

OBVODOVÁ STĚNA

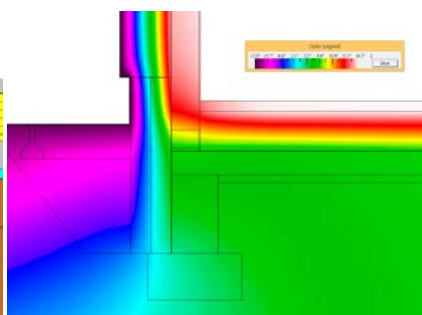
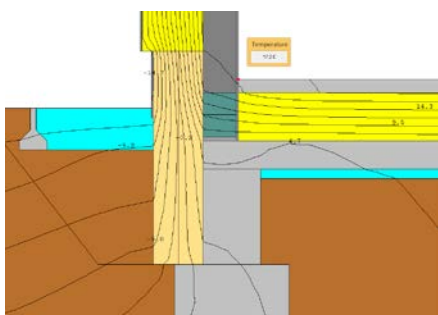
Vnější omítka	10 mm
Tepelná izolace EPS $\lambda_w=0,038$ W/mK 280-320 mm	
Lepící a stěrková hmota	5 mm
Vápenopiskové bloky	175 mm
Vnitřní omítka	10 mm

PODLAHA

Souvrvství podlahové konstrukce	60 mm
Tepelná izolace EPS $\lambda_w=0,038$ W/mK	250 mm
Hydroizolace	5 mm
ŽB deska	150 mm
Štěrkopískový podsyp	50 mm
Rostlý terén	

Other labels and dimensions:

- Komprimační těsnící páska
- Okončovací profil soklový s okapničkou
- XPS/EPS Perimetr $\lambda_w=0,036$ W/mK
- Soklová omítka
- Nopová folie
- min. 300
- 800 - 1200
- Základ do nezamrzlé hloubky
- 140
- 140
- 160
- 250
- 5
- 150
- 515





Juraj Hazucha

Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy

Doporučení pro návrh a stavbu

- více než 500 barevných fotografií a ilustrací
- 90 ověřených konstrukčních detailů
- doporučení pro projektování
- návody na správné provádění

Grada Publishing

Juraj Hazucha

KONSTRUKČNÍ DETAILY PRO PASIVNÍ A NULOVÉ DOMY

Doporučení pro návrh a stavbu

Vydala Grada Publishing, a.s.
U Průhonu 22, Praha 7
obchod@grada.cz, www.grada.cz
tel.: +420 234 264 401, fax: +420 234 264 400
jako svou 6111. publikaci

Odpovědná redaktorka Eva Škrabalová
Sazba a grafická úprava Jakub Karman, Art007
Jazyková korektura Pavlína Zelníčková
Fotografie na obálce archiv autora
Fotografie v textu z archivu autora, pokud není uvedeno jinak
Ilustrace z archivu autora, pokud není uvedeno jinak
Počet stran 308
První vydání, Praha 2016
Vytiskla tiskárna TNM, a. s.



© Grada Publishing, a.s., 2016
Cover Design © Grada Publishing, a.s., 2016

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami
nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků.

ISBN 978-80-271-9027-0 (pdf)
ISBN 978-80-247-4551-0 (print)

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

*Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována
a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele.
Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.*

Obsah

Úvod		7
01	Návrh a provádění vybraných prvků a konstrukčních detailů	9
01-1	Pasivní domy na cestě k trvale udržitelnému stavebnictví.....	11
01-2	Téměř nulové budovy od 2020	14
01-1-1	Průkazy energetické náročnosti budov	14
01-1-2	Téměř nula a pasivní dům	15
02	Prvky pasivního domu	17
02-1	Konstrukce a izolace.....	19
02-2	Tepelné mosty	22
02-3	Okna a dveře.....	23
02-3-1	Volba rámu oken	25
02-3-2	Zasklení jako důležitý parametr.....	27
02-3-3	Správné osazení okna do konstrukce	28
02-3-4	Ochrana proti letnímu přehřívání	29
02-4	Neprůvzdušnost	30
02-4-1	Základní požadavky na průvzdušnost.....	30
02-5	Větrání s rekuperací tepla	34
02-6	Vytápění	38
03	Návrh a provádění vybraných prvků a konstrukčních detailů	39
03-1	Návrh a provádění tepelněizolačních systémů	40
03-1-1	Mezery v izolaci.....	40
03-1-2	Kotvení tepelné izolace.....	44
03-1-3	Založení ETICS – vyvarujte se založení na hliníkové zakládací lišty	46
03-1-4	Zavěšené provětrávané fasády	49
03-1-5	Kotvení prvků přes ETICS	51
03-2	Založení pasivních domů	53
03-2-1	Založení na únosné izolaci.....	54
03-2-2	Založení na extrudovaném polystyrenu (XPS)	56
03-2-3	Doporučení pro návrh a provádění	60
03-3	Osazení oken	64
03-3-1	Poloha okna versus solární zisky	65
03-3-2	Kotvení oken do konstrukce	67
03-3-3	Vnitřní a vnější uzávěr	70
03-3-4	Přeizolování rámu okna	72
03-3-5	Problematická místa při zabudování oken	73
03-4	Dodržení vzduchotěsnosti.....	75
03-4-1	Nejčastější místa a příčiny vzniku netěsností.....	75
04	Katalogová část	79
A.	Vápenopískové zdivo a kontaktní zateplovací systém (ETICS)	86
B.	Masivní pórobetonová konstrukce s kontaktním zateplovacím systémem	138
C.	Ztracené bednění na bázi polystyrenu s železobetonovým jádrem	180
D.	Lehká dřevěná sloupková konstrukce, fasádní úprava s omítkou nebo provětrávanou fasádou	222
E.	Masivní dřevěná panelová konstrukce, fasádní úprava s omítkou nebo provětrávanou fasádou	264
F.	Společné detaily	294
05	Použitá a doporučená literatura	306
	Použité zkratky	308

Na knize spolupracovali:

Jiří Čech - revize detailů, grafického zpracování a tepelnětechnické výpočty

Josef Bárta - tvorba detailů

Michal Hučík - komentáře části A a B

Jiří Vápeník a Martin Konečný - konzultace části A

Petr Mareček - konzultace části B

Vladimír Nepivoda - komentáře části C

Martin Růžicka - komentáře části D

Josef Smola - komentáře části D

Rostislav Kubíček - komentáře části E

Dále přispěli obrázky a radami:

Zora Stupňánková

Tomáš Mansbart

Ladislav Stach

Michal Jaďud'

Kateřina Braunerová

a další...

Lukáš Dawid a Radim Kučera - kreslení detailů

ÚVOD

Tepelné mosty jsou téma, které se u energeticky úsporných staveb a pasivních domů zmiňuje hned na prvních místech. Často se jedná o téma odborníky podceňované, se současným ubezpečováním klienta, že to takový rozdíl neudělá. Jiní, mnohdy bez hlubší znalosti stavební fyziky, naopak klientům navrhuji složitá a ekonomicky nenávratná řešení v domněnce, že to výrazně sníží spotřebu nebo to zachrání dům před destrukcí. Stavební firmy, nebo spíš jejich marketingová oddělení, lákají na to, že jejich systém je úplně bez tepelných mostů. Kde je však pravda? Cílem je ukázat na nejčastějších a nejvíce opakovaných konstrukčních detailech vliv tepelných mostů a nastolit v uvedených extrémech zdravou rovnováhu.

Pro komplexní pohled na věc pouhá čísla nestačí. Ta jsou uvedena také v řadě „obyčejných“ katalogů tepelných mostů. V čem je hlavní rozdíl této publikace? Detaily řady výrobců vypadají graficky pěkně, ale jsou mnohdy složitě proveditelné (pokud vůbec), případně obsahují zásadní chyby nebo opomínají některou důležitou oblast, například vzduchotěsnost. Pro projektanty, ale zejména pro lidi vykonávající technické dozory stavebníka či stavbyvedoucí je zásadní, aby věděli, jak detail správně provést. Vybrané detaily vycházejí z praxe řady odborníků spolupracujících v Centru pasivního domu, neziskové organizaci a největší platformě podporující energeticky úsporné a trvale udržitelné stavitelství u nás.

Publikace slouží jako určitý návod, jak detaily a konstrukce navrhovat, provádět a na co si dát pozor. Nesusplňuje však zdravý rozum ani zkušenosti s použitím konkrétních jednotlivých technologických postupů. Použitelných výrobků a konstrukčních podvariant pro jednotlivé detaily je na trhu bezpočet a nelze je všechny v této publikaci obsáhnout, ani to není jejím účelem. Předpokladem správného použití v praxi je, že si čtenář informace zde uvedené doplní o znalosti:

- normových požadavků, na něž se v detailech odkazuje nebo s nimiž detail zjevně souvisí;
- technologických postupů výrobců materiálů pro jejich správné použití a zabudování včetně návaznosti na konkrétní použité výrobky;
- získané případným navazujícím výpočtovým posouzením konkrétního materiálového nebo konstrukčního řešení pro konkrétní podmínky zabudování.

Snahou bylo v této publikaci předat zkušenosti s efektivními konstrukcemi dostupné v době tvorby. Můžete je přímo použít nebo vzít jako inspiraci pro vlastní řešení. Ovšem je zde ještě jedna obecná rada, platná nejen pro projekční, ale i pro realizační fázi. Při použití detailů zapojte kritické myšlení, jež nám umožňuje dívat se pod pokličku věcí. Můžeme posuzovat nabízená řešení ze všech stran a se všemi souvislostmi. Přemýšlet nad jejich krátkodobými i dlouhodobými účinky, zjišťovat zpětnou vazbu na použitá řešení a vše, co děláme, pojmout jako nekončící proces učení a seberozvoje. Přeji vám, ať je pro vás tato publikace další skládačkou v mozaice možností toho, jak mohou naše „systémy“ pracovat lépe, efektivněji a hlavně ve větší harmonii s okolím.

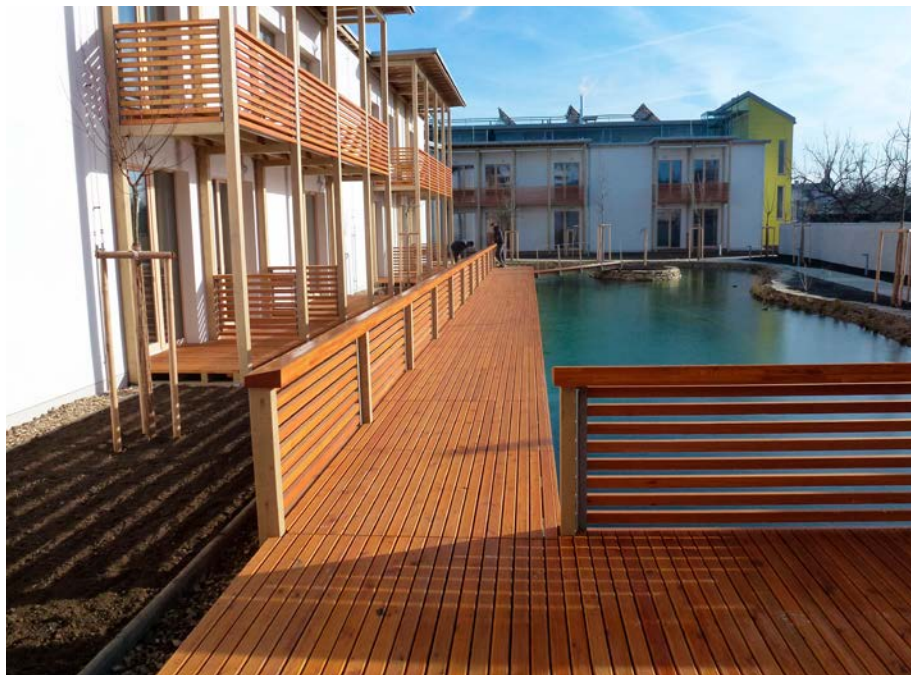
01

Návrh a provádění vybraných prvků
a konstrukčních detailů

Co je pasivní dům?

Ve zkratce se jedná o dům, který s minimem spotřebovaných zdrojů poskytuje uživatelům zdravé bydlení a ne-bývalý tepelní komfort v zimě i v létě. Nejednou jsem z úst uživatelů pasivních domů slyšel: „Největší rozdíl je, že máme neustále čerstvý vzduch, a přesto platíme ročně pouze pět tisíc korun za vytápění. To nám dává i jistotu do budoucna, že zvládneme splácet hypotéku i při zvýšení cen energie, a bereme to jako důchodové připojištění.“ Přitom cena pasivního domu je jen nepatrně vyšší než domu běžného [41]. Tyto zvýšené náklady, i když relativně malé, dnes navíc pro rodinné domy v celé výši pokrývá státní dotace Nová zelená úsporám.

1-1 Pěknou ukázkou odpovědného přístupu je stavba pasivního domu pro seniory v Brně-Modřicích, nabízející výjimečnou kvalitu vnitřního prostředí bez zbytečné budoucí zátěže rozpočtu městské části (Architekti: Josef Smola, Aleš Brotánek. Foto: CPD)



Můžeme se také zeptat, co pasivní dům není. Zcela určitě se nejedná o koncept omezený architektonicky, materiálově ani typologicky. Jako pasivní může být postavena novostavba i renovace, rodinný dům stejně jako panelák, škola, administrativní budova nebo i kostel, navíc prakticky v jakémkoliv vzhledovém řešení. Zejména renovace stávajících budov se snížením spotřeby tepla na vytápění na desetinu je celospolečensky nejzajímavější. Materiálové možnosti jsou také neomezené. Lze vybírat z klasických stavebních materiálů od cihly, betonu, polystyrenu až po přírodní alternativy jako dřevo, konopné, dřevovláknité nebo slaměné izolace.

1-2 Pasivní mateřská školka v Drážďanech s organickými tvary a zelenou střechou připomínající původní terénní reliéf (Architekt: Olaf Reiter. Foto: CPD)



Koncept je založen na několika hlavních pilířích:

- vysoce izolovaná obálka budovy pro snížení tepelných ztrát;
- konstrukce bez tepelných mostů;
- využívání solárních zisků;
- neprůvzdušnost obálky;
- zpětný zisk tepla z odpadního vzduchu.

Pasivní dům je mezinárodně uznávaný termín pro domy, splňující kritéria Passivhaus Institutu v Darmstadtu:

Měrná roční potřeba tepla na vytápění:	≤ 15 kWh/(m ² a)
Měrná roční potřeba energie na chlazení:	≤ 15 kWh/(m ² a)
Neprůvzdušnost obálky budovy n50:	≤ 0,6 1/h
Měrná roční potřeba primární energie:	≤ 120 kWh/(m ² a)
(vytápění, chlazení, TV, pomocná energie, osvětlení, spotřebiče)	

V návrhu detailů musejí být dodrženy komfortní teploty a řešení bez tepelných mostů. Zároveň musí být dodrženo překročení maximální teploty 25 °C pod 10 % času. Tím je zaručena vysoká kvalita stavby bez poruch a výjimečná kvalita vnitřního prostředí v zimě i v létě.

01-1 Pasivní domy na cestě k trvale udržitelnému stavebnictví

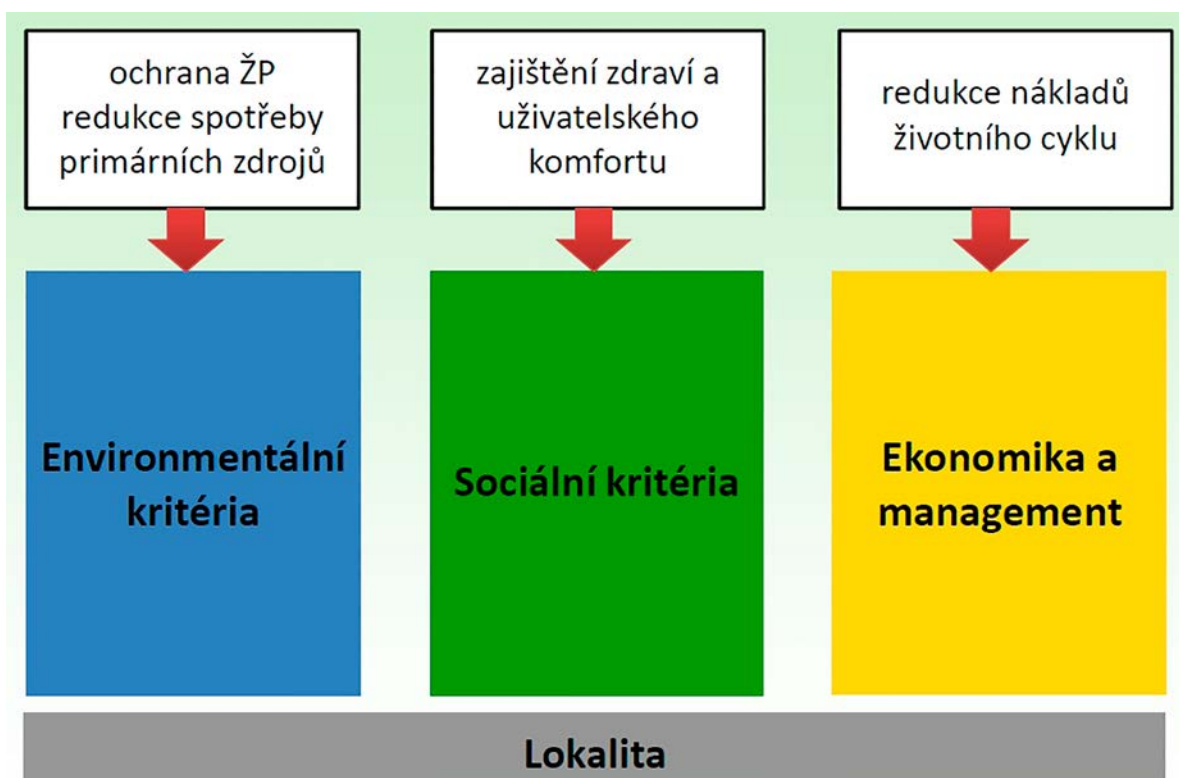
Je zřejmé, že naše moderní kultura při současném konzumním životním stylu a využívání fosilních zdrojů nemá bez zásadní změny schopnost přenechat dalším generacím vhodné prostředí pro život. Stav, kdy si bereme víc, než je naše planeta schopna dlouhodobě poskytnout, není udržitelný. Pokud bychom měli označit největší žrouty zdrojů a zároveň znečišťovatele, tak na prvním místě jsou budovy (40 %), pak doprava (33 %) a průmysl (27 %). Největším problémem je využívání fosilních, neobnovitelných zdrojů energie, které při spalování produkují skleníkové plyny, prokazatelně způsobující změny klimatu. Zaměřit se pouze na úspory energie ovšem nestačí, a pokud chceme žít opravdu trvale udržitelně, je nutné vyvážení tří hlavních pilířů: environmentálního, sociálního a ekonomického. Tak lze dosáhnout trvalé změny, výhodné navíc pro všechny zapojené (tzv. win-win strategie). Například přínosy trvale udržitelného přístupu stavebnictví pro jednotlivce i celou společnost tvoří synergický efekt s posílením všech tří pilířů, kde přináší tyto výhody:

- významné zlepšení kvality ovzduší a životního prostředí;
- ekonomické přínosy – uspořena a zelená energie je levnější než energie z plynu, uhlí nebo jádra;
- státní energetická bezpečnost plynoucí ze snížení závislosti na cizích a nestabilních zdrojích;
- vytvoření a udržení velkého množství „zelených“ pracovních míst;
- rozvoj technologií a inovací, podpora průmyslu;
- řešení pro nízkorozpočtové rodiny, u nichž nízké provozní náklady neohrožují splácení hypotéky.

Po zohlednění celého efektu tak každá investovaná koruna ze státního rozpočtu do trvale udržitelných opatření přináší multiplikační efekt napříč celou společností, a to v krátkodobém i dlouhodobém horizontu [26].

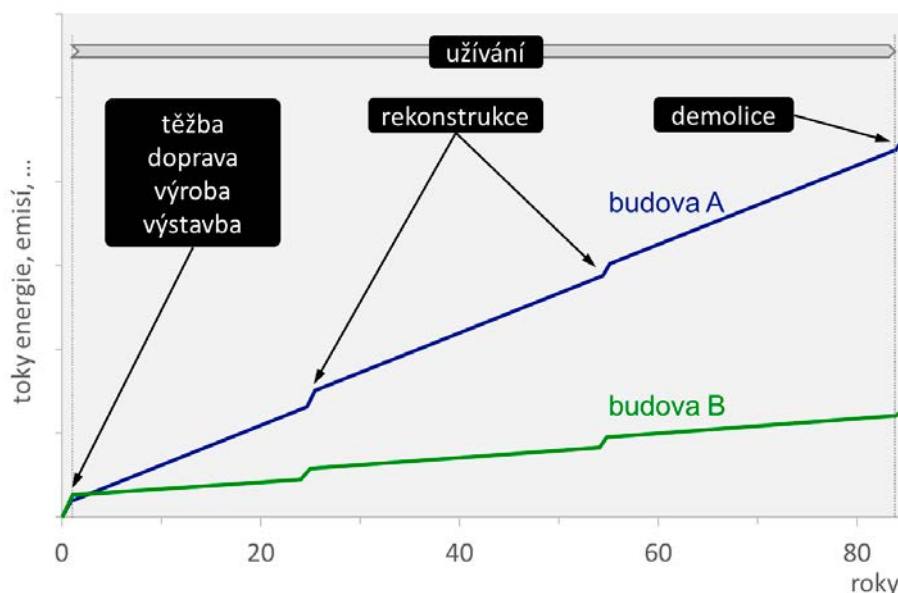
Vztaženo na budovy – trvale udržitelný přístup znamená zohlednit řadu parametrů. Pasivní domy mají perfektně zvládnuté oblasti spotřeby energie, ekonomiky provozních a vstupních nákladů, vnitřního komfortu v interiéru a hygieny vnitřního prostředí. Tvoří tak základ trvale udržitelných staveb rozšířený o holistický přístup:

- využívání obnovitelných zdrojů energie;
- posouzení svázané „šedé“ energie zohledňující materiálové složení s ohledem na celý životní cyklus od výroby, přes údržbu až po zneškodnění nebo recyklaci;
- kvalitu vnitřního prostředí – emise škodlivin z materiálů (baubiologie), osvětlení, akustika;
- nakládání s vodou a odpady;
- lokalita, dopravní dostupnost, služby.



1-3 Hodnoticí kritéria trvalé udržitelnosti budov dle metodiky SBTool.CZ (Autor: M. Vonka, [43])

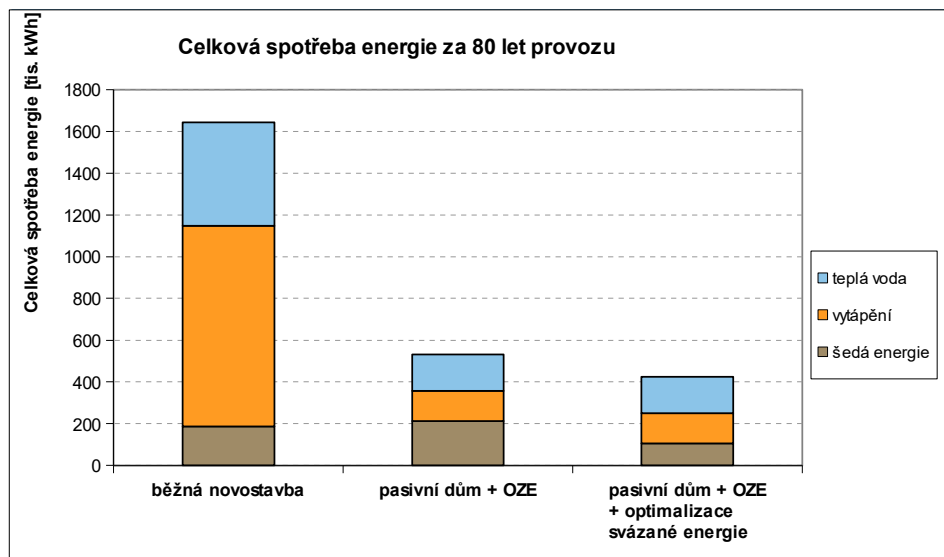
Existuje řada certifikačních systémů a metodik pro hodnocení trvalé udržitelnosti budov, jako například CESBA, SBTool, LEED, BREEM a další. Častou otázkou je, která část z uvedených parametrů je nejdůležitější, která má největší vliv na výslednou zátěž životního prostředí. Z obr. 1-4 lze vidět zhruba tok energií a emisí pro běžný a pasivní dům. Jak je vidět u běžných domů, svázaná energie zabudovaná v materiálech tvoří pouze zlomek celkové spotřeby energie v objektu.



1-4 Srovnání toku energií v běžném (A) a pasivním domě (B) (Autor: M. Vonka, [43])

Zajímavé je srovnání svázané energie (ve výpočtu uvažováno dle [42]) a energie potřebné na vytápění a ohřev teplé vody za 80 let provozu. V celoživotním cyklu běžného domu tvoří vytápění a ohřev teplé vody největší díl, asi 90 % ze spotřebované energie (obr. 1-5), a zde se skrývá i největší potenciál úspor. Po provedení úsporných opatření a využití obnovitelných zdrojů energie se významně zvětší podíl svázané energie. Pak už má určitě smysl řešit i materiálovou skladbu s ohledem na environmentální dopady.

1-5 Srovnání podílu svázané „šedé“ energie, energie na vytápění a ohřev teplé vody za 80 let provozu (Zdroj: CPD)

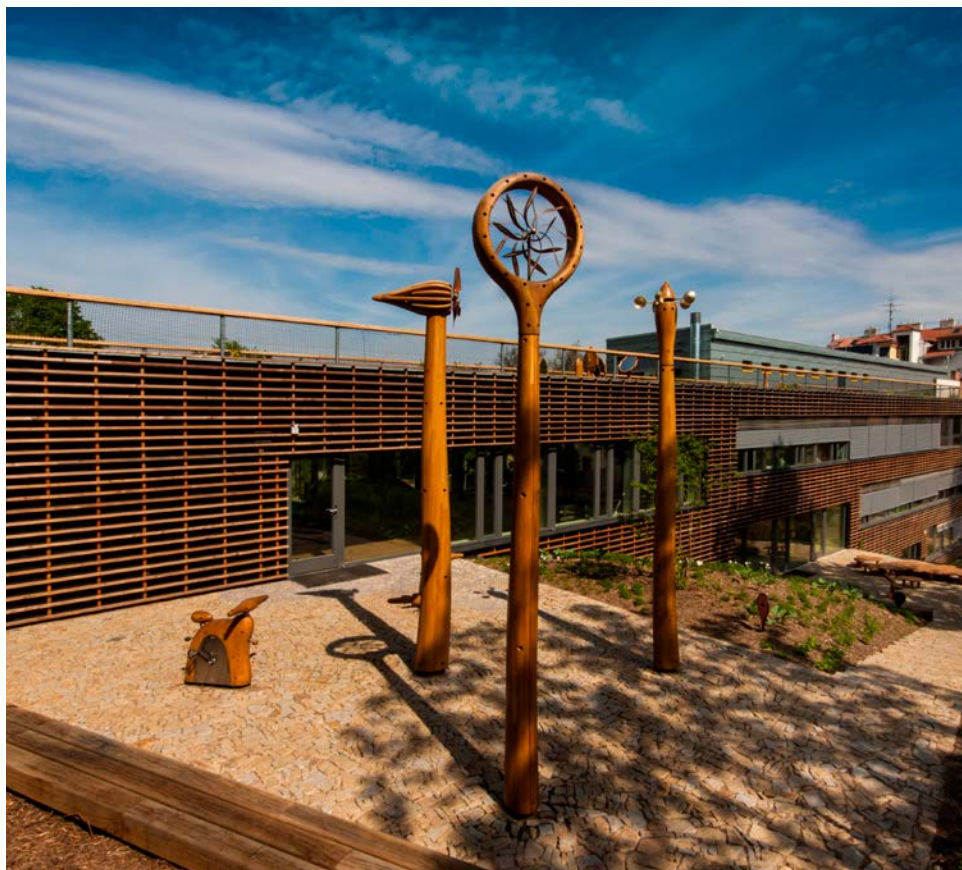


Pro všechny běžné budovy včetně renovací lze doporučit souslednost kroků a opatření, jimiž by se měli stavebníci vydat na cestě k trvalé udržitelnosti, a to v pořadí:

1. snížit potřebu energie na vytápění na úroveň pasivního domu;
2. použít efektivní technologie a obnovitelné zdroje energie;
3. snížit svázanou „šedou“ energii.

Řešit pouze třetí krok bez předchozích dvou přináší jen malé environmentální dopady. Úspory energie a obnovitelné zdroje energie jsou navíc pro investory ekonomicky výhodné a přináší benefity ve formě snížených provozních nákladů. K přírodě šetrnější materiálová volba konstrukcí je projevem environmentální uvědomělosti a odpovědného přístupu, bývá však bohužel častěji spojena se zvýšenou cenou oproti konvenčním řešením. Po větším rozšíření přírodních a recyklovaných materiálů na trhu lze očekávat srovnání ceny.

1-6 Vzdělávací centrum
Otevřená zahrada v Brně
(Architekti: Projektil
Architekti. Foto: Lenka
Grossmanová)



01-2 Téměř nulové budovy od 2020

Na uvedené reaguje i směrnice Evropského parlamentu a Rady 2010/31/EU, o energetické náročnosti budov EPBD II (Energy Performance of Building Directive), s cílem dosáhnout snížení emisí skleníkových plynů pocházejících z provozu budov. Pro dosažení cíle jsou navrženy dva podpůrné mechanismy:

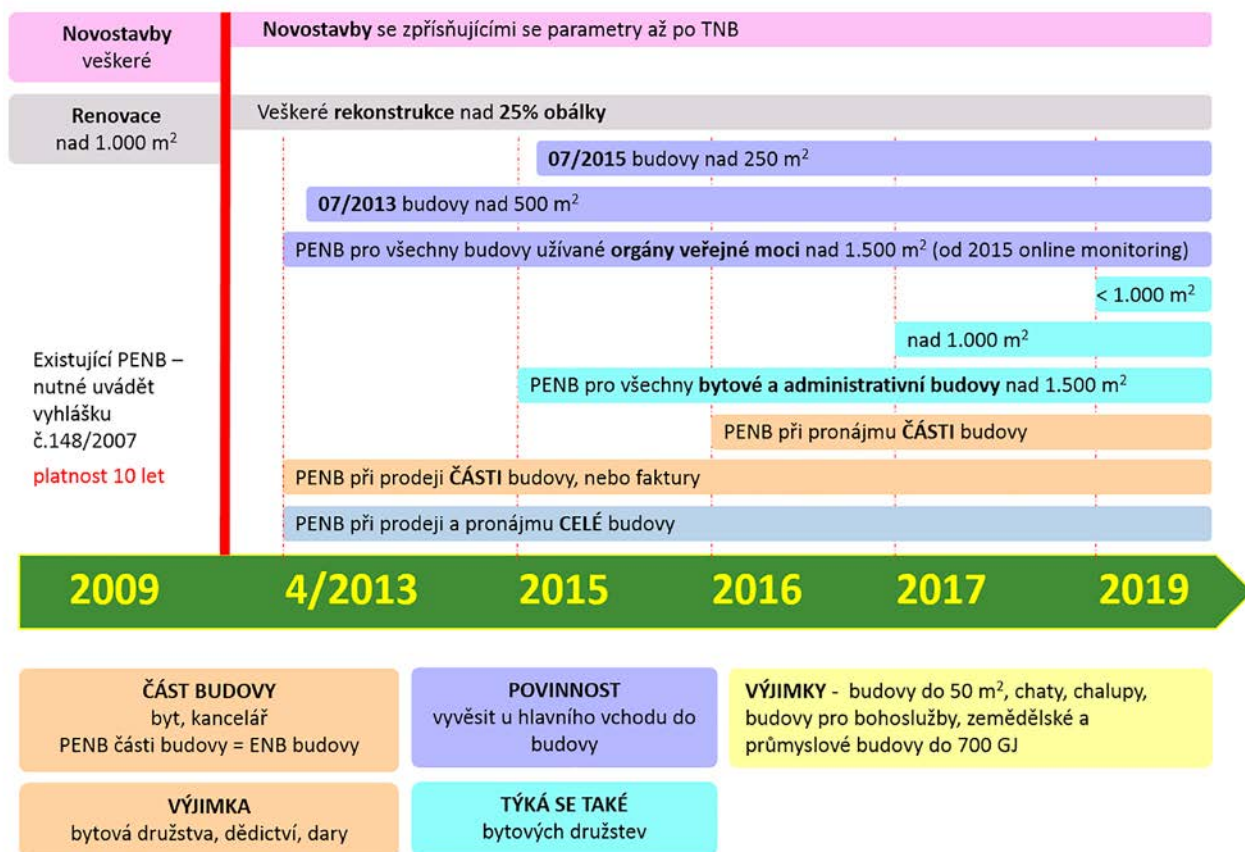
- postupné plošné zavedení povinnosti zpracování průkazů energetické náročnosti budov (PENB);
- úprava legislativních požadavků pro výrazné snížení energetické náročnosti novostaveb i renovací stávajících budov.

Každý členský stát Evropské unie musí implementovat směrnici EPBD II do své legislativy. Návaznost v České republice zabezpečují tyto právní dokumenty:

- zákon č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií po novelizaci (č. 318/2012 Sb.);
- prováděcí vyhláška č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov;
návazná technická normalizační informace TNI 73 0331 – Energetická náročnost budov – Typické hodnoty pro výpočet (informativní).

01-1-1 Průkazy energetické náročnosti budov

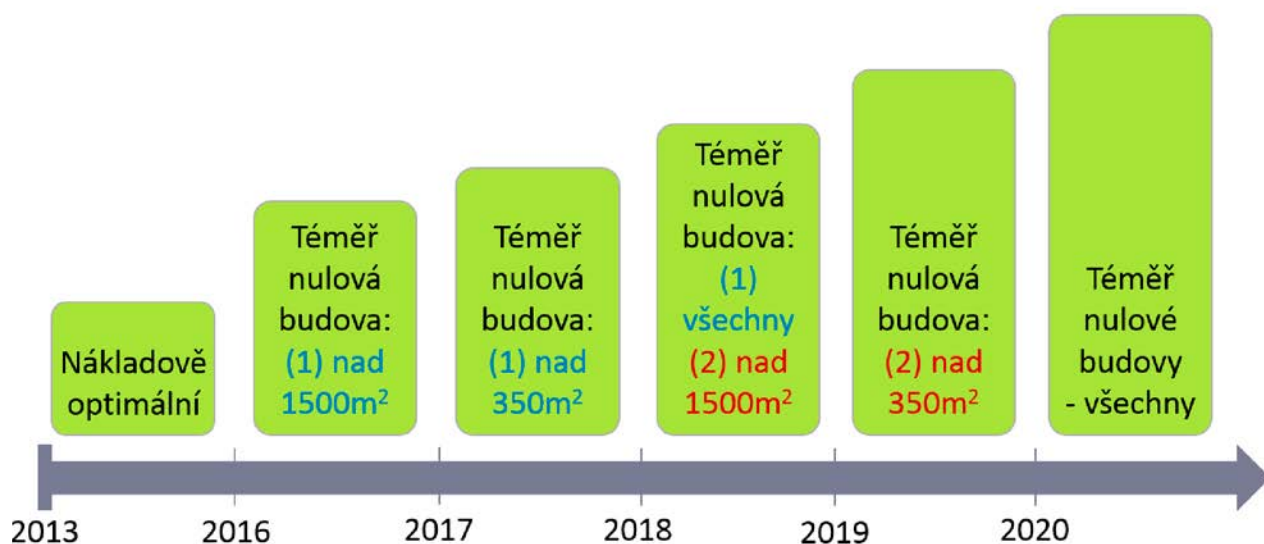
Zavedení průkazů energetické náročnosti budov napříč celým realitním trhem je obdobou energetických štítků, na něž jsme zvyklí u všech domácích spotřebičů. Průkazy energetické náročnosti pro novostavby a renovace nad 1 000 m² užité plochy jsou povinné již od roku 2009. Od dubna 2013 jsou však potřeba při každém prodeji, pronájmu a při větších změnách dokončených budov (viz obr. 1-7). Jedná se bezpochyby o velice přínosné opatření, které vyřešilo paradoxní situaci na realitním trhu. U veškerých domácích spotřebičů a aut za desítky až stovky tisíc korun bylo možné dohledat jejich spotřebu a podle toho se při koupi orientovat. U budov za několik milionů však taková možnost chyběla a lidé kupovali „zajíce v pytli“. Navíc nová metodika výpočtu PENB, zakotvená ve vyhlášce 78/2013 Sb., je výrazně přesnější oproti předchozí metodice s menší vůlí pro zpracovatele provést výpočet nekorektně.



01-7 Přehled povinnosti zpracovat průkaz energetické náročnosti budov (PENB) pro různé typy budov.

01-1-2 Téměř nula a pasivní dům

Postupný přechod na téměř nulové budovy je patrný na obr. 1-8. Od roku 2020 musejí být všechny novostavby a rozsáhlejší renovace stavěny jako téměř nulové budovy. Jako prvních se změna dotkne větších staveb veřejné správy od 1. 1. 2016 a postupně se zavádí i na menší stavby a veřejný sektor. Datum je vázáno na podání žádosti o stavební povolení.



Pozn: (1) – vlastníkem budovy a jejím uživatelem je **orgán veřejné moci**
(2) – **všechny ostatní budovy**

1.8 Harmonogram přechodu legislativy na téměř nulové budovy v ČR (Zdroj: Šance pro budovy)

1-9 Řada budov a zejména větších staveb nemá již dnes problém dostat se na pasivní standard a splnit s rezervou i požadavky téměř nulové budovy. Přitom mohou být i architektonicky velice kvalitní. Na fotografii Vila pod Altánem v Praze, vítězná budova soutěže Stavba roku 2012 (Architekt a foto: Aleš Brotánek, ABateliér)



Parametry téměř nulového domu jsou specifikovány ve vyhlášce č. 78/2013 Sb. s odkazem na ČSN 73 0540-2. Podle nové metodiky se při hodnocení porovnává posuzovaná budova s referenční budovou o stejném objemu a tvaru, avšak s parametry dle vyhlášky. Pro definici téměř nulové budovy jsou zásadní parametry uvedené v tab. 1 a 2.

Tab. 1 Parametry referenční budovy dle vyhlášky č. 78/2013 Sb.

Parametr	Označení	Jednotky	Referenční budova	Nová budova	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
redukční činitel požadované základní hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla	f_R	-	1,0	0,8	0,7
Účinnost zpětného získávání tepla systému nuceného větrání s objemovým průtokem větracího vzduchu do 7500 m ³ /hod	$\eta_{H,hr,R}$	%	60 %		
Účinnost zpětného získávání tepla systému nuceného větrání s objemovým průtokem větracího vzduchu nad 7500 m ³ /hod	$\eta_{H,hr,R}$	%	45 %		

Tab. 2 Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie referenční budovy z tabulky č. 5 vyhl. 78/2013 Sb.

Parametr	Označení	Jednotky	Druh budovy nebo zóny	Dokončená budova a její změna po 1. 1. 2015	Nová budova po 1. 1. 2015	Budova s téměř nulovou spotřebou energie
Snížení hodnoty neobnovitelné primární energie stanovené pro referenční budovu	$\Delta e_{p,R}$	%	Rodinný dům	3	10	25
			Bytový dům	3	10	20
			Ostatní budovy	3	8	10

Uvedené požadavky na téměř nulové budovy bohužel nezohledňují dnešní stav techniky. Jako hlavní výtky lze považovat:

- Redukční činitel $f_R = 0,7$ (vztaženo k požadovaným hodnotám U_{em} z normy ČSN 73 0540-2) znamená průměrný součinitel prostupu tepla $U_{em} \approx 0,30\text{--}0,37 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, přitom běžně se u pasivních domů dosahují hodnoty $U_{em} \approx 0,20\text{--}0,25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, tedy redukční faktor může být snížen až na hodnotu 0,5.
- Účinnost zpětného zisku tepla je výrazně podhodnocena. Dnešní větrací jednotky certifikované Passivhaus Institutem umožňují i při objemových průtocích nad 7 500 m³/hod dosahovat účinnosti 85 %.
- Snížení neobnovitelné primární energie o 20–25 % proti referenční budově je neprogresivní, když víme, že jsou dnes běžně dosažitelné hodnoty až 50 %, zejména po snížení potřeby tepla na vytápění.

Pokud nedojde k novelizaci vyhlášky, bude pokrok v oblasti energetické efektivity nových budov po roce 2020 patrně menší, než by se dalo podle schválené legislativy, ale zejména dle pojmu „téměř nulová budova“ očekávat. Dle propočtů [44] totiž vychází, že téměř nulový rodinný dům vyhovující parametrům vyhlášky bude mít měrnou potřebu tepla na vytápění 45 kWh/(m²a) a bytový dům 23 kWh/(m²a), což je víc než dvojnásobek pasivního domu. Označení „téměř nulový dům“ tak nyní bohužel přispívá spíše k matení pojmů. Pro investory, kterým záleží na tom, aby minimalizovali náklady na spotřebu energie, zůstává stále nejvhodnější volbou pasivní dům.

1-10 Ani menší rodinné domy nemají problém splnit parametry pasivního domu, zde rodinný dům ve Svinošicích (Architekt: Mojmír Hudec. Foto: Slavona)



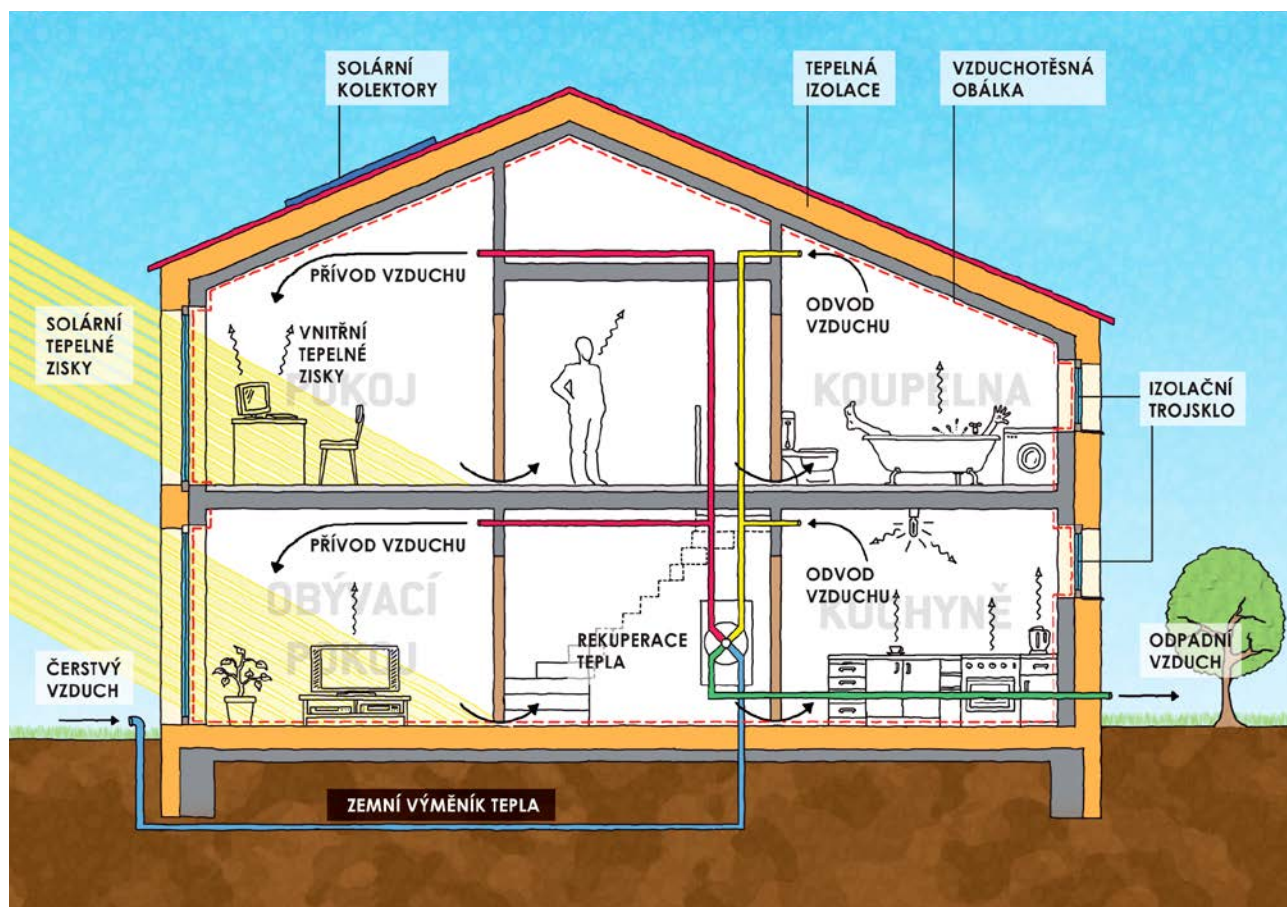
02

Prvky pasivního domu

Kromě vysoké úspornosti nabízí pasivní dům optimální vnitřní prostředí, vysokou míru spokojenosti uživatelů a budovu bez poruch. Aby toho bylo dosaženo, posuzuje se i letní přehřívání, možnost regulace intenzity větrání a vytápění a v obytných místnostech musejí být otvíravá okna.

Pro dosažení pasivního domu je třeba dodržet několik základních zásad a prvků:

- orientaci budovy s využitím solárních zisků;
- kvalitně zaizolovanou neprůsvitnou obálku na úrovni $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
pro menší objekty pod $U \leq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- okna a dveře s izolačními trojskly $U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- řešení všech konstrukcí s potlačením tepelných mostů;
- spojitou vzduchotěsnou obálku otestovanou tlakovým testem na hodnotu $n_{50} \leq 0,60 \text{ l/h}$;
- větrání se zpětným ziskem tepla (rekuperací) s účinností min. 75 %;
- volbu efektivních zdrojů energie, ideálně z obnovitelných zdrojů energie.

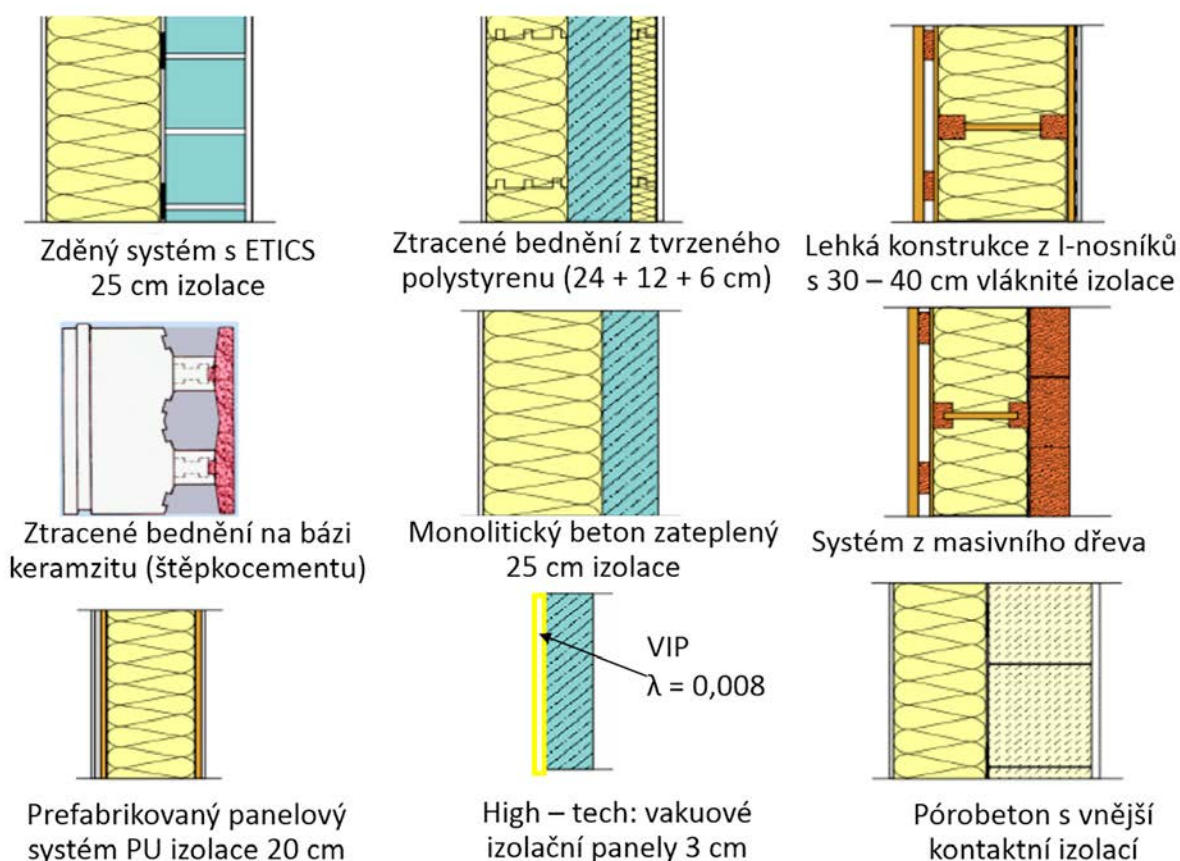


2-1 Schéma prvků pasivního domu (Zdroj: CPD)

Přesné parametry jednotlivých prvků se stanovují optimalizací ve výpočtových softwarech. Na kontrolu uvedených hodnot se používá program PHPP (Passive House Planning Package), jehož přesnosti jsou ověřeny na tisících pasivních domů. Případná certifikace může dát investorovi jistotu, že návrh splňuje tyto hodnoty.

02-1 Konstrukce a izolace

Kromě snížení tepelných ztrát prostupem jsou hlavními atributy kvalitně izolovaných konstrukcí vysoké povrchové teploty a snížení rizika růstu plísní. Vysoký tepelný odpor konstrukcí působí i v letním období jako ochrana proti přehřívání, i když zásadnější jsou akumulační vlastnosti konstrukce. Často zmiňovaná požadovaná hodnota součinitele prostupu tepla pro pasivní domy $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ je spíš horní hranicí pro konstrukce větších, kompaktních a ideálně orientovaných budov. Pro běžnou výstavbu se proto uvažuje s hodnotami součinitele prostupu tepla $0,12 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ pro stěny, $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ a $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ pro podlahu. Také v normě ČSN 73 0540-2 jsou uvedeny doporučené hodnoty pro pasivní budovy. Ze zkušeností však pro dosažení standardu pasivního domu nepostačují, a lze proto doporučit navrhování parametrů konstrukcí na spodní hranici intervalu. Nicméně všechny tyto hodnoty jsou orientační a přesné parametry se určují optimalizací dle konkrétního případu.



2-2 Pasivní dům lze postavit ze všech běžně dostupných materiálů (Zdroj: Passivhaus Institut)

Nejzásadnější předpoklady pro vhodný konstrukční systém jsou:

- vhodnost konstrukce pro aplikaci zvoleného typu izolace a povrchových úprav;
- co nejmenší tloušťka konstrukce při dosažení potřebných izolačních parametrů;
- možnost jednoduchého řešení napojení konstrukcí bez tepelných mostů;
- jednoduchost a spolehlivost provedení vzduchotěsnicí vrstvy.

Dnes je k dispozici řada konstrukčních systémů splňujících uvedené požadavky. Důležitá je zejména tloušťka konstrukce. Každý ušetřený centimetr tloušťky stěny znamená pro klienta nárůst podlahové plochy a ceny nemovitosti asi o 10 tisíc korun na jedno patro, což je důležité hlavně v zastavěných oblastech. Při posouzení ekonomiky jednotlivých konstrukčních systémů nelze brát do úvahy pouze cenu za metr čtvereční. Systémy je potřeba posuzovat v souvislostech s ohledem na další použité prvky, jako jsou překlady, stropy, doplňkové tvárnice, zakládání, pracnost, rychlost výstavby, nutnost a doba použití lešení a další. Nezanedbatelná je také míra údržby a životnost jednotlivých konstrukcí nebo přidaná hodnota v lepších akumulačních či akustických vlastnostech.

Unikátním příkladem trvale udržitelného přístupu je kancelářská budova Life Cycle Tower One (LCT1) v rakouském Dornbirnu. Místo tradičního železobetonového skeletu je použit prefabrikovaný panelový systém na bázi dřevěného skeletu s dřevobetonovými stropními konstrukcemi. CO₂ bilance této stavby je desetinová proti běžným stavbám, konstrukce mají požární odolnost REI 90 a touto technologií lze stavět budovy až do výšky 30 pater. Nezanedbatelná je i rychlost výstavby. Panelová konstrukce této osmipatrové budovy byla postavena konstrukčním týmem pěti lidí za osm dní.



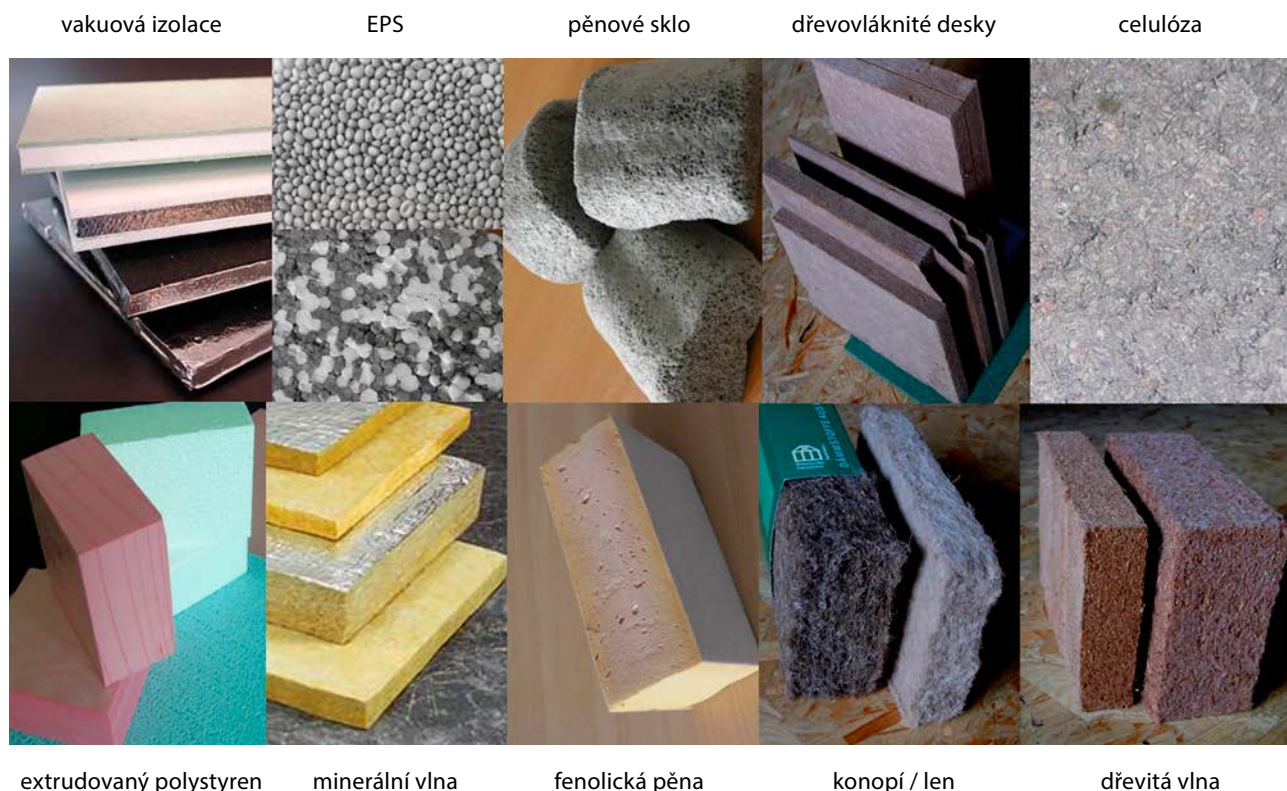
2-3 Unikátní osmipatrová administrativní budova na bázi montovaného těžkého dřevěného skeletu (Architekt: Hermann Kaufmann. Foto: vlevo Büro Kaufmann – AL, vpravo Darko Todorovic, adrok.net)

V této publikaci je prezentováno pět často používaných konstrukčních systémů stěn:

- vápenopískové zdivo s kontaktním zateplovacím systémem;
- pórobetonové zdivo s kontaktním zateplovacím systémem;
- systém ztraceného bednění z polystyrenu s betonovým jádrem;
- sloupková dřevostavba s izolací v roštu;
- masivní dřevěné panely s izolací v roštu.

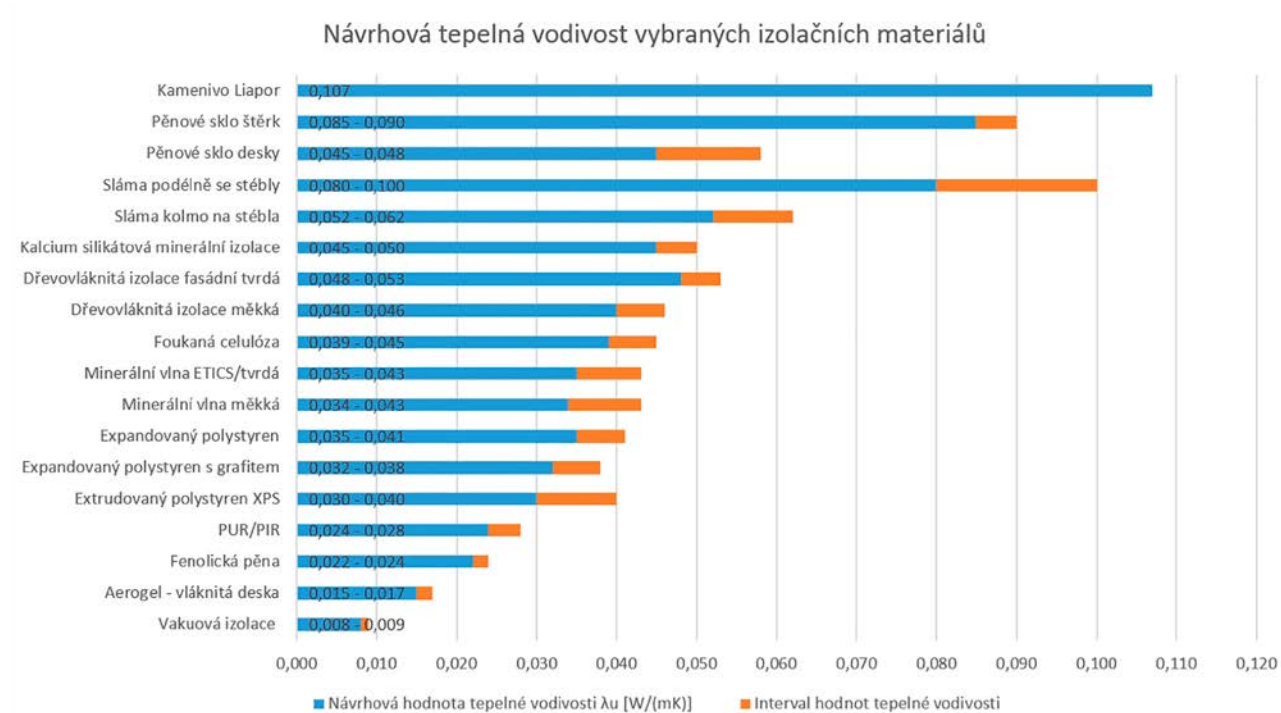
Kromě uvedených jsou na trhu i další systémy, které splňují uvedené parametry, jako například keramické tvárnice s kontaktním zateplovacím systémem, jednovrstvé zdivo s výplní izolací, prefabrikované betonové panely, lehké sendvičové panely z OSB.

Určitě neplatí názor, že pasivní domy jsou stavěny jenom z vybraných izolačních materiálů. Použitelné jsou v podstatě všechny běžně dostupné izolace, samozřejmě s ohledem na vhodnost pro danou konstrukci. Hlavními předpoklady jsou možnost řešení potřebné tloušťky vrstvy bez přerušení, jednoduchá proveditelnost a kontrolovatelnost. Konstrukční detaily uvedené v další části umožňují variabilitu použití různých izolačních materiálů dle potřeby konkrétního účelu: ceny, jednoduchosti provádění, požární odolnosti, ekologie a dalších.



2-4 Fotografie často používaných izolačních materiálů (Foto: CPD)

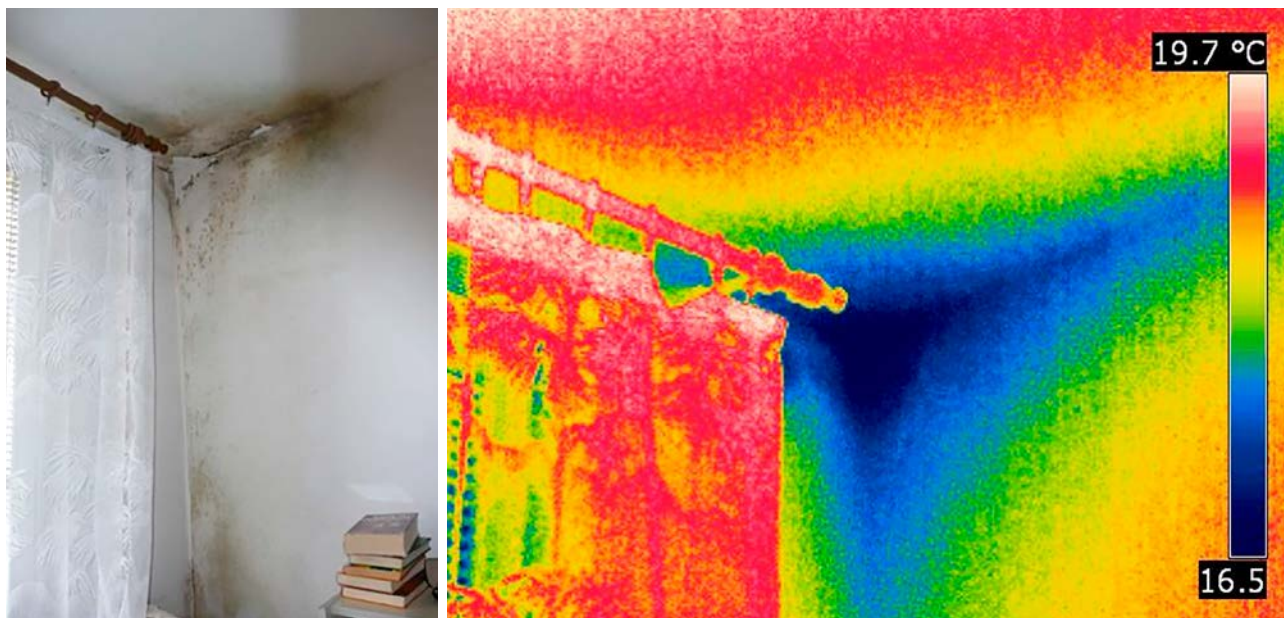
Jak již bylo zmíněno, na tloušťce konstrukce záleží, proto výběr izolací zejména u stěn většinou směřuje k materiálům s nižší tepelnou vodivostí. Lepší izolační vlastnosti bývají vyváženy vyšší cenou materiálu, tudíž se posuzuje přínos pro konkrétní případ. Například na terase nad vytápěným prostorem je vhodná vakuová izolace, i když násobně dražší než jiné, ale umožní díky malé tloušťce přístup bez použití schůdku. Srovnání izolačních vlastností materiálů je patrný z obr. 2-5. K rozdílu v rámci jednoho materiálu dochází nejčastěji rozdílnou objemovou hmotností výrobků.



2-5 Srovnání tepelněizolačních vlastností vybraných izolačních materiálů (Zdroj: CPD)

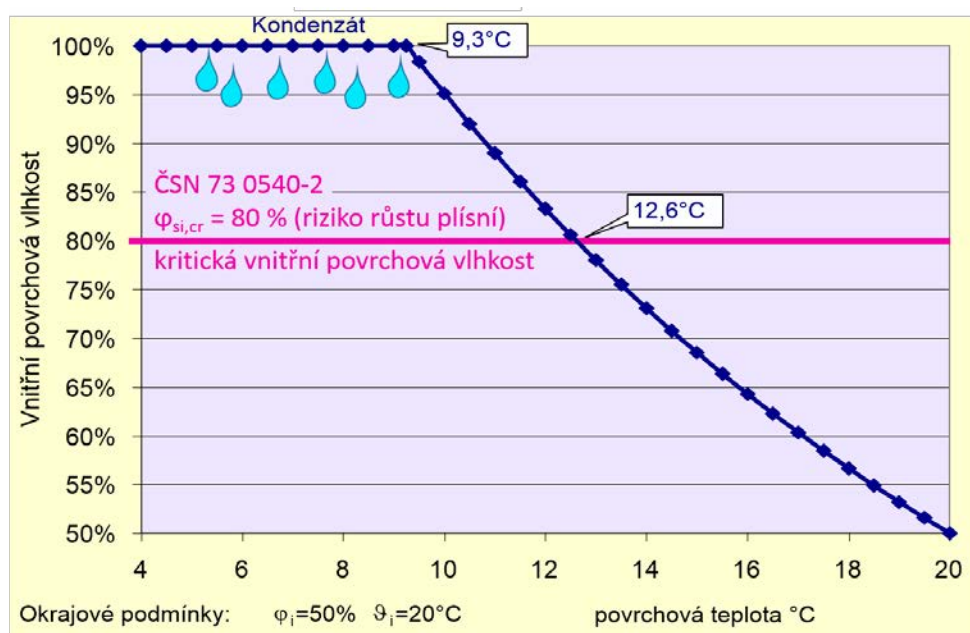
02-2 Tepelné mosty

Tepelným mostem se nazývá místo se zvýšeným tepelným tokem. Nejčastěji se jedná o místa s oslabenou tepelněizolační vrstvou v důsledku napojení konstrukcí. Příмым důsledkem zvýšené prostupnosti tepla je kromě tepelných ztrát také ochlazované místo na vnitřní straně konstrukce. Spolu se snižováním teploty roste relativní vlhkost až po tzv. rosný bod, kdy už vzduch neunesie nasycenou vlhkost v plynné formě a dochází ke kondenzaci. Problematická je zejména zvýšená vlhkost, při níž dochází k růstu plísní. Výskyt řady nemocí u lidí, od alergií přes astmatická onemocnění až po kožní nemoci a různé mykózy, lze často přisoudit právě zvýšené koncentraci spor plísní ve vzduchu.



2-6 Oslabená místa lze odhalit například termovizním snímkováním. Často k tomu bohužel dochází až v okamžiku, kdy dojde k poruchám. Vhodnější a výrazně levnější než následná sanace je tepelnětechnické posouzení detailů ve fázi návrhu (Foto: Miloš Kalousek)

Pro množení a růst plísní ovšem není nutná přímo kondenzace vlhkosti, jak je často mylně prezentováno. Norma ČSN 73 0540-2 uvádí jako kritickou vnitřní povrchovou vlhkost ve výši 80 %, při níž již hrozí riziko růstu plísní, viz obr. 2-7. Při vnitřní relativní vlhkosti vzduchu 50 % a vnitřní teplotě 20 °C je této hraniční hodnoty dosaženo již od povrchové teploty 12,6 °C.



2-7 Závislost vnitřní povrchové vlhkosti na povrchové teplotě (Zdroj: Passivhaus Institut/CPD)

Nejčastějšími rizikovými místy vzniku tepelných mostů jsou:

- oslabení izolace nehomogenitou ve formě chybějící izolace nebo vložených konstrukčních prvků (např. systematicky se opakující dřevěné nosníky v izolaci);
- tepelná vazba v místě napojení konstrukcí (např. balkonová deska, atika, napojení oken);
- rozdílné tepelné toky způsobené geometrií (např. rohy, kouty);
- bodové prvky s vyšší tepelnou vodivostí procházející vrstvou izolace (např. konzoly, kotvy izolace).

Rady pro vyloučení tepelných mostů a vazeb jsou vesměs jednoduché. V projektu je potřeba již ve fázi studie identifikovat možná problematická místa a nastavit nejvhodnější koncepci jejich řešení pro daný konstrukční systém. V další fázi rozpracované detaily posoudit tepelnětechnickým výpočtem a případně optimalizovat v koordinaci se statikem a architektem. V průběhu výstavby je pak nezbytná kontrola provedení.



2-8 Spíš než vystupující konstrukce konzol, jsou vhodnější samonosné předsazené konstrukce, za kterými probíhá tepelná izolace bez přerušení. Bytový dům St. Jakob ve Frankfurtu (Architekt: Faktor 10. Foto: CPD)



2-9 Vystane-li požadavek na vykonzolované konstrukce, lze použít certifikované výrobky pro pasivní domy, tzv. isonosníky (Foto: autor)

02-3 Okna a dveře

Otvorové výplně tvoří bezpochyby základ energeticky úsporné výstavby, která stojí na efektivním využívání solárních zisků. Pokud mají okna v celkové bilanci pasivního domu přinést víc tepelných zisků než ztrát, je nutné přihlídnout k několika zásadám – těmi jsou:

- vhodná velikost a rozmístění oken – většina na jih, co nejméně na ostatní fasády;
- volba kvalitního rámu s nízkým součinitelem prostupu tepla;
- izolační zasklení s teplým distančním rámečkem;
- precizně vyřešené osazení do konstrukce bez tepelných mostů;
- ochrana proti letnímu přehřívání.

Okno pro pasivní domy musí splnit tyto parametry:

- součinitel prostupu tepla celého okna $U_w \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$,
pro certifikaci počítáno se zasklením $U_g \leq 0,70 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- součinitel prostupu tepla osazeného okna $U_{w, \text{osazeno}} \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$.

Uvedené parametry nejsou kritériem ani tak energetickým, jako spíš hygienickým. Díky vysoké povrchové teplotě u trojskel nevznikají nepříjemné teplotní rozdíly jako u dvojskel, a navíc se neorosují ani bez otopného zdroje pod nimi. Tepelný zdroj tak může být kdekoliv v místnosti a dispozici lze plně využít.



2-10 Tepelná pohoda u pasivního okna i v zimě
(Foto: Jan Picpauer)

V našich podmínkách je vhodné velikost oken navrhovat s mírou. Celoprosklené fasády mohou být zajímavým architektonickým prvkem, ale v pasivních domech se objevují spíše výjimečně. Interiéry takových domů se výrazně častěji přehřívají a je nezbytné precizně vyřešit stínění. Navíc okna mají výrazně horší izolační parametry nežli stěna, takže v zimním období, kdy slunce nesvítí, mají místnosti větší tepelné ztráty. Je to samozřejmě i otázka ceny: okna jsou dražší než stěny, a spolu s vnějším stíněním tak mohou vyjít až pět krát draž než neprůsvitné konstrukce.

Určitou cenovou úsporu – asi o třetinu – může přinést záměna části otevíracích oken za pevná. I když je v objektu řízené větrání, v každé pobytové místnosti musí být navrženo alespoň jedno otevíravé okno. Volbu, zda použít pevné, nebo otevíravé rámy, je třeba zvážit zejména s ohledem na čistitelnost. Někdy se může tato prvotní úspora pořizovacích nákladů prodražit ve formě drahé údržby nebo potřeby dostavění čistících lávek.

Jako rozumná se proto většinou uvažuje plocha oken postačující pro běžné prosvětlení místností, tedy poměr 1 : 6 až 1 : 4 k podlahové ploše, což odpovídá asi 40 % plochy fasády. Pěkný příklad vyvážené míry prosklení lze vidět u administrativní budovy Energon v německém Ulmu. Oproti celoproskleným fasádám dnešních kancelářských budov jsou teploty v interiéru podstatně vyváženější, což přispívá ke spokojenosti uživatelů. Okna s parapetem zde umožňují lepší využití vnitřního prostoru a nepřinášejí zbytečné solární zisky bez vlivu na prosvětlení interiéru. Přehřívání brání precizní stínění slunolamy v kombinaci s automaticky ovládanými žaluziemi a pasivním chlazením aktivovaných betonových stropů. Slunolamy zároveň slouží i jako pochozí lávky pro čištění oken.



2-11 Administrativní budova Energon (Architektura a foto: oehler faigle archkom)

U pasivních domů volba okenních rámu podléhá několika základním požadavkům:

- Rám okna je nejslabším článkem obálky, a měl by proto **obsahovat tepelnou izolaci**.
- Rám okna nepřináší žádné solární zisky, jen ztráty, a měl by **být co nejnižší**.
- Pro dosažení co největší těsnosti by měl obsahovat **minimálně 3 těsnicí roviny**.
- Konstrukce rámu by měla umožnit správné **zabudování bez tepelných mostů**.

Pokud chceme mít jistotu ověřených výrobků a srovnatelných parametrů, je vhodné volit z certifikovaných oken Passivhaus Institutu, kde jsou uvedeny všechny potřebné návrhové parametry pro výpočet PHPP.

2-12 Osvědčení rámu oken vhodných pro pasivní domy splňujících kritéria certifikace Passivhaus Institutu (Zdroj: www.passiv.de)

Certificate

Certified Passive House component
for cool, temperate climate, valid until 31.12.2014

Category: **Window Frame**
Manufacturer: **OPTIWIN GmbH**
6341 Ebbs, AUSTRIA
Product name: **Alphawin**

The following comfort criteria were used in awarding this certificate:

Given a U_g value of 0.70 W/(m²K) and a window size of 1.23 m by 1.48 m,

$U_w = 0.80 \text{ W/(m}^2\text{K)} \leq 0.80 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Taking into account the installation based thermal bridges, and provided that the installation is, with regard to the thermal bridges, equal or better than shown in the data sheet, the window meets the following criterion.

$U_{w, \text{installed}} \leq 0.85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$

Thermal data of the window frame

	U_f -value [W/(m ² K)]	Width [mm]	Ψ_g [W/(mK)]	$f_{R_{Si} \leq 0.20}$ [-]
Spacer			Superspacer TriSeal*	
Bottom	1.00	90	0.024	0.74
Side/top	0.79	90	0.023	

*Spacers of lower thermal quality, especially those made of aluminium, lead to significantly higher thermal losses and lower temperature factors.

Further information see data sheet

www.passivehouse.com 0069wi03

Passive House Institute
Dr. Wolfgang Feist
64283 Darmstadt
GERMANY



Passive House Efficiency Class

phA advanced component

phB basic component

phC certifiable component

not suitable for Passive Houses

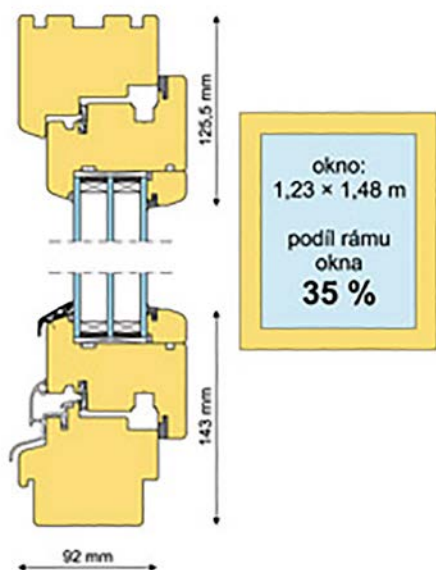




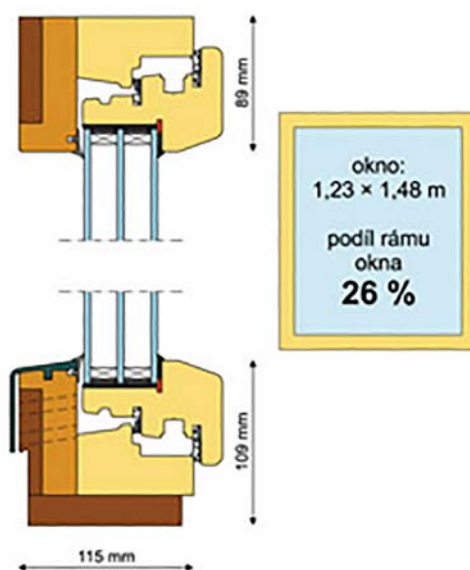
CERTIFIED COMPONENT
Passive House Institute

Oproti běžným ráům jsou dnes trendem okna širší a nižší, která zabezpečí díky výrazně menšímu podílu rámu lepší tepelnou ochranu a maximum solárních zisků (obr. 2-13). Rozdíl v energetické bilanci pasivního domu při použití takových oken je značný a může činit až dvacet procent. Tato okna jsou v databázi certifikovaných výrobků [55] klasifikována ve třídě energetické efektivity phA, přičemž běžná okna vycházejí ve třídě phB nebo phC.

Běžný rám Eurookna IV92



Rám okna PROGRESSION



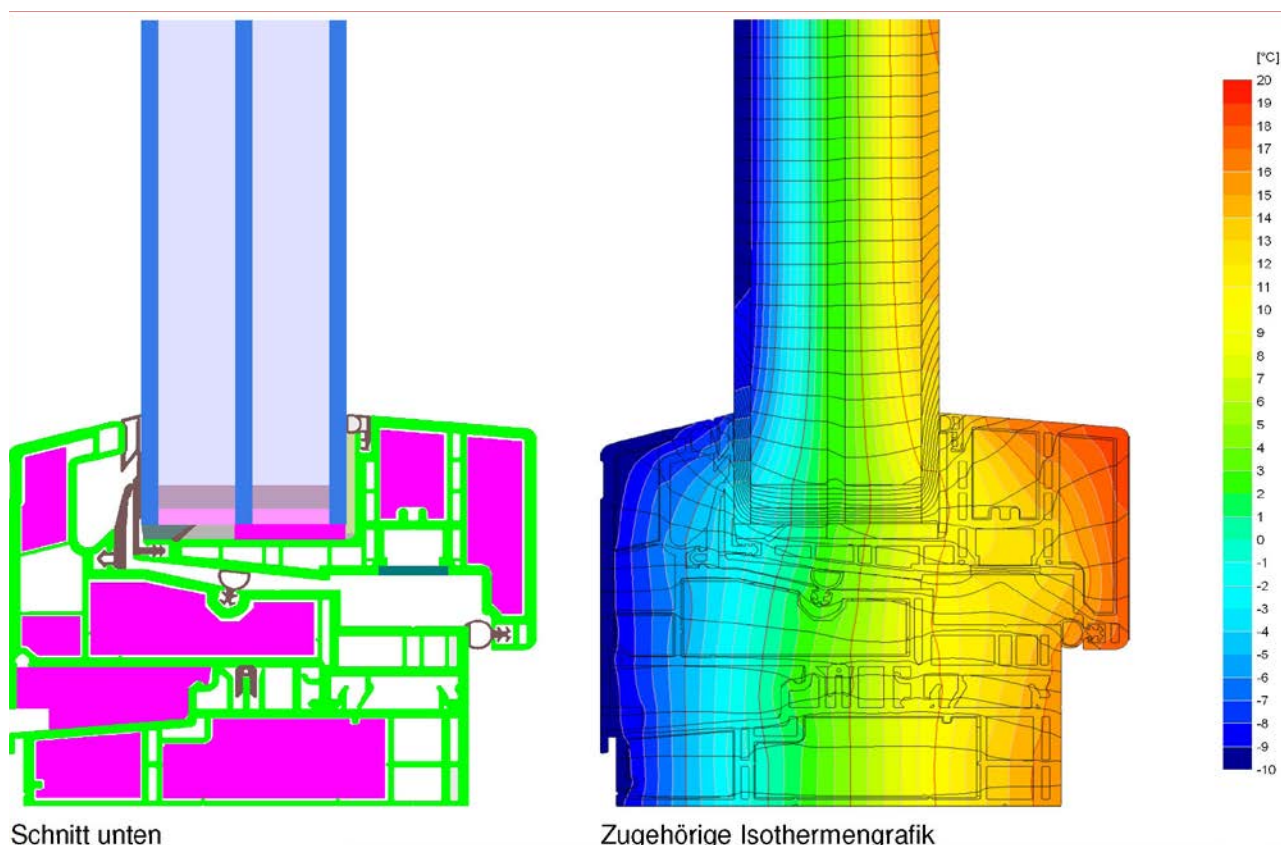
2-13 Podíl rámu okna u běžného a moderního rámu s nízkou pohledovou výškou (Zdroj: Slavona)

Koncept rámu nové generace s pohledovou výškou pod 90 mm přišel až se zavedením skrytého kování, které posunulo osu otáčení okna a umožnilo snížit rám v místě klasických pantů. Dnešní moderní rámy mají výšku od 58 do 85 mm. Kromě výrazně vyšších solárních zisků je výhodou, že skryté kování neprochází rovinou vnitřního těsnění, nekrčí jej a dosažená těsnost oken je výrazně vyšší. Výsledkem je lepší průběh teplot uvnitř rámu okna a nedochází ke kondenzaci vlhkosti ve funkční spáře. Okna navíc umožňují správné osazení, tedy kompletní překrytí rámu izolací zvenku. Vytváří tak vzhled bezrámového zasklení, oblíbeného u moderní výstavby. Jednoduše řečeno, okno vypadá tak, jak má, až když je správně osazeno.



2-14 Skryté kování a osazené okno kompletně schované v izolaci (Foto: Slavona)

Podobná koncepce nové generace rámu je dnes dostupná ve všech materiálových řešeních – ve dřevě, plastu i dřevohliníku. Cena oken nové generace je přitom jen o málo vyšší než u běžných oken.



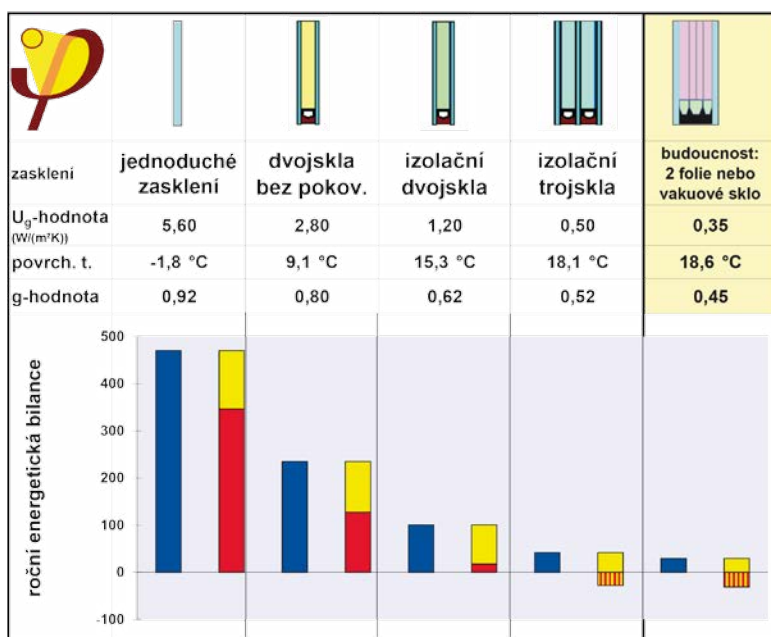
2-15 Perfektní vyřešení geometrie parapetu plastových oken nové generace (Zdroj: FBS OVER VADB 550+)

02-3-2 Zasklení jako důležitý parametr

Volba zasklení zásadním způsobem ovlivňuje energetickou bilanci i vnitřní tepelnou pohodu. Trojitě zasklení umožní zabezpečit vysokou povrchovou teplotu a tepelné zisky vyšší než ztráty. Oproti dvojsklům je velkou výhodou možnost libovolného umístění otopného systému v místnosti, což zvyšuje využitelnost prostoru. Základní parametry:

- nízký součinitel prostupu tepla zasklení U_g pro trojskla max. $0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ – dnes nejčastěji $0,60$ až $0,50 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, s výplní argonem;
- vysoká celková propustnost sluneční energie g – tzv. solární faktor – nad 50% ;
- distanční rámeček z plastu nebo silikonu (určitě se vyhnout hliníku, který způsobuje orosování hrany zasklení).

Jak je vidět z porovnání různých druhů zasklení z hlediska celkové roční energetické bilance (obr. 2-16), sebelepší izolační dvojskla jsou v konečném součtu ztrátová. Až použitím trojskel lze dosáhnout stavu, kdy okna v otopné sezoně produkují zisky. Výše uvedené samozřejmě platí pro orientaci hlavní prosklené plochy na jih. Nestíněná okna s východní a západní orientací jsou v celkové bilanci mírně až středně ztrátová. Severní orientace je samozřejmě ztrátová výrazně.



2-16 Srovnání energetické bilance různých druhů zasklení pro jižní orientaci (Zdroj: Passivhaus Institut)

Pro různé aplikace mohou být vhodné rozdílné konfigurace parametrů. Pro budovy k bydlení se dnes používá tzv. solární zasklení s vysokým solárním faktorem nad 60 %, které má vysoké zisky i v zimním období a může uspořit i přes 10 % energie na vytápění oproti běžným zasklením. Tato konfigurace je zejména výhodná pro jižní zasklení. Vůči ostatním směrům převažují ztráty nad zisky a jsou zde vhodnější skla s nižší tepelnou propustností. To samé platí pro administrativní budovy, které mají větší míru prosklení a potýkají se pak při slunečných dnech s častým přehříváním. Volba zde padá na zasklení s lepšími izolačními parametry pod 0,5 W/(m²K) a logicky i nižší solární propustností pod 50 %. V takových případech jsou však podstatnější v ochraně proti přehřívání zejména přiměřené stínící prvky.

02-3-3 Správné osazení okna do konstrukce

Posledním článkem vyladěných otvorových výplní je jejich osazení do konstrukce. Samotné osazení může ovlivnit potřebu tepla na vytápění pasivního domu až o desítky procent. Důležitá je zde velmi dobrá znalost jak stavební fyziky, tak konstrukce oken a samozřejmě použitého konstrukčního systému. Pro dlouhodobou funkčnost a životnost zde platí několik zásad, které jsou patrné na obr. 2-17. Návrh kotvicích prostředků, těsnění i stavební připravenost podrobně popisuje ČSN 74 6077:2014 Okna a vnější dveře – Požadavky na zabudování.



2-17 Zásady osazení okna v konstrukci (Foto: Michal Hučík, Kalksandstein CZ, s. r. o.)

Profily oken nové generace určené do energeticky úsporné výstavby jsou přímo vytvořeny pro správné osazení. Až po precizním přeizolování celé šířky rámu získávají svůj navrhovaný vzhled podobný bezrámovému zasklení s optikou čistého skla. Správné osazení je možné i pro nadpraží se žaluziovým kastlíkem (obr. 2-19).



2-18 Osazení moderního nízkého rámu okna do dřevostavby v místě ostění (Foto: autor)



2-19 Řešení detailu částečně předsazené montáže se žaluziovým kastlíkem (Foto: autor)

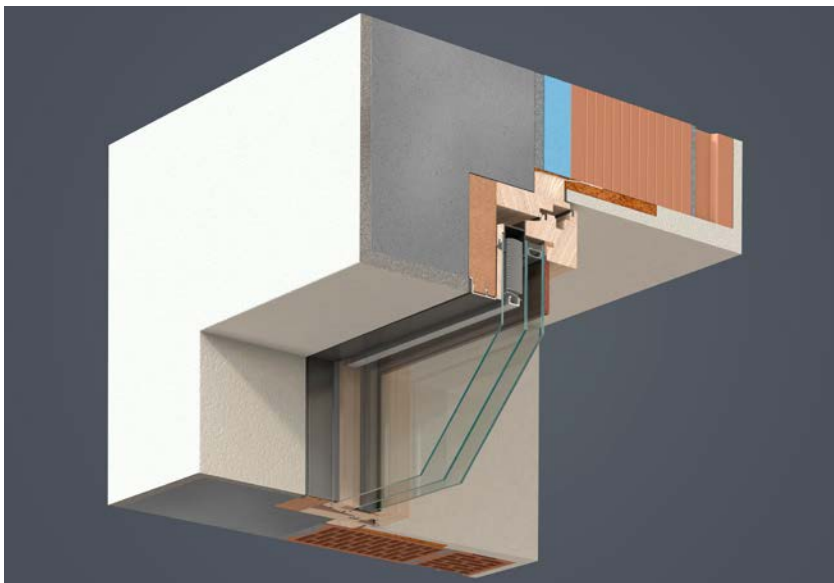
02-3-4 Ochrana proti letnímu přehřívání

Přehřívání je často podceňováno, ovšem nejvíce stížností uživatelů na vnitřní teploty nebývá v zimě, ale v létě. U staveb pro bydlení se lze obejít bez aktivního systému chlazení, nejčastěji s kombinací stínění a nočního větrání. Pro kancelářské budovy s většími vnitřními zisky se často používá pasivní chlazení ze zemních vrtů, z něhož je chlad distribuován pouze oběhovým čerpadlem, například do chladicích stropů.

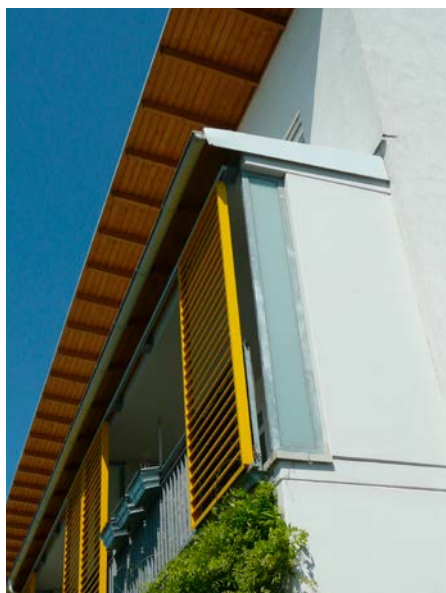
Omezení solárních zisků stíněním je úplně zásadním parametrem pro udržení tepelné stability, důležitějším než často zmiňovaná akumulace hmoty. Možností stínění je celá řada, přičemž výrazně účinnější jsou prvky použité na vnější straně. Pro jižně orientovaná okna lze použít pevné stínicí prvky – jako přesahy střechy, balkony, slunolamy, pergoly a jiné. Z přechodných stínících prvků se nejčastěji používají vnější žaluzie, screenové či látkové rolety nebo posuvné okenice.



2-20 Stínění dělenými žaluziemi s nastavitelným sklonem, kde horní část odráží světlo na strop místnosti (Foto: Jan Neuwirt)



2-21 Novinky ve stínění představují integrované meziskelní žaluzie s možností servisování umístěné ve vnější meziskelní dutině (Zdroj: pro Passivhausfenster)



2-22 Stejně používané jsou i posuvné okenice
(Foto: Henrich Pífků)



2-23 Pro jižní okna jsou výhodné horizontální stínící prvky, které mohou současně sloužit jako balkony, s případnou integrací solárního systému (Foto: autor)

02-4 Neprůvzdušnost

Každá budova by měla být do jisté míry vzduchotěsná. V případě pasivního domu je však dokonalé vyřešení a realizace vzduchotěsné obálky budovy jedním z jeho základních pilířů. Netěsnosti totiž způsobují nekontrolovatelné tepelné ztráty a snižují účinnost zpětného získávání tepla větracím systémem, protože větrací vzduch místo průchodu rekuperačním výměníkem prochází spárami. Kromě rizika nedosažení parametrů pasivního domu totiž hrozí v místech netěsností prostup vlhkosti do konstrukce, následný vznik poruch a zkrácená životnost stavby. Praxe ukazuje, že nejzásadnější je precizní projektová dokumentace s návrhem spojitě vzduchotěsné obálky a pak důsledná kontrola provádění. Všechny detaily uvedené v této publikaci mají vyznačenou vzduchotěsnou rovinu, což napomáhá jasnější identifikaci míst napojení. Současně jsou popsány všechny prvky, které vzduchotěsnou rovinu tvoří.

02-4-1 Základní požadavky na průvzdušnost

Těsnost obálky budovy vyjadřuje hodnota n_{50} [h^{-1}] neboli celková intenzita výměny vzduchu infiltrací při tlakovém rozdílu 50 Pa. Hodnota n_{50} se určuje zkouškou průvzdušnosti, tzv. Blower-door testem, a to ve dvou fázích: buď při výstavbě po dokončení vzduchotěsnících opatření, nebo po dokončení stavby. Pro pasivní dům nesmí měřená hodnota n_{50} překročit $0,6 \text{ h}^{-1}$, tedy za hodinu se nesmí vyměnit více vzduchu než 60 % celkového objemu budovy. Zásadní je měření neprůvzdušnosti během výstavby. Nalezené netěsnosti se dají hned na místě odstranit, a zabrání se tak jejich překrytí a následné zdlouhavé lokalizaci. Blower-door test je tudíž i určitou kontrolou kvality provedení stavby.

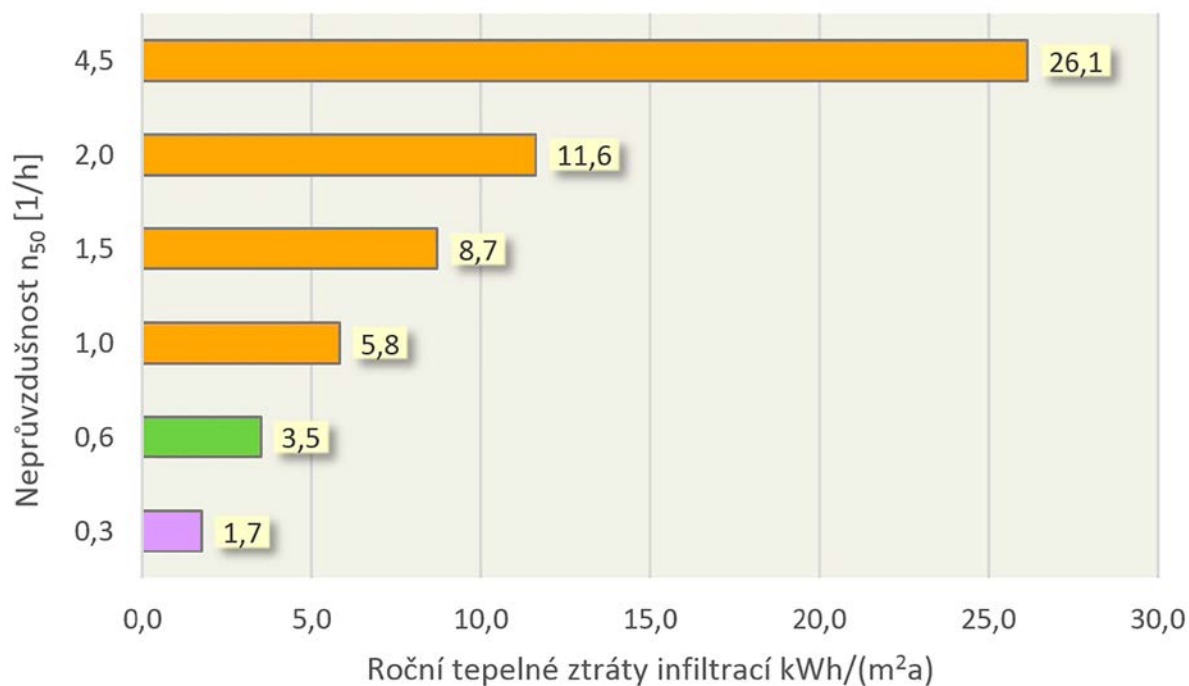
Větrání v budově	Doporučená hodnota celkové intenzity výměny vzduchu $n_{50,N}$ [h^{-1}]	
	Úroveň I	Úroveň II
přirozené nebo kombinované	4,5	3,0
nucené	1,5	1,2
nucené se zpětným získáváním tepla (ZZT)	1,0	0,8
nucené se ZZT v budovách se zvláště nízkou potřebou tepla na vytápění (pasivní domy)	0,6	0,4

Tab. 3 Tabulka požadovaných hodnot n_{50} v závislosti na typu větrání z normy ČSN 73 0540-2. Hodnoty na úrovni I se doporučuje splnit vždy, úroveň II se doporučuje splnit přednostně



2-24 Test těsnosti v průběhu výstavby po dokončení vzduchotěsnicích opatření (Foto: Stanislav Paleček, Radion)

Vysoká průvzdušnost obálky budovy pochopitelně vede také k vyšším tepelným ztrátám. Skutečné vlastnosti budovy mohou být někdy výrazně horší než navrhované a existují případy, kdy se nepodařilo objekt kvůli vysoké průvzdušnosti vytopit. Vliv hodnoty n_{50} na měrnou roční potřebu tepla ilustruje graf na obr. 2-25. Se zvyšující se průvzdušností budovy úměrně rostou tepelné ztráty. Netěsné novostavby s hodnotou $n_{50} = 4,5 \text{ h}^{-1}$ mají tyto ztráty průvzdušností budovy dokonce vyšší, než je celková potřeba tepla na vytápění u pasivních domů. Je zřejmé, že zabezpečení neprůvzdušnosti je nutno věnovat náležitou pozornost. Zároveň je to i místo, kde se při dosažení hodnot pod $0,3 \text{ h}^{-1}$ dají dosáhnout vysoké úspory, v řádu až deseti procent za minimální náklady.



2-25 Vliv neprůvzdušnosti na roční tepelné ztráty infiltrací pro běžný rodinný dům (Zdroj: CPD)