoenergetických a pasivních domů je maximálně do 6 let. [19]

Na rozdíl od severovýchodních zemí mají v Portugalsku k stavbám nízkoenergetických a pasivních domů příznivější podmínky. Obvodové zdivo je tvořeno převážně z dvojité duté jílové cihly s vnitřní izolací. Tato metoda je používána pro odstranění tepelných mostů. Celková spotřebovaná energie za vytápění, ohřev vody a elektřinu nesmí překročit 120 kWh/m² za rok. Pokud jde o vzduchotěsnost, rychlost výměny vzduchu je 0,6 h⁻¹ a maximální hodnota je 1,2 h⁻¹ při 50 Pa. Tepelný komfort musí být dodržen ve všech obytných místnostech v letním i zimním období. Nesmí být překročena hodnota 25 °C. [20] [21]

Nejvíce prosklených ploch je orientováno na jihozápad k optimalizaci solárních zisků. Více efektivní je však stínící technika, která zabraňuje k přehřátí v letním období. Stínící systémy musí umožňovat vstup přirozeného světla do v interiéru ve výši 30 % z celkové okenní plochy. Systém protisluneční ochrany je nezbytný, aby se minimalizovalo přehřátí objektu. [3]

Obvodové stěny budovy jsou složeny převážně z kovových modulových systémových prvků, které jsou pečlivě navrženy a podrobně nainstalovány tak, aby se minimalizovaly ztráty energie. Tloušťka tepelné izolace v obvodových stěnách je 100-120 mm, to samé platí i pro střechy (21). Tab. 2 nám ukazuje základní vlastnosti materiálů pro obvodové zdivo, podlahu nad terénem a pro střešní systém. [3]

Prvky	Tl. Izolace [mm]	U-Hodnota [W/m ² K]	Hustota [kg/m ³]
Podlaha nad terénem	30	0,78	919,5
Obvodová zeď	60	0,33	31,6
Plochá střecha	50	0,36	8,9

Tab. 2 Tepelné vlastnosti přijatého konstrukčního řešení [3]

Okna jsou vyrobena z PVC rámu ($U_{\text{rámu}} = 2.00 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) s dvojitým či trojitým zasklením ($U_{\text{skla}} = 1,30 \text{ W/m}^2 \text{ K}$). Skládají se z vnější zasklené výplně o tloušťce 6 mm, 14 mm dělicí příčky vzduchu a druhé zasklené výplně o tloušťce 5 mm. Vstupní dveře ($U_{\text{dveří}} = 1,40 \text{ W/m}^2 \text{ K}$) se skládají ze 3 mm PVC, 19 mm střední dřevovláknité desky a z 1,5 mm silného hliníku. Hodnota požadavku na chlazení je 6,6 kWh/m². [21]

Portugalsko je rozděleno do několika oblastí s různými klimatickými podmínkami, stejně jako Finsko. Průměrná celoroční teplota Portugalska je okolo 22 °C. Například hlavní město Faro portugalského regionu Algarve na jižním pobřeží Portugalska, potřebuje menší tloušťku izolace v souladu s limity energie, díky vyšším venkovním teplotám. Pro regiony Coimbra Évora a Faro, potřebují dvojitě zasklení a zateplení o tloušťce 35-60 mm pro obvodové stěny a střechy. Pokud jde o oblasti Bragança a lisabonské regiony, vyžadují trojí zasklení a 100-120 mm tloušťky izolace pro obvodové stěny a střechy. Region Oporto

vyžaduje dvojité zasklení a 68-80 mm tloušťky tepelné izolace pro obvodové zdivo a střechu k dosažení pasivního standardu. [23]

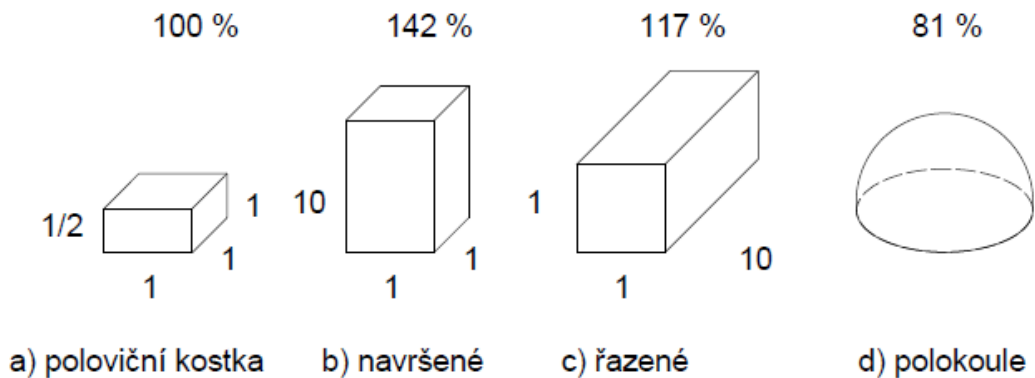
Viorel Badescu a Nicolae Rotar zpracovali studii o provádění staveb pasivních domů v Rumunsku. Tato studie byla srovnána s klimatickými podmínkami Německa. Poté autoři dospěli k závěru, že mohou použít stejně přípustná řešení dané problematiky na bázi německého konceptu pasivního domu. [24]

2.1 Tvary budovy a dispozice

V dnešní době je velmi moderní mít asymetrické domy, vikýře či arkýře. Ideální tvar pro pasivní či nízkoenergetický dům je, však co nejjednodušší a nejkompaktnější, bez jakýchkoliv výstupků. Z toho vyplývá, že nejideálnějším tvarem je koule, což je nerealizovatelné i nepraktické. Nejlepší tvar proto bude krychle nebo ležatý kvádr, kde bude jeho delší strana orientovaná k jihu. Dispozice je zohledněná vůči světovým stranám kvůli tepelným zónám. Na osluněné strany jsou umístěné obytné místnosti, kdežto komunikace, úložné prostory, šatny, vstupní partie jsou orientované na odvrácenou stranu. Sociální zařízení by měla být nad sebou a nejlépe s použitím jedné stoupačky. Garáž, suterén, zimní zahrada, doplňkové prostory, jsou tepelnou izolací oddělené. Celá obálka domu musí mít silnou vrstvu tepelné izolace a musíme se vyvarovat tepelných mostů. [5]

2.1.1 Chladné zóny

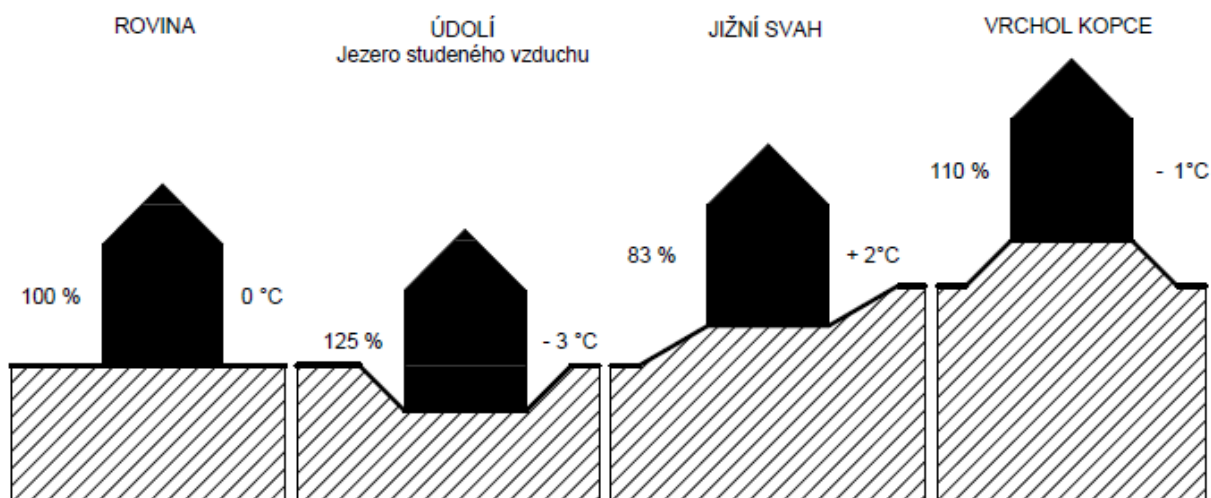
Na severní stranu umísťujeme místnosti s dispozicí na pasivní využití solární energie, eliminujeme tepelné mosty a materiály na výstavbu navrhujeme obnovitelné na znovuzpracování. Z obr. 1 je vidět jaký tvar vyhovuje nejlépe. Velikost ochlazovaných povrchů bez základové plochy při totožném objemu staveb je uvedená v %. [5]



Obr. 1 Vliv tvaru objektu na tepelné ztráty [25]

2.1.2 Orientace ke světovým stranám

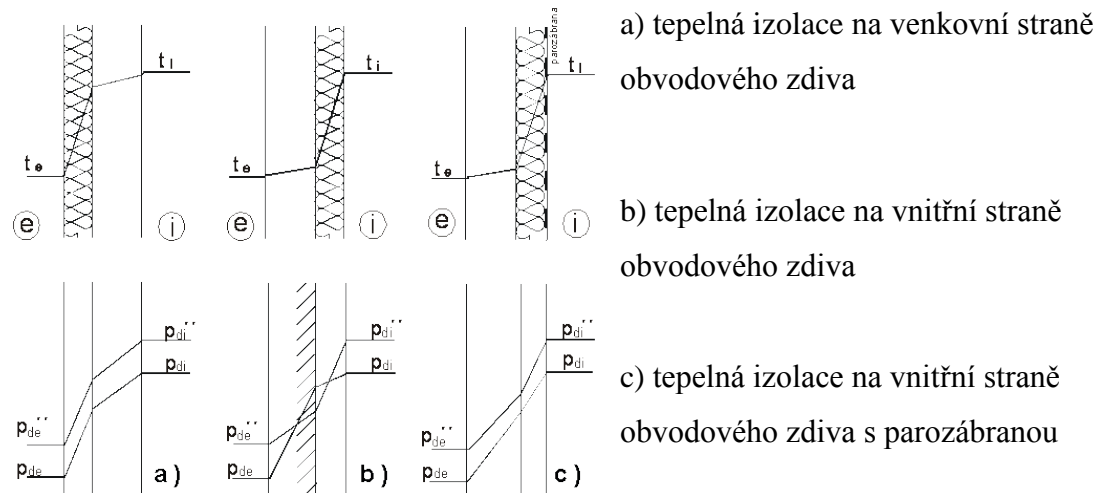
Významný vliv na tepelné ztráty stavby má orientace ke světovým stranám. Obývací pokoj by měl směřovat na západ, jihozápad nebo na jih. Dětské pokoje a jídelna by měly být orientovány na jihozápad, jih nebo jihovýchod. Koupelna a kuchyně by měli směřovat na západ, severozápad či sever. Na jih, jihovýchod nebo východ by měla být situována ložnice. Na východ, severovýchod nebo sever WC. Příslušenství na jihovýchod, východ nebo severovýchod. Úložné prostory na západ, sever či východ a vstup by měl být orientován na sever nebo východ. Dům lze při dodržení správného zónování vnitřní dispozice z části zapustit i pod úroveň svahovitého terénu, viz obr. 2. [5]



Obr. 2 Dispozice objektu vzhledem k morfologii terénu [25]

2.2 Tepelné mosty

Tepelný most je místo v konstrukci, kde dochází k zvýšenému teplotnímu toku. V interiéru má chladnější povrch a v exteriéru má teplejší povrch. [26]



Obr. 3 Porovnání průběhů teplot a parciálních tlaků vodní páry [27]

