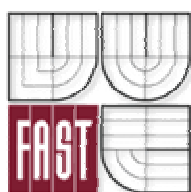


SEMINÁRNÍ PRÁCE

PASIVNÍ DOMY

Brno, říjen 2005



Vypracoval:
Vedoucí práce:
Školní rok:
Kruh:

Jiří Cihlář
Ing. Libor Matějka, CSc.
2005/06
5APS1

OBSAH

A. Úvod	2
A.1. Úvod do problematiky	2
A.2. Ekologické aspekty	2
A.3. Udržitelná výstavba	3
B. Historie pasivní výstavby	4
B.1. Základní úvahy.....	4
B.2. Vývoj staveb	5
C. Energetická bilance pasivního domu	6
C.1. Bilanční schéma	6
C.2. Primární energie	6
C.3. Tepelné ztráty	7
C.3.1. Ztráty prostupem.....	7
C.3.2. Ztráty infiltrací	7
C.4. Tepelné zisky	8
C.4.1. Vnější – solární zisky	8
C.4.2. Vnitřní zisky	9
C.5. Tepelné mosty	9
D. Požadavky na pasivní domy	10
D.1. Dělení staveb dle energetické náročnosti	10
D.2. Pasivní dům podrobněji	13
E. Základní koncepce návrhu.....	13
E.1. Faktory ovlivňující energetické vlastnosti	13
E.2. Umístění budovy	14
E.3. Tvar a uspořádání budovy.....	14
F. Stavebně-konstrukční řešení	15
F.1. Požadavek normy.....	15
F.2. Obvodové svislé konstrukce	16
F.2.1. Dřevostavby.....	16
F.2.2. Masivní stavby	17
F.3. Střechy	18
F.4. Okna	19
F.5. Nejnižší podlaha.....	20
F.6. Neprůvzdušnost.....	21
G. Technická zařízení budov	21
G.1. Vytápění	21
G.2. Větrání.....	22
G.2.1. Dělení	22
G.2.2. Vynucené nucené větrání.....	22
G.2.3. Teplovzdušné vytápění	22
G.2.4. Zemní registr	24
H. Zkoušky kvality a certifikace	24
H.1. Blowerdoor test	24
H.2. Certifikát pasivního domu	24
I. Závěrem	25

A. Úvod

A.1. Úvod do problematiky

Růst ekonomiky i životní úrovně je z velké části umožněn dostatkem a snadnou dostupností relativně levných zdrojů energie. To samozřejmě vyvolává neustálé zvyšování spotřeby energie a s tím spojený růst emisí CO₂. Jednou z cest, jak tento nepříznivý trend výrazně omezit, je výstavba objektů s velice nízkou spotřebou energie na vytápění, tzv. *pasivních domů* (v německy mluvících zemích Passivhaus). Tyto domy se vyznačují minimalizací provozních nákladů při zachování – a zpravidla i zvýšení – kvality vnitřního prostředí budov.

A.2. Ekologické aspekty

Stavební průmysl a jeho produkty – stavby se na současném stavu životního prostředí podílí rozhodující měrou. Budovy – jejich výstavba a provozování – patří mezi hlavní spotřebitele materiálových a energetických zdrojů a významné znečišťovatele životního prostředí a to nejen v období realizace, ale v průběhu všech fází jejich existence.

Negativní vlivy stavebnictví na životní prostředí jsou dány především následujícími faktory¹:

- vyčerpávání obnovitelných zdrojů surovin a energie;
- znečištění a zamoření škodlivými emisemi a odpady;
- přímé negativní působení techniky na okolí (hluk, otřesy, tepelná energie);
- spotřeba kvalitní vody;
- rychlejší čerpání některých obnovitelných zdrojů než je jejich schopnost regenerace.

Cílem nízkoenergetických (příp. pasivních) domů je především úspora a šetrný přístup ke zdrojům získávaných z fosilních paliv. U referenčních příkladů uváděných v literatuře a na internetu bylo zjištěno, že spotřeba tepla u pasivních domů byla přibližně o 85% nižší než u stávajících budov. Přitom pořizovací náklady spojené s výstavbou pasivních domů se zvyšují přibližně o 8 – 10 %. Tato forma výstavby je proto šetrnější k životnímu prostředí – dochází k výraznému poklesu nebo úplnému eliminování emisí prachu a skleníkových plynů. To vše se děje ve prospěch udržitelného rozvoje (viz níže).

¹ Doc. Ing. Petr Hájek, CSc, ČVUT Praha, *Sborník konference Pasivní domy*, Brno 2005

A.3. Udržitelná výstavba

Trvale udržitelný rozvoj byl definován ve zprávě komise OSN z roku 1987 jako „rozvoj, který upokojuje potřeby současnosti, aniž by omezoval možnosti budoucích generací upokojuvat jejich vlastní potřeby“. O pět let později se konala klíčová Konference OSN o životním prostředí a rozvoji v Rio de Janeiru, kde byla přijata Agenda 21 obsahující rámcová východiska pro zajištění trvale udržitelného rozvoje.

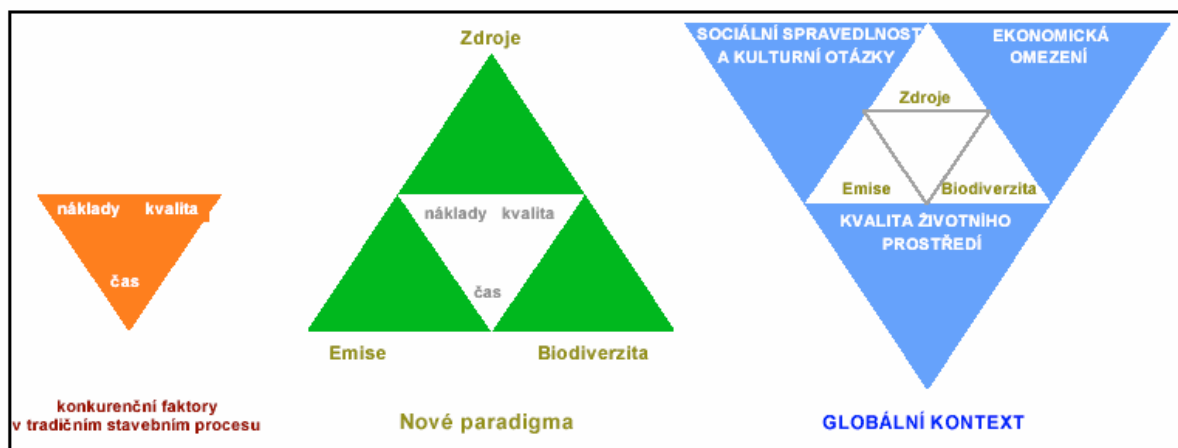
Pojem udržitelné výstavby definuje dokument *Agenda 21 on Sustainable construction*² vydaný v roce 1999 obsahující základní principy a cíle udržitelné výstavby. Dokument se zabývá oblastí procesu řízení, kvalitou výrobků a stavebních objektů, spotřebou zdrojů (energie, materiálů, vody a půdy), vlivy výstavby na trvale udržitelný rozvoj měst a výstavby pozemních staveb.

Tradiční přístup při navrhování pozemních staveb dle tohoto dokumentu vychází ze tří základních požadavků: kvalita konstrukčního řešení, náklady na realizaci stavby a čas potřebný na její realizaci. Kombinací těchto požadavků je hledán optimální kompromis, splňující požadavky stavebníka.

Nové pojetí se snaží o komplexnější řešení a zahrnuje v sobě následující soubory kritérií:

- sociální spravedlnost a kulturní otázky;
- ekonomická omezení;
- kvalita životního prostředí.

Názorně je tato koncepce zobrazena na schématu:



Obr. 1 Nové pojetí udržitelné výstavby v globálním kontextu. Zdroj: Publikace Agenda 21

² Agenda 21 on Sustainable construction, CIB Report 237, 1999

Je zřejmé, že tradiční přístup vychází z principu maximálního ekonomického efektu bez výraznějšího ohledu na dopady na životní prostředí, nové pojetí globálního kontextu, které lze shrnout do pojmu udržitelná výstavba, zdůrazňuje význam omezování negativních enviromentálních vlivů staveb, při současné vyváženosti všech ostatních kritérií.

Výčet ekologicky šetrných principů a přístupů, které se již v navrhování a výstavbě uplatňují lze uvést následující³:

- výstavba nízkoenergetických a energeticky pasivních domů, využívání obnovitelných zdrojů energie;
- využívání obnovitelných surovin (především dřeva a materiálů na bázi dřeva);
- využívání druhotných recyklovaných surovin;
- alternativní materiálové i energetické konstrukční řešení;
- větší míra uplatnění modernizace a rekonstrukce budov;
- rozvoj prefabrikovaných a demontovatelných systémů;
- sladění životností jednotlivých konstrukčních prvků.

Výše uvedené myšlenky lze shrnout do dílčího závěru, že je „...vhodné navrhovat taková řešení budov, aby bylo požadavku nízké energetické náročnosti dosahováno efektivně, tedy zejména s nízkou investiční náročností a s malou zátěží pro životní prostředí, po celý životní cyklus budovy“. Uvedená citace je z české normy ČSN 73 0540:2 (2002)⁴.

B. Historie pasivní výstavby

B.1. Základní úvahy

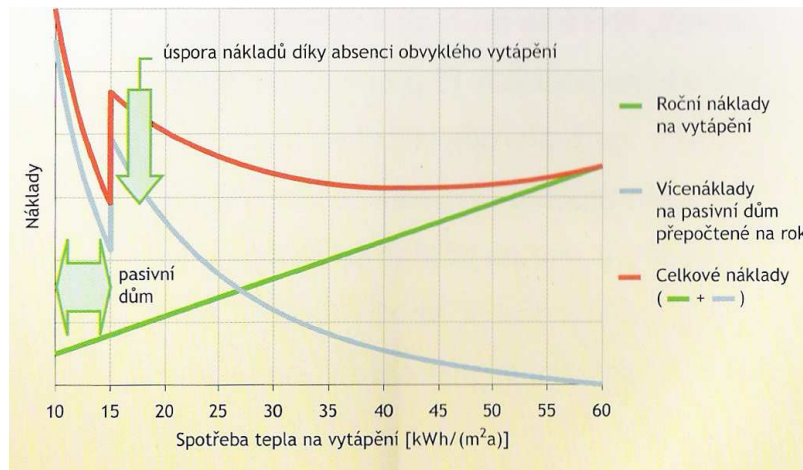
Základní myšlenka pasivního domu vychází z nutnosti řízeného větrání jako jediného způsobu, jak zamezit nekontrolovatelným ztrátám tepla a současně zajistit potřebnou kvalitu vnitřního prostředí. Rozvod přiváděného čerstvého vzduchu lze pak využít k distribuci tepla místo klasické otopné soustavy.

Koncepce pasivního domu byla vytvořena Dr. Wolfgangem Feistem (Německo) již na konci 80. let 20. století. Základní úvahou bylo využití potenciálu vyplývajícího z možnosti úspor u investičních nákladů díky vylepšené technice energetických úspor. Jednoduše tepelná izolace musí být tak dobrá, aby bylo možné opustit konvenční systém vytápění a tím snížit

³ Doc. Ing. Petr Hájek, CSc, ČVUT Praha, *Sborník konference Pasivní domy*, Brno 2005

⁴ ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, ČSN 2002

investiční náklady na výstavbu a částečně eliminovat vícenáklady vzniklé stavbou kvalitnějšího domu.



Obr. 2

Princip eliminace vícenákladů vzniklých výstavbou domu v pasivním standardu.

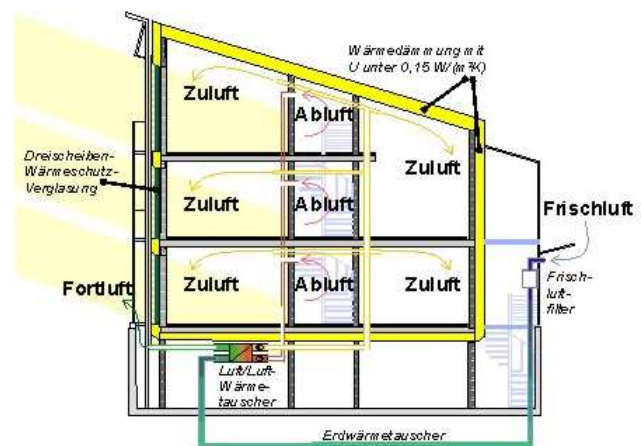
Zdroj: Centrum pasivního domu, Brno

B.2. Vývoj staveb

První dům v pasivním standardu byl postaven v Darmstadtu a je obýván od roku 1991. Již od počátku byl projekt doprovázen přesným vědeckým měřením. Výsledky ukázaly, že i ve střední Evropě je možné postavit obytné budovy tak, aby nebylo nutné používat běžné topení a budovy si přesto zanechaly vynikající tepelné vlastnosti.

V roce 1996 zahájilo svou činnost Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser (Profesní sdružení levných pasivních domů) a Passivhäuser Institut (Institut pasivních domů) výsledkem činnosti těchto sdružení byla realizace prvních sídlištních projektů (Wiesbaden, Kolín).

V Rakousku a Německu mají v současné době pasivní domy výrazný podíl na počtu novostaveb. Každým rokem se počet pasivních domů zdvojnásobuje.

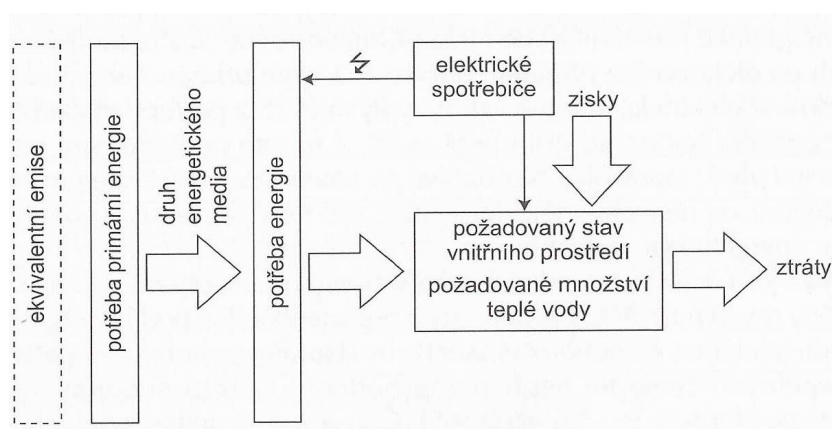


Obr. 3 Koncepce prvního pasivního domu, rok výstavby 1990/91 v Darmstadtu Kranichstein; architekti Prof. Bott / Ridder / Westermeyer
Zdroj: Passivhaus Institut

C. Energetická bilance pasivního domu

C.1. Bilanční schéma

Základní bilanční schéma je uvedeno v normě ČSN EN ISO 13790⁵. Pro potřeby výpočtu, klasifikace a případně následné certifikace pasivního domu není informace o spotřebě energie měřené na vstupu do budovy dostačující, proto je nutné schéma doplnit o množství primární energie, která k tomu účelu musela být uvolněna a transportována do místa spotřeby. Blíže o primární energii v následující kapitole.



Obr. 4 Schéma rozšířené energetické bilance budovy
Zdroj: Publikace
Nízkoenergetické domy,
Tywoniak

C.2. Primární energie

Jak již bylo výše zmíněno jedním z kritérií dosažení pasivního standardu stavby je i primární energie. Dle normy ČSN 73 0540: 2 je „...*primární energie taková, kterou je třeba uvolnit při energetické přeměně v místě zdroje. Podle povahy zdroje se požívá přepočtu : primární energie = energie potřebná na vstupu do budovy x faktor energetické přeměny. Faktor energetické přeměny f_p se uvažuje hodnotou 3,0 pro elektrickou energii, 1,0 pro obvyklá paliva, 1,1 pro dálkové vytápění, hodnotou 0 pro obnovitelné zdroje energie, nejsou-li k dispozici podrobnější místní údaje nebo jiné závazné hodnoty.*“

Podrobnější hodnocení výpočtu primární energie lze najít pouze v zahraničních technických normách.⁶

⁵ ČSN EN ISO 13790 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění. ČNI 2000

⁶ DIN V 4701 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, DIN 2003

C.3. Tepelné ztráty

Při návrhu pasivního domu má tepelná ztráta zcela zásadní význam, zvláště pokud má být vzduch jediným nosičem tepla. Pokud vezmeme v úvahu všechny omezující vstupní údaje (požadavek na množství čerstvého vzduchu/osobu, teplotu interiéru, měrné teplo vzduchu), docházíme k zjištění, že nejvyšší možná tepelná ztráta je **10 W/m²**. Tato hodnota je zároveň hraničním topným výkonem.⁷

Tepelné ztráty lze obecně rozdělit na ztráty prostupem tepla a ztráty infilrací neboli výměnou vzduchu.

Výpočet tepelných ztrát je řešen např. v ČSN EN ISO 13789⁸ a normách souvisejících, mírně odlišný přístup volí vyhláška č. 291/2001 Sb.⁹

C.3.1. Ztráty prostupem

Prostup tepla může probíhat konstrukcemi přímo, nebo nepřímo, pokud je mezi vytápěným prostorem a exteriérem prostor nevytápěný nebo zemina.

Dle⁸ se tepelná ztráta H_t vypočte podle vztahu:

$$H_t = L_d + L_s + H_u$$

kde je:

L_d tepelná propustnost obv. pláštěm mezi vytápěným prostorem a vnějším prostředím;

L_s ustálená tepelná propustnost přes zeminu;

H_u měrná ztráta prostupem tepla přes nevytápěné prostory

C.3.2. Ztráty infilrací

Měrná tepelná ztráta infilrací H_v se opět objevuje v obou zmiňovaných dokumentech s odlišným přístupem. V normě ČSN 73 0540:2 je definován požadavek na *intenzitu výměny vzduchu* n_N , což je hodnota odvozená od H_v . Pro obytné budovy leží požadovaná intenzita výměny vzduchu v rozmezí $n_N = 0,3 - 0,6 \text{ h}^{-1}$.

⁷ Ing. Jan Bárta, *Sborník konference Pasivní domy*, Brno 2005

⁸ ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov – Měrná ztráta prostupem tepla – Výpočtová metoda, ČSN 2000

⁹ Vyhláška 291/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách

C.4. Tepelné zisky

Citace vyhl. č. 291/2001 Sb.: „*Bere se zřetel na tepelné zisky z vnitřních zdrojů tepla a zisky ze slunečního záření. Tyto zisky se mohou započítávat do tepelné bilance jen tehdy, když je v budově instalována automatická dynamická regulace*“.

Zde je uvažováno s klasickou otopnou soustavou a dynamickou regulací se míní např. termostatické ventily na radiátorech. V konceptu pasivního domu je nosičem tepla vzduch, který téměř neustále cirkuluje a vytváří samostatný větrací okruh (bytová jednotka, rodinný dům). Systémy teplovzdušného vytápění pasivních domů navíc zpravidla obsahují účinnou rekuperaci tepla z odpadního vzduchu, je tedy zřejmé že v soustavě dochází k vysoce efektivnímu vyžití tepelných zisků.

C.4.1. Vnější – solární zisky

Okna v pasivním domě slouží jako sluneční kolektor, solární zisky okny jsou významným příspěvkem k pokrytí tepelných ztrát objektu. Cílem ovšem není získat co nejvíce sluneční energie, ale snížit potřebu tepla na vytápění.

Pro zajištění pasivních zisků ze slunečního záření platí zásady:

- použití zasklení s velmi nízkou hodnotou součinitele prostupu tepla, které ovšem umožní dostatečné tepelné zisky díky vysoké propustnosti slunečního záření;
- minimalizace ztrát tepelnými mosty v místě osazení skla do rámu a osazení rámu do stěny;
- hodná orientace prosklených ploch – ideální je jižní orientace.

Jak již bylo zmíněno, při návrhu pasivního domu je vždy nutné vytvořit výpočtový model pro optimalizaci solárních zisků kvůli přehřívání v letních měsících. Použití zasklených atrií, zimních zahrad i speciálních prvků pro využití solární energie (prosklené větrané fasádní prvky, dvojité prosklené fasády apod.) je sice možné, ale až po prověření jejich vlastností ve prospěch budovy v průběhu celého roku!

Výpočet solárních zisků je uveden např. v normě ČSN EN 832¹⁰ a je založen na principu redukce celkové plochy výplně stavebního otvoru dílčími redukčními součiniteli.

Účinná sběrná plocha zaskleného prvku se pak stanoví ze vztahu:

$$A_s = A \cdot F_s \cdot F_c \cdot F_f \cdot g$$

¹⁰ ČSN EN 832 Tepelné chování budov – Výpočet tepla na vytápění – Obytné budovy, ČSN 2000

Následující tabulka je příkladem výpočtu účinných sběrných ploch z jednotlivých světových stran.

orientace	Plocha oken. otvorů	Kor. činitel stínění FS	Kor. činitel rámu FF	Kor. činitel clonění FC	Propustnost slunečního záření zasklení: g	Účinná sběrná plocha A _s , opravená na všechny činitele
	m ²	-	-	-	-	m ² (korigované)
Z	22	0,8	0,8	1,0	0,81	10
J	58	0,9	0,8	1,0	0,81	30
V	54	0,7	0,8	1,0	0,81	22
S	20	0,8	0,8	1,0	0,81	9
Celkem	153					72

Poznámka: Bližší popis jednotlivých redukčních součinitelů viz zmiňovaná norma.

C.4.2. Vnitřní zisky

Aktuální české normy a vyhlášky řeší otázku vnitřních zisků pro potřeby výpočtu pasivního domu příliš obecně. Norma ČSN EN 832 udává pro obytné domy hodnotu 5 W/m². Tato hodnota však dle odborníků¹¹ není reálná a nekorektně by zlepšovala výsledek energetické bilance.

Přesnější výpočet je možný pomocí programu PHPP, kde je uvažováno s vybavením elektrickými spotřebiči a jejich užitím v čase, údaji o počtu osob atd. Výsledná hodnota po tomto výpočtu vnitřních zisků je pak výrazně nižší.

C.5. Tepelné mosty

Jako tepelný most lze označit místo v konstrukci, kde dochází k větším tepelným tokům než v bezprostředním okolí tohoto místa. Ztráty tepelnými mosty tvoří u vysoce izolovaných staveb významnou část celkových ztrát.

Při návrhu pasivního domu je třeba vyvarovat se tepelných mostů dodržением základních pravidel:

- pokud možno nepřerušovat izolační vrstvu;
- při přerušení tepelné izolace používat materiály s nízkým součinitelem tepelné vodivosti (pórobeton, dřevo);
- spáry v izolační vrstvě překrýt další vrstvou;

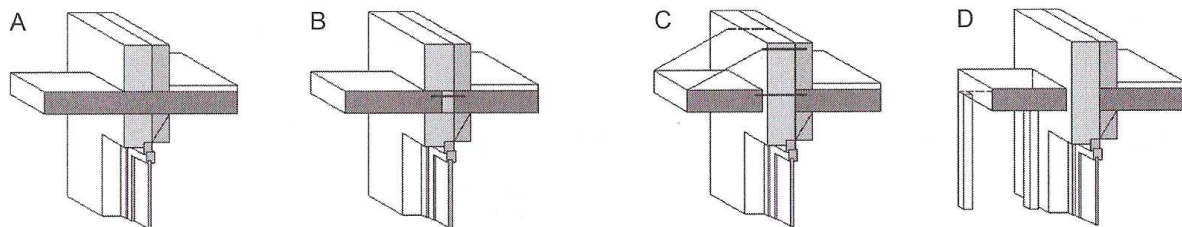
¹¹ Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA Publishing, 2005

- návrh konstrukcí vhodných geometrických tvarů (oblouk, tupý úhel)

Při výpočtu je rozhodujícím ukazatelem lineární součinitel prostupu tepla tepelného mostu ψ . Celkovou tepelnou ztrátu prostupem budovy pak tvoří tepelné ztráty obvodovými konstrukcemi a ztráty tepelnými mosty. Rozeznáváme tepelné mosty bodové a lineární.

Mezi nejčastěji se vyskytující lineární tep. mosty v kci patří napojení vnější svislé stěny na další konstrukci (základ, výplň otvoru, balkon), střecha navazující na výplň otvoru (střešní okno, světlík).

Mezi bodové tepelné vazby (jiné označení pro tepelný most) patří průnik tyčové kce (sloupy, nosníky, konzoly) vnější stěnou, podhledem nebo střechou.¹²



Obr. 5 Schéma principu řešení některých tepelných mostů (balkón, lodžie, zastřešení vchodu atd.)

- A – chybné řešení pomocí vykonzolované stropní desky bez tepelné izolace;
B – řešení pomocí nosníku pro přerušenie tepelného mostu;
C – zavěšení;
D - podepření

D. Požadavky na pasivní domy

D.1. Dělení staveb dle energetické náročnosti

Základním ukazatelem energetické náročnosti budovy je měrná potřeba tepla na vytápění. Myšleno je tím množstvím tepla za rok (per annum), stanovené výpočtem a vztažené na 1 m² otápané plochy budovy.

Základní rozdělení budov podle potřeby tepla na vytápění zobrazuje následující tabulka.

Tabulka neuvádí kritéria pro posuzování pasivních domů netýkající se měrné potřeby tepla, které budou uvedeny v další kapitole.

¹² Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA Publishing, 2005

Kategorie	Potřeba tepla na vytápění
starší budovy	často dvojnásobek hodnot pro obvyklé novostavby a více
novostavba (dle aktuálních závazných požadavků)	80 – 140 kWh/(m ² a) v závislosti na faktoru tvaru A/V
nízkoenergetický dům	≤ 50 kWh/(m ² a)
pasivní dům	≤ 15 kWh/(m ² a)
nulový dům	≤ 5 kWh/(m ² a)

Za **nízkoenergetické domy** považuje ČSN 73 0540:2 budovy s roční měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující 50 kWh/(m²a), pokud využívají velmi účinnou otopnou soustavu. Toto kritérium se používá bez ohledu na tvar budovy, přičemž kompaktní tvar je obecně výhodnější než tvar členitý. Faktory ovlivňující výši měrné spotřeby budou uvedeny níže.

Pasivní domy (dle ⁴) jsou budovy s roční měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující 15 kWh/(m²a). Takto nízkou energetickou potřebu budovy lze krýt bez použití obvyklé otopné soustavy, pouze se systémem nuceného větrání obsahujícím účinné zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu (rekuperací) a malé zařízení pro dohřev vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot. Navíc musí být dosaženo návrhových teplot vnitřního vzduchu po provozní přestávce v přiměřené (a v projektové dokumentaci uvedené) době. Současně nemá u těchto budov celkové množství primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev TUV a el. energie pro spotřebiče) překračovat hodnotu 120 kWh/(m²a). Pojem primární energie bude definován níže.

Velmi přísný požadavek je také kladen na celkovou neprůvzdušnost obvodového pláště a tím zamezení nekontrolovatelným únikům tepla.

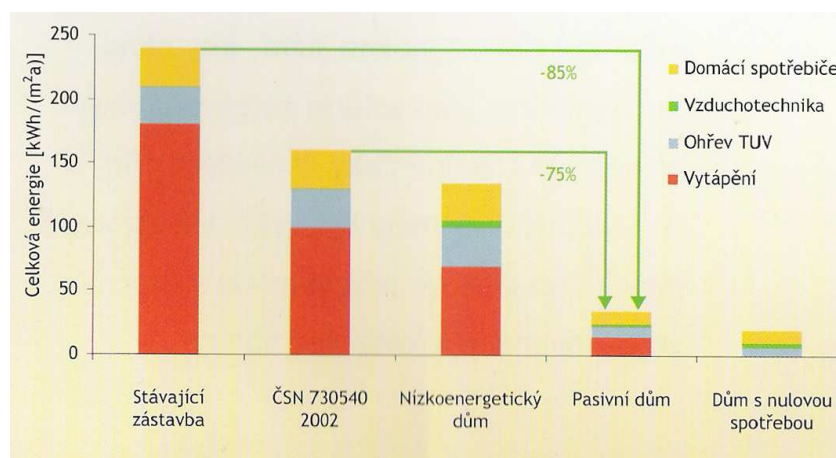
Nulový dům (dům s nulovou potřebou energie) uváděná norma nezmiňuje, v literatuře se tím obecně myslí budovy, které mají potřebu tepla blízkou nule. Takového řešení je možné dosáhnout jen při mimořádně vhodných podmínkách, proto se takové domy objevují pouze zřídka.

Domy, které vyprodukují více energie než sami spotřebují (solárními kolektory, tepelným čerpadlem) bývají jako **domy s energetickým přebytkem**. Takto navržené domy dodávají elektřinu do rozvodné sítě.

Tabulka uvádí srovnání výše uvedených typů domů a jejich technických parametrů¹³.

Starší domy	Nízkoenergetické domy	Pasivní dům
$Q > 110 \text{ W/m}^2$ $U_{\text{okna}} > 2,5 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$ $U_{\text{konstrukce}} > 2,5 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$	$Q = 20 - 40 \text{ W/m}^2$ $U_{\text{okna}} < 1,0 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$ $U_{\text{konstrukce}} < 0,18 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$	$Q = 10 \text{ W/m}^2$ $U_{\text{okna}} < 0,85 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$ $U_{\text{konstrukce}} < 0,15 \text{ W/(m}^2 \text{K)}$
Charakteristika		
Klasická otopná soustava je velkým zdrojem emisí; větrá se pouhým otevřením oken	Klasická otopná soustava o menším výkonu, dobrá tepelná izolace stěn, řízené větrání	Opouští se klasická otopná soustava, větrání s rekuperací vzduchu, velmi těsná okna
Měrná potřeba tepla pro vytápění a větrání kWh/(m²a)		
170 - 220	30 - 60	< 15
Měrná potřeba tepla pro ohřev užitkové vody kWh/(m²a)		
35	< 20	10 - 15
Měrná spotřeba elektrické energie v domácnosti kWh/(m²a)		
30	< 20	10 - 15
Souhrnná měrná potřeba (ÚT+VZT+TUV+EI) kWh/(m²a)		
235 - 285	70 - 110	35 - 45

Komentář k tabulce: Q je měrná tepelná ztráta prostupem na jednotku podlahové plochy, U je součinitel prostupu tepla dílčích konstrukcí.



Obr. 6 Srovnání celkové roční spotřeby domu a její rozložení do spotřeb dílčích. Zdroj: Centrum pasivního domu, Brno

¹³ převzato Doc. Ing. Josef Chybík, CSc., FA VUT Brno, *Sborník konference Pasivní domy*, Brno 2005

D.2. Pasivní dům podrobněji

Termín pasivní dům se používá pro označení určitého standardu řešení budovy. Tohoto standardu lze dosáhnout požitím kombinace různých technologií, návrhů a materiálů. V podstatě lze mluvit o upřesnění a zdokonalení standardu nízkoenergetického domu.

Pro pasivní domy byla, jak už bylo výše uvedeno, stanovena tato kritéria (výpočtem podle PHPP¹⁴):

- roční měrná spotřeba tepla na vytápění nepřesáhne **15 kWh/(m²a)** – hodnota určená pro středoevropské klimatické podmínky;
- celková neprůvzdušnost n_{50} nepřesáhne **0,6 h⁻¹**;
- celková roční měrná spotřeba primární energie v evropských podmínkách nesmí překročit **120 kWh/(m²a)**.

Obecně lze také technické požadavky, tak jak se jim budu věnovat v dalších částech seminární práce, charakterizovat následovně:

- vysoce kvalitní tepelně izolační okna s dobře izolovanými rámy;
- kvalitní tepelná izolace;
- konstrukce bez tepelných mostů;
- vzduchotěsná obálka;
- větrací systém s vysoce účinným zpětným získáváním tepla;

E. Základní koncepce návrhu

E.1. Faktory ovlivňující energetické vlastnosti

Výsledné energetické vlastnosti budovy ovlivní zejména¹⁵:

- volba pozemku a osazení na něm;
- orientace budovy ke světovým stranám;
- převládající směr a intenzita větru;
- velikost budovy – přiměřenost danému účelu;
- tvarové řešení;
- vlastnosti obvodových konstrukcí;
- velikost prosklených ploch na fasádách;
- otopná soustava – vhodná volba, přiměřená velikost, kvalitní regulace;

¹⁴ software Passivhaus Projektierungs Paket (PHPP), Passivhaus Institut Darmstadt, 2004

¹⁵ Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA Publishing, 2005

- efektivnost ohřevu TUV;
- způsob užívání budovy.

Z uvedeného výčtu je zřejmé, že problém nelze omezit na stanovení výrazně větší tloušťky tepelné izolace v obvodových konstrukcích.

E.2. Umístění budovy

Přednost by měl mít pozemek, na kterém je možné dům umístit tak, aby hlavní fasáda s největší prosklenou plochou směřovala na osluněnou stranu – JV, V, JZ. Současně však je nutné vzít v úvahu riziko přehřívání budovy – prověřit možnosti prosklení jednotlivých fasád s ohledem na pasivní solární zisky.

E.3. Tvar a uspořádání budovy

Základem hospodárného návrhu pasivního domu je tvarová kompaktnost, která ve značné míře přispívá ke snižování potřeby tepla na vytápění. Výhodnější je menší faktor tvaru A/V (plocha ochlazovaných kcí / objem budovy). Vliv faktoru A/V je zohledněn i v požadavcích vyhlášky č. 291/2001 Sb.:

A/V [m^{-1}]	e_{va} [kWh/m^2a]
0,2	80,6
0,3	88,8
0,4	96,9
0,5	105,0
0,6	113,1

Tabulka názorně demonstruje, jak se mění energetické vlastnosti objektu podle tvarového řešení (požadavky kopírují změnu vlastností).

Pro pasivní dům je, jak již bylo uvedeno v kap. D.2, nutné hodnotu e_{va} snížit až na 15 kWh/m^2a bez ohledu na tvarovou charakteristiku, je tedy zřejmé, že volba tvaru má na výsledek zásadní význam.

Dispoziční řešení

Vnitřní uspořádání má být voleno s ohledem na soulad vytápěcích režimů v jednotlivých místnostech nebo tepelných zónách. Doporučení uváděná v literatuře jsou platná i při návrhu nízkoenergetického (pasivního) domu. Obytné prostory mají být osluněny z jihu až jihozápadu, ložnice od východu až jihovýchodu, pracovny a kanceláře mají mít okna raději na neosluněnou stranu. Servisní místnosti jako WC, koupelna, šatna, sklad jsou umísťovány zpravidla na neosluněnou stranu.

F. Stavebně-konstrukční řešení

F.1. Požadavek normy

Požadavky na tepelně-technické vlastnosti jednotlivých obvodových konstrukcí jsou uvedeny v normě ČSN 73 0540: 2. Rozhodujícím kritériem je zde součinitel prostupu tepla U .

Požadované hodnoty U_N z normy ČSN 73 0540-2 (2002)			
Popis konstrukce	Typ konstrukce	Požadované hodnoty U_N	Doporučené hodnoty U_N
		W/(m ² .K)	W/(m ² .K)
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně Podlaha nad venkovním prostorem Strop pod nevytápěnou půdou se střechou bez tepelné izolace Podlaha a stěna s vytápěním	lehká	0,24	0,16
	těžká	0,30	0,20
Stěna venkovní Střecha strmá se sklonem nad 45°	lehká	0,30	0,20
	těžká	0,38	0,25
Podlaha a stěna přilehlá k zemině (s výjimkou poznámky 2) Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru		0,60	0,40
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k částečně vytápěnému prostoru		0,75	0,50
Stěna mezi sousedními budovami Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 K včetně		1,05	0,70
Stěna mezi prostory s rozdílem teplot do 10 K včetně		1,30	0,90
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 K včetně		2,2	1,45
Stěna vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 K včetně		2,7	1,80
Okno a jiná výplň otvoru podle 4.6, z vytápěného prostoru (včetně rámu, který má nejvýše 2,0 W/(m ² .K)	nová	1,8	1,20
	upravená	2,0	1,35
Dveře, vrata a jiná výplň otvoru podle 4.6, z částečně vytápěného nebo nevytápěného prostoru vytápěné budovy (včetně rámu)		3,5	2,3

Při návrhu domu v pasivním standardu je nutné tyto hodnoty ještě výrazně zlepšit. Následující tabulka ukazuje doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla u hraničních obvodových konstrukcí pro pasivní dům¹⁶:

Konstrukce	Součinitel prostupu tepla U [W/(m ² K)]
Obvodové stěny	0,1 – 0,15
Střecha	0,08 – 0,12
Podlaha na terénu	max. 0,15
Okna	max. 0,8

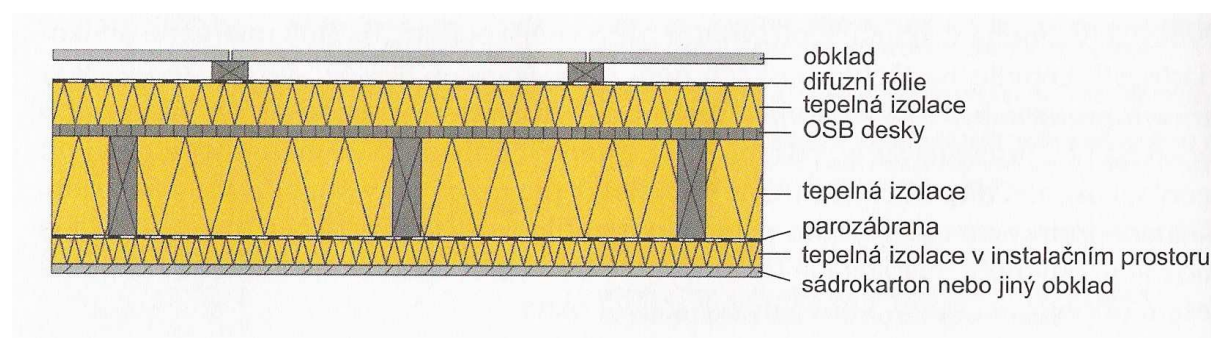
F.2. Obvodové svislé konstrukce

F.2.1. Dřevostavby

Tradičním stavebním systémem je **dřevostavba fošnové kce**, kdy svislé dřevěné prvky (fošny) staticky spolupůsobí s bedněním z OSB desek umístěných nejčastěji z venkovní strany. Prostor mezi deskami je vyplněn tepelnou izolací a překryt parozábranou.

Při instalaci OSB desek na stranu interiéru mohou plnit funkci parozábrany, musí však být zajištěno přelepení spojů speciální páskou.

Jiným systémem je **dřevostavba panelového systému**. Panely jsou lehké, prefabrikované, zpravidla na celou výšku podlaží. Skladbou se výrazně neliší od fošnové kce, výhodou je však snadná montáž a manipulace. Ve strojní výrobě lze také dosáhnout vyšší přesnosti.



Obr. 7 Obvodová stěna dřevostavby s fošnovou konstrukcí. Zdroj: Publikace Nízkoenergetické domy

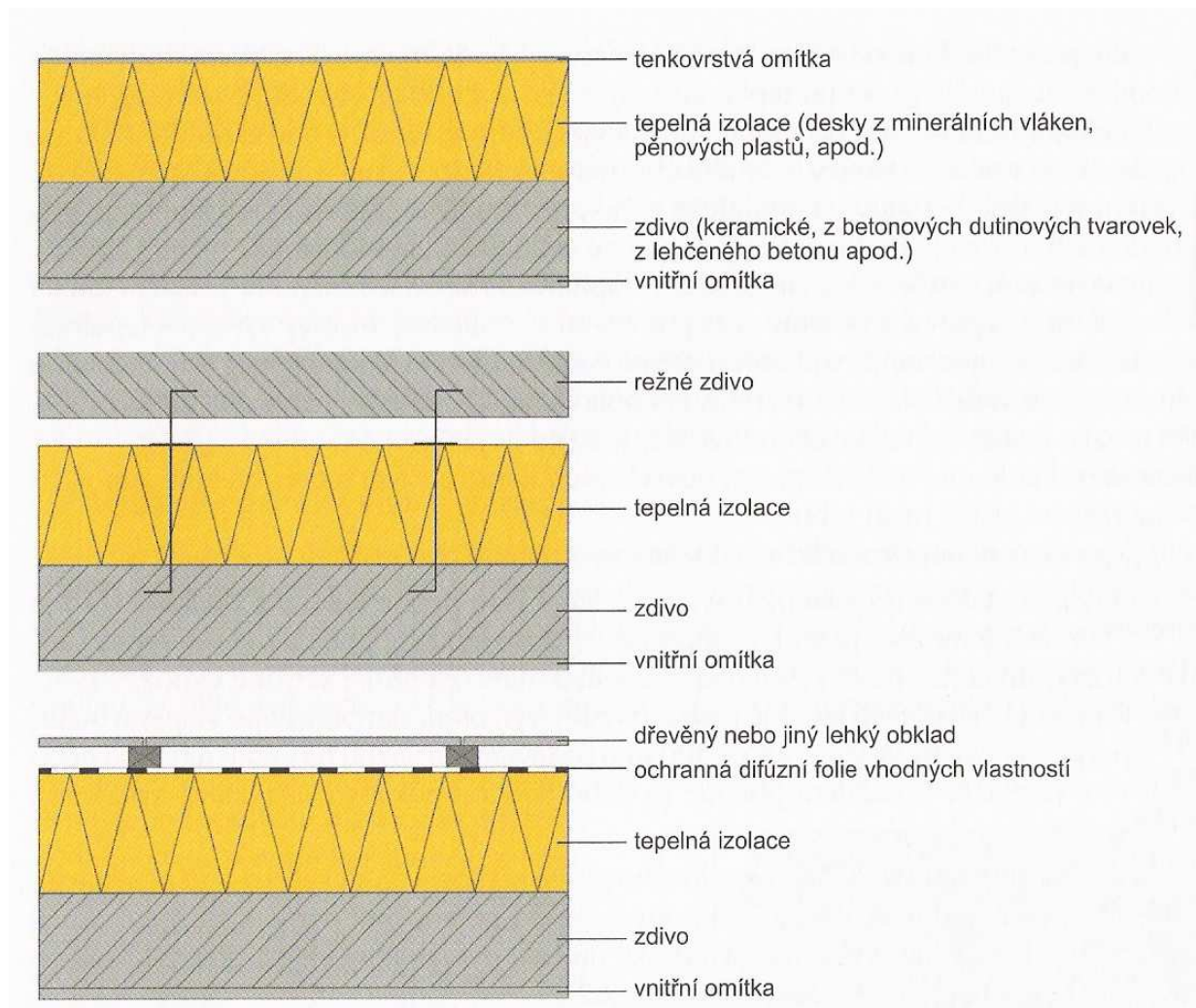
¹⁶ Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA Publishing, 2005

F.2.2. Masivní stavby

Vzhledem k nutnosti aplikace silné vrstvy tepelné izolace je zde základním omezujícím kritériem přijatelná tloušťka stěny. Přednost tedy dostanou zdiva s vysokou únosností, s tloušťkou do 240 mm (pálená keramika, tvarovky z lehčeného betonu) nebo menší – v tloušťkách 120 až 180 mm (ŽB monolitické nebo prefabrikované stěny).

Nosnou část, která zde postrádá tepelně-izolační funkci, pak doplňuje souvrství – kontaktní zateplovací systémy, roštový systém s tepelnou izolací a větraným vnějším pláštěm.

Další skupinou jsou systémy tzv. ztraceného bednění. Jedná se např. o polystyrénové tvarovky, které se sestaví na výšku podlaží, doplní výztuží a následně zalévají betonovou směsí.



Obr. 8 Principiální řešení jednoplášťových a dvouplášťových stěn.

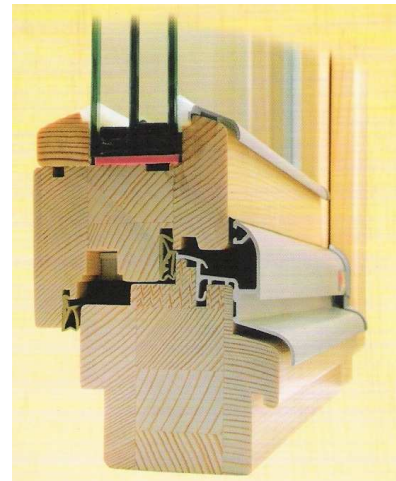
Zdroj: Publikace Nízkoenergetické domy

F.4. Okna

Výraz okno pasivního domu se na trhu s okny etabloval, aniž by pro ně existovala nějaká norma nebo zákonná předloha. Za okna pasivních domů jsou považovány systémy s hodnotou $U < 0,8$ [W/m²K].

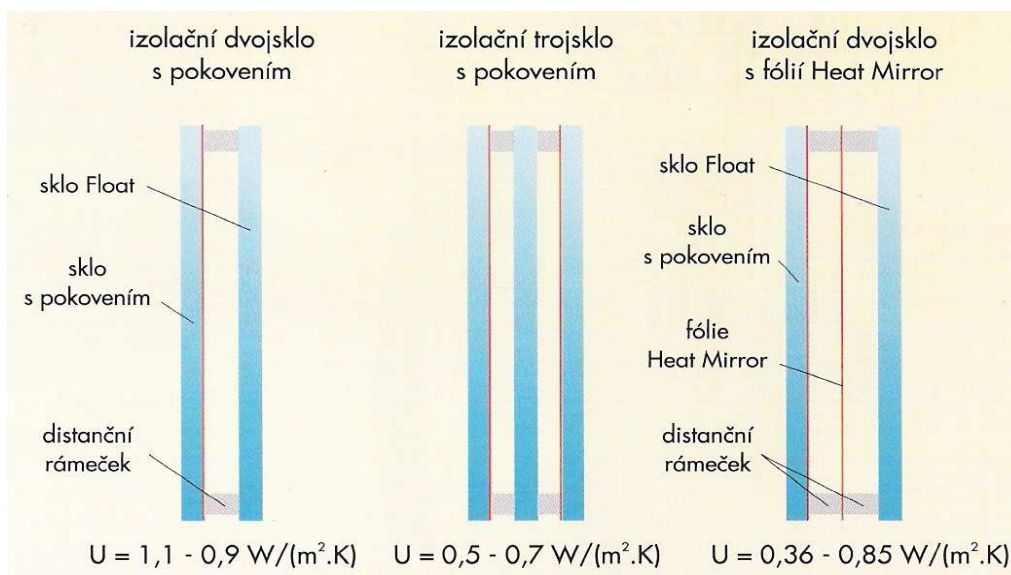
Výsledný prostup tepla oknem je ovlivněn¹⁷:

- vlastnostmi zasklívací jednotky;
- vlastnostmi rámu;
- vlastnostmi distančního rámečku na okraji zasklívací jednotky;
- vazbou mezi oknem a obvodovou stěnou;
- skutečným provedením při montáži.



Obr. 10 Okno s izolačním trojsklem.

Zdroj: firma Slavona



Obr. 11 Srovnání vlastností oken. Zdroj: firma Slavona

Tepelné zrcadlo (HEAT MIRROR)

Tepelné zrcadlo je fólie pokrytá nízkoemisivní vrstvou, která je napnutá uvnitř izolačního dvojskla. Výsledkem je prakticky třívrstvý systém se dvěma nezávislými komorami, který však nemá hmotnost trojskla, ale dvojskla. Fólie je průhledná pro viditelné světlo, ale odráží tepelné a ultrafialové záření. Různé typy fólie jsou pokryty šesti až dvanácti různými vrstvami

¹⁷ Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA Publishing, 2005

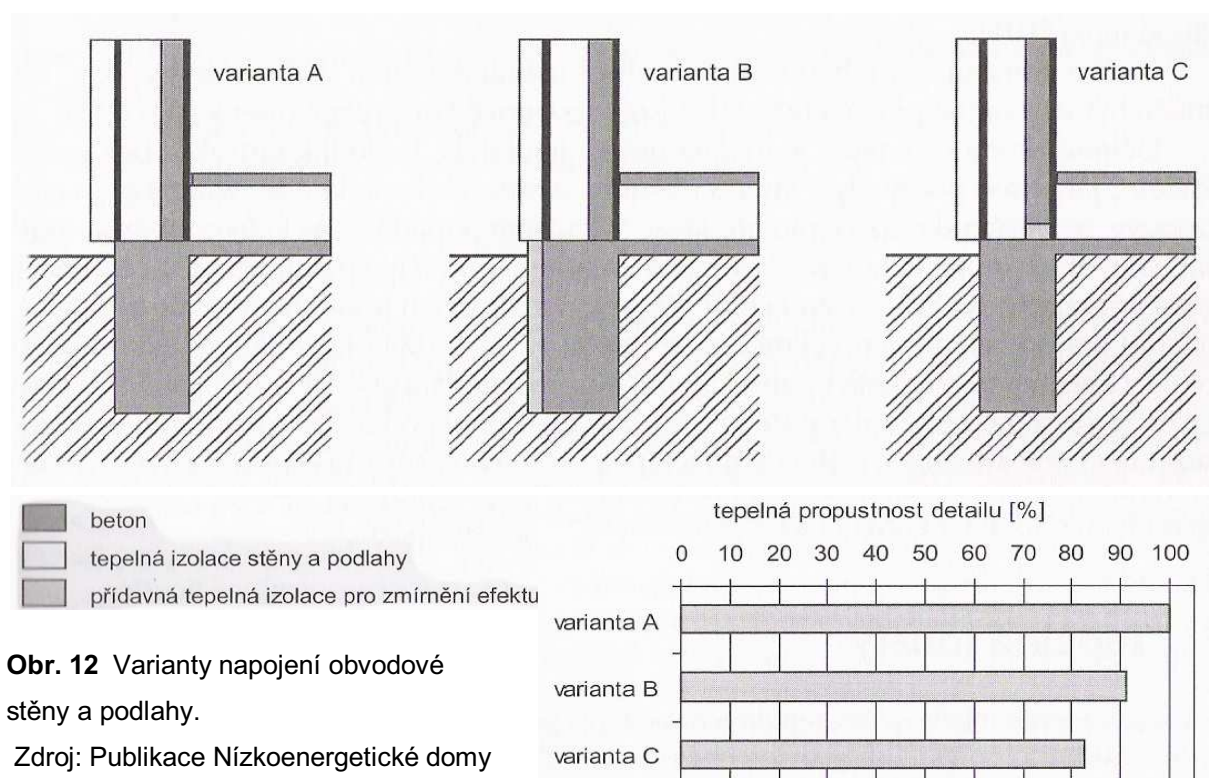
stříbra a oxidu india, toto pokrytí má tloušťku několika atomů a je prakticky neviditelné pouhým okem. To způsobuje selektivní odraz, absorpci, nebo propustnost elektromagnetického záření o určitých vlnových délkách. Takové pokrytí je transparentní pro viditelné světlo (umožňuje světlu procházet oknem), zároveň odráží vzdálené infračervené (IR teplo přenášející) záření a škodlivé ultrafialové (UV) záření.

Použití oken typu heat mirror je velmi účinné, avšak v současné době jedno z nejdražších řešení.

F.5. Nejnižší podlaha

Velké množství realizací pasivních domů je řešeno bez suterénu. Řada technických i energetických komplikací tím odpadá a stavba se zpravidla zlevní. Pokud je suterén z nějakých důvodů nutný, důležité je vymezení otápané zóny – suterén otápaný nebo neotápaný. Nejnižší podlaha otápané zóny potom musí splňovat přísné požadavky na tepelnou izolaci.

Skladbu podlahy je možné zachovat jako při běžné výstavbě pouze s navýšením tepelně-izolační vrstvy. Velkou pozornost je třeba věnovat konstrukčnímu uspořádání při obvodu budovy. Zejména při menších půdorysech je značná část plochy ovlivněna účinkem vícerozměrného vedení tepla na rozhraní betonové desky, základového pasu, soklu a zeminy. Tím vzniká liniový tepelný most.



Obr. 12 Varianty napojení obvodové stěny a podlahy.

Zdroj: Publikace Nízkoenergetické domy

F.6. Neprůvzdušnost

Cílem konstrukčního řešení je dosažení extrémní vzduchotěsnosti obvodového pláště budovy, a tím zamezení nekontrolovatelným tepelným ztrátám. Styky jednotlivých stavebních dílů musí být bezchybně utěsněny. Požadavek výměny vzduchu pro pasivní domy je velmi přísný.

Celková neprůvzdušnost budovy nebo její ucelené části se ověřuje pomocí **celkové intenzity výměny vzduchu n_{50}** . Hodnoty se stanovují experimentálně (blíže kapitola H.1).

Doporučuje se splnění podmínky $n_{50} \leq n_{50,N}$.

Tabulka uvádí doporučené hodnoty celkové intenzity výměny vzduchu.¹⁸

Větrání v budově	$n_{50,N}$ [h^{-1}]
Přirozené	4,5
Nucené	1,5
Nucené se zpětným získáváním tepla	1,0
Nucené se zpětným získáváním tepla v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění	0,6

G. Technická zařízení budov

G.1. Vytápění

Přístup k řešení vytápění je odlišný, vzhledem k velmi malé tepelné ztrátě, která je po velkou část roku navíc pokryta tepelnými zisky. Vzhledem k malé potřebě tepla přestává volba energetického média být tak významnou. Běžnými médii u nízkoenergetických systémů jsou zemní plyn, dřevo (kusové dřevo, pelety, dřevěné štěpky) a elektrická energie.

Ke krytí potřeby tepla na vytápění může přispět i vhodně napojený solární systém.

Problémem je, že téměř celý sortiment zdrojů tepla (kotlů) na českém trhu je zejména pro pasivní rodinné domy příliš velký, aby mohl celý rok pracovat optimálně. Dle¹⁹ je řešením přiměřená akumulční nádrž, která navíc umožňuje do jednoho místa soustřeďovat energii produkovanou různými zdroji a na odlišné teplotní úrovni – obvyklý kotel, solární systém, elektrické topné tyče.

¹⁸ ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, ČSN 2002

¹⁹ Doc. Ing. Jan Tywoniak, CSc., Nízkoenergetické domy. Principy a příklady. GRADA Publishing, 2005

System vytápění je ve většině pasivních domů řešen pomocí teplovzdušného vytápění s rekuperací. Blíže v následující kapitole.

G.2. Větrání

G.2.1. Dělení

Základním dělením způsobu větrání je na **přirozené a nucené**. Za přirozené se považuje situace, kdy je výměna vzduchu řízena výlučně uživatelem tím, že podle svých představ otevírá a zavírá okna.

U nuceného větrání je prioritou zajištění kvality vnitřního prostředí pomocí automatické výměny vzduchu, nejedná se zde o chlazení ani vlhkostní úpravu vzduchu.

G.2.2. Vynucené nucené větrání

Odlišnost pasivních od běžných budov spočívá především ve vyšší těsnosti obálky, kdy by koncentrace škodlivin, které jinak unikají infiltrací, mohla rychleji růst.

Pro pasivní dům je také přirozené větrání v zimním období nevhodné kvůli značným a nekontrolovatelným tepelným ztrátám.

System nuceného větrání je proto jediným hygienicky bezpečným řešením u pasivního domu.

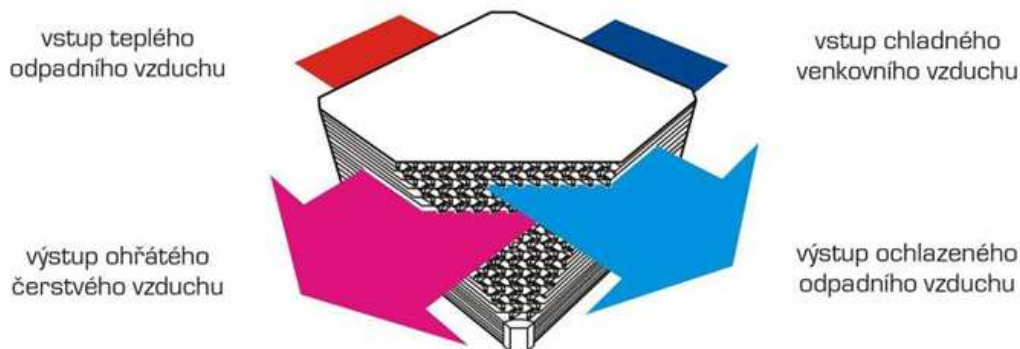
G.2.3. Teplovzdušné vytápění

Nejčastěji používaným systémem v Evropě je distribuce čerstvého vzduchu a tepla použitím nuceného větrání s instalovanou jednotkou pro zpětné získávání tepla (rekuperaci) a instalovaným přídatným zařízením pro dohřev čerstvého vzduchu v období velmi nízkých teplot.

System má řadu výhod:

- vzduch v interiéru je pravidelně čištěn průchodem přes výměnné filtry vzduchotechnické jednotky;
- vzduch z míst s vývinem škodlivin (WC, koupelna, digestoř) po průchodu výměníkem tepla budovu ihned opouští.
- teplota vzduchu na vyústce může být výrazně nižší než teplota nad otopnými tělesy i rychlost proudění je nižší;

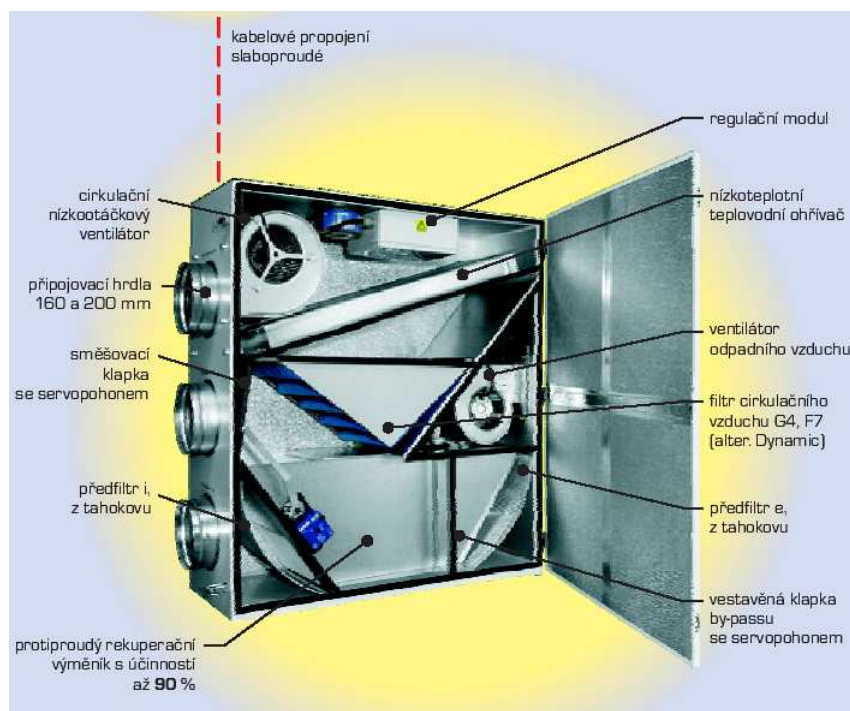
- jak ukazují termovizní snímky, je také dosaženo větší rovnoměrnosti teplot v místnosti



Obr. 13 Funkční schéma křížového rekuperačního výměníku Zdroj: Atrea s.r.o.

Komplexní systém pro pasivní domy v současné době nabízí firma Atrea s.r.o. V pasivních domech nachází uplatnění především teplovzdušné vytápěcí a větrací jednotky DUPLEX RB (RC). Konstrukce zajišťuje současně primární cirkulační vytápění a větrání obytných místností a sekundární oddělené odvětrání sociálního příslušenství a prostoru kuchyně.

Soustava obsahuje ventilátor, rekuperační výměník (schéma provozu viz výše) s účinností 90 %, teplovodní ohřívač, filtr vzduchu.



Obr. 14 Teplovzdušná vytápěcí a větrací jednotka Zdroj: Atrea s.r.o.

G.2.4. Zemní registr

Pro přívod čerstvého vzduchu do budovy se osvědčilo předehřívání (v létě ochlazování) vzduchu v zemním registru. Zemní registr je zjednodušeně potrubí (zpravidla z polyethylenu) uložené v zemi, kterým se přivádí vzduch z exteriéru do vzduchotechnické jednotky. Využívá relativně stabilní teploty zeminy v nezámrazné hloubce (nejčastěji okolo 2 m).

Činností registru dochází k úsporám na dohřevu větracího vzduchu a současně je protimrazovou ochranou VZT jednotky.

Výhodné je instalovat i alternativní možnost nasávání čerstvého vzduchu, v přechodných obdobích (podzim, jaro) si pak zemina „odpočine“.

H. Zkoušky kvality a certifikace

H.1. Blowerdoor test

Jedná se o měření celkové neprůvzdušnosti budovy. Princip spočívá ve stanovení závislosti objemového toku vzduchu netěsnostmi v obálce budovy na tlakovém rozdílu. K určení této závislosti se užívá **metoda tlakového spádu**. Zařízení pro měření bývá označováno jako Blower-door²⁰. Aparatura sestává z velmi výkonného ventilátoru, čidel pro měření tlakového rozdílu, osazovacího rámu a vzduchotěsné plachty.

Výsledky měření jsou nutné pro udělení certifikátu Passivhaus Institutu.



Obr. 15 Blowerdoor test

Zdroj: www.blowerdoor.de

H.2. Certifikát pasivního domu

V Rakousku i Německu lze stavby certifikovat u Passivhaus Institutu. Pro udělení certifikátu je třeba po ukončení stavby doložit výpočet provedený programem Passivhaus Projektierung Paket (PHPP), projektovou dokumentaci, technické informace včetně produktových listů použitých stavebních prvků a materiálů a protokol měření neprůvzdušnosti.

²⁰ www.blowerdoor.de



I. Závěrem

Základní předpoklady, které u nás umožní větší rozšíření výstavby pasivních domů, nespočívají v „pouhých“ aplikacích optimálně navržené tloušťky tepelné izolace, utěsnění obvodového pláště, použití nejúčinnějších skel, rafinovaných způsobech přerušení tepelných mostů, uplatnění nejsofistikovanějších technických zařízení nebo alternativních zdrojích energie. To jsou věci až následné. Prvotní je okolnost daleko prostší, ale přitom nesmírně důležitá, závislá na vůli člověka, vyúsťující v modifikaci jeho myšlení. Cestu k realizaci těchto domů totiž můžeme nastoupit jen za cenu opuštění letitých návyků a stereotypů, nahrazení tradičních technologických postupů a náhledů za nové, v našich společenských a ekonomických podmínkách zatím stále ještě neobvyklé způsoby výstavby.²¹

²¹ citace Doc. Ing. Josef Chybík, CSc., FA VUT Brno, *Sborník konference Pasivní domy*, Brno 2005

Použitá literatura

- [1] AGENDA 21 ON SUSTAINABLE CONSTRUCTION. CIB Report 237. 1999, český překlad z www.substance.cz
- [2] www.blowerdoor.de
- [3] www.dektrade.cz
- [4] HUMM, O. *Nízkoenergetické domy*. Praha: GRADA, 1999
- [5] www.isorast.cz
- [6] www.passiv.de
- [7] Sborník konference Pasivní domy 2005. Centrum pasivního domu Brno: 2005
- [8] www.slavona.cz
- [9] TYWONIAK, J. *Nízkoenergetické domy Principy a příklady*. Praha: GRADA, 2005

Normy, vyhlášky a předpisy

- [10] ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, ČSNI 2002
- [11] ČSN 73 0540:2 Tepelná ochrana budov. Část 2: Požadavky, změna 2005
- [12] ČSN EN 832 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění – Obytné budovy, ČSNI 2000
- [13] ČSN EN ISO 13790 Tepelné chování budov – Výpočet potřeby energie na vytápění. ČSNI 2005
- [14] ČSN EN ISO 13789 Tepelné chování budov – Měrná ztráta prostupem tepla – Výpočtová metoda, ČSNI 2000
- [15] Vyhláška 291/2001 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při spotřebě tepla v budovách