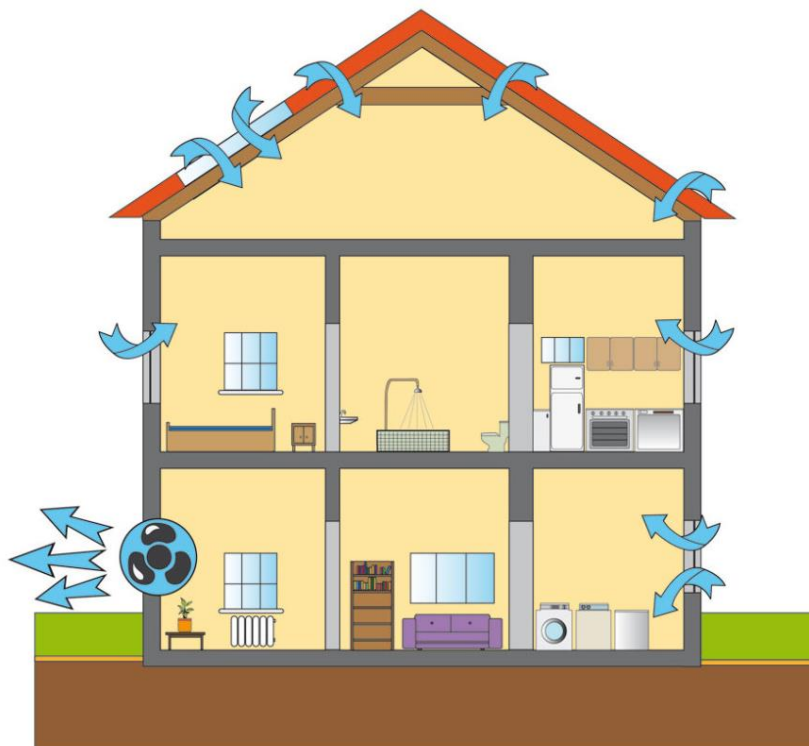
Na obr. 3 je znázorněn průběh parciálních tlaků vodní páry p_d a teploty t , která se mění v položení tepelné izolace na obvodovém zdivu. Z obrázku je zřejmé, že t_i je teplota interiéru a t_e teplota exteriéru. Prostup tepla obvodovým pláštěm vyjadřujeme součinitelem prostupu tepla U (což je obrácená hodnota R – „tepelného odporu“). S menší hodnotou součinitele prostupu tepla je spotřebováno méně energie. Této hodnoty je dosahováno dostatečnou vrstvou tepelné izolace, ideálně bez tepelných mostů. [5]

V zimním období se musí zajistit, aby v exteriéru povrchová teplota neklesla pod teplotu rosného bodu, která je při obvyklých podmínkách okolo 12-13 °C. [5] Rosný bod je teplota, při které je relativní vlhkost vzduchu $\varphi=1,0$. Pokud je teplota nižší, vytváří se mlha neboli kondenzace. [28] Pokud je aktuální teplota nižší než teplota rosného bodu, nastává kondenzace vodních par. Z toho vyplývá, že nejcitlivějším místem se stává nadpraží oken, koupelny a také rohy staveb. Z toho plyne důležitost konstrukčních detailů, aby se zabránilo tepelným mostům. [5]

Pro měření netěsností se používá metoda tlakového spádu tzv. blower-door test. „Technické parametry a postup udává ČSN EN 13 829 Tepelné chování budov – Stanovení průvzdušnosti budov – Tlaková metoda ČSN 2001 (5).“ Tato norma stanovuje dva typy, které rozlišujeme na metodu „A“ a „B“. [5]

Test „A“ se používá až po dokončení stavby a ověřuje se jím test „B“, který se používá u rozestavěné stavby. Při metodě „B“ je zapotřebí zatěsnit technologické průduchy (kouřovody, kanalizace, vzduchotechnika atd.), které budou uzavřeny v dokončené stavbě. Jsou-li v průběhu testu objeveny netěsnosti, přestože je celá obálka budovy dokončena, lze vady v průběhu testu i opravit. Před provedením testu je třeba budovu připravit, a to tak, že se využijí speciální těsnicí prostředky (dočasné lepicí pásky, zátky, folie, vakuové uzávěry), aby byly uzavřeny otvory TZB a vyloučily se jejich netěsnosti. Obr. 4 nám jasně ukazuje průběh testu. [29]

Při metodě „A“ se uzavírá technologické zařízení (uzavřením komínových tahů, zalití vodních uzávěrů, uzavření klapek vzduchotechniky atd.). Tato metoda je v porovnání s druhou metodou jednodušší a kratší. Měření metodou „B“ je tedy důležitější. [29]



Obr. 4 Metoda tlakového spádu Blower-door test [30]

2.3 Střechy

„Doporučené normové hodnoty součinitele prostupu tepla jsou uvedeny v ČSN 73 0540–2. Tepelná ochrana budov v platném znění.“. [5] Tato norma má požadavky pro ploché střechy i pro šikmé střechy do sklonu 45 °, také pro konstrukce podlah nad terénem, které jsou vytápěné. Stanovuje pro střechy nízkoenergetické maximální hodnotu součinitele tepla 0,16 W.m⁻².K⁻¹. Pro pasivní domy je to 0,10 W.m⁻².K⁻¹. [5]

Podle konstrukce se rozdělují střechy na jednoplášťové, dvouplášťové a víceplášťové. Jednoplášťová střecha je ta, která odděluje chráněný interiér od exteriéru jedním střešním pláštěm. Oproti tomu dvouplášťová střecha má oba dva pláště odděleny vzduchovou mezerou nebo větraným půdním prostorem. Větraná mezera musí být vždy chráněna proti hlodavcům, hmyzu a škůdcům. Také musí být odolná proti větru, sněhu a dešti. Bezpečnější je mít střechu dvou nebo víceplášťovou, přestože je její stavba vzhledem ke konstrukčním detailům náročnější (vikýře, úžlabí, střešní okna). [5]

Střechy se dále rozdělují podle sklonu na ploché a šikmé. Mezníkem podle technické normy ČSN 73 0019 je spád 5 °. [5]

Nejdůležitější pro ochranu budovy je tepelná obálka domu. Proto u střešní konstrukce dbáme na dostatečnou vrstvu tepelné izolace. Důvodem jsou velké teplotní rozdíly mezi interiérem a exteriérem hlavně v zimním období. [5]

Z tohoto důvodu je nejvhodnější stavba ploché či pultové střechy. Lze uvažovat ještě o jednoduché sedlové střeše. Jakékoliv komplikovanější tvary by mohly způsobit technické problémy, například tepelnou ztrátu atd. Z tohoto důvodu jsou střechy stanové, valbové, polovalbové nebo mansardové naprosto špatným výběrem. [5]

Často využívaná jsou střešní okna, která zajišťují lepší osvětlení podkrovních místností. Lepší variantou vzhledem k odstranění tepelných mostů by byly vikýře, ale další složitější tvar budovy zase zhoršuje její bilanci tepelných ztrát. [5]

U nízkoenergetických domů by měla být tloušťka tepelné izolace ve střešní konstrukci cca 300-350 mm. U pasivních domů je posílená tloušťka izolace cca 500-600 mm tepelné izolace. [5]

2.3.1 Šikmé střechy

U šikmých střech nízkoenergetických zděných domů či dřevostaveb by se použily krokve profilu 80/240 mm, které mají pozitivní vliv na výsledný součinitel prostupu tepla. Na ztužení je vhodné použití OSB desky na pero a drážku, která zároveň splňuje pojistnou hydroizolaci. Minerální vlna s větrovou zábranou se vloží mezi krokve o tloušťce 150 mm a pod krokve se instaluje další vrstva minerální vlny nebo polystyrénu o tloušťce 200 mm. Následně jsou použity latě a kontra latě se střešní krytinou. V interiéru skladby střechy je parozábrana ze sádkartonu. [5]

Pro pasivní domy se aplikuje stejná skladba střechy s tím, že se z krokve stávají jednoduché přímopasové nosníky a tloušťka tepelné izolace bude vyšší. [5]

2.3.2 Ploché střechy

Ploché střechy se dělí podle funkce na nepochůzná a pochůzná neboli provozní střechy. Také se rozdělují podle počtu pláštíků jako u šikmých střech. [5]

Podle konstrukce se dělí na klasické pořadí vrstev, kde je na spádové vrstvě nosné konstrukce položena tepelná izolace s ochrannou vrstvou pod parozábranou a hydroizolací. Poslední ochrannou vrstvou je dlažba na podložkách. [5]

Další druh střechy je s obráceným pořadím vrstev, kde je tepelná izolace chráněna ochrannou vrstvou a je v nenasákavém prostředí. Dále na spádovou vrstvu je položena hydroizolace. [5]

Zelená střecha neboli vegetační střecha je velmi známým typem střech již od 9. století př. n. l. v Babylónu a Asýrii. Dělíme jí na extenzivní (občasně pochozí) s tloušťkou vrstvy 50-250 mm, kde by byly zasezeny suchomilné rostliny a traviny. Na intenzivní s tloušťkou vrstvy až 1000 mm, osazenou trávničkem, stromy a keři. U intenzivní střechy musí být závlahový systém, extenzivní střecha si vystačí se srážkami. Skladba těchto střech je v tomto pořadí – vegetační a separační vrstva, hydroakumulační, filtrační, drenážní, separační a dilatační vrstva s ochranou proti prorůstání kořínků. Hydroizolační systém musí mít spád 2 ° a dále musí být vytažena nad úroveň zelené střechy hydroizolace minimálně 150 mm. [5]

Volba hydroizolace je velmi důležitá pro ploché střechy, protože je to nejdůležitější vrstva celé skladby. Nejčastější typ hydroizolace jsou těžké asfaltové pásy s vnitřní nosnou vložkou tloušťky 5 mm, nebo fólie tloušťky 2 mm, které mohou být náročnější na technologické provedení a také mají vysokou průtažnost. [5]

Vhodná krytina je z cementovláknité šablony a vlnovky, zinkového plechu a lehčího typu pálených tašek. Varianta použití zateplených dřevěných střešních prefabrikovaných panelů s integrovanými slunečními kolektory je u nás z finančních důvodů méně používaná. Nevhodná je betonová krytina, která v letním období akumuluje teplo s fázovým posunem. [5]

2.4 Svislé konstrukce

Svislé konstrukce se rozdělují do dvou kategorií: nosné a nenosné konstrukce. Nosné konstrukce přenášejí veškeré zatížení do základů a ze základů, pak dále do podloží. Tyto konstrukce zajišťují stabilitu budovy. Naopak nenosné konstrukce nic nepřenášejí a jsou nesené nosnými konstrukcemi. Pod nosnými konstrukcemi se dá představit obvodové zdivo, ale i vnitřní zdivo, například schodišťové stěny, pilíře nebo sloupy. Nenosné zdivo je například vnitřní příčka. [31]

Pro lehčí konstrukce (dřevostavby) nízkoenergetických domů jsou maximální hodnoty součinitele prostupu tepla $0,2 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a pro těžší konstrukce (zděné stavby) jsou maximální hodnoty $0,25 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$. To je pro konstrukce vnějších čili obvodových zdí. U nepodsklepené části domu, tedy podlaha, která leží na terénu a je přilehlá k zemině. Maximální hodnotou součinitele prostupu tepla $0,4 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$, u toho si můžeme představit tloušťku tepelné izolace okolo 120-150 mm. V obvodových stěnách musí být tepelná izolace tloušťky 200-250 mm. Pro pasivní domy platí stejná pravidla a podmínky jako pro nízkoenergetické stavby. Pro obvodové konstrukce jsou hodnoty součinitele prostupu tepla $0,15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$ a tato hodnota nesmí být překročena. V obvodových stěnách musí být tepelná izolace tloušťky 300-400 mm. [5]

V České republice je velmi používaný a zároveň velmi oblíbený materiál z dutinových cihelných tvárnic spojovaných na pero a drážku typu „therm“. Tento materiál má velké nevýhody pro stavbu energeticky úsporných domů. [5]

Nevýhody:

- velká zátěž pro ekologii – při výrobě vypalování v pecích
- časté problémy s tepelnými mosty v místě věnců a překladů
- nízká akumulace tepla
- rozdílná tepelná vodivost ve svislém a horizontálním směru
- malý tepelný výkon se zbytečnou velkou tloušťkou zdiva
- velmi křehké
- technologicky náročné
- nedosahující funkce vzduchotěsnosti

Dalším velmi oblíbeným materiálem jsou pórobetonové/plynosilikátové tvárnice. U nich můžeme také najít spoustu nedostatků. [5]

Nevýhody:

- velká nasákavost
- vlhkost je integrována již z výroby
- používání neekologický hliníkový prášek pro vypěnění
- nízká akumulace tepla kvůli nízké hmotnosti materiálu
- technologicky velmi náročné na provádění
- menší tepelný výkon se zbytečnou tloušťkou zdiva

Proto se raději volí vhodnější alternativy materiálu, například vápenopískové bloky, betonové skořepinové tvárnice a tvárnice z keramzitu. [5]

Skvělou akumulaci tepla může nabídnout tvárnice z vápenopískových bloků, u stavby do dvou podlaží vystačí tloušťka 150-170 mm. Bloky jsou z vápna a písku. U této tvárnice pak musíme dodat tepelnou izolaci, kdy materiál může být z minerální vlny. Vlna se musí buď mechanicky kotvit nebo lepit. Dalším materiálem tepelné izolace může být polystyrén. Buď bílý nebo šedivý, který má díky obsahu grafitu o 20 % lepší tepelné vlastnosti než bílý polystyrén. Tyto druhy polystyrénů jsou běžně lepeny na připravený a srovnaný podklad. V Německu je velmi rozšířený jednovrstvý masivní tvárniceový zdící systém, který je přesně určen pro nízkoenergetické a pasivní domy. Tvárnice je již ve výrobě složena ze

dvou částí, první část je tvořena z vápenopískového nebo pěnasilikátového jádra tloušťky 200 mm a druhé části z izolační vrstvy z lehkého plynosilikátu s tloušťkou dle použití. Obě dvě části jsou k sobě přilepeny. Tyto tvárnice se na stavbě k sobě lepí na vlasové spáry. Zatepluje se tepelnou izolací vždy z exteriéru nikoliv v interiéru, z důvodů většího rizika tepelných mostů. [5]

Nelze opomenout problém s akustikou, kdy stěny musí splňovat zvukovou neprůzvučnost na zvuk šířený v konstrukci. [5]

2.4.1 Dřevěná konstrukce

Dřevostavba je dnes velmi rozšířená stavba nejen pro nízkoenergetické a pasivní domy. Dnes celkem z 3 492 pasivních domů, které jsou od roku 1991 registrovány v databázi pasivních domů, jich je 1 479, což je 42 %, tvoří dřevostavby. Kdyby se k tomu připočítaly smíšené konstrukce, zjistilo by se, že 55 % pasivních domů má ve vnější obálce domu dřevo. Na obr. 5 je vidět procentní podíl již od roku 1997. [32]

Nosná složka dřevostavby je vždy vícevrstvá konstrukce. Nejpoužívanější nosné konstrukce jsou buď skeletové lehké stavby, stavby z dřevěných vrstvených desek nebo roubené stavby. Dále se rozdělují podle způsobu na prefabrikované, nejčastěji panelové nebo monolitické, které se vytvoří přímo na staveništi. [5]

Přednost je dávana na bezpečnější, difuzně otevřenou konstrukci, což znamená, že odpor dílčích vrstev klesá vůči průchodu vodních par, které směřují k exteriéru. Jsou vybaveny parobrzdou na vnitřním líci, na rozdíl od náročnější parozábrany. [5]

Otevřené systémy jsou vždy dražší než systémy uzavřené. Kdyby byly porovnávány oba dva systémy, bylo by zjištěno, že u otevřených systémů je skladba konstrukcí náročnější, stejně tak jsou náročnější i konstrukční detaily. [5]

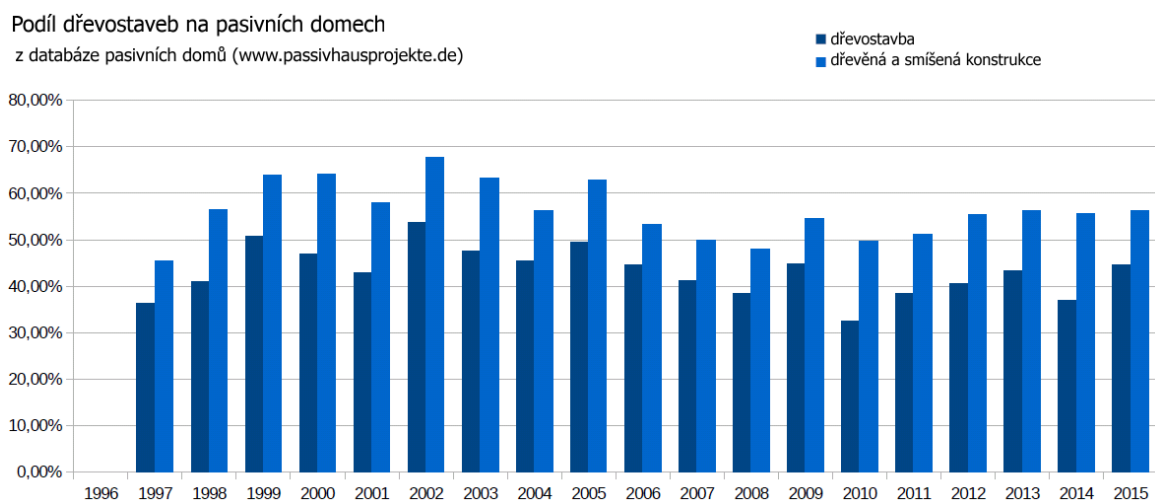
V případě nízkoenergetických a pasivních domů běžně nosnou stěnu (sendvičovou) konstrukci z lehkého skeletu utváří dřevěné rámy, z příčníků a sloupků. Ty mohou být z fošnového nebo složeného profilu vyplněného tepelnou izolací, která je z dřevovláknitých desek, minerální vlny nebo dokonce i ze slámy. [5]

První pasivní domy byly zděné a těžké konstrukce, proto se tedy výzkum zaměřil na dřevostavby, u kterých by bylo možné realizovat tloušťku tepelné izolace 300-400 mm.

[32] Je to stále velmi neobvyklé i nyní. Dnes se používají lehké desky z dřevěné vlny, jako je např. heraklit o tloušťce až do 200 mm. Tato deska se využívá jako podklad pod omítku, která se přimontuje přímo na dřevěné stojky. Součinitel tepelné vodivosti desky je 0,040 W/(m.K). Při použití dřevovláknité desky tloušťky 80-120 mm z vnější strany a plnostěnných dřevěných stojek o tloušťce 180-240 mm, je možno dosáhnout dřevěné stěny se součinitelem prostupu tepla 0,10-0,015 W/m².K, který je požadovaný pro pasivní domy. Díky velké tloušťce dutin se spíše ujalо hospodárnější řešení foukané tepelné izolace, zejména celulózy než minerální vlny. Dnes je dostupná hodnota tepelné vodivosti celulózy i 0,032 W/(m.K), ale spíše se ustálila na hodnotě 0,040 W/(m.K). Díky větší objemové hmotnosti je možné poskytnout lepší ochranu proti hluku a letnímu přehřívání. Hlavně díky relativně vysoké absorpční schopnosti se výborně hodí pro difuzně otevřené konstrukce. [5]

Podle evropské normy DIN EN 12524 se tepelnětechnická anizotropie dřeva a dřevěných materiálů musí vynásobit hodnotou λ_R činitelem 2,2. Pro dýhované a OSB desky je to 0,13 W/(m.K). Díky měření na univerzitě Kaiserslautern se v té době potvrdilo díky prof. Heinrichovi, že činitel 2,2 je oprávněný. Z toho plyne, že by se mělo vždy v případě tepelného toku v rovině desky počítat s 2,2 násobkem výchozí hodnoty. [5]

Pro ochranu proti hluku se lehké dřevěné stěny izolují izolantem o tloušťce 80-100 mm. Což ovlivňuje tepelné oddělení jižních a severních místností, někdy i chodbu mezi nimi. [32]



Obr. 5 Procentuální podíl dřevostaveb na pasivních domech v průběhu let [32]

V tab. 3 jsou jmenované příslušné hodnoty svázaných energií, což je suma všech vynaložených energií na montáž, dopravu, výrobu a těžbu základních stavebních materiálů, které jsou přepočteny na běžně využívané měrné jednotky ve stavební praxi a hodnoty ekvivalentních emisí CO₂ uvolněné při těžbě a dopravě stavebních materiálů do ovzduší. [33] Tyto zpracované hodnoty zahrnující spotřebu emisí CO₂ a svázaných energií na úplnou realizaci rodinného nízkoenergetického či pasivního domu, prokazuje enviromentální účinnost úsporných dřevostaveb, a hlavně v kombinaci s tepelným izolantem na bázi celulózy. V tab. 3 je možné si povšimnout, že na rozdíl do všech konstrukčních materiálů zde dochází k vázání CO₂ do hmoty objektu. [34]

Materiál	Měrná jednotka	kg/m ³	MJ/kg	MJ/měr. jedn.	CO ₂ (g/kg)	CO ₂ (kg/měr. jedn.)
Beton	m ³	2 200	0,69	1 518	103	227
Celulóza	m ³	45	7,03	316	-907	-41
Cihelné tvarovky	m ³	850	2,49	2 116	1 760	1 496
Dřevo	m ³	500	2,72	1 360	-1 409	-705
Dřevovláknité desky	m ³	250	13,70	3 425	-183	-46
EPS	m ³	15	98,50	1 478	3 350	50
Mínerální vlna	m ³	40	23,30	932	1 640	66
Ocel. Výztuž	t	7 800	22,70	22 700	935	935
OSB desky	m ³	650	9,30	6 058	-1 168	-759
Sádrokarton	m ³	900	4,44	3 996	200	180

Tab. 3 Ekvivalentní emise CO₂ a svázané energie hlavních stavebních materiálů [34]

V níže popsaných variantách jsou zhodnoceny vlastnosti stavby v souvislosti s použitým materiálem.

Varianta A: Je dřevoskeletová konstrukce, která je založena na betonových mikropilotách, izolační výplň stropů, stěny a ze střechy je zafoukávána celulóza, v podkroví jsou použity prefabrikované vazníky, bezvaznicový systém a okna s trojskly. [34]

Varianta B: Je opět dřevoskeletová konstrukce, která je založena na monolitických betonových pasech, obvodový plášť je tvořen tenkou omítkou, izolační výplň stropů i stěn, ve střeše je minerální vlna, opět bezvaznicový systém a prefabrikované vazníky. [34]

Varianta C: Je zděná konstrukce, která je založena na monolitických betonových pasech, obvodové stěny jsou z lehčených cihelných tvarovek o tloušťce 300 mm, kdy zateplení je vnější pomocí expandovaného pěnového polystyrenu, dřevěný vaznicový krov, zateplení střechy je z minerální vlny a strop v přízemí je ze železobetonové desky. [34]

Varianta D: Je monolitická betonová konstrukce, která je založena na monolitických betonových pasech, základy jsou do ztraceného bednění ze štěpkových desek s vnějším zateplením expandovaného pěnového polystyrenu, krov je dřevěný vaznicový a je zateplen opět minerální vatou, strop v přízemí je také ze železobetonové desky, obvodová konstrukce je tvořena tenkou omítkou. [34]

Z tab. 4 a 5 jsou zřejmé hodnoty svázaných energií ekvivalentních emisí CO₂ ze všech hodnocených možností dle podrobného propočtu.

Varianta	Stavební část celkem (GJ)	TZB část (GJ)	Celkem (GJ)	Celkem (MWh)	Celková hmotnost stavby (t)
A	256	30,8	4,6	291,4	65,6
B	388	30,8	7,4	426,2	1,6
C	465,8	30,8	29,8	526,4	212,1
D	413,5	30,8	31,1	475,4	221,3

Tab. 4 Celkové svázané energie pro varianty A-D [34]

Varianta	CO ₂ stavební část celkem (t)	CO ₂ TZB část (t)	CO ₂ doprava celkem (t)	CO ₂ celkem (t)
A	-14,1	1,4	0,5	-12,2
B	12,8	1,4	0,8	15
C	117,2	1,4	3,4	122
D	43,6	1,4	3,5	48,5

Tab. 5 Celkové ekvivalentní emise CO₂ pro varianty A-D [34]

2.5 Otvory ve zdech

Dveře, vrata a okna oddělují chráněný interiér od exteriéru. Může na ně působit mnoho vlivů, jako jsou například teplotní rozdíly, povětrnostní vlivy, sluneční záření, vlhkost. [5]

Je potřebné si uvědomit, že z energetického hlediska způsobují otvory ve zdech kolem 40 % celkových tepelných ztrát. [5]

Požadavky na výplně otvorů popisuje vyhláška ke stavebnímu zákonu č. 20/2012 Sb. a vyhláška o technických požadavcích na stavby v § 26: [5]

„(1) Konstrukce výplní otvorů musí mít náležitou tuhost, při níž za běžného provozu nenastane zborcení, svěšení nebo jiná deformace, a musí odolávat zatížení včetně vlastní hmotnosti a zatížení větrem i při otevřené poloze křídla, aniž by došlo k poškození, posunutí, deformaci nebo ke zhoršení funkce.

„(2) Výplně otvorů musí splňovat požadavky na tepelně technické vlastnosti v ustáleném teplotním stavu v souladu s normovými hodnotami.

(3) Výplně otvorů musí splňovat požadavky na akustické vlastnosti v souladu s normovými hodnotami pro zajištění dostatečné ochrany před hlukem ve všech chráněných vnitřních prostorech stavby.“ [5]

2.5.1 Okna

Z konstrukčního hlediska se rozdělují okna na jednoduchá, zdvojená a dvojitá. Podle materiálu se rozdělují okna na dřevěná, plastová, kovová nebo v kombinaci materiálů. Dále podle umístění na vnitřní a vnější. [31]

Je velmi důležité si bedlivě promyslet, jak velká a široká okna je vhodné umístit do domu. Špatné rozhodnutí způsobuje jednu z největších chyb. Nepochybně důležitou věcí je, že jedno nestíněné okno, které leží na jižní straně má tepelný výkon 800 W, z toho plyne, že celá stěna má pak výkon několik kilowatů. V letním období má na jižní straně prudký sluneční svit výkon okolo 1000 W/m². Proto by se měli využívat stínící prostředky, zejména v letním období. [5] Naopak v zimním období je třeba zajistit, aby proniklo, co nejvíce sluneční energie do interiéru. Také by se mělo zamezit ztrátám v období menšího

slunečního svitu nebo v noci. [35] Jako stínící prostředky mohou sloužit listnaté stromy, žaluzie nebo venkovní rolety.

Jedním z parametrů pro posuzování kvality oken je velikost hodnoty součinitele prostupu tepla U . Tento součinitel určuje kvalitu okna z hlediska tepelných ztrát. Čím menší bude hodnota tepelného prostupu tepla U , tím jsou okna kvalitnější. [5] Tento součinitel nesmí překročit hodnotu $0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^1$ u pasivních i nízkoenergetických domů. [35]

2.5.1.1 Zasklení

U pasivních a nízkoenergetických domů musí být splněny tyto požadavky:

- Součinitel prostupu tepla U by měl být, co nejnižší
- Nejvyšší stupeň celkové energetické propustnosti slunečního záření g (u pasivních domů je běžná hodnota $g = 0,52$)

Prosklení pro pasivní domy by mělo mít hodnotu součinitele prostupu tepla mezi $0,5\text{--}0,8 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^1$. [35] Součinitel prostupu tepla u prosklení v nízkoenergetických domech by měl být $1,1 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^1$. [5] Tyto hodnoty jsou uvedeny v německých zákonech („Bundesanzeiger“) Stupeň celkové energetické propustnosti slunečního záření musí být maximálně $0,45 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^1$. [35]

V nízkoenergetických a pasivních domech se používá trojsklo s plynovou výplní oddělené teplými distančními rámečky v kombinaci nerez/plast nebo na bázi nerezové fólie. Další možností je špaletové okno, které má vnější dvojsklo a vnitřní jednoduché zasklení. Jako výplň skla je možno použít inertní plyn například argon, xenon nebo krypton. [5]

2.5.1.2 Plastová okna

Plastová okna jsou pro nás v cenové kategorii lepší variantou než například dřevěná okna. Plastové okno je tvořeno z ocelové nosné konstrukce obalené tvrzeným PVC. Jelikož obsahuje ocel v rámu, tak tím snižuje tepelný odpor rámu. Okna jsou velmi odolná vůči kyselým dešťům a chemikáliím. Výrobci plastových oken dělají různou škálu barev. Zvláště pak u barevných profilů je větší roztažnost vlivem tepelné dilatace než u bílého standardního profilu. Rámy jsou s pěti – osmi vzduchovými mezerami. Pro pasivní a nízkoenergetické domy je při výrobě těchto oken změněna technologie a ocelové výztuže

rámu jsou nahrazeny polyuretanovou pěnou, kompozitovými profily nebo sklolaminátem. [5]

Tato okna jsou vyráběna chemickou cestou, což je velmi energeticky náročné kvůli recyklaci. [5]

2.5.1.3 Dřevěná okna

Častým, ale i moderním využitím jsou dřevěná okna typu „EURO“. Dřevěné rámy mají izolační vrstvu z korku nebo polyuretanu nebo mají vyfrézované vzduchové komory. Rám je vyráběn z lepených profilů ze smrku, modřínu nebo borovice, napojované „cinkem“. Ty jsou pak impregnovány biokonzervačními látkami, které jsou velmi šetrné k životnímu prostředí. Výrobek je stoprocentně ekologickým výrobkem a při výrobě šetří energetickou náročnost. Rám je natřen ochrannými transparentními lazurami a obnovu nátěru by se měla provádět jednou za pět až sedm let. [5]

Okenní spáry nestačí vyplnit polyuretanovou pěnou, ale musí být kryty okenními botulenovými pásky. [5]

Další alternativou mohou být dřevohliníková okna, které zlepšují tepelně technické vlastnosti a také chrání před povětrnostními vlivy. Pro nízkoenergetické a pasivní domy se celohliníková okna nehodí kvůli špatným tepelně-technickým vlastnostem. Také výroba těchto oken škodí životnímu prostředí a cena je vyšší než u jiných oken. [5]

2.5.2 Dveře

Dveře se rozdělují podle polohy na vchodové (vnější) a interiérové (vnitřní). Dle specifických požadavků jsou dveře dále děleny na protipožární, bezpečnostní, tepelně izolační, akustické a speciální. Dále se dělí podle počtu křídel na jednokřídlé, dvoukřídlé, tříkřídlé a vícekřídlé. [31] Křídla jsou ze sendvičové konstrukce, kterou vyplňuje tepelný izolant. Obvodový rám je buď profilovaný ocelový nebo lepený dřevěný. Křídlo je plné nebo prosklené s trojskly. Požadavek na součinitel prostupu tepla je stejný jako u oken, což je $U_D = 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. U pasivních domů mají všechny výplně otvorů větší konstrukční hloubku, která je 90–120 mm. [5]

2.6 Podlaha a stropní konstrukce

Podlaha na terénu u nízkoenergetické a pasivní stavby musí být odizolována tepelnou izolací tloušťky 120-150 mm. Součinitel prostupu tepla je max. $0,4 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^1$. [5]

2.7 Základová deska a spodní stavba

U nepodsklepených staveb se musí tepelně zaizolovat vnější boky základových pasů. Izoluje se od ložné spáry základů, v nezámrazné hloubce, která v České Republice je max. 1300 mm, až po základovou desku. Pro nízkoenergetické domy stačí tepelná izolace 50-100 mm. Pro pasivní domy se používá tloušťka tepelné izolace 100-200 mm. Používá se extrudovaný polystyrén, který je taktéž velmi tvrdý a nenasákavý. Jiné řešení mají v Německu a Rakousku, kde betonovou desku izolují od podloží tepelnou izolací tloušťky 200-300 mm extrudovaným polystyrénem a také s hutněným štěrkopískovým polštářem s drenáží. [5]

U podsklepených staveb je největší problém provést izolaci proti tlakové vodě. U těchto typů staveb se nedoporučuje podsklepení kvůli vysoké ceně spodní stavby a velkému riziku vzniku tepelných mostů. Na izolaci proti tlakové vodě se používají těžké asfaltové pásy, hydroizolační plastové fólie, izolační stěrky. Tepelná fólie se musí chránit drenážní nopovanou fólií a vrstvou z netkané textilie. [5]

2.8 Vytápění

Zdroj energie pro vytápění je možné mít buď z neobnovitelných zdrojů (uhlí, zemní plyn, ropa) nebo z obnovitelných zdrojů (sluneční záření, vzduch, voda, biomasa a bioplyn, energie prostředí je využívána tepelnými čerpadly, dále je využívána geotermální energie a energie kapalných biopaliv). [36] V nízkoenergetických a pasivních domech je vhodnější využívat především obnovitelné zdroje. [5]

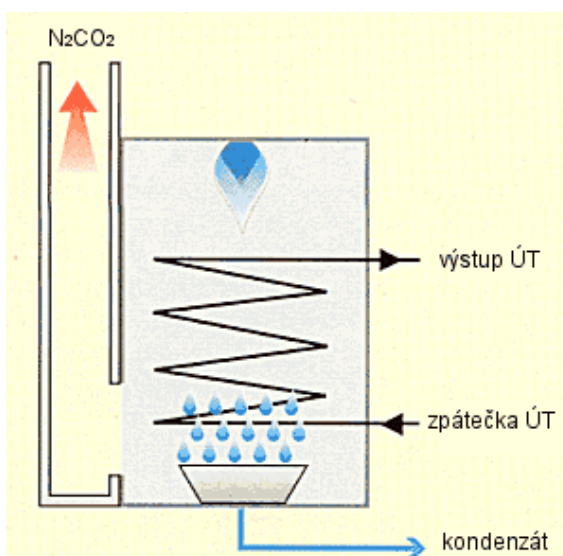
2.8.1 Moderní zdroje tepla spalující fosilní paliva

2.8.1.1 Kondenzační plynový kotel

Plynové kondenzační kotle využívají pro přívod tepla spalování zemního plynu. Hlavní složka je metan (CH_4) nebo propan (C_3H_8). Část tepelné energie tzv. latentní teplo je skryté v tepelné spalině. Ke změně skupenství (kondenzaci) může dojít, pokud spaliny zchladíme pod teplotou rosného bodu. Spaliny musí být pod teplotou rosné bodu spalin, abychom ho považovali za kondenzační kotel. Teplota rosného bodu se u zemního plynu pohybuje okolo $57\text{ }^\circ\text{C}$, v realitě u kondenzačních kotlů se tato teplota pohybuje okolo 50 až $55\text{ }^\circ\text{C}$ v závislosti na přebytku vzduchu. Toto vytápění je pak dobré pro stropní vytápění, podlahové vytápění nebo otopná tělesa, které by zaujímaly větší plochu. Kotel má vyšší účinnost tehdy, když teplota vratné vody je nižší. [37]

Princip spalování při kondenzačním ohřevu znázorňuje obr. 6. V kondenzačním kotli díky uvolněné energii dochází k předehřevu vratné vody pomocí výměníku. [37]

Rovnice spalování zemního plynu: $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 + (\text{N}_2) = \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + (\text{N}_2)$. [37]



Obr. 6 Princip spalování zemního plynu při kondenzačním ohřevu [37]

Spalné teplo plynu (H_s) je určité množství tepla, kdy množství stechiometrického kyslíku a jednotkového množství plynu se uvolňuje spalováním. Při počáteční teplotě $25\text{ }^\circ\text{C}$ spálením se následně při ochlazování spalin teplota vrátí zpět na $25\text{ }^\circ\text{C}$. [37]

Spalné teplo je rovno výhřevnosti plynu (H_i), zmenšené o teplo, které je uvolněné kondenzací vodních par ze spalín. Jedná se o takové množství tepla, které nezohledňuje energii zahrnutou ve vodní páře spalín. Toto teplo odchází u klasických kotlů do ovzduší. Účinnost se stanovuje z výhřevnosti spalovacího zařízení. Z tab. 6 můžeme vyčíst spalné teplo a výhřevnost u kotlů na různé bázi jejich složek. [37]

Teoretické využití latentního tepla	Zemní plyn	Propan	Topný olej
Spalné teplo plynu H_s [kWh/m ³]	11,06	28,12	10,68
Výhřevnost plynu H_i [kWh/m ³]	9,97	25,89	10,08
Podíl H_s/H_i	1,109 (+ 10,9 %)	1,086 (+ 8,6 %)	105,9 (+ 5,9 %)

Tab. 6 Teoretické využití latentního tepla [37]

Normovaný stupeň využití obsahuje veškeré ztráty kotle, které jsou závislé na zatížení kotle a na teplotě topné vody. Normovaný stupeň využití kotle vyhodnocuje provoz kondenzačních a nízkoteplotních kotlů za celý rok s proměnnou teplotou vody z kotle. Normovaný stupeň využití lze matematicky vypočítat: [37]

$$\eta_N = \frac{\sum_{i=1}^5 Q_K \cdot \phi_i \cdot Z_i}{\sum_{i=1}^5 \frac{Q_K \cdot \phi_i \cdot Z_i}{\eta_{\phi_i}}} = \frac{5}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{\eta_{\phi_i}}} [-] \quad (1)$$

Kde:

Q_K jmenovitý výkon kotle [kW]

ϕ_i relativní vytížení (výkon) kotle ve výkonové periodě i [-]

Z_i počet otopných dnů ve výkonové periodě [počet dnů]

η_{ϕ_i} stupeň využití při dílčím zatížení ve výkonové periodě [-]

Skládování zemního plynu není potřebné řešit, pokud je správně navržený otopný systém kondenzačního kotle, připojený na plynovou přípojku. Ta zásobuje uživatele 365 dní

v roce, takže není nutná obsluha zařízení a je šetrnější k životnímu prostředí než jiná fosilní paliva. [37]

2.8.1.2 Kotle na pelety

Tyto kotle jsou na spalování dřevěných nebo konopných peletek (malých válečků), které jsou lisované z odpadu, pilin. Průměr těchto válečků je 6-25 mm a jsou dlouhé do 50 mm. Základní vlastnosti jsou uvedeny v tab. 7. [5]

Je to velmi účinné homogenní palivo, kdy 2 kg pelet mají výhřevnost jako jednoho litru topného oleje. Pelety se označují názvem biomasa, jsou tvořeny organickou hmotou biologického původu. [5] Pelety jsou rostlinného původu (fytomasa) a jsou považovány za ekologické a bezemisní, díky tomu, že nevytvářejí skleníkový efekt. Je to náhrada za fosilní paliva. Na rozdíl od fosilních paliv, jako je např. topný olej nebo plyn, pelety nepřispívají ke stupňování skleníkového efektu. Vznikají jako sekundární produkt z lesnictví, zemědělské výroby, zbytky po výrobě nebo z dřevovýroby. Využití celkové biomasy podporuje místní zaměstnanost, ekonomiku, rozvoj regionů a decentralizuje zdroje. [38]

Základní vlastnosti pelet		
Výhřevnost	Sypná hmotnost	Hustota
[MJ/kg]	[kg/m ³]	[kg/m ³]
17,1	680	1220

Tab. 7 Základní vlastnosti pelet [39]

Pelety jsou buď mechanickým, nebo pneumatickým způsobem dováženy ze zásobovacích autocisteren a pak do kapacitních zásobníků v místnosti, která je oddělena od kotelny. Potom jsou v automatickém režimu přesunuty šnekovým dopravníkem do kotlíků, kde jsou poté spalovány. Kotel je řízen elektronikou i s možností ovládání přes mobilní telefon nebo internet. V minimálním objemu je popel hromaděn do speciálních kontejnerů a jednou za určitý čas je odnášen na kompost nebo likvidován jako odpad z domu. Je samozřejmě možnost si pořídit vlastní peletovací lis. V pasivních domech využíváme malé kompaktní

kotle. Výkon kotle se pohybuje okolo 3-10 kW. Na obr. 7 je kotel na dřevěné pelety, který se vyrábí pro výkon 21 a 41 kW. [38]

V případě většího výkonu jsou další možnosti automatické kotle na dřevěnou štěpku, kde je výkon od 50 kW. [38]



Obr. 7 Ocelový kotel na dřevěné pelety s automaticky čištěným hořákem [40]

Výroba tepla je založena na principu spalování, zdroje tepla jsou umístěné uvnitř tepelné obálky domu a pracují současně se spuštěným řízeným větráním, to je nezávislé na současné teplotě v místnosti. V případě poruchy řízeného větrání by hrozila otrava oxidem uhelnatým. Z konstrukčního hlediska jsou dvě možnosti ohledně umístění komínu. Jsou to buď zděné vložkované konstrukce nebo plechové komíny víceplášťové. Nejcitlivějším místem je nebezpečí tepelného mostu, zajištění vzduchotěsnosti v místě prostupu střechy nebo v obvodovém plášti. [38]

2.8.2 Obnovitelné zdroje energie

Z tab. 8 je zřejmé jaké jsou faktory produkce emisí CO₂ a energetické přeměny jednotlivých energetických medií využívaných v provozu pasivních domů. [34]

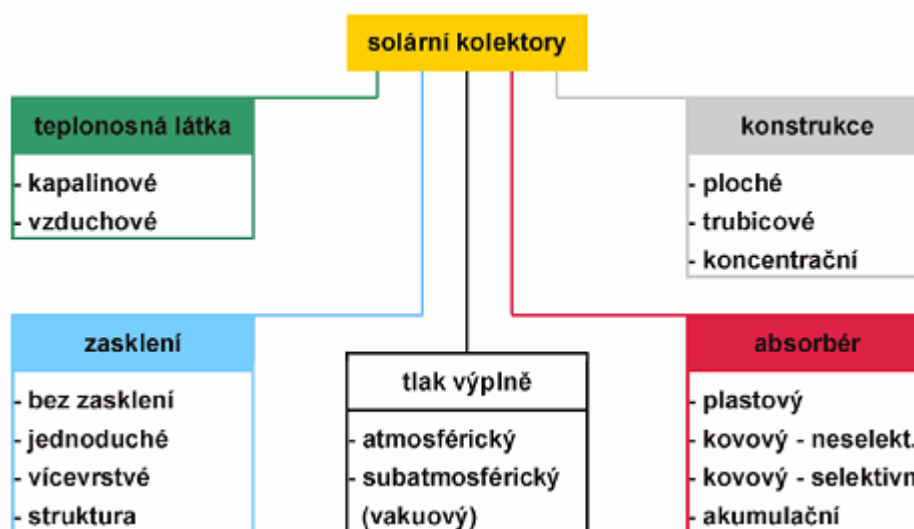
Energie	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]	Měrná jednotka	Ekv. Emise CO ₂
Elektrina	3	kg/MWh	680
Biomasa - dřevo (krbová kamna)	0,05	kg/MWh	31
Solární systém FT	0,05	-	-
Solární systém FV	0,2	-	-
Zemní plyn	1,1	kg/MWh	250

Tab. 8 Faktor produkce emisí energetických medií a energetické přeměny [34]

2.8.2.1 Solární kolektory

Solární tepelný kolektor je založen na nejjednodušším principu využití slunečního záření. Hlavním úkolem kolektoru je získat sluneční energii a předat ji teplonosné látce, samozřejmě s co nejmenšími ztrátami. Ideální sklon solárního kolektoru je 35-45° směrem na jih. Instalace se dá provést i čistě na západ či východ, ale ztráta na energetickém výnosu by byla 20 %. [5]

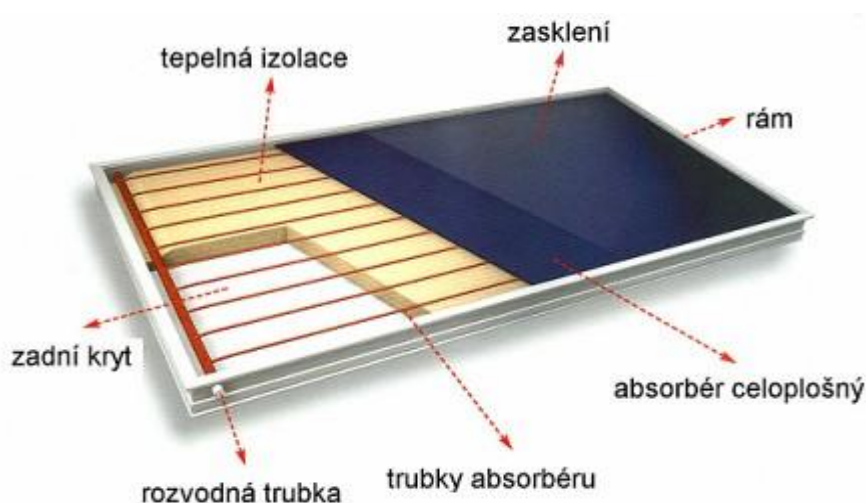
Solární kolektory je možné rozdělit dle různých parametrů, čemuž odpovídá obr 8.



Obr. 8 Základní rozdělení kolektorů [41]

Ploché vakuové solární kolektory propojují trubkové vakuové kolektory a ploché zasklené kolektory se selektivní vrstvou. Je to spojení výhod těchto dvou kolektorů, kde je velkou výhodou možnost obnovy vakua uvnitř kolektorů přes přírubovou spojku. [41]

Ploché kolektory pro celoroční využití jsou velmi rozšířené typy. Pořizovací náklady jsou daleko menší, často o polovinu či o třetinu než u vakuových kolektorů. Bohužel mají větší tepelné ztráty konvekcí než vakuové kolektory. Dále je možnost vzniku kondenzace vodní páry uvnitř daného kolektoru, čímž se pak snižuje účinnost celého systému. [41] Konstrukce plochého solárního kolektoru je uvedena na obr. 9.



Obr. 9 Konstrukce plochého solárního kolektoru [41]

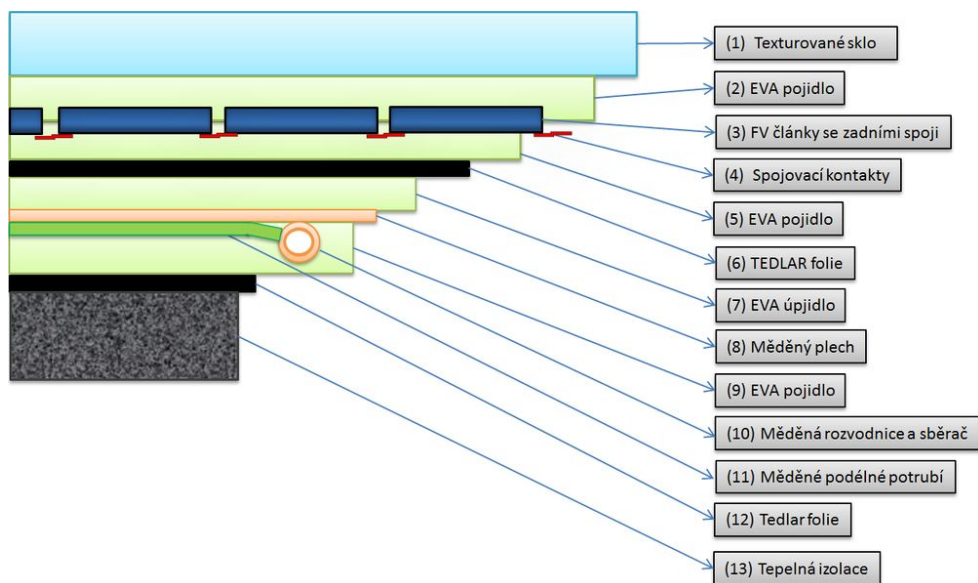
Vakuové trubkové solární kolektory mají vysokou účinnost v zimním období díky podtlaku neboli vakuu uvnitř trubice. Tímto jsou skoro odstraněny tepelné ztráty konvekcí. „Výhodou přímo protékaných trubkových kolektorů (U-trubice) je variabilita jejich umístění, nevýhodou je však špatné vyprazdňování při případné stagnaci.“ [41] U-trubice mohou být umístěné v poloze vodorovné, vakuové trubkové kolektory s tepelnými trubicemi musejí být instalované se sklonem 25°. Rozdíl mezi tepelnou trubicí a u-trubicí lze vidět na obr 10. Vakuové trubkové kolektory jsou vhodné do extrémních klimatických podmínek nebo s využitím nad teplotu 80 °C. [41]



Obr. 10 Vakuový trubicový kolektor [41] [42]

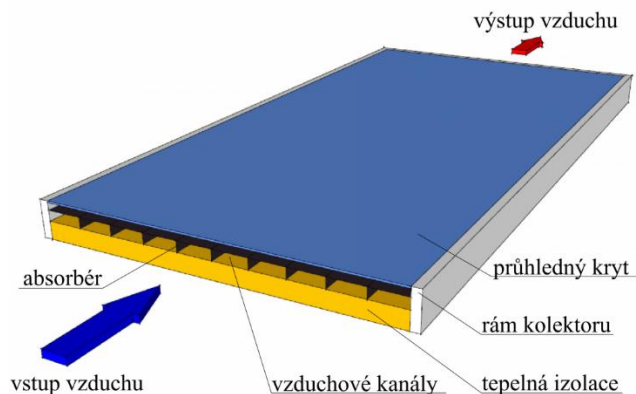
Fotovoltaické kolektory přeměňují sluneční energii na elektrický proud. Využitím fotovoltaických kolektorů se může stát stavba plusovou a to tím, že přebytky energie z letního období jsou dodávány do sítě. Tyto přebytky je možné využít v zimním období, kdy je sluneční záření menší než v letním období. Existují nejenom kolektory, ale také fotovoltaické tašky a tvarovky. Těmi je možné pokrýt střechu orientovanou na jih. [5]

Hybridní fotovoltaický kolektor je systém, kterým se získává velký růst účinnosti výroby elektřiny, díky aktivnímu chlazení fotovoltaických článků systémem potrubí na zadní straně fotovoltaického panelu. Tepelná část soustavy odevzdává teplo a ochlazuje tím fotovoltaické články na příznivou teplotu. Při výrobě elektrického stejnoměrného proudu se zvyšuje jejich účinnost běžnými testovacími podmínkami o 14,8 %, oproti běžnému fotovoltaickému systému skládající se z fotovoltaických článků téhož druhu za stejných klimatických podmínek. [43] Složení fotovoltaického hybridního kolektoru je jasné z obr. 11.



Obr. 11 Příčný řez fotovoltaického hybridního kolektoru [43]

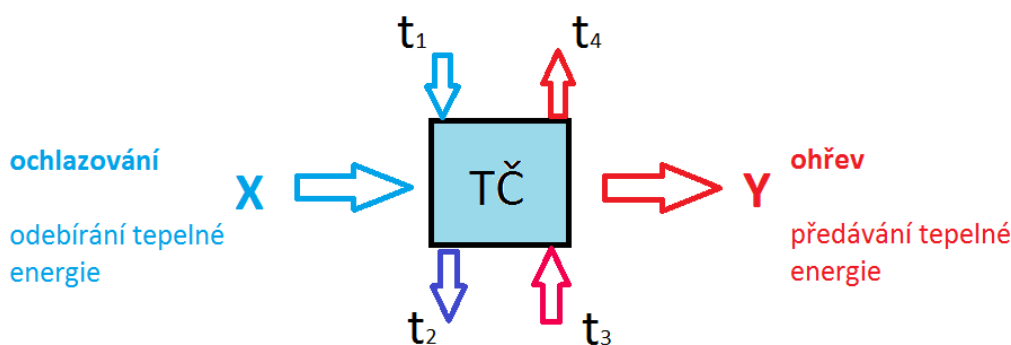
Vzduchové solární kolektory jsou v České republice méně používané než kapalinové kolektory. Více rozšířené jsou v USA. [5] Vzduchové kolektory mohou být v provozu celý rok díky tomu, že pracují při nízké provozní teplotě. Vzduchové kanálky nemusejí být zcela těsné. Vytracený teplý vzduch je výsledkem netěsností. Nehrozí poškození budovy kapalinou jako u konvenčních solárních kolektorů. Tyto kolektory nevyžadují ochranu proti mrazu a přehřátí. Jsou v menší míře napadány korozi, a proto je jejich životnost mnohem vyšší než u kapalinových kolektorů. Vzduchové solární systémy mají také řadu nevýhod. Jednou z nevýhod je, že potřebují velké průřezy potrubí pro přenos tepla a zároveň vyžadují nízkou tepelnou kapacitu vzduchu. [44] Z obr. 12 lze vidět, jak je tvořen vzduchový solární kolektor.



Obr. 12 Konstrukce vzduchového solárního kolektoru [44]

2.8.2.2 Tepelná čerpadla

Tepelná čerpadla jsou zařízení, které nám umožní čerpat tepelnou energii z prostředí X, při nízké nevyužité teplotě (energii) a současně ji předávat do prostředí Y, při které je vyšší využitelná teplota. Tento průběh ochlazování a ohřívání nám ukazuje obr. 13. Užitečné teplo je odebírané prostředím X, přičemž snižuje jeho teplotu a nevyužitě teplo je odváděné do prostředí Y, které je odpadním teplem. V prostředí Y, do kterého je teplo předávané je účelně využívané tepelným čerpadlem. [38]



Obr. 13 Získané a přivedené tepelné toky v tepelném čerpadle [38]

Při provozu tepelného čerpadla neunikají žádné emise do ovzduší. Tato zařízení umí přeměnit nízkopotenciální teplo na energii, kterou využijeme na vytápění a ohřev teplé užitkové, bazénové nebo technologické vody. Tepelná čerpadla se dají rozlišit podle toho, jakého zdroje využívají a do které teplotonosné látky se teplo přečerpá. Jsou to buď: [5]

- Vzduch/vzduch – vzduch
- Vzduch/voda – vzduch
- Voda/voda – voda
- Země/voda – nemrznoucí směs

Je to zařízení, které rozptýlenou energii v prostředí zahustí a využije. Tepelné čerpadlo má uzavřený chladicí okruh, ve kterém jsou dva výměníky, kondenzátor a výparník. Kompresor, který je poháněn elektrickým motorem je zapojen na výstupu z výparníku. Tzv. „topný faktor“ je průkaz o účinnosti tepelného čerpadla, což je poměr elektrické energie, která je buď vložená nebo vyrobená a pohybuje se kolem 1/4–1/5. [5]

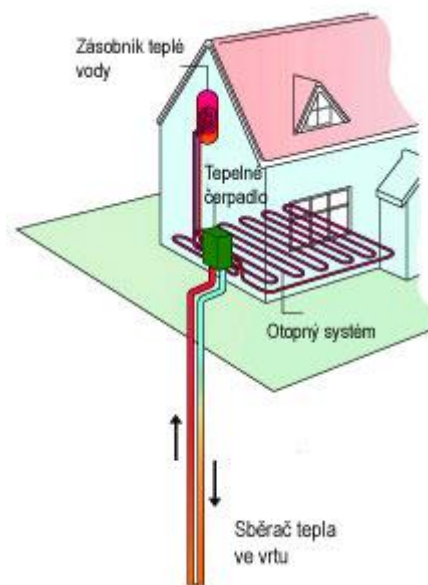
Zdroj tepla pro tepelná čerpadla ze země je energie ze zemského masivu, viz tab. 9. Energie z vody může být ze spodní, odpadní a z povrchové vody. Ze vzduchu je to energie odpadního nebo okolního vzduchu. [38]

Energie zemského masivu			
Měrný výkon	tok	W/m²	
	z povrchu	10-40	V nejchladnějších dnech
	ze zemské kůry	0,04-0,06	
Teplota	teplota		
	pod 2-5 m trvalá teplota	> 10 °C	
	geotermální teplotní gradient	3 K/100 m	
Tepelná vodivost	typ půdy	W/m.K	
	suchá písčítá	1,1	Průměr 2 W/m.K
	mokrý žula	3,3	

Tab. 9 Energie zemského masivu [38]

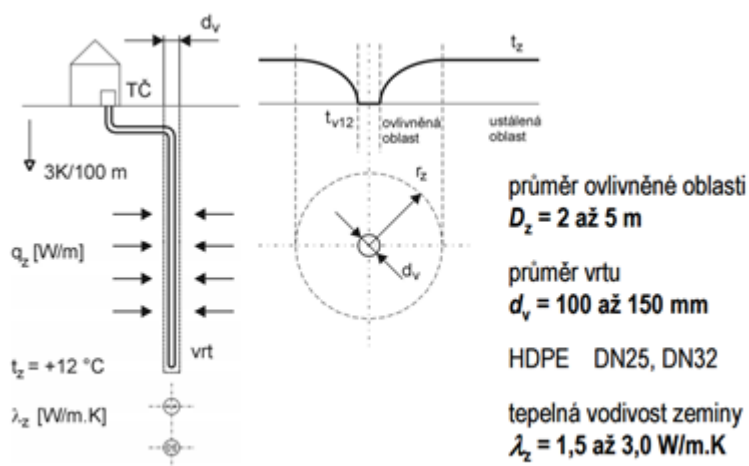
Energii zemského masivu je možno získat ze svislých zemních vrtů (suché vrty – sondy), horizontálních zemních kolektorů (podpovrchové výměníky) nebo ze studní (čerpání spodní vody, což je jiná technologie využití). [38]

Ze sond se čerpá teplo ze zemského masivu suchými vrty až do hloubky 200 m, ale běžně se vrtá do 100 m. Výhodou je, že to není náročné na prostor. [38] Tepelné čerpadlo voda – voda je znázorněno na obr. 14.



Obr. 14 Tepelné čerpadlo se zemním vrtem [45]

Hloubka vrtu se navrhuje podle přijatelnosti vrtné soupravy. Nižší tlakové ztráty je možné docílit rozdělením vrtů, čímž se rozdělí i průtoky. Při provádění vrtů by měly být dodržovány vzdálenosti větší jak 10-15 m, aby nevznikalo případné propojení s ovlivněnými oblastmi. Toto platí pro vrt do 100 m, při vrtu větším jak 100 m, není nutné dodržovat svislé provedení. Zde může být výchylna okolo 2 m. Vrt se vyplní bentonitem, což je cementová směs. [38] Tepelný odpor ze zemních vrtů je možné si objasnit z obr. 15.



Obr. 15 Zemní vrty – tepelný odpor [38]

Pro výpočet délky vrtu je potřeba znát roční spotřebu tepla domu. V souladu s ČSN EN ISO 13790 pro vytápění a s ČSN EN 15316-3-1 až 3 pro přípravu teplé vody. Aby bylo možné stanovit roční množství tepla, které je odebrané z masívu, je nutností stanovit roční topný faktor COP_N tepelného čerpadla. To je možno zjistit odhadem nebo s využitím tabulek A.9 – A.11, které jsou uvedené v TNI 73 0331. Na obr. 14 je schéma, které nám pomůže si lépe představit výpočty délky sondy. [46]

„Výpočet tepelné energie odebranou ze zemního masívu výparníkem tepelného čerpadla za rok“: [46]

$$Q_{ex} = Q_{del} \left(1 - \frac{1}{COP_{rok}} \right) \quad [\text{kWh/rok}] \quad (2)$$

Potřebná délka sondy:

$$\Phi_{ex} = \frac{Q_{ex}}{\tau_{TC}} \quad [-] \quad (3)$$

Výpočet roční doby provozu tepelného čerpadla:

$$\tau_{TC} = \frac{Q_{del}}{\Phi_{TC}} \quad [-] \quad (4)$$

Kde:

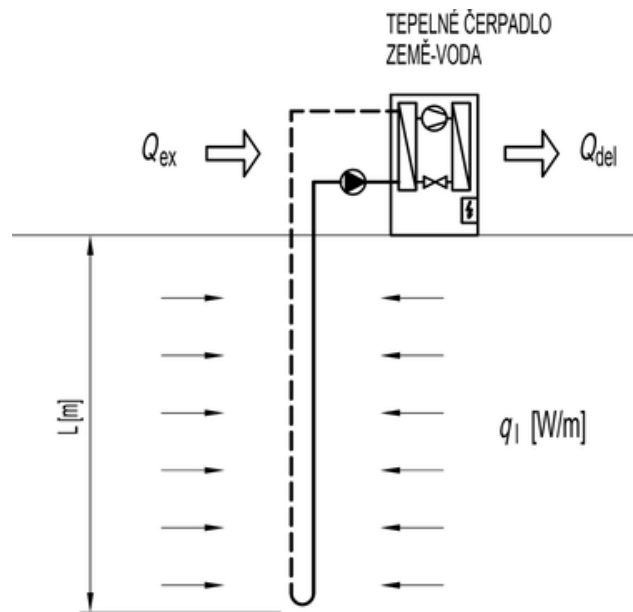
Φ_{TC} jmenovitý výkon [-]

Φ_{ex} roční odběrový výkon

Q_{ex} energie odebraná výparníkem [kW/rok]

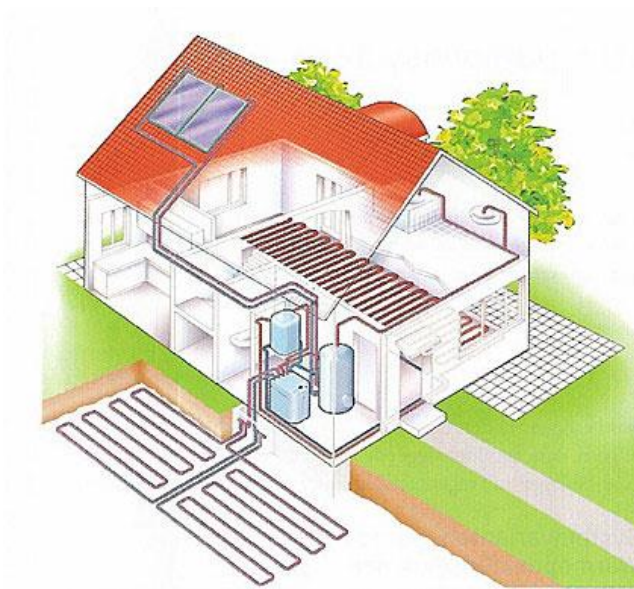
Q_{del} energie dodaná tepelným čerpadlem [kW/rok]

τ_{TC} roční provozní doba tepelného čerpadla [-]



Obr. 16 Schéma odběru tepla zemní sondou ze zemního masívu [46]

U zemních podpovrchových kolektorů je potřebná rozsáhlejší plocha pozemku, protože se provádějí rozsáhlé výkopové práce, které je možno vidět na obr. 16. Dále z obr. 17 je vidět, jak se instaluje tepelné čerpadlo země – voda. [38]



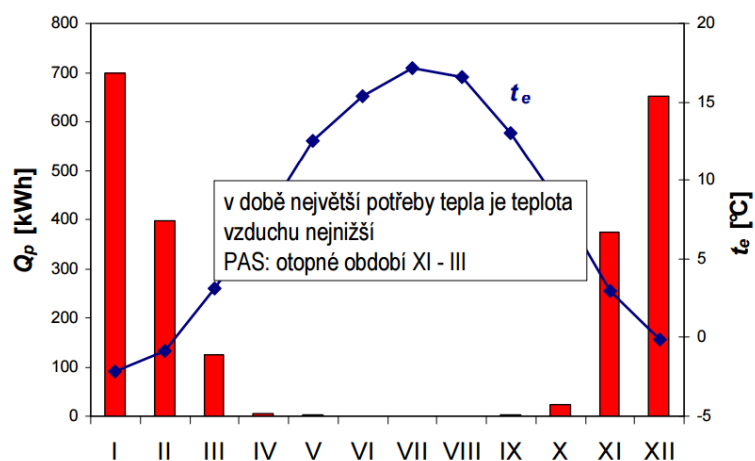
Obr. 17 Tepelné čerpadlo země – voda [47]

Hloubku uložení lze provádět pod nezámraznou hloubkou min. 0,2 m. Výška je od 0,6 do 1,5 m. Teplota ve vrtu je 0 °C. Rozteč trubek je min. 0,8 m až do 2 m. Tepelná vodivost zeminy λ_z by měla být mezi 1,5 a 3,0 W/m.K. Měrný tepelný tok u různých druhů půd lze vidět na tab. 10. U provádění zemních kolektorů by délka okruhů neměla překročit 100 m, s ohledem na tlakové ztráty by celková délka výměníku neměla přesáhnout 400 m. Je důležité se vyhnout kořenovým systémům a povrchům plochy nad kolektorem z asfaltu a betonu. Nemrzoucí směs tvoří propylenglykol-voda (30/70 %), líh-voda (40/60 %). [38]

Vlastnosti podloží	Měrný tepelný tok $q_{z,l}$ [W/m]
Suché nesoudržné půdy	10-15
Vlhké soudržné půdy	15-20
Velmi vlhké, soudržné půdy	20-25
Půdy pod hladinou spodní vody nebo značně vlhké	25-30
Půdy s pohybem spodní vody	35-40

Tab. 10 Vlastnosti podloží a měrný tepelný tok [38]

Při využití energie ze vzduchu je topný výkon závislý na vnějších klimatických podmínkách. [38] Jeho nevýhodou je příliš velká provozní hlučnost. Lze využívat kombinaci bivalentního (záložního) zdroje a tepelného čerpadla. Tato kombinace umožňuje do konkrétní externí teploty využívat jen tepelné čerpadlo, a když je výkon tepelného čerpadla nedostatečný, tak připojíme bivalentní zdroj, který bude chybějící tepelnou energii dodávat. Dle mnohaletých zkušeností a prozkoumávání provozu tepelného čerpadla víme, že je nutné počítat s teplotou bodu bivalence v rozmezích -7 °C až -10 °C. Tyto teploty se v topné sezóně dlouhodobě neobjevují, ale nejsou ani mimořádné. [48] Z grafického znázornění je možno vidět, kdy je proudění vzduchu nejnižší, a kdy se spotřebovává nejvíce tepla v průběhu ročního období na obr. 18. Kde t_e znamená teplota exteriéru a Q_p znamená spotřebu tepla. [38]



Obr. 18 Průběh teploty a spotřeby tepla v ročním období [38]

Z obr. 19 je zřejmé, že druhy instalace vedení jsou buď vnitřní nebo venkovní. U vnitřní instalace by měla být dostatečně velká vzdálenost otvorů pro výfuk chlazeného vzduchu a také nasávání venkovního vzduchu. Zařízení se umísťuje ve směru, kde je převládající vítr, nebo přes roh. Oddělovat je možné přepážkou. Strojovna se dává pod úroveň terénu např. to mohou být anglické dvorky, nebo do vzduchotechnických šachet. Dále se umísťuje společně se spalovacím zařízením, kvůli odsávání vzduchu a netěsnostem, které mohou způsobovat problémy s tahem. [38]



Obr. 19 Zleva – vnitřní provedení, zprava – vnější provedení [38]

2.9 Větrání

Větrací systém musí zajišťovat nejvhodnější odvod škodlivin a podmínky mikroklimatu z přidružených prostorů a bytových staveb. Jedná se zejména o škodliviny oxidu uhličitého (CO₂), odéry (těkavých organických látek TVOC) a vodní páry. [49]

Produkce CO₂ od osob:

V noci, kdy je člověk v klidu: $q_1 = 40 \text{ Wm}^{-2}$, frekvence je 12 až 16 vdechů za minutu, při celkové kapacitě 500 ml za vdech, což je 360 až 480 litrů vzduchu/hod/os. Ve vydechovaném vzduchu je obsah CO₂ 3,5 %, tak objem maximální produkce CO₂: $p_1 = 480 \times 0,035 = 16 \text{ l CO}_2/\text{hod}/\text{dospělá osoba}$. [49]

Podobně vychází výpočet z produkce 0,26 l CO₂/min, což je 15,6 l CO₂/hod.

Takže průměrná produkce CO₂ vychází na jednoho člena rodiny, když počítáme 2 dospělí a 2 děti. [49]

$$p_{\phi} = \frac{(16 \times 2) + 0,8(16 \times 2)}{4} = 14 \text{ [l/hod/}\phi \text{ osoba]} \quad (5)$$

Zvýšená produkce na 20 l CO₂/hod/osoba = průměrná produkce CO₂ na člena rodiny, $q_1 = 60 \text{ Wm}^{-2}$ [49]

$$p_{\phi} = \frac{(20 \times 2) + 0,8(20 \times 2)}{4} = 18 \text{ [l/hod/}\phi \text{ osoba]} \quad (6)$$

Mikroklima je hodnoceno přípustnou kvalitou podle CO₂ na určité úrovni (1200 ppm = 1,2 l.m⁻³), tato hodnota je tedy ještě hygienicky přijatelná hodnota pro mikroklimatickou třídu „C“ dle N CR 1752 CEN), což je podle EN CR 1752 CEN při koncentraci exteriérového vzduchu (370 ppm = 0,37 l.m⁻³) a produkci (16 l CO₂/hod/os), která vyžaduje dávku průměrného vzduchu: [49]

$$V_{min} = \frac{16}{1,2 - 0,37} = 19 \text{ [m}^3/\text{h/os]} \quad (7)$$

Pro nestabilní okrajové podmínky, můžeme vyjádřit průběh hodnot CO₂ jenom exponenciální funkcí: [49]

$$C = \frac{1}{\rho} \cdot \left(C_e + \frac{M}{V_p} - \left(C_e - C_{t=0} + \frac{M}{V_p} \right) \cdot \exp\left(\frac{-V_p}{V_o} t\right) \right) [ppm] \quad (8)$$

Kde:

C	Koncentrace škodliviny [ppm]
C_e	Koncentrace škodliviny v atmosférickém vzduchu [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
$C_{(t=0)}$	Koncentrace škodliviny v interiéru v startovacím čase $t = 0$ [$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$]
M	Zdrojový tok škodliviny [$\text{mg}\cdot\text{s}^{-1}$]
V_p	Objemový průtok větracího vzduchu [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]
V_o	Objem větraného prostoru [m^3]
t	Čas [s]
ρ	Hustota škodliviny [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]

2.9.1 Teplovzdušné cirkulační vytápění s řízeným větráním s rekuperací tepla

Tento způsob se již stává standardním řešením u pasivních a nízkoenergetických domů v ČR. [50]

V primárním okruhu nám zajišťuje dvouzónový systém teplovzdušné vytápění s kontinuální filtrací a cirkulací vzduchu současně buď s ručním, nebo automatickým řízeným dílem čerstvého vzduchu. [50]

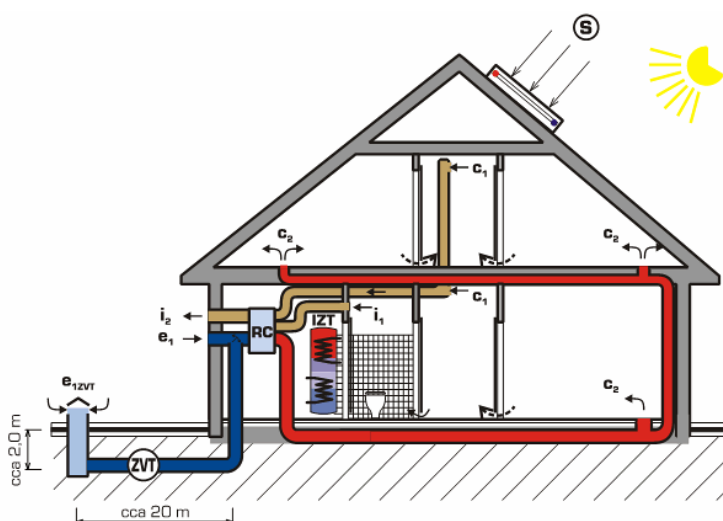
Oddělené odvětrávání kuchyní a sociálních zařízení nám zajišťuje sekundární okruh s rekuperací tepla s vysokou účinností. Celý systém je možné provozovat v pěti režimech, dle nastavení regulátoru (směšovací větrání a vytápění, rovnotlaké větrání, cirkulační kombinace letního chlazení a zemním výměníkem tepla, čisté teplovzdušné vytápění). [50]

Cirkulační vzduchotechnický systém s řízeným větráním rozvádí čerstvý a cirkulační vzduch do obytných místností z rozdělovací centrální komory dílčími vzduchovody. Tyto vzduchovody jsou uloženy pod nášlapnou vrstvou v tepelné izolační vrstvě. Pro eliminaci

chládu se doporučuje vyústění rozvodů s regulací v místnosti umístit pod okna. Dále je možné vyloučit případné akustické přeslechy mezi obytnými místnostmi, díky tomuto centrálnímu systému. Podlahová vyústka (250 x 100 mm) může přivádět při maximálním výkonu až 90 m³/h, což je topný výkon až 700 W při teplotním spádu 45/20 °C. Cirkulační odpadní vzduch se odsává mřížkou ve stěně a odvádí se k jednotce. V jednotce se filtruje čerstvý a cirkulační vzduch s účinností až 97 %, na teplovodním registru ho ohřívá, nebo ho také může ochlazovat na výparníku tepelného čerpadla a ventilátorem ho rozvádí skrz rozdělovací komoru a zpátky do obytných místností. [50]

Teplovzdušným systémem s řízeným větráním se v domě podlahovým potrubím rozvádí teplotný nebo případně chladicí cirkulační a větrací vzduch. A zajišťuje až dvojnásobné zvýšení odsávaného vzduchu z kuchyně a sociálních zařízení pro jejich využití a kvalitnější odvod pachů. Do jednoho agregátu je možno sloučit nezávislé řízené větrání s rekuperací tepla a cirkulačního vytápění. Mají velkou úsporu nákladů na větrání (až 90 %), rozvody a záruku na hygienicky trvalou obnovu vzduchu v místnostech, kde je i možnost řízeného nárazového zvýšení výměny vzduchu. Mezi další výhody patří přizpůsobivá regulace teploty a skvělá filtrace větracího a cirkulačního vzduchu, z čehož vyplývá úbytek prašnosti v celém domě. Díky instalaci cirkulačního zemního potrubního registru je možné dovážený větrací vzduch využít v létě jako chlazený vzduch a v zimě jako předehříváný vzduch. [50]

Z obr. 20 je zřejmá možnost využití solárního kolektoru, nebo krbových kamen a tím zajistit přenos tepla do ostatních neosluněných prostorů domu. [50]



Obr. 20 Schéma teplovzdušného systému vytápění a větrání s řízeným provozem [50]

3. Závěr

Výhodou energetických a pasivních domů je jejich energetická úspornost, soběstačnost a nízké provozní náklady. Nízkoenergetické a pasivní domy jsou schopny čerpat energii z obnovitelných zdrojů, díky systémům, které jsou zabudovány v objektu.

Konstrukce domu jsou navrhovány jako dřevostavby, zděný systém nebo jako kombinace.

Veškeré materiály a výrobky, které jsou použity při stavbě nízkoenergetického a pasivního domu jsou přátelské k životnímu prostředí. To znamená, že nezatěžují životní prostředí. Tepelná izolace je většinou z dřevité vlny a konopí. Musí být velmi masivní a hodnoty součinitele prostupu tepla musí dodržovat doporučené hodnoty dle ČSN 73 0540.

Zelená vegetační střecha zvyšuje estetickou a architektonickou hodnotu a vrací zeď do měst, odpařuje vodu z vegetace a snižuje teplotu okolního prostředí. Zelené střechy okysličují a čistí vzduch, ale také snižují tepelné výkyvy obytných prostorů pod střechou. Týká se to letního i zimního období. Dřevěná okna s dvojskly jsou určena pro nízkoenergetické domy a s trojskly pro pasivní domy.

Co se týká dispozičního řešení objektu, je třeba přemýšlet o tvaru a rozměrech. Což vede k využití každého metru čtvereční plochy. Sociální zařízení jsou umístěné nad sebou, pokud je to možné.

Obytné místnosti jsou umístovány na osluněnou stranu, kde jsou slunolamy nebo porosty. Sociální zařízení, kuchyně, komunikační prostory jsou umístovány na neosluněnou stranu. Na severozápad je umístován hlavní vstup do domu.

Jeden z důvodů, proč stavět energeticky úsporné domy je ten, že v posledních dvou desetiletí se cena energie zvýšila. Tento vývoj se předpokládá i do budoucna, a proto není žádoucí být víc závislý na zdrojích energie. V posledních letech se využívání solárních kolektorů výrazně zvýšilo, pro ohřev užitkové vody a získávání energie. V České republice jsou pro získávání energie nejvhodnější tepelná čerpadla. Je to z toho důvodu, že ve srovnání s Rakouskem máme za rok o 60 dní slunečního svitu méně. Mezi jihem a sever naší země je rozdíl v intenzitě dopadajícího slunečního záření do 20 %. Pro naše podmínky lze využít solárních panelů pro ohřev bazénové vody.

Dalšími zařízeními je systém řízeného větrání s rekuperací tepla a teplovzdušného vytápění.

Dešťovou vodu, která je sbírána do zahradní nádrže, lze využít k zavlažování zahrady, případně zelených střeš.

Všechny energetické spotřebiče jsou navrhnuty v energetických třídách A.

4. Seznam použité literatury

- [1] **EPBD, Directive 2010/31/EU of, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council.** Official J. of Eur. Communities L153. 18. June 2010. [online]. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010L0031&from=EN>.
- [2] **Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A.** Re-inventing air heating: convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept, Energy Build. November 2010. [online]. [cit. 2016-11-09]. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778805001118>.
- [3] **Figueira, J.C.** Simulação do comportamento térmico e energético de Passive Houses em Portugal (Passive Houses Thermal and Energy Behaviour Simulation in Portugal), Master dissertation, University of Aveiro, 2014.
- [4] **Zizka, Martin.** vztaženo k cenové úrovni v Rakousku. Sonnenplatz, Grossschönau, 2007.
- [5] **Smola, J.** Stavba s užíváním nízkoenergetických a pasivních domů 1. vyd. Praha : Grada Publishing, a.s., 2011. ISBN 978-80-247-2995-4.
- [6] **Kreizlová, Zuzana.** Diplomová práce – návrh systémů vnitřního prostředí domu chráněného zemí. Praha, 27 Kvetna 2009. [online] [cit. 2016-11-09] Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10563/8011>
- [7] **[Autor neznámý]** Centrum pasivního domu. Co je pasivní dům. 10. Prosinec 2009. [online] Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/pasivni-dum/co-je-pasivni-dum.html?chapter=historie>
- [8] **Křeček, David.** Optimalizace návrhu pasivního domu pomocí software PHPP 2007 CZ. In: XIII. Vědecká konference doktorandů. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury, 2009, s. 58-63 [online] [cit. 2017-03-21]. ISBN 978-80-214-3878-1. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/11012/56728>
- [9] **Passivitalon Maaritelma.** Passive houses in Finland. 6. Květen 2012. [online] [cit. 2016-11-10] Dostupné z: http://www.passiivi.info/download/passiivitalon_maaritelma.pdf, (date of reference 06.05.2012)

- [10] **FIN7 Building codes C3 and C4: Thermal insulation.** Passive houses in Finland. 6. Květen 2012. [online] [cit. 2016-11-10] Dostupné z: http://www.muredatabase.org/public/mure_pdf/household/FIN7.PDF (date of reference: 06.05.2012).
- [11] **Strom, I., Joosten, L., Boonstra, C.** Passive House Solutions. Promotion of European Passive Houses. 6. Květen 2012. [online] [cit. 2016-11-14] Dostupné z: www.europeanpassivehouses.org (date of reference: 06.05.2012).
- [12] **Nieminen, J., Holopainen, R., Lylykangas, K.** Passive House for a cold climate. 5. Květen 2012. [online] [cit. 2016-11-14] Dostupné z: <http://web.byv.kth.se/> (date of reference: 06.05.2012).
- [13] **Coleman, R.** Designing Your Place In The Sun, Home Power.Vol 116. 62-68 s. 2007.
- [14] **Stephens, R., M.** Passive homes, Dream Home, 50-53 s. April - May 2009. [online]
- [15] **Feist, W., Schnieders, J., Dorer, V., Haas, A.** Re-inventing air heating: Convenient and comfortable within the frame of the Passive House concept. Energy and Buildings. Vol. 37. 1186–1203 s. 2005.
- [16] **[Autor neznámý]** Sustainable Energy Ireland. 10. Říjen 2011. [online] [cit. 2016-11-24] Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/58823541/17/Passive-House-Building-Systems>.
- [17] **[Autor neznámý]** Alternative Heating Solutions. 1. Listopad 2011. [online] [cit. 2016-11-24] Dostupné z: <http://www.alternative-heating.com/under-floor-heating.html>.
- [18] **Rawlings, R.** Domestic Ground Source Heat Pumps: Design and installation of closed-loop systems // Energy Efficiency Best Practice in Housing. 20 s., 20. March 2004.
- [19] **European Embedding of Passive Houses.** 13. Květen 2013. [online] [cit. 2016-11-28] Dostupné z: http://erg.ucd.ie/pep/pdf/european_embedding_of_passive_houses.pdf
- [20] **Schnieders, J., Hermelink, A.** CEPHEUS results: Measurements and occupants' satisfaction provide evidence for Passive Houses being an option for sustainable building. 2006. stránky 151-171. ISSN: 0301-4215.

- [21] **Feist, W.** Passive House Planning Package, Specifications for Quality Approved Passive Houses, Technical Information PHI-2077/1, Passivhaus Institut, Darmstadt, German. 2007.
- [22] **Schnieders, J.** Passive Houses in South West Europe & a Quantitative Investigation of Some Passive and Active Space Conditioning Techniques for Highly Energy Efficient Dwellings in the South West European Region. Darmstadt : Passivhaus Institut, 2nd ed., 2009.
- [23] **Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F.** World map of the Köppen-Geiger climate classification updated, Meteorol. 259-263 s. 2006. [online] [cit. 2016-12-01] Dostupné z: <http://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- [24] **PNEE, Plano Nacional de Eficiencia Energética (National Energy Efficiency Plan)** Presidency of the Council of Ministers, Resolution of the Council of Ministers no. 80/2006. 2006.
- [25] **Vaverka, J., Panovec, V.** Pasivní domy III., Pravidla navrhování, koncepční přístup k řešení pasivních domů. 11. Duben 2006. [online] [cit. 2016-12-01] Dostupné z: <http://www.archiweb.cz/salon.php?action=show&id=1204&type=10>
- [26] **Šubrt, R.** Tepelné mosty ve stavebních konstrukcích. 25 . Leden 2016. [online] [cit. 2016-12-03] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tepelne-izolace/2526-tepelne-mosty-ve-stavebnich-konstrukcich>
- [27] **Solař, J.** Stavebně fyzikální problematika plochých střech. Vysoká škola Báňská v Ostravě. Fakulta stavební. Katedra Pozemní stavitelství [online] [cit. 2016-12-03] Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/studijni-materialy/ps4/4.html>
- [28] **Řezáčová, D., Novák, P., Kašpar, M., Setvák, M.** Fyzika oblaků a srážek. Praha : Academia, 576 s, 2007. ISBN: 9788020015051
- [29] **Paleček, S.** Blower door test průvzdušnosti budov - detekční metody. 19 . Únor 2007. [online] [cit. 2016-12-03] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/3896-blower-door-test-pruvzdusnosti-budov-detekcni-metody>
- [30] **[Autor neznámý]** Pro-pasiv. [online] [cit. 2016-12-03] Dostupné z: <http://www.pro-pasiv.cz/blower-door-test/>

- [31] **Novotný, J., Michálek, J.** Pozemní stavitelství v kresbách. místo neznámé : Sobotáles, 136 publikací, 112 s., 2006. ISBN: 8086817164.
- [32] **Horn, G., překlad: Škubařová, P.** Dvě desetiletí pasivních dřevostaveb. Darmstadt, Německo : autor neznámý, 2. Únor 2017. Sborník mezinárodní konference Pasivní domy 2016. [online] [cit. 2016-12-12] Dostupný z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/15321-dve-desetileti-pasivnich-drevostaveb>
- [33] **Waltjen, T.** Ökologischer Bauteilkatalog. Bewertete gängige Konstruktionen. Springer-Verlag/Wien, 1999.
- [34] **Morávek, P., Tywoniak, J., ATREA s.r.o.** Environmentální a energetické hodnocení dřevostaveb v pasivním standardu. 6. Červen 2009. [online] [cit. 2016-12-12] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/5752-environmentalni-a-energeticke-hodnoceni-drevostaveb-v-pasivnim-standardu>
- [35] **Pregizer, D.** Zásady pro stavbu pasivního domu. místo neznámé : Grada, 2009, 126 s. ISBN: 978-80-247-2431-7.
- [36] **[Autor neznámý]** skupina ČEZ. Energie z obnovitelných zdrojů. [online] [cit. 2016-12-12] Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html>
- [37] **Fučík, Z.** Stručná teorie kondenzace u kondenzačních plynových kotlů. 2. Duben 2004. [online] [cit. 2016-12-12] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kondenzace/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>
- [38] **Matuška, T.** Alternativní zdroje energie. 2010. [online] [cit. 2016-12-12] Dostupné z: http://ib.cvut.cz/sites/default/files/Studijni_materialy/AZE/Matuska_Alternativni_zdroje_energie.pdf
- [39] **Lyčka, Z.** Dřevní paleta II. Spalování v malých zdrojích tepla 2011. [online] [cit. 2017-02-01] Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595e1fa66875530f33e8a/1-text-ii.pdf>
- [40] **Tava, Válek, A.** [online] [cit. 2017-02-01] Dostupné z: http://www.tava.cz/kotel_lazar_smart_fire.php

- [41] **Šourek, B., Jirka, V.** Přímé využití sluneční energie - systémy využívající fototermální kapalinové kolektory I. 31. Květen 2010. [online] [cit. 2017-02-05] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/6518-prime-vyuziti-slunecni-energie-systemy-vyuzivajici-fototermalni-kapalinove-kolektory-i>
- [42] **Solar Power**, Praha. [online] [cit. 2017-02-10] Dostupné z: <http://www.solarpower.cz/default.asp?p=VK25>
- [43] **Švela, P., Olesen, B., W.** Vývoj hybridního fotovoltaicko-termálního kolektoru: Přidaná hodnota oproti samostatným fotovoltaickým a tepelným systémům. 24. Listopad 2014. [online] [cit. 2017-02-10] Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/12028-vyvoj-hybridniho-fotovoltaicko-termalniho-kolektoru>
- [44] **Shemelin, V., Matuška, T.** Sluneční energie: Vzduchové solární kolektory. ČVUT v Praze, 9. Srpen 2016. [online] [cit. 2017-02-12] Dostupné z: <http://energie21.cz/vzduchove-solarni-kolektory/>
- [45] **Instalatéři EKOMPLEX.** Vytápění tepelným čerpadlem: Tepelná čerpadla země-voda. [online] [cit. 2017-02-12] Dostupné z: <http://www.topeni-topenari.eu/topeni/topidla-alternativni/tepelna-cerpadla/zeme-voda.php>
- [46] **Matuška, T., Šourek, B.** Návrh zemní sondy pro tepelné čerpadlo. UCEEB ČVUT, Buštěhrad : autor neznámý, 3. Srpen 2015. [online] [cit. 2017-02-12] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/13052-navrh-zemni-sondy-pro-tepelne-cerpadlo>
- [47] **MVB Opava CZ, s.r.o.** Zdrojem tepla je země pomocí zemních kolektorů. [online] [cit. 2017-02-15] Dostupné z: <http://www.mvb.cz/domacnosti/tepelna-cerpadla/zeme-voda/>
- [48] **Honzík, J.** Dimenzování tepelného čerpadla vzduch-voda, bivalentní/záložní zdroj. 3. Listopad 2011. [online] [cit. 2017-02-20] Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tepelna-cerpadla/7995-dimenzovani-tepelneho-cerpadla-vzduch-voda-bivalentni-zalozni-zdroj>
- [49] **Morávek, P., Tywoniak, J.** Větrání a vytápění nízkoenergetických a pasivních obytných staveb (II. část). ČVUT Praha, Fakulta stavební, 14. Únor 2011. [online] [cit. 2017-02-24] Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/technicke-zarizeni-budov-v-ned-a-epd/7148-vetrani-a-vytapani-nizkoenergetickych-a-pasivnich-obytnych-staveb-ii-cast>

[50] **Morávek, P., Tywoniak, J.** Větrání a vytápění nízkoenergetických a pasivních obytných staveb (IV. část). ČVUT v Praze, Fakulta stavební, 7. Březen 2011. [online] [cit. 2017-02-28] Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/7210-vetrani-a-vytapeni-nizkoenergetickych-a-pasivnich-obytnych-staveb-iv-cast